

การพัฒนาและการประยุกต์ฟิล์มบางโคโทซานเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของ
มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

นายภาณุพงศ์ อ่ำไพชัยโชค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development and Application of Chitosan Thin Film to Prolong Shelf Life of
'Nam Dok Mai No. 4' Mango

Mr. Panupong Ampaichaichok



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Botany

Department of Botany

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

ภานุพงศ์ อ่ำไพชัยโชค : การพัฒนาและการประยุกต์ฟิล์มบางไคโทซานเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 (Development and Application of Chitosan Thin Film to Prolong Shelf Life of 'Nam Dok Mai No. 4' Mango) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร. ปราณีย์ โจรนสิทธิศักดิ์, 113 หน้า.

การศึกษาสมบัติของสารละลายเคลือบผิวและฟิล์มบางไคโทซานที่เตรียมจากไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 65,000 ดาลตัน (LM-CTS) 240,000 ดาลตัน (MM-CTS) และ 410,000 ดาลตัน (HM-CTS) พบว่าความหนืดของสารละลายไคโทซานและความหนาของฟิล์มบางไคโทซานเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซานเพิ่มขึ้น ความหนาของพื้นผิวฟิล์มบางไม่ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซาน กล่าวคือ พื้นผิวฟิล์มบางไคโทซานชนิด MM-CTS มีความหนามากที่สุด รองลงมาคือ HM-CTS และ LM-CTS ตามลำดับ การเคลือบผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ด้วยสารละลายไคโทซานที่เตรียมสดใหม่และสารละลายไคโทซานที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 15 วัน พบว่าสารละลายไคโทซานที่เตรียมสดใหม่สามารถลดการเกิดโรค และสามารถรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีกว่าสารละลายไคโทซานที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน การใช้สารละลายไคโทซานที่เตรียมสดใหม่ร่วมกับการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วัน ตามด้วยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 9 วันพบว่าชุดการทดลอง MM-CTS ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเนื่องจากผลมะม่วงน้ำดอกไม้มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่า ความแน่นเนื้อมากกว่า การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของเปลือกผลที่เป็นปกติ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงกว่าปริมาณกรดที่ต่ำกว่า และการเกิดโรคน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ การใช้สารละลาย MM-CTS กระตุ้นกระบวนการป้องกันตัวเองของผลมะม่วงน้ำดอกไม้โดยเพิ่มการผลิต H_2O_2 และยังกระตุ้นทำงานของเอนไซม์ catalase และ ascorbate peroxidase ดังนั้น ไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตันจึงมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวและคงไว้ซึ่งคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

ภาควิชา พฤษศาสตร์

ลายมือชื่อ นิสิต

สาขาวิชา พฤษศาสตร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5572072923 : MAJOR BOTANY

KEYWORDS: CHITOSAN / CHITOSAN THIN FILM / POST HARVEST QUALITIES / ANTIOXIDANT ENZYMES / NAM DOK MAI NO.4 MANGO

PANUPONG AMPAICHAICHOK: Development and Application of Chitosan Thin Film to Prolong Shelf Life of 'Nam Dok Mai No. 4' Mango. ADVISOR: ASST. PROF. KANOGWAN SERAYPHEAP, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. PRANEE ROJSITTHISAK, Ph.D., 113 pp.

Properties of chitosan solution and chitosan thin film prepared from various molecular weights of chitosan; 65,000 Da (LM-CTS) 240,000 Da (MM-CTS) and 410,000 Da (HM-CTS), were investigated. Both viscosity of chitosan solution and thickness of chitosan thin film increased when MW of chitosan increased. However, film roughness didn't depend on increasing of MW. MM-CTS film was the roughest followed by HM-CTS and LM-CTS films respectively. 'Nam Dok Mai No. 4' mango fruits, coated with freshly prepared and 14-days stored chitosan solutions were stored at 25 °C for 15 days. The result showed that freshly prepared chitosan solutions could reduce disease and maintain postharvest quality of mango fruits better than 14-days stored solutions. The use of freshly prepared chitosan solutions in combination with storage at 13 °C for 14 days followed by storage at 25 °C for 9 days showed that MM-CTS treatment performed the best. Mango fruits of MM-CTS had lower weight lost, higher fruit firmness, normal peel appearance changes, more total soluble solids content, lower titratable acidity and lower disease incidence than others. MM-CTS induced defense system of mango fruit by increasing H₂O₂ production and inducing activities of catalase and ascorbate peroxidase. In conclusion, 240,000 Da chitosan was the most appropriate coating solution for prolonging shelf life and maintaining acceptable attributes of 'Nam Dok Mai No. 4' mango.

Department: Botany

Student's Signature.....

Field of Study: Botany

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราณี โรจน์สิทธิศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์
การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถ
พิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ทุนจากระบบบริหารงานวิจัยแห่งชาติ
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาลประจำปีงบประมาณ
2556-2557



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูปภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 ทตรวจเอกสาร	4
2.1 มะม่วงน้ำดอกไม้.....	4
2.2 บทบาทของเอทิลีนใน climacteric fruit.....	5
2.3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกระบวนการต้านอนุมูลอิสระในพืช.....	6
2.4 ไคโทซาน.....	8
2.5 บทบาทของไคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้.....	9
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	15
3.1 พืชทดลอง	15
3.2 วัสดุอุปกรณ์	15
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18
3.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง	19
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	25
3.6 สถานที่ทำการทดลอง	25

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	26
4.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายเคลือบผิวโคโทซาน.....	26
4.2 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาสารละลายเคลือบผิวโคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลง ทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้ 29	29
4.3 ผลของการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายฟิล์มบางโคโทซานร่วมกับการ เก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันต่อการเปลี่ยนแปลงทาง สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้.....	37
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง.....	53
5.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายเคลือบผิวโคโทซาน.....	53
5.2 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาสารละลายเคลือบผิวโคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลง ทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้ 55	55
5.3 ผลของการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายฟิล์มบางโคโทซานร่วมกับการ เก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันต่อการเปลี่ยนแปลงทาง สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้.....	59
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	67
รายการอ้างอิง.....	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	113

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2 - 1 กระบวนการถ่ายทอดสัญญาณ (signaling pathway) ของเอทีเอ็น	6
รูปที่ 2 - 2 กระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระ H_2O_2 ในวัฏจักร ascorbate-glutathione	7
รูปที่ 2 - 3 กระบวนการผลิตโคโทซานจากไคทิน	9
รูปที่ 4 - 1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายโคโทซาน	26
รูปที่ 4 - 2 ความหนาของฟิล์มบางโคโทซาน	27
รูปที่ 4 - 3 ความหยาบของฟิล์มบางโคโทซาน	28
รูปที่ 4 - 4 การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในวันที่ 12 และ 15	29
รูปที่ 4 - 5 การสูญเสียความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15	30
รูปที่ 4 - 6 การเปลี่ยนแปลงความสว่างของเปลือกผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15	31
รูปที่ 4 - 7 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (Hue angle) ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15	32
รูปที่ 4 - 8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15	33
รูปที่ 4 - 9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15	34
รูปที่ 4 - 10 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15	35
รูปที่ 4 - 11 ร้อยละของการเกิดโรคของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15	37
รูปที่ 4 - 12 การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 14, 17, 20 และ 23	38

รูปที่ 4 - 13 การสูญเสียความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	39
รูปที่ 4 - 14 การความสว่างเปลือกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	40
รูปที่ 4 - 15 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	41
รูปที่ 4 - 16 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	42
รูปที่ 4 - 17 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	43
รูปที่ 4 - 18 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	44
รูปที่ 4 - 19 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	45
รูปที่ 4 - 20 การรั่วไหลของไฮออนของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผ่านการ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา	46
รูปที่ 4 - 21 อัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	47
รูปที่ 4 - 22 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	48
รูปที่ 4 - 23 อัตราการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	49
รูปที่ 4 - 24 การทำงานของเอนไซม์ catalase ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	50
รูปที่ 4 - 25 การทำงานของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ของผลมะม่วง น้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	51
รูปที่ 4 - 26 การทำงานของเอนไซม์ guaiacol peroxidase ของผลมะม่วง น้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23	52

รูปที่ 5 - 1 แบบจำลองผลของความหนาของฟิล์มไดโกลานบนผิวของ
มะม่วงน้ำดอกไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ การคายน้ำ
การผลิตเอทิลีน และการสุกโดยรวมของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

55



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะม่วงน้ำดอกไม้ (Mangifera indica L. cv. 'Nam Dok Mai') เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญในตลาดส่งออกของประเทศไทย เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นผลไม้ที่เกิดความเสียหายภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ง่าย จึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลผลิตและทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (Kim et al., 2007) ดังนั้น การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ดีจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของผลผลิตไว้ได้ วิธีการเก็บรักษาที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การจุ่มน้ำร้อน การเก็บรักษาในบรรยากาศตัดแปร (Khan and Singh, 2007) การเคลือบผิว (Medeiros et al., 2012) การเคลือบผิวของผลไม้ด้วยวัสดุธรรมชาตินั้นได้มีการใช้วัสดุธรรมชาติหลายชนิด เช่น คาร์นูบา เซลแลค เพคติน ไคโทซาน เป็นต้น ก่อให้เกิดผลดีต่อการเก็บรักษาผลไม้หลายประการ อาทิ ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักสด ชะลอการสุก ลดการเกิดโรคจากจุลินทรีย์ เป็นต้น (Liu et al., 2006)

ไคโทซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เตรียมได้จากเปลือกของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น เปลือกปู แกนปลาหมึก เปลือกกุ้ง เป็นต้น (Long, 2013) ไคโทซานมีสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น สามารถรับประทานได้ (Ramesh et al., 2004) สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่เป็นพิษและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ไคโทซานจึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม การเกษตร เกษษกรรม และการแพทย์ (Rinaudo, 2006) โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการเกษตร เช่น การเคลือบผิวของผลไม้ด้วยสารละลายไคโทซาน ซึ่งทำได้สะดวก ใช้ต้นทุนไม่สูงนัก และสามารถยืดอายุผลผลิตบนชั้นวางจำหน่ายออกไปได้อีกระยะเวลาหนึ่ง ที่ผ่านมามีผู้ที่ได้ทำการทดลองเคลือบผิวของผลไม้หลายชนิดรวมถึงมะม่วงหลายสายพันธุ์ด้วยสารละลายเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของไคโทซานชนิดต่างๆ กัน ดังนี้

Win et al. (2007) ได้ทดลองใช้สารละลายไคโทซานที่เติมสารสกัดจากอบเชยเพื่อใช้เคลือบผิวของผลกล้วยหอม สามารถช่วยยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลกล้วยหอมทองได้ยาวนานขึ้น แต่มีผลข้างเคียงทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของไคโทซานลดลง

Hong et al. (2012) ได้ทำการทดลองเคลือบผลฝรั่งด้วยสารละลายไคโทซานความเข้มข้นต่างๆ พบว่าสามารถยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลฝรั่งและสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระหลายชนิดได้

Medeiros et al. (2012) ได้ทดลองเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ 'Tommy Atkins' ด้วยฟิล์มบางนาโนเพคตินสลับกับชั้นฟิล์มบางนาโนไคโทซาน (ความเข้มข้น 0.2%) จำนวน 5 ชั้น พบว่าสามารถเก็บรักษามะม่วงพันธุ์ดังกล่าวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 45 วันโดยไม่มีอาการสั้หนานวเกิดขึ้นกับผลมะม่วง นอกจากนี้ Abbasi et al. (2009) ได้ทดลองเคลือบผิวของผลมะม่วงพันธุ์ 'Summer Bahisht Chuansa' โดยการจุ่มผลมะม่วงในสารละลายที่มีส่วนผสมของไคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 51,400 ดาลตัน ความเข้มข้น 1.5% และเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเก็บรักษาผลมะม่วงได้เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในการศึกษาของ Wang et al. (2007) ได้ทดลองเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ 'Tainong' ในสารละลายที่มีส่วนผสมของไคโทซาน 2% และ tea polyphenol 1% โดยใช้ Tween-80[®] 0.5% เป็นสารลดแรงตึงผิว และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ดังกล่าวได้ดีกว่าการเคลือบผิวมะม่วงในสารละลายที่มีส่วนผสมของไคโทซานเพียงอย่างเดียว และ Zhu et al. (2008) ได้ทำการทดลองในมะม่วงพันธุ์เดียวกันโดยใช้ไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 80,000 ดาลตัน ในการเตรียมสารละลายเพื่อใช้เคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ 'Tainong' ที่ความเข้มข้น 0.5%, 1.0% และ 2.0% ตามลำดับ แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 วัน พบว่าสารละลายไคโทซานความเข้มข้น 2.0% สามารถลดอัตราการหายใจ รักษาความแน่นเนื้อ และชะลอการการเปลี่ยนสีของผลมะม่วงพันธุ์ 'Tainong' ได้ดีที่สุด

นอกจากนี้ไคโทซานยังทำหน้าที่เป็นสาร elicitor ตามธรรมชาติ ทำหน้าที่กระตุ้นกระบวนการป้องกันตัวของพืช โดยไปเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และซูเปอร์ออกไซด์ ในเนื้อเยื่อพืช จากนั้นโมเลกุลดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นสารนำส่งสัญญาณไปกระตุ้นการแสดงออกของยีน ทำให้มีการผลิตเอนไซม์ที่อยู่ในกลุ่ม antioxidant system เช่น superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX), ascorbate peroxidase (APX) เป็นต้น (Gonzalez-Aguilar et al., 2010) ที่ผ่านมามีการรายงานการศึกษาค้นคว้าการใช้ไคโทซานต่อการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ในกลุ่ม antioxidant system ในผลไม้หลายชนิด เช่น ฝรั่ง (Hong et al., 2012) สตรอเบอร์รี่ (Wang and Gao, 2013) พีช (Ma et al., 2013) องุ่น (Gao et al., 2013) เป็นต้น แต่ยังไม่ปรากฏหลักฐานการศึกษาที่ชัดเจนในมะม่วงน้ำดอกไม้

จากการศึกษาข้างต้นพบว่ามีการเลือกใช้โคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน Badawy and Rabea (2009) ได้ทดลองใช้โคโทซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ มาเคลือบผลมะเขือเทศ จากการทดลองพบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานเพิ่มมากขึ้นทำให้มีปริมาณของ total phenolic compound และ การทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) สูงขึ้น และยังพบว่ามีการผลิต total protein เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้สารละลายโคโทซานยังมีความหนืดขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานที่เลือกใช้ โดยโคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะได้สารละลายที่มีความหนืดสูงกว่าโคโทซานชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า แต่ความหนืดของสารละลายโคโทซานนั้นไม่คงที่ โดยจะลดลงตลอดเวลาหลังจากที่เตรียมสารละลายเสร็จ และเมื่อระยะเวลาผ่านไป ความหนืดของสารละลายโคโทซานจะค่อยๆ เข้าสู่ภาวะคงที่ (El-Hefian and Yahaya, 2010) ดังนั้น วิธีการเตรียมสารละลายโคโทซานน่าจะมีผลต่อคุณสมบัติของสารละลายโคโทซานในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับผลของความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานต่อการเก็บรักษามะม่วง ดังนั้น การทดลองในครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยฟิล์มบางโคโทซานที่มีความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล 3 ระดับ โดยองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาฟิล์มบางทางการค้าสำหรับใช้เคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการส่งออกของประเทศเป็นอย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ฟิล์มบางโคโทซานในการยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาความแตกต่างของวิธีการเตรียมสารละลายโคโทซานต่อสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเพื่อคัดเลือกวิธีการเตรียมสารละลายโคโทซานที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป
- 1.3.2 ศึกษาผลของการเคลือบผิวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายโคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร

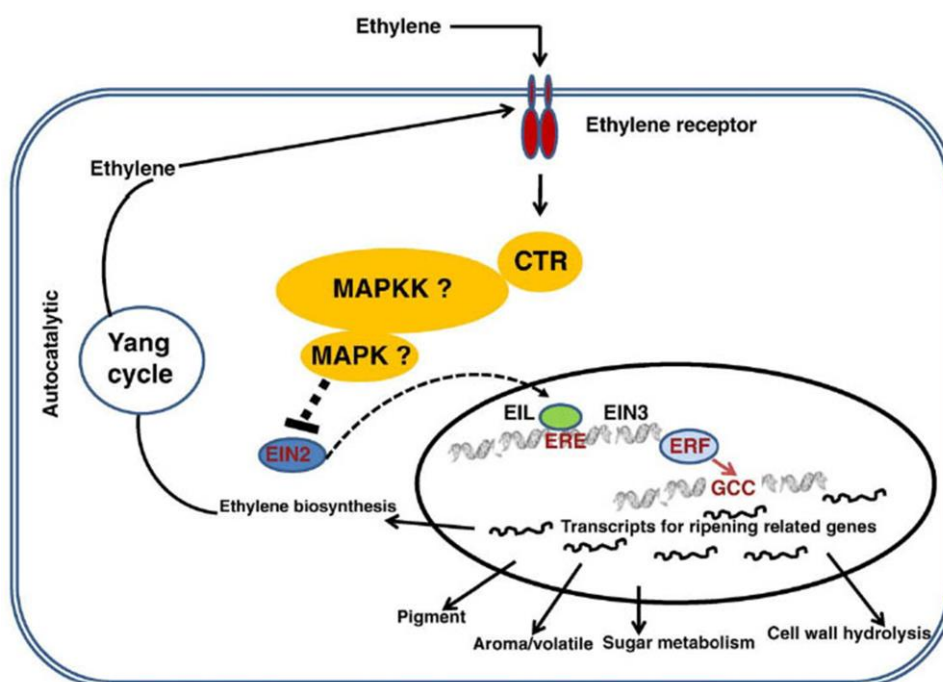
2.1 มะม่วงน้ำดอกไม้

มะม่วงน้ำดอกไม้ (*Mangifera indica* L. cv. 'Nam Dok Mai') จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นผลไม้ที่เป็นที่นิยมในประเทศไทยและมีความสำคัญในตลาดส่งออก ในปี 2554 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้ร่วมกับมะม่วงพันธุ์อื่นๆ ปริมาณรวม 41,463 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2553 71.96% มูลค่าการส่งออกปี 2554 รวม 1,026.83 ล้านบาทเพิ่มจากปี 2553 47.72% (Office of Agricultural Economics, 2012) ตลาดการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้ที่สำคัญที่สุดของประเทศไทยคือประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีปริมาณการส่งออกที่เติบโตต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี 2544 (Kasetsart University Radio Broadcasting Station, 2011) พันธุ์มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยคือพันธุ์เบอร์ 4 และพันธุ์สีทอง โดยผลมะม่วงดอกไม้พันธุ์เบอร์ 4 จะมีรสหวานกว่าพันธุ์สีทอง แต่สามารถเกิดโรคแอนแทรกคโนได้ง่าย ส่วนผลมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์สีทองจะมีรสเปรี้ยวเล็กน้อยและเกิดโรคแอนแทรกคโนน้อยกว่า เมื่อสุกแล้วจะมีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์เบอร์ 4 (Wichchachu, 2012)

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นผลไม้ชนิดบ่มสุก หรือ climacteric fruit ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่มีส่วนสำคัญในการเร่งให้เกิดกระบวนการสุกของผลในขณะที่ผลมีการพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุก นอกจากนี้ กระบวนการสุกของ climacteric fruit สามารถพัฒนาต่อไปได้อย่างต่อเนื่องภายหลังการเก็บเกี่ยว และมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นไปพร้อมๆ กับกระบวนการสุก เช่น การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลือง หรือสีอื่นๆ ขึ้นกับชนิดของผล การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ การลดลงของปริมาณกรด การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระ เป็นต้น (Mattoo and Modi, 1969) การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สูญเสียคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวอย่างรวดเร็ว การยืดอายุการเก็บรักษาและการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงโดยทั่วไปทำได้หลายวิธี เช่น การฉายรังสี การจุ่มน้ำร้อน การอบไอน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรค การเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโทซาน เป็นต้น (Bautista-Baños et al., 2006)

2.2 บทบาทของเอทิลีนใน climacteric fruit

climacteric fruit เช่น กัลฉ่าย มะม่วง มะละกอ ละครุด แอปเปิล ฯลฯ เป็นผลไม้ที่มีรูปแบบการหายใจที่เป็นเอกลักษณ์ คือ มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นขณะเข้าสู่กระบวนการสุก (Giovannoni, 2001) ซึ่งแตกต่างจากผลไม้ชนิด non-climacteric fruit เช่น เงาะ ลิ้นจี่ ส้ม แตงโม องุ่น ฯลฯ ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนลดลงหลังการเก็บเกี่ยว (Chervin et al., 2004) กระบวนการผลิตเอทิลีนของ climacteric fruit แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ pre-climacteric period เป็นช่วงเวลาที่ผลไม้ผลิตเอทิลีนปริมาณน้อย และ autocatalytic synthesis เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ผลไม้กำลังสุก เอทิลีนที่ผลิตและปลดปล่อยออกมาจากผลจะไปกระตุ้นกระบวนการผลิตเอทิลีนให้มีการผลิตเพิ่มมากขึ้นและทำให้ผลสุกอย่างรวดเร็ว ethylene autocatalytic synthesis เป็นปรากฏการณ์ที่พบได้เฉพาะใน climacteric fruit (Bapat et al., 2010) นอกจากนี้ เอทิลีนมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของ climacteric fruit พบว่ามียีนหลายชนิดที่ตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีน เช่น ยีนที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายองค์ประกอบของผนังเซลล์ ยีนควบคุมการผลิตเอทิลีน ยีนควบคุมการสังเคราะห์และการเปลี่ยนแปลงของเม็ตดี ยีนควบคุม metabolism ของน้ำตาล ยีนควบคุมการสร้างสารหอมระเหย เป็นต้น (Giovannoni, 2004; 2007) (รูปที่ 2 - 1) เอทิลีนส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังเซลล์พืชทำให้ผลไม้สูญเสียความแน่นเนื้อเมื่อผลสุก Hayama et al. (2006) ศึกษาผลพืช *stony hard* ซึ่งเป็น mutant ที่สามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้น้อยกว่าปกติ ทำให้เนื้อผลยังคงแข็งกรอบแม้ว่าผลสุก เมื่อนำผลพืชมาบ่มในบรรยากาศที่มีเอทิลีนสามารถชักนำให้เกิดการสูญเสียความแน่นเนื้อของผลได้เช่นเดียวกับผลพืชปกติ Gaete-Eastman et al. (2009) ได้ทดลองให้เอทิลีนแก่ผล mountain papaya พบว่ามีการแสดงออกของยีนที่ผลิตเอนไซม์ expansin มากขึ้น ส่งผลให้ผลสูญเสียความแน่นเนื้อมากขึ้น ในขณะที่ชุดการทดลองที่ผล mountain papaya ได้รับสาร 1-methyl-cyclopropane (1-MCP) ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ร่วมกับการให้เอทิลีนพบว่าผลยังคงรักษาความแน่นเนื้อไว้ได้มากกว่าผล mountain papaya ที่ได้รับเอทิลีนเพียงอย่างเดียว (Sane et al., 2005) ได้ทำการศึกษาการแสดงออกของยีน MiExpA1 ในผลมะม่วงพันธุ์ Dashehari ยีนดังกล่าวทำหน้าที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ α -expansin ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสลายผนังเซลล์ พบว่ายีนดังกล่าวตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีน โดยมีการแสดงออกของยีนเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อผลมะม่วงได้รับเอทิลีน ดังนั้น การควบคุมปริมาณเอทิลีนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวและรักษาคุณภาพของผลไม้ได้



รูปที่ 2 - 1 กระบวนการถ่ายทอดสัญญาณ (signaling pathway) ของเอทิลีน แสดง autocatalytic process และการทำงานของยีนที่ตอบสนองต่อเอทิลีน (Bapat et al., 2010)

WUHALONGKORN UNIVERSITY

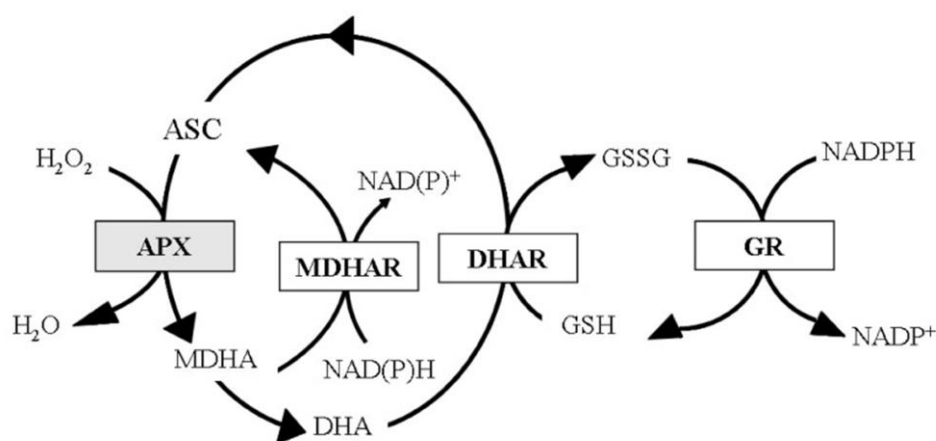
2.3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกระบวนการต้านอนุมูลอิสระในพืช

H_2O_2 เป็นโมเลกุลที่มีความสำคัญต่อเมตาบอลิซึมของพืช H_2O_2 เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ superoxide anion ($O_2^{\cdot-}$) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่มีความเสถียรต่ำ โดยทั่วไป H_2O_2 ถูกผลิตขึ้นจาก metabolism ของเซลล์ นอกจากนี้ ในสภาวะที่พืชได้รับความเครียดทั้งทางกายภาพและชีวภาพ พืชจะมีการตอบสนองต่อความเครียดโดยการผลิต H_2O_2 มากกว่าปกติ (Quan et al., 2008)

H_2O_2 ปริมาณต่ำในเซลล์พืชทำหน้าที่เป็น signaling molecule สำหรับกระตุ้นกระบวนการตอบสนองของเซลล์หลายกระบวนการ ในทางกลับกัน เมื่อปริมาณ H_2O_2 สูงกว่าปกติจะทำให้เกิด oxidative damage และชักนำไปสู่การตายของเซลล์ (programmed cell death) (Quan et al., 2008) เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณของ H_2O_2 ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม พืช

จึงมีวิธีการกำจัด H_2O_2 ที่มากเกินไปโดยใช้เอนไซม์ในระบบ ascorbate-glutathione cycle โดยเอนไซม์ ascorbate peroxidase (APX) เป็นเอนไซม์ชนิดแรกในวัฏจักรที่ใช้ ascorbate (ASA) เป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยน H_2O_2 เป็น H_2O เมื่อ ASA ถูกออกซิไดซ์ (เสียอิเล็กตรอน) จะกลายเป็น monodehydroascorbate (MDHA) เอนไซม์ monodehydroascorbate reductase (MDHAR) จะรีดิวซ์ MDHA กลับไปเป็น ASA (รับอิเล็กตรอน) เพื่อนำไปใช้กำจัด H_2O_2 ต่อไป นอกจากนี้ MDHA ส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนเป็น dehydroascorbate (DHA) โดยอัตโนมัติแล้วจะถูกเอนไซม์ dehydroascorbate reductase (DHAR) รีดิวซ์ DHA กลับไปเป็น ASA ปฏิกริยารีดักชันนี้ใช้อิเล็กตรอนจาก glutathione (GSH) ทำให้ GSH ที่เสียอิเล็กตรอนอยู่ในสภาพ oxidised GSH (GSSG) เอนไซม์ glutathione reductase (GR) เป็นเอนไซม์ในขั้นตอนสุดท้ายของวัฏจักร ascorbate-glutathione ทำหน้าที่รีดิวซ์ GSSG เป็น GSH โดยใช้ NADPH เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Inzé and Montagu, 1995; Gill and Tuteja, 2010; Locato et al., 2013) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นทุกขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2 - 2

