

การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อ
เคลือบผิวยืดอายุการเก็บรักษามะนาว



นางสาวศิลมน ชัยภักดิ์
นายศุภกิจ โหศิริ
นางสาวสุชาดา บุญญาเดช

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....

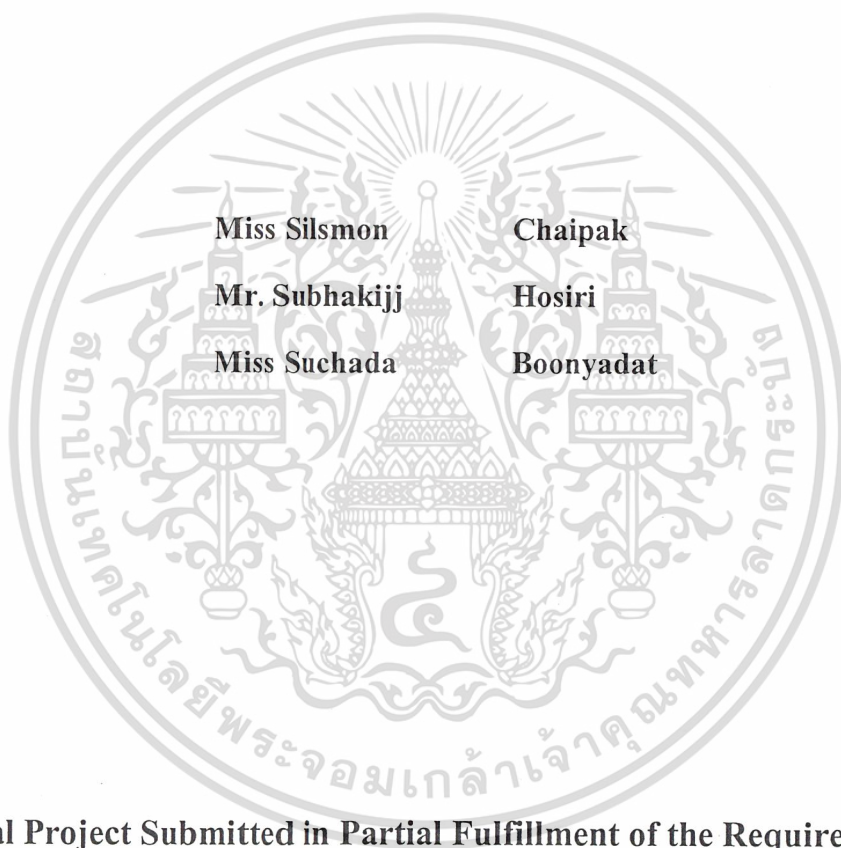
เลขทะเบียน..... 40066

วัน, เดือน, ปี..... 24 ก.ค. 2544

b.....
.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Polymer Blend Film from Chitosan and Poly (vinyl alcohol) as Coating 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

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการพิเศษ	การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อเคลือบผิวยืดอายุการเก็บรักษามะนาว	
นักศึกษา	นางสาวศิลมน ชัยภักดิ์	40052056
	นายศุภกิจ โหศิริ	40052057
	นางสาวสุชาดา บุญญาเดช	40052065
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม	
พ.ศ.	2543	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อธิพิพล แจ่มชัด	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.อนุวัตร แจ่มชัด	
	ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นฟิล์มเคลือบผิวมะนาวให้มะนาวยังคงรักษาสภาพหรือยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น โดยทำการทดลอง ณ อุณหภูมิห้องที่ 5 สัดส่วนของไคโตซานต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดังนี้ 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 และ 0/100 ตามลำดับเพื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นำมะนาวมาทดสอบสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำมะนาวและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ลูกดีที่เหลื้ออยู่ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญหาย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมะนาวต่อน้ำหนักผลและค่าสีแบบ L^* , a^* , b^* รวมทั้งทดสอบสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม จากผลการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมของไคโตซานเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วน 50/50 สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด อีกทั้งมีแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงลึกขาด และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงที่สุด จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสม 50/50 มาศึกษาผลของความหนาฟิล์มที่เคลือบผิวโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไคโตซานจาก 2% เป็น 2.5% 3.0% โดยน้ำหนักตามลำดับและผลของสารเติมแต่ง สตาร์เฟรช-เวกซ์และ สารเชื่อมโยงกลูตาราลไดอัลดีไฮด์แล้วทำการทดสอบสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของมะนาวเช่นเดียวกัน จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมหนา 0.02 mm ที่เตรียมจากไคโตซานเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สัดส่วน 50/50 สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title **Polymer Blends of Chitosan/Polyvinyl Alcohol as Coated Film to Prolong Shelf –life of Lime**

Name **Miss Silamon Chaipak Code 40052056**

Mr.Subhakijj Hosiri Code 40052057

Miss Suchada Boonyadat Code 40052065

Special Project Adviser **Asst.Prof.Dr.Iitipol Jangchud**

Dr.Anuvat Jangchud

Department **Chemistry**

Academic Year **2000**

Abstract

This research work involved a study of polymer blends between chitosan (CHI) 2 wt % and poly(vinyl alcohol) (PVA) to be used as lime coated film in order to prolong its shelf-life. Five polymer blends at CHI/PVA ratios of 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100 were prepared by solution blending and coated on the lime at ambient temperature. Several chemical properties of the lime juice such as titrable acid (TA), pH and Total Solid (TS) as well as physical properties of the lime including % residue, % weight loss, %juice/whole weight ratio and the appearance (measured as lime surface color L, a, b) were monitored with time in order to test for the shelf-life of the lime. Moreover, thermal and mechanical properties of the blend films were also characterized. It was found that the CHI/PVA blend at 50/50 ratio showed the longest shelf-life of the lime compared to that of other blends. In addition, the 50/50 blend also attributed the optimum mechanical and thermal properties. The effects of film thickness and other additives including Star-fresh[®] Wax and glutaraldehyde crosslinking agent were also studied on the 50/50 CHI/PVA blends. It was revealed that the film thickness of 0.02 mm (prepared from 2% w/w chitosan solution) yielded the longest shelf-life for lime .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก คณาจารย์และบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้ จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือดังมีรายนามต่อไปนี้

- ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต ให้คำปรึกษาที่ดีเยี่ยมและเอาใจใส่มาโดยตลอด
- ดร.อนุวัตร แจ่มจัต ให้การอบรมและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์
- ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์ค่าสีและการซึมผ่านของก๊าซ
- สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน
- ภาควิชาวิศวกรรมอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือเพื่อวัดค่าสี
- สถาบันวิจัยการยาง และทำสุดขอขอบคุณคณาจารย์เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน และเพื่อนๆทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีเสมอมา

นางสาวศิลมณ ชัยภักดิ์
 นายศุภกิจ โทศิริ
 นางสาวสุชาดา บุญญาเดช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์	6
ขอบเขตของการศึกษา	6
แผนการดำเนินงาน	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
ไคตินและไคโตซาน	9
-วิธีสังเคราะห์ไคติน-ไคโตซาน	13
-สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคติน-ไคโตซาน	15
-วิธีใช้ไคติน-ไคโตซาน	18
-การทำงานของไคติน-ไคโตซาน	18
-การเสื่อมสลาย	18
-ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานไคโตซาน	20
พอลิไวน์ิลแอลกอฮอล์	22
-สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์	23
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
สารเคมี	26
อุปกรณ์และเครื่องมือ	26
ขั้นตอนการวิจัย	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	
ผลการศึกษาหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม	29
- อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อสมบัติทางเคมีของผลมะนาว	29
- อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อสมบัติทางกายภาพของมะนาว	34
การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารเติมแต่งและเปลี่ยนความเข้มข้น	43
- อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อสมบัติทางเคมีของผลมะนาว	43
- อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อสมบัติทางกายภาพของมะนาว	46
การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	66
- ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	66
- ค่าเปอร์เซ็นต์ดัดยืดยึด ณ จุดขาด (%Elongation at break)	67
- ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)	68
สมบัติทางความร้อน	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย	70
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก ก แสดงกราฟสมบัติทางกายภาพของมะนาว	75

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 4.1	ค่าความเป็นกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรตน้ำมะนาว	30
ตารางที่ 4.2	ค่าความเป็นกรดต่างของมะนาว	31
ตารางที่ 4.3	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จากน้ำมะนาว	33
ตารางที่ 4.4	เปอร์เซ็นต์มะนาวดีที่เหลืออยู่	35
ตารางที่ 4.5	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญหาย	37
ตารางที่ 4.6	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมะนาวต่อน้ำหนักผล	39
ตารางที่ 4.7	ค่าสีแบบ L*	40
ตารางที่ 4.8	ค่าสีแบบ a*	41
ตารางที่ 4.9	ค่าสีแบบ b*	42
ตารางที่ 4.10	ค่าความเป็นกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรต	43
ตารางที่ 4.11	ค่าความเป็นกรดต่างของมะนาว	44
ตารางที่ 4.12	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จากน้ำมะนาว	45
ตารางที่ 4.13	เปอร์เซ็นต์มะนาวดีที่เหลืออยู่	47
ตารางที่ 4.14	ค่าความหนาฟิล์มที่เคลือบผิวมะนาว	47
ตารางที่ 4.15	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญหาย	48
ตารางที่ 4.16	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมะนาวต่อน้ำหนักผล	49
ตารางที่ 4.17	ค่าสีแบบ L*	50
ตารางที่ 4.18	ค่าสีแบบ a*	51
ตารางที่ 4.19	ค่าสีแบบ b*	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.20	ค่าความแข็งแรงดึง	66
ตารางที่ 4.21	ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด	67
ตารางที่ 4.22	ค่าความแข็งแรงฉีกขาด	68
ตารางที่ 4.23	ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างทางเคมีของไคติน	9
รูปที่ 2.2	โครงสร้างเคมีของไคโตซานอัตราส่วนของ a และ b ขึ้นกับองศาของการดีอะซิติเลชัน (Degree of Deacetylation, DD)	10
รูปที่ 2.3	โครงสร้างการจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของผลึกไคโตซาน (a) มองตามแนวแกน a (b) มองตามแนวแกนคืออะตอมของไนโตรเจน c ก้อนกลมระบายสีคืออะตอมของไนโตรเจน	12
รูปที่ 2.4	แบบจำลองการเปลี่ยน โครงสร้างผลึกไคโตซานจากผลึกที่มีน้ำ (Hydrated chitosan) เป็นผลึกที่ไม่มีน้ำ (Anhydrate chitosan) แสดงการหายไปของพันธะไฮโดรเจน	12
รูปที่ 2.5	แสดงผลึกแบบสเฟียรูไลท์ของไคโตซาน	13
รูปที่ 2.6	การสังเคราะห์ไคติน-ไคโตซาน	14
รูปที่ 2.7	โครงสร้างผลึกของ α -chitin	17
รูปที่ 2.8	โครงสร้างผลึกของ β -chitin	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

CONTROL	ชุดควบคุม
CHI 100	ไคโตซานความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก
CHI 75/PVA25	ไคโตซานความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วน 75/25
CHI 50/PVA50	ไคโตซานความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วน 50/50
CHI 25/PVA75	ไคโตซานความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วน 25/75
PVA 100	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์
CHI 2%	ไคโตซานความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก 50 ส่วนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 ส่วน
CHI 2.5%	ไคโตซานความเข้มข้น 2.5% โดยน้ำหนัก 50 ส่วนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 ส่วน
CHI 3%	ไคโตซานความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนัก 50 ส่วนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 ส่วน
WAX	ไคโตซานความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก 50 ส่วนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 ส่วนที่เติม Starfresh®
GDI	ไคโตซานความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก 50 ส่วนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 ส่วนที่เติม Glutaraldehyde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมประชากรส่วนใหญ่จึงมีรายได้หลักจากผลิตผลทางการเกษตร เช่น พืช ผัก และผลไม้ เป็นต้น ปัจจุบันเกษตรกรไทยประสบปัญหามากมาย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาภัยธรรมชาติ อันได้แก่ น้ำท่วม และฝนไม่ตกตามฤดูกาล หรืออาจจะเกิดจากสาเหตุที่ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงมีราคาแพง ฯลฯ แต่ปัญหาที่รุนแรงที่สุด คือ ราคาผลผลิตตกต่ำอันเนื่องมาจากการล้นตลาดของผลผลิต ซึ่งปัญหานี้ก็ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างทันทั่วถึง จึงเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดของประเทศชาติอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยตรง

มะนาวก็เป็นผลไม้ไทยที่ประสบปัญหาดังกล่าวเช่นกัน โดยจะมีผลผลิตที่ล้นตลาดในช่วงของหน้ามะนาว ทำให้ผลผลิตที่ได้มีราคาตกต่ำมาก และขาดแคลนในฤดูแล้ง ส่งผลให้ราคาของมะนาวพุ่งสูงขึ้น ปกติแล้ว มะนาวของไทยจะออกดอกในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนกรกฎาคม และทำการเก็บเกี่ยวผลของมะนาวตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนมิถุนายน รวมระยะเวลาจากวันที่ออกดอกถึงระยะเวลาที่ทำการเก็บเกี่ยวผลเป็นเวลาถึง 4 เดือน เมื่อถึงหน้ามะนาว มะนาวก็จะมีจำนวนมากเกินจนใช้ไม่ทัน ราคาก็จะต่ำลง แต่เมื่อหมดฤดูกาล นั่นคือระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่มะนาวเริ่มจะออกดอก ทำให้มะนาวมีราคาสูงมาก และมีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับตลาดที่มีความต้องการ

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีผู้พยายามคิดค้นหาวิธีที่จะเก็บรักษามะนาวสดเอาไว้ใช้ในฤดูแล้งด้วยวิธีต่างๆมากมาย แต่โดยมากวิธีที่คิดค้นได้นั้นให้ผลไม่คุ้มค่า เช่น เก็บมะนาวสดฝัดในทรายขึ้น วิธีเก็บไว้ในตู้เย็น หรือเคลือบผิวมะนาวด้วยแว็กซ์ (Wax) ซึ่งสามารถเก็บมะนาวได้ไม่นาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องค้นหาวิธีที่คุ้มค่า และยังรักษาความสดของมะนาวให้เหมือนกับเก็บจากต้นใหม่ๆ ทั้งภายใน และภายนอก

สาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของมะนาวสดหลังการเก็บเกี่ยวอันเนื่องมาจากเซลล์เกือบทุกเซลล์ของมะนาวยังไม่ตาย และยังทำหน้าที่หายใจ คายน้ำ สังเคราะห์แสง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งภายใน และภายนอกจะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา จนในที่สุดทำให้เกิดการเน่าเสีย จึงจำเป็นต้องมีวิธีที่จะชะลอ หรือยืดอายุการเปลี่ยนแปลงนี้ให้ช้าลง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติผิวของมะนาวหรือเปลือกของผลไม้ส่วนใหญ่จะมีคิวติเคิล (Cuticle) เคลือบอยู่เป็นชั้นบางๆ ซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกันเป็นชั้นๆ จำแนกได้เป็น 3 ชั้น คือ

1. ชั้นนอกสุด เรียกว่าอีพิคิวทิคิวลาร์แว็กซ์ (Epicuticular Wax) ประกอบด้วย Wax ที่มีรูปร่าง และการเรียงตัวหลายรูปแบบ
2. ชั้นกลางประกอบด้วยคิวทิน (Cutin) ซูเบอร์ลิน (Suberin) และ Wax
3. ชั้นในสุดซึ่งติดกับเซลล์ประกอบด้วย Cutin, Suberin, น้ำตาลประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) โพรตีน และ Wax

ซึ่ง Wax, Cutin และ Suberin มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน และแอลกอฮอล์ จะสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และจำกัดการแลกเปลี่ยนกันของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ แต่ Wax ที่เคลือบที่ผิวจะหลุดออกง่าย เมื่อถูกจับต้องล้างทำความสะอาด หรือการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว จึงทำให้มะนาวมีอัตราการคายน้ำ และการหายใจสูง ดังนั้น วิธีการเคลือบผิวมะนาวด้วยสารเคลือบผิว เพื่อทดแทน Wax ส่วนที่หลุดออกไป ทำให้ลดการคายน้ำ และจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ ซึ่งอาจให้ผลที่ดีมากกว่า ผลที่มี Wax ติดอยู่อย่างสมบูรณ์ตามธรรมชาติ ถ้าเลือกใช้ชนิด และความเข้มข้นของสารเคลือบผิวได้เหมาะสม การเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นต่ำ หรือบางเกินไปจะลดการคายน้ำ และจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้น้อย ส่วนกรณีที่ใช้ความเข้มข้นสูง หรือเคลือบหนาเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองสาร และยังจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซมากเกินไป อาจทำให้เนื้อเยื่อขาดก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากระบวนการหายใจ อาจสะสมอยู่มากถึงขั้นเป็นอันตรายกับเนื้อเยื่อได้ [1]

