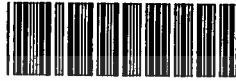


ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ฟิล์มที่รับประทานได้ที่ผลิตจากไคโตซานสำหรับเคลือบผักใบ  
( Chitosan - edible film coating for vegetables )



T096714

นางสาว ศศิกานจน์ กองหาโคตร รหัสนักศึกษา 44040225  
นาย อนิรุช อนันตประยูร รหัสนักศึกษา 44040903

ปพ.  
ศ 287 พ  
2547

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 96714  
วันเดือนปี..... 4 JUN 2008

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง  
ฟิล์มที่รับประทานได้ที่ผลิตจากไคโตซานสำหรับเคลือบผักใบ  
( Chitosan - edible film coating for vegetables )

จัดทำโดย  
นางสาว สติกาญจน์ กองหาโลตร  
นาย อนิรุท อนันตประยูร

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 11 / ๑๒ / ๕๘ ..... อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ  
(รศ. ดร. วุฒิชัย นาครักษา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาย อนิรุทธ อนันตประยูร และ นางสาวศศิภาภรณ์ กองหาโคตร :ฟิล์มที่รับประทานได้ที่ผลิตจาก  
ไคโตซานสำหรับเคลือบผักใบ ( Chitosan - edible film coating for vegetables )  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. วุฒิชัย นาครักษา

### บทคัดย่อ

การศึกษายืดอายุการเก็บรักษาผักคะน้าโดยใช้ฟิล์มที่รับประทานได้ที่ผลิตจากไคโตซาน โดยนำผักคะน้ามาเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0 , 0.1 , 0.4 , 0.6 และ 1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปัจจัยที่ใช้ศึกษาในการยืดอายุการเก็บรักษาผักคะน้า คือ อุณหภูมิที่เก็บศึกษา และความเข้มข้นของฟิล์มไคโตซาน โดยนำผักคะน้าไปจุ่มฟิล์มที่รับประทานได้ตามสูตร และสถานะที่เหมาะสม ทิ้งไว้ให้แห้ง เมื่อแห้งดีแล้วนำมาบรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ขนาด 12 x18 นิ้วโดยเจาะรูเป็นรูสี่เหลี่ยมทั้งหมด 8 รู แต่ละรูขนาด 1x1 นิ้ว จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 13 องศาเซลเซียส ทำการตรวจสอบโดยเปรียบเทียบกับผักคะน้าที่ไม่ได้เคลือบฟิล์มไคโตซาน ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 13 องศาเซลเซียสเช่นกัน จากการศึกษาพบว่า การเก็บผักคะน้าที่เคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน 0.4% ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนสีได้เมื่อเทียบกับผักคะน้าที่ไม่ได้เคลือบ จาก 7 วัน เป็น 15 วัน และการใช้ อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงกว่า 4 องศาเซลเซียส จะเร่งการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเร็วขึ้น ( โดยมีค่า a อยู่ในช่วง -15 ถึง -17 และ ค่า b อยู่ในช่วง 22-23 ) และค่าการสูญเสีย น้ำที่ร้อยละ 5 ผักคะน้าจะมีลักษณะเริ่มเหี่ยว

.....

.....

.....

.....

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

วัน / เดือน / ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาคอยแนะนำ ให้คำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี รวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และ ขอขอบคุณที่ ทนายวุฒิ ปริญาพัฒน์บุตร ที่คอยให้คำแนะนำและคอยช่วยแก้ไขปัญหาเสมอมา รวมถึงนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านและ ขอขอบคุณ บริษัท ด้าหมิงเอ็นเตอร์ไพรส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ วัสดุดิบ(ไคโตซาน) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และที่สำคัญขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่เลี้ยงดูและคอยให้การอบรมสั่งสอนเป็นอย่างดี และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงคุณครูและอาจารย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้และอบรมสั่งสอนมาและ ขอขอบคุณที่มี หนังสือดีๆให้อ่านซึ่งได้ช่วยคอยบ่มเพาะความคิดความอ่าน และให้ความรู้ในด้านต่างๆ และที่ขาดไม่ได้ต้องขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อน ๆ ร่วมคณะ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจเสมอมา

นางสาว ศศิกายุจน์ กองหาโคตร

นาย อนิรุท อนันตประยูร

11 มีนาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. การตรวจเอกสาร	2
2.1 คະນ້າ	2
2.2 พันธ์ู๋ของคะน້າ	2
2.2.1 พันธ์ู๋โບຄລມ	2
2.2.2 พันธ์ู๋โບແຫລມ	2
2.2.3 พันธ์ู๋ຍອດຫຼືອ້ານ	2
2.3 ຟິລັມທີ່ຮັບປະທານໄດ້	5
2.4 ອົງປະກອບຂອງຟິລັມທີ່ຮັບປະທານໄດ້	5
2.4.1 ໂພລີເມຣ໌	5
2.4.2 ຟລາສຕິໄສເຊອ໌	5
2.5 ການເກີດຟິລັມ	6
2.6 ການຂຶ້ນຮູບຟິລັມ	7
2.6.1 ການເຮັດເປັນແຜ່ນຟິລັມກ່ອນ	7
2.6.2 ວິທີຈຸ່ມລຽມໃນສາຣະລາຍ	8
2.6.3 ວິທີຜິດພ່າງສາຣະລາຍ	8
2.7 ສະນິດຂອງຟິລັມ	8
2.7.1 ຟິລັມໂພລີເຊຄາໄຣດ໌	8
2.7.2 ຟິລັມລີປິດ	10
2.7.3 ຟິລັມໂປຣຕີນ	11
2.8 ຈຸດປະສົງຂອງການໃຊ້ຟິລັມຮັບປະທານໄດ້	13
2.8.1 ຄຽງຮູບຮ່າງຂອງຜົດກັດຊັດ	13
2.8.2 ແຍກອາຫານສ່ວນທີ່ມີຄວາມຊື່ນຕ່າງກັນອອກຈາກກັນ	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.3 ป้องกันการเกาะติดของอาหาร	14
2.8.4 บรรจุภัณฑ์แบบ Active Packaging	14
2.9 โคลโตซาน	16
2.9.1 โครงสร้างทางเคมีของโคลโตซาน	16
2.9.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของโคลติน-โคลโตซาน	17
2.9.3 การผลิตโคลตินและโคลโตซาน	19
2.9.4 รูปแบบของโคลโตซานที่ผลิต	20
2.9.5 การใช้ประโยชน์จากโคลติน-โคลโตซาน ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต	21
3. วัตถุประสงค์ , สารเคมี , อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง	22
3.1 วัตถุประสงค์	22
3.2 สารเคมี	22
3.3 อุปกรณ์	22
3.4 สถานที่ทำการทดลอง	22
3.5 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	22
3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	26
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	27
4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) , สีเหลือง ( $\Delta b$ ) และ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ทุกระดับความเข้มข้นสารละลาย ฟิล์มโคลโตซาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส	27
4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) , สีเหลือง ( $\Delta b$ ) และ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ทุกระดับความเข้มข้นสารละลาย ฟิล์มโคลโตซาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 13 องศาเซลเซียส	33
5. สรุปผลการทดลอง	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	46

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงคุณค่าทางโภชนาการของผักคะน้าที่บริโภคได้ 100 กรัม	3
2. สถิติการปลูกและปริมาณผลผลิตของคะน้า	3
3. แสดงพื้นที่ปลูก(ไร่) คะน้าตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2543 ถึงเดือน เมษายน 2544	4
4. แสดงพื้นที่ปลูก(ไร่) คะน้าตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2544 ถึงเดือน มีนาคม 2545	4
5. แสดงพื้นที่ปลูก(ไร่) คะน้าตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2544ถึงเดือน เมษายน 2546	5
6. เปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์ม โพรตีนชนิดต่างๆ	13
7. สารเติมแต่งอาหาร ในแต่ละหน้าที่ที่แตกต่างกัน	15
8. ค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์ม ไคโตซาน ที่อุณหภูมิกักเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส	28
9. ค่าความแตกต่างของสีเหลือง ( $\Delta b$ )ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์ม ไคโตซาน ที่อุณหภูมิกักเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส	29
10. ค่าความแตกต่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ของในแต่ละระดับ ความเข้มข้นสารละลายฟิล์มไคโตซาน ที่อุณหภูมิกักเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส	30
11. ค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์ม ไคโตซาน ที่อุณหภูมิกักเก็บรักษา 13 องศาเซลเซียส	33
12. ค่าความแตกต่างของสีเหลือง ( $\Delta b$ )ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์ม ไคโตซาน ที่อุณหภูมิกักเก็บรักษา 13 องศาเซลเซียส	34
13. ค่าความแตกต่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ของในแต่ละระดับ ความเข้มข้นสารละลายฟิล์มไคโตซาน ที่อุณหภูมิกักเก็บรักษา 13 องศาเซลเซียส	35
14. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า a ที่วัดได้จากผักคะน้าที่ผ่านการเคลือบสารละลาย ฟิล์มไคโตซานในทุกความเข้มข้น ที่อุณหภูมิกักเก็บรักษา 4 และ 13 องศาเซลเซียส	49
15. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า b ที่วัดได้จากผักคะน้าที่ผ่านการเคลือบสารละลาย ฟิล์มไคโตซานในทุกความเข้มข้น ที่อุณหภูมิกักเก็บรักษา 4 และ 13 องศาเซลเซียส	50
16. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss) ที่วัดได้จากผักคะน้าที่ผ่านการเคลือบสารละลายฟิล์ม ไคโตซานในทุกความเข้มข้น ที่ อุณหภูมิกักเก็บรักษา 4 และ 13 องศาเซลเซียส	51

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน	17
2. การผสมสารละลายฟิล์มไคโตซาน โดยใช้เครื่อง magnetic stirrer	23
3. สารละลายฟิล์มไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ	24
4. การคัดเลือกผักคะน้า	24
5 การล้างผักคะน้าให้แห้ง	25
6. การเก็บรักษาผักคะน้าในห้องเย็น	25
7. การใช้เครื่องวัดสีผักคะน้า	26
8. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง a กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 4°ซ)	31
9. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง b กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 4°ซ)	31
10.กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง w1 กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 4°ซ)	32
11. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง a กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 13°ซ)	36
12.กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง b กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 13°ซ)	36
13. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง w1 กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 13°ซ )	37
14. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ไม่เคลือบฟิล์มเมื่ออายุการเก็บรักษา 7 วัน	38
15. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เคลือบฟิล์มความเข้มข้น0.1% เมื่ออายุการเก็บรักษา 8 วัน	38
16. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เคลือบฟิล์มความเข้มข้น0.4% เมื่ออายุการเก็บรักษา 15 วัน	39
17. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เคลือบฟิล์มความเข้มข้น0.6% เมื่ออายุการเก็บรักษา 6 วัน	39
18. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เคลือบฟิล์มความเข้มข้น 1 % เมื่ออายุการเก็บรักษา 6 วัน	40
19. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ที่ไม่เคลือบฟิล์มเมื่ออายุการเก็บรักษา 4 วัน	40
20. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เคลือบฟิล์มความเข้มข้น 0.1% เมื่ออายุการเก็บรักษา 5 วัน	41
21. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เคลือบฟิล์มมีความเข้มข้น 0.4 % เมื่ออายุการเก็บรักษา 7 วัน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
22 . แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เคลือบฟิล์มความเข้มข้น 0.6 % เมื่ออายุการเก็บรักษา 3 วัน	42
23. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เคลือบฟิล์มความเข้มข้น 1% เมื่ออายุการเก็บรักษา 3 วัน	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

คะน้า เป็นผักที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากทั่วทุกภาคของประเทศไทย เป็นผักที่ปลูกเพื่อบริโภคส่วนของใบและลำต้น ผักคะน้าสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่เนื่องจากการเก็บรักษาของผักคะน้าในท้องตลาดเก็บไว้ได้เป็นเวลาที่ไม่นาน จึงควรจะมีการยืดอายุของผักคะน้าในท้องตลาดเพิ่มขึ้นและเป็นการเพิ่มมูลค่าของคะน้าเมื่อวางขายในท้องตลาด โดยวิธีนำไคโตซานมาทำเป็นฟิล์มที่รับประทานได้มาเคลือบผักคะน้า ซึ่งไคโตซานเป็นโพลิเมอร์ชีวภาพ ที่สามารถผลิตได้จากของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล เช่น กุ้ง , ปู , แคนปลาหมึก จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของของเสียในอุตสาหกรรม โดยไคโตซานไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งไคโตซานมีคุณสมบัติที่สามารถทำเป็นฟิล์มได้ ในประเทศไทยและต่างประเทศได้มีการค้นคว้าวิจัยวิธีที่จะยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สด โดยใช้ฟิล์มไคโตซานเคลือบแต่ปัจจุบันยังไม่มีมีการวิจัยการใช้ฟิล์มไคโตซานเคลือบในผักใบ กลุ่มผู้ทดลองจึงได้ทำการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาผักคะน้า ซึ่งเป็นอีกแนวทางที่เพิ่มมูลค่าของผักคะน้าในท้องตลาด และลดต้นทุนการส่งออก

### วัตถุประสงค์

เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักคะน้าโดยใช้ฟิล์มที่รับประทานได้ที่ผลิตจากไคโตซาน โดยศึกษาความเข้มข้นของไคโตซานที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาผักคะน้าและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผักคะน้าหลังจากเคลือบฟิล์มที่รับประทานได้โดยตรวจสอบคุณภาพของผักคะน้าโดยวัดการเปลี่ยนแปลงของสีและอัตราการสูญเสียน้ำ