นอกจากเอนไซม์ใน ascorbate-glutathione cycle แล้ว ยังมีเอนไซม์อื่นๆ ที่ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ เช่น catalase (CAT) และ guaiacol peroxidase (GPX) โดย CAT เป็นเอนไซม์ที่สามารถกำจัด H_2O_2 ได้โดยไม่ต้องใช้สารให้อิเล็กตรอน ส่วน GPX ต้องการอิเล็กตรอนจากสาร guaiacol ในการสลาย H_2O_2 ให้กลายเป็นโมเลกุลน้ำ (Gill and Tuteja, 2010)

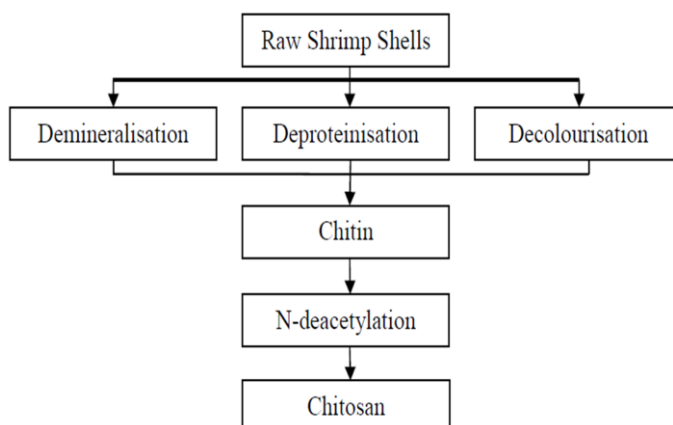


รูปที่ 2 - 2 กระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระ H_2O_2 ในวัฏจักร ascorbate-glutathione (Locato et al., 2013)

Sarowar et al. (2011) ได้ทดลองเพิ่มระดับการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ APX ในยาสูบโดยใช้ยีนจากพริกหวาน พบว่าเมื่อกิจกรรมของเอนไซม์ APX เพิ่มขึ้นทำให้ยาสูบสามารถทนต่อภาวะ oxidative stress และเชื้อ Oomycete ได้ดีขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะ APX เป็นเอนไซม์ที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับ H_2O_2 สูง สามารถย่อยสลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่ำในระดับ μmol ในขณะที่ CAT และ POD สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่ความเข้มข้นในระดับ mmol (Gill and Tuteja, 2010)

2.4 ไคโทซาน

ไคโทซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เตรียมได้จากเปลือกของปูหรือกุ้งโดยการกำจัดหมู่ acetyl ของไคทินด้วยด่างแล้วเปลี่ยนเป็นไคโทซาน (รูปที่ 2 - 3) กระบวนการผลิตไคโทซานและคุณภาพของวัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อน้ำหนักโมเลกุลและ degree of deacetylation ของไคโทซาน (Long, 2013) การเตรียมสารละลายไคโทซานสามารถทำได้ง่ายโดยใช้สารละลายกรดอินทรีย์ เช่น กรดแอสติก กรดแลคติก เป็นตัวทำละลาย สารละลายไคโทซานที่เตรียมได้จะมีความหนืดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซาน เมื่อนำไคโทซานมาเคลือบบนผิววัสดุสามารถเกิดชั้นฟิล์มบางเคลือบบนพื้นผิวของวัสดุได้ (No et al., 2006; Rinaudo, 2006) อย่างไรก็ตาม ความหนืดของสารละลายไคโทซานจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นหลังเตรียมสารละลายเสร็จ แล้วค่อยๆ เข้าสู่ภาวะคงตัวเมื่อเวลาผ่านไปนานมากขึ้น ซึ่งเป็นพฤติกรรมของสารละลายชนิด Non-Newtonian fluid (El-Hefian and Yahaya, 2010) ดังนั้นวิธีการเตรียมสารละลายไคโทซานอาจจะส่งผลต่อคุณสมบัติของไคโทซานที่ได้และมีผลต่อเนื่องถึงคุณภาพและการประยุกต์ใช้ของไคโทซานทางการเกษตรในแง่ต่าง ๆ



รูปที่ 2 - 3 กระบวนการผลิตไคโทซานจากไคทิน (Long, 2013)

เนื่องจากไคโทซานจัดเป็นสารกระตุ้น (elicitor) ที่ส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการป้องกันตัวเองของพืช รวมทั้ง ไคโทซานสามารถรับประทานได้ จากการทดลองในหนูพบว่าเมื่อหนูได้รับอาหารที่ผสมไคโทซานเป็นเวลานานไม่ส่งผลเสียต่อร่างกายของหนูทดลอง (Ramesh et al., 2004) จึงมีการนำไคโทซานในรูปสารละลายมาใช้ในการยืดอายุและรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้หลายชนิด (Bautista-Baños et al., 2006) ทั้งนี้ พอลิเมอร์ของไคโทซานมีหมู่อะมิโนที่คาร์บอนลำดับที่ 2 เมื่อไคโทซานอยู่ในรูปสารละลายจะแสดงลักษณะ polycationic สมบัติดังกล่าวจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี (Liu et al., 2006) ที่ผ่านมามีการศึกษาการใช้สารละลายไคโทซานเพื่อลดการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้หลายชนิด เช่น กลัวยพันธุ์ต่างๆ (Kittur et al., 2001; Win et al., 2007; Gol and Rao, 2011) พีช (Ma et al., 2013) มะม่วงพันธุ์ต่างๆ (Wang et al., 2007; Zhu et al., 2008; Abbasi et al., 2009; Medeiros et al., 2012) จากการทดลองของ Jitareerat et al. (2007) ได้นำสารละลายไคโทซานมาเคลือบผิวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าสามารถลดการเกิดโรคแอนแทรกคโนสจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้

นอกจากนี้ เมื่อผิวของผลไม้ถูกเคลือบด้วยชั้นฟิล์มบางไคโทซาน จะทำให้อัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำของผลไม้นั้นลดลง ซึ่งเป็นผลจากการถูกกระตุ้นให้เกิดกระบวนการป้องกันตัวเองของพืชควบคู่กับลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางบนผิวของผลไม้ที่ทำหน้าที่ลดการเข้าออกของน้ำ (Shiekh et al., 2013)

2.5 บทบาทของไคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้

2.5.1 อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น climacteric fruit มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น และมีการผลิตเอทิลีน (C_2H_4) เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อผลสุก เอทิลีนมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการสุกและการเสื่อมถอยของเซลล์ และกระตุ้นให้มีการเพิ่มอัตราการหายใจระดับเซลล์ (Giovannoni, 2001; Bapat et al., 2010) การให้เอทิลีนจากแหล่งภายนอกแก่ผลไม้สามารถกระตุ้นให้กระบวนการสุกและการเสื่อมถอยของผลไม้เกิดเร็วขึ้น Kesari et al. (2007) ศึกษาการตอบสนองต่อเอทิลีนจากแหล่งภายนอกกับผลกล้วยหอมพบว่าผลกล้วยหอมมีพัฒนาการสุกเร็วขึ้น มีอัตราการหายใจสูงขึ้น และยังพบว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการป้องกันตัวและการตอบสนองต่อความเครียดมีการแสดงออกเพิ่มมากขึ้น Burg and Burg (1961) ทดลองให้เอทิลีนจากแหล่งภายนอกแก่ผลมะม่วง

พันธุ์ 'Kent' พบว่าผลมะม่วงพันธุ์ดังกล่าวมีอัตราการหายใจสูงขึ้นและสุกเร็วกว่าปกติ อย่างไรก็ตาม การใช้สารละลายยาไโคโทซานเคลือบผิวของผลไม่ทำให้อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนลดลง ส่งผลให้กระบวนการสุกและการเสื่อมถอยของผลเกิดขึ้นช้าลง Win et al. (2007) เคลือบผิวของผลกล้วยหอมด้วยสารละลายไโคโทซาน พบว่าอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม Ma et al. (2014) ทดลองเคลือบผล aprium ด้วยสารละลายไโคโทซานร่วมกับการใช้สาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) พบว่าอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนในผล aprium ลดลงเช่นกัน Jitareerat et al. (2007) ศึกษาการเคลือบผิวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายไโคโทซานความเข้มข้น 0.5% และ 1.0% พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไโคโทซานเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนลดลง

2.5.2 การสูญเสียน้ำหนักสด การสูญเสียความแน่นเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

เนื่องจาก climacteric fruit เช่น มะม่วงที่เก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีกิจกรรมของเซลล์ค่อนข้างสูง จึงต้องมีการนำแหล่งพลังงานสะสมของผลที่อยู่ในรูปคาร์โบไฮเดรตมาใช้สำหรับกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ โดยใช้กระบวนการสลายแป้งให้น้ำตาลกลูโคสเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการหายใจระดับเซลล์ (Campbell et al., 2009) กอปรกับการคายน้ำออกจากผลซึ่งเป็นผลที่เกี่ยวข้องมาจากกระบวนการหายใจระดับเซลล์ทำให้น้ำหนักสดของผลลดลงอย่างต่อเนื่อง Medeiros et al. (2012) ใช้สารละลายไโคโทซานสลับชั้นกับสารละลายเพคตินจำนวน 5 ชั้นในการเคลือบผิวของผลมะม่วงพันธุ์ 'Tommy Atkins' พบว่าการเคลือบผลมะม่วงโดยสารละลายไโคโทซานสลับชั้นกับสารละลายเพคตินสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงพันธุ์ดังกล่าวได้ การสลายตัวของแป้งซึ่งเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำไปเป็นน้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำหรือ total soluble solids (TSS) ซึ่งเป็นค่าที่สามารถใช้บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำตาลในผลมะม่วง นอกจากนี้การเพิ่มระดับการทำงานของ cell wall loosening enzymes ทำให้ผลมะม่วงสูญเสียความแน่นเนื้อเมื่อผลสุกมากขึ้น การใช้สารละลายไโคโทซานเคลือบผิวของผลมะม่วงพันธุ์ 'Ataulfo' โดย Salvador-Figueroa et al. (2011) พบว่าการทำงานของเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) ลดลงในผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไโคโทซาน ทำให้ผลมะม่วงยังคงรักษาความแน่นเนื้อไว้ได้ การศึกษาของ Abbasi et al. (2009) รายงานว่าผลมะม่วงพันธุ์ 'Summer Bahisht Chaunsa' ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไโคโทซาน มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าและมีปริมาณ TSS น้อยกว่าผลมะม่วงในชุดควบคุม

นอกจากนี้ยังสามารถรักษาความแน่นเนื้อได้มากกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน การทดลองของ Zhu et al. (2008) ทดสอบการเคลือบผิวของสารละลายไคโตซานในผลมะม่วงพันธุ์ 'Tainong' พบว่าการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานสามารถชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อของผลมะม่วง และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่ำกว่าผลมะม่วงในชุดควบคุม ในการทดลองเดียวกัน เมื่อพิจารณา TSS ควบคู่กับอัตราการหายใจของผลโดยการวัดอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 พบว่าผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานมีอัตราการหายใจต่ำกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซาน จึงสามารถสรุปได้ว่าไคโตซานสามารถลดอัตราการหายใจของผลมะม่วงได้ เมื่ออัตราการหายใจลดลงทำให้การคายน้ำลดลง แบ่งซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะสมในผลถูกนำมาสลายเป็นกลูโคสในปริมาณน้อย ทำให้การสูญเสีย น้ำหนักสดของผลโดยรวมลดลง

2.5.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดและอัตราส่วนของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้หรือ titratable acidity (TA) สามารถใช้พิจารณาพร้อมกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ หรือ total soluble solids (TSS) เพื่อบ่งชี้ถึงระดับความสุกและความหวานของผลไม่ได้ โดยนิยมรายงานอัตราส่วน TSS ต่อ TA (TSS/TA ratio) เพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้ความสุกและความหวานของผล เมื่อผลไม้ยังไม่สุก TSS/TA ratio จะมีค่าน้อยเพราะมีปริมาณกรดมากแต่ปริมาณน้ำตาลน้อย เมื่อผลสุก TSS/TA ratio จะมีค่าสูงขึ้นเพราะมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้นและปริมาณกรดลดลง (Beckles, 2012) การศึกษาของ Morga et al. (1978) ได้รายงานการเปลี่ยนแปลง TSS และ TA ในผลมะม่วงพันธุ์ 'Carabao' พบว่าโดยทั่วไปเมื่อผลมะม่วงสุกมากขึ้น ปริมาณกรดในผลจะลดลง กอปรกับการสลายตัวของแป้งเป็นน้ำตาลมากขึ้นทำให้ผลมีรสหวานมากขึ้น การใช้สารละลายไคโตซานเคลือบผลมะม่วงทำให้การสุกของผลช้าลง ส่งผลให้ TSS/TA ratio เพิ่มขึ้นช้ากว่าชุดควบคุม Wang et al. (2007) ทดลองใช้สารละลายไคโตซานกับผลมะม่วงพันธุ์ 'Tainong' พบว่าสามารถชะลอการสุกของผล ทำให้ TA มีค่ามากและ TSS มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม การใช้สารละลายไคโตซานยังให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันในการศึกษาผลมะม่วงพันธุ์ 'Summer Bahisht Chaunsa' โดยไคโตซานช่วยชะลอการสลายตัวของกรด และลดการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลในผลมะม่วงพันธุ์ดังกล่าวเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Abbasi et al., 2009)

2.5.4 การเปลี่ยนแปลงสีผล

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเป็นผลสืบเนื่องมาจากการสุกของผลไม้ climacteric โดยทั่วไป ผลไม้จะเปลี่ยนสีเปลือกอย่างชัดเจนในช่วง autocatalytic synthesis ของเอทิลีน การศึกษาโดยใช้มะเขือเทศเป็นพืชต้นแบบทำให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุชนิดต่างๆ ในระหว่างผลไม้นั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิตเอทิลีนในผลมะเขือเทศ (Giovannoni, 2001) การเคลือบผลไม้ด้วยสารละลายไคโทซานสามารถชะลอกระบวนการสุกของผลไม้ โดยทำให้อัตราการผลิตเอทิลีนลดลงและการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลเกิดขึ้นช้าลงตามลำดับ (Gol and Rao, 2011) อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Ali et al. (2011) พบว่าการเคลือบผลมะละกอด้วยสารละลายไคโทซานความเข้มข้นสูง ๆ ไปขัดขวางการเปลี่ยนสีผลของมะละกอ

2.5.5 H₂O₂ และการทำงานของเอนไซม์กำจัดอนุมูลอิสระ

ไคโทซานสามารถกระตุ้นระบบป้องกันตัวเองในผลไม้ได้ โดยการเพิ่มปริมาณ H₂O₂ และการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ผลไม้เกิดภาวะเสื่อมถอยช้าลง (Gonzalez-Aguilar, 2010) (Gonzalez-Aguilar et al., 2010) มีการทดลองเคลือบสารละลายไคโทซานบนผิวของผลไม้หลายชนิด เช่น ฝรั่ง (Hong et al., 2012) พีช (Ma et al., 2013), สตรอเบอรี่ (Wang and Gao, 2013) องุ่น (Gao et al., 2013) พบว่าผลไม้มีการตอบสนองต่อไคโทซานโดยการเพิ่มปริมาณ H₂O₂ และการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดไปในทิศทางเดียวกัน การศึกษาของ Ma et al. (2013) พบว่าผลพีชที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโทซานมีการทำงานของเอนไซม์ catalase และ peroxidase มากขึ้น การทดลองเคลือบผลสตรอเบอรี่ด้วยสารละลายไคโทซานของ Wang and Gao (2013) ยังพบว่าสารละลายเคลือบผิวไคโทซานกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ catalase ascorbate peroxidase glutathione peroxidase และ guaiacol peroxidase ทำให้ผลสตรอเบอรี่รักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีกว่าผลสตรอเบอรี่ในชุดควบคุม นอกจากนี้ ผลพริกหวานที่เคลือบด้วยสารละลายไคโทซานมีการทำงานของเอนไซม์ superoxide dismutase peroxidase และ catalase เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเก็บรักษาผลพริกหวานที่อุณหภูมิ 8 °C เป็นเวลา 35 วัน (Xing et al., 2011) จากการศึกษาข้างต้นพบว่าไคโทซานสามารถเพิ่มระดับการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด อย่างไรก็ตาม การใช้สารละลายไคโทซานกับผลไม้บางชนิดไม่ได้เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระทุกชนิด การศึกษาการใช้สารละลายไคโทซานกับผลฝรั่งของ Hong et al. (2012)

พบว่าว่าผลฝรั่งที่ได้รับไคโทซานมีปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้น การทำงานของเอนไซม์ peroxidase เพิ่มขึ้น ในขณะที่การทำงานของเอนไซม์ catalase และ superoxide dismutase ลดลง

2.5.6 การเกิดอาการสะท้อนหนาวจากเก็บรักษาผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาผลไม้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำช่วยยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ได้ แต่การเก็บรักษาผลไม้ในอุณหภูมิที่ต่ำจนเกินไปจะทำให้เกิดอาการสะท้อนหนาวหรือ chilling injury (CI) Marangoni et al. (1996) รายงานว่า เมื่อพืชยังในอยู่ที่อุณหภูมิต่ำ พืชจะยังไม่แสดงอาการสะท้อนหนาว พืชจะแสดงอาการ CI ก็ต่อเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงช่วงอุณหภูมิที่ไม่ทำให้เกิดอาการสะท้อนหนาวโดยพบว่าเมื่อพืชถูกย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น รอยขีดที่เกิดจากการเกิดอาการสะท้อนหนาวจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยสามารถติดตามการเกิดอาการสะท้อนหนาวที่มีความสัมพันธ์กับการร่วงไหลของไอออน จากการศึกษาพบว่าเมื่อเกิดอาการสะท้อนหนาวแล้วกระบวนการจะย้อนกลับไม่ได้ Beckles (2012) Beckles (2012) รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลมะเขือเทศพันธุ์ 'Micro Tom' คือ $12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อเก็บรักษาผลมะเขือเทศที่อุณหภูมิต่ำกว่า $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำให้ผลมะเขือเทศส่วนใหญ่ถูกทำลายจากอาการสะท้อนหนาว และพบว่าปริมาณ TSS ในผลมะเขือเทศไม่เปลี่ยนแปลงแม้จะย้ายผลมะเขือเทศมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น Thomas and Oke (1983) ทดลองเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ 'Alphonso' ในระยะ pre-climacteric ที่อุณหภูมิ $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 วัน พบรอยขีดที่เนื้อผลอย่างชัดเจน แต่เมื่อค่อยๆ ปรับลดอุณหภูมิลง ในวันแรกที่ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ และวันที่ 2 ที่ $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าอายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงที่ $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ยาวนานขึ้น และเกิดรอยขีดน้อยลง อย่างไรก็ตาม เมื่อปรับอุณหภูมิกลับมาที่ $27-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าสีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ภายใน 3-4 วัน Medicott et al. (1990) ได้ทดลองเก็บรักษาผลมะม่วง 3 พันธุ์ ได้แก่ 'Amelie', 'Tommy Atkins' และ 'Keitt' ที่อุณหภูมิ $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 21 วัน พบว่าผลดิบสามารถทนความเย็นได้มากกว่าผลแก่ อย่างไรก็ตาม เมื่อนำผลดิบออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องพบว่าผลไม่สามารถสุกได้ ในขณะที่ผลแก่เกิดกระบวนการสุกช้าลง และแสดงอาการสะท้อนหนาว Xing et al. (2011) ศึกษาอาการสะท้อนหนาวของผลพริกหวานที่เคลือบด้วยฟิล์มบางไคโทซาน พบว่ามีการร่วงไหลของไอออนน้อยกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ Ali et al. (2011) ทดลองเก็บรักษาผลมะละกอบที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโทซานที่อุณหภูมิ $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 สัปดาห์พบว่าผลมะละกอบที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโทซานมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเป็นปกติ แตกต่างจากผลมะละกอบในชุดควบคุมที่การเปลี่ยนแปลงสีผิดปกติเนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน Hong et al. (2012) ทำการทดลองเคลือบผลฝรั่งด้วยสารละลายไคโท

ชานแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 11 °C เป็นเวลา 12 วัน ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ malondialdehyde (MDA) ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยา lipid peroxidation ในกระบวนการสลายเยื่อหุ้มเซลล์เมื่อผลเกิดการระคายเคือง พบว่าผลฝรั่งในชุดควบคุมมีปริมาณ malondialdehyde สูงกว่าผลฝรั่งที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโทซาน จึงสรุปได้ว่าการใช้สารละลายไคโทซานช่วยลดอาการระคายเคืองในผลฝรั่งได้ อย่างไรก็ตาม Wongmetha and Ke (2012) Wongmetha and Ke (2012) ทดลองใช้ 1-MCP และสารละลายไคโทซานในการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ 'Jinhwang' ที่อุณหภูมิ 10 °C พบว่าไม่สามารถลดการร่วงไหลของไอน้ำได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

2.5.7 การต้านทานโรคหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจากมอนอเมอร์ของไคโทซานมีหมู่อะมิโนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เมื่อไคโทซานอยู่ในรูปสารละลายจึงเกิดประจุบวกจำนวนมาก ไคโทซานจึงจัดเป็น polycationic polymer สมบัติการเป็น polycationic polymer ของไคโทซาน ทำให้ไคโทซานสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคได้ (Hirano and Nagao, 1989) Liu et al. (2006) รายงานว่าสารละลายไคโทซานมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* นอกจากนี้ไคโทซานยังมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา เช่น *Candida albicans*, *Fusarium solani* และ *Aspergillus niger* (Ing et al., 2012) การใช้สารละลายเคลือบผิวไคโทซานในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ยังช่วยลดการเกิดโรคแอนแทรกคโนส ซึ่งมีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (Jitareerat et al., 2007) นอกจากนี้ สมบัติการเป็นสาร elicitor ของไคโทซานสามารถกระตุ้นให้มีการทำงานของเอนไซม์ chitinase และ β -1,3-glucanase ซึ่งพืชใช้ในการต่อต้านการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราได้ (Arlorio et al., 1992; Bautista-Baños et al., 2006)

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 พืชทดลอง

ผลมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์เบอร์ 4 (*Mangifera indica* L. cv. 'Nam Dok Mai No. 4') จากสวนมะม่วงน้ำดอกไม้สำรววย อำเภอจตุรัส จังหวัดชัยภูมิ เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม 2557

3.2 วัสดุอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเคลือบผิวโคโทซาน

- ถังพลาสติกขนาด 10 ลิตร
- เครื่องกวนและใบกวน
- ตู้อุดควัน
- ถุงผ้าสำหรับกรองสารละลายโคโทซาน
- เครื่องชั่งสารความละเอียด 2 ตำแหน่ง

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารละลายเคลือบผิวโคโทซาน

- เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น LVDII+ (บริษัท Brookfield Engineering Laboratories, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- กล้องจุลทรรศน์ Atomic force microscope (AFM) รุ่น MFP-3D-BIO (บริษัท Asylum Research, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- กระจกสไลด์
- ปีกเกอร์สำหรับใช้วัดความหนืด

3.2.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาและศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วง

- ตะกร้าพลาสติกกรองพื้นด้วยกระดาษฟอย
- ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ
- เครื่องชั่งความละเอียด 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง
- ตู้เย็นอุณหภูมิ -80°C สำหรับเก็บรักษาตัวอย่างเนื้อเยื่อผลมะม่วง
- ถังเก็บไนโตรเจนเหลว
- เครื่องวัดความแน่นเนื้อ firmness tester รุ่น FHR-1 (บริษัท Nippon optical work, ประเทศญี่ปุ่น)
- เครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR-10 (บริษัท Konica Minolta, ประเทศญี่ปุ่น)
- เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ hand refractometer Atago รุ่น N-1E (บริษัท Atago, ประเทศญี่ปุ่น)
- บิวเรตขนาด 50 มล.
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง spectrophotometer รุ่น G1103A (บริษัท Agilent Technologies, ประเทศเยอรมนี)
- เครื่องปั่นเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ
- เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า SevenCompact™ conductivity รุ่น S230 (บริษัท Mettler-Toledo International, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- Gas chromatography (GC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC8a (บริษัท Shimadzu, ประเทศญี่ปุ่น)
- โถงบดตัวอย่าง

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเคลือบผิวโคโทซานและการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารละลายเคลือบผิวโคโทซาน

- โคโทซานเกล็ดสังข์ชื่อจากบริษัท A.N. Lab ประเทศไทย โดยมีความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล 3 ระดับ ได้แก่ โคโทซานน้ำหนักโมเลกุลโมเลกุลต่ำ (LM-CTS) = 65,000 ดาลตัน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (MM-CTS) = 240,000 ดาลตัน และน้ำหนักโมเลกุลสูง (HM-CTS) = 410,000 ดาลตัน และมีระดับการกำจัดหมู่ acetyl ไม่น้อยกว่า 80%
- Acetic acid (CH_3COOH)
- Tween-80[®]

3.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาและศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วง

3.3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

- Sodium hydroxide (NaOH)
- Phenolphthalein ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)

3.3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวัดปริมาณ H_2O_2 การวัดการทำงานของเอนไซม์ catalase, ascorbate peroxidase และ guaiacol peroxidase

- Potassium hydrogen phosphate (K_2HPO_4)
- Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4)
- Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)
- Hydrogen peroxide (H_2O_2)
- L (+)-ascorbic acid ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)
- Di-sodium ethylene diamine tetraacetate (Na_2EDTA)
- Trisma base ($\text{C}_4\text{H}_{11}\text{NO}_3$)
- Hydrochloric acid (HCL)
- Guaiacol ($\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_2$)

- Sodium acetate (CH_3COONa)
- Acetic acid (CH_3COOH)
- Bovine serum albumin (BSA)
- Bio-Rad protein assay
- Hydroxylamine (NH_2OH)
- Titanium III sulfate ($\text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3$)
- Sulfuric acid (H_2SO_4)

3.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

3.4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารละลายเคลือบผิวโคโทซาน

3.4.1.1 การเตรียมสารละลายโคโทซาน

เตรียมสารละลายโคโทซานความเข้มข้น 1.0% โดยมวลต่อปริมาตร โดยละลายโคโทซานในสารละลายกรดแอสिटิกความเข้มข้น 0.5% โดยปริมาตร กวนสารละลายต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิว Tween-80[®] ให้ได้ความเข้มข้น 0.1% โดยปริมาตร กวนสารละลายให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายโคโทซานมากรองด้วยถุงผ้าเพื่อแยกส่วนเจลที่ไม่ละลายออก จากนั้นพักสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดฟองอากาศขนาดเล็กที่เกิดขึ้นระหว่างการกวนสารละลายก่อนนำสารละลายโคโทซานไปใช้ สำหรับสารละลายโคโทซานที่เก็บรักษาเป็นเวลา 14 วันนั้นได้มีการเตรียมสารละลายไว้ล่วงหน้า 14 วันก่อนการเตรียมสารละลายแบบสดใหม่

3.4.1.2 ความหนืดของสารละลายโคโทซาน

ติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายโคโทซานโดยวัดความหนืดของสารละลายโคโทซานที่อุณหภูมิ 25°C ในวันที่ 0, 2, 5, 7, 12, 16, 20, 33, 43 และ 62 โดยใช้สารละลายโคโทซานชนิดละ 3 ตัวอย่าง

3.4.1.3 ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางโคโทซาน

ศึกษาความหนาและพื้นผิวของฟิล์มบางโคโทซานโดยใช้สารละลายโคโทซานที่เตรียมสดใหม่ จุ่มกระจกสไลด์สะอาดลงในสารละลายโคโทซานเป็นเวลา 1 นาที นำกระจกสไลด์ขึ้นผึ่งให้แห้ง จากนั้นตรวจสอบความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางโคโทซานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ AFM ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

