

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตนานกับเจลาตินเพื่อเคลือบผิวยืดอายุ
การเก็บรักษามะนาว



T107724



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107724
วัน,เดือน,ปี.....10 พ.ค. 2553

b.....12210900
i.....

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polymer Blends of Chitosan/Gelatin as Coated Film to
Prolong Shelf-life of Lime



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลลาตินเพื่อเคลือบผิวยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

นักศึกษา นายเจษฎา เขียวนิล
นายพัชราวุธ จุลจำเริญทรัพย์
นายพิทักษ์ เจริญชัยกุล

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. อธิธิพล แจ่มชัด

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. อนุวัตร แจ่มชัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร. ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์	
กรรมการ ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน	
กรรมการ รศ.ดร. อธิธิพล แจ่มชัด	



(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการพิเศษ	การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตะซานกับเจลลาตินเพื่อเคลือบผิว ยืดอายุการเก็บรักษามะนาว		
นักศึกษา	นายเชษฐา เขียวนิล	45050084	
	นายพัชรารุช จุลจำเจริญทรัพย์	45050128	
	นายพิทักษ์ เจริญชัยกุล	45050129	
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2548		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. อธิพิพล แจ่มชัด		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร. อนุวัตร แจ่มชัด		
	ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตะซาน (CHI) กับเจลลาติน (GEL) และโซเดียมเคซิเนต (CAS) เพื่อใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้ ให้อยู่คงรักษาสภาพหรือยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น เตรียมฟิล์มตัวอย่างด้วยวิธีการหลอจากสารละลาย ที่อัตราส่วนของโคโตะซานต่อเจลลาติน (CHI/GEL) และโคโตะซานต่อโซเดียมเคซิเนต (CHI/CAS) เท่ากับ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 (V/V) เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์ม ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ เช่น การซึมผ่านของไอน้ำ การละลายน้ำ และสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด พบว่า CHI/CAS เกิดการแยกตัว และอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ CHI50/GEL50 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด และค่าความแข็งแรงดึงกับค่ามอดุลัสสูงที่สุด จากนั้นนำมาศึกษาผลของปริมาณครั้งซึ่งใช้เป็นเร็กซ์ที่ 0, 5 และ 10%(W/W) แล้วทำการประยุกต์เคลือบผิวผลไม้ โดยใช้มะนาวทดสอบอายุการเก็บรักษา โดยทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ เปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลืออยู่ และค่าสีที่เปลี่ยนไปของมะนาว พบว่า ปริมาณครั้งที่ 10% ช่วยทำให้มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ และเปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลืออยู่มากที่สุด จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้มากที่สุด ซึ่งดีกว่ามะนาวที่ไม่มีการเคลือบผิว อย่างไรก็ตาม ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีเท่าสารเคลือบเกรดการค้า (Supershine C[®])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Polymer Blends of Chitosan/Gelatin as Coated Film to Prolong Shelf-life of Lime

Name Mr Jedsada keawnil
 Mr Putcharawut Juljumroensub
 Mr Pituck Chalurnchaikul

Special Project Adviser Assoc.Prof.Dr.Ittipol Jangchud
 Asst.Prof.Dr.Anuvat Jangchud

Department Chemistry

Academic Year 2005

Abstract

This research work involved a study of polymer blends between chitosan (CHI) and gelatin (GEL), chitosan and sodium caseinate (CAS) to be used as vegetable and fruit coated film in order to prolong their shelf-life. The film samples were prepared by solution blending at CHI/GEL and CHI/CAS ratios of 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100 (V/V) for studying factors affecting film properties and physical properties (such as water vapor transmission rate (WVTR) and solubility) mechanical properties (such as tensile strength, tear strength and % elongation at break). It was found that phase separation was found in CHI/CAS blends, however, CHI/GEL was miscible with promising properties. The ratio of CHI50/GEL50 was selected since it had the lowest water vapor transmission but the highest tensile strength and tear strength. After that, wax (shellac) loading at 0, 5, 10% was studied by lime surface in order to prolong its shelf-life. The coating efficiency was tested by % weight loss, % residue and coloring change. It was revealed that the CHI/GEL blends with wax 10% (W/W) had the most % weight loss and % residue indicating longer shelf-life than the uncoated lime (control condition). However, commercial one (Supershine C[®]) still showed longer shelf-life of lime.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้ จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือดังมีรายนามต่อไปนี้

- รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ให้คำปรึกษาที่ดีเยี่ยมและเอาใจใส่มาโดยตลอด
- ผศ.ดร.อนุวัตร แจ่มชัด ให้การอบรมและคำแนะนำที่มีประโยชน์
- ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่

ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีและการใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบ

- นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกฝ่าย ที่เอื้อเฟื้อความสะดวกในเรื่อง อุปกรณ์และสารเคมี ตลอดจนเครื่องมือต่างๆ
- เพื่อนๆ ภาควิชาสถิติประยุกต์ ที่ได้สอนและให้คำปรึกษาโปรแกรมทางสถิติ SPSS นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือให้การดำเนินโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วง ซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เจษฎา

พิชราวุธ

พิทักษ์

เชียวนิล

จุลจำเริญทรัพย์

เจริญชัยกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
สัญลักษณ์	ฐ
บทที่1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ	4
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไคตินและไคโตซาน	5
2.1.1 วิธีสังเคราะห์ไคติน-ไคโตซาน	9
2.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคติน-ไคโตซาน	11
2.1.3 วิธีสังเคราะห์ไคติน-ไคโตซาน	14
2.1.4 การทำงานของไคติน-ไคโตซาน	14
2.1.5 การเสื่อมสลาย	15
2.1.6 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานไคโตซาน	16
2.2 เจลาติน	17
2.2.1 การสกัดเจลาติน	17
2.2.2 ผลของประวัติทางความร้อนที่มีผลต่อเจลาติน	18
2.2.3 การละลาย	19
2.2.4 เสถียรภาพ	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.5 การกระจายตัวของเจลาตินแห้ง	20
2.2.6 การเกิดเจลของสารละลายเจลาติน	21
2.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวแข็งเป็นวุ้น	21
2.3 โซเดียมเคซิเนต	22
2.4 ครั่ง	24
2.5 พอลิเมอร์ผสม	25
2.5.1 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสม	25
2.5.2 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม	26
2.5.3 ความสามารถในการเข้ากันได้	26
2.6 ฟิล์มสำหรับงานบรรจุภัณฑ์	28
2.7 การใช้สารเคลือบผิวผักและผลไม้	32
2.7.1 ลักษณะโครงสร้างที่ผิวของผลิตภัณฑ์	32
2.7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างและหลังการเก็บเกี่ยว	33
2.7.3 การผ่านเข้าออกของน้ำและก๊าซในผลิตภัณฑ์	33
2.7.4 ประโยชน์ของการเคลือบผิว	34
2.7.5 ชนิดและคุณสมบัติของสารเคลือบผิว	35
2.7.6 การเลือกใช้สารเคลือบผิว	35
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	42
3.3 วิธีการทดลอง	43
บทที่4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	
4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวอย่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซาน กับเจลาตินและโคโตซานกับโซเดียมเคซิเนต	47
4.1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	48
4.1.1.1 การชิมผ่านไอน้ำ	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1.2 การละลายน้ำ	50
4.1.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล	50
4.1.2.1 ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัส	50
4.1.2.2 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด	52
4.1.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	52
4.2 การศึกษาผลของปริมาณเวกซ์ต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม โคโตซานเจลาตินและโคโตซาน/ไซเดียมเคซิเนต	53
4.2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	54
4.2.1.1 การซึมผ่านไอน้ำ	54
4.2.1.2 การละลายน้ำ	55
4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล	56
4.2.2.1 ค่าความแข็งแรงดึง	56
4.2.2.2 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด	57
4.2.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	58
4.3 การเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้	59
4.3.1 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่เหลืออยู่	59
4.3.2 เปอร์เซนต์ลูกดีที่เหลืออยู่	60
4.3.3 ค่าสีแบบ L^*	61
4.3.4 ค่าสีแบบ a^*	62
4.3.5 ค่าสีแบบ b^*	63
4.3.6 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่เหลืออยู่	64
4.3.7 ค่าสีแบบ L^*	65
4.3.8 ค่าสีแบบ a^*	65
4.3.9 ค่าสีแบบ b^*	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวอย่างฟิล์มพอลิเมอร์ ผสมโคโตซาน/เจลาตินและโคโตซาน/ไซเดียมเคซิเนต	82
5.1.2 การศึกษาผลของปริมาณเว็กซ์ต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม โคโตซาน/เจลาตินและโคโตซาน/ไซเดียมเคซิเนต	83
5.1.3 การเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก ก	88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของโซเดียมเคซิเนต	23
ตารางที่ 4.1 ค่าการละลายของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน	50
ตารางที่ 4.2 ค่าการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ	56
ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่	59
ตารางที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลืออยู่	61
ตารางที่ 4.5 ค่าสีแบบ L*	62
ตารางที่ 4.6 ค่าสีแบบ a*	63
ตารางที่ 4.7 ค่าสีแบบ b*	64
ตารางที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่	64
ตารางที่ 4.9 ค่าสีแบบ L*	65
ตารางที่ 4.10 ค่าสีแบบ a*	65
ตารางที่ 4.11 ค่าสีแบบ b*	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน อัตราส่วนของ x และ y ขึ้นกับองค์ประกอบของกรดดีอะซีทิลเลชัน (Degree of Deacetylation, DD) ปกติแล้ว DD จะมีค่ามากกว่า 75% หมายความว่า โครงสร้าง x 75% y 25%	6
รูปที่ 2.3 การจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของผลึกไคโตซาน (a) มองตามแนวแกน b (b) มองตามแนวแกน c ก่อนกลมระบายสี คือ อะตอมของไนโตรเจน	8
รูปที่ 2.4 แบบจำลองการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกไคโตซานจากผลึกที่มีน้ำ (Hydrated chitosan) เป็นผลึกที่ไม่มีน้ำ (Anhydrated chitosan) แสดงการหายไปของพันธะไฮโดรเจน	8
รูปที่ 2.5 ผลึกแบบสเฟียรูไลต์ (Spherulites) ของไคโตซาน	9
รูปที่ 2.6 การสังเคราะห์ไคติน-ไคโตซาน	11
รูปที่ 2.7 โครงสร้างผลึกของ α -chitin	13
รูปที่ 2.8 โครงสร้างผลึกของ β -chitin	13
รูปที่ 2.9 โครงสร้างโดยทั่วไปของเจลาติน	18
รูปที่ 2.10 ค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์	28
รูปที่ 4.1 การแยกชั้นกันระหว่างไคโตซานกับไฮเดียมคลอไรด์	47
รูปที่ 4.2 फिल्मเจลาตินที่แตกหักเมื่อทำการลอกออกจากถาดเมลามีน	48
รูปที่ 4.3 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR)	49
รูปที่ 4.4 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability; WVP)	49
รูปที่ 4.5 ค่า Tensile strength ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน	51
รูปที่ 4.6 ค่า Modulus ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน	51
รูปที่ 4.7 ค่า Tear strength ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน	52
รูปที่ 4.8 ค่า % Elongation at break ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน	53
รูปที่ 4.9 การแยกวัฏภาคเมื่อใส่ปริมาณแวกซ์ 15% (W/W)	53
รูปที่ 4.10 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability; WVP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ	55
รูปที่ 4.12 ค่า Tensile strength ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ	56
รูปที่ 4.13 ค่า Modulus ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ	57
รูปที่ 4.14 ค่า Tear strength ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ	57
รูปที่ 4.15 ค่า % Elongation at break ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ	58
รูปที่ 4.16 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันแรกของการเก็บรักษา	67
รูปที่ 4.17 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา	67
รูปที่ 4.18 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา	68
รูปที่ 4.19 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา	68
รูปที่ 4.20 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา	69
รูปที่ 4.21 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันสุดท้ายที่มีมะนาวสุตรควบคุมเหลืออยู่	69
รูปที่ 4.22 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยโคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แวกซ์ (WAX 0%) ในวันแรกของการเก็บรักษา	70
รูปที่ 4.23 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยโคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แวกซ์ (WAX 0%) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา	70
รูปที่ 4.24 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยโคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แวกซ์ (WAX 0%) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา	71
รูปที่ 4.25 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยโคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แวกซ์ (WAX 0%) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา	71
รูปที่ 4.26 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยโคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แวกซ์ (WAX 0%) ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.27 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แว็กซ์ (WAX 0%) ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา	72
รูปที่ 4.28 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันแรกของการเก็บรักษา	73
รูปที่ 4.29 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา	73
รูปที่ 4.30 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา	74
รูปที่ 4.31 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา	74
รูปที่ 4.32 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา	75
รูปที่ 4.33 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา	75
รูปที่ 4.34 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันแรกของการเก็บรักษา	76
รูปที่ 4.35 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา	76
รูปที่ 4.36 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา	77
รูปที่ 4.37 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา	77
รูปที่ 4.38 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา	78
รูปที่ 4.39 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในสุดท้าย ของการเก็บรักษา	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.40 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C [®]) ในวันแรก ของการเก็บรักษา	79
รูปที่ 4.41 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C [®]) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา	79
รูปที่ 4.42 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C [®]) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา	80
รูปที่ 4.43 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C [®]) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา	80
รูปที่ 4.44 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C [®]) ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา	81
รูปที่ 4.45 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C [®]) ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

Control	ชุดควบคุม
CHI100	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
CHI75/GEL25	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเจลาตินความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 75/25
CHI50/GEL50	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเจลาตินความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 50/50
CHI25/GEL75	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเจลาตินความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 50/50
GEL100	โคโตซานความเข้มข้น 2.5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
CHI75/CAS25	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และโซเดียมเคซิเนตความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 75/25
CHI50/CAS50	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และโซเดียมเคซิเนตความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 50/50
CHI25/CAS75	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และโซเดียมเคซิเนตความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 25/75
CAS100	โซเดียมเคซิเนตความเข้มข้น 2.5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
WAX 0%	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเจลาตินความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 50/50
WAX 5%	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเจลาตินความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 50/50 เติมแว็กซ์ความเข้มข้น 25% ลงไป 5% โดยน้ำหนัก
WAX 10%	โคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเจลาตินความเข้มข้น 2.5% สัดส่วน 50/50 ที่เติมแว็กซ์ความเข้มข้น 25% ลงไป 10% โดยน้ำหนัก
Shine C	สารเคลือบผิวเชิงพาณิชย์ (Supershine C [®])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่จึงมีรายได้หลักจากผลิตผลทางการเกษตร เช่น พืช ผัก และผลไม้ เป็นต้น ปัจจุบันเกษตรกรไทยประสบปัญหามากมาย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาภัยธรรมชาติ อันได้แก่ น้ำท่วม และฝนไม่ตกตามฤดูกาลหรืออาจเกิดจากสาเหตุที่ปุ๋ยหรือยาฆ่าแมลงมีราคาแพง ฯลฯ แต่ที่รุนแรงที่สุด คือ ราคาผลผลิตตกต่ำอันเนื่องมาจากการล้นตลาดของผลผลิต ซึ่งเป็นปัญหาที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างทันทั่วทั้งที่ จึงเป็นปัญหาที่สำคัญของชาติที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยตรง

มะนาวก็เป็นผลไม้ที่ประสบปัญหาดังกล่าวเช่นกัน โดยจะมีผลผลิตที่ล้นตลาดในช่วงของหน้ามะนาว ทำให้ผลผลิตมีราคาตกต่ำมาก และขาดแคลนในฤดูแล้ง ส่งผลให้ราคาของมะนาวพุ่งสูงขึ้น โดยปกติแล้วมะนาวของไทยจะออกดอกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนกรกฎาคม และทำการเก็บเกี่ยวผลของมะนาวตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนมิถุนายน รวมระยะเวลาจากวันที่ออกดอกถึงระยะเวลาที่ทำการเก็บเกี่ยวผลเป็นเวลาถึง 4 เดือน เมื่อถึงหน้ามะนาว มะนาวก็จะมีจำนวนมากเกินจนใช้ไม่ทัน ราคาก็ต่ำลง แต่เมื่อหมดฤดูกาล นั่นคือ ระยะเวลาเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่มะนาวเริ่มจะออกดอก ทำให้มะนาวมีราคาสูงมาก และมีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับตลาดที่มีความต้องการ

สาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของมะนาวสดหลังการเก็บเกี่ยวอันเนื่องมาจากเซลล์เกือบทุกเซลล์ของมะนาวยังไม่ตาย และยังทำหน้าที่หายใจ คายน้ำ สังเคราะห์แสง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งภายใน และภายนอกจะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา จนในที่สุดทำให้เกิดการเน่าเสีย จึงจำเป็นต้องมีวิธีที่จะช่วยชะลอ หรือยืดอายุการเปลี่ยนแปลงนี้ให้ช้าลง

โดยปกติผิวของมะนาวหรือเปลือกของผลไม้ส่วนใหญ่จะมีคิวติเคิล (Cuticle) เคลือบอยู่เป็นชั้นบางๆ ซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกันเป็นชั้นๆ จำแนกได้เป็น 3 ชั้น คือ [1]

1. ชั้นนอกสุด เรียกว่า อีพิกิวทิคูลาร์แว็กซ์ (Epicuticular Wax) ประกอบด้วยแว็กซ์ที่มีรูปร่าง และการจัดเรียงตัวหลายแบบ
2. ชั้นกลางประกอบด้วยคิวทิน (Cutin), ซูเบอร์ริน (Suberin) และ แวกซ์ (Wax)
3. ชั้นในสุดซึ่งติดกับเซลล์ประกอบด้วย คิวทิน ซูเบอร์ริน น้ำตาลประเภทแซคคาไรด์ (Polysaccharide) โปรตีน และแว็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแว็กซ์, คิวทิน และซูเบอริน มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน และแอลกอฮอล์ จะสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และจำกัดการแลกเปลี่ยนกันของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ แต่แว็กซ์ที่เคลือบที่ผิวจะหลุดออกง่าย เมื่อถูกจับต้องล้างทำความสะอาด หรือการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว จึงทำให้มะนาวมีอัตราการคายน้ำ และหายใจสูง ดังนั้นวิธีการเคลือบผิวมะนาวด้วยสารเคลือบผิว เพื่อทดแทนแว็กซ์ส่วนที่หลุดออกไปทำให้ลดการคายน้ำ และจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ ซึ่งอาจให้ผลที่ดีมากกว่า ผลที่มีแว็กซ์ติดอยู่อย่างสมบูรณ์ตามธรรมชาติ ถ้าเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารเคลือบได้เหมาะสม การเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นต่ำหรือบางเกินไป จะลดการคายน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้น้อย ส่วนกรณีที่ใช้ความเข้มข้นสูงหรือเคลือบหนาเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองสาร และยังจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซมากเกินไป อาจทำให้เนื้อเยื่อขาดก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจ อาจสะสมอยู่มากถึงระดับที่เป็นอันตรายกับเนื้อเยื่อได้ [1]

การใช้สารเคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้สารเคลือบผิวมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมการคายน้ำที่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักและอาการเหี่ยวเฉาของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการหายใจและช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ด้วย สารเคลือบผิวผลไม้สด โดยทั่วไปนิยมใช้สารสังเคราะห์ที่ผลิต และจำหน่ายในรูปพร้อมใช้ที่สำเร็จรูป สูตรจึงเป็นความลับทางการค้า และผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมักมีราคาแพง เมื่อนำมาเคลือบผลไม้จึงเป็นการเพิ่มราคาของผลไม้ให้มีราคาสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาต่อการแข่งขันในตลาดโลก ดังนั้น การศึกษาหาแหล่งของสารเคลือบผิวจากธรรมชาติที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย จึงน่าจะเป็นหนทางที่จะลดความเสียหายเปรียบได้

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลและอาหารทะเลแช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอาหารทะเลจำพวกกุ้งและปู ทำให้เกิดของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมจำนวนมาก เช่น เปลือกกุ้ง หัวกุ้ง และกระดองปู เมื่อทำการสกัดเปลือกกุ้งและหัวกุ้ง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ คือ ไคติน (Chitin) และอนุพันธ์ของไคติน คือ ไคโตซาน (Chitosan) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากเปลือกหรือกระดองของสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น กุ้ง ปู หอย ปัจจุบันได้มีไคตินจำนวนมากที่จัดเป็นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล ปริมาณไคตินดังกล่าวมีประมาณ 1.3×10^8 กิโลกรัมต่อปี [2] ถ้านำไคตินมาทำปฏิกิริยาดีอะซีทิลเลชัน (Deacetylation) ผลิตเป็นไคโตซาน จะสามารถเพิ่มมูลค่าของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหารทะเลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโตซานเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่มีขั้วชอบน้ำ (Hydrophilicity) ว่องไวต่อสารเคมี ละลายได้ดีในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก เป็นต้น แต่ไม่ละลายในสารละลายต่าง สามารถหล่อแบบ (Casting) ทำเป็นฟิล์มหรือเยื่อเลือกผ่านได้ง่าย โคโตซาน มีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น สมบัติการดูดซับโลหะหนัก ฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถยืดเกาะได้ดีกับประจุลบ ไม่มีพิษ (Nontoxicity) และเข้ากันได้ดีกับสารชีวภาพ (Biocompatibility) โคโตซานสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายหลาย เช่น ใช้เป็นสารกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย ของโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในอุตสาหกรรมยา โดยใช้เป็นสารเคลือบเพื่อควบคุมการปลดปล่อยยา (Controlled release of drugs) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้ทำหนังเทียม ใช้ทำเยื่อเลือกผ่าน ทำฟิล์มเพื่อยืดอายุอาหาร ทั้งยังสามารถรับประทานได้ด้วย เป็นต้น

เจลาติน (Gelatin) เป็นโปรตีนที่ได้สลายตัวครั้งแรกของคอลลาเจน (Collagen) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ที่พบในกระดูก ผิวหนัง และเอ็นจากสัตว์ ในปัจจุบันได้มีการใช้เจลาตินอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เป็นสารปรับแต่งเนื้ออาหาร สารช่วยเป็นเจล (Gelling agent) สารข้น (Thickener) สารเพิ่มความคงตัวในไอศกรีม อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์และการแพทย์ เป็นตัวประสานในเม็ดยา เป็นตัวดูดซับเลือดในขณะผ่าตัด เป็นต้น [3]

โซเดียมเคซิเนต (Sodium caseinate) เป็นโปรตีนที่สกัดได้จากน้ำนมบริสุทธิ์ ประกอบไปด้วยโปรตีนที่จำเป็นในแต่ละวันถึง 8 ชนิด โซเดียมเคซิเนตนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์จากแป้งหรือเบเกอรี่ (Bakery), ใส่ในไอศกรีม และทำเป็นครีมเทียม เป็นต้น [4]

ครั้ง คือ ยางหรือชั้นชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นสารที่ขับถ่ายออกจากตัวแมลงครั้ง แมลงครั้งจะอาศัยอยู่ตามกิ่งไม้ที่ใช้เลี้ยงครั้ง และใช้ปากซึ่งมีลักษณะเป็นปากดูดเจาะเข้าไปในกิ่งของต้นไม้ เพื่อดูดน้ำเลี้ยงมาเป็นอาหารและขับถ่ายครั้งออกมาจากภายในตัวครั้งตลอดเวลา เพื่อห่อหุ้มตัวเป็นเกราะป้องกันอันตรายจากสิ่งภายนอก มีลักษณะนิ่มเหนียวสีเหลืองทอง เมื่อถูกอากาศเป็นเวลานานๆ จะแข็งและมีสีน้ำตาล ครั้งที่เก็บได้จากต้นไม้เรียกว่าครั้งดิบ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เรซิน ชีผึ้ง สี ขาก ตัวครั้ง และสารอื่นๆ ส่วนที่ใช้เป็นประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม คือ สีครั้ง และเนื้อครั้ง

การเลี้ยงครั้งเป็นงานทำรายได้ให้แก่เกษตรกรในชนบทไม่น้อย เหมาะที่จะเป็นอาชีพเสริม เพราะใช้เวลาในการปฏิบัติงานไม่มากนัก ในปีหนึ่งๆ เกษตรกรอาชีพทำนามีเวลาว่างเหล่านี้นี้มาทำการเลี้ยงครั้งจะเกิดประโยชน์หลายทาง เช่น มีการปลูกต้นไม้เพิ่มขึ้น ซึ่งต้นไม้ที่สามารถเลี้ยงครั้งได้ในประเทศไทยมีไม่น้อยกว่า 30 ชนิด ผลผลิตจากต้นไม้เหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศรษฐกิจอย่างอื่นได้อีก และที่สำคัญที่สุด การเลี้ยงกุ้งสามารถเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรไม่น้อยในแต่ละปี ถึงแม้ราคาครั้งจะไม่แน่นอน แต่หากมีการเลี้ยงสม่ำเสมอมีผลผลิตครั้งทุกปี และใช้ครั้งพันธุ์ของตนเองแล้ว รายได้ก็ยังคงคุ้มค่ากับเวลาและแรงงานที่ใช้ในการเลี้ยง

โครงการพิเศษนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมสารเคลือบผักและผลไม้จากพอลิเมอร์ผสมเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ ทดแทนสารเคลือบเชิงพาณิชย์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยจะทำการศึกษาทั้งสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้สารเคลือบที่สามารถรับประทานได้ ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาตินและโคโตซานกับไซโตเดียมเคซิเนต นอกจากนี้ยังมีการผสมแวกซ์ (0-10%) ซึ่งเป็นแวกซ์ตามธรรมชาติเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน และโคโตซานกับไซโตเดียมเคซิเนต ที่มีการเติมครั้งในปริมาณต่างๆกัน เพื่อใช้เป็นสารเคลือบยืดอายุการเก็บรักษาที่มีสมบัติที่ดีในการเก็บรักษาผักและผลไม้ เช่น มะนาวหรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างโคโตซานกับเจลาตินและโคโตซานกับไซโตเดียมเคซิเนต
2. ศึกษาผลของปริมาณแวกซ์ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม
3. ศึกษาแนวเปรียบเทียบผลของสารเคลือบเชิงพาณิชย์ ซูเปอร์ไชน์ ซี (Supershine C[®]) กับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ในด้านสมบัติการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

1. ทราบถึงสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตซานกับเจลาติน และโคโตซานกับไซโตเดียมเคซิเนตที่ใช้ในการเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว
2. ทราบถึงปริมาณแวกซ์ที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ได้ต่อไป

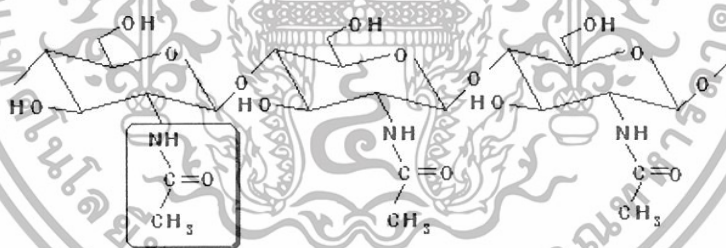
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไคตินและไคโตซาน [7], [8], [9]

ไคตินบริสุทธิ์เป็นวัสดุสีขาวเหมือนเยื่อกระดาษ ไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง สารละลายอัลคาไลน์ (ทั้งเข้มข้นและเจือจาง) และตัวทำละลายอินทรีย์ใดๆ แต่ละลายในกรดฟอร์มิก (Anhydrous formic acid) เข้มข้น ไคตินเป็นพอลิเมอร์ของเอ็น-อะซิทิล-2-อะมิโน-ดี-กลูโคส (N-acetyl-2-amino-deoxy-D-glucose) ปกติจะมีไนโตรเจนประมาณ 5-10 % โดยน้ำหนัก ไคตินที่ผ่านปฏิกิริยา Deacetylation จะได้เป็นไคโตซานที่เป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นพอลิเอมีนสายโซ่ตรง (Linear polyamine) มีหมู่เอมีนที่ว่องไว ต่อปฏิกิริยาเคมีและอยู่ในรูปเกลือเมื่ออยู่ในสภาวะกรดและแม้ว่าไคตินและไคโตซานมีพันธะ $[\beta(1\rightarrow4)]$ แอนไฮโดรกลูโคซิดิก $[\beta(1\rightarrow4)$ anhydroglucosidic] ที่ตำแหน่ง C_1 และ C_4 และตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิล ตรงตำแหน่งคาร์บอนปฐมภูมิ [primary (C_6)] และตำแหน่งคาร์บอนทุติยภูมิ [Secondary(C_3)] เหมือนในเซลลูโลสซึ่งแสดงดัง รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน [5]