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ค่ะน้ำ

คะน้ำจัดอยู่ในตระกูล *Cruciferae* (ครุซิเฟอร์) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oeracea var. alboglabra* (บราสสิก้า โอเลอร่าชี วาร์ อัล โบกลาบรา) และชื่อทั่วไปคือ Kaliaan ผักคะน้ำมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียและมีปลูกกันมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศจีน ฮองกง ใต้หวัน มาเลเซียและประเทศไทย ซึ่งชาวจีนเรียกคะน้ำว่า ไก่หั่น ไซ่ เป็นผักอายุ 2 ปี แต่ปลูกเป็นผักอายุปีเดียว อายุตั้งแต่หว่านหรือหยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 45-55 วัน ผักคะน้ำสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ผลผลิตในประเทศไทยเกษตรกรสามารถปลูกได้ประมาณ 950 – 2,000 กก./ไร่ ช่วงเวลาที่ปลูก ได้ผลดีที่สุดอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเมษายน (เมืองทอง ทวนทวี,2532)

#### 2.2 พันธุ์ของคะน้ำ

พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยเป็นคะน้ำ โดยสั่งเมล็ดจากต่างประเทศเข้ามาปลูกและปรับปรุงพันธุ์ ปัจจุบันพันธุ์คะน้ำที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 3 พันธุ์ด้วยกันคือ

2.2.1 พันธุ์ใบกลม มีลักษณะใบกว้างใหญ่ ปล้องสั้น ปลายใบมนและผิวใบเป็นคลื่นเล็กน้อย มีทั้งดอกขาว ดอกเหลือง เช่น พันธุ์ฝางเบอร์ 1 เป็นต้น

2.2.2 พันธุ์ใบแหลม เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะใบแคบกว่าพันธุ์ใบกลม ปลายใบแหลม ขั้วห่างผิวใบเรียบ ดอกขาว เช่น พันธุ์พีแอล 20 (P.L.20) เป็นต้น

2.2.3 พันธุ์ยอดหรือก้าน มีลักษณะใบเหมือนกับคะน้ำใบแหลม แต่จำนวนใบต่อดันมีน้อยกว่า ปล้องยาวกว่า ได้แก่ พันธุ์แม่ใจ 1 เป็นต้น

พันธุ์แม่ใจ 1 เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ลำต้นเป็นลำต้นเดี่ยวอวบ ส่วนกลางป่องใหญ่ ใบเรียบ ปลายใบแหลมตั้งชี้ขึ้น ก้านใบบาง ช่วงขั้วยาว มีน้ำหนักส่วนที่เป็นลำต้นและก้านมากกว่าใบ ให้ผลผลิตสูงทุกภาคตลอดปี อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 45-48 วัน ขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 33.40 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นส่วนที่ใหญ่ที่สุด คือ 2 เซนติเมตร จำนวนใบต่อดันเฉลี่ย 9 ใบ น้ำหนักเฉลี่ยต่อดัน 143 กรัม อายุตั้งแต่ปลูกถึงออกดอกประมาณ 50-55 วัน ให้ผลผลิตประมาณ 1,500-2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (เมืองทอง ทวนทวี,2532)

ตารางที่ 1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของผักคะน้าที่บริโภคได้ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
โปรตีน	2.3 กรัม
แคลเซียม	173 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.4 มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	10,000 หน่วยสากล
วิตามิน ซี	140 มิลลิกรัม

ที่มา : หนังสือคู่มือ การปลูกผักสวนครัวเพื่อเศรษฐกิจและโภชนาการ

ตารางที่ 2 สถิติการปลูกและปริมาณผลผลิตของคะน้า

สถิติการปลูกตามชนิดพืช 2538/2548							
ภาค	พื้นที่ปลูก ใหม่ (ไร่)	พื้นที่ ไร่ หน่อ/ ต่อ/ลำ ต้น (ไร่)	พื้นที่ ปลูก ซ่อม ในพื้นที่ เสียหาย (ไร่)	พื้นที่ เสียหาย สิ้นเชิง (ไร่)	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต เฉลี่ย ต่อไร่ (กก./ไร่)	ปริมาณ ผลผลิต (ตัน)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	193,774	18	3	3,383	193,521	1,970	381,161
กลาง	156,031	42	-	5,803	151,681	1,856	281,446
ตะวันออก	86,697	-	-	819	85,409	1,905	162,683
ตะวันตก	332,623	-	10	10,863	316,196	2,021	639,165
ใต้	163,834	-	115	17,281	144,394	1,128	162,900
รวม	1,161,464	90	198	47,523	1,106,522	-	2,002,822

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร (2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงพื้นที่ปลูก(ไร่) คำนวณตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2543 ถึงเดือน เมษายน 2544

ภาวะการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยว						
พื้นที่ปลูก ใหม่(ไร่)	พื้นที่ไถ หน่อ/ตอ/ ลำต้น(ไร่)	พื้นที่ปลูก ซ่อมใน พื้นที่ เสียหาย (ไร่)	พื้นที่ เสียหาย สิ้นเชิง(ไร่)	พื้นที่เก็บ เกี่ยว(ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย ต่อพื้นที่เก็บ เกี่ยว(กก./ ไร่)	ปริมาณ ผลผลิต (ตัน)
129,289			6113	121068	1927.258425	233329.3

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร(2547)

ตารางที่ 4 แสดงพื้นที่ปลูก(ไร่) คำนวณตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2544 ถึงเดือน มีนาคม 2545

ภาวะการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยว						
พื้นที่ปลูก ใหม่(ไร่)	พื้นที่ไถ หน่อ/ตอ/ ลำต้น(ไร่)	พื้นที่ปลูก ซ่อมใน พื้นที่ เสียหาย (ไร่)	พื้นที่ เสียหาย สิ้นเชิง(ไร่)	พื้นที่เก็บ เกี่ยว(ไร่)	ผลผลิต เฉลี่ยต่อ พื้นที่เก็บ เกี่ยว(กก./ ไร่)	ปริมาณ ผลผลิต (ตัน)
117,665		19	1283	112823	1,756.35	198,157.09

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร(2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงพื้นที่ปลูก(ไร่) คำนวณตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2545ถึงเดือน เมษายน 2546

ภาวะการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยว						
พื้นที่ปลูก ใหม่(ไร่)	พื้นที่ไว้ หน่อ/ตอ/ ลำต้น(ไร่)	พื้นที่ปลูก ซ่อมใน พื้นที่ เสียหาย (ไร่)	พื้นที่ เสียหาย สิ้นเชิง(ไร่)	พื้นที่เก็บ เกี่ยว(ไร่)	ผลผลิต เฉลี่ยต่อ พื้นที่เก็บ เกี่ยว(กก./ ไร่)	ปริมาณ ผลผลิต (ตัน)
116,396		66	6,549	110,978	1,668.91	185,212

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร(2547)

### 2.3 फिल्मที่รับประทานได้ (Edible film)

ฟิล์มรับประทานได้ หมายถึง ฟิล์มเคลือบผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากสารชีวเคมีจากธรรมชาติ จึงสามารถรับประทานไปพร้อมกับอาหารนั้นได้เลย และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีคุณสมบัติในการป้องกันและชะลอการผ่านเข้าออกของก๊าซ ไอน้ำ สารละลาย จุลินทรีย์ และสารอื่นๆ ได้

### 2.4 องค์ประกอบของฟิล์มที่รับประทานได้

การเตรียมฟิล์มต้องประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (Mchuge and Krochta . 1994)

**2.4.1 โพลีเมอร์ (polymer)** จะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้าง (structure) ของฟิล์ม โดยทั่วไป ฟิล์มเกิดขึ้นจากสารประกอบที่เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงยาว โพลีเมอร์ที่สามารถทำให้เกิดฟิล์มได้ดี ได้แก่ โปรตีน (protein) ไขมัน (fat) และ โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide)

**2.4.2 พลาสติไซเซอร์ (plasticizer)** ส่วนสำคัญในการผลิตฟิล์มรับประทานได้คือการเติมลงไป เพื่อให้เกิดแผ่นฟิล์ม ได้ดีนั้นจะต้องเอาชนะคุณสมบัติการแตกหัก ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงดึงดูซึ่งมีมากกว่าโมเลกุล การที่จะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นดี นุ่มและมีความอ่อนตัว จะต้องทำให้แรงระหว่างโมเลกุล โพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ดังนั้นพลาสติไซเซอร์จึงเป็นสารที่มีคุณสมบัติไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหย มีจุดเดือดสูง ไม่แยกตัวออกจากองค์ประกอบอื่นๆ และเมื่อเติมพลาสติกไซเซอรอลลงไปจะไปเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของสารนั้น และคุณสมบัติดังกล่าวสามารถป้องกันการแยกตัวออกมาของพลาสติกไซเซอรอลในระหว่างการทำแห้งฟิล์ม ในการเตรียมฟิล์มรับประทานได้จากโพลีเมอร์โดยไม่มีการใช้พลาสติกไซเซอรอลร่วมด้วยจะทำให้ฟิล์มเปราะมาก เนื่องจากพลาสติกไซเซอรอลจะช่วยลดแรงยึดจับระหว่าง โมเลกุล (intermolecular force) ระหว่างสายโพลีเมอร์และช่วยให้โพลีเมอร์มีการเคลื่อนตัวมากขึ้น จึงมีผลทำให้ฟิล์มมีลักษณะไม่แตกหักเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ง่าย แต่พลาสติกไซเซอรอลจะไปลดคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นก๊าซ ไขมัน และตัวถูกละลายของฟิล์ม และอาจทำให้ความยืดหยุ่นและการเกาะตัวกันลดลงด้วย (Gontard et. al. 1993 ; Mchuge and Krochta. 1994)

ชนิดของพลาสติกไซเซอรอลที่ใช้สำหรับการเตรียมฟิล์ม คือ

- 1) สารโพลีออล (polyol) ได้แก่ กลีเซอรอล (glycerol) ซอร์บิทอล (sorbitol) และโพรเพน-ไดออล (propanediol)
  - 2) โมโน ไค หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (mono-, di- หรือ oligosaccharide)
  - 3) ไขมันและอนุพันธ์ของไขมัน เช่น กรดปาล์มิติก (palmitic acid) เป็นต้น
- นอกจากนี้ยังเป็นพลาสติกไซเซอรอลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะมีผลเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฟิล์มที่รับประทานได้ในระหว่างการเก็บรักษา

## 2.5 การเกิดฟิล์ม

ฟิล์มรับประทานได้เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถทำให้เกิดฟิล์มละลายหรือกระจายตัวแล้วใช้วิธีต่างๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การเติมอิเล็กโทรไลต์ เพื่อทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม การปรับความเป็นกรด - ด่าง ซึ่งเรียกว่า โคแอกเซอเวชัน (coacervation) หรือโดยการทำให้สารที่ทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งหลอมเหลวแข็งตัว (solidification) ฟิล์มรับประทานได้มีองค์ประกอบหลัก คือ โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งมีคุณสมบัติเกิดฟิล์มได้ ตัวทำละลายและสารเจือปนซึ่งเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม (Kester and Fennema. 1986)

ในการเตรียมฟิล์มจะมีทั้งสิ้นแรง 2 ชนิดที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลโพลีเมอร์ด้วยตัวเอง จะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมต่อของผิววัตถุเดียวกัน สร้างพันธะที่แข็งแรงซึ่งจะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของโพลีเมอร์ ระบบการละลาย และสภาวะในการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้านสาขา และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างมีระเบียบในสายโพลีเมอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมอร์จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ ทำให้มีความแข็งแรง ส่วนการละลายของโพลีเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังมีผลต่อแรงโคฮีชัน คือ ถ้าโมเลกุลของโพลีเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มากที่สุดจะได้โครงสร้างซึ่งเชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง ส่วนสภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยการใช้สารละลายที่อุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของโพลีเมอร์ถูกตรึงก่อนที่จะเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (pinholes) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอซึ่งทำให้การซึมผ่านของฟิล์มมากขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม ได้แก่ ความหนาแน่น ความอัดแน่น(compactness) ความโปร่งเป็นรูพรุน (porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ความยืดหยุ่น (flexibility) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มทำให้เกิด โครงสร้างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มเช่นกัน (Banker, 1966)

## 2.6 การขึ้นรูปฟิล์ม

การขึ้นรูปฟิล์มสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ การขึ้นรูปที่รวดเร็วเป็นที่ต้องการในแง่อุตสาหกรรม แต่จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อให้ฟิล์มขึ้นรูปไม่เร็วเกินไป มิฉะนั้นฟิล์มจะไม่สม่ำเสมอ ผิวหน้าขรุขระและแตกง่าย (Banker, 1996) วิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มมีวิธีหลักๆด้วยกัน 3 วิธี คือ

### 2.6.1 การทำให้เป็นแผ่นฟิล์มก่อน

วิธีนี้จะเตรียมฟิล์มให้เป็นแผ่นก่อนที่จะนำมาห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการ หลักการของวิธีนี้จะคล้ายกับหลักการการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกสังเคราะห์ทั่วไป มีด้วยกันทั้งหมด 3 วิธี คือ

1) วิธีการเทสารละลายลงบนพิมพ์ (solvent casting) ในปี 1966 Mark และคณะ เตรียมฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (amylomaize starch) โดยการเทลงบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคนแห้งแล้วนำไปทำแห้งด้วยร้อนลม ฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะโปร่งแสง ละลายในน้ำได้ ต่อมา มีการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและวุ้นขึ้นรูปโดยการเทส่วนผสมลงในถาดโลหะปลอดสนิมเขย่าเบาๆ จนส่วนผสมกระจายเต็มถาด ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ฟิล์มที่ได้จะมีสีขาวขุ่น เป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนา 113 ไมโครเมตร (พนอจิตร, 2531) ต่อมาในปี 2534 มณฑาทิพย์ เตรียมฟิล์มแบบออบเลตจากสตาร์ชมันเทศ (sweet potato starch) และวุ้น (agar), สตาร์ช มันเทศ อะไมโลส และวุ้น และอะไมโลสและวุ้น โดยวิธีการที่คล้ายกัน คือ เทส่วนผสมลงในถาดปลอดสนิมที่ทาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันพืช แล้วทำให้ร้อนพอประมาณและเอียงถาดเบาๆ ทิ้งไว้ให้แผ่นฟิล์มเป็ยกทรงรูป ทำแห้งด้วยไอน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้มีความหนา 23-63 ไมโครเมตร