3.4.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาสารละลายเคลือบผิวโคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้

นำผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่เป็นโรคและมีขนาดใกล้เคียงกันมาล้างด้วยน้ำประปาพักไว้ให้ผลแห้ง แล้วนำมาจุ่มในสารละลายโคโทซานเป็นเวลา 1 นาที นำผลมะม่วงน้ำดอกไม้ขึ้นมาพักไว้จนกระทั่งสารละลายเคลือบผิวแห้งสนิท จากนั้นบรรจุผลมะม่วงน้ำดอกไม้ลงในตะกร้าพลาสติกกรองพื้นด้วยกระดาษฟอยตะกร้าละ 3 ผล กำหนดให้ 1 ตะกร้าเป็น 1 ซ้ำ แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ และมีจำนวนชุดการทดลอง 8 ชุด ดังนี้

- Control ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในน้ำกลั่น
- 0.5% acetic acid ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายกรดแอซิติกความเข้มข้น 0.5% + 0.1% Tween-80[®]
- Freshly prepared LM-CTS ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายเคลือบผิวที่เตรียมจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 65,000 ดาลตัน ที่เตรียมสดใหม่
- 14 days stored LM-CTS ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายเคลือบผิวที่เตรียมจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 65,000 ดาลตัน ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน
- Freshly prepared MM-CTS ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายเคลือบผิวที่เตรียมจากโคโทซานน้ำหนัก

- โมเลกุล 240,000 ดาลตัน ที่เตรียมสดใหม่
- 14 days stored MM-CTS ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายเคลือบผิวที่เตรียมจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตัน ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน
 - Freshly prepared HM-CTS ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายเคลือบผิวที่เตรียมจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 410,000 ดาลตัน ที่เตรียมสดใหม่
 - 14 days stored HM-CTS ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายเคลือบผิวที่เตรียมจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 410,000 ดาลตัน ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน

เก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 15 วัน ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15 ของการเก็บรักษา ดังนี้

3.4.2.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

บันทึกน้ำหนักสดเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ติดตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้แต่ละชุดการทดลองในวันที่ 0, 12 และ 15 รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

3.4.2.2 ความแน่นเนื้อ

วัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อผลละ 3 ตำแหน่งที่ส่วนหัว กลาง และท้ายผล จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าตัวแทนของแต่ละผล

3.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงสีผล

ใช้เครื่องวัดสีวัดค่าความสว่างของเปลือกผล (ค่า L) และค่าสีผลหรือ hue angle (h) ผลละ 3 ตำแหน่งที่ส่วนหัว กลาง และท้ายผล คำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรเพื่อใช้เป็นค่าตัวแทนของแต่ละผล

3.4.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

นำเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้จากส่วนกลางผลน้ำหนัก 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มล. แล้วปั่นให้ละเอียด จากนั้นแบ่งน้ำมะม่วงปั่นใส่ Eppendorf tube นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำสารละลายส่วนใสมาวัดค่า TSS ด้วยเครื่อง hand refractometer นำค่า °Brix ที่วัดได้คูณกับค่า dilution factor = 2

3.4.2.5 ปริมาณกรด

นำเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้จากส่วนกลางผลน้ำหนัก 20 กรัม เติมน้ำกลั่น 20 มล. ปั่นให้ละเอียดแล้วนำของผสมทั้งหมดมาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตขึ้นอยู่กับระดับการสุกของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วและความแม่นยำในการไทเทรต เนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ยังไม่สุกมีปริมาณกรดสูงจะนำมาไทเทรตกับสารละลาย 0.5% NaOH เนื้อมะม่วงสุกมีปริมาณกรดน้อยจะนำมาไทเทรตกับสารละลาย 0.1% NaOH โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ รายงานปริมาณกรดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสด 1 กรัม (ดัดแปลงจาก Amador, 2011)

3.4.2.6 อัตราส่วนของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

TSS/TA ratio คิดจากการนำค่า TSS ของแต่ละชุดการทดลองหารด้วย TA เพื่อใช้ในการบ่งชี้ระดับความสุกและความหวานของผลโดยเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนที่คำนวณได้จากชุดควบคุม

3.4.2.7 ร้อยละของการเกิดโรค

Disease incidence วัดจากผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่จุดสีดำบนผลซึ่งเป็นอาการของโรคแอนแทรคโนส กำหนดให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีขนาดของรอยโรคเกิน 0.5 ซม. เป็นผลที่ติดโรค ชุดการทดลองที่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคสูงกว่า 30% จะถูกคัดออกจากการทดลอง

3.4.3 การศึกษาผลของการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายฟิล์มบางโคโชนาร่วมกับการเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

นำผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่เป็นโรค และมีขนาดใกล้เคียงกันมาล้างด้วยน้ำประปา พักไว้ให้ผลแห้ง แล้วนำมาจุ่มในสารละลายโคโชนาที่เตรียมสดใหม่เป็นเวลา 1 นาที นำผลมะม่วงน้ำดอกไม้ขึ้นมาพักไว้จนกระทั่งสารละลายเคลือบผิวแห้งสนิท จากนั้นบรรจุผลมะม่วงน้ำดอกไม้ลงในตะกร้าพลาสติกกรองพื้นด้วยกระดาษฟอยล์ตะกร้าละ 3 ผล กำหนดให้ 1 ตะกร้าเป็น 1 ซ้ำ แต่ละชุดการทดลองมี 4 ซ้ำ และมีจำนวนชุดการทดลอง 5 ชุด ดังนี้

- Control ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในน้ำกลั่น
- 0.5% acetic acid ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายกรดแอซิติกความเข้มข้น 0.5% + 0.1% Tween-80[®]
- LM-CTS ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายเคลือบผิวที่เตรียมจากโคโชนาน้ำหนักโมเลกุล 65,000 ดาลตัน
- MM-CTS ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลายเคลือบผิวที่เตรียมจากโคโชนาน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตัน

- HM-CTS

ผลมะม่วงน้ำดอกไม้จุ่มในสารละลาย
เคลือบผิวที่เตรียมจากโคโทซานน้ำหนัก
โมเลกุล 410,000 ดาลตัน

เก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วัน จากนั้น นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C และเก็บรักษาต่อไปจนถึงวันที่ 23 ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ดังนี้

3.4.3.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด ความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสีผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค ด้วยวิธีเดียวกันกับการศึกษาในข้อ 3.4.2

3.4.3.2 การร่วไหลของไอออน

นำเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้จากส่วนกลางผลมาตัดเป็นชิ้นด้วยใบมีดโกนให้มีขนาดชิ้นละ 0.3 x 0.3 x 1.5 ซม น้ำหนักรวมประมาณ 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดชมพูที่มีน้ำกลั่น 15 มล. ตั้งไว้ให้เกิดการร่วไหลของไอออนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง วัดค่าการนำไฟฟ้าแล้วนำไป autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 นาที พักสารละลายให้เย็นแล้วนำมาวัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้ง รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การร่วไหลของไอออน (ดัดแปลงจาก Parkin and Kuo, 1989)

3.4.3.3 อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

นำผลมะม่วงน้ำดอกไม้บรรจุลงในโหลแก้วปิดสนิท ปริมาตร 2.4 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างแก๊ส 10 มล. และนำไปวิเคราะห์ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนในห้องปฏิบัติการกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นำค่าปริมาณแก๊สมาคำนวณเป็นอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่อน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

3.4.3.4 ความเข้มข้นของ H_2O_2

วัดความเข้มข้นของ H_2O_2 ในเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยนำเนื้อมะม่วงน้ำหนัก 0.1 กรัม โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร จากการเกิดสีของปฏิกิริยาระหว่าง H_2O_2 และ titanium III sulfate (ดัดแปลงจาก Jana and Choudhuri, 1982)

3.4.3.5 การทำงานของเอนไซม์ CAT, APX และ GPX

วัดการทำงานของ CAT โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของการหายไปของ H_2O_2 ที่ความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร (ดัดแปลงจาก Beers and Sizer, 1952) วัดการทำงานของ APX โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของการหายไปของ H_2O_2 ที่ 290 นาโนเมตร (ดัดแปลงจาก Nakano and Asada, 1981) และวัดการทำงานของ GPX โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของการเกิด tetraguaiacol ที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร (ดัดแปลงจาก Chance and Maehly, 1995 อ้างถึงใน Ghamsari et al. 2007) หาค่า specific activity โดยการคำนวณเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมดในสารสกัดเอนไซม์

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ (การทดลองที่ 4.2) และ 4 ซ้ำ (การทดลองที่ 4.3) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลองและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) และ Independent-Sample T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง 4.3

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

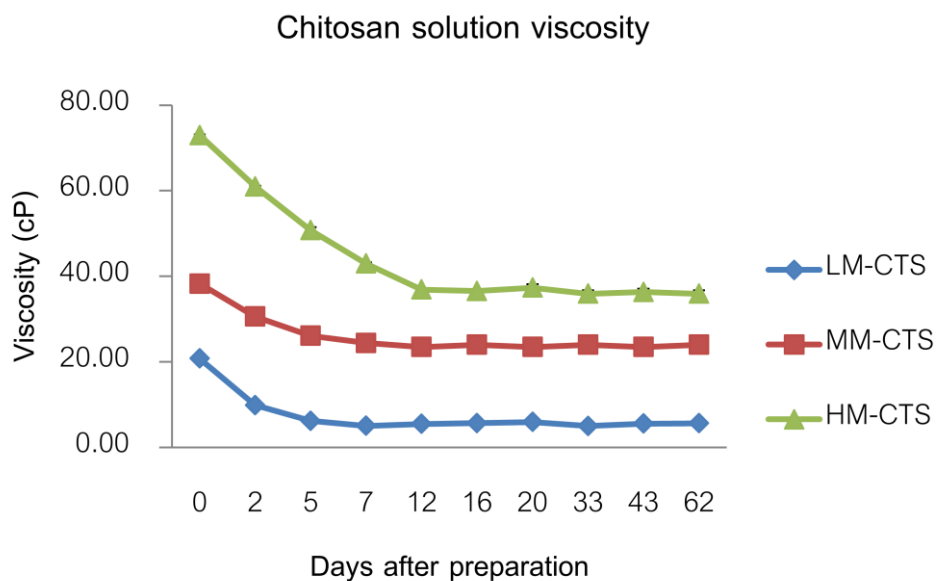
- ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยชีวภาพไคทิน-ไคโทซาน สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ห้องปฏิบัติการหน่วยปฏิบัติการวิจัยสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช ห้องปฏิบัติการกลาง และห้องเฝ้าควบคุมคุณภาพ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายเคลือบผิวไคโทซาน

4.1.1 ความหนืดของสารละลายไคโทซาน

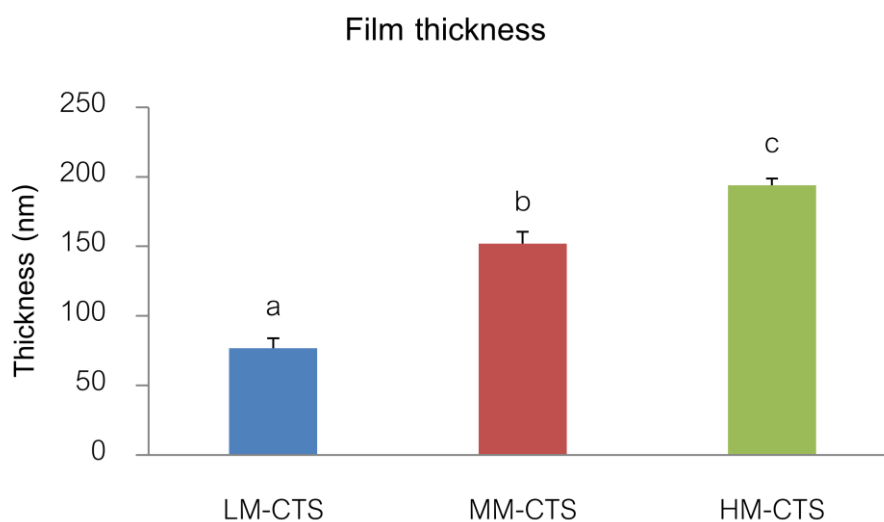
สารละลายไคโทซานทั้ง 3 ชนิดมีค่าความหนืดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลไคโทซาน ความหนืดของสารละลายไคโทซาน LM-CTS, MM-CTS และ HM-CTS ที่วัดได้ทันทีหลังจากเตรียมสารละลายเสร็จมีค่าเท่ากับ 20.77 cP, 38.27 cP และ 72.97 cP ตามลำดับ ในวันต่อมาความหนืดของสารละลายไคโทซานทั้ง 3 ชนิดลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเก็บรักษาสารละลายไคโทซานเป็นเวลานานกว่า 12 วันขึ้นไป พบว่าค่าความหนืดของสารละลายไคโทซานทั้ง 3 ชนิดเริ่มคงที่ (รูปที่ 4 - 1)



รูปที่ 4 - 1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายไคโทซาน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

4.1.2 ความหนาของฟิล์มบางโคโทซาน

เมื่อจุ่มกระจกสไลด์ลงในสารละลายโคโทซานเป็นเวลา 1 นาทีแล้วนำขึ้นมาฝั่งจนสารละลายโคโทซานแห้ง จะเกิดขึ้นฟิล์มบางโคโทซานเคลือบอยู่บนผิวกระจกสไลด์ จากการทดลองพบว่าความหนาของฟิล์มบางโคโทซานเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานที่เพิ่มขึ้น ฟิล์มบางจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 410,000 ดาลตันมีความหนามากที่สุดตามด้วยฟิล์มบางจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตัน และ 65,000 ดาลตันตามลำดับ (รูปที่ 4 - 2)

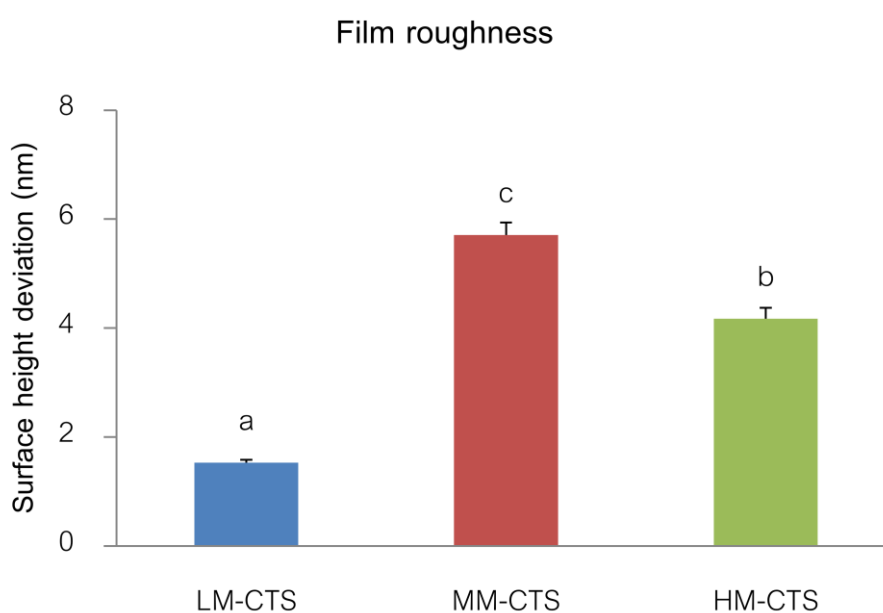


รูปที่ 4 - 2 ความหนาของฟิล์มบางโคโทซาน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางโคโทซาน

ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางโคโทซานมีระดับความหยาบ (roughness) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์ความหยาบของพื้นผิวฟิล์มบางโคโทซานพบว่าฟิล์มบางโคโทซานจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตันมีความหยาบมากที่สุด ในขณะที่ฟิล์มบางโคโทซานจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 65,000 ดาลตันมีความหยาบน้อยที่สุด (รูปที่ 4 - 3)



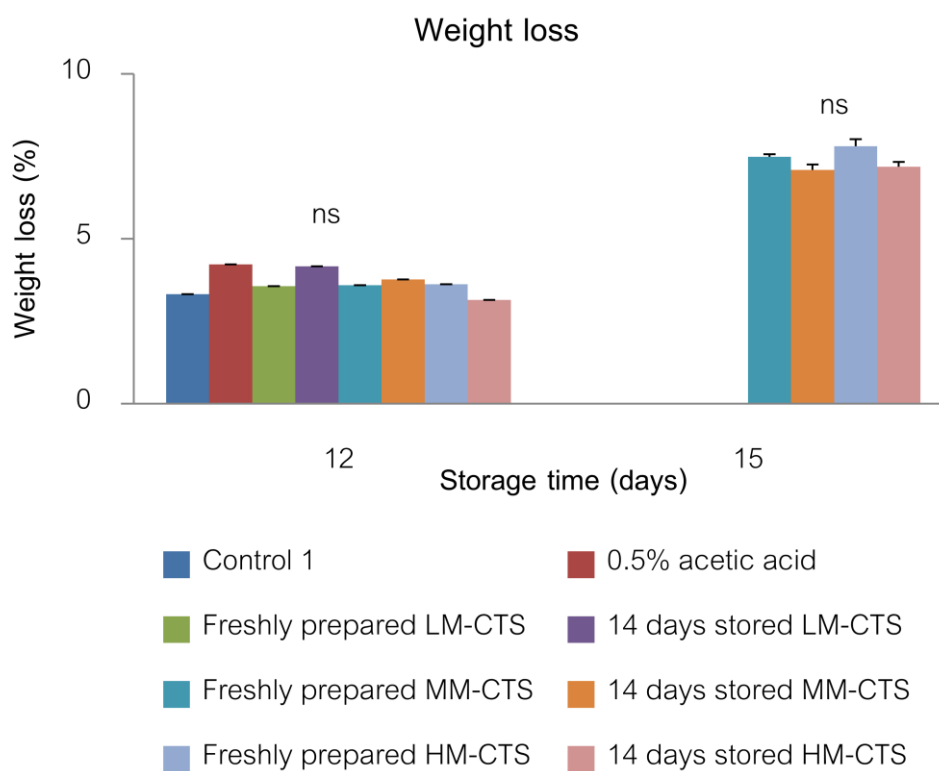
รูปที่ 4 - 3 ความหยาบของฟิล์มบางโคโทซาน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.2 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาสารละลายเคลือบผิวโคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้

4.2.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สูญเสียน้ำหนักสดมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลองทั้งในวันที่ 12 และวันที่ 15 ของการทดลอง ชุดการทดลองควบคุม, 0.5% acetic acid, freshly prepared LM-CTS และ 14 days stored LM-CTS มีอัตราการเกิดโรคมากกว่า 30% ในวันที่ 12 จึงไม่นำไปเก็บรักษาต่อจนถึงวันที่ 15 ของการทดลอง (รูปที่ 4 - 4)



รูปที่ 4 - 4 การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในวันที่ 12 และ 15 (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

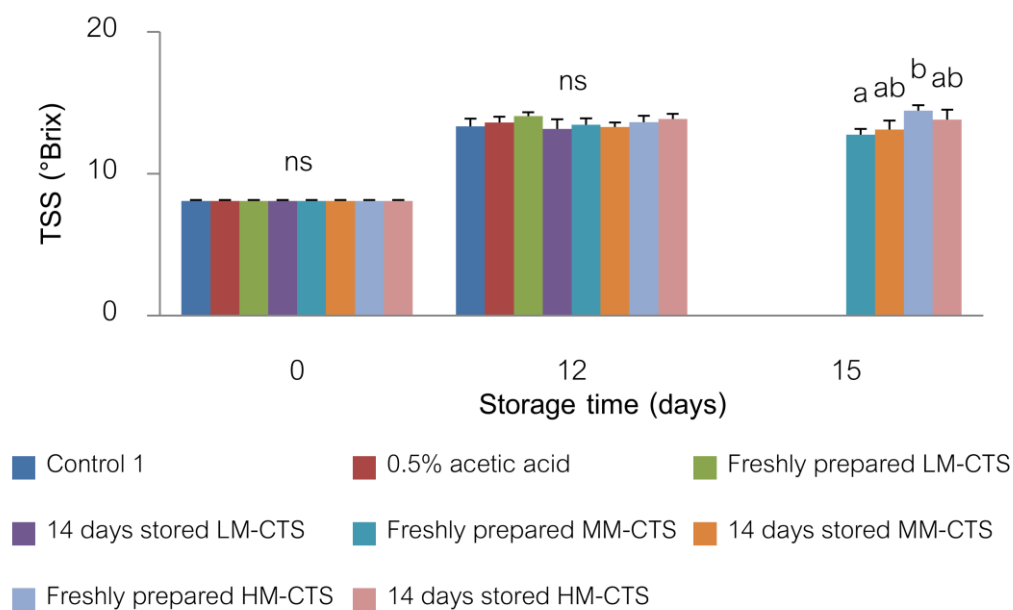
^{ns} not significantly different

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำหรือ total soluble solids (TSS) หมายถึงปริมาณของสารทุกชนิดในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่สามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากน้ำตาลเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่มีปริมาณมากที่สุดในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ จึงใช้ค่า TSS เป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณน้ำตาลในผลได้ จากการทดลองพบว่าเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มมากขึ้นแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 12 ในวันที่ 15 ของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง freshly prepared MM-CTS มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำน้อยที่สุดในขณะที่ชุดการทดลองที่เคลือบผลมะม่วงโดยใช้สารละลายไคโทซานน้ำหนักโมเลกุลสูงที่เตรียมสดใหม่มีค่า TSS สูงที่สุด (รูปที่ 4 - 8)



Total soluble solids



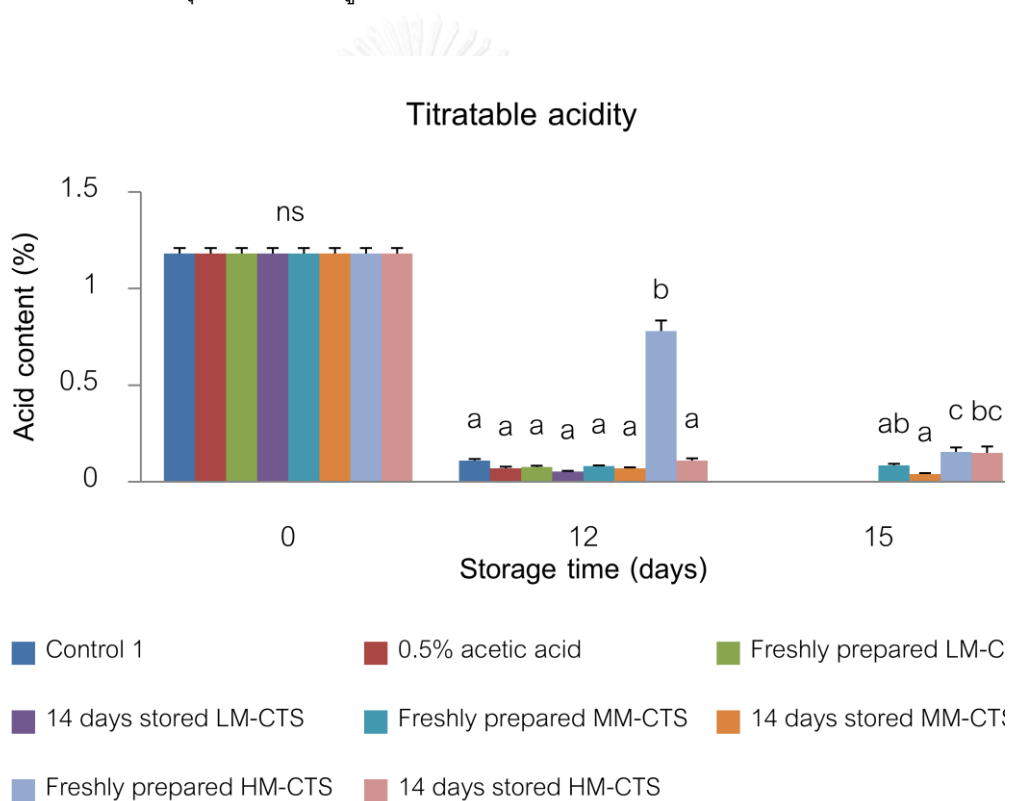
รูปที่ 4 - 8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด

เมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมากขึ้น กรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ จะสลายตัวทำให้ปริมาณกรดโดยรวมลดลง ในวันที่ 12 ของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลองอื่นๆ มีปริมาณกรดลดลงอย่างมาก ยกเว้นผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง freshly prepared HM-CTS มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity; TA) เท่ากับ 0.78% ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายโคโทซานน้ำหนักโมเลกุลสูงทั้ง 2 ชุดการทดลองยังคงมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าผลมะม่วงในชุดการทดลองที่ใช้โคโทซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (รูปที่ 4 - 9)



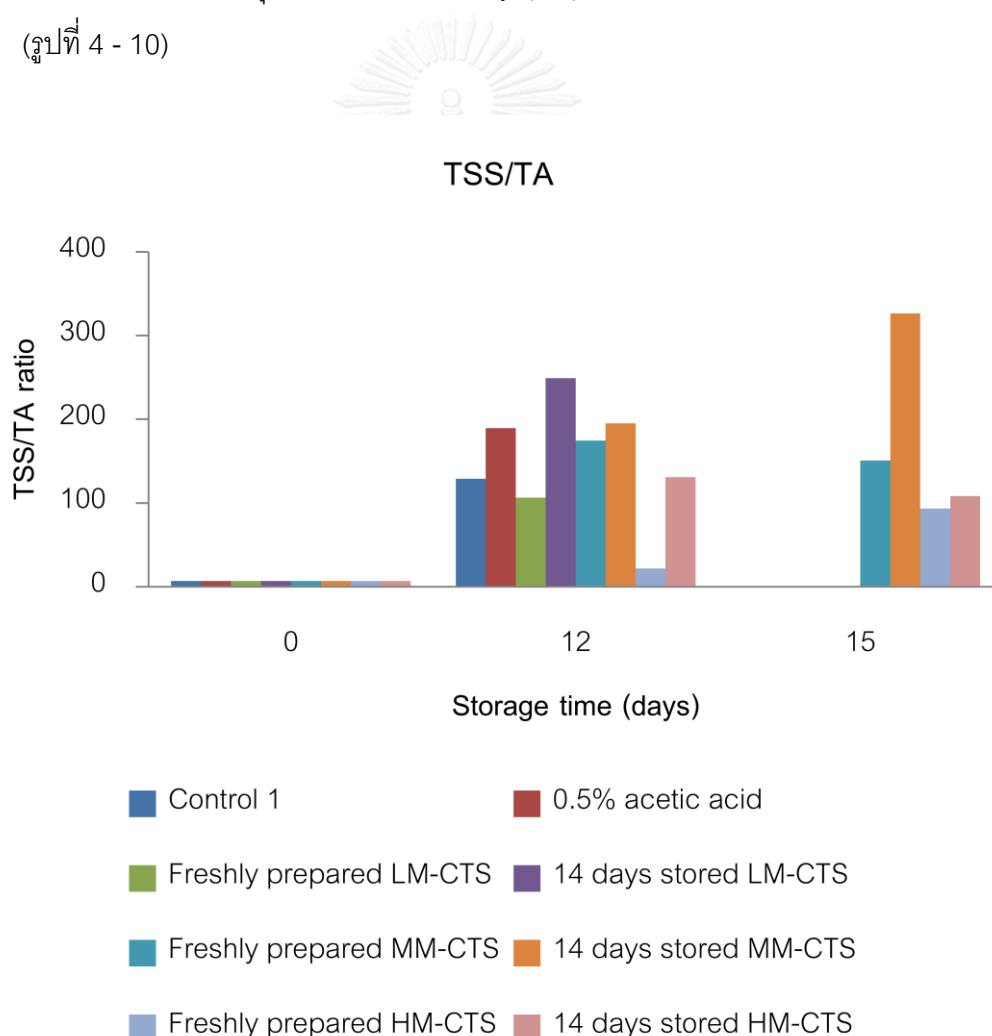
รูปที่ 4 - 9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.2.6 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

