



การผลิตไคโตซานและการประยุกต์ใช้สำหรับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว
Chitosan Production and Application for Postharvest of Fruits

มนัสขวัญ จิตประคอง
Manuskwan Jitprakong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Chemical Engineering
Prince of Songkla University**

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตโคโตซานและการประยุกต์ใช้สำหรับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว
ชื่อผู้เขียน นางสาวมนัสขวัญ จิตประคอง
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร)

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

.....กรรมการ
(ดร.สุรัสวดี กังสนันท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์คารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตไคโตซานและการประยุกต์ใช้สำหรับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว
ชื่อผู้เขียน นางสาวมนัสขวัญ จิตประคอง
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีการผลิตผลไม้เมืองร้อนออกสู่ตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศอย่างต่อเนื่องตลอดปี ปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การส่งออกสินค้ากลุ่มนี้ คือ ปัญหาการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest) ทั้งนี้เนื่องจากผลไม้หลายชนิดเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น และเน่าเสียได้ง่าย การเคลือบผิวผลผลิตด้วยสารเคลือบผิวจะทำให้ช่วยลดการสูญเสียน้ำและลดอัตราการหายใจ สารเคลือบผิวที่เป็นสารไบโอพอลิเมอร์ (Biopolymer) สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและไม่มีความเป็นพิษชนิดหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ ไคโตซาน (Chitosan) ซึ่งทำการศึกษาการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมี โดยศึกษาการผลิตไคติน การหาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิล และศึกษาการลดต้นทุนการผลิตไคโตซาน โดยการนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ผ่านการใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล กลับมาใช้งานใหม่ และศึกษาถึงการใช้อยู่ของไคโตซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา กล้วยหอมทองและมะนาว

จากการศึกษาการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมี พบว่าการผลิตไคตินทำได้โดยการกำจัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 4.0% (w/v) ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 (w/v) ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 N ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1: 10 (w/v) ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับสถานะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิสูง คือ กำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 30% อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างไคตินและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 %DD ที่ได้เป็น 85.87% และน้ำหนักมวลโมเลกุลของไคโตซานประมาณ 8.07×10^5 การผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้งในกระบวนการนี้ให้ค่า %Yield เท่ากับ 19.45% และสถานะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิห้อง คือ กำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40%

อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างโคตินและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1: 10 %DD ที่ได้เป็น 72.45% และน้ำหนักมวลโมเลกุลของโคโตซานประมาณ 8.97×10^5 การผลิตโคโตซานจากเปลือกกุ้งในกระบวนการนี้ให้ค่า %Yield เท่ากับ 19.80% สำหรับการใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลนั้น พบว่าการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 30% ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 2 ครั้ง ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ถึง 44.37% จากต้นทุนการผลิตเดิม 635 บาท/กิโลกรัม แต่โคโตซานที่ได้มี %DD ต่ำกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใหม่ 13.42%

การใช้โคโตซานยี่ห้ออายุการเก็บรักษาผลกล้วยหอมทองและมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว ทำการจุ่มตัวอย่างในสารละลายโคโตซานเข้มข้น 0% (ควบคุม), 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.5% (w/v) เป็นเวลา 1 นาที จำนวน 2 ครั้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) จนกระทั่งผลกล้วยหอมทองและมะนาวเสื่อมสภาพ ทำการบันทึกผลการทดลองทุกๆ 3 วัน สิ่งที่ทำการบันทึก ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก สี ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ การเคลือบผิวกล้วยหอมทองด้วยสารละลายโคโตซาน 1.5% และมะนาวด้วยสารละลายโคโตซานเข้มข้น 1.0% พบว่ามีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาดีที่สุด โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 18 วันจาก 10 วัน และ 36 วันจาก 24 วัน ตามลำดับ การเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานจะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ตลอดอายุการเก็บรักษา

งานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตโคโตซานจากเปลือกกุ้ง ด้วยวิธีทางเคมีที่มีประสิทธิภาพสูง มีต้นทุนในการผลิตต่ำ โดยสามารถนำโคโตซานที่ผลิตได้ไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวได้นานขึ้น ทั้งภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และชุมชน รวมถึงหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการเกษตรสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้

Thesis Title Chitosan Production and Application for Postharvest of Fruits
Author Miss Manuskwan Jitprakong
Major Program Chemical Engineering
Academic Year 2011

ABSTRACT

Thailand produces tropical fruit for domestic consumption and export to overseas markets throughout the year. The important problem that effect to the exporting of fruits is the postharvest management that have the short shelf life and perishable. Coating for surface of the fruit product can reduce water loss and respiration rate of the product. Chitosan, a biodegradable natural polymer, has great potential coating material for agricultural applications due to its biocompatibility and non-toxicity that interesting for this. The chitosan can effectively produce from waste shrimp with chemical method. The purposes of this research were to study the chitin production, the optimum deacetylation condition of the chitosan production, reduction of production cost by reusing of NaOH solution in deacetylation step, and the effects of chitosan coating on postharvest quality and shelf life of “Hom Thong” banana and lime.

The chitosan production from shrimp waste by chemical method has effectively prepared for chitin from shrimp waste preparation by deproteination and demineralization. The deproteination was carried out by treating with 4.0% NaOH at $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 24 hour and ratio 1:10 (w/v) of shrimp waste: NaOH. The demineralization was carried out by HCl 1 N at $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 1 hour and ratio 1:10 (w/v) of shrimp waste: HCl. The optimum operating condition of chitosan production with a high degree of deacetylation (%DD) can be obtained by using 30% NaOH at 110°C for 2 hour, ratio 1:10 (w/v) of chitin: NaOH. %DD of the chitosan was 85.87% and a molecular weight (Mv) of about 8.07×10^5 and the yield from this process was 19.45% in dry basis of shrimp waste. The optimum operating condition for chitosan production at room temperature can be obtained by using 40% NaOH at $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 48 hour, ratio 1:10 (w/v) of chitin: NaOH.

%DD of the chitosan was 72.45% and a molecular weight (Mv) of about 8.97×10^5 and the yield from this process was 19.80% in dry basis of shrimp waste. The reusing of NaOH solution 2 times in deacetylation step can reduce the chitosan production cost for 44.37% from original budget of 635 Baht/kg, but %DD of chitosan product was lower than the new NaOH solution at 13.42%.

The effect of chitosan coating on postharvest quality and shelf life of “Hom Thong” banana and lime were studied. The postharvest samples were dipped for 1 min and 2 times into chitosan solution of 0% (control), 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 and 1.5% (w/v). The coated samples were stored at room temperature ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) until decadent. The properties of weight loss, color, firmness, total soluble solids, and titratable acidity for all samples were measured every 3 day. Coating “Hom Thong” banana with 1.5% chitosan solution and lime with 1.0% chitosan coating were found the most effectiveness for prolong the shelf life until 18 days from 10 days and 36 days from 24 days, respectively. A chitosan coating could reduce weight loss and delay changing color, firmness, total soluble solids and titratable acidity during samples storage.

The results deriving from the research consisted of high efficiency with low cost chitosan production from shrimp waste using chemical method and the extension of the quality and shelf life of fruits postharvest by chitosan coating. These advantages can be applied for industry, municipal agriculture, and government agencies which have been supporting for agriculture products.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิจัย แนวทางในการค้นคว้าหาข้อมูลและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์ รวมถึงการขัดเกลากระบวนการคิด การแก้ไขปัญหา และแนวทางในการดำเนินชีวิต

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์ รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ และ ดร.สุรัสวดี กังสนันท์ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และบัณฑิตวิทยาลัย ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้สถานที่ในการทำวิจัย และคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณทีมงานของหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษและสิ่งแวดล้อม (PTRU) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยแนะนำการแก้ปัญหาในการทำงานวิจัยตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่สนับสนุน ให้กำลังใจ และทุนทรัพย์ในการศึกษาโดยตลอด ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจนขอขอบคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

มนัสขวัญ จิตประคอง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(13)
รายการภาพประกอบ	(21)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ไคโตซาน (Chitosan)	6
2.1.1 ไคติน	8
2.1.2 วัตถุประสงค์ของการผลิตไคโตซาน	10
2.1.3 การผลิตไคติน	12
2.1.4 สมบัติและการใช้ประโยชน์ของไคโตซาน	13
2.1.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของไคโตซาน	17
2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไคโตซาน	18
2.2 การเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว	20
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว	20
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว	23
2.2.3 การสูญเสียสภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว	25
2.2.4 สารเคลือบผิวและผลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว	25
2.2.5 ชนิดของสารเคลือบผิวในกลุ่มที่บริโภคได้	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.6 ประโยชน์ของไคโตซานในเชิงวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว	27
2.3 กล้วยหอมทอง	28
2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	28
2.3.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวและดัชนีการเก็บเกี่ยว	29
2.4 มะนาว	30
2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	31
2.4.2 พันธุ์มะนาวที่ปลูกในประเทศไทย	31
2.4.3 โครงสร้างของผลมะนาว	32
2.4.4 องค์ประกอบที่สำคัญของมะนาว	33
2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษามะนาว	33
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
2.5.1 การผลิตไคโตซาน	34
2.5.2 การเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว	36
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	41
3.1 วัสดุ	41
3.1.1 เปลือกกุ้งขาว	41
3.1.2 วัสดุคิบ ผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว	42
3.1.3 สารเคมี	42
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	43
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	43
3.2.2 ชุดอุปกรณ์ทดลองการผลิตไคโตซาน	44
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของผลไม้หลังการเก็บรักษา	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	45
3.3.1 การทดลองการผลิตไคโตซาน	45
3.3.2 การทดสอบไคโตซานเบื้องต้น มีขั้นตอนดังนี้	47
3.3.3 การคำนวณหาค่า %Yield	48
3.3.4 การวิเคราะห์หา Degree of Deacetylation	49
3.3.5 การหาความหนืดและน้ำหนักมวลโมเลกุล	51
3.4 การนำสารละลายต่างกลับมาใช้ใหม่	53
3.5 การศึกษาผลของการเคลือบไคโตซานต่อการรักษาสภาพ ของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว	54
3.5.1 การเตรียมสารละลายไคโตซาน	54
3.5.2 การเคลือบผลไม้ด้วยสารไคโตซาน	55
3.5.3 การบันทึกผลการทดลอง	56
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	60
4.1 การผลิตไคโตซาน	60
4.1.1 ผลการทดลองการผลิตและวิเคราะห์ไคโตซาน	60
4.1.2 ผลการทดสอบไคโตซานเบื้องต้น	63
4.1.3 ผลการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล	65
4.1.4 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดหมู่อะซิทิล จากไคตินต่อการผลิตไคโตซาน	67
4.1.5 ผลของอุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิทิลจากไคตินต่อการผลิตไคโตซาน	68
4.1.6 ผลของอัตราส่วนของไคตินและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.7 ความหนืดและน้ำหนักมวลโมเลกุลของไคโตซานที่ผลิตได้	70
4.1.8 การนำสารละลายต่างกลับมาใช้ใหม่	71
4.1.9 การประเมินราคาสำหรับการผลิตไคโตซาน	75
4.1.10 สรุปผลการทดลองการผลิตไคโตซาน	76
4.2 ผลของการเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง	77
4.2.1 ลักษณะปรากฏ	77
4.2.2 การสูญเสียน้ำหนัก	79
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก	80
4.2.4 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ	85
4.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	87
4.2.6 สรุปผลของการเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุ การเก็บรักษากล้วยหอมทอง	89
4.3 ผลของการเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว	90
4.3.1 ลักษณะปรากฏ	90
4.3.2 การสูญเสียน้ำหนัก	93
4.3.3 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก	95
4.3.4 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ	101
4.3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	103

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Titratable Acidity	105
4.3.7 สรุปผลของการเคลือบผิวโคโตนต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว	107
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	108
5.1 ข้อสรุปผลวิจัย	108
5.1.1 การผลิตโคโตน	108
5.1.2 การเคลือบผิวโคโตนต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง	109
5.1.3 การเคลือบผิวโคโตนต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว	109
5.2 ข้อเสนอแนะ	110
เอกสารอ้างอิง	111
ภาคผนวก	116
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการผลิตโคโตน	116
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการเคลือบผิวโคโตนต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยหอมทองและมะนาว	138
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	161
ประวัติผู้เขียน	172

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แหล่งวัตถุดิบที่สำคัญของไคติน	9
2-2	ความสามารถในการละลายของไคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่มีความเข้มข้นของกรดต่างกัน	15
3-1	การออกแบบการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคติน เพื่อการผลิตไคโตซาน	47
3-2	แสดงสภาวะการทดลองสำหรับการนำสารละลายต่างกลับมาใช้ใหม่ ในการกำจัดหมู่อะซิทิล	54
4-1	แสดงพารามิเตอร์ ผลการทดสอบเบื้องต้นและ %Yield ของไคโตซานที่ผลิตได้ จากขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของทุกสภาวะการทดลอง	61
4-1 (ต่อ)	แสดงพารามิเตอร์ ผลการทดสอบเบื้องต้นและ %Yield ของไคโตซาน ที่ผลิตได้จากขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของทุกสภาวะการทดลอง	65
4-2	แสดง %DD ที่ได้จากการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์ของไคโตซานที่ผลิตได้	66
4-3	แสดงค่าความหนืดและน้ำหนักมวลโมเลกุลของไคโตซานที่ผลิตได้	70
4-4	แสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งาน ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของการผลิตไคโตซาน	71
4-5	แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นและปริมาณของไคโตซานที่ผลิตได้ ทุกสภาวะการทดลอง	72
4-6	แสดง %DD ที่ได้จากการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล ด้วยการใช้สารละลายต่างที่ผ่านการใช้งานโดยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์	73

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-7	แสดงต้นทุนในการผลิตโคโตซานที่สภาวะการผลิตต่างๆ	75
4-8	แสดงต้นทุนในการผลิตโคโตซานที่สภาวะการผลิตต่างๆ	76
4-9	แสดงภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของกล้วยหอมทองชุดควบคุม และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายโคโตซาน 1.5% ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา	78
4-10	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , และ b^* และการเปลี่ยนแปลงโดยรวม ของสีเปลือกกล้วยหอมทองตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	85
4-11	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่าน การเคลือบผิวและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซาน ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	87
4-12	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมทอง ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	89
4-13	แสดงภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของมะนาวชุดควบคุม และมะนาวที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายโคโตซาน 1.0% ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา	91
4-13 (ต่อ)	แสดงภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของมะนาวชุดควบคุม และมะนาวที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายโคโตซาน 1.0% ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา	92
4-14	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* b^* และการเปลี่ยนแปลงโดยรวม ของสีเปลือกมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	100

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-15	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	102
4-16	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	104
4-16 (ต่อ)	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	105
4-17	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	106
4-17 (ต่อ)	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	107
ก-1	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 30% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C 2 hr	117
ก-2	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 30% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 72 hr	118
ก-3	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr	119

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-4	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 60°C 4 hr	120
ก-5	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 30±2°C 48 hr	121
ก-6	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 30±2°C 72 hr	122
ก-7	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ 30±2°C 48 hr	123
ก-8	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ 30±2°C 72 hr	124
ก-9	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr	125
ก-10	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 60°C 4 hr	126

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-11	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ 30±2°C 48 hr	127
ก-12	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ 30±2°C 72 hr	128
ก-13	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 30±2°C 48 hr	129
ก-14	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 30±2°C 72 hr	130
ก-15	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใช้สารละลายที่ใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล 1 รอบ มีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 30% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C 2 hr	131
ก-16	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใช้สารละลายที่ใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล 2 รอบ มีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 30% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C 2 hr	132

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-17	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยการใช้สารละลายที่ใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 3 รอบ มีสถานะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 30% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C hr	133
ก-18	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยการใช้สารละลายที่ใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 1 รอบ มีสถานะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 30±2°C 48 hr	134
ก-19	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยการใช้สารละลายที่ใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 1 รอบ มีสถานะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr	135
ก-20	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยการใช้สารละลายที่ใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 2 รอบ มีสถานะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr	136
ก-21	ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยการใช้สารละลายที่ใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 3 รอบ มีสถานะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr	137
ข-1	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 18 วัน	139

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข-2	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* (ความสว่าง) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	140
ข-3	การเปลี่ยนแปลงค่า a^* (สีแดงหรือสีเขียว) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	141
ข-4	การเปลี่ยนแปลงค่า b^* (สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	142
ข-5	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	143
ข-6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	144
ข-7	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	145
ข-8	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* (ความสว่าง) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	146
ข-8 (ต่อ)	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* (ความสว่าง) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	147
ข-9	การเปลี่ยนแปลงค่า a^* (สีแดงหรือสีเขียว) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	148
ข-9 (ต่อ)	การเปลี่ยนแปลงค่า a^* (สีแดงหรือสีเขียว) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	149
ข-10	การเปลี่ยนแปลงค่า b^* (สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	150

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-10 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่า b^* (สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	151
ข-11 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	152
ข-11 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	153
ข-11 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	154
ข-12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	155
ข-12 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	156
ข-12 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	157
ข-12 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	158
ข-13 ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต เพื่อหาปริมาณ Titratable Acidity (TA) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	159
ข-13 (ต่อ) ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต เพื่อหาปริมาณ Titratable Acidity (TA) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน	160

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า	
2-1	แสดงโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน	7
2-2	แสดงขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	8
2-3	แสดงโครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่ของไคตินชนิดเบต้า แอลฟา และแกมมา	10
3-1	แสดงลักษณะเปลือกกุ้งขาว	41
3-2	แสดงลักษณะเปลือกกุ้งบด	42
3-3	แสดงผลผลหลังการเก็บเกี่ยว 2 ชนิด คือ กุ้งขาวหอมทองและมะนาวแป้น สำหรับการศึกษาค่าผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อการเก็บรักษา ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว	42
3-4	แสดงไออะแกรม (ก) ชุดตั้งปฏิบัติการ และ (ข) ชุดทดลอง สำหรับการผลิตไคโตซาน	44
3-5	แสดงลักษณะไคโตซาน (ก) ก่อน และ (ข) หลัง การละลายในกรดอะซิติก	48
3-6	แสดงลักษณะ (ก) การจับตัวเป็นไขขาวของไคโตซานบริสุทธิ์ (ข) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ เนื่องจากเป็นไคโตซาน ไม่บริสุทธิ์	48
3-7	ชุดการวิเคราะห์หา Degree of Deacetylation (%DD)	49
3-8	แสดงกราฟการไทเทรตแบบวัดศักย์ (Potentiometric Titration) ด้วยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์ เพื่อหาค่า %DD	50
3-9	แสดงภาพเครื่องมือวัดค่าความหนืดสัมพัทธ์ชนิด Ubbelohde capillary viscometers	52
3-10	แสดงลักษณะสารละลายต่าง NaOH (50%) ที่ผ่านการใช้งาน (ก) 1 ครั้ง และ (ข) 3 ครั้งในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิติก	53

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า	
3-11	แสดงลักษณะสีของสารละลายไคโตซานในสารละลายอะซิติกที่ความเข้มข้นต่างๆ	54
3-12	แสดง (ก) การจุ่มผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวในสารละลายไคโตซาน (ข) และ (ค) ผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวก่อนและหลังผ่านการจุ่มด้วยสารละลายไคโตซาน ตามลำดับ	56
3-13	แสดงเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex	57
3-14	แสดงเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA. XT. Plus	58
3-15	แสดง Hand Refractometer สำหรับวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้	59
4-1	แสดงลักษณะเปลือกกุ้งหลังผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีน	61
4-2	ฟองก๊าซ H_2CO_3 ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตในกระบวนการผลิตไคติน	61
4-3	ลักษณะของไคตินที่ได้หลังจากทำการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต	62
4-4	ลักษณะของไคโตซานที่ผลิตได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลที่ (ก) อุณหภูมิต่ำ และ (ข) อุณหภูมิสูง	63
4-5	แสดงลักษณะไคโตซานที่ (ก) ผ่าน และ (ข) ไม่ผ่าน การทดสอบเบื้องต้น	64
4-6	แสดงกราฟการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลโดยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์ของไคโตซานที่ผลิตได้	67
4-7	แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของการผลิตไคโตซานที่อุณหภูมิ $30\pm 2^\circ C$ เป็นเวลา 48 และ 72 ชั่วโมง	68

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
<p>4-8 แสดงผลของอุณหภูมิในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% ของการผลิตไคโตซานที่อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ 30±2 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามลำดับ</p>	69
<p>4-9 แสดงผลของอัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของการผลิตไคโตซานด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40-50% อุณหภูมิ 30±2°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง</p>	70
<p>4-10 แสดงระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคโตซานที่ผลิตได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่อุณหภูมิ 110°C อัตราส่วนระหว่างไคติน: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง</p>	74
<p>4-11 แสดงกราฟการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคโตซานที่ผลิตได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์</p>	74
<p>4-12 แสดงผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 9 ของการเก็บรักษากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±2°C</p>	79
<p>4-13 แสดงการสูญเสียน้ำหนักและระยะเวลาในการเก็บรักษาของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±2°C</p>	80

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-14	81
<p>แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของกล้วยหอมทอง ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิว ด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$</p>	
4-15	82
<p>แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน ที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$</p>	
4-16	84
<p>แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน ที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$</p>	
4-17	86
<p>แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลาย ไคโตซานความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.5% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$</p>	
4-18	88
<p>แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมทอง ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิว ด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$</p>	
4-19	93
<p>แสดงลักษณะรอยไหม้ที่ผิวของมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลาย ไคโตซานเข้มข้น 1.5% ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา</p>	
4-20	94
<p>แสดงการสูญเสียน้ำหนักและระยะเวลาในการเก็บรักษาของมะนาว ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิว ด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$</p>	

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า	
4-21	แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานต่อการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	94
4-22	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	96
4-23	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างโดยรวม ($\div L^*$) ตลอดอายุการเก็บรักษาของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	96
4-24	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	97
4-25	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a^* โดยรวม ($\div a^*$) ตลอดอายุการเก็บรักษาของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	98
4-26	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	99

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-27	99
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b^* โดยรวม ($\div b^*$) ตลอดอายุการเก็บรักษาของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	
4-28	101
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	
4-29	103
แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	
4-30	106
แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยมีความหลากหลายในการผลิตผลไม้เมืองร้อนออกสู่ตลาดอย่างต่อเนื่องตลอดปี พื้นที่ปลูกไม้ผลตามภาคต่างๆ ของประเทศไทยประมาณ 9.68 ล้านไร่ แบ่งออกเป็นมะม่วง 22.68% ทูเรียน 10.08% ลำไย 10.07% กล้วยน้ำว้า 8.33% เงาะ 6.79% และผลไม้อื่นๆ 42.05% ให้ผลผลิต 12.69 ล้านตัน (ที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/ผลไม้ไทย>) ปัจจุบันการเพาะปลูกไม้ผลมีได้มุ่งเพื่อบริโภคภายในประเทศเพียงอย่างเดียว ยังมุ่งส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศอีกด้วย การส่งออกมีทั้งในรูปแบบของผลไม้สดและผลิตภัณฑ์แปรรูปซึ่งมีมูลค่ามากกว่า 40,000 ล้านบาท หรือประมาณ 6.6% ของมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตร ไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและมีมูลค่าการส่งออกสูง ได้แก่ ลำไย ทูเรียน มะม่วง ส้มโอ ส้มเขียวหวาน มะละกอ มังคุด ฝรั่ง เงาะ ลิ้นจี่ น้อยหน่า กล้วยหอมทอง แดงโม องุ่น ส้มตรา และมะนาว (<http://www.rakbankerd.com/agriculture/open.php?id=493&s=tblplant>) ปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การส่งออกสินค้ากลุ่มนี้ คือ ปัญหาการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest) ทั้งนี้เนื่องจากผลไม้หลายชนิดเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นและเน่าเสียได้ง่าย การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลด้วยการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องรวมทั้งการเคลือบผิวผลิตผลด้วยสารเคลือบผิวจะทำให้ช่วยลดอัตราการหายใจ ลดการสูญเสีย น้ำ ตลอดจนลดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อสาเหตุของโรคหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งจะช่วยให้ผลไม้มีลักษณะปรากฏที่ดี ผลไม่เหี่ยว และยังสามารถดึงดูดผู้บริโภคได้ สารเคลือบผิวบางชนิดยังมีคุณสมบัติในการช่วยลดการเน่าเสียที่มีสาเหตุมาจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ อีกด้วย สารเคลือบผิวมีด้วยกันหลายชนิด เช่น Petroleum Wax, Mineral Wax, Carnauba, Candelilla, Shellac, Spermaceti และ Paraffin เป็นต้น สารเคลือบผิวชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ ได้แก่ ไคโตซาน (Chitosan) ไคโตซานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อภาคการเกษตร คือ ใช้ในงานด้านวิทยาการหลัง

การเก็บเกี่ยว (Postharvest) ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการสูญเสียของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีการนำไคโตซานมาเคลือบพื้นเคลือบผิวผลไม้ ส่งผลให้ไคโตซานพอร์มตัวเป็นแผ่นฟิล์มบางใส ช่วยปกป้องรักษาความสดและสีส้มของเปลือกผลไม้ไว้ได้นาน ผลไม้ยังคงมีรสชาติอร่อย ไม่เน่าเสีย ไคโตซานมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบางใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เหนียว มีความยืดหยุ่น ทนต่อความร้อน และยังสามารถนำมาทำหุ้มอาหารได้ อีกทั้งยังสามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วยซึ่งจะมีผลต่อเมตาบอลิซึมของผลไม้ (Coleman and Manson, 1988) ไคโตซานมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยตรง โดยยับยั้งกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชเพื่อให้เกิดภูมิต้านทานเชื้อรา โดยได้มีการนำเอาอนุพันธ์ของไคตินและไคโตซานไปเป็นสารต่อต้านเชื้อรา ไวรัส และแบคทีเรียบางชนิด ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น ยับยั้งโรคโคนเน่าจากเชื้อรา โรคแอนแทรกโนส และโรคอื่นๆ ดังนั้นจึงมีการนำไคโตซานมาเคลือบผิวโดยการจุ่มผลิตผลทางการเกษตรเพื่อชะลอการสุกของผลไม้ เช่น ส้ม แอปเปิ้ล ลิ้นจี่ สตรอเบอร์รี่ มะเขือเทศ และมะนาว เนื่องจากมีความปลอดภัยและยังสามารถยับยั้งเชื้อราบางชนิดได้ (Du et al., 1997, Jiang and Li, 2001)

ไคโตซานหรืออนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิลของไคตินหรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Deacetylation โดยแซ่ไคตินในสารละลายต่างเข้มข้น ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า Poly [β -(1 4)-2-Amino-2-Deoxy-D-Glucopyranose] เป็นโพลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมดและน้ำที่มีค่า pH เป็นกลางหรือด่าง แต่สามารถละลายในกรดอ่อน ไคโตซานเป็นสารไบโอโพลิเมอร์ (Biopolymer) ที่ไม่มีความเป็นพิษ มีประจุบวก สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และมีราคาสูง ไคโตซานผลิตได้จากเปลือกสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง รวมทั้งสัตว์ในตระกูลครัสเตเชียน (Crustacean) เช่น กุ้ง ปู หอย ปลาหมึก แมลง เป็นต้น กรรมวิธีการผลิตไคโตซานมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมมักจะใช้วิธีทางเคมี วัตถุดิบส่วนใหญ่ในการผลิตไคโตซานมาจากกากของเหลือในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง อาทิเช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนปลาหมึก อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยทำเงินเข้าประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาทติดต่อกันเป็นระยะเวลามากกว่า 20 ปี โดยเฉพาะในภาคใต้มีโรงงานแปรรูปอาหารทะเลตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก

ถ้าพิจารณาสัดส่วนของกึ่ง โดยประมาณจะพบว่าน้ำหนักของส่วนหัวและส่วนเปลือกจะเป็น 45% ส่วนเนื้อจริงซึ่งนำไปแปรรูปจะเหลือเพียง 55% เช่น กุ้งเค็ดหัวจะเกิดเศษเหลือ 38% กุ้งเนื้อไว้หางจะเกิดเศษเหลือ 45% และกุ้งเนื้อจะเกิดเศษเหลือ 50% ของน้ำหนักตัว เป็นต้น ถ้าสามารถนำวัสดุเหล่านี้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ได้ก็จะเป็นแนวทางสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปอาหารทะเลได้อีกทางหนึ่ง (ศิริวรรณ, 2540)

แม้ว่าขั้นตอนการผลิตไคโตซานจะไม่สลับซับซ้อน แต่การผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษาเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต ปัจจัยที่ช่วยลดต้นทุนในการผลิตไคโตซาน ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนหรือความเข้มข้นของค่าที่ใช้ในการผลิต อุณหภูมิสูงทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงหมู่อะซิทิลเพิ่มขึ้น อัตราส่วนหรือความเข้มข้นของค่าที่ใช้ในการผลิตก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดต้นทุนการผลิตเช่นกัน โดยสารละลายค่าที่ใช้ควรมีความเข้มข้นและปริมาณมากพอที่จะทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับไคตินได้อย่างทั่วถึง แต่การใช้ความเข้มข้นและปริมาณค่าที่มากเกินไปไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไคโตซานแต่มีผลทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้น กระบวนการล้างก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยในการลดต้นทุนการผลิต โดยใช้การแช่แทนการล้างผ่านน้ำในขั้นตอนการล้างซึ่งจะช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างได้

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมีที่สภาวะการทดลองต่างๆ และศึกษาการลดต้นทุนการผลิตไคโตซานโดยการนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ผ่านการใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลกลับมาใช้งานใหม่ การลดความเข้มข้นและอัตราส่วนของสารละลายค่าที่ใช้ในกระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิล ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพการผลิตไคโตซานโดยการหา Percent Degree of Deacetylation (%DD) และศึกษาการประยุกต์ใช้ไคโตซานที่ผลิตได้สำหรับการเคลือบผิวผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล 2 ชนิด คือ กล้วยหอมทองและมะนาวแป้น โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ทำการบันทึกลักษณะปรากฏเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก สีผิวที่เปลี่ยนแปลง ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลาย

น้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ คาดว่างานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงวิทยาการ หลังการเก็บเกี่ยว ช่วยในการลดอัตราการเน่าเสียของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมี
2. เพื่อศึกษาการลดต้นทุนการผลิตโคโตซานด้วยวิธีการผลิตทางเคมีโดยการนำ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานในกระบวนการกำจัด หมู่อะซิติกกลับมาใช้งานใหม่เบื้องต้น
3. เพื่อศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยโคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษา ผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการผลิตโคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมีและทำการศึกษา ประสิทธิภาพการผลิตโคโตซานด้วยการหา Percent Degree of Deacetylation
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโคโตซาน โดยศึกษาผลของปริมาณและ ความเข้มข้นของสารละลายต่าง อุณหภูมิ และเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติก
3. ศึกษาการลดต้นทุนการผลิตโคโตซานเบื้องต้นด้วยการนำสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิติกกลับมาใช้ ใหม่ในกระบวนการผลิต
4. ศึกษาผลของการเคลือบผิวผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวด้วยโคโตซานที่ความ เข้มข้นต่างๆ ต่อการยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้ผลิตผล 2 ชนิด ได้แก่ กุ้ง หอมทองและมะนาวเป็น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมีที่ให้ประสิทธิภาพสูงและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ
2. สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวได้นานขึ้น โดยการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน
3. ผู้ผลิตไคโตซานทั้งภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกร ชุมชน รวมถึงหน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการส่งเสริมการเกษตรสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้

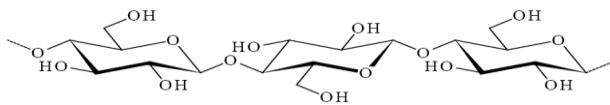
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

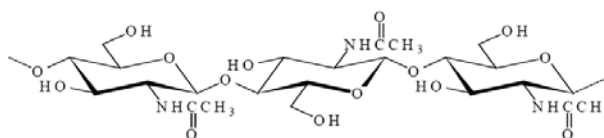
2.1 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซาน (Chitosan, $(C_6H_{11}O_4N)_n$) หรืออนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิลของไคตินหรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Deacetylation โดยแซ่ไคตินในสารละลายด่างเข้มข้นหรือการสกัดไคโตซานจากจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น ราจำพวก Mucorales ซึ่งมีไคโตซานเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งไคโตซานที่ได้นี้มีชื่อทางเคมีว่า poly [β -(1 \downarrow 4)-2-Amino-2-Deoxy-D-Glucose] หรือเรียกง่ายๆ ว่าพอลิเมอร์ของดิกลูโคซามิน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมดและน้ำที่มีค่า pH เป็นกลางหรือด่าง แต่สามารถละลายในกรดอ่อน การเกิดไคโตซานขึ้นอยู่กับการทำกำจัดหมู่อะซิทิลของไคติน โดยคิดเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ของการกำจัดหมู่อะซิทิล

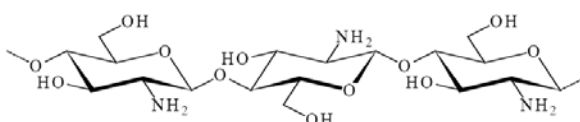
โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซานมีความคล้ายคลึงกับเซลลูโลส คือ สายโซ่ของแซกคาไรด์ แต่มีอะตอมของไนโตรเจนเข้าเติมแต่งอยู่ เมื่อหน่วยของแซกคาไรด์นั้นมีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในรูปของอะเซตาไมด์จะเรียกหน่วยนั้นว่า ไคติน ในขณะที่เดียวกันถ้าหน่วยนั้นๆ มีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในรูปของกรดอะมิโนจะเรียกหน่วยนั้นว่า ไคโตซาน แสดงดังภาพประกอบที่ 2-1 จากภาพจะเห็นว่าสายโซ่มีหน่วยของไคตินและไคโตซานผสมกันอยู่ปะปนกันไปเป็นโคพอลิเมอร์ ดังนั้นสารไคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู แม้ว่าจะมีหน่วยไคตินเป็นหลักอยู่ในสายโซ่ก็ตามก็จะมีหน่วยของไคโตซานปะปนอยู่จำนวนหนึ่งประมาณ 5-10% หรือแม้ว่าเราจะนำไคตินมาผ่านกระบวนการปรับโครงสร้างทางเคมีด้วยการเปลี่ยนหมู่อะเซตาไมด์เป็นหมู่อะมิโน เราจะไม่สามารรถได้สายโซ่ในรูปของไคโตซาน 100% โดยเกณฑ์ที่เข้าใจกันในหมู่นักวิจัย คือ ในกรณีที่สายโซ่มีหน่วยของไคโตซานเกินกว่า 70-75% ขึ้นไป เราจะเรียกว่า ไคโตซาน



โครงสร้างเซลลูโลส



โครงสร้างไคติน



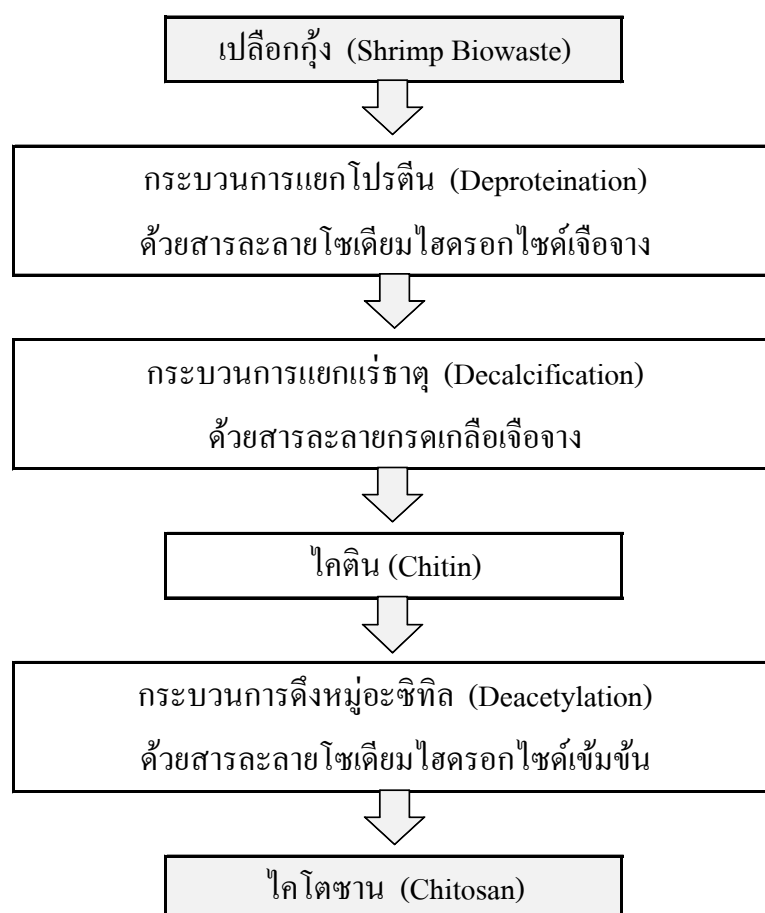
โครงสร้างไคโตซาน

ภาพประกอบที่ 2-1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน

การผลิตไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ แต่วิธีทางชีวภาพโดยการใช้เอ็นไซม์ในการดึงหมู่อะซิทิลออกจากไคตินนั้นยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (Win et al., 2000, Win and Stevnes, 2001) ส่วนวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่ข้อเสียของวิธีทางเคมี ได้แก่ คุณภาพในการผลิตจะควบคุมยาก เครื่องมือที่ใช้ถูกกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสารเคมีที่เข้มข้น และประการสำคัญ คือ เรื่องสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องคิดค้นหาวิธีการผลิตที่ใช้สภาวะที่ไม่รุนแรงนัก แต่ให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ไคโตซานตามต้องการ

การสกัดไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้โดยการแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (40-50%) ที่อุณหภูมิ 100°C หรือสูงกว่า ทำให้หมู่อะซิทิลบางส่วนหรือทั้งหมดถูกดึงออกจากพอลิเมอร์ (Muzzarelli, 1977) จากข้อมูลต่างๆ

ข้างต้นทำให้ทราบว่า สมบัติของ ไคตินและไคโตซานที่ได้แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิค วิธีการผลิต ชนิดของสารเคมี ความเข้มข้น และอัตราส่วนที่ใช้ในกระบวนการ ภาพประกอบที่ 2-2 แสดงขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง



ภาพประกอบที่ 2-2 แสดงขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

2.1.1 ไคติน

ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly [β -(1 \downarrow 4)-2-Deoxy-D-Glucosamine] เป็นสารชีวภาพที่มีโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลสแต่จะต่างกันที่ตำแหน่ง C-2 โดยเซลลูโลสจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนไคตินจะประกอบด้วยหมู่อะซิทามิโด (Acetamido Group) ไคติน

ที่เกิดในธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรงมีการจัดตัวของรูปแบบของผลึกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ แอลฟาไคติน เบต้าไคติน และแกมมาไคติน ไคตินไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายมีขี้ผึ้ง และไม่มีขี้ผึ้ง โดยทั่วไปมักพบไคตินในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา รวมทั้งเปลือกของแมลง และสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทมีข้อและปล้อง อาทิเช่น กุ้ง ปู แกนปลาหมึก และกระดองหมึก ในธรรมชาติเราพบไคตินมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส แต่ไม่พบเป็นโครงสร้างหลักเดี่ยวๆ ในสิ่งมีชีวิต โดยพบในรูปที่เป็นสารประกอบปะปนอยู่กับสารอื่นๆ เช่น อยู่ร่วมกับหินปูนหรือแคลเซียมและโปรตีนในรูปสารประกอบเชิงซ้อน แหล่งวัตถุดิบสำคัญของไคติน แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แหล่งวัตถุดิบที่สำคัญของไคติน

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ประเภทมีข้อปล้อง (Arthropods)	แมลง (Insect)	จุลินทรีย์ (Microorganisms)
หนอนทะเล (Annelida)	แมลงป่อง	สาหร่ายเขียว
หอย	Brachiopods	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำตาล
Coelentera	มด	ยีสต์ (η -type)
Crustaceans	แมลงสาบ	เชื้อรา (ผนังเซลล์)
กุ้งก้ามกราม (Lobster)	แมลงปีกแข็ง	ก้านชูสปอร์ของ Penicillium
กุ้ง (Shrimp)	แมงมุม	สปอร์
กุ้งนาง (Prawn)		Chytriciaceae
Krill		Blastocladiaceae
ปู (Crab)		Ascomydes

ไคตินที่ได้จากแต่ละแหล่งมีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกัน โดยแบ่งตามลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยได้ 3 กลุ่ม คือ

แบบแอลฟา: มีการเรียงตัวของสายโซ่โม่เลกุลในลักษณะสวนทางกันมีความแข็งแรงสูง ได้แก่ ไคตินจากเปลือกกุ้งและกระดองปู

แบบเบต้า: มีการเรียงตัวของสายโซ่โม่เลกุลในทิศทางเดียวกันจึงจับกันได้ไม่ค่อยแข็งแรง มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่าแบบแอลฟา ได้แก่ ไคตินจากแกนปลาหมึก

แบบแกมมา: มีการเรียงตัวของสายโซ่โม่เลกุลในลักษณะที่ไม่แน่นอน (สวนทางกันสลับทิศทางเดียวกัน) มีความแข็งแรงรองจากแบบแอลฟา ได้แก่ ไคตินจากเห็ด รา และพืชชั้นต่ำ

ในธรรมชาติไคตินส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอลฟาไคติน เนื่องจากมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในโม่เลกุล (Intermolecular) และระหว่างสายโซ่ของโม่เลกุล (Intermolecular Chitin) มากกว่า จึงทำให้มีเสถียรภาพทางเคมี (Chemical Stability) มากกว่าแบบอื่นๆ ภาพประกอบที่ 2-3 แสดงโครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่ของไคตินในรูปแบบต่างๆ ประเภทโครงสร้างของไคตินส่วนใหญ่ที่เรานำมาใช้ ได้แก่ แบบแอลฟาที่พบในเปลือกกุ้งและปู และแบบเบต้าที่พบในแกนปลาหมึก



เบต้า-ไคติน



แอลฟา-ไคติน



แกมมา-ไคติน

ภาพประกอบที่ 2-3 แสดง โครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่ของไคตินชนิดเบต้า

แอลฟา และแกมมา

2.1.2 วัตถุประสงค์ของการผลิตไคโตซาน

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยทำเงินเข้าประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาทติดต่อกันเป็นระยะเวลามากกว่า 20 ปี โดยประเทศไทยสามารถก้าวขึ้นมาครองในฐานะผู้ส่งออกกุ้งอันดับหนึ่งของโลกตั้งแต่ปี 2533 ติดต่อกันจนถึงปัจจุบัน (ที่มา: http://www.thailandshrimp.com/industrial_element.html) โดยเฉพาะในภาคใต้มีโรงงานแปรรูป