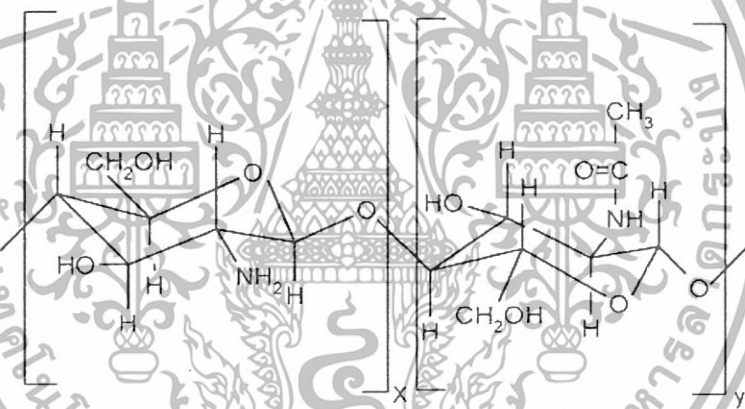
ขั้นตอนการสกัดไคตินแบ่งได้ 2 ขั้นตอน

1. การกำจัดแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูนด้วยสารละลายกรด
2. การกำจัดโปรตีนจากกากที่เหลือด้วยสารละลายต่าง ไคตินที่แยกได้จะถูกนำมาดัดแปลงด้วยวิธีทางเคมีอีกครั้งเพื่อให้ได้ไคโตซานตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไคโตซานถือเป็นสารเคลือบผิวที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ สารพัดประโยชน์ ได้จากการสังเคราะห์ไคตินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติประเภท พอลิแซ็กคาไรด์ ที่มีหน่วยซ้ำๆ กันคือ เอ็น-อะซิทิลกลูโคซามีน (N-acetylglucosamine) ไคตินจะ พบมากในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์ทะเลและแมลง เช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู ฯลฯ จัดเป็น พอลิเมอร์ชีวภาพที่พบมารองจากเซลลูโลส (Cellulose)

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์รูปหนึ่งของไคติน เราสามารถเปลี่ยนไคตินเป็นไคโตซานได้โดย ใช้ปฏิกิริยาเคมีกำจัดหมู่อะซิทิล (Acetyl) หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาดีอะซิทิลเลชัน (Deacetylation) ซึ่งสามารถทำได้โดยให้ไคตินทำปฏิกิริยากับด่างเข้มข้น ไคโตซานจึงมีโครงสร้างคล้ายกับไคตินแต่ ปราศจากหมู่อะซิทิลหรือมีบางส่วนขึ้นกับองศาของการดีอะซิทิลเลชัน (Degree of Deacetylation, DD) โครงสร้างประกอบด้วย 2-Acetamine-2-deoxy- β -D-glucopyranone (Glc Nac, A) และ 2-Amino-2-deoxy- β -D-glucopyranose (GlcN, D) ต่อกันดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเคมีของไคโตซาน อัตราส่วนของ x และ y ขึ้นกับองศาของการดีอะซิทิลเลชัน (Degree of Deacetylation, DD) ปกติแล้ว DD จะมีค่ามากกว่า 75% หมายความว่า โครงสร้าง x 75% y 25% [6]

ไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ทางชีวภาพที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ตรง มีโครงสร้างเซลลูโลส เนื่องจากไคตินและไคโตซานพบในเปลือกสัตว์ทะเล เช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู ฯลฯ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ผลิตได้จากของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมประมง พบว่าในเปลือกสัตว์ทะเลประกอบด้วย ไคติน 20-30 % โปรตีน 30-40 % และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 30-50 % อัตราส่วนนี้ไม่แน่นอนขึ้นกับพันธุ์สัตว์ทะเลและฤดูกาล ดังนั้นสมบัติต่างๆ จึง หลากหลายและไม่แน่นอน เช่น น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight, MW) องศาการดีอะซิทิลเลชัน

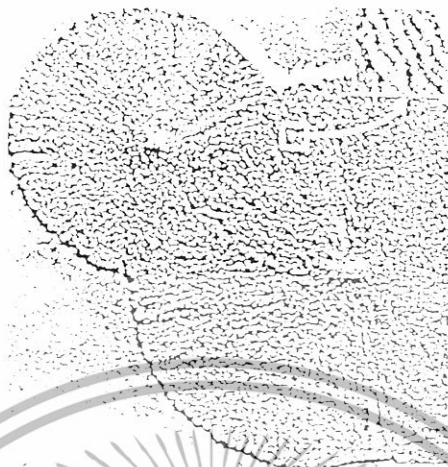
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Degree of deacetylation, DD), ความหนาแน่น, ความสามารถในการดูดจับสี (Dye binding capacity, DBC) และความสามารถในการดูดจับน้ำและไขมัน (Water and Fat Capacity, WBC, FBC)

จากการศึกษาโครงสร้างของไคโตซาน พบว่า ไคโตซานอยู่ในรูปผลึกที่มีน้ำอยู่ในโครงสร้าง (Hydrated crystalline form) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นโครงสร้างที่ไม่มีน้ำ (Anhydrated form) โดยการให้ความร้อนหรือแอนนีย์ล (Annealing) พบว่า โครงสร้างของไคโตซานที่ไม่มีน้ำเป็นโครงรูปแบบเกลียวสองเส้นพันกัน (2 – fold helical conformation) และ Unit cell แบบ Orthorombic จากการศึกษไคโตซานแบบน้ำ พบว่า โครงสร้างคล้ายกัน Unit cell ประกอบด้วยสายโซ่ไคโตซาน 4 โมเลกุล และมีน้ำ 8 โมเลกุล มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลข้างเดียว ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นแผ่นตามระนาบ BC ดังรูปที่ 2.3 รูปโครงสร้างโมเลกุลไคโตซาน เมื่อสูญเสียโมเลกุลน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.4 จากการศึกษการเกิดผลึกของไคโตซาน พบว่า ไคโตซานสามารถเกิดผลึกก้อนกลมหรือสเฟียรูไลต์ (Spherulites) ดังรูปที่ 2.5 ลักษณะผลึกจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิตกผลึก pH และอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นต้น

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีขั้วชอบน้ำ (Hydrophilicity) ว่างไวต่อสารเคมีสูง ละลายได้ดีในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ฯลฯ แต่ไม่ละลายในสารละลายต่าง สามารถหล่อแบบ (Casting) ทำเป็นฟิล์มหรือเยื่อเลือกผ่านได้ง่าย ไคโตซานมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ฟิล์มมีสมบัติเชิงกล การดูดจับโลหะหนัก สามารถยึดเกาะกับประจุลบ ไม่มีพิษ (Nontoxicity) และเข้าได้ดีกับชีวภาพ (Biocompatibility)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ผลึกแบบสเฟียรูไลท์ (Spherulites) ของไคโตซาน [9]

มีสมบัติการดูดซับโลหะหนักเพราะโครงสร้างไคโตซานมีหมู่อะมิโนในรูปปรับโปรตอน ทำหน้าที่เป็นตัวจับประจุที่ดีที่สามารถเกิดพันธะเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะกับหมู่อะมิโนได้ เช่น สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม สามารถยึดเกาะได้ดีกับประจุลบ ไม่มีพิษ เข้าได้ดีกับชีวภาพ ใช้เป็นสารเคลือบผิวผักและผลไม้เพื่อลดการสูญเสียและยืดอายุการเก็บรักษา

2.1.1 วิธีสังเคราะห์ไคติน-ไคโตซาน

นำเปลือกกุ้งหรือกระดองปูมาแยกโปรตีน (Protein separation) ออก โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแยกเกลือแร่ (Demineralization) โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก จากนั้นนำไปล้างแล้วทำให้แห้งจะได้ไคติน หลังจากนั้นนำไคตินที่ได้ไปทำการกำจัดหมู่อะซีทิล (Deacetylation) ออกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกด้วยน้ำ ทิ้งไว้ให้แห้ง จะได้ไคโตซาน

ไคโตซาน คือ พอลิเมอร์ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง เป็นอนุพันธ์ของไคติน พอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบในเปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนหมึก



เศษเปลือกกุ้ง ปู และแกนหมึกจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

ละลายแร่ธาตุ เช่น แคลเซียมออกไซด์ โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง

แยกโปรตีนออกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

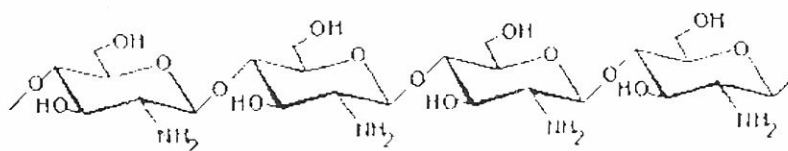
ฟอกสีโดยใช้สารละลายด่างทับทิม 0.5% และสารละลายกรดออกซาลิกหรือตากลแดด



เข้าสู่กระบวนการดัดหมู่อะซิทิลโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40-50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโตซาน



รูปที่ 2.6 การสังเคราะห์โคติน-โคโตซาน [10]

2.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโคติน-โคโตซาน

2.2.2.1 การละลาย (Solubility)

โคตินไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง ดังเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เข้มข้น กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) เข้มข้น กรดฟอสฟูริก (78-97%) กรดฟอร์มิก (Anhydrous formic acid) และ DMAc-LiCl (N,N-Dimethylacetamide-Lithiumchloride) ความยากของการละลายของโคตินในตัวทำละลายต่างๆ เป็นผลมาจากสายโซ่ที่อยู่กันอย่างหนาแน่น มีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน (หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะซีตามิโด) โคโตซานไม่ละลายน้ำ ดังและตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก เป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายโคโตซาน กรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟูริก สามารถละลายโคโตซานได้เช่นกัน ภายใต้กรรมวิธีที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายโคโตซานมีความเหนียวใส มีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ในสารละลายหมู่อะมิโนของโคโตซานจะแตกตัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pK_a) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์ โดย pK_a ของโคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 ถึง 6.8

2.1.2.2 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

โคตินในธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 1×10^6 ในขณะที่น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 Degree of deacetylation (DD)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตซาน เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง 2 มอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์แรกมากกว่า คือ มีค่า Degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของมอนอเมอร์ที่สองมากกว่า คือ มีค่า Degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

2.1.2.4 ความร้อนในการกระตุ้นให้เกิดการสลายพันธะแบบไฮโดรไลซิส (Hydrolysis heat of activation)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาการสลายพันธะที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สายโซ่พอลิเมอร์ของไคตินมีลักษณะเช่นเดียวกับเซลลูโลส คือ เป็นพันธะ Glycosidic linkage แบบ β (1 \rightarrow 4) ดังนั้น ไคตินจึงมี Hydrolytic heat of activation 29 kcal

2.1.2.5 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับหลายแหล่ง เช่น Degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น Ionic strength ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิโดยทั่วไปแล้ว ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแล้วแต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์ จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้น เมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

2.1.2.6 โครงรูปโมเลกุล (Molecular conformation)

ไคตินมีโครงสร้างของผลึก (Crystal structure) ที่แข็งแรงและมีระดับของผลึก (Degree of crystallinity) สูง Muzzarelli ได้เสนอรูปแบบผลึกของไคโตซานไว้เป็น 3 ลักษณะ คือ α -chitin, β -chitin และ γ -chitin แต่ละลักษณะแตกต่างกันที่การเกิดระบบของผลึก (Crystal system) และปัจจัยของการเกิดโครงผลึก (Crystal lattice) ของหน่วยเซลล์ภายในโครงสร้างผลึก ความแตกต่างนั้นเป็นผลมาจากรูปแบบการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในโครงผลึก สายโซ่โมเลกุลที่ยาวของไคตินจะมีการจัดเรียงตัวเป็นแผ่นซ้อนทับกัน (Plated sheet) ในโครงผลึกของหน่วยเซลล์ ซึ่งอาจเรียงตัวกันได้ 2 แบบ คือ แบบขนานที่มุ่งไปในทิศทางเดียวกัน (Parallel pattern) และแบบที่โครงสร้างเรียงตัวกันแบบสวนทางกัน (Anti-parallel pattern) α -chitin พบในเปลือกกุ้งและปู ส่วนไคตินที่พบในแกนปลาหมึกจะมีโครงสร้างที่เรียงตัวมุ่งไปทางเดียวกัน เกิดเป็น β -chitin การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลแบบ γ -chitin นั้นเกิดจากโครงสร้างสลับกันระหว่างสองแบบที่กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยธรรมชาติจะพบ α -form มากกว่า β -form และ γ -form ทั้งนี้เพราะมีการเกิดพันธะไฮโดรเจน ทั้งภายในและระหว่างสายโซ่ของโมเลกุล (Intramolecular and intermolecular chain) มากกว่า จึงทำให้มีเสถียรภาพทางเคมี (Chemical stability) มากกว่าแบบอื่น β -chitin มีเสถียรภาพทางเคมีรองมาจาก α -chitin ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า การมีเสถียรภาพที่น้อยทำให้มีโอกาสเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโครงสร้างจาก β -form เป็น α -form ในสารละลายกรดแก่และยังอีกโอกาสจับกับโมเลกุลของน้ำอย่างถาวรเป็นไคตินที่มีน้ำอยู่หนึ่งโมเลกุล (Chitin monohydrate) ได้อีกทางหนึ่ง โครงสร้างลักษณะผลึกของ α -chitin และ β -chitin แสดงดังรูป 2.7 [11]

รูปที่ 2.7 โครงสร้างผลึกของ α -chitin [11]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างผลึกของ β -chitin [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ชนิดประจุบวก (Cationic polyelectrolyte) เนื่องจากสารละลายกรดมีหมู่อะมิโนในสายโซ่โมเลกุลจะรับโปรตอน แล้วอยู่ในรูป -NH⁺ Conformation ของโคโตซานโมเลกุลในสารละลายสามารถบ่งชี้ถึงค่า Mark-Houwink exponent (ค่า a) ถ้า a มีค่าประมาณ 0.5-0.8 และ 1.8 บ่งชี้ว่า พอลิเมอร์เป็นทรงกลม (Sphere) มีลักษณะเป็น Random coil และมีลักษณะเป็นแท่ง (Rod) ตามลำดับ Conformation ของโคโตซานโมเลกุลที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับ Ionic strength ค่า pH, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของยูเรีย, น้ำหนักโมเลกุล และ Degree of deacetylation

2.1.3 วิธีสังเคราะห์โคติน-โคโตซาน

โดยปกติจะใช้โคตินในรูปแบบของแข็ง โดยบดเป็นผงหรือนำไปละลายเพื่อตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพก่อน หรือไปละลายในสารละลายในสารผสมของไดเมทิลอะเซทาไมด์ (DMAC) เอ็นเมทิลไพโรลิโดน (NMP) ในลิเทียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารที่มีพิษสูง

ส่วนโคโตซานมักถูกนำไปใช้ทั้งในรูปแบบของแข็งและสารละลาย โดยละลายในโคโตซานด้วยกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดกลูตามิก ฯลฯ จนได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวใส จากนั้นจึงนำโคโตซานไปใช้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

2.1.4 การทำงานของโคติน-โคโตซาน

โคติน-โคโตซานจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวสร้างตะกอน (ทำหน้าที่กระตุ้นให้เศษของเสียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและเป็นตะกอนลงมา) และตัวตกตะกอน (ทำหน้าที่จับกับสารแขวนลอยในน้ำแล้วตกตะกอนลงมา) ในตัวเดียวกัน เนื่องจากโคโตซานมีหมู่อะมิโนที่สามารถแตกตัวให้ประจุบวกจึงทำให้ประจุลบอย่างโปรตีน สีย้อม กรดไขมันอิสระ คอเลสเทอรอล เข้ามาเกาะกับประจุบวกของโคโตซาน ส่วนโลหะเป็นประจุบวก ในโตรเจนในหมู่อะมิโนของโคโตซานจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนกับโลหะหนักในน้ำทำให้เกิดพันธะเคมีที่เรียกว่า พันธะเชิงซ้อน (Co-ordinate) ขึ้นมา และจากการทดลอง พบว่า หมู่อะมิโนในโคโตซานจะสามารถจับกับโลหะหนักในน้ำได้ดีกว่าหมู่ซัลไฟด์ของโคติน ดังนั้นค่า Degree of acetylation โดยถ้ามีค่าสูง จะมีการดูดซับโลหะหนักได้มาก แต่ถ้าค่านี้นต่ำการดูดซับโลหะหนักก็จะแปรตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การเสื่อมสลาย (Degradation)

ไคติน-ไคโตซาน เหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์ทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลาย จะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ หรือโอลิโกแซคคาไรด์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า โมโนเมอร์ หรือโมโนแซคคาไรด์ โอลิโกเมอร์/โอลิโกแซคคาไรด์ของไคติน และไคโตซาน คือ N-acetyl-chitooligosaccharide และ Chitooligosaccharides ตามลำดับ ส่วนโมโนเมอร์/โมโนแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซานคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ

2.1.5.1 การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม จะได้โอลิโกเมอร์ลักษณะต่างๆ และมอนอเมอร์ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์ โดยไคตินจะสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน

2.1.5.2 การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline degradation)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของพอลิแซคคาไรด์ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า Peeling reaction

2.1.5.3 การเสื่อมสลายโดยความร้อน (Thermal degradation)

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นการให้ความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, Tg) ลดลง ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูง มีผลทำให้ไคโตซานเกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายไคโตซานจะลดลงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไคโตซานจะไม่ละลายในกรดอะซิติก (0.2M)/โซเดียมอะซิเตด (0.1M) สำหรับการอบแห้งแบบใช้ไอร้อนไคโตซานจะไม่ละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังการอบที่อุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การอบที่อุณหภูมिन้อยกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.4 ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

โคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ หมู่อะมิโน (-NH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2) หมู่ Primary alcohol (-CH₂OH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (C-6) และหมู่ Secondary alcohol (-CHOH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) การปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของทั้ง 3 หมู่ฟังก์ชันนี้ สามารถทำให้เกิดประโยชน์ต่างๆ มากมาย

2.1.5.5 ปัจจัยทางเคมีและกายภาพ ที่ผู้ซื้อต้องคำนึงถึงเพื่อนำไปใช้งานได้ตามต้องการ

Degree of deacetylation (%) ความชื้น (%) ปริมาณเถ้า (Ash content %) ปริมาณโปรตีน (Protein content %) ความหนืด (Viscosity; Centi-point; cp) น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight; g/mol)

2.1.6 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานโคโตซาน

โคโตซานเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่มีประโยชน์มากมาย และได้รับความสนใจอย่างมากจากนักวิทยาศาสตร์และประชาชนทั่วไปเนื่องจากมีสมบัติที่ได้หลายประการ เช่น

โคโตซานกับแพทย์ยุคใหม่

-เร่งให้แผลหายเป็นปกติได้เร็วขึ้น ลดความเจ็บปวด ลดการติดเชื้อ หยุดการไหลของเลือด ไม่ติดแผล ไม่มีผลกระทบและปฏิกิริยาต่อต้านของร่างกาย ช่วยในการรักษาหลังการผ่าตัดเหียงอกพบว่า โคโตซานแอลกอฮอล์เบตเจส สามารถช่วยให้เกิดการเจริญของเซลล์และการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ ช่วยห้ามเลือดและลดการเกิดหินปูน

โคโตซานกับภาคอุตสาหกรรม

-โคโตซานเป็นสารตรึงเอนไซม์ เวลาใช้ต้องให้โคโตซานเกิดการก่อตัวเป็นเจล (โดยใช้สารพวกไฟโรฟอสเฟส) ห่อหุ้มเอนไซม์ไว้ข้างในเราเรียกการตรึงนี้ว่า Entrapment ซึ่งจะช่วยในการลดการใช้เอนไซม์ นั่นคือ จะกักเอนไซม์ไว้หลายๆ รอบ ทำให้เอนไซม์ไม่เสียไปในระหว่างการผลิตและสามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่ได้อีก ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนที่สำคัญได้เป็นอย่างดี

โคโตซานกับการเกษตร

-โคโตซานสามารถก่อตัวเป็นฟิล์มบางใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ใช้เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรและเมล็ดพันธุ์ พวกมันทำงานได้ดี เนื่องจากฟิล์มบางที่ก่อตัวขึ้นจะช่วยลดอัตราการหายใจและผลิตก๊าซเอทิลีน (ฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่กระตุ้นให้ผักผลไม้สุกงอมเร็ว) ลดการเปลี่ยนสี (Browning) ของผักและผลไม้ และการรบกวนของเชื้อราและแมลง โคโตซานยังสามารถช่วยกระตุ้นการเกิดราก ทำให้อัตราการงอกของพืชเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ไคโตซานกับสิ่งแวดล้อม

-บทบาทที่สำคัญ คือ บำบัดน้ำทิ้ง น้ำเสีย มีความสามารถในการจับของแข็งที่แขวนลอยได้ดีและจับกับอะตอมของโลหะหนัก เช่น ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว ด้วยพันธะเชิงซ้อนได้ และยังมี การนำไคโตซานไปจับกับสารกัมมันตภาพรังสีอย่างพลูโตเนียมและยูเรเนียม อีกทั้งการนำไคโตซานไปผสมกับพลาสติกช่วยในการย่อยของพลาสติก

ไคโตซานกับอุตสาหกรรมอาหาร

-ใช้ถนอมอาหารเพื่อยืดอายุและป้องกันการสูญเสียจากแบคทีเรียและเชื้อรา โดยใช้ได้ทั้งกับอาหารสดและแบบปรุงสำเร็จ ใช้ผสมกับอาหารที่ต้องการควบคุมไขมันและคอเลสเตอรอลในร่างกายโดยทำเป็นอาหารหลัก อาหารเสริมและอาหารขบเคี้ยว ใช้ในการกรองและตกตะกอนของสิ่งเจือปนในอุตสาหกรรมน้ำตาลไม้ เบียร์และเครื่องดื่มต่างๆ

2.2 เจลาติน [12], [13], [14]

2.2.1 การสกัดเจลาติน

เจลาตินที่มาจากคอลลาเจน ซึ่งเป็นโปรตีนในเนื้อเยื่อฟึงผิดของสัตว์ เช่น เอ็นเนื้อฟึงผิด กระดูก หนังสัตว์ เกล็ดปลา ไตปลา เป็นต้น ในระหว่างหุงต้ม เมื่อคอลลาเจนเปลี่ยนเป็นเจลาติน จะมีผลทำให้เนื้อฟึงผิดมีลักษณะนุ่มลง ในน้ำซุ้จากกระดูกหรือไก่ คอลลาเจนจะเปลี่ยนเป็นเจลาติน เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ซุ้ปนั้นจะมีความอยู่ตัว คล้ายมีวุ้น ในทางการค้ามีการผลิตเจลาตินจากกระดูกสัตว์หรือเขาสัตว์ เริ่มแรกจะต้องเอาไขมันที่มีอยู่ออกเสียก่อน แล้วจึงนำเอาไปต้มในน้ำ ใส่กรดหรือด่างลงไปด้วย ในขณะที่ส่วนเป็นฟึงผิดได้รับความร้อน คอลลาเจนซึ่งเป็นโมเลกุลโปรตีนที่ใหญ่ จะสลายตัวให้โมเลกุลที่เล็กลงของเจลาติน กรองเอาส่วนน้ำต้มที่มีเจลาตินอยู่ ระเหยน้ำออก ทิ้งไว้ให้จับกันเป็นวุ้น แล้วจึงทำให้แห้งในรูปเป็นแผ่นเปราะ เป็นประกายของเจลาตินบริสุทธิ์ นำเอาแผ่นเจลาตินไปบดให้เป็นเม็ดเล็กๆ เจลาตินที่ใช้ปรุงอาหารนี้จะต้องถูกต้องตามมาตรฐานความบริสุทธิ์ นั่นก็คือ จะต้องผ่านการผลิตที่มีสภาพถูกสุขลักษณะ เจลาตินในกาวที่ทำให้กาวมีคุณสมบัติเหนียวนั้น ก็เป็นเจลาตินคล้ายในอาหาร แต่มีสิ่งเจือปนไม่บริสุทธิ์ต่างๆ ซึ่งในเจลาตินที่ใช้ปรุงอาหารจะมีไม่ได้

เจลาตินประกอบด้วยไกลซีน (Glycine) เป็นส่วนใหญ่ (เกือบ 1 ใน 3), โพรลีน (Proline) และ 4-ไฮดรอกซีโพรลีน (4-Hydroxyproline) โครงสร้างโดยทั่วไปคือ -Ala-Gly-Pro-Arg-Gly-Glu-4Hyp-Gly-Pro-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเจลลาติน [12]

2.2.2 ผลของประวัติทางความร้อนที่มีผลต่อเจลลาติน

สมบัติทางกายภาพของเจลลาตินเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับเวลา แม้แต่ที่อุณหภูมิคงที่ ดังนั้น ในการเปรียบเทียบระบบที่ทำให้เสถียรที่อุณหภูมิค่าหนึ่งกับระบบที่กำลังดำเนินไปที่อุณหภูมิเดียวกัน มีความจำเป็นที่จะต้องระบุอายุของเจล เช่นเดียวกับอุณหภูมิของระบบ ยกตัวอย่างเช่น สภาพแข็งแรงแมอดุลัส (Rigidity modulus) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเวลาหลายชั่วโมงหลังจากแข็งตัวแล้ว (Setting) และจะยังคงเพิ่มขึ้นอีก แต่ด้วยอัตราที่น้อยลง ซึ่งค่านี้ไม่เคยถูกพบมาก่อนว่าจะมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ได้มีผู้พบสภาพแข็งแรงแมอดุลัสจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งภายใน 2-3 ชั่วโมง ถ้าเจลถูกทำให้เย็นและปล่อยให้ที่อุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นช้ามาก โดยความคงที่ที่ปรากฏให้เห็นนี้จะเรียกว่า เจลสมดุล (Equilibrium gel)

จากคำอธิบายเกี่ยวกับการเกิดเจล จะเห็นว่าเจลได้เข้าสู่สภาวะอีกสภาวะหนึ่งแล้ว โดยถ้าเจลถูกทำให้เย็นลงแล้วทำให้ร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ทำการวัด สมบัติต่างๆจะยังคงเหมือนเดิม แต่ถ้าเจลถูกทำให้มีอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ และทำให้กลับมามีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ทำการวัดอีกครั้งหนึ่ง สมบัติต่างๆ ของเจลที่สมดุลก็ไม่เหมือนเดิมได้อีกเลย

ปรากฏการณ์เช่นนี้ไม่ได้ผิดปกติแต่อย่างใด แต่เป็นปรากฏการณ์ตามปกติของโครงสร้างโครงข่ายพอลิเมอร์ (Polymer network structure) ที่จะถูกทำให้เสถียรโดยแรงทุติยภูมิ (Secondary force) การก่อดัวของโครงข่ายเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับอันตรกิริยาของพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ (Polymer-polymer interaction) และอันตรกิริยาของพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย (Solvent-polymer interaction) ความสมดุลนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างมาก และโครงสร้างโครงข่าย จะขึ้นอยู่กับวิธีการก่อดัวซึ่งจะขึ้นอยู่กับประวัติทางความร้อนของระบบอีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสารละลายเจลาตินถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วมาก จะทำให้โมเลกุลได้รับผลของการแข็งตัว (Frozen effect) ในช่วงแรกของโครงแบบ (Configuration) ก่อนที่โมเลกุลจะเย็นตัว ทำให้ระบบไม่เป็นระเบียบ และถ้าการเย็นตัวไม่เร็วอย่างเพียงพอ เมื่อสัมผัสกับโมเลกุลอื่นที่อยู่ข้างเคียงก็จะเกิดพันธะอ่อนจำนวนมากระหว่างสายโซ่ที่พันกันอยู่ โครงสร้างที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า โครงข่ายเจลาติน (Network) เพราะขอบเขตของโมเลกุลเจลาติน 1 ตัว ในสารละลายไปซ้อนทับกับขอบเขตของโมเลกุลรอบข้าง นอกเสียจากความเข้มข้นจะน้อยกว่า 2 มิลลิกรัม/เซนติเมตร