2) วิธีเอ็กทรูชัน (extrusion) องค์ประกอบที่จะใช้ในการเตรียมฟิล์ม ได้แก่ สตาร์ชที่มีอะไมโลส ร้อยละ 50-80 พลาสติกไซเซอร์ ร้อยละ 0-30 และน้ำร้อยละ 20-50 ฟิล์มที่ได้จะมีความชื้นร้อยละ 7-15 ความหนา 1-4 มิล ( 1 มิล (mil) = 0.0254 มิลลิเมตร ) (Mumma. 1967) แต่จะต้องมีการให้อะไมโลสเป็นสารเทอร์โมพลาสติกเทียมก่อนจึงจะขึ้นรูปวิธีนี้ได้

3) วิธีการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง (drum drier) Hullinger (1965) ได้มีการรายงานว่าการผลิตฟิล์มรับประทานได้จากสตาร์ช เรียกว่า ออบเลตฟิล์ม ซึ่งเตรียมได้จากการเตรียมผสม สตาร์ชข้าวเจ้ากับกัมจากพืชเล็กน้อยทำให้เป็นเพสต์เจือจางแล้วขึ้นรูปเป็นฟิล์มบนลูกกลิ้งร้อน 103-108 องศาเซลเซียส หมุนด้วยความเร็ว 70-110 วินาทีต่อรอบ นำฟิล์มที่ได้มาทำแห้งด้วยลมร้อนจนมีความชื้นร้อยละ 13 ฟิล์มมีลักษณะปรากฏเป็นดวงๆ บางมาก เปราะแตกง่ายเมื่อเก็บรักษาโดยไม่ควบคุมความชื้น

## 2.6.2 วิธีจุ่มลงในสารละลาย (Dipping)

เตรียมส่วนผสมของฟิล์มให้อยู่ในรูปสารละลายเสียก่อน แล้วจึงจุ่มวัตถุดิบที่ต้องการเคลือบลงในสารละลาย แล้วทำให้ฟิล์มแห้งได้ด้วยการแขวนไว้ในตู้อบลมร้อนที่มีการถ่ายเทอากาศ หรือวิธีที่ง่ายที่สุดก็คือการทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แต่ต้องระมัดระวังเรื่องความสะอาด ข้อดีของวิธีการเคลือบแบบนี้ คือ สามารถเคลือบพื้นผิวที่ไม่เรียบหรือขรุขระได้ และประยุกต์ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้

## 2.6.3 วิธีฉีดพ่นสารละลาย (Spraying)

เตรียมส่วนผสมของฟิล์มให้อยู่ในรูปสารละลายเสียก่อน แล้วจึงนำสารละลายนั้นมาฉีดพ่นเป็นละอองฝอยลงบนผิววัตถุดิบที่ต้องการจะเคลือบ หลังจากนั้นทำให้แห้งโดยวิธีที่เหมือนกับการเคลือบโดยจุ่มลงในสารละลาย ข้อดีของวิธีเคลือบแบบนี้คือ ฟิล์มที่เคลือบจะมีความบาง และสม่ำเสมอกว่าการเคลือบด้วยวิธีอื่นๆ

## 2.7 ชนิดของฟิล์ม

2.7.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ สามารถใช้สารโพลีแซคคาไรด์บางชนิด ผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ เช่น แอลจินเนท เพกติน คาราจีแนน สตาร์ช สตาร์ชไฮโดรไลเซต (hydrolysate) และอนุพันธ์ของเซลลูโลส แต่เนื่องจาก ธรรมชาติของโพลีเมอร์เหล่านี้ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำฟิล์มชนิดนี้มาป้องกันการซึมผ่านความชื้น อย่างไรก็ตาม โพลีแซคคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบมีลักษณะเหมือนวุ้น (gelatinous) และมีความชื้นสูง จะชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ ในช่วงอายุการเก็บอาหารสั้นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคลือบเจลจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บอาหาร (scarifying agent) มากกว่าเป็นตัวกลางขวางกั้นการส่งผ่านของความชื้น นอกจากนี้ โพลีแซคคาไรด์บางชนิด ยังสามารถช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีออกซิเจนในลิปิด (lipid oxidation) และองค์ประกอบอื่นในอาหาร ซึ่งทำให้อาหารเหม็นหืน

1) สตาร์ช (starch) สตาร์ชประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ในปริมาณและอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์พืช อะไมโลสเป็นโพลีเมอร์เส้นตรงและมีคุณลักษณะที่สามารถทำเป็นฟิล์มในตัวเอง (self supporting film) จึงใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมฟิล์มได้ ส่วนสตาร์ชก็สามารถนำมาเตรียมฟิล์มได้เช่นกัน แต่เป็นฟิล์มที่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการแยกส่วน (fractionation) อะไมโลสจากสตาร์ชเพื่อนำมาเตรียมฟิล์ม ลักษณะของฟิล์มอะไมโลสนี้จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่นรส ไม่มีพิษ แข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติต้านทานไข (grease) สูง และออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มได้ต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ปัญหาการละลายของอะไมโลสเพื่อเตรียมฟิล์ม เมื่อเตรียมฟิล์มจะต้องใช้อุณหภูมิสูง ภายใต้ความดัน จึงนิยมใช้อนุพันธ์ของอะไมโลสซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า การใช้ฟิล์มอะไมโลส เช่น การทำถุงบรรจุกาแฟ ชา ชูปสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์ไส้เทียมสำหรับทำไส้กรอก ใช้เคลือบผลไม้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาดผลไม้ ทำให้ไม่เหนียวติดกันเป็นก้อน

2) แอลจินेट (alginate) นิยมใช้รูปโซเดียมแอลจินेट สกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล การเกิดฟิล์มของโซเดียมแอลจินेटเป็นผลจากการเกิดเจลเมื่อแอลจินेटทำปฏิกิริยากับ polyvalent cation แคลเซียมเป็นไอออนที่ทำให้เกิดเจลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มักใช้ในรูปแบบของเกลือแคลเซียมคลอไรด์เพราะทำให้เกิดเจลวุ้นเนื้อแน่น คุณภาพดี การเคลือบด้วยฟิล์มแอลจินेटส่วนใหญ่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ การเคลือบชิ้นเนื้อทำให้การสูญเสียให้น้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ได้รับการเคลือบ ถึงแม้ว่าฟิล์มแอลจินेटจะยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้สูง ความชื้นในเจลระเหยออกไป ก่อนที่ชิ้นเนื้อที่เจลห่อหุ้มไว้จะเกิดการสูญเสียความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มเจลนี้ยังช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์บนผิวของเนื้อ ช่วยรักษาสีแดงของเนื้อได้นานกว่าเนื้อปกติ ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ในอาหาร และช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วย (Kester and Fennema . 1986)

3) เพกติน (pectin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโพลีแซคคาไรด์ พบในชั้นลามลลา (lamella) ส่วนกลางของเซลล์พืช เพกตินที่ใช้เป็นสารเคลือบเป็นชนิดที่มีจำนวนของเมทอกซิลต่ำ (low methoxyl) ซึ่งทำให้กิดฟิล์มขึ้นได้ เมื่อสารละลายเพกตินทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนหลังจากทำให้เจลแห้ง จะเกิดเป็นฟิล์มเพกติน มักใช้เคลือบผิวอาหารโดยตรง ฟิล์มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร (scarifying agent) โดยป้องกันอาหารที่ห่อหุ้มมิให้สูญเสียน้ำ เนื่องจากฟิล์มเพกตินยอมให้อิอนน้ำซึมผ่านได้สูง ดังนั้นจึงต้องทำให้ฟิล์มยอมให้การซึมผ่านของไอน้ำลดลง โดยการ

เคลือบฟิล์มลปิดทับลงบนฟิล์มเพกตินटकก่อนเพื่อให้ฟิล์มแห้ง จึงใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้กว้างขึ้น ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดอีกครั้งหนึ่ง

4) คาราจีแนน (carrageenan) เป็นกลุ่มสารโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟต ซึ่งสามารถสกัดได้จากสาหร่ายสีแดง เมื่อนำสารละลายคาราจีแนนร้อนแล้วทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจล เจลคาราจีแนนที่ใช้เคลือบอาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร โดยป้องกันการสูญเสียน้ำในอาหารที่ห่อหุ้มไว้ มักใช้เคลือบชั้นเนยแข็งเทียมกึ่งแข็ง (intermediate moisture cheese analog) ด้วยเจลผสมคาราจีแนนและวุ้น (agarose) ที่มีกรดซอร์บิกอยู่ด้วย มีผลทำให้จุลินทรีย์เติบโตบนผิวผลิตภัณฑ์ไม่ได้ (Kester and Fennema . 1986)

#### 5) ไคโตซาน (chitosan)

ในปี 2003 Zivanovic และคณะ ได้ศึกษาการใช้สารเคลือบไคโตซานเพื่อประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ จุดประสงค์เพื่อตรวจสอบ ความเป็นไปได้ เพื่อตัดสินผลกระทบของสารเคลือบไคโตซาน และ สารเคลือบไคโตซานที่ประกอบด้วย essential oils ในคุณภาพของบลูเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ และ องุ่น หลังการเก็บเกี่ยว

2.7.2 ฟิล์มลปิด (lipid film) การใช้ไขมันห่อหุ้มอาหารมีมานานแล้วในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) เช่นการเคลือบช็อกโกแลต หรือ ใช้กับผักผลไม้ เช่น การเคลือบผลไม้ด้วยไข (wax) สารประกอบลิพิดหลายชนิดรวมทั้งอะเซทิลเลต โมโนกลีเซอไรด์ (acetylate monoglyceride) ไขธรรมชาติ (natural wax) และสารตึงผิว (surfactant) นำมาใช้เป็นสารเคลือบได้โดยทั่วไป การที่เคลือบอาหารด้วยลิพิดก็เพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น แต่ในกรณีการเคลือบผลไม้ด้วยลิพิดจะให้ผลอย่างอื่น เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนถ่ายมิให้มีรอยขีด (soft scald) หรือเคลือบผลแอปเปิลหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันมิให้เกิดสีน้ำตาลด้วยเมธิลเอสเทอร์ของกรดไขมันต่างๆ ฟิล์มลปิด ได้แก่

1) ฟิล์มจากไข (wax) ฟิล์มไขที่รับประทานได้ ความชื้นจะผ่านได้ต่ำมากและต่ำกว่าฟิล์มลิพิดส่วนใหญ่ โดยเฉพาะไขพาราฟิน (paraffin wax) และขี้ผึ้ง นอกจากนี้ฟิล์มไขยังลดอัตราการแพร่กระจายของเกลือเบนโซเอตในการเข้าสู่อาหารได้ดี อาทิ ฟิล์มจากไขพาราฟินและคาร์บูบา (camuba) ในขณะที่ฟิล์มจากขี้ผึ้งให้ผลดังกล่าวต่ำกว่า เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้ฟิล์มไขในการรักษาความเข้มข้นของสารกันเสียของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด , 2535)

การเคลือบไขมักใช้กับผักผลไม้สด เช่น ส้ม แอปเปิล กล้วย แดง มันเทศ มะนาว เป็นต้น เพื่อยึดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยวโดยการเคลือบฟิล์มลิพิดเสริมที่ผิวผักผลไม้แทนสารเคลือบผิว (cuticle) อันเป็นไขธรรมชาติที่ถูกชะล้างได้ง่าย อันเป็นผลให้เนื้อเยื่อมีอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มอีกหลายเท่า และทำให้อัตราการหายใจของผักผลไม้สูงขึ้นด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้ผักผลไม้เก็บได้นาน นอกจากนี้มีการเคลือบผลไม้บางชนิดด้วยไขหรือน้ำมัน เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ เช่น การ

เคลือบลูกกวาด เพราะการสูญเสียทำให้น้ำตาลที่ผิวตกผลึกหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

2) พิล์มจากกรดไขมัน การเคลือบอาหารด้วยสารตั้งผิวจะช่วยลดค่า  $a_w$  (superficial water activity) ที่ผิวหน้า และสามารถลดอัตราการระเหย สารเคลือบที่ให้ผลดีมากที่สุด ได้แก่ fatty alcohol ที่มีคาร์บอน 16-18 ตัว glycerolmonopalmitate และ glycerolmonostearate  $a_w$  ที่ผิวหน้าต่ำ จะชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ลดปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วย ดังนั้นสารตั้งผิวจึงสามารถที่จะป้องกันการเสื่อมสภาพได้ นอกจากนี้ฟิล์มสารตั้งผิวยังสามารถช่วยป้องกันการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ในมันฝรั่งซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสารพิษ glycoalkoid เนื่องจากสารตั้งผิวช่วยลดการคายน้ำ (Kester and Fennema . 1986)

3) พิล์มเลซิติน ที่บริเวณเปลือกมันฝรั่ง ทำให้เม็ดคลอโรพลาสต์เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนถึงระดับที่จะยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ได้ จึงมีการเคลือบมันฝรั่งด้วยสารตั้งผิวจำพวก lecithin หรือ hydroxylated lecithin หรือ tween เป็นต้น (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด , 2535)

2.7.3 พิล์มโปรตีน การเคลือบฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนยังมีน้อยมาก เมื่อเทียบกับฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ พิล์มโปรตีนมีคุณสมบัติเด่นในแง่ยอมให้ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้ในระดับที่ต่ำ แต่เป็นตัวกันไอน้ำที่ไม่ดี เนื่องจากลักษณะทางธรรมชาติที่ชอบน้ำ (hydrophilic property) (Mchuge and Korchta . 1994) พบว่า ชนิดของโปรตีนที่ทำให้เกิดฟิล์มได้ ได้แก่ คอลลาเจน เจลาติน เคซีน เวย์โปรตีน (whey protein) เซอีนจากข้าวโพด (corn zein) กลูเตนจากข้าวสาลี (wheat gluten) โปรตีนจากถั่วเหลือง(soy protein) และ โปรตีนที่ได้จากถั่วเขียว (mungbean protein) โดยมีเซอีนจากข้าวโพดเป็นสารเคลือบ (coating agent) ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) ในระดับการค้า (Gennadios et. al. 1993)

