# ผลของการเคลือบฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตพืช ต่อการยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้น

Effects of Alginate/*Aloe vera* Film Coating and Plant Growth Regulators on Extending Postharvest Life in Lime cv. Pan


**วรรณทการณ์ สถิตย์กุล**

Wanthakarn Satidkoon


**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา**
**วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์**
**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2561


**ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

# ผลของการเคลือบฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตพืช ต่อการยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้น

Effects of Alginate/*Aloe vera* Film Coating and Plant Growth Regulators on Extending Postharvest Life in Lime cv. Pan

**วรรณทการณ์ สถิตย์กุล**

Wanthakarn Satidkoon

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา**
**วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์**
**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2561

**ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**ชื่อวิทยานิพนธ์** ผลของการเคลือบฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชต่อการยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้น

**ผู้เขียน** นางสาววรรณทการณ์ สถิตย์กุล

**สาขาวิชา** พืชศาสตร์

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

……..... 

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)

**คณะกรรมการสอบ**

……ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร บุญญะอติชาติ)

……..กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)

……..กรรมการ

(ดร.อดิเรก รักคง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

……..

(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาววรรณทการณ์ สถิตย์กุล)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาววรรณทการณ์ สถิตย์กุล)

นักศึกษา

**ชื่อวิทยานิพนธ์** ผลของการเคลือบฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชต่อการยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้น

**ผู้เขียน** นางสาววรรณทการณ์ สถิตย์กุล

**สาขาวิชา** พืชศาสตร์

**ปีการศึกษา** 2561

## บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเคลือบฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ กรดจิบเบอเรลลิค ($GA_3$) และสารเมธิลไซโคลโพรพีน (1-MCP) ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้น แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของสารเคลือบผิวอัลจิเนตว่านหางจระเข้ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาว พบว่า การเคลือบผิวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวได้ โดยมะนาวที่เคลือบผิวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุหลังเก็บเกี่ยวนานที่สุด 6 วัน เมื่อเทียบกับมะนาวในชุดควบคุมและเคลือบผิวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 ที่มีอายุหลังเก็บเกี่ยว 5 วัน แต่ผลมะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำคั้น และอัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ การทดลองที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ โดยศึกษาอัตราส่วนของอัลจิเนต:ว่านหางจระเข้ 100:0 (ฟิล์มอัลจิเนต) 90:10 และ 85:15 ได้แก่ สีและค่าการเปลี่ยนแปลงสี ($\Delta$E) ความหนา การละลายน้ำ ความทนแรงดึง การยืดตัว และอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำ ผลการทดลองพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนของสารสกัดว่านหางจระเข้เพิ่มขึ้น โดยฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีค่าสีเขียว (a*) น้อยที่สุด ในขณะที่ฟิล์มอัลจิเนตมีค่าสีเหลือง (b*) มากที่สุด และพบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มอัลจิเนตมีค่ามากกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 นอกจากนี้ยังพบว่า ฟิล์มอัลจิเนตมีค่าความหนา การละลายน้ำ ความทนแรงดึง และการยืดตัวสูงที่สุด ในขณะที่ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทุกอัตราส่วนไม่แตกต่างกันทางสถิติ การทดลองที่ 3 ผลของเวลาการรมสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาว ผลการทดลองพบว่า การรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 6-24 ชั่วโมง สามารถชะลอการเปลี่ยนสีและ

การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวได้ดีกว่ามะนาวในชุดควบคุม และการรม 1-MCP เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ผลดีที่สุด โดยมะนาวมีอายุหลังเก็บเกี่ยว 7 วัน เมื่อเทียบกับมะนาวที่ไม่รมสารมีอายุหลังเก็บเกี่ยว 3 วัน การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ $GA_3$ และสาร 1-MCP ต่อการยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ ผลการทดลองพบว่า การรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 24 ชั่วโมง ก่อนเคลือบผลด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ที่ไม่ได้บรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศมีอายุหลังเก็บเกี่ยวนาน 10 วัน ซึ่งนานกว่าผลมะนาวในชุดควบคุมที่มีอายุ 2 วัน นอกจากนี้ ในชุดทดลองการบรรจุมะนาวในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศที่หุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร พบว่า มะนาวที่จุ่มแช่ด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนการเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 และรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 24 ชั่วโมง ก่อนการเคลือบผลด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุหลังเก็บเกี่ยวนานที่สุด 14 วัน ซึ่งนานกว่าผลมะนาวในชุดควบคุมที่มีอายุหลังเก็บเกี่ยว 3 วัน

**Thesis Title** Effects of Alginate/Aloe vera Film Coating and Plant Growth Regulators on Extending Postharvest Life in Lime cv. Pan

**Author** Miss Wanthakarn Satidkoon

**Major Program** Plant Science

**Academic Year** 2018

## ABSTRACT

This research aimed to study the effects of alginate/*Aloe vera* film coating gibberellic acid ($GA_3$) and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest life of lime cv. Pan. Four experiments were performed. Experiment I was to study the effects of alginate/*Aloe vera* film coating on postharvest life of lime. It was found that coating fruits with the alginate/*Aloe vera*; delayed in the fruit peel coloring and the mixing ratio of alginate/*Aloe vera* 85:15 was the most effective coating that lime had the postharvest life for 6 days when comparing with the mixture of alginate/*Aloe vera* 90:10 and control lime that had postharvest life for 5 days. However, lime weight loss of all treatments increased throughout experimental period. Juice content and total soluble solids and titratable acidity (TSS/TA) ratio did not significantly differences. Experiment II was to study the physical properties of alginate/*Aloe vera* film at ratio of alginate and aloe vera 100:0 (alginate film), 90:10 and 85:15, in term color (L*, a* and b* value), total color difference value ($\Delta$E), thickness, water solubility, tensile strength, elongation-at-break and water vapour permeability. The results showed that the lightness (L* value) of alginate/*Aloe vera* film increased with higher ratio of aloe vera extract. The lowest of green value (a*) was found in alginate/*Aloe vera* film at a ratio of 85:15, while the highest of yellow value (b*) was found in alginate film. Total color difference value ($\Delta$E) of alginate film was higher than that at a ratio of 90:10 and 85:15. In addition, the alginate film had the highest value of thickness, water solubility, tensile strength and elongation-at-break, whereas water vapour permeability of all film ratios did not significantly differences. Experiment III was to study the effects of exposure time of 1-MCP fumigation on postharvest life of lime. The results showed that fumigation treatment with 750 $\mu gl^{-1}$ 1-MCP 6-24 hours effective delayed fruit peel coloring

and weight loss that greater than control. The most effective 1-MCP treatment was fumigation for 24 hours extended the postharvest life for 7 days when comparing with non-fumigated treatment (3 days). Experiment IV was to study the effects of alginate/*Aloe vera* film coating $GA_3$ and 1-MCP on extending postharvest life of lime fruits in modified atmosphere packaging (MAP). The results showed that fumigation lime fruits with 750 $\mu gl^{-1}$ 1-MCP for 24 hours before coating with alginate/*Aloe vera* film at a ratio of; (85:15), was the most effective treatment to extend postharvest life for 10 days more than that in control for 2 days without MAP. In addition, the experiment of lime in MAP found that soaking fruit in 300 $mgl^{-1}$ $GA_3$ solution and/or fumigation with 750 $\mu gl^{-1}$ 1-MCP for 24 hours before coating with alginate/*Aloe vera* film (85:15) were the most effective treatments on extending the postharvest life for 14 days more than that in control for 3 days.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาการทำวิจัย ตลอดจนการตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์จนปรับปรุงแก้ไข ติดตามงานทำให้สำเร็จลุล่วงจนเล่มวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร บุญญะอติชาติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.อดิเรก รักคง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนในการทำวิจัยจากมูลนิธิโทเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ (ประเทศไทย) ทุนอุดหนุนวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ทุนสนับสนุนสถานวิจัยความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 2 คณะทรัพยากรธรรมชาติ และภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือ สนับสนุน ตักเตือน และเป็นที่ปรึกษาในทุกเรื่องทั้งด้านการทำวิจัยและการดำเนินชีวิต จนข้าพเจ้าทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจให้เสมอมาจนสำเร็จการศึกษาปริญญาโท