ในทางตรงกันข้าม การเย็นตัวอย่างช้าๆ ก็จะทำให้เกิดเครือข่าย (Coarse network) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเจลที่เจือจาง ลิงค์ (Link) การสัมผัสกันระหว่างสายโซ่ในสารละลาย จะทำให้เกิดพันธะระหว่างสายโซ่ (Interchain bonding) แต่จะมีเพียงพันธะที่แข็งแรงที่สุดเท่านั้นที่จะสามารถทนอยู่ได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พันธะอื่นๆ ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณใกล้เคียง และต่อเมื่อการเคลื่อนไหวทางความร้อนของสายโซ่ได้นำจุดเกิดพันธะเหล่านั้นเข้ามาใกล้กันเพียงพอ

โดยวิธีนี้ การรวมตัวของโมเลกุลจะเกิดขึ้นก่อน และต่อมาโครงสร้างโครงข่ายที่สมบูรณ์ก็จะพัฒนาขึ้นอย่างช้าๆ ถึงแม้ว่าเจลโครงข่ายจะได้ขยายไปทั่วทั้งสารละลายแล้ว Link ก็ยังคงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนของสายโซ่ (Chain segment) ระหว่าง Link ก็จะมีการเคลื่อนที่ทางความร้อนไปด้วย แม้ว่าความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่จะถูกจำกัดให้น้อยลงกว่าสภาพที่เป็นสารละลาย แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดพันธะใหม่ขึ้นตามธรรมชาติ แล้วการพัฒนาของโครงข่ายจะช้าลง เมื่อสารละลายมีอายุมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของโครงข่ายจึงมักเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในเจลเจลาติน ทั้งนี้เนื่องจากสายโซ่เปปไทด์มีความอ่อนตัวมาก มีปริมาณไกลซีน (Glycine) ที่สูง และลักษณะที่เป็นพลศาสตร์ (Dynamic) ของพันธะไฮโดรเจน

2.2.3 การละลาย (Solubility)

เจลาตินแบบที่ทำให้แห้งโดยการผึ่งลม จะละลายในน้ำอุ่นได้ง่าย ถ้าอุณหภูมิของเจลาตินถูกทำให้เปียกและมีเวลาในการบวมตัว (Swell) อย่างเพียงพอ จะมีเพียงเจลาตินที่ละลายตัวได้มากๆ เท่านั้นที่สามารถละลายในน้ำเย็นแล้วเป็นสารละลายที่เสถียรได้ ส่วนเจลาตินที่ทุกๆ ไปจะมีความสามารถในการบวมตัวในน้ำเย็นเท่านั้น และจะสามารถละลายได้อย่างช้าๆ ถ้ามีการเติมสารที่ละลายพันธะไฮโดรเจนลงไปในความเข้มข้นที่เพียงพอ ซึ่งในกรณีนี้จะไม่มีการบวมตัวเกิดขึ้น

การนำไปใช้ในเชิงการค้า (อาหาร ยา และการถ่ายภาพ) จะใช้เจลาตินในรูปของสารละลายในทางปฏิบัติแล้ว เจลาตินจะไม่ละลายในแอลกอฮอล์บริสุทธิ์, อะซีโตน (Acetone), คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride), อีเทอร์ (Ether), เบนซีน (Benzene), ปีโตรเลียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีเทอร์ (Petroleum ether) และตัวทำละลายอินทรีย์แบบไม่มีขั้ว (Non-polar) เป็นส่วนมากแต่จะสามารถละลายได้ในน้ำ กรดอะซิติก (Acetic acid) และสายละลายเจือน้ำของพอลิไฮดริค แอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) เช่น กลีเซอรอล (Glycerol), โพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol), เซอร์บิทอล (Sorbitol) และแมนนิทอล (Mannitol) ความหนืดของสารละลายเจลาตินจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

เมื่อเจลาตินที่แห้งดูดซับความชื้นจะคายความร้อน ส่วนอัตราและปริมาณของการบวมตัวเมื่ออมความชื้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของเจลาติน เจลาตินที่บวมตัวแล้วจะละลายอย่างรวดเร็วในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส เจลาตินที่ถูกทำให้แห้งโดยใช้ความเย็นพร้อมองค์ประกอบของน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ จะสามารถละลายในน้ำเย็นได้อย่างรวดเร็ว ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ผสมกับน้ำได้จะสามารถเข้ากับเจลาตินได้ แต่จะมีผลต่อคุณสมบัติการเกิดเป็นเจล

2.2.4 เสถียรภาพ (Stability)

เมื่อเก็บเจลาตินที่แห้งไว้ในภาชนะที่ป้องกันอากาศภายนอกได้ที่อุณหภูมิห้อง จะสามารถเก็บไว้ได้หลายปี แต่เจลาตินจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และจะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการสลายตัวที่สมบูรณ์ เจลาตินในรูปของสารละลายน้ำหรือเจลจะเป็นแหล่งเจริญเติบโตที่ดีของแบคทีเรีย และถูกทำให้สลายตัวโดยโปรตีโอไลติกเอนไซม์ (Proteolytic enzyme) ความเสถียรของเจลาตินขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง และชนิดของอิเล็กโตรไลต์ ความเสถียรของเจลาตินจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ

2.2.5 การกระจายตัวของเจลาตินแห้ง

เจลาตินที่พบในท้องตลาดจะบรรจุเป็นซอง เมื่อเติมน้ำร้อน คนให้กระจาย เจลาตินขนาดอาจใหญ่เกินไป ควรบดก่อน ซึ่งจะทำให้กระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น อาจป้องกันการจับตัวเป็นก้อนด้วยการแช่ในน้ำเย็น (โดยใช้ปริมาณน้ำเย็น 3-4 เท่าของปริมาณเจลาติน) การแช่น้ำช่วยการกระจายตัวในน้ำร้อนได้ดี อุณหภูมิของน้ำร้อนมีผลต่อการกระจายตัว อุณหภูมิหลังจากเติมลงในเจลาตินแล้วอย่างน้อยควรเป็น 53 องศาเซลเซียส หรืออาจจะนำเจลาตินที่แช่ในน้ำเย็นไปตั้งไฟ จะได้เป็นสารละลาย ส่วนที่มีขั้ว (Polar groups) ของโมเลกุลเจลาตินช่วยทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ โมเลกุลน้ำก็อาจจะจับกับโมเลกุลน้ำชั้นแรก สร้างเป็นชั้นของน้ำล้อมรอบแต่ละเจลาตินโมเลกุล เจลาตินจะต้องถูกไฮเดรตอย่างเพียงพอ ก่อนที่จะเกิดเป็นสารละลายคอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแตกต่างจากเคซีนที่โมเลกุลแขวนลอยเป็นสารละลาย เนื่องจากถูกไฮเดรตและมีประจุคล้ายกัน ในโมเลกุลในโมเลกุลที่จะผลึกกัน โปรตีนส่วนมากถูกแปรสภาพธรรมชาติด้วยความร้อนแต่ เจลาตินจะไม่ถูกแปรสภาพธรรมชาติ เนื่องจากมีโพลีเมอร์ปริมาณสูง

การพองตัวของเจลาตินจะมีมากน้อยแค่ไหนขึ้นกับ

- 1) พื้นผิวหน้า
- 2) pH ถ้ามีความเป็นด่างเพิ่ม จะพองตัวดีขึ้น แต่ก็มีขีดสูงสุดคือ pH 9 ถ้าสูงกว่านี้จะสลายตัวให้กรดอะมิโน
- 3) เกลืออนินทรีย์ที่มีอยู่หรือเติมลงไป

2.2.6 การเกิดเจลของสารละลายเจลาติน

เจลาติน คือ การที่สารละลายเจลาตินจะจับตัวกันแข็งเป็นก้อน ก้อนนี้จะพองตัวในน้ำเย็น และจะเป็นไฮโดรโซล (Hydrosol) ในน้ำร้อน และเมื่อน้ำเย็นลงจะกลายเป็น Hydrogel ก้อนพองตัวได้เพราะเกิด Hydration และเป็น Hydrosol เพราะเกิด Peptization คือ การที่ Colloidal particles แยกตัวออกและเมื่อก้อนเย็นลงมันจะยึดกันไว้ และออกมาเป็นก้อนที่ทรงตัวอยู่ ถ้ามีก้อนไม่พอ น้ำจะไม่ถูกดึงดูดไปหมด ฉะนั้นจึงเกิดเป็นก้อนที่ทรงตัวไม่ได้ สมบัติที่เห็นได้ชัดเจนหนึ่งของก้อน คือ การที่ก้อนสามารถมีสภาพเป็น Sol ได้ในอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า และถ้ามีความเข้มข้นเพียงพอ จะสามารถเปลี่ยนสภาพเป็น Gel ในอุณหภูมิต่ำกว่านี้เล็กน้อย สภาพการเป็น Sol และ Gel นี้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง เช่น Viscosity, Rigidity หรือ Elasticity เป็นต้น

2.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวแข็งเป็นก้อน

สิ่งที่มีผลต่อการจับตัวกันเป็นก้อน ได้แก่

- 1) ระยะเวลาที่จะจับตัวกันเป็นก้อน ขึ้นกับ ความเข้มข้นและอุณหภูมิ ถ้าเข้มข้นน้อย อุณหภูมิสูง จะต้องเสียเวลานานขึ้น ส่วนผสมเจลาตินจะต้องคลายความร้อนเสียก่อน จึงจะเกิดการจับตัวเป็นก้อนได้ และเมื่อเริ่มการจับตัวกันเป็นก้อนแล้ว จะทรงตัวอยู่ได้ดียิ่งขึ้น ตามระยะเวลาที่วางทิ้งไว้ ก้อนจากเจลาตินซึ่งได้จากกระดูก หนัง และเอ็น แม้จะตีให้แตกตัวจากกัน ก็สามารถจะรวมตัวกันเป็นก้อนได้อีก ซึ่งเป็นสมบัติอันหนึ่งที่ก้อนสาหร่ายไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความเข้มข้น ถ้ามาก ระยะเวลาการจับตัวกันแข็งเป็นก้อนก็จะน้อยลง อาจใช้ก้อนแห้ง 1-2 กรัม ต่อน้ำ 98-99 กรัม ก้อนที่วางขายอาจมีลักษณะต่างกัน จึงอาจต้องใช้ความเข้มข้นต่างกัน เพื่อเนื้อสัมผัสดี ถ้าจะทำมากๆ ควรใช้วิธีซึ่งดีกว่าการตวง

3) อุณหภูมิ ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นก็ควรเพิ่มขึ้นด้วย ยิ่งอุ่นคลายร้อนช้าลงเพียงใด ก็จะสามารถจับตัวแข็งเป็นก้อนในอุณหภูมิสูงไปด้วย Hydrosol นั้น อาจทำให้เย็นลงได้ โดยการแช่น้ำแข็งไว้ หรืออาจตั้งทิ้งไว้ให้คลายร้อนในอุณหภูมิห้อง ซึ่งจะอยู่ตัวได้ดีกว่า เมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำมากๆ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส ไม่ว่าจะเข้มข้นเพียงใด ส่วนผสมเจลาตินก็จะไม่จับตัวแข็งเป็นก้อนได้ เพราะเป็นอุณหภูมิเกิด Sol เจลาตินชนิดต่างๆ จะมีอุณหภูมิการแข็งตัวไม่เท่ากัน แม้จะเข้มข้นเท่ากัน อาจที่ 10 องศาเซลเซียส 14-16 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ใช้เป็นอาหารได้ไม่ดี เพราะจะกลับเหลวได้ง่าย ส่วนผสมเจลาตินที่จับตัวกันแข็งเป็นก้อนในอุณหภูมิสูง จะไม่ละลายง่ายเหมือนที่จับตัวกันในอุณหภูมิต่ำ

4) pH : เจลาตินละลายตัวได้ง่าย ถ้า pH ต่ำกว่า 6

2.3 โซเดียมเคซิเนต [15], [16], [17]

โซเดียมเคซิเนตเป็นอนุพันธ์ของเคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนหลักในนม โดยโซเดียมเคซิเนตจะมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่แข็งแรง สามารถละลายในน้ำร้อนหรือน้ำเย็นก็ได้ และสมบัตินี้เอง โซเดียมเคซิเนตจึงเหมาะสมที่จะมีการนำไปใช้เป็นฟิล์มที่สามารถรับประทานได้ องค์ประกอบต่างๆ ของโซเดียมเคซิเนต แสดงดังตารางที่ 2.1 ในอุตสาหกรรมอาหาร โซเดียมเคซิเนตจะใช้ในการเพิ่มไขมันและน้ำในอาหารเพื่อป้องกันการหดรัดตัว ซึ่งจะทำให้ส่วนผสมของอาหารกระจายตัวได้ดี อาหารก็จะมีกลิ่นและรสชาติที่ดี โซเดียมเคซิเนตประกอบด้วยโปรตีน 90% นอกจากนั้นโซเดียมเคซิเนตยังมีสายโซ่ของธาตุและกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์และมีค่าการบำรุงร่างกายที่สูงอีกด้วย จึงได้มีการนำเอาโซเดียมเคซิเนตไปใช้ในอาหารต่างๆ มากมาย เช่น ขนมปัง นม เครื่องดื่มที่มีพวกกรดแลคติก ครีมเทียม เนื้อสัตว์ และยังมีมีการนำไปใช้ในเครื่องสำอางค์ ยา กระจกและสิ่งต่างๆ ในชีวิตประจำวันอีกมากมาย

การขึ้นรูปฟิล์ม ทำได้โดยผสมโซเดียมเคซิเนตในน้ำกลั่น (10% W/V) เพื่อเป็นการเพิ่มสมบัติของฟิล์ม จึงจำเป็นต้องเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไป จากนั้นจึงให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ซึ่งต้องทำการปั่นกวนไปด้วย หลังจากนั้นทำการไล่ฟองแล้วหล่อเป็นฟิล์มได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มที่ได้จะถูกนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการละลายน้ำ การซึมผ่านของก๊าซ และไอน้ำ ความต้านทานเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสมบัติทางแสง เป็นต้น พบว่าการซึมผ่านของไอน้ำจะเพิ่มตามองค์ประกอบของพลาสติกไฮเซออร์ที่เพิ่มขึ้น มีค่าการเลือกผ่านของ CO₂ และ O₂ ที่สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีน้ำเป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้น ฟิล์มก็จะมีเปอร์เซ็นต์การยืด (%Elongation) ที่สูง แต่ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) จะมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลของความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกไฮเซออร์และความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนที่มีผลต่อแรงกระทำต่อฟิล์มของพันธะระหว่างโปรตีนกับพลาสติกไฮเซออร์และโปรตีนกับโปรตีน

ฟิล์มห่อหุ้มมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้ควบคุมปริมาณก๊าซและควบคุมความชื้นของอาหารจากสิ่งแวดล้อม อันเป็นการเพิ่มอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของโซเดียมเคซีนเตต [15]

	Sodium caseinate
Moisture (%)	3.8
Protein (%)	91.4
Ash (%)	3.6
Lactose (%)	0.1
Fat (%)	1.1
Sodium (%)	1.2-1.4
Calcium (%)	0.1
Iron (mg/kg)	3-20
Copper (mg/kg)	1-2
Lead (mg/kg)	<1
pH	6.5-6.9
Solubility (%)	100
Farinograph water absorption (%)	271

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ครั่ง

ผลผลิตครั่งที่สำคัญ ได้แก่

ครั่งดิบ (Stick Lac) ซึ่งเป็นครั่งที่ผู้เลี้ยงขูดหรือแกะออกจากกิ่งไม้ ต้นไม้ ที่ใช้เลี้ยงครั่ง เหลือแต่เนื้อครั่ง จะมีวัตถุเจือปนอยู่หลายอย่าง เช่น ชัน สีครั่ง ชี้ผึ้ง ซากของแม่ครั่งที่ตาย กิ่งหรือ เปลือกไม้ เป็นต้น

ครั่งเม็ด (Seed Lac) เป็นครั่งดิบที่นำมาแยกสิ่งเจือปนออก โดยการตำหรือบดครั่งดิบให้ แตกออกเป็นก้อนหยาบๆ หลังจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรง และนำเอาครั่งที่ได้ไปล้างน้ำ จะได้ ครั่งสีแดง ซึ่งจะนำไปย้อมผ้าได้ การล้างครั่งจะล้างจนกระทั่งน้ำใส จึงนำเอาครั่งที่ได้ออกตากที่ร่ม ที่มีลมผ่านตลอดเวลา จะได้ครั่งที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 8-13 ก็สามารถจำหน่ายได้ (ครั่งดิบ 100 กิโลกรัม จะผลิตครั่งเม็ดได้ 80 กิโลกรัม)

เชลแลค (Shellac) เป็นครั่งที่นำมาจากครั่งดิบและครั่งเม็ด บรรจุในถุงผ้าให้ความร้อน และบิดถุงผ้าให้แน่นขึ้นเรื่อยๆ เนื้อครั่งจะค่อยๆ ซึมออกจากถุงผ้า ใช้มีดหรือวัสดุปาดเนื้อครั่งที่ซึม ออกมา ใส่บนภาชนะที่อังด้วยความร้อนจากไอน้ำ จะช่วยให้เนื้อครั่งนั้นมีความอ่อนตัว หลังจากนั้นนำเนื้อครั่งที่ได้ มาทำการยัดเป็นแผ่นบางๆ ในขณะที่ครั่งยังร้อนอยู่ แล้วปล่อยให้เย็น จึงหัก ออกเป็นชิ้นเล็กๆ เรียกว่า เชลแลค เชลแลคที่ดี ต้องละลายหมดในตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ จึงจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี (ครั่งดิบประมาณ 100 กิโลกรัม หรือครั่งเม็ดประมาณ 85 กิโลกรัม ใช้ ทำเชลแลคได้ 65 กิโลกรัม)

ครั่งแผ่น (Button Lac) หรือครั่งกระดุม เป็นครั่งที่นำมาหลอมออกทำเป็นแผ่นกลม ลักษณะคล้ายกระดุม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 นิ้ว และหนาประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่นิ้ว คลังแผ่นมีวิธีทำคล้ายกับเชลแลค แต่ต่างกันที่เมื่อทำการย้ายครั่งที่หลอมละลายดีแล้ว ใช้เหล็ก ป้ายครั่ง ซึ่งกำลังร้อนๆ อยู่ หยอกลงไปบนแผ่นเหล็กหน้าเรียบที่สะอาดและขัดเป็นเงาให้ได้ขนาด ที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้เย็น จะได้ครั่งแผ่นที่ต้องการ

ครั่งเมื่อนำมาแยกเอาสารที่ไม่หลอมละลายออกแล้ว จะได้เป็น ผลิตภัณฑ์เชลแลค ที่เป็น แผ่นบางๆ หรือเม็ดเล็กๆ เชลแลคที่ดีจะต้องละลายหมดในตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ จึงจะ นำไปใช้ประโยชน์ได้ดี ปัจจุบันมีการนำเอาเชลแลคมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมยาง นอกจากนี้ยังมีการนำเอาเชลแลคมาใช้ ในการเคลือบผิวผลไม้ ทำให้เหี่ยวช้าลงกว่าปกติได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 พอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสม หมายถึง พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ทั้งนี้องค์ประกอบที่เป็นส่วนน้อยต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่า 2 % โดยน้ำหนัก โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันนี้อยู่ร่วมกัน และสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้นี้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติในการนำไปใช้งานของพอลิเมอร์ที่ต้องการ

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ผสมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ พอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (Miscible blend) และพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Immiscible blend) ซึ่งปรากฏให้เห็นเป็นหลายวัฏภาค

2.5.1 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมสามารถเตรียมได้หลายวิธี ดังนี้

1. การผสมเชิงกล (Mechanical blend) เป็นที่นิยมใช้กันมาก พอลิเมอร์ผสมอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นผงหรือเป็นเม็ด อาจเติมสารช่วยผสมเพื่อป้องกันการแยกวัฏภาค ทำให้สมบัติทางกายภาพและเชิงกลดีขึ้น นำมาหลอมรวมกันโดยใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของพอลิเมอร์ดั้งเดิม และสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิเมอร์กิ่งผลึก ข้อดีของวิธีนี้คือ ค่าใช้จ่ายต่ำ เพราะไม่ต้องใช้ตัวทำละลาย ไม่ต้องเสียเวลาในการกำจัดตัวทำละลาย และไม่เกิดการปนเปื้อน ข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิสูง ถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิอย่างระมัดระวังอาจทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพ เปลี่ยนสี และสมบัติเชิงกลลดลง

2. การผสมเชิงเคมี-กล (Mechanochemical blends) พอลิเมอร์ถูกผสมด้วยแรงเฉือนที่มากพอ ทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพ (Degradation) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ จากนั้นจะผสมรวมกันได้เป็นโคพอลิเมอร์แบบบล็อกและแบบต่อกิ่ง

3. การผสมสารละลาย (Solution blends) ละลายพอลิเมอร์โดยใช้อุณหภูมิสูงและแรงเฉือนต่ำ แต่จะมีการปนเปื้อนจากตัวทำละลาย

4. การผสมลาเท็กซ์ (Latex blends) วิธีนี้อนุภาคเล็กๆ ของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันเกิดการกระจาย (Dispersion) ในน้ำ และเกิดการผสมกัน จากนั้นจับตัวเป็นกลุ่มก้อน

5. การผสมทางเคมี (Chemical blends) แบ่งได้ 4 ลักษณะ

- 5.1 Interpenetrating polymer networks (IPN) พอลิเมอร์ที่มีพันธะเชื่อมโยงเกิดการรวมตัวกับมอนอเมอร์ต่างชนิด โดยที่มอนอเมอร์เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันและเกิดการเชื่อมโยงสอดประสานกับพอลิเมอร์เชื่อมโยงที่มีอยู่เดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 Simultaneous interpenetrating polymer networks (SIN) มอนอเมอร์ต่างชนิดผสมกัน จากนั้นเกิดไฮโมพอลิเมอร์ไรเซชันและเกิดการเชื่อมโยง แต่ไม่เกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน

5.3 Semi-interpenetrating polymer network (Semi-IPN) มอนอเมอร์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันถูกผสมกับเทอร์โมพลาสติก จากนั้นมอนอเมอร์เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้เป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยง

5.4 Interpenetrating elastomeric networks (IEN) คือ พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่เกิดการเชื่อมโยงหลังจากเกิดการจับเป็นกลุ่ม

2.5.2 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม

ประเภทของพอลิเมอร์ผสม แบ่งตามหลักฐานวิทยาได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. พอลิเมอร์ที่ผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible) โมเลกุลพอลิเมอร์ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดอยู่รวมกัน มองเห็นเป็นวัฏภาคเดียว ในโมเลกุลของพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงดึงดูดกัน สมบัติของพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายกับพอลิเมอร์แบบสุ่ม ซึ่งพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีน้อย เช่น ยางธรรมชาติกับพอลิบีทาไดอิน

2. พอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible) พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้แยกออกจากกันเป็น 2 วัฏภาคอย่างชัดเจน โดยที่พอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยเป็นวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) พอลิเมอร์ที่มีปริมาณมากเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทนี้ เช่น พอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน

3. พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้บางส่วน (Partially miscible) พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้ อาจรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ ถ้ามีปริมาณของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งน้อยกว่า ถ้าอัตราส่วนเท่ากันจะแยกออกเป็น 2 วัฏภาค พอลิเมอร์อาจจะแทรกเข้าไปอยู่ในระหว่างผิวของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งจะช่วยให้วัฏภาคมีแรงยึดเหนี่ยวที่มากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมชนิดนี้มีสมบัติที่ดี เช่น พอลิเอทิลีนกับพอลิไอโซบิวทิลีน

2.5.3 ความสามารถในการเข้ากันได้

ความสามารถในการเข้ากันได้ (Miscibility) หมายถึง ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดยที่สมบัติของพอลิเมอร์ผสมชนิดไหนมาจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักรวมกัน ซึ่งทราบได้จากการศึกษาและทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุและปัญหาที่ทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้แก่

1. พลังงานอิสระของการผสม (Free energy of mixing) มีค่าเป็นบวกทำให้เกิดการแยกวัฏภาคระหว่างพอลิเมอร์

เทอร์โมไดนามิกส์ของการละลายเข้ากันได้เป็นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการผลิตพอลิเมอร์ผสม โดยความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ถูกกำหนดโดยสมดุลเอนโทรปี ซึ่งมีผลต่อค่าพลังงานอิสระในการผสม สารโมเลกุลเล็กมีค่าเอนโทรปีสูงพอที่จะเกิดความสามารถในการละลายเข้ากันได้ แต่สำหรับพอลิเมอร์ซึ่งจัดเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่มีค่าเอนโทรปีต่ำจนเกือบเป็นศูนย์ จึงทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมถูกกำหนดโดย เอนทาลปีเพียงอย่างเดียว โดยที่การเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระในการผสมเป็นดังสมการที่ (2.1)

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2.1)$$

เมื่อ ΔG คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระในการผสม

ΔH คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีในการผสม

ΔS คือ การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสม

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของผสม

การที่พอลิเมอร์สามารถผสมเข้ากันได้พลังงานอิสระในการผสมต้องตรงตามเงื่อนไขตามสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$\Delta G < 0 \quad (2.2)$$

$$\left[\frac{\partial^2 \Delta G}{\partial \phi^2} \right]_{PT} > 0 \quad (2.3)$$

เมื่อ ϕ เป็นเศษส่วนโมลของพอลิเมอร์หนึ่งองค์ประกอบ

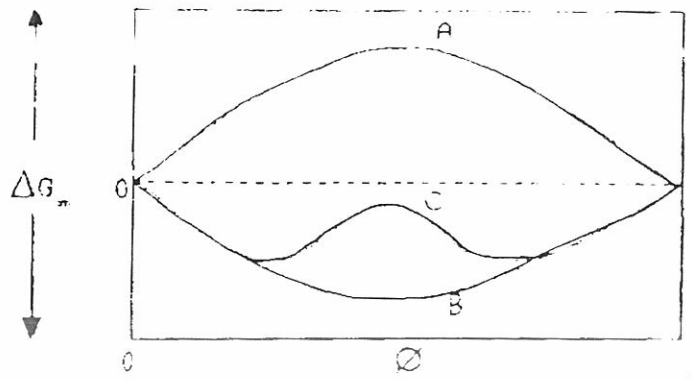
2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ที่ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น แรงดึงดูดระหว่างขั้วและพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นทั้งโมเลกุลของสายโซ่หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่เฉพาะเจาะจงในสายโซ่พอลิเมอร์เท่านั้น

3. ส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมส่งผลทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนไป

4. ในการเขียนกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ใช้ สมบัติที่ทดสอบจะต้องได้จากการแยกออกจากกันในแต่ละวัฏภาค แต่บางครั้งพอลิเมอร์ที่ได้ไม่ได้แยกวัฏภาคอย่างเด่นชัด

5. พบว่าการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน อาจทำให้กระบวนการตกผลึกของพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้สมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์ [19]

เมื่อ A แสดงถึงความเข้ากันไม่ได้ของพอลิเมอร์

B แสดงถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์

C แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วนของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatible blend) จำเป็นต้องนำมาปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของวัสดุพอลิเมอร์ทั้งสอง เพื่อให้สมบัติทางกลดีขึ้น โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ประการ คือ องค์การกระจายตัวของวัสดุพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด และรูปร่างและขนาดอนุภาคในวัสดุกระจายตัวในพอลิเมอร์ผสม ปัจจัยเหล่านี้ขึ้นกับสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และลักษณะการไหลของพอลิเมอร์หลักที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองชนิด รวมถึงวิธีการผสม สภาวะในการผสมและกระบวนการขึ้นรูปด้วย

โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถเข้ากันได้ เรียกว่า Heterogeneous ซึ่งมีลักษณะเป็นวัสดุต่อเนื่องของพอลิเมอร์หลักชนิดหนึ่งและมีวัสดุกระจายตัวของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่กระจายตัวอยู่ภายใน โดยจะแยกกันอยู่อย่างชัดเจน และมีลักษณะเป็นขอบเขตวัสดุ (Phase boundary)

2.6 ฟิล์มสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ [20], [21]

ภาชนะบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคุณภาพของอาหาร โดยการควบคุมระดับที่ปัจจัยการแปรรูปการเก็บ การขนส่งกระทำต่อองค์ประกอบต่างๆ ของอาหาร ปัจจัยทางด้าน การแปรรูปและการเก็บ เช่น แสง ความเข้มข้นของออกซิเจน ความเข้มข้นของความชื้น การถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปนเปื้อนและการปนเปื้อนจากสารชีวภาพ ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

ในการเลือกใช้ฟิล์มชนิดรับประทานได้ในการปกป้องเคลือบผิวของอาหาร มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงลักษณะโดยรวมของอาหาร ชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและลดต้นทุนการผลิต สมบัติต่างๆ ที่ต้องการเหมือนฟิล์มจากพอลิเมอร์ทั่วๆ ไป เช่น ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น ออกซิเจน เป็นต้น ส่วนในการประยุกต์ใช้งานนั้น ขึ้นกับชนิดของอาหารและองค์ประกอบหลัก (Primary mode) ที่จะทำให้อาหารมีคุณภาพลดลงเป็นสำคัญ เช่น ถ้าอาหารมีไขมันอิ่มตัวสูง จำเป็นอย่างยิ่งที่ฟิล์มต้องป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี อย่างไรก็ตาม ฟิล์มชนิดรับประทานได้สามารถนำมาใช้กับผัก ผลไม้สด ยืดอายุการเก็บรักษาไม่ให้ผลิตภัณฑ์แห้ง โดยจะต้องมีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของผัก และผลไม้ (Anaerobic respiration) ซึ่งจะทำให้รูปร่างของผัก ผลไม้ผิดปกติและเสียอย่างรวดเร็ว การประยุกต์ใช้ฟิล์มชนิดรับประทานได้กับอาหารหลายๆ ประเภท สมบัติที่สำคัญต้องการอีกประการหนึ่งคือ การป้องกันการเคลื่อนย้ายความชื้น (Migration of moisture) เนื่องจากอาหารจะมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Critical water activity, a_w) ซึ่งมีความสำคัญในการรักษาคุณภาพของอาหาร เช่น เมื่อค่า a_w เพิ่มมากขึ้นกว่า 0.4-0.5 จะทำให้ธัญชาติ (Cereal) สูญเสียความกรอบไป เมื่อค่า a_w สูงเกินไป น้ำจำนวนมากจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ อาหารที่มีแป้งหรือโปรตีนจะมีความแข็งลดลง พื้นผิวจะแห้งมีคุณภาพลดลง เมื่อมีปริมาณความชื้นผ่านเข้าไปในส่วนผสมมากเกินไป

ค่า a_w มีความสำคัญในการแพร่ขยายของจุลินทรีย์ในอาหาร แบคทีเรีย ยีสต์และราจะหยุดการเจริญเติบโตที่ a_w ต่ำกว่า 0.85, 0.70 และ 0.60 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงค่า a_w หรือปริมาณความชื้นในอาหาร สามารถเกิดขึ้นภายในหรือระหว่างอาหารกับบรรยากาศก็ได้ โดยกลไกขั้นแรกของการเคลื่อนที่ของน้ำหรือไอน้ำ คือ การแพร่ (Diffusion) ซึ่งขึ้นกับศักย์ทางเคมี (Chemical potential) ของน้ำที่แตกต่างกัน ความชื้นสามารถเคลื่อนย้ายได้หลายกลไก เช่น ของเหลวแพร่ผ่านโดยมีความเข้มข้นของน้ำที่แตกต่างกัน ของเหลวเคลื่อนที่โดยแรงคาпилลารี (Capillary force) และน้ำซึมผ่านพื้นผิวของแข็ง เป็นต้น

อัตราการเคลื่อนย้ายของความชื้นระหว่างอาหารกับบรรยากาศสามารถลดลงได้ โดยการเคลือบผิวฟิล์ม แต่ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนย้ายความชื้นระหว่างส่วนผสมของอาหารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันได้ แต่สามารถลดความดันไอของส่วนผสมของอาหารซึ่งเป็นแรงกระตุ้น (Driving force) ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของความชื้นได้ โดยการเก็บอาหารไว้ที่อุณหภูมิต่ำ และปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a_w ของส่วนผสมให้มีค่าใกล้เคียงกัน ทำได้โดยการเติมเกลือหรือพอลิฮอล (Polyol) เช่น กลีเซอรอล เพื่อลดความดันไอของส่วนผสมที่มีค่า a_w สูง อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของเกลือหรือพอลิฮอลที่ใช้ ถูกจำกัดด้วยรสชาติของอาหาร นอกจากนี้ยังสามารถชะลอการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในส่วนผสมของอาหารได้โดยการเคลือบฟิล์มชนิดรับประทานได้ที่เหมาะสม โดยมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี ในส่วนผสมที่เกี่ยวข้องโดยตรง

ในการเคลื่อนที่ผ่านของไอน้ำและก๊าซ เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่ออายุการเก็บรักษาอาหารอย่างเห็นได้ชัด อาหารจะมีคุณภาพลดลงจากการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ของไขมัน วิตามิน ส่วนผสมของอาหาร ฟิล์มที่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ยาวนานขึ้น เป็นการลดค่าใช้จ่าย การเคลือบผิวผักและผลไม้เพื่อยับยั้งการหายใจโดยใช้ออกซิเจน ทำให้สามารถเก็บรักษาผักและผลไม้ได้ที่บรรยากาศได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของการเคลือบฟิล์ม นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งการหายใจของผักและผลไม้ได้ตั้งแต่เก็บผักและผลไม้จนถึงการขายได้

ฟิล์มที่เคลือบไว้บนผิวของอาหารสามารถปรับปรุงความทนทานหลังกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และการขายได้ การประยุกต์ใช้งานนี้มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ซึ่งจะเกิดการแตก (Fragmentation) ในกระบวนการผลิต และยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสดใหม่ เนื่องจากฟิล์มที่เคลือบไว้จะลดความเสียหายของผิวเซลล์ขณะผ่านกระบวนการผลิต

วัสดุหลักที่นำมาทำฟิล์มชนิดรับประทานได้ คือ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โครงสร้างที่เป็นสายโซ่ยาวของพอลิเมอร์ จะทำให้ฟิล์มที่ได้มี Cohesive strength สูง เมื่อใช้เป็นตัวละลายที่เหมาะสม Cohesive strength ของฟิล์มที่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ สมบัติการละลาย การเติมสารเติมแต่ง เช่น สารเชื่อมโยง และสภาวะในการหล่อฟิล์ม (Casting) เมื่อเพิ่มโครงสร้าง Cohesive จะเป็นผลทำให้ความยืดหยุ่น (Flexibility) รูปทรงและการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำลดลง เมื่อพอลิเมอร์มีความยาวสายโซ่และความเป็นขั้วเพิ่มมากขึ้น จะมี Cohesive เพิ่มขึ้นด้วย การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของส่วนที่มีขั้วของพอลิเมอร์ จะเพิ่มขึ้น Cohesive โดยจะเป็นการเพิ่มพันธะไฮโดรเจน และแรงกระทำระหว่างขั้ว (Ionic interaction)

ในการใช้ฟิล์มชนิดรับประทานได้ สามารถใช้ร่วมกับสารเติมแต่งอื่นได้ เช่น สารป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial agents) และสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant agent) ในอาหารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มเป็นวัสดุที่มีความหนาไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตร และยังมีสมบัติหลากหลาย ขึ้นกับพอลิเมอร์ที่นำมาผลิต พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ จัดเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semi-crystalline) ในส่วนของโซ่พอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบหรือส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) จะเป็นส่วนที่ไม่ยอมให้ก๊าซหรือไอน้ำซึมผ่าน ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) สายโซ่ของพอลิเมอร์จะอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว การเคลื่อนที่ของสายโซ่ถูกจำกัด เนื่องจากปริมาตรอิสระ (Free volume) ถูกจำกัด แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว สายโซ่พอลิเมอร์จะเคลื่อนที่เป็นอิสระมากขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรอิสระ การเปลี่ยนแปลงนี้มีความสำคัญมากต่อความสามารถของโมเลกุลที่จะแพร่ผ่านวัสดุ

ความแตกต่างของความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซของพอลิเมอร์

- ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์เป็นส่วนสำคัญที่สุดในการซึมผ่านของก๊าซ
- ความสามารถในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันของสายโซ่พอลิเมอร์
- อิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ต่อการละลายได้ของก๊าซในส่วนที่เป็นอสัณฐาน

การซึมผ่านของก๊าซสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการเชื่อมเย็บ ซึ่งเป็นกรจำกัดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ ความสามารถในการซึมผ่านจะลดลง ถ้าส่วนของความเป็นผลึกไม่เกิดการเสียหาย ส่วนการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์โดยการยืด (Stretching) ฟิล์ม เป็นการเพิ่มปริมาณความเป็นผลึกและลดความสามารถการซึมผ่านลง

เมื่อบางฟิล์มชนิดชอบน้ำไว้ในที่มีความชื้นสูง ฟิล์มจะเกิดการดูดน้ำ พอง และเพิ่มการเคลื่อนที่ของสารโซ่พอลิเมอร์อย่างมาก น้ำมีส่วนช่วยในการเพิ่มความยืดหยุ่นและบิดงอของสายโซ่พอลิเมอร์ เช่นเดียวกับพลาสติกไฮเซออร์ โดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มอัตราการซึมผ่านของก๊าซทุกชนิดและการดูดซับน้ำก็ส่งผลทำให้อัตราการซึมผ่านของก๊าซเพิ่มขึ้นด้วย

กฎการแพร่ของฟิค (Fick's law of diffusion) เป็นการบอกปริมาณของสารที่ซึมผ่านฟิล์มเป็นพื้นที่ต่อเวลา ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อความเข้มข้นของสาร สัดส่วนที่คงที่นี้เรียกว่า ค่าคงที่การแพร่ (Diffusion constant; D) กฎการแพร่ของฟิคประยุกต์มาจากกฎการละลายของเฮนรี (Henry's law of solubility) ซึ่งระบุว่า ความเข้มข้นเป็นผลคูณของการละลายและความดัน และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างการซึมผ่านกับค่าคงที่การแพร่ และสัมประสิทธิ์การละลาย (Solubility coefficient; S) เป็นดังสมการที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = D \cdot S \quad (2.4)$$

$$P = \frac{Q \cdot L}{A \cdot t \cdot \Delta p} \quad (2.5)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณของสารที่แพร่ผ่านฟิล์ม

L คือ ความหนาของฟิล์ม

A คือ พื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม

t คือ เวลา

Δp คือ ความแตกต่างของความดันทั้ง 2 ด้าน

การใช้สมการคำนวณค่าการซึมผ่านของฟิล์มขึ้นกับค่าคงที่การแพร่และสัมประสิทธิ์การละลาย แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ซึมผ่าน ซึ่งสารที่ซึมผ่านต้องไม่มีแรงกระทำกับฟิล์มและการแพร่ อย่างไรก็ตาม เมื่อก๊าซหรือไอน้ำมีปฏิกิริยากับฟิล์มอย่างรุนแรง กฎการแพร่ของฟิกก็จะมีค่าเบี่ยงเบนออกไป เมื่อไอน้ำซึมผ่านฟิล์มที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ สัมประสิทธิ์การละลายขึ้นกับความดันของไอน้ำ เนื่องจากรูปร่างของไอโซเทอมของการดูดซับน้ำ (Shape of Sorption Isotherm) และค่าคงที่การแพร่ จะเพิ่มขึ้นตามความดันของไอน้ำด้วย เนื่องจากฟิล์มถูกหล่อลื่นเมื่อดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้ ดังนั้น การซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มที่มีขั้วจะเพิ่มขึ้น เมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ลักษณะการซึมผ่านของฟิล์มยังขึ้นกับสภาวะด้วย เช่น ปริมาณ ความชื้น สัมพันธ์ อุณหภูมิ เป็นต้น

2.7 การใช้สารเคลือบผิวผักและผลไม้ [1]

2.7.1 ลักษณะโครงสร้างที่ผิวของผลิตภัณฑ์

ผิวของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดมีเนื้อเยื่อผิว (Dermal tissue) ปกคลุมอยู่ได้แก่ อีพิเดอมีส (Epidermis) ซึ่งพบในผลิตภัณฑ์ที่มีการเจริญเติบโตเพียงระดับต้น (Primary growth) และ เพอริเดอร์ม (Periderm) ซึ่งพบในผลิตภัณฑ์ที่มีการเจริญเติบโตในระดับที่ 2 (Secondary growth) ผักและผลไม้ส่วนใหญ่มีการเจริญระดับต้นเท่านั้น ยกเว้นในพืชหัว เช่น มันฝรั่ง และในผักและผลไม้ที่มีบาดแผลเกิดขึ้น เนื้อเยื่อผิวทั้ง 2 ชนิดนี้ทำหน้าที่อย่างเดียวกันคือ ป้องกันการสูญเสียน้ำ และป้องกันตัวเองจากศัตรูต่างๆ

Epidermis เป็นเนื้อเยื่อชั้นเดียว มีผนังเซลล์ด้านนอกหนา มีสารคิวติน (Cutin) และไข (Wax) ปกคลุมอยู่ คิวตินทำหน้าที่ป้องกันพืชจากศัตรูต่างๆ เพราะมักมีสารประกอบฟีนอลแทรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในชั้นของคิวตินด้วย ส่วนไขทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำทั้งคิวตินและไขอยู่แทรกปนกัน เรียกรวมกันว่า คิวติเคิล (Cuticle) โดยมีไขอยู่เป็นจำนวนมากทางด้านบน ส่วนด้านในติดกับผนัง เซลล์มีคิวตินเป็นองค์ประกอบมากกว่าไข

Periderm เจริญมาจากเซลล์ในส่วนของคอร์เท็กซ์ (Cortex) โดยแบ่งตัวได้เซลล์รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลายชั้นและดันให้ Epidermis ซึ่งมีอยู่เดิมหลุดออกไป ผนังเซลล์ของ Periderm ประกอบด้วยสารประเภท ลิกนิน (Lignin) และ ซูเบอร์อิน (Suberin) ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันการสูญเสียน้ำและป้องกันตัวเองจากศัตรูภายนอกได้ดี

2.7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างและหลังการเก็บเกี่ยว

ระหว่างการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ เช่น การคัดเลือกขนาดและคุณภาพ การทำความสะอาด ชั้นของไขมันอาจหลุดหายไป ทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำและอ่อนแอต่อการเข้าทำลายจากศัตรูภายนอกมากขึ้น ในพืชหัว ระหว่างการเก็บเกี่ยวชั้นของ Periderm อาจฉีกขาด แต่พืชหัวสามารถสร้าง Periderm ใหม่ขึ้นทดแทนได้เอง โดยต้องใช้เวลาและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สำหรับไขที่หลุดหายไปนั้นอาจมีการสร้างทดแทนขึ้นมาใหม่ได้ ที่เห็นได้ชัด ได้แก่ ผลพริก ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวยังคงมีการสร้างไขขึ้นเรื่อยๆ จนผลมีสีขาวโพลน ทำให้เก็บรักษาได้นาน แต่ผลิตผลส่วนใหญ่ไม่สามารถสร้างไขขึ้นได้มากหลังการเก็บเกี่ยวและมักมีอายุ ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวสั้น จึงได้มีความพยายามในการให้สารเคลือบทดแทนส่วนที่หลุดหายไปเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และอาจใช้สารเคมีร่วมด้วยเพื่อทำให้ผลิตผลมีความต้านทานต่อโรคและแมลงเพิ่มขึ้น

2.7.3 การผ่านเข้าออกของน้ำและก๊าซในผลิตผล

ในเนื้อเยื่อ Epidermis นอกจากจะมีชั้น Cutin ปกคลุมแล้ว ยังมีบางส่วนของเปิดให้น้ำและอากาศผ่านเข้าออกได้สะดวก คือ ปากใบ และ Lenticel อย่างไรก็ตาม น้ำยังสามารถผ่านออกจากผลิตผลได้ทางคิวติเคิล ในขณะที่ปากใบเปิด น้ำออกจากผลิตผลทางปากใบได้มากกว่า แต่เมื่อปากใบปิด การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นทางคิวติเคิล สำหรับผักและผลไม้ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวปากใบปิด การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นทางคิวติเคิล ส่วนก๊าซชนิดต่างๆ นั้นการผ่านเข้าออกส่วนใหญ่เกิดขึ้นทางปากใบและ Lenticel รวมทั้งช่องเปิดอื่นๆ เช่น บาดแผล และรอยแผลเป็นที่ขั้วผลเคยติดอยู่บนต้น ช่องทางการผ่านเข้าออกของน้ำและก๊าซนี้สามารถเห็นได้ชัดจากตัวอย่าง การทดลองในผลมะเขือเทศ ผลมะเขือเทศมีชั้นของ Epidermis ซึ่งมีคิวติเคิลหนาปกคลุมอยู่ แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศนั้นไม่มีปากใบบนผิวของมะเขือเทศ เมื่อทดลองใช้วาสลีนซึ่งเป็นไขอย่างหนึ่งทาผลมะเขือเทศในหลายๆ ลักษณะคือ ทาทั่วทั้งผล ทาเฉพาะบริเวณผิวรอบๆ ยกเว้นที่รอยแผลเป็นที่ขั้วผลเคยติดอยู่ และทาเฉพาะที่รอยแผลเป็น ภายหลังการเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่ง พบว่า ผลที่ไม่ได้ทาวาสลีนเลยมีการสูญเสียน้ำมากที่สุดใกล้เคียงกับผลที่ทาวาสลีนเฉพาะที่รอยแผลเป็น ส่วนผลที่ทาวาสลีนทั้งผลหรือเฉพาะที่มีมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าน้ำสามารถผ่านออกมาทางคิวติเคิลได้โดยง่าย แต่เมื่อพิจารณาถึงการสุกของผลพบว่า ผลที่ไม่ได้ทาวาสลีนสุก มีสีแดงตามปกติ เพราะมีการถ่ายเทอากาศดี มี O_2 เพียงพอต่อการหายใจและการสร้างเอทิลีน และไม่มีการสะสม CO_2 เกิดขึ้น ผลที่ทาวาสลีนทั้งผลยังคงมีสีเขียว ผลที่ทาวาสลีนเฉพาะที่มีมีการสุกเกิดขึ้นได้พอสมควร ผลมีสีชมพู ส่วนผลที่ทาวาสลีนเฉพาะที่รอยแผลมีการสุกเกิดขึ้นได้เล็กน้อย ผลมีสีเขียวปนสีชมพู ทั้งนี้เพราะ O_2 ผ่านเข้าไปในผลได้น้อย ไม่พอต่อการหายใจและการสร้างเอทิลีนตามปกติ และอาจเกิดการสะสม CO_2 ขึ้น จึงทำให้การสุกถูกยับยั้งไปบ้าง แสดงว่าการผ่านเข้าออกของก๊าซส่วนใหญ่เกิดขึ้นทางรอยแผลเป็นที่ขั้วเคยติดอยู่ ส่วนการผ่านเข้าออกของก๊าซทางผิวผ่านคิวติเคิลเกิดขึ้นได้เช่นกัน แต่เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น

2.7.4 ประโยชน์ของการเคลือบผิว

สารเคลือบผิวที่ใช้กับผักและผลไม้ไปปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่และปิดช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติ ทำให้การสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซลดน้อยลง ปริมาณ O_2 ภายในผลลดลง เนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจ ปริมาณ CO_2 เพิ่มสูงขึ้น ส่วนปริมาณเอทิลีนนั้น ถ้าเป็นผลไม้ที่เริ่มมีการสร้างเอทิลีนขึ้นแล้ว จะมีเอทิลีนสะสมอยู่ภายในมากกว่าผลที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว แต่อิทธิพลของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ อาจเกิดขึ้นได้น้อยเพราะปริมาณ CO_2 ที่มีอยู่มากจะขัดขวางการทำงานของเอทิลีน ส่วนผลไม้ที่ยังไม่ได้ผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น (System II) การเคลือบผิวจะยับยั้งการสร้างและทำให้ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลต่ำกว่าปกติ

การใช้สารเคลือบผิวต้องเลือกชนิดและความเข้มข้นให้เหมาะสมกับผักและผลไม้ด้วย ทั้งนี้เพราะสมบัติของสารเคลือบแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน มีสมบัติในการป้องกันการสูญเสียน้ำและควบคุมการผ่านเข้าออกก๊าซได้ไม่เท่ากัน การใช้สารเคลือบผิวความเข้มข้นที่ต่ำเกินไปหรือบางเกินไป ลดการสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซได้น้อย แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงเกินไปหรือหนาไปนอกจากจะสิ้นเปลืองแล้ว ยังอาจทำให้ปริมาณ O_2 ภายในผลต่ำเกินไปเป็นอันตรายต่อผลิตผลได้ เช่น อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดการสะสมแอลกอฮอล์และอะซิทาลดีไฮด์ (Acetaldehyde) ทำให้ผลิตผลมีอาการผิดปกติ มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 ชนิดและสมบัติของสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวสำหรับผักและผลไม้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดหลายสูตร แต่ละชนิดมีองค์ประกอบแตกต่างกันไป ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มักจะเป็นความลับทางการค้า ส่วนใหญ่มักเป็นสารเคลือบผิวที่ใช้หลายอย่างผสมกัน เพื่อดึงเอาสมบัติที่ดีของไขแต่ละอย่างมารวมกันและทำให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะเคลือบผิว ในสารเคลือบผิวมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ไข ตัวทำละลาย และอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) และอาจมีสารเคมีป้องกันโรคประกอบอยู่ด้วย

สำหรับไขที่ใช้เตรียมสารเคลือบผิวมีหลายชนิดและได้มาจากแหล่งต่างๆ กัน

2.7.6 การเลือกใช้สารเคลือบผิว

การเลือกใช้สารเคลือบผิวต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เพื่อให้การเคลือบผิวเกิดประโยชน์สูงสุด ดังนี้

1. ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ นอกจากคุณภาพในการบริโภคแล้ว ควรมีความสวยงาม น่าซื้อ น่ารับประทาน และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน มีการสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงช้า สิ่งเหล่านี้สารเคลือบผิวช่วยให้เกิดขึ้นได้ ผลไม้บางชนิด เช่น ส้มและแอปเปิ้ล เมื่อขีดผิวจะมีลักษณะเป็นมันเงาสวยงาม การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแล้วขีดจะทำให้ความเป็นมันเงามากขึ้น สวยงาม ดึงดูดผู้บริโภคได้มากขึ้น ถ้าต้องการความเป็นมันเงามาก สารเคลือบผิวควรประกอบด้วยไข ที่ทำให้ความเป็นมันเงาสูง เช่น Shellac แต่ผลไม้หลายชนิดไม่มีความเป็นมันเงาตามธรรมชาติ การใช้สารเคลือบผิวที่ให้ความมันเงาอาจทำให้ผลไม้มีลักษณะผิดปกติธรรมชาติไป ความเป็นมันเงาของผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้สารเคลือบผิว เพราะสมบัติข้ออื่นๆ ของสารเคลือบผิว ได้แก่ การลดการสูญเสีย น้ำ และลดการถ่ายเทอากาศเพื่อ ชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆ นั้น อาจใช้ปัจจัยอย่างอื่นช่วยได้ เช่น การใช้อุณหภูมิต่ำ การใช้บรรยากาศควบคุม และการเพิ่มความชื้น

การลดการสูญเสีย น้ำออกจากผลิตภัณฑ์โดยใช้สารเคลือบผิวนั้นพบว่าสารเคลือบผิวสามารถลดการสูญเสีย น้ำออกได้ประมาณ 20-50% จากการใช้สารเคลือบผิวในปริมาณและความเข้มข้นที่จะไม่ทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นกับผลิตภัณฑ์ เมื่อเทียบกับการใช้พลาสติกห่อผักและผลไม้ การใช้พลาสติกช่วยลดการสูญเสีย น้ำได้ดีกว่าการเคลือบผิว ที่เป็นเช่นนี้เพราะสารเคลือบผิวเมื่อเคลือบให้กับผลิตภัณฑ์ ไม่ได้เป็นแผ่นฟิล์มปกคลุมผิวของผลิตภัณฑ์อย่างแท้จริง เพราะมักจะมีรอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกหรือรอยแตกเกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์มของสารเคลือบผิวอันเป็นช่องทางให้น้ำเล็ดลอดออกได้ ส่วนพลาสติกนั้นไม่มีรอยแยกหรือรอยแตกเกิดขึ้น

สมบัติในการชะลอการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของสารเคลือบผิวช่วยให้ผลไม้หลายชนิดสุกช้าลง เช่น มะม่วง ทุเรียน และแอปเปิ้ล ผลไม้เหล่านี้ต้องการสารเคลือบผิวที่ป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซได้ดี อย่างไรก็ตามการใช้ความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่สูงเกินไปหรือหนาเกินไปอาจทำให้ผลไม้ไม่สุกและมีอาการผิดปกติขึ้นได้ ในทางตรงกันข้ามผลไม้บางอย่างไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ส้มชนิดต่างๆ ดังนั้น การเคลือบผิวจึงไม่ต้องการให้มีการถ่ายเทอากาศลดน้อยลงมากนัก สารเคลือบผิวสำหรับส้มจึงควรให้ความเป็นเงาสว่าง ป้องกันการคายน้ำได้ดีแต่ไม่ลดการถ่ายเทอากาศ

ความต้องการอื่นๆ เช่น สับปะรดที่ขนส่งเป็นระยะทางไกลจำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส ซึ่งผลสับปะรดจะเกิดอาการระคายเคืองขึ้น โดยเนื้อมีอาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบริเวณใกล้กับแกนของผล อาการสีน้ำตาลนี้เกิดจากปฏิกิริยาเคมีซึ่งสารประกอบฟีนอลถูกออกซิไดซ์ด้วย O_2 แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่จนมีสีน้ำตาล ดังนั้น การใช้สารเคลือบผิวจึงเป็นการปลดปริมาณ O_2 ภายในผล ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อสีน้ำตาลลดน้อยลง ช่วยลดอาการระคายเคืองได้

2. การปฏิบัติในการเคลือบผิว นอกจากลักษณะของผลผลิตที่ต้องการและสมบัติของสารเคลือบผิวที่ต้องคำนึงถึงแล้ว ยังต้องคำนึงถึงวิธีการในการเคลือบผิวให้กับผลผลิตด้วย

สารเคลือบผิวอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทกว้างๆ คือ ประเภทที่ละลายน้ำ และประเภทที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ละลายในแอลกอฮอล์ สารเคลือบผิวที่ละลายในตัวทำละลายมีข้อดี คือ ภายหลังการเคลือบผิวสารเคลือบผิวแห้งเร็ว ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำแห้ง แต่ข้อเสีย คือ มีกลิ่นของตัวทำละลายทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติงานของพนักงาน และก่อให้เกิดปัญหาด้านสภาวะแวดล้อมมากขึ้น สำหรับสารเคลือบผิวที่ละลายในน้ำนั้นแห้งช้า ต้องใช้ความร้อนและพัดลมช่วยในการทำแห้ง มิฉะนั้นสารเคลือบจะไหลไปรวมกันอยู่ด้านล่างของผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน นอกจากนี้การเตรียมสารเคลือบผิวชนิดนี้ยุ่งยากกว่าเพราะสารเคลือบผิวมีไขมันเป็นองค์ประกอบละลายน้ำได้น้อย ต้องมี Emulsifier เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันสารเคลือบผิวแบบละลายน้ำได้รับความนิยมในการใช้มากกว่าชนิดที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