1) พิล์มโปรตีนจากข้าวสาลี หรือ กลูเตน(gluten) กลูเตนจัดเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยไกลอะดีน(gliadin) ร้อยละ 75 (เป็นส่วนที่ละลายในแอลกอฮอล์) ที่เหลือเป็น กลูเทนิน (glutenin) (ไม่ละลายในแอลกอฮอล์) ส่วนประกอบทั้งสองนี้มีพันธะไดซัลไฟด์(disulfide) ซึ่งมีบทบาทในการเกิดฟิล์มกลูเตนทำให้มีลักษณะการยืดเกาะ และมีความยืดหยุ่นที่ดี พิล์มกลูเตนมีความแข็งแรง ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้น้อย แต่เป็นฟิล์มที่ขึ้นง่าย(hydrophilic) จึงมีการนำกลูเตนมาใช้ร่วมกับสารอื่นเพื่อใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น เช่น การเคลือบถั่วลิสงอบแห้งก่อนเติมเกลือ ใช้ทำแคปซูลบรรจุสี และสารให้กลิ่นรสเพื่อใช้ในการเติมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น (Gennadios and Weller .1990)

2) พิล์มที่ได้จากโปรตีนข้าวโพดหรือเซอีน (zein) เป็นโปรตีนข้าวโพดกลุ่มหนึ่งที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ 70% ที่เรียกว่าโพรลามีน(prolamine) สามารถผลิตได้ในการค้า เซอีนประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้ว และไม่ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophobic) เช่น ลูซีน (leucine) อะลานีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(alanine) และ โพรลีน (proline) ในปริมาณสูง จึงทำให้เซอีนไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ บริสุทธิ์ และยังประกอบด้วยกรดกลูตามิก (glutamic acid) ในรูปกลูตามีน (glutamine) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งใช้เซอีนเคลือบเมล็ดยาและผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ถั่ว ผลไม้แห้ง เยลลี่ การเคลือบด้วย เซอีนแบบแชลแล็กจะทำให้ผลดี เพราะจะมีอัตราการแห้งเร็วกว่าทำให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น สามารถเก็บ ได้นานในสภาพที่มีความชื้นสูง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เคลือบเปลือกไข่เพื่อรักษาคุณภาพไข่ รวมทั้งกลิ่นรสของไข่ได้ และยังทำให้ไข่มีความต้านทานจุลินทรีย์ที่สูงขึ้น ส่วนการเคลือบเซอีนบน ผีวอาหารกึ่งชื้น (intermediate moisture food) นั้น ได้เติมสารกันเสียลงไปด้วย ลดอัตราการ แพร่กระจายของสารเคมีเข้าสู่อาหารและเก็บรักษาความเข้มข้นของสารที่ผิวไว้ได้นาน (Gennadios and Weller . 1990)

3) พิล์มจาก โปรตีนถั่วเหลือง ได้จากน้ำมันถั่วเหลือง หรือ สารละลายโปรตีนถั่วเหลือง สกัดนำมาให้ความร้อนในสภาวะที่เหมาะสม พิล์มที่ได้จะใช้เคลือบผิวถั่วเพื่อป้องกันการซึมออก ของน้ำมัน หรือใช้โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับอัลบูมินจากไข่ขาวในการห่อหุ้มเนื้อ เพื่อป้องกันการ สูญเสียกลิ่นรส และชะลอการสูญเสียน้ำ

#### 4) พิล์มจากโปรตีนถั่วเขียว

Wimolrat and Athapol (1994) ศึกษาการผลิตฟิล์มรับประทานได้จากโปรตีนถั่วเขียวที่ เหลือจากการผลิตวุ้นเส้น ที่แยกได้โดยการ ใช้กรดไฮโดรคลอริกที่ pH 4.5 ทำการปั่นเหวี่ยงแยกส่วน ที่เป็นโปรตีนออก และทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งแยกการผลิตจาก โปรตีนจากเหลว (protein past) และ โปรตีนผง (protein powder) การผลิตฟิล์มจะทำบนแผ่นพลาสติก และอบแห้งฟิล์มที่อุณหภูมิ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity : RH) เท่ากับ ร้อยละ 60 โดยแบ่งการทดลองใช้ความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากับร้อยละ 5 10 และ 15 ความเข้มข้น ของกลีเซอรอลเท่ากับร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 พบว่าปริมาณโปรตีนร้อยละ 15 และปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 0.5 ให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำสุดเท่ากับ  $16.58 \text{ g ml/m}^2/\text{day}$  และอัตราการซึมผ่าน ของออกซิเจนเท่ากับ  $4.321 \text{ mol / m.s Pa.} 10-16$  แต่ค่าแรงดึงขาดของฟิล์มที่มีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 5 กลีเซอรอลร้อยละ 0.5 จะได้ค่าต่ำสุด ฟิล์มที่เตรียมจากโปรตีนเหลวจะให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำ และแรงยึดตัวสูงกว่า แต่อัตราการซึมผ่านออกซิเจนจะต่ำกว่าโปรตีนผง ซึ่งปริมาณโปรตีนและกลีเซอรอลที่เพิ่มสูงขึ้น จะให้คุณสมบัติทั้งหมดสูงขึ้นตามไปด้วย

ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียวจะไม่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แต่จะมีผลต่อการ ซึมผ่านออกซิเจนและไขมันได้สูง การทดลองได้ใช้ฟิล์มเคลือบผิวมะม่วงหิมพานต์และข้าวกล้อง พบว่า สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นาน ขึ้นด้วย

## ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มโปรตีนชนิดต่างๆ

Films	Tensile Strength (Mpa)	Elongation at break (%)	WVP <sup>*1</sup>
FWSP	5.2	67.8	$1.2 \times 10^{-10}$
FWSP + oleic acid	5.8	205	$2.5 \times 10^{-11}$
Myofibrillar protein	17.1	22.7	$6.3 \times 10^{-11}$
Soybean	5.9	107	$1.7 \times 10^{-10}$
Wheat gluten	2.7	197	$4.3 \times 10^{-9}$
Rice bran	16.4	—	$9.2 \times 10^{-9}$
Corn zein	0.4	—	$1.0 \times 10^{-7}$
HDpolyethylene <sup>*2</sup>	25.9	300	$2.0 \times 10^{-13}$
LDpolyethylene <sup>*3</sup>	12.9	500	$7.7 \times 10^{-13}$

หมายเหตุ <sup>\*1</sup> Water vapor permeability :  $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$

<sup>\*2</sup> HD : High density

<sup>\*3</sup> LD : Low density

ที่มา : Tanaka et. al. (2000)

## 2.8 จุดประสงค์ของการใช้ฟิล์มรับประทานได้

### 2.8.1 โครงสร้างของผลิตภัณฑ์

เช่น การนำฟิล์มที่เตรียมขึ้นจากโปรตีนและคอลลาเจน ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตไส้เทียม ห่อหุ้มไส้กรอกเพื่อให้ได้รูปร่างที่ต้องการ และการนำฟิล์มไปเคลือบหน้าของพิซซ่า เพื่อให้หน้าพิซซ่ายังคงรูปร่างเดิม รับประทาน ในระหว่างการส่งถึงมือผู้บริโภค

### 2.8.2 แยกอาหารส่วนที่มีความชื้นต่างกันออกจากกัน

เช่น การนำฟิล์มไปเคลือบถั่วซึ่งมีความชื้นต่ำ แล้วนำไปใช้เป็นส่วนผสมในไอศกรีมที่มีความชื้นสูง การทำเช่นนี้เพื่อชะลอการซึมผ่านความชื้นจากไอศกรีมไปยังถั่ว ซึ่งจะช่วยให้เนื้อสัมผัสของถั่วสูญเสียความกรอบ และเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.3 ป้องกันการเกาะติดของอาหาร

เช่น การเคลือบลูกกวาด เม็ดยา หรือผลิตภัณฑ์ขึ้นเล็กๆ ที่มีจะเกาะกลุ่มก้อนได้ง่าย เนื่องจากความชื้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ดูเก่า ไม่น่าเลือกซื้อ

### 2.8.4 บรรจุภัณฑ์แบบ Active Packaging

โดยมีการเติมสารต่างๆเหล่านี้เข้าไปร่วมด้วย

#### 1) สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial)

เช่น การใช้กรดซอร์บิก (sorbic acid) ร่วมกับฟิล์มที่เตรียมจาก โพรตีนเคซีน ช่วยป้องกันการเสื่อมเสียจากเชื้อยีสต์และรา ในมะละกอ และ แอปริคอต (apricot) ซึ่งการเสื่อมเสียในแบบนี้ เป็นปัญหาของผลิตภัณฑ์ที่มีค่า  $a_w$  สูงกว่า 0.78

ในการเติมไนซิน (nisin) ซึ่งเป็นสารยับยั้งแบคทีเรียที่ผลิตขึ้นจากแบคทีเรียสายพันธุ์ *Lactococcus lactis* สามารถยับยั้งเชื้อ *Listeria monocytogenes* ได้ นอกจากนั้นยังมีสารยับยั้งแบคทีเรียจากแหล่งอื่นๆที่อาจควบคุมเชื้อ *Clostridium botulinum* สายพันธุ์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ได้ เช่นเดียวกัน ซึ่งเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคทั้งสองชนิดนี้ สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำและออกซิเจนต่ำ ในผลิตภัณฑ์ผักที่ผ่านกระบวนการมาเพียงเล็กน้อย ซึ่งบรรจุและเก็บที่สภาวะควบคุมบรรยากาศ

#### 2) สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant)

เช่น การใช้กรดซิตริก (citric acid) ร่วมกับ ฟิล์มที่เตรียมขึ้นมาจาก เพกติน (pectinate) หรือเซอิน (Zein) จะช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นหืน และรักษาเนื้อสัมผัสของถั่ว

#### 3) สารเพิ่มสีและกลิ่นรส เติมเข้าไป เพื่อดึงดูดความสนใจจากผู้บริโภค

4) วิตามิน เติมเข้าไปเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ผลิตภัณฑ์อาหารที่อาจสูญเสียไป เนื่องจากการชะล้าง ความร้อน และอากาศที่สัมผัส ในระหว่างกระบวนการเตรียมวัตถุดิบและกระบวนการแปรรูปอาหาร

สารเติมแต่งซึ่งมีความแตกต่างในหน้าที่ และการนำไปใช้ในอาหาร แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สารเติมแต่งอาหาร ในแต่ละหน้าที่ที่แตกต่างกัน

Functionality	Food additive	GRAS/GMP <sup>a</sup>
		status
Antimicrobial agent	Sodium benzoate	+
	Benzoic acid	+
	Propionic acid	+
	Potassium sorbate	+
	Sobic acid	+
Antioxidant	Ascorbic acid	+
	Ascorbyl palmitate	+
	Butylated hydroxyanisole	+
	Butylated hydroxytoluene	+
	Citric acid	+
	Propyl gallate	+
	Tocopherols	+
Coating components	Calcium chloride (firming agent)	+
	Glycerol (plasticizer)	+
	Polyethylene glycol (binder , plasticizer)	-
	Propylene glycol (plasticizer)	-
	Silicone (release agent)	-
	Sorbitol (plasticizer)	-

<sup>a</sup>GRAS : Generally Recognized As Safe

GMP : Good Manufacturing Practice

ที่มา : Tanaka et. al. (2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 ไคโตซาน

ไคโตซานถูกพบโดยศาสตราจารย์ซี รูเก้ต ในปี ค.ศ. 1859 และศตวรรษต่อมาเกิดงานวิจัยพื้นฐานของสารประกอบเหล่านี้มากมาย และมีความสนใจเป็นอย่างสูงในเรื่องการใช้ประโยชน์ใหม่ๆ เกิดขึ้น ในช่วงปี 1930 และช่วงต้นปี 1940 โดยมีหลักฐานจากทะเบียนลิขสิทธิ์เกือบ 50 ชนิด อย่างไรก็ตาม การขาดแคลนโรงงานผลิตและการแข่งขันจากโพลีเมอร์สังเคราะห์เป็นตัวฉุดการพัฒนาทางการค้า ความสนใจเกิดขึ้นใหม่ในช่วงปี 1970 ถูกส่งเสริมโดยความประสงค์ของการใช้ประโยชน์เปลือกของสัตว์น้ำที่มีเปลือก (shell fish)

นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกเริ่มบันทึกคุณสมบัติที่โดดเด่นมากขึ้นของของไคตินและอนุพันธ์ของมันและเข้าใจถึงพอลิเมอร์ธรรมชาตินี้ ซึ่งมีเกิดการศึกษาวิจัยมากมายเพื่อหาวิธีใช้ประโยชน์จากสารเหล่านี้ไคติน-ไคโตซานเป็นที่รู้จักและทำการวิจัยอย่างแพร่หลายในประเทศและต่างประเทศมาเป็นเวลานานเช่น ในประเทศเนเธอร์แลนด์ สารไคติน-ไคโตซานได้ผ่านการขึ้นทะเบียนเป็น Food Processing Aids โดยคณะกรรมการอาหารและยา (Codex Committee on Food Additives and Contaminants) และนอกจากนี้ในประเทศญี่ปุ่นยังได้รับการยอมรับให้ใช้ผสมอาหารและยา