อาหารทะเลตั้งอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจที่ต้องการกระจายความเจริญเข้าสู่ภูมิภาค ประกอบกับลักษณะที่ตั้งของภาคใต้ทำให้อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารทะเลมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและเป็นอุตสาหกรรมหลักอย่างหนึ่งของภาคใต้ ยิ่งมีการเติบโตของอุตสาหกรรมเหล่านี้มากขึ้นก็ย่อมส่งผลให้ปริมาณของวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปอาหารทะเลเพิ่มมากขึ้น ถ้าพิจารณาสัดส่วนของกุ้ง โดยประมาณจะพบว่าน้ำหนักของส่วนหัวและส่วนเปลือกจะเป็น 45% ส่วนเนื้อจริงซึ่งนำไปแปรรูปจะเหลือเพียง 55% เช่น กุ้งเค็ดหัวจะเกิดเศษเหลือ 38% กุ้งเนื้อไว้หางจะเกิดเศษเหลือ 45% และกุ้งเนื้อจะเกิดเศษเหลือ 50% ของน้ำหนักตัว เป็นต้น ถ้าสามารถนำวัสดุเหล่านี้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ได้ก็จะเป็นแนวทางสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปอาหารทะเลได้อีกทางหนึ่ง ในเปลือกกุ้งจะมีสารที่เรียกว่า ไคติน เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ซึ่งพบอยู่ในรูปของสารผสม (Composite Material) กับสารอินทรีย์จำพวกโปรตีนและสารอินทรีย์จำพวกแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส เช่น ในเปลือกกุ้งขาวมีปริมาณไคติน 32.4% โปรตีน 29.4% แคลเซียม 15.3% และแมกนีเซียม 0.6% (ศิริวรรณ, 2540)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยมีรายงานเกี่ยวกับการนำเปลือกกุ้งไปใช้ประโยชน์ในด้านโภชนาการ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรมอาหาร และด้านอื่นๆ อีกมากมาย เช่น ใช้เป็นแหล่งอาหารเสริม ลดคอเลสเตอรอล ลดอาการท้องร่วง และเป็นสารช่วยลดน้ำหนัก ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้โดยการจับอะตอมของโลหะหนักที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ รวมทั้งการจับคราบไขมัน ใช้เป็นโปรไบโอติกส์เกี่ยวกับการย่อยในลำไส้ ช่วยในการต่อต้านมะเร็ง ลดการยับยั้งเชื้อ E.Coli และ Salmonella ช่วยในการห้ามเลือด สามารถนำมาทำคอนแทกเลนส์เพื่อการรักษาโรคต้อกระจกได้ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ ชูดชั้นในสิ่งทอ ยางแม่พิมพ์ เป็นต้น (อนุวงศ์, 2549) นอกจากนี้แล้วเปลือกกุ้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยได้โดยนำไปสกัดเอาสารที่เรียกว่า ไคติน (Chitin) และไคโตซาน (Chitosan)

2.1.3 การผลิตไคติน

กระบวนการผลิตไคตินจากเปลือกของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Crustacean Shell Waste) มีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน

1. **ขั้นตอนการแยกโปรตีน (Deproteinization)** โดยทั่วไปเปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนปลาหมึกมักจะถูกนำมาบดก่อนนำมาแยกเอาโปรตีนออก ซึ่งขั้นตอนการแยกโปรตีนนี้มักใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1-10% และอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 65-100°C นอกจากนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction Time) ขึ้นอยู่กับวิธีและสถานะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน อย่างไรก็ตามหากปล่อยให้กากเหล่านี้ทำปฏิกิริยานานเกินไปในสภาวะรุนแรงจะทำให้สายโซ่ของไคตินถูกตัด (Depolymerization) และยังเกิดปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติกอีกด้วย อัตราส่วนของกากเหล่านี้ต่อสารละลายต่างตั้งแต่ 1 ต่อ 10 ขึ้นไปสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง (Uniformity) แต่ต้องอาศัยการกวนอย่างสม่ำเสมอ (No and Meyers, 1997) การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา Deproteinization และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่ทำให้ปริมาณโปรตีนที่เหลือในไคตินแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามหากนำวัตถุดิบมาแช่ในสารละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มและเมทานอล (2: 1) ก่อนการแยกโปรตีนจะทำให้ปริมาณโปรตีนในไคตินลดน้อยลงถึง 0.5% นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของวัตถุดิบไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนในไคติน แต่จะมีผลต่อการเพิ่มอัตราเร็วในการแยกโปรตีนซึ่งหากลดขนาดของวัตถุดิบจะทำให้อัตราในการแยกโปรตีนเร็วขึ้น สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกโปรตีนจากแกนปลาหมึก (Squid Pens) คือ แช่แกนปลาหมึกใน 1 M NaOH นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามการแยกโปรตีนจากเปลือกปูจะต้องทำที่ 60°C (Stevens, 2001) เนื่องจากลักษณะของเปลือกปูที่ค่อนข้างแข็ง ทำให้ที่อุณหภูมิห้องไม่สามารถแยกโปรตีนออกจากเปลือกปูได้ ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการแยกโปรตีน คือ ปริมาณไขมันในวัตถุดิบ ซึ่งไขมันนี้จะช่วยป้องกันโปรตีนจากการไฮโดรไลซิส โดยอาจทำให้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยา (Energy Interaction) ต่ำหรืออาจจะเข้าไปอยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่า Lipoproteins

2. **ขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ (Demineralization)** การแยกแร่ธาตุออกจากวัตถุดิบมักใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจางที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งหากมีการกวนอย่าง

ทั่วถึงจะใช้เวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ 30 นาทีจนถึง 2 วัน ขึ้นอยู่กับวิธีการแยก นอกจากนี้การยืดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการดึงแร่ธาตุออกจากไคติน (No and Meyers, 1997) หากเปรียบเทียบวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคตินระหว่างเปลือกปูและเปลือกกุ้ง พบว่าการแยกแร่ธาตุออกจากเปลือกปูจะกระทำได้ง่ายกว่าเปลือกกุ้งและความเข้มข้น HCl ที่ใช้ในการแยกแร่ธาตุไม่ควรน้อยกว่า 0.7 โมลาร์ อย่างไรก็ตามการใช้กรดมากเกินไปจะทำให้หน้าหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลง

3. การแยกสี (Decoloration) การผลิตไคตินจากขั้นตอนดังได้กล่าวไว้ข้างต้นนั้น พบว่าไคตินที่ได้มักจะยังคงมีสี ดังนั้นหากต้องการไคตินฟอกขาวจะต้องนำไคตินมาผ่านกระบวนการแยกสีโดยใช้สารฟอกขาว ได้แก่ เอทานอล โซเดียมไฮโปคลอไรท์ อะซิโตน และ 3% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น ในกระบวนการผลิตไคตินด้วยวิธีทางเคมีนั้นสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในช่วงการแยกโปรตีน แยกแร่ธาตุ และลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการใช้เทคนิคต่างๆ อาทิเช่น การบด (Crushing) การกด (Pressing) การอบแห้ง การล้างด้วยน้ำที่มี pH เป็นกรด การต้ม และการหมัก (No and Meyers, 1997) ดังนั้นเปลือกกุ้งที่ผ่านการทำฟรียูรีตเมนต์แล้วสามารถนำมาสกัดไคตินโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นเพียง 2.5% ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 6 ชั่วโมงและผลิตภัณฑ์ไคตินที่ได้นี้ เมื่อนำมาผลิตเป็นไคโตซานจะได้ไคโตซานที่มีสมบัติดังนี้ ปริมาณเถ้า ~ 0.5% ปริมาณโปรตีน ~ 0.5% ความหนืด ~ 4000 cps. การละลาย ~ 100% (Stevens, 2001)

หมายเหตุ: ขั้นตอนที่ 1 และ 2 สามารถสลับลำดับก่อนหลังได้

2.1.4 สมบัติและการใช้ประโยชน์ของไคโตซาน

1. สมบัติของไคโตซาน

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Cationic Polyelectrolyte เนื่องจากมีหมู่ $-NH_2$ ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สอง สามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับอนุภาคที่มีประจุลบซึ่งจะจัดกระจายอยู่เข้ามารวมกันเป็นกลุ่มกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูงขึ้น แล้วตกตะกอนลงมา

ในที่สุดประจุบวก (NH^{4+}) บนโครงสร้างไคโตซานสามารถเกิดการ Interact กับประจุลบของสารประกอบอินทรีย์ เช่น Protein, Anionic Polysaccharide, Nucleic Acid ทำให้ได้ประจุไฟฟ้าที่เป็นกลาง ดังนั้นไคโตซานจึงสามารถทำหน้าที่เป็น Coagulant ทำให้เกิดการรวมกลุ่มของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกลือของ Alkali Earth ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะหนักได้โดยใช้หมู่ NH_2 - ในการเกิด Chelate Metal Ion พวก Copper, Magnesium และสามารถจับกับโลหะได้หลายชนิด เช่น Chromium, Silver, Cadmium เนื่องจากมีประจุบนสายโมเลกุลจึงสามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติโดยไม่ก่อให้เกิดการตกค้างและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังพบว่าไคโตซานเป็นตัวเหนียวนำไปสร้างเอนไซม์ Chitinase และ β -1, 3 Glucanase ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองนี้สามารถเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของไคตินและกลูแคน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เชื้อราส่วนใหญ่เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคในพืชได้

1.1 ปริมาณการสูญเสียกลุ่มอะซิทิล (Degree of Deacetylation) เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินหรือไคโตซาน เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นโพลีเมอร์ระหว่าง 2 โมโนเมอร์ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า คือ มีค่า Degree of Deacetylation ต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์สองมากกว่า คือ มีค่า Degree of Deacetylation สูงจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

1.2 ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น Degree of Deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของพอลิเมอร์จะลดลงเมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่กรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

1.3 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1.0×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต

1.4 การละลาย (Solubility) โคลโคซานไม่ละลายน้ำ ต่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่มีกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก เป็นกรดที่นิยมนำมาใช้ในการละลายโคลโคซาน ตารางที่ 2-2 แสดงความสามารถในการละลายของโคลโคซาน (วรรณรัตน์และคณะ, 2547) กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายโคลโคซานได้เช่นกันภายใต้การคนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามบางครั้งอาจมีตะกอนสีขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น

ตารางที่ 2-2 ความสามารถในการละลายของโคลโคซานในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่มีความเข้มข้นของกรดต่างกัน

ชนิดของกรด	ความเข้มข้นของสารละลาย %(ปริมาตรต่อปริมาตร)				
	1%	5%	10%	50%	>50%
อะซิติก	+	+	+	+	
อะไคปิก	+				
ซิตริก	-				
ฟอร์มิก	+	+	+	+	+
แลคติก	+	+	+		
มาลิก	+	+	+		
ทาร์ตาริก	-		-		
ไฮโดรคลอริก	+	-	-		
ไนตริก	+	-	-		
ฟอสฟอริก	-	-	-		
ซัลฟิวริก	+	-			

+ หมายถึง ละลายได้ - หมายถึง ไม่ละลาย

(วรรณรัตน์และคณะ, 2547)

2. การใช้ประโยชน์ของไคโตซาน

2.1 ด้านอาหาร ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไก คือ ไคโตซานมีประจุบวก สามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นๆ ของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนไคตินและไคโตซานให้เป็นสารที่ใส่เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกันบูด สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปแบบที่รับประทานได้ (Edible Film)

2.2 ด้านประมง นำไคโตซานมาใช้ประโยชน์ในด้านการยืดอายุการเก็บรักษาและการถนอมอาหารที่เป็นผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำ นำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ วิธีการนั้นมีหลายรูปแบบ ได้แก่ การคลุกกับอาหารเม็ดในอัตราส่วนต่างๆ กัน เพื่อให้กุ้งกิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการไปกระตุ้นภูมิคุ้มกันโรคในตัวกุ้ง และเพื่อเป็นส่วนไปกระตุ้นการย่อยอาหารและการเจริญเติบโต ช่วยให้เม็ดอาหารคงรูปอยู่ในน้ำได้นานกว่าโดยการเคลือบสารไคโตซานบนอาหารที่จะหว่านให้กุ้งกิน

2.3 ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม การใช้ประโยชน์โดยนำมาประกอบเป็นอาหารเพื่อลดน้ำหนัก ทำผลิตภัณฑ์เสริมความงาม เช่น ครีมทาผิว ทำเป็นแผ่นไคโตซานเพื่อปิดปากบาดแผลที่เกิดจากการผ่าตัดเฉพาะที่ นอกจากนี้ยังใช้ไคโตซานเป็นส่วนผสมของยาหลายประเภท เช่น ยาที่ใช้พ่นทางจมูกเพื่อบรรเทาอาการโรคทางเดินหายใจ มีรายงานการใช้ไคโตซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสำคัญ

2.4 ด้านเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ไคตินและไคโตซานมีสมบัติโดดเด่นในการอุ้มน้ำและเป็นตาข่ายคลุมผิวหนัง ตลอดจนต่อต้านจุลินทรีย์ต่างๆ ได้ จึงเป็นสารเติมแต่งและสารพื้นฐานของเครื่องสำอางหลายประเภท อาทิเช่น ผสมเป็นแป้งทาหน้า ทั้งแบบแป้งแข็งและแป้งฝุ่น เพื่อความชุ่มชื้นและป้องกันเชื้อโรค เป็นส่วนผสมของแชมพู ครีม และสบู่ทุกรูปแบบ ผสมโลชั่นสำหรับเคลือบเพื่อป้องกันตลอดจนบำรุงผิวและเส้นผม

2.5 ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจของประเทศสูงมาก ในปัจจุบันการใช้ไคตินและไคโตซานผสมในเส้นใย เพื่อพัฒนา

เสื้อผ้าและสิ่งทอที่สามารถป้องกันและต้านทานเชื้อโรคได้ ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่ในอนาคตอันใกล้

2.6 ด้านการเกษตร เนื่องจากไคตินและไคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืชและกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ ผลคือสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนการผลิตต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง

2.7 ด้านการปศุสัตว์ สารที่แยกได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านชีวภาพ การขึ้นรูปเป็นเม็ดไคตินและไคโตซานสามารถนำมาแยกสารชีวภาพ เช่น โปรตีน ซึ่งถูกนำกลับมาใช้เป็นอาหารของสัตว์ได้ โดยใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

2.8 ด้านการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมีสารแขวนลอยสูง ไคโตซานมีประจุบวก สามารถจับกับโปรตีนและไขมัน ได้ดี ซึ่งโปรตีนที่ได้สามารถแยกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักและจับสี (Dye) ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย

2.1.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของไคโตซาน

สารละลายของไคโตซานจะมีความข้นเหนียวแต่ใสคล้ายวุ้นหรือพลาสติกใส ยืดหยุ่น ได้เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่างๆ ได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าต้องการทำเป็นแผ่นหรือเยื่อบางๆ เป็นเจลหรือรูปร่างเป็นเม็ด เกล็ด เส้นใย สารเคลือบ และคอลลอยด์ เป็นต้น นอกจากนี้ไคโตซานยังย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อกินเข้าไปและไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเติมลงไปใต้น้ำหรือในดินเพื่อการเกษตร

การพิสูจน์ความบริสุทธิ์เบื้องต้นของไคโตซาน ทำได้ดังนี้

1. ลักษณะของสารไคโตซานที่แท้หรือบริสุทธิ์นั้นจะต้องใสไม่เหนียวเหนืดเกินไปเมื่อเปิดขวดหรือภาชนะที่บรรจุไคโตซานจะต้องไม่มีลมออกมาเพราะหากมีลมออกมา

ลมที่ออกมา คือ การเน่าบูดของสารบางชนิด เนื่องจากกระบวนการสกัดไคโตซานไม่บริสุทธิ์ ถ้านำไปใช้จะทำให้น้ำในบ่อเสียเร็วขึ้นและทำให้สัตว์น้ำติดเชื้อได้

2. เพื่อให้ทราบได้อย่างคร่าวๆ ว่าสารที่สกัดได้นั้นเป็นไคโตซานหรือไม่ โดยการนำสารที่สกัดได้มาละลายด้วยกรดอะซิติก 0.5% ถ้าละลายได้สันนิฐานเบื้องต้นได้ว่าเป็นไคโตซาน

2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไคโตซาน (วรรณรัตน์และคณะ, 2547)

1. ช่วงการผลิตไคติน

1.1 ผลของสภาวะในช่วงการผลิตไคติน กระบวนการแยกแร่ธาตุในขั้นตอนการผลิตไคตินนั้นมีผลต่อขนาดโมเลกุลของไคโตซาน ซึ่งต่อมามีผู้ค้นพบว่าหากทำการแยกแร่ธาตุด้วยกรดเกลือเจือจางที่มี pH ไม่ต่ำกว่า 3 จะได้ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่มีความหนืดสูง นอกจากนี้ความหนืดของไคโตซานจะลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแยกแร่ธาตุ (Lertsutthiwong et al., 2002) สำหรับขั้นตอนการดึงโปรตีนออกไม่ว่าจะด้วยวิธีทางเคมีหรือการใช้เอนไซม์ก็มีผลต่อความหนืดของไคโตซาน จากการทดลอง Lertsutthiwong et al., 2002 พบว่า กระบวนการผลิตไคโตซานที่เริ่มจากกระบวนการแยกโปรตีนก่อนกระบวนการแยกแร่ธาตุจะให้ไคโตซานที่มีความหนืดสูงกว่าไคโตซานที่ผลิตจากกระบวนการที่เริ่มต้นด้วยการแยกแร่ธาตุและตามด้วยการแยกโปรตีน

2. ช่วงการผลิตไคโตซาน

2.1 ความเข้มข้นของสารละลายต่างในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยทั่วไปนิยมใช้สารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดหมู่อะซิทิล มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 40-60% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีการใช้ต่างในรูปอื่นๆ เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งการใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปจะทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติได้ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นสภาวะที่รุนแรง ทั้งอุณหภูมิที่สูงและเวลาค่อนข้างนาน แต่การใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไป ก็มีผลต่อสมบัติการละลายของไคโตซานในสารละลายกรดอ่อน โดยจะทำให้ละลายได้ยากขึ้นหรือไม่สามารถละลายได้เลย

2.2 อัตราส่วนของไคตินและสารละลายต่าง เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ได้ โดยสารละลายต่างที่ใช้ควรมีปริมาณมากพอที่จะทำให้สามารถ

เกิดปฏิกิริยากับไคติน ได้อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายต่างที่สูงกว่า 1 ต่อ 10 จะไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา Deacetylation ของไคติน

2.3 อุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยมากจะใช้อุณหภูมิก่อนข้างสูง ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 80-100°C, 100°C และที่สูงกว่า 100°C เช่น 145-150°C, 180°C อัตราเร็วในการกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิ 110°C มากกว่าที่อุณหภูมิ 60°C เกือบ 2 เท่าตัว แต่ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ได้ไคโตซานที่มีมวลโมเลกุลลดลง การใช้อุณหภูมิจากการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สูงเกินไปจะทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติและทำให้ไคโตซานมีมวลโมเลกุลลดลง ถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างสูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลควรจะลดลง เพื่อไม่ให้สภาวะในการกำจัดหมู่อะซิทิลรุนแรงเกินไป สำหรับการกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิห้องนั้นสามารถทำได้ แต่จำเป็นจะต้องใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างที่ค่อนข้างสูงหรือใช้ระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิทิลเพิ่มขึ้น

2.4 เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิล ผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิล พบว่าการใช้เวลามากกว่า 2 ชั่วโมง ไม่ได้มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการกำจัดหมู่อะซิทิลมากนัก เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลมีตั้งแต่ 5-10 นาที ถึง 2-15 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการกำจัดหมู่อะซิทิล อาทิเช่น ความเข้มข้นของสารละลายต่างและอุณหภูมิ

2.5 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดเนื่องจากออกซิเจนในอากาศมีผลต่อขนาดโมเลกุลของไคโตซาน มีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นหรือมีก๊าซออกซิเจนปรากฏในขั้นตอนระหว่างการกำจัดหมู่อะซิทิล จะทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้มีมวลโมเลกุลลดลงและรายงานว่ามีการศึกษาผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยเติมตัวออกซิไดส์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้มีความหนืดลดลง ดังนั้นในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลจึงจำเป็นต้องกระทำภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน พบว่าไคโตซานที่ผลิตภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนมีขนาดของมวลโมเลกุลและความหนืดสูงกว่าไคโตซานที่ผลิตภายใต้บรรยากาศธรรมดา นอกจากนี้อาจมีการเติมสารดักจับออกซิเจน เช่น ไทโอฟินอล ซึ่งนอกจากสามารถดักจับออกซิเจนได้แล้วยังมีผลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย

2.6 คุณภาพของไคติน มีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ผลิตได้ เนื่องจากไคตินเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตไคโตซาน สมบัติของไคตินที่มีผลต่อการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดของไคตินและความหนาแน่น โดยมีผลต่ออัตราการซึมผ่านของด่างในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปสมบัติและคุณภาพของไคตินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 อย่าง คือ แหล่งของไคตินหรือวัตถุดิบที่นำมาแยกไคตินและกรรมวิธีที่ใช้ในการแยกไคติน ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ทำให้ต้องใช้เวลาในการซึมผ่านของสารเคมีไปทำปฏิกิริยากับส่วนที่อยู่ภายในอนุภาค มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยา Deacetylation ช้ากว่าและใช้เวลาานกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก

เนื่องจากไคโตซานผลิตมาจากไคตินซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากเปลือกกุ้ง กระจกปู กระจกปลาหมึก และจากสัตว์น้ำอื่นๆ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่สกัดออกมาได้อาจจะมีการปนเปื้อนของสิ่งไม่พึงประสงค์ที่มาจากสิ่งแวดล้อม หากกุ้ง ปู หรือปลาหมึก ถูกจับมาจากแหล่งน้ำที่ไม่สะอาดนัก เช่น ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก สารเคมี หรือยาปฏิชีวนะ ตลอดจนจุลชีพก่อโรคที่สำคัญ ได้แก่ E.coli, Salmolnella และ Vibrio spp. ซึ่งสิ่งเหล่านี้ปะปนอยู่ในน้ำทะเลบางแห่งที่ขาดการตรวจสอบและเฝ้าระวังทางด้านสุขอนามัยและมลภาวะอยู่แล้ว การที่จะคัดเลือกไคโตซานที่มีคุณภาพดีทั้งทางด้านขบวนการผลิตและทางด้านสุขอนามัยเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

2.2 การเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest)

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

1. การหายใจ การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่มีความสำคัญมากที่สุด กระบวนการหนึ่งในสิ่งมีชีวิตเพราะเป็นกระบวนการเผาผลาญอาหารสะสมในรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำตาลหรือแป้งไปเป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีสำหรับกิจกรรมต่างๆ ทำให้อาหารสะสมลดลงส่งผลให้คุณภาพในการบริโภคลดต่ำลง แม้ในส่วนของสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีการเจริญเติบโตแล้วก็ยังคงต้องการพลังงานในการรักษาชีวิตให้คงอยู่ เช่น การรักษาคูณสมบัติในการควบคุมการผ่านเข้าออก

ของสารต่างๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้พลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาในระหว่างการหายใจก็มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นและเสื่อมสภาพเร็วขึ้นด้วย สำหรับผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยว อาหารสะสมมีอยู่อย่างจำกัดไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้ ยกเว้นในส่วนที่มีสีเขียวอาจมีการสังเคราะห์แสงได้แต่ไม่มากนัก ถ้าอาหารในผลิตภัณฑ์ถูกใช้หมดไป ความมีชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นก็จะสิ้นสุดลง ดังนั้นอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์รวมทั้งคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่เป็นส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ยอดอ่อนของผักจะมีอัตราการหายใจสูงและผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างการพักตัวมักมีอัตราการหายใจต่ำ เช่น หัวของมันชนิดต่างๆ ผลไม้ส่วนใหญ่มีอัตราการหายใจระดับปานกลาง แต่ผลไม้บางชนิดเมื่อสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากและมีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นด้วย เช่น กล้วย มะม่วง ผลไม้ประเภทนี้มีการสูญเสียมากและเก็บรักษาได้สั้นกว่าผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำและไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เช่น ส้ม ดังนั้นภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงควรจัดให้ผักและผลไม้มีอัตราการหายใจต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ อัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเน่าเสีย ดังนั้นสามารถใช้เป็นเครื่องแสดงให้เห็นถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ภายหลังการเก็บเกี่ยวได้เป็นอย่างดี โดยผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการหายใจในระดับที่สูงกว่ามีแนวโน้มที่จะมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่า

2. การสูญเสียน้ำ การสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการที่น้ำเคลื่อนที่แบบแพร่กระจายออกจากผลผลิต เนื่องจากผักและผลไม้ต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ประกอบกับปริมาณความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ที่มีสูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผักและผลไม้จึงพยายามเคลื่อนตัวออกสู่ภายนอกตลอดเวลา แม้ว่าผักและผลไม้จะมีโครงสร้างต่างๆ เช่น ชั้นของไข (Wax) และคอร์ก (Cork) ที่ปกคลุมผิวอยู่เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ แต่ผักและผลไม้เหล่านั้นมักมีช่องเปิดที่ยอมให้น้ำและอากาศผ่านออกได้ เช่น ปากใบ (Stoma) และช่องอากาศ (Lenticel) รวมทั้งบาดแผลต่างๆ จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้น้ำหนักที่จะจำหน่ายและคุณภาพในการรับประทานลดลง โดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส (Texture) คือ ทำให้ผักและผลไม้ไม่กรอบและผิวเหี่ยวแห้ง ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น ผักรับประทานใบ จะเห็นอาการเหี่ยวได้ในเวลาอันสั้น จึงต้องป้องกันการสูญเสียน้ำให้มาก

ที่สุด ขบวนการคายน้ำเป็นขบวนการทางกายภาพที่สามารถควบคุมได้หลายวิธี ทั้งวิธีที่ทำกับผลิตผลโดยตรง เช่น การเคลือบผิวผลิตผลด้วยสารเคลือบผิวหรือการหุ้มผลิตผลด้วยฟิล์มพลาสติก และวิธีปรับสภาพแวดล้อม เช่น การปรับสภาพความชื้นรอบๆ ผลิตผลให้อยู่ในระดับสูงหรือการควบคุมการถ่ายเทของอากาศ

3. การเปลี่ยนแปลงสี ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลมักมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น โดยเฉพาะสีเขียวจะหายไปและมักปรากฏเป็นสีเหลืองหรือสีแดงแทน สีต่างๆ ของผลิตผลที่เห็นนี้เกิดจากเม็ดสี (Pigment) หรือสารสีต่างๆ ที่มีอยู่ภายในเซลล์มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น สารสีเขียวคลอโรฟิลล์ สารสีเหลืองแคโรทีน และสารสีแดงไลโคปีน สารสีเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้สีของผลิตผลเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของสารเหล่านี้ ในผักและผลไม้มักมีแคโรทีนและแซนโทฟิลล์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย แต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังเอาไว้เมื่อผักและผลไม้เข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพ คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปทำให้สีของแคโรทีนค่อยๆ ปรากฏให้เห็น โดยปริมาณไม่ได้เพิ่มขึ้น เช่น ในกรณีของกล้วยหอมและส้ม การป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์ทำได้โดยการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงและเนื่องจากคลอโรฟิลล์จะถูกออกซิเดสด้วยออกซิเจน ดังนั้นการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำจะสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ (อรอุมา, 2546)

4. การผลิตเอทิลีน เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นก๊าซ ซึ่งเนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสามารถสร้างขึ้นได้และมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ค่อนข้างมาก โดยปกติมีการสร้างในปริมาณน้อย แต่เมื่อผักและผลไม้สุกหรือมีการกระทบกระเทือน เช่น เกิดบาดแผล จะมีการสร้างสารเอทิลีนขึ้นอย่างมากและไปกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น การสุก การเปลี่ยนสีเขียวเป็นสีเหลือง การหลุดร่วงของดอกและใบ เร่งให้มีการหายใจมากขึ้น นอกจากนี้เอทิลีนยังอาจเกิดขึ้นได้จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาขยะ การจุดรูป การทำงานของเครื่องยนต์ต่างๆ ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และพบสะสมอยู่ใต้พื้นดินหรือมหาสมุทร ซึ่งก๊าซเอทิลีนนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับผักและผลไม้ได้เช่นกัน ภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงต้องป้องกันไม่ให้ผักและผลไม้ผลิตสารเอทิลีนออกมาและไม่ให้สัมผัสกับก๊าซเอทิลีนจากภายนอก ยกเว้นในกรณีที่ต้องการบ่มผลไม้ให้สุก

5. การสุก การสุกของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวทำให้มีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกี่ยวกับสรีระและเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้ ผลไม้สุกส่วนมากเนื้อจะนิ่มเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลต่างๆ ภายในผนังเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่อยู่ในชั้น Middle Lamella จากรูป Protopectin ที่ไม่ละลายน้ำไปอยู่ในรูปของ Soluble Pectin ที่ละลายน้ำได้ ทำให้ผนังเซลล์ยึดติดกันอย่างหลวมๆ นอกจากนั้นยังเกิดจากการที่แป้งภายในผลเปลี่ยนเป็นน้ำตาลและเกิดการสูญเสียน้ำออกไปจากผลิตผล การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนขนาดของเซลล์และการสูญเสียน้ำ ความเต่ง ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการสูญเสียน้ำความกรอบและความสดของผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

ภายหลังการเก็บเกี่ยว องค์ประกอบ รสชาติ และคุณค่าทางอาหารของผักและผลไม้มักเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ทำให้คุณภาพลดลง ดังนี้

1. น้ำตาลและแป้ง น้ำตาลในผักและผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณน้ำตาลอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่ชนิดของผลิตผลและสภาพแวดล้อม ผลิตผลที่มีการหายใจตลอดเวลาจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหรือพลังงาน ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่สะสมอยู่ลดลง ในผลไม้ที่สะสมอาหารในรูปของแป้ง เช่น กว๊วย มะม่วง ทูเรียน เมื่อผลไม้เหล่านี้สุก แป้งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ทำให้มีรสหวานขึ้น ในขณะที่ผลไม้บางชนิดซึ่งสะสมอาหารในรูปของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ เช่น ส้มและสับปะรดจะมีรสหวานขึ้นเนื่องจากปริมาณกรดลดลง

2. ไขมัน โดยทั่วไปผลิตผลพืชสวนมีสารประเภทไขมันอยู่น้อยมากไม่เกินร้อยละ 0.1 ยกเว้นในผลไม้บางชนิด เช่น ทูเรียนและเมล็ดเคียวมันต่างๆ ไขมันที่มีอยู่ในผักผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ ในรูปอาหารสะสม สารปกคลุมผิว และองค์ประกอบของเยื่อหุ้มผิวต่างๆ สารไขมันเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยว

ผลผลิตแล้วเยื่อต่างๆ เหล่านี้มักเสื่อมสลายลง การควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ก็จะเสื่อมลงด้วย ทำให้ผลิตผลเสื่อมสภาพลง

3. โพรตีน แม้ว่าโปรตีนในผักและผลไม้จะมีปริมาณน้อย แต่ก็มีส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว กล่าวคือเป็นเอนไซม์ที่ช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล การเปลี่ยนสี และการย่อยสลายตัวของผนังเซลล์ที่ทำให้ผลไม้อ่อนนุ่มลง เช่นหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนเป็นแป้งโดยเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องมีการชะลอการทำงานของเอนไซม์ เช่น การตัดผักให้มีก้านติดมาด้วย การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำหรือออกซิเจนต่ำ หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์สูง

4. กรดอินทรีย์ กรดที่พบมากในผักและผลไม้ คือ กรดซิตริก (Citric Acid) ซึ่งพบมากในผลไม้จำพวกส้ม ฝรั่ง ทับทิม สตรอเบอร์รี่ และสับปะรด กรดมาลิก (Malic Acid) ซึ่งพบมากในกล้วย มะม่วง และองุ่น ผลไม้อ่อนจะมีปริมาณกรดมาก ทำให้มีรสเปรี้ยวซึ่งไม่เหมาะสำหรับการบริโภค แต่เมื่อเชื้อโรคเข้าทำลายได้ยาก เมื่อผลไม้สุกปริมาณกรดมักลดต่ำลง ทำให้รสชาติดีขึ้น จึงเหมาะที่จะบริโภค ในขณะที่เดียวกันเชื้อโรคก็เข้าทำลายได้ง่ายขึ้นด้วย

5. วิตามิน ผักและผลไม้เป็นแหล่งวิตามินเอและซีที่สำคัญต่อมนุษย์ วิตามินเอส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของแคโรทีน ซึ่งเป็นสารสีและไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนักภายหลังการเก็บเกี่ยว ส่วนวิตามินซีในผักกินใบและช่อดอกมีการสูญเสียค่อนข้างมาก แต่ในผลไม้จะไม่สูญเสียมากนัก

6. สารสี ภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้มักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น โดยเฉพาะสีเขียวจะหายไปปรากฏสีเหลืองหรือสีแดงขึ้นมาแทน สารสีที่พบอยู่ในพืชแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายในไขมัน เช่น สารสีเขียวของคลอโรฟิลล์ สารสีเหลืองของแคโรทีน สารสีแดงของไลโคพีน และกลุ่มที่ละลายในน้ำ ได้แก่ แอนโทไซยานิน

2.2.3 การสูญเสียสภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว

ความเสียหายของผลิตผล มักเกิดจากสาเหตุหลายประการ ดังนี้

1. การซ้ำ เนื่องจากผลิตผลบางชนิดมีผิวบางและเนื้อนุ่มซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถแพร่ขยายไปยังผลข้างเคียงด้วย การชอกซ้ำมักจะเป็นผลมาจากการเก็บเกี่ยวที่ไม่ระมัดระวัง ทำการบรรจุหีบห่อแน่นหรือหลวมเกินไป การขนส่งและเคลื่อนย้ายไม่ระมัดระวัง

2. การเน่าเสีย ซึ่งเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราชนิดต่างๆ เช่น *Botrytis*, *Rhizopus* และ *Colletotrichum*

3. การเหี่ยวของผล เกิดจากการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ทั้งผลและกลีบเลี้ยงเหี่ยวและแห้งไปในที่สุด อาการเช่นนี้มีผลต่อลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคมองเห็นก่อนที่จะมีผลต่อคุณภาพจริง

4. การสุกงอม เนื่องจากผลไม้บางชนิดมีกระบวนการเมตาบอลิซึมสูง จึงมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากจากสุกเป็นงอม ซึ่งเป็นระยะเสื่อมสลาย (Senescence)

2.2.4 สารเคลือบผิวและผลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

(กฤติพงษ์, 2552)

ผิวหรือเปลือกของผลไม้ทำหน้าที่ปกคลุมและป้องกันอันตรายให้กับส่วนที่อยู่ภายใน การเปลี่ยนแปลงทั่วไปทางด้านชีวเคมีและกายภาพที่สำคัญหลายประการของผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวมักขึ้นอยู่กับสมบัติของผิวหรือเปลือกซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้น (พิมพ์ใจ, 2548) กระบวนการที่ทำให้ผิวหรือเปลือกเกิดการเปลี่ยนแปลงประกอบด้วย

1. การแลกเปลี่ยนก๊าซภายในผลิตผลหรือระหว่างภายในผลิตผลกับภายนอก

2. การสูญเสียความชื้นหรือการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล

3. การถูกเชื้อโรคเข้าทำลาย

4. การซึมผ่านของสารเคมีเข้าไปภายในผลิตผล

5. การที่ผลิตผลมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำ
6. ความเสียหายอันเกิดมาจากทางกล
7. การระเหยของสารมีกลิ่น
8. การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัส

ผลไม้ในธรรมชาติจะมีสารประเภทไขหรือแว็กซ์ ซึ่งเป็นสารที่เคลือบอยู่บนผิวของผลไม้มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการสูญเสียน้ำ เนื้อเยื่ออีพิเดอร์มิส (Epidermis) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นนอกสุดประกอบด้วย คิวตินและแว็กซ์ ซึ่งแทรกปะปนกันอยู่เรียกว่า คิวติเคิลแว็กซ์ (Cuticle Wax) ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ การผ่านเข้า-ออกของน้ำและอากาศส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในบริเวณปากใบและเลนติเซล นอกจากนี้ยังสามารถผ่านเข้า-ออกบริเวณคิวติเคิลได้ด้วย สำหรับผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวปากใบจะปิด การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นทางคิวติเคิล การสูญเสียน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวกันของแว็กซ์ โดยแว็กซ์ที่เรียงตัวกันไม่สนิทอาจจะมีช่องว่างที่ทำให้น้ำระเหยผ่านออกไปได้ (Ben-Yehoshua, 1987) ในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ เช่น การล้างทำความสะอาดและการขนส่งผลผลิต ทำให้แว็กซ์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหลุดออกไปบางส่วน ส่งผลให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย รวมทั้งมีการแลกเปลี่ยนแก๊สมากขึ้น จึงได้มีการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวที่ได้มาจากธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ เพื่อทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติที่หลุดออกไป โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อลดการสูญเสียน้ำของผลไม้ ทำให้ผลผลิตมีลักษณะผิวสดใสนุ่มชุ่มชื้นและลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ซึ่งจะชะลออัตราการหายใจให้ช้าลง นอกจากนี้สารเคลือบผิวยังทำให้เปลือกของผลไม้มีความมันวาวสวยงามดึงดูดความสนใจต่อผู้บริโภคด้วย

2.2.5 ชนิดของสารเคลือบผิวในกลุ่มที่บริโภคได้ (พิมพ์ใจ, 2548)

1. **สตาร์ช** ที่อยู่ในรูปของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธัญพืช เช่น ข้าวและข้าวโพด จากรากและลำต้นใต้ดินของพืชบางชนิด เช่น มันฝรั่ง แห้ว ท้ายายม่อม และมันสำปะหลัง เป็นต้น

2. น้ำมัน หมายถึงน้ำมันทุกชนิดที่สกัดจากเมล็ดพืช เช่น ถั่วเหลือง ฝ้าย ปาล์ม งา ถั่วลิสง และทานตะวัน เป็นต้น
3. โปรตีน เช่น เจลาติน ซึ่งปกติสามารถละลายได้ในน้ำร้อนมีสภาพเป็นเจล
4. สารสกัดจากสาหร่ายทะเล เช่น วุ้น ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำร้อน เมื่อใช้เคลือบผิวผักและผลไม้จะมีลักษณะเป็นแผ่นใสหุ้มอยู่ด้านนอก
5. สารที่ได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ เช่น แชนแทนกัม ซึ่งละลายได้ในน้ำเย็นและมีลักษณะที่หนืดมาก
6. โพลีแซกคาไรด์อื่นๆ ที่ได้มาจากพืช เช่น เซลลูโลส เพกทิน และกัม
7. สารสกัดจากสัตว์ เช่น ไคโตซาน

2.2.6 ประโยชน์ของไคโตซานในเชิงวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความใสเหนียว และยืดหยุ่น ซึ่งสามารถใช้ห่อหุ้มอาหารเนื่องจากสามารถรับประทานได้และทนต่อสภาพอุณหภูมิสูง สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงมีผลต่อเมแทบอลิซึมของผลไม้ (พิมพีใจ, 2548) ไคโตซานมีประสิทธิภาพในการลดอัตราการเติบโตของเชื้อรา โดยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยตรงและกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืช เพื่อให้เกิดภูมิคุ้มกันต้านทานเชื้อรา ดังนั้นจึงได้มีการนำไคโตซานมาเคลือบผิวผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่ายาฆ่าเชื้อราบางชนิดและยังปลอดภัยกว่าด้วย ได้มีการทดลองใช้สารละลายไคโตซานกับผักและผลไม้หลายชนิด ได้แก่ ส้ม ลิ้นจี่ สตอเบอร์รี่ มะเขือเทศ แตงกวา และพริกหยวก พบว่าสามารถช่วยลดอัตราการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายน้ำ และลดการผลิตก๊าซเอทิลีนด้วย ซึ่งทำให้ผักและผลไม้คงความกรอบ ผิวไม่เหี่ยวแห้ง และลดการเปลี่ยนแปลงสีผิว นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถเคลือบบนผิวเครื่องเทศได้ เพื่อป้องกันรักษาการสูญเสียกลิ่นของเครื่องเทศจากการสเตริไรซ์ด้วยไอน้ำ และยังมีการใช้ไคโตซานในการเคลือบบนผิวไข่เพื่อรักษาความสดของไข่ให้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยคุณภาพ เช่น ลักษณะของไข่แดง ความหนาของไข่ขาว และ

รสชาติไม่เปลี่ยนแปลง รวมทั้งมีผลทำให้เปลือกไข่มีความแข็งแรงขึ้น ป้องกันการแตก ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง

2.3 กล้วยหอมทอง

กล้วยเป็นผลไม้เขตร้อน มีศักยภาพที่จะเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ การปลูกและการดูแลรักษาง่าย ให้ผลผลิตเร็ว รวมทั้งตลาดในและต่างประเทศมีความคล่องตัวสูง กล้วยหอมจึงเป็นกล้วยอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมของตลาดส่วนใหญ่ กล้วยหอมทองของไทยยังเป็นสินค้าส่งออกไปยัง ฮังกิง ลิงคโปร์ ญี่ปุ่น และประเทศทางฝั่งยุโรปอีกหลายประเทศ กล้วยหอมทอง เมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง กลิ่นหอม รสหวาน พบว่ามีปริมาณ โปรตีนและน้ำตาลมากกว่ากล้วยชนิดอื่นๆ กล้วยหอมทองเป็นผลไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจแบบ Climacteric Fruit โดยหลังการเก็บเกี่ยวแล้วมีช่วงการเปลี่ยนแปลงระยะสุดท้ายก่อนสุก อัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นซึ่งในช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ ภายในผล ทั้งทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีหลายประการ เช่น ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น การเกิดกลิ่น การเปลี่ยนแปลงสี การสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้น สภาพการอ่อนตัวของผลสุกทำให้เกิดการอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์และทำให้อาการของโรคสามารถพัฒนาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นปัญหาและอุปสรรคต่อการส่งออกเป็นอย่างมาก

2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยหอมทอง (*Musa* AAA group) “Kluai Hom Thong” กลุ่มย่อย Gros Michel ชื่อสามัญ “Kluai Hom Thong” กล้วยหอมทองมีลำต้นเทียมสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร ตามลำต้นด้านบนก็มีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน และมีเส้นลายสีชมพู ใบ ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้าง และมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ดอก ก้านช่อดอก มีก้านใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านในสีแดงซีด ผล เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีละ 12-16 ผล ปลายผลมีจุดเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง แต่

ที่ปลายจุกจะมีสีเขียว แล้วเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวาน (จินดา, 2550) แต่มีข้อเสีย คือ ไม่ทนทานต่อโรคตายปลายและโรคใบจุด

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวและดัชนีการเก็บเกี่ยว

1. **ดัชนีการเก็บเกี่ยว** การเก็บเกี่ยวกล้วยมักจะเก็บเมื่อกล้วยมีความแก่ต่างๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับตลาด ถ้าหากต้องการขนส่งไปยังที่ไกลๆ หรือเพื่อการส่งออกที่ต้องใช้ระยะเวลาในการเดินทางนาน เช่น การส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ ก็จะเก็บเกี่ยวเมื่อผลยังมีเหลี่ยม คือ ยังแก่ไม่เต็มที่ที่มีความแก่ประมาณร้อยละ 70-80 ถ้าต้องการส่งไปยังตลาดต่างจังหวัดภายในประเทศ ควรเก็บเมื่อแก่เต็มที่ ซึ่งจะสุกภายใน 1-2 อาทิตย์ แต่ถ้าส่งตลาดภายในจังหวัดหรือบริเวณใกล้เคียงควรเก็บเกี่ยวผลที่แก่เต็มที่ซึ่งจะสุกภายในไม่ถึงอาทิตย์

มาตรฐานความแก่ของกล้วยขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของกล้วย ดังนี้ (จินดา, 2550)

Full หมายถึง ผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลย เรียกว่า แก่เต็มที่ร้อยละ 100

Full $\frac{3}{4}$ หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน มีความแก่ประมาณร้อยละ 90

Light Full $\frac{3}{4}$ หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมชัดเจน มีความแก่ประมาณร้อยละ 80

Light $\frac{3}{4}$ หมายถึง ผลที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของผลที่โตเต็มที่ หรือมีความแก่ประมาณร้อยละ 70

2. ขั้นตอนการสุกของกล้วย

การสุกของกล้วยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวดังนี้

ระยะที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย

ระยะที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวออกเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองเริ่มมีสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ที่มีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวสีเหลืองมีสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเยื่ออ่อนตัว มีกลิ่นแรง)

3. การเก็บรักษา การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ที่ต้องผ่านการตัดแต่งและมีขั้นตอนในการปฏิบัติหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้กล้วยที่มีคุณภาพดี ในด้านการเก็บรักษา พบว่าอุณหภูมิต่ำเป็นปัจจัยสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วย โดยสามารถชะลอการสุก ลดกระบวนการเมตาบอลิซึม ลดอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีน รวมทั้งลดการเข้าทำลายของเชื้อ แต่อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปอาจจะทำให้กล้วยเกิดความเสียหายได้ โดยมีลักษณะอาการ คือ ผิวเป็นรอยบวม สีคล้ำ เนื้อช้ำ ใส่งกลางผล และเนื้อเป็นไตแข็งสีขาว เรียกอาการนี้ว่า Chilling Injury (CI) (ชลาธร, 2546) การสุกของผลไม้เกิดขึ้นชัดเจนในผลไม้ประเภท Climacteric ผลกล้วยมีอัตราการหายใจสูงระหว่างพัฒนาการของผลในช่วงการสุก แล้วจะค่อยๆ ลดลงเมื่อผลมีอายุมากขึ้น ในขณะที่การผลิตเอทิลีนต่ำมาก แต่เมื่อผลเริ่มสุกจะมีการผลิตเอทิลีนเพียงเล็กน้อยก่อนการเพิ่มขึ้นของการหายใจ และการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เนื่องจากความเข้มข้นของเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นภายในผลจะเป็นตัวชักนำให้เกิด Climacteric Rise ของกระบวนการหายใจและการหายใจจะเพิ่มขึ้นพร้อมการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อต่างๆ (จินดา, 2550)