3. กฎระเบียบ และสมัชชา การใช้สารเคลือบผิวต้องคำนึงถึงกฎ ระเบียบในประเทศที่จะจำหน่ายผลผลิตนั้นๆ ด้วย เช่นเดียวกับการใช้สารเคมีอื่นๆ ในประเทศญี่ปุ่นสารเคลือบผิวที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ได้กับผักและผลไม้ต้องมืองค์ประกอบเป็นสารธรรมชาติที่รับประทานได้เท่านั้น แต่ในสหรัฐอเมริกาสารเคลือบผิวที่มี Polyethylene เป็นองค์ประกอบก็สามารถใช้ได้กับผลไม้ที่ไม่ได้รับประทานทั้งเปลือก

นอกจากนั้นความนิยมของผู้บริโภคก็เป็นปัจจัยสำคัญ ในปัจจุบันผู้บริโภคโดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้วหันมานิยมความเป็นอยู่แบบใกล้ชิดธรรมชาติมากขึ้น พยายามลดการใช้สิ่งแปลกปลอมนอกเหนือจากธรรมชาติ เช่น สารเคมีต่างๆ จึงปรากฏว่าในปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นลดการใช้สารเคลือบผิวกับผลไม้ไปมาก มีเหลือใช้กับผลส้มเท่านั้น

4. ข้อจำกัดในการเลือกใช้สารเคลือบผิว สารเคลือบผิวที่มีขายในท้องตลาดปัจจุบันเป็นสารเคลือบผิวที่เตรียมหรือผลิตขึ้นในต่างประเทศทั้งสิ้น ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตขึ้นเพื่อให้เหมาะกับการใช้กับผลไม้ในเขตอบอุ่น เมื่อนำมาใช้กับผักและผลไม้ในเขตร้อน เช่น ในประเทศไทยก็ได้ผลบ้างแต่ยังไม่ดีที่สุด สมควรได้รับการศึกษาและพัฒนาให้มีความเหมาะสมกับผลิตผลเขตร้อนมากขึ้น การผลิตสารเคลือบผิวขึ้นใช้เองสามารถทำได้ แต่มีข้อจำกัดอยู่ที่ปริมาณผลิตผลที่จะให้สารเคลือบผิวอาจมีไม่มากพอที่จะพัฒนาสารเคลือบผิวแล้วได้ผลตอบแทนคุ้มทุน นอกจากนี้ยังต้องมีการศึกษาถึงความปลอดภัยของสารเคลือบผิวที่ผลิตขึ้น เพื่อให้ได้รับอนุญาตให้ใช้เป็นการค้าทั้งในและต่างประเทศ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arvanitoyannis, I.S. และคณะ [22] ศึกษาสมบัติของฟิล์มชนิดรับประทานได้จากไคโตซานกับเจลาติน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ (น้ำและพอลิแอลกอฮอล์) ทำให้ค่ามอดุลัสและ ค่าความแข็งแรงดิ่งลดลง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยึดและความสามารถในการซึมผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานทำให้มีความเป็นผลึกสูงขึ้นและมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำลง

Kim, J.H. และคณะ [23] ทำการศึกษาสมบัติและการบวมตัวของเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)) ที่เกิดการเชื่อมโยงด้วยสารเชื่อมโยงกลูตารอลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) พบว่าแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะเกิดแรงกระทำระหว่างโมเลกุลซึ่งทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของไคโตซานลดลง แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วนที่ใช้ไคโตซาน 1.5 กรัม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 กรัม และกลูตารอลดีไฮด์ 6.0 โมล/กรัม ของพอลิเมอร์ ให้ค่าความแข็งแรงดิ่งสูงสุดและมีสมบัติทางความร้อนดีที่สุดเมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงทำให้ความหนาแน่นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง มีค่าความแข็งแรงดึง สมบัติทางความร้อนดีขึ้น และเมื่อค่า pH ต่ำลงอัตราการบวมตัวจะสูงขึ้น

Hasegawa, M. และคณะ [24] ทำการศึกษาสมบัติของฟิล์มผสมระหว่างไคโตซานกับเซลลูโลส พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซาน ความชื้นของแผ่นฟิล์มมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 12-19% โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมปริมาณความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มลดลง โดยไคโตซานจะขัดขวางการตกผลึกของเซลลูโลส อัตราส่วนที่ใช้ไคโตซาน 30% ให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการยืดและค่ามอดุลัสสูงสุด เนื่องจากเซลลูโลสกับไคโตซานมีโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) เหมือนกันและเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ โดยไคโตซานจะไปลดขนาดวฏภาค (Domain size) ของเซลลูโลสและเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุล นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับปรุงโดยใช้ความร้อน (Heat treatment) ทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีสมบัติเชิงกลลดลง โดยความร้อนจะทำลายแรงกระทำระหว่างโมเลกุล

Begin, A. และ Calstern, M.V. [25] เตรียมฟิล์มป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial) จากไคโตซานในสารละลายกรดหลายชนิดและศึกษาถึงผลของอุณหภูมิการผสมที่ 40 และ 60 องศาเซลเซียส จากการทดลอง พบว่า การละลายไคโตซานในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) และสารละลายกรดซิตริก (Citric acid) มีความหนืดต่ำกว่าการละลายไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติก สารละลายกรดฟอร์มิกและสารละลายกรดแลคติก (Lactic acid) เมื่อทำการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า ฟิล์มที่ได้จากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายกรดฟอร์มิกมีความแข็งแรงแต่เปราะ ในสารละลาย กรดแลคติกมีความยืดหยุ่นได้ดีกว่า และสารละลายกรดอะซิติกจะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ส่วนอุณหภูมิของการผสมไม่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มที่ได้

Butler, B.L. และคณะ [26] ทำการศึกษามวลของพลาสติกไซเซอร์และเวลาการเก็บรักษาฟิล์มไคโตซานที่มีต่อสมบัติเชิงกลและการซึมผ่าน พบว่า ฟิล์มไคโตซานสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี ฟิล์มไคโตซานที่ใช้กลีเซอรอล (Glycerol) 0.25 มิลลิลิตรต่อน้ำหนัก 1 กรัมของไคโตซาน มีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนใกล้เคียงกับฟิล์มโคพอลิเมอร์เอทิลีน-ไวนิลแอลกอฮอล์ (Ethylene-vinyl alcohol copolymer films) ฟิล์มไคโตซานที่ใช้กลีเซอรอล 0.50 มิลลิลิตรต่อน้ำหนัก 1 กรัมของไคโตซาน มีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนใกล้เคียงกับฟิล์มไวนิลิดีนคลอไรด์ (Polyvinylidene chloride; PVDC) ฟิล์มไคโตซานมีค่าความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) และฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดใกล้เคียงกับฟิล์มเซลโลเฟน (Cellophane) ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลซึ่งใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำให้มีการซึมผ่านของออกซิเจน ไอน้ำ และก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น และค่าความแข็งแรงดิ่งลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดเพิ่มขึ้น และเมื่อเก็บฟิล์มไว้เป็นเวลานานขึ้น ฟิล์มไคโตซานมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย

Park, S.Y. และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่มีต่อฟิล์มไคโตซานผสมกับคาร์ราจีแนน พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดจะทำให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงดิ่ง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น แต่ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ยกเว้นกรดอะซิติกมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำลดลง เนื่องจากกรดอะซิติกมีขนาดโมเลกุลเล็กทำให้โครงสร้างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

Ghaouth, A.E. และคณะ [28] เปรียบเทียบผลของการเคลือบไคโตซานกับการเคลือบด้วยสารฆ่าเชื้อ (Iprodione; Rovel[®]) ในการยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่ พบว่า การกันเชื้อของสตรอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยไคโตซานหรือสารกันเชื้อมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยสตรอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยไคโตซานจะสามารถกันเชื้อได้ดีกว่าเล็กน้อย สตรอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยไคโตซานจะมีความแข็ง (Firm) ปริมาณกรดซิตริก (Citric acid content) สูงกว่า และมีอัตราการผลิตแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ที่ต่ำกว่าสตรอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยสารกันเชื้อ ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่ได้นานกว่า

Lazaridou, A. และ Biliaderis, C.G. [29] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไคโตซานและฟิล์มไคโตซานผสมกับแป้งที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับ T_g พบว่าฟิล์มไคโตซานมีค่า T_g ประมาณ 90 องศาเซลเซียสและมีค่าลดลง และช่วงกว้างมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหรือซอร์บิทอล (Sorbital) ซึ่งใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ปริมาณความชื้นน้อยกว่า 10-15% ค่าความแข็งแรงดิ่งเพิ่มขึ้น ค่าการยืดลดลง มีสถานะคล้ายแก้ว (Glassy state) แต่เมื่อปริมาณความชื้นสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดิ่งลดลง ค่าการยืดเพิ่มขึ้นฟิล์มอยู่ในสถานะคล้ายยาง (Rubbery state)

ปรีดา จิตตารมย์ [30] ศึกษาสมบัติของสารเคลือบผิวสำหรับส้มเขียวหวาน ที่เตรียมได้จากไซ 2 ชนิด คือ คาร์นูบา (Carnauba) เข้มข้น 0 ถึง 15% และเซลแลค (Shellac) เข้มข้น 0 ถึง 20% พบว่า Carnauba สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้ถึง 60% ซึ่งจะสัมพันธ์กับความเข้มข้น และไม่จำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซของผลส้ม ทำให้ O_2 และ CO_2 ภายในผลรวมทั้งปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) ในช่องว่างบริเวณเหนือผลส้มกับเปลือกส้ม (Head space) ไม่เปลี่ยนแปลง แต่เซลแลคสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้เพียง 20% และไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันในทุกความเข้มข้น แต่มีสมบัติการจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซของส้มได้ดี สัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้น สอดคล้องกับปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ใน Head space ซึ่งมีมากกว่าปกติ การเคลือบผิวส้มด้วยสารทุกชนิดและความเข้มข้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solid,SS), กรดที่ไทเทรตได้ (TA)

ไพโรจน์ ไสภณโณดร, สุทธวัฒน์ เบนจกุล และวิคเนตร พระพุทธ [31] ทำการศึกษาโคโตซานเป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาวโดยใช้สารละลายโคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.25 เคลือบผิวมะนาวที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำผสมสารป้องกันเชื้อราสามารถยืดระยะเวลาการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นเวลา 24 วัน และ 56 วัน เมื่อทำการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้อง และที่ 11 องศาเซลเซียส ส่วนการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว พบว่า การเคลือบผิวมะนาวด้วยโคโตซานให้ผลไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยที่คุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ได้ยังคงใกล้เคียงกับคุณภาพตอนเริ่มต้น

วิชณู นิยมเหล่า และคณะ [32] ทำการศึกษาผลของการเคลือบผิวโคโตซาน (Chitosan) โดยใช้กรดอะซิติก ความเข้มข้น 0.5% เป็นตัวทำละลาย ต่อคุณภาพการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยมีความแก่ประมาณ 80% นำมะม่วงที่ผ่านการล้างทำความสะอาด มาเคลือบด้วยโคโตซาน (Chitosan) จากนั้นปล่อยให้แห้งแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% โดยบรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูกพบว่าการเคลือบด้วยโคโตซาน (Chitosan) ความเข้มข้น 1.0 และ 1.3% สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้ โดยมีผลในการลดอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ และสามารถชะลอการสุกของมะม่วงได้จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้สารเคลือบผิว chitosan ยังมีผลต่อการลดการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงได้

สุดคณิง พิมชัย และคณะ [33] ทำการศึกษาผลของสารเคลือบผิวโคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ (น้อย, ปานกลาง และมาก) ความเข้มข้น 2% และใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 0.5% เป็นตัวทำละลาย ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและคุณภาพการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทะวาย ความแก่ประมาณ 80% นำมะม่วงที่ผ่านการล้างทำความสะอาดมาเคลือบด้วยโคโตซานที่เตรียมไว้ จากนั้นปล่อยให้แห้งแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% พบว่า การเคลือบด้วยโคโตซานชนิด น้ำหนักโมเลกุลน้อยและปานกลาง สามารถชะลออัตราการหายใจ การเปลี่ยนแปลงสี (L* value) และการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเนื้อของมะม่วงได้ ส่วนการเคลือบด้วยโคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูงพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถชะลอการสูญเสียกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) และมีการสะสมของก๊าซ CO₂ ภายในผลมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การเคลือบด้วยไคโตซาน ทั้ง 3 ชนิด ทำให้มะม่วงมีอายุการเก็บรักษาเท่ากัน

นพรัตน์ มะเห และ ไพรัตน์ โสภโณดร [34] ทำการศึกษาผลของสารผสมที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตซานและส่วนผสมของไคโตซานกับอนุพันธ์เซลลูโลส พบว่า เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้น ฟิล์มไคโตซานที่ผลิตได้มีความหนา ความหนาแน่นผิวหน้า และค่าการต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการซึมผ่านไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 1 และเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 1 ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สำหรับฟิล์มผสมระหว่างไคโตซานและอนุพันธ์ของเซลลูโลสได้แก่ เมทิลเซลลูโลส (MC) และไฮดรอกซีเบรอฟิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มผสมระหว่างไคโตซานและอนุพันธ์เซลลูโลสทั้ง 2 ชนิด มีค่าการต้านแรงดึงสูงสุดเมื่อมีปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 10 ฟิล์มผสมระหว่างไคโตซานและ HPMC จะมีความยืดหยุ่นมากกว่าฟิล์มผสมระหว่างไคโตซาน และ MC ผลของการเติมพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ กลีเซอรอลและซอร์บิทอล ปรากฏว่าฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลจะมีค่าการต้านแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล แต่กลีเซอรอลจะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและมีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าซอร์บิทอล ส่วนผลของการเติมกรดไขมัน 2 ชนิด คือ กรดลอริกและกรดสเตียริก ปรากฏว่า กรดไขมันทั้งสองชนิดมีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเพียงเล็กน้อย โดยการเติมกรดลอริกจะช่วยให้ฟิล์มมีความสามารถในการกั้นการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีกว่าการเติมกรดสเตียริก

ศิลมณ ชัยภักดี, ศุภกิจ โหศิริ และ สุชาดา บุญญาเดช [35] ทำการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อเคลือบผิวยืดอายุการเก็บรักษามะนาว โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องที่ 5 สัดส่วนของไคโตซาน 2% โดยน้ำหนักต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดังนี้ 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 และ 0/100 พบว่าพอลิเมอร์ผสมของไคโตซานเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วน 50/50 สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด จากนั้นเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไคโตซานจาก 2% เป็น 2.5% และ 3% โดยน้ำหนักตามลำดับ ผลผลของสารเติมแต่ง สตาร์เฟรช-เว็กซ์ และสารเชื่อมโยงกลูตาราลไดอัลดีไฮด์ พบว่าฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สัดส่วน 50/50 สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไคโตซาน องศาการดีอะซิทธิเลชัน (Degree of deactylation; DD)เท่ากับ 94.68 บริษัท Union Product
2. เจลาติน 250 บลูม (bloom) หจก. อินเตอร์เนชันแนล อินกรีเดียนท์ส ซัพพลาย
3. โซเดียมเคซิเนต หจก. อินเตอร์เนชันแนล อินกรีเดียนท์ส ซัพพลาย
4. เอทานอล บริษัท Carlo Erba
5. สารละลายกรดอะซิติก (เกรดวิเคราะห์) บริษัท J.T.Baker
6. Supershine C[®] (สารเคลือบเชิงพาณิชย์) บริษัท ไบโอเซฟเฟอร์
7. ครั่งดิบ จากจังหวัดเชียงใหม่
8. TWEEN 80[®] (Emulsifier) บริษัท Ajax laboratory chemicals

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก้ว
2. ชุดใบพัดปั่นกวน
3. แท่นให้ความร้อน
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
6. เครื่องชั่ง
7. ถังมือกันความร้อน
8. ตู้อบ
9. อ่างอุลตราโซนิก (Ultrasonic bath)
10. ถาดเมลามีนผิวเรียบขนาด 10×15 นิ้ว
11. เครื่องทดสอบแรงกดประสงค์ (Universal testing machine) บริษัท LLOYD Instrument
12. ชุดทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ
13. เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) บริษัท HunterLab รุ่น MiniScan XE plus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ ตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ในโคโตซาน/เจลาตินและโคโตซาน/ไซเตียมเคซิเนตแต่ละสัดส่วนและทดสอบสมบัติ ตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการใส่แว็กซ์ในปริมาณต่างๆ และศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ได้ และขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการทดลองจริงโดยทดลองจุ่มผักผลไม้ ซึ่งเสนอใช้มะนาวเพื่อทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษา

ตอนที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซาน/เจลาตินและโคโตซาน/ไซเตียมเคซิเนต

การเตรียมตัวอย่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน

1) เตรียมสารละลายโคโตซาน โดยละลายโคโตซานในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ให้ได้โคโตซาน 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนด้วยความเร็ว 1200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

2) เตรียมสารละลายเจลาติน โดยละลายเจลาตินในน้ำกลั่นให้ได้เจลาติน 2.5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเวลา 30 นาที

3) นำสารละลายโคโตซานและสารละลายเจลาตินมาผสมกันในอัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 จากนั้นปั่นกวนด้วยความเร็ว 1200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องจนสารละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

4) นำสารละลายผสมที่ได้ไปใส่ในอ่างอุลตราโซนิกเพื่อกำจัดฟองอากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งสารละลายไว้ในบีกเกอร์เป็นเวลา 1 คืน

5) นำสารละลายผสมที่ได้ 350 มิลลิลิตร ไปเทลงบนถาดเมลามีนผิวเรียบขนาด 10×15 นิ้ว นำถาดไปวางบนโต๊ะปรับระดับความสูงที่ทำการปรับระดับเพื่อให้ฟิล์มที่ได้มีความหนาเท่ากัน ประมาณ 80-100 ไมครอน จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องภายในตู้ดูดควันเป็นเวลา 3 วัน

การเตรียมตัวอย่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับไซเตียมเคซิเนต

1) ทำเหมือนการทดลองตอนที่ 1 โดยเปลี่ยนจากสารละลายเจลาตินเป็นสารละลายไซเตียมเคซิเนต 2.5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

1) ศึกษาการซึมผ่านไอน้ำตามมาตรฐาน ASTM E96-95 ใส่ซิลิกาเจลอบแห้งลงในถ้วยนำตัวอย่างฟิล์มที่ตัดเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ปิดทับลงบนปากถ้วยที่ฉีกด้วยพาราฟินเหลว เพื่อป้องกันรอยรั่ว นำถ้วยทดสอบไปซึ่งนำหนักอย่างละเอียด แล้วนำไปเก็บในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 วัน

การคำนวณ

$$\text{อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR)} = \frac{G}{t} A$$

โดย $\frac{G}{t}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา

A คือ พื้นที่ของตัวอย่างที่วัดการซึมผ่าน = 0.0028 ตารางเมตร

WVTR คือ Water Vapor Transmission Rate หน่วย $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$

$$\text{Permeance} = \frac{WVTR}{\Delta P}$$

$$= \frac{WVTR}{S(R_1 - R_2)}$$

โดย S คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส (3.567 kPa)

R_1 คือ ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศห้องทดสอบ = 65.0 %

R_2 คือ ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศถ้วยทดสอบ = 0.0 %

$$\text{การซึมผ่านของไอน้ำ (WVP)} = \text{Permeance} \times \text{ความหนาของแผ่นฟิล์ม}$$

โดย WVP คือ Water Vapor Permeability หน่วย $\text{g} \cdot \text{mm/m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{kPa}$

2) ศึกษาการละลายน้ำตามมาตรฐาน TAPPI UM537 โดยตัดตัวอย่างขนาด 25×25 มิลลิเมตร นำไปใส่ในน้ำจนท่วมชิ้นงาน ปั่นกวนนาน 2-3 นาที นำชิ้นงานขึ้นมาตรวจสอบ ถ้าชิ้นงานไม่ละลายน้ำให้นำไปใส่ในน้ำอีกครั้งหนึ่ง และให้ความร้อนพร้อมปั่นกวนจนน้ำเดือด ถ้าชิ้นงานไม่ละลายให้นำขึ้นมาตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง รายงานผลเป็น ละลาย ไม่ละลาย และ บวมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

- 1) ทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ASTM D882 ด้วย Universal testing machine วัดค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัส ใช้ชิ้นงานทดสอบ 10 ชิ้น สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

Load cell	5	kN
Test speed	100	mm/min
Gauge length	25	mm

- 2) ทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน ASTM D1004 ตัดตัวอย่างแบบ Die C ใช้ชิ้นงานทดสอบ 10 ชิ้น สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

Load cell	5	kN
Test speed	51	mm/min

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของปริมาณเวกซ์ต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโคซาน/เจลาตินและโคโคซานไซเดียมเคซิเนต

- 1) เตรียมสารละลายเวกซ์ความเข้มข้น 25% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใส่ครั้งดับ 25 กรัมในเอทานอล 75 มิลลิลิตร

- 2) เลือกเฉพาะอัตราส่วนที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดในตอนแรก มาทำการใส่สารละลายเวกซ์เข้มข้น 25% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 0, 5, 10 และ 15% โดยน้ำหนัก โดยใส่ TWEEN 80[®] ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์เท่ากับปริมาณเวกซ์ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

- 3) นำสารละลายผสมที่ได้ไปใส่อย่างอุลตราโซนิกเพื่อกำจัดฟองอากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งสารละลายไว้ในบีกเกอร์เป็นเวลา 1 คืน

- 4) นำสารละลายผสมที่ได้ 330 มิลลิลิตร ไปเทลงบนภาตเมลามีนผิวเรียบขนาด 10×15 นิ้ว นำภาตไปวางบนโต๊ะปรับระดับความสูงที่ทำการปรับระดับเพื่อให้ฟิล์มที่ได้มีความหนาเท่ากัน ประมาณ 80-100 ไมครอน จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องภายในตู้ดูดควันเป็นเวลา 3 วัน

- 5) ทำการทดสอบสมบัติเช่นเดียวกับตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การศึกษาการเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

1) คัดเลือกผลมะนาวที่มีตำหนิน้อย น้ำหนักใกล้เคียงกัน จำนวน 20 ผล แบ่งเป็น 2 ชุด ชุดละ 10 ผล มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำผลมะนาวที่ได้มาผึ่งลมให้แห้งประมาณ 10 นาที

2) ทำการเคลือบสารละลายที่ได้จากตอนที่ 2 ทั้ง 4 อัตราส่วนและสารเคลือบผิวเกรดการค้าซูเปอร์ไชน์ ซี (Supershine C[®]) โดยใช้ฟองน้ำ (สูตรละ 2 ชุด)

3) ศึกษาสมบัติของผลมะนาวเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป โดยทำการบันทึกผลทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ดังนี้

3.1 วัดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักของผลมะนาวเปรียบเทียบกับน้ำหนักเมื่อเริ่มทดลอง

3.2 วัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยใช้ Spectrophotometer ด้วยแสงสังเคราะห์ D65/10° โดยวัดมะนาวทุกๆ ลูก ลูกละ 3 จุด

3.3 วัดเปอร์เซ็นต์ลูกที่ไม่เน่าเสีย (%Residue) โดยนับจำนวนมะนาวที่เน่าเสียเทียบกับจำนวนมะนาวทั้งหมดที่มี

4) ทำซ้ำโดยใช้มะนาวมาชุบซูเปอร์ไชน์ ซีแทนพอลิเมอร์ผสม

5) นำมะนาวที่ชุบพอลิเมอร์ผสม (ครั้ง 0, 5, 10 และ 15%), ชุบซูเปอร์ไชน์ ซี และที่ไม่ได้ชุบ โดยศึกษาผลเปรียบเทียบในแต่ละครั้งที่บ้านที่กผล หรือจนมะนาวเสียสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวอย่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน และไคโตซานกับไซเตียมเคซิเนต

ในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟิล์มตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน และไคโตซานกับไซเตียมเคซิเนต เพื่อใช้ในการเคลือบผลไม้ ได้แก่ ฟิล์มไคโตซาน 100% (CHI 100) ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาตินอัตราส่วน 75/25 (CHI75/GEL25) 50/50 (CHI50/GEL50) 25/75 (CHI25/GEL75) ฟิล์มเจลาติน 100% (GEL100) ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับไซเตียมเคซิเนตอัตราส่วน 75:25 (CHI75/CAS25) 50/50 (CHI50/CAS50) 25:75 (CHI25/CAS75) และไซเตียมเคซิเนต 100% (CAS100) โดยปริมาตร ทำการทดสอบผลด้านต่างๆ คือ ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ในด้านการศึกษาการซึมผ่านไอน้ำ การละลายน้ำ ศึกษาสมบัติเชิงกล ในด้านการทดสอบความแข็งแรงดึง และทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด

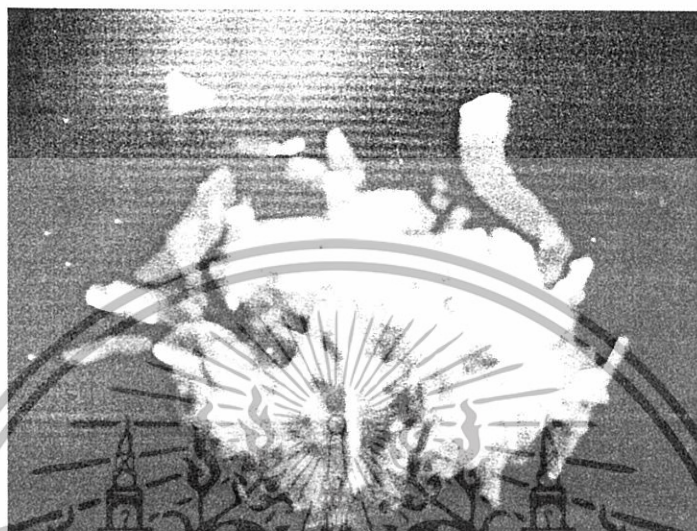
จากการทดลองพบว่าไคโตซานกับไซเตียมเคซิเนต ไม่สามารถเข้ากันได้จากลักษณะภายนอก เนื่องจากมีการแยกวัฏภาคกันอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 4.1 จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสม โดยการเทหล่อจากสารละลาย (solution casting) พบว่า ฟิล์มไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และมีความแข็งแรงต่ำ ดังนั้นจึงทำการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสม CHI/GEL เพียงชนิดเดียวในการทดลองตอนต่อไป



รูปที่ 4.1 การแยกชั้นกันระหว่างไคโตซานกับไซเตียมเคซิเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าฟิล์มเจลาติน 100% (GEL100) มีความเปราะมาก ทำให้เกิดการแตกหักขณะทำการลอกออกจากถาดเมลามีน ดังรูปที่ 4.2 จึงไม่สามารถนำมาทำการทดลองในตอนต่อไปได้



รูปที่ 4.2 ฟิล์มเจลาตินที่แตกหักเมื่อทำการลอกออกจากถาดเมลามีน

4.1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

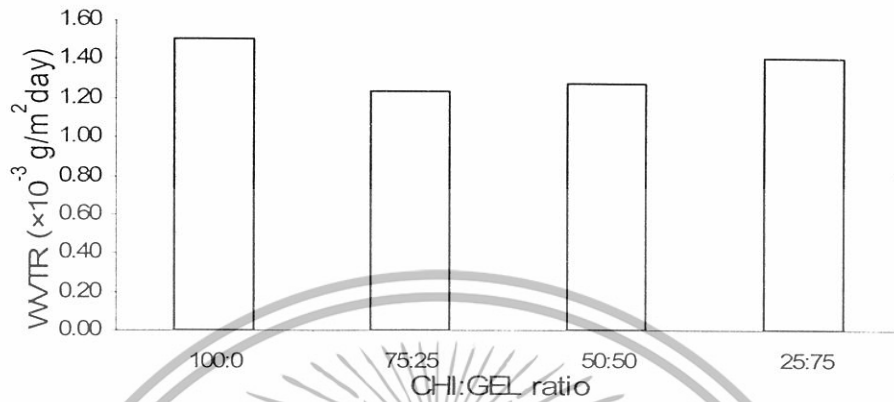
4.1.1.1 การซึมผ่านไอน้ำ

ความหนาของแผ่นฟิล์ม CHI100, CHI75/GEL25, CHI50/GEL50 และ CHI25/GEL75 มีค่า 74 ± 7.12 , 80 ± 2.16 , 81 ± 2.94 และ 94 ± 3.86 ไมครอน ตามลำดับ