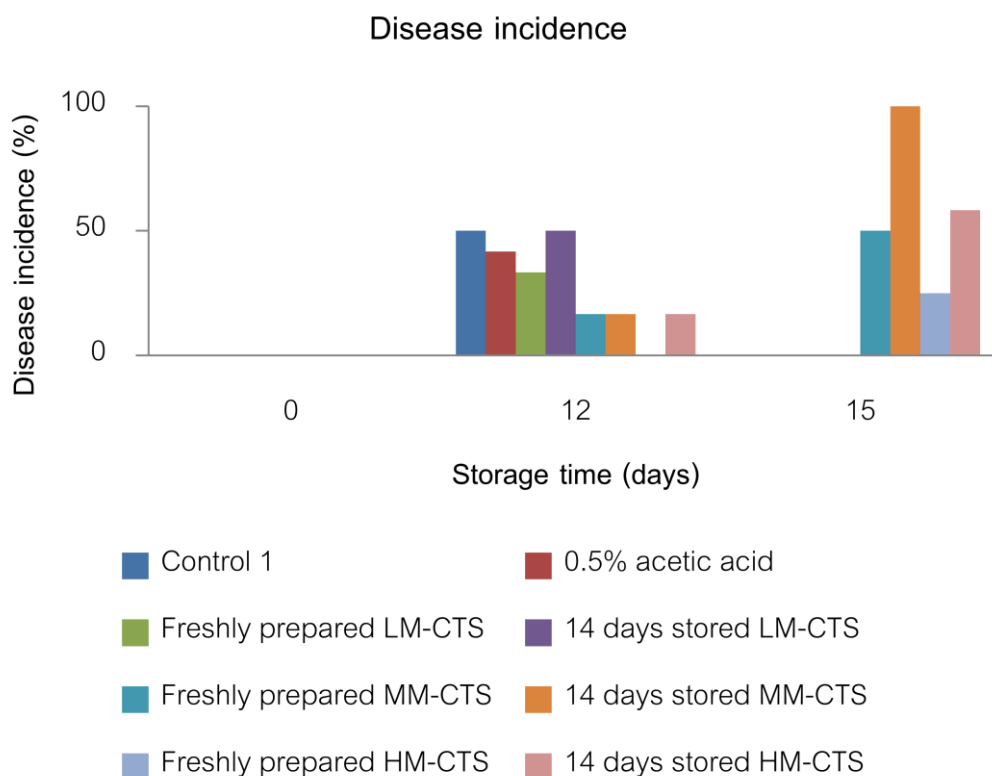
อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้หรือ TSS/TA ratio สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงระดับความหวานและความสุขของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีกว่าการใช้ค่า TSS เพียงค่าเดียว จากการทดลองพบว่าในวันที่ 12 ผลมะม่วงในชุดการทดลอง 14 days stored LM-CTS มีค่าอัตราส่วน TSS/TA สูงสุด รองลงมาคือผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง 14 days stored MM-CTS และผลมะม่วงที่เคลือบผลด้วยสารละลายกรดแอสติค 5% + 0.1% Tween 80[®] ตามลำดับ ในวันที่ 15 ของการทดลอง ผลมะม่วงในชุดการทดลอง 14 days stored LM-CTS มีค่า TSS/TA ratio สูงสุด ในขณะที่ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง Freshly prepared HM-CTS มีค่าอัตราส่วนน้อยที่สุด (รูปที่ 4 - 10)



รูปที่ 4 - 10 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

4.2.7 ร้อยละของการเกิดโรค

จากผลการทดลองพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ส่วนใหญ่จะเริ่มแสดงอาการของโรคแอนแทรกโนสโดยเริ่มต้นจากการเกิดจุดสีดำขนาดเล็กขึ้นบริเวณขั้วผลก่อนแล้วจึงแผ่ขยายบริเวณกว้างขึ้น และสามารถเกิดจุดซึ่งเป็นอาการของโรคเพิ่มที่ส่วนอื่นของผล ในวันที่ 12 ของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง 14 days stored LM-CTS มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเท่ากับผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดควบคุม ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลองที่ใช้ไคโทซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและน้ำหนักโมเลกุลสูงมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยกว่า 30% จึงไม่ถูกตัดออกจาก การทดลอง อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน ในวันที่ 15 ของการทดลองพบผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เป็นโรคจำนวนมาก โดยผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง 14 days stored MM-CTS เกิดรอยโรคทุกผล ถัดมาคือผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง 14 days stored HM-CTS เกิดโรค 58.33% ในขณะที่ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง Freshly prepared HM-CTS มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุด (รูปที่ 4 - 11)



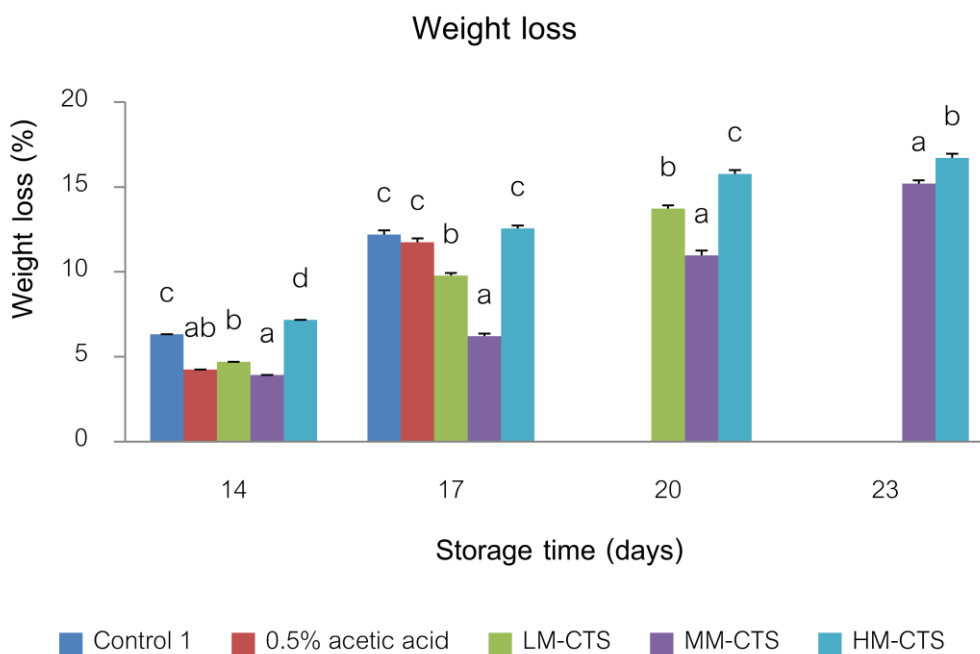
รูปที่ 4 - 11 ร้อยละของการเกิดโรคของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

4.3 ผลของการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายฟิล์มบางโคโทซานร่วมกับการรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

4.3.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

จากการทดลองพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง LM-CTS มีอายุการเก็บรักษา 20 วันนับตั้งแต่วันเริ่มต้นการทดลอง ในขณะที่ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดควบคุมและชุดการทดลอง 0.5% acetic acid มีอายุการเก็บรักษาต่อไปอีกเพียง 3 วันหลังจากเปลี่ยนอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้จาก 13 °C เป็น 25 °C ผลมะม่วงน้ำดอกไม้มีการสูญเสียน้ำหนักสดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วัน โดยผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS สูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด ในขณะที่ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง MM-CTS สูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดในวันที่ 20 ของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS สูญเสียน้ำหนักสด

มากที่สุด รองลงมาคือ LM-CTS และ MM-CTS ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสีย น้ำหนักสดเฉพาะชุดการทดลอง MM-CTS และ HM-CTS พบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุด การทดลอง MM-CTS มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าชุดการทดลอง HM-CTS อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 4 - 12)



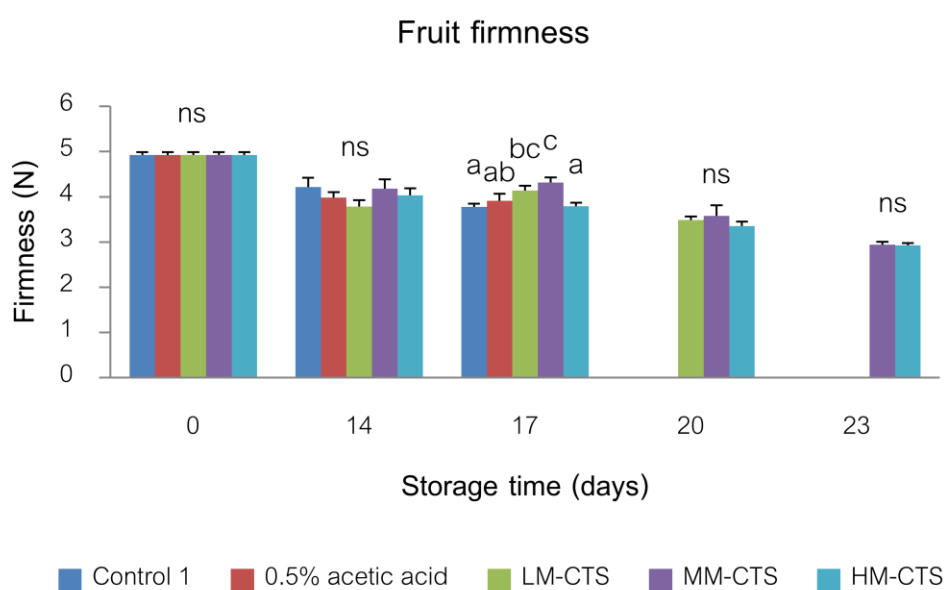
รูปที่ 4 - 12 การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.2 การสูญเสียความแน่นเนื้อ

ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ทุกชุดการทดลองมีความแน่นเนื้อลดลงตลอดระยะเวลาการทดลองโดยไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ยกเว้นในวันที่ 17 ของการทดลองพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง MM-CTS สามารถคงความแน่นเนื้อไว้ได้มากที่สุด ในขณะที่ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุด HM-CTS และชุดควบคุมมีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด (รูปที่ 4 - 13)



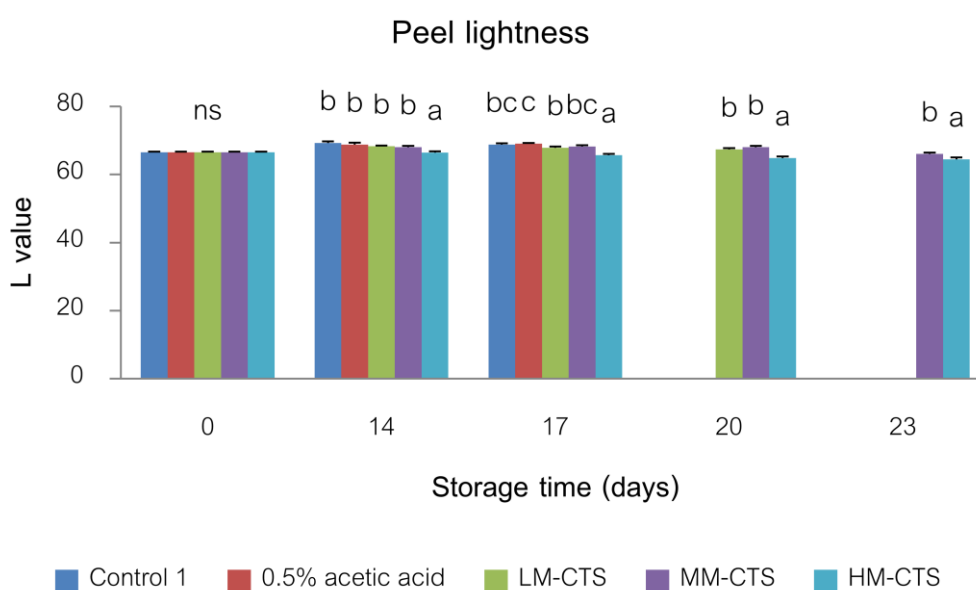
รูปที่ 4 - 13 การสูญเสียความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงสีผล

ความสว่างของสีเปลือกผลมะม่วงน้ำดอกไม้เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลสุกเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง อย่างไรก็ตามผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS มีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากสีเปลือกไม่ได้เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเหมือนผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกในชุดการทดลองอื่น ๆ และผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS คล้ำลงเล็กน้อย (รูป 4 - 14)

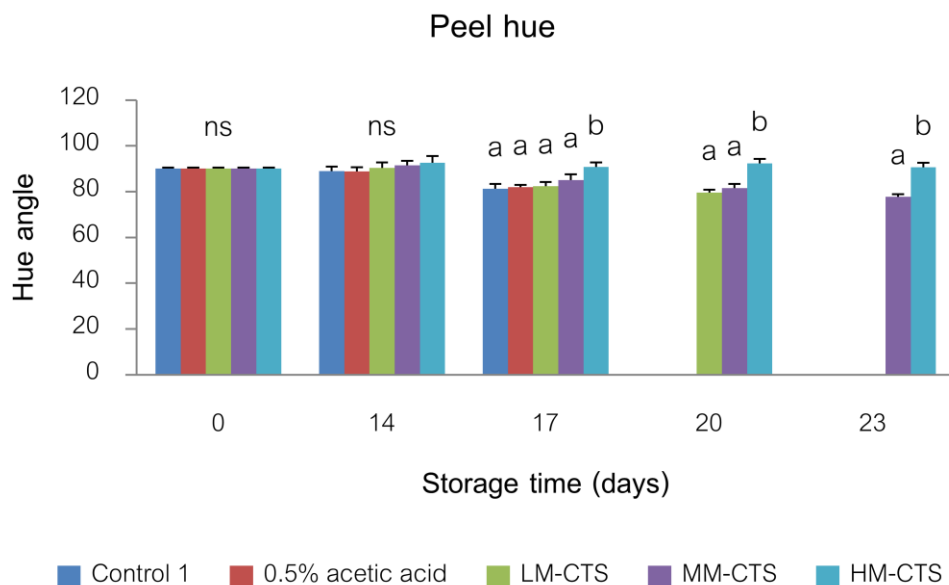


รูปที่ 4 - 14 การความสว่างเปลือกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า hue พบว่าค่า hue ที่ลดลงหมายถึงการเปลี่ยนสีผลจากสีเขียวเป็นสีเหลือง อย่างไรก็ตาม ค่า hue ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS ยังคงมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่า hue เมื่อเริ่มต้นการทดลองซึ่งหมายความว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS ยังคงมีเปลือกสีเขียว (รูปที่ 4 - 15)



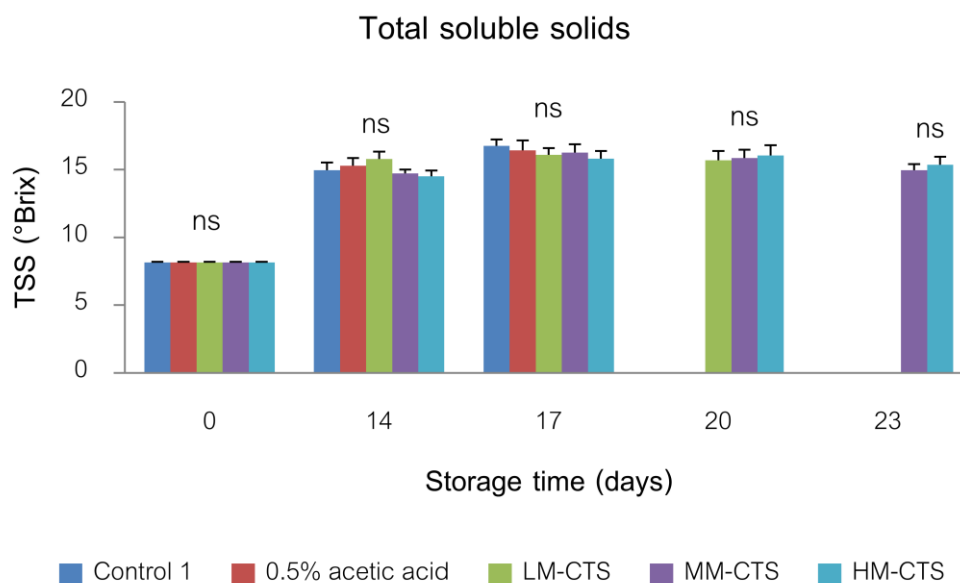
รูปที่ 4 - 15 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลายาวนานขึ้น แต่ไม่มีชุดการทดลองใดที่มีค่า TSS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4 - 16)



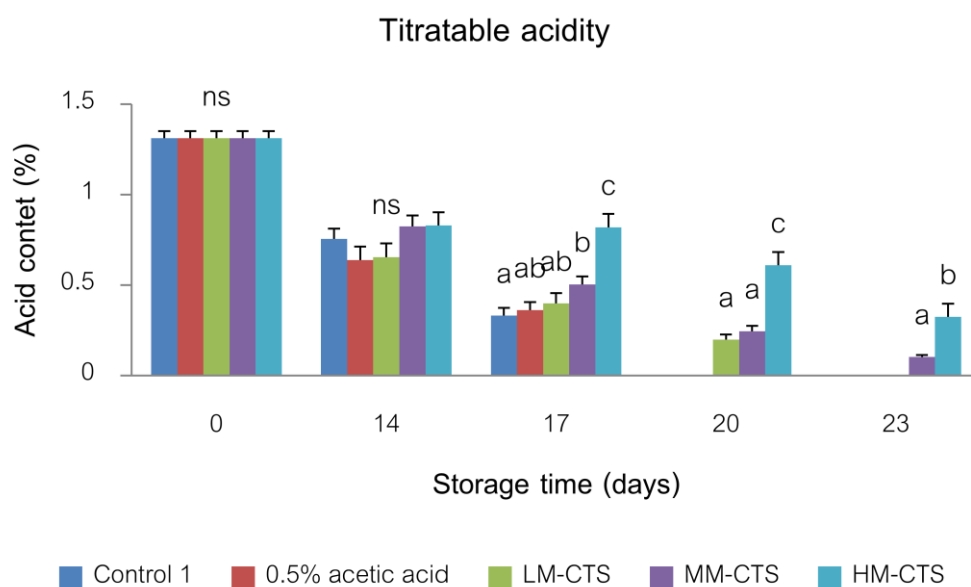
รูปที่ 4 - 16 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองลดลงมากกว่า 45% เมื่อผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันและเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณกรดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS สูงมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ และลดปริมาณลงช้ากว่าชุดการทดลองอื่นๆ ปริมาณกรดในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ชุดการทดลอง LM-CTS ไม่แตกต่างจากชุดการทดลอง 0.5% acetic acid อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 17 และไม่แตกต่างจากชุดการทดลอง MM-CTS ในวันที่ 20 ของการทดลอง (รูปที่ 4 - 17)



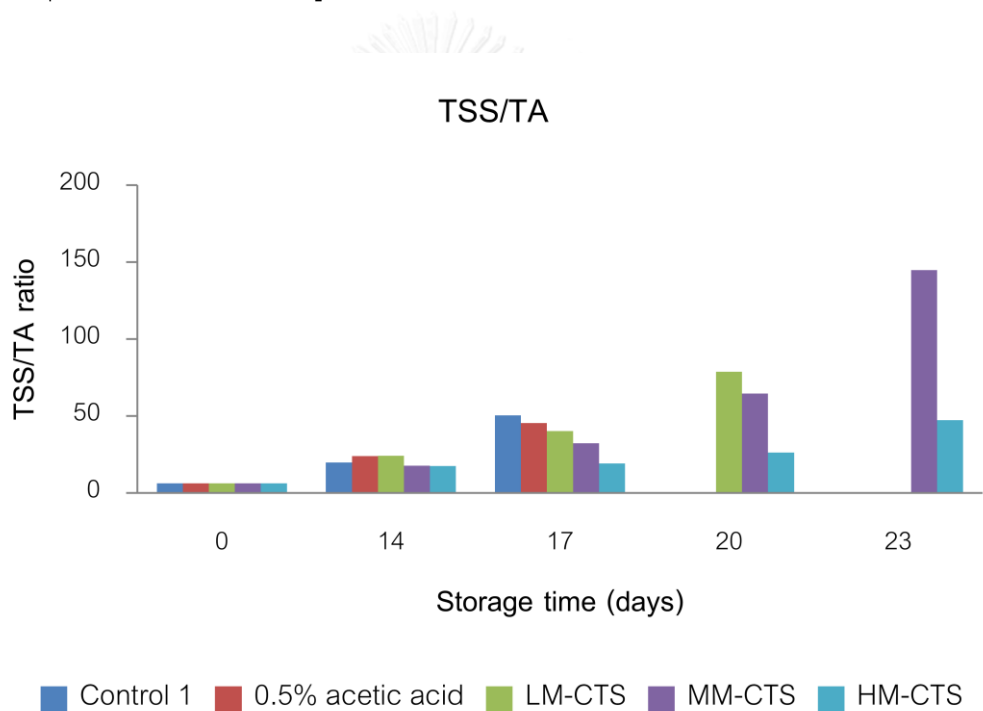
รูปที่ 4 - 17 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.6 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

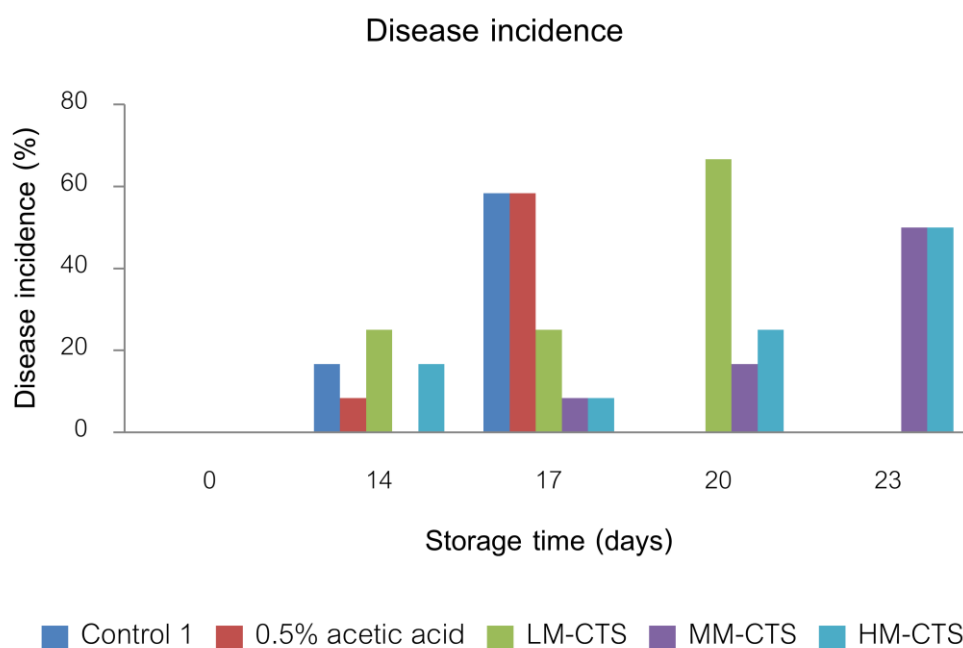
TSS/TA ratio ของทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษาเป็น 25 °C ในวันที่ 17 ของการทดลอง ชุดควบคุมมีอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดสูงสุด ถัดมาเป็น 0.5% acetic acid, LM-CTS, MM-CTS และ HM-CTS ตามลำดับ ในวันที่ 20 ของการทดลอง TSS/TA ratio ของชุดการทดลอง LM-CTS เพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาเป็นของชุดการทดลอง MM-CTS และ HM-CTS ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง TSS/TA ของชุดการทดลอง MM-CTS เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าชุดการทดลอง HM-CTS และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันสุดท้ายของการทดลอง (รูปที่ 4 - 18)



รูปที่ 4 - 18 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

4.3.7 ร้อยละของการเกิดโรค

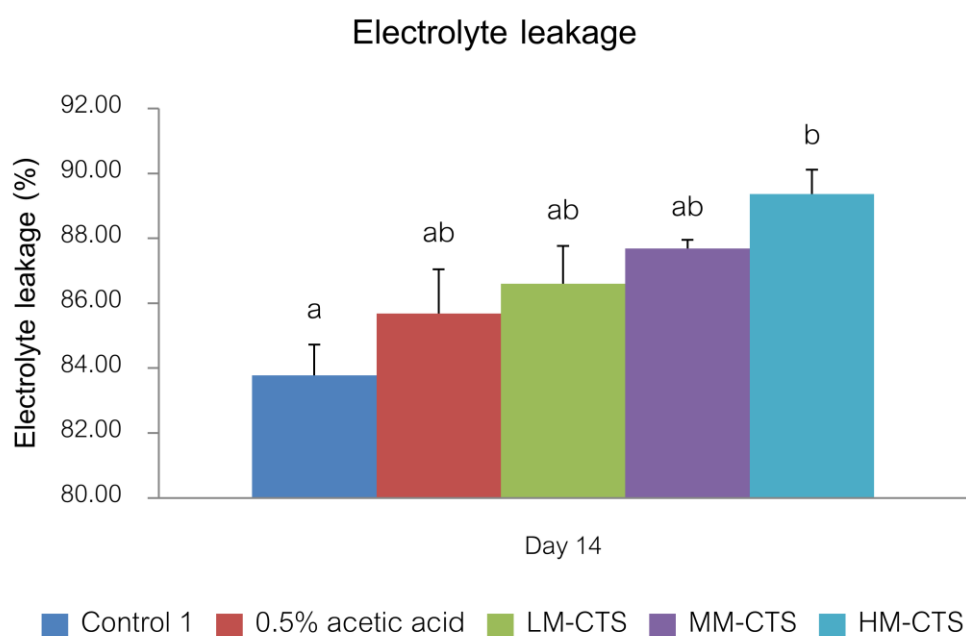
การเคลือบผลมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายไคโทซานร่วมกับการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันช่วยลดการเกิดโรคแอนแทรกโนสในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคลดต่ำกว่า 30% โดยเฉพาะชุดการทดลอง MM-CTS ไม่เกิดโรคในวันที่ 14 ของการทดลอง ในวันที่ 17 ของการทดลองพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทั้งชุดควบคุมและ 0.5% acetic acid มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคสูงเกิน 50% จึงถูกนำออกจากการทดลอง และในวันที่ 20 ของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง LM-CTS มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค สูงกว่า 60% จึงไม่สามารถเก็บรักษาต่อไปจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง MM-CTS และ HM-CTS มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเกิน 30% ในวันที่ 23 ของการทดลอง จึงกำหนดให้วันที่ 23 เป็นวันสุดท้ายของการทดลอง (รูปที่ 4 - 19)



รูปที่ 4 - 19 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

4.3.8 การรั่วไหลของไอออนหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C

เมื่อนำผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองมาวัดปริมาณการรั่วไหลของไอออนในวันที่ 14 ของการทดลอง พบว่าชุดการทดลอง HM-CTS มีการรั่วไหลของไอออนมากที่สุดในขณะที่ชุดควบคุมมีการรั่วไหลของไอออนน้อยที่สุดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง การรั่วไหลของไอออนเพิ่มมากขึ้นในชุดการทดลอง 0.5% acetic acid, LM-CTS และ MM-CTS ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4 - 20)