2.4 มะนาว

มะนาวเป็นพืชที่ปลูกกันมาก มีประโยชน์ทางด้านโภชนาการสูง นำมาใช้ประกอบอาหารที่ต้องการรสเปรี้ยว เช่น ต้มยำ ยำ แกงส้ม หรือทำเป็นเครื่องดื่มน้ำมะนาว นอกจากจะใช้ปรุงอาหารและทำเครื่องดื่มต่างๆ แล้วยังใช้น้ำมันที่สกัดได้จากผิวมะนาวเป็นส่วนทำเครื่องสำอาง ยารักษาโรค และผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมากมาย จึงเป็นที่ต้องการทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ มะนาวที่ปลูกมากในประเทศไทยเป็นพันธุ์พื้นเมือง มีพื้นที่การเพาะปลูกมะนาวแพร่หลายโดยมีแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญ ได้แก่ นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี เชียงใหม่ นครสวรรค์ นครปฐม สมุทรสาคร กาญจนบุรี และเพชรบุรี มะนาวเป็นผลผลิตที่มีความต้องการของตลาดสูงมากตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง คือ ประมาณเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนของทุกปีมะนาวจะมีราคา

สูงทั้งนี้เนื่องจากช่วงฤดูแล้งจะมีผลผลิตมะนาวสดออกสู่ตลาดน้อย และผลผลิตมะนาวสดจะมีราคาต่ำในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมของทุกปี เหตุเพราะมีผลผลิตมะนาวสดออกสู่ตลาดจำนวนมาก (สุปราณี, 2545)

2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะนาวมีชื่อสามัญ คือ Lime ในประเทศไทยมีชื่อเรียกท้องถิ่นอื่นๆ หลายชื่อ เช่น มะนอเกละ ปะนอเกล มะนาวไเล (วีระยุทธ, 2550) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia*.Swing. ซึ่งอยู่ในวงศ์ Rutaccae มะนาวเป็นพืชพื้นเมืองของอินเดียมีถิ่นกำเนิดอยู่ในหมู่เกาะอินดีสตะวันออกหรือทางภาคเหนือของอินเดียแล้วได้กระจายพันธุ์เข้าสู่แผ่นดินใหญ่ของทวีปเอเชียภายหลัง โดยปกติมะนาวจะออกดอกมากประมาณเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม โดยผ่านช่วงความแห้งแล้งมาเร็วระยะหนึ่ง มะนาวต้นหนึ่งๆ จะให้ผลตั้งแต่ 150-200 ผลขึ้นไปเมื่ออายุ 6-7 ปี ถ้าต้นสมบูรณ์ดีมีกิ่งก้านใหญ่อาจให้ผลถึง 800-1,000 ผล

ผลมะนาวมีรูปร่างที่แตกต่างกันมีหลายรูปทรงแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ เช่น รูปไข่ รูปทรงกลม และขนาดของผลโดยทั่วไปประมาณ 3-12 เซนติเมตร ผิวจะมีต่อมน้ำมันที่เปลือก เมื่อสุกจะมีสีเหลือง เมล็ดมีลักษณะไม่แน่นอน มีรูปร่างที่แตกต่างกัน เช่น รูปทรงแบนใหญ่ รูปทรงกลมยาว เป็นต้น

2.4.2 พันธุ์มะนาวที่ปลูกในประเทศไทย

สำหรับมะนาวที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ (นาตยา, 2544) คือ

1. มะนาวไข่ มีลักษณะกลม หัวท้ายยาวรีเล็กน้อย คล้ายไข่เปิด เปลือกบาง
2. มะนาวหนัง มีลักษณะผลใหญ่ค่อนข้างกลม เปลือกบาง มีปริมาณน้ำมากกว่ามะนาวไข่ และมีกลิ่นหอม
3. มะนาวทวาย นิยมปลูกกันมากเนื่องจากให้ผลมากตลอดเกือบทั้งปี ได้แก่พันธุ์แม่ไก่ไข่ดก พันธุ์เป็นรำไพ พันธุ์เป็นทวาย มีลักษณะผลทรงแป้น เปลือกบาง มีปริมาณน้ำมาก และมีกลิ่นหอม

4. มะนาวพันธุ์ดาฮีติ มีผลโตมาก เปลือกหนา มีปริมาณน้ำมาก และไม่มีเมล็ด
5. มะนาวหวาน ผลกลม เปลือกสีเขียวคล้ำ เนื้อภายในสีค่อนข้างแดงเรื่อๆ คล้ายส้มเขียวหวาน รสชาติออกหวานจัด
6. มะนาวปีนัง ผลกลมยาว ก้นผลแหลมคล้ายไข่เต่า เปลือกหนามักกลิ่นหอม
7. มะนาวโมพี ผลกลมโต แต่ส่วนก้นจะกลมแป้น มีเปลือกหนา รสเปรี้ยวมาก
8. มะนาวพม่า ผลกลมโต เปลือกหนาแข็ง รสเปรี้ยวแต่ไม่มีกลิ่นหอม

2.4.3 โครงสร้างของผลมะนาว

ผลไม้ตระกูลส้มจะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน 3 ส่วน (กฤติพงษ์, 2552) คือ

1. **ชั้น Exocarp** ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกของผลหรือที่เรียกว่า ชั้นฟลาวิโด (Flavedo) ชั้นนอกสุดเป็นชั้นของอพิเดอมิส (Epidermis) ที่มีคิวติเคิล (Cuticle) และมีต่อมน้ำมัน (Oil gland) ในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ชั้นนี้จะมีคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) แต่เมื่อผลสุกคลอโรพลาสต์จะเปลี่ยนไปเป็นโครโมพลาสต์ (Chromoplast) และมีการสร้างเม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ทำให้ผลมีสีตามลักษณะสายพันธุ์
2. **ชั้น Mesocarp** เป็นผนังชั้นกลางที่อยู่ถัดจากชั้น Exocarp หรือที่เรียกว่า อัลบิโด (Albedo) เป็นชั้นบางๆ สีขาว เป็นเซลล์พวก Spongy Parenchyma ประกอบด้วยสารจำพวกเพคติน (Pectin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ความหนาบางของชั้น Albedo จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์
3. **ชั้น Endocarp** เป็นชั้นในสุดของ Pericarp คือ Cappel Membrane ของกลีบนั่นเอง โดยปกติจะมี 9-13 กลีบ ภายในกลีบจะประกอบด้วยเมล็ดเล็กน้อยและเต็มไปด้วยถุงน้ำจำนวนมากที่เชื่อมติดกับผนังกลีบ โดยถุงน้ำจะขยายตัวตามการพัฒนาของผล ถุงน้ำทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำ น้ำตาล และสารต่างๆ

2.4.4 องค์ประกอบที่สำคัญของมะนาว (นาตยา, 2544)

1. **รงควัตถุ (Color Pigment)** ในผลไม้รงควัตถุที่พบส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) และฟลิวอนอยด์ (Flavonoids) สำหรับในมะนาวนั้นจะพบคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่สำคัญ โดยพบว่าแคโรทีนอยด์จะปรากฏชัดขึ้นเมื่อปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือกลดลง ในขณะที่ผลมะนาวเริ่มแก่หรือเริ่มเข้าสู่สภาพเสื่อมเสีย

2. **กรดอินทรีย์ (Acids)** ชนิดของกรดในผลไม้ตระกูลส้ม ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยปริมาณกรดที่พบมาก ได้แก่ กรดซิตริกและมาลิก และพบในปริมาณเล็กน้อยได้แก่ กรดทาร์ทาริก กรดเบนโซอิก กรดออกซาลิก และกรดซัคซินิก สำหรับในมะนาว กรดซิตริกจะมีในปริมาณมากที่สุด แต่จะพบกรดออกซาลิกปริมาณมากสุดในเปลือก

3. **น้ำตาล (Sugar)** ความหวานในผลไม้ตระกูลส้มส่วนใหญ่พบว่ามาจาก น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครส โดยพบว่าในน้ำส้มจะมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสอยู่ระหว่างร้อยละ 1-2.3 น้ำตาลฟรุกโทสร้อยละ 1-2.8 และน้ำตาลซูโครสร้อยละ 2-6 ส่วนในน้ำมะนาวนั้นจะพบน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทสร้อยละ 0.8-0.9 และน้ำตาลซูโครสร้อยละ 0.2-0.3

4. **สารประกอบที่ระเหยได้ (Volatile Constituents)** สารประกอบที่ระเหยได้โดยทั่วไปจะเป็นส่วนสำคัญในการเป็นตัวที่ทำให้เกิดรส (Flavor) และกลิ่น (Order) ซึ่งสารเหล่านี้สามารถจำแนกได้หลายประเภท เช่น แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ คีโตน เอสเตอร์ ไฮโดรคาร์บอน และกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ ส่วนในมะนาวสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมระเหยนั้น ได้แก่ สารนีรัล (Neral) และสารจีรามิอัล (Geramial)

2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษามะนาว (วารุณี, 2547)

1. **คุณภาพของผลิตผลเริ่มต้น** ผลิตผลที่จะนำมาทำการเก็บรักษาต้องมีคุณภาพที่ดีที่สุด โดยไม่ต้องอ่อนหรือแก่จนเกินไป ไม่มีโรค และรอยขีดข่วน ที่เป็นช่องทางให้เชื้อจุลินทรีย์

เข้าไปทำลายได้ สำหรับมะนาวที่นำมาเก็บรักษาต้องแก่พอเหมาะ ผิวต้องสีเขียวสด ไม่ปนเหลือง ไม่มีรอยช้ำหรือเน่า

2. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งต่อการเก็บรักษาผักและผลไม้ ซึ่งเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำจะสามารถชะลอการเก็บขบวนการเมตาบอลิซึมของผลผลิต แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปจนผลผลิตไม่สามารถทนได้ อาจทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว คือ อาการเกิดรอยบวม

3. ความชื้นในบรรยากาศ จะมีอิทธิพลของการสูญเสียน้ำหนักของผลผลิต ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตยังคงมีการหายใจให้พลังงานความร้อนออกมาสู่ระบบบรรยากาศรอบๆ ทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น การระเหยของน้ำจึงมีมากขึ้น ส่งผลต่อน้ำหนักผลผลิต

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การผลิตไคโตซาน

กิ่งชมและคณะ (2548) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้ง จากการศึกษาพบสภาวะที่เหมาะสมดังนี้ ขั้นตอนแรกทำการแยกโปรตีนด้วยการทำปฏิกิริยาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% ในอัตราส่วนเปลือกกุ้งบด 1 กรัม ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดและทำให้แห้ง ขั้นตอนที่สองทำการแยกแร่ธาตุโดยทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 4% ในอัตราส่วนเปลือกกุ้ง 1 กรัม ต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 4 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดและทำให้แห้ง ขั้นตอนต่อไปทำการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยการทำปฏิกิริยากับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% (w/v) ในอัตราส่วนไคติน 1 กรัม ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดและทำให้แห้ง ทำการกำจัดหมู่อะซิทิลอีกครั้งโดยทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% (w/v) ในอัตราส่วน ไคติน 1 กรัม ต่อ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดจะได้ไคโตซาน ไคโตซานที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่ใกล้เคียงกับไคโตซานจากบริษัท Seafresh Chitosan (Lab)

Company Limited โดยไคโตซานนั้นจะมีแถบการสั่นแบบงอของพันธะ N-H ของเอมีน ปรากฏในช่วง 1640-1560 cm^{-1} และแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ C=O ของคาร์บอนิล ปรากฏในช่วง 1850-1650 cm^{-1} ซึ่ง IR สเปกตรัมของไคโตซานที่เตรียมได้อาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากไคซานของบริษัท Seafresh Chitosan (Lab) Company Limited เนื่องจากมีการกำจัดหมู่อะซิทิลออกไปได้ไม่มาก

ขวัญใจและคณะ (2542) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไคโตซานจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดหมู่อะซิทิลหลังการกำจัดโปรตีน แร่ธาตุ และสี คือ การแช่เปลือกกุ้ง 1 ส่วน ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 ส่วนที่มีความเข้มข้น 70% ที่อุณหภูมิ 90-100°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่ากระบวนการสามารถสกัดไคโตซานได้ 23.45% เมื่อเทียบกับน้ำหนักเปลือกกุ้งอบแห้งเริ่มต้น ไคโตซานที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ความชื้น ไขมัน เถ้า และแคลเซียม 7.05, 5.23, 1.77, 0.59 และ 0.08% ตามลำดับ การกำจัดหมู่อะซิทิลเท่ากับ 81.90% สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าไคโตซานสามารถละลายในสารละลายกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 2% ได้ถึง 99.85%

สุดาพรและคณะ (2549) ได้ศึกษาการเตรียมไคโตซานจากเปลือกกุ้งและกระดองปูโดยนำเปลือกกุ้งและกระดองปูที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนและเกลือแรมมากำจัดหมู่อะซิทิลด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% (w/v) ที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120°C แล้วยืนยันความเป็นไคโตซานด้วยอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 120°C ไคโตซานที่เตรียมจากเปลือกกุ้งและกระดองปูได้ผลผลิตเท่ากับ 24.01 และ 25.70% ตามลำดับ การหา %DD ของ ไคโตซานมาตรฐานเท่ากับ 83.07, 80.20 และ 78.94% ตามลำดับ การหา %DD ด้วยเทคนิคการไทเทรตเท่ากับ 82.20, 80.38 และ 78.25% ตามลำดับ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเท่ากับ 1.07×10^6 , 8.27×10^5 และ 7.43×10^5 g/mol ตามลำดับ

Lertsutthiwong et al. (2002) ทำการศึกษาผลของสารเคมีที่มีต่อลักษณะของไคโตซาน คุณภาพของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งขึ้นอยู่กับสภาวะของกระบวนการผลิต ความเข้มข้นของสารเคมี เวลาที่ใช้ในการแช่และลำดับของขั้นตอนในการผลิต ได้แก่ การกำจัดโปรตีน การกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต และการกำจัดหมู่อะซิทิล ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสม

สำหรับการกำจัดโปรตีน การกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต และการกำจัดหมู่อะซิทิล คือ การแช่เปลือก กุ้งบดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% อัตราส่วน 1: 4.5 (w/v) เป็นเวลา 21 ชั่วโมง ตามด้วย กรดไฮโดรคลอริก 4% อัตราส่วน 1: 4.5 (w/v) เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องและสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% อัตราส่วน 1: 20 (w/v) ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 3 วัน การกำจัด แคลเซียมคาร์บอเนตก่อนการกำจัดโปรตีนจะทำให้โคโตซานที่ได้มีความหนืดสูง

2.5.2 การเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

ฉัตรวรรณ (2548) ทำการศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์และโคโตซาน ต่อการรักษาคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อน *Zea mays* L. พันธุ์มหัศจรรย์และพันธุ์แปซิฟิก 283 จาก การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและการรักษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาด้วยการแช่ ข้าวโพดฝักอ่อนในสารละลาย CaCl_2 เข้มข้น 0, 1, 2, 3 และ 4% เป็นเวลา 2 นาที และ 4 นาที ก่อน การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3°C เป็นเวลา 21 วัน โดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของข้าวโพดฝัก อ่อนทุกๆ 3 วัน พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ CaCl_2 ความเข้มข้น 4% แช่เป็นเวลา 4 นาที สามารถรักษา ความแน่นเนื้อและชะลอการเกิดเส้นใยได้มากที่สุดที่สุดในข้าวโพดทั้งสองสายพันธุ์ ส่วนการแช่ ข้าวโพดฝักอ่อนในสารละลายโคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 20 และ 40 ppm แช่เป็นเวลา 4 นาที พบว่าชุดการทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ ชุดการทดลองที่แช่โคโตซานเข้มข้น 5 และ 40 ppm แช่เป็นเวลา 4 นาที โดยชุดการทดลองที่แช่โคโตซานความเข้มข้น 5 ppm เป็นเวลา 4 นาที สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้มากที่สุด และการใช้โคโตซานเข้มข้น 4 ppm แช่เป็นเวลา 4 นาที สามารถชะลอการเกิดเส้นใยได้มากที่สุดที่สุดในข้าวโพดทั้งสองสายพันธุ์ สำหรับผลของการเลือกใช้ CaCl_2 ความเข้มข้น 4% ร่วมกับโคโตซานเข้มข้น 5 หรือ 40 ppm แช่เป็นเวลา 4 นาที พบว่าข้าวโพด อ่อนพันธุ์มหัศจรรย์ที่ผ่านการแช่ CaCl_2 4% มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด และการแช่ CaCl_2 4% ร่วมกับโคโตซาน 40 ppm ช่วยลดปริมาณเส้นใยในข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์แปซิฟิก 283 นอกจากนี้ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่ CaCl_2 4% ร่วมกับโคโตซาน 5 ppm สามารถลดอัตราการ หายใจและแอกติวิตีของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ในข้าวโพดฝักอ่อนทั้งสองสายพันธุ์

พิมพีใจ (2548) ทำการศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอร์รี่พระราชทาน 72 โดยการเคลือบผิวผลสตรอเบอร์รี่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% ผลสตรอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยไคโตซานความเข้มข้น 1.5 และ 2.0% มีลักษณะปรากฏดีที่สุดและมีการเข้าทำลายของเชื้อราที่น้อยที่สุด ผลสตรอเบอร์รี่ที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 2.0% มีปริมาณวิตามินซีและของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่า แต่มีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำกว่าผลสตรอเบอร์รี่ที่ไม่เคลือบผิวและมีแนวโน้มว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานสามารถลดการสูญเสียความหนาแน่นเนื้อและอัตราการหายใจได้ดีกว่าการที่ไม่เคลือบผิว

วรรณรัตน์และคณะ (2547) ทำการศึกษาผลของไคโตซานที่มีต่อการคงสภาพของมะเขือเทศ โดยทำการสกัดไคโตซานจากไคตินที่มาจากเปลือกกุ้ง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การสกัดแยกโปรตีนโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% การสกัดแยกแคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 1 M และการสกัดแยกรงควัตถุด้วยเอทานอล 95% พบว่ามีปริมาณไคตินเท่ากับ 35.25% และเมื่อนำไคตินที่ได้ไปทำการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 50% (w/v) ที่อุณหภูมิ 110°C นาน 2 ชั่วโมงและนำไปศึกษาสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าไคโตซานที่ได้มี %DD เท่ากับ 84% หลังจากนั้นนำสารละลายไคโตซานไปเคลือบผิวของมะเขือเทศ โดยใช้ความเข้มข้นต่างกันดังนี้ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 1.0% (w/v) พบว่าสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้นมากจะมีการคงสภาพมากกว่าไคโตซานที่มีความเข้มข้นน้อย หลังจากการเก็บรักษา 15 วัน มะเขือเทศที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน 1.0% มีการคงสภาพมากที่สุด

วรเชษฐ (2552) ศึกษาผลของไคโตซานและอุณหภูมิของการเก็บรักษาต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของเห็ดลม ทำการเคลือบผิวด้วยการจุ่มในสารละลายไคโตซาน 0.5, 1.0 และ 2.0% ในกรดซิตริก 0.3% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (จุ่มในกรดซิตริก 0.3 % และที่ไม่จุ่มในสารละลายใดๆ) จากนั้นบรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) เก็บที่อุณหภูมิ 4, 10 และ 25°C ผลการทดลอง พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของเห็ดลมได้ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักของเห็ดลมน้อยมากทุกกรรมวิธีสูญเสียน้ำหนักไม่ถึง 0.01% และมีค่าการสูญเสีย

น้ำหนักไม่ต่างกัน มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์น้อยลงในทุกระดับความเข้มข้นของไคโตซานเมื่อเทียบกับชุดควบคุม สำหรับการศึกษาสภาวะในการเก็บรักษาดอกเห็ดลมที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าที่ 4, 10 และ 25°C สามารถเก็บรักษาดอกเห็ดไว้ได้ 10, 3 และ 2 วัน ตามลำดับ

วารุณี (2547) จากการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวด้วยภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน คือ ถุงตาข่าย ไนล่อน ถุงพลาสติกเจาะรู ถาดโฟมหุ้มฟิล์มยืด และกล่องโฟมปิดฝา โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 10°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% พบว่าทรีตเมนต์ที่ 4 กล่องโฟมปิดฝา สามารถเก็บรักษาผลมะนาวให้มีอายุยาวนานที่สุด 77 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีตเมนต์ คือ ถุงพลาสติกเจาะรู ถาดโฟมหุ้มฟิล์มยืด และถุงตาข่ายไนล่อน มีอายุการเก็บรักษา 63, 60, 66 และ 35 วัน ตามลำดับ แต่การเก็บด้วยถุงพลาสติกเจาะรูและถาดโฟมหุ้มฟิล์มยืดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด แต่ในทรีตเมนต์ที่ 1 ถุงตาข่ายไนล่อน สามารถเก็บรักษาผลมะนาวได้นาน เท่ากับ 35 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีตเมนต์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของผลมะนาวแต่ละทรีตเมนต์ มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักลดลง สีผิวของมะนาวมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้นตามลำดับ และคะแนนความสดลดลงตามอายุการเก็บรักษา ทรีตเมนต์ที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด สำหรับการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายในผลมะนาว เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำลดลง pH ของน้ำมะนาวลดลง คะแนนน้ำคั้นมะนาวก็ลดลงตามอายุการเก็บรักษา แต่ละทรีตเมนต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายในจะหมดสภาพตามลักษณะภายนอก

มยุรีและคณะ (2551) ศึกษาผลของการใช้ไคโตซานต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลกล้วยไข่ โดยแช่ผลกล้วยไข่ในไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.25, 0.5 และ 1% (w/v) นาน 5 นาที ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (60±5%) จนหมดสภาพ พบว่าไคโตซานที่ระดับ 0.5% (w/v) ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผลกล้วยไข่ได้ดีตลอด 10 วันที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของสีผิวและความอ่อนนุ่มช้ากว่าความเข้มข้นอื่นๆ แต่ไคโตซานสามารถช่วยชะลอการตกกระได้เฉพาะในช่วงแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นไม่แตกต่าง แต่ถ้าปล่อยกล้วยไข่ไว้หลังจากนี้ พบว่าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ไคโตซาน 1% (w/v) มีอัตราการเน่าเสียสูงถึง 60% รองลงมา คือ ไคโตซาน 0.25 และ 0.5% (w/v)

โดยเน่าเสีย 50% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และคุณภาพภายในไม่พบความแตกต่างตลอดการเก็บรักษา

Chien et al. (2007) ศึกษาผลของการเคลือบผิวผลส้ม (Murcott tangor) ด้วยไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LMWC, MW = 15 กิโลดาลตัน) ต่อการสลายตัวและการรักษาคุณภาพของผลส้ม พบว่าการเคลือบผลส้มด้วย LMWC ความเข้มข้น 0.1% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C ช่วยชะลอการเสื่อมสลายของผลส้มเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 56 วัน และการสลายตัวลดลงกว่า 20% เมื่อเทียบกับการเคลือบด้วยสารเคมี TBZ การเคลือบผลส้มด้วย LMWC ความเข้มข้น 0.2% มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผลไม้ที่เกิดจาก *Penicillium digitatum* และ *Penicillium italicum* ได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับสารเคมี TBZ

Jiang et al. (2001) ศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานในการเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาและคุณภาพของลำไยหลังการเก็บเกี่ยว โดยทำการเคลือบผิวลำไยด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0% ตามลำดับ จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ กิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenoloxidase สี คุณภาพ และน้ำหนักที่สูญเสียไป นอกจากนี้ทำการประเมินผลของสารเคลือบผิวไคโตซานต่อการเกิดโรค พบว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานช่วยลดอัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenoloxidase การเปลี่ยนแปลงสี และคุณภาพของลำไย ทั้งยังสามารถยับยั้งการเสื่อมสลายของผลไม้ระหว่างการเก็บรักษาได้

Setha et al. (1999) ได้ศึกษาผลของการเคลือบผิวกล้วยหอมพันธุ์คาเวนดิชด้วยไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นต่างๆ ต่อการชะลอการสุก ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% และศึกษาเปรียบเทียบผลของไคโตซานกับสารเคลือบผิว s-1670 และ KF-8000 DX ที่มีต่อการสุกของกล้วยหอม พบว่าการเคลือบสารไคโตซานสามารถช่วยชะลอการสุกได้ ผลที่เคลือบด้วยไคโตซานชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMW) จะทำให้กล้วยสุกเหมาะสมต่อการบริโภคในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ส่วนผลที่เคลือบด้วยผิวไคโตซานชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดกลาง (MMW) และน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LMW) กล้วยสุก

พอเหมาะในวันที่ 20 และ 17.5 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าผลกล้วยที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานชนิด HMW มีการสูญเสียน้ำหนักช้ากว่าและรักษาสีเขียวของเปลือกได้นานกว่าการเคลือบด้วยไคโตซานชนิดอื่นๆ ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าการเคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.5% และ 2.0% สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก ชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์และแป้ง ปริมาณน้ำตาลจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้สามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลกล้วยไว้ได้นานขึ้น ผลกล้วยที่ได้รับการเคลือบผิวมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลเพิ่มขึ้น (7.8%) ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนลดลง (13.7%) การเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซานจาก 1.5% เป็น 2.0% ไม่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา และยังพบว่าผลการเคลือบผลกล้วยด้วยไคโตซานชนิด HMW ที่ความเข้มข้น 1.5% สามารถชะลอการสุกของกล้วยได้เช่นเดียวกับสารเคลือบผิว s-1670 และ KF-8000 DX

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ

3.1.1 เปลือกกุ้งขาว

เปลือกกุ้งขาว (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Litopenaeus Vannamei*) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับผลิตไคโตซาน แสดงดังภาพประกอบที่ 3-1 ทำการจัดซื้อเปลือกกุ้งขาวสดจากตลาดสดในท้องถิ่น โดยมีขั้นตอนวิธีการเตรียมเปลือกกุ้งสำหรับการทดลองดังนี้

- (1) ล้างเปลือกกุ้งด้วยน้ำกลั่น วางทิ้งให้สะเด็ดน้ำ และนำเปลือกกุ้งไปวางบนถาดอลูมิเนียม
- (2) นำเปลือกกุ้งไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60-70°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง
- (3) ทำการบดย่อยขนาดเปลือกกุ้งด้วยเครื่องบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาดให้มีขนาด 20-40 mesh (≈ 2 mm) และเก็บเปลือกกุ้งบดในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะเปลือกกุ้งบดที่ได้แสดงดังภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบที่ 3-1 แสดงลักษณะเปลือกกุ้งขาว



ภาพประกอบที่ 3-2 แสดงลักษณะเปลือกกุ้งบด

3.1.2 วัตถุประสงค์ผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ในการศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้ผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว 2 ชนิด คือ กล้วยหอมทองและมะนาวเป็น ดังภาพประกอบที่ 3-3 โดยทำการคัดเลือกผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวที่มีขนาด น้ำหนัก และลักษณะใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบที่ 3-3 แสดงผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว 2 ชนิด คือ กล้วยหอมทองและมะนาวเป็น สำหรับการศึกษาค้นคว้าผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

3.1.3 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตไคโตซานด้วยวิธีทางเคมี ประกอบด้วย

- (1) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1 N (w/v)
- (2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 4%, 50% และ 0.1 M (w/v)

(3) กรดอะซิติก (CH_3COOH)

(4) น้ำกลั่น

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กและให้ความร้อน (Stirrer and Heater)

(2) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

(3) ตู้อบ

(4) เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง

(5) เครื่องปั่น

(6) มอเตอร์กวน ขนาด 500 rpm

(7) ไซฟัดแก้ว

(8) ถังปฏิกรณ์ชนิดแก้ว ขนาด 2 ลิตร

(9) บีกเกอร์ ขนาด 500, 1,000 และ 2,000 ml

(10) กระบอกตวง ขนาด 100 ml

(11) ปิเปต 10 ml

(12) แท่งแก้ว

(13) หลอดหยด

(14) ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 ml

(15) กระดาษลิตมัส

(16) ซ้อนตักสาร

(17) ตะแกรงร่อน

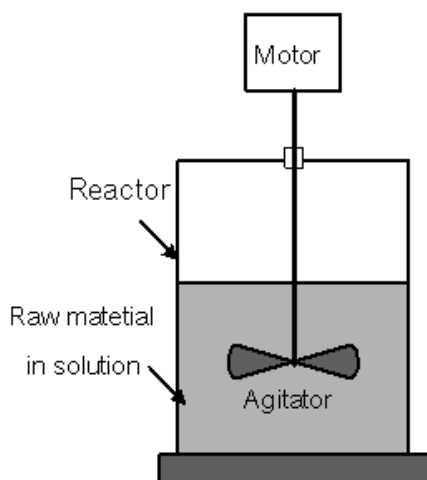
(18) ผ้ามัสลิน

(19) หมอต้ม ขนาด 2 ลิตร

(20) บีวเรต ขนาด 25 ml

3.2.2 ชุดอุปกรณ์ทดลองการผลิตไคโตซาน

การผลิตไคโตซานด้วยกระบวนการทางเคมีดำเนินการในชุดอุปกรณ์แสดง ไดอะแกรมดังภาพประกอบที่ 3-4 (ก) และชุดการทดลองการสกัดไคโตซานในห้องปฏิบัติการ แสดงดังภาพประกอบที่ 3-4 (ข) ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ชนิดแก้วขนาด 2 ลิตร มีฝาปิดพร้อม ใบพัด กวนและมอเตอร์ โดยถังปฏิกรณ์ที่ใช้จะต้องทำจากวัสดุที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนอันเนื่องจาก สภาวะกรดและด่างเข้มข้น การให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์ทำได้โดยการให้ความร้อนผ่านหม้อต้ม น้ำมัน ลักษณะเช่นเดียวกับ Oil Bath เพื่อให้ความร้อนส่งผ่านอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 3-4 แสดงไดอะแกรม (ก) ชุดถังปฏิกรณ์ และ (ข) ชุดทดลอง

สำหรับการผลิตไคโตซาน

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของผลไม้หลังการเก็บรักษา

(1) เครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex ใช้ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลหลังการเก็บรักษา โดยวัดค่าสีของผลิตผลในเทอมของตัวแปร L^* a^* และ b^*

โดย ค่า L^* (Lightness Parameter) แสดงค่าความสว่าง

ค่า a^* (Redness Parameter) แสดงค่าสีแดงหรือสีเขียว

ค่า b^* (Yellowness Parameter) แสดงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

(2) เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA. XT. Plus ใช้ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลิตผล

(3) เครื่อง Hand Refractometer ใช้ในการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณน้ำตาล

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การทดลองการผลิตโคโตซาน

(1) การผลิตโคโตซาน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การกำจัดโปรตีน (Deproteination) มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. นำเปลือกกุ้งที่ผ่านการบดมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0% (w/v) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1: 10 (w/v) ทำการแช่เปลือกกุ้งที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยในระหว่างการทดลองจะทำการกวนผสมตลอดเวลาด้วยความเร็ว 250 rpm

2. เมื่อครบกำหนดเวลานำเปลือกกุ้งที่ผ่านการกำจัดโปรตีนแล้วมาทำการล้างด้วยน้ำสะอาดจนมีสถานะเป็นกลาง โดยจะนำส่วนของเปลือกกุ้งที่ได้เทผ่านกระชอนแล้วแช่ในน้ำสะอาดอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: น้ำสะอาด เท่ากับ 1: 10 (w/v) นานประมาณ 1-2

ชั่วโมง เพื่อให้เปลือกกุ้งคายความเป็นด่างออกไปสู่น้ำ จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลาง ทำการวัดค่า pH เพื่อให้แน่ใจว่าเปลือกกุ้งที่ได้มีสถานะเป็นกลางแล้ว วางให้สะเด็ดน้ำ

ขั้นตอนที่ 2 การกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต (Demineralization) มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. นำเปลือกกุ้งที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 N โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1: 10 (w/v) ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยในระหว่างการทดลองจะทำการกวนผสมตลอดเวลา

2. เมื่อครบกำหนดเวลานำเปลือกกุ้งที่ผ่านการกำจัดโปรตีนและแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วมาทำการล้างด้วยน้ำสะอาดจนมีสถานะเป็นกลาง โดยจะนำส่วนของเปลือกกุ้งที่ได้ผ่านกระชอนแล้วแช่ในน้ำสะอาดอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: น้ำสะอาด เท่ากับ 1: 10 (w/v) นานประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้เปลือกกุ้งคายความเป็นกรดออกไปสู่น้ำ ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลาง ทำการวัดค่า pH เพื่อให้แน่ใจว่าเปลือกกุ้งที่ได้มีสถานะเป็นกลางแล้ว จากนั้นวางให้สะเด็ดน้ำ

เมื่อดำเนินการเสร็จในขั้นตอนที่ 2 นี้ก็จะได้สารที่เรียกว่า ไคติน ซึ่งสิ่งที่สังเกตเห็น คือ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพของเปลือกกุ้ง โดยสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะจางลงกว่าเดิม มีลักษณะเป็นเกล็ดขนาดเล็กกลวง และมีสีขาวอมน้ำตาลอ่อน

ขั้นตอนที่ 3 การกำจัดหมู่อะซิทธิลของไคติน (Deacetylation) มีสถานะในการทดลองตามการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 3-1 และมีรายละเอียด ดังนี้

1. นำไคตินที่ผลิตได้จากขั้นตอนที่ 2 มาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30-50% (w/v) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างไคติน: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1: 10 และ 1: 15 (w/v) ทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ ถึง 110°C ระยะเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 72 ชั่วโมง ขณะทดลองทำการกวนผสมตลอดเวลา

2. นำสารที่สกัดได้มาทำการล้างด้วยน้ำสะอาดจนมีสถานะเป็นกลาง โดยการนำส่วนของสารที่สกัดได้ผ่านกระชอนแล้วแช่ในน้ำสะอาดอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: น้ำสะอาด เท่ากับ 1: 10 (w/v) นานประมาณ 1-2 ชั่วโมง ทำการเปลี่ยนน้ำสะอาด 3-4 ครั้ง จากนั้น

ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลาง วัดค่า pH เพื่อให้แน่ใจว่าเปลือกกุ้งที่ได้มีสภาวะเป็นกลาง จากนั้นวางให้สะเด็ดน้ำ เสร็จขั้นตอนนี้ก็จะได้สารที่เรียกว่า ไคโตซาน นำไคโตซานที่ได้ไปอบที่ อุณหภูมิ $70\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้ไคโตซานแห้ง

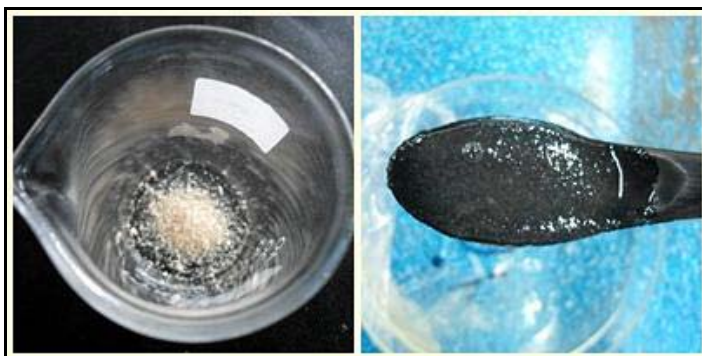
3. จัดเก็บตัวอย่างไคโตซานที่ผลิตได้ในถุงพลาสติกแล้วเก็บไว้ที่ อุณหภูมิห้อง คำนวณหา %Yield วิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทธิลของไคติน (Degree of Deacetylation) และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ผลิตได้

ตารางที่ 3-1 การออกแบบการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดหมู่อะซิทธิลของไคตินเพื่อ การผลิตไคโตซาน

NaOH conc. (%)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Time of Deacetylation (hr)	Ratio NaOH: Chitin
30	110	2	1:10
30/ 40/ 50	75	1	1:10
30/ 40/ 50	60	4	1:10
30/ 40/ 50	30 ± 2	48, 72	1:10
30/ 40/ 50	30 ± 2	48, 72	1:15

3.3.2 การทดสอบไคโตซานเบื้องต้น มีขั้นตอนดังนี้

(1) เพื่อให้ทราบได้อย่างคร่าวๆ ว่าสารที่สกัดได้นั้นเป็นไคโตซานหรือไม่ โดยการนำสารที่สกัดได้มาละลายด้วยกรดอะซิติก 0.5% ถ้าละลายได้สีน้ำตาลเบื้องต้นได้ว่าเป็น ไคโตซาน แสดงดังภาพประกอบที่ 3-5



(ก)

(ข)

ภาพประกอบที่ 3-5 แสดงลักษณะไคโตซาน (ก) ก่อน และ (ข) หลัง การละลายในกรดอะซิติก

(2) การทดสอบเบื้องต้นว่าสารที่ผลิตได้จากขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นไคโตซานหรือไม่ ทำได้โดยใช้น้ำยาล้างจานหยดลงในตัวอย่างไคโตซาน 0.1 กรัม หากสารตัวอย่างเป็นไคโตซานที่บริสุทธิ์จะเกิดการจับตัวกันเหมือนไข่ขาว เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Cationic Polyelectrolyte แต่ถ้าเป็นไคโตซานไม่บริสุทธิ์ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงใดๆ แสดงดังภาพประกอบที่ 3-6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก)

(ข)

ภาพประกอบที่ 3-6 แสดงลักษณะ (ก) การจับตัวเป็นไข่ขาวของไคโตซานบริสุทธิ์ (ข) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ เนื่องจากเป็นไคโตซานไม่บริสุทธิ์

3.3.3 การคำนวณหาค่า %Yield ทำการชั่งน้ำหนักเปลือกกุ้งบดก่อนการผลิตไคโตซานและน้ำหนักของไคโตซานที่ผลิตได้ จากนั้นคำนวณหา %Yield จากสมการที่ (3-1)

$$\%yeild = \frac{W_i}{W_f} \times 100 \quad (3-1)$$

เมื่อ W_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของเปลือกกุ้งบด (g)

W_f คือ น้ำหนักของไคโตซานที่ผลิตได้ (g)

3.3.4 การวิเคราะห์หา Degree of Deacetylation (%DD) ใช้วิธีการไทเทรตแบบ

วัดศักย์ (Potentiometric Titration) (Li et al., 2007) โดยมีขั้นตอน คือ

(1) จัดชุดอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หา %DD โดยวางบีกเกอร์ที่มีสารละลายไคโตซานบน Stirrer แล้วใส่ Magnetic Bar เพื่อคนผสมสารละลายไคโตซานกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ Clamp จับเครื่องวัด pH เพื่อวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลายไคโตซาน ใช้ Clamp จับบิวเรตที่บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ไว้เพื่อไทเทรตหา %DD (Wang et al., 2006) แสดงดังภาพประกอบที่ 3-7



ภาพประกอบที่ 3-7 ชุดการวิเคราะห์หา Degree of Deacetylation (%DD)

ด้วยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์

(2) ชั่งไคโตซาน 0.20 กรัม ละลายในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N 20 ml กวนผสมจนละลายเป็นเนื้อเดียวกันและเติมน้ำกลั่นลงไป 80 ml

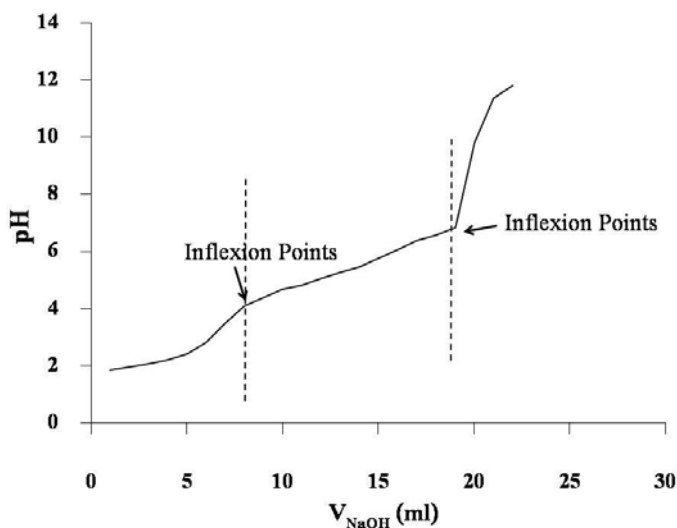
(3) ทำการไทเทรตสารละลายไคโตซานด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและวัดค่า pH บันทึกผลทุกๆ 1 ml ของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

(4) พล็อตกราฟระหว่าง pH กับปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต ภาพประกอบที่ 3-8 แสดงลักษณะของกราฟที่ได้จากการไทเทรตแบบวัดศักย์

(5) คำนวณหา %DD ด้วยสมการที่ (3-2) (Wang et al., 2006)

$$\% \text{DD} = \frac{\Delta V \Delta C_{\text{NaOH}} \Delta 10^{43} \Delta 16}{M \Delta 0.0994} \Delta 100 \quad (3-2)$$

เมื่อ C_{NaOH} คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (M)
 M คือ น้ำหนักของตัวอย่างไคโตซาน (g)
 และ ΔV คือ ปริมาตรของสารละลาย NaOH ระหว่าง 2 Inflexion Points (ml)
 (Inflexion Points คือ จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของกราฟ)



ภาพประกอบที่ 3-8 แสดงกราฟการไทเทรตแบบวัดศักย์ (Potentiometric Titration) เพื่อหาค่า %DD

3.3.5 การหาความหนืดและน้ำหนักโมเลกุล ทำการเตรียมตัวอย่างสารละลาย โคลโตซานที่ความเข้มข้น 0.01, 0.03, 0.05, 0.10 และ 0.20% (Chen, 1995) ในสารละลายกรดอะซิติก 0.5% ทำการวัดค่าความหนืดสัมพัทธ์ (ζ) โดยใช้ Ubbelohde capillary viscometer ดังภาพประกอบที่ 3-9 ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ คำนวณหาค่าความหนืดจำเพาะจากสมการที่ (3-3)

$$\zeta_{sp} = \frac{(\zeta_{\text{solution}} - 4\zeta_{\text{solvent}})}{\zeta_{\text{solvent}}} \quad (3-3)$$

เมื่อ ζ_{sp}	คือ ความหนืดจำเพาะ
ζ_{solution}	คือ ความหนืดสัมพัทธ์ของสารละลาย
ζ_{solvent}	คือ ความหนืดสัมพัทธ์ของตัวทำละลาย (ตัวทำละลายอะซิติก 0.5%)

คำนวณค่าความหนืดที่แท้จริงจากสมการที่ (3-4)

$$\zeta_{sp} = \left[\frac{\zeta_{sp}}{C} \right]_{C \rightarrow 0} \quad (3-4)$$

เมื่อ $[\zeta]$	คือ ค่าความหนืดที่แท้จริง
ζ_{sp}	คือ ความหนืดจำเพาะ
C	คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายโคลโตซานในหน่วย g/ml

จากนั้นทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความหนืดที่แท้จริงและค่าความเข้มข้นของสารละลายโคลโตซาน เพื่อหาความหนืดที่แท้จริงที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 (จุดตัดแกน y)

นำค่าความหนืดที่แท้จริงที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 ไปคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลได้จากสมการ Mark-Houwink แสดงดังสมการที่ (3-5) (Zhang, 2001)

$$\Psi\beta KM_v^a \quad (3-5)$$

เมื่อ $K = 1.64 \times 10^{-30} \times \%DD^{14}$
 $a = -1.02 \times 10^{-2} \times \%DD + 1.82$
 %DD คือ Degree of deacetylation



ภาพประกอบที่ 3-9 แสดงภาพเครื่องมือวัดค่าความหนืดสัมพัทธ์ชนิด

Ubbelohde capillary viscometers

โดยปกติแล้วไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1.0×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต ขั้นตอนที่มีการใช้อุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติและทำให้ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Setha et al., 1999)