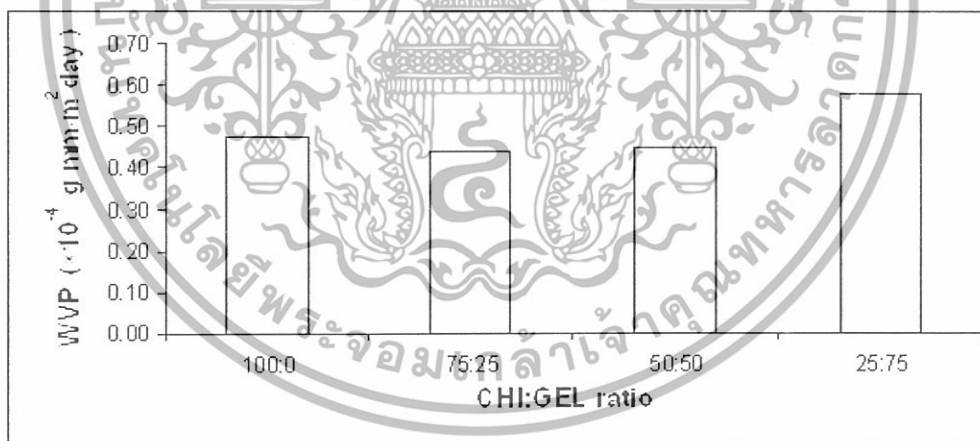
การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม มีความสำคัญในการเลือกใช้ฟิล์มเป็นบรรจุภัณฑ์อย่างยิ่ง เนื่องจากความชื้นในผลิตภัณฑ์ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้ามีการซึมผ่านของไอน้ำสูง อายุการเก็บรักษาจะสั้นลง

ผลของอัตราส่วนระหว่าง CHI/GEL ที่มีต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) และค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability; WVP) แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในสูตร CHI50/GEL50 และสูตร CHI75/GEL25 มีค่าน้อยที่สุด เนื่องมาจากการผสมเข้ากันได้ดีวิภาคอยู่ร่วมกันอย่างต่อเนื่อง (Co-continuous phase) ทำให้น้ำซึ่งเป็นสารโมเลกุลเล็กแทรกผ่านได้ยากขึ้น แต่ค่าการซึมผ่านไอน้ำของสูตร CHI100, CHI50/GEL50 และสูตร CHI75/GEL25 มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR)



รูปที่ 4.4 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability; WVP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 การละลายน้ำ

การละลายน้ำ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI UM 537 ซึ่งได้ทดสอบการละลายน้ำ ที่อุณหภูมิห้องและน้ำเดือด โดยรายงานผลเป็น ละลาย(+) บวมตัว(SW) และไม่ละลาย(-) ผลการทดสอบการละลายน้ำ แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 พบว่า พอลิไคโตซาน 100% จะไม่เกิดการละลาย ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่จะเกิดการบวมตัวกับพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน ที่อัตราส่วนต่างๆ สำหรับในน้ำเดือด พอลิเมอร์ผสมไคโตซาน 100% จะเกิดเพียงการบวมตัวเท่านั้น แต่พอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน ที่อัตราส่วนต่างๆ จะเกิดการละลายได้ ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่เจลาตินจะมีสมบัติในการละลายน้ำ และละลายได้ดี ยิ่งขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.1 ค่าการละลายของพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน

CHI/GEL	น้ำที่อุณหภูมิห้อง		น้ำเดือด	
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2
100/0		-	SW	SW
75/25	SW	SW	+	+
50/50	SW	SW	+	+
25/75	SW	SW	+	+

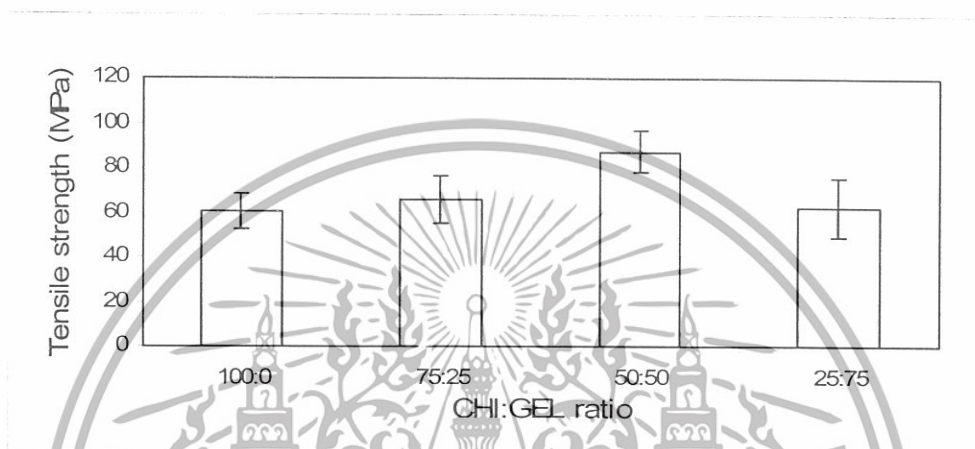
4.1.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

4.1.2.1 ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัส (Tensile strength and Modulus)

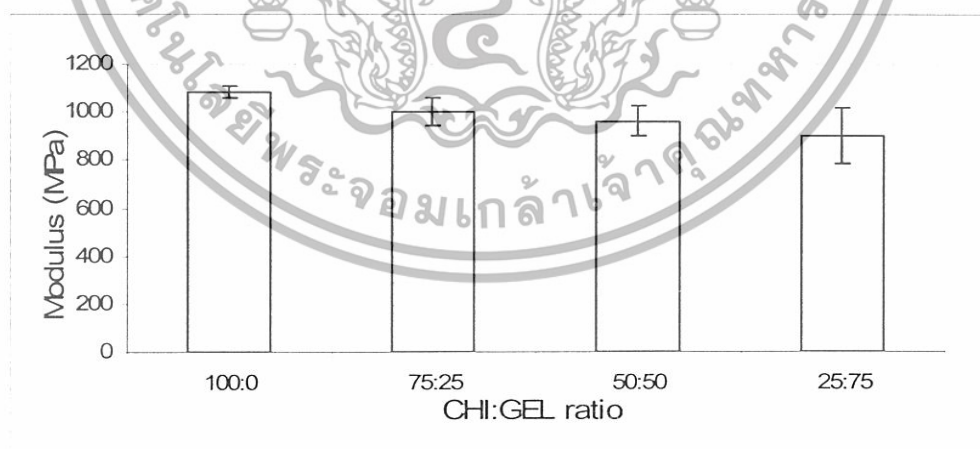
จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงให้เห็นถึงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และมอดุลัส (Modulus) ที่ได้จากพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน (CHI/GEL) มีค่าสูงขึ้นจากค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI100) โดยที่อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน 50/50 โดยปริมาตร (CHI50/GEL50) มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ส่วนค่าความแข็งแรงดึงที่อัตราส่วนไคโตซานกับเจลาติน 75/25 และ 25/75 โดยปริมาตร ให้ค่ารองลงมา ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาตินเกิดการเข้ากันได้ (Miscible blend) ในระดับโมเลกุลสูงมากอาจเป็นเพราะพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีหมู่ไฮดรอกซี (-OH), หมู่เอไมด์ (-NH-) และเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงอยู่มาก ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์อยู่ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบต่อเนื่องทั้ง 2 วัฏภาค (Co-continuous phase) ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มจึงมีค่าสูงขึ้นมากกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ ส่วนค่ามอดุลัสเป็นสมบัติที่ขึ้นกับสมบัติของพอลิเมอร์แต่ละตัวที่นำมาผสมและสัดส่วนที่ผสม โดยที่ฟิล์มพอลิเมอร์ไคโตซานจะมีค่ามอดุลัสสูงสุด และมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของเจลาตินเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 ค่า Tensile strength ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน

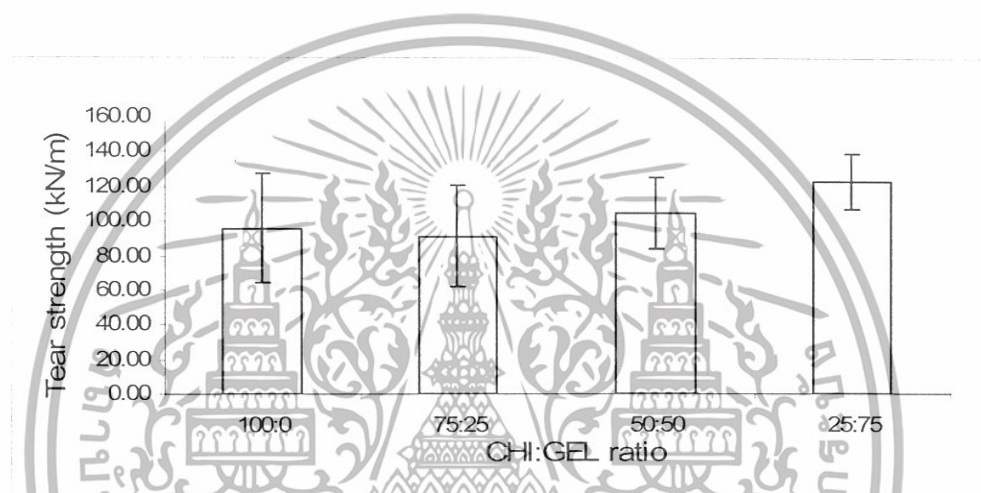


รูปที่ 4.6 ค่า Modulus ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)

จากรูปที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาตินอัตราส่วนต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่สัดส่วน CHI100 จะมีค่า standard error ที่สูงที่สุดและลดลงเมื่อมีปริมาณของเจลาตินเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากมีความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่อมีปริมาณของเจลาตินเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการไหลฟองอากาศออกไปได้ง่ายกว่าจึงพบฟองอากาศได้จำนวนน้อยกว่า จึงมีส่วนทำให้ค่า standard error ลดลงเมื่อปริมาณเจลาตินเพิ่มขึ้นในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

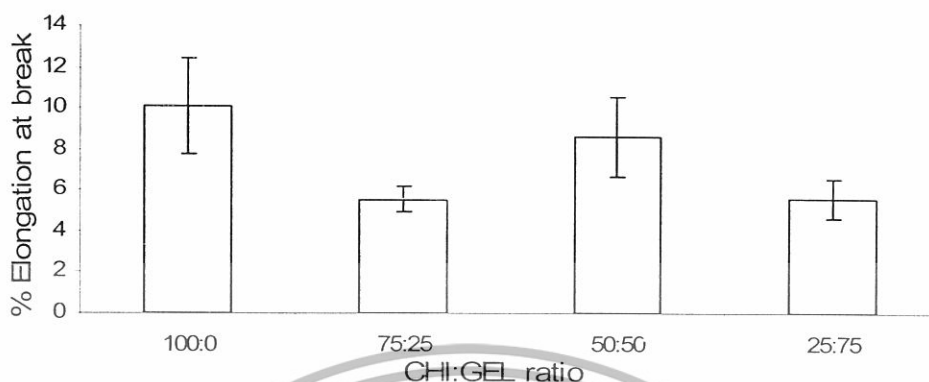


รูปที่ 4.7 ค่า Tear strength ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน

4.1.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

จากรูปที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน มีแนวโน้มว่าอัตราส่วนที่ให้ค่าสูงสุด คือ ไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI100) แต่เมื่อมีปริมาณเจลาตินเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง สามารถอธิบายได้ว่า อาจเป็นเพราะในไคโตซานมีพันธะไฮโดรเจนอยู่มากกว่าที่พบในเจลาติน เมื่อนำมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ จะเห็นว่ายังมีปริมาณเจลาตินมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดจะลดลง แต่อัตราส่วน CHI75/GEL25 มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดน้อยกว่า CHI50/GEL50 อาจเป็นเพราะภายในฟิล์มที่นำมาทดสอบอาจเกิดฟองอากาศหรือรอยตำหนิบนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่า % Elongation at break ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตนกับเจลาติน

4.2 การศึกษาผลของปริมาณเว็กซ์ต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตน/เจลาติน และโคโตน/ไซเดียมเคซีเนต

จากการทดลองตอนที่ 4.1 พบว่า CHI50/GEL50 เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่า WVTR และ WVP ต่ำ มีความแข็งแรงดึงมากที่สุด และมีสมบัติอื่นๆ ที่ดีจึงนำมาทดสอบปริมาณเว็กซ์ต่อสมบัติของแผ่นพอลิเมอร์ผสมต่อไป

ปริมาณเว็กซ์ที่สามารถใส่ได้มากที่สุด คือ 10% เนื่องจากการใส่เว็กซ์มากกว่านี้จะทำให้เกิดการแยกวัฏภาคอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยเว็กซ์จะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนอย่างชัดเจนด้วยการสังเกตด้วยสายตา ดังรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 การแยกวัฏภาคเมื่อใส่ปริมาณเว็กซ์ 15% (W/W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

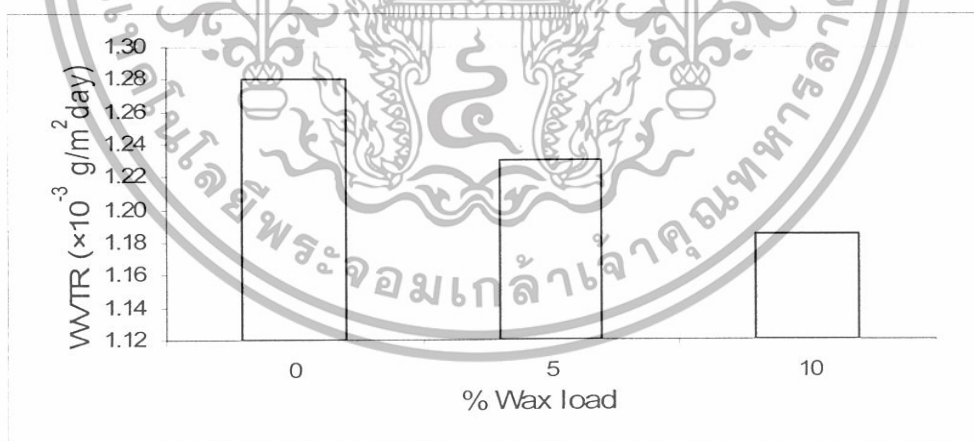
4.2.1.1 การซึมผ่านไอน้ำ

ความหนาของฟิล์ม WAX 0%, WAX5% และ WAX 10% มีค่า 81 ± 2.94 , 74 ± 6.42 และ 72 ± 1.44 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีความสำคัญในการเลือกใช้ฟิล์มเป็นบรรจุภัณฑ์อย่างยิ่ง เนื่องจากความชื้นในผลิตภัณฑ์ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้ามีการซึมผ่านของไอน้ำสูง อายุการเก็บรักษาจะสั้นลง

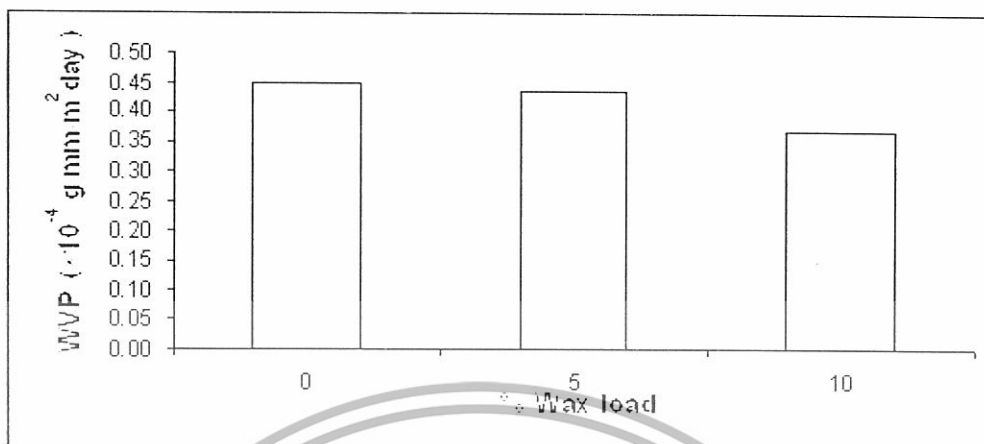
ผลของปริมาณแว็กซ์ ที่มีต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) และค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability; WVP) แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 โดยการซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณแว็กซ์ การที่ค่าการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลงเมื่อปริมาณแว็กซ์เพิ่มขึ้น ก็เนื่องมาจากแว็กซ์มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ ดังนั้น การใส่แว็กซ์จึงเป็นการลดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมด้วย

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในสูตร WAX 10% มีค่าน้อยที่สุด ส่วนค่าการซึมผ่านไอน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.10 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตนกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแว็กซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability; WVP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแว็กซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ

4.2.1.2 การละลายน้ำ

การละลายน้ำ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI UM 537 ซึ่งได้ทดสอบการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องและน้ำเดือด โดยรายงานผลเป็น ละลาย(+) บวมตัว(SW) และไม่ละลาย(-) ผลการทดสอบการละลายน้ำ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่เติมแว็กซ์ลงไปทุกอัตราส่วน จะเกิดการบวมตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และการทดสอบในน้ำเดือดก็จะให้ผลการทดลองไปในแนวทางเดียวกันกับน้ำที่อุณหภูมิห้อง ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากแว็กซ์มีสมบัติไม่ละลายน้ำ จึงไปช่วยส่งเสริมสมบัติการต้านการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามคิดว่า ปริมาณแว็กซ์ที่เติม (สูงสุด 10%) ยังไม่มากพอที่จะทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไม่เกิดการบวมตัวที่อุณหภูมิห้องและน้ำเดือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

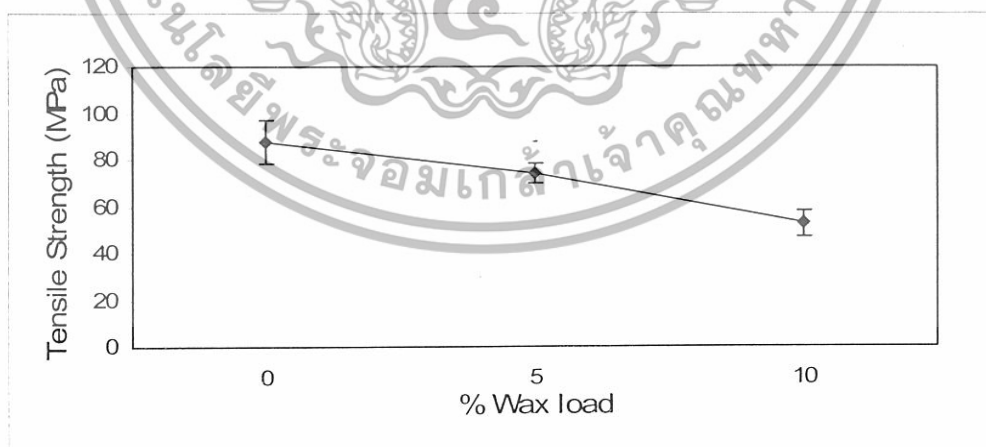
ตารางที่ 4.2 ค่าการละลายของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตนกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ

Wax load (%)	น้ำที่อุณหภูมิห้อง		น้ำเดือด	
	ชั้นที่1	ชั้นที่2	ชั้นที่1	ชั้นที่2
0	SW	SW	+	+
5	SW	SW	SW	SW
10	SW	SW	SW	SW

4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

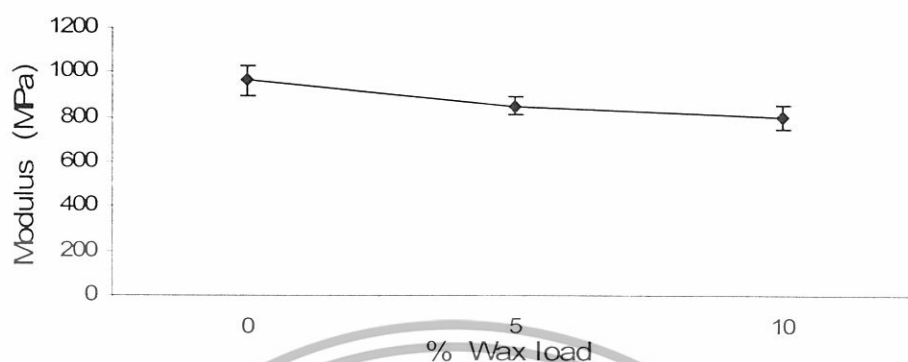
4.2.2.1 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength and Modulus)

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงให้เห็นถึงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตนกับเจลาตินที่มีการเติมแวกซ์ในอัตราส่วนต่างๆ มีแนวโน้มว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแวกซ์มากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัส มีแนวโน้มลดลง จากการสังเกต พบว่า ความสามารถในการละลายของแวกซ์ในสารละลายพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแวกซ์ ดังนั้น การใช้แวกซ์ปริมาณมาก อาจมีบางส่วนของแวกซ์ที่เกิดการรวมตัวกัน เกิดเป็นรอยตำหนิ (Defect) ทำให้ความแข็งแรงฟิล์มพอลิเมอร์ผสมลดลง



รูปที่ 4.12 ค่า Tensile strength ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตนกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ

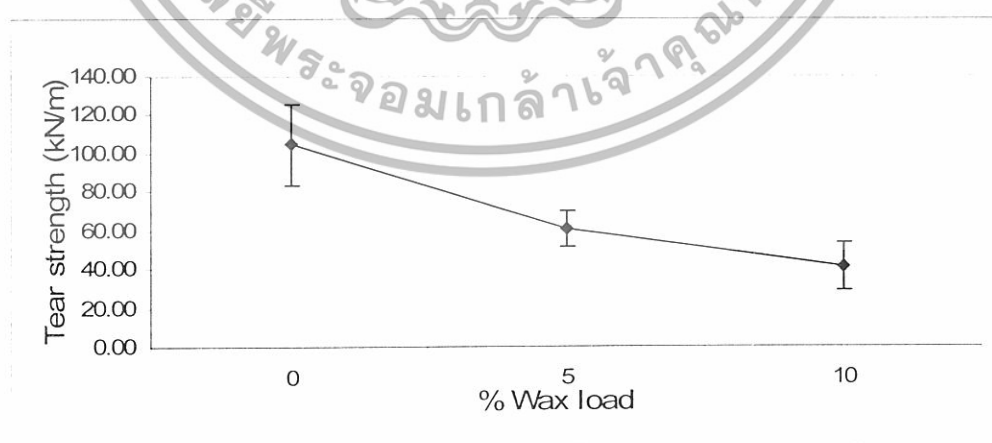
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ค่า Modulus ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ

4.2.2.2 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)

จากรูปที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน ที่มีการเติมแวกซ์อัตราส่วนต่างๆ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โดยอัตราส่วนที่ให้ค่าสูงสุด คือ WAX 0% รองลงมา คือ WAX 5% และ WAX 10% ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ก็อาจเนื่องมาจากแวกซ์ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) จึงทำให้ฟิล์มมีสมบัติยืดหยุ่นมากขึ้น ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ก็จะมีค่าลดลง



รูปที่ 4.14 ค่า Tear strength ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแวกซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

จากรูปที่ 4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอริซึมโคโตซานกับเจลาตินที่มีการเติมแว็กซ์ จากทฤษฎีแล้วเมื่อปริมาณแว็กซ์เพิ่มขึ้นควรมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น แต่จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดไม่แตกต่างกันเมื่อมีการเติมแว็กซ์ลงไปมากขึ้น อาจเนื่องจากเกิดการจับตัวกันของแว็กซ์ เกิดเป็นรอยตำหนิทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.15 ค่า % Elongation at break ของฟิล์มพอลิเมอริซึมโคโตซานกับเจลาติน เมื่อมีการเติมแว็กซ์ลงไปอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้

4.3.1 เปอร์เซ็นต้น้ำหนักที่เหลืออยู่ (% Weight loss)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นานขึ้น น้ำหนักของมะนาวที่เป็นชุดควบคุมและชุดที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิดมีแนวโน้มลดลง ในอัตราที่แตกต่างกัน โดยมะนาวที่เคลือบผิวด้วย WAX 10% มีอัตราการลดลงที่น้อยรองจากสูตร Supershine C[®] โดยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อาจกล่าวได้ว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตร WAX10% สามารถช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ของมะนาว อันได้แก่ อัตราการหายใจ การจำกัดการแลกเปลี่ยนของก๊าซได้ดีที่สุด มีผลทำให้มะนาวเน่าเสียได้น้อยที่สุด หรือสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด แต่ก็ยังคงน้อยกว่าสูตร Supershine C[®]

ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่

วันที่	ชนิดของสารเคลือบ				Shine C
	Control	WAX 0%	WAX 5%	WAX 10%	
0	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a
2	92.71b	93.09b	94.41b	94.19b	95.45ab
4	87.01c	87.63c	89.89b	90.09bc	92.05abc
6	85.10c	85.42cd	86.78bc	87.11bcd	90.06abcd
8	83.69cd	83.54cd	84.59cd	85.00cde	88.05bcde
10	81.31cd	81.07cd	81.83cde	82.23def	85.00bcde
12	79.44cde	79.39cd	79.93def	80.53ef	84.20bcde
14	76.6de	78.61cd	78.55def	79.05ef	82.52cde
16	74.13e	76.74cd	77.68ef	78.56ef	81.07de
18	72.84e	75.96d	76.52ef	77.5ef	80.91de
20	72.36f	75.01d	75.11ef	77.11ef	78.63de
22	-	72.14d	72.47f	74.76f	76.51e

a-f ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 เปอร์เซนต์ลูกดีที่เหลืออยู่ (% Residue)

การประเมินลูกดีที่เสียหายโดยวิธีการสังเกตค่าสี โดยเมื่อลูกมะนาวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้ง ลูกจะทำการคัดมะนาวลูกนั้นออกไป

จากตาราง 4.4 จะพบว่า การเคลือบผิวมะนาวด้วยสารเคลือบผิวเกรดการค้า (Supershine C[®]) สามารถเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการใช้งานได้นานที่สุด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 22 วัน โดยมีเปอร์เซนต์มะนาวดีที่เหลืออยู่ (%Residue) มากที่สุด คือ 75 เปอร์เซนต์ รองลงมา คือ WAX 10% เหลือ 30 เปอร์เซนต์ WAX 0% เหลือ 15 เปอร์เซนต์ และ WAX 5% เหลือ 10 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ สำหรับมะนาวที่ไม่ทำการเคลือบเลยเน่าเสียไปหมดแล้ว

เมื่อให้เปอร์เซนต์มะนาวดีที่เหลืออยู่ (%Residue) เป็นเกณฑ์กำหนดเพื่อใช้ประเมินอายุการเก็บรักษามะนาว จะสามารถสรุปได้ว่า WAX 10% สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้ดีที่สุด รองจากสารเคลือบผิวเกรดการค้า (Supershine C[®])

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของมะนาวสด เกิดจากก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ซึ่งได้จากการบวนการหายใจ เป็นตัวช่วยเร่งอัตราการสุกของผักและผลไม้ ส่วนหนึ่งของก๊าซจะถูกดูดซึมเข้าไป ทำให้เนื้อนุ่มและรสชาติดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน ก็ช่วยเร่งให้เหี่ยวเร็วขึ้น จนทำให้เกิดการเน่าเสียในที่สุด ซึ่ง WAX10% อาจจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ มีผลทำให้เกิดการเน่าเสียที่น้อยที่สุด รองจากสารเคลือบผิวเกรดการค้า (Supershine C[®])

อาจกล่าวได้ว่า WAX 10% สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และรักษาความชื้น ให้อยู่ในสภาพสมดุล จึงมีผลต่อการควบคุมเมตาบอลิซึมของผลไม้ได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลืออยู่

วันที่	จำนวนลูกที่เหลือ				
	Control	WAX 0%	WAX 5%	WAX 10%	Shine C
2	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100
10	80	95	95	95	100
12	80	95	90	90	100
14	50	95	75	80	100
16	50	75	60	70	85
18	20	35	35	45	75
20	0	25	25	35	75
22	0	15	10	30	75