การใช้สารเคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้สารเคลือบผิวมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมการคายน้ำที่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และอาการเหี่ยวเฉาของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการหายใจ และช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ด้วย สารเคลือบผิวผลไม้สด โดยทั่วไปนิยมใช้สารสังเคราะห์ที่ผลิต และจำหน่ายในรูปพร้อมใช้ที่สำเร็จรูป สูตรจึงเป็นความลับทางการค้า และผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมักมีราคาแพง เมื่อนำมาเคลือบผลไม้จึงดูเหมือนกับการเพิ่มราคาของผลไม้ให้มีราคาสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาต่อการแข่งขันในตลาดโลก ดังนั้น การศึกษาหาแหล่งของสารเคลือบผิวจากธรรมชาติจึงน่าจะเป็นที่จะลดความเสียหายได้

ไคโตซาน (Chitosan) เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ทำสารเคลือบผิว เนื่องจากไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ที่เกิดจากการแยกหมู่อะซิetyl (Acetyl) ออกจากไคตินที่พบในธรรมชาติของเปลือกสัตว์พวกครัสเตเชีย (Crustacea) สามารถละลายได้ในสารละลายหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 5.5 โดยมีสมบัติที่สำคัญ คือ นำมาขึ้นรูปให้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะใส เหนียว และยืดหยุ่น สามารถใช้ห่อหุ้มอาหารได้ ทนอุณหภูมิสูง และสามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงมีผลต่อการควบคุมกระบวนการหายใจ และเผาผลาญอาหารของผลไม้ [1]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติพิเศษคือสามารถละลายน้ำ การนำไปใช้ประโยชน์แบ่งกว้างๆ ได้เป็น 2 ลักษณะคือการละลายน้ำและทนต่อแรงดึงสูง จึงใช้เป็นตัวที่ช่วยให้กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันและแขวนลอยขึ้นขึ้น เรียกว่าใช้เป็นสารข้น (Thickening Agent) ใช้ทำเป็นแผ่นฟิล์มบรรจุของที่ละลายน้ำได้เช่น ลีเยอผ้า ยาฆ่าเชื้อแมลง ทำน้ำยาถอดแบบ ในอุตสาหกรรมพลาสติกหล่อ ทำกาว ฯลฯ ส่วนการใช้ประโยชน์อีกลักษณะหนึ่งคือ Adhesive ถ้าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยาเคมีแล้ว จะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนจากละลายน้ำเป็นไม่ละลายน้ำ โดยนำพอลิเมอร์ไปปั่นแบบเปียก (Wet Spun) เป็นเส้นเข้าไปยังสารละลายโซเดียมซัลเฟตเข้มข้นที่มีกรดซัลฟูริกและฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยประมาณ 0.333 ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของพอลิเมอร์นี้เปลี่ยนไปเป็นหมู่ฟอร์มัล (Formal, CH₂O) ได้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีลักษณะเหนียวและมีค่าความแข็งแรงดึงสูง [2]

ได้มีผู้วิจัยที่เกี่ยวกับการนำไคโตซานมาทำเป็นฟิล์มดังนี้

Jin Xu, Stephen P. Mccarthy และ Richard A.Gross [3] ศึกษาฟิล์มไคโตซานด้วยเทคนิคมัลติเพิลอินเทอร์เฟลททีฟ-ฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Multiple internal reflective Fourier transform infrared spectroscopy) ให้ผลคือ NH₂ 1590 cm⁻¹, amide II ที่ 1555 cm⁻¹ และเอสเทอร์ที่ 1735 cm⁻¹ ทำให้ทราบการอะซิติลเลชันที่พื้นผิวตรงหมู่อะมิโนจากนั้นนำไปทำการอะซิติลเลชันของไคโตซานโดยใช้กรดอะซิติค 52 % และหลังจากนั้นได้นำไคโตซานฟิล์มที่ได้ไปศึกษาการสลายตัวทางชีวภาพพบว่าไคโตซานฟิล์มที่ทำการอะซิติลเลชันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะสลายตัว 100% โดยน้ำหนักในเวลา 28 วัน ส่วนไคโตซานที่ไม่ได้ทำการขึ้นรูปนั้นต้องใช้เวลามากกว่า คือ 35 วัน

Emir Baki Denkbas และ Mehmet Odabasi [4] ทำการเตรียมไคโตซานไมโครสเฟียร์โดยใช้เทคนิคการแขวนลอยให้ขนาดของรูอยู่ในช่วง 30-700 ไมโครเมตร โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมโยงจากการทดลองพบว่ามีตัวแปรที่มีผลต่อการเตรียมคือ อัตราเร็วในการเอกซานนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปั่นกวน อัตราส่วนของไคโตซานกับกรดอะซิดิก ตัวอิมัลซิไฟเออร์ และปริมาณสารเชื่อมโยง โดยพบว่าจะมีผลต่อการกระจายตัว อัตราการปั่นกวนที่เหมาะสมคือ 1000-2000 rpm และพบว่าเมื่อลดปริมาณของสารเชื่อมโยงลงจะทำให้การบวมตัวของไมโครสเฟียร์เพิ่มขึ้น

V.L. Alexeev, E.A. Kelberg และ G.A. Evmenento [5] ทำการศึกษาและปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มไคโตซานโดยการเติม Poly(ethylene oxide) (PEO) การเตรียมฟิล์มทำได้โดยผสมไคโตซานในสารละลายกรดอะซิดิก และ PEO พบว่าอัตราส่วนระหว่างไคโตซานกับ PEO 10/2% โดยน้ำหนักจะให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มไคโตซานบริสุทธิ์ และศึกษาถึงสมบัติความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) ของฟิล์มจากการแยกวิถีภาคระหว่างไคโตซานกับ PEO โดยใช้ Small angle neutron scattering (SANS) พบว่าอัตราส่วน 10/2% โดยน้ำหนัก มีความเป็น Heterogeneous ที่น้อยที่สุด ทำให้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็น Biomedical ได้

J.H. Kim และ Kea Yong Kim [6] ทำการศึกษาสมบัติและลักษณะการบวมตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซานเมมเบรน (Membrane) ที่เชื่อมโยงด้วยกลูตารัลดีไฮด์อัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) โดยใช้เทคนิคการหล่อแบบสารละลาย (Solvent casting) และศึกษาสมบัติโดยใช้การอินฟราเรด (Infrared) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกชัน (X-ray diffraction) ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) พบว่าเมื่อทำการเชื่อมโยงแล้วเมมเบรนมีความเป็นผลึกต่ำ และมีองศาการบวมตัวน้อยซึ่งค่าการบวมตัวจะขึ้นกับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ด้วยแต่สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนให้ดีขึ้น แต่การเชื่อมโยงจะลดความสามารถในการบวมตัวของเมมเบรน เพราะการเชื่อมโยงทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ และหมู่อะมิโนในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และไคโตซานลดลงจึงสามารถนำมาประยุกต์เพื่อควบคุมการปลดปล่อยได้

T.Kayano, N. Koshizaki และ N.Minoura [7] ทำการศึกษาพื้นผิวไฮโดรเจลระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (Electron Microscope) วิเคราะห์ โดยใช้ไคโตซานในอัตราส่วนตั้งแต่ 10-40% โดยน้ำหนักผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าเมื่อปริมาณของไคโตซานมากขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำบนไฮโดรเจลมีมุมสัมผัส (Contact angle) สูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของไคโตซานมีขั้วน้อยกว่าโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซตาโพเทนเชียล (Zeta potential) เพิ่มขึ้นเป็นค่าคงที่เมื่อปริมาณของไคโตซานสูงขึ้นมากกว่า 10% โดยน้ำหนักและการวิเคราะห์โดยอิเล็กตรอนโพรบไมโครสโคป Electron-probe microscope แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวแบบ 2 ทิศทาง (2-Dimensional) ของไคโตซานที่เป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวที่สัมผัสกับอากาศพบว่าไคโตซาน 15% โดยน้ำหนักมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) ซึ่งผลจาก Laser-SAN microscope ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

ไพโรจน์ โสภณโณคร สุทรวัดณ์ เบนจกุล และวิคเนตร พระพุทธ [8] ทำการศึกษาไคโตซานเป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาวโดยใช้สารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.25 เคลือบผิวมะนาวที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำผสมสารป้องกันเชื้อราสามารถยืดระยะเวลาการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นเวลา 24 วัน และ 56 วัน เมื่อทำการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้อง และที่ 11 องศาเซลเซียส ส่วนการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว พบว่าการเคลือบผิวมะนาวด้วยไคโตซานให้ผลไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยที่คุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ได้ยังคงใกล้เคียงกับคุณภาพตอนเริ่มต้น

ปริดา จิตตารมย์ [9] ศึกษาคุณสมบัติของสารเคลือบผิวสำหรับส้มเขียวหวาน ที่เตรียมได้จากไข่ 2 ชนิด คือคาร์นูบา (Carnauba) เข้มข้น 0 ถึง 15% และเชลแลค (Shellac) เข้มข้น 0 ถึง 20 % พบว่า Carnauba สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้ถึง 60 % ซึ่งจะสัมพันธ์กับความเข้มข้น และไม่จำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซของผลส้ม ทำให้ O_2 และ CO_2 ภายในผลรวมทั้งปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) ในช่องว่างบริเวณเหนือผลสัมผัสกับเปลือกส้ม (head space) ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ Shellac สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้เพียง 20 % และไม่ต่างกันในทุกความเข้มข้น แต่มีสมบัติการจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซของส้มได้ดีสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้น สอดคล้องกับปริมาณ Ethyl alcohol ใน Head space ซึ่งมีมากกว่าปกติ การเคลือบผิวส้มด้วยสารทุกชนิดและความเข้มข้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Soluble solids (SS) , กรดที่ไทเทรตได้ (TA)

Miya [10] รายงานการเตรียมฟิล์มผสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานในการนำไปใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านแบบไดอะไลซิส (Dialysis) ว่าฟิล์มผสมแสดงค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงสุดที่ 15-30% ไคโตซานและผลการทดลองจากรามาน (Raman) และอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (Electron microscopy) แสดงให้เห็นถึงอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานในฟิล์มผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ประโยชน์จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเคลือบผิวมะนาว อันจะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนมะนาวในช่วงฤดูแล้ง และการล้นตลาด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาถึงอัตราส่วนและสภาวะการเตรียมฟิล์มที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติที่ดีที่สุดสำหรับใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว
2. เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของผลจากการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวระหว่างฟิล์มที่ทำการเชื่อมโยง (Crosslink) และฟิล์มที่ไม่ทำการเชื่อมโยง
3. เพื่อศึกษาผลของการผสมสารตัวเติมต่างๆ ได้แก่ สตาร์เฟรช-แว็กซ์ (Starfresh-Wax) และกลูตารัลไดอัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) ที่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสมบัติของไคโตซานที่นำมาใช้ในการทดลอง
3. ศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานที่เหมาะสม
4. ศึกษาผลของสารเชื่อมโยงฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานที่มีต่อสมบัติต่างๆ
5. ศึกษาสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซาน
6. ศึกษาผลของสารตัวเติมที่มีต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว
7. ศึกษาถึงลักษณะของมะนาวเมื่อนำมาเคลือบผิวด้วยฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซาน เช่น น้ำหนักที่สูญหายไป สี ลักษณะของผิว ค่าความเป็นกรดค่า (pH) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total solid, TS) จากน้ำมะนาว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

1. ทราบถึงสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ได้ต่อไป
3. ช่วยลดปัญหาการกำจัดกากของเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล เช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู ฯลฯ
4. สามารถนำฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้ใช้เคลือบผิวมะนาวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแผนงาน

แผนงาน	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	↔								
เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อเคลือบผิวมะนาวที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง			↔						
ศึกษาสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ ผสม				↔					
นำอัตราส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ ผสมที่ดีที่สุดในการเคลือบใส่สาร เชื่อมโยงกลูตาแรด ไดอัลดีไฮด์เพื่อ เคลือบผิวมะนาวที่อุณหภูมิห้อง					↔				
นำอัตราส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ ผสมที่ใส่สารเชื่อม โยงกลูตาแรด ไดอัลดีไฮด์มาผสมกับสารตัวเติม เพื่อเคลือบผิวมะนาวที่อุณหภูมิ ห้อง							↔		
สรุปผลการทดลองและงานเอกสาร								↔	

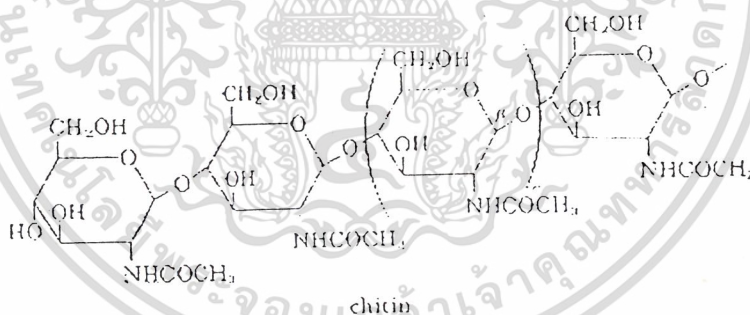
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไคตินและไคโตซาน

ไคตินบริสุทธิ์เป็นวัสดุสีขาวเหมือนเยื่อกระดาษ ไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง สารละลายอัลคาไลน์ (ทั้งเข้มข้นและเจือจาง) และตัวทำละลายอินทรีย์ใดๆ แต่ละลายใน Anhydrous formic acid สารละลายไฮโปคลอไรต์และใน Mineral acid เข้มข้น [11] ไคตินเป็นพอลิเมอร์ของ เอ็น-อะซีทิล-2-อะมิโน-ดี-กลูโคส (N-acetyl-2-amino-deoxy-D-glucose) ปกติจะมีไนโตรเจน ประมาณ 5-10 % โดยน้ำหนัก ไคตินที่ผ่านปฏิกิริยา Deacetylation จะได้เป็นไคโตซานที่เป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นพอลิเอไมด์สายโซ่ตรง (Linear polyamine) มีหมู่เอมีนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีและอยู่ในรูปเกลือเมื่ออยู่ในสภาวะกรดและแม้ว่าไคตินและไคโตซานมีพันธะ $[\beta (1 \rightarrow 4)]$ แอนไฮโดรกลูโคซิดิก $[\beta (1 \rightarrow 4) \text{ anhydroglucosidic}]$ ที่ตำแหน่ง C_1 และ C_4 และตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลตรงตำแหน่งคาร์บอนปฐมภูมิ [Primary (C_6)] และตำแหน่งคาร์บอนทุติยภูมิ [Secondary (C_3)] เหมือนในเซลลูโลสซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคติน [11]

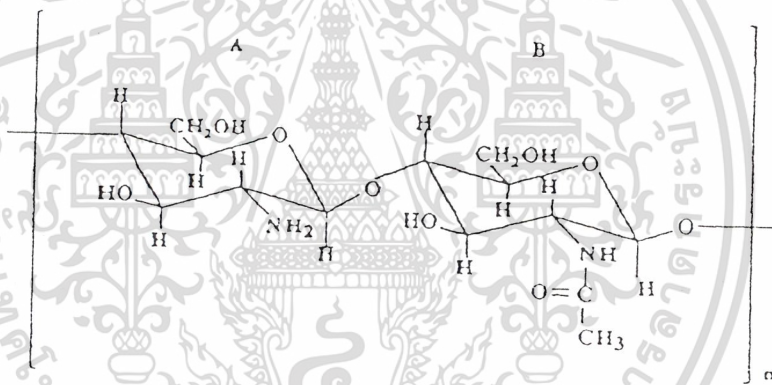
ขั้นตอนการสกัดไคตินแบ่งได้ 2 ขั้นตอน

1. การกำจัดแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน ด้วยสารละลายกรด
2. การกำจัดโปรตีนจากกากที่เหลือด้วยสารละลายด่าง ไคตินที่แยกได้จะถูกนำมาตัดแปลงด้วยวิธีทางเคมีอีกครั้งเพื่อให้ได้ไคโตซานตามต้องการ

ไคโตซานถือเป็นสารเคลือบผิวที่กำลังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์สารพัดประโยชน์ได้จากการสังเคราะห์ไคตินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ที่มีหน่วยซ้ำๆ กันคืออะซิทธิลกลูโคซามาน (N-Acetylglucosamine) ไคตินจะพบมากในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์ทะเลและแมลง เช่น เปลือกกุ้ง กระจกปู ฯลฯ จัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่พบมากรองจากเซลลูโลส (Cellulose)

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์รูปหนึ่งของไคติน เราสามารถเปลี่ยนไคตินเป็นไคโตซานได้โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีกำจัดหมู่อะซิทธิล (Acetyl) หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาดีอะซิทธิลเลชัน (Deacetylation) ซึ่งสามารถทำได้โดยให้ไคตินทำปฏิกิริยากับด่างเข้มข้น ไคโตซานจึงมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับไคตินแต่ปราศจากหมู่อะซิทธิลหรือมีบางส่วนขึ้นกับองศาของการดีอะซิทธิลเลชัน (Degree of Deacetylation, DD) โครงสร้างประกอบด้วย 2-Acetamide 2-deoxy- β -D-glucopyranone (Glc Nac, A) และ 2-Amino-2-deoxy- β -D-glucopyranose (GlcN, D) ต่อกันดังรูปที่ 2.2