วรรณทการณ์ สถิตย์กุล

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | (5) |
| ABSTRACT | (7) |
| กิตติกรรมประกาศ | (8) |
| สารบัญ | (9) |
| รายการตาราง | (10) |
| รายการภาพประกอบ | (11) |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ | 1 |
| บทนำต้นเรื่อง | 1 |
| การตรวจเอกสาร | 2 |
| วัตถุประสงค์ | 13 |
| 2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ | 14 |
| วัสดุ อุปกรณ์ | 14 |
| วิธีการ | 16 |
| 3 ผล | 28 |
| 4 วิจารณ์ | 49 |
| 5 สรุป | 55 |
| เอกสารอ้างอิง | 59 |
| ภาคผนวก | 62 |
| ประวัติผู้เขียน | 66 |

# รายการตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ส่วนประกอบทางเคมีในน้ำคั้นของพืชสกุลส้ม | 5 |
| 2 | ระดับคะแนนการเสื่อมสภาพของผิวเปลือกมะนาว | 19 |
| 3 | ผลของสารเคลือบผิวอัลจิเนตรว่านหางจระเข้ที่อัตราส่วนต่างกันต่อปริมาณน้ำคั้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของมะนาวพันธุ์แป้น ที่คะแนนการเสื่อมสภาพเท่ากับ 3 หรือผลสีเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ | 32 |
| 4 | ค่าสี (L* a* และ b*) และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ($\Delta$E) ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ | 34 |
| 5 | ค่าความหนา (mm) อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (g /$m^2$ 24 hrs) การละลายน้ำ (%) ความทนแรงดึง (Mpa) และการยืดตัว (%) ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ | 36 |
| 6 | อายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวหลังรม 1-MCP เป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง | 37 |
| 7 | อายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวหลังได้รับทรีทเมนต์ | 42 |

# รายการภาพประกอบ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | โครงสร้างโครงของอัลจิเนตแบบพอลิกูลูโรนิค (polyguluronic) และแบบพอลิแมนนูโรนิค (polymannuronic) | 8 |
| 2 | hue angle ในแผนผังของ CIELAB | 20 |
| 3 | ตำแหน่งสุ่มวัดความหนาบนแผ่นฟิล์ม | 23 |
| 4 | คะแนนการเสื่อมสภาพและค่า hue angle หลังเคลือบผลมะนาวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 ที่อุณหภูมิห้อง 24.3±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67.9±2.1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD (บาร์แนวตั้ง = ± SE) | 29 |
| 5 | การสูญเสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 ที่อุณหภูมิห้อง 24.3±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67.9±2.1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD (บาร์แนวตั้ง = ± SE) | 30 |
| 6 | ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ | 33 |
| 7 | การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวที่รม 1-MCP เป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 | 38 |
| 8 | คะแนนการเสื่อมสภาพและค่า hue angle ของมะนาวหลังรม 1-MCP เป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 29.6±0.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.1±5.1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD (บาร์แนวตั้ง = ± SE) | 39 |
| 9 | การสูญเสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังรมสาร 1-MCP เป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 29.6±0.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.1±5.1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD (บาร์แนวตั้ง = ± SE) | 40 |
| 10 | คะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ ที่อุณหภูมิ 30.1±0.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78.9±1.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT (บาร์แนวตั้ง = ± SE) | 43 |

# รายการภาพประกอบ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 11 | ค่า hue angle ของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ ที่อุณหภูมิ 30.1±0.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78.9±1.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT (บาร์แนวตั้ง = ± SE) | 45 |
| 12 | การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ที่ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 | 46 |
| 13 | การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์และหุ้มฟิล์มถนอมอาหาร ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 | 46 |
| 14 | การสูญสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ ที่อุณหภูมิ 30.1±0.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78.9±1.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT (บาร์แนวตั้ง = ± SE) | 48 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## บทนำต้นเรื่อง

มะนาวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศ ปัจจุบันการผลิตมะนาวสามารถทำได้ง่ายทำให้มีผลผลิตออกสู่ตลาดในฤดูกาลจำนวนมากและส่งผลต่อการตกต่ำของราคา โดยปัญหาที่สำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของมะนาวคือ เปลือกผลเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาล การสูญเสียน้ำหนักจากการคายน้ำทำให้ผลเหี่ยว ซึ่งจากการที่ผลมะนาวเกิดการขาดน้ำทำให้มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น ไปเร่งปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้มะนาวมีอายุการเก็บรักษาสั้น (วาสนา และคณะ, 2558) จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดในการชะลอการเปลี่ยนสีและยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวเช่น การใช้สารเคลือบผิวหลังการเก็บเกี่ยว การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิด และการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ เป็นต้น

สารเคลือบผิวมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมการคายน้ำที่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก อาการเหี่ยวเฉาของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ควบคุมการหายใจ และช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ (ไพรัตน์ และคณะ, 2536) จริงแท้ (2542) กล่าวว่าสารเคลือบผิวที่ใช้กับผักและผลไม้ไปปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่ และปิดช่องเปิดต่าง ๆ ตามธรรมชาติ ทำให้การสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนแก๊สลดน้อยลง ปริมาณออกซิเจนภายในผลลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ปัจจุบันมีการใช้สารเคลือบผิวที่ได้มาจากอัลจิเนตและว่านหางจระเข้กับผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิด เนื่องจากสารทั้งสองชนิดจัดเป็นสารเคลือบบริโภคได้ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Nieto, 2009) อัลจิเนตเป็นฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ (biopolymer) ที่มีคุณสมบัติของคอลลอยด์ที่เป็นเอกลักษณ์ซึ่งรวมถึงการรักษาเสถียรภาพการลอยตัว การขึ้นรูปฟิล์ม การผลิตเจล การคงตัวของอิมัลชัน ช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น ควบคุมการถ่ายเทความชื้น การแลกเปลี่ยนแก๊สและกระบวนการสุกของผักและผลไม้ อัลจิเนตถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารเพื่อผลิตอาหารสำเร็จรูป และอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตโฟมสำหรับตรึงเซลล์หรือเอนไซม์

(Cagri *et al*., 2004; Tapia-Blacido *et al*., 2007; Rhim, 2004) สำหรับสารเคลือบจากว่านหางจระเข้สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ควบคุมอัตราการหายใจ การพัฒนาการเจริญเติบโต และลดการแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์ (Athmaselvi *et al*., 2013)