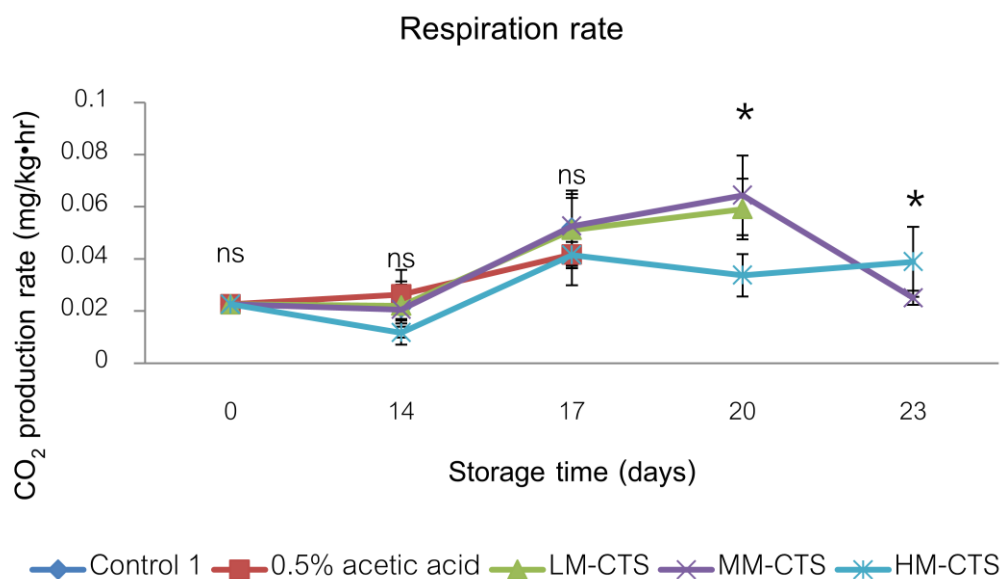


รูปที่ 4 - 20 การรั่วไหลของไอออนของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.9 อัตราการหายใจ

เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้จาก 13 °C เป็น 25 °C ในวันที่ 14 ของการทดลองพบว่าอัตราการหายใจในวันดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลงจากอัตราการหายใจเมื่อเริ่มการทดลองมากนัก ยกเว้นในชุดการทดลอง HM-CTS ที่มีอัตราการหายใจลดลง อัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นในวันที่ 17 ของการทดลองโดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 20 ของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง MM-CTS มีอัตราการหายใจสูงสุด ส่วนผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS มีอัตราการหายใจต่ำที่สุด ในวันสุดท้ายของการทดลอง อัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง MM-CTS ลดลงกว่า 60% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการหายใจในวันที่ 20 ของการทดลองและมีค่าต่ำกว่าอัตราการหายใจของชุดการทดลอง HM-CTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4 - 21)



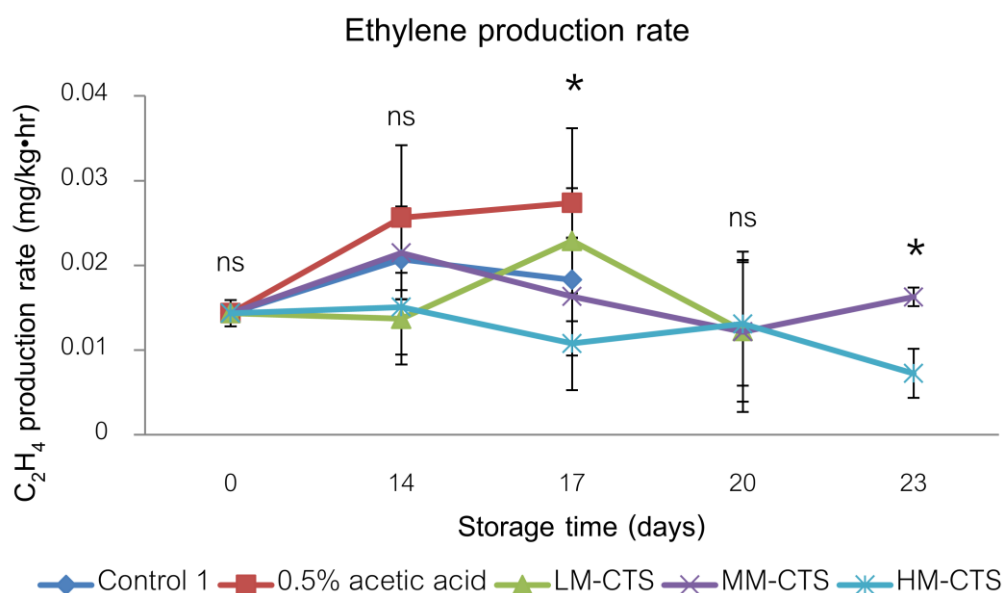
รูปที่ 4 - 21 อัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เครื่องหมาย * เหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.10 อัตราการผลิตเอทิลีน

อัตราการผลิตเอทิลีนของชุดควบคุม ชุดการทดลอง 0.5% acetic acid และ LM-CTS เพิ่มขึ้นในวันที่ 17 ของการทดลองเนื่องจากผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกโดยชุดการทดลอง 0.5% acetic acid มีการผลิตเอทิลีนสูงที่สุด อัตราการผลิตเอทิลีนในชุดการทดลอง MM-CTS และ HM-CTS ลดลงจากวันที่ 14 โดยผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS มีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อัตราการผลิตเอทิลีนของ MM-CTS อยู่ในระดับคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง และในวันสุดท้ายของการทดลอง อัตราการผลิตเอทิลีนของชุดการทดลอง HM-CTS มีค่าน้อยกว่าอัตราการผลิตเอทิลีนของ MM-CTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4 - 22)



รูปที่ 4 - 22 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

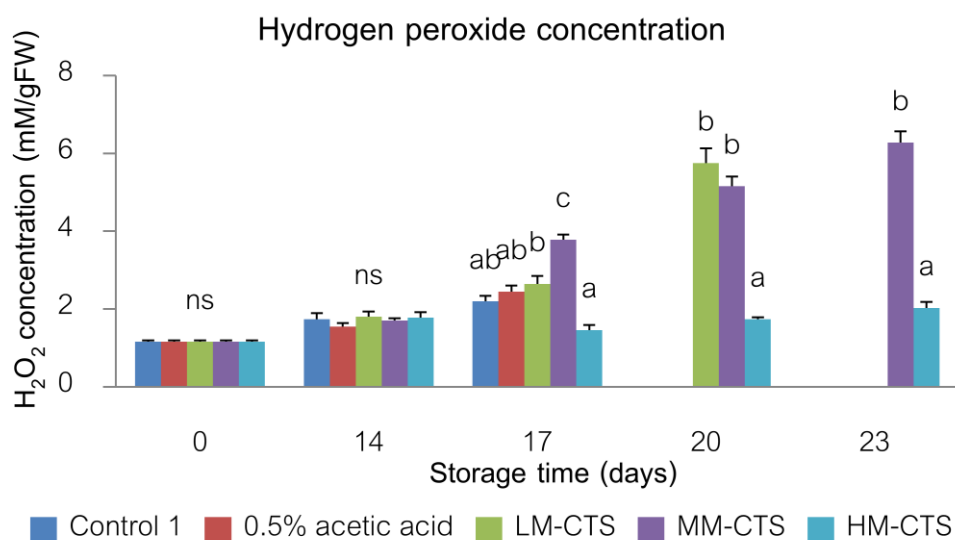
เครื่องหมาย * เหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อ

เปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.11 ปริมาณ H_2O_2

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองในวันที่ 14 เพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นเริ่มต้นเล็กน้อยและไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 17 ของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง MM-CTS มีความเข้มข้นของ H_2O_2 สูงที่สุด และเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ความเข้มข้นของ H_2O_2 ในชุดการทดลอง LM-CTS มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับชุดการทดลอง MM-CTS อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้น H_2O_2 ของชุดการทดลอง HM-CTS อยู่ในระดับต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 4 - 23)



รูปที่ 4 - 23 อัตราการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

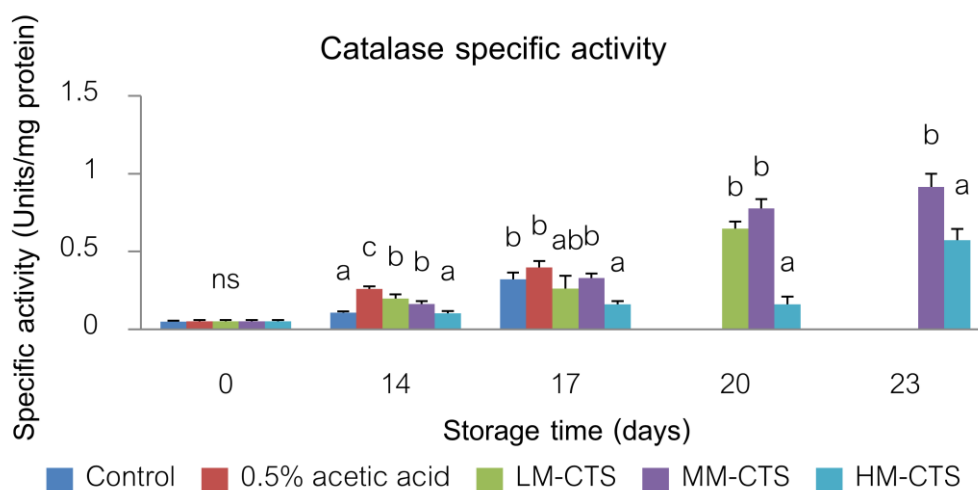
ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.12 การทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ

4.3.12.1 การทำงานของเอนไซม์ catalase

catalase (CAT) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัด H_2O_2 ที่มีการทำงานน้อยที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ การทำงานของ CAT มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเริ่มต้นการทดลอง เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 14 วันทำให้การทำงานของ CAT เพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 14 ชุดการทดลอง 0.5% acetic acid มีการทำงานของ CAT สูงสุด การทำงานของ CAT ในชุดการทดลอง LM-CTS และ MM-CTS เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในวันที่ 20 ของการทดลองมีการทำงานของเอนไซม์เพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้นการทดลองถึง 13 เท่า การทำงานของ CAT ในชุดการทดลอง HM-CTS เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงวันที่ 20 และเพิ่มสูงขึ้นกว่าวันเริ่มต้นการทดลอง 11 เท่าในวันที่ 23 ของการทดลอง อย่างไรก็ตาม ในวันสุดท้ายของการทดลอง การทำงานของ CAT ของชุดการทดลอง HM-CTS มีค่าต่ำกว่าของชุดการทดลอง MM-CTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4 - 24)



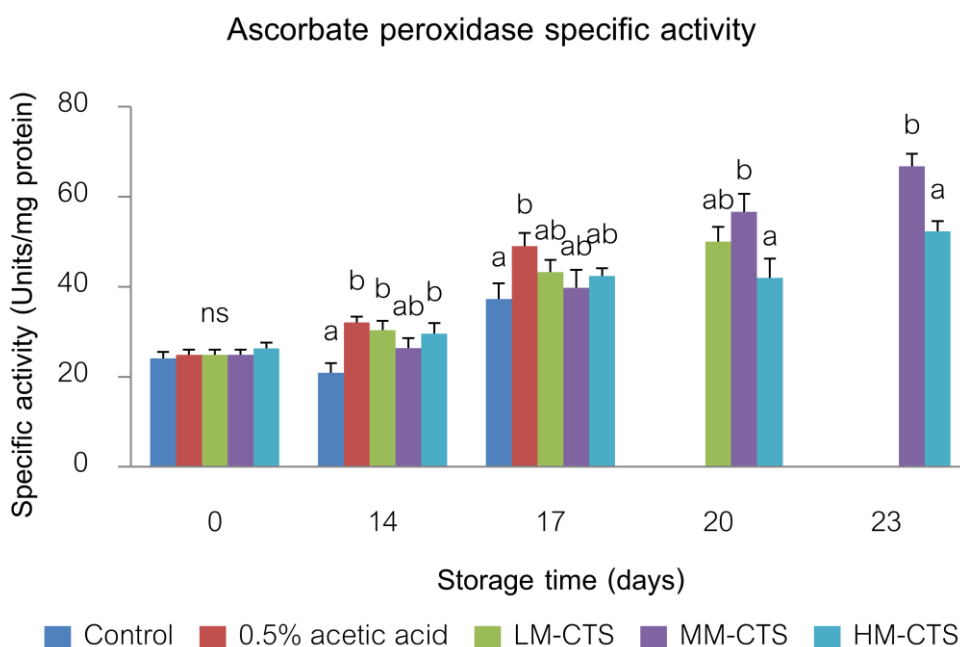
รูปที่ 4 - 24 การทำงานของเอนไซม์ catalase ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.12.2 การทำงานของเอนไซม์ ascorbate peroxidase

ascorbate peroxidase (APX) มีความสามารถในการกำจัด H_2O_2 สูงสุดในการศึกษาในครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า specific activity กับเอนไซม์กำจัดอนุมูลอิสระชนิดอื่น ๆ เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นเวลายาวนานขึ้นพบว่ามีการทำงานของ APX เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในวันที่ 17 ของการทดลอง การทำงานของ APX ในชุดการทดลอง 0.5% acetic acid มีค่าสูงที่สุด การทำงานของ APX ในชุดการทดลอง MM-CTS มีค่าสูงที่สุดในวันที่ 20 รองลงมาคือชุดการทดลอง LM-CTS และ HM-CTS ตามลำดับ ในวันที่สุดท้ายของการทดลอง MM-CTS มีการทำงานของ APX เพิ่มขึ้นที่สุดและสูงกว่าชุดการทดลอง HM-CTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4 - 25)



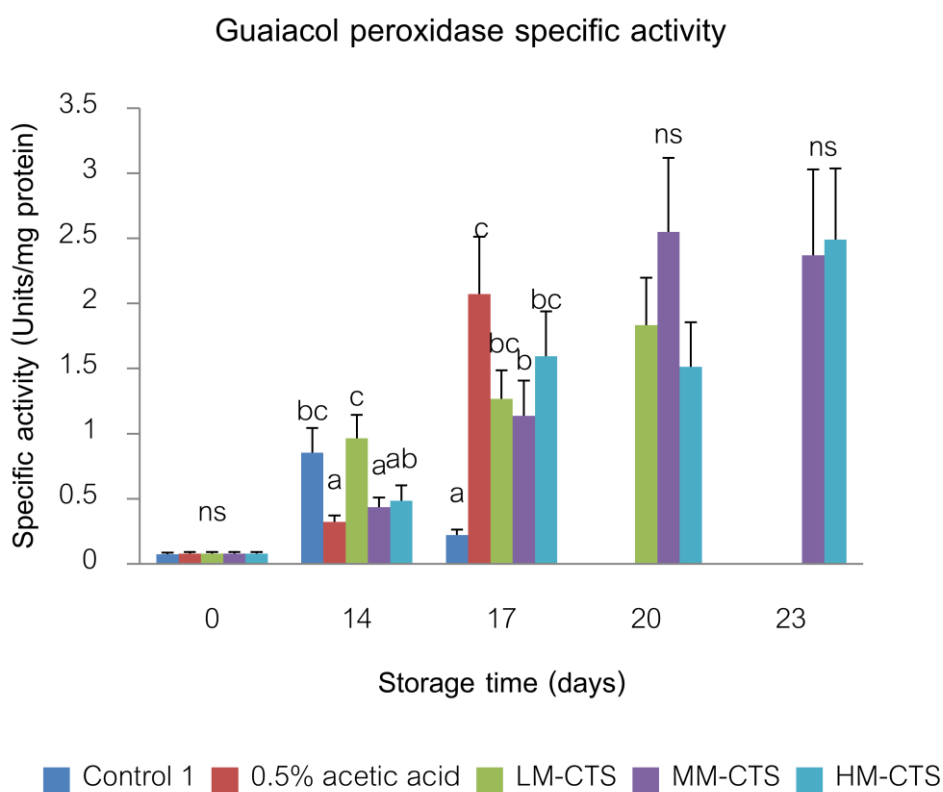
รูปที่ 4 - 25 การทำงานของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

4.3.12.3 การทำงานของเอนไซม์ guaiacol peroxidase

guaiacol peroxidase (GPX) มีการทำงานน้อยมากเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้ยังไม่สุก หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วัน GPX มีการทำงานเพิ่มมากขึ้น โดยการทำงานของ GPX ในชุดการทดลอง LM-CTS มีค่ามากที่สุด ในวันที่ 17 ชุดการทดลอง 0.5% acetic acid มีการทำงานของ GPX มากที่สุด อย่างไรก็ตาม การทำงานของ GPX ในวันที่ 20 และ 23 ของการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (รูปที่ 4 - 26)



รูปที่ 4 - 26 การทำงานของเอนไซม์ guaiacol peroxidase ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23 (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือความต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different

บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง

5.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายเคลือบผิวโคโทซาน

5.1.1 ความหนืดของสารละลายโคโทซาน

โคโทซานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นโคโทซานที่เตรียมจากเปลือกกุ้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน สารละลายโคโทซาน LM-CTS เตรียมจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 65,000 ดาลตัน สารละลายโคโทซาน MM-CTS เตรียมจากโคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตัน และสารละลายโคโทซาน HM-CTS เตรียมจากโคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 410,000 ดาลตัน ความหนืดของสารละลายโคโทซานแปรผันตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซาน สอดคล้องกับการศึกษาของ Badawy and Rabea (2009)

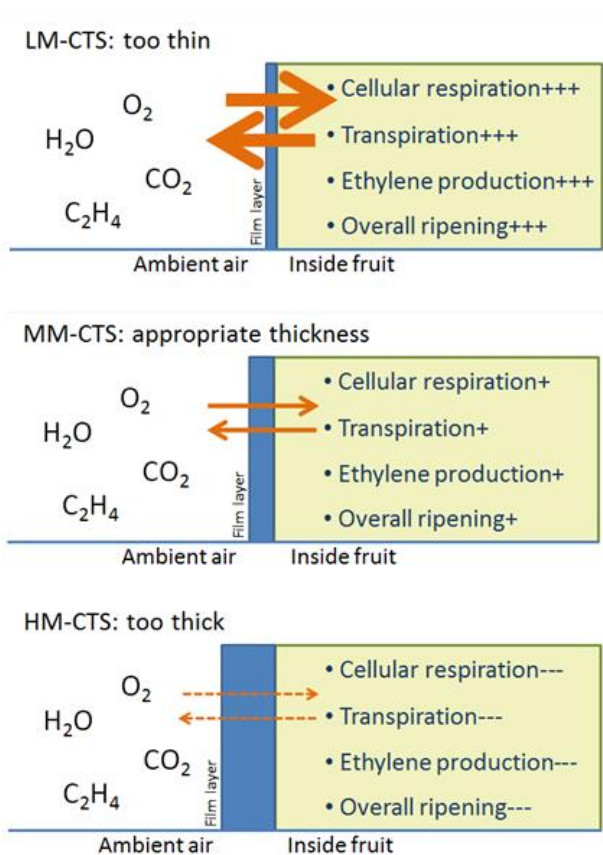
จากการทดลองติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายโคโทซานเป็นเวลา 62 วันพบว่าความหนืดของสารละลายโคโทซานลดลงอย่างต่อเนื่องและความหนืดของสารละลายโคโทซานทั้ง 3 ชนิดเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 12 ของการทดลองเป็นต้นไป (รูปที่ 4 - 1) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นสมบัติเฉพาะตัวของ Non-Newtonian fluid กล่าวคือ ความหนืดของสารละลายโคโทซานจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากเตรียมสารละลายเสร็จ หลังจากนั้นความหนืดของสารละลายโคโทซานจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งความหนืดของสารละลายโคโทซานไม่เปลี่ยนแปลง (El-Hefian and Yahaya, 2010)

5.1.2 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางโคโทซาน

เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานเพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของสารละลายโคโทซานเพิ่มขึ้นและทำให้ได้ฟิล์มบางที่มีความหนาเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4 - 2) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ (Yan et al., 2001; Badawy and Rabea, 2009) การศึกษาครั้งนี้ใช้กระจกสไลด์เป็นพื้นผิวสำหรับการเคลือบฟิล์มบางโคโทซาน (support) เนื่องจากเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางโคโทซานต้องการ support ที่มีความแข็งและแห้ง นอกจากนี้พื้นผิวของกระจกสไลด์แสดงลักษณะไม่ชอบน้ำ ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับผิวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ จึงต้องมีการใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อทำให้สารละลายโคโทซานเคลือบติดผิวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีขึ้น

จากการศึกษาที่มีการใช้สารละลายโคโทซานเคลือบผิวของผลไม้หลายชนิดเช่น แก้วมังกร (Ali et al., 2013) ฝรั่ง (Hong et al., 2012) มะละกอ (Ali et al., 2011) เป็นต้น ล้วนมีการใช้สารลดแรงตึงผิวหลายชนิดที่ไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภคในการลดแรงตึงผิวระหว่างสารละลายโคโทซานและผิวของผลไม้ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีการเติมสารลดแรงตึงผิว tween-80[®] คิดเป็น 0.1% (v/v) ในส่วนผสมของสารละลายเคลือบผิวโคโทซาน

พื้นผิวของฟิล์มบางโคโทซานแต่ละชนิดมีความหยาบแตกต่างกัน Yan et al. (2001) รายงานว่าลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางโคโทซานที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันเนื่องจากการใช้โคโทซานน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน เมื่อพิจารณาความหนาของฟิล์มบางควบคู่กับความหยาบของพื้นผิวฟิล์มบางโคโทซาน (ภาคผนวก รูปที่ 5, 6) จึงมีความเป็นไปได้ว่านอกเหนือจากสมบัติของโคโทซานในการเป็น elicitor ของพืชแล้วลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางโคโทซานน่าจะมีผลต่อการผ่านเข้า-ออกของแก๊สด้วย โดยสามารถอธิบายด้วยแบบจำลองผลของความหนาของฟิล์มบางโคโทซานบนผลมะม่วงน้ำดอกไม้ต่อการแพร่เข้า-ออกของแก๊ส O_2 , CO_2 , C_2H_4 และ H_2O (รูปที่ 5 - 1) เมื่อพิจารณาอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS ที่มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ความหนาที่มากกว่าและพื้นผิวที่มีความเรียบกว่าของฟิล์มบาง HM-CTS เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง MM-CTS น่าจะทำให้การแพร่เข้าของออกซิเจนซึ่งเป็นแก๊สที่ใช้ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์และยังใช้เป็น substrate ของเอนไซม์ ACC oxidase ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน (Argueso et al., 2007) มีปริมาณลดลง ทำให้อัตราการผลิตเอทิลีนลดลง และฟิล์มบางยังอาจจะทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวางในการจับของเอทิลีนกับตัวรับเอทิลีนบนผิวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในระหว่างกระบวนการ ethylene autocatalytic synthesis (Bapat et al., 2010) ส่งผลให้อัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ และทำให้กระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ผิดปกติ ทั้งนี้ไม่สามารถค้นหาวางานวิจัยเทียบเคียงที่มีการศึกษาเกี่ยวข้องกับปัจจัยดังกล่าวได้ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาผลของลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางโคโทซานต่อกระบวนการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่อไปในอนาคต



รูปที่ 5 - 1 แบบจำลองผลของความหนาของฟิล์มไคโทซานบนผิวของมะม่วงน้ำดอกไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ การคายน้ำ การผลิตเอทิลีน และการสุกโดยรวมของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

5.2 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาสารละลายเคลือบผิวไคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้

5.2.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้มีสาเหตุเกิดจากการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายน้ำ การใช้น้ำในปฏิกิริยา Hydrolysis ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ การย่อยสลายแป้งและน้ำตาลเพื่อให้พลังงานแก่เซลล์ (Bautista-Baños et al., 2006) เมื่อเซลล์มีเมตาบอลิซึมสูงหมายความว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดย่อมสูงตามไปด้วย จากการทดลองพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้สูญเสียน้ำหนักสดมากขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างของการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการทดลอง แสดงว่าการใช้สารละลายไคโทซานชนิดต่างๆ เคลือบผลมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีการรักษาน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C (รูปที่ 4 - 4)

5.2.2 การสูญเสียความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันในวันที่ 12 ของการทดลอง (รูปที่ 4 - 5) โดยผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เคลือบผลด้วยสารละลายโคโทซาน LM-CTS และ HM-CTS ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วันมีความแน่นเนื้อต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้สารละลายโคโทซานที่เตรียมสดใหม่อย่างชัดเจน จึงมีความเป็นไปได้ว่าสารละลายโคโทซานที่เก็บรักษาเป็นเวลานานนอกจากจะมีความหนืดที่ลดลงแล้วอาจสูญเสียคุณสมบัติของการเป็น elicitor ที่ส่งผลต่อการยับยั้งกระบวนการย่อยสลายของคัพระกอบของผนังเซลล์ระหว่างการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ ทำให้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ลดลง

5.2.3 การเปลี่ยนแปลงสีผล

ระยะเวลาในการเก็บรักษาสารละลายโคโทซานไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีผลของมะม่วงน้ำดอกไม้ แต่น้ำหนักโมเลกุลของโคโทซาน HM-CTS ส่งผลให้ความสว่างของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ลดลง และยังทำให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่สามารถเปลี่ยนสีผลเป็นสีเหลืองได้ตามปกติ (รูปที่ 4 - 6 และ 4 - 7) แสดงว่าการใช้สารละลายโคโทซานน้ำหนักโมเลกุลสูงไปรบกวนกระบวนการเปลี่ยนสีของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ แม้ว่าจะยังไม่มีการศึกษาถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเกี่ยวกับผลของความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานต่อการเปลี่ยนสีเปลือกของผลไม้ แต่มีงานวิจัยที่มีผลการทดลองใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ การศึกษาของ Ali et al. (2011) ได้ใช้โคโทซานที่เตรียมจากเปลือกกุ้งที่หาได้ในท้องถิ่น (ไม่ได้รายงานน้ำหนักโมเลกุล) นำมาละลายได้สารละลายโคโทซานความเข้มข้น 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% เมื่อนำมาเคลือบผลมะละกอดิบพันธุ์ 'Eksoitika II' แล้วติดตามการเปลี่ยนแปลงสีผลมะละกอภายในเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโคโทซานเพิ่มขึ้น ผลมะละกอดิบดังกล่าวมีความสว่างของเปลือกลดลงและแนวโน้มเปลี่ยนสีผลจากสีเขียวเป็นสีเหลืองน้อยลง ผลมะละกอที่เคลือบด้วยสารละลายโคโทซานความเข้มข้น 2.0% มีสีผลคล้ำมากขึ้นแตกต่างจากการใช้สารละลายโคโทซานความเข้มข้นที่ต่ำกว่าอย่างชัดเจนและยังคงมีเปลือกสีเขียวตลอดระยะเวลาการทดลอง

5.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 12 ของการทดลอง (รูปที่ 4 - 8) อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 15 ของการทดลอง ผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นในชุดการทดลอง Freshly prepared MM-CTS มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำน้อยที่สุดในขณะที่ TSS ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นในชุดการทดลอง 14 days prepared MM-CTS และ 14 days stored HM-CTS สูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้สารละลาย Freshly prepared MM-CTS และ TSS ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นในชุดการทดลอง Freshly prepared HM-CTS มีค่าสูงที่สุด จึงสรุปได้ว่าสารละลาย MM-CTS ที่เตรียมสดใหม่มีความเหมาะสมที่สุดในการชะลอการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นเนื่องจากสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลได้ดีที่สุด

5.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ปริมาณกรดของชุดการทดลอง Freshly prepared HM-CTS สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4 - 9) เนื่องจากผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นในชุดการทดลองดังกล่าวไม่สุก การศึกษาของ Jitareerat et al. (2007) ได้ใช้สารละลายโคโทซานความเข้มข้น 1% ที่เตรียมจากโคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 350,000 ดาลตัน ในการเคลือบผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นแล้วทำการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นเป็นเวลา 10 วัน พบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นอยู่ในระดับสูงมากเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้สารละลายกรดแอสซิติค 0.5% แสดงว่าการใช้สารละลายโคโทซานที่เตรียมจากโคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (410,000 ดาลตัน) ไปขัดขวางกระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้น ทำให้กรดอินทรีย์ภายในผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นสลายตัวช้าลง