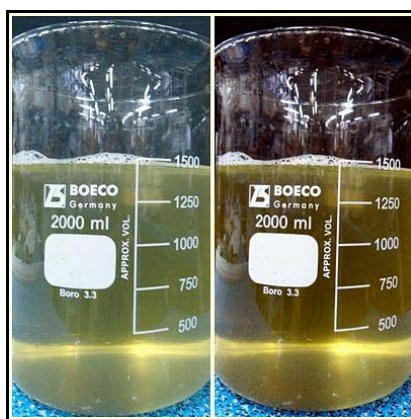
3.4 การนำสารละลายต่างกลับมาใช้ใหม่เบื้องต้น

การศึกษาการนำสารละลายต่างกลับมาใช้ใหม่เพื่อใช้ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล ทำได้โดยนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30-50% ที่ผ่านการใช้ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล แสดงดังภาพประกอบที่ 3-10 ซึ่งมีขั้นตอนในการตรวจวัดและดำเนินการดังนี้

(1) นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30-50% ที่ผ่านการใช้ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลมาทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วยการไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 M

(2) เติมน้ำกลั่นลงไปนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นแล้ว โดยทำการปรับความเข้มข้นให้เท่ากับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนการใช้งาน (NaOH 30-50%)

(3) ทำการทดลองโดยนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการปรับความเข้มข้นกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลจำนวน 3 รอบ โดยมีสถานะการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-2 จากนั้นทำการวัดผลของการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่โดยการทดสอบโคโคซานที่ได้เช่นเดียวกับการใช้สารละลายใหม่



(ก)

(ข)

ภาพประกอบที่ 3-10 แสดงลักษณะสารละลายต่าง NaOH (50%) ที่ผ่านการใช้งาน (ก) 1 ครั้ง และ (ข) 3 ครั้งในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล

ตารางที่ 3-2 แสดงสถานะการทดลองสำหรับการนำสารละลายต่างกลับมาใช้ใหม่ในการกำจัด หมูอะซิติก

No.	Conditions			
	NaOH conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hr)	Ratio
1	30	110°C	2	1:10
2	40	30±2°C	48	1:10
3	50	75°C	1	1:10

3.5 การศึกษาผลของการเคลือบไคโตซานต่อการรักษาสภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

3.5.1 การเตรียมสารละลายไคโตซาน

เตรียมสารละลายไคโตซานให้มีความเข้มข้นต่างกันว่า 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.5% ละลายด้วยกรดอะซิติก 0.5 % ปริมาณ 200 มิลลิลิตร แสดงดังภาพประกอบที่ 3-11 โดยแต่ละความเข้มข้นจะมีลักษณะแตกต่างกันที่ความหนืด เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานสูงขึ้นส่งผลให้สารละลายไคโตซานมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.5% จะมีความหนืดสูงที่สุด



ภาพประกอบที่ 3-11 แสดงลักษณะสีของสารละลายไคโตซานในสารละลายอะซิติก ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.5.2 การเคลือบผลไม้ด้วยสารไคโตซาน

การเคลือบผิวผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวด้วยสารละลายไคโตซานจะช่วยปิดบังรอยขีดข่วนที่ผิวซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บเกี่ยวและยังทดแทนไคโธรมชาติที่หลุดออกไประหว่างการทำความสะอาด ช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวให้ยาวนานขึ้น การเคลือบผิวยังทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ตัดสินใจซื้อสินค้า เนื่องจากรูปลักษณะภายนอกที่สวยงาม แวววาว ดูสดใสนอกจากนี้การเคลือบผิวผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวด้วยสารละลายไคโตซานยังปกป้องการสูญเสียน้ำได้อีกด้วย ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบเป็นน้ำและเกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย การสูญเสียน้ำมากทำให้ผิวผลไม้เหี่ยวและเกิดการสูญเสียน้ำหนัก ขั้นตอนการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานมีดังนี้

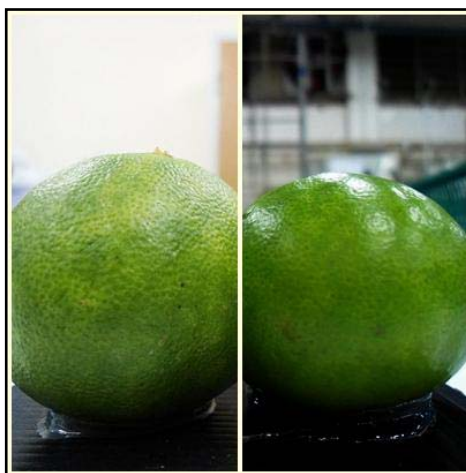
(1) ทำการจัดซื้อผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวจากตลาดสดในท้องถิ่น โดยทำการคัดเลือกผลผลิตที่มีความสุก ความสด และขนาดใกล้เคียงกัน

(2) คัดแยกผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวออกเป็นกลุ่มๆ โดยแต่ละกลุ่มจะเลือกผลผลิตที่มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกัน แบ่งเป็นกลุ่มตามความเข้มข้นของไคโตซาน 7 กลุ่มความเข้มข้น ได้แก่ 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.5% ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวที่จะทำการทดสอบ คือ กล้วยหอมทองจำนวน 56 ผล ต่อ 1 การทดลอง โดยแบ่งเป็น สำหรับชั่งและถ่ายภาพ ความเข้มข้นละ 1 ผล รวม 7 ผล และสำหรับการทดสอบต่างๆ ได้แก่ สี ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความเข้มข้นละ 7 ผล รวม 49 ผล และมะนาวเป็นจำนวน 210 ผล ต่อ 1 การทดลอง โดยแบ่งเป็น สำหรับชั่งและถ่ายภาพ ความเข้มข้นละ 2 ผล รวม 14 ผล การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสี ความเข้มข้นละ 2 ผล รวม 14 ผล และสำหรับการทดสอบความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณ Titratable Acidity ความเข้มข้นละ 26 ผล รวม 182 ผล

(3) ทำการเคลือบผิวโดยจุ่มผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวลงในสารละลายไคโตซานเป็นเวลา 1 นาที ยกผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นและรอนแห้ง จากนั้นทำการจุ่มซ้ำ 1 ครั้ง แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพประกอบที่ 3-12



(ก)



(ข)

(ค)

ภาพประกอบที่ 3-12 แสดง (ก) การจุ่มผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวในสารละลายไคโตซาน (ข) และ (ค) ผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวก่อนและหลังผ่านการจุ่มด้วยสารละลายไคโตซาน ตามลำดับ

3.5.3 การบันทึกผลการทดลอง

ทำการบันทึกผลการทดลองทุกๆ 3 วัน จนกระทั่งผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเกิดการเน่าเสีย โดยสิ่งที่ทำการบันทึกมี ดังนี้

(1) ลักษณะปรากฏ ที่ประกอบด้วยพื้นผิว สีของเปลือก และรูปร่างของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 3 วัน ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

(2) เปรอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและชั่งน้ำหนัก
 ทุกๆ 3 วัน ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักดังสมการที่
 (3-6)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (g)} - \text{น้ำหนักสุดท้าย (g)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (g)}} \Delta 100 \quad (3-6)$$

(3) ทดสอบสีผิวที่เปลี่ยนแปลง การทดสอบคุณภาพทางด้านสีของการ
 เปลี่ยนแปลงผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex แสดงดัง
 ภาพประกอบที่ 3-13 โดยวัดค่าสีของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวในทอมของตัวแปร L* a* และ b*

โดย ค่า L* (Lightness Parameter) แสดงค่าความสว่าง

ค่า a* (Redness Parameter) แสดงค่าสีแดงหรือสีเขียว

ค่า b* (Yellowness Parameter) แสดงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน



ภาพประกอบที่ 3-13 แสดงเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex

(4) การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ทดสอบโดยใช้เครื่อง
 Texture Analyzer รุ่น TA. XT. Plus แสดงดังภาพประกอบที่ 3-14 ค่าความถูกต้อง ± 0.001 N ทำ

การทดสอบในลักษณะของแรงกด โดยใช้หัววัด Spherical stainless P0.5S และความเร็วในการกด 10 mm/s กดจนกระทั่งหัวกดทะลุลงไปเนื้อผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดรายละเอียดสำหรับเครื่อง ดังนี้

Mode: Measure Force in Compression

Option: Return to Start

Pre-Test Speed: 1.5 mm/s

Test Speed: 1.5 mm/s

Post-Test Speed: 10.0 mm/s

Distance: 10 mm

Trigger Type: Auto-25 g

Tare Mode: Auto

Data Acquisition Rate: 200 pps.



ภาพประกอบที่ 3-14 แสดงเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT.Plus

(5) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณน้ำตาล เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียน้ำทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลเปลี่ยนแปลงไป ทำได้โดยการบีบน้ำจากเนื้อ

ผลิตผล จากนั้นนำน้ำส่วนใสหยดลงใน Hand Refractometer แสดงดังภาพประกอบที่ 3-15 ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้



ภาพประกอบที่ 3-15 แสดง Hand Refractometer สำหรับวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

(6) ปริมาณ Titratable Acidity (TA) นำน้ำคั้นจากมะนาวไปไทเทรตด้วยค่ามาตรฐาน (NaOH 0.1 N) โดยใช้ Phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ จนถึง End Point นำค่าที่ได้ของสารละลายที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์ในรูปกรดซิตริกดังสมการที่ (3-7)

$$\text{เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก} = \frac{N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times \text{MW}_{\text{citric acid}} \times 100}{V_{\text{น้ำคั้นที่ใช้}}} \quad (3-7)$$

เมื่อ	N_{NaOH}	คือ Normality of NaOH
	V_{NaOH}	คือ ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต
	$\text{MW}_{\text{citric acid}}$	คือ น้ำหนักโมเลกุลของกรดซิตริก (0.064)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การผลิตไคโตซาน

4.1.1 ผลการทดลองการผลิตและวิเคราะห์ไคโตซาน

ในการทดลองสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมี มีขั้นตอนการสกัด 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน (Deproteinization) ขั้นตอนการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต (Demineralization) ขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคติน (Deacetylation) ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการกำจัดโปรตีน (Deproteination)

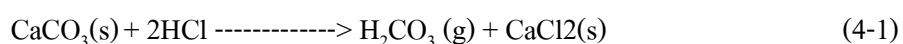
ในขั้นตอนการกำจัดโปรตีนนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโปรตีน คือ การนำเปลือกกุ้งมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 4.0% (w/v) ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 (w/v) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยในระหว่างการทดลองจะทำการกวนผสมตลอดเวลา หลังจากเสร็จกระบวนการจะได้อเปลือกกุ้งที่มีลักษณะเป็นเกล็ดสีน้ำตาลแดง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-1



ภาพประกอบที่ 4-1 แสดงลักษณะเปลือกกุ้งหลังผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีน

2. ผลการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต (Demineralization)

โดยทั่วไปเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้งจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ การกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตทำได้โดยการแช่เปลือกกุ้งในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) สามารถละลายแคลเซียมคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งได้ก๊าซ H_2CO_3 และจะเหลือไคตินซึ่งไม่ละลายในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จากการทำปฏิกิริยาการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตจะเกิดฟองก๊าซ H_2CO_3 ขึ้น แสดงดังปฏิกิริยาที่ (4-1) และภาพประกอบที่ 4-2



ภาพประกอบที่ 4-2 ฟองก๊าซ H_2CO_3 ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตในกระบวนการผลิตไคติน

สถานะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต คือ การนำเปลือกกุ้งมาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 N ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1: 10 (w/v) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยในระหว่างการทดลองทำการกวนผสมตลอดเวลา ขั้นตอนนี้จะได้สารที่เรียกว่า ไคติน ซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดเล็กๆ สีน้ำตาลอ่อน แสดงดังภาพประกอบที่ 4-3 โดยขั้นตอนการกำจัดโปรตีนและขั้นตอนการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถสลับลำดับก่อนหลังได้ ถ้ากระบวนการผลิตไคตินที่ต้องการนำโปรตีนที่สกัดได้กลับมาใช้ประโยชน์จำเป็นจะต้องเริ่มจากขั้นตอนการแยกโปรตีนออกจากเปลือกของสัตว์เหล่านี้ก่อนขั้นตอนการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากโปรตีนที่ได้จะมีปริมาณและคุณภาพที่ดีกว่า

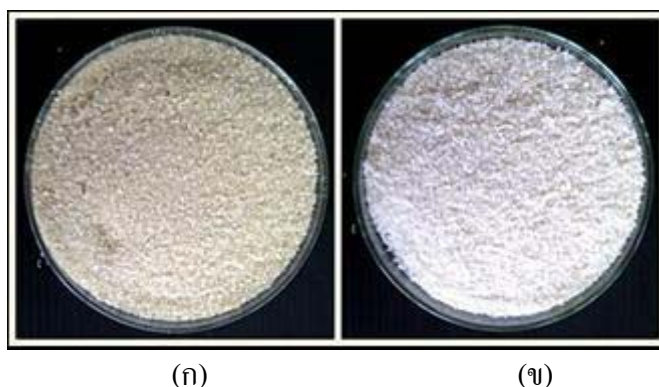


ภาพประกอบที่ 4-3 แสดงลักษณะของไคตินที่ได้หลังจากทำการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต

3. ผลการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคติน (Deacetylation)

นำไคตินที่ได้จากกระบวนการกำจัดโปรตีนและขั้นตอนการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตมาทำการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยใช้พาราเมเตอร์ในการทดลองที่แตกต่างกัน ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 30-50% อุณหภูมิ $30-110^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1-72 ชั่วโมง และอัตราส่วนระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อไคตินเท่ากับ 1: 10 และ 1: 15 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการเตรียมไคโตซานจากไคตินนั้นมีชื่อว่า ปฏิกิริยาคีอะซิทิลเลชัน จากปฏิกิริยาจะทำให้หมู่อะซิทิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส (Pyranose Ring) ของไคตินถูกเปลี่ยนไปเป็นหมู่อะมิโน การดึงหรือเอาหมู่อะซิทิลออกจากไคติน

นั้นสามารถดึงออกได้เพียงบางส่วน โดยระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ สารละลายต่างและอุณหภูมิ เป็นสำคัญ ถ้าต้องการโคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลสูงๆ จะต้องทำปฏิกิริยาในสภาวะที่รุนแรง คือ เพิ่มความเข้มข้นหรือความแรงของค่าที่ใช้และใช้ อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยา หลังจากทำปฏิกิริยาจะได้โคโตซาน ซึ่งลักษณะของโคโตซานที่ผลิต ได้จากสภาวะการทดลองต่างๆ นั้นมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ มีลักษณะสีขาวขุ่นและเป็นเกล็ดขนาดเล็ก แต่การกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิสูงโคโตซานที่ได้จะมีลักษณะนุ่มและมีสีขาวกว่าการกำจัดที่ อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนอาจช่วยในการกำจัดตรงควัตถุพวกคาโรทีนอยด์ซึ่งเป็น รงควัตถุที่ทำให้เกิดสีได้มากขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 4-4



ภาพประกอบที่ 4-4 ลักษณะของโคโตซานที่ผลิตได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลที่ (ก) อุณหภูมิต่ำ และ (ข) อุณหภูมิสูง

4.1.2 ผลการทดสอบโคโตซานเบื้องต้น

จากการทดสอบเบื้องต้นด้วยการละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 0.5% และตามด้วยการหยดน้ำยาล้างจานลงในสารละลาย พบว่าโคโตซานที่สามารถผ่านการทดสอบเบื้องต้นได้ ทุกสภาวะการทดลอง คือ โคโตซานที่กำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40-50% แต่การกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายค่าเข้มข้น 30% นั้นมีเพียงบางสภาวะการทดลอง เท่านั้นที่ผ่านการทดสอบเบื้องต้น โดยลักษณะของโคโตซานที่ผ่านและไม่ผ่านการทดสอบเบื้องต้น มีลักษณะไม่แตกต่างกัน คือ เป็นเกล็ดเล็กๆ สีขาวขุ่น แสดงดังภาพประกอบที่ 4-5 สำหรับโคโตซานที่ผลิตได้นั้นมีปริมาณใกล้เคียงกันทุกสภาวะการทดลองเมื่อเทียบกับปริมาณ

เปลือกกุ้งที่ใช้ในการผลิตเฉลี่ยคิดเป็น 16.56-19.80% แสดงดังตารางที่ 4-1 ปริมาณที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Lertsutthiwong และคณะ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.00-20.00% จากการทดลองหา ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคโตซานที่ผ่านการทดสอบเบื้องต้น พบว่ามีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 24.15-85.87% โดยพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการกำจัดหมู่อะซิทิลนั้น คือ อุณหภูมิ โดย ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิสูงจะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีก ด้วย



(ก)

(ข)

ภาพประกอบที่ 4-5 แสดงลักษณะไคโตซานที่ (ก) ผ่าน และ (ข) ไม่ผ่าน การทดสอบเบื้องต้น

ตารางที่ 4-1 แสดงพารามิเตอร์ ผลการทดสอบเบื้องต้นและ %Yield ของไคโตซานที่ผลิตได้จาก ขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของทุกสภาวะการทดลอง

No.	Parameters				Responses	
	NaOH conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hr)	Ratio	Preliminary Testing	%Yield
1	30	110°C	2	1:10	.	19.45
2	30	75°C	1		×	18.26
3	40				.	18.86
4	50				.	18.45
5	30	60°C	4		×	18.14
6	40				.	18.26
7	50				.	17.18

ตารางที่ 4-1 (ต่อ) แสดงพารามิเตอร์ ผลการทดสอบเบื้องต้นและ %Yield ของไคโตซานที่ผลิตได้จากขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของทุกสภาวะการทดลอง

No.	Parameters				Responses	
	NaOH conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hr)	Ratio	Preliminary Testing	%Yield
8	30	30±2°C	48	1:10	×	18.81
9	40				.	19.80
10	50				.	18.21
11	30	30±2°C	72		×	19.11
12	40				.	18.45
13	50				.	18.10
14	30	30±2°C	48	1:15	×	19.45
15	40				.	17.33
16	50				.	17.67
17	30	30±2°C	72		.	18.86
18	40				.	18.91
19	50				.	16.56

หมายเหตุ: . คือ ไคโตซานที่ผ่านการทดสอบเบื้องต้น

× คือ ไคโตซานที่ไม่ผ่านการทดสอบเบื้องต้น

4.1.3 ผลการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (Degree of Deacetylation)

โดยวิธีการไทเทรตแบบวัตต์คีย์ (A New Linear Potentiometric Titration Method)

ในการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (%DD) โดยวิธีการไทเทรตแบบวัตต์คีย์นั้น เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่าไคโตซานที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิลนั้นมีหน่วยของไคโตซานปริมาณกี่เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคตินไม่สามารถกำจัดให้อยู่ในรูปของไคโตซานได้ 100% โดยเกณฑ์ที่เข้าใจกันในหมู่นักวิจัย คือ ในกรณีที่สายโซ่มีหน่วยของไคโตซานเกินกว่า 70-75% ขึ้นไป ถือได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นเป็นไคโตซาน

(ทิตพวงค์และคณะ, 2546) ซึ่งค่าที่ได้นี้จะบอกถึงสัดส่วนของจำนวน D-glucosamine ที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ของไคโตซาน จากการวิเคราะห์หา %DD ด้วยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์ พบว่ามี 4 สภาวะการทดลองที่ให้ค่า %DD สูงกว่า 70% โดยการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 30% อัตราส่วน 1: 10 อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ค่า %DD สูงที่สุดเท่ากับ 85.87% แสดงดังตารางที่ 4-2

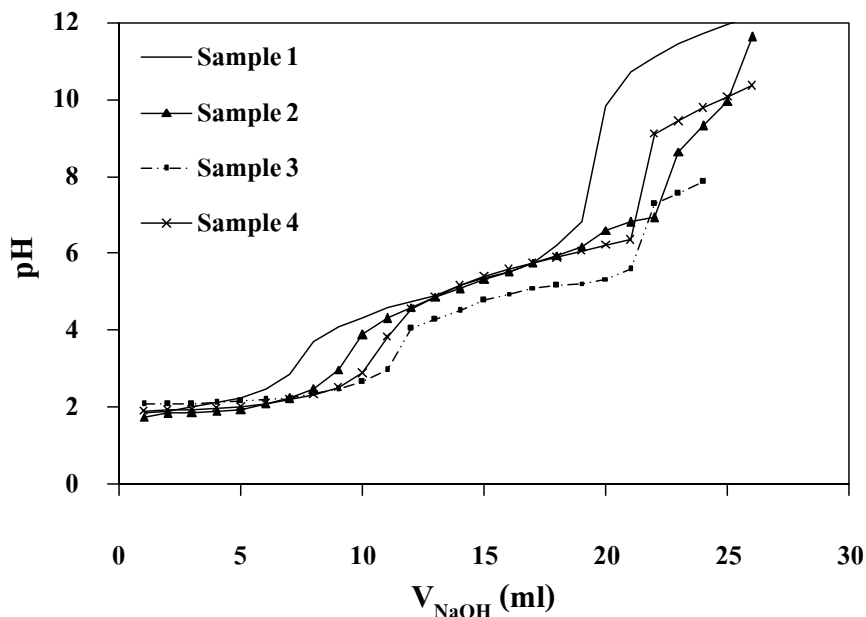
ตารางที่ 4-2 แสดง %DD ที่ได้จากการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลโดยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์ของไคโตซานที่ผลิตได้

Sample No.	Conditions				÷V (ml)	%DD
	NaOH conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hr)	Ratio		
1	30	110°C	2	1:10	10.7	85.87
2	50	75°C	1	1:10	10.0	80.50
3	40	30±2°C	48	1:10	9.0	72.45
4	40	30±2°C	72	1:15	9.0	72.45

สำหรับ %DD ทั้ง 4 สภาวะการทดลองนั้นหาได้จากการพล็อตกราฟระหว่างค่า pH และปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต แสดงดังภาพประกอบที่ 4-6 จากนั้นคำนวณหา %DD ได้จากสมการที่ (3-2)

$$\%DD = \frac{\Delta V \Delta C_{NaOH} \Delta 10^{43} \Delta 16}{M \Delta 0.0994} \quad (3-2)$$

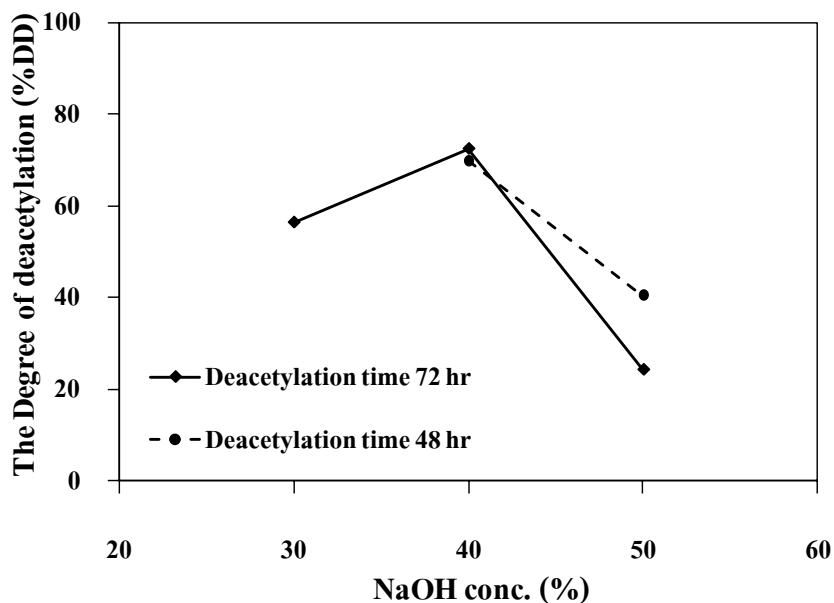
เมื่อ C_{NaOH} คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (M), M คือ น้ำหนักของตัวอย่างไคโตซาน (g) และ ΔV คือ ปริมาตรของสารละลาย NaOH ระหว่าง 2 Inflexion Points (ml)



ภาพประกอบที่ 4-6 แสดงกราฟการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยวิธีการไทเทรตแบบ
วัดศักย์ของไคโตซานที่ผลิตได้

4.1.4 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดหมู่อะซิทิลจาก ไคตินต่อการผลิตไคโตซานจากการทดลอง

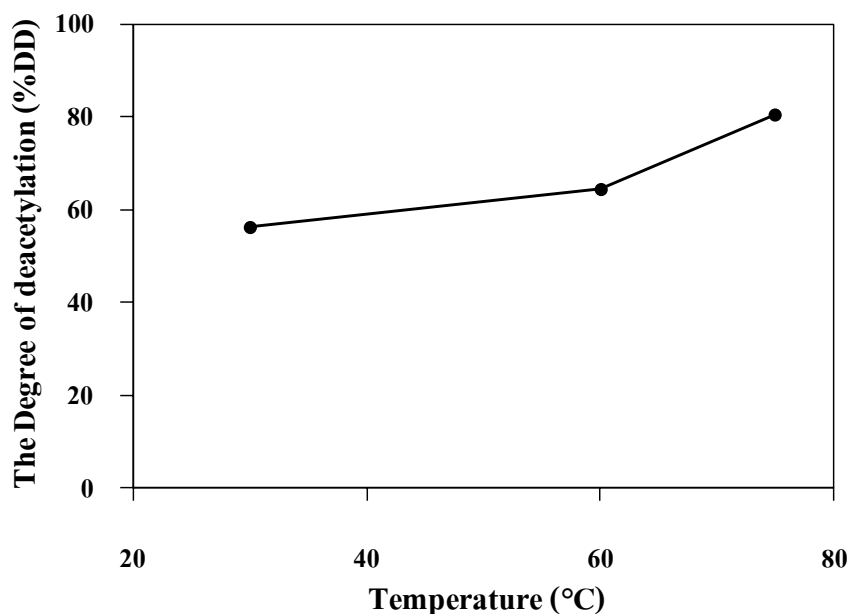
ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลจากไคติน นั้นมีผลโดยตรงต่อ %DD ของไคโตซานที่ผลิตได้ พบว่า การกำจัดหมู่อะซิทิล โดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% จะให้ค่า %DD สูงสุด เท่ากับ 72.45% เมื่อเทียบกับการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 และ 50% ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-7 การใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปอาจทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติ เนื่องจากสถานะที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นสถานะที่รุนแรง ทั้งอุณหภูมิที่สูงและเวลาค่อนข้างนาน แต่การใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไปก็มีผลต่อการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยจะทำให้การกำจัดหมู่อะซิทิลออกจากไคตินนั้นเกิดขึ้นได้ยากหรือไม่สามารถกำจัดได้เลย (วรรณรัตน์และคณะ, 2547)



ภาพประกอบที่ 4-7 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของการผลิตไคโตซานที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 และ 72 ชั่วโมง

4.1.5 ผลของอุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิทิลจากไคตินต่อการผลิตไคโตซานจากการทดลอง

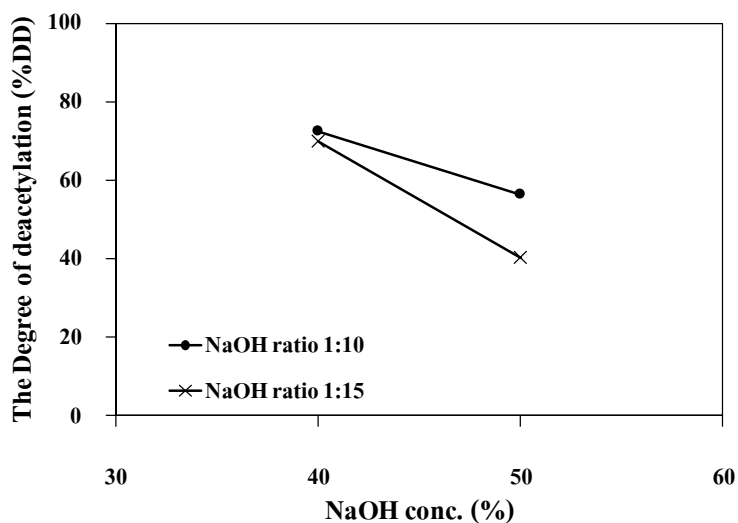
อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลโดยมากจะใช้อุณหภูมิก่อนข้างสูง การกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่มีค่า %DD สูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ จากการทดลอง พบว่า ไคโตซานที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะให้ค่า %DD ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-8 และเมื่อใช้อุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิทิลสูงขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิทิลลดลง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลมีผลต่อค่า %DD ของไคโตซานที่ผลิตได้ ทั้งนี้ %DD ในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลควรจะลดลง เพื่อไม่ให้สภาวะในการกำจัดหมู่อะซิทิลรุนแรงเกินไป



ภาพประกอบที่ 4-8 แสดงผลของอุณหภูมิในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% ของการผลิตไคโตซาน ที่อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ 30±2 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

4.1.6 ผลของอัตราส่วนของไคตินและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากการทดลอง

อัตราส่วนของไคตินและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ผลิตได้ โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ควรมีปริมาณมากพอที่จะทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับไคตินได้อย่างทั่วถึง จากการทดลอง พบว่าอัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงกว่า 1 ต่อ 10 จะไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคติน แสดงดังภาพประกอบที่ 4-9 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ในการผลิต เช่น ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และระยะเวลา เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 4-9 แสดงผลของอัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิetylของการผลิตไคโตซาน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40-50% อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

4.1.7 ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ผลิตได้

โดยทั่วไปไคโตซานที่ได้จากการผลิตโดยวิธีทางเคมีจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1.0×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต (วรรณรัตน์และคณะ, 2547) จากการทดลอง พบว่าความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน และตัวอย่างที่ 3 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยตัวอย่างที่ 1 มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงค่าความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ผลิตได้

Sample	$[\eta]$ (ml/g)	$M_v \Delta 10^{-5}$
1	734	8.07
2	658	8.49
3	490	8.97
4	473	8.68

4.1.8 การนำสารละลายต่างกลับมาใช้ใหม่เบื้องต้น

จากการทดลองการผลิตไคโตซานได้นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากกระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคตินกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการกรองแยกสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากไคตินในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลในแต่ละรอบของการดำเนินการ ซึ่งให้ผลการทดลองตามรายละเอียดดังนี้

(1) ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งาน

จากการนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลมาทำการไทเทรตหาความเข้มข้น จากนั้นดำเนินการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใหม่ก่อนการนำกลับมาใช้ พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานในแต่ละรอบมีความเข้มข้นสูงกว่าตอนเริ่มต้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการระเหยของน้ำในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ขณะดำเนินการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4-4 ดังนั้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานจากกระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิลจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4-4 แสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลของการผลิตไคโตซาน

Round of NaOH solution reusing	Concentration of NaOH (%)		
0	50.00	40.00	30.00
1	52.62	42.68	34.15
2	51.42	41.28	33.63
3	51.26	40.62	33.18

(2) การทดสอบไคโตซานที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งาน

จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่า ไคโตซานที่กำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานเข้มข้น 30-50% สามารถผ่านการทดสอบเบื้องต้นได้บางสภาวะการทดลอง โดยพบว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งาน สำหรับไคโตซานที่ผลิตได้นั้นมีปริมาณใกล้เคียงกันทุกสภาวะการทดลองเฉลี่ยคิดเป็น 18.11-18.81% เมื่อเทียบกับปริมาณเปลือกกุ้งที่ใช้ในการผลิต แสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นและปริมาณของไคโตซานที่ผลิตได้ทุกสภาวะการทดลอง

Sample No.	Conditions	Rounds of Reuse	Responses	
			Preliminary Testing	% Yield
1	NaOH 30% at 110°C for 2 hr, ratio 1:10 (w/v)	1	.	18.32
2		2	.	18.14
3		3	.	18.45
4	NaOH 40% at 30±2°C for 48 hr, ratio 1:10 (w/v)	1	.	18.81
5		2	×	18.73
6		3	×	18.36
7	NaOH 50% at 75°C for 1 hr, ratio 1:10 (w/v)	1	.	18.27
8		2	.	18.58
9		3	.	18.11

หมายเหตุ: . คือ ไคโตซานที่ผ่านการทดสอบเบื้องต้น

× คือ ไคโตซานที่ไม่ผ่านการทดสอบเบื้องต้น

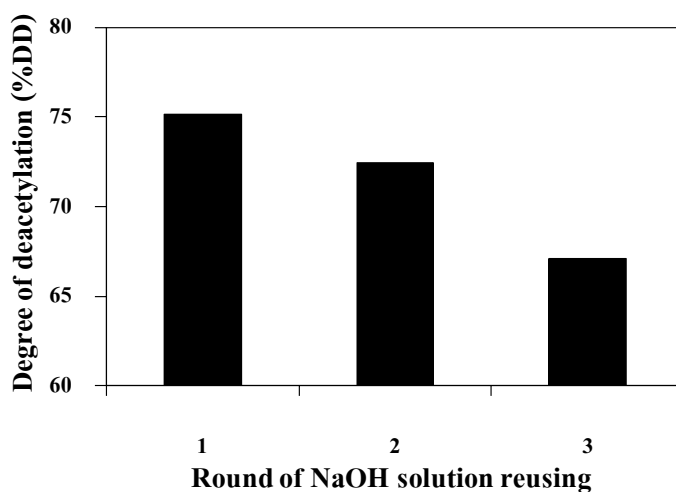
(3) ผลการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (Degree of Deacetylation) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งาน

การวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลโดยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์ (A New Linear Potentiometric Titration Method) ในการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล

นั้น พบว่ามี 2 สถานะการทดลองที่ให้ค่า %DD สูงกว่า 70% ซึ่งเป็นสถานะที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตโคโคซานได้ โดย %DD ที่ได้มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ทั้งนี้ยังพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลมีผลโดยตรงต่อระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล โคโคซานที่ผลิตได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีค่า %DD สูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลและเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ พบว่าส่งผลให้ %DD ของโคโคซานที่ผลิตได้มีค่าลดลง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-10 โดยการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 30% ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 1 ครั้ง อัตราส่วน 1: 10 อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ค่า %DD สูงที่สุด เท่ากับ 75.13% แสดงดังตารางที่ 4-6

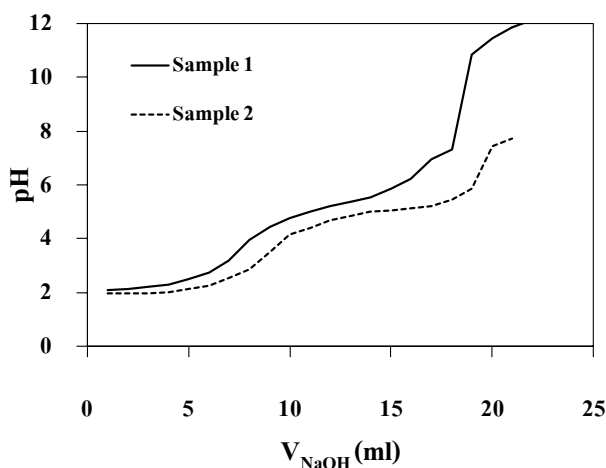
ตารางที่ 4-6 แสดง %DD ที่ได้จากการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยการใช้สารละลายต่างที่ผ่านการใช้งาน โดยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์

Sample	Conditions	Rounds of Reuse	%DD
1	NaOH 30% at 110°C for 2 hr, ratio 1:10 (w/v)	1	75.13
2		2	72.45
3		3	67.08
4	NaOH 40% at 30±2°C for 48 hr, ratio 1:10 (w/v)	1	59.03
5	NaOH 50% at 75°C for 1 hr, ratio 1:10 (w/v)	1	69.77
6		2	64.40
7		3	59.03



ภาพประกอบที่ 4-10 แสดงระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคโตซานที่ผลิตได้จากการกำจัดหมู่
อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่อุณหภูมิ 110°C
อัตราส่วนระหว่าง ไคติน: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

สำหรับ %DD ทั้ง 2 สถานะการทดลองที่สามารถผลิตไคโตซานได้นั้น หาได้
จากการพล็อตกราฟระหว่างค่า pH และปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการ
ไทเทรต แสดงดังภาพประกอบที่ 4-11



ภาพประกอบที่ 4-11 แสดงกราฟการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคโตซานที่ผลิตได้
จากการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยวิธีการ
ไทเทรตแบบวัดศักย์

4.1.9 การประเมินราคาสำหรับการผลิตไคโตซาน

ในการทดลองการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมี พบว่าจากวัตถุดิบเปลือกกุ้งบด 100 g สามารถผลิตไคโตซานได้ประมาณ 18-20 g หรือประมาณ 18-20% สำหรับการผลิตไคโตซานด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใหม่ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล นั้นจะมีต้นทุนในการผลิตประมาณ 600-1200 บาท/กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิต ซึ่งการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 110°C อัตราส่วนระหว่างไคติน: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีต้นทุนในการผลิตต่ำและให้ค่า %DD สูงที่สุด แสดงดังตารางประกอบที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 แสดงต้นทุนในการผลิตไคโตซานที่สภาวะการผลิตต่างๆ

Sample No.	Conditions				%DD	Cost of Chitosan Product (Baht/1 kg)
	NaOH conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hr)	Ratio		
1	30	110°C	2	1:10	85.87	634.96
2	50	75°C	1	1:10	80.50	1056.91
3	40	30±2°C	48	1:10	72.45	829.80
4	40	30±2°C	72	1:15	72.45	1193.55

หมายเหตุ: ต้นทุนการผลิตนี้คิดเฉพาะค่าวัตถุดิบที่ใช้เท่านั้น

ส่วนการผลิตไคโตซานโดยการนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 1 และ 2 รอบ กลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะการทดลองที่ 1 พบว่าต้นทุนที่ใช้ในการผลิตลดลงเหลือ 353.21 บาท/กิโลกรัม ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ถึง 44.37% แสดงดังตารางประกอบที่ 4-8 แต่เนื่องจากไคโตซานที่ผลิตได้นั้นมีคุณภาพลดลงจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาและหาแนวทางแก้ไขต่อไป

ตารางที่ 4-8 แสดงต้นทุนในการผลิตไคโตซานที่สภาวะการผลิตต่างๆ

Sample	Conditions	Rounds of Reuse	%DD	Cost of Chitosan Product (Baht/1 kg)
1	NaOH 30%	0 (NaOH new)	85.87	634.96
2	at 110°C	1	75.13	212.34
3	for 2 hr, ratio 1:10 (w/v)	2	72.45	212.34

หมายเหตุ: ต้นทุนการผลิตนี้คิดเฉพาะค่าวัตถุดิบที่ใช้เท่านั้น

4.1.10 สรุปผลการทดลองการผลิตไคโตซาน

จากการทดลองการผลิตไคโตซานสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไคโตซาน คือ การกำจัดโปรตีน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 4.0% (w/v) ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 (w/v) ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 N ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1: 10 (w/v) ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 30% อัตราส่วน 1: 10 อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดย %Yield และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ผลิตได้เท่ากับ 19.45% และ 8.07×10^5 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (%DD) ด้วยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์ พบว่า %DD ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 85.87% ซึ่งปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อการกำจัดหมู่อะซิทิล ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัด หมู่อะซิทิล แต่ในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลควรจะลดลง เพื่อไม่ให้สภาวะในการกำจัดหมู่อะซิทิลรุนแรงเกินไป

สำหรับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลนั้น เบื้องต้นพบว่าการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 30% ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 1 และ 2 ครั้ง อัตราส่วนระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ ไคตินเท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ค่า %DD เท่ากับ 75.13 และ

72.45% ตามลำดับ ซึ่งเป็นสถานะที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตโคโตซานได้ ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ถึง 44.37% แต่เนื่องจาก %DD ของโคโตซานที่ได้มีค่าน้อยกว่าโคโตซานที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิทธิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ดังนั้นควรเพิ่มอุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิทธิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อช่วยให้การดึงหมู่อะซิทธิลออกจากโคตินเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้โคโตซานที่ได้มีค่า %DD สูงขึ้น












4.2 ผลของการเคลือบผิวโคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

จากการศึกษาการใช้สารเคลือบผิวโคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทอง โดยใช้สารเคลือบผิวความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, และ 1.5 ทำการจุ่ม 2 ครั้ง เปรียบเทียบกับกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) เก็บรักษากล้วยหอมทองที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และทำการบันทึกผลทุกๆ 3 วัน พบว่ากล้วยหอมทองมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังนี้

4.2.1 ลักษณะปรากฏ

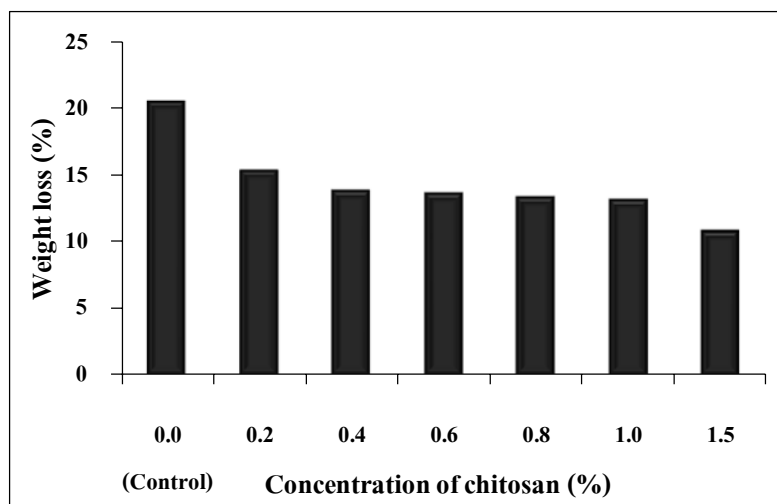
จากการทดลองการใช้สารเคลือบผิวโคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทอง พบว่าลักษณะปรากฏของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซานและกล้วยหอมทองชุดควบคุมมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยกล้วยหอมทองชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกจากเขียวเป็นเหลืองทั้งผลและจะมีสีเหลืองทองเหมาะสำหรับการบริโภคในวันที่ 3 ถึง 6 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ จากนั้นจะเริ่มเกิดการเน่าเสียและสิ้นสภาพในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา สำหรับกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซานร้อยละ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากเขียวเป็นสีเหลืองทั้งผลและจะมีสีเหลืองทองเหมาะสำหรับการบริโภคในวันที่ 5 ถึง 9 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ จากนั้นผลกล้วยหอมจะเริ่มเน่าเสียและสิ้นสภาพในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่กล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซาน 1.5% จะเริ่มเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากเขียวเป็นสีเหลืองทั้งผลและเหมาะสำหรับการบริโภคในวันที่ 9 ถึง 12 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ จากนั้นผลกล้วยหอมจะเริ่มเน่าเสียและสิ้นสภาพในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา แสดงภาพประกอบดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 แสดงภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของกล้วยหอมทองชุดควบคุมและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน 1.5% ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

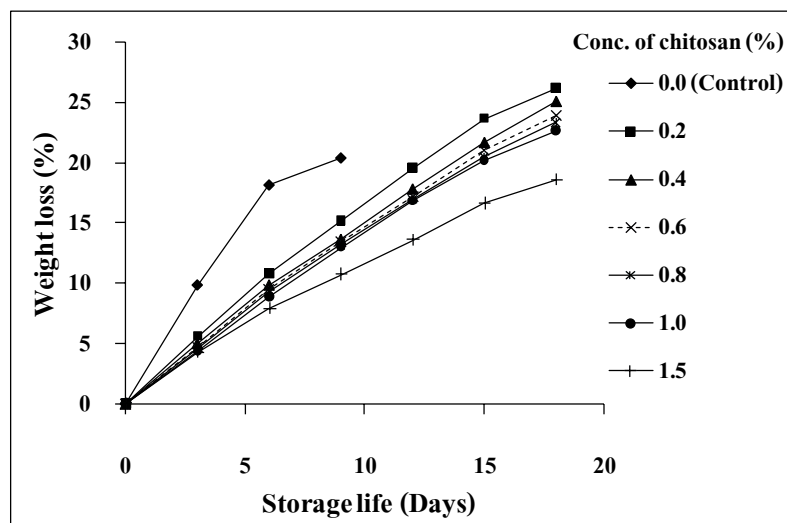
Storage Time (days)	Concentration of Chitosan Coating (%)	
	0.0 (Control)	1.5
0		
3		
6		
9		
12		
15		
18		