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตกับผลิตผลหลังเก็บเกี่ยวเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการชะลอการเสื่อมสภาพและคงคุณภาพในระหว่างเก็บรักษา เช่น กรดจิบเบอเรลลิค (gibberellic acid, $GA_3$) การใช้กรดจิบเบอเรลลิคสามารถลดการสร้างเอทิลีนจึงมีผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและยืดอายุหลังเก็บเกี่ยว (จริงแท้, 2542; 2553) สำหรับสารเมธิลไซโคลโพรพีน (1-methylcyclopropene, 1-MCP) เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนถูกนำมาใช้ในการรักษาความสดของผัก ผลไม้ ดอกไม้ ยืดอายุการวางจำหน่ายของผลิตผล และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (สายชล, 2555) อย่างไรก็ตามยังไม่เคยมีการศึกษาฟิล์มเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ $GA_3$ และ 1-MCP ร่วมกันในมะนาว ซึ่งการศึกษาในประเด็นดังกล่าวสามารถนำไปใช้ยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวเพื่อให้มีการจำหน่ายได้นานขึ้น

**การตรวจเอกสาร**

**1. ข้อมูลทั่วไปของมะนาว**

มะนาว (*Citrus aurantifolia* Swingle) อยู่ในวงศ์ Rutaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า ไทย หรือตอนเหนือของมาเลเซีย โดยทั่วไปจะเจริญเติบโตภายใต้สภาพภูมิอากาศเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนในที่ราบและสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,000 เมตร หากพื้นที่นั้นมีความชื้นต่ำและเหมาะสม (Debbarma and Hazarika, 2016) การผลิตมะนาวในปี พ.ศ. 2559 พบว่า ประเทศไทยมีเนื้อที่ให้ผลผลิตรวมทั้งประเทศอยู่ที่ 104,902 ไร่ ผลผลิตต่อไร่ 1,410 กิโลกรัม และมูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้เท่ากับ 4,181 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ปัจจุบันพันธุ์ที่นิยมปลูกและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจในประเทศไทยในปัจจุบันมีหลายสายพันธุ์ เช่น มะนาวหนัง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาวหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาว มีกลมมนบ้างเล็กน้อย ด้านหัวมีจุกเล็ก ๆ มีเปลือกค่อนข้างหนา จึงทำให้เก็บรักษาผลไว้ได้นาน มะนาวไข่มีขนาดและลักษณะคล้ายมะนาวหนังเกือบทุกอย่าง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาวหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมมนเป็นส่วนมาก เปลือกบาง ผลโตกว่ามะนาวหนัง (ศูนย์ข้อมูลไม้ผล, 2558) และมะนาวแป้นเป็นมะนาวที่ได้จากการเพาะเมล็ดมะนาวพื้นบ้านแล้วมีการกลายไปจนได้ลักษณะที่ดี เป็นพันธุ์ที่

นิยมปลูกมากที่สุด เพราะเป็นมะนาวที่ให้ผลดกและออกผลตลอดทั้งปีผลมีขนาดกลาง ทรงผลแป้นเปลือกบางใสมีสีเขียวอมเหลือง มีน้ำมาก มะนาวแป้นมีหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์แป้นรำไพ แป้นทราย เป็นต้น (ศุภกิจ, 2540)

## 2. การเปลี่ยนแปลงของมะนาวหลังเก็บเกี่ยว

มะนาวจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric fruit ซึ่งผลไม้ประเภทนี้จะมีอัตราการหายใจภายหลังการเก็บเกี่ยวจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ และไม่มีการสูงขึ้น การสังเคราะห์เอทิลีนต่ำและคงที่ในระหว่างการแก่จนถึงสุก การเปลี่ยนแปลงทางสรีระภายในผลมีน้อยถึงแม้ว่าผลจะมีสีเขียวหรือสีเหลืองต่างกันก็ตาม (นิภา, 2540)

### 2.1 การเปลี่ยนสี

การเปลี่ยนสีเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้เกิดรงควัตถุอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเบต้าแคโรทีน เช่น การเกิดกระบวนการ degreening ของมะนาวฝรั่ง (lemon) การเสื่อมสภาพของผลิตผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสรีระและชีวเคมี ซึ่งกระบวนการหนึ่งที่เห็นได้ชัดและสำคัญคือ การสูญเสียสีเขียว โดยกระบวนการนี้เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเหลือง (carotenoid) ปรากฏให้เห็นซึ่งเป็นลักษณะการเสื่อมสภาพ (ดนัย, 2540) หรือเกิดจากกระบวนการสุก โดยจะมีการเปลี่ยนสีผิวของผิวและเนื้อ เช่น ส้ม มีเฉพาะการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือส้มเท่านั้น (จริงแท้, 2542)

### 2.2 การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักเป็นผลโดยตรงมาจากการสูญเสียน้ำภายในผลิตผลเกิดขึ้นจากการคายน้ำเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจทำให้น้ำหนักลดลง โดยน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผักและผลไม้ เนื้อเยื่อจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 80-95 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำไปเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผิวของผักและผลไม้เหี่ยว ถ้าอยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงจะยิ่งเร่งให้เกิดการเหี่ยวเร็วขึ้นภายในไม่กี่ชั่วโมง ดังนั้นการสูญเสียน้ำของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก (จริงแท้, 2542) สำหรับมะนาวหากถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง มะนาวจะมีการสูญเสียน้ำหนักในอัตรา 1-2 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน หากมะนาว

สูญเสียน้ำหนักถึง 12-14 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด จะทำให้ผิวของมะนาวเหี่ยวย่น ไม่สด น้ำหนักและคุณภาพลดลง (Passam and Blunden, 1982)

### 2.3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

ผลไม้ในระหว่างการสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี ผลไม้มักสะสมอาหารอยู่ในรูปของแป้งหรือน้ำตาล แต่ในผลไม้สกุลส้มซึ่งไม่มีการสะสมแป้งระหว่างการเจริญเติบโต อาจมีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นหรือปริมาณกรดลดลงภายหลังการเก็บเกี่ยว มีรายงานในส้มพบว่า กรดที่หายไปได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจเช่นเดียวกับน้ำตาล หรืออาจเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารสะสมหรือใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่าง ๆ เมื่อเกิดกระบวนการสุกโดยพบว่าอัตราส่วนความหวานต่อความเป็นกรด (อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้) เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพด้านรสชาติของผลิตผล จะมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8-10 และช่วง 10-16 เป็นค่าของคุณภาพที่ยอมรับได้ ถ้าในผลไม้ที่ยังไม่เก็บเกี่ยวจะมีการเพิ่มขึ้นของค่าของแข็งที่ละลายได้ในน้ำในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลไม้เสื่อมสภาพ แต่มะนาวมีความแตกต่างจากผลไม้ตระกูลส้มอื่น ๆ โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดในน้ำคั้น (จริงแท้, 2553;ดนัย, 2540; Pranamornkith, 2009) ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่** 1 ส่วนประกอบทางเคมีในน้ำคั้นของพืชสกุลส้ม

| สกุล | วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อปริมาณน้ำคั้น 100 มิลลิลิตร) | ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ ($^{o}$Brix) | ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก) | การบริโภค |
|---|---|---|---|---|
| เลมอน | | | | ผลสด |
| (*C. limon*) | | | | |
| - Primofiori | 45.9 | 9.1 | 6.7 | |
| - Maglino | 56.66 ± 3.04 | 9 ± 0.19 | 6.74 ± 0.24 | |
| มะนาว | | | | น้ำคั้น และ |
| (*C. latifolia* Tan) | 33.8 - 36.1 | 9.5 - 9.8 | 6.33 - 6.86 | ผลสด |
| (*C. aruntiforia* | 23.65 | 7.06 | 8.23 | |
| Swingle) | | | | |
| - Paan | | | | |

ที่มา : Pranamornkith (2009)