### 2.9.1 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

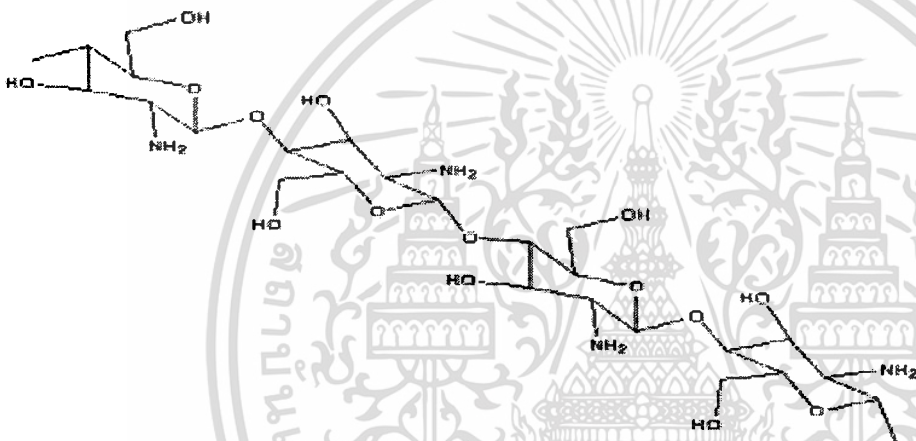
ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า Poly [ $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] คืออนุพันธ์ตัวหนึ่งของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยาการดึงส่วนที่เรียกว่า หมู่อะซิทิล (acetyl group) ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เรียกว่า ปฏิกิริยาคีอะซิทิลเลชัน (deacetylation) ของไคตินซึ่งถูกพบครั้งแรกโดย บังเอิญ ในปี ค.ศ. 1859 โดย Rought ได้ต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (Lieta.,1992) ทำให้จากเดิมที่เคยเป็น โมเลกุลเดี่ยวของไคตินที่เคยเป็น เอ็น - อะซิทิลกลูโคซามีน (N-acetyl-D-glucosamine) ถูกแปลงโฉมใหม่เหลือแค่ กลูโคซามีน (glucosamine) จากที่เคยเรียกว่าไคตินก็เลยเปลี่ยนชื่อเป็นไคโตซาน สูตรทางโมเลกุลคือ  $C_6H_{11}O_4N$

ไคติน (chitin) และไคโตซาน (chitosan) มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส ต่างกันตรงที่ไคตินจะมีหมู่อะเซตาไมด์และอะเซตามิโด (-NHCOCH<sub>3</sub>) แต่ไคโตซานจะมีหมู่เอมีน (amine group) แทนที่จะเป็นหมู่ไฮดรอกซิลที่ C-2 ของวงแหวนน้ำตาล (sugar ring) ตามปกติจะพบทั้งวงแหวนน้ำตาลของไคตินและไคโตซานในสายโซ่เดียวกัน

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้ไคตินเปลี่ยนไปเป็นไคโตซาน คือการลดลงของหมู่อะซิทิลหรือเรียกว่า Deacetylation ขณะที่มีการลดลงของหน่วยย่อย N-acetyl glucosamine ย่อมเป็นการเพิ่มขึ้นของ glucosamine ในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งคือการเปลี่ยนแปลงไคตินให้เป็นไคโตซานนั่นเอง การจัดระดับของการ Deacetylation มีค่าร้อยละหรือเรียกว่า Percent Deacetylation (% DD) กล่าวคือเมื่อในพอลิเมอร์มีค่าเกิน % DD เกินกว่า 60 % ขึ้นไป ของการกระจายไคโตซานในกรดอินทรีย์มากจะเพิ่มขึ้นของหมู่เอมีนของ glucosamine ทำให้มีความสามารถในการรับโปรตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสารละลายได้เพิ่มขึ้นซึ่งช่วยในการละลายดีขึ้น เพราะ มีสมบัติของประจุบวกเพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นไคโตซานจึงสามารถละลายได้ดีขึ้นในกรดต่างๆ เช่น กรดน้ำส้ม กรดแลคติก และกรดอินทรีย์ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว ไคโตซานจะไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกับเปลือกกุ้ง กระดองปู หรือเปลือกไม้ทั่วไป แต่ไคโตซานจะละลายได้ดีเมื่อใช้กรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย สารละลายของไคโตซานจะมีความข้นเหนียวแต่ใสคล้ายวุ้น หรือพลาสติกใส ยืดหยุ่น ได้เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่างๆ ได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าต้องการทำเป็นแผ่นหรือเยื่อบางๆ เป็นเจล หรือรูปร่างเป็นเม็ด เกลลี่ เส้นใย สารเคลือบและคอลลอยด์ เป็นต้น นอกจากนี้ไคโตซานยังย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เมื่อกินเข้าไปและไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเติมลงไปใต้น้ำหรือในดินเพื่อการเกษตร



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

ที่มา <http://www.psrc.usm.edu/macrog/sea/chitin.htm>

## 2.9.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไคติน-ไคโตซาน

### 2.9.2.1 ค่าที่บ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตซาน (Degree of deacetylation)

เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นโคโพลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ N - acetylglucosamine และ glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation ต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของ ไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของ โมโนเมอร์ที่สองมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation สูงจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซานในทางการค้านิยมเรียกว่า Percent Deacetylation (%DD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.2.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ionic strength ความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโพลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

### 2.9.2.3 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง  $1 \times 10^5$  ถึง  $1.2 \times 10^6$  ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต ในขณะที่ไคตินในธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า  $1 \times 10^6$

### 2.9.2.4 การละลาย (Solubility)

ไคโตซานสามารถละลายในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกันแต่ภายใต้การคนที่อุณหภูมิปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น ไคโตซานไม่ละลายน้ำ ค้างตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ไคโตซานมีความเหนียวใส มีพฤติกรรมแบบนอน-นิวโตเนียน (non-newtonian) ในสารละลาย หมูอะมิโนของไคโตซานจะแตกตัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pKa) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของโพลิเมอร์ โดย pKa ของไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 ถึง 6.8 ไคตินสามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เข้มข้น กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถันเข้มข้น กรดฟอสฟอริก ( 78-97% ) กรดฟอร์มิก ( anhydrous formic acid ) และ DMAc-LiCl ( N- Dimethylacetamide- Lithium chloride) ไคตินไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง ต่างทั้งเจือจางและเข้มข้น ความยากในการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่างๆ เป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กันอย่างหนาแน่นมีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน (หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะมิโน)

### 2.9.2.5 ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulating ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (flocculant and coagulating agent) ที่ดี เนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวก และจับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่น นอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (coordinate) กับหมู่อะมิโนได้และยังพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะมิโนในไคติน

ดังนั้นไคโตซานที่มี degree of deacetylation สูงจะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถการจับกับไอออนของโลหะของไคโตซานยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ความเป็นผลึก และความสามารถในการดึงดูน้ำของไคโตซาน

### 2.9.2.6 ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

ไคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ หมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2) หมู่ primary alcohol (-CH<sub>2</sub>OH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (C-6) และหมู่ secondary alcohol (-CHOH) ที่ คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) การปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (chemical modification) ของทั้งสามหมู่ฟังก์ชันนี้สามารถก่อให้เกิดวัสดุต่างๆ ในการใช้งานที่แตกต่างกันมากมาย

### 2.9.3 การผลิตไคตินและไคโตซาน

การผลิตไคตินและไคโตซานสามารถผลิตได้ด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพ โดยวิธีทางเคมีซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันมากในเชิงพาณิชย์ โดยนิยมใช้เปลือกกุ้ง กระจดองปูและแกนปลาหมึกซึ่งเป็น (by product) กากเหลือจากอุตสาหกรรมห้องเย็นเป็นส่วน

จากที่กล่าวมาเราสามารถสกัดไคตินและไคโตซานจากเปลือกของสัตว์ทะเล เช่น กุ้ง ปู และหมึก เป็นส่วนใหญ่ซึ่งในองค์ประกอบของเปลือกจะพบไคตินอยู่ในชั้นที่ปะปนกับชั้นเกลือแร่ พวกหินปูน (CaCO<sub>3</sub>) ซึ่งทำหน้าที่เป็น โครงสร้างที่แข็งแรงของเปลือกสัตว์ทะเล และในเปลือกยังมีโปรตีนและองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่าง คือ รงควัตถุ (pigment) สีแดงจำพวกแคโรทีน ได้แก่ Astaxanthin, Zeaxanthin นอกจากนี้ยังมีไขมัน และอื่นๆอีก กระบวนการผลิต ไคติน-ไคโตซานมี 3 ขั้นตอนหลักคือ

- 1) การกำจัด โปรตีน (deproteination)
- 2) การกำจัดเกลือแร่ (demineralization)
- 3) การกำจัดหรือ ลดหมู่อะซีทิล (deacetylation)

ขั้นตอนและกระบวนการผลิตไคติน-ไคโตซานจากเปลือกกุ้งทำโดยการใช้สารเคมีได้แก่ต่างและกรด โดยมีหลักการที่สำคัญคือ

2.9.3.1 กระบวนการกำจัด โปรตีน (deproteination) โดยการทำปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โซดาไฟ (NaOH) ความเข้มข้น 4-8 % มีอุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกไปจากวัตถุดิบพร้อมกันนี้บางส่วนของไขมันและรงควัตถุบางชนิดมีโอกาสดูกขจัดออกไปด้วย การพิจารณาใช้กระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้

2.9.3.2 กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (demineralization) โดยการนำวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัด โปรตีนมาแล้วมาทำปฏิกิริยากับกรดซึ่งส่วนมากใช้กรดเกลือ (HCL) ความเข้มข้น 4-8 % ที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (calcium carbonate, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\text{CaCO}_3$ ) ซึ่งจะถูกกำจัดออกไปโดยเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไปเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide,  $\text{CO}_2$ ) พร้อมกันนี้บางส่วนของรงควัตถุและโปรตีนที่ละลายได้ในกรดจะถูกกำจัดออกไป ส่วนวัสดุที่ได้หลังจากกระบวนการกำจัดเกลือแร่ก็คือ ไคติน(chitin)

โดยทั่วไปแล้วยังสถานะที่ใช้ในการกำจัดเกลือแร่และโปรตีนไม่รุนแรงเท่าใด น้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตซานที่ได้ก็ยังคงสูงเท่า นั้น แต่อย่างไรก็ตามสถานะที่ใช้อ่อนเกินไป จะมีผลให้การกำจัดเกลือแร่และโปรตีนในวัตถุดิบไม่สมบูรณ์

2.9.3.3 กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีติล (deacetylation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดหมู่อะซีติล ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) ที่มีอยู่บนโมเลกุลของไคติน เพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน(chitosan) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่อะมิโน ( $-\text{NH}_2$ ) บนโมเลกุลของไคตินและหมู่อะมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลายซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้น เพราะมีสมบัติเป็นประจุบวก (Cation) ส่วนใหญ่เมื่อปริมาณของหมู่อะซีติล ถูกกำจัดไปมากกว่า 60% ขึ้นไป สารไคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด การลดหมู่อะซีติลกระทำโดยใช้ด่างที่เข้มข้นสูงตั้งแต่ 40% ขึ้นไป ดังนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาสารไคโตซานก็คือค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล(degree of deacetylation , %DD)

ไคโตซานได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล (deacetylation) ของไคตินซึ่งก็คือ พอลิเมอร์ของ(1-4)-2 amino-2 deoxy- b – D-glucan หรือเรียกง่าย ๆ ว่าพอลิเมอร์ของ (glucosamine) การเกิดไคโตซานนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่ อะซีติล (deacetylation) ซึ่งวัดจากค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (degree of deacetylation) การทำปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล คิดเป็นหน่วยร้อยละ (percentage of degree of deacetylation , %DD) กล่าวคือถ้า %DD เกินกว่า 50% ขึ้นไปแล้วสามารถใช้พอลิเมอร์นั้นทำให้เกิดอนุพันธ์ที่ละลายในกรดอินทรีย์ได้

## 2.9.4 รูปแบบของไคโตซานที่ผลิต ขึ้นมาจำหน่ายในขณะนี้ มี 4 รูปแบบ ได้แก่

2.9.4.1 ไคโตซานที่เป็นเกล็ดหรือแผ่นบางเล็กๆ (flake)

2.9.4.2 ไคโตซานที่เป็นผงละเอียดคล้ายแป้ง (micromilled powder)

2.9.4.3 ไคโตซานในรูปแบบสารละลายเป็นของเหลวหนืด (solutions) ซึ่งความเข้มข้น

อาจจะแตกต่างกันไปตาม ความต้องการของผู้สั่งซื้อ

2.9.4.4 ไคโตซานที่อยู่ในรูปเม็ดจิ๋วขนาดประมาณ 300-500 ไมโครเมตร (bead)

โดยปกติแล้ว ไคติน และ ไคโตซานมีสมบัติที่คล้ายคลึงกัน แต่การนำไคตินไปใช้ประโยชน์ น้อยมาก เนื่องจากข้อจำกัดของตัวมันเองคือการที่ไคตินไม่สามารถละลายในตัวละลายในสารละลายต่างๆ ได้ เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นผลึก แม้ว่าจะมีนักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองหา ระบบของตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการละลายได้แล้วก็ตามแต่ก็ไม่สามารถใช้ในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นความสนใจที่จะนำไคตินไปใช้ประโยชน์มีน้อยมาก เมื่อเทียบกับไคโตซานที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายกรดเจือจาง ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไคโตซานเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.5 การใช้ประโยชน์จากไคติน-ไคโตซาน ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต

จากการทดลองพบว่า ไคโตซาน เป็นสารละลายที่สามารถจับตัวเป็นไฟเบอร์หรือเป็นเยื่อบาง มีประจุบวกที่สามารถเคลือบติดกับผิวของเปลือกได้ มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้หลายชนิด และสามารถป้องกันการระเหยของน้ำทำให้ผิวของผัก ผลไม้ชุ่มชื้น และยังสามารถป้องกันการทำปฏิกิริยาที่เรียกกันว่า การเติมออกซิเจนจากอากาศที่เรียกสารเคมีตัวนี้ว่า ออกซิเจน และลดอัตราการหายใจของพืช ลดอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน ป้องกันแบคทีเรีย และลดอัตราการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ ป้องกันการไหลออกของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ดังนั้นจึงมีการนำไคโตซานมาใช้ในการเคลือบผลผลิตทางการเกษตรซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่ายาฆ่าเชื้อราบางชนิด และยังปลอดภัยมากกว่า จึงได้มีการใช้ไคโตซานในการเก็บรักษา ยืดอายุของส้มในเวียดนาม เนื่องจากวิธีการเก็บรักษาผลผลิตสมัยใหม่มีราคาแพง และการใช้สารเคมีที่ตกค้างอาจมีอันตรายต่อผู้บริโภคได้ การใช้ไคโตซานจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่ดี เนื่องจากเป็นสารธรรมชาติ และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