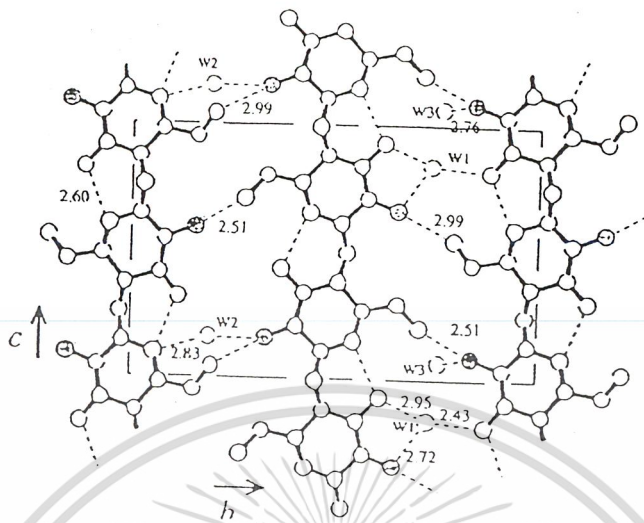
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างเคมีของไคโตซาน อัตราส่วนของ A และ B ขึ้นกับองศาของการดีอะซิทธิลเลชัน (Degree of Deacetylation, DD) ปกติแล้ว DD จะมีค่ามากกว่า 75 % หมายความว่า มีโครงสร้าง A 75 % B 25% โดยที่ n มีค่าประมาณ 1000

ไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ทางชีวภาพที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ตรงมีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส เนื่องจากไคตินและไคโตซานพบในเปลือกสัตว์ทะเล เช่น เปลือกกุ้ง กระจกปู ฯลฯ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ผลิตได้จากของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมประมง พบว่าในเปลือกสัตว์ทะเลประกอบด้วย ไคติน 20-30 % โปรตีน 30-40 % และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 30-50 % อัตราส่วนนี้ไม่แน่นอนขึ้นกับพันธุ์สัตว์ทะเลและฤดูกาล ดังนั้นสมบัติต่างๆ จึงแตกต่างกันไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลากหลายและไม่แน่นอน เช่น น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight, MW) องศาการดีอะซิไทลชัน (Degree of deacetylation, DD) ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับสี (Dye binding capacity, DBC) และความสามารถในการดูดซับน้ำและไขมัน (Water and Fat Capacity, WBC, FBC)

จากการศึกษาโครงสร้างของไคโตซานพบว่าไคโตซานอยู่ในรูปผลึกที่มีน้ำอยู่ในโครงสร้าง (Hydrated crystalline form) ซึ่งสามารถเป็นเปลี่ยนโครงสร้างที่ไม่มีน้ำ (Anhydrated form) โดยการให้ความร้อนหรือแอนนีย์ลิ่ง (Annealing) [12] พบว่าโครงสร้างของไคโตซานที่ไม่มีน้ำเป็นโครงสร้างแบบเกลียว 2 เส้นพันกัน (2-fold helical conformation) และ Unit cell แบบ Ortho rhombic จากการศึกษาไคโตซานแบบมีน้ำพบว่าโครงสร้างคล้ายกัน Unit cell ประกอบด้วยสายโซ่ไคโตซาน 4 โมเลกุล และมีน้ำ 8 โมเลกุล [13] มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลข้างเดียวทำให้เกิดโครงสร้างเป็นแผ่นตามระนาบ BC ดังรูปที่ 2.3 รูปโครงสร้างโมเลกุลไคโตซานเมื่อสูญเสียโมเลกุลน้ำแสดงดังรูปที่ 2.4 จากการศึกษาการเกิดผลึกของไคโตซาน [14] พบว่าไคโตซานสามารถเกิดผลึกก้อนกลมหรือสเฟียรูไลต์ (Spherulites) ดังรูปที่ 2.5 ลักษณะผลึกจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิตกผลึก pH และอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นต้น

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีขั้วชอบน้ำ (Hydrophilicity) ว่องไวต่อสารเคมีสูง ละลายได้ดีในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ฯลฯ แต่ไม่ละลายในสารละลายด่าง สามารถหล่อแบบ (Casting) ทำเป็นฟิล์มหรือเยื่อเลือกผ่านได้ง่าย [14] ไคโตซานมีสมบัติที่ดีหลายประการเช่น ฟิล์มมีสมบัติเชิงกล การดูดซับโลหะหนัก สามารถยึดเกาะกับประจุลบ ไม่มีพิษ (Nontoxicity) และเข้าได้ดีกับชีวภาพ (Biocompatibility)



รูปที่ 2.3 แสดงการจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของผลึกไคโตซาน (a) มองตามแนวแกน a (b) มองตามแนวแกน c ก้อนกลมระบายสีคืออะตอมของไนโตรเจน [12]



รูปที่ 2.4 แสดงแบบจำลองการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกไคโตซานจากผลึกที่มีน้ำ (Hydrated chitosan) เป็นผลึกที่ไม่มีน้ำ (Anhydrated chitosan) แสดงการหายไปของพันธะไฮโดรเจน [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงผลึกแบบสเฟียรูไลต์ (Spherulites) ของไคโตซาน [14]

สมบัติการดูดซับโลหะหนักเพราะโครงสร้างไคโตซานมีหมู่อะมิโนในรูปรีบโปรตอนทำหน้าที่เป็นตัวจับประจุที่ดีสามารถเกิดพันธะเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะกับหมู่ อะมิโนได้ เช่น สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียมสามารถยึดเกาะได้ดีกับประจุลบ ไม่มีพิษ เข้าได้ดีกับชีวภาพ ใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้และผักเพื่อลดการสูญเสียน้ำและยืดอายุการเก็บรักษา

2.1.1 วิธีสังเคราะห์ไคติน-ไคโตซาน

นำเปลือกกุ้งหรือกระดองปูมาแยกโปรตีน (Protein separation) ออกโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแยกเกลือแร่ (Demineralization) โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก จากนั้นนำไปล้างแล้วทำให้แห้งจะได้ไคติน หลังจากนั้นนำไคตินที่ได้ไปทำการกำจัดหมู่อะซิทิล (Deacetylation) ออกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกด้วยน้ำ ทิ้งไว้ให้แห้ง จะได้ไคโตซาน



ไกลโดซานคือ พอลิเมอร์ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง เป็นอนุพันธ์ของไคติน พอลิ-เมอร์ธรรมชาติที่พบในเปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนหมึก



กุ้ง

ปู

หมึก

เศษเปลือกกุ้ง ปู และแกนหมึกจาก โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

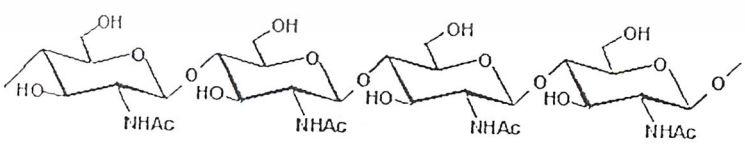
ละลายแร่ธาตุ เช่น แคลเซียมออก โดยใช้สารละลายกรดไฮดรอกลอร์ริกเจือจาง

แยกโปรตีนออกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

ฟอกสีโดยใช้สารละลายด่างทับทิม 0.5 % และสารละลายกรดออกซาลิกหรือด่างแอมโมเนีย

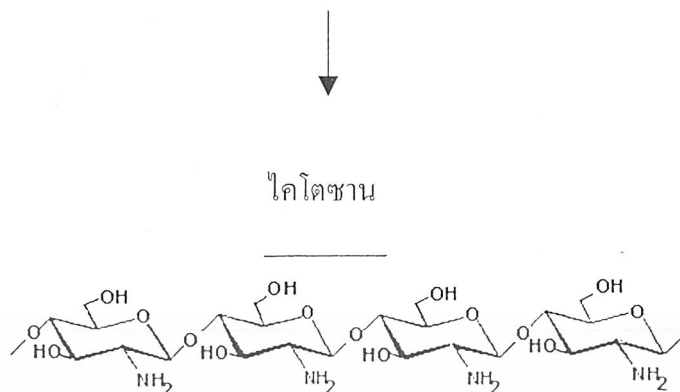


ไคติน



เข้าสู่กระบวนการดึงหมู่อะซิทิลโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40-50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการสังเคราะห์ไคติน-ไคโตซาน [15]

2.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคติน-ไคโตซาน

2.1.2.1 การละลาย (Solubility)

ไคตินไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง ค่างเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เข้มข้น กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) เข้มข้น กรดฟอสฟอริก (78-97 %) กรดฟอร์มิก (Anhydrous formic acid) และ DMAc-LiCl (N,N-Dimethylacetamide-Lithiumchloride) ความยากของการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่างๆ เป็นผลมาจากสายโซ่ที่อยู่กันอย่างหนาแน่นมีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลเนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน (หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะมิโน) ไคโตซานไม่ละลายน้ำ ต่างและตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกันภายใต้การคนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายไคโตซานมีความเหนียวใส มีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ในสารละลายหมู่อะมิโนของไคโตซานจะแตกตัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pK_a) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์โดย pK_a ของไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 ถึง 6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

ไคตินในธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 1×10^6 ในขณะที่ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต

2.1.2.3 Degree of deacetylation (DD)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตซาน เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง 2 มอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์แรกมากกว่าคือมีค่า Degree of deacetylation ต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของมอนอเมอร์ที่สองมากกว่า คือมีค่า Degree of deacetylation สูงจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

2.1.2.4 ความร้อนในการกระตุ้นให้เกิดการสลายพันธะแบบไฮโดรไลซิส (Hydrolysis heat of activation)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาการสลายพันธะที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สายโซ่พอลิเมอร์ของไคติน มีลักษณะเช่นเดียวกันกับเซลลูโลสคือเป็นพันธะ Glycosidic linkage แบบ $\beta(1 \rightarrow 4)$ ดังนั้นไคติน จึงมี Hydrolytic heat of activation 29 kcal

2.1.2.5 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับหลายอย่าง เช่น Degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น Ionic strength ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริก จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

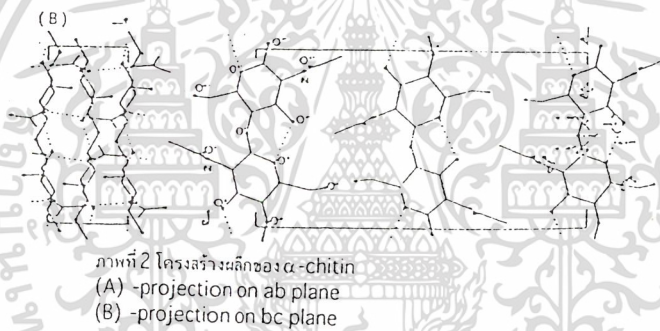
2.1.2.6 โครงรูปโมเลกุล (Molecular conformation)

ไคตินมีโครงสร้างของผลึก (Crystal structure) ที่แข็งแรงและมีระดับของผลึก (Degree of crystallinity) สูง Muzzarelli ได้เสนอรูปแบบผลึกของไคโตซานไว้เป็น 3 ลักษณะ คือ α -chitin β -chitin และ γ -chitin แต่ละลักษณะแตกต่างกันที่การเกิดระบบของผลึก (Crystal system) และปัจจัยของการเกิดแลตทิซผลึก (Crystal lattice) ของหน่วยเซลล์ ภายในโครงสร้างผลึก ความแตกต่างนั้นเป็นผลมาจากรูปแบบการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในแลตทิซผลึกสายโซ่ โมเลกุลที่ยาวของไคตินจะมีการจัดเรียงตัวเป็นแผ่นซ้อนทับกัน (Plated sheet) ในแลตทิซผลึกของหน่วยเซลล์ ซึ่งอาจเรียงตัวกันได้ 2 แบบ คือ แบบขนานที่มุ่งไปในทิศทางเดียวกัน (Parallel pattern) และแบบที่โครงสร้างเรียงตัวกันแบบสวนทางกัน (Anti-parallel pattern) α -chitin

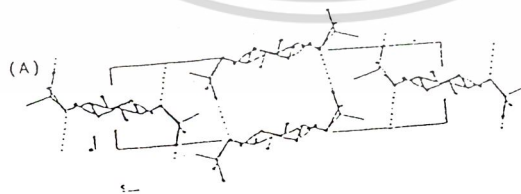
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบในเปลือกกุ้ง และปู ส่วนไคตินที่พบในแกนปลาหมึกจะมีโครงสร้างที่เรียงตัวมุ่งไปทางเดียวกัน เกิดเป็น β -chitin การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลแบบ γ -chitin นั้นเกิดจากโครงสร้างสลับกันระหว่างสองแบบที่กล่าวมาแล้วโดยธรรมชาติจะพบ α -form มากกว่า β -form และ γ -form ทั้งนี้เพราะมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างสายโซ่ของโมเลกุล (Intramolecular and intermolecular chain) มากกว่า จึงทำให้มีเสถียรภาพทางเคมี (Chemical stability) มากกว่าแบบอื่น β -chitin มีเสถียรภาพทางเคมีรองมาจาก α -chitin ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า การมีเสถียรภาพที่น้อยทำให้มีโอกาสเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโครงสร้างจาก β -form เป็น α -form ในสารละลายกรดแก่และยังโอกาสจับกับโมเลกุลของน้ำอย่างถาวรเป็นไคตินที่มีน้ำอยู่หนึ่งโมเลกุล (Chitin monohydrate) ได้อีกทางหนึ่ง โครงสร้างลักษณะผลึกของ α -chitin และ β -chitin แสดงดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างผลึกของ α -chitin [16]



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างผลึกของ β -chitin [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ประเภทบวก (Cationic polyelectrolyte) เนื่องจากสารละลายกรดมีหมู่อะมิโนในสายโซ่โมเลกุลจะรับโปรตอน แล้วอยู่ในรูป $-NH_3^+$ Conformation ของไคโตซานโมเลกุลในสารละลายสามารถบ่งชี้ถึงค่า Mark-Houwink exponent (ค่า a) ถ้า a มีค่าประมาณ 0.5-0.8 และ 1.8 บ่งชี้ว่าพอลิเมอร์เป็นทรงกลม (Sphere) มีลักษณะเป็น Random coil และมีลักษณะเป็นแท่ง (Rod) ตามลำดับ Conformation ของไคโตซานโมเลกุลที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับ Ionic strength ค่า pH อุณหภูมิ ความเข้มข้นของยูเรีย น้ำหนักโมเลกุลและ Degree of deacetylation

2.1.3 วิธีใช้ไคติน-ไคโตซาน

โดยปกติจะใช้ไคตินในรูปแบบของแข็งโดยบดเป็นผงหรือนำไปละลายเพื่อตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพก่อน หรือนำไปละลายในสารผสมของไดเมทิลอะเซทาไมด์ (DMAC), เอ็นเมทิลไพโรลิโดน (NMP) ในลิเทียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารมีพิษสูง

ส่วนไคโตซานมักถูกนำไปใช้ทั้งในรูปแบบของแข็งและสารละลาย โดยละลายไคโตซานด้วยกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดแลกติก กรดกลูตามิก ฯลฯจนได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวใส จากนั้นจึงนำไคโตซานไปใช้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

2.1.4 การทำงานของไคติน-ไคโตซาน

ไคติน-ไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวสร้างตะกอน (ทำหน้าที่กระตุ้นให้เศษของเสียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและตกเป็นตะกอนลงมา) และตัวตกตะกอน (ทำหน้าที่จับกับสารแขวนลอยในน้ำแล้วตกตะกอนลงมา) ในตัวเดียวกัน เนื่องจากไคโตซานมีหมู่อะมิโนที่สามารถแตกตัวให้ประจุบวกจึงทำให้ประจุบอย่างโปรตีน สีย้อม กรดไขมันอิสระ คอเรสเตอรอล เข้ามาเกาะกับประจุบวกของไคโตซาน ส่วนโลหะหนักเป็นประจุบวก ในโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนกับโลหะหนักในน้ำทำให้เกิดพันธะเคมีที่เรียกว่าพันธะเชิงซ้อน (Co-ordinate) ขึ้นมา และจากการทดลองพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานจะสามารถจับกับโลหะหนักในน้ำได้ดีกว่าหมู่ซัลไฟลของไคตินดังนั้นค่า Degree of acetylation จะมีผลมาก โดยถ้ามีค่าสูง จะมีการดูดซับโลหะหนักได้มาก แต่ถ้าค่านี้นต่ำการดูดซับโลหะหนักก็จะแย่ตามไปด้วย

2.1.5 การเสื่อมสลาย (Degradation)