4.3.3 ค่าสีแบบ L*

ค่า L* แสดงค่าความสว่างจาก 0-100 ถ้าค่า L* มาก แสดงว่ามีความสว่างมาก จากตารางที่ 4.5 พบว่าในช่วงแรก ค่า L* จะยังมีค่าน้อย เนื่องจากมะนาวยังมีสีเขียว เมื่อทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป มะนาวจะเริ่มมีสีเหลือง ทำให้ค่า L* มีค่าสูงขึ้น คือ มีความสว่างมากขึ้น โดยค่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเวลาในการเก็บมะนาวนานขึ้นเรื่อยๆ ค่า L* จะมีค่าลดลง เนื่องจากมะนาวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มมากขึ้นๆ ความสว่างก็จะลดลง โดยมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าสีแบบ L*

วันที่	ชนิดของสารเคลือบ				
	Control	WAX 0%	WAX 5%	WAX 10%	Shine C
0	46.36abc	45.81a	47.28a	46.26bcd	46.32a
2	48.57abc	47.06ab	47.69a	47.34abc	48.03a
4	49.78bc	48.81ab	49.71ab	48.85ab	49.01b
6	50.08b	49.25ab	49.42ab	49.62a	51.37c
8	50.18b	50.19b	51.01b	49.77a	52.93cd
10	49.16bc	49.60ab	49.95ab	48.84ab	53.26cd
12	49.33bc	49.01ab	49.33ab	49.10abc	54.85cd
14	47.24abc	47.58ab	47.64ab	47.02abc	54.03cd
16	45.33ac	45.67b	46.54a	45.08bcd	53.98d
18	45.11ac	45.15a	44.71a	44.71bcd	54.41d
20	43.78a	47.02ab	44.50a	44.27cd	54.49d
22	-	42.85c	44.39a	42.60b	54.59d

a-d ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.4 ค่าสีแบบ a*

จากตารางที่ 4.6 ค่าที่เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง และค่าที่เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีเขียว พบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อค่าสีเขียว ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในช่วง 6 วันแรก สารเคลือบผิวทุกชนิดมีค่าความเป็นสีเขียวเช่นเดียวกับชุดควบคุม แต่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ค่าความเป็นสีเขียวลดลง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในช่วง 6 วันแรก ค่าความเป็นสีเขียวจะลดลงไม่มาก แต่หลังจากนั้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเขียวจะลดลงอย่างรวดเร็ว อาจจะเป็นเพราะ มะนาวเกิดการเหี่ยวและหดตัวลง อาจทำให้ฟิล์มที่เคลือบหลุดออก จึงทำให้ค่าความเป็นสีเขียวเปลี่ยนแปลงไป แต่สูตร WAX 10% พบว่ามีการชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเขียวไปเป็นค่าความเป็นสีแดงมากกว่าสูตรอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าสีแบบ a*

วันที่	ชนิดของสารเคลือบ				
	Control	WAX 0%	WAX 5%	WAX 10%	Shine C
0	-10.16a	-10.31a	-10.37a	-10.58a	-10.53a
2	-10.03a	-10.54a	-10.18a	-10.60a	-10.59a
4	-10.26a	-10.56a	-10.09a	-10.73a	-11.05a
6	-9.31ab	-9.68a	-8.67b	-9.11a	-10.29ab
8	-7.81ab	-7.90b	-7.10c	-8.11a	-9.95ab
10	-5.97bc	-7.42b	-5.94c	-6.88a	-9.28abc
12	-6.56b	-6.47b	-4.27d	-4.84b	-8.80bc
14	-3.58c	-4.27c	-1.05e	-2.36c	-7.42cd
16	-4.28c	-2.88d	0.29f	-3.77c	-7.10de
18	-0.38c	-9.00e	-0.49g	0.26d	-6.015de
20	0.29c	2.63f	1.99h	1.91d	-6.08de
22	-	0.37g	3.04h	2.20d	-4.99e

a-e ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.5 ค่าสีแบบ b*

จากตาราง 4.7 ค่าที่เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง และค่าที่เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน พบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อค่าสีเหลือง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเหลือง จะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผิวของมะนาวเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง แต่สูตร WAX 0%, WAX 5% และ WAX 10% จากวันที่ 18 เป็นต้นไป พบว่า ค่าสีมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจาก เมื่อมะนาวเกิดการเหี่ยวลง อาจจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างฟิล์มกับมะนาว ทำให้ฟิล์มที่ติดอยู่กับผลไม้ในตอนแรก เกิดการหลุดออก ทำให้สีผิวของมะนาวเปลี่ยนสีไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าสีแบบ b*

วันที่	ชนิดของสารเคลือบ				
	Control	WAX 0%	WAX 5%	Wax 10%	Shine C
0	29.86a	28.02a	28.53abc	28.33bcd	28.14a
2	33.64abc	29.43ab	30.92abc	30.42abc	29.88a
4	36.58abc	32.65ab	33.50bc	33.84ab	33.43b
6	37.88b	33.85b	34.62bc	34.53a	36.68c
8	37.50b	35.12b	35.94c	35.35a	39.16cd
10	36.95bc	35.22b	34.47bc	33.97ab	40.18cd
12	36.52abc	33.55b	32.84bc	32.92abc	41.58cd
14	33.78abc	28.90ab	30.89abc	29.98abc	40.91cd
16	32.09ac	28.79ab	31.03abc	29.09bcd	40.56d
18	32.23ac	27.22a	26.64ab	27.51bcd	41.57d
20	31.10ac	27.86a	25.62a	26.38cd	41.57d
22	-	22.36a	25.38a	23.47d	41.27d

a-d ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.6 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ (% Weight loss)

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบกันแต่ละสูตร จะพบว่า เปอร์เซนต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเปอร์เซนต์น้ำหนักที่เหลืออยู่

เวลาเก็บรักษา (Day)	ชนิดของสารเคลือบ				
	Control	WAX 0%	WAX 5%	WAX 10%	Shine C
22	82.29a	82.38a	83.15a	83.84a	86.20a

a ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 ค่าสีแบบ L*

จากตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบกันแต่ละสูตร จะพบว่า ค่าสีแบบ L* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะเห็นว่า สูตรควบคุม WAX 0% WAX 5% และ WAX 10% อยู่ในกลุ่ม a และ Shine C อยู่ในกลุ่ม b ซึ่งเปรียบเทียบกันเป็นระยะเวลา 22 วัน

ตารางที่ 4.9 ค่าสีแบบ L*

เวลาเก็บรักษา (Day)	ชนิดของสารเคลือบ				
	Control	WAX 0%	WAX 5%	WAX 10%	Shine C
22	47.72a	47.33a	47.68a	46.96a	52.27b

a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.8 ค่าสีแบบ a*

จากตารางที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบกันแต่ละสูตร จะพบว่าค่าสีแบบ a* ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ค่าสีแบบ a*

เวลาเก็บรักษา (Day)	ชนิดของสารเคลือบ				
	Control	WAX 0%	WAX 5%	WAX 10%	Shine C
22	-6.18a	-6.34a	-4.40a	-5.22a	-8.51a

a ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.9 ค่าสีแบบ b*

จากตารางที่ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบกันแต่ละสูตร จะพบว่า ค่าสีแบบ b* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะเห็นว่า สูตรควบคุม อยู่ในกลุ่ม a WAX 0%, WAX 5% และ WAX 10% อยู่ในกลุ่ม b และ Supershine C อยู่ในกลุ่ม c ซึ่งเปรียบเทียบเป็นระยะเวลา 22 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

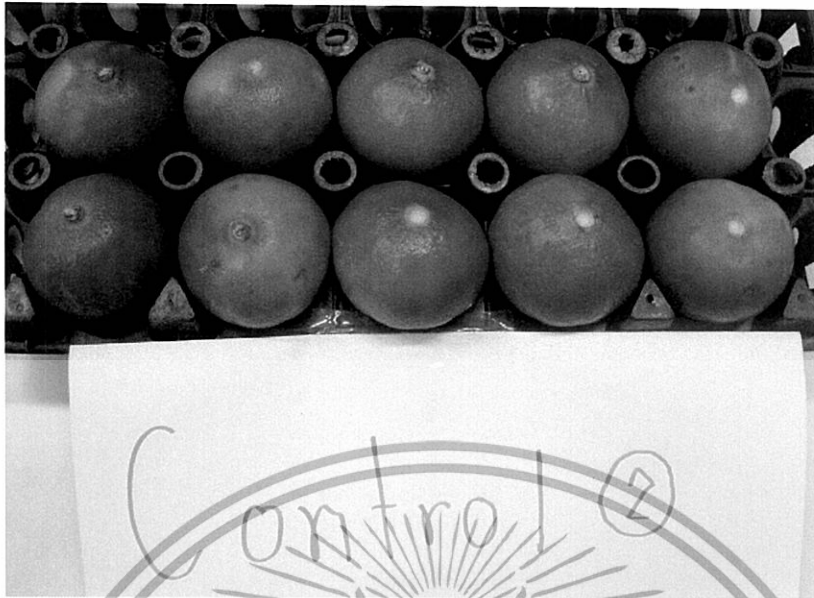
ตารางที่ 4.11 ค่าสีแบบ b*

เวลาเก็บรักษา (Day)	ชนิดของสารเคลือบ				
	Control	WAX 0%	WAX 5%	WAX 10%	Shine C
22	34.38a	30.25b	30.86b	30.48b	37.91c

a-c ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

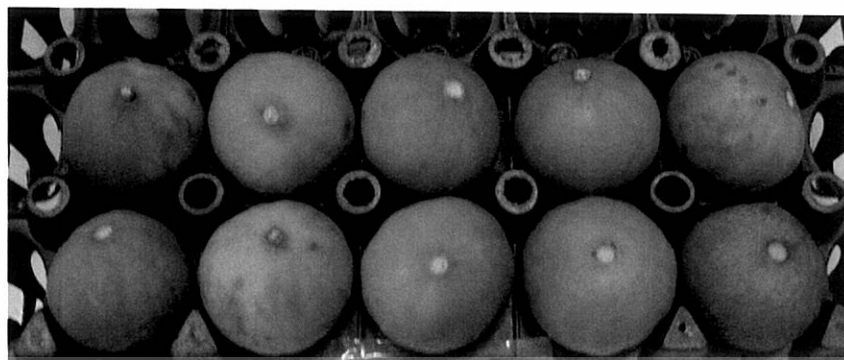


รูปที่ 4.18 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันแรกของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.19 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

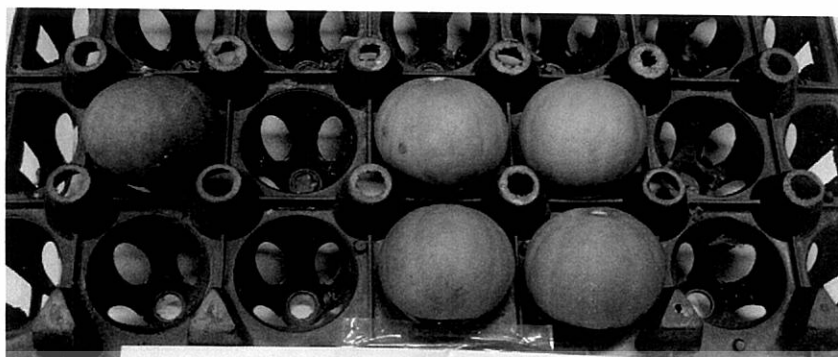


รูปที่ 4.20 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.21 รูปถ่ายมะนาวสุตรควบคุมในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 รูปถ่ายมะนาวสูตรควบคุมในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.23 รูปถ่ายมะนาวสูตรควบคุมในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นวันสุดท้ายที่มีมะนาวสูตรควบคุมเหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แว็กซ์ (WAX 0%) ในวันแรกของการเก็บรักษา

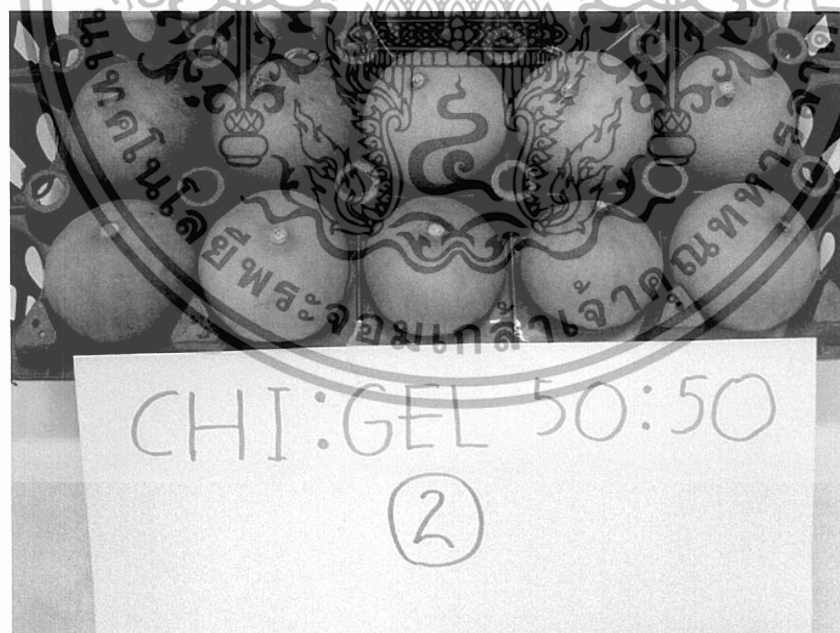


รูปที่ 4.25 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แว็กซ์ (WAX 0%) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

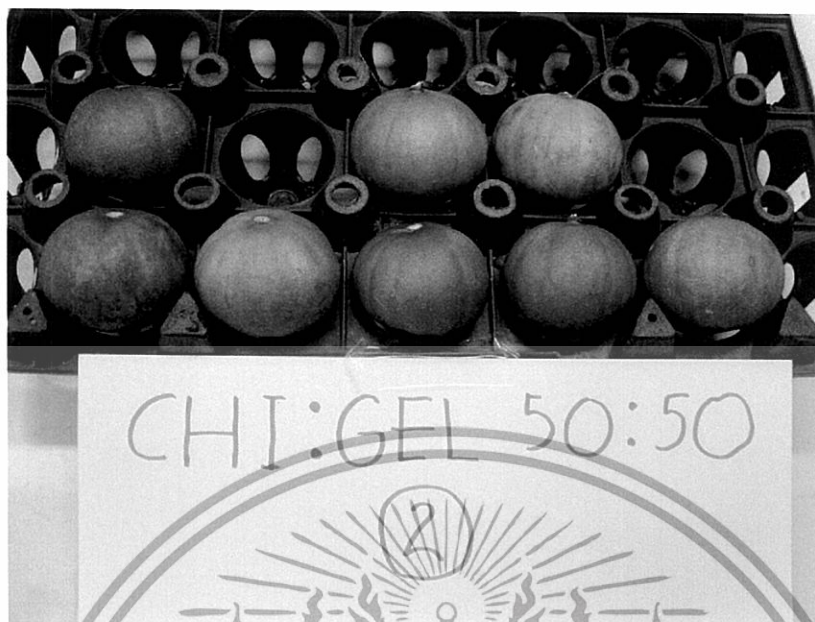


รูปที่ 4.26 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แว็กซ์ (WAX 0%) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.27 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แว็กซ์ (WAX 0%) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แว็กซ์ (WAX 0%) ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา

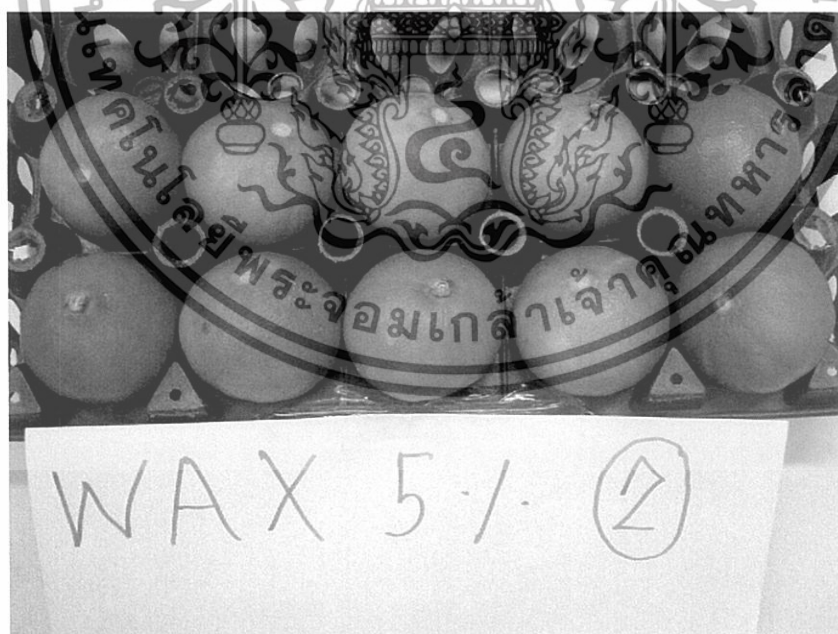


รูปที่ 4.29 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ได้ใส่แว็กซ์ (WAX 0%) ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันแรกของการเก็บรักษา

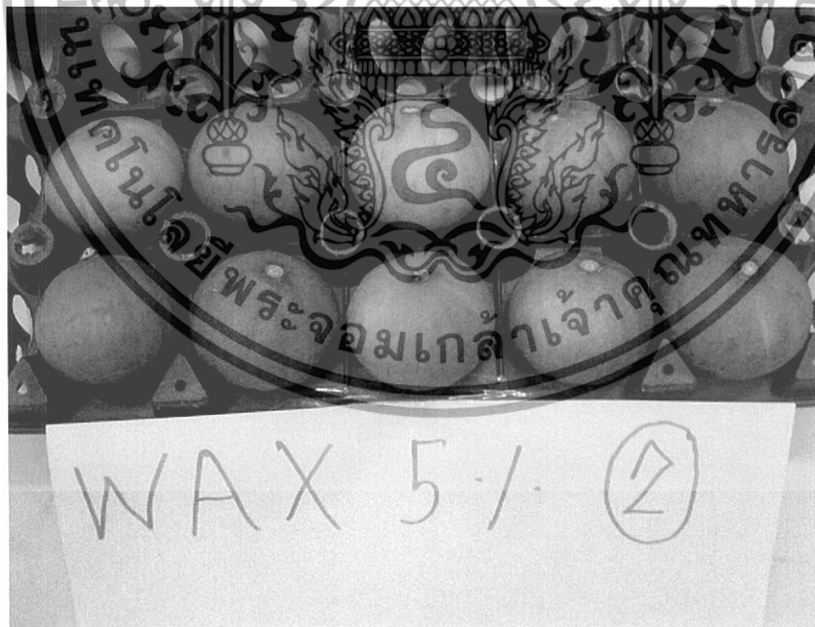


รูปที่ 4.31 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา

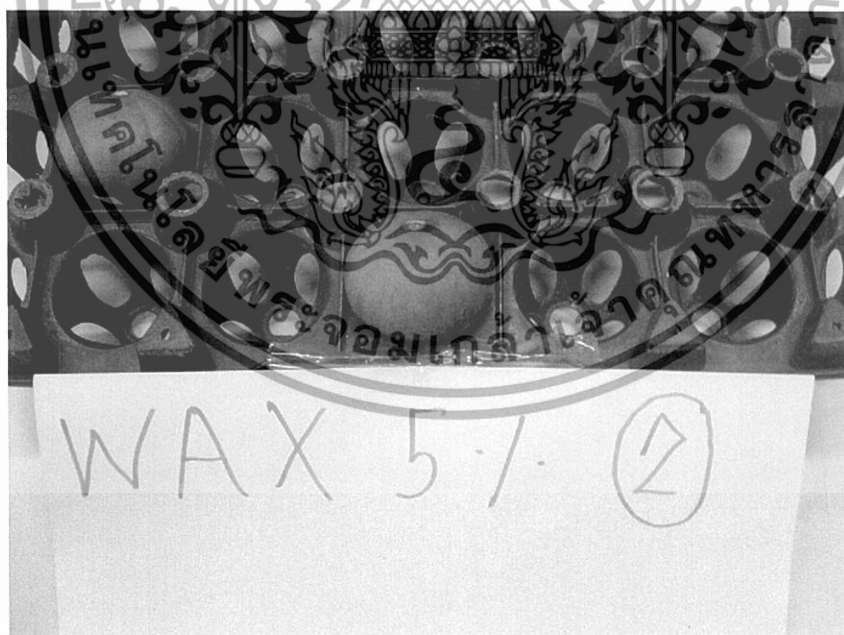


รูปที่ 4.33 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา

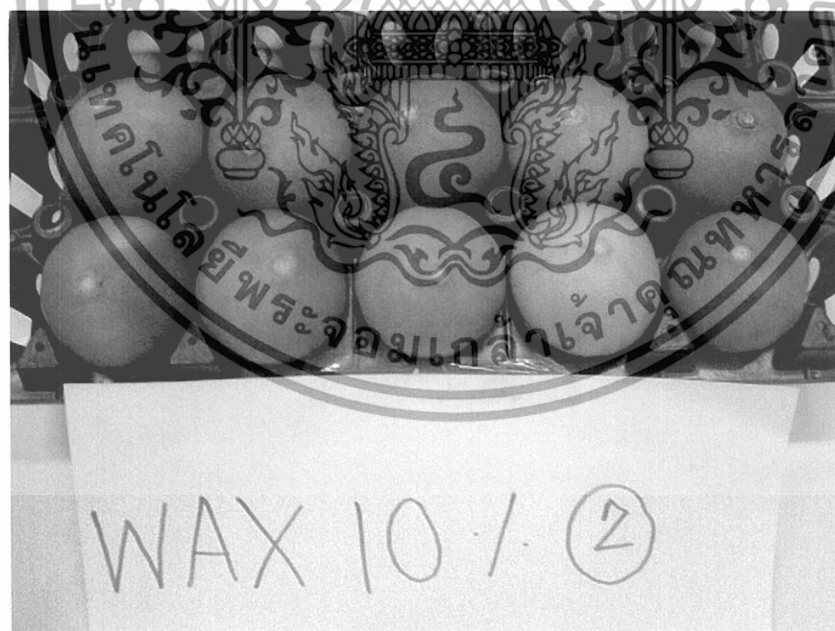


รูปที่ 4.35 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 5% (WAX 5%) ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

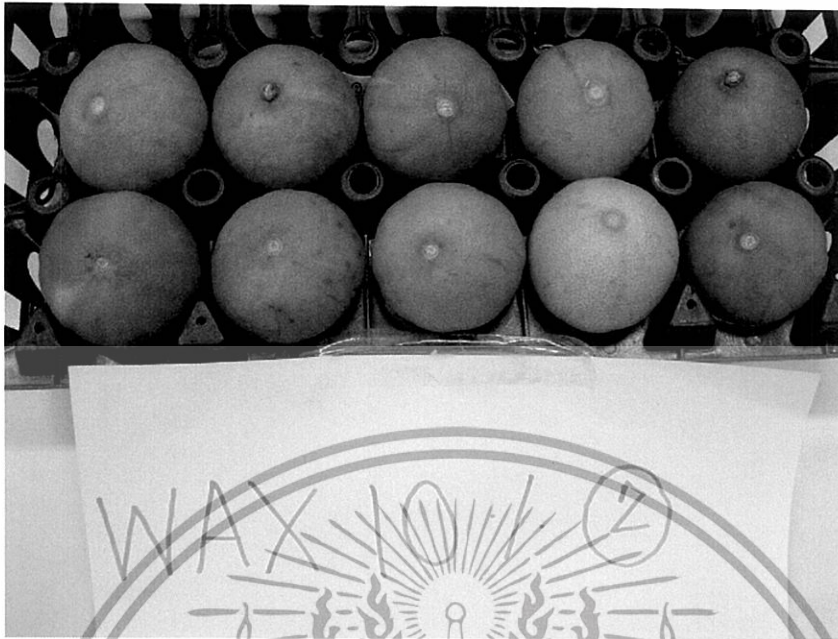


รูปที่ 4.36 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันแรกของการเก็บรักษา

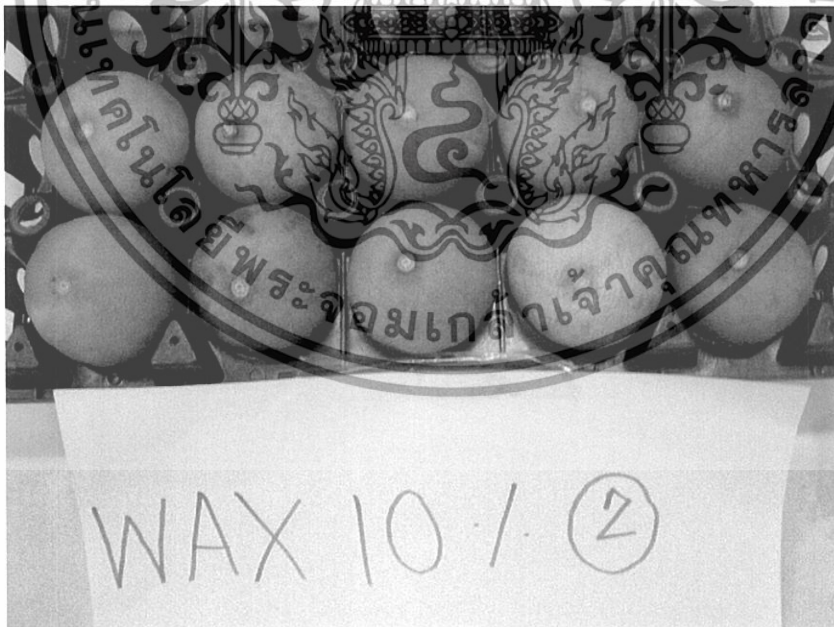


รูปที่ 4.37 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

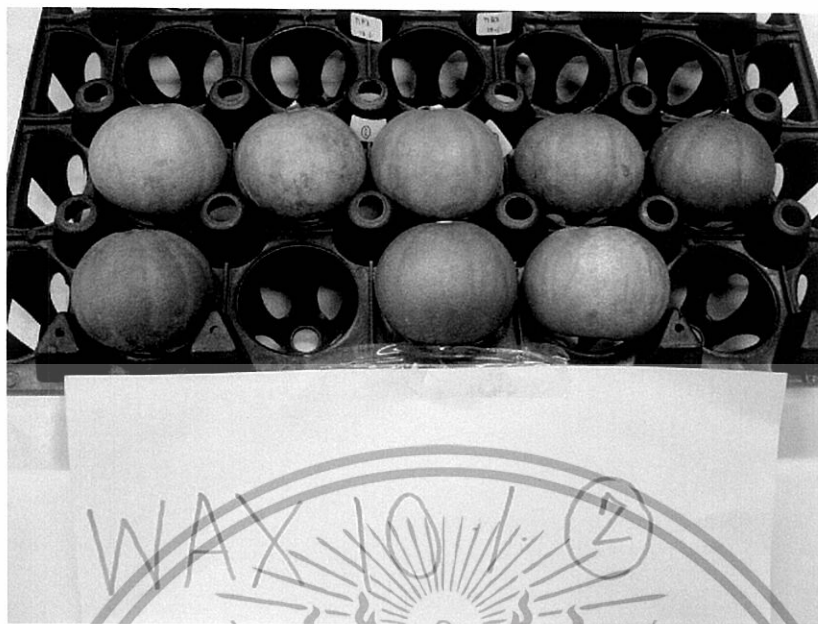


รูปที่ 4.38 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา

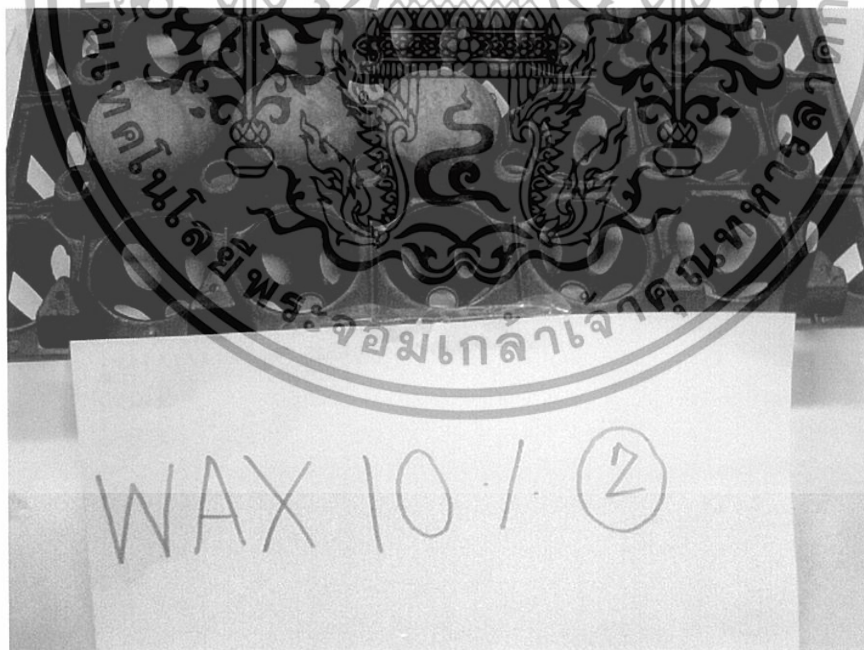


รูปที่ 4.39 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยไคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