การวิจัย การยืดอายุมังคุดหลังเก็บเกี่ยวด้วย “ไคโตซาน” สดมีอายุนานกว่าเดิม 3 เท่ามังคุดสดมีการเน่าเสียและมีอายุการวางขายในตลาดสั้น โดยเฉลี่ย เพียง 5-6 วัน นั้นเป็นตัวเลขสำคัญที่ทำให้คุณภาพของมังคุดต่ำลง ทางกรมประมงได้มีการค้นพบวิธีการยืดอายุความสดของมังคุดจากไคโตซานสามารถยืดอายุผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลไม้ โดยเฉพาะมังคุด เพราะไคโตซานสามารถยืดอายุความสดของมังคุดจาก 10 วัน เป็น 30 วัน และมังคุดเป็นผลไม้ไทยที่ตลาดต่างประเทศต้องการ การยืดอายุความสดของผลไม้ด้วยไคโตซานไม่มีอันตรายเพราะผลิตจากธรรมชาติ (ดร.อติยา กังสุวรรณ , 2541 )

การศึกษาผลของสารเคลือบผิวที่เป็นอิมัลชันและไคโตแซนต่อคุณภาพของผลสาลี่ พันธุ์ Yokoyama Wase โดยอิมัลชันซึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำมันปาล์มและน้ำในอัตราส่วน 1:0, 1:4, 1:9 และ 1:19 และไคโตแซน 0.5, 1, 1.5 และ 2 % ผลปรากฏว่า การเคลือบผิวด้วยสารอิมัลชันในทุกความเข้มข้นทำให้ผลสาลี่มีอายุการเก็บรักษาสั้นลงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในขณะที่การเคลือบผิวด้วยไคโตแซนให้ผลไม่แตกต่างไปจากการไม่เคลือบผิว สารเคลือบผิวมีผลกระทบต่อคุณภาพน้อยมากเมื่อเคลือบผิวผลสาลี่ด้วยไคโตแซน 1% ห่อผลด้วยพลาสติก PVC และเคลือบผิวด้วยไคโตแซน 1 % แล้วห่อผลด้วย PVC แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 17 และ 25 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตแซน 1% ทำให้ผลสาลี่มีอายุการเก็บรักษาสั้นลงผลสาลี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษายาวที่สุด (คณัย บุญเกียรติ และ เสาวคนธ์ นุสดี , 2541 )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### วัตถุดิบ , สารเคมี , อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง

##### 3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ผักคะน้า (จากตลาดหัวตะเข้ ช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน)

##### 3.2 สารเคมี

3.2.1 chitosan 98.09%DD (จาก TAMING ENTERPRISES.CO.,LTD)

3.2.2 acetic acid 1 % (จาก LAB-Scan ANALYTICAL SCIENCES)

3.2.3 glycerol (จาก CARLO ERBAREAGENT)

3.2.4 Tween 80 (จาก APS Finechem)

##### 3.3 อุปกรณ์

3.3.1 ห้องเย็น ( อุณหภูมิ 4 และ 13 องศาเซลเซียส )

3.3.2 เครื่องวัดสี (hunter color system) ยี่ห้อ MINOLTA รุ่น CR-300

##### 3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรและโรงแปรรูปอาหาร 1 โครงการคณะ  
อุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

##### 3.5 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.5.1 การทดลองเพื่อหาชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซเซอร์ (plasticizer) ที่เหมาะสม  
จากการศึกษาเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโคโตซานโดยใช้การทดลอง  
เพื่อหาชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซเซอร์ (plasticizer) โดยทำการเปรียบเทียบการใช้ กลีเซอรอล  
กับ CMC พบว่าการใช้กลีเซอรอลเหมาะสมกว่าเนื่องจาก CMC ละลายได้ยากและปริมาณของ  
กลีเซอรอลที่เหมาะสมคือร้อยละ 2.5 ของสารละลายทั้งหมด

3.5.2 การทดลองเพื่อหาปริมาณของ สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ที่เหมาะสม  
จากการศึกษาเบื้องต้นในการใช้สาร Tween 20 และ Tween 80 เปรียบเทียบกันพบว่าสาร  
Tween 80 มีความเหมาะสมกว่า Tween 20 เนื่องจาก Tween 20 จะทำให้สารละลายที่เตรียมได้เกิด  
ฟองในปริมาณมากและ พบว่าปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ Tween 80 คือร้อยละ 0.6 ของ  
สารละลายทั้งหมด หากใช้ Tween 80 ปริมาณมากกว่า ร้อยละ 0.6 จะทำให้ฟิล์มแห้งช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายฟิล์มโคโตซาน

เตรียมกรดอะซิติกเข้มข้น 1 % จำนวน 100 ml และนำโคโตซาน 98.09%DD จำนวน 1 กรัมมาละลายในกรดอะซิติก แล้วนำสารละลายไปกวนโดยใช้เครื่อง machnetic stirrer ระหว่างที่กวน ค่อยๆเติมกลีเซอรอลจำนวน 2.5 ml และ Tween 80 จำนวน 0.6 ml กวนสารละลายให้ทั่วถึง รวมเวลาทั้งสิ้น 5 นาที นำสารละลายที่ได้ที่ได้ไปเจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้นที่ 0.1, 0.4, 0.6 และ 1% (น้ำหนัก ต่อ ปริมาตร)

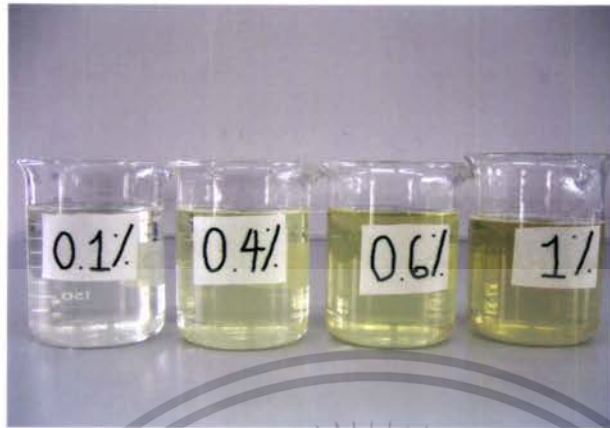
### 3.5.4 ขั้นตอนการคัดเลือกขนาดและการเคลือบฝักคะน้า

ในการทดลองได้ควบคุมขนาดของฝักคะน้าโดย กำหนดขนาดของคะน้าที่ 8 x 15 นิ้ว จากนั้น นำฝักคะน้ามาเคลือบสารละลายในแต่ละความเข้มข้นต่างๆกัน ปล่อยให้ฝักคะน้าให้แห้งโดยการใช้พัดลมเป่าที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำฝักคะน้าที่เคลือบแล้วมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ขนาด 12 x 18 นิ้ว ซึ่งเจาะรูเป็นรูสี่เหลี่ยมขนาด 1 x 1 นิ้ว จำนวน 8 รู ก่อนจะนำมาเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 และ 13 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 การผสมสารละลายฟิล์มโคโตซาน โดยใช้เครื่อง machnetic stirrer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 สารละลายฟิล์มโกลโคซานที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพที่ 4 การคัดเลือกผักคะน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 การเก็บรักษาผักคะน้าในห้องเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 การใช้เครื่องอัลตราซาวด์ล้างผักคะน้า

### 3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ฟิล์มรับประทานได้จากโคโคซานจากสูตรที่เหมาะสม จึง ได้ออกแบบการทดลองเป็นการ  
 วัตถุประสงค์การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial experiment) 5 x 2 ใน CRD โดยปัจจัยที่ศึกษามี 2  
 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 : ความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มโคโคซาน ที่ร้อยละ 0 , 0.1 , 0.4 , 0.6 และ 1

ปัจจัยที่ 2 : อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส และ 13 องศาเซลเซียส

นำข้อมูลค่าการวัดสี ( ค่า a และ ค่า b ) และ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ( % weight loss) มาทำ  
 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย  
 ทั้งสองที่มีต่อสีและน้ำหนักที่หายไปของผักคะน้าที่เคลือบด้วยฟิล์มรับประทานได้และไม่เคลือบ  
 ฟิล์ม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) , สีเหลือง ( $\Delta b$ ) และ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ทูกระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์มโคโตะซาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส

จากการทดลอง การเคลือบผักคะน้าที่ระดับความเข้มข้นต่างๆของสารละลายฟิล์มโคโตะซาน พบว่า ค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) อยู่ในช่วง -15 ถึง -17 ค่าความแตกต่างของสีเหลือง( $\Delta b$ ) อยู่ในช่วง 22-23 และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ที่ 5 ซึ่งทั้ง 3 ค่าที่กล่าวข้างต้น จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะที่ไม่ยอมรับของผักคะน้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์มโคโตนาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บ รักษา	ระดับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มโคโตนาน(น้ำหนัก/ปริมาตร)				
	Blank	0.1%	0.4%	0.6%	1%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.05	0.09	0.68	-0.16	-0.16
2	0.27	0.06	0.13	0.15	-0.11
3	0.20	-0.25	0.18	-0.25	-0.68
4	-0.19	-0.38	0.00	-0.81	-0.58
5	-0.04	-0.33	-0.48	-0.79	-0.85
6	-0.15	-1.16	-0.79	-0.61	-0.38
7	0.12	-0.78	-0.36	-0.28	-0.05
8	0.15	-1.12	-0.22	0.47	0.48
9	-0.08	-1.35	-0.31	0.49	0.90
10	-0.12	-0.56	-0.32	0.88	1.24
11	-0.22	-0.61	-0.29	0.87	1.80
12	0.42	-0.48	-0.19	1.24	2.24
13	1.20	-0.23	0.10	1.53	2.43
14	1.45	-0.05	0.05	1.79	2.68
15	1.64	0.35	0.27	2.05	2.86
16	1.84	0.71	0.47	3.11	3.28
17	1.94	0.89	0.77	3.32	3.74
18	2.33	1.04	0.94	3.50	4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ค่าความแตกต่างของสีเหลือง ( $\Delta b$ ) ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์มโคโตนาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส

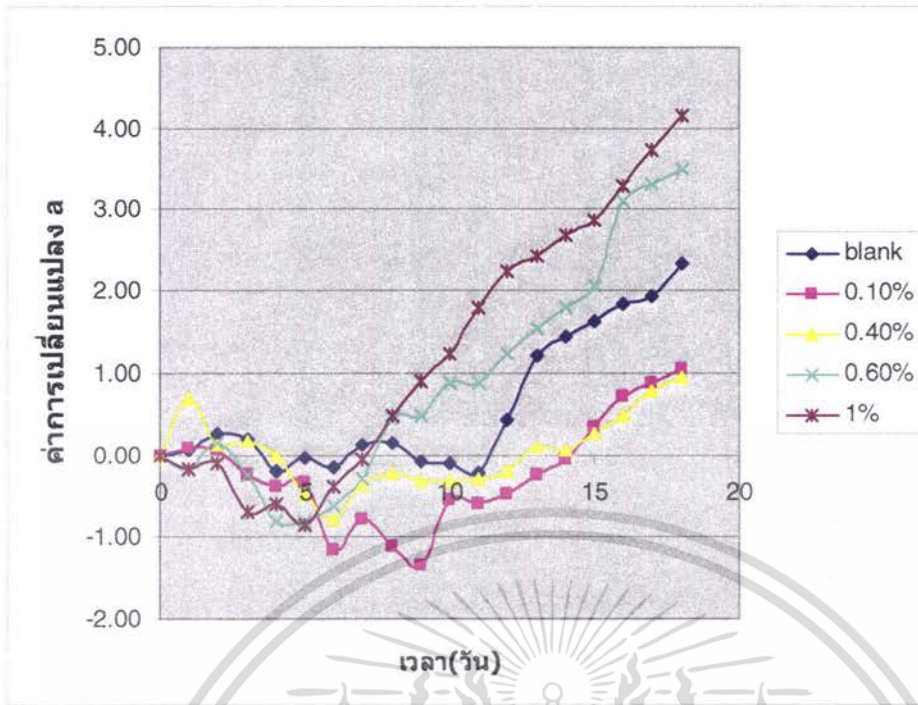
วันที่เก็บ รักษา	ระดับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มโคโตนาน(น้ำหนัก/ปริมาตร)				
	Blank	10%	40%	60%	100%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.47	-0.34	0.07	-0.15	1.22
2	0.84	0.57	-0.34	0.12	0.83
3	1.07	0.07	-0.35	0.22	1.20
4	2.37	0.55	-0.13	0.91	2.12
5	3.45	0.87	-0.01	1.74	3.06
6	4.59	2.46	0.07	3.77	3.73
7	5.36	3.71	0.25	4.44	3.97
8	5.30	4.38	0.64	5.99	5.18
9	6.13	4.77	0.69	7.37	8.73
10	8.15	4.58	0.68	8.41	12.91
11	9.60	5.64	1.12	9.43	13.84
12	11.15	6.72	2.03	9.92	15.73
13	12.84	6.74	2.15	11.21	16.76
14	14.83	6.94	2.62	12.28	18.15
15	17.62	7.15	3.56	14.33	20.16
16	20.34	7.77	3.71	15.21	22.08
17	22.52	8.96	4.35	16.81	22.17
18	23.70	9.28	5.47	19.14	22.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