ไคติน-ไคโตซาน เหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์ทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ หรือโอลิโกแซคคาไรด์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุด ที่เรียกว่ามอนอเมอร์ หรือมอนอแซคคาไรด์ โอลิโกเมอร์/โอลิโกแซคคาไรด์ของ

ไคตินและไคโตซานคือ N-acetyl-chitooligosaccharide และ Chitooligosaccharides ตามลำดับ ส่วนมोनอเมอร์/มอนอแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซานคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ

2.1.5.1 การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โพลีเมอร์ของไคโตซานเนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม จะได้โพลิโเมอร์ขนาดต่างๆ และมอนอเมอร์ขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โพลีเมอร์ ชนิดของพอลิเมอร์ โดยไคตินจะสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน

2.1.5.2 การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline degradation)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โพลีเมอร์ของพอลิแซคคาไรด์ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โพลีเมอร์ การเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า Peeling reaction

2.1.5.3 การเสื่อมสลายโดยความร้อน (Thermal degradation)

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง ที่อุณหภูมิสูงกว่า หรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โพลีเมอร์มีความยืดหยุ่นมากขึ้น Glass transition temperature (Tg) ลดลงความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ไคโตซานเกิดลีเลื่องจนถึงสีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายไคโตซานจะลดลงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไคโตซานจะไม่ละลายในกรดอะซิติก (0.2 M) / โซเดียมอะซิเตต (0.1M) สำหรับการอบแห้งแบบใช้ไอร้อนไคโตซานจะไม่สามารถละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การอบที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

2.1.5.4 ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

ไคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา คือหมู่อะมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2) หมู่ Primary alcohol (-CH₂OH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (C-6) และหมู่ Secondary alcohol (-CHOH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) การปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (Chemical modification) ของทั้ง 3 หมู่ฟังก์ชันนี้สามารถทำให้เกิดประโยชน์ต่าง ๆ มากมาย

2.1.5.5 ปัจจัยทางเคมีและกายภาพที่ผู้ซื้อต้องคำนึงเพื่อจะนำไปใช้งานได้ตามต้องการ

Degree of deacetylation (%) ความชื้น (%) ปริมาณเถ้า (Ash content %) ปริมาณโปรตีน (Protein content %) ความหนืด (Viscosity, centi-poise, cp) น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight, g/mol)

2.1.6 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานไคโตซาน

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่มีประโยชน์มากมาย และได้รับความสนใจอย่างมากจากนักวิทยาศาสตร์และประชาชนทั่วไป เนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น

ไคโตซานกับการแพทย์ยุคใหม่

- เร่งให้แผลหายเป็นปกติได้เร็วขึ้น ลดความเจ็บปวด ลดการติดเชื้อ หยุดการไหลของเลือด ไม่ติดแผล ไม่มีผลกระทบและปฏิกิริยาต่อต้านของร่างกาย ช่วยในการรักษาหลังการผ่าตัด เหงือกพบว่าไคโตซานแอสคอร์เบตเจลสามารถช่วยให้เกิดการเจริญของเซลล์และการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ ช่วยห้ามเลือดและลดการเกิดหินปูน [17-18]

ไคโตซานกับภาคอุตสาหกรรม

- ไคโตซานเป็นสารตรึงเอนไซม์ เวลาใช้ต้องทำให้ไคโตซานเกิดการก่อตัวเป็นเจล (โดยใช้สารพวกไฟโรฟอสเฟต) ห่อหุ้มเอนไซม์ไว้ข้างในเราเรียกการตรึงนี้ว่า Entrapment ซึ่งจะช่วยในการลดการใช้เอนไซม์นั้นคือจะกักเอนไซม์ไว้ทำปฏิกิริยาหลายๆรอบทำให้เอนไซม์ไม่เสียไปในระหว่างการผลิตและสามารถนำกลับมาใช้ผลิตใหม่ได้อีกซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนที่สำคัญได้เป็นอย่างดี [19]

ไคโตซานกับการเกษตร

- ไคโตซานสามารถก่อตัวเป็นฟิล์มบางใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ใช้เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรและเมล็ดพันธุ์ พวกมันทำงานได้ดีเนื่องจากฟิล์มบางที่ก่อตัวขึ้นจะช่วยลดอัตราการหายใจและการผลิตก๊าซเอทิลีน (ฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่กระตุ้นให้ผักผลไม้สุกเร็ว) ลดการเปลี่ยนสี (Browning) ของผักผลไม้ และการรบกวนของเชื้อราและแมลง ไคโตซานยังสามารถช่วยกระตุ้นการเกิดรากทำให้อัตราการงอกของพืชเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย [20]

ไคโตซานกับสิ่งแวดล้อม

- บทบาทที่สำคัญคือบำบัดน้ำทิ้ง น้ำเสียมีความสามารถในการจับของแข็งที่แขวนลอยได้ดีและจับกับอะตอมของโลหะหนัก เช่นปรอท แคดเมียม ตะกั่วด้วยพันธะเชิงซ้อนได้อีกด้วยยังมีการนำไคโตซานไปจับกับสารกัมมันตภาพรังสีอย่างพลูโตเนียมและยูเรเนียม อีกทั้งการใช้ไคโตซานผสมกับพลาสติกช่วยในการย่อยสลายของพลาสติก [21-22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

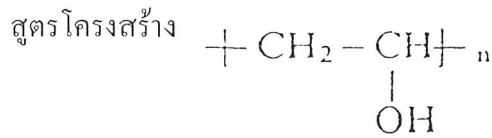
โคโคซานกับอุตสาหกรรมอาหาร

-ใช้ลดนอมอาหารเพื่อยืดอายุและป้องกันการสูญเสียจากแบคทีเรียและเชื้อราโดยใช้ได้ทั้งกับอาหารสดและแบบปรุงสำเร็จ ใช้ผสมกับอาหารที่ต้องการควบคุมไขมันและคอเรสเตอรอลในร่างกายโดยทำเป็นอาหารหลัก อาหารเสริมและอาหารขบเคี้ยว ใช้ในการกรองและตกตะกอนของสิ่งเจือปนในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ เบียร์ และเครื่องดื่มต่างๆ [19]

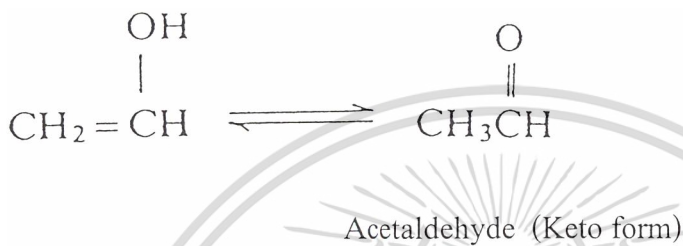


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

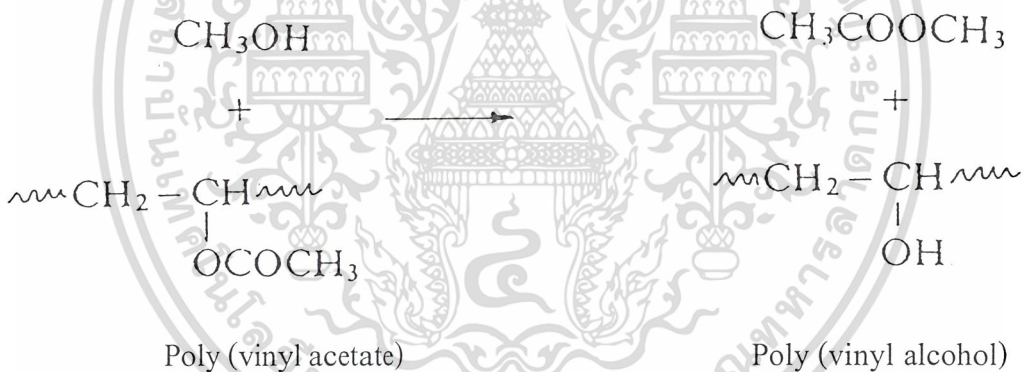
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [Poly(vinyl alcohol), PVA] [2]



เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่เสถียรที่สภาวะปกติเพราะจะเปลี่ยนไปเป็นคีโตเทอโทเมอร์ (Keto tautomer) ที่เสถียรกว่าดังนี้



การเตรียมจึงเตรียมได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต ดังนี้

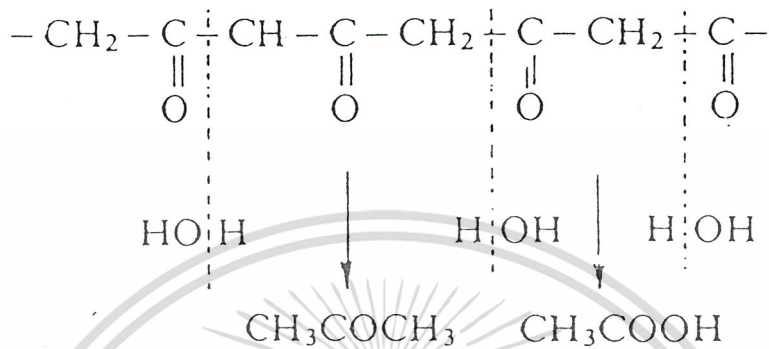


ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้อาจเป็นเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกิริยานี้อาจเร่งปฏิกิริยาโดยกรดแก่หรือเบสแก่ก็ได้ แต่ถ้าใช้เบสแก่เกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ในทางปฏิบัติทั่วไปละลายพอลิไวนิลอะซิเตตแล้วเติมตัวเร่ง (กรดแก่หรือเบสแก่) และให้ความร้อน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนออกจากสารละลาย

วิธีที่สะดวกในการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลอะซิเตต คือการใช้กระบวนการแบบสารละลายหรือแบบแขวนลอย โดยเฉพาะแบบสารละลายสะดวกมากเนื่องจากใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายด้วย จะได้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกออกมาได้เลย [2]

2.2.1 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์ [23-24]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมได้ในอุตสาหกรรมมักจะมีหมู่ไฮดรอกซิลปะปนมาบ้างประมาณ 1.5-2 โมลเปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่าหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะอยู่ในตำแหน่ง 1,3 เวลาเกิดปฏิกิริยากับกรดโครมิก หมู่แอลกอฮอล์จะเปลี่ยนไปเป็นหมู่คีโตน เมื่อทำปฏิกิริยากับเบส จะได้อะซิโตนกับกรดอะซิติก



พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหนาแน่น 1.293 g/cm³ อุณหภูมิ Tg 80 °C มีสมบัติคล้ายแข็งคือเกิดสีน้ำเงินกับไอโอดีน ละลายในน้ำ และต่างอ่อน ที่ต่างกับพอลิไวนิลอะซิเตตคือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเป็นผลึกมากพอสมควร ทั้งๆที่เป็นอะแทกติกเช่นกัน เนื่องจากหมู่ -OH เล็กกว่าหมู่อะซิเตตนั่นเอง น้ำหนักโมเลกุล (MW) ที่ใช้ในอุตสาหกรรม มีอยู่ 4 ช่วงคือ 250,000-300,000 170,000-220,000 120,000-150,000 และ 25,000-35,000 ตามลำดับ

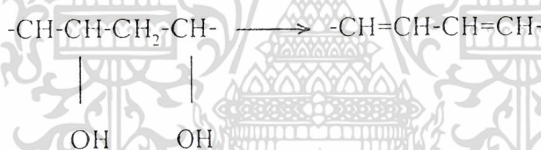
สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ สามารถละลายในน้ำได้โดยละลายอย่างช้าๆ ในน้ำเย็นแต่จะละลายเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และทั่วไปจะสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 °C ความสามารถในการละลายในน้ำของแอลกอฮอล์ก็ขึ้นกับปริมาณของหมู่ -OH ในโมเลกุลเช่นกัน โดยที่จะสามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ -OH 88 % ในโมเลกุล แต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ -OH สูงกว่านี้ ความสามารถในการละลายกลับลดต่ำลงตามลำดับเพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับดีกรีของแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับดีกรีของแอลกอฮอล์ซิส คือถ้าถูกไฮโดรไลซ์สมบูรณ์ 100 % จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น ทนทานต่อการฉีกขาดได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ถูกไฮโดรไลซ์เพียงบางส่วน เนื่องจากมีความเป็นผลึกมากกว่าและพันธะไฮโดรเจนมากกว่า นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพยังได้รับอิทธิพลจากความชื้นของสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะน้ำจะทำตัวเป็นพลาสติกไซเซออร์ให้กับพอลิเมอร์ตัวนี้ได้ เช่น ถ้ามีความชื้น 50 % ความทนทานต่อแรงดึงจะลดลง แต่จะไปเพิ่มความสามารถในการยืดตัวออกมากขึ้น น้ำหนักโมเลกุลก็มีผลต่อสมบัติทางกายภาพด้วย เช่นถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทนต่อแรงดึงต่ำ ทนต่อแรงฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง [2]

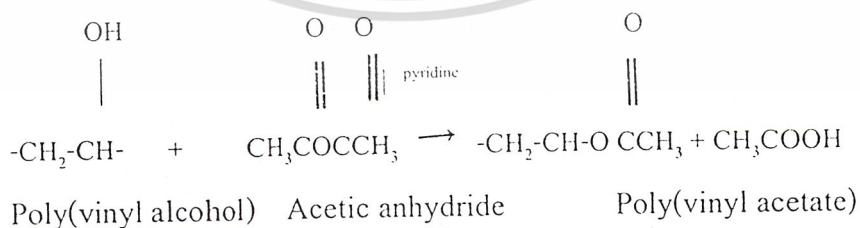
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับคุณสมบัติการละลายน้ำนั้น พบว่าการละลายจะเพิ่มขึ้นถ้าหมู่อะซิติกในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น และจะสูงสุดเมื่อมีดีกรีของการเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิล 88 % ถ้าถึงจุดนี้การละลายสมบูรณ์และละลายในน้ำเย็นปกติได้สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทนทานได้หลายชนิด โดยความทนทานจะเพิ่มขึ้นตามดีกรีของหมู่ไฮดรอกซิล ถ้าสูงจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั้งอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน คลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนสูงๆ เอสเทอร์ อีเธอร์ และคีโตน แต่ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนต่ำๆ จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้ละลายได้ และสารจำพวกเอไมด์ เช่นฟอร์มามาไมด์ (formamide, HCO-NH₂) อะซีตาไมด์ (acetamide, CH₃CO-NH₂) สารจำพวกเอมีนก็สามารถละลายได้เช่นกันเนื่องจากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พันธะไฮโดรเจนในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีผลทำให้พอลิเมอร์มีอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) สูงถึง 230 °C ถ้ามีหมู่ -OH ถึง 88 % แต่เมื่อถึงจุด Tm แล้วพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะไม่หลอมตัวเหมือนเทอร์โมพลาสติกทั่วไป แต่จะสลายตัวได้น้ำกับสารที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกตทำให้เกิดสีขึ้น ดังนี้



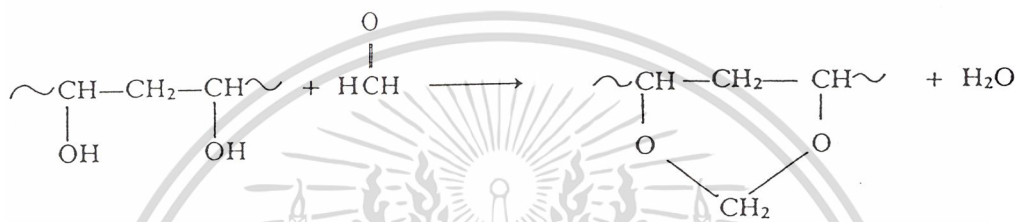
หมู่ -OH ในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเปลี่ยนไปเป็นหมู่อะซิเตตได้โดยทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) ในไพริดีน (Pyridine) และให้ความร้อน แต่พอลิไวนิลอะซิเตตที่ได้จะมีโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างออกไปจากพอลิไวนิลอะซิเตตเดิมก็ได้



การใช้ประโยชน์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้น แบ่งกว้างๆ ได้เป็นสองลักษณะ ลักษณะแรกจะอาศัยสมบัติการละลายน้ำได้และทนต่อแรงดึงสูง จึงใช้เป็นตัวที่ช่วยให้กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันและแขวนลอยขึ้นขึ้น (เรียกว่าใช้เป็น Thickening Agent) ใช้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแผ่นฟิล์มบรรจุของที่ละลายน้ำได้เช่น สีย้อมผ้า ยาฆ่าเชื้อโรค ยาฆ่าเชื้อแมลง ทำน้ำยาถอดแบบ ในอุตสาหกรรมพลาสติกหล่อ ทำกาว ฯลฯ ส่วนการใช้ประโยชน์อีกลักษณะหนึ่งคือ Adhesive ถ้าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยาเคมีแล้ว จะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนจากละลายน้ำเป็นไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงนำไปใช้อุตสาหกรรมเส้นใยผ้าเป็นหลัก โดยนำพอลิเมอร์ไปปั่นแบบเปียก (Wet Spun) เป็นเส้นเข้าไปยังสารละลายโซเดียมซัลเฟตเข้มข้นที่มีกรดซัลฟูริกและฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย ประมาณ 0.333 ของหมู่ $-OH$ ของพอลิเมอร์นี้เปลี่ยนไปเป็นหมู่ฟอร์มัล (Formal, CH_2O) ได้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำดังนี้ [2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. ไคโตซานมวลดโมเลกุล 100,000 บริษัท T.C. Union
2. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Commercial grade) บริษัท P&N Associate
3. กลูตาราลไดอัลดีไฮด์ บริษัท Merck
4. กรดอะซิติกเข้มข้น 2% W/W บริษัท Merck
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข่นข้น 2 N และ 4% โดยน้ำหนัก
6. โพลีเอทิลีนออกไซด์
7. Starfresh-Wax บริษัทจิตรกร จำกัด
8. ฟีนอล์ฟทาลีน
9. Buffer pH 4 และ 7