### 3. การใช้สารเคลือบผิวผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

การเก็บรักษาให้ผลิตผลอยู่ได้นานต้องเริ่มจากการที่ผลิตผลมีคุณภาพดีตั้งแต่เก็บเกี่ยว แม้ว่าจะเก็บเกี่ยวผลิตผลออกจากต้นแล้วกระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ก็ยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น การหายใจ การคายน้ำ การสุก และการชราภาพ เป็นต้น ดังนั้นการปฏิบัติด้วยวิธีการต่าง ๆ สามารถช่วยชะลอกระบวนการเมทาบอลิซึมและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่อผลิตผลได้ เช่น วิธีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ องค์ประกอบของบรรยากาศ ปัจจัยอื่น ๆ รอบผลิตผล การใช้สารเคลือบผิว และการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นต้น (จริงแท้, 2542)

การใช้สารเคลือบผิวต้องเลือกชนิดและความเข้มข้นให้เหมาะสมกับผลิตผล ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของสารแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการป้องกันการสูญเสียน้ำและควบคุมการผ่านเข้าออกของแก๊สได้ไม่เท่ากัน สารเคลือบผิวนิยมใช้กับผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ผลผลิตมีความมันวาวสวยงามดึงดูดใจผู้ซื้อ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษา ลดอัตราการสูญเสียน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการหายใจและช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ด้วย

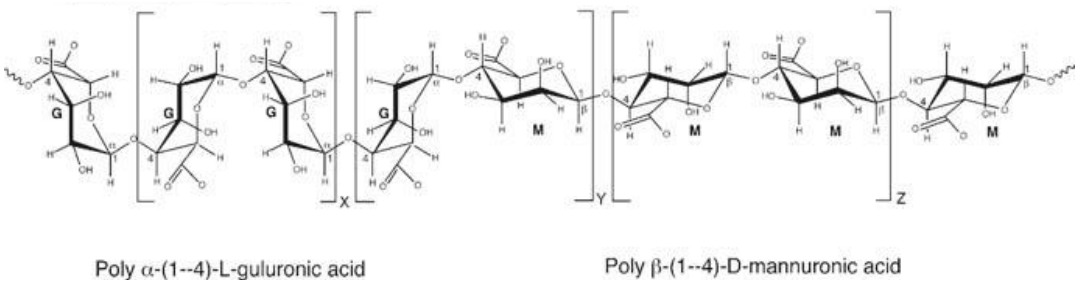
และนอกจากนี้การเคลือบผิวเป็นการเก็บรักษาที่ทำให้บรรยากาศภายในผลิตผลเป็นสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Embuscado and Huber, 2009)

### 3.1 อัลจิเนต

Nieto (2009) ได้อธิบายถึงสารอัลจิเนตไว้ดังนี้ สารอัลจิเนตสกัดมาจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอยู่ในวงศ์ Phaeophyceae สารอัลจิเนตที่มีจำหน่ายอย่างเป็นการค้าส่วนใหญ่สกัดมาจากสาหร่ายลามีนาเรีย (*Laminaria* spp.) ไจแอนท์ลามีนา (*Macroscystis pyrifera*) Knotted wrack หรือ Egg Wrack (*Ascophyllum nodosum*) เอ็กโคลเนีย (*Eclonia* spp.) lessonia (*Lessonia nigrescens*) Bull kelp (*Durvillae antarctica*) และ gulf weed หรือสาหร่ายทุ่น (*Sargassum* spp.) อัลจิเนตที่มีอยู่ในสาหร่ายทะเลอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม สตรอนเทียม และแบเรียม ซึ่งมีลักษณะเป็นเจล สารอัลจิเนตเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นที่เกิดจากโมโนเมอร์น้ำตาลสองชนิดขึ้นไปที่สร้างพันธะต่อกันเป็นสายยาวไม่มีกิ่งหรือสาขาแยกออกไป โดยโมโนเมอร์ดังกล่าวได้แก่ ß - (1⟶4) - linked d-mannuronic acid มีชื่อย่อ M และ α - (1⟶4) - linked l-guluronic acid มีชื่อย่อ G อัลจิเนตเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบสูง การเรียงตัวของโมโนเมอร์ไม่เป็นแบบสุ่ม แต่มีรูปแบบการเรียงตัวเป็นบล็อคที่แน่นอน อัลจิเนตประกอบด้วยบล็อคของโมโนเมอร์น้ำตาลมีทั้งที่เหมือนกันคือ MMMMMM และ GGGGGG และโมโนเมอร์น้ำตาลสองชนิดคือ GMGMGMGM โดยในแต่ละบล็อคเหล่านี้จะมีโครงสร้างการเกิดในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 1) ตัวอย่างเช่น สารอัลจิเนตที่สกัดมาจากสาหร่าย *Macrocystis pyrifera* จะมีสัดส่วนของ M/G ประมาณ 1.6:1 ในขณะที่อัลจิเนตที่สกัดมาจากสาหร่าย *Laminaria hyperborean* จะมีสัดส่วนของ M/G ประมาณ 0.45:1 สารอัลจิเนตอาจถูกสกัดให้มีช่วงของความยาวพอลิเมอร์ที่ค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 50-100,000 DP (DP คือจำนวนโมโนเมอร์ต่าง ๆ มาต่อกัน) เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน สารอัลจิเนตเกรดการค้าจะมีกรดกูลูโรนิคสูงและมักปรากฏอยู่บนฉลากด้วยอักษรย่อ HG

เจลของสารอัลจิเนตเกิดขึ้นได้จากการเติมแคลเซียมหรือสารที่มีประจุ +2 โดยชนิดของโมโนเมอร์ที่เป็น G-block จะตอบสนองต่อแคลเซียมในการสร้างร่างแหได้เร็วกว่า M-block เพราะโมโนเมอร์ G-block จะมีการสร้างโมเลกุลเหมือนถาดไข่แบบ 3 มิติ ซึ่งทำให้โครงสร้างของ $Ca^{2+}$ สะดวกต่อการสร้างสะพานไอออน (salt bridges) ที่ทำหน้าที่เชื่อมบริเวณระหว่างสายของพอลิเมอร์ที่ติดกัน หรือกล่าวคือ เป็นการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันของสายกูลูโรเนท

อย่างไรก็ตาม ส่วนที่เป็นแมนนูโรเนท หรือ M-blocks ก็อาจเชื่อมกันผ่านสะพานไอออนของ $Ca^{2+}$ ได้เช่นเดียวกัน แต่จะทำให้เกิดเจลที่ค่อนข้างแข็งกว่าซึ่งทำให้มีความทนทานต่อความร้อนได้ดี หากต้องการทำให้เกิดเจลสารอัลจิเนตที่ใช้ควรมีสัดส่วนของกรดกูลูโรนิคสูง (high G) ในขณะที่อัลจิเนตที่มีกรดแมนนูโรนิคสูง (high M) มีผลต่อความหนาของฟิล์มอัลจิเนตทั้งแบบ high G และ high M ที่มีการผลิตอย่างเป็นการค้าและมีเกรดแตกต่างกันตามความหนืด และอัลจิเนตบางเกรดมีการเติมสารเคมีซึ่งทำให้เกิดการจับคู่รวมกันลงไปป้องกันการตกตะกอน สารโซเดียมอัลจิเนตสร้างฟิล์มที่มีความแข็งแรงได้ถึงแม้จะมีประจุเป็นลบเมื่อเติมแคลเซียม กลุ่มคาร์บอกซิลทำให้อัลจิเนตสามารถละลายได้มากในน้ำ แต่สารที่เป็นประจุลบเหล่านี้ไม่มีผลต่อคุณสมบัติของการสร้างฟิล์มอัลจิเนตได้มากเท่ากับการแทนที่ของการเกิดหมู่เกะกะ (steric hindrance) ซึ่งเป็นกลไกการเกิดความเสถียรของฟองหรือการเกิดฟองที่มีความเสถียรจากความหนืดที่บริเวณพื้นผิว (Nieto, 2009)