4.2.2 การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานและกล้วยหอมทองชุดควบคุม พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมทองทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยกล้วยหอมทองชุดควบคุมจะมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเมื่อเทียบกับกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน แสดงว่าสารละลายไคโตซานสามารถควบคุมการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีและระดับความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักโดยตรงต่อกล้วยหอมทอง โดยกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.5% จะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด แสดงดังภาพประกอบที่ 4-12 สำหรับระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่ากล้วยหอมทองชุดควบคุมและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานมีอายุการเก็บรักษา 10 และ 18 วันตามลำดับ ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-13



ภาพประกอบที่ 4-12 แสดงผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 9 ของการเก็บรักษากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$



ภาพประกอบที่ 4-13 แสดงการสูญเสียน้ำหนักและระยะเวลาในการเก็บรักษาของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยหอมทองจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง เนื่องจากการทำงานของเม็ดสี (Pigment) ภายในเซลล์ ซึ่งประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์ (สารสีเขียว) คาโรทีน (สารสีเหลือง) และไลโคปีน (สารสีแดง) ในช่วงแรกของการเก็บรักษากล้วยหอมทองจะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ แต่เมื่อกล้วยหอมทองเข้าสู่ระยะชราภาพคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไป สีของคาโรทีนอยด์จึงปรากฏให้เห็น โดยปริมาณไม่ได้เพิ่มขึ้น (ชราธร, 2546) จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยหอมทองตลอดอายุการเก็บรักษาด้วยเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex โดยวัดค่าสีในเทอมของตัวแปร L^* , a^* และ b^*

โดย ค่า L^* (Lightness Parameter) แสดงค่าความสว่าง

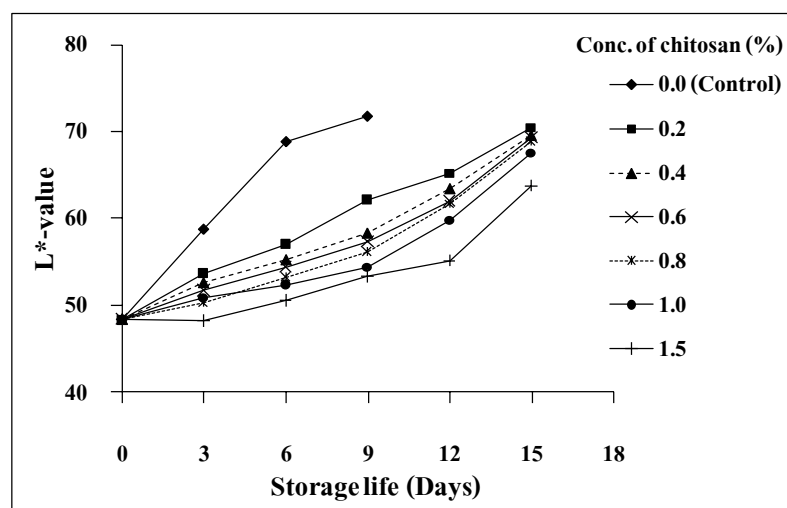
ค่า a^* (Redness Parameter) แสดงค่าสีแดงหรือสีเขียว

ค่า b^* (Yellowness Parameter) แสดงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมคำนวณได้จากสมการที่ (4-3)

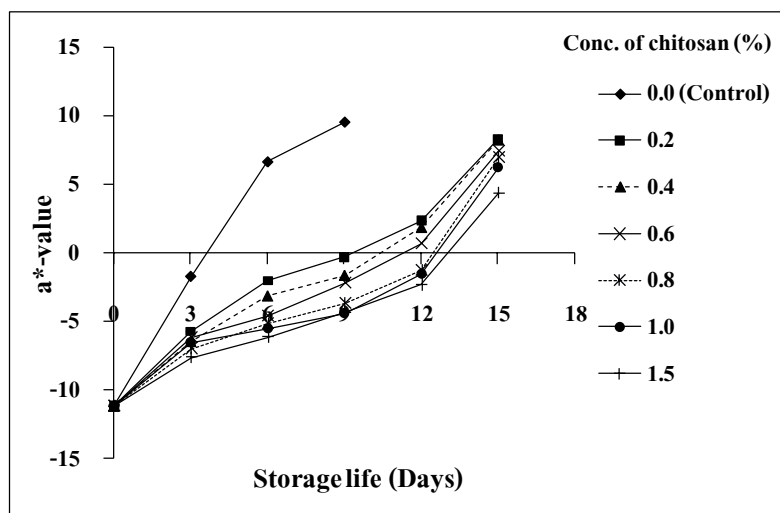
$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4-3)$$

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกล้วยหอมทองชุดควบคุมและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า L^* (ค่าความสว่าง) ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยในช่วง 12 วันแรกของอายุการเก็บรักษา กล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานจะมีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* เล็กน้อย หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่กล้วยหอมทองชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นของค่า L^* อย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วงแรกของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานต่างๆ พบว่าความเข้มข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L^* โดย L^* จะมีค่าลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานเพิ่มขึ้นและความเข้มข้น 1.5% มีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* น้อยที่สุด แสดงดังภาพประกอบที่ 4-14 และพบว่าตลอดอายุการเก็บรักษา ค่า L^* ของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, และ 0.8% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-8 จากการศึกษาการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก Polypropylene (PP) ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าค่า L^* ของกล้วยหอมทองตลอดอายุการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 52.31-69.35 (สมฤดี, 2550)



ภาพประกอบที่ 4-14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$

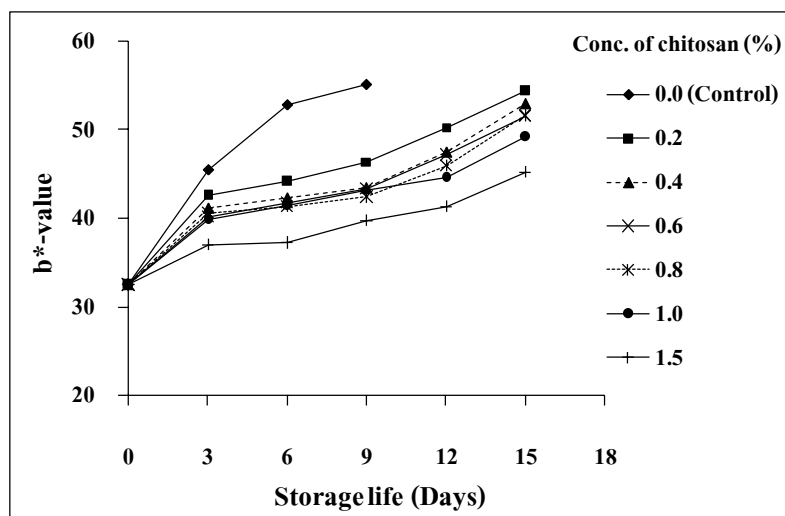
การเปลี่ยนแปลงค่า a^* (ค่าสีเขียว) ของกล้วยหอมทอง จากการทดลองพบว่าค่า a^* ของกล้วยหอมทองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลองตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงว่ากล้วยมีค่าความเป็นสีเขียวลดลงหรือเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์มากขึ้น เนื่องจากค่า a^* ที่ติดลบแสดงความเป็นสีเขียว เมื่อค่า a^* เพิ่มขึ้นทำให้ทราบว่าความเป็นสีเขียวของมะนาวลดลง โดยในช่วง 3 วันแรกของการเก็บรักษาค่า a^* ของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และภายหลังจากวันที่ 12 ของอายุการเก็บรักษา ค่า a^* จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอีกช่วงหนึ่ง ในขณะที่ค่า a^* ของกล้วยหอมทองชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วงแรกจนถึงสิ้นสุดสภาพของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายไคโตซาน พบว่าความเข้มข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a^* โดยการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานเพิ่มขึ้นและที่ความเข้มข้น 1.5% ค่า a^* มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แสดงดังภาพประกอบที่ 4-15



ภาพประกอบที่ 4-15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$

ตลอดอายุการเก็บรักษาการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-8 จากการทดลองเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก PP ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าค่า a^* ตลอดอายุการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง -10.65-8.10 (สมฤดี, 2550)

การเปลี่ยนแปลงค่า b^* (สีเหลือง) ของกล้วยหอมทอง จากการทดลองพบว่าค่า b^* ของกล้วยหอมทองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลองตลอดอายุการเก็บรักษา เกิดจากการที่คลอโรฟิลล์สลายตัวส่งผลให้คาโรทีนอยด์ปรากฏชัดเจนขึ้นหรือกล้วยหอมทองมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้นนั่นเอง เนื่องจากค่า b^* ที่เพิ่มขึ้นทำให้ทราบว่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยหอมทองมีค่าสูงขึ้น โดยในช่วง 3 วันแรกของการเก็บรักษา ค่า b^* ของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ค่า b^* ของกล้วยหอมทองชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วงแรกจนถึงสภาพของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายไคโตซาน พบว่าความเข้มข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า b^* โดยการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานเพิ่มขึ้นและที่ความเข้มข้น 1.5% ค่า b^* มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แสดงดังภาพประกอบที่ 4-16 และพบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.6 และ 0.8 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-8 จากการทดลองเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก PP ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าค่า b^* ตลอดอายุการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 33.71-50.91 (สมฤดี, 2550)



ภาพประกอบที่ 4-16 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$

จากการทดลอง พบว่ากล้วยหอมทองชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของเปลือกมากที่สุดเมื่อเทียบกับกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.6 และ 0.8 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.5% จะมีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* , และ b^* และการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของสีเปลือกกล้วยหอมทองตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$

Concentration of chitosan (%)	$\div L^*$	$\div a^*$	$\div b^*$	$\div E$
0.0	23.40 ^a	22.68 ^a	22.65 ^a	39.69 ^a
0.2	22.06 ^b	19.48 ^b	21.94 ^b	36.71 ^b
0.4	21.17 ^{bc}	19.36 ^b	20.45 ^c	35.23 ^c
0.6	20.83 ^c	18.60 ^c	19.06 ^d	33.81 ^d
0.8	20.43 ^c	18.15 ^d	19.19 ^d	33.39 ^d
1.0	19.13 ^d	17.38 ^c	16.75 ^c	30.80 ^c
1.5	15.34 ^c	15.51 ^f	12.76 ^f	25.27 ^f

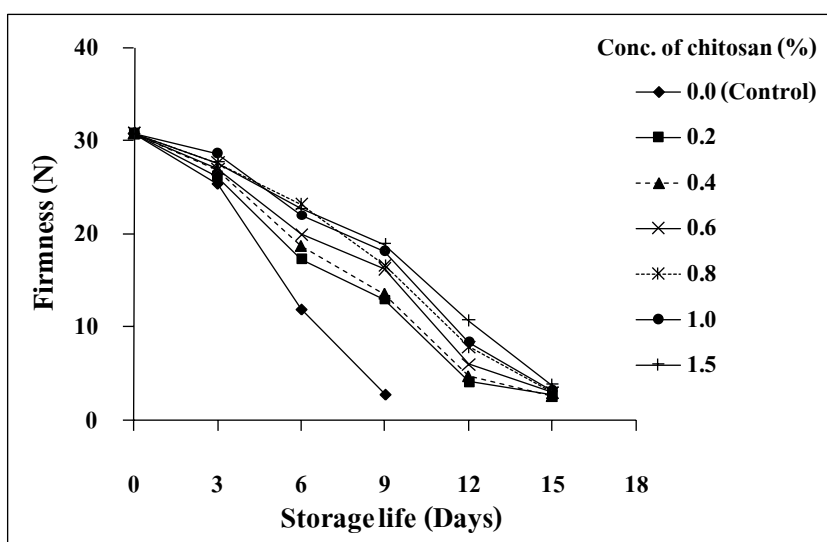
ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ๑% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ Duncan's multiple range α

หมายเหตุ]#- L^* , $\div a^*$ และ $\div b^*$ เป็นค่าความแตกต่างของ L^* , a^* และ b^* ในวันแรกและวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (ค่าที่ L^* , a^* และ b^* เปลี่ยนแปลงไปตลอดอายุการเก็บรักษา)

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness)

จากการทดลองทดสอบค่าความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT. Plus พบว่าก่อนทำการทดลองกล้วยหอมทองมีค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยประมาณ 30.86 นิวตัน ภายหลังจากการเก็บรักษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงดังภาพประกอบที่ 4-17 โดยวันสุดท้ายของการเก็บรักษากล้วยหอมทองมีค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยประมาณ 2.64-3.79 นิวตัน ความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายคอนยัคก็มผสมร่วมกับ K-carrageenan มีค่าในช่วง 28.00-4.00 นิวตัน ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C (ชลาธร, 2546) กล้วยหอมทองชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อมากกว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น

1.5% จะมีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อน้อยที่สุด ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษากล้วยหอมทองชุดควบคุมและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.5% มีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อเท่ากับ 91.31 และ 38.67% ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อตลอดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-11



ภาพประกอบที่ 4-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

ในระหว่างการสุก ผลไม้เกือบทุกชนิดจะอ่อนนุ่มลง ความแน่นเนื้อลดลง การอ่อนนุ่มของผลไม้เป็นผลมาจาก 1 ใน 3 กลไก ได้แก่ การสูญเสียแรงดันเต่ง การย่อยสลายแป้งหรือการสลายตัวของผนังเซลล์ (จินดา, 2550) การสุกของกล้วยหอมทองเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีระและเคมี เมื่อกล้วยหอมทองสุกจะเกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้กล้วยหอมทองมีเนื้อนุ่มเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ โมเลกุลต่างๆ ที่ผนังเซลล์และการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์

โดยเฉพาะอย่างยิ่งแพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่อยู่ในชั้น Middle Lamella จากรูป Protopectin ที่ไม่ละลายน้ำไปอยู่ในรูปของ Soluble Pectin ที่ละลายน้ำได้ ทำให้ผนังเซลล์ยึดติดกันอย่างหลวมๆ นอกจากนั้นยังเกิดจากแป้งซึ่งสะสมไว้ในผลเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลและเกิดจากการสูญเสียน้ำออกไปจากผลผลิต (ชลาธร, 2546) การเคลือบผิวกล้วยหอมทองด้วยสารละลายไคโตซานนั้นช่วยลดการสูญเสียน้ำ การสูญเสียแรงดันเต่ง และช่วยชะลอการเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลในผลกล้วยหอมทอง ส่งผลให้กล้วยหอมทองสุกช้าลง

ตารางที่ 4-11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$

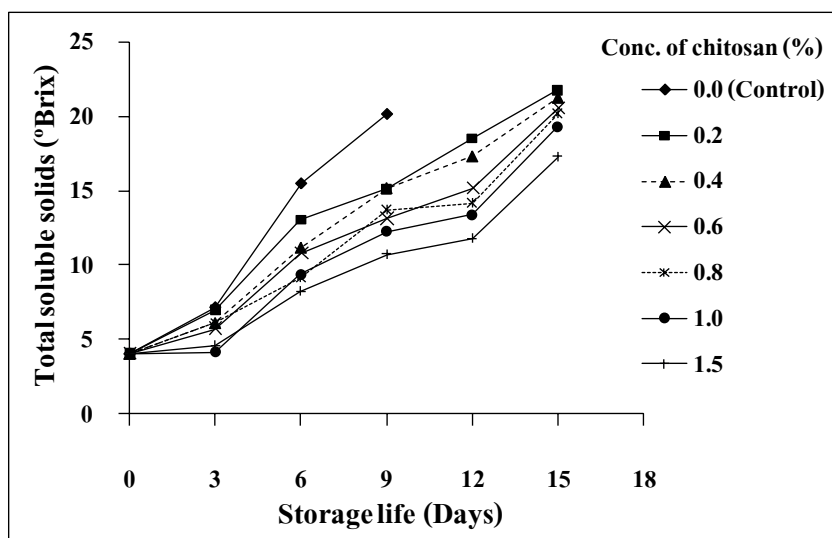
Concentration of chitosan (%)	Firmness (N)					
	0 วัน	3 วัน	6 วัน	9 วัน	12 วัน	15 วัน
0.0	30.86 ^a	25.43 ^c	11.87 ^d	2.68 ^c	0.00	0.00
0.2	30.86 ^a	26.22 ^{bc}	17.33 ^c	12.95 ^d	4.15 ^d	2.64 ^b
0.4	30.86 ^a	27.03 ^b	18.76 ^{bc}	13.63 ^d	4.74 ^d	2.60 ^b
0.6	30.86 ^a	27.03 ^b	19.98 ^b	16.28 ^c	6.02 ^c	2.98 ^b
0.8	30.86 ^a	27.75 ^{ab}	23.24 ^a	16.67 ^c	7.85 ^b	2.99 ^b
1.0	30.86 ^a	28.67 ^a	22.00 ^a	18.21 ^b	8.34 ^b	3.18 ^b
1.5	30.86 ^a	27.72 ^{ab}	22.78 ^a	18.93 ^a	10.72 ^a	3.79 ^a

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ๑% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ Duncan's multiple range test

4.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS)

เป็นการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณน้ำตาล โดยการใช้ Hand Refractometer ในระหว่างการเก็บรักษาผลผลิตจะเกิดการสูญเสียน้ำทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลเปลี่ยนแปลงไป ก่อนทำการทดลองกล้วยหอมทองมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ย

ประมาณ 4.07 °Brix ภายหลังการเก็บรักษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมทองทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ยประมาณ 18.00-21.80 °Brix แสดงดังภาพประกอบที่ 4-18



ภาพประกอบที่ 4-18 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$

โดยปกติกล้วยหอมทองที่บ่มให้สุกที่อุณหภูมิห้องภายหลังการเก็บรักษาจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 17.27-24.27 °Brix (ทิพวรรณ, 2544) โดยกล้วยหอมทองชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมากกว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.5% จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุด ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษากล้วยหอมทองชุดควบคุมและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.5% มีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 79.87 และ 62.11% ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ตลอดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.2, 0.4,

0.6, 0.8 และ 1.0 มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมทองตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

Concentration of chitosan (%)	Total soluble solids ($^{\circ}\text{Brix}$)					
	0 วัน	3 วัน	6 วัน	9 วัน	12 วัน	15 วัน
0.0	4.07 ^a	7.20 ^a	15.53 ^a	20.20 ^a	0.00	0.00
0.2	4.07 ^a	7.00 ^b	13.07 ^b	15.13 ^b	18.53 ^a	21.80 ^a
0.4	4.07 ^a	6.13 ^c	11.20 ^c	15.20 ^b	17.33 ^b	21.27 ^b
0.6	4.07 ^a	5.73 ^d	10.80 ^d	13.13 ^d	15.20 ^c	20.53 ^c
0.8	4.07 ^a	6.13 ^c	9.13 ^f	13.73 ^c	14.20 ^d	20.20 ^d
1.0	4.07 ^a	4.20 ^f	9.40 ^e	11.20 ^e	12.60 ^e	18.60 ^e
1.5	4.07 ^a	4.60 ^e	8.27 ^g	10.73 ^f	11.80 ^f	18.00 ^f

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 9% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ Duncan's multiple range α

4.2.6 สรุปผลของการเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

จากการศึกษาการใช้สารเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทอง โดยใช้สารเคลือบผิวความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, และ 1.5 ทำการจุ่ม 2 ครั้งเปรียบเทียบกับกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ และทำการบันทึกผลทุกๆ 3 วัน พบว่ากล้วยหอมทองชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกจากเขียวเป็นเหลืองทั้งผลและจะมีสีเหลืองทองเหมาะสำหรับการบริโภคในวันที่ 3 ถึง 6 จากนั้นจะเริ่มเกิดการเน่าเสียและสั่นสภาพในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ในขณะที่กล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน 1.5% จะเริ่มเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากเขียวเป็นสี

เหลืองทั้งผลและเหมาะสำหรับการบริโภคในวันที่ 9 ถึง 12 รักษา จากนั้นผลกล้วยหอมจะเริ่มเน่าเสียและสัณสภาพในวันที่ 18 ของการเก็บรักษากล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.5% มีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาดีที่สุด โดยมีการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ตลอดอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด















4.3 ผลของการเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

ผลจากการศึกษาของสารเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของมะนาว โดยใช้สารเคลือบผิวความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.5% ทำการจุ่ม 2 ครั้งเปรียบเทียบกับมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ และทำการบันทึกผลทุกๆ 3 วัน พบว่ามะนาวมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังนี้













4.3.1 ลักษณะปรากฏ

จากการทดลอง พบว่าลักษณะปรากฏของผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานและมะนาวชุดควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานจะเริ่มมีสีเหลืองในวันที่ 9 และ 15 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ จากนั้นจะเริ่มเกิดจุดสีน้ำตาลขึ้นที่ผิวของมะนาวในทุกสภาวะการทดลอง มะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% จะเกิดการเหี่ยวและรูปทรงเปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งสัณสภาพในวันที่ 24 และ 36 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ แสดงภาพประกอบดังตารางที่ 4-13 สำหรับมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันโดยจะสัณสภาพในวันที่ 33 ของการเก็บรักษา แต่ในมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5% นั้น จะปรากฏเป็นรอยไหม้บริเวณผิวของเปลือกตั้งแต่วันที่ 21 ของการเก็บรักษา แสดงภาพประกอบที่ 4-19 ซึ่งอาจเป็นเพราะมีการสร้างแผ่นฟิล์มไคโตซานที่หนาเกินไปและเกิดการสะสมของกรดอะซิติก ส่งผลให้เกิดรอยไหม้ขึ้น (ไพร์ตันและคณะ, 2536)

ตารางที่ 4-13 แสดงภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของมะนาวหูดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน 1.0% ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

Storage Time (days)	Concentration of Chitosan Coating (%)	
	0.0 (Control)	1.0
0		
3		
6		
9		
12		
15		
18		

ตารางที่ 4-13 (ต่อ) แสดงภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน 1.0% ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

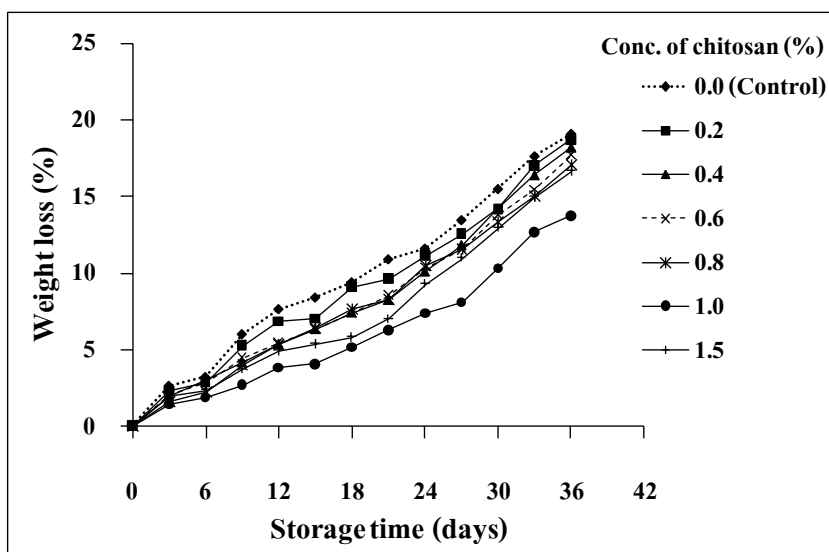
Storage Time (days)	Concentration of Chitosan Coating (%)	
	0.0 (Control)	1.0
21		
24		
27		
30		
33		
36		



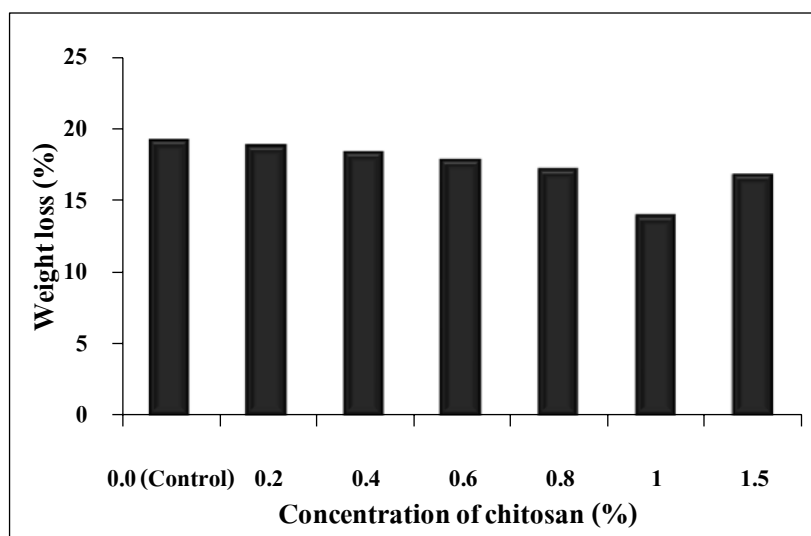
ภาพประกอบที่ 4-19 แสดงลักษณะรอยไหม้ที่ผิวของมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลาย
ไคโตซานเข้มข้น 1.5% ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา

4.3.2 การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

การสูญเสียน้ำของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการที่น้ำเคลื่อนที่แบบ
แพร่กระจายออกจากผลิตผล ทำให้สูญเสียน้ำหนักและความกรอบ เกิดการเหี่ยวและอาจทำให้
รสชาติเปลี่ยนแปลงไปด้วย (อรอุมา, 2546) จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวที่ผ่านการ
เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานและมะนาวชุดควบคุม พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวใน
ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมะนาวชุดควบคุมจะมีการสูญเสียน้ำ
หนักมากที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน แสดงดัง
ภาพประกอบที่ 4-20 แสดงได้ว่าสารละลายไคโตซานสามารถควบคุมการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี
และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% มีการสูญเสียน้ำหนัก
ตลอดอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด แสดงดังภาพประกอบที่ 4-21 สำหรับระยะเวลาในการเก็บรักษา
มะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.0% มีอายุการ
เก็บรักษา 24 และ 36 วัน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ จากการศึกษาของไพโรจน์และคณะ พบว่า
การเคลือบผิวมะนาวด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.25% สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของ
มะนาวได้เป็นระยะเวลา 24 และ 56 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $28\pm 1^{\circ}\text{C}$ และ 11°C ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4-20 แสดงการสูญเสียน้ำหนักและระยะเวลาในการเก็บรักษาของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$



ภาพประกอบที่ 4-21 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานต่อการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

สีที่เป็นองค์ประกอบหลักของมะนาว คือ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ซึ่งในผลไม้ที่อยู่ในระหว่างการสุกคลอโรฟิลล์และบี จะมีการสลายตัวซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (นาตยา, 2544) ดังนั้นเมื่อคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวมากขึ้นรงควัตถุที่มีสีเหลืองก็จะปรากฏชัดขึ้นบริเวณผิวของมะนาว จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาด้วยเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex โดยวัดค่าสีในทอมของตัวแปร L^* a^* และ b^*

โดย ค่า L^* (Lightness Parameter) แสดงค่าความสว่าง

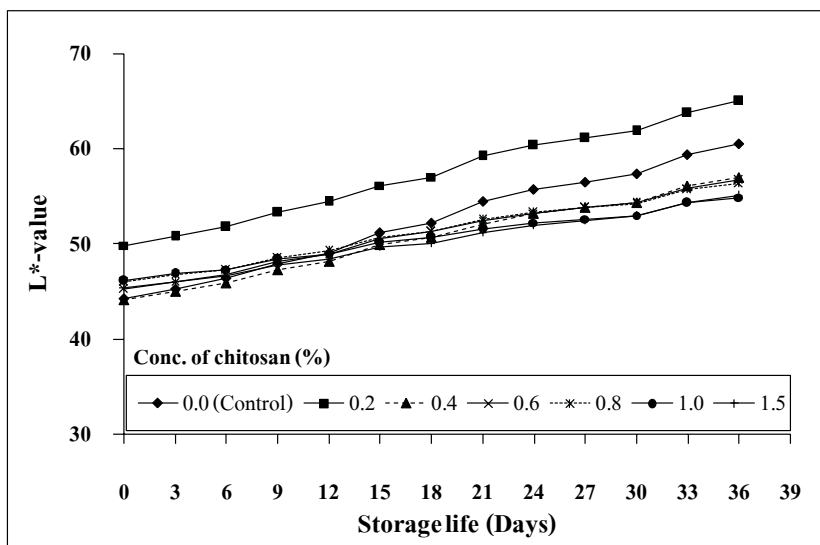
ค่า a^* (Redness Parameter) แสดงค่าสีแดงหรือสีเขียว

ค่า b^* (Yellowness Parameter) แสดงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

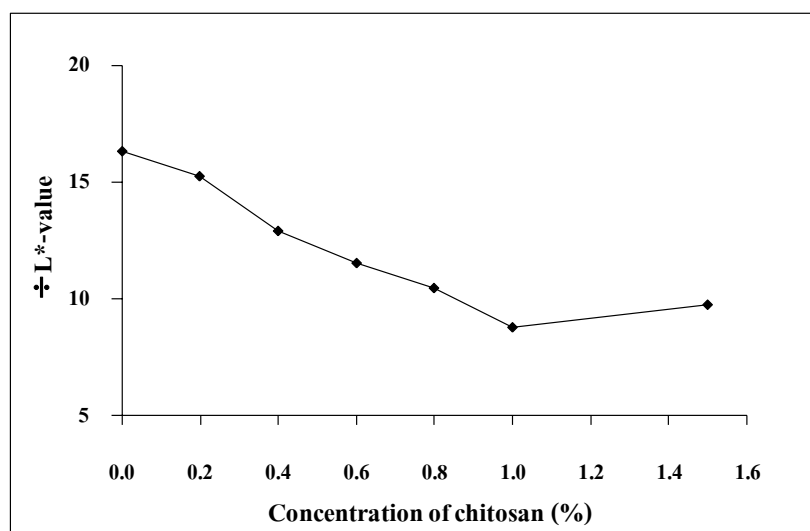
การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมคำนวณได้จากสมการที่ (4-3)

พบว่ามะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานและมะนาวชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่า L^* (ค่าความสว่าง) ของมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาสำหรับทุกชุดการทดลอง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-22 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายไคโตซาน พบว่าความเข้มข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L^* โดยการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ที่ความเข้มข้น 1.0% มีค่าน้อยที่สุด แสดงดังภาพประกอบที่ 4-23 และตลอดอายุการเก็บรักษา ค่า L^* ของมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานสำหรับทุกความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-13 จากการศึกษาการเก็บรักษามะนาวที่ผ่านการบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่า L^* ของมะนาวอยู่ในช่วง 48.71-63.17 (นาตยา, 2544)

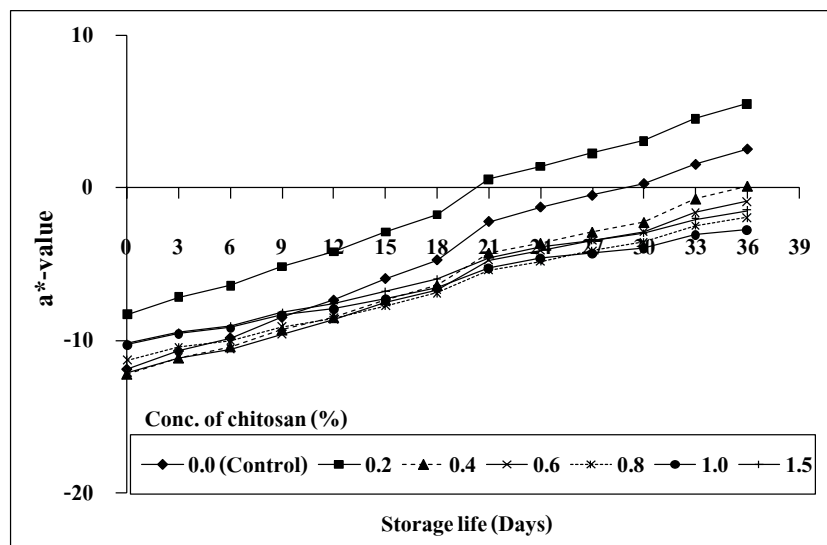


ภาพประกอบที่ 4-22 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

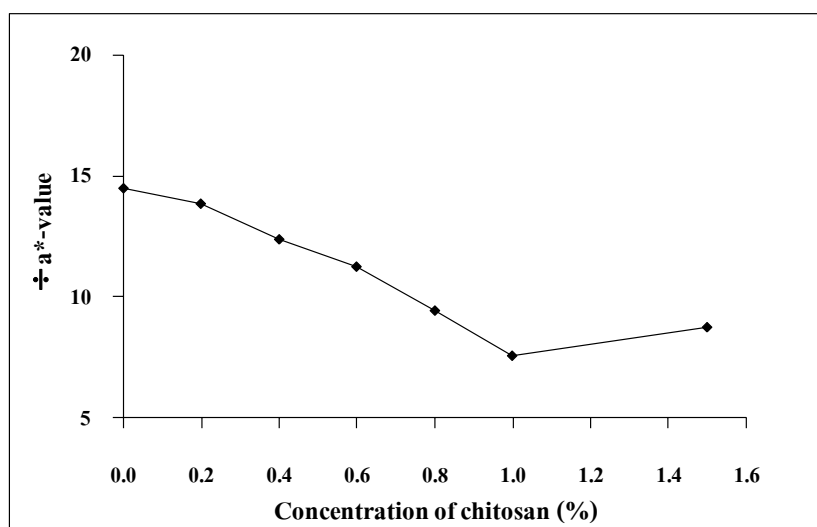


ภาพประกอบที่ 4-23 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างโดยรวม (\bar{L}^*) ตลอดอายุการเก็บรักษาของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

การเปลี่ยนแปลงค่า a^* (ค่าสีเขียว) ของมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตลอดอายุการเก็บรักษา สำหรับทุกชุดการทดลอง แสดงว่ามะนาวมีความเป็นสีเขียวลดลงเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงดังภาพประกอบที่ 4-24 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆของสารละลายไคโตซาน พบว่าความเข้มข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a^* โดยที่ความเข้มข้น 1.0% มีการเปลี่ยนแปลงค่า a^* น้อยที่สุด แสดงดังภาพประกอบที่ 4-25 และตลอดอายุการเก็บรักษา ค่า a^* ของมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานทุกความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-13

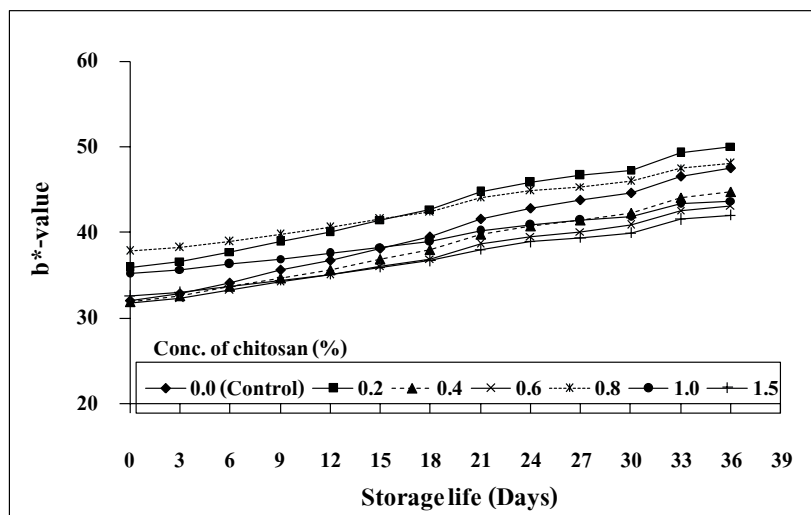


ภาพประกอบที่ 4-24 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$

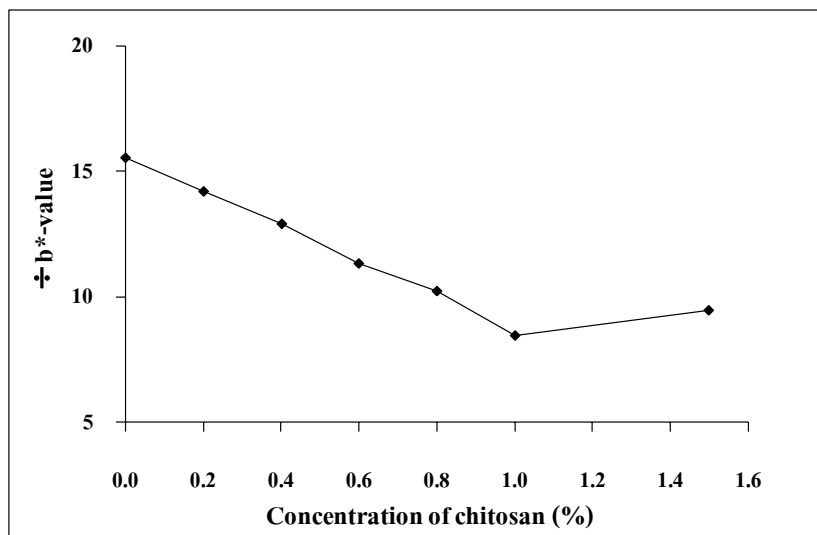


ภาพประกอบที่ 4-25 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a^* โดยรวม ($\pm a^*$) ตลอดอายุการเก็บรักษาของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

การเปลี่ยนแปลงค่า b^* (ค่าสีเหลือง) ของมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาสำหรับทุกชุดการทดลอง เกิดจากการที่คลอโรฟิลล์สลายตัวส่งผลให้คาโรทีนอยด์ปรากฏชัดเจนขึ้นหรือมะนาวมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้นนั่นเอง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-26 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายไคโตซาน พบว่าความเข้มข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า b^* โดยที่ความเข้มข้น 1.0% มีการเปลี่ยนแปลงค่า b^* น้อยที่สุด แสดงดังภาพประกอบที่ 4-27 และตลอดอายุการเก็บรักษา ค่า b^* ของมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานทุกความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-13 จากการศึกษาการเก็บรักษามะนาวที่ผ่านการบรรจุภัณฑ์แบบตัดแปลงบรรยากาศตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่า b^* ของมะนาวอยู่ในช่วง 27.62-46.51 (นาตยา, 2544)



ภาพประกอบที่ 4-26 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$



ภาพประกอบที่ 4-27 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b^* โดยรวม (\bar{b}^*) ตลอดอายุการเก็บรักษาของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$

จากการทดลอง พบว่ามะนาวชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของเปลือกมากที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน การเคลือบผิวมะนาวด้วยสารละลายไคโตซานมีผลทำให้การเปลี่ยนสีผิวของมะนาวจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเกิดขึ้นได้ช้าลง โดยการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวทุกความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-14 และพบว่าเมื่อใช้ไคโตซานที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้นานขึ้น มะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% มีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมน้อยกว่ามะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.5% เนื่องจากที่ความเข้มข้น 1.5% จะปรากฏรอยไหม้ซึ่งส่งผลให้มะนาวเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเป็นเพราะมีการสร้างแผ่นฟิล์มไคโตซานที่หนาเกินไปจึงเกิดการสะสมของกรดอะซิติก ส่งผลให้เกิดรอยไหม้ขึ้น

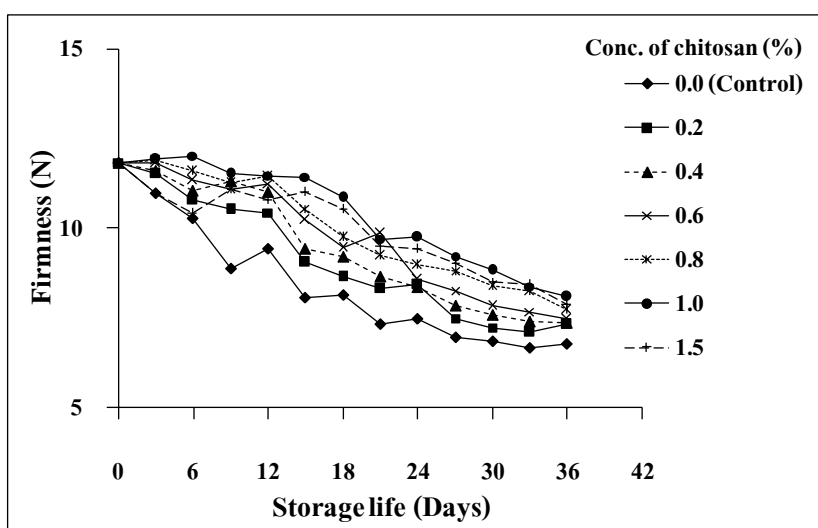
ตารางที่ 4-14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* b^* และการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของสีเปลือกมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

Concentration of chitosan (%)	$\div L^*$	$\div a^*$	$\div b^*$	$\div E$
0.0	16.32 ^a	14.48 ^a	15.55 ^a	26.79 ^a
0.2	15.23 ^b	13.85 ^b	14.23 ^b	25.02 ^b
0.4	12.87 ^c	12.39 ^c	12.92 ^c	22.05 ^c
0.6	11.49 ^d	11.23 ^d	11.34 ^d	19.67 ^d
0.8	10.42 ^e	9.42 ^e	10.22 ^e	17.37 ^e
1.0	8.75 ^g	7.58 ^g	8.43 ^g	14.32 ^g
1.5	9.72 ^f	8.74 ^f	9.46 ^f	16.14 ^f

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 9% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ Duncan's multiple range test

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness)

การทดสอบค่าความแน่นเนื้อทำได้โดยการวัดค่าด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA. XT. Plus พบว่าก่อนทำการทดลองมะนาวมีค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยประมาณ 11.86 นิวตัน การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของมะนาวทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.0% มีค่าความแน่นเนื้อลดลงมากและน้อยที่สุด เท่ากับ 42.70 และ 31.61% ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-28



ภาพประกอบที่ 4-28 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$

การที่ความแน่นเนื้อที่มีแนวโน้มลดลงนั้น เกิดจากการสูญเสียน้ำของผลผลิตซึ่งความแน่นเนื้อของผลผลิตขึ้นอยู่กับความตึงของเซลล์ ภายในเซลล์จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ถ้ามีการสูญเสียน้ำมากจะทำให้ความตึงของเซลล์ลดลงส่งผลให้ลักษณะผลเกิดการเปลี่ยนแปลงและค่าความแน่นเนื้อลดลงได้ (กฤติพงษ์, 2552) ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยของมะนาวชุดควบคุมและ

มะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานทุกความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่มะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในวันที่ 36 ของการเก็บรักษาความแน่นเนื้อมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.79-8.11 นิวตัน แสดงดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

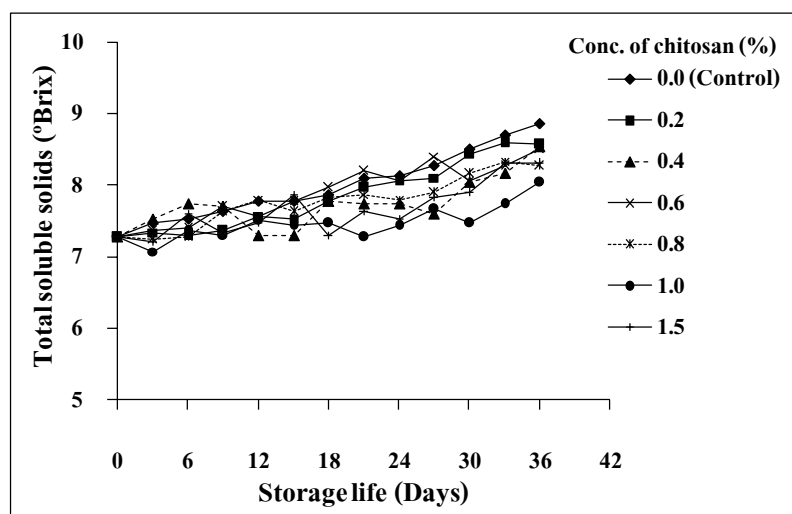
Firmness (N)	Concentration of chitosan (%)						
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0 วัน	11.86 ^a	11.86 ^a	11.86 ^a	11.86 ^a	11.86 ^a	11.86 ^a	11.86 ^a
3 วัน	10.99 ^b	11.54 ^{ab}	11.62 ^a	11.83 ^a	11.92 ^a	11.93 ^a	11.01 ^b
6 วัน	10.30 ^f	10.82 ^{de}	11.07 ^{cd}	11.36 ^{bc}	11.62 ^{ab}	12.04 ^a	10.43 ^{ef}
9 วัน	8.87 ^c	10.53 ^b	11.31 ^{ab}	11.09 ^{ab}	11.27 ^{ab}	11.53 ^a	11.11 ^{ab}
12 วัน	9.44 ^c	10.45 ^b	11.01 ^{ab}	11.26 ^{ab}	11.47 ^a	11.48 ^a	10.80 ^{ab}
15 วัน	8.08 ^d	9.06 ^{cd}	9.42 ^{bc}	10.25 ^{abc}	11.56 ^{ab}	11.44 ^a	11.02 ^a
18 วัน	8.13 ^e	8.65 ^d	9.22 ^c	9.47 ^{bc}	9.76 ^b	10.87 ^a	10.55 ^a
21 วัน	7.32 ^d	8.33 ^c	8.66 ^c	9.88 ^a	9.26 ^b	9.71 ^{ab}	9.50 ^{ab}
24 วัน	7.49 ^e	8.44 ^d	8.36 ^d	8.59 ^{cd}	8.99 ^{bc}	9.76 ^a	9.42 ^{ab}
27 วัน	6.98 ^d	7.50 ^{cd}	7.85 ^{bcd}	8.27 ^{abc}	8.83 ^{ab}	9.22 ^a	9.01 ^a
30 วัน	6.85 ^e	7.23 ^{de}	7.58 ^{cd}	7.84 ^{bc}	8.39 ^{ab}	8.85 ^a	8.52 ^a
33 วัน	6.68 ^d	7.11 ^{cd}	7.40 ^c	7.68 ^{bc}	8.25 ^{ab}	8.38 ^a	8.44 ^a
36 วัน	6.79 ^d	7.32 ^c	7.38 ^{bc}	7.47 ^{bc}	7.73 ^{abc}	8.11 ^a	7.90 ^a