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องแก้ว
2. ชุดใบพัดปั่นกวน
3. Hot Plate
4. ถาดเมลามีน
5. ไมโครมิเตอร์
6. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง บริษัท LLOYD LR30K
7. DSC บริษัท Perkin-Elmer Thermal analysis series 7
8. เครื่องวัดค่าสี (Chromameter) บริษัท Hunter Lab
9. pH meter
10. เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห (Refractometer)
11. เครื่องชั่ง
12. เครื่องวัดความหนืด Brookfield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ตอนที่ 1 การเตรียมโคโตนานฟิล์ม

1.1 นำโคโตนานมาทำการผสมกับกรดอะซิติกโดยใช้โคโตนาน 2 % โดยน้ำหนักมาผสมกับกรดอะซิติกเข้มข้น 2 % โดยปริมาตร

1.2 นำมาทำการปั่นกวนด้วยเครื่องใบพัดปั่นกวนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.3 นำสารละลายโคโตนานที่ได้มาหล่อแบบ (Casting) ลงบนโมลเมลามีนที่มีผิวเรียบแล้วนำไปไล่ก๊าซออก (Degas) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้แห้งในตู้ดูดควันที่อุณหภูมิห้อง

1.4 นำไปแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4 % โดยน้ำหนัก ทิ้งเอาไว้เป็นเวลาประมาณ 3 วันจนแผ่นฟิล์มหลุดออกจากแม่แบบ หรือแช่ให้ท่วมฟิล์มประมาณ 20 นาที

1.5 นำแผ่นฟิล์มที่ได้มาแช่ด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 30-40 นาที เพื่อปรับสภาพให้ฟิล์มมีสมบัติเป็นกลาง

1.6 นำแผ่นฟิล์มมาตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

ตอนที่ 2 การเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมโคโตนาน

ทำเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่ใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ในระหว่างการปั่นกวน โดยใช้สัดส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อโคโตนาน (PVA/CHI) 100/0 75/25 50/50 25/75 0/100 โดยน้ำหนัก นำฟิล์มที่ได้มาทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับตอนที่ 1 โดยจะศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DSC และสมบัติเชิงกลเพื่อศึกษาหาสัดส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ดีที่สุด โดยสมบัติเชิงกลจะทดสอบย่อยเป็นทดสอบความแข็งแรงดึงโดยใช้ ASTM638-81 และทดสอบความแข็งแรงฉีกขาดด้วย ASTM D1004

ตอนที่ 3 การเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

3.1 เตรียมสารละลายผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อโคโตนาน (PVA/CHI) 100/0 75/25 50/50 25/75 0/100 % โดยน้ำหนัก

3.2 ปรับ pH ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อโคโตนาน (PVA/CHI) ให้มีค่าระหว่าง 5.5-6 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4 % โดยน้ำหนัก ทำการชุบเพื่อเคลือบผิวมะนาว

3.3 คัดเลือกมะนาวพันธุ์เป็นที่มีลักษณะกลมและมีสีเขียว ไม่มีตำหนิมาก น้ำหนักใกล้เคียงกันระหว่าง 35-45 กรัมมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้งโดยแต่ละครั้งจะแช่ในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลั่นเป็นเวลา 5 นาที และแช่มะนาวด้วยสารละลายโพแทสเซียมซอร์เบทเพื่อป้องกันเชื้อรา จากนั้นนำมาผึ่งลมให้แห้งประมาณ 10 นาที

3.4 ศึกษาสมบัติของมะนาวเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

3.4.1 วัดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก

-ชั่งน้ำหนักของมะนาวเปรียบเทียบกับน้ำหนักเมื่อเริ่มทดลอง

3.4.2 วัดปริมาณ Total solid ของน้ำมะนาวโดยใช้ Hand refractometer อ่านค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์

3.4.3 วิเคราะห์หาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titrable acidity, TA)

-ไทเทรตน้ำมะนาวกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาเลิน (Phenolphthalein) เป็นตัวบ่งชี้ (Indicator)

3.4.4 วัดค่าสี โดยใช้ Chromameter

3.4.5 วัดค่า pH

-โดยการคั้นน้ำมะนาวมาวัด pH โดยใช้ pH meter

3.4.6 วัดปริมาณน้ำที่คั้น

-โดยชั่งผลมะนาวจากนั้นทำการคั้นน้ำมะนาวแล้วชั่งน้ำหนักน้ำที่คั้นที่ได้เทียบกับน้ำหนักผล

3.4.7 วัดเปอร์เซ็นต์ลูกที่ไม่เน่าเสีย (%Residue)

- นับจำนวนผลมะนาวที่เน่าเสียเทียบกับจำนวนผลมะนาวทั้งหมดที่มี

3.5 ทำซ้ำทุกขั้นตอน โดยใช้อัตราส่วนละ 5 ผล โดยศึกษาผลเปรียบเทียบในทุกอัตราส่วน โดยทำการตรวจผลการทดลอง ทุกๆ 2 วัน จนครบ 3 สัปดาห์หรือจนมะนาวเสียสภาพ

ตอนที่ 4 การเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาวเมื่อเติมสารตัวเติมและการเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์ม

4.1 เลือกเฉพาะอัตราส่วนที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดในตอนๆ 3 มาเติมสารเชื่อมโยงกลูตาราลไดออกไซด์ไฮด 10 ไมโครลิตร และอีกสูตรเติมสารตัวเติม Starfresh 10% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์แล้วนำมาทำการทดสอบเช่นเดียวกันที่อุณหภูมิห้อง

4.2 เลือกเฉพาะอัตราส่วนที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดในตอนๆ 3 มาเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มหุ้มโดยใช้อัตราส่วนโคโคซานเป็น 2 % 2.5% และ 3% โดยน้ำหนัก

4.3 ทำเช่นเดียวกับตอนที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง

ในการศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ที่มีต่อการยืดอายุเก็บรักษามะนาว ได้แก่ พิล์มไคโตซาน 100% (CHI 100) พอลิเมอร์ผสมของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนดังนี้ 75/25 (CHI75/PVA25) 50/50 (CHI50/PVA50) 25/75 (CHI25/PVA75) โดยนำหั่นและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 100% (PVA100) ทำการศึกษาโดยนำมะนาวมาเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวหนึ่งชั้น จากนั้นทำการศึกษาความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว โดยศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของผลมะนาว สมบัติทางเคมีที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรตน้ำมะนาว (Titratable Acidity, TA) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำมะนาวและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Solid, TS) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์มะนาวดีที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป (% Residue) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของผลมะนาวที่สูญหายเมื่อเทียบกับน้ำหนักของผลมะนาวเริ่มต้น (% Weight Loss) น้ำหนักน้ำมะนาวที่คั้นได้น้ำหนักผล และดีของผลมะนาวรายงานเป็นค่าสีแบบ L^* , a^* และ b^*

4.1.1 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรตน้ำมะนาว (Titratable acidity, TA)

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า มะนาวที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิด และชุดควบคุมมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากไทเทรตน้ำมะนาว (Titratable Acidity, TA) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.1060-0.1132 จากค่าเริ่มต้นในช่วง 0.10-0.11 ทั้งนี้ค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อาจเนื่องจากการสูญเสียของผลมะนาว

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรตน้ำมะนาว (Titratable Acidity, TA) ของผักและผลไม้เกือบทุกชนิดจะสัมพันธ์กับอัตราการหายใจ และการผลิตก๊าซเอทิลีน (Ethylene) เพิ่มมากขึ้น แต่ผลไม้ตระกูลส้มเช่นมะนาวเป็นผลไม้ประเภท Non climacteric คือมีอัตราการหายใจต่ำและผลิตก๊าซเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Ethylene) ได้น้อย จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) ไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 4.1 ค่าความเป็นกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรตน้ำมะนาว (Titratable Acidity, TA) จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง

ชนิดของสารเคลือบ

วัน	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA5	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	0.11a	0.10a	0.10a	0.11a	0.12a	0.11a
2	0.11 a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
4	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
7	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
9	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
11	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
14	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
16	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
18	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
21	NA	NA	0.11a	NA	NA	NA
23	NA	NA	0.11a	NA	NA	NA
26	NA	NA	0.11a	NA	NA	NA
28	NA	NA	0.11a	NA	NA	NA
30	NA	NA	0.11a	NA	NA	NA
32	NA	NA	0.11a	NA	NA	NA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำมะนาว

จากตารางที่ 4.2 แสดงว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำมะนาว ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 32 วัน จากการทดลองพบว่าชนิดของสารเคลือบไม่มีอิทธิพลต่อค่า pH เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ($p > 0.05$) ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 2.28-2.62

ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำมะนาว จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง

วัน	ชนิดของสารเคลือบ					
	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	2.41 a	2.29 a	2.28 a	2.32 a	2.48 a	2.33 a
2	2.73 a	2.47 a	2.48 a	2.61 a	2.48 a	2.31 a
4	2.59 a	2.47 a	2.50 a	2.49 a	2.41 a	2.34 a
7	2.68 a	2.43 a	2.41 a	2.41 a	2.39 a	2.42 a
9	2.43 a	2.44 a	2.42 a	2.39 a	2.35 a	2.35 a
11	2.45 a	2.39 a	2.41 a	2.41 a	2.33 a	2.36 a
14	2.41 a	2.38 a	2.43 a	2.38 a	2.43 a	2.39 a
16	2.41 a	2.45 a	2.45 a	2.44 a	2.42 a	2.42 a
18	2.56 a	2.43 a	2.42 a	2.42 a	2.39 a	2.35 a
21	NA	NA	2.45 a	NA	NA	NA
23	NA	NA	2.48 a	NA	NA	NA
26	NA	NA	2.44 a	NA	NA	NA
28	NA	NA	2.43 a	NA	NA	NA
30	NA	NA	2.48 a	NA	NA	NA
32	NA	NA	2.41 a	NA	NA	NA

NA: Not available (ตัวอย่างไม่ดีพอที่จะนำมาวัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จากน้ำมะนาว (Total solid, TS)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าสารเคลือบผิวทุกชนิดและชุดทดลองควบคุม มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จากน้ำมะนาวที่เก็บ ณ สภาวะอุณหภูมิห้อง (Total solid, TS) มีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ระยะเวลาเริ่มต้นจนถึงระยะเวลาสุดท้าย โดยค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total solid, TS) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อผักและผลไม้เมื่อสุกปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total solid, TS) จะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก แต่มะนาวเป็นผลไม้ประเภทเดียวกับส้ม คือ Non climacteric เมื่อระยะเวลาผ่านไปมากขึ้นมะนาวจะมีการสุกแต่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total solid, TS) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นเดียวกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จากน้ำมะนาว (Total solid, TS) จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตะซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง

ชนิดของสารเคลือบ

วัน	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a
2	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.346a
4	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a
7	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a
9	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a
11	1.34a	1.34a	1.34a	1.35a	1.34a	1.34a
14	1.35a	1.34a	1.34a	1.35a	1.35a	1.35a
16	1.35a	1.352a	1.35a	1.35a	1.35a	1.35a
18	1.35a	1.35a	1.35a	1.35a	1.35a	1.35a
21	NA	NA	1.35a	NA	NA	NA
23	NA	NA	1.35a	NA	NA	NA
26	NA	NA	1.35a	NA	NA	NA
28	NA	NA	1.35a	NA	NA	NA
30	NA	NA	1.36a	NA	NA	NA
32	NA	NA	1.36a	NA	NA	NA

NA: Not available (ตัวอย่างไม่ดีพอที่จะวัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 เปอร์เซ็นต์ม่นาวคิตที่เหลืออยู่ (% Residue)

จากตารางที่ 4.4 จะพบว่าการเคลือบผิวมะนาวด้วยพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/ 50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) สามารถเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการใช้งานได้นานที่สุด ณ อุณหภูมิ เป็นระยะเวลา 32 วัน โดยมี เปอร์เซ็นต์ม่นาวคิตที่เหลืออยู่ (% Residue) มากที่สุดคือ 62.50 % ในขณะที่สารเคลือบผิวชนิดอื่น ๆ และชุดควบคุมไม่มีมะนาวคิตที่เหลืออยู่

หากใช้เปอร์เซ็นต์ม่นาวคิตที่เหลืออยู่ (% Residue) เป็นเกณฑ์ตัดสินเพื่อใช้ประเมินอายุการเก็บรักษามะนาว จึงสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 50/ 50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุดทั้งนี้อาจเนื่องจากสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของมะนาวสด เกิดจากก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ซึ่งเกิดจากกระบวนการหายใจ เป็นตัวช่วยเร่งอัตราการสุกของผักและผลไม้ ส่วนหนึ่งของก๊าซเอทิลีน (Ethylene) จะถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อทำให้นุ่ม และรสชาติดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็เร่งให้เหี่ยวเร็วขึ้นจนทำให้เกิดการเน่าเสียในที่สุด ซึ่งพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) อาจจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้เนื้อเยื่อขาดออกซิเจนเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีผลทำให้เกิดการเน่าเสียได้น้อยที่สุด

อาจกล่าวได้ว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และรักษาความชื้นให้อยู่ในสภาพสมดุล จึงมีผลต่อการควบคุมเมตาบอลิซึมของผลไม้ได้ดีที่สุด จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไคโตซานเป็นสารเคลือบผิวที่ป้องกันการเน่าเสียได้ดี และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของพวก Fungi ได้ เมื่อนำไคโตซานไปเคลือบผิวผลไม้ จะทำให้การซึมผ่านของไอน้ำมีค่า 0.8 มิลลิกรัมของน้ำต่อตารางเซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนแปลงตามร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์ คือความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าร้อยละ 76 ก๊าซทั้ง 2 ชนิดจะไม่มีกรซึมผ่านแต่ถ้าค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 100 ก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้ 44 ไมโครลิตรต่อตารางเซนติเมตรต่อชั่วโมง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้ 3 ไมโครลิตรต่อตารางเซนติเมตรต่อชั่วโมง การดูดซึมน้ำทำให้โครงสร้างของฟิล์มถูกเปิดออก และส่งผลให้การเคลือบผ่านของก๊าซที่ละลายในน้ำเคลื่อนที่ผ่านได้ง่ายขึ้น [23]

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ลูกที่ไม่เน่าเสีย (% Residue) จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง

ชนิดของสารเคลือบ

สัปดาห์	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	59	75	90	70	70	52
2	40	50	90	60	64	37
3	38	40	80	50	50	30
4	NA	NA	75	NA	NA	NA
5	NA	NA	62	NA	NA	NA

หมายเหตุ การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ลูกที่ไม่เน่าเสีย (% Residue) จะทำการศึกษาสัปดาห์ละ 1 ครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย

ตารางที่ 4.5 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียจากการทดลองพบว่าชนิดของสารเคลือบมีอิทธิพลต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ในอัตราที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยมะนาวที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของโคโตะซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50/50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยที่สุด สามารถช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ของมะนาวอันได้แก่ การคายน้ำ อัตราการหายใจ การจำกัดการแลกเปลี่ยนของก๊าซได้ดีที่สุดทำให้เนื้อเยื่อขาดออกซิเจน เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีผลทำให้มะนาวเน่าเสียได้น้อยที่สุด หรือสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียจากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง

ชนิดของสารเคลือบ

วัน	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a
2	89.57ab	84.56a	89.57ab	86.05ab	89.96ab	89.80b
4	82.98bc	80.45ab	84.07abc	80.87bc	84.64bc	84.92bc
7	79.48bc	77.58bc	82.07bcd	75.54bcd	80.87cd	80.34cd
9	77.59d	75.36abc	80.469cde	73.44cd	77.90cd	78.14de
11	75.88e	73.47bc	79.644def	71.35de	75.52de	76.24e
14	75.14f	71.99cd	78.902efg	69.26ef	73.07e	74.68f
16	74.09g	71.03d	78.05fgh	65.52f	69.13f	72.85g
18	73.30h	70.38e	77.23hi	62.13g	65.72g	69.90h
21			76.63hi			
23			75.96i			
26			75.14j			
28			74.60k			
30			73.89l			
32			73.42m			

a-j

ตัวอักษรที่แตกต่างตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมะนาวที่คั้นได้ต่อน้ำหนักผล