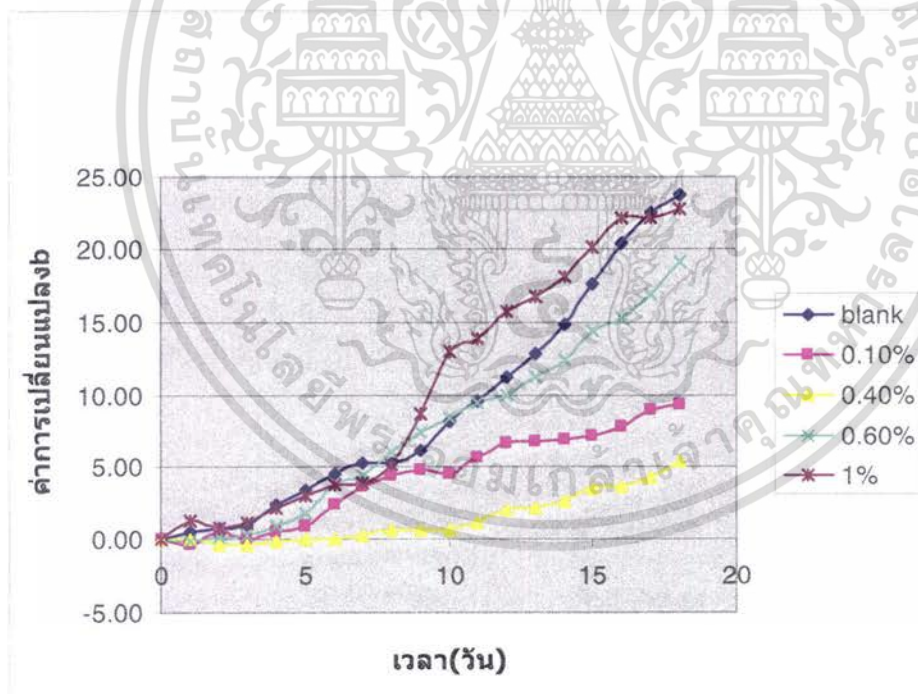
ตารางที่ 10 ค่าความแตกต่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ของในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์มไคโตซาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	ระดับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มไคโตซาน(น้ำหนัก/ปริมาตร)				
	Blank	0.1%	0.4%	0.6%	1.0%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.08	1.13	1.34	1.35	2.57
2	1.44	1.87	1.87	2.71	4.33
3	2.19	2.53	2.45	2.90	5.75
4	2.76	3.47	3.30	3.71	8.26
5	3.72	4.19	3.56	3.96	6.84
6	4.64	5.22	4.06	4.30	7.23
7	5.34	5.46	4.04	4.40	7.35
8	5.32	5.94	4.28	4.98	9.16
9	5.78	6.05	4.18	5.05	8.80
10	6.26	6.62	4.83	5.61	9.88
11	6.71	6.81	4.91	5.78	9.91
12	7.31	7.19	4.99	5.94	10.74
13	7.76	7.32	5.11	5.99	11.05
14	8.49	7.69	5.59	6.29	12.41
15	8.75	8.35	6.01	6.70	12.04
16	9.53	9.23	6.49	8.21	13.81
17	10.07	9.45	7.39	8.97	13.85
18	10.68	8.50	7.91	10.03	14.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

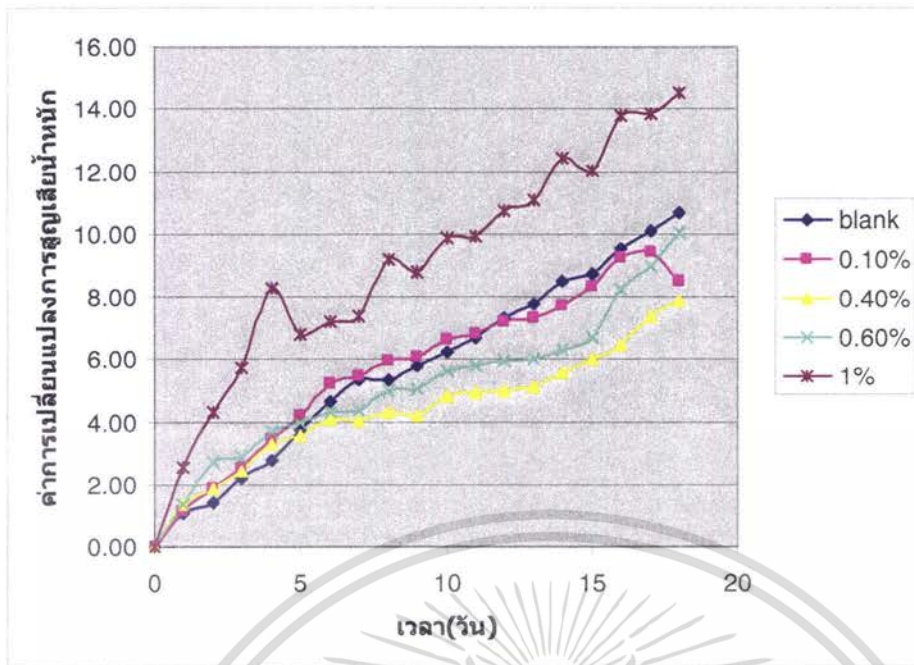


ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง a กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 4°C)



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง b กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 4°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก กับวัน (ที่อุณหภูมิ 4°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) , สีเหลือง ( $\Delta b$ ) และ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ทุกระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์มโคโตซาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 13 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 11 ค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์มโคโตซาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 13 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	ระดับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มโคโตซาน(น้ำหนัก/ปริมาตร)				
	Blank	0.1%	0.4%	0.6%	1.0%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	-1.58	0.01	-0.27	-0.15	-0.96
2	-0.25	-0.53	-0.64	-0.57	-1.02
3	-0.39	-0.39	-0.73	-0.79	-0.31
4	0.14	-0.23	-1.34	-0.22	0.13
5	1.04	0.05	-1.05	0.42	1.32
6	1.22	0.48	-0.50	1.08	2.15
7	2.54	2.20	-0.27	1.74	4.47
8	4.62	2.89	1.01	2.78	6.97
9	6.96	5.01	2.50	4.15	7.76
10	6.65	6.47	2.70	5.40	9.48
11	8.22	7.67	2.89	6.70	9.47
12	9.27	9.32	4.95	7.29	10.82
13	11.28	8.86	6.95	8.45	12.04
14	11.72	9.77	7.80	9.07	12.84
15	12.29	10.22	9.43	10.63	12.92
16	13.23	12.26	8.75	12.53	14.06
17	13.50	12.83	10.11	13.14	14.29
18	13.85	12.90	10.14	13.80	14.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ค่าความแตกต่างของสีเหลือง ( $\Delta b$ ) ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์มโคโตซาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 13 องศาเซลเซียส

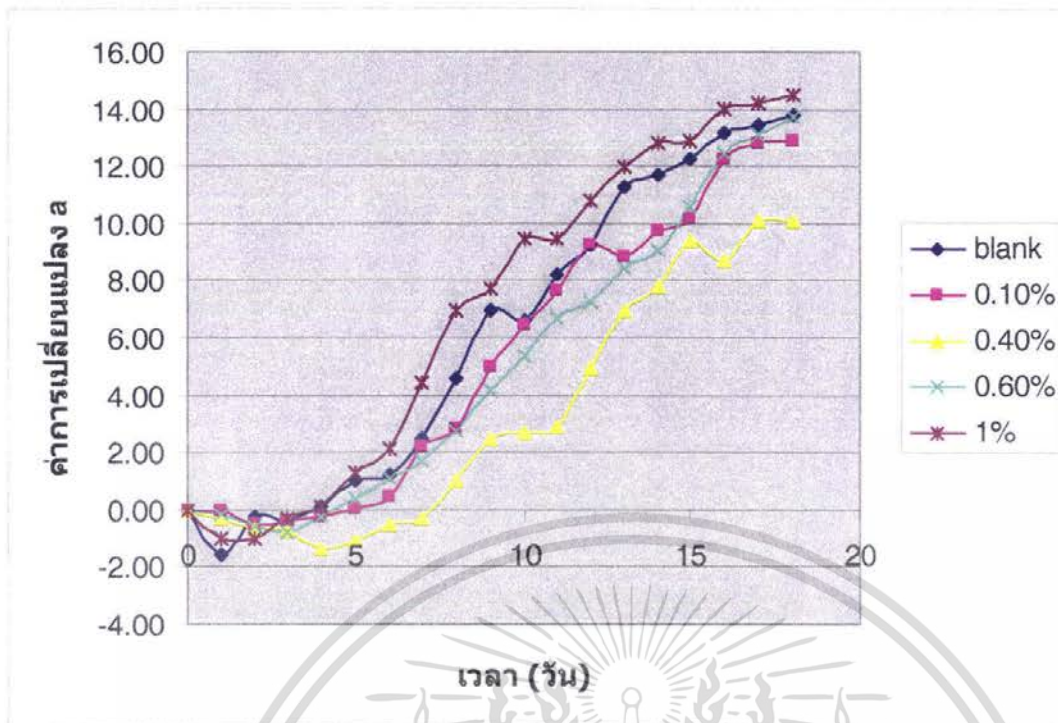
วันที่เก็บรักษา	ระดับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มโคโตซาน(น้ำหนัก/ปริมาตร)				
	Blank	0.1%	0.4%	0.6%	1.0%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.75	0.45	1.45	0.68	1.82
2	1.85	1.75	1.58	3.12	4.62
3	3.73	2.16	2.67	4.73	6.40
4	4.96	3.63	3.26	6.10	6.89
5	5.10	5.48	4.72	7.62	6.98
6	6.99	7.00	5.66	9.99	8.65
7	13.57	9.95	6.26	13.09	8.96
8	23.84	13.75	7.86	15.96	10.58
9	25.16	18.01	9.90	17.17	11.27
10	27.43	20.05	12.84	18.67	17.56
11	27.88	23.17	16.00	20.29	21.90
12	28.91	23.54	17.84	23.64	23.70
13	29.77	24.68	20.15	23.26	25.74
14	31.24	25.25	22.68	25.96	28.86
15	30.98	26.13	25.00	28.29	30.96
16	32.91	26.52	26.27	29.08	34.14
17	33.89	26.89	27.76	31.03	36.85
18	34.08	28.08	27.59	35.08	38.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

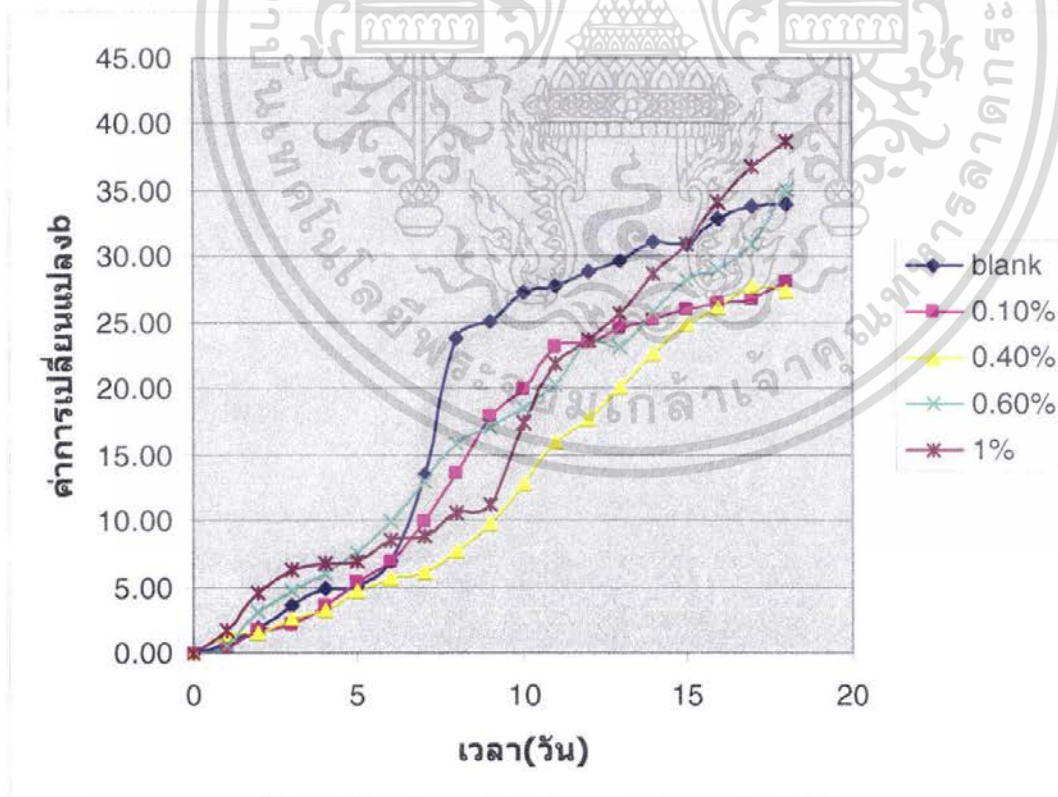
ตารางที่ 13 ค่าความแตกต่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก(% weight loss) ของในแต่ละระดับความเข้มข้นสารละลายฟิล์มโคโตนาน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 13 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	ระดับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มโคโตนาน(น้ำหนัก/ปริมาตร)				
	Blank	0.1%	0.4%	0.6%	1.0%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.22	0.58	1.11	1.80	1.84
2	2.64	1.62	2.53	2.84	3.23
3	3.34	2.52	3.44	4.22	3.83
4	4.40	3.66	4.46	4.96	4.55
5	5.90	4.90	5.04	5.55	5.08
6	7.50	6.26	6.40	6.90	6.56
7	8.69	6.78	7.04	8.25	6.94
8	9.76	7.52	8.09	9.20	8.20
9	11.63	9.33	10.14	11.50	9.94
10	13.50	10.83	11.16	13.33	10.86
11	13.91	11.86	12.12	13.65	12.03
12	14.67	12.60	12.87	14.08	12.67
13	14.97	13.00	13.43	14.35	13.19
14	15.69	14.10	15.29	15.71	14.32
15	18.72	18.61	17.49	18.00	18.69
16	20.08	19.02	19.71	19.56	19.69
17	22.14	22.17	21.53	21.07	22.39
18	24.14	24.57	23.15	22.28	24.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