**ภาพที่ 1** โครงสร้างโครงของอัลจิเนตแบบพอลิลีกูลูโรนิค (polyguluronic) และแบบพอลิแมนนูโรนิค (polymannuronic)

**ที่มา**: Nieto (2009)

ที่ผ่านมามีการนำสารอัลจิเนตมาใช้ในการเก็บรักษาและการยืดอายุผลิตผลสดหลังเก็บเกี่ยวและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคหลายชนิด Diaz-Mula และคณะ (2012) ได้มีการใช้สารอัลจิเนตความเข้มข้น 1 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์กับผลเชอรี่หวาน (*Prunu savium* L.) พบว่า สามารถชะลอการสุกและการเปลี่ยนแปลงสี ลดการสูญเสียความแน่นเนื้อ และอัตราการหายใจ และยืดอายุการเก็บรักษาได้ และมีการศึกษาเพิ่มเติมในเชอรี่หวานพบว่า อัลจิเนตที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีผล การสูญเสียน้ำหนัก Gol และ Chaudhari (2015) รายงานผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของ

มะเฟือง พบว่าอัลจิเนตความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์พบว่า สามาถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การสลายตัวของเม็ดสี การสลายตัวของเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ มีผลต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ค่า pH และปริมาณกรดแอสคอร์บิก Chiabrando และ Giacalone (2015) รายงานการใช้อัลจิเนต 1 เปอร์เซ็นต์กับผลโทงเทงฝรั่งพบว่า มีการผลิตเอทิลีนลดลง Sipahi และคณะ (2013) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวอัลจิเนตในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ 4 ชนิด ได้แก่ แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophic bacteria) แบคทีเรียโคลิฟอร์ม (coliforms bacteria) ยีสต์ (yeast) และ รา (molds) เพื่อยืดอายุแตงโมตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ ยังมีรายงานการใช้อัลจิเนตร่วมกับน้ำมันหอมระเหยตะไคร้กับสับปะรดตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่า มีอัตราการหายใจลดลงและชะลอการสูญเสียน้ำหนัก (Azarakhs *et al*., 2014)

### 3.2 **สารเคลือบว่านหางจระเข้**

ว่านหางจระเข้ (*Aloe barbadensis* Miller) อยู่ในวงศ์ Liliaceae นำมาใช้ในการรักษาและบำบัดโรคต่าง ๆ ด้วยวิธีทางธรรมชาติหรือทางเลือกมาเป็นเวลานานแล้ว (Vega-Galvea *et al*., 2011) สารเคลือบผิวจากว่านหางจระเข้ มีส่วนที่เป็นของเหลว 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นยางเหลือง (exudate) และเจลใส (mucilage) อยู่ในประเภทสารเคลือบผิวประเภทพอลิแซคคาไรด์ มีส่วนประกอบของสารประกอบฟีนอล กรดซาลิไซลิค ลิกนิน ฮอร์โมน (ออกซินและจิบเบอเรลลิน) กรดอะมิโน วิตามิน และเอนไซม์ (Sharma and Gautam, 2013) และพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษา ลดการสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อในสับปะรด (Adetunji *et al*., 2012) และส้มพันธุ์ Valencia (Arowara *et al*., 2013) เมื่อใช้กับผลราสเบอร์รี่สามารถเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณฟีนอลให้สูงขึ้น (Hassanpour, 2015) นอกจากนี้การใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้ร่วมกับกรดซาลิไซลิคกับองุ่นพันธุ์ Gizel Uzum พบว่าสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ลดการเกิดโรค และการเกิดสีน้ำตาล (Asgihari *et al*., 2013) สำหรับองุ่นพันธุ์ Shahroudi พบว่าช่วยเพิ่มคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากช่วยรักษาความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์และลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักลง (Peyro *et al*., 2017) สำหรับการศึกษาในมะนาว พบว่ามีการใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี และมีอายุการวางจำหน่ายได้นานสุด 29 วัน (ชมพูนุท และลดาวัลย์, 2557) และเมื่อมีการใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้ร่วมกับสารละลาย $GA_3$ และสารเคลือบผิว

เจลว่านหางจระเข้ร่วมกับสาร 1-MCP ในมะนาวพบว่า สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและมีอายุการเก็บรักษานาน 21 และ 25 วัน ตามลำดับ (ชมพูนุท, 2559)

## 4. การเกิดฟิล์ม (Film formation)

ฟิล์มมีองค์ประกอบหลัก คือ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ $10^4$-$10^6$ กรัมต่อโมล ซึ่งมีสมบัติเกิดฟิล์มได้ ในการเตรียมฟิล์มมีแรง 2 แรงที่เข้ามาเกี่ยวข้องได้แก่ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างพอลิเมอร์ด้วยกันเองเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์ม ทำให้เกิดการเชื่อมของผิววัตถุเดียวกันสร้างพันธะที่แข็งแรง ซึ่งช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกออกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชันได้แก่ โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ ระบบการละลาย และสภาวะในการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้านสาขา และกระจายของกลุ่มเคมีที่มีขั้วบนสายพอลิเมอร์ โดยสายพอลิเมอร์ที่ยาวจะทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี การกระจายของกลุ่มขั้วอย่างมีระเบียบในสายพอลิเมอร์จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ทำให้มีความแข็งแรง การละลายของพอลิเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังมีผลต่อแรงโคฮีชันคือ ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์ละลายหรือคลายตัวได้มากที่สุด จะได้โครงสร้างซึ่งเชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่งคือแรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์ม ทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม (Banker, 1966)

### 4.1 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากพอลิเมอร์ชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้และต้องมีการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ฟิล์มไม่ขึ้นรูปเร็วเกินไป มิฉะนั้นผิวของฟิล์มจะขรุขระและแตกง่าย (Banker, 1966) เช่น การขึ้นรูปโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent casting) การทำให้เกิดแผ่นฟิล์มโดยการนำสารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมเทลงในแบบหรือเบ้าแล้วทำให้แห้งด้วยลมร้อน ฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้จะมีลักษณะโปร่งแสงและส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ชีวภาพ อาจมีการเคลือบฟิล์มซ้ำด้วยสารที่มีสมบัติในด้านการปรับปรุงคุณภาพฟิล์ม เช่น การเคลือบทับด้วยไขพาราฟินเพื่อช่วยเพิ่มสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำให้ดีขึ้น (Zhong and Li, 2011)

### 4.2 คุณสมบัติสำคัญของฟิล์มอัลจิเนต

Guilbert (1986) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของฟิล์มซึ่งแบ่งออกเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลไว้ดังนี้

4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.1.1 ความหนา (Thickness) หมายถึง ระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองของฟิล์มมีหน่วยเป็นไมโครเมตรหรือมิลลิเมตร ความหนาของฟิล์มจะมีส่วนสัมพันธ์กับสมบัติอื่น เช่น การต้านทานแรงดึงขาด อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ เป็นต้น

4.2.1.2 อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor transmission rate: WVTR) คือ ปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าไปยังผิวอีกด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวฟิล์มในระยะเวลาที่กำหนด และภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็นน้ำหนัก/พื้นที่×เวลา เมื่อคำนวณอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเปรียบเทียบกับผลต่างความดันไอของแต่ละด้านของฟิล์ม เรียกค่านี้ว่า water vapor permeance และเมื่อคำนวณค่านี้ของฟิล์มที่ทดสอบผ่านความหนาของฟิล์ม เรียกค่านี้ว่า water vapor permeability หรือความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ

4.2.2 คุณสมบัติเชิงกล

4.2.2.1 การต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength: TS) คือ ความเค้นที่ใช้ในการดึงฟิล์มที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของแผ่นฟิล์มที่ทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นฟิล์มนั้นขาดภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร การเติมพลาสติไซเซอร์ลงไปในโครงร่างตาข่ายมีผลทำให้ความต้านทานแรงดึงขาดลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติไซเซอร์

4.2.2.2 การยืดตัว (Elongation: %E) คือ ร้อยละของระยะทางที่ฟิล์มถูกยืดออกด้วยแรงดึงจนขาดต่อความยาวเดิม ถ้าความยืดของฟิล์มน้อยฟิล์มมีลักษณะเปราะไม่ยืดหยุ่น การเติมพลาสติไซเซอร์ทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง แต่ส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้น

## 5. สารควบคุมการเจริญเติบโต

พืชมีฮอร์โมนการควบคุมการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนสภาพ (differentiation) อยู่ตลอดเวลา ฮอร์โมนเป็นสารอินทรีย์ที่พืชสังเคราะห์ขึ้นจากส่วนหนึ่งส่วนใดของพืชในปริมาณที่ต่ำมากในช่วงมิลลิกรัมต่อลิตร และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสมดุลของฮอร์โมนต่าง ๆ สำหรับผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาจากต้นฮอร์โมนเหล่านี้ยังคงมีอิทธิพลอยู่เพราะส่วนใหญ่ผลิตผลเหล่านั้นจะเข้าสู่ระยะของการชราภาพ (senescence) มากกว่าการเจริญเติบโต (จริงแท้, 2542)

**จิบเบอเรลลิน** (Gibberellin: $GA_3$) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีรวิทยาในพืช เช่น การเจริญเติบโตและการพัฒนาของต้นพืช การออกดอก การงอกของเมล็ด การพักตัว การติดผล การแสดงเพศ การแก่ชรา การเกิดผลที่ไม่มีเมล็ด การเจริญเติบโตของผล ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของพืช และมีอิทธิพลในการเปลี่ยนแปลงของสี โดยผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองแต่การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ระหว่างการสุกภายในผลยังคงเกิดขึ้นตามปกติ และการใช้กรดจิบเบอเรลลิคดังกล่าวสามารถลดการสร้างเอทิลีนและยืดอายุการเก็บรักษาได้ (จริงแท้, 2542 ; 2553) โดยมีรายงานว่า $GA_3$ สามารถชะลอการสุกของผลของพืชตระกูลส้มได้ (Coggins and Lewis, 1962) ปัจจุบันจึงมีการใช้กรดจิบเบอเรลลิคเพื่อชะลอการเสื่อมสภาพ เช่น นิภา (2540) ศึกษาการใช้ $GA_3$ ความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร แช่ผลมะนาวพบว่า สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวไปเป็นเหลืองได้ 4 สัปดาห์ เจริญ และคณะ (2545) ศึกษาการเก็บรักษาผลมะนาวพันธุ์แป้นที่จุ่ม $GA_3$ ความเข้มข้น 0 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วบรรจุในตะกร้าพลาสติกเป็นเวลา 2 เดือน พบว่า สามารถชะลอการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวจากสีเขียวเป็นสีเหลืองได้ วาสนา และคณะ (2558) ศึกษาการเคลือบผิวด้วยกรดจิบเบอเรลลิคร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา 0.5 เปอร์เซ็นต์ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวที่อุณหภูมิห้องได้นานที่สุด 27 วัน ในขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ได้เคลือบผิวมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 18 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

**สารเมธิลไซโคลโพรพีน** (1-methylcyclopropene: 1-MCP) เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในระดับตัวรับเอทิลีน โดยทั่วไปเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องกับการสุกของผลไม้และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเปลี่ยนแปลงสี การหายใจ การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ และการสังเคราะห์น้ำตาล เป็นต้น เมื่อปริมาณเอทิลีนสูงจะเร่งให้มีการหายใจมากขึ้น จะเร่งให้มีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกเกิดขึ้นโดย

สมบูรณ์ ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลเร่งการสร้างเอทิลีนก็จะเร่งการสุกของผลไม้และในทางตรงข้ามหากมีปัจจัยที่มีผลยับยั้งการสร้างเอทิลีนหรือมีผลทำลายเอทิลีน ก็จะชะลอการสุกของผลไม้ได้เช่นกัน (Blankenship and Dole, 2003) สำหรับมะนาวซึ่งเป็นผลไม้ที่อยู่ในพืชตระกูลส้มมีลักษณะการสุกแก่ของผลประเภท non-climacteric โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 20-2,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส ในเวลา 2-24 ชั่วโมง สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีโดยมีผลโดยตรงต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2553; สมโภชน์, 2540) โดย Win และคณะ (2006) ศึกษาการใช้สาร 1-MCP กับมะนาวที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า สาร 1-MCP ความเข้มข้น 250 และ 500 นาโนกรัมต่อลิตร สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด

## 6. บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ

การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศคล้ายกับการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ คือการเก็บรักษาในสภาพที่มีออกซิเจนลดลงและมีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เพียงแต่การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศไม่สามารถควบคุมปริมาณก๊าซให้คงที่อยู่ได้ โดยจะขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ และกระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ เมื่อลดอุณหภูมิให้กับผลิตผลกระบวนการต่าง ๆ ทางสรีรวิทยาจะเกิดขึ้นช้าลง ทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณออกซิเจน ($O_2$) ในอากาศมีผลต่อการหายใจ การสร้างเอทิลีน และกระบวนการออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลจนได้สารสีน้ำตาล ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ถ้ามีปริมาณมากสารถยับยั้งกระบวนการหายใจบางขั้นตอนได้ และยังสามารถขัดขวางการทำงานของเอทิลีนด้วย ดังนั้นการลด $O_2$ และเพิ่ม $CO_2$ จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ (จริงแท้, 2542) ที่ผ่านมามีการศึกษาผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดีในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า การเคลือบผลและการบรรจุแบบ liner (‘bag-in-box’ type) ในถุงแอคทีฟสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของส้มโอได้ และการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงไม่มีผลต่อปริมาณ TSS/TA และ TA (เสาวภา และธีรพงษ์, 2551)

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้สารเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้น

2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้

3. เพื่อศึกษาผลของเวลาในการรมสาร 1-MCP ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้น

4. เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวอัลจิเนตว่านหางจระเข้ $GA_3$ และสาร 1-MCP อายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ

# บทที่ 2

# วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

## วัสดุ อุปกรณ์

### 1. วัสดุ

#### 1.1 วัสดุพืช

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้มะนาวพันธุ์แป้นที่ปลูกในจังหวัดราชบุรี โดยจำหน่ายที่ตลาดสดพลาซ่า อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีลักษณะผลและสีผิวเปลือกใกล้เคียงกันสม่ำเสมอทั้งผล และไม่มีตำหนิภายนอกจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง แล้วขนส่งมายังห้องปฏิบัติการภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ใช้เวลาขนส่งประมาณ 1 ชั่วโมง