จากตารางที่ 4.6 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาและชนิดของสารเคลือบผิวมะนาวมีผลต่อ % น้ำหนักน้ำมะนาวต่อน้ำหนักผล คือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมะนาวเกิดการคายน้ำที่บริเวณผิว จึงทำให้ผิวเหี่ยวและบางลง ส่งผลให้น้ำหนักของผลมะนาวลดลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมะนาวที่คั้นได้ต่อน้ำหนักผล มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเหมือนกันในทุกชนิดของสารเคลือบผิวและชุดควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 เปรูเซ็นต์น้ำหนักน้ำมะนาวที่คั้นได้ต่อน้ำหนักผล จากการศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง

วัน	ชนิดของสารเคลือบ					
	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	40.37d	45.88d	45.29bcd	44.40de	43.33bcd	42.77a
2	41.45d	47.29cd	40.29cd	40.41de	58.79cde	41.44bc
4	40.83cd	43.58bc	43.02d	47.47de	49.34cde	41.23c
7	41.445a	56.07ab	51.74ab	48.71c	53.04e	52.25bc
9	54.68d	54.56cd	49.68d	50.74cd	51.20bc	59.32c
11	39.68bc	46.87cd	53.40d	59.32bc	59.53bc	58.21b
14	49.78a	52.30a	53.60d	56.03bc	55.71b	58.70a
16	53.19ab	55.31ab	57.29cd	54.72a	55.62de	56.94a
18	53.19a	59.12ab	57.60cd	55.24ab	53.88a	59.11a
21			57.29bcd			
23			42.71cd			
26			52.30cd			
28			55.78ab			
30			52.42a			
32			50.09bcd			

a-e

ตัวอักษรที่แตกต่างตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 ค่าสีแบบ L*

จากตารางที่ 4.7 พบว่าในแต่ละสัปดาห์ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึง 4 สารเคลือบผิวทุกชนิดสามารถรักษาค่าความสว่างของผิวมะนาวได้เช่นเดียวกับชุดควบคุม โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าสีแบบ L* แสดงถึงค่าความสว่างของสี โดยที่ค่าที่เพิ่มขึ้นก็แสดงว่าสว่างมากขึ้น จากตาราง จะพบว่าในสัปดาห์ที่ 1-2 ค่าสีอยู่ในช่วง 38.3178-46.2829 นั่นคือมะนาวเกิดการเปลี่ยนสีจากเขียวไปเป็นเหลือง ส่วนในสัปดาห์ที่ 3-4 ค่าความสว่างอยู่ในช่วง 37.9278-39.8733 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำตาลหรือเกิดจากมีฟิล์มบางส่วนที่หลุดลอกออกไปทำให้บริเวณนั้นๆเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วโดยเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีน้ำตาลนั่นเอง

ตารางที่ 4.7 ค่าสีแบบ L* จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยึดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง ชนิดของสารเคลือบ

สัปดาห์	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	41.005a	38.3178a	39.3167a	39.1610a	39.2340a	43.9090a
2	43.099a	41.5060a	40.6144a	40.0580a	40.4470a	46.2829a
3	42.574a	39.8733a	39.9010a	40.5870a	40.2500a	45.8750a
4	42.279a	40.7960a	37.9278a	41.1740a	40.2570a	42.7800a

a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

หมายเหตุ การวัดค่าสี L*, a* และ b* ทำการวัดสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 ค่าสีแบบ a*

จากตารางที่ 4.8 ค่าที่เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดงและค่าที่เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีเขียว พบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อค่าสีเขียวพบว่ระยะเวลาที่มีผลต่อค่าสีเขียว ($p \leq 0.05$) แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 สารเคลือบผิวทุกชนิดมีค่าความเป็นสีเขียวเช่นเดียวกับชุดควบคุม ส่วนในสัปดาห์ที่ 2 สารเคลือบผิวทุกชนิดรวมทั้งชุดควบคุมมีค่าความเป็นสีเขียวลดลงโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการเปรียบเทียบกันแล้วพบว่า CHI75/PVA25 CHI50/PVA50 และ CHI25/PVA75 อยู่ในกลุ่ม a CHI100 อยู่ในกลุ่ม ab และชุดควบคุมอยู่ในกลุ่ม b ในสัปดาห์ที่ 3 สารเคลือบผิวทุกชนิดรวมทั้งชุดควบคุมมีค่าความเป็นสีเขียวลดลงโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการเปรียบเทียบกันแล้วพบว่า CHI75/PVA25 PVA100 และ CHI25/PVA75 อยู่ในกลุ่ม a CHI100 กับ CHI50/PVA50 อยู่ในกลุ่ม b และชุดควบคุมอยู่ในกลุ่ม c ส่วนสัปดาห์ที่ 4 สารเคลือบผิวทุกชนิดรวมทั้งชุดควบคุมมีค่าความเป็นสีเขียวลดลงโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการเปรียบเทียบกันแล้วพบว่า CHI75/PVA25 อยู่ในกลุ่ม a CHI25/PVA75 กับ PVA100 อยู่ในกลุ่ม b CHI100 กับ CHI50/PVA50 อยู่ในกลุ่ม c และชุดควบคุมอยู่ในกลุ่ม d ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ค่าสีแบบ a* จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซาน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง ชนิดของสารเคลือบ

สัปดาห์	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	-15.8620a	-14.7811a	-14.6200a	-14.6090a	-14.6200a	-16.3880a
2	-13.9860ab	-12.7520a	-13.5567a	-14.2500a	-13.0411a	-13.8678b
3	-11.9344b	-11.8500a	-10.7160b	-13.0400a	-12.3255a	-12.3080c
4	-7.91500c	-11.7730a	-5.5833c	-10.4200b	-8.9744b	-8.4430d

a-d ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.9 ค่าสีแบบ b*

ค่าที่เป็นบวกแสดงถึงความเป็สีเหลืองและค่าที่เป็นลบแสดงถึงความเป็สีน้ำเงิน จากตาราง 4.9 พบว่าสัปดาห์ที่ 1 สารเคลือบผิวทุกชนิดมีค่าความเป็สีเหลืองเช่นเดียวกับชุดควบคุม โดยพบวาระยะเวลามีอิทธิพลต่อค่าสีเหลือง ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการเปรียบเทียบกันในกลุ่มพบว่า ชุดควบคุมและสารเคลือบผิวทุกชนิดอยู่ในกลุ่ม a ยกเว้น CHI100 เพียงอย่างเดียวที่อยู่ในกลุ่ม ab ส่วนในสัปดาห์ที่ 2 พบว่าสารเคลือบผิวทุกชนิดรวมทั้งชุดควบคุมมีค่าความเป็สีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 3-4 สารเคลือบผิวทุกชนิดรวมทั้งชุดควบคุมมีแนวโน้มความเป็สีเหลืองลดลง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟิล์มบางส่วนหลุดลอกทำให้บริเวณนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็วจากเหลืองไปเป็นน้ำตาลทำให้ค่าสีมีแนวโน้มลดลง หรืออาจเกิดจากการเหี่ยวลงของมะนาวทำให้เกิดช่องว่างระหว่างฟิล์มกับผิวมะนาว ฟิล์มจึงอาจหลุดลอกออก ทำให้ค่าสีที่วัดได้แกว่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบกันในกลุ่มพบว่าทั้งสัปดาห์ที่ 3 และ 4 สารเคลือบผิวทุกชนิดรวมทั้งชุดควบคุม อยู่ในกลุ่ม a เว้นแต่ CHI100 เพียงอย่างเดียวที่อยู่ในกลุ่ม ab

ตารางที่ 4.9 ค่าสีแบบ b* จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซาน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้อง

ชนิดของสารเคลือบ

สัปดาห์	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100	CONTROL
1	17.9680ab	17.1844a	16.7811a	16.3710a	16.3600a	23.9740a
2	18.9290a	18.6030a	17.7367a	17.9600a	18.4040a	23.1620a
3	18.1244ab	17.1844a	16.8467a	18.1770a	17.1590a	23.1210a
4	15.2780ab	16.4200a	14.3556a	17.7060a	17.6490a	21.9860a

a-b

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

4.2.1 ค่าความเป็นกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรตน้ำมะนาวได้ (Titratable acidity, TA)

จากตารางที่ 4.10 พบว่ามะนาวที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิด และชุดทดลองมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรตน้ำมะนาว (Titratable acidity, TA) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นโดยมีค่าในช่วง 0.1088-0.1201 ทั้งนี้ค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอาจเนื่องจากการสูญเสียน้ำของมะนาวเมื่อระยะเวลาผ่านไป

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) ของผักและผลไม้เกือบทุกชนิดจะสัมพันธ์กับอัตราการหายใจ และการผลิตก๊าซเอทิลีน (Ethylene) เพิ่มขึ้น เนื่องจากมะนาวเป็นผลไม้ตระกูลส้มคือ Non climacteric คือมีอัตราการหายใจต่ำและผลิตก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ได้น้อย จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรตน้ำมะนาว (Titratable acidity, TA) ค่อนข้างคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) จากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

วัน	CHI 2.00%	CHI 2.50%	CHI 3.00%	WAX	GDI	CONTROL
3	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
7	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
10	0.12a	0.12a	0.11a	0.11a	0.11a	0.11a
14	0.12a	0.12a	0.12a	0.11a	0.11a	0.12a
17	0.127a	NA	0.12a	0.11a	0.12a	0.12a
21	0.12a	NA	NA	0.12a	NA	NA
24	0.12a	NA	NA	NA	NA	NA

NA: Not available (ตัวอย่างไม่ดีพอที่จะวัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำมะนาว

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นได้ว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำมะนาวจากสารเคลือบผิวทุกชนิด และชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำมะนาวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วง 2.37 - 2.62 อาจเกิดจากกรดทั้งหมดของมะนาวสลายตัว

ตารางที่ 4.11 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำมะนาว จากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

วัน	ชนิดของสารเคลือบ					
	CHI 2.00%	CHI 2.50%	CHI 3.00%	WAX	GDI	CONTROL
3	2.39a	2.42a	2.41a	2.45a	2.44a	2.37a
7	2.63a	2.36a	2.51a	2.47a	2.51a	2.44a
10	2.64a	2.59a	2.58a	2.61a	2.59a	2.50a
14	2.56a	2.57a	2.68a	2.59a	2.61a	2.61a
17	2.60a	NA	2.59a	2.60a	2.56a	NA
21	2.62a	NA	NA	2.59a	NA	NA
24	2.62a	NA	NA	NA	NA	NA

NA: Not available (ตัวอย่างไม่ดีพอที่จะวัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จากน้ำมะนาว (Total solid, TS)

จากตารางที่ 4.12 พบว่าสารเคลือบผิวทุกชนิดและชุดควบคุม มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จากน้ำมะนาว (Total solid, TS) ก่อนข้างคองที่ตั้งตั้งแต่ระยะเวลาเริ่มต้นจนถึงระยะเวลาสุดท้าย โดยค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TS) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าในช่วง 1.3414-1.3452 ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อผลไม้เมื่อสุกปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TS) จะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก แต่มะนาวเป็นผลไม้ประเภทเดียวกับส้ม คือ Non climacteric สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปมากขึ้นมะนาวจะมีการสุกแต่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total solid, TS) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นเดียวกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากไทเทรตน้ำมะนาว (Titratable acidity, TA)

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากน้ำมะนาว (Total solid, TS) จากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

วัน	ชนิดของสารเคลือบ					
	CHI 2.00%	CHI 2.50%	CHI 3.00%	WAX	GDI	CONTROL
3	1.34a	1.34a	1.33a	1.34a	1.34a	1.34a
7	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a
10	1.34a	1.34	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a
14	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a	1.34a
17	1.34a	NA	1.35a	1.35a	NA	1.34a
21	1.34a	NA	NA	1.35a	NA	NA
24	1.34a	NA	NA	NA	NA	NA

NA: Not available (ตัวอย่างไม่ดีพอที่จะวัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 เปอร์เซ็นต์มะนาวดีที่เหลืออยู่ (% Residue)

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าการเคลือบผิวมะนาวด้วยพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก (CHI 2.0 %) สามารถเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการใช้งานได้นานที่สุด ณ อุณหภูมิเป็นระยะเวลา 24 วัน โดยมีเปอร์เซ็นต์มะนาวดีที่เหลืออยู่ (% Residue) มากที่สุดคือ 27.27 % ในขณะที่สารเคลือบผิวชนิดอื่นๆที่เดิมสารเดิมแต่ง คือ Starfresh (WAX) สารเชื่อมโยงคือ Glutaraldehyde (GDI) และพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไคโตซานเป็น 2.5% และ 3.0% และชุดควบคุมไม่มีมะนาวดีที่เหลืออยู่

เมื่อให้เปอร์เซ็นต์มะนาวดีที่เหลืออยู่ (% Residue) เป็นเกณฑ์กำหนดเพื่อใช้ประเมินอายุการเก็บรักษามะนาว จะสามารถสรุปได้ว่าสารละลายพอลิเมอร์ผสมไคโตซานเข้มข้น 2 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด

ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของมะนาวสด เกิดจากก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ซึ่งได้จากกระบวนการหายใจ เป็นตัวช่วยเร่งอัตราการสุกของผักและผลไม้ ส่วนหนึ่งของก๊าซจะถูกดูดซึมเข้าไปทำให้นุ่ม และรสชาติดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็เร่งให้เหี่ยวเร็วขึ้นจนทำให้เกิดการเน่าเสียในที่สุด หรืออาจเกิดจากสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นสูงหรือเคลือบผิวหนาเกินไป (CHI 2.5%, CHI 3.0%, GDI) โดยที่สารละลายพอลิเมอร์ผสมไคโตซานเข้มข้น 2 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก (CHI 2.0%) สามารถจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้น้ำเนื้อเยื่อขาดออกซิเจน เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีผลทำให้เกิดการเน่าเสียได้น้อยที่สุด จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งได้จากกระบวนการหายใจอาจสะสมอยู่มากจนถึงขั้นเป็นอันตรายกับเนื้อเยื่อได้ เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งกิจกรรมของ Enzyme succinic acid dehydrogenase ทำให้มีกรด succinic อยู่มากจนอาจเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อได้และมีผลให้ปฏิกิริยาเคมี ของการหายใจในวัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารละลายพอลิเมอร์ผสมไคโตซานเข้มข้น 2.0 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 50/50 สามารถเคลือบผิวมะนาวได้ระยะเวลานานที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองการศึกษาหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้องที่ดีที่สุด [24]

ตารางที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ตกที่ไม่เน่าเสีย (% Residue) จากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

ชนิดของสารเคลือบ

วัน	CHI 2.00%	CHI 2.50%	CHI 3.00%	WAX	GDI	CONTROL
3	100	100	100	100	100	100
7	99	57	58	95	74	80
10	98	53	55	88	69	72
14	83	11	43	78	44	50
17	80	NA	11	73	NA	43
21	53	NA	NA	42	NA	NA
24	27	NA	NA	NA	NA	NA

NA: Not available (ตัวอย่างไม่ดีพอที่จะวัด)

ตารางที่ 4.14 ค่าความหนาฟิล์มที่เคลือบผิวมะนาว (mm) จากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

ชนิดของสารเคลือบ	ความหนา (mm)
CHI 2.00%	0.0195
CHI 2.50%	0.0300
CHI 3.00%	0.0437
WAX	0.0235
GDI	0.0705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย

จากตารางที่ 4.15 การทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้องนานขึ้น น้ำหนักของมะนาวที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิดและชุดควบคุมมีแนวโน้มลดลง ในอัตราที่แตกต่างกัน โดยมะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 2 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 /50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) มีอัตราการลดลงน้อยที่สุด โดยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อาจกล่าวได้ว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานเข้มข้น 2 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 /50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) สามารถช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ของมะนาวอันได้แก่ การคายน้ำ อัตราการหายใจ การจำกัดการแลกเปลี่ยนของก๊าซได้ดีที่สุดทำให้เนื้อเยื่อขาดออกซิเจน เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีผลทำให้มะนาวเน่าเสียได้น้อยที่สุด หรือสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด

ตารางที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย จากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

วัน	ชนิดของสารเคลือบ					CONTROL
	CHI 2%	CHI2.5%	CHI3.0%	WAX	GDI	
3	92.04d	91.83c	93.34d	94.35e	92.75d	90.19a
7	85.34c	84.30b	85.36c	86.59d	83.99c	83.65a
10	80.42bc	79.10a	80.42b	81.35c	78.91b	78.25a
14	78.01ab	76.70a	77.82a	78.75b	76.67a	75.47a
17	74.77a	76.23ab	77.18a	76.14a	NA	74.77a
21	NA	75.18ab	75.09a	NA	NA	NA
23	NA	74.06a	NA	NA	NA	NA

a-c

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำคั้นต่อน้ำหนักผล

จากตารางที่ 4.16 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้องนานมากขึ้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำคั้นต่อน้ำหนักผล มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมะนาวเกิดการคายน้ำที่บริเวณผิว จึงทำให้ผิวเหี่ยวและบางลง ส่งผลให้น้ำหนักของผลมะนาวลดลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำคั้นต่อน้ำหนักผล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเหมือนกันทุกชนิดของสารเคลือบผิวและชุดควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำคั้นต่อน้ำหนักผลจากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