5.2.6 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

TSS/TA ratio สามารถใช้บ่งชี้ระดับความหวานและความสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นได้ แม้ยากกว่าการใช้ค่า TSS เนื่องจาก TSS สะท้อนผลรวมของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้น Beckles (2012) รายงานว่าค่า TSS ที่วัดได้ในผลมะเขือเทศมาจากองค์ประกอบของน้ำตาลทุกชนิด 65%, กรดทุกชนิด 13% และองค์ประกอบอื่นๆ การหารค่า TSS ด้วย TA จึงเป็นการลดความคลาดเคลื่อนของค่า TSS ที่เกิดจากปริมาณกรด จากผลการทดลอง แสดงความแตกต่างชัดเจนว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้นั้นในชุดการทดลองที่ใช้สารละลายโคโทซานที่ผ่าน

การเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วันมีค่า TSS/TA ratio สูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้สารละลายโคโทซานที่เตรียมสดใหม่ (รูปที่ 4 - 10) หมายความว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมากขึ้นและมีการสลายแป้งเป็นน้ำตาลในปริมาณมาก จึงสรุปได้ว่าการใช้สารละลายโคโทซานที่เตรียมสดใหม่สามารถชะลอการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีกว่าสารละลายโคโทซานที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน

5.2.7 ร้อยละของการเกิดโรค

จากการทดลองพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เคลือบด้วยสารละลายโคโทซานที่เตรียมสดใหม่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรคโนสน้อยกว่าชุดควบคุมเนื่องจากสารละลายโคโทซานสามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides* ได้ (รูปที่ 4 - 11) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jitareerat et al. (2007) ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ และผลการศึกษาของ Abd-Alla and Haggag (2010) ในมะม่วงพันธุ์ 'Sanara' อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคในชุดการทดลองที่ใช้สารละลายโคโทซานที่เก็บรักษาเป็นเวลา 14 วันสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้สารละลายโคโทซานที่เตรียมสดใหม่ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ No et al. (2006) ที่รายงานว่าสารละลายโคโทซานที่เก็บรักษาเป็นเวลานานมีความหนืดและความสามารถในการยับยั้งเชื้อโรคลดลง นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายโคโทซานเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้ (Zakaria et al., 2012) ทำให้สมบัติของสารละลายโคโทซานในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคพ่รงลงเมื่อเก็บรักษาสารละลายโคโทซานเป็นระยะเวลาเวลานาน ดังนั้นการใช้สารละลายโคโทซานที่เตรียมสดใหม่สามารถลดการเกิดโรคแอนแทรคโนสในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีที่สุด

5.2.8 วิธีการเตรียมสารละลายโคโทซานสำหรับการทดลองลำดับต่อไป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าอัตราส่วน TSS/TA และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรคโนสเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกวิธีการเตรียมสารละลายโคโทซานเพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ วิธีการเตรียมสารละลายเคลือบผิวโคโทซานแบบเตรียมสดใหม่สามารถชะลอกระบวนการสุกได้ดีกว่าและทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยกว่าการใช้สารละลายโคโทซานที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน จึงเลือกใช้วิธีการเตรียมสารละลายโคโทซานแบบเตรียมใช้ทันทีเพื่อนำไปใช้เคลือบผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในการทดลองต่อไป

5.3 ผลของการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายฟิล์มบางไคโทซานร่วมกับการเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

5.3.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

การใช้สารละลายไคโทซานเคลือบผลมะม่วงน้ำดอกไม้ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ (รูปที่ 4 - 12) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในพืชชนิดอื่น เช่น กัลฉวย (Kittur et al., 2001) พริกหวาน (Xing et al., 2011) ฝรั่ง (Hong et al., 2012) แก้วมังกร (Ali et al., 2013) และผลมะม่วงพันธุ์อื่นๆ (Zhu et al., 2008; Abbasi et al., 2009; Medeiros et al., 2012) เป็นต้น จากการทดลองพบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซานที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้เพิ่มขึ้นทำให้การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ลดลง โดยชุดการทดลอง MM-CTS มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS กลับมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลอง LM-CTS และ MM-CTS และไม่สอดคล้องกับงานวิจัยใด ๆ แม้ว่าอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีนและอัตราส่วน TSS/TA ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS จะมีค่าต่ำกว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ชุดการทดลอง LM-CTS และ MM-CTS แสดงว่าการสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS ไม่ได้มีสาเหตุหลักมาจากกระบวนการหายใจระดับเซลล์ แต่น่าจะเกิดจากการคายน้ำออกจากผลมากกว่าปกติ

5.3.2 การสูญเสียความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ลดลงเมื่อผลสุกมากขึ้นเนื่องจากการสลายองค์ประกอบของผนังเซลล์ การใช้สารละลายไคโทซานช่วยรักษาความแน่นเนื้อของผลไม้ได้ Salvador-Figueroa et al. (2011) ศึกษาผลของการใช้สารละลายไคโทซานเคลือบผลมะม่วงพันธุ์ 'Ataulfo' ผลการทดลองพบว่า polygalacturonase และ pectin methylesterase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายองค์ประกอบของผนังเซลล์มีการทำงานลดลง และสามารถคงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงพันธุ์ดังกล่าวไว้ได้ จากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่ามี ความแตกต่างของค่าความแน่นเนื้อระหว่างชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 17 ของการทดลองเท่านั้น (รูปที่ 4 - 13) โดยพบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซานในสารละลายเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้เพิ่มขึ้นทำให้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันความแน่นเนื้อของผล

มะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS มีค่าน้อยที่สุดและไม่แตกต่างจากชุดควบคุมซึ่งน่าจะเกิดจากความผิดปกติของกระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

5.3.3 การเปลี่ยนแปลงสีผล

ความสว่างและการเปลี่ยนแปลงสีผลมะม่วงน้ำดอกไม้เกิดขึ้นพร้อมกับกระบวนการสุก การใช้สารละลายไคโทซานทำให้กระบวนการเปลี่ยนสีของผลมะม่วงน้ำดอกไม้เกิดช้าลง (รูปที่ 4 – 14 และ 4 - 15) การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายไคโทซานต่อการเปลี่ยนสีผลมะละกอพันธุ์ 'Eksotha II' ของ Ali et al. (2011) ได้ใช้ไคโทซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งที่หาได้ในท้องถิ่น (ไม่ได้รายงานน้ำหนักโมเลกุลไคโทซาน) นำมาเตรียมสารละลายไคโทซานความเข้มข้น 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% เมื่อนำมาเคลือบผลมะละกอดิบพันธุ์ 'Eksotha II' แล้วติดตามการเปลี่ยนแปลงสีผลมะละกอภายในเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไคโทซานเพิ่มขึ้น ผลมะละกอพันธุ์ดังกล่าวมีความสว่างของเปลือกลดลงและแนวโน้มเปลี่ยนสีผลจากสีเขียวเป็นสีเหลืองน้อยลง ผลมะละกอที่เคลือบด้วยสารละลายไคโทซานความเข้มข้น 2.0% มีสีผลคล้ำมากขึ้นและแตกต่างจากการใช้สารละลายไคโทซานความเข้มข้นที่ต่ำกว่าอย่างชัดเจน นอกจากนี้สีผลยังคงมีสีเขียวตลอดระยะเวลาการทดลอง ในการทดลองครั้งนี้พบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซึ่งเป็นสีโทนสว่าง อย่างไรก็ตามสีเปลือกผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS ยังคงเป็นสีเขียวและค่าความสว่างของผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้แสดงให้เห็นว่าผิวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้คล้ำลงกว่าปกติเช่นเดียวกับผลจากการทดลองที่เก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 25 °C

การเปลี่ยนสีของเปลือกสอดคล้องกับกระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่า hue กับการทดลองที่เก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันเปลี่ยนสีผลเป็นสีเหลืองน้อยลง การศึกษาของ Corrales-García and Canche-Canche (2008) ได้ทำการทดลองเก็บรักษาผลแก้วมังกรที่อุณหภูมิ 4-8°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์แล้วจึงนำออกมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 26 °C เพื่อให้เกิดการกระบวนการสุกและการเปลี่ยนแปลงสี จากการทดลองพบว่าการเก็บรักษาผลแก้วมังกรที่ความเย็นเป็นเวลานานไปขัดขวางการลดลงของค่า hue ทำให้ผลแก้วมังกรเปลี่ยนเป็นสีแดงได้ไม่เต็มที่เมื่อเปรียบเทียบกับผลแก้วมังกรสุกอายุการเก็บรักษา 6 วันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 °C จากผลการศึกษาดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในครั้งนี้จึงสรุปได้

ว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 14 วันทำให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่กำลังสุกเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

5.3.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นหลังเปลี่ยนอุณหภูมิเก็บรักษาเป็น 25 °C แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการทดลอง (รูปที่ 4 - 16) ค่า TSS ในการทดลองนี้จึงไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองเพื่อสะท้อนระดับการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ จึงจำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับ TA เพื่อหาอัตราส่วน TSS/TA ต่อไป

5.3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลงเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมากขึ้น (รูปที่ 4 - 17) การใช้สารละลายไคโทซานทำให้กระบวนการสุกเกิดขึ้นช้าลงโดยการรักษาปริมาณกรดให้มีปริมาณสูงกว่าชุดควบคุมเช่นเดียวกับการศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์ 'Tainong' (Wang et al., 2007), 'Tommy Atkins' (Medeiros et al., 2012), 'Summer Bahisht Chuansa' (Abbasi et al., 2009) เป็นต้น จากการทดลองพบว่า TA แปรผันตามน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซานที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเคลือบผิว อย่างไรก็ตาม TA ของชุดการทดลอง HM-CTS ลดลงช้ากว่าชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากความผิดปกติของกระบวนการสุก

5.3.6 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

TSS/TA ratio เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกและสามารถใช้เปรียบเทียบระดับการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 4 - 18) จากการทดลองพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง LM-CTS และ MM-CTS มีกระบวนการสุกเกิดขึ้นช้ากว่าชุดควบคุมและ 0.5% acetic acid ในวันที่ 17 ของการทดลองซึ่งหมายถึงอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น และผลมะม่วงทั้ง 2 ชุดการทดลองสุกอมมากขึ้นหลังจากผ่าน climacteric peak ในวันที่ 20 และ 23 ของการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลไคโทซานที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเคลือบผิวเพิ่มสูงขึ้นทำให้อัตราส่วน TSS/TA ลดลงอย่างมาก ส่งผลให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS ไม่สุกเนื่องจากมีค่า TSS/TA ต่ำกว่าชุดควบคุม

5.3.7 ร้อยละของการเกิดโรค

อาการของโรคแอนแทรกโนสเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ผลมะม่วงยังไม่สุก แต่พบได้ไม่บ่อยนัก เมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้มักพบการเกิดโรคมามากขึ้น การใช้สารละลายโคโทซานสามารถลดอัตราการเกิดโรคแอนแทรกโนสในผลมะม่วงน้ำดอกไม้มได้ (รูปที่ 4 - 19) สอดคล้องกับผลการทดลองในผลมะม่วงน้ำดอกไม้มของ Jitareerat et al. (2007) ในการศึกษาครั้งนี้พบเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรกโนสเกิน 30% เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิด climacteric peak ในชุดควบคุมและชุดการทดลอง 0.5% acetic acid แต่เมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้มถูกเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโทซานทั้ง 3 ชนิดสามารถเลื่อนเวลาการเกิดโรคออกไปในวันที่ 20 สำหรับชุดการทดลอง LM-CTS และวันที่ 23 สำหรับชุดการทดลอง MM-CTS และ HM-CTS แสดงว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานสูงขึ้นทำให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้มี้อัตราการเกิดโรคแอนแทรกโนสลดลง Hirano and Nagao (1989) รายงานว่าความสามารถของโคโทซานในการยับยั้งการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวชนิดต่างๆ เกิดจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากในสายพอลิเมอร์ เมื่อโคโทซานอยู่ในรูปสารละลายจะเกิดประจุบวกที่หมู่อะมิโนและทำให้พอลิเมอร์แสดงสมบัติการเป็น polycationic ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคได้ และยังพบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานสูงขึ้นทำให้สายพอลิเมอร์มีความยาวมากขึ้นและแสดงสมบัติการเป็น polycationic ในการยับยั้งการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวได้มากขึ้น Liu et al. (2006) ยังได้รายงานว่าคุณสมบัติของสารละลายโคโทซานในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* สูงขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานที่ใช้ในการเตรียมสารละลายสูงขึ้น นอกจากนี้ สมบัติการเป็นสาร elicitor ของโคโทซานสามารถกระตุ้นให้มีการทำงานของเอนไซม์ chitinase และ β -1,3-glucanase ซึ่งพืชใช้ในการต่อต้านการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราได้ (Arlorio et al., 1992; Bautista-Baños et al., 2006)

5.3.8 การรั่วไหลของไอออนหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C

จากการทดลองไม่พบอาการสะท้อนหนาวจากลักษณะภายนอกที่ปรากฏของผลมะม่วงน้ำดอกไม้มทุกชุดการทดลองจึงสรุปได้ว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้มสามารถทนอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 13 °C ได้และกระบวนการสุกของผลสามารถดำเนินต่อไปได้ตามปกติเมื่อปรับอุณหภูมิเป็น 25 °C (รูปที่ 4 - 20) เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของไอออนซึ่งเป็นค่าที่สามารถใช้บ่งชี้ระดับความรุนแรงของอาการสะท้อนหนาวได้ พบว่าการรั่วไหลของไอออนมีค่าลดลงเมื่อใช้สารละลายเคลือบผิวโคโทซานที่เตรียมจากโคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง ดังนั้น ผลของการเก็บรักษาผล

มะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิต่ำจึงไม่มีผลกระทบต่อการร่วงไหลของไอออนมากเท่ากับผลของ น้ำหนักโมเลกุลโคโทซาน โดยทั่วไปการใช้สารละลายโคโทซานช่วยลดการเกิดอาการสะท้อนหนาว ในผลไม่ได้ Ali et al. (2011) เคลือบผลมะละกอพันธุ์ 'Eksotika II' ด้วยสารละลายโคโทซานความเข้มข้นต่างๆ ทำให้ความเสียหายที่เกิดจากอาการสะท้อนหนาวในผลมะละกอพันธุ์ดังกล่าวลดลง อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Wongmetha and Ke (2012) ซึ่งทดลองใช้สารละลายโคโทซานเคลือบผลมะม่วงพันธุ์ 'Jinhwang' ทำให้การร่วงไหลของไอออนเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าชุดควบคุมเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ดังกล่าวที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 30 วัน จึงกล่าวได้ว่าการใช้สารละลายเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เตรียมจากโคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกินไปไม่ส่งผลดีต่อเยื่อหุ้มเซลล์ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

5.3.9 อัตราการหายใจ

อัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมากในวันที่ 17 ของการทดลองและแสดงรูปแบบการเกิด climacteric peak ของการหายใจแบบ climacteric fruit (รูปที่ 4 - 21) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ma et al. (2014) ในผล aprium และผลการศึกษาของ Liu et al. (2014) ในผลพลัม อัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง LM-CTS เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเพิ่มสูงสุดในวันที่ 20 ของการทดลองเช่นเดียวกับอัตราการหายใจของชุดการทดลอง MM-CTS จากนั้นอัตราการหายใจของชุดการทดลอง MM-CTS ลดลงกว่า 60% ในวันสุดท้ายของการทดลองเนื่องจากผลสุกงอมเต็มที่และเริ่มเข้าสู่ภาวะเสื่อมถอย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอัตราการหายใจของชุดการทดลอง HM-CTS พบว่าอัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ในวันที่ 14 ของการทดลองแล้วจึงเพิ่มขึ้นในวันที่ 17 ของการทดลองแต่ก็ยังอยู่ในระดับต่ำกว่าชุดการทดลอง LM-CTS และ MM-CTS และไม่แสดงรูปแบบการเกิด climacteric peak ที่ชัดเจน อัตราการหายใจค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากอัตราการผลิตเอทิลีนของชุดการทดลอง HM-CTS ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง LM-CTS และ MM-CTS จึงสรุปได้ว่าการใช้สารละลาย HM-CTS ไปรบกวนเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในระหว่างกระบวนการสุก

5.3.10 อัตราการผลิตเอทิลีน

อัตราการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดควบคุม, 0.5% acetic acid, LM-CTS และ MM-CTS เพิ่มขึ้นอย่างมากระหว่างวันที่ 14-17 ในเวลาที่ใกล้เคียงกันกับการเกิด climacteric peak ของอัตราการหายใจ (รูปที่ 4 – 21 และ 4 - 22) แสดงว่าระหว่างช่วงเวลาดังกล่าวเกิด ethylene autocatalytic synthesis ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ เป็นผลทำให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกในวันที่ 17 ของการทดลอง การใช้สารละลายโคโทซานทั้ง 3 ชนิดช่วยลดอัตราการผลิตเอทิลีนเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตเอทิลีนของชุดการทดลอง 0.5% acetic acid ทำให้กระบวนการสุกโดยรวมของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง LM-CTS, HM-CTS และ MM-CTS เกิดช้าลง และส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงน้ำดอกไม้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ma et al. (2014) ที่ได้ทดลองใช้สารละลายโคโทซานกับผล aprium พบว่าเมื่ออัตราการผลิตเอทิลีนลดลงทำให้อัตราการหายใจของผล aprium ลดลงและทำให้กระบวนการสุกของผลเกิดช้าลง นอกจากนี้ Liu et al. (2014) พบว่าการเคลือบผลพลัมด้วยสารละลายโคโทซานลดอัตราการหายใจและสามารถยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลพลัมไปได้อีก 5 วัน อย่างไรก็ตามอัตราการผลิตเอทิลีนของชุดการทดลอง HM-CTS มีรูปแบบต่างจากอัตราการผลิตเอทิลีนของชุดการทดลอง LM-CTS และ MM-CTS โดยมีอัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำตลอดการทดลอง ทำให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่สุกเต็มที่เหมือนชุดการทดลองอื่นๆ จึงสรุปได้ว่าการใช้สารละลายเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เตรียมจากโคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 410,000 ดาลตันไปยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนมากเกินไปจนทำให้การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาระหว่างการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS เกิดความผิดปกติ

5.3.11 ปริมาณ H_2O_2

ความเข้มข้นของ H_2O_2 ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารตั้งต้น $O_2\cdot^-$ ที่ถูกเปลี่ยนเป็น H_2O_2 โดยเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) (Scandalios, 1993) ผลไม้สุกจะมีปริมาณ H_2O_2 มากขึ้น (Camejo et al., 2010) เมื่อผลไม้ได้รับโคโทซานจะมีการกระตุ้นการผลิต H_2O_2 มากขึ้น Hong et al. (2012) เคลือบผลฝรั่งด้วยสารละลายโคโทซานแล้ววัดอัตราการผลิต $O_2\cdot^-$ พบว่าผลฝรั่งมีการผลิต $O_2\cdot^-$ สูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษายาวนานขึ้น นอกจากนี้ยังพบการทำงานของเอนไซม์ SOD ในระดับสูง ส่งผลให้ H_2O_2 ถูกผลิตออกมาในปริมาณมาก จากการทดลองพบว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง LM-CTS และ MM-CTS มีปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อ

ผลสุกของมามากขึ้น (รูปที่ 4 - 23) แสดงว่าไคโทซานทั้ง 2 ชนิดไปกระตุ้นให้เกิดการป้องกันตัวเองของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ (Gonzalez-Aguilar et al., 2010) อย่างไรก็ตามปริมาณ H_2O_2 ที่มากเกินไปเป็นอันตรายต่อเซลล์ ทำให้เกิดการเสื่อมถอยและการตายของเซลล์ในที่สุด (Quan et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ H_2O_2 ของชุดการทดลอง MM-CTS เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณ H_2O_2 ในชุดการทดลอง HM-CTS มีอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับชุดควบคุมทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากกระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในชุดการทดลอง HM-CTS ถูกยับยั้งโดยไคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

5.3.12 การทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ

5.3.12.1 การทำงานของเอนไซม์ catalase (CAT)

catalase เป็นเอนไซม์ที่สามารถเปลี่ยน H_2O_2 เป็นโมเลกุลน้ำและ O_2 ได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ coenzyme (Mhamdi et al., 2010) Mattoo and Modi (1969) รายงานว่าผลมะม่วงพันธุ์ 'Alfonso' มีการทำงานของ catalase เพิ่มขึ้นเมื่อผลสุกมากขึ้น การศึกษาของ Wang and Gao (2013) พบว่าผลสตรอเบอรี่มีการทำงานของ CAT สูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลายาวนานขึ้น และเมื่อผลสตรอเบอรี่ถูกเคลือบด้วยสารละลายไคโทซาน ความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้การทำงานของ CAT เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้โดยพบว่าการทำงานของ CAT ในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมากขึ้น (รูปที่ 4 - 24) นอกจากนี้การทำงานของ CAT ยังเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซานเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการทำงานของ CAT ในชุดการทดลอง HM-CTS ต่ำกว่าของชุดการทดลองที่ใช้สารละลายไคโทซาน LM-CTS และ MM-CTS เนื่องจากฟิล์มที่เคลือบบนเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้มีความหนาเกินไป จึงไปขัดขวางการแพร่เข้าออกของ C_2H_4 O_2 และ CO_2 ซึ่งเป็นโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ เมื่อเกิดความผิดปกติของกระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้จึงสะท้อนออกมาให้เห็นถึงความผิดปกติของการทำงานของ CAT ด้วยการศึกษานี้ของ Badawy and Rabea (2009) ทดลองใช้ไคโทซานที่มีความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล 4 ระดับ ได้แก่ 5,000 ดาลตัน 37,000 ดาลตัน 57,000 ดาลตัน และ 290,000 ดาลตันในการเตรียมสารละลายเคลือบผลมะเขือเทศความเข้มข้น 1% โดยมวลต่อปริมาตร พบว่าการใช้ไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 57,000 ดาลตันให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด จากการศึกษาข้างต้นทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว

ของผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานสูงเกินไปทำให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะเขือเทศผิดปกติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้

5.3.12.2 การทำงานของเอนไซม์ ascorbate peroxidase (APX)

ascorbate peroxidase เป็นเอนไซม์ที่มีการทำงานสูงที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ เพราะ APX เป็นเอนไซม์ที่มีความไวต่อการสับสเตรท H_2O_2 สูงมาก APX สามารถย่อยสลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ μmol ในขณะที่ CAT และ POD สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่ความเข้มข้นของ H_2O_2 ในระดับ mmol (Gill and Tuteja, 2010) การทำงานของ APX เพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการทำงานของ APX ในกระบวนการสุกของผลพีช (Camejo et al., 2010) เมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้ถูกเคลือบด้วยสารละลายโคโทซานทำให้การทำงานของ APX สูงกว่าชุดควบคุม (รูปที่ 4 - 25) สอดคล้องกับผลการทดลองในสตรอเบอร์รี่ (Wang and Gao, 2013) MM-CTS สามารถเพิ่มการทำงานของ APX ได้มากกว่า LM-CTS ในขณะที่การทำงานของ APX ของชุดการทดลอง HM-CTS ในวันที่ 20 และ 23 ของการทดลองมีการทำงานน้อยที่สุดเนื่องจากกระบวนการสุกที่ผิดปกติโดยมีสาเหตุจากฟิล์มเคลือบผิวที่มีความหนาเกินไป

5.3.12.3 การทำงานของเอนไซม์ guaiacol peroxidase (GPX)

guaiacol peroxidase กำจัด H_2O_2 ร่วมกับการใช้อิเล็กตรอนจากสาร guaiacol จากผลการทดลองพบว่า GPX มีการทำงานสูงขึ้นเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมากขึ้น (รูปที่ 4 - 26) สอดคล้องกับผลการทดลองในผลฝรั่ง (Hong et al., 2012) พีช (Ma et al., 2013) สตรอเบอร์รี่ (Wang and Gao, 2013) การใช้สารละลายโคโทซานเคลือบผิวทำให้การทำงานของ GPX เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุมในวันที่ 17 ของการทดลองแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อใช้สารละลายโคโทซานที่เตรียมจากโคโทซานทั้ง 3 ชนิดสรุปได้ว่าน้ำหนักโมเลกุลของโคโทซานไม่มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มการทำงานของ GPX ในการทดลองครั้งนี้

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง

การใช้สารละลายไคโทซาน ช่วยรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์ น้ำดอกไม้ 'เบอร์ 4' สามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรกคโนสได้ และทำให้อายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นเป็น 15 วัน สารละลายไคโทซานที่เตรียมสดใหม่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ดีกว่า สารละลายไคโทซานที่ผ่านการเก็บรักษามาเป็นระยะเวลา 14 วัน เนื่องจากสารละลายมีความหนืดสูงกว่า ทำให้การยึดเกาะของชั้นฟิล์มบางไคโทซานบนผิวมะม่วงน้ำดอกไม้เกิดขึ้นได้ดี และยังคงเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคได้ดีกว่าสารละลายไคโทซานที่เก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ความหนาของฟิล์มไคโทซานบนผิวมะม่วงน้ำดอกไม้จำกัดการผ่านเข้าออกของแก๊ส เมื่อฟิล์มไคโทซานมีความหนามากขึ้นทำให้การผ่านเข้า-ออกของแก๊สลดลงจึงช่วยชะลอกระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ อย่างไรก็ตามพบว่าฟิล์มบางไคโทซานที่เตรียมจากไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 410,000 ดาลตัน มีความหนามากที่สุดและทำให้กระบวนการสุกและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ผิดปกติ

การใช้สารละลายเคลือบผิวไคโทซานที่เตรียมสดใหม่ร่วมกับการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วันทำให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น แต่พบว่าเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมีการเปลี่ยนแปลงสีผลเป็นสีเหลืองสดน้อยกว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเล็กน้อย ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโทซานที่เตรียมจากไคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตันมีการสุกของผลเกิดขึ้นตามปกติและสามารถรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีที่สุดเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อย สามารถรักษาความแน่นเนื้อไว้ได้มาก มีการเปลี่ยนแปลงความหวานของผลเป็นปกติ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรกคโนสน้อย และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ยาวนานถึง 23 วัน อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงน้ำดอกไม้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนระหว่างวันที่ 14-17 ของการทดลอง แสดงให้เห็นว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้สามารถเกิดกระบวนการสุกต่อไปได้ตามปกติหลังจากผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน การใช้สารละลายไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตัน ปรับปรุงระบบการต้านอนุมูลอิสระในผลมะม่วงน้ำดอกไม้โดยการเพิ่มปริมาณ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และการทำงานของเอนไซม์ catalase, ascorbate peroxidase และ guaiacol peroxidase อย่างไรก็ตามการใช้โคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 410,000 ดาลตันทำให้กระบวนการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ผิดปกติ ดังนั้น การใช้โคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 240,000 ดาลตันสำหรับเตรียมสารละลายเคลือบผลมะม่วงน้ำดอกไม้สามารถยืดอายุหลังการเก็บรักษาและคงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ 'เบอร์ 4' ได้ดีที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาผลของการใช้สารละลายโคโทซานเคลือบผิวของมะม่วงน้ำดอกไม้ต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์ เช่น pectin methylsterase, expansin, polygalacturonase เป็นต้น และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันโรคพืช เช่น polyalanine aminolyase, chitinase, β -1,3-glucanase เป็นต้น ร่วมกับปริมาณสารประกอบฟีนอล นอกจากนี้ อาจมีการศึกษาผลของลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางโคโทซานต่อกระบวนการหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ เพื่อใช้อธิบายผลของความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลโคโทซานต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้หลายแง่มุมมากขึ้น

รายการอ้างอิง

- Abbasi, N. A., Iqbul, Z., Maqbool, M. and Hafiz, I. A. 2009. Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. Pakistan Journal of Botany 41(1): 343-357.
- Abd-Alla, M. A. and Haggag, W. M. 2010. New safe methods for controlling anthracnose disease of mango (*Mangifera indica* L.) fruits caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.). Journal of American Science 8(8): 361-367.
- Ali, A., Muhammad, M. T. M., Sijam, K. and Siddiqui, Y. 2011. Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. Food Chemistry 124: 620-626.
- Ali, A., Zahid, N., Manickam, S., Siddiqui, Y., Alderson, P. G. and Maqbool, M. 2013. Effectiveness of submicron chitosan dispersions in controlling anthracnose and maintaining quality of dragon fruit. Postharvest Biology and Technology 86: 147-153.
- Amador, J. R. 2011. Procedures for analysis of citrus products. Lakeland, FL: John Bean Technology Corporation.
- Argueso, C., Hansen, M. and Kieber, J. 2007. Regulation of ethylene biosynthesis. Journal of Plant Growth Regulation 26: 92-105.
- Arlorio, M., Ludwig, A., Boller, T. and Bonfante, P. 1992. Inhibition of fungal growth by plant chitinases and β -1,3-glucanases. A morphological study. Protoplasma 171: 34-43.
- Badawy, M. E. I. and Rabea, E. I. 2009. Potential of the biopolymer chitosan with different molecular weights to control postharvest gray mold of tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 51: 110-117.
- Bapat, V. A., Trivedi, P. K., Ghosh, A., Sane, V. A., Ganapathi, T. R. and Nath, P. 2010. Ripening of Fleshy Fruit: Molecular Insight and the Role of Ethylene. Biotechnology Advances 28: 94-107.

- Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Velázquez-del Valle, M. G., Hernández-Lopez, M., Barka, E. A. and Bosquez-Molina, E. 2006. Chitosan as a Potential Natural Compound to Control Pre and Postharvest Disease of Horticultural Commodities. Crop Protection 25: 108-118.
- Beckles, D. M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biology and Technology 63: 129-140.
- Beers, R. F. and Sizer, I. W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. Journal of Biological Chemistry 195: 133-140.
- Burg, S. P. and Burg, E. A. 1961. Role of Ethylene in Fruit Ripening, Department of Physiology, University of Miami School of Medicine.
- Camejo, D., Martí, M. C., Román, P., Ortiz, A. and Jiménez, A. 2010. Antioxidant system and protein pattern in peach fruits at two maturation stage. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 11140-11147.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. et al. 2009. Biology. San Francisco, CA: Benjamin Cummings.
- Chance, B. and Maehly, A. C. 1995. Assays of catalases and peroxidases. In Colowick, S.P. and Kaplan, N.O. (ed.). Methods in Enzymology. New York, Academic Press: 764-765.
- Chervin, C., El-Kereamy, A., Roustan, J., Latché, A., Lamon, J. and Bouzayen, M. 2004. Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit. Plant Science 167: 1301-1305.
- Corrales-García, J. and Canche-Canche, E. 2008. Physical and physiological changes in low-temperature-stored pitahaya fruit (*Hylocereus undatus*). Journal of the Professional Association for cactus development 10: 108-119.
- El-Hefian, E. A. and Yahaya, A. H. 2010. Rheological study of chitosan and its blends: an overview. Maejo International Journal of Science and Technology 4(210-220).

- Gaete-Eastman, C., Figueroa, C. R., Balbontin, C., Moya, M., Atkinson, R. G., Herrera, R. et al. 2009. Expression of an ethylene-related expansin gene during softening of mountain papaya fruit (*Vasconcellea pubescens*). Postharvest Biology and Technology 53: 58-65.
- Gao, P., Zhu, Z. and Zhang, P. 2013. Effects of chitosan–glucose complex coating on postharvest quality and shelf life of table grapes. Carbohydrate Polymers 95: 371-378.
- Gill, S. S. and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48: 909-930.
- Giovannoni, J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 52(725-749).
- Giovannoni, J. J. 2004. Genetic Regulation of Fruit Development and Ripening. Plant Cell 16: 170-180.
- Giovannoni, J. J. 2007. Fruit ripening mutants yield insights into ripening control. Current Opinion in Plant Biology 10: 283-289.
- Gol, N. B. and Rao, T. V. R. 2011. Banana fruit ripening as influenced by edible coatings. International Journal of Fruit Science 11: 119-135.
- Gonzalez-Aguilar, G. A., Villa-Rodriguez, J. A., Ayala-Zavala, J. F. and Yahia, E. M. 2010. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. Food Science and Technology 21: 475-482.
- Hayama, H., Tatsuki, M., Ito, A. and Kashimura, Y. 2006. Ethylene and fruit softening in the stony hard mutation in peach. Postharvest Biology and Technology 41: 16-21.
- Hirano, S. and Nagao, N. 1989. Effects of chitosan, pectic acid, lysozyme, and chitinase on the growth of several phytopathogens. Agricultural and Biochemical Chemistry 53(11): 3065-3066.

- Hong, K., Xie, J., Zhang, L., Sun, D. and Gong, D. 2012. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. Scientia Horticulturae 144: 172-178.
- Ing, L. Y., Zin, N. M., Sarwar, A. and Katas, H. 2012. Antifungal activity of chitosan nanoparticles and correlation with their physical properties. International Journal of Biomaterials 2012: 1-9.
- Inzé, D. and Montagu, V. 1995. Oxidative stress in plants. Current Opinion in Biotechnology 6: 153-158.
- Jitareerat, P., Paumchai, S., Sangchote, S. and Kanlayanarat, S. 2007. Effect of Chitosan on Ripening, Enzymatic Activity, and Disease Development in Mango (*Mangifera indica*) Fruit. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 35: 211-218.
- Kasetsart University Radio Broadcasting Station. Thai Mango, World Mango (in Thai) [Online]. 2011. Available from: <http://radio.ku.ac.th/activities/cm/participation/mango/mango.htm> [2014, November 10]
- Kesari, R., Trivedi, P. K. and Nath, P. 2007. Ethylene-induced ripening in banana evokes expression of defense and stress related genes in fruit tissue. Postharvest Biology and Technology 46: 136-143.
- Khan, A. S. and Singh, Z. 2007. 1-MCP regulates ethylene biosynthesis and fruit softening during ripening of 'Tegan Blue' plum. Postharvest Biology and Technology 43: 298-306.
- Kim, Y., Brecht, J. K. and Talcott, S. T. 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. Food Chemistry 105: 1327-1334.
- Kittur, F. S., Saroja, N., Habibunnisa and Tharanathan, R. N. 2001. Polysaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango. European Food Research and Technology 213(4-5): 306-311.

- Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H. and Liu, J. 2014. Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums. Scientia Horticulturae 176: 45-53.
- Liu, N., Chen, X., Park, H., Liu, C., Liu, C., Meng, X. et al. 2006. Effect of mw and concentration of chitosan on bacterial activity of *Escherichia coli*. Carbohydrate Polymers 64: 60-65.
- Locato, V., Cimini, S. and De Gara, L. 2013. Strategies to increase vitamin C in plants: from plant defense perspective to food biofortification. Frontiers in Plant Science 4: 1-12.
- Long, J. H. W. S. 2013. Synthesis and characterization of chitosan from shrimp shells. Master's Thesis, Faculty of Engineering and Science, Universiti Tunku Abdul Rahman.
- Ma, L., Cao, J., Xu, L., Zhang, X., Wang, Z. and Jiang, W. 2014. Effects of 1-methylcyclopropene in combination with chitosan oligosaccharides on post-harvest quality of aprium fruits. Scientia Horticulturae 179: 301-305.
- Ma, Z., Yang, L., Yan, H., Kennedy, J. F. and Meng, X. 2013. Chitosan and oligochitosan enhance the resistance of peach fruit to brown rot. Carbohydrate Polymers 94: 272-277.
- Marangoni, A. G., Palma, T. and Stanley, D. W. 1996. Membrane effects in postharvest physiology. Postharvest Biology and Technology 7: 193-217.
- Mattoo, A. K. and Modi, V. V. 1969. Ethylene and Ripening of Mango. Plant Physiology 44: 308-310.
- Medeiros, B. G. S., Pinheiro, A. C., Carneiro-da-Cunha, M. G. and Vicente, A. A. 2012. Development and characterization of a nanomultilayer coating of pectin and chitosan – evaluation of Its gas barrier properties and application on 'Tommy Atkins' mangoes. Journal of Food Engineering 110: 457-464.
- Medlicott, A. P., Sigrist, J. M. M. and Sy, O. 1990. Ripening of mangos following low-temperature storage. Journal of American Society of Horticultural Science 115(3): 430-434.

- Mhamdi, A., Queval, G., Chaouch, S., Vanderauwera, S., Breusegem, F. V. and Noctor, G. 2010. Catalase function in plants: a focus on Arabidopsis mutants as stress-mimic models. Catalase function in plants: a focus on Arabidopsis mutants as stress-mimic models 61: 4197-4220.
- Morga, N. S., Lustre, A. O., Tunac, M. M., Balagot, A. H. and Soriano, M. R. 1978. Physico-chemical changes in philippine carabao mangoes during ripening. Food Chemistry 79: 225-234.
- Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiology 22: 867-880.
- No, H. K., Kim, S. H., Lee, S. H., Park, N. Y. and Prinyawiwatkul, W. 2006. Stability and antibacterial activity of chitosan solutions affected by storage temperature and time. Carbohydrate Polymers 65: 174-178.
- Office of Agricultural Economics 2012. Thailand Foreign Agricultural Trade Statistics 2011 (in Thai). Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Parkin, L. K. and Kuo, S. J. 1989. Chilling-induced lipid degradation in cucumber (*Cucumis sativa* L. cv Hybrid C) fruit. Plant Physiology 90: 1049-1056.
- Quan, L., Zhang, B., Shi, W. and Li, H. 2008. peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. Journal of Integrative Plant Biology 50: 2-18.
- Ramesh, H. P., Viswanatha, S. and Tharanathan, R. N. 2004. Safety evaluation of formulations containing carboxymethyl derivatives of starch and chitosan in albino rats. Carbohydrate Polymers 58: 435-441.
- Rinaudo, M. 2006. Chitin and chitosan: properties and applications. Progress in Polymer Science 31: 603-632.
- Salvador-Figueroa, M., Aragón-Gómez, W. I., Hernández-Ortiz, E., Vázquez-Ovando, J. A. and Adriano-Anaya, M. L. 2011. Effect of chitosan coating on some characteristics of mango (*Mangifera indica* L.) "Ataulfo" subjected to hydrothermal process. African Journal of Agricultural Research 6(27): 5800-5807.

- Sane, V. A., Chourasia, A. and Nath, P. 2005. Softening in mango (*Mangifera indica* cv. Dasheheri) is correlated with the expression of an early ethylene responsive, ripening related expansin gene, MiExpA1. Postharvest Biology and Technology 38: 223-230.
- Sarowar, S., Kim, E. N., Kim, Y. J., Ok, S. H., Kim, K. D., Hwang, B. K. et al. 2011. Overexpression of a pepper ascorbate peroxidase-like 1 gene in tobacco plants enhances tolerance to oxidative stress and pathogens. Plant Science 169: 55-63.
- Scandalios, J. G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. Plant Physiology 101: 7-12.
- Shiekh, R. A., Malik, M. A., Al-Thabaiti, S.H. and Shiekh, M. A. 2013. Chitosan as a novel edible coating for fresh fruits. Food Science and Technology Research 19(2): 139-155.
- Thomas, P. and Oke, M. S. 1983. Improvement in quality and storage of 'Alphonso' mangoes by cold adaptation. Scientia Horticulturae 19: 257-262.
- Wang, J., Wang, B., Jiang, W. and Zhao, Y. 2007. Quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Tainong') coated by using chitosan and polyphenols. Food Science and Technology International 13: 317.
- Wang, S. Y. and Gao, H. 2013. Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). LWT-Food Science and Technology 52: 71-79.
- Wichchachu, P. 2012. 'Nam Dok Mai' Mango for Export (in Thai). Bangkok: Department of Agriculture.
- Win, N. K. K., Jitareerat, P., Kanlayanarat, S. and Sangchote, S. 2007. Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit. Postharvest Biology and Technology 45: 333-340.

- Wongmetha, O. and Ke, L. 2012. The quality maintenance and extending storage life of mango fruit after postharvest treatments. World Academy of Science, Engineering and Technology 6: 844-849.
- Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y. and Tang, Y. 2011. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Food Chemistry 124: 1443-1450.
- Yan, X., Khor, E. and Lim, Y. 2001. Chitosan-alginate films prepared with chitosans of different molecular weights. Journal of Biomedical Materials Research 58(4): 358-365.
- Zakaria, M. B., Zakaria, S. N., Musa, M., Hamilin, H. and Zulkifly, N. A. H. 2012. Identification of chitosan-degrading microbes for the production of chitooligomer. International Conference on Chemistry and Chemical Engineering 38: 127-131.
- Zhu, X., Wang, Q., Cao, J. and Jiang, W. 2008. Effect of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Tainong') fruits. Journal of Food Processing and Preservation 32: 770-784.



1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

1.1 การเตรียม 200 mM KPi buffer pH 7.0

- ตวงสารละลาย 1M K_2HPO_4 61.5 มล.
- ตวงสารละลาย 1M KH_2PO_4 38.5 มล.
- ผสมสารละลายทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน ปรับ pH เป็น 7.0 และปรับปริมาตรสารละลายเป็น 500 มล.

1.2 การเตรียม 800 mM Tris-HCl buffer pH 7.8

- ชั่ง Trisma base 48.456 กรัม ละลายในน้ำกลั่น
- เติม 1N HCL เพื่อปรับค่า pH เป็น 7.8 จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายเป็น 500 มล.

1.3 การเตรียม 100 mM sodium acetate buffer pH 7.0

- ชั่ง Sodium acetate 4.10 กรัมละลายในน้ำกลั่น
- เติม glacial acetic acid เพื่อปรับ pH เป็น 7.0 จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายเป็น 500 มล.

2. วิธีสกัดสารละลายเอนไซม์ผสมจากตัวอย่างพืช

2.1 สารละลายที่ใช้สกัดตัวอย่างเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ประกอบด้วย

- 50 mM phosphate buffer (KPi buffer) pH 7.0*
- 1.0%_{w/v} polyvinylpyrrolidone (PVPP)

2.2 บดตัวอย่างเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ 0.1 กรัม ในโกร่งเย็นหล่อด้วยไนโตรเจนเหลวจนละเอียด

2.3 นำเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สดใส่ใน Eppendorf tube ที่เย็น เต็มสารละลายสกัด 1 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากัน เก็บของผสมไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C

2.4 ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 12,000 rpm อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์และปริมาณโปรตีนทั้งหมดต่อไป

* เตรียมสารละลายเข้มข้น 50 mM potassium phosphate buffer ปริมาตร 500 มล. โดยการเจือจางสารละลาย 200 mM KPi

3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ (ดัดแปลงจาก Jana และ Choudhuri, 1982)

3.1 สารละลายที่ใช้สกัดตัวอย่างเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ประกอบด้วย

- 50 mM KPi buffer pH 7.0 ปริมาตร 48 มล.

- 25 mM hydroxylamine ปริมาตร 2 มล.

3.2 บดตัวอย่างเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ 0.1 กรัม ในโถรงเย็นหล่อด้วยไนโตรเจนเหลวจนละเอียด

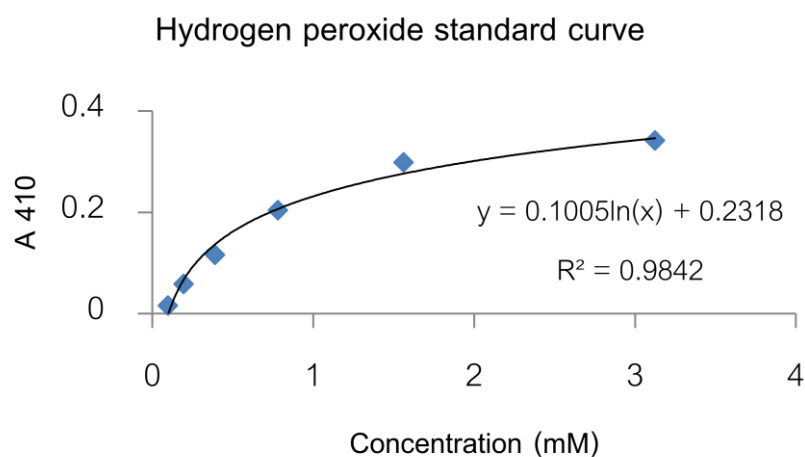
3.3 นำเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สดใส่ใน eppendorf tube ที่เย็น เต็มสารละลายสกัด 1 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากัน เก็บของผสมไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C

3.4 ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 rpm อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 20 นาที

3.5 เก็บเฉพาะสารละลายส่วนใสปริมาตร 500 μ l เติม 0.1%_{w/v} $Ti_2(SO_4)_3$ in 20%_{w/v} H_2SO_4 ปริมาตร 50 μ l

3.6 ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 rpm อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 นาที

3.7 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย (เกิดสีเหลืองอ่อน) ที่ความยาวคลื่น 410 nm คำนวณความเข้มข้นของปริมาณ H_2O_2 โดยใช้สมการที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน (รูปที่ ก-1)



รูปที่ ก - 1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ H_2O_2

4. วิธีวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ catalase (ดัดแปลงจาก Beers and Sizer, 1952)

4.1 เตรียม reaction mixture ปริมาตร 2,000 μ l ประกอบด้วย

Solution	Reference cuvette (μ l)	Sample cuvette (μ l)
H_2O	1,450	950
200 mM KPi buffer (pH) 7.0	500	500
25 mM H_2O_2	-	500
crude extract	50	50

4.2 วิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์แบบ kinetic โดยติดตามค่าการดูดกลืนแสงของการลดปริมาณของ H_2O_2 ที่ความยาวคลื่น 240 nm ทุกๆ 12 วินาทีเป็นเวลา 108 วินาที คำนวณค่า activity ของเอนไซม์ระหว่างช่วงเวลา 60-108 วินาที

4.3 คำนวณค่า specific activity (units/mg protein) ของเอนไซม์ catalase เทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมดจากสูตร

$$\text{CAT specific activity} = \frac{(\Delta A_{240}/\text{min}) \times 1000}{(43.6) \times (\mu\text{l crude extract}) \times (\text{mg protein/l crude extract})}$$

5. วิธีวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ ascorbate peroxidase (ดัดแปลงจาก Nakano and Asada, 1981)

5.1 เตรียม reaction mixture ปริมาตร 2,000 μl ประกอบด้วย

Solution	Reference cuvette (μl)	Sample cuvette (μl)
H_2O	550	450
800 mM Tris-HCl buffer (pH) 7.8	500	500
25 mM EDTA	400	400
2 mM H_2O_2	500	500
5 mM ascorbate	-	100
crude extract	50	50

5.2 วิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์แบบ kinetic โดยติดตามค่าการดูดกลืนแสงของการลดปริมาณของ H_2O_2 ที่ความยาวคลื่น 290 nm ทุกๆ 12 วินาทีเป็นเวลา 72 วินาที คำนวณค่า activity ของเอนไซม์ระหว่างช่วงเวลา 24 -72 วินาที

5.3 คำนวณค่า specific activity (units/mg protein) ของเอนไซม์ ascorbate peroxidase เทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมดจากสูตร

$$\text{APX specific activity} = \frac{(\Delta A_{290}/\text{min}) \times 1000}{(2.8) \times (\mu\text{l crude extract}) \times (\text{mg protein/l crude extract})}$$

6. วิธีวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ guaiacol peroxidase (ดัดแปลงจาก Chance and Maehly, 1995 อ้างถึงใน Ghamsari et al. 2007)

6.1 เตรียม reaction mixture ปริมาตร 2,000 μ l ประกอบด้วย

Solution	Reference cuvette (μ l)	Sample cuvette (μ l)
H ₂ O	950	450
100 mM Na-acetate buffer (pH) 7.0	500	500
25 mM H ₂ O ₂	500	500
100 mM guaiacol	-	500
crude extract	50	50

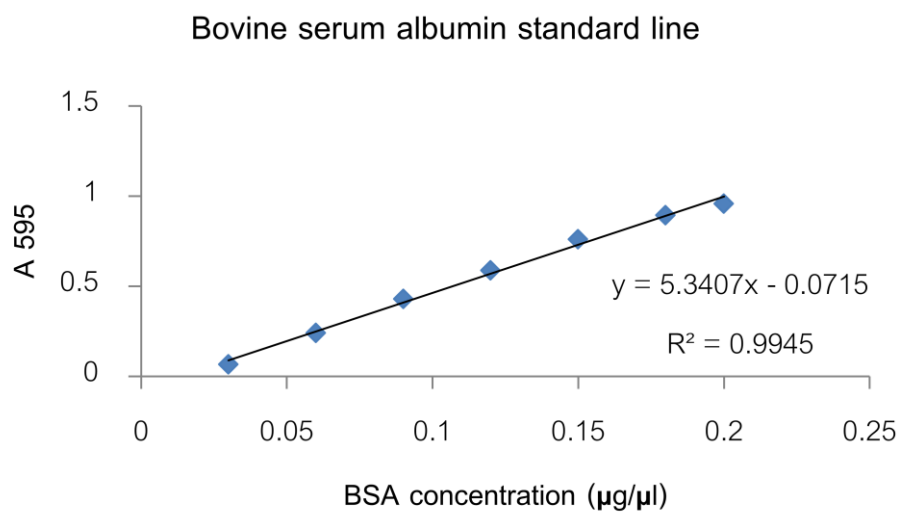
6.2 วิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์แบบ kinetic โดยติดตามค่าการดูดกลืนแสงของการเกิดขึ้นของ tetraguaiacol (สีน้ำตาลแดง) ที่ความยาวคลื่น 470 nm ทุกๆ 12 วินาทีเป็นเวลา 60 วินาที คำนวณค่า activity ของเอนไซม์ระหว่างช่วงเวลา 12 - 60 วินาที

6.3 คำนวณค่า specific activity (units/mg protein) ของเอนไซม์ guaiacol peroxidase เทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมดจากสูตร

$$\text{GPX specific activity} = \frac{(\Delta A_{470}/\text{min}) \times 1000}{(26.6) \times (\mu\text{l crude extract}) \times (\text{mg protein/l crude extract})}$$

7. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในสารสกัดเอนไซม์

นำสารละลายส่วนใสที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ปริมาณ 50 μl ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Biorad protein assay เป็นเวลา 5 นาที วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 nm คำนวณปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยใช้สมการโปรตีนมาตรฐาน BSA (รูปที่ 28)



รูปที่ ก - 2 กราฟมาตรฐาน bovine serum albumin



ตารางที่ ข - 1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายไคโทซานที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 62 วัน

Day	Chitosan solution viscosity (cP) \pm standard error		
	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	20.77 \pm 0.24	38.27 \pm 0.07	72.97 \pm 0.18
2	9.84 \pm 0.40	30.60 \pm 0.18	61.00 \pm 0.12
5	6.17 \pm 0.45	26.07 \pm 0.40	50.73 \pm 0.73
7	5.02 \pm 0.45	24.40 \pm 0.50	42.97 \pm 0.30
12	5.47 \pm 0.44	23.47 \pm 1.21	36.87 \pm 0.22
16	5.66 \pm 0.33	24.00 \pm 0.93	36.53 \pm 0.50
20	5.91 \pm 0.09	23.47 \pm 1.21	37.33 \pm 0.79
33	4.96 \pm 0.42	24.00 \pm 0.93	35.90 \pm 0.80
43	5.54 \pm 0.10	23.47 \pm 1.21	36.33 \pm 0.74
62	5.63 \pm 0.08	24.00 \pm 0.93	35.90 \pm 0.80

ตารางที่ ข - 2 ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไคโทซาน

Treatment	Film thickness (nm) \pm standard error	Film roughness (nm) \pm standard error
LM-CTS	76.81 \pm 7.10 ^a	1.53 \pm 0.05 ^a
MM-CTS	152.03 \pm 8.41 ^b	5.71 \pm 0.23 ^c
HM-CTS	193.97 \pm 4.86 ^c	4.17 \pm 0.20 ^b

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 3 การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

Treatments	Weight loss (%) \pm standard error					
	Day 0		Day 12		Day 15	
Control	0.00	\pm 0.00 ^{ns}	3.32	\pm 0.30 ^{ns}		
0.5% acetic acid	0.00	\pm 0.00 ^{ns}	4.22	\pm 0.22 ^{ns}		
Freshly prepared LM-CTS	0.00	\pm 0.00 ^{ns}	3.56	\pm 0.16 ^{ns}		
14 days stored LM-CTS	0.00	\pm 0.00 ^{ns}	4.17	\pm 0.13 ^{ns}		
Freshly prepared MM-CTS	0.00	\pm 0.00 ^{ns}	3.59	\pm 0.08 ^{ns}	7.48	\pm 0.28 ^{ns}
14 days stored MM-CTS	0.00	\pm 0.00 ^{ns}	3.77	\pm 0.16 ^{ns}	7.09	\pm 0.16 ^{ns}
Freshly prepared HM-CTS	0.00	\pm 0.00 ^{ns}	3.62	\pm 0.21 ^{ns}	7.80	\pm 0.41 ^{ns}
14 days stored HM-CTS	0.00	\pm 0.00 ^{ns}	3.15	\pm 0.15 ^{ns}	7.18	\pm 0.31 ^{ns}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 4 ความแน่นเนื้อในหน่วย Newton (N) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

Treatments	Fruit firmness (N) \pm standard error		
	Day 0	Day 12	Day 15
Control	4.52 \pm 0.10 ^{ns}	3.30 \pm 0.19 ^{cd}	
0.5% acetic acid	4.52 \pm 0.10 ^{ns}	3.42 \pm 0.14 ^d	
Freshly prepared LM-CTS	4.52 \pm 0.10 ^{ns}	3.00 \pm 0.08 ^{bc}	
14 days stored LM-CTS	4.52 \pm 0.10 ^{ns}	2.53 \pm 0.07 ^a	
Freshly prepared MM-CTS	4.52 \pm 0.10 ^{ns}	3.29 \pm 0.08 ^{cd}	2.64 \pm 0.10 ^{ns}
14 days stored MM-CTS	4.52 \pm 0.10 ^{ns}	3.45 \pm 0.11 ^d	2.51 \pm 0.10 ^{ns}
Freshly prepared HM-CTS	4.52 \pm 0.10 ^{ns}	3.57 \pm 0.04 ^d	2.50 \pm 0.07 ^{ns}
14 days stored HM-CTS	4.52 \pm 0.10 ^{ns}	2.72 \pm 0.10 ^{ab}	2.38 \pm 0.10 ^{ns}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ๕ - 5 ค่าความสว่างของเปลือกผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

Treatments	Peel lightness (L value) \pm standard error		
	Day 0	Day 12	Day 15
Control	66.63 \pm 0.23 ^{ns}	70.41 \pm 0.63 ^b	
0.5% acetic acid	66.63 \pm 0.23 ^{ns}	69.97 \pm 0.41 ^b	
Freshly prepared LM-CTS	66.63 \pm 0.23 ^{ns}	70.33 \pm 0.55 ^b	
14 days stored LM-CTS	66.63 \pm 0.23 ^{ns}	69.01 \pm 0.54 ^b	
Freshly prepared MM-CTS	66.63 \pm 0.23 ^{ns}	69.83 \pm 0.21 ^b	68.70 \pm 0.41 ^b
14 days stored MM-CTS	66.63 \pm 0.23 ^{ns}	68.93 \pm 0.33 ^b	68.51 \pm 0.28 ^b
Freshly prepared HM-CTS	66.63 \pm 0.23 ^{ns}	65.80 \pm 0.48 ^a	65.96 \pm 0.52 ^a
14 days stored HM-CTS	66.63 \pm 0.23 ^{ns}	66.02 \pm 0.47 ^a	65.20 \pm 0.74 ^a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 6 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (hue angle) ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