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ๑% ตามวิธีวิเคราะห์

แบบ Duncan's ~~test~~

4.3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS)

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ สามารถวัดค่าได้ โดยการใช้ Hand Refractometer โดยปกติในพืชตระกูลส้มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มี ประมาณ 70-80% ในผลพืชตระกูลส้มที่มีรสหวานปริมาณของน้ำตาลจะมีมากในช่วงของการสุก แก่ เนื่องจากปริมาณกรดจะลดลง เช่น ในผลส้ม ส้มจิน และเกรฟฟรุต ของแข็งที่ละลายน้ำจะอยู่ใน รูปของน้ำตาลแต่ในผลมะนาวนั้นของแข็งที่ละลายน้ำจะอยู่ในรูปของกรดซิตริก (วารุณี, 2547) ก่อนทำการทดลองมะนาวมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ยประมาณ 7.27 °Brix ภายหลังการ เก็บรักษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะนาวทุกชุดการทดลองมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงดังภาพประกอบที่ 4-29 เนื่องจากมีการ สูญเสียน้ำไปในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น



ภาพประกอบที่ 4-29 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะนาวที่ไม่ผ่านการ เคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น ต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

หลังจากระยะเวลาการเก็บรักษา 36 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในทุกสภาวะการทดลองมีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.03-8.87 °Brix โดยมะนาวชุดควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่ามะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุดเท่ากับ 9.54% ในขณะที่มะนาวชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 18.05% จากการศึกษาการเก็บรักษามะนาวในถุงตาข่ายไนลอนที่อุณหภูมิ 10 °C พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะนาวก่อนและหลังทำการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 7.41 และ 8.93°Brix ตามลำดับ (วารุณี, 2547) สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ตลอดอายุการเก็บรักษาของมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.8 และ 1.5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±2°C

Total soluble solids (°Brix)	Concentration of chitosan (%)						
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0 วัน	7.27 ^a	7.27 ^a	7.27 ^a	7.27 ^a	7.27 ^a	7.27 ^a	7.27 ^a
3 วัน	7.47 ^{ab}	7.33 ^{bcd}	7.53 ^a	7.37 ^{bc}	7.23 ^{cd}	7.07 ^c	7.20 ^{dc}
6 วัน	7.53 ^{abc}	7.30 ^d	7.73 ^a	7.40 ^{cd}	7.27 ^d	7.37 ^d	7.60 ^{ab}
9 วัน	7.63 ^a	7.37 ^b	7.70 ^a	7.70 ^a	7.63 ^a	7.30 ^b	7.33 ^b
12 วัน	7.77 ^a	7.57 ^b	7.30 ^c	7.57 ^b	7.80 ^a	7.50 ^b	7.47 ^b
15 วัน	7.77 ^{ab}	7.53 ^{cd}	7.30 ^e	7.77 ^{ab}	7.63 ^{bc}	7.43 ^{de}	7.87 ^a
18 วัน	7.87 ^{ab}	7.77 ^b	7.77 ^b	7.97 ^a	7.83 ^{ab}	7.47 ^c	7.30 ^d
21 วัน	8.10 ^{ab}	7.97 ^{bc}	7.73 ^{de}	8.20 ^a	7.87 ^{cd}	7.27 ^f	7.63 ^e
24 วัน	8.13 ^a	8.07 ^a	7.73 ^{bc}	8.07 ^a	7.80 ^b	7.43 ^d	7.53 ^{cd}

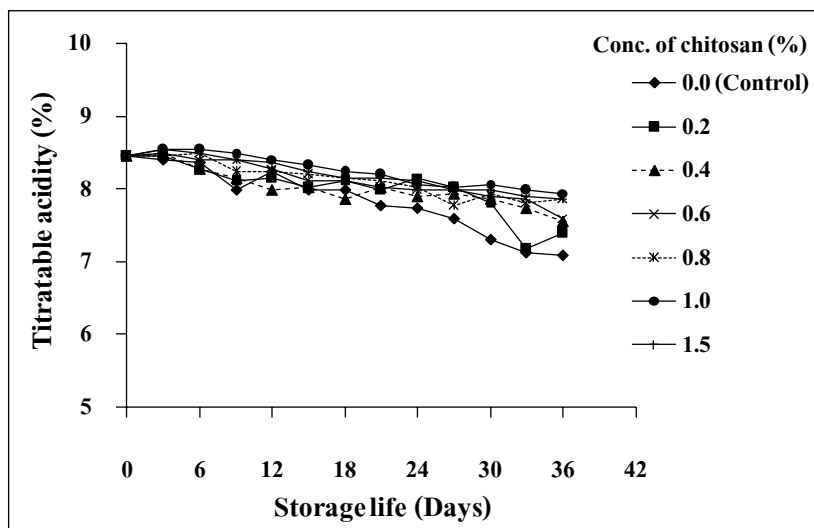
ตารางที่ 4-16 (ต่อ) แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±2°C

Total soluble solids (°Brix)	Concentration of chitosan (%)						
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
27 วัน	8.27 ^{ab}	8.10 ^{bc}	7.60 ^f	8.40 ^a	7.90 ^{cd}	7.67 ^{cf}	7.83 ^{de}
30 วัน	8.50 ^a	8.43 ^a	8.03 ^{bc}	8.07 ^{bc}	8.17 ^b	7.47 ^d	7.90 ^c
33 วัน	8.70 ^a	8.58 ^a	8.17 ^c	8.27 ^{bc}	8.33 ^b	7.73 ^d	8.30 ^b
36 วัน	8.87 ^a	8.57 ^b	8.53 ^b	8.50 ^b	8.27 ^c	8.03 ^d	8.30 ^c

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 9% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ Duncan's ~~test~~

4.3.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Titratable Acidity (TA)

กรดที่พบมากที่สุดในน้ำมะนาว คือ กรดซิตริก (นาตยา, 2544) จากการทดลองหาปริมาณ TA ในผลมะนาวด้วยการไทเทรตกับสารละลายต่างมาตรฐาน (NaOH 0.1 N) โดยใช้ Phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ของมะนาวทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (วีระยุทธ, 2550) แสดงดังภาพประกอบที่ 4-30 ปริมาณ TA ของมะนาวก่อนและหลังการเก็บรักษาระยะเวลา 36 วัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.45 และ 7.34-7.94% ตามลำดับ โดยมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่มีการเปลี่ยนแปลงของ TA มากกว่ามะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.8, 1.0 และ 1.5 โดยที่ทั้ง 3 ความเข้มข้นนี้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4-17 จากการศึกษาการเก็บรักษามะนาวในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิ 16°C ปริมาณ TA ของมะนาวก่อนและหลังทำการเก็บรักษามีค่าประมาณ 8.19 และ 6.23% ตามลำดับ (อรอุมา, 2546)



ภาพประกอบที่ 4-30 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 4-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$

Titratable acidity (%)	Concentration of chitosan (%)						
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0 วัน	8.45 ^a	8.45 ^a	8.45 ^a	8.45 ^a	8.45 ^a	8.45 ^a	8.45 ^a
3 วัน	8.41 ^a	8.45 ^a	8.49 ^a	8.49 ^a	8.45 ^a	8.53 ^a	8.53 ^a
6 วัน	8.36 ^{bc}	8.28 ^c	8.27 ^c	8.41 ^{abc}	8.49 ^{ab}	8.53 ^a	8.41 ^{ab}
9 วัน	7.98 ^c	8.11 ^{bc}	8.15 ^b	8.41 ^a	8.23 ^b	8.50 ^a	8.41 ^a
12 วัน	8.23 ^{bc}	8.15 ^c	7.98 ^d	8.28 ^{abc}	8.23 ^{bc}	8.41 ^a	8.36 ^{ab}
15 วัน	7.98 ^c	8.02 ^c	8.02 ^c	8.11 ^{bc}	8.19 ^{ab}	8.32 ^a	8.23 ^{ab}
18 วัน	7.98 ^{bc}	8.11 ^{ab}	7.85 ^c	8.11 ^{ab}	8.15 ^{ab}	8.23 ^a	8.15 ^{ab}

ตารางที่ 4-17 (ต่อ) แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TA ของมะนาวตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±2°C

Titratable acidity (%)	Concentration of chitosan (%)						
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
21 วัน	7.77 ^d	7.98 ^c	8.02 ^{bc}	8.02 ^{bc}	8.11 ^{abc}	8.19 ^a	8.15 ^{ab}
24 วัน	7.72 ^c	8.15 ^a	7.89 ^b	7.98 ^{ab}	8.02 ^{ab}	8.06 ^{ab}	8.11 ^a
27 วัน	7.85 ^a	8.02 ^a	7.94 ^a	7.98 ^a	7.77 ^a	8.02 ^a	7.98 ^a
30 วัน	7.65 ^b	7.81 ^{ab}	7.85 ^{ab}	7.89 ^{ab}	7.94 ^{ab}	8.06 ^a	7.98 ^a
33 วัน	7.34 ^b	7.17 ^b	7.72 ^a	7.85 ^a	7.81 ^a	7.98 ^a	7.89 ^a
36 วัน	7.34 ^b	7.38 ^{bc}	7.55 ^{bc}	7.59 ^b	7.85 ^a	7.94 ^a	7.85 ^a

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ๑% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ Duncan's ~~test~~

4.3.7 สรุปผลของการเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

ผลจากการศึกษาของสารเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของมะนาว โดยใช้สารเคลือบผิวความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.5% ทำการจุ่ม 2 ครั้งเปรียบเทียบกับมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±2°C และทำการบันทึกผลทุกๆ 3 วัน พบว่าลักษณะปรากฏของผลมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานจะเริ่มมีสีเหลืองในวันที่ 9 และ 15 ของการเก็บรักษา จากนั้นมะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% จะเกิดการเหี่ยวและรูปทรงเปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งสิ้นสภาพในวันที่ 24 และ 36 ตามลำดับ มะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% มีคุณภาพในการเก็บรักษามะนาวดีที่สุด โดยมีการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณ TA ตลอดอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ข้อสรุปผลวิจัย

5.1.1 การผลิตโคโคซาน

จากการทดลองการผลิตโคโคซานสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโคโคซาน คือ การกำจัดโปรตีน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 4.0% (w/v) ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 (w/v) ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 N ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้ง: สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1: 10 (w/v) ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 30% อัตราส่วน 1: 10 อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดย %Yield และน้ำหนักโมเลกุลของโคโคซานที่ผลิตได้เท่ากับ 19.45% และ 8.07×10^5 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (%DD) ด้วยวิธีการไทเทรตแบบวัดศักย์ พบว่า %DD ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 85.87% และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิห้อง คือ กำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างโคโคซานและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 10 %DD ที่ได้เป็น 72.45% และน้ำหนักโมเลกุลของโคโคซานประมาณ 8.97×10^5 การผลิตโคโคซานจากเปลือกกุ้งในกระบวนการนี้ให้ค่า %Yield เท่ากับ 19.80% ซึ่งปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อการกำจัดหมู่อะซิทิล ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิล แต่ในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลควรลดลง เพื่อให้สภาวะในการกำจัดหมู่อะซิทิลรุนแรงเกินไป

สำหรับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลนั้น เบื้องต้นพบว่ากำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 30% ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 1 และ 2 ครั้ง อัตราส่วนระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และ ไคตินเท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ค่า %DD เท่ากับ 75.13 และ 72.45% ตามลำดับ ซึ่งเป็นสถานะที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไคโตซานได้ ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ถึง 44.37% แต่เนื่องจาก %DD ของไคโตซานที่ได้มีค่าน้อยกว่าไคโตซานที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ดังนั้นควรเพิ่มอุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อช่วยให้การดึงหมู่อะซิทิลออกจากไคตินเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ไคโตซานที่ได้มีค่า %DD สูงขึ้น

5.1.2 การเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษาด้วยหอมทอง

จากการศึกษาพบว่า การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมทองในทุกชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยกล้วยหอมทองชุดควบคุมจะมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเมื่อเทียบกับกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิว แสดงว่าไคโตซานสามารถควบคุมการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีและระดับความเข้มข้นของไคโตซานที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักโดยตรง กล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 1.5% จะมีการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุดสำหรับระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า กล้วยหอมทองชุดควบคุมและกล้วยหอมทองที่ผ่านการเคลือบผิวมีอายุการเก็บรักษา 9 และ 18 วัน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30±2°C

5.1.3 การเคลือบผิวไคโตซานต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว

จากการศึกษา พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวในทุกชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมะนาวชุดควบคุมจะมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิว โดยมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 1.0% มีการ

สูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้น้อยที่สุด มะนาวชุดควบคุมและมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวมีอายุการเก็บรักษา 24 และ 36 วัน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ จากการศึกษา พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ สารละลายไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบจาก 1.0 เป็น 1.5% ทำให้ประสิทธิภาพในการเก็บรักษา มะนาวลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มข้น 1.5% จะปรากฏรอยไหม้และรูปร่างที่ผิดปกติ ซึ่ง อาจเป็นเพราะมีการสร้างแผ่นฟิล์มไคโตซานที่หนาเกินไปจึงเกิดการสะสมของกรดอะซิติก ส่งผล ให้เกิดรอยไหม้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาคุณสมบัติของไคตินที่ผลิตได้ เพื่อเป็นมาตรฐานเดียวกัน สำหรับการนำไปผลิตเป็นไคโตซานต่อไป

5.2.2 ควรมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วและศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ผลิตได้จากการใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิติก

5.2.3 ควรนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้กับผลไม้ประเภทอื่นด้วย เช่น ลองกอง ลำไย มะม่วง เป็นต้น

5.2.4 ควรมีการเปลี่ยนแปลง %DD ของไคโตซานและศึกษาผลของ %DD ต่อการ คงสภาพของผลไม้

5.2.5 ควรมีการศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา ต่อการคงสภาพของผลไม้ที่ ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน

5.2.6 ขั้นตอนการแบ่งกล้วยควรตัดให้ติดยาวของผลมากที่สุดและอาจมีการห่อขั้ว กล้วย เพื่อป้องกันการเหี่ยวที่ขั้วของกล้วย ซึ่งอาจส่งผลให้ขั้วกล้วยมีสีเขียวและระยะเวลาในการ เก็บรักษานานขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กฤติพงษ์ ไพบูลย์สมบัติ. 2552. ผลของไคโตซานร่วมกับสารเคลือบผิวที่บริโภคน้ำได้ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กิ่งชม พิฆวงษ์ ประธาน จิรานูวัฒน์วงษ์ และ ปิยศักดิ์ ประกอบแสง. 2548. การชุบเคลือบพริกด้วยไคติน-ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์ หทัยรัตน์ ริมศิริ และวิชัย หฤทัยธนาสันต์. 2542. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไคโตซาน. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จินดา พุ่มไสว. 2550. ผลของสารเคลือบผิว Sta-fresh 7055 Methyl Cellulose และ Sucrose Fatty Acid Ester ต่อคุณภาพหลังการเก็บรักษากล้วยหอมทอง. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ฉัตรวรรณ พจนการุณ. 2548. ผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์และไคโตซานต่อการรักษาคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อน *Zea mays L.* ระหว่างการเก็บรักษา. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชลลธร วัฒนากร. 2546. ผลของการเคลือบผิวด้วยคอนยัคกัมที่มีต่ออายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทิตพงษ์ เอียบสกุล และ เอกนรินทร์ สารพัสดุ. 2545. การผลิตไคตินและไคโตซานพื้นฐาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ทิพวรรณ เกิดศิริ. 2544. อิทธิพลของอายุสารดูดซับเอทิลีน และสัดส่วนของ CO_2 : O_2 ต่อพัฒนาการสุก คุณภาพ และอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นาตยา ศิริพงษ์. 2545. การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวโดยการใช้บรรจุภัณฑ์แบบตัดแปลงบรรยากาศ. คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พิมพ์ใจ สีหะนาม. 2548. ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 72. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- ไพรัตน์ โสภโณคร สุทรวัดน์ เบญจกุล และวิคเนตร พระพุทธ. 2536. การใช้ไคโตแซนเป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- มยุรี กระจายกลาง และสุริกา สมวรรณ. 2551. ผลของไคโตซานต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลกล้วยไข่. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วรเชษฐ์ หน่อคำ. 2552. ผลของไคโตซานและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของเห็ดลม. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วารุณี ภู่อพรหมณ์. 2547. การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวด้วยภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน. สถาบันราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- วีระยุทธ บุญรอด. 2550. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษามะนาว. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรรณรัตน์ อุ่นสนธิ์ และอรสา วงศ์คำจันทร์. 2547. การศึกษาผลของไคโตซานที่มีต่อการคงสภาพของมะเขือเทศ. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- ศิริวรรณ วตะภรณ์. 2540. การศึกษาวิธีการสกัดและการวิเคราะห์ไคตินในเปลือกกุ้ง กระจดองปู และแกนปลาหมึกชนิดต่างๆ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเพชรบุรี.
- สมฤดี ฤดีเจริญสกุล. 2550. อิทธิพลของภาชนะบรรจุระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนในขณะที่เก็บรักษาและคุณภาพหลังการเก็บรักษากล้วยหอมทอง. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุดาพร ตั้งควนิช ธันยาภัทร์ เขียรทองอินทร์ สิริวรรณ แก้วดี และอัมภพร พรหมประดิษฐ์. 2549. การเตรียมไคโตซานจากเปลือกกุ้งและกระจดองปู. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- สุปราณี ฐิติธากุล. 2545. การตลาดผลมะนาวสด: ศึกษาเฉพาะกรณีเกษตรกร อำเภอท่ายาง จ. เพชรบุรี. สถาบันราชภัฏสวนดุสิต.

- อนุนวงศ์ วงศ์วิเชียร. 2549. ผลของการใช้เปลือกกุ้งในอาหารต่อคุณภาพซากและระดับคอเลสเตอรอลในเนื้อสุกรขุน. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- อรอุมา ภาแก้ว. 2546. อิทธิพลของภาชนะบรรจุ อัตราการไหล O_2 - CO_2 และปริมาณสารดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษามะนาว. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Ben-Yehoshua, s. 1987. Transpiration, Water Stress and Gas Exchange. *Journal of Postharvest Physiclogy of Vegetable*, 113-170.
- Chen, R.H. and Hwab, H. D. 1996. Effect of Molecular Weight of Chitosan with the Same Degree of Deacetylation on the Thermal, Mechanical, and Permeability Properties of the Prepared Membrane. *Journal of Carbohydrate Polymers*.29, 353-358.
- Chien, P-J., Sheu, F. and Lin, H.R. 2007. Coating Citrus (Murcott Tangor) Fruit with Low Molecular Weight Chitosan Increases Postharvest Quality and Shelf Life. *Journal of Food Chemistry*. 100,1160-1164.
- Coleman, B. and Manson, J. 1988. Seafood Spray Gives Fruit that Fresher Feeling. *Journal of New Sciencetist*. 30, 48.
- Du, J. M., Gemma, H. and Iwahori, S. 1997. Effects of Chitosan Coating on the Storage of Peach, Japanese Pear, and Kiwi Fruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 66, 15–22.
- Jiang, Y. and Li, Y. 2001. Effects of Chitosan Coating on Postharvest Life and Quality of Longan Fruit. *Journal of Food Chemistry*. 73, 139-143.
- Lertsutthiwong, P., How, N. C. and Chandkrachang, S. 2002. Effect of Chemical Treatment on the Characteristics of Shrimp Chitosan. *Journal of Metals, Materials and Minerals*.12, 11-18.

- Li, J., Du, Y. and Liang, H. 2007. Influence of Molecular Parameters on the Degradation of Chitosan by a Commercial Enzyme. *Journal of Polymer Degradation and Stability*. 92, 515-524.
- Muzzarelli, R., Rocchetti, R., Stanic, V. and Weckx, M. 1997. Methods for the Determination of the Degree of Acetylation of Chitin and Chitosan. *Chitin handbook*. 109–119.
- No, H. K. and Meyers, S. P. 1997. Preparation of Chitin and Chitosan. In : Muzzarelli, R.A.A and Peter, M.G.(eds.) *Chitin Handbook*. Oxford, Pergamon. 475-489.
- Setha, S. 1999. Effect of Chitosan Coating on Delayed Ripening of Cavendish Banana. Faculty of Science King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Stevens, W. F. 2001. Production of Chitin and Chitosan: Refinement and Sustainability of Chemical and Biological Processing. In: Uragami, et al. (eds.) *Chitin and Chitosan: Chitin and Chitosan in Life Science*. Tokyo, Kodansha Scientific. 293-300.
- Wang, Q. Z., Chen, X. G., Liu, N., Wang, S.X., Liu, C. S., Meng, X. H. and Liu, C. G. 2006. Protonation Constants of Chitosan with Different Molecular Weight and Degree of Deacetylation. *Journal of Carbohydrate Polymers*. 65, 194-201.
- Win, N. N., Pengju, G. and Stevens, W. F. 2000. Deacetylation of Chitin by Fungal Enzymes. *Advance in Chitin Science*. 4, Taiwan, National Taiwan Ocean University. 55-62.
- Win, N. N. and Stevens, W. F. 2001. Shrimp Chitin as Substrate for Fungal Chitin Deacetylase. *Journal of Applied Microbiology and Biotechnology* 57, 334-341.
- Zhang, H and Neau, S. H. 2001. In Vitro Degradation of Chitosan by a Commercial Enzyme Preparation: Effect of Molecular Weight and Degree of Deacetylation. *Journal of Biomaterials*. 22, 1653-1658.

ไม้ผลทางเศรษฐกิจของไทย. Available online: <http://th.wikipedia.org/wiki/ไม้ผล>
(สืบค้นเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2554)

ไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ Available online: <http://www.rakbankerd.com/agriculture/open.php?id=493&s=tblplant> (สืบค้นเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2554)

อุตสาหกรรมกุ้งไทย. Available online: http://www.thailandshrimp.com/industrial_element.html (สืบค้นเมื่อวันที่ 8 พฤษภาคม 2554)

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการผลิตโคโคซาน

ตาราง ก-1 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัด
หมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 30% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C 2 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	1.86	1.85	1.83
2	1.96	1.89	1.87
3	2.07	1.99	1.96
4	2.22	2.10	2.07
5	2.43	2.24	2.24
6	2.82	2.45	2.48
7	3.50	2.85	2.93
8	4.10	3.70	3.72
9	4.40	4.08	4.21
10	4.69	4.30	4.55
11	4.83	4.57	4.77
12	5.06	4.74	4.99
13	5.28	4.90	5.16
14	5.46	5.18	5.31
15	5.76	5.35	5.47
16	6.05	5.53	5.68
17	6.38	5.74	5.79
18	6.56	6.19	5.96
19	6.83	6.82	6.69
20	9.79	9.84	10.62
21	11.36	10.70	11.22
22	11.79	11.10	11.63
23		11.46	
24		11.72	

ตาราง ก-2 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสภาวะการกำจัด
หมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 30% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 72 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	1.73	2.07	1.88
2	1.83	2.08	1.93
3	1.92	2.15	1.98
4	2.01	2.22	2.05
5	2.07	2.25	2.03
6	2.25	2.39	2.10
7	2.44	2.49	2.19
8	2.71	2.68	2.34
9	3.15	3.07	2.52
10	4.30	3.93	2.83
11	4.82	4.66	3.73
12	5.25	5.04	4.61
13	5.58	5.31	5.03
14	5.90	5.53	5.47
15	6.05	5.69	5.74
16	6.32	6.00	6.08
17	6.74	6.12	6.39
18	9.01	6.25	7.87
19	10.17	6.53	9.66
20	10.89	7.72	10.56
21	11.12	8.82	11.06
22	11.37	9.86	11.47
23	11.58	10.47	11.65
24	11.73	10.82	11.93

ตาราง ก-3 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	1.93	1.92	1.94
2	1.99	1.99	1.99
3	2.06	2.05	2.07
4	2.17	2.19	2.17
5	2.26	2.28	2.30
6	2.39	2.37	2.54
7	2.60	2.65	3.02
8	3.05	3.11	4.09
9	4.02	4.21	4.60
10	4.77	4.72	4.86
11	5.03	5.09	5.12
12	5.27	5.28	5.37
13	5.43	5.53	5.54
14	5.88	5.83	5.75
15	6.11	6.02	5.91
16	7.32	6.37	6.44
17	8.51	8.25	7.79
18	9.09	9.48	8.96
19	9.69	10.17	9.75
20	10.24	10.60	10.12
21	10.59	10.97	10.63
22	11.06	11.29	10.83
23	11.48	11.58	10.98
24	11.70	11.83	11.13

ตาราง ก-4 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 60°C 4 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.30	2.33	2.26
2	2.38	2.39	2.29
3	2.51	2.44	2.40
4	2.65	2.55	2.52
5	2.89	2.67	2.81
6	3.36	2.85	3.07
7	4.63	3.14	3.72
8	5.18	4.11	4.94
9	5.53	4.95	5.37
10	5.88	5.28	5.75
11	7.13	5.59	6.66
12	8.44	6.81	8.13
13	9.16	7.85	9.24
14	9.66	8.73	9.92
15	10.08	9.49	10.36
16	10.35	9.91	10.77
17	10.63	10.33	11.05
18	10.94	10.60	11.37
19	11.14	10.81	11.54
20	11.27	10.92	11.63
21	11.54	11.12	11.71
22	11.57	11.34	11.78
23	11.60	11.56	11.86
24	11.68	11.67	11.92

ตาราง ก-5 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสภาวะการกำจัด
หมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 48 hr

ปริมาตร NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.08	2.06	2.03
2	2.10	2.10	2.07
3	2.14	2.17	2.09
4	2.20	2.24	2.15
5	2.25	2.34	2.22
6	2.34	2.47	2.32
7	2.46	2.68	2.46
8	2.65	3.14	2.67
9	2.96	4.14	3.08
10	4.03	4.58	3.98
11	4.28	4.89	4.50
12	4.51	5.09	4.78
13	4.77	5.20	4.98
14	4.94	5.31	5.19
15	5.10	5.44	5.49
16	5.16	5.54	5.64
17	5.22	5.65	5.85
18	5.33	6.25	7.17
19	5.57	7.24	8.83
20	7.27	7.56	9.80
21	7.55	8.00	10.06
22	7.85	8.46	10.37
23	7.97	8.57	10.44
24	8.11	8.62	10.52

ตาราง ก-6 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสภาวะการกำจัด
หมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 72 hr

ปริมาตร NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.30	2.25	2.29
2	2.35	2.30	2.34
3	2.43	2.36	2.43
4	2.52	2.47	2.52
5	2.67	2.61	2.64
6	2.86	2.82	2.81
7	3.33	3.33	3.06
8	4.45	4.46	3.67
9	5.02	5.01	4.72
10	5.31	5.39	5.12
11	5.63	5.63	5.50
12	5.88	5.86	5.82
13	6.34	6.16	6.28
14	8.11	8.49	7.88
15	9.20	9.61	9.52
16	9.91	10.31	9.73
17	10.43	10.74	10.31
18	10.83	11.08	10.68
19	11.11	11.30	11.04
20	11.18	11.41	11.12
21	11.24	11.55	11.23
22	11.35	11.62	11.37
23	11.48	11.69	11.43
24	11.52	11.75	11.51

ตาราง ก-7 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสภาวะการกำจัด
หมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 48 hr

ปริมาตร NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.11	2.03	2.06
2	2.16	2.07	2.11
3	2.20	2.10	2.19
4	2.27	2.15	2.28
5	2.34	2.22	2.36
6	2.45	2.40	2.51
7	2.61	2.71	2.76
8	2.91	2.89	3.10
9	3.68	3.24	4.02
10	4.18	3.95	4.39
11	4.50	4.25	4.67
12	4.76	4.66	4.88
13	5.01	4.92	5.24
14	5.20	5.10	5.33
15	5.31	5.23	5.46
16	5.42	5.40	5.57
17	5.51	5.54	5.75
18	5.65	5.67	6.62
19	5.92	7.59	8.59
20	7.58	8.20	9.03
21	8.18	8.65	9.64
22	8.60	9.80	10.33
23	8.83	10.08	10.54
24	10.49	10.32	10.87

ตาราง ก-8 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสภาวะการกำจัด
หมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 72 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	1.92	2.00	2.02
2	1.96	2.06	2.04
3	2.01	2.04	2.08
4	2.08	2.15	2.13
5	2.20	2.25	2.20
6	2.31	2.42	2.33
7	2.51	2.69	2.58
8	2.87	3.28	3.07
9	3.82	4.26	4.11
10	4.55	4.76	4.60
11	4.86	5.10	4.85
12	5.15	5.37	5.08
13	5.39	5.78	5.28
14	5.57	5.95	5.46
15	5.74	6.10	5.67
16	5.88	6.25	5.81
17	6.07	6.97	5.96
18	6.20	10.07	6.19
19	6.35	10.74	8.92
20	9.10	11.29	11.48
21	9.43	11.62	11.81
22	9.78	11.86	12.00
23	10.07	12.05	12.12
24	10.36	12.20	12.21

ตาราง ก-9 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง โดยมีสภาวะการกำจัด

หมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr

ปริมาตร NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.07	2.09	2.10
2	2.21	2.22	2.21
3	2.42	2.45	2.45
4	2.66	2.88	2.99
5	2.98	3.04	3.72
6	3.11	3.55	4.35
7	3.38	4.59	4.51
8	3.84	4.85	4.82
9	5.10	5.08	5.16
10	5.27	5.32	5.20
11	5.52	5.53	5.47
12	5.78	5.75	5.62
13	5.95	5.93	5.83
14	6.05	6.17	6.01
15	6.52	6.59	6.57
16	6.64	6.81	9.56
17	6.79	6.92	9.94
18	7.15	8.64	10.16
19	7.36	9.32	10.23
20	8.43	9.95	10.48
21	9.84	11.63	
22	10.91	12.13	
23	11.45		
24	12.12		

ตาราง ก-10 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไลโคซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัด
หมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไลโคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 60°C 4 hr

ปริมาตร NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.00	2.06	2.03
2	2.04	2.10	2.08
3	2.11	2.16	2.14
4	2.16	2.22	2.19
5	2.23	2.29	2.26
6	2.31	2.38	2.34
7	2.42	2.43	2.44
8	2.60	2.63	2.57
9	2.85	2.84	2.77
10	3.25	3.18	3.06
11	4.16	3.97	3.83
12	4.60	4.51	4.51
13	4.93	4.80	4.84
14	5.23	5.03	5.11
15	5.38	5.19	5.33
16	5.59	5.34	5.48
17	5.74	5.47	5.65
18	5.94	5.64	5.79
19	6.10	5.73	5.97
20	6.22	6.72	6.09
21	7.40	9.13	7.46
22	8.99	10.27	8.07
23	10.02	10.80	8.90
24	10.49	11.08	9.50

ตาราง ก-11 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ 30±2°C 48 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.19	2.08	1.99
2	2.24	2.12	2.04
3	2.26	2.17	2.08
4	2.32	2.24	2.12
5	2.43	2.32	2.21
6	2.54	2.42	2.30
7	2.70	2.56	2.41
8	3.02	2.78	2.54
9	3.83	3.15	2.75
10	4.62	4.41	3.26
11	4.92	4.89	4.30
12	5.14	5.31	4.74
13	5.36	5.58	5.09
14	5.57	5.80	5.46
15	5.77	6.01	5.63
16	5.95	8.11	5.86
17	6.18	9.37	6.59
18	6.49	9.82	7.49
19	7.86	10.26	8.02
20	8.27	10.46	8.63
21	8.62	10.66	8.96
22	10.32	10.83	9.45
23	10.59	11.02	9.81
24	11.35		10.61
25	11.47		10.95

ตาราง ก-12 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 15 อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 72 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.21	2.19	2.16
2	2.24	2.14	2.18
3	2.30	2.20	2.23
4	2.37	2.25	2.25
5	2.46	2.33	2.31
6	2.56	2.39	2.39
7	2.70	2.49	2.48
8	2.89	2.55	2.59
9	3.24	2.70	2.73
10	4.24	3.03	2.93
11	5.11	4.03	3.33
12	5.50	4.87	4.63
13	5.86	5.25	5.22
14	6.07	5.58	5.58
15	6.90	5.81	5.86
16	7.71	6.68	7.17
17	8.24	7.43	8.28
18	8.70	8.09	8.96
19	9.07	8.82	9.49
20	9.42	9.54	10.08

ตาราง ก-13 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 48 hr

ปริมาตร NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.06	2.11	2.14
2	2.10	2.17	2.17
3	2.14	2.20	2.22
4	2.22	2.27	2.31
5	2.29	2.34	2.44
6	2.40	2.46	2.58
7	2.57	2.62	2.81
8	2.90	2.93	3.32
9	3.78	3.86	4.22
10	4.31	4.43	4.70
11	4.61	4.75	4.93
12	4.91	5.04	5.13
13	5.11	5.25	5.29
14	5.26	5.55	5.51
15	5.59	5.85	5.84
16	5.74	6.17	6.70
17	6.93	7.15	8.36
18	7.39	7.87	9.44
19	8.31	8.32	10.07
20	8.77	8.74	
21	9.20	9.17	

ตาราง ก-14 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยมีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50% อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 30±2°C 72 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	1.61	1.64	1.68
2	1.62	1.79	1.82
3	1.66	1.89	1.89
4	1.70	2.02	2.07
5	1.76	2.17	2.15
6	1.83	2.33	2.38
7	1.91	2.54	2.56
8	2.02	2.93	2.91
9	2.19	4.25	4.28
10	2.53	4.87	4.91
11	3.31	5.22	5.26
12	4.44	5.56	5.62
13	4.81	5.91	5.94
14	5.12	8.38	8.41
15	5.52	10.22	10.29
16	8.79	11.02	11.11
17	10.39	11.47	11.38
18	11.16	11.80	11.82
19	11.62	12.01	12.06

ตาราง ก-15 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของโคโคซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใส่สารละลายที่ใช้
งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 1 รอบ มีสภาวะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 30%
อัตราส่วนโคโคซาน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C 2 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.20	2.15	2.06
2	2.30	2.19	2.10
3	2.41	2.29	2.19
4	2.56	2.40	2.30
5	2.77	2.54	2.47
6	3.16	2.75	2.71
7	3.44	2.97	3.16
8	4.24	3.82	3.95
9	4.54	4.20	4.44
10	4.83	4.42	4.71
11	4.97	4.69	4.93
12	5.20	4.86	5.15
13	5.42	5.02	5.32
14	5.80	5.30	5.47
15	6.10	5.47	5.63
16	6.39	5.65	5.84
17	6.72	5.86	5.95
18	6.90	7.31	8.12
19	10.17	8.64	9.85
20	10.73	9.96	10.78
21	11.70	10.82	11.38
22	12.13	11.22	11.79

ตาราง ก-16 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของโคโคซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใส่สารละลายที่ใช้
งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 2 รอบ มีสภาวะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 30%
อัตราส่วนโคโคซาน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C 2 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.06	2.02	2.00
2	2.16	2.06	2.03
3	2.27	2.16	2.12
4	2.42	2.26	2.23
5	2.67	2.41	2.40
6	3.06	2.64	2.63
7	3.24	2.84	3.08
8	4.14	3.69	3.87
9	4.44	4.08	4.36
10	4.70	4.29	4.65
11	4.84	4.56	4.87
12	5.07	4.73	5.09
13	5.29	4.88	5.26
14	5.67	5.17	5.41
15	5.97	5.34	5.58
16	6.28	5.49	5.79
17	6.61	5.73	5.90
18	6.79	8.18	8.07
19	10.06	9.80	9.80
20	10.88	10.12	10.73
21	11.05	10.69	11.33
22	11.68	11.09	11.73

ตาราง ก-17 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใส่สารละลายที่ใช้
งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล 3 รอบ มีสภาวะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 30%
อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 110°C 2 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	1.94	2.12	1.90
2	2.04	2.16	1.93
3	2.15	2.26	1.98
4	2.30	2.38	2.09
5	2.54	2.53	2.25
6	2.93	2.76	2.48
7	3.11	2.96	2.93
8	4.01	3.81	3.72
9	4.31	4.20	4.21
10	4.57	4.38	4.50
11	4.73	4.65	4.72
12	4.96	4.82	4.94
13	5.18	4.97	5.12
14	5.56	5.26	5.29
15	5.86	5.44	5.46
16	6.17	5.59	5.67
17	8.50	5.81	7.78
18	8.98	8.26	8.95
19	9.94	9.88	9.68
20	10.76	10.20	10.61
21	10.93	10.77	11.21
22	11.56	11.17	11.61

ตาราง ก-18 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใส่สารละลายที่ใช้
งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล 1 รอบ มีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 40%
อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 30±2°C 48 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.16	2.15	2.14
2	2.26	2.19	2.17
3	2.39	2.29	2.26
4	2.52	2.39	2.37
5	2.77	2.54	2.54
6	3.16	2.77	2.77
7	3.34	2.95	3.19
8	4.24	3.80	3.98
9	4.52	4.19	4.47
10	4.78	4.40	4.76
11	4.92	4.67	4.98
12	5.15	4.84	5.20
13	5.37	4.97	5.36
14	5.75	5.26	5.51
15	6.05	5.43	5.68
16	8.36	5.58	8.89
17	9.51	7.86	9.00
18	10.69	8.28	9.19
19	10.96	9.90	9.92
20	10.98	10.22	10.85
21	11.15	10.79	11.45
22	11.78	11.19	11.85

ตาราง ก-19 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใส่สารละลายที่ใช้
งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล 1 รอบ มีสถานะการกำจัดหมู่อะซิทิล ดังนี้ NaOH 50%
อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.04	2.06	2.15
2	2.14	2.10	2.19
3	2.25	2.20	2.28
4	2.44	2.33	2.39
5	2.65	2.47	2.56
6	3.04	2.68	2.77
7	3.32	2.90	3.22
8	4.12	3.75	4.21
9	4.42	4.13	4.50
10	4.71	4.34	4.77
11	4.85	4.61	4.99
12	5.08	4.78	5.21
13	5.27	4.94	5.40
14	5.65	5.22	5.55
15	5.95	5.58	5.71
16	6.25	5.76	5.92
17	6.58	5.97	8.03
18	9.76	7.43	8.63
19	10.03	8.76	9.96
20	10.60	10.08	10.89
21	11.57	10.94	11.47
22	12.00	11.34	11.88

ตาราง ก-20 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใส่สารละลายที่ใช้
งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 2 รอบ มีสภาวะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 50%
อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.15	2.17	2.25
2	2.25	2.21	2.29
3	2.36	2.31	2.38
4	2.56	2.44	2.49
5	2.77	2.59	2.66
6	3.16	2.80	2.89
7	3.44	3.02	3.34
8	4.24	3.87	4.33
9	4.54	4.25	4.62
10	4.83	4.46	4.89
11	4.94	4.73	5.11
12	5.17	4.88	5.33
13	5.36	5.04	5.52
14	5.74	5.32	5.66
15	6.04	5.68	5.82
16	6.33	5.86	6.03
17	6.66	6.07	8.14
18	9.84	7.52	8.74
19	10.13	8.85	10.07
20	10.70	10.17	11.00
21	11.67	11.05	11.58
22	12.10	11.45	11.99

ตาราง ก-21 ผลการวิเคราะห์หา %DD ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งโดยการใส่สารละลายที่ใช้
งานแล้วในขั้นตอนการกำจัดหุ้มอะซิติก 3 รอบ มีสถานะการกำจัดหุ้มอะซิติก ดังนี้ NaOH 50%
อัตราส่วนไคติน: NaOH เท่ากับ 1: 10 อุณหภูมิ 75°C 1 hr

ปริมาณ NaOH (ml)	ครั้งที่ (pH)		
	1	2	3
1	2.09	2.09	2.19
2	2.19	2.13	2.23
3	2.30	2.23	2.32
4	2.48	2.36	2.41
5	2.69	2.51	2.58
6	3.68	2.72	2.81
7	3.76	2.94	3.26
8	4.16	3.09	4.25
9	4.44	3.23	4.53
10	4.73	4.39	4.80
11	4.84	4.66	5.02
12	5.07	4.81	5.24
13	5.26	4.97	5.43
14	5.64	5.25	5.57
15	6.95	5.61	5.73
16	8.04	5.80	7.94
17	8.87	8.01	8.77
18	9.75	8.76	9.49
19	10.02	9.79	10.00
20	10.59	10.11	10.93
21	11.56	10.99	11.51
22	11.99	11.39	11.93

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการเคลือบผิวโพลีเอทานต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล
หลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยหอมทองและมะนาว

ตาราง ข-1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 18 วัน

Concentrations of Chitosan Coating (%)	Weight loss (g)						
	Storage Time (days)						
	0	3	6	9	12	15	18
0.0	140.73	126.87	115.22	112.07	-	-	-
0.2	145.80	137.62	130.05	123.65	117.32	111.32	107.62
0.4	138.25	131.32	124.63	119.41	113.65	108.32	103.62
0.6	139.51	132.94	126.34	120.74	115.55	110.27	106.21
0.8	171.08	163.15	155.17	148.52	142.02	136.07	131.11
1.0	138.65	132.54	126.34	120.67	115.31	110.64	107.24
1.5	153.62	147.08	141.51	137.14	132.74	128.10	125.07

ตาราง ข-2 การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ความสว่าง) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

Concentrations of Chitosan Coating (%)	Repeated	L*-Value					
		Storage Time (days)					
		0	3	6	9	12	15
0	1	48.43	58.73	68.93	70.56	-	-
	2	48.45	58.71	68.91	72.98	-	-
	3	48.47	58.77	68.97	72.00	-	-
0.2	1	48.43	53.69	56.99	62.10	65.12	70.62
	2	48.45	53.64	57.00	62.11	65.43	69.98
	3	48.47	53.48	57.01	62.14	65.29	70.94
0.4	1	48.43	52.65	55.24	58.24	63.79	69.45
	2	48.45	52.14	55.19	58.31	63.45	69.83
	3	48.47	53.26	55.21	58.28	63.06	69.57
0.6	1	48.43	51.60	54.47	57.02	62.15	69.23
	2	48.45	52.10	54.40	57.25	62.13	69.15
	3	48.47	51.45	54.51	57.78	61.78	69.46
0.8	1	48.43	50.65	53.05	56.02	61.23	68.95
	2	48.45	50.48	53.04	56.02	62.14	69.10
	3	48.47	49.87	53.48	56.47	61.85	68.58
1.0	1	48.43	50.36	52.34	54.47	60.12	67.91
	2	48.45	50.46	52.32	54.45	60.30	67.84
	3	48.47	52.03	52.32	54.47	59.12	66.98
1.5	1	48.43	48.23	50.26	53.21	55.12	63.45
	2	48.45	48.36	50.12	53.02	55.10	63.81
	3	48.47	47.97	51.30	53.79	55.14	64.10