#### 1.2 สารเคมี

- กรดซิตริก (citric acid, Ajax Finechem)
- กรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid, Poch)
- กลีเซอรอล (glycerol, Ajax Finechem)
- เกลือโซเดียมอัลจิเนต (alginic acid sodium salt, Sigma)
- แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, Ajax Finechem)
- จิบเบอร์เรลลิคแอซิด (gibberellic acid) สารออกฤทธิ์ 0.5 เปอร์เซ็นต์
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, Sigma)
- ฟีนอฟทาลีน (phenolphthalein, Merck)
- เมทิลไซโคลโพรพีน (1-methylcyclopropene, AnsiP® - G) สารออกฤทธิ์ 0.19 เปอร์เซ็นต์

## 2. อุปกรณ์

- กรรไกร
- กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4
- กระดาษชั่งสาร
- ถาดกระดาษชานอ้อยทรงกลมมีขอบ (เส้นผ่าศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร)
- กระดาษชำระ
- กระบอกตวง
- กล้องถ่ายภาพดิจิตอล
- ขวดแก้ว
- ขวดปรับปริมาตร
- ขวดรูปชมพู่
- เข็มฉีดยาขนาด 25 มิลลิลิตร
- เขียง
- เครื่อง hand refractometer ยี่ห้อ Milwavkee รุ่น MR 32ATC (0-40)
- เครื่องกวนสารละลายพร้อมแท่งแม่เหล็ก (hotplate stirrer)
- เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง
- เครื่องปั่น (blender)
- เครื่องวัดกรดด่าง (pH meter)
- เครื่องวัดแรงดึง (Tensile Testing Machine, Zwich Roell Germany, 2010)
- เครื่องวัดสี Konica Minolta CR-400
- จานเพาะเชื้อ (เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร)
- ตะกร้าพลาสติก
- ตู้กระจกรมสาร ขนาด 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร
- ตู้อบ
- ถ้วยพลาสติก
- ถังพลาสติก
- ถาดโฟม ขนาด 20 เซนติเมตร x 20 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร
- นาฬิกาจับเวลา

- บีกเกอร์
- ผ้าก๊อซ
- ผ้าขาวบาง
- ฟิล์มถนอมอาหาร ยี่ห้อ แอล-แรป
- มีด
- ไมโครปิเปต (micropipette) ขนาด 5,000 ไมโครลิตร
- ไมโครปิเปตทิป (micropipette tip) ขนาด 5,000 ไมโครลิตร
- ไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo Tokyo, Japan)
- หลอดดูดสารเคมีขนาดเล็ก
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ Major science รุ่น SWB-10L-1
- อุปกรณ์ไทเทรต

**วิธีการ**

**การทดลองที่ 1 ผลของสารเคลือบผิวอัลจิเนตว่านหางจระเข้ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาว**

**1. การวางแผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำ 12 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ผล ประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ คือ มะนาวที่เคลือบผิวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 85:15 (Ruben *et al*., 2013) และมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผลเป็นชุดควบคุม

**2. วัสดุพืช**

คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีลักษณะผลและสีผิวเปลือกใกล้เคียงกันสม่ำเสมอทั้งผลค่า hue angle เฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 121.00 จากนั้นนำมาทำความสะอาดโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 15 นาที ผึ่งให้แห้ง

**3. การเตรียมสารเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้**

การเตรียมสารละลายอัลจิเนต ทำตามวิธีการของ Ruben และคณะ (2013) ซึ่งดัดแปลงดังนี้ เตรียมสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเกลือโซเดียมอัลจิเนตโดยละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายใส จากนั้นทำให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง เติมกลีเซอรอลความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรสารละลายอัลจิเนตเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น

การเตรียมสารสกัดว่านหางจระเข้ ทำตามวิธีการของชมพูนุท และลดาวัลย์ (2557) โดยนำใบแก่ว่านหางจระเข้พันธุ์ยักษ์ (*Aloe barbadensis* Miller) จำนวน 1-2 ใบ น้ำหนักประมาณ 600-1,500 กรัม มาล้างทำความสะอาดด้วยคลอรีน 25 เปอร์เซ็นต์ ปอกเปลือกและแยกเอาส่วนเนื้อใสไม่มีสีมาปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียด จากนั้นกรองด้วยผ้าก๊อซบาง 2 - 3 ชั้น แล้วนำส่วนของเหลวที่กรองได้ไปนึ่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องจากนั้นเติมกรดแอสคอร์บิค 2 กรัมต่อลิตร แล้วตามด้วยกรดซิตริก 4.5 กรัมต่อลิตร ปรับ pH ของสารสกัดให้เท่ากับ 4 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 นอร์มัล

การเตรียมสารเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ โดยนำสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ผสมกับสารสกัดว่านหางจระเข้ที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นมีความเข้มข้นเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของสารละลายอัลจิเนตต่อสารสกัดว่านหางจระเข้เท่ากับ 90:10 และ 85:15

**4. การเคลือบผลมะนาวด้วยสารอัลจิเนตว่านหางจระเข้**

นำผลมะนาวทั้งผลจุ่มลงในอัลจิเนตว่านหางจระเข้ตามสัดส่วนที่กำหนดในแต่ละทรีทเมนต์ข้างต้นเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปจุ่มลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที แล้วผึ่งให้แห้ง นำผลมะนาวแต่ละทรีทเมนต์วางบนถาดกระดาษซานอ้อย แล้วนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 24.3±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67.9±2.1 เปอร์เซ็นต์

## 5. การบันทึกผล

### 5.1 อายุหลังเก็บเกี่ยว

กำหนดให้ผลมะนาวหมดอายุหลังเก็บเกี่ยวที่มีคะแนนการเสื่อมสภาพเท่ากับ 3 คะแนน โดยคะแนนการเสื่อมสภาพกำหนดตามค่า hue angle ดังต่อไปนี้

**ตารางที่** 2 ระดับคะแนนการเสื่อมสภาพของผิวเปลือกมะนาว

| คะแนนการเสื่อมสภาพ | ค่า hue angle | |
|---|---|---|
| 0 | ค่า hue angle ≥ 121.00 | ผิวเปลือกมันวาวมีสีเขียวทั้งผล |
| 1 | ค่า hue angle 119.01 - 120.99 | ผิวเปลือกมีสีเหลือง 10 เปอร์เซ็นต์ |
| 2 | ค่า hue angle 116.01 - 119.00 | ผิวเปลือกมีสีเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ |
| 3 | ค่า hue angle 113.01 - 116.00 | ผิวเปลือกมีสีเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ |

### 5.2 สีของผิวเปลือกมะนาว

วัดสีเปลือกของผลมะนาว โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter CR - 400 โดยสุ่มวัด 3 จุด บันทึกค่า hue angle ($h^{\circ}$) โดยค่า hue angle ($h^{\circ}$) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโทนสีในระดับต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่ามุมสี

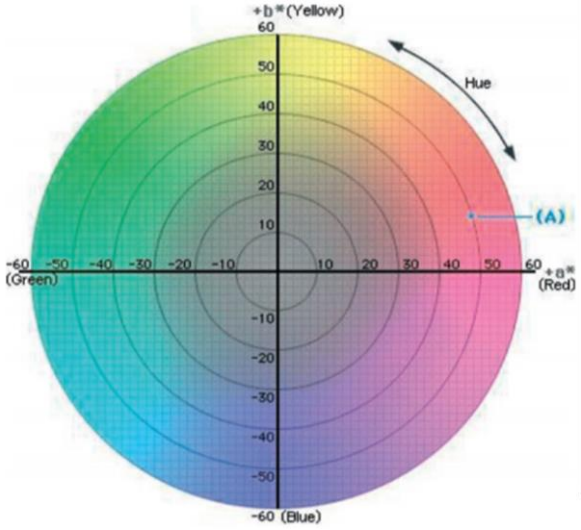
เมื่อค่า $h^{\circ}$ 0/360 เท่ากับสีแดง

$h^{\circ}$ 90 เท่ากับสีเหลือง

$h^{\circ}$ 180 เท่ากับสีเขียว

$h^{\circ}$ 270 เท่ากับสีน้ำเงิน

ดังในรูปแผนผังของ CIE L*a*b* (CIELAB) (ภาพที่ 2)