วัน	ชนิดของสารเคลือบ					
	CHI 2.00%	CHI 2.50%	CHI 3.00%	WAX	GDI	CONTROL
3	47.19b	49.84a	47.05bc	47.69bc	45.78c	46.05bc
7	52.19 b	48.92a	47.64c	49.58c	49.41b	53.24c
10	46.58a	50.59a	50.18ab	52.89bc	51.00b	56.43bc
14	53.81b	51.26a	55.77a	54.50a	53.85a	56.83b
17	55.42a	NA	54.49a	52.65a	NA	54.77a
21	52.76b	NA	NA	NA	NA	NA
23	52.59a	NA	NA	NA	NA	NA

a-c

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ค่าสีแบบ L*

จากตาราง 4.17 พบว่ามีระยะเวลาเพิ่มขึ้นชุดควบคุมและสารเคลือบผิวทุกชนิดค่าความสว่างเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วง 45.7633-47.2100 โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.17 ค่าความสว่าง L* จากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

วันที่	ชนิดของสารเคลือบ					
	CHI 2.00%	CHI 2.50%	CHI 3.00%	WAX	GDI	CONTROL
7	47.210.0a	51.3267a	48.3833a	53.1167a	51.3833a	45.7633a
9	47.4933a	51.6632a	48.7832 a	53.3829a	51.6201a	46.4367a
12	47.9633a	52.2800a	49.3916 a	53.8100a	51.8462a	47.1534a

a

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 ค่าสีแบบ a*

จากตารางที่ 4.18 พบว่าในวันที่ 7 ชุดควบคุมและสารเคลือบผิวทุกชนิดมีค่าความเป็นสีเขียวโดยไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนในวันที่ 9 และ 12 ทั้งชุดควบคุมและสารเคลือบผิวทุกชนิดมีค่าความเป็นสีเขียวลดลงโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบในกลุ่มพบว่าวันที่ 9 ชุดควบคุม GDI WAX 3% และ 2.5% จัดอยู่ในกลุ่ม a ส่วน 2% อยู่ในกลุ่ม ab และในวันที่ 12 เปรียบเทียบกันแล้วชุดควบคุม GDI WAX 3% และ 2.5% จัดอยู่ในกลุ่ม a และ 2% อยู่ในกลุ่ม b

ตารางที่ 4.18 ค่าสีเขียว a* จากการศึกษาคีฬาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

วันที่	ชนิดของสารเคลือบ					
	CHI 2.00%	CHI 2.50%	CHI3.00%	WAX	GDI	CONTROL
7	-4.0766 a	-3.9033a	-3.2700a	-3.1800a	-3.0900a	0.8700a
9	-3.3500 ab	1.8670a	-2.8300a	-2.6590a	-2.5811a	1.6330a
12	-2.4306 b	1.4833a	-2.0933 a	-2.0999a	-2.0797a	2.7632 a

a-b

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

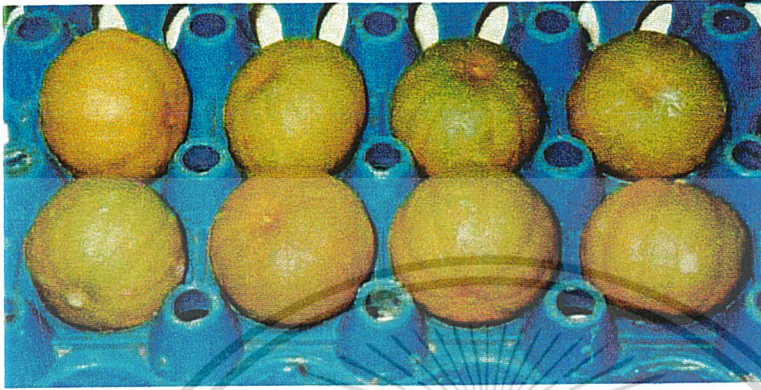
4.2.9 ค่าสีแบบ b*

จากตารางที่ 4.19 พบว่าในวันที่ 7 9 และ 12 ค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งในชุดควบคุมและสารเคลือบผิวทุกชนิด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนในกรณีของ 3% WAX และ GDI ค่าสีที่วัดได้แกว่งอาจเนื่องมาจากการหลุดลอกของฟิล์มบางส่วนหรืออาจเกิดจากการเหี่ยวลงของมะนาวทำให้เกิดช่องว่างระหว่างฟิล์มกับผิวมะนาว ฟิล์มจึงอาจหลุดลอกออก ทำให้ค่าสีที่วัดได้แกว่ง

ตารางที่ 4.19 ค่าสีเหลือง b* จากการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

วันที่	ชนิดของสารเคลือบ					
	CHI 2.00%	CHI 2.50%	CHI3.00%	WAX	GDI	CONTROL
7	19.2099a	17.9032 a	17.2100a	17.2299a	16.6360a	21.8804 a
9	19.6666a	18.0600 a	18.1600a	16.9067a	16.5067a	21.4101a
12	20.3134 a	18.4124a	17.9140 a	17.5752a	16.5366a	22.9833 a

a ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



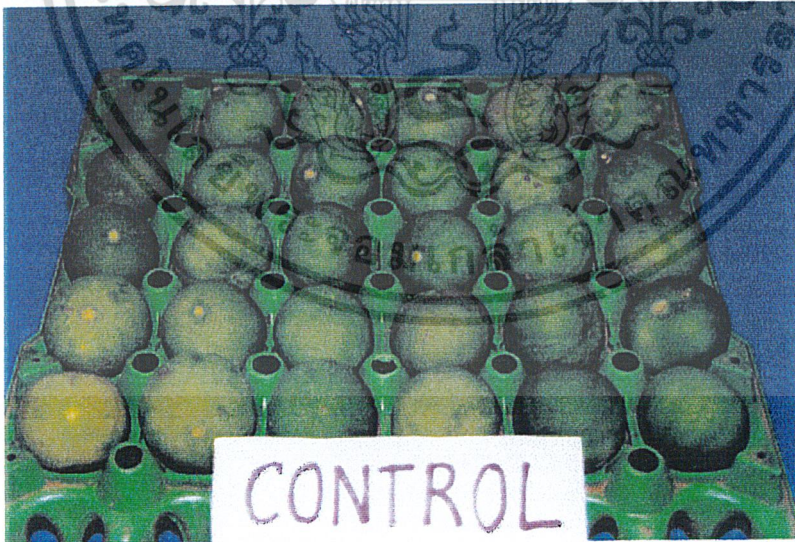
รูปที่ 4.1 รูปถ่ายผลมะนาวเคลือบ CHI50/PVA50ในการเก็บเพื่อป้องกันการเก็บรักษามะนาว รูปถ่ายหลังจากเคลือบ 30 วัน



รูปที่ 4.2 รูปถ่ายผลมะนาวชุดควบคุมในวันแรกที่เก็บ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปถ่ายผลมะนาวชุดควบคุมวันที่ 7 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.4 รูปถ่ายผลมะนาวชุดควบคุมวันที่ 14 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปถ่ายผลมะนาวชุดควบคุมวันสุดท้ายของการเก็บรักษารวมระยะเวลาการเก็บรักษา 17 วันคิดเป็น 42.7 % ของมะนาวที่เหลือ



รูปที่ 4.6 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI50/PVA.50) วันแรกของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI50/PVA50) วันที่ 7 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.8 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI50/PVA50) วันที่ 14 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI50/PVA50) วันที่ 21 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.10 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI50/PVA50) วันสุดท้ายของการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 วันคิดเป็น 27.27 % ของมะนาวที่เหลืออยู่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวโคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI2.50%) วันแรกของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.12 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวโคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI2.50%) วันที่ 7 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

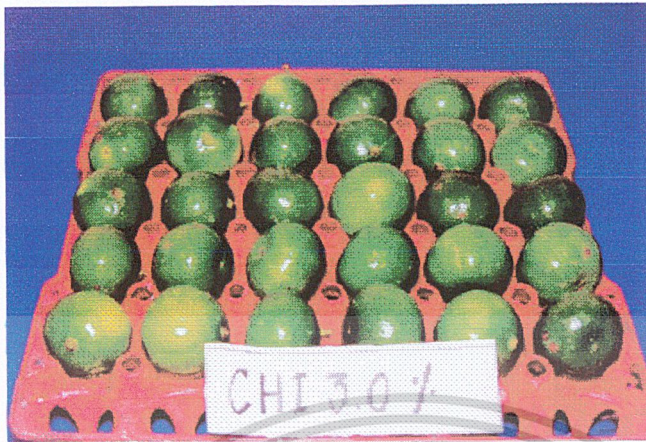


รูปที่ 4.13 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI2.50%) วันสุดท้ายของการเก็บเป็นเวลา 14 วัน คิดเป็น 11.10 % ของมะนาวที่เหลืออยู่



รูปที่ 4.14 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI3.00%) วันแรกของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI3.00%) วันที่ 7 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.16 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI3.00%) วันที่ 14 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (CHI3.00%) วันสุดท้ายของการเก็บเป็นเวลา 17 วัน คิดเป็น 10.54 % ของมะนาวที่เหลืออยู่



รูปที่ 4.18 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (WAX) วันแรกที่เก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (WAX) วันที่ 7 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.20 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (WAX) วันที่ 14 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (WAX) วันที่ 21 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 4.22 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (WAX) วันสุดท้ายของการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน คิดเป็น 42.31 % ของมะนาวที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไดโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (GDI) วันแรกที่ได้รับรักษา



รูปที่ 4.24 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวไดโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (GDI) วันที่ 7 ของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 รูปถ่ายผลมะนาว สารเคลือบผิวโคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 50/50 (GFI) วันสุดท้ายที่เก็บรวมระยะเวลา 14 วัน คิดเป็น 44.5 % ของมะนาวที่เหี่ยว



รูปที่ 4.26 ตัวอย่างมะนาวที่นำเสียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

4.3.1 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

จากตารางที่ 4.20 แสดงให้เห็นถึงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI/PVA) มีค่าสูงขึ้นจากค่าความแข็งแรงดึงของไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI100) โดยที่อัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50/50 โดยน้ำหนัก (CHI50/PVA50) มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และที่อัตราส่วนไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 25/75 และ 75/25 โดยน้ำหนักให้ค่ารองลงมาตามลำดับ อาจเนื่องมาจากทั้งพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกิดการเข้ากันได้ (Miscibility) สูงมากอาจเป็นเพราะพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงและมีหมู่ไฮดรอกซี (-OH) อยู่มากส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์อยู่ร่วมกันแบบต่อเนื่องทั้ง 2 วัฏภาค (Co-continuous phase) ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มจึงมีค่าสูงขึ้นมากกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength, MPa) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วนต่างๆ กัน

ชนิดของสารเคลือบ

ครั้งที่	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100
1	5.117	40.61	67.57	68.16	9.163
2	3.831	54.76	72.60	57.42	11.90
3	2.204	62.61	72.72	60.81	12.98
4	4.425	68.29	63.85	60.84	11.50
5	4.247	56.54	64.58	59.01	10.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ดิ่งยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)

จากตารางที่ 4.21 ค่าเปอร์เซ็นต์ดิ่งยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโคโคซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีแนวโน้มว่าอัตราส่วนที่ให้ค่าสูงสุดคือพอลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (PVA 100) แต่เมื่อมีปริมาณโคโคซานเพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ดิ่งยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงและที่ CHI 100 มีค่าน้อยที่สุด สามารถอธิบายได้ว่าในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีพันธะไฮโดรเจนอยู่มากกว่าที่พบในโคโคซานเมื่อนำมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ จากกราฟจะเห็นว่าที่อัตราส่วน CHI50/PVA50 มีค่าเปอร์เซ็นต์ดิ่งยืด ณ จุดขาดสูงกว่าที่อัตราส่วน CHI75/PVA25 และที่ CHI 100 เนื่องจากมีปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลดลงทำให้เปอร์เซ็นต์ดิ่งยืด ณ จุดขาดลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดิ่งยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโคซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วนต่างๆ กัน

ชนิดของสารเคลือบ

ครั้งที่	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100
1	29.52	33.25	239.70	239.80	309.60
2	23.18	25.93	242.90	206.90	371.70
3	34.45	57.97	249.70	229.40	397.80
4	23.94	24.59	274.20	237.00	346.70
5	20.05	34.47	201.20	223.70	340.56

4.3.3 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)

จากตารางที่ 4.23 ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเช่นเดียวกับความแข็งแรงดึง (Tensile strength) แต่อัตราส่วนที่ให้ค่าสูงสุดคือ CHI 25/ PVA 75 ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราส่วน CHI 50/PVA50 เล็กน้อยทั้งนี้สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลค่าความแข็งแรงดึง คือการเกิด Co-continuous phase แต่การที่ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของอัตราส่วน CHI 25/ PVA 75 มีค่าสูงกว่า CHI 50/PVA50 เล็กน้อยอาจเกิดจากการไล่ก๊าซ (Degas) ออกจากพอลิเมอร์เพราะความหนืดของพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน CHI 25/ PVA 75 มีค่าต่ำกว่าอัตราส่วน CHI 50/PVA50 และ CHI 25/PVA75 การไล่ก๊าซ (Degas) สามารถทำได้ง่ายกว่าจึงพบฟองอากาศอยู่จำนวนน้อยกว่า

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength, kN/m) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วนต่างๆ กัน

ชนิดของสารเคลือบ

ครั้งที่	CHI100	CHI75/PVA25	CHI50/PVA50	CHI25/PVA75	PVA100
1	36.63	92.06	177.04	199.77	127.45
2	27.58	90.17	227.06	228.41	131.04
3	34.34	96.94	261.68	180.6	141.75
4	30.71	79.52	182.83	256.55	142.45
5	24.95	63.74	224.25	249.31	120.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 4.23 ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g , $^{\circ}\text{C}$) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม (ไคโตซาน/ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์)	T_g $^{\circ}\text{C}$
100/ 0	153
75/ 25	155
50/ 50	175
25/ 75	155
0/ 100	159

จากตารางแสดงค่า T_g ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าค่า T_g ของฟิล์มไคโตซานและฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อทำการผสมกันพบว่าที่อัตราส่วน 50/50 มีค่า T_g เพิ่มขึ้นอย่างมาก (175 องศาเซลเซียส) พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 75/25 และ 25/75 มี T_g (153 และ 155 องศาเซลเซียสตามลำดับ) ซึ่งเป็นค่าเดียวซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ทั้งสอง (155 องศาเซลเซียส) แสดงว่าพอลิเมอร์ทั้งสองสามารถผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible blends) อย่างไรก็ดีทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดผลึกขึ้นบางส่วนทำให้เกิดการจำกัดการเคลื่อนไหวของสายโซ่ทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่ลดลง ค่า T_g จึงมีค่าสูงขึ้นและจากโครงสร้างของไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) อยู่มาก สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่จำนวนมากซึ่งเปรียบเสมือนเกิดการเชื่อมโยงแบบโครงสร้างร่างแห ทำให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนที่อัตราส่วน 50/50 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการวิจัย

5.1.1 การศึกษาหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ณ อุณหภูมิห้องที่คี่ที่สุด

1. สมบัติทางเคมีของมะนาวที่เคลือบผิวกับชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าสารเคลือบผิวแต่ละชนิดไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมะนาว
2. พอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วน 50/50 สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุดเป็นเวลา 32 วัน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ลูกคี่ที่เหลืออยู่ 62.50 % (ทำการวิจัยเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม)
3. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานมากขึ้น น้ำหนักของมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในอัตราที่แตกต่างกัน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วน 50/50 มีการลดลงที่น้อยที่สุด
4. ค่าสีแบบ L^* , a^* และ b^* แสดงให้เห็นว่าค่าสีแต่ละประเภทจะมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันทั้งชุดควบคุมและมะนาวที่เคลือบผิวทุกชนิด นั่นคือเมื่อเวลานานขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ลดลง และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นดังนั้นระยะเวลาการเก็บจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาว ($p \leq 0.05$)

5.1.2 การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI50/PVA50) เมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน

5. เห็นได้ว่าอิทธิพลของสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อสมบัติทางเคมีของมะนาวทั้งมะนาวที่เคลือบผิวและชุดควบคุม ซึ่งสมบัติทางเคมีของมะนาวจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
6. จากการทดลองพบว่าถ้าใช้ระยะเวลาเป็นเกณฑ์ตัดสินสารละลายไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตรา 50/50 (CHI50/PVA50) สามารถเก็บรักษามะนาวได้เป็นระยะเวลานานที่สุดคือ 24 วัน คิดเป็น 27.27 เปอร์เซ็นต์ (ทำการวิจัยในช่วงมกราคมถึงกุมภาพันธ์)
7. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าชนิดของสารเคลือบมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามะนาวนานมากขึ้น น้ำหนักของมะนาวมีแนวโน้มการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โน้มนวลลงในอัตราที่แตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วน 50/50 เมื่อเติม Starfresh เป็นสารเติมแต่งมีอัตราการลดลงที่น้อยที่สุด