ตาราง ข-3 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* (สีแดงหรือสีเขียว) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

Concentrations of Chitosan Coating (%)	Repeated	a^* -Value					
		Storage Time (days)					
		0	3	6	9	12	15
0	1	-11.15	-1.70	6.97	11.53	-	-
	2	-11.08	-1.63	7.04	11.60	-	-
	3	-11.25	-1.80	6.87	11.43	-	-
0.2	1	-11.15	-5.85	-2.05	-0.24	2.35	8.36
	2	-11.08	-5.61	-2.01	-0.31	2.38	8.61
	3	-11.25	-5.75	-2.04	-0.33	2.32	7.98
0.4	1	-11.15	-6.63	-3.12	-1.62	-0.82	8.02
	2	-11.08	-6.27	-3.08	-1.58	-0.77	8.36
	3	-11.25	-6.45	-3.22	-1.72	-0.94	8.22
0.6	1	-11.15	-6.31	-4.01	-2.31	-0.81	7.52
	2	-11.08	-6.12	-4.86	-2.15	-0.69	7.69
	3	-11.25	-6.15	-4.83	-2.17	-0.65	7.11
0.8	1	-11.15	-6.09	-5.19	-3.69	-1.19	6.89
	2	-11.08	-7.06	-5.16	-3.56	-1.24	6.71
	3	-11.25	-7.71	-5.06	-3.75	-1.28	7.36
1.0	1	-11.15	-6.62	-5.62	-4.21	-1.71	6.06
	2	-11.08	-6.53	-5.54	-4.04	-1.54	6.36
	3	-11.25	-6.48	-5.48	-4.98	-1.48	6.24
1.5	1	-11.15	-7.71	-4.21	-3.41	-2.41	4.36
	2	-11.08	-7.65	-4.15	-3.33	-2.33	4.21
	3	-11.25	-7.59	-4.08	-3.29	-2.27	4.48

ตาราง ข-4 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* (สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

Concentrations of Chitosan Coating (%)	Repeated	b^* -Value					
		Storage Time (days)					
		0	3	6	9	12	15
0	1	32.45	45.26	52.69	54.56	-	-
	2	32.37	45.12	52.55	54.77	-	-
	3	32.58	45.90	53.33	56.02	-	-
0.2	1	32.45	42.35	44.22	46.42	50.14	54.84
	2	32.37	42.65	44.18	46.38	50.32	54.21
	3	32.58	42.62	44.22	46.46	50.40	54.16
0.4	1	32.45	41.25	42.25	43.45	47.55	52.68
	2	32.37	41.62	42.17	43.37	47.47	52.98
	3	32.58	40.76	42.38	43.58	47.68	53.10
0.6	1	32.45	40.32	41.78	43.28	47.36	51.23
	2	32.37	40.27	41.84	43.34	47.15	51.47
	3	32.58	40.01	41.80	43.30	47.05	51.89
0.8	1	32.45	40.12	41.75	42.85	45.68	51.36
	2	32.37	40.65	41.14	42.25	46.25	51.63
	3	32.58	40.92	40.98	42.10	45.78	51.98
1.0	1	32.45	39.58	41.44	45.24	44.12	49.36
	2	32.37	39.85	41.42	45.20	44.65	49.25
	3	32.58	40.21	41.43	45.23	44.98	49.03
1.5	1	32.45	37.21	37.28	39.78	41.23	45.12
	2	32.37	36.95	37.25	39.75	41.36	45.16
	3	32.58	36.84	37.16	39.66	41.50	45.39

ตาราง ข-5 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

Concentrations of Chitosan Coating (%)	Repeated	Firmness (N)					
		Storage Time (days)					
		0	3	6	9	12	15
0	1	31.28	25.40	11.87	2.45	-	-
	2	30.21	26.58	12.55	2.75	-	-
	3	31.09	24.32	11.18	2.84	-	-
0.2	1	31.28	26.38	16.38	13.24	4.32	2.62
	2	30.21	25.69	17.95	12.65	4.02	2.62
	3	31.09	26.58	17.65	12.95	4.12	2.69
0.4	1	31.28	27.36	18.34	14.22	4.61	2.56
	2	30.21	26.38	18.63	13.63	4.61	3.21
	3	31.09	27.36	19.32	13.04	5.00	2.04
0.6	1	31.28	26.38	19.32	15.99	5.59	3.02
	2	30.21	25.99	19.03	16.57	5.30	3.25
	3	31.09	28.73	21.58	16.28	7.16	2.66
0.8	1	31.28	27.36	22.36	17.36	7.65	3.04
	2	30.21	28.24	24.62	16.28	8.34	3.25
	3	31.09	27.66	22.75	16.38	7.55	2.69
1.0	1	31.28	28.64	20.40	18.34	8.04	2.96
	2	30.21	29.32	22.65	18.34	8.63	2.93
	3	31.09	28.05	22.95	17.95	8.34	3.65
1.5	1	31.28	27.66	22.07	18.83	9.61	3.71
	2	30.21	27.46	23.63	18.63	10.20	3.63
	3	31.09	28.05	22.65	19.32	12.36	4.02

ตาราง ข-6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของกล้วยหอมทอง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

Concentrations of Chitosan Coating (%)	Repeated	Total soluble solids (°Brix)					
		Storage Time (days)					
		0	3	6	9	12	15
0	1	4.0	7.2	15.6	20.2	-	-
	2	4.0	7.2	15.6	20.2	-	-
	3	4.2	7.2	15.4	20.2	-	-
0.2	1	4.0	7.0	13.0	15.2	18.6	21.8
	2	4.0	7.0	13.0	15.2	18.6	21.8
	3	4.2	7.0	13.2	15.0	18.4	21.8
0.4	1	4.0	6.2	11.2	15.2	17.4	21.2
	2	4.0	6.2	11.2	15.2	17.4	21.2
	3	4.2	6.0	11.2	15.2	17.2	21.4
0.6	1	4.0	5.8	10.8	13.2	15.2	20.6
	2	4.0	5.8	10.8	13.2	15.2	20.6
	3	4.2	5.6	10.8	13.0	15.2	20.4
0.8	1	4.0	6.2	9.2	13.8	14.2	20.2
	2	4.0	6.2	9.2	13.8	14.2	20.2
	3	4.2	6.0	9.0	13.6	14.2	20.2
1.0	1	4.0	4.2	9.4	12.4	13.4	19.4
	2	4.0	4.2	9.4	12.2	13.4	19.2
	3	4.2	4.2	9.4	12.2	13.4	19.4
1.5	1	4.0	4.6	8.2	10.8	11.8	17.2
	2	4.0	4.6	8.2	10.8	11.8	17.4
	3	4.2	4.6	8.4	10.6	11.8	17.3

ตาราง ข-7 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Concentration of chitosan (%)						
	Weight loss (g)						
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0	83.18	88.15	85.72	89.50	82.65	86.46	85.65
3	81.02	86.14	84.01	87.65	81.30	85.24	84.01
6	80.54	85.64	83.14	86.98	80.84	84.87	83.64
9	78.21	83.52	82.15	85.52	79.35	84.15	82.46
12	76.85	82.14	81.15	84.65	78.24	83.16	81.44
15	76.22	81.98	80.29	83.85	77.34	82.96	81.05
18	75.39	80.16	79.36	82.91	76.38	82.01	80.68
21	74.14	79.68	78.65	81.87	75.85	81.03	79.65
24	73.56	78.35	77.06	80.23	73.98	80.08	77.69
27	72.01	77.10	75.58	79.12	73.11	79.48	76.24
30	70.32	75.65	73.54	77.14	71.65	77.54	74.56
33	68.54	73.14	71.65	75.68	70.23	75.48	72.84
36	67.32	71.65	70.10	73.65	68.58	74.56	71.39

ตาราง ข-8 การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ความสว่าง) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
		L*-Value						
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0	1	44.25	49.84	44.13	45.21	45.98	46.17	45.39
	2	44.38	49.84	44.15	45.32	45.99	46.16	45.37
	3	44.16	49.82	44.17	45.20	45.99	46.14	45.32
3	1	45.23	50.82	44.98	46.01	46.73	46.84	46.09
	2	45.36	50.78	44.99	46.13	46.74	46.84	46.08
	3	45.15	50.74	45.03	46.02	46.74	46.84	46.04
6	1	46.37	51.84	45.83	46.77	47.25	47.34	46.62
	2	46.50	51.80	45.88	46.91	47.31	47.35	46.59
	3	46.29	51.76	45.92	46.78	47.29	47.31	46.56
9	1	47.92	53.36	47.24	48.05	48.46	48.45	47.77
	2	48.08	53.34	47.31	48.22	48.55	48.47	47.73
	3	47.91	53.27	47.35	48.11	48.51	48.39	47.70
12	1	48.95	54.56	48.17	48.87	49.20	49.01	48.38
	2	49.15	54.34	48.22	49.08	49.31	49.01	48.38
	3	48.99	54.34	48.28	48.94	49.22	48.89	48.32
15	1	51.15	56.28	49.78	50.42	50.63	50.22	49.69
	2	51.45	56.12	49.89	50.62	50.74	50.24	49.73
	3	51.09	56.09	49.95	50.51	50.65	50.12	49.73
18	1	52.09	57.18	50.63	51.17	51.27	50.66	50.01
	2	52.40	57.05	50.71	51.33	51.39	50.70	50.10
	3	52.06	56.96	50.75	51.30	51.32	50.57	50.14
21	1	54.41	59.33	52.04	52.37	52.51	51.57	51.15
	2	54.70	59.24	52.16	52.58	52.62	51.66	51.29
	3	54.40	59.07	52.21	52.53	52.52	51.55	51.25

ตาราง ข-8 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ความสว่าง) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
		L*-Value						
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
24	1	55.65	60.41	53.11	53.16	53.25	52.18	51.89
	2	55.90	60.38	53.19	53.29	53.41	52.33	52.07
	3	55.63	60.26	53.21	53.35	53.31	52.24	52.00
27	1	56.39	61.22	53.75	53.67	53.69	52.52	52.35
	2	56.72	61.25	53.84	53.83	53.87	52.72	52.54
	3	56.41	61.08	53.92	53.85	53.79	52.66	52.44
30	1	57.24	61.92	54.34	54.14	54.09	52.91	52.84
	2	57.61	62.01	54.35	54.42	54.30	53.09	52.95
	3	57.24	61.84	54.48	54.38	54.22	53.01	52.97
32	1	59.16	63.73	56.03	55.65	55.67	54.21	54.25
	2	59.71	63.90	55.99	56.06	55.84	54.48	54.47
	3	59.21	63.70	56.15	55.97	55.76	54.25	54.44
36	1	60.44	65.05	56.98	56.52	56.32	54.81	55.01
	2	60.89	65.14	56.96	56.86	56.53	55.06	55.12
	3	60.42	65.01	57.12	56.83	56.36	54.86	55.12

ตาราง ข-9 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* (สีแดงหรือสีเขียว) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
		a^* -Value						
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0	1	-11.85	-8.35	-12.25	-12.05	-11.29	-10.42	-10.30
	2	-12.01	-8.31	-12.18	-12.21	-11.39	-10.33	-10.23
	3	-11.94	-8.35	-12.35	-12.14	-11.36	-10.25	-10.21
3	1	-10.64	-7.21	-11.18	-11.08	-10.44	-9.66	-9.55
	2	-10.82	-7.20	-11.12	-11.21	-10.52	-9.58	-9.47
	3	-10.74	-7.20	-11.29	-11.16	-10.51	-9.51	-9.43
6	1	-9.79	-6.44	-10.46	-10.54	-10.03	-9.31	-9.11
	2	-9.95	-6.42	-10.36	-10.67	-10.09	-9.24	-9.05
	3	-9.89	-6.42	-10.55	-10.60	-10.09	-9.14	-9.03
9	1	-8.44	-5.22	-9.35	-9.53	-9.09	-8.50	-8.26
	2	-8.61	-5.18	-9.24	-9.66	-9.13	-8.38	-8.16
	3	-8.52	-5.18	-9.46	-9.62	-9.17	-8.28	-8.15
12	1	-7.32	-4.24	-8.54	-8.62	-8.52	-8.08	-7.71
	2	-7.44	-4.21	-8.40	-8.71	-8.59	-7.93	-7.62
	3	-7.42	-4.24	-8.66	-8.66	-8.58	-7.88	-7.56
15	1	-5.85	-2.92	-7.35	-7.51	-7.71	-7.44	-6.89
	2	-5.99	-2.87	-7.20	-7.55	-7.75	-7.26	-6.76
	3	-6.07	-2.95	-7.52	-7.56	-7.78	-7.25	-6.76
18	1	-4.64	-1.75	-6.40	-6.71	-6.88	-6.73	-6.14
	2	-4.73	-1.75	-6.23	-6.69	-6.94	-6.51	-5.97
	3	-4.86	-1.85	-6.61	-6.67	-6.92	-6.57	-6.00
21	1	-2.12	0.59	-4.27	-4.74	-5.32	-5.42	-4.73
	2	-2.23	0.56	-4.12	-4.78	-5.43	-5.15	-4.48
	3	-2.30	0.49	-4.45	-4.70	-5.38	-5.27	-4.54

ตาราง ข-9 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่า a^* (สีแดงหรือสีเขียว) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
		a^* -Value						
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
24	1	-1.17	1.45	-3.64	-4.16	-4.81	-4.82	-4.02
	2	-1.32	1.37	-3.47	-4.13	-4.85	-4.49	-3.84
	3	-1.32	1.36	-3.80	-4.09	-4.82	-4.66	-3.82
27	1	-0.46	2.31	-2.90	-3.55	-4.03	-4.52	-3.55
	2	-0.54	2.15	-2.71	-3.46	-4.15	-4.17	-3.44
	3	-0.50	2.27	-3.10	-3.44	-4.18	-4.31	-3.35
30	1	0.33	3.13	-2.30	-3.00	-3.51	-4.15	-3.12
	2	0.17	3.04	-2.08	-2.84	-3.56	-3.86	-2.97
	3	0.32	3.02	-2.41	-2.86	-3.64	-4.00	-2.93
32	1	1.59	4.54	-0.38	-1.74	-2.40	-3.25	-2.15
	2	1.46	4.57	-0.73	-1.55	-2.37	-2.92	-2.02
	3	1.56	4.48	-1.04	-1.65	-2.66	-3.14	-1.98
36	1	2.85	5.45	0.42	-1.00	-1.87	-2.94	-1.58
	2	2.24	5.47	0.16	-0.81	-1.78	-2.53	-1.52
	3	2.54	5.61	-0.19	-0.89	-2.12	-2.79	-1.42

ตาราง ข-10 การเปลี่ยนแปลงค่า b* (สีเหลืองหรือสีน้ำตาล) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
		b*-Value						
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0	1	32.10	35.82	31.85	31.12	37.75	35.24	32.58
	2	31.95	35.76	31.77	32.07	38.16	35.22	32.61
	3	31.91	35.88	31.98	32.11	37.37	35.20	32.44
3	1	32.98	36.57	32.58	31.70	38.19	35.67	33.03
	2	32.82	36.54	32.51	32.63	38.62	35.64	33.06
	3	32.78	36.66	32.69	32.66	37.83	35.62	32.88
6	1	33.86	37.32	33.31	32.28	38.63	36.10	33.48
	2	33.69	37.32	33.25	33.19	39.08	36.06	33.51
	3	33.65	37.44	33.40	33.21	38.29	36.04	33.32
9	1	35.32	38.52	34.32	33.22	39.49	36.77	34.20
	2	35.14	38.53	34.22	34.15	39.94	36.70	34.25
	3	35.12	38.63	34.41	34.14	39.13	36.71	34.05
12	1	36.45	39.62	35.24	34.03	40.29	37.41	34.94
	2	36.28	39.65	35.19	34.99	40.68	37.37	34.96
	3	36.23	39.77	35.31	35.00	39.99	37.32	34.76
15	1	37.86	41.03	36.44	35.03	41.21	38.15	35.76
	2	37.73	41.07	36.42	36.01	41.66	38.15	35.81
	3	37.63	41.23	36.57	35.97	40.97	38.05	35.58
18	1	39.24	42.23	37.54	35.92	42.16	38.75	36.44
	2	39.07	42.30	37.50	36.88	42.62	38.80	36.56
	3	38.94	42.44	37.69	36.78	41.87	38.66	36.29
21	1	41.39	44.27	39.35	37.70	43.71	39.96	37.78
	2	41.20	44.28	39.35	38.62	44.16	40.06	37.95
	3	41.07	44.53	39.56	38.45	43.43	39.84	37.53

ตาราง ข-10 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่า b* (สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
		b*-Value						
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
24	1	42.64	45.42	40.30	38.61	44.52	40.68	38.59
	2	42.43	45.45	40.24	39.49	45.05	40.82	38.90
	3	42.30	45.61	40.53	39.40	44.29	40.61	38.42
27	1	43.51	46.13	41.00	39.15	45.03	41.13	39.14
	2	43.37	46.23	41.03	40.10	45.58	41.31	39.40
	3	43.15	46.43	41.25	39.90	44.77	41.06	38.94
30	1	44.33	46.80	41.78	39.88	45.63	41.54	39.71
	2	44.24	46.84	41.74	40.83	46.16	41.84	39.91
	3	43.98	47.10	42.10	40.69	45.46	41.55	39.48
32	1	46.44	48.71	43.59	41.58	47.10	42.98	41.22
	2	46.22	48.81	43.66	42.56	47.77	43.36	41.53
	3	45.96	49.07	43.96	42.44	47.13	43.12	41.09
36	1	47.31	49.52	44.31	42.09	47.50	43.30	41.73
	2	47.36	49.61	44.42	43.18	48.22	43.75	41.98
	3	46.88	49.94	44.72	42.93	47.58	43.38	41.63

ตาราง ข-11 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Number of Limes	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
			Firmness (N)						
			0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0	1	1	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
		2	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
	2	1	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
		2	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
3	1	1	5.26	3.97	3.22	3.43	2.69	3.12	2.65
		2	6.32	3.26	3.65	3.13	2.99	3.60	2.39
	2	1	5.69	4.92	3.98	3.61	3.06	2.85	3.06
		2	5.33	4.21	3.67	2.95	3.54	2.65	3.51
6	1	1	8.23	5.42	4.95	4.65	4.28	4.56	4.82
		2	8.27	5.63	4.32	4.36	4.36	4.35	4.61
	2	1	6.99	5.01	5.13	4.95	5.01	4.98	4.95
		2	7.68	6.54	5.32	5.32	5.20	5.01	4.62
9	1	1	6.21	6.12	6.01	5.95	5.64	5.98	5.68
		2	5.40	6.25	6.32	5.32	5.98	5.63	5.95
	2	1	8.95	6.41	6.44	5.14	6.04	5.02	6.01
		2	8.65	5.87	7.52	5.74	6.32	5.14	6.41
12	1	1	7.25	6.95	7.10	6.58	6.25	6.20	6.35
		2	7.98	7.02	7.31	6.95	6.39	6.31	6.84
	2	1	8.01	7.36	7.45	7.01	6.12	6.14	7.01
		2	8.46	7.64	6.85	6.49	6.88	6.66	5.23
15	1	1	9.12	6.95	7.65	7.12	7.01	7.12	7.14
		2	9.36	6.84	7.95	7.31	7.12	7.45	7.63
	2	1	8.01	7.01	7.32	8.06	8.23	7.32	7.98
		2	8.64	7.23	7.21	6.95	8.11	7.04	8.01

ตาราง ข-11 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Number of Limes	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
			Firmness (N)						
			0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
18	1	1	9.84	7.95	7.36	7.52	7.24	6.82	7.32
		2	10.12	7.62	7.88	7.63	7.36	6.35	7.01
	2	1	9.37	7.44	7.01	7.41	7.04	6.98	7.65
		2	9.64	8.12	8.63	7.01	7.13	7.03	6.95
21	1	1	10.64	8.25	8.01	7.63	7.36	6.55	6.84
		2	10.32	8.34	7.63	7.74	8.02	6.32	6.95
	2	1	9.65	8.11	7.65	8.61	8.11	6.41	7.02
		2	9.44	7.96	8.11	7.02	7.10	6.78	7.65
24	1	1	12.04	7.95	8.65	7.95	8.05	7.35	7.32
		2	12.36	8.15	8.34	7.68	8.23	6.98	7.65
	2	1	10.65	8.64	8.49	7.63	8.41	7.01	7.44
		2	11.23	9.03	7.98	8.91	8.04	6.85	7.90
27	1	1	12.05	9.21	8.36	8.02	8.23	7.65	7.62
		2	12.92	9.56	8.45	9.31	8.62	7.21	7.51
	2	1	11.45	9.34	8.91	8.04	7.96	7.36	8.32
		2	11.05	8.17	9.30	8.62	7.51	8.01	8.36
30	1	1	12.12	9.36	9.01	9.15	9.12	8.69	9.02
		2	12.01	10.32	9.35	9.04	9.65	8.77	9.14
	2	1	12.02	11.01	10.02	9.01	10.01	8.25	9.36
		2	12.56	10.65	9.36	8.95	10.11	8.74	8.65
32	1	1	12.34	10.64	9.14	10.25	10.36	9.65	10.20
		2	12.85	10.22	9.36	10.34	10.75	9.14	10.36
	2	1	13.01	11.45	10.63	10.23	10.22	9.77	9.14
		2	12.12	10.54	10.97	11.02	10.41	10.23	9.22

ตาราง ข-11 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (Firmness) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Number of Limes	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
			Firmness (N)						
			0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
36	1	1	12.90	11.32	11.62	10.82	10.23	10.63	10.65
		2	12.81	12.65	10.65	10.95	10.64	10.25	10.95
	2	1	13.02	12.04	11.85	11.06	10.98	9.25	10.32
		2	12.56	11.41	11.32	11.35	10.20	9.65	9.65

ตาราง ข-12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Number of Limes	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
			Total soluble solids (°Brix)						
			0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0	1	1	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
		2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
		3	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
	2	1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
		2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
		3	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
3	1	1	7.6	7.4	7.6	7.4	7.4	7.2	7.0
		2	7.6	7.4	7.6	7.4	7.2	7.2	7.0
		3	7.6	7.4	7.6	7.4	7.2	7.0	7.0
	2	1	7.4	7.4	7.6	7.4	7.2	7.0	7.4
		2	7.2	7.2	7.4	7.2	7.2	7.0	7.4
		3	7.4	7.2	7.4	7.4	7.2	7.0	7.4
6	1	1	7.6	7.2	7.6	7.4	7.4	7.4	7.4
		2	7.6	7.2	7.6	7.4	7.2	7.4	7.4
		3	7.6	7.2	7.6	7.4	7.2	7.4	7.4
	2	1	7.4	7.4	7.8	7.4	7.2	7.2	7.8
		2	7.4	7.4	7.8	7.4	7.2	7.4	7.8
		3	7.6	7.4	8.0	7.4	7.4	7.4	7.8
9	1	1	7.6	7.4	7.4	7.8	7.6	7.4	7.2
		2	7.4	7.6	7.6	7.6	7.6	7.4	7.2
		3	7.6	7.6	7.8	7.6	7.8	7.4	7.2
	2	1	7.8	7.2	7.8	7.6	7.6	7.2	7.2
		2	7.8	7.2	7.8	7.8	7.6	7.2	7.6
		3	7.6	7.2	7.8	7.8	7.6	7.2	7.6

ตาราง ข-12 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Number of Limes	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
			Total soluble solids (°Brix)						
			0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
12	1	1	7.8	7.4	7.4	7.6	7.8	7.4	7.6
		2	7.8	7.4	7.4	7.6	7.8	7.4	7.6
		3	7.8	7.4	7.4	7.6	7.8	7.4	7.4
	2	1	7.8	7.8	7.2	7.6	7.8	7.6	7.4
		2	7.8	7.8	7.2	7.6	7.8	7.6	7.4
		3	7.6	7.6	7.2	7.4	7.8	7.6	7.4
15	1	1	7.6	7.6	7.4	7.8	7.8	7.4	7.6
		2	7.8	7.6	7.4	7.8	7.8	7.4	7.8
		3	7.8	7.6	7.4	7.6	7.8	7.4	7.8
	2	1	7.8	7.6	7.2	7.8	7.4	7.4	8.0
		2	7.8	7.4	7.2	7.8	7.4	7.4	8.0
		3	7.8	7.4	7.2	7.8	7.6	7.6	8.0
18	1	1	7.8	7.8	7.6	7.8	8.0	7.6	7.6
		2	7.8	7.8	7.8	8.0	8.0	7.6	7.4
		3	7.8	7.6	7.8	8.0	8.0	7.4	7.4
	2	1	8.0	7.8	7.8	8.0	7.6	7.4	7.2
		2	7.8	7.8	7.8	8.0	7.6	7.4	7.2
		3	8.0	7.8	7.8	8.0	7.8	7.4	7.0
21	1	1	8.0	7.8	7.8	8.0	7.8	7.4	7.8
		2	8.0	7.8	7.8	8.2	8.0	7.4	7.8
		3	8.0	7.8	7.6	8.2	8.0	7.2	7.8
	2	1	8.2	8.2	7.6	8.2	7.8	7.2	7.6
		2	8.2	8.2	7.8	8.2	7.8	7.2	7.4
		3	8.2	8.0	7.8	8.4	7.8	7.2	7.4

ตาราง ข-12 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Number of Limes	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
			Total soluble solids (°Brix)						
			0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
24	1	1	8.0	8.0	7.8	7.8	8.0	7.6	7.6
		2	8.0	8.0	7.8	7.8	8.0	7.6	7.4
		3	8.2	8.0	7.8	7.8	8.0	7.6	7.4
	2	1	8.2	8.2	7.8	8.4	7.6	7.2	7.6
		2	8.2	8.0	7.6	8.4	7.6	7.2	7.6
		3	8.2	8.2	7.6	8.2	7.6	7.4	7.6
27	1	1	8.0	8.0	7.8	8.2	7.8	7.6	8.0
		2	8.2	8.0	7.8	8.2	7.8	7.6	8.0
		3	8.2	8.0	7.8	8.4	7.8	7.6	8.2
	2	1	8.4	8.2	7.4	8.6	8.0	7.8	7.6
		2	8.4	8.2	7.4	8.6	8.0	7.8	7.6
		3	8.4	8.2	7.4	8.4	8.0	7.6	7.6
30	1	1	8.4	8.2	8.2	8.0	8.0	7.6	8.0
		2	8.4	8.4	8.0	8.0	8.2	7.6	8.2
		3	8.4	8.4	8.0	8.0	8.2	7.4	8.2
	2	1	8.6	8.6	8.0	8.0	8.2	7.4	7.6
		2	8.6	8.6	8.0	8.2	8.2	7.4	7.6
		3	8.6	8.4	8.0	8.2	8.2	7.4	7.8
33	1	1	8.6	8.4	8.2	8.2	8.2	7.8	8.2
		2	8.6	8.7	8.2	8.2	8.4	7.6	8.4
		3	8.6	8.6	8.2	8.2	8.4	7.6	8.4
	2	1	8.8	8.6	8.2	8.4	8.4	7.8	8.4
		2	8.8	8.6	8.0	8.4	8.4	7.8	8.2
		3	8.8	8.6	8.2	8.2	8.2	7.8	8.2

ตาราง ข-12 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Number of Limes	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
			Total soluble solids (°Brix)						
			0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
36	1	1	9.0	8.6	8.4	8.4	8.2	8.0	8.2
		2	9.0	8.6	8.4	8.4	8.4	8.2	8.2
		3	8.8	8.6	8.6	8.6	8.4	8.2	8.2
	2	1	8.8	8.4	8.6	8.6	8.2	8.0	8.4
		2	8.8	8.6	8.6	8.6	8.2	8.0	8.4
		3	8.8	8.6	8.6	8.4	8.2	7.8	8.4

ตาราง ข-13 ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อหาปริมาณ Titratable Acidity (TA) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
		Volume of NaOH (ml)						
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0	1	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
	2	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0
	3	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
3	1	66.0	65.0	65.0	67.0	66.0	66.0	66.0
	2	66.0	66.0	67.0	66.0	67.0	66.0	67.0
	3	65.0	67.0	67.0	66.0	65.0	68.0	67.0
6	1	65.0	65.0	65.0	65.0	66.0	66.0	66.0
	2	65.0	65.0	64.0	66.0	66.0	68.0	67.0
	3	66.0	64.0	65.0	66.0	67.0	66.0	66.0
9	1	62.0	64.0	65.0	66.0	64.0	67.0	65.0
	2	63.0	63.0	63.0	66.0	64.0	66.0	66.0
	3	62.0	63.0	63.0	65.0	65.0	66.0	66.0
12	1	65.0	63.0	62.0	64.0	64.0	66.0	65.0
	2	64.0	64.0	62.0	65.0	64.0	65.0	65.0
	3	64.0	64.0	63.0	65.0	65.0	66.0	66.0
15	1	63.0	62.0	63.0	63.0	64.0	65.0	64.0
	2	63.0	63.0	62.0	63.0	64.0	65.0	65.0
	3	61.0	63.0	63.0	64.0	64.0	65.0	64.0
18	1	63.0	63.0	62.0	65.0	64.0	65.0	64.0
	2	62.0	63.0	62.0	62.0	64.0	65.0	64.0
	3	62.0	64.0	60.0	63.0	63.0	63.0	63.0
21	1	61.0	62.0	62.0	63.0	64.0	64.0	63.0
	2	60.0	62.0	63.0	63.0	63.0	64.0	64.0
	3	61.0	63.0	63.0	62.0	63.0	64.0	64.0

ตาราง ข-13 (ต่อ) ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อหาปริมาณ Titratable Acidity (TA) ของมะนาว ระยะเวลาเก็บรักษา 36 วัน

Storage Time (days)	Repeated	Concentration of chitosan (%)						
		Volume of NaOH (ml)						
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
24	1	61.0	63.0	62.0	62.0	62.0	64.0	63.0
	2	60.0	63.0	62.0	62.0	63.0	62.0	63.0
	3	60.0	65.0	61.0	63.0	63.0	63.0	64.0
27	1	58.0	64.0	63.0	62.0	60.0	63.0	62.0
	2	60.0	62.0	63.0	63.0	60.0	63.0	62.0
	3	60.0	62.0	60.0	62.0	62.0	62.0	63.0
30	1	58.0	60.0	60.0	61.0	62.0	62.0	62.0
	2	56.0	61.0	62.0	62.0	62.0	64.0	62.0
	3	57.0	62.0	62.0	62.0	62.0	63.0	63.0
32	1	56.0	56.0	60.0	61.0	60.0	63.0	62.0
	2	56.0	56.0	60.0	62.0	62.0	62.0	62.0
	3	55.0	56.0	61.0	61.0	61.0	62.0	61.0
36	1	55.0	58.0	59.0	58.0	61.0	62.0	62.0
	2	56.0	57.0	59.0	59.0	61.0	62.0	61.0
	3	55.0	58.0	59.0	61.0	62.0	62.0	61.0

ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

Paper code: fb011

Effects of Chitosan Coating on Postharvest Quality and Shelf Life of Banana Fruit

Manuskwan Jitprakong¹, Juntima Changsiriporn^{2*}

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand
*e-mail: juntima.c@hotmail.com

Abstract – This study was conducted to determine the effect of chitosan on postharvest quality and shelf life of “Hom Thong” Banana (*Musa AAA Group, Gros Michel*) fruit. The banana samples were dipped for 1 min and 2 times into chitosan solution of 0% (control), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% and 1.5% (w/v). The coated samples were stored at room temperature (30±2°C) until decadent. The properties of weight loss, color, total soluble solids, and firmness for all samples were measured every 3 day. A chitosan coating could reduce weight loss and prolong color from greenish to yellowish of the banana. The increasing in total soluble solids and delay changing firmness during samples storage was found as the chitosan coating. Increasing the concentration of chitosan coating pronounced the beneficial effects on the postharvest quality. Coating “Hom Thong” Banana with 1.5% chitosan solution was found the most effectiveness for treatments that could prolong the shelf life until 18 days from 10 days.

Keyword: Chitosan coating; Postharvest quality; Banana

Paper code: fb011

1. Introduction

“Hom Thong” Banana is an importance fruit for commercial in world trade. Bananas are usually harvested by cutting the plant carefully to prevent damage to the fruits. It is harvested at full maturity for domestic consumption, but for export it must be shipped unripe so the harvesting stage should be before fully mature. An important problem that effects to the fruit exporting is postharvest management according to a short shelf life. Green bananas are shipped at temperature range from 13-14°C. One method of extending postharvest shelf-life is the use of edible coating. Many techniques of fruit coating for storage after harvest have been developed to extend the shelf life and prolong freshness of fruits such as polyethylene wax emulsion, TAL Prolong, beewax, carnuba, candelilla, chitosan, and paraffin. Application of the chitosan-edible coatings is promising to improve the quality and extend shelf life in manufacturing process. A composite film derived from chitosan has good wet strength, gas barrier, and biodegradable. Chitosan is a safe material that has been reported to form an ideal film-coating on fruits surface to delay the ripening of fruits. It has been successfully used as food wraps [1] and thus maintains the quality and reduced weight loss of fruits and vegetable such as litchi, Chinese water chestnut and longan fruit [2][3].

Consequently, objective of this work was to study the effects of chitosan coating on postharvest shelf life and quality consist weight loss, color, total soluble solids and firmness of “Hom Thong” Banana.

2. Materials and method

2.1 Materials

“Hom Thong” Banana (*Musa AAA Group, Gros Michel*) fruit samples were obtained from a commercial market. Fresh fruits were selected for uniform size, shape, and color.

2.2 Experimental method

Prepared different concentrations of chitosan solutions (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 and 1%) by dissolved with 0.5% acetic acid. After washing, the fruit were dipped for 1 min into chitosan (80-85% deacetylated) solution of 0% (control), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% and 1.5% (w/v). Two times dipped coating was performed after the fruit dried to make sure for completely coated. The coated samples were stored at room temperature (30±2°C) until decadent.

2.3 Determining of Weight Loss

Weight loss was measured and calculated progressively on the basis of a comparison for fruit weight as coating with chitosan during the storage

period. The percentage of weight loss was calculated as equation (1).

$$\text{Weight loss} = \frac{\text{Initial weight} - \text{Final weight}}{\text{Initial weight}} \times 100 \quad (1)$$

2.4 Color Measurement

The color value of banana was measured by a Hunter Lab, Color Flex model. The color was expressed as L*-value for lightness, a*-value for redness (+) or greenness (-), and b*-value for yellowness (+) or blueness (-). Additionally, the total color difference (ΔE) was defined as equation (2).

$$\Delta E = \left[(L_0 - L_f)^2 + (a_0 - a_f)^2 + (b_0 - b_f)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Where L_0 and L_f are the initial and final lightness value, respectively. The a_0 and a_f are the initial and final redness value, respectively. The b_0 and b_f are the initial and final yellowness value, respectively. A standard white plate ($L^* = 92.82$, $a^* = -1.24$, $b^* = 0.50$) and a black plate were used to standardize the instruments.

2.5 Measurement of Total Soluble Solids (TSS)

Tissue (20 g) from “Hom Thong” Banana was homogenized in a grinder and then centrifuged for 20 min. The supernatant phase was collected and analyzes to determine the amount of total soluble solids, °Brix, using a hand refractometer (ATAGO, N- α model) [4].

2.6 Firmness Analysis

The firmness value was measured during storage until decadent by using texture analyzer (TA.XT.plus, stable micro systems model). The samples were taken from different parts of fruit with the pressure tester equipped with a 5 mm diameter flat plunger, which penetrate to a depth of 10 mm at a test speed of 50 mm/min [5]. The average value of firmness for each fruit was calculated from these values.

2.7 Statistical Analysis

The data from the repeated experiments were analyzed to determine whether the variances were statistically homogeneous. Statistical comparisons were made by one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's multiple range test. Least significant differences (LSDs) were calculated to compare significant effects at $P \leq 0.05$ level.

3. Results and Discussion

3.1 Effect of Chitosan Coating on Weight Loss

The effect of chitosan coating on the weight loss is shown in Fig.1. The weight loss of bananas coating with the chitosan solution was lower than the controlled

condition (0% chitosan). Among various chitosan concentrations, increasing chitosan concentration has result in weight retention of stored bananas. After 18 days of storage, the weight loss of the control samples and 1.5% chitosan-coated were 28.23% (highest) and 19.18% (lowest), respectively.

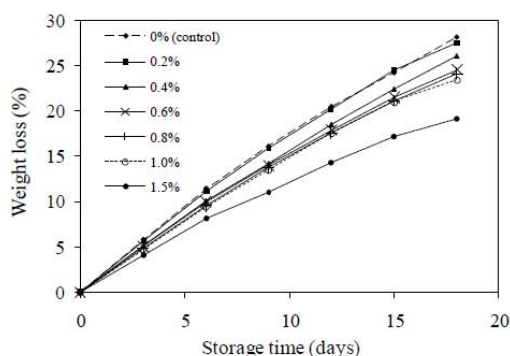


Fig.1 Effect of chitosan coating on weight loss of "Hom Thong" Banana during storage at room temperature (30±2°C)

3.2 Effect of Chitosan Coating on Color

The feature of banana ripening that is most obvious to a casual observer is the color change from green to yellows. Finally, quality analysis of chitosan coating showed that change of lightness value (L^*), redness value (a^*), yellowness value (b^*) and the total color difference (ΔE^*) decreased with increase concentration of chitosan coating. (Table 1) The effect of chitosan coating on the total color difference value of banana is shown in Fig.2. After 15 days of storage the banana treated with 1.5% chitosan was the lowest of the total color difference value.

Table 1 Effect of chitosan coating on the color changed of banana after 15 days of storage at room temperature (30±2°C)

Chitosan coating (%)	Color changed of banana			
	Lightness (L^*)	Redness (a^*)	Yellowness (b^*)	ΔE^*
0.0	16.50 ^a ±0.13	9.38 ^a ±0.02	21.65 ^a ±0.11	28.84 ^a ±0.16
0.2	14.50 ^b ±0.02	6.89 ^c ±0.05	2.98 ^{abc} ±0.38	26.42 ^b ±0.30
0.4	14.42 ^b ±0.10	7.73 ^b ±0.07	21.03 ^{ab} ±0.27	26.65 ^b ±0.28
0.6	13.44 ^c ±0.31	6.68 ^c ±0.09	20.18 ^{bc} ±0.46	25.15 ^c ±0.38
0.8	14.33 ^b ±0.01	5.29 ^d ±0.04	20.05 ^c ±1.16	25.21 ^c ±0.94
1.0	13.54 ^c ±0.01	6.81 ^c ±0.10	17.48 ^d ±0.26	23.13 ^d ±0.22
1.5	11.49 ^d ±0.35	4.20 ^e ±0.48	13.49 ^e ±0.19	18.32 ^e ±0.40

Mean within the same column with different letters are significantly different at the 95% confidence level.

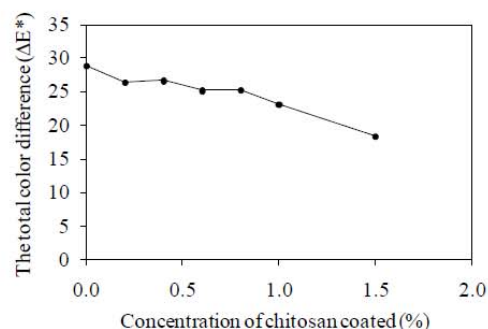


Fig.2 Effect of chitosan coating on the total color difference value of "Hom Thong" Banana during storage at room temperature (30±2°C)

3.3 Concentrations of Total Soluble Solids

The effect of chitosan coating on the total soluble solids content of banana is shown in Fig.3. The total soluble solids content were investigated in the total uncoated and coated banana pulp with chitosan during storage. Sucrose was the major presented sugar; the main increasing occurred in early ripening process and increasing to the maximum content in fully ripened fruits. The total soluble solids content of banana increased during shelf life in all treatments and the bananas that were coated with chitosan had lower contents of total soluble solids than the controlled samples. From the results, it was indicated that chitosan coated banana significantly delayed the increasing rate of the total soluble solids content. The 1.5% chitosan coated could be one which was the most effective treatments.

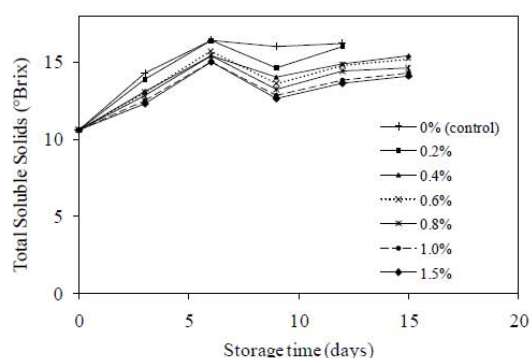


Fig.3 Effect of chitosan coating on total soluble solids of "Hom Thong" Banana during storage at room temperature (30±2°C)

3.4 Effect of Chitosan Coating on Firmness

The effect of chitosan coating on the firmness of banana is shown in Fig.4. The firmness decreased sharply on the initial day of storage in all treatments. Bananas that were coated with chitosan had higher firmness value than controlled condition through the end of storage. The decreased in firmness which

observed in coated fruits were not statistically significant among various chitosan concentrations. After 15 days of storage, the banana treated with 1.0 and 1.5% chitosan had the highest firmness value.

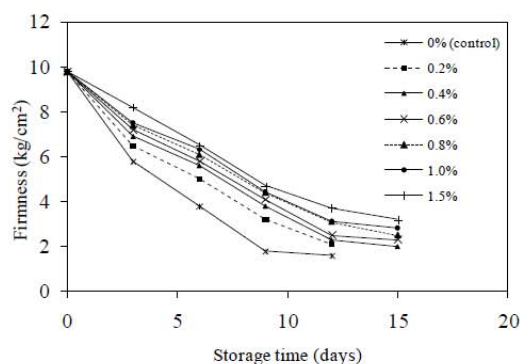


Fig.4 Effect of chitosan coating on firmness of "Hom Thong" Banana during storage at room temperature (30±2°C)

4. Conclusions

The application of chitosan coating could be beneficial in extending postharvest life, maintaining quality, and controlling decay of "Hom Thong" banana. In summary, the 1.5% chitosan coating was more effective than another treatment. Ripening of coated bananas was delayed when compared with controlled samples. Chitosan coating could reduce weight loss, delay changing color and firmness during storage, and increasing the total soluble solids. This studying can be considered for commercial application during storage and marketing.

5. Acknowledgements

The author gratefully acknowledges the financial support from the Graduate School of Prince of Songkla University and the PSU funding, budget year 2011. The authors also thank Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.

References

- [1] D. Huaqiang, C. Liangying, Z. Kunwang, J. Yueming, *Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit*, *J. Food Engineering* 64 (2004) 355-358.
- [2] L.T. Pen, Y.M. Jiang, *Effects of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut Chinese water chestnut*, *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 36 (2003) 359-364
- [3] J. Yueming, L. Yuebiao, *Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit*, *J. Food Chemistry* 73 (2001) 139-143.
- [4] J. Yueming, L. Jianrong, J. Weibo, *Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature*, *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 38 (2005) 757-761
- [5] S. Sutthiwal, *Effect of chitosan coating on delayed ripening of Cavendish banana*, Dept. Postharvest Tech., King Mongkut's University of Technology Thonburi, 1999

OPTIMIZATION OF CHITOSAN PRODUCTION FROM SHRIMP WASTE BY ALKALI CHEMICAL METHOD

Manuskwan Jitprakong, Juntima Changsiriporn*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Songkhla 90112, Thailand

*Email : juntima.c@hotmail.com

ABSTRACT

Chitosan is a biodegradable natural polymer with great potential for agricultural applications due to its biocompatibility, high charge density, non-toxicity and mucoadhesion. The use of chitosan is directly related to the polymer's molecular weight and degree of deacetylation, which depends on the conditions of chitin deacetylation step. The main objective of this research was to study the optimum deacetylation condition of the chitosan production from shrimp waste after chitin extraction by chemical method. Parameters of deacetylation conditions that interesting consisted of deacetylation time, temperature, concentration and ratio of chitin: NaOH. Optimum operating condition for chitosan production with a high degree of deacetylation can be obtained by using 30% NaOH at 110°C for 2 hour, ratio 1:10 (w/v) of chitin: NaOH. The degree of deacetylation was 85.87% and a molecular weight (M_w) of chitosan of about 8.07×10^5 . This process gave 19.45% yield in dry basis of shrimp waste. The potential titration method for the determination of the degree of deacetylation of chitosan.