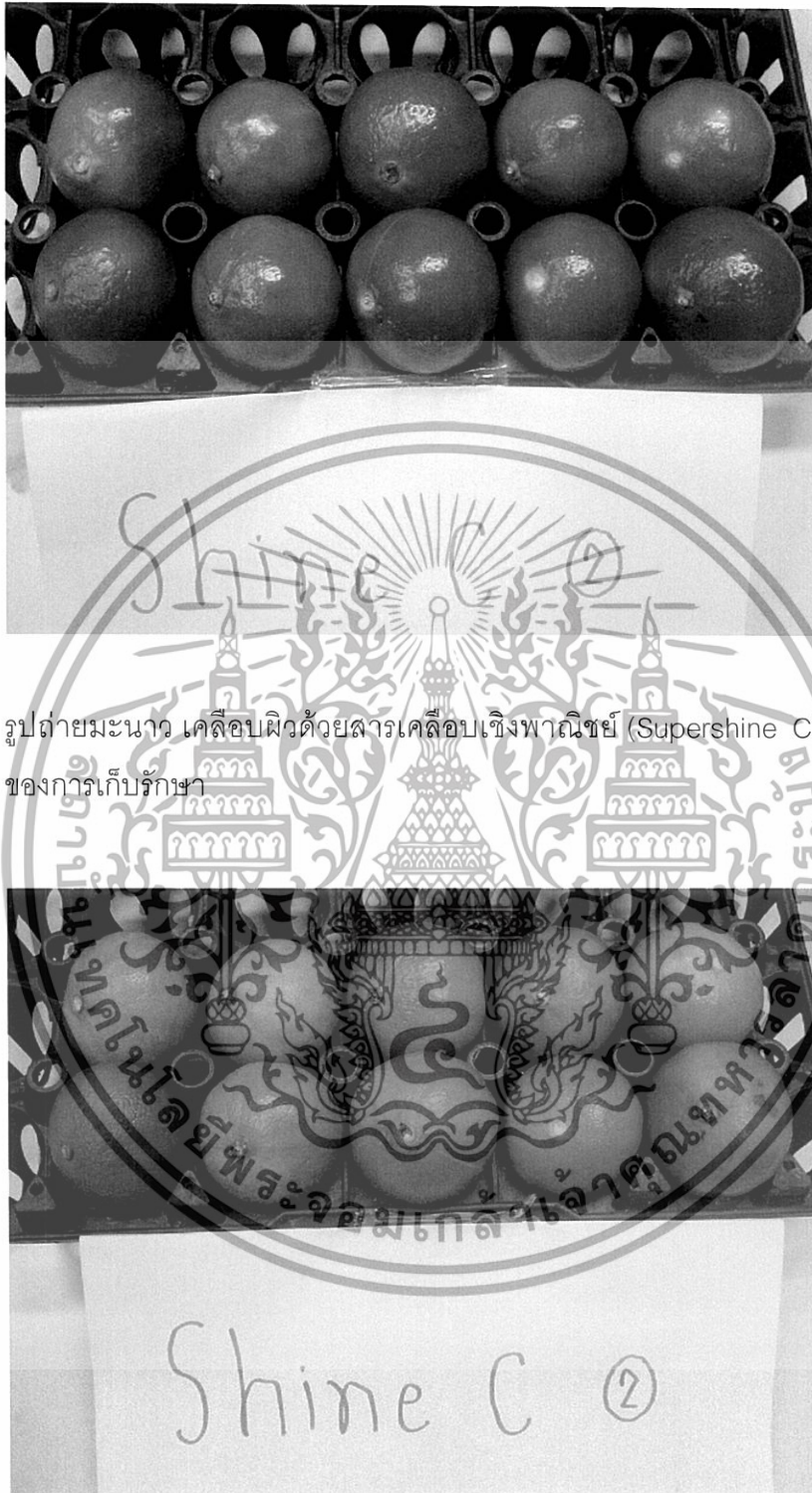


รูปที่ 4.40 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยโคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.41 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยโคโตซานและเจลาตินที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใส่แว็กซ์ 10% (WAX 10%) ในสุดท้ายของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



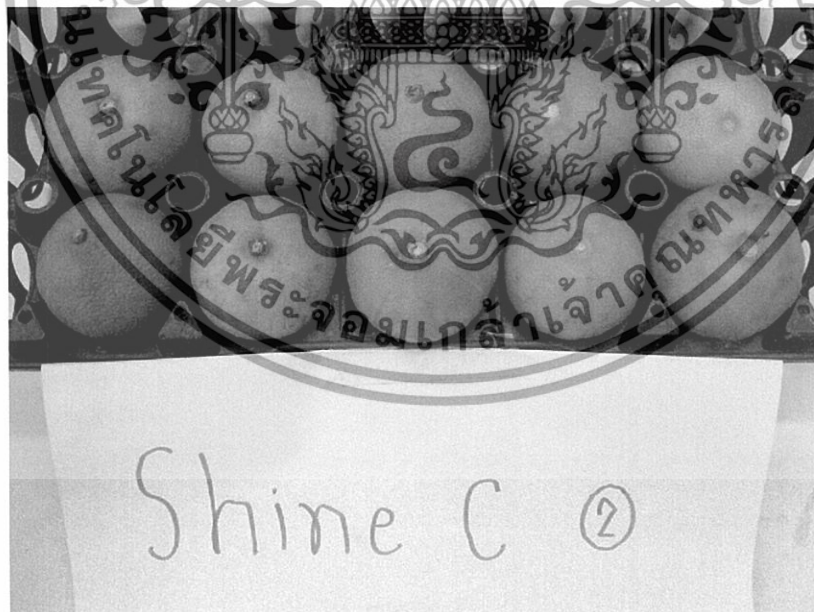
รูปที่ 4.42 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C[®]) ในวันแรกของการเก็บรักษา

รูปที่ 4.43 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C[®]) ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

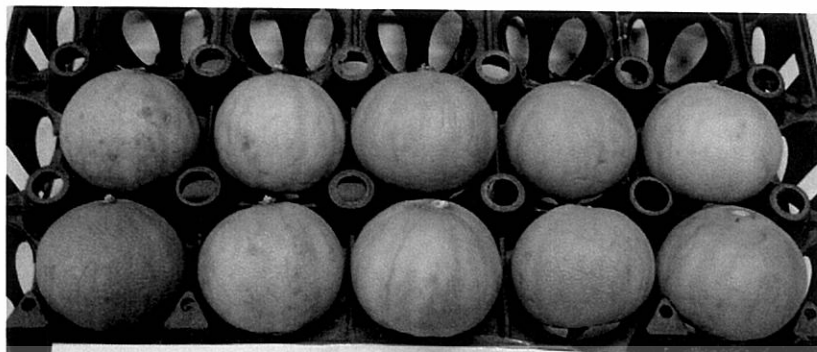


รูปที่ 4.44 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C[®]) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา

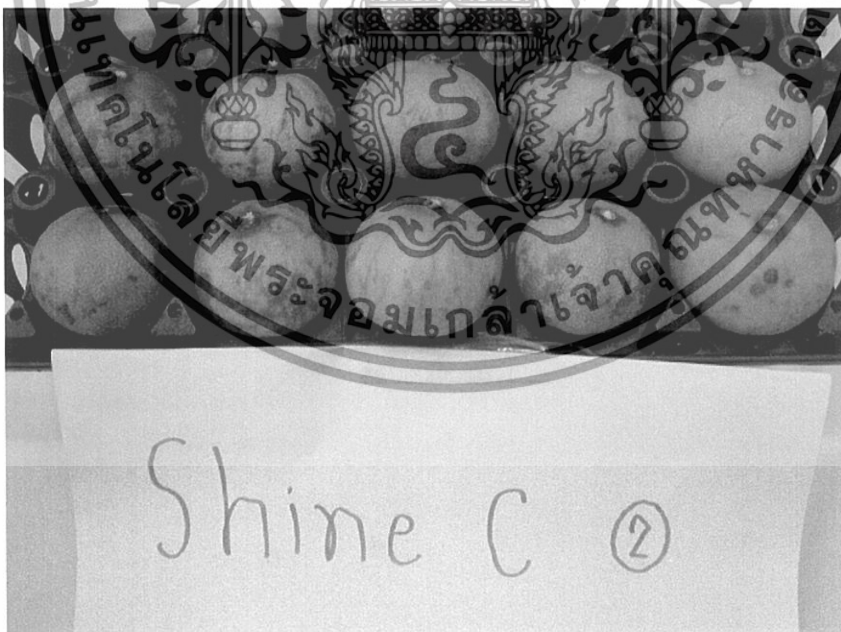


รูปที่ 4.45 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C[®]) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C[®]) ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.47 รูปถ่ายมะนาว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเชิงพาณิชย์ (Supershine C[®]) ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวอย่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซาน/เจลาตินและโคโตซาน/ไซเดียมเคซิเนต

1. ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับไซเดียมเคซิเนตเกิดการแยกวัฏภาคอย่างเห็นได้ชัด จึงไม่นำมาทำการทดลองในตอนต่อไป

2. ฟิล์มพอลิเมอร์เจลาติน 100% ไม่สามารถนำมาทดสอบได้ เนื่องจากมีความเปราะมาก ไม่สามารถลอกออกจากถาดเมลามีนได้ แต่ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาตินสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม ลอกออกจากถาดเมลามีนได้ จึงเลือกมาใช้ในการทดสอบ

3. จากการทดลองการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน สัดส่วน 50/50 และ 75/25 ให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ต่ำที่สุด

4. จากการทดสอบการละลายน้ำ พบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาตินที่ สัดส่วน 25/75, 50/50, 75/25 จะบวมตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่ละลายในน้ำเดือด ส่วนที่สัดส่วน 100/0 พบว่า จะเกิดการบวมตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้องและน้ำเดือด

5. ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน สัดส่วน 50/50 พบว่า มีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูงที่สุด แต่ค่ามอดุลัส (Modulus) จะลดลง เมื่อสัดส่วนเจลาตินเพิ่มขึ้น

6. ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาติน พบว่า ค่าแข็งแรงฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนเจลาตินเพิ่มขึ้น

7. ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาตินสัดส่วน 100/0, 50/50, 25/75, 75/25 มีแนวโน้มว่า เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มีค่าลดลง ตามลำดับ

8. จากการศึกษสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล พบว่า อัตราส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซานกับเจลาตินที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วน 50/50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การศึกษาผลของปริมาณแว็กซ์ต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโตซาน/เจลาตินและโคโตซาน/โซเดียมเคซิเนต

1. ปริมาณแว็กซ์ที่สามารถใส่ได้มากที่สุด คือ 10% เนื่องจากถ้าปริมาณแว็กซ์ที่ใส่มากกว่านี้ จะทำให้เกิดการแยกตัวกันอย่างเห็นได้ชัด
2. จากการทดลองการซึมผ่านไอน้ำ พบว่า เมื่อปริมาณแว็กซ์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) มีแนวโน้มที่ลดต่ำลง
3. จากการทดลองการละลายน้ำ พบว่า ที่ปริมาณแว็กซ์ 5% และ 10% เกิดการบวมตัวทั้งในน้ำที่อุณหภูมิห้องและน้ำเดือด
4. จากการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณของแว็กซ์เพิ่มมากขึ้น จะมีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่ามอดุลัส (Modulus) มีแนวโน้มลดลง โดยที่ปริมาณแว็กซ์ 10% (WAX 10%) มีค่าน้อยที่สุด
5. ผลของปริมาณแว็กซ์มีผลต่อความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) โดยเมื่อปริมาณของแว็กซ์มากขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงฉีกขาดลดลง โดยที่ปริมาณแว็กซ์ 10% (WAX 10%) มีค่าต่ำที่สุด
6. ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณของแว็กซ์เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณแว็กซ์ 10% (WAX 10%) จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดน้อยที่สุด

5.1.3 การเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้

1. ค่าสีแบบ L^* , a^* , b^* แสดงให้เห็นว่าค่าสีแต่ละประเภทมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ทั้งชุดควบคุมและมะนาวที่ทำการเคลือบทุกชนิด นั่นคือ เมื่อเวลานานขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) จะเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ลดลง และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ดังนั้น ระยะเวลาการเก็บรักษามะนาวจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาว โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
2. ค่าสีแบบ L^* และ b^* เมื่อเปรียบเทียบกันแต่ละสูตร จะพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่า สารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีอิทธิพลต่อค่าสีแบบ L^* และ b^* แต่ค่าสีแบบ a^* ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่า ชนิดของสารเคลือบผิวไม่มีอิทธิพลต่อค่าสีแบบ a^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ (% Weight loss) เมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละสูตร จะพบว่า มะนาวที่เคลือบผิวกับชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่า สารเคลือบผิวแต่ละชนิดไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่

4. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ พบว่า ชนิดของสารเคลือบมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ (% Weight loss) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามะนาวมากขึ้น น้ำหนักของมะนาวมีแนวโน้มลดลงในอัตราที่แตกต่างกัน โดย Supershine C[®], WAX 10%, WAX 5%, WAX 0% และ Control จะมีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ลดลง ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ จะแปรผันตรงกับปริมาณครั้งที่ใส่ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

5. เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามะนาวเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลืออยู่ (% Residue) จะมีแนวโน้มลดลงในอัตราที่แตกต่างกัน โดยยังมีปริมาณครั้งมากขึ้นในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม จะทำให้เปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลืออยู่มีมากขึ้นด้วย จากผลการทดลองจะพบว่า WAX 10% จะมีเปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลืออยู่มากที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรที่ใส่ครั้งสูตรอื่นๆ และสูตรควบคุม แต่น้อยกว่า Supershine C[®]

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาอิทธิพลอื่นๆ เช่น ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ ชนิดตัวทำละลายแวกซ์
2. ศึกษาพอลิเมอร์ผสมชนิดอื่นๆ ที่อาจใช้เป็นฟิล์มเคลือบผลไม้ได้ เช่น โคอโตซานผสมกับคาร์ราจีแนน โคอโตซานกับเซลลูโลส
3. ศึกษาชนิดของแวกซ์ (Wax) ตัวอื่นๆ เช่น บีแวกซ์ (Bee wax)
4. ศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมให้เป็นบรรจุภัณฑ์รูปอื่นๆ เช่น ถุง กล่อง ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จริงแท้ ศิริพานิช, **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542, 1-321.
- [2] Xiao C., Gao S., Wang H. and Zhang L., "Blend Films from Chitosan and Konjac Glucomannan." J. Appl. Polym. Sci., vol.76, 2000. pp. 509-515.
- [3] Bulkfoods, Gelatin.[online]. <http://www.Bulkfoods.com/gelatin.htm>
- [4] Mart web designs, Prestige Proteins Sodium Caseinate.[online]. <http://www.casein.com/products.htm>
- [5] Dalwoo-chitosan, Structure of Chitin / Chitosan and Cellulose.[online]. <http://dalwoo.com/chitosan/structure.htm>
- [6] Sea grant, Chitin Research.[online]. <http://www.ocean.udel.edu/horseshoecrab/Research/chitin.html>
- [7] Lasko C.L. and Huast M.P., Environ. Sci.technology.(1999), 33, pp. 3622-3626.
- [8] Ogama K., Hirano S., Miyanishi T., Yui T., and Watanabe T., Macromolecule (1984, 17, 973.
- [9] Okugawa K., Noguchi K., miyazawa T., Ogawa T., Macromolecule (1997), 30, pp. 5849-5855.
- [10] ป้วย ชุ่นใจ, UPDATE, กุมภาพันธ์, 2544, 2001, p40-46.
- [11] Belammmine E., Bomardy A., Chanzy H., and Geraud-Guille M.M., Langmuir (1999), 15, 1549-1555
- [12] London South Bank University, Gelatin.[online]. <http://www.lsbu.ac.uk/water/hygel.html>
- [13] Gelatin manufactures institute of America. Gelatin.[online]. <http://www.gelatin-gmia.com/html/gelatine.html>
- [14] พีรศักดิ์ ทินกรศรีสุภาพ และประทานพร สังข์สุวรรณ, **การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่ได้จากกระบวนการฟอกหนัง**, โครงการพิเศษปริญญาตรี-ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง:2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] วลัยรุจี วิเชียรทวี, การผลิตเนยแข็งเทียมจากเคซีนและโปรตีนข้าว, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- [16] Made-in-china, Sodium caseinate.[online].http://www.made-in-china.com/products/show/freemember/prod/DAwMTE1MzUwN/mic/Agriculture_Food_Dairy_Sodium_Caseinate.html
- [17] Food paging, Functional properties of sodium caseinate films.[online].
http://ift.confex.com/ift/2001/techprogram/paper_8803.htm
- [18] สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา, พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend).[online]
http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_5_2548_polymer_blend.pdf
- [19] Folkes M.J. and Hope P.S., Polymer Blends and Alloys, London: Blackie Academic & Professional Inc, 1993
- [20] Kester J.J.and Fennema O.R., Edible Films and Coating: A Review, Food technol. Vol 40,986. pp. 47-59
- [21] รุ่งภา วิสิษฐอุดรการ, เอกสารประกอบการสอน การประเมินอายุการเก็บของอาหาร, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ:2540
- [22] Arvanitoyannis I., Psomiadou E., Nakayama A., Aiba S.and Yamamoto N., Edible Films made from Gelatin, Soluble Starch and Polyols, Part3., Food Chem., vol.60, 1997. pp. 593-604
- [23] Kim J.H., Kim L.Y., Lee Y.M.and Kim K.Y., Properties and Swelling Characteristics of Crosslinked Poly(vinyl alcohol)/Chitosan Blend Membrane, J. Appl. Polym. Sci., vol.45, 1992
- [24] Hasegawa M., Isogai A., Onabe F., Usuda M.and Atalla R.H., Characterization of Cellulose-Chitosan Blend Film., J. Appl. Polym. Sci., vol45, 1992. pp.1873-1879
- [25] Begin A. and Calsteren M.V., Antimicrobial Films Produced from Chitosan., Int. J. Biol. Macromol., vol.26, 1999.pp.63-67
- [26] Butler B.L.,Vergano P.J., Testin R.F., Bunn J.M. and Wiles J.L., Mechanical and Barrier Properties of Edible Chitosan Films as affected by Composite and Storage., J. Food Sci., vol.61, 1996. pp.953-955

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] Park S.Y., Lee B.I., Jung S.T. and Park H.J., Biopolymer Composite Films Based on K-Carrageenan and Chitosan., Material Research Bulletin., vol.36, 2001.pp.511-519
- [28] Ghaouth A.E., Arul J., Ponnampalam R. and Boulet M., Chitosan Coating Effect on Storability and Quality of Fresh Strawberries., J. Food Sci., vol.56, 1991.pp.1618-1631
- [29] Lazaridou A. and Biliaderies C.G., Thermoplastic Properties of Chitosan, Chitosan-Starch, Chitosan-Pullulan Films near the Glass Transition., Carbohydr. Polym., vol.48, 2002.pp.179-190
- [30] ปรีดา จิตตารมย์, การพัฒนาสารเคลือบผิวสำหรับส้มเขียวหวาน, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ:2536
- [31] ไพโรจน์ ไสภณโณดร, สุทธวัฒน์ เบญจกุล และวิคเนตร พระพุทธ, การยืดอายุการเก็บรักษามะนาวโดยการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน, ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา:2535
- [32] วิษณุ นิยมเหล่า, หะริน รุ่งเรืองรัตน์ และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2546. อิทธิพลของสารเคลือบ Chitosan ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. 149-151.[online]. http://shrimbase.fish.ku.ac.th/display_abs_t.php?id=877
- [33] สุดคิ่ง พิมพ์ชัย, วิษณุ นิยมเหล่า และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2546. อิทธิพลของสารเคลือบ chitosan น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและคุณภาพการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. 146-148.[online]. http://shrimbase.fish.ku.ac.th/display_abs_t.php?id=876
- [34] นพรัตน์ มะเห และ ไพรัตน์ ไสภโณดร. 2541. ผลของสารผสมต่อคุณสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตซาน. วารสารสงขลานครินทร์ วท. 20(4), 445-454. [online].http://shrimbase.fish.ku.ac.th/display_abs_t.php?id=657
- [35] สิลมน ชัยภักดิ์, ศุภกิจ โหศิริ และ สุชาดา บุญญาเดช, การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อเคลือบยืดอายุการเก็บรักษามะนาว, โครงการพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ:2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

CHI/GEL	Tensile strength \pm Std error (MPa)	Modulus \pm Std error (MPa)
100/0	60.69 \pm 8.04	1082.88 \pm 25.70
75/25	65.92 \pm 10.81	1003.15 \pm 58.67
50/50	87.42 \pm 9.29	964.00 \pm 64.68
25/75	62.09 \pm 13.59	899.29 \pm 116.94

ตารางที่ ก-1 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength, MPa) และค่ามอดุลัส (Modulus, MPa) ของพอลิเมอร์ผสม

CHI/GEL	Elongation at break \pm Std error (%)
100/0	10.11 \pm 2.33
75/25	5.56 \pm 0.65
50/50	8.64 \pm 1.97
25/75	5.62 \pm 0.97

ตารางที่ ก-2 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHI/GEL	Tear strength \pm Std error (kN/m)
100/0	95.98 \pm 32.07
75/25	90.99 \pm 29.39
50/50	104.52 \pm 20.83
25/75	123.10 \pm 16.18

ตารางที่ ก-3 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength, MPa) ของพอลิเมอร์ผสม

CHI/GEL	WVTR ($\times 10^{-3}$ g/m ² ·day)	WVP ($\times 10^{-4}$ g·mm/m ² ·day)
100/0	1.50	0.48
75/25	1.24	0.44
50/50	1.28	0.45
25/75	1.41	0.58

ตารางที่ ก-4 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) และค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability; WVP) ของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wax load (%)	Tensile strength \pm Std error (MPa)	Modulus \pm Std error (N/mm ²)
0	87.42 \pm 9.29	1192.41 \pm 263.19
5	73.71 \pm 4.30	895.24 \pm 86.82
10	52.53 \pm 5.30	1416.57 \pm 129.78

ตารางที่ ก-5 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength, MPa) และค่ามอดุลัส (Modulus, MPa) ของพอลิเมอริผสม เมื่อมีการเติมแว็กซ์ปริมาณต่างๆ



Wax load (%)	Elongation at break \pm Std error (%)
0	8.64 \pm 1.97
5	7.28 \pm 1.04
10	7.10 \pm 0.43

ตารางที่ ก-6 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของพอลิเมอริผสม เมื่อมีการเติมแว็กซ์ในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

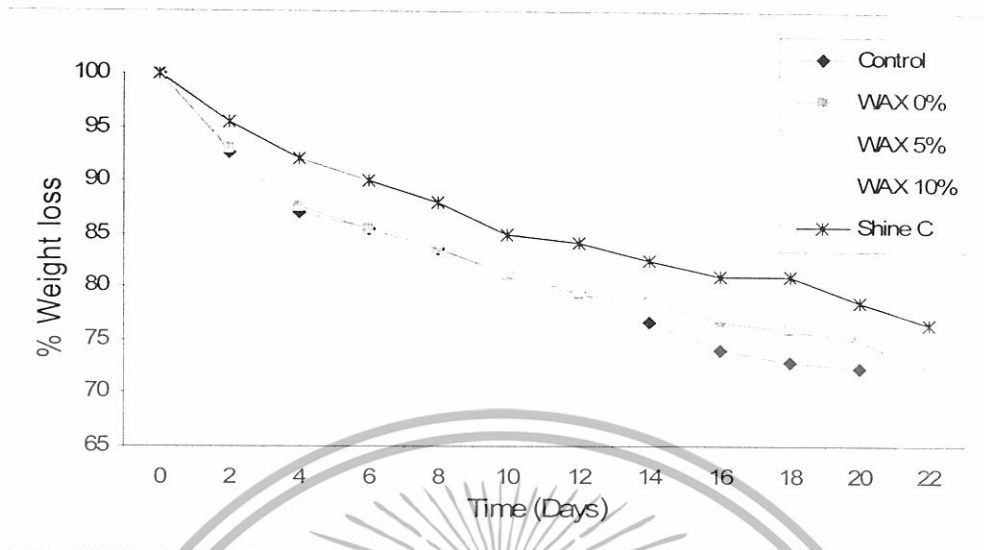
Wax load (%)	Tear strength (kN/m)
0	104.52 ±20.83
5	60.63 ±9.59
10	41.11 ±12.78

ตารางที่ ก-7 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength, MPa) ของพอลิเมอร์ผสม เมื่อมีการเติมแว็กซ์ในปริมาณต่างๆ

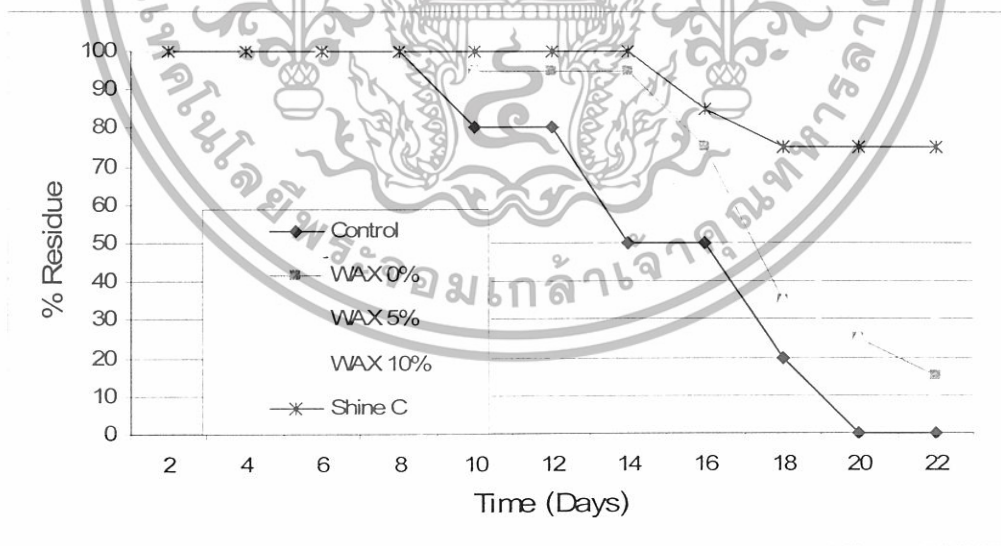
Wax load (%)	WVTR ($\times 10^{-3} \text{g/m}^2 \text{day}$)	WVP ($\times 10^{-4} \text{g}\cdot\text{mm/m}^2 \text{day}$)
0	1.28	0.45
5	1.23	0.44
10	1.19	0.37

ตารางที่ ก-8 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) และค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability; WVP) ของพอลิเมอร์ผสม เมื่อมีการเติมแว็กซ์ในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เหลืออยู่ (% Weight loss) ของพอลิเมอร์ผสม เมื่อมีการเติมแว็กซ์ในปริมาณต่างๆ



รูปที่ ก-2 กราฟค่าเปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลืออยู่ (% Residue) ของพอลิเมอร์ผสม เมื่อมีการเติมแว็กซ์ในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้