8. ค่าสีแบบ L^* , a^* และ b^* พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นสารเคลือบผิวและชุดควบคุมมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ลดลง และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.1.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

9. ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วน 50/50 พบว่ามีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) มีแนวโน้มสูงที่สุด

10. ค่าเปอร์เซ็นต์คั้งยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วนที่ให้ค่าสูงสุดคือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (PVA 100) แต่เมื่อมีปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์คั้งยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงและที่ไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI 100) มีค่าน้อยที่สุด

5.1.4 สมบัติทางความร้อน

11. ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วน 50/50 ให้ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) มีค่าสูงที่สุด คือ 175 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี (Miscible blends) จึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีค่าสูงมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากมะนาวเป็นพืชทางเศรษฐกิจ แต่ปัจจุบันการจัดเก็บรักษาไม่มีความเหมาะสม จึงทำให้เกษตรกรประสบปัญหาอย่างมาก ทั้งนี้ได้มีงานวิจัยเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาส้มเขียวหวานซึ่งเป็นผลไม้ตระกูลเดียวกับมะนาว จึงนำมาใช้เป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้กับมะนาว โดยงานวิจัยนี้ได้นำพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาใช้เป็นสารเคลือบผิว เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติเชิงกลที่ดี จึงทำให้ได้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่นอกเหนือจากจะยืดอายุการเก็บรักษาและฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงสะดวกต่อขนส่ง อาจจะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ชนิดอื่น ๆ ให้เป็นประโยชน์ต่อการส่งออกจากที่ได้กล่าวมาแล้วอาจทำการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

- ศึกษาพอลิเมอร์ผสมชนิดอื่น ๆ ที่อาจใช้เป็นฟิล์มเคลือบผิวผลไม้ได้ เช่น ไคโตซาน/พอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) ไคโตซาน/หัวบุก (Konjac Glucomannan) ไคโตซาน/คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (Carboxyl Methyl Cellulose)
- พัฒนาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดที่รับประทานได้ (Edible film) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร
- ศึกษาผลของสารตัวเติมอื่น ๆ เช่น แป้งต่างๆ
- พัฒนาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมให้เป็นบรรจุภัณฑ์รูปอื่น ๆ เช่น ก่อง ดุง ฯลฯ
- ทำการศึกษาต่อเมื่อเก็บรักษาสภาพมะนาว ณ อุณหภูมิต่ำ

เอกสารอ้างอิง

1. จริงแท้ ศิริพานิช ,สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542, 1-60.
2. M. Ratajka and S. Boryiec, Polym. Adv. Technol. (1999), 10(10), 625-633.
3. J. Xu, S. P. Mccarthy, R.a. Gross, and D. L. Kaplan, Macromolecules. (1996), 29, 3436-3440.
4. E. B. Denkbasi and M. odabasi, J. Appl. Polym. Sci. (2000), 76, 1637-1643.
5. V. L. Alaexeev, E. A. Kelberg and G. A. Evmenenko, J. Polym. Eng. Sci. (2000), 40(5), 1211-1215.
6. C. Xiao, S. gao, H. Wang, and L. Zhang, J. appl. Polym. Sci. (2000), 76, 509-515.
7. T. Koyanno, N. Koshizaki, H. Umehara, M. Nagura, and N. Monoura, Polymer (2000), 41, 4461-4465.
8. ไพโรจน์ โสภณโณคร สุทธิวัฒน์ เบญจกุล และวิคนตร พระพุทธ, (2535) การยืดอายุการเก็บรักษามะนาวโดยการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา
9. ปรีดา จิตตารมย์, (2536) การพัฒนาสารเคลือบผิวสำหรับส้มเขียวหวาน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
10. M. Miya, S. Yoshikawa, R. Iwamoto, and S. Mima, Kobunshi Ronbunshu (1983), 40, 645
11. อธิพิล แจ่มชัด, วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. (2543), 10(1), 27-33
12. C.L.Lasko and M.P.Hurst, Environ. Sci. Techonol.(1999), 33, 3622-3626.
13. K.Ogawa, S.Hirano, T.Miyaniishi, T. Yui, and T.Watanabe, Macromolecules (1984), 17, 973.
14. K.Okuyama, K.Noguchi, T.Miyazawa, T. Yui, and K.Ogawa, Macromolecules (1997), 30, 5849-5855.
15. ปิ๋ว อุ่นใจ, UPDATE, กุมภาพันธ์, 2544, (2001), 40-46
16. E.Belammmine, A.Domard, H.Chanzy, and M.M, Geraud-Guille , Langmuir (1999), 15, 1549-1555

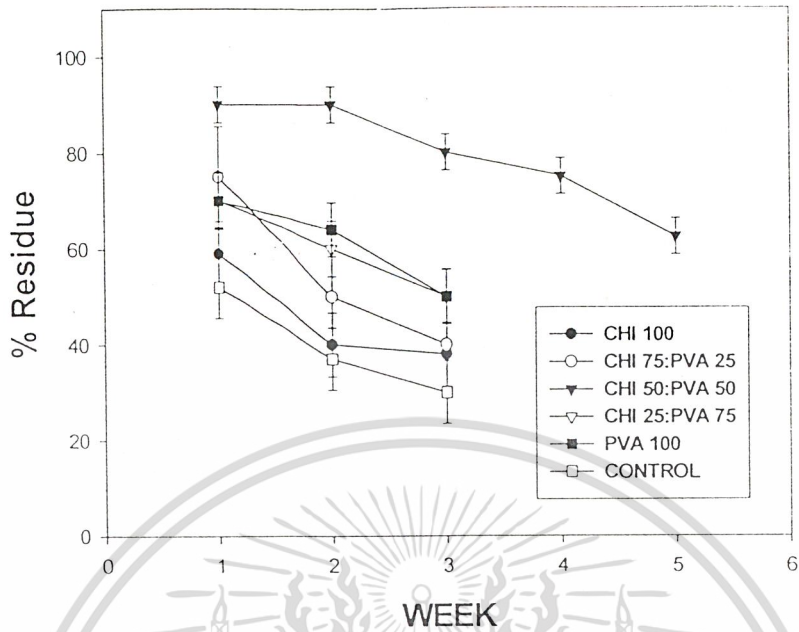
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. W. K. Loke, S. K. Lau, L. L. Yong, E. Khor, and C. K. Sum, J. biomed. Mater. Res. (2000), **53(1)**, 8-17.
18. H. Yamamoto and M. Amaike, Macromolecules (1997), **30**, 3936-3937.
19. Z. Modrzejewska and W. Kaminski, Ind. Eng. Chem. Res. (1999), **38**, 4946-4950.
20. M. M. Bonvin and M. M. de Bertorello. Polym. Bull. (1993), **31**, 375-378.
21. J. Gruz, M. Kawasaki and W. Gorski, Anal. Chem. (2000), **72**, 680-686.
22. A. A. De Angelis, D. Capitani, and V. Crescenzi, Macromolecules (1998), **31**, 1595-1601.
23. สุมิตตา จรสโรจน์, บรรจุภัณฑ์ยืดอายุผักผลไม้. MTEC ,2543,60-61.
24. อนุวัตร แจ่มชัด วิชัย หฤทัยชนาสนีดี กมลวรรณ แจ่มชัด และวารุณี ชนะแพทย์, การพัฒนาศาสตร์เคลือบสำหรับการเก็บรักษามะนาว. รายงานผลการวิจัยประจำปี , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543, 1-33.

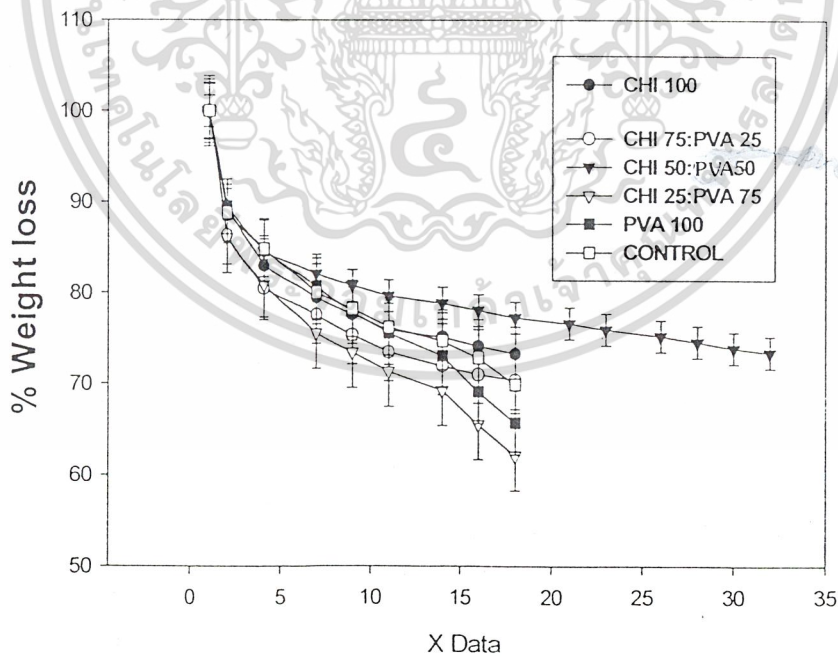


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

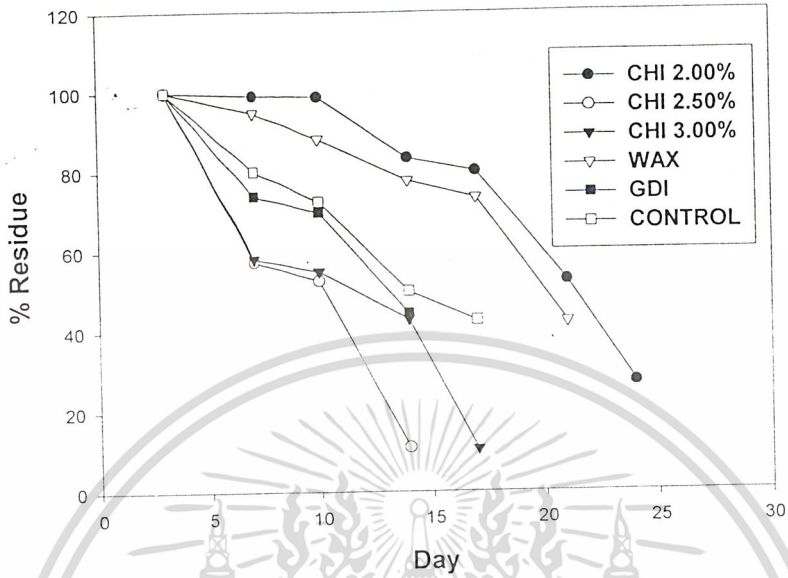


รูปที่ ก-1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์วัสดุที่เหลืออยู่ (% Residue) จากการศึกษหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยึคอายุการเก็บรักษา

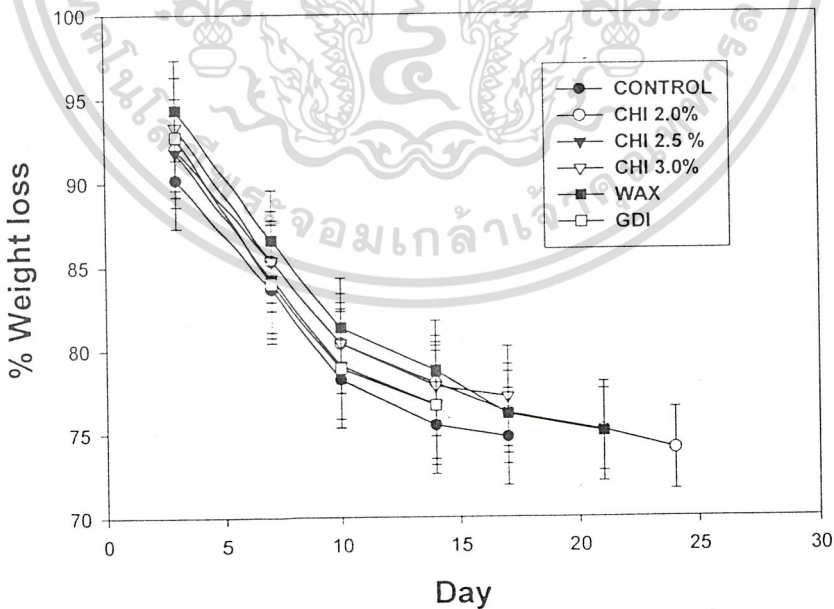


รูปที่ ก-2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญหาย (% Weight loss) จากการศึกษหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยึคอายุการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

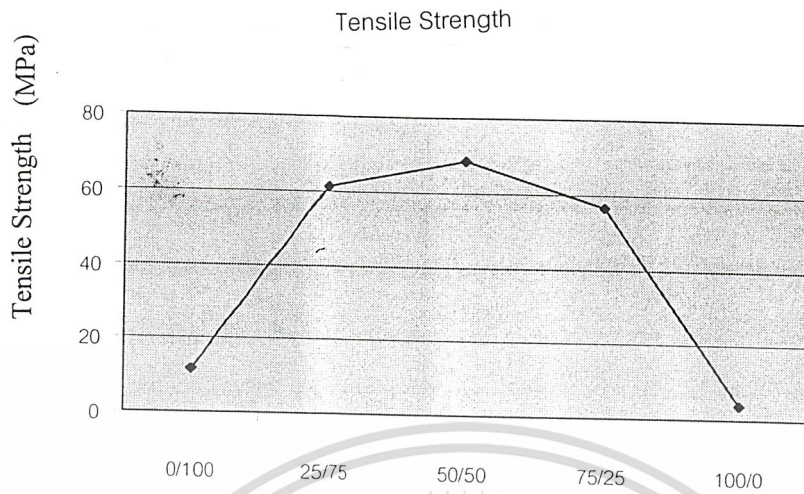


รูปที่ ก-3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์วัสดุที่เหลืออยู่ (% Residue) จากการศึกษาหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

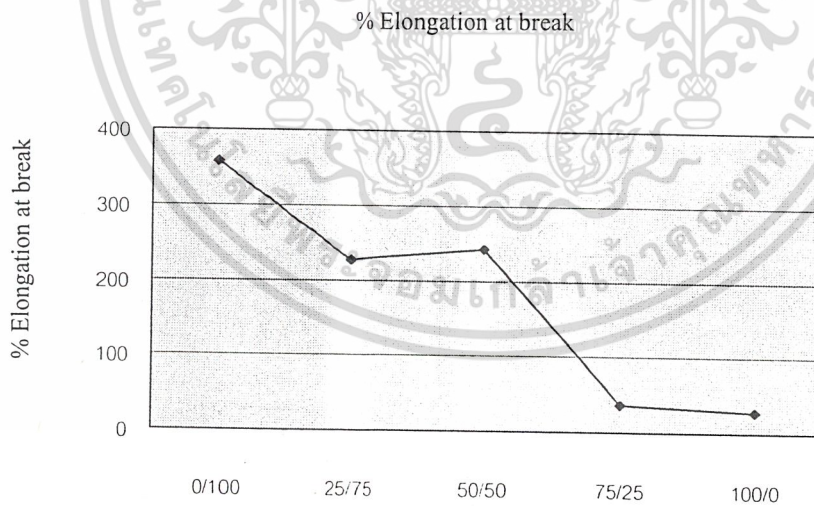


รูปที่ ก-4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูงหาย (% Weight loss) จากการศึกษาหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



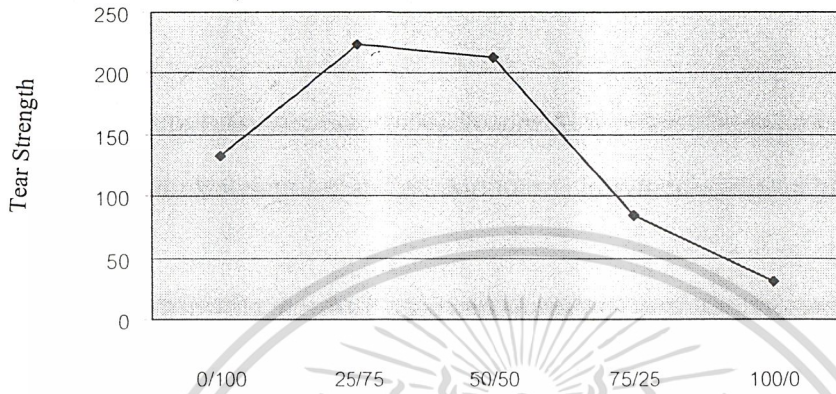
รูปที่ ก-5 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength, MPa) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ ก-6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tear Strength (MPa)



สัดส่วนของพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ ก-7 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength, MPa) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้