1. INTRODUCTION

Thailand is leading in sea food industry and exporting. Many wastes from shrimp has been produced from seafood production line. The weight of the head and the shell of the shrimp is 45% while the real meat is only 55%. Value added of the shrimp wastes can be performed by chitosan production. Chitosan, β -(1 \rightarrow 4) *D*-glucosamine, is a partially deacetylated form of chitin, β -(1 \rightarrow 4) *N*-acetyl-*D*-glucosamine. Chitin can be converted into chitosan by enzymatic means or alkali deacetylation this being the most used method. During the course of deacetylation, part of polymer *N*-acetyl links is broken with the formation of *D*-glucosamine units, which contain a free amine group, increasing the polymer's solubility in aqueous [1]. Chemical structure of chitin and chitosan is similar to cellulose by the chain of saccharide as shown in Fig.1[2]. But they are composed of hydroxyl, acetamido, and amino group on the different position C-2.

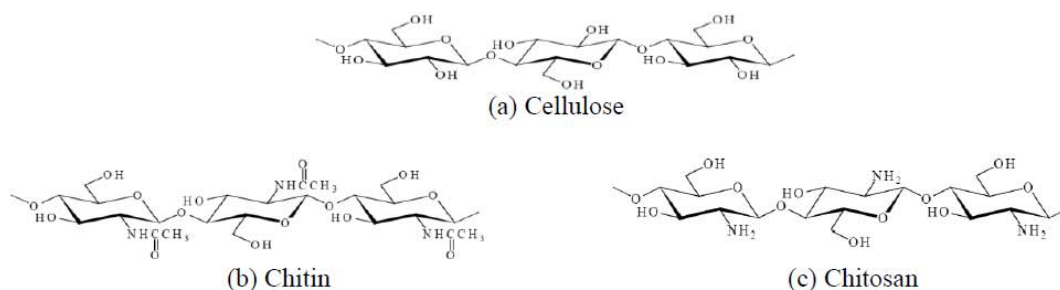


Fig.1 Structure of cellulose (a) chitin (b) and chitosan (c) [2]

Chitosan can be produced from the shell marine invertebrates such as shrimp, crab, squid, insects and snails. It is not soluble in all organic solvents and water at neutral or alkaline. But can be dissolved in weak acid. The criterion accepted among researchers must be presented degree of deacetylation percentage (% DD) at value higher than 70%. Chitosan has many applications in agriculture, pharmaceutical, medicine, environment, and food industry [1]. Although the production of chitosan is not complicated but the appropriate conditions is essential to study for reducing production costs. Parameter that reduces the cost of chitosan production such as operating time and temperature in reaction, ratio of chitin: NaOH or concentration of alkali that used in the production. Degree of deacetylation increased with increasing temperature. Ratio or concentration of alkali that used in the production is one of the factors that affect the cost of production as well. The concentration and ratio of chitin: NaOH should be enough to allow the reaction to chitin thoroughly. However, the concentration and ratio of chitin: NaOH that excess does not affect the optimization of the production of chitosan, but increases the cost of production.

The aim of this research was to study the optimum condition of deacetylation step for chitosan production from shrimp waste by alkali chemical method. Parameters of deacetylation conditions consisted of deacetylation time, temperature, concentration, and ratio of chitin: NaOH. The effectiveness of chitosan production was examined by degree of deacetylation percentage (% DD), yield, and molecular weight of chitosan production.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Shrimp wastes (Pacific white shrimp) were obtained from a commercial market. Shrimp wastes were dried at 70°C for about 10 hour. After that mashed dried shrimp wastes until 20-40 mesh size. Chemicals used in the production of chitosan consist 1 N HCl (w/v) 4%, 30-50% NaOH (w/v) 2% CH₃COOH and distilled water. The Fig.2 shows 2,000 ml batch reactor for chitosan production by chemical method. The reactor consisting of motor, agitator, thermometer, oil bath and heater was installed using materials that are durable for corrosion from alkali chemicals.

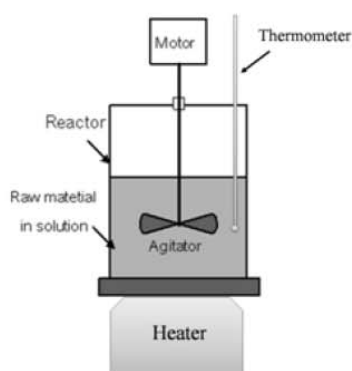


Fig. 2 The batch reactor for chitosan production

2.2 Chitin preparation step

Chitin was prepared from shrimp waste by the chemical method. The grinded shrimp was deproteinized using 4% NaOH for 24 hour, ratio 1:10 (w/v) and demineralized using 1 N HCl for 1 hour, ratio 1:10 (w/v). The both process performed at ambient temperature after that washed with distilled water until neutrality (pH≈7) and stirred throughout the process.

2.3 Chitosan production by deacetylation

Chitosan was prepared by different conditions of deacetylation reaction with 30-50% NaOH at ambient temperature ($30\pm 2^\circ\text{C}$) to 110°C for 48 or 72 hour. The ratio of chitin to NaOH was 1:10 or 1:15 (w/v) and stirred throughout the process. The chitosan was washed with distilled water until neutrality ($\text{pH}\approx 7$). The final product was dried at $70\pm 1^\circ\text{C}$ for 12 hour. The sample was taken and kept in sealed in plastic bag at ambient temperature. The deacetylation conditions for extraction chitosan are shown in Table 1.

Table 1 The conditions of deacetylation for extraction chitosan.

NaOH conc. (%)	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Time of Deacetylation (hr)	Ratio NaOH: Chitin
30	110	2	1:10
30/ 40/ 50	75	1	1:10
30/ 40/ 50	60	4	1:10
30/ 40/ 50	30 ± 2	48, 72	1:10
30/ 40/ 50	30 ± 2	48, 72	1:15

2.4 Testing of chitosan

To preliminary testing of the chitosan, 0.1 g chitosan sample were dissolved in 10 ml of 2% CH_3COOH 10 ml. After that 5 ml of dishwashing liquid was added to the solution. In case of chitosan, the similar egg white solution will appear. The Yield of Chitosan was calculated as equation (1)

$$\%yeild = \frac{W_i}{W_f} \cdot 100 \quad (1)$$

where W_i is initial weight of shrimp wastes (g) and W_f is final weight of chitosan (g).

%DD of chitosan can be determined by potentiometric measurement. The two abrupt change potential titration method was employed [3]. Chitosan samples 0.2 g were dissolved under stirring in 20 ml of 0.1 M HCl. Measurements were made in a 100 ml and titration with a solution of 0.1 M NaOH by using a pH meter. (DELTA 320, METTLER TOLEDO). Plot graph between pH and volume of 0.1 M NaOH. Potential concentrations were given as $\text{pH} - \log [\text{H}^+]$. The DD of chitosan was calculated by equation (2).

$$\text{DD} = \frac{\Delta V \times C_{\text{NaOH}} \times 10^{-3} \times 16}{M \times 0.0994} \quad (2)$$

where ΔV is the volume of NaOH between two inflexion points, C_{NaOH} is the concentration of the NaOH solution, M is the weight of chitosan sample, 16 and 0.0994 is the related molecular weight and theoretical amount of amino groups.

2.5 Molecular weight determination

Molecular weight of chitosan was determined by a literature viscometric method [4]. Chitosan samples were prepared in 0.2 M acetic acid/ 0.1 M sodium acetate. The relative viscosity, η_r , of chitosan samples was measured using a Ubbelohde capillary viscometer at ambient temperature ($30\pm 2^\circ\text{C}$). Specific viscosity was determined eq. (3).

$$\eta_{sp} = \frac{(\eta_{solution} - \eta_{solvent})}{\eta_{solvent}} \quad (3)$$

Intrinsic viscosity, $[\eta]$, is defined as reduced viscosity, η_{red} extrapolated to a chitosan concentration, C, of zero:

$$[\eta] = \left(\frac{\eta_{sp}}{C} \right)_{c \rightarrow 0} = (\eta_{red})_{c \rightarrow 0} \quad (4)$$

where C is in g/ml. Viscosity average molecular weight (M_v) was calculated based on the Mark-Houwink equation

$$[\eta] = KM_v^a \quad (5)$$

with $K = 1.64 \times 10^{-30} \times DD^{14}$, $a = -1.02 \times 10^{-2} \times DD + 1.82$

where DD is the degree of deacylation of chitosan expressed as the percentage [3].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 The effect of parameters on chitosan production

Table 2 Result of chitosan production

No.	Parameters				Preliminary Testing	Response	
	NaOH conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hr)	Ratio		%DD	%Yield
1 [A]	30	110°C	2	1:10	√	85.87	19.45
2	30	75°C	1		X	-	18.26
3	40				√	64.40	18.86
4 [B]	50				√	80.50	18.45
5	30				60°C	4	X
6	40	√	24.15				18.26
7	50	√	64.40				17.18
8	30	30±2°C	48		X	-	18.81
9 [C]	40				√	72.45	19.80
10	50				√	56.35	18.21
11	30				X	-	19.11
12	40	30±2°C	72		√	40.25	18.45
13	50				√	32.20	18.10
14	30				X	-	19.45
15	40	30±2°C	48		√	69.77	17.33
16	50				√	40.25	17.67
17	30				√	56.35	18.86
18 [D]	40	30±2°C	72		√	72.45	18.91
19	50				√	24.15	16.56

■ The product is chitosan because the DD values higher than 70%, [A], [B], [C] and [D] meaning the sample of chitosan.

The result of chitosan production is demonstrated in table 2. For the preliminary testing showed that concentration and temperature had directly impact on the production of chitosan. The chitosan

product had a high DD. If using the low concentration or temperature, it will be affects the solubility of chitosan in weak acid solution. The chitosan product may or not soluble [5]. From all experiment found that there are 4 the condition that can be chitosan is produced with a DD values higher than 70%. Chitosan with a high DD can be obtained by using 30% NaOH at 110°C for 2 hour, ratio 1:10 (w/v) of chitin: NaOH. The optimum condition can get the highest degree of deacetylation at 85.87%. The yield that obtained has similar values for all experiment.

3.2 Characterization of chitosan samples

The DD values of four samples can be measured from two inflexion points curve of potentiometric titrations of chitosan as presented in Fig.3.

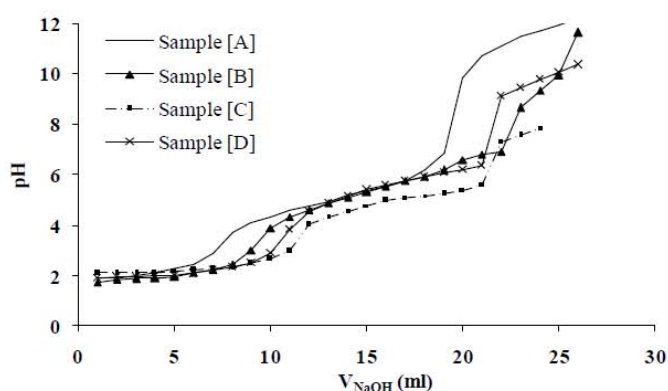


Fig.3 Potentiometric titration of chitosan sample

The average molecular weight is the most difficult parameter to be measured but can be determined by several methods, viscometry is claimed to be the simplest, most rapid, and probably the most precise determination method. Fig.4 presents the reduced viscosity versus concentration plot for the sample. M_v was calculated based on the Mark-Houwink equation by using the intrinsic viscosity from the y-intercept [4]. The $[\eta]$ and the M_v for the samples are demonstrated in Table 3.

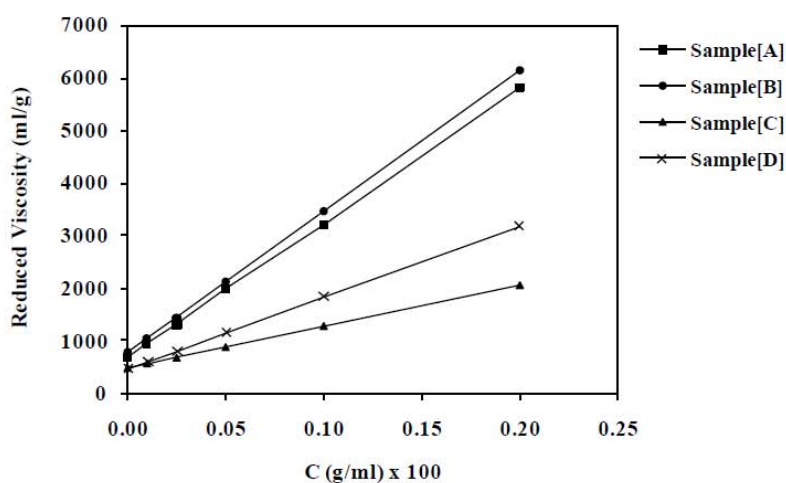


Fig.4 Plot of reduced viscosity versus concentration for the four chitosan sample.

Table 3 Degree of deacetylation (DD), intrinsic viscosity ($[\eta]$) and molecular weight (M_v) for chitosan samples.

Chitosan	%DD	$[\eta]$ (ml/g)	$M_v \times 10^5$
Sample[A]	85.87	734	8.07
Sample[B]	80.50	658	8.49
Sample[C]	72.45	490	8.97
Sample[D]	72.45	473	8.68

Table 3 shows that data values of DD, $[\eta]$ and M_v for the four chitosan samples. Sample[A] and [B] have almost the same DD and M_v . Sample[C] and [D] have the same DD and have almost the same M_v . Sample[A] has the lowest M_v and the highest DD, as a result of the high-temperature of deacetylation reaction [5].

4. CONCLUSION

The results of chitosan production by alkaline chemical method showed that the extent of DD is governed mainly by the NaOH concentration and temperature of reaction, followed by time, and ratio, respectively. Optimum condition of deacetylation reaction was obtained by using 30% NaOH at 110°C for 2 hour, ratio 1:10 (w/v) of chitin: NaOH. The degree of deacetylation was 85.87% and a molecular weight of chitosan of about 8.07×10^5 . This process gave 19.45% yield in dry basis of shrimp waste.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The author gratefully acknowledges the financial support from the Graduate School of Prince of Songkla University and the PSU funding, budget year 2011. The authors also thank Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.

REFERENCES

1. R.F. Weska, J.M. Moura, L.M. Batista, J.Rizzi, L.A.A. Pinto, Optimization of deacetylation in the production of chitosan from shrimp wastes: Use of response surface methodology, *J. Food of Engineering* Vol. 80 (2007) pp.749-753.
2. C.K. S. Pillai, W. Paul, C.P. Sharma, Chitin and chitosan polymers : Chemistry, solubility and fiber formation, *Progress in Polymer Science* Vol. 34 (2009) pp. 641-678.
3. Q.Z. Wang, X.G. Chen, N. Liu, S.X. Wang, C.S. Liu, X.H. Meng, C.G. Liu, Protonation constants of chitosan with different molecular weight and degree of deacetylation, *Carbohydrate Polymers* Vol. 65 (2006) pp. 194-201.
4. H. Zhang, S.H. Neau, In vitro degradation of chitosan by a commercial enzyme preparation: effect of molecular weight and degree of deacetylation, *Biomaterials* Vol. 22 (2001) pp. 1653-1658.
5. W. Unson, O. Wongkhamchan, A study of the effect of chitosan on protecting tomato fruit becoming rotten, thesis, Rajabhat Mahasarakham University (2004).

ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

Paper code: fb011

Effects of Chitosan Coating on Postharvest Quality and Shelf Life of Banana Fruit

Manuskwan Jitprakong¹, Juntima Changsiriporn^{2*}

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand
*e-mail: juntima.c@hotmail.com

Abstract – This study was conducted to determine the effect of chitosan on postharvest quality and shelf life of “Hom Thong” Banana (*Musa AAA Group, Gros Michel*) fruit. The banana samples were dipped for 1 min and 2 times into chitosan solution of 0% (control), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% and 1.5% (w/v). The coated samples were stored at room temperature (30±2°C) until decadent. The properties of weight loss, color, total soluble solids, and firmness for all samples were measured every 3 day. A chitosan coating could reduce weight loss and prolong color from greenish to yellowish of the banana. The increasing in total soluble solids and delay changing firmness during samples storage was found as the chitosan coating. Increasing the concentration of chitosan coating pronounced the beneficial effects on the postharvest quality. Coating “Hom Thong” Banana with 1.5% chitosan solution was found the most effectiveness for treatments that could prolong the shelf life until 18 days from 10 days.

Keyword: Chitosan coating; Postharvest quality; Banana

Paper code: fb011

1. Introduction

“Hom Thong” Banana is an importance fruit for commercial in world trade. Bananas are usually harvested by cutting the plant carefully to prevent damage to the fruits. It is harvested at full maturity for domestic consumption, but for export it must be shipped unripe so the harvesting stage should be before fully mature. An important problem that effects to the fruit exporting is postharvest management according to a short shelf life. Green bananas are shipped at temperature range from 13-14°C. One method of extending postharvest shelf-life is the use of edible coating. Many techniques of fruit coating for storage after harvest have been developed to extend the shelf life and prolong freshness of fruits such as polyethylene wax emulsion, TAL Prolong, beewax, carnuba, candelilla, chitosan, and paraffin. Application of the chitosan-edible coatings is promising to improve the quality and extend shelf life in manufacturing process. A composite film derived from chitosan has good wet strength, gas barrier, and biodegradable. Chitosan is a safe material that has been reported to form an ideal film-coating on fruits surface to delay the ripening of fruits. It has been successfully used as food wraps [1] and thus maintains the quality and reduced weight loss of fruits and vegetable such as litchi, Chinese water chestnut and longan fruit [2][3].

Consequently, objective of this work was to study the effects of chitosan coating on postharvest shelf life and quality consist weight loss, color, total soluble solids and firmness of “Hom Thong” Banana.

2. Materials and method

2.1 Materials

“Hom Thong” Banana (*Musa AAA Group, Gros Michel*) fruit samples were obtained from a commercial market. Fresh fruits were selected for uniform size, shape, and color.

2.2 Experimental method

Prepared different concentrations of chitosan solutions (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 and 1%) by dissolved with 0.5% acetic acid. After washing, the fruit were dipped for 1 min into chitosan (80-85% deacetylated) solution of 0% (control), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% and 1.5% (w/v). Two times dipped coating was performed after the fruit dried to make sure for completely coated. The coated samples were stored at room temperature (30±2°C) until decadent.

2.3 Determining of Weight Loss

Weight loss was measured and calculated progressively on the basis of a comparison for fruit weight as coating with chitosan during the storage

period. The percentage of weight loss was calculated as equation (1).

$$\text{Weight loss} = \frac{\text{Initial weight} - \text{Final weight}}{\text{Initial weight}} \times 100 \quad (1)$$

2.4 Color Measurement

The color value of banana was measured by a Hunter Lab, Color Flex model. The color was expressed as L*-value for lightness, a*-value for redness (+) or greenness (-), and b*-value for yellowness (+) or blueness (-). Additionally, the total color difference (ΔE) was defined as equation (2).

$$\Delta E = \left[(L_0 - L_f)^2 + (a_0 - a_f)^2 + (b_0 - b_f)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Where L_0 and L_f are the initial and final lightness value, respectively. The a_0 and a_f are the initial and final redness value, respectively. The b_0 and b_f are the initial and final yellowness value, respectively. A standard white plate ($L^* = 92.82$, $a^* = -1.24$, $b^* = 0.50$) and a black plate were used to standardize the instruments.

2.5 Measurement of Total Soluble Solids (TSS)

Tissue (20 g) from “Hom Thong” Banana was homogenized in a grinder and then centrifuged for 20 min. The supernatant phase was collected and analyzes to determine the amount of total soluble solids, °Brix, using a hand refractometer (ATAGO, N- α model) [4].

2.6 Firmness Analysis

The firmness value was measured during storage until decadent by using texture analyzer (TA.XT.plus, stable micro systems model). The samples were taken from different parts of fruit with the pressure tester equipped with a 5 mm diameter flat plunger, which penetrate to a depth of 10 mm at a test speed of 50 mm/min [5]. The average value of firmness for each fruit was calculated from these values.

2.7 Statistical Analysis

The data from the repeated experiments were analyzed to determine whether the variances were statistically homogeneous. Statistical comparisons were made by one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's multiple range test. Least significant differences (LSDs) were calculated to compare significant effects at $P \leq 0.05$ level.

3. Results and Discussion

3.1 Effect of Chitosan Coating on Weight Loss

The effect of chitosan coating on the weight loss is shown in Fig.1. The weight loss of bananas coating with the chitosan solution was lower than the controlled

condition (0% chitosan). Among various chitosan concentrations, increasing chitosan concentration has result in weight retention of stored bananas. After 18 days of storage, the weight loss of the control samples and 1.5% chitosan-coated were 28.23% (highest) and 19.18% (lowest), respectively.

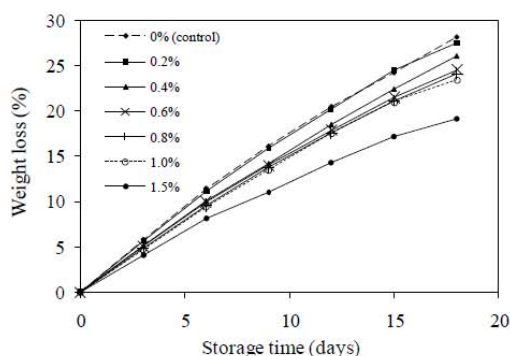


Fig.1 Effect of chitosan coating on weight loss of "Hom Thong" Banana during storage at room temperature (30±2°C)

3.2 Effect of Chitosan Coating on Color

The feature of banana ripening that is most obvious to a casual observer is the color change from green to yellows. Finally, quality analysis of chitosan coating showed that change of lightness value (L^*), redness value (a^*), yellowness value (b^*) and the total color difference (ΔE^*) decreased with increase concentration of chitosan coating. (Table 1) The effect of chitosan coating on the total color difference value of banana is shown in Fig.2. After 15 days of storage the banana treated with 1.5% chitosan was the lowest of the total color difference value.

Table 1 Effect of chitosan coating on the color changed of banana after 15 days of storage at room temperature (30±2°C)

Chitosan coating (%)	Color changed of banana			
	Lightness (L^*)	Redness (a^*)	Yellowness (b^*)	ΔE^*
0.0	16.50 ^a ±0.13	9.38 ^a ±0.02	21.65 ^a ±0.11	28.84 ^a ±0.16
0.2	14.50 ^b ±0.02	6.89 ^c ±0.05	2.98 ^{abc} ±0.38	26.42 ^b ±0.30
0.4	14.42 ^b ±0.10	7.73 ^b ±0.07	21.03 ^{ab} ±0.27	26.65 ^b ±0.28
0.6	13.44 ^c ±0.31	6.68 ^c ±0.09	20.18 ^{bc} ±0.46	25.15 ^c ±0.38
0.8	14.33 ^b ±0.01	5.29 ^d ±0.04	20.05 ^c ±1.16	25.21 ^c ±0.94
1.0	13.54 ^c ±0.01	6.81 ^c ±0.10	17.48 ^d ±0.26	23.13 ^d ±0.22
1.5	11.49 ^d ±0.35	4.20 ^e ±0.48	13.49 ^e ±0.19	18.32 ^e ±0.40

Mean within the same column with different letters are significantly different at the 95% confidence level.

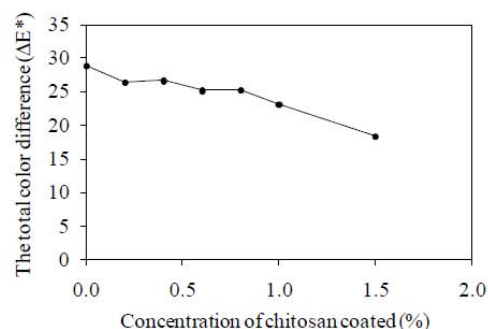


Fig.2 Effect of chitosan coating on the total color difference value of "Hom Thong" Banana during storage at room temperature (30±2°C)

3.3 Concentrations of Total Soluble Solids

The effect of chitosan coating on the total soluble solids content of banana is shown in Fig.3. The total soluble solids content were investigated in the total uncoated and coated banana pulp with chitosan during storage. Sucrose was the major presented sugar; the main increasing occurred in early ripening process and increasing to the maximum content in fully ripened fruits. The total soluble solids content of banana increased during shelf life in all treatments and the bananas that were coated with chitosan had lower contents of total soluble solids than the controlled samples. From the results, it was indicated that chitosan coated banana significantly delayed the increasing rate of the total soluble solids content. The 1.5% chitosan coated could be one which was the most effective treatments.

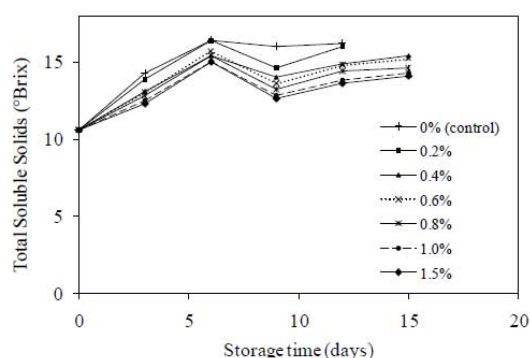


Fig.3 Effect of chitosan coating on total soluble solids of "Hom Thong" Banana during storage at room temperature (30±2°C)

3.4 Effect of Chitosan Coating on Firmness

The effect of chitosan coating on the firmness of banana is shown in Fig.4. The firmness decreased sharply on the initial day of storage in all treatments. Bananas that were coated with chitosan had higher firmness value than controlled condition through the end of storage. The decreased in firmness which

observed in coated fruits were not statistically significant among various chitosan concentrations. After 15 days of storage, the banana treated with 1.0 and 1.5% chitosan had the highest firmness value.

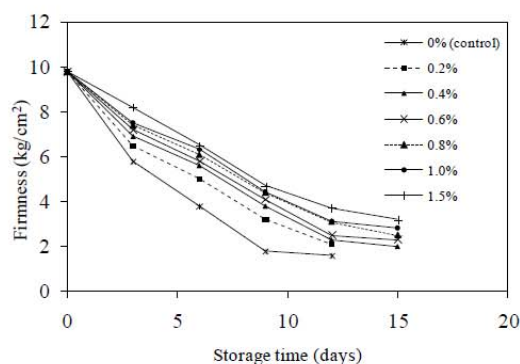


Fig.4 Effect of chitosan coating on firmness of "Hom Thong" Banana during storage at room temperature (30±2°C)

4. Conclusions

The application of chitosan coating could be beneficial in extending postharvest life, maintaining quality, and controlling decay of "Hom Thong" banana. In summary, the 1.5% chitosan coating was more effective than another treatment. Ripening of coated bananas was delayed when compared with controlled samples. Chitosan coating could reduce weight loss, delay changing color and firmness during storage, and increasing the total soluble solids. This studying can be considered for commercial application during storage and marketing.

5. Acknowledgements

The author gratefully acknowledges the financial support from the Graduate School of Prince of Songkla University and the PSU funding, budget year 2011. The authors also thank Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.

References

- [1] D. Huaqiang, C. Liangying, Z. Kunwang, J. Yueming, *Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit*, *J. Food Engineering* 64 (2004) 355-358.
- [2] L.T. Pen, Y.M. Jiang, *Effects of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut Chinese water chestnut*, *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 36 (2003) 359-364
- [3] J. Yueming, L. Yuebiao, *Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit*, *J. Food Chemistry* 73 (2001) 139-143.
- [4] J. Yueming, L. Jianrong, J. Weibo, *Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature*, *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 38 (2005) 757-761
- [5] S. Sutthiwal, *Effect of chitosan coating on delayed ripening of Cavendish banana*, Dept. Postharvest Tech., King Mongkut's University of Technology Thonburi, 1999

OPTIMIZATION OF CHITOSAN PRODUCTION FROM SHRIMP WASTE BY ALKALI CHEMICAL METHOD

Manuskwan Jitprakong, Juntima Changsiriporn*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Songkhla 90112, Thailand

*Email : juntima.c@hotmail.com

ABSTRACT

Chitosan is a biodegradable natural polymer with great potential for agricultural applications due to its biocompatibility, high charge density, non-toxicity and mucoadhesion. The use of chitosan is directly related to the polymer's molecular weight and degree of deacetylation, which depends on the conditions of chitin deacetylation step. The main objective of this research was to study the optimum deacetylation condition of the chitosan production from shrimp waste after chitin extraction by chemical method. Parameters of deacetylation conditions that interesting consisted of deacetylation time, temperature, concentration and ratio of chitin: NaOH. Optimum operating condition for chitosan production with a high degree of deacetylation can be obtained by using 30% NaOH at 110°C for 2 hour, ratio 1:10 (w/v) of chitin: NaOH. The degree of deacetylation was 85.87% and a molecular weight (M_w) of chitosan of about 8.07×10^5 . This process gave 19.45% yield in dry basis of shrimp waste. The potential titration method for the determination of the degree of deacetylation of chitosan.

1. INTRODUCTION

Thailand is leading in sea food industry and exporting. Many wastes from shrimp has been produced from seafood production line. The weight of the head and the shell of the shrimp is 45% while the real meat is only 55%. Value added of the shrimp wastes can be performed by chitosan production. Chitosan, β -(1 \rightarrow 4) *D*-glucosamine, is a partially deacetylated form of chitin, β -(1 \rightarrow 4) *N*-acetyl-*D*-glucosamine. Chitin can be converted into chitosan by enzymatic means or alkali deacetylation this being the most used method. During the course of deacetylation, part of polymer *N*-acetyl links is broken with the formation of *D*-glucosamine units, which contain a free amine group, increasing the polymer's solubility in aqueous [1]. Chemical structure of chitin and chitosan is similar to cellulose by the chain of saccharide as shown in Fig.1[2]. But they are composed of hydroxyl, acetamido, and amino group on the different position C-2.

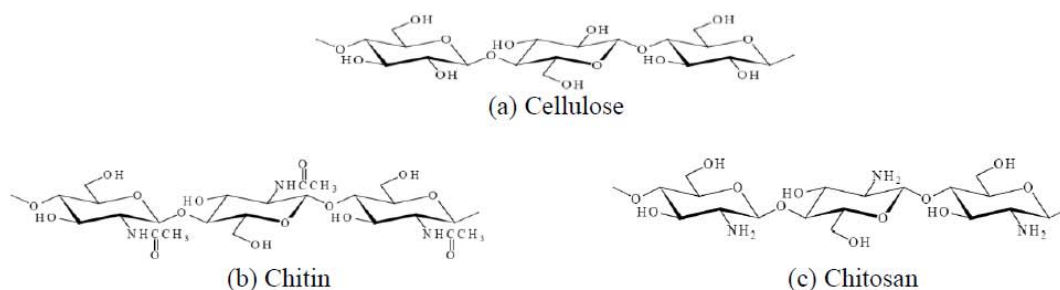


Fig.1 Structure of cellulose (a) chitin (b) and chitosan (c) [2]

Chitosan can be produced from the shell marine invertebrates such as shrimp, crab, squid, insects and snails. It is not soluble in all organic solvents and water at neutral or alkaline. But can be dissolved in weak acid. The criterion accepted among researchers must be presented degree of deacetylation percentage (% DD) at value higher than 70%. Chitosan has many applications in agriculture, pharmaceutical, medicine, environment, and food industry [1]. Although the production of chitosan is not complicated but the appropriate conditions is essential to study for reducing production costs. Parameter that reduces the cost of chitosan production such as operating time and temperature in reaction, ratio of chitin: NaOH or concentration of alkali that used in the production. Degree of deacetylation increased with increasing temperature. Ratio or concentration of alkali that used in the production is one of the factors that affect the cost of production as well. The concentration and ratio of chitin: NaOH should be enough to allow the reaction to chitin thoroughly. However, the concentration and ratio of chitin: NaOH that excess does not affect the optimization of the production of chitosan, but increases the cost of production.

The aim of this research was to study the optimum condition of deacetylation step for chitosan production from shrimp waste by alkali chemical method. Parameters of deacetylation conditions consisted of deacetylation time, temperature, concentration, and ratio of chitin: NaOH. The effectiveness of chitosan production was examined by degree of deacetylation percentage (% DD), yield, and molecular weight of chitosan production.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Shrimp wastes (Pacific white shrimp) were obtained from a commercial market. Shrimp wastes were dried at 70°C for about 10 hour. After that mashed dried shrimp wastes until 20-40 mesh size. Chemicals used in the production of chitosan consist 1 N HCl (w/v) 4%, 30-50% NaOH (w/v) 2% CH₃COOH and distilled water. The Fig.2 shows 2,000 ml batch reactor for chitosan production by chemical method. The reactor consisting of motor, agitator, thermometer, oil bath and heater was installed using materials that are durable for corrosion from alkali chemicals.

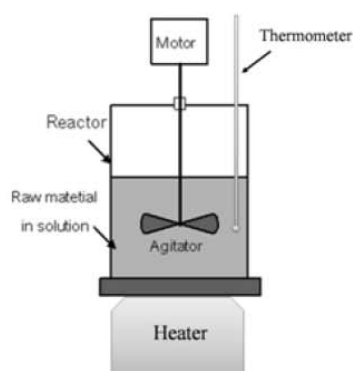


Fig. 2 The batch reactor for chitosan production

2.2 Chitin preparation step

Chitin was prepared from shrimp waste by the chemical method. The grinded shrimp was deproteinized using 4% NaOH for 24 hour, ratio 1:10 (w/v) and demineralized using 1 N HCl for 1 hour, ratio 1:10 (w/v). The both process performed at ambient temperature after that washed with distilled water until neutrality (pH≈7) and stirred throughout the process.

2.3 Chitosan production by deacetylation

Chitosan was prepared by different conditions of deacetylation reaction with 30-50% NaOH at ambient temperature ($30\pm 2^\circ\text{C}$) to 110°C for 48 or 72 hour. The ratio of chitin to NaOH was 1:10 or 1:15 (w/v) and stirred throughout the process. The chitosan was washed with distilled water until neutrality ($\text{pH}\approx 7$). The final product was dried at $70\pm 1^\circ\text{C}$ for 12 hour. The sample was taken and kept in sealed in plastic bag at ambient temperature. The deacetylation conditions for extraction chitosan are shown in Table 1.

Table 1 The conditions of deacetylation for extraction chitosan.

NaOH conc. (%)	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Time of Deacetylation (hr)	Ratio NaOH: Chitin
30	110	2	1:10
30/ 40/ 50	75	1	1:10
30/ 40/ 50	60	4	1:10
30/ 40/ 50	30 ± 2	48, 72	1:10
30/ 40/ 50	30 ± 2	48, 72	1:15

2.4 Testing of chitosan

To preliminary testing of the chitosan, 0.1 g chitosan sample were dissolved in 10 ml of 2% CH_3COOH 10 ml. After that 5 ml of dishwashing liquid was added to the solution. In case of chitosan, the similar egg white solution will appear. The Yield of Chitosan was calculated as equation (1)

$$\%yeild = \frac{W_i}{W_f} \cdot 100 \quad (1)$$

where W_i is initial weight of shrimp wastes (g) and W_f is final weight of chitosan (g).

%DD of chitosan can be determined by potentiometric measurement. The two abrupt change potential titration method was employed [3]. Chitosan samples 0.2 g were dissolved under stirring in 20 ml of 0.1 M HCl. Measurements were made in a 100 ml and titration with a solution of 0.1 M NaOH by using a pH meter. (DELTA 320, METTLER TOLEDO). Plot graph between pH and volume of 0.1 M NaOH. Potential concentrations were given as $\text{pH} - \log [\text{H}^+]$. The DD of chitosan was calculated by equation (2).

$$\text{DD} = \frac{\Delta V \times C_{\text{NaOH}} \times 10^{-3} \times 16}{M \times 0.0994} \quad (2)$$

where ΔV is the volume of NaOH between two inflexion points, C_{NaOH} is the concentration of the NaOH solution, M is the weight of chitosan sample, 16 and 0.0994 is the related molecular weight and theoretical amount of amino groups.

2.5 Molecular weight determination

Molecular weight of chitosan was determined by a literature viscometric method [4]. Chitosan samples were prepared in 0.2 M acetic acid/ 0.1 M sodium acetate. The relative viscosity, η_r , of chitosan samples was measured using a Ubbelohde capillary viscometer at ambient temperature ($30\pm 2^\circ\text{C}$). Specific viscosity was determined eq. (3).

$$\eta_{sp} = \frac{(\eta_{solution} - \eta_{solvent})}{\eta_{solvent}} \quad (3)$$

Intrinsic viscosity, $[\eta]$, is defined as reduced viscosity, η_{red} extrapolated to a chitosan concentration, C, of zero:

$$[\eta] = \left(\frac{\eta_{sp}}{C} \right)_{c \rightarrow 0} = (\eta_{red})_{c \rightarrow 0} \quad (4)$$

where C is in g/ml. Viscosity average molecular weight (M_v) was calculated based on the Mark-Houwink equation

$$[\eta] = KM_v^a \quad (5)$$

with $K = 1.64 \times 10^{-30} \times DD^{14}$, $a = -1.02 \times 10^{-2} \times DD + 1.82$

where DD is the degree of deacylation of chitosan expressed as the percentage [3].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 The effect of parameters on chitosan production

Table 2 Result of chitosan production

No.	Parameters				Preliminary Testing	Response		
	NaOH conc. (%)	Temp. (°C)	Time (hr)	Ratio		%DD	%Yield	
1 [A]	30	110°C	2	1:10	√	85.87	19.45	
2	30	75°C	1		X	-	18.26	
3	40				√	64.40	18.86	
4 [B]	50				√	80.50	18.45	
5	30				X	-	18.14	
6	40	60°C	4		√	24.15	18.26	
7	50				√	64.40	17.18	
8	30				X	-	18.81	
9 [C]	40	30±2°C	48		√	72.45	19.80	
10	50				√	56.35	18.21	
11	30	30±2°C	72		X	-	19.11	
12	40				√	40.25	18.45	
13	50				√	32.20	18.10	
14	30	30±2°C	48		1:15	X	-	19.45
15	40					√	69.77	17.33
16	50					√	40.25	17.67
17	30					√	56.35	18.86
18 [D]	40	30±2°C	72		√	72.45	18.91	
19	50				√	24.15	16.56	

■ The product is chitosan because the DD values higher than 70%, [A], [B], [C] and [D] meaning the sample of chitosan.

The result of chitosan production is demonstrated in table 2. For the preliminary testing showed that concentration and temperature had directly impact on the production of chitosan. The chitosan

product had a high DD. If using the low concentration or temperature, it will be affects the solubility of chitosan in weak acid solution. The chitosan product may or not soluble [5]. From all experiment found that there are 4 the condition that can be chitosan is produced with a DD values higher than 70%. Chitosan with a high DD can be obtained by using 30% NaOH at 110°C for 2 hour, ratio 1:10 (w/v) of chitin: NaOH. The optimum condition can get the highest degree of deacetylation at 85.87%. The yield that obtained has similar values for all experiment.

3.2 Characterization of chitosan samples

The DD values of four samples can be measured from two inflexion points curve of potentiometric titrations of chitosan as presented in Fig.3.

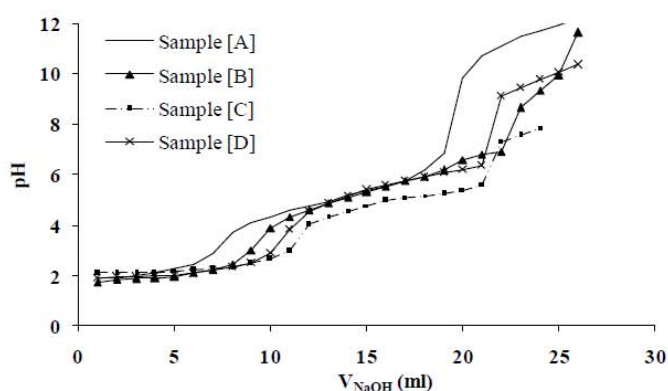


Fig.3 Potentiometric titration of chitosan sample

The average molecular weight is the most difficult parameter to be measured but can be determined by several methods, viscometry is claimed to be the simplest, most rapid, and probably the most precise determination method. Fig.4 presents the reduced viscosity versus concentration plot for the sample. M_v was calculated based on the Mark-Houwink equation by using the intrinsic viscosity from the y-intercept [4]. The $[\eta]$ and the M_v for the samples are demonstrated in Table 3.

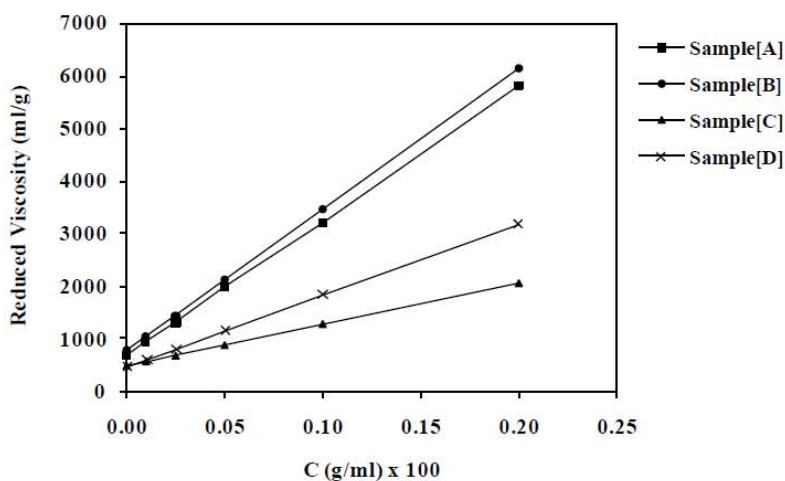


Fig.4 Plot of reduced viscosity versus concentration for the four chitosan sample.

Table 3 Degree of deacetylation (DD), intrinsic viscosity ($[\eta]$) and molecular weight (M_v) for chitosan samples.

Chitosan	%DD	$[\eta]$ (ml/g)	$M_v \times 10^5$
Sample[A]	85.87	734	8.07
Sample[B]	80.50	658	8.49
Sample[C]	72.45	490	8.97
Sample[D]	72.45	473	8.68

Table 3 shows that data values of DD, $[\eta]$ and M_v for the four chitosan samples. Sample[A] and [B] have almost the same DD and M_v . Sample[C] and [D] have the same DD and have almost the same M_v . Sample[A] has the lowest M_v and the highest DD, as a result of the high-temperature of deacetylation reaction [5].

4. CONCLUSION

The results of chitosan production by alkaline chemical method showed that the extent of DD is governed mainly by the NaOH concentration and temperature of reaction, followed by time, and ratio, respectively. Optimum condition of deacetylation reaction was obtained by using 30% NaOH at 110°C for 2 hour, ratio 1:10 (w/v) of chitin: NaOH. The degree of deacetylation was 85.87% and a molecular weight of chitosan of about 8.07×10^5 . This process gave 19.45% yield in dry basis of shrimp waste.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The author gratefully acknowledges the financial support from the Graduate School of Prince of Songkla University and the PSU funding, budget year 2011. The authors also thank Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.

REFERENCES

1. R.F. Weska, J.M. Moura, L.M. Batista, J.Rizzi, L.A.A. Pinto, Optimization of deacetylation in the production of chitosan from shrimp wastes: Use of response surface methodology, *J. Food of Engineering* Vol. 80 (2007) pp.749-753.
2. C.K. S. Pillai, W. Paul, C.P. Sharma, Chitin and chitosan polymers : Chemistry, solubility and fiber formation, *Progress in Polymer Science* Vol. 34 (2009) pp. 641-678.
3. Q.Z. Wang, X.G. Chen, N. Liu, S.X. Wang, C.S. Liu, X.H. Meng, C.G. Liu, Protonation constants of chitosan with different molecular weight and degree of deacetylation, *Carbohydrate Polymers* Vol. 65 (2006) pp. 194-201.
4. H. Zhang, S.H. Neau, In vitro degradation of chitosan by a commercial enzyme preparation: effect of molecular weight and degree of deacetylation, *Biomaterials* Vol. 22 (2001) pp. 1653-1658.
5. W. Unson, O. Wongkhamchan, A study of the effect of chitosan on protecting tomato fruit becoming rotten, thesis, Rajabhat Mahasarakham University (2004).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวมนัสขวัญ จิตประคอง		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5310120066		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551	

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

The PSU funding, budget year 2011.

Jitprakong, M and Chungsiriporn, J. 2011. 2011. OPTIMIZATION OF CHITOSAN PRODUCTION FROM SHRIMP WASTE BY AIKALI CHEMICAL METHOD. Proceeding of the 18th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE2011), October 27-28, 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam.

Jitprakong, M and Chungsiriporn, J. 2011. EFFECTS OF CHITOSAN COATING ON POSTHARVEST QUALITY AND SHELF LIFE OF BANANA FRUIT. Proceeding of the 21st Thai Institute of Chemical Engineering And Applied Chemistry (TICHE-2011), November 10-11, 2011, Hatyai, Songkhla, Thailand.