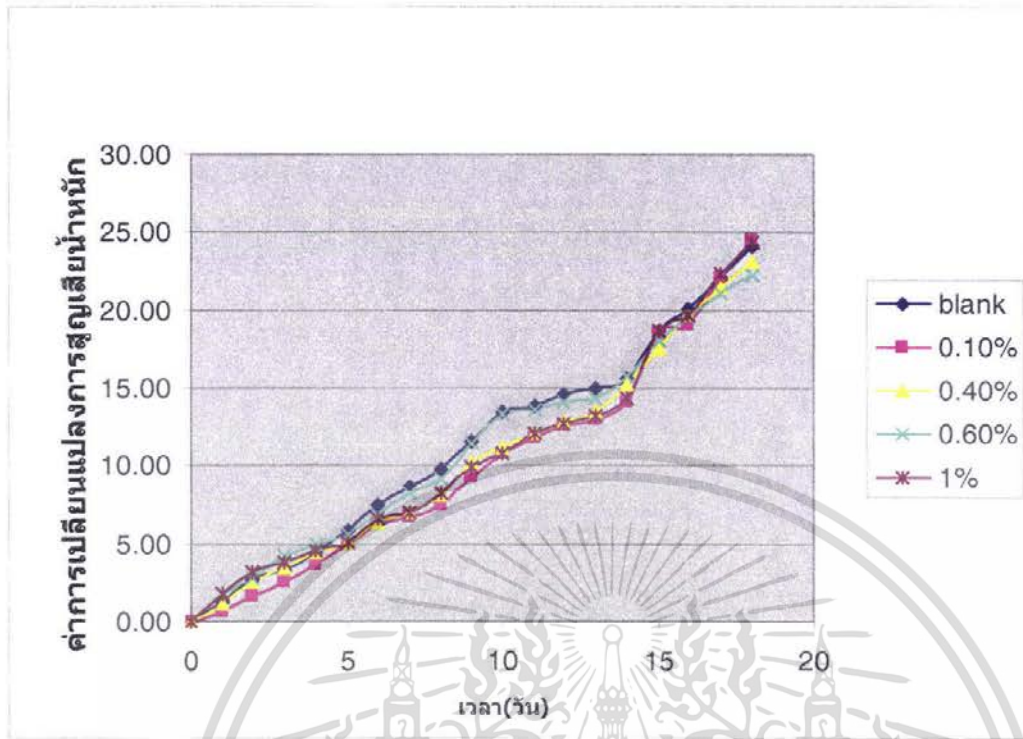


ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง a กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 13°C)



ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง b กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 13°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก กับ วัน (ที่อุณหภูมิ 13°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสที่ไม่เคลือบฟิล์มเมื่ออายุการเก็บรักษา 7 วัน



ภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสซึ่งฟิล์มมีความเข้มข้น 0.1% เมื่ออายุการเก็บรักษา 8 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสซึ่งฟิล์มมีความเข้มข้น 0.4% เมื่ออายุการเก็บรักษา 15 วัน



ภาพที่ 17 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสซึ่งฟิล์มมีความเข้มข้น 0.6% เมื่ออายุการเก็บรักษา 6 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสซึ่งฟิล์มมีความเข้มข้น 1 % เมื่ออายุการเก็บรักษา 6 วัน



ภาพที่ 19 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสที่ไม่เคลือบฟิล์มเมื่ออายุการเก็บรักษา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 20 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสซึ่งฟิล์มมีความเข้มข้น 0.1% เมื่ออายุการเก็บรักษา 15 วัน



ภาพที่ 21 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสซึ่งฟิล์มมีความเข้มข้น 0.4 % เมื่ออายุการเก็บรักษา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 22 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสซึ่งฟิล์มมีความเข้มข้น 0.6% เมื่ออายุการเก็บรักษา 3 วัน



ภาพที่ 23 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของผักคะน้าที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสซึ่งฟิล์มมีความเข้มข้น 1% เมื่ออายุการเก็บรักษา 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

ฟิล์มรับประทานได้ที่ผลิตจากโคโตะซานที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ เตรียมได้จากโคโตะซาน 1 กรัม โดยใช้กรดอะซิติคเข้มข้น 1% ในการละลายโคโตะซาน ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ในปริมาณร้อยละ 2.5 ของสารละลายทั้งหมด และใช้สาร Tween 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว ในปริมาณร้อยละ 0.6 ของสารละลายทั้งหมด โดยปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตร จากการทดลองพบว่าการเก็บผักคะน้าที่เคลือบด้วยสารละลายโคโตะซาน 0.4% (น้ำหนัก ต่อ ปริมาตร) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนสีได้เมื่อเทียบกับผักคะน้าที่ไม่เคลือบฟิล์ม จาก 7 วัน ไปเป็น 15 วันและการใช้อุณหภูมิที่เก็บรักษาสูงกว่า 4 องศาเซลเซียส จะเร่งการเปลี่ยนสี จากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองเร็วขึ้น โดยพิจารณาจากค่า  $\Delta a$  (ค่า  $\Delta a$  อยู่ในช่วง -15 ถึง -17) และ  $\Delta b$  (ค่า  $\Delta b$  อยู่ในช่วง 22 ถึง 23) และการเก็บรักษาผักคะน้าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%weight loss) จะสูญเสียน้อย จนกระทั่งค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่ 5 จะทำให้ใบคะน้าเริ่มเหี่ยว

สรุปได้ว่า ผักคะน้าที่เคลือบฟิล์มโคโตะซานที่ความเข้มข้นสารละลายฟิล์มโคโตะซาน 0.4 % (น้ำหนัก ต่อ ปริมาตร) ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส จะมีอายุการเก็บรักษานานกว่า ผักคะน้าที่เคลือบด้วยฟิล์มโคโตะซานที่ความเข้มข้นสารละลายในทุกความเข้มข้นและที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส และ 13 องศาเซลเซียส

## เอกสารอ้างอิง

- จารุณี ยาห้องภาส .2544 . "ฟิล์มที่รับประทาน ได้จากเพกตินและแป้ง." ในรายงานการสัมมนา  
ระดับปริญญาโท ,4-13.กรุงเทพมหานคร:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด  
กระบัง.
- คณัฏ บุญยเกียรติ และ เสาวคนธ์ นุสดี . 2541. "ผลของสารเคลือบผิวด้วยอิมัลชันและไคโตแซนต่อ  
คุณภาพหลังการเก็บของผลสาลี่. "งานวิจัยทั่วไป,มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- พนอจิต รัชฎมวงคณพงศ์. 2531. "การแยกส่วนอะมัยโลสจากแป้งข้าวเจ้า."วิทยานิพนธ์  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร,บัณฑิตวิทยาลัย,มหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์
- มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2534. "การเตรียมฟิล์มอะไมโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว."  
"วิทยานิพนธ์วิทยาศาสต์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร,บัณฑิตวิทยาลัย  
, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เมืองทอง ทวนทวี.2532 "คะน้ำจิ้น. "หนังสือสวนผัก,พิมพ์ครั้งที่2:หน้าที่ 264-268
- อริยา กังสุวรรณ .1998. "ไคติน :ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับศตวรรษที่ 21. "วารสารการประมง  
ปีที่ 51 ฉบับที่ 1:หน้า 57 – 67
- อภิสิทธิ์ อิศรียานุกุล .2529. "คุณค่าทางโภชนาการของผักคะน้ำ." คู่มือการปลูกผักสวนครัวเพื่อ  
เศรษฐกิจและโภชนาการ: หน้า 82-85
- Benker, G.S, 1966."Film coating theory and practice." **J.Pharm.Sci.** 55 (1) : 81-89.
- Gennadios, A. and C. Weller. 1990. "Edible film and coating from wheat and protein."  
**Food Technol.**, 44 (10) : 63.
- Gennadios , N., S. Guilbert and J. Cuq. 1993. "Water and glycerol as plasticizers affect  
mechanical and water vapor barrier properties of and edible wheat gluten film."  
**J. Food. Sci.** 58 (1) : 206-211
- Gontard, N., S. Guilbert and J. L. Cuq. 1993. "Water and glycerol as plasticizers affect  
mechanical and water vapor barrier properties of and edible wheat gluten film."  
**J. Food. Sci.** 55 (1) : 206-211
- Kester, J. J. and O. K. Fennema. 1986. "Edible film and coating :a review." **Food Technol.**  
**Dec.** : 47-59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- McHugh, T. H. and J. M. Krochta. 1994. "Permeability properties of edible films.", pp.139-187. In J. M. Krochta, E. A. Baldwin and M.O. Nisperos-Carriedo(eds.).**Edible Coating and Film to Improve Food Quality**. Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster.
- Mumma, C. E. 1967."Development of extruded amylase packaging film."**Cereal Sci. Today**. 12 (1) : 4.
- M.Tanaka,S.Ishizaki,T.Suzuki and R.Takai .2001."Water Vapor Permability of Edible Films Prepared from Fish Water Soluble Protiens as Affected by Lipid Type".**Journal of Tokyo University of Fisheries:87:31-37**.
- Wimolrat Cheappimolchai and A. Noomhorm. 1994."Isolate protein from mungbean vermicelli waste for edible film production. Master'thesis. Asian Institute of Technology Bangkok, Thailand.
- Zivanovic , R. Mount , A.Craughon and E.Sams. 2003. "Edible chitosan coatings as novel effective biopesticide"<http://www.128.192.110.100/SRSFCReserchFunding/Reserch03/LamaReport03.pdf>
- <http://www.phtnet.org>
- <http://www.psrc.usm.edu/macrog/sea/chitin.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

การปรับอัตราส่วนของส่วนผสมในการเตรียมสารละลายฟิล์มรับประทานได้ที่ผลิตจากไคโตซาน

## 1. ตัวอย่างการเตรียมสารละลาย

ยกตัวอย่างการเตรียมสารละลายฟิล์มไคโตซานเข้มข้น 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) เตรียมได้จาก  
ไคโตซานชนิดผง 1 กรัม

กลีเซอรอล 2.5 มิลลิลิตร

Tween 80 0.6 มิลลิลิตร

ปรับปริมาตรของผสมทั้งหมดให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 1 %

## 2. ตัวอย่างการเจือจาง

โดยใช้สูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$N_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (g/ml)

$N_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายสุดท้าย (g/ml)

$V_1$  = ปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น (ml)

$V_2$  = ปริมาตรของสารละลายสุดท้าย (ml)

ยกตัวอย่างการเจือจางสารละลายฟิล์มไคโตซานเข้มข้น 1% ให้เป็นสารละลายฟิล์มไคโตซาน  
เข้มข้น 0.4%

จากสูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$1 \times V_1 = 0.4 \times 100$$

$$V_1 = 40$$

ดังนั้นจึงสามารถเตรียมสารละลายดังกล่าวได้โดย การนำสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% มา  
40 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งมีปริมาตรสารละลายรวมเป็น 100 มิลลิลิตร  
ก็จะได้สารละลายไคโตซานเข้มข้น 0.4 %

### ภาคผนวก ข

วิธีคำนวณหาค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ ) สีเหลือง ( $\Delta b$ ) และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss)

#### 1. การคำนวณหาค่าความแตกต่างของสี

ค่าความแตกต่างของสีเขียว( $\Delta a$ )

$$\Delta a = a - a_r ; a_r \text{ คือ ค่า } a \text{ ที่วัดก่อนการเคลือบ (ค่า } a \text{ วันที่ 0)}$$

ค่าความแตกต่างของสีเหลือง ( $\Delta b$ )

$$\Delta b = b - b_r ; b_r \text{ คือ ค่า } b \text{ ที่วัดก่อนการเคลือบ (ค่า } b \text{ วันที่ 0)}$$

#### 2. การคำนวณค่าร้อยละการสูญเสีย (% weight loss)

$$\% \text{ weight loss} = \frac{\text{น้ำหนักผักคะน้าก่อนการเคลือบ} - \text{น้ำหนักผักคะน้าของวันที่ตรวจสอบ}}{\text{น้ำหนักผักคะน้าก่อนการเคลือบ}} \times 100$$



## ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล

## 1. ค่า a

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า a ที่วัดได้จากผักคะน้าที่ผ่านการเคลือบสารละลายฟิล์มไคโตซานในทุกความเข้มข้น ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 และ 13 องศาเซลเซียส

Source of variation	df.	SS	MS	F- ratio
Treatment	9	3139.285	348.809	25.197
Temperature	1	2765.072	2765.072	199.741*
Concentration	4	331.029	82.757	5.978*
Tenp*Conc	4	43.184	10.796	0.780
Error	370	5122.016	13.843	
Total	380	67358.876		

จากตาราง ANOVA สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ว่า ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มไคโตซาน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ ค่า interaction ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มไคโตซาน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 2. ค่า b

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า b ที่วัดได้จากผกคะน้ำที่ผ่านการเคลือบสารละลายฟิล์มโคโตนานในทุกความเข้มข้น ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 และ 13 องศาเซลเซียส

Source of variation	df.	SS	MS	F- ratio
Treatment	9	10921.329	1213.481	14.690
Temperature	1	8018.551	8018.551	97.073*
Concentration	4	2630.259	657.565	7.96*
Tenp*Conc	4	272.518	68.129	0.825
Error	370	30563.284	82.603	
Total	380	359428.791		

จากตาราง ANOVA สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ว่า ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มโคโตนาน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ ค่า interaction ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มโคโตนาน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 3. ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss)

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss) ที่วัดได้จากผักคะน้าที่ผ่านการเคลือบสารละลายฟิล์มไคโตซานในทุกความเข้มข้น ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 และ 13 องศาเซลเซียส

Source of variation	df.	SS	MS	F- ratio
Treatment	9	2525.023	280.558	9.337
Temperature	1	2033.127	2033.127	67.665*
Concentration	4	238.488	59.622	1.984
Temp*Conc	4	253.408	63.352	2.108
Error	370	11117.321	30.047	
Total	380	39504.939		

จากตาราง ANOVA สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ว่า ผลของอุณหภูมิมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มไคโตซาน และ ค่า interaction ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของสารละลายฟิล์มไคโตซาน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวศศิภาณูญ์ กองหาโคตร เกิดวันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียน  
ขอนแก่นวิทยายน เมื่อปี พ.ศ. 2543 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต ณ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ในปี พ.ศ. 2544

นายอนิรุทธ อนันตประยูร เกิดวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษา  
ตอนต้นจาก โรงเรียนอัสสัมชัญศรีราชา เมื่อปี พ.ศ. 2541 และ ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียน  
ชลราษฎรอำรุง เมื่อปี พ.ศ. 2544 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ในปี พ.ศ. 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้