Treatments	Peel hue (hue angle) \pm standard error		
	Day 0	Day 12	Day 15
Control	89.92 \pm 0.57 ^{ns}	76.35 \pm 2.18 ^a	
0.5% acetic acid	89.92 \pm 0.57 ^{ns}	73.22 \pm 1.19 ^a	
Freshly prepared LM-CTS	89.92 \pm 0.57 ^{ns}	74.05 \pm 0.58 ^a	
14 days stored LM-CTS	89.92 \pm 0.57 ^{ns}	72.50 \pm 0.90 ^a	
Freshly prepared MM-CTS	89.92 \pm 0.57 ^{ns}	72.79 \pm 0.56 ^a	73.13 \pm 0.68 ^a
14 days stored MM-CTS	89.92 \pm 0.57 ^{ns}	75.04 \pm 1.64 ^a	73.02 \pm 1.03 ^a
Freshly prepared HM-CTS	89.92 \pm 0.57 ^{ns}	88.84 \pm 0.51 ^c	85.93 \pm 1.35 ^b
14 days stored HM-CTS	89.92 \pm 0.57 ^{ns}	84.89 \pm 1.14 ^b	86.02 \pm 0.72 ^b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ๗ - 7 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

Treatments	Total soluble solids (°Brix) ± standard error		
	Day 0	Day 12	Day 15
Control	8.07 ± 0.07 ^{ns}	13.33 ± 0.54 ^{ns}	
0.5% acetic acid	8.07 ± 0.07 ^{ns}	13.61 ± 0.41 ^{ns}	
Freshly prepared LM-CTS	8.07 ± 0.07 ^{ns}	14.07 ± 0.27 ^{ns}	
14 days stored LM-CTS	8.07 ± 0.07 ^{ns}	13.16 ± 0.69 ^{ns}	
Freshly prepared MM-CTS	8.07 ± 0.07 ^{ns}	13.44 ± 0.45 ^{ns}	12.75 ± 0.40 ^a
14 days stored MM-CTS	8.07 ± 0.07 ^{ns}	13.30 ± 0.31 ^{ns}	13.12 ± 0.64 ^{ab}
Freshly prepared HM-CTS	8.07 ± 0.07 ^{ns}	13.63 ± 0.46 ^{ns}	14.44 ± 0.37 ^b
14 days stored HM-CTS	8.07 ± 0.07 ^{ns}	13.86 ± 0.36 ^{ns}	13.81 ± 0.70 ^{ab}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ๗ - 8 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

Treatments	Titratable acidity (%) \pm standard error		
	Day 0	Day 12	Day 15
Control	1.18 \pm 0.03 ^{ns}	0.11 \pm 0.01 ^a	
0.5% acetic acid	1.18 \pm 0.03 ^{ns}	0.07 \pm 0.01 ^a	
Freshly prepared LM-CTS	1.18 \pm 0.03 ^{ns}	0.08 \pm 0.01 ^a	
14 days stored LM-CTS	1.18 \pm 0.03 ^{ns}	0.05 \pm 0.00 ^a	
Freshly prepared MM-CTS	1.18 \pm 0.03 ^{ns}	0.08 \pm 0.00 ^a	0.09 \pm 0.01 ^{ab}
14 days stored MM-CTS	1.18 \pm 0.03 ^{ns}	0.07 \pm 0.00 ^a	0.04 \pm 0.00 ^a
Freshly prepared HM-CTS	1.18 \pm 0.03 ^{ns}	0.78 \pm 0.05 ^b	0.15 \pm 0.02 ^c
14 days stored HM-CTS	1.18 \pm 0.03 ^{ns}	0.11 \pm 0.01 ^a	0.15 \pm 0.03 ^{bc}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 9 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของ
เนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

Treatments	Total soluble acid-titratable acidity ratio		
	Day 0	Day 12	Day 15
Control	6.83	129.09	
0.5% acetic acid	6.83	189.51	
Freshly prepared LM-CTS	6.83	106.46	
14 days stored LM-CTS	6.83	249.16	
Freshly prepared MM-CTS	6.83	174.65	150.67
14 days stored MM-CTS	6.83	195.21	326.55
Freshly prepared HM-CTS	6.83	21.93	93.28
14 days stored HM-CTS	6.83	130.71	108.28

ตารางที่ ข - 10 ร้อยละของการเกิดโรคของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 12 และ 15

Treatment	Disease incidence		
	Day 0	Day 12	Day 15
Control	0.00	50.00	
0.5% acetic acid	0.00	41.67	
Freshly prepared LM-CTS	0.00	33.33	
14 days stored LM-CTS	0.00	50.00	
Freshly prepared MM-CTS	0.00	16.67	50.00
14 days stored MM-CTS	0.00	16.67	100.00
Freshly prepared HM-CTS	0.00	0.00	25.00
14 days stored HM-CTS	0.00	16.67	58.33

ตารางที่ ข - 11 การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่เน่าวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Weight loss (%) ± standard error				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	0.00 ± 0.00 ^{ns}	0.00 ± 0.00 ^{ns}	0.00 ± 0.00 ^{ns}	0.00 ± 0.00 ^{ns}	0.00 ± 0.00 ^{ns}
14	6.32 ± 0.23 ^c	4.26 ± 0.23 ^{ab}	4.71 ± 0.16 ^b	3.92 ± 0.16 ^a	7.17 ± 0.16 ^d
17	12.21 ± 0.30 ^c	11.74 ± 0.40 ^c	9.77 ± 0.19 ^b	6.20 ± 0.29 ^a	12.56 ± 0.23 ^c
20			13.73 ± 0.33 ^b	10.97 ± 0.19 ^a	15.77 ± 0.25 ^c
23				15.20 ± 0.18 ^a	16.72 ± 0.37 ^b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ๑ - 12 ความแน่นเนื้อในหน่วย Newton (N) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีน้ำตาลในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Fruit firmness (N) ± standard error				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	4.93 ± 0.07 ^{ns}	4.93 ± 0.07 ^{ns}	4.93 ± 0.07 ^{ns}	4.93 ± 0.07 ^{ns}	4.93 ± 0.07 ^{ns}
14	4.22 ± 0.21 ^{ns}	3.98 ± 0.12 ^{ns}	3.79 ± 0.14 ^{ns}	4.18 ± 0.20 ^{ns}	4.03 ± 0.16 ^{ns}
17	3.78 ± 0.07 ^a	3.91 ± 0.16 ^{ab}	4.14 ± 0.11 ^{bc}	4.32 ± 0.11 ^c	3.79 ± 0.08 ^a
20			3.49 ± 0.08 ^{ns}	3.58 ± 0.24 ^{ns}	3.35 ± 0.10 ^{ns}
23				2.94 ± 0.07 ^{ns}	2.93 ± 0.05 ^{ns}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 13 การเปลี่ยนแปลงความสว่างของสีเปลือกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Peel lightness (L value) ± standard error				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	66.55 ± 0.17 ^{ns}	66.55 ± 0.17 ^{ns}	66.55 ± 0.17 ^{ns}	66.55 ± 0.17 ^{ns}	66.55 ± 0.17 ^{ns}
14	69.31 ± 0.43 ^b	68.80 ± 0.51 ^b	68.28 ± 0.27 ^b	68.08 ± 0.37 ^b	66.46 ± 0.39 ^a
17	68.79 ± 0.34 ^{bc}	69.04 ± 0.27 ^c	67.83 ± 0.42 ^b	68.21 ± 0.41 ^{bc}	65.65 ± 0.38 ^a
20			67.38 ± 0.40 ^b	68.01 ± 0.43 ^b	64.79 ± 0.50 ^a
23				66.03 ± 0.38 ^b	64.45 ± 0.55 ^a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 14 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Peel hue (hue angle) ± standard error				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	90.11 ± 0.42 ^{ns}	90.11 ± 0.42 ^{ns}	90.11 ± 0.42 ^{ns}	90.11 ± 0.42 ^{ns}	90.11 ± 0.42 ^{ns}
14	88.92 ± 2.04 ^{ns}	88.81 ± 1.88 ^{ns}	90.42 ± 2.26 ^{ns}	91.53 ± 1.91 ^{ns}	92.66 ± 2.89 ^{ns}
17	81.18 ± 2.13 ^a	81.88 ± 1.07 ^a	82.38 ± 1.80 ^a	85.05 ± 2.54 ^a	90.72 ± 2.06 ^b
20			79.59 ± 1.28 ^a	81.54 ± 1.76 ^a	92.35 ± 1.96 ^b
23				77.73 ± 1.18 ^a	90.59 ± 1.97 ^b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 15 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่เน่าวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Total soluble solids (°Brix) ± standard error				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	8.15 ± 0.05 ^{ns}	8.15 ± 0.05 ^{ns}	8.15 ± 0.05 ^{ns}	8.15 ± 0.05 ^{ns}	8.15 ± 0.05 ^{ns}
14	14.97 ± 0.55 ^{ns}	15.30 ± 0.56 ^{ns}	15.78 ± 0.56 ^{ns}	14.72 ± 0.30 ^{ns}	14.52 ± 0.42 ^{ns}
17	16.77 ± 0.47 ^{ns}	16.43 ± 0.72 ^{ns}	16.08 ± 0.51 ^{ns}	16.27 ± 0.61 ^{ns}	15.80 ± 0.57 ^{ns}
20			15.68 ± 0.70 ^{ns}	15.85 ± 0.61 ^{ns}	16.05 ± 0.76 ^{ns}
23				14.97 ± 0.43 ^{ns}	15.37 ± 0.58 ^{ns}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข -16 ปริมาณกรดที่เททรตได้ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Titratable acidity (%) ± standard error				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	1.31 ± 0.04 ^{ns}	1.31 ± 0.04 ^{ns}	1.31 ± 0.04 ^{ns}	1.31 ± 0.04 ^{ns}	1.31 ± 0.04 ^{ns}
14	0.76 ± 0.06 ^{ns}	0.64 ± 0.07 ^{ns}	0.65 ± 0.08 ^{ns}	0.82 ± 0.06 ^{ns}	0.83 ± 0.07 ^{ns}
17	0.33 ± 0.04 ^a	0.36 ± 0.04 ^{ab}	0.40 ± 0.06 ^{ab}	0.50 ± 0.04 ^b	0.82 ± 0.08 ^c
20			0.20 ± 0.03 ^a	0.25 ± 0.03 ^a	0.61 ± 0.07 ^b
23				0.10 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.07 ^b

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 17 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนือมะม่วงนำตอกไม่ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Total soluble solids/titratable acidity ratio				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22
14	19.80	23.97	24.16	17.87	17.49
17	50.55	45.44	40.38	32.26	19.31
20			78.74	64.69	26.31
23				144.84	47.28

ตารางที่ ข - 18 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Disease incidence (%)				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	16.67	8.33	25.00	0.00	16.67
17	58.33	58.33	25.00	8.33	8.33
20			66.67	16.67	25.00
23			50.00	50.00	50.00

ตารางที่ ข - 19 เปรียบเทียบการรั่วไหลของไอออนจากเนื้อเยื่อมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Electrolyte leakage (%) ± standard error					
Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HIM-CTS	
Day 14	83.78 ± 0.95 ^a	85.68 ± 1.37 ^{ab}	86.60 ± 1.16 ^{ab}	87.68 ± 0.27 ^{ab}	89.37 ± 0.74 ^b

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

DMRT

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ๗ - 20 อัตราการหายใจของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ไม่ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Carbon dioxide production (mg/kg•hr) ± standard error				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	0.0226 ± 0.0024 ^{ns}	0.0226 ± 0.0024 ^{ns}	0.0226 ± 0.0024 ^{ns}	0.0226 ± 0.0024 ^{ns}	0.0226 ± 0.0024 ^{ns}
14	0.0213 ± 0.0060 ^{ns}	0.0264 ± 0.0094 ^{ns}	0.0221 ± 0.0081 ^{ns}	0.0206 ± 0.0108 ^{ns}	0.0117 ± 0.0046 ^{ns}
17	0.0519 ± 0.0142 ^{ns}	0.0417 ± 0.0118 ^{ns}	0.0511 ± 0.0137 ^{ns}	0.0526 ± 0.0108 ^{ns}	0.0415 ± 0.0050 ^{ns}
20			0.0591 ± 0.0116 ^{ab}	0.0644 ± 0.0153 ^b	0.0337 ± 0.0082 ^a
23				0.0251 ± 0.0027 ^a	0.0389 ± 0.0134 ^b

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 21 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงนำติดอกไปในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Ethylene production (mg/kg•hr) ± standard error					
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS	HM-CTS
0	0.0144 ± 0.0016 ^{ns}	0.0144 ± 0.0016 ^{ns}	0.0144 ± 0.0016 ^{ns}	0.0144 ± 0.0016 ^{ns}	0.0144 ± 0.0016 ^{ns}	0.0144 ± 0.0016 ^{ns}
14	0.0207 ± 0.0047 ^{ns}	0.0256 ± 0.0085 ^{ns}	0.0137 ± 0.0054 ^{ns}	0.0215 ± 0.0055 ^{ns}	0.0151 ± 0.0056 ^{ns}	0.0151 ± 0.0056 ^{ns}
17	0.0183 ± 0.0049 ^{ab}	0.0274 ± 0.0088 ^b	0.0229 ± 0.0062 ^{ab}	0.0163 ± 0.0070 ^{ab}	0.0108 ± 0.0055 ^a	0.0108 ± 0.0055 ^a
20			0.0123 ± 0.0084 ^{ns}	0.0122 ± 0.0095 ^{ns}	0.0131 ± 0.0073 ^{ns}	0.0131 ± 0.0073 ^{ns}
23				0.0163 ± 0.0011 ^b	0.0073 ± 0.0029 ^a	0.0073 ± 0.0029 ^a

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ข - 22 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	H ₂ O ₂ concentration (mM/g fresh weight) ± standard error				
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	1.16 ± 0.04 ^{ns}	1.16 ± 0.04 ^{ns}	1.16 ± 0.04 ^{ns}	1.16 ± 0.04 ^{ns}	1.16 ± 0.04 ^{ns}
14	1.74 ± 0.16 ^{ns}	1.55 ± 0.09 ^{ns}	1.80 ± 0.13 ^{ns}	1.70 ± 0.06 ^{ns}	1.78 ± 0.14 ^{ns}
17	2.19 ± 0.15 ^{ab}	2.44 ± 0.16 ^{ab}	2.65 ± 0.20 ^b	3.78 ± 0.13 ^c	1.46 ± 0.13 ^a
20			5.75 ± 0.38 ^b	5.15 ± 0.25 ^b	1.74 ± 0.05 ^a
23				6.28 ± 0.29 ^b	2.03 ± 0.15 ^a

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ๒ - 23 การทำงานของเอนไซม์ catalase ของผสมมะม่วงน้ำตกที่ไม่เน่าในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Catalase specific activity (Units/mg protein) ± standard error					
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS	
0	0.0488 ± 0.0059 ^{ns}	0.0518 ± 0.0069 ^{ns}	0.0518 ± 0.0069 ^{ns}	0.0518 ± 0.0069 ^{ns}	0.0518 ± 0.0069 ^{ns}	
14	0.1063 ± 0.0088 ^a	0.2592 ± 0.0156 ^c	0.1974 ± 0.0273 ^b	0.1630 ± 0.0187 ^b	0.1027 ± 0.0142 ^a	
17	0.3219 ± 0.0422 ^b	0.3970 ± 0.0414 ^b	0.2602 ± 0.0830 ^{ab}	0.3292 ± 0.0282 ^b	0.1595 ± 0.0210 ^a	
20			0.6464 ± 0.0452 ^b	0.7757 ± 0.0604 ^b	0.1611 ± 0.0479 ^a	
23				0.9155 ± 0.0841 ^b	0.5719 ± 0.0720 ^a	

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ๗ - 24 การทำงานของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ของผลมะม่วงนำคอกไม่ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS
0	24.0792 ± 1.4757 ^{ns}	24.9102 ± 1.1383 ^{ns}	24.9102 ± 1.1383 ^{ns}	24.9102 ± 1.1383 ^{ns}	26.3411 ± 1.2399 ^{ns}
14	20.8928 ± 2.1131 ^a	32.1092 ± 1.2928 ^b	30.3428 ± 2.0952 ^b	26.4217 ± 2.1902 ^{ab}	29.6015 ± 2.3573 ^b
17	37.3014 ± 3.4861 ^a	49.0467 ± 2.8869 ^b	43.2681 ± 2.6758 ^{ab}	39.7637 ± 4.0380 ^{ab}	42.4302 ± 1.7219 ^{ab}
20			50.0715 ± 3.2297 ^{ab}	56.6632 ± 4.0213 ^b	41.9646 ± 4.2640 ^a
23				66.7581 ± 2.8312 ^b	52.3530 ± 2.2542 ^a

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

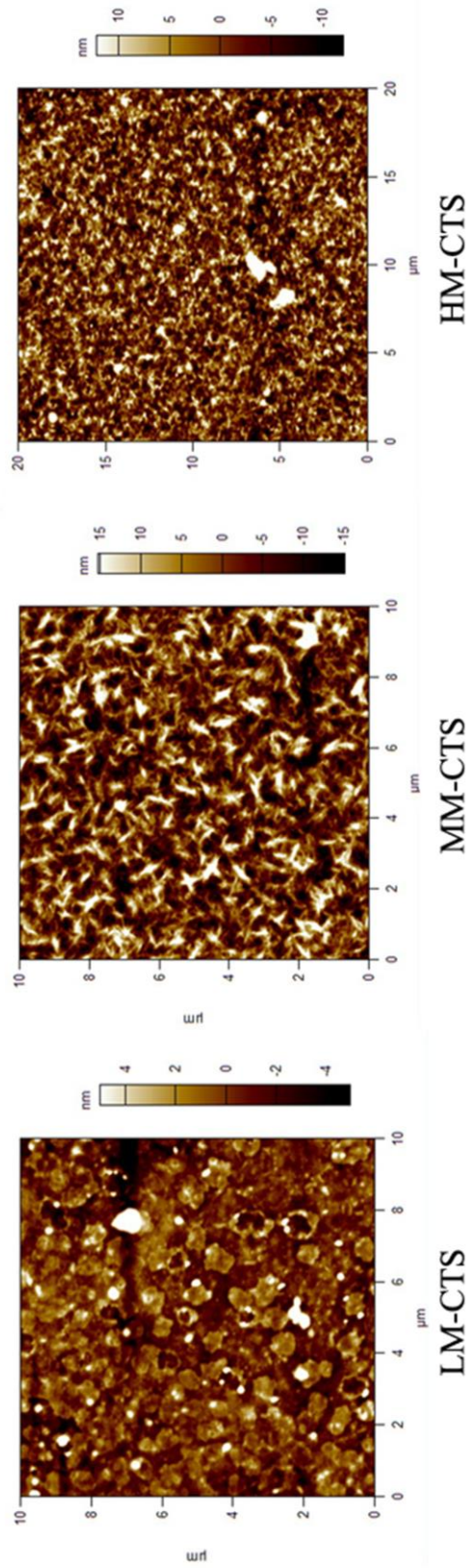
ตารางที่ ๒๕ - 25 การทำงานของเอนไซม์ guaiacol peroxidase ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 0, 14, 17, 20 และ 23

Day	Guaiacol peroxidase specific activity (Units/mg protein) ± standard error					
	Control	0.5% acetic acid	LM-CTS	MM-CTS	HM-CTS	
0	0.0747 ± 0.0111 ^{ns}	0.0790 ± 0.0125 ^{ns}	0.0790 ± 0.0125 ^{ns}	0.0790 ± 0.0125 ^{ns}	0.0790 ± 0.0125 ^{ns}	
14	0.8533 ± 0.1909 ^{bc}	0.3229 ± 0.0497 ^a	0.9636 ± 0.1813 ^c	0.4349 ± 0.0756 ^a	0.4854 ± 0.1182 ^{ab}	
17	0.2223 ± 0.0402 ^a	2.0728 ± 0.4387 ^c	1.2682 ± 0.2192 ^{bc}	1.1378 ± 0.2687 ^b	1.5937 ± 0.3454 ^{bc}	
20			1.8343 ± 0.3626 ^{ns}	2.5481 ± 0.5691 ^{ns}	1.5145 ± 0.3413 ^{ns}	
23				2.3688 ± 0.6604 ^{ns}	2.4898 ± 0.5456 ^{ns}	

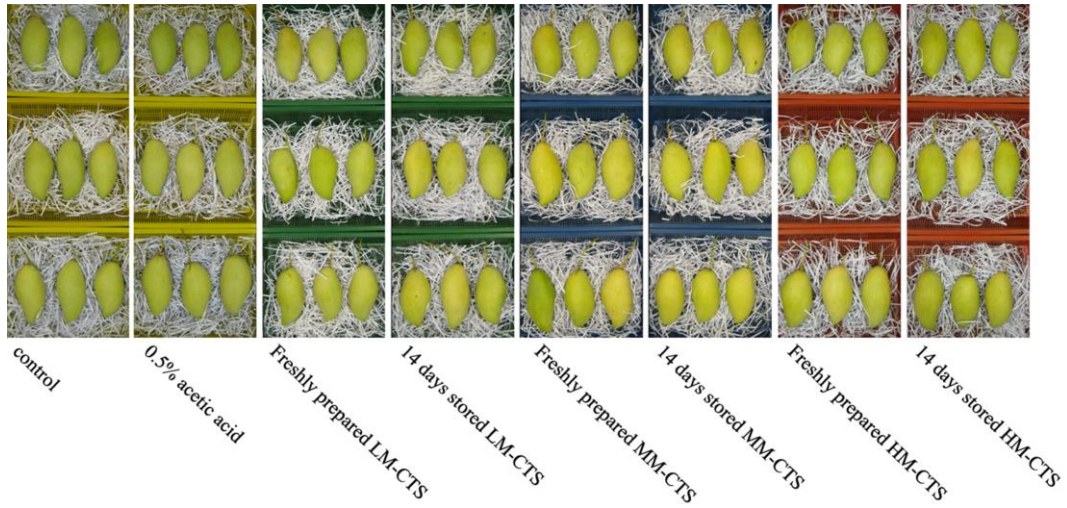
* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนแสดงถึงความเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT และ Independent-Samples T Test ในวันที่ 23 ของการทดลอง

ns: not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

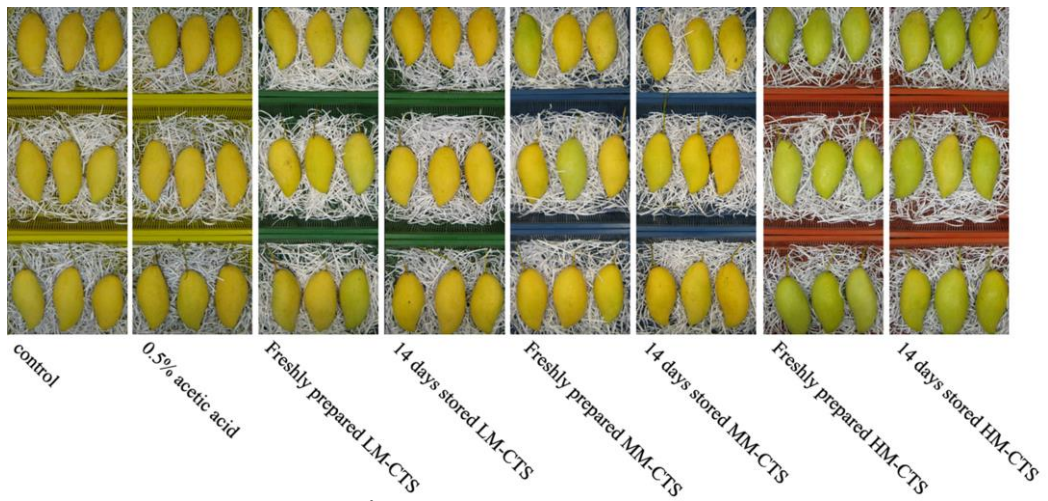




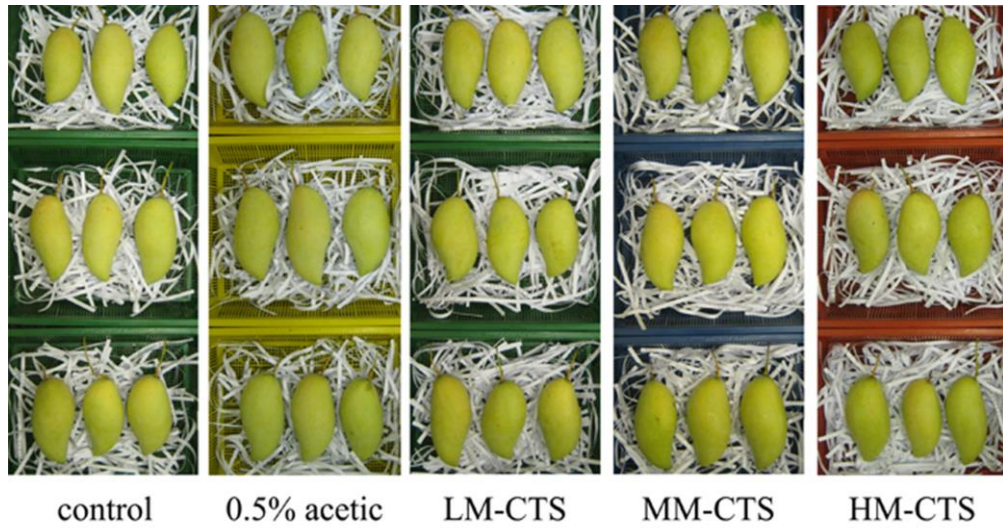
รูปที่ ค - 1 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไคโทซาน



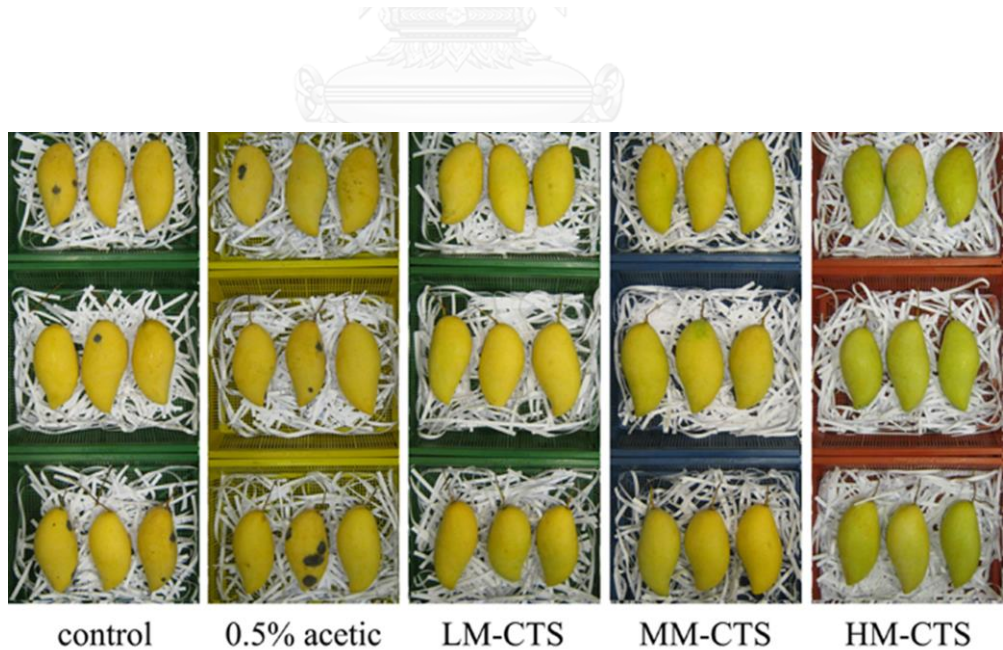
รูปที่ ค - 2 ผลมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อเริ่มการทดลองที่ 2



รูปที่ ค - 3 ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในการทดลองที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 12 วัน



รูปที่ ค - 4 ผลมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อเริ่มการทดลองที่ 3



รูปที่ ค - 5 ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในการทดลองที่ 3 เมื่อเวลาผ่านไป 17 วัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภานุพงศ์ อัมไพชัยโชค เกิดเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2532 ที่จังหวัดสงขลา เป็นนิสิตในโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) โดยเริ่มรับทุน พสวท. ตั้งแต่ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ จากภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เกียรตินิยมอันดับ 2 ในปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ ที่ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2555