**ภาพที่ 2** hue angle ในแผนผังของ CIELAB

**ที่มา**: Minolta (2003)

### 5.3 การสูญเสียน้ำหนัก

บันทึกน้ำหนักผลมะนาวจากการชั่งบนเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทุกวัน หลังจากนั้นนำค่าของน้ำหนักที่ได้มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากสมการ

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักที่ชั่งได้})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

### 5.4 ปริมาณน้ำคั้น

คั้นมะนาวใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วกรองเศษออกด้วยผ้าขาวบาง วัดปริมาณน้ำคั้นด้วยกระบอกตวงขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำปริมาณน้ำคั้นที่ได้มาคำนวณค่าของเปอร์เซ็นต์น้ำคั้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณน้ำคั้น (\%)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำคั้น}}{\text{น้ำหนักมะนาวทั้งผล}} \times 100$$

**5.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้** (Total Soluble Solid, TSS)

นำน้ำคั้นมะนาวที่ได้มาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง hand refractometer ปรับศูนย์ (zero) ด้วยน้ำกลั่น ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ ($^{o}$Brix)

**5.6 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้** (Titratable Acidity, TA)

นำน้ำคั้นมะนาวที่กรองผ่านผ้าขาวบางมาปริมาณ 5 มิลลิลิตร มาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มัล โดยใช้สารละลายฟีนอฟทาลีน ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1-2 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จนถึงจุดยุติ คือเมื่อสารละลายมีสีชมพูประมาณ 30 วินาที คำนวณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริกจากสมการ

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (\%)} = \frac{(\text{ความเข้มข้น NaOH} \times \text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times 0.064)}{\text{ปริมาณน้ำคั้นของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \times 100$$

โดย 0.064 คือ จำนวนมิลลิลิตรสมมูลของกรดซิตริก (meq.wt)

**5.7. อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้** (TSS/TA ratio)

คำนวณจากสัดส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

**6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชั่น 2.14.0

**การทดลองที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้**

**1. การวางแผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำ 12 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัวอย่าง ประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ คือ ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้โดยมีอัตราส่วนของอัลจิเนต:ว่านหางจระเข้ 100:0 90:10 และ 85:15

**2. การเตรียมฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้**

การเตรียมฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ ทำโดยเตรียมสารละลายอัลจิเนตที่ผสมสารสกัดว่านหางจระเข้เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เมื่อได้สารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้แล้วจึงนำสารละลายไปขึ้นรูปฟิล์มเพื่อศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มตามวิธีการของ Ruben และคณะ (2013) ดังนี้ นำสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้ 25 มิลลิลิตร เทใส่จานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรเป็นแม่พิมพ์ อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากฟิล์มแห้ง เทสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ลงในจานเพาะเชื้อนาน 5 นาที จะทำให้ได้ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้

**3. การบันทึกผล**

**3.1 การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม**

**3.1.1 ค่าสี**

ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chroma meter CR-400 ทำการแคลิเบรทเครื่องวัดสีด้วยค่ามาตรฐานพื้นหลังขาวและพื้นหลังดำ โดยใช้ค่าสีระบบ CIE Lab (L* a* และ b*) เทียบกับค่ามาตรฐาน นำมาคำนวณหาค่าความต่างของสี (Total Color Difference, $\Delta$E) (Benavides *et al*., 2012) จากสมการ

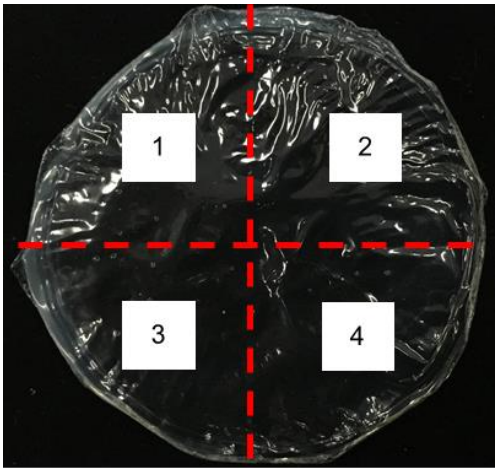
$$\Delta E = [(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2]^{0.5}$$

เมื่อ $L^*_0$ $a^*_0$ และ$b^*_0$ คือ ค่ามาตรฐาน

$L^*$ $a^*$ และ$b^*$ คือ ค่าที่วัดได้จากตัวอย่าง

### 3.1.2 ความหนา

วัดความหนาของฟิล์มโดยใช้เครื่องวัดแบบดิจิตัลไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, Tokyo, Japan) โดยสุ่มวัด 4 ตำแหน่งบนชิ้นทดสอบ (ภาพที่ 3) แล้วหาค่าเฉลี่ยของความหนาของฟิล์มชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น




**ภาพที่** 3 ตำแหน่งสุ่มวัดความหนาบนแผ่นฟิล์ม

### 3.1.3 การทดสอบอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (WVTR)

การทดสอบอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (WVTR) ดัดแปลงวิธีการทดสอบจากวิธีของ Jo และคณะ (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E 96 - 95 โดยมีวิธีการดังนี้ นำขวดแก้วเส้นผ่าศูนย์กลางภายในมีค่า 16.5 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกมีค่า 19.9 มิลลิเมตร และ ความลึกมีค่า 57.5 มิลลิเมตร เติมน้ำกลั่นปริมาณ 15 มิลลิลิตรลงในขวดแก้วนำฟิล์มหุ้มปากขวดพร้อมปิดผนึก หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและชั่งอีกครั้งเมื่อครบ 24 ชั่วโมง บันทึกผลการทดลองและคำนวณอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำจากสมการ

$$WVTR = [(\Delta w/\Delta t)/A]$$

เมื่อ $\Delta w/\Delta t$ คือ น้ำหนักของน้ำที่แพร่ผ่านต่อหน่วยเวลา
A คือ พื้นที่สำหรับใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำ

### 3.1.4 **การละลายน้ำ** (Solubility)

การทดสอบการละลายน้ำ ดัดแปลงวิธีการทดสอบตามวิธีการของ Ekthamaasut และ Akesowan (2001) มีวิธีการดังนี้ นำแผ่นฟิล์มมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก (W) นำไปละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 เส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ($a_1$) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังจากอบเสร็จ ($a_2$) บันทึกผลการทดลองและคำนวณเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำจากสมการ

$$\text{การละลายน้ำ (\%)} = \frac{[W - (a_1 - a_2)]}{W} \times 100$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักแผ่นฟิล์มหลังอบ
$a_1$ คือ น้ำหนักกระดาษกรองเริ่มต้น
$a_2$ คือ น้ำหนักกระดาษกรองสุดท้าย

### 3.1.5. **ความทนแรงดึง** (Tensile strength, TS) **และการยืดตัว** (Elongation, E)

ทดสอบฟิล์มโดยตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร ส่งทดสอบตัวอย่าง ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยใช้เครื่อง Tensile Testing Machine, Zwich Roell Germany (2010) ภาวะในการทดสอบที่ขนาดแรงดึง 1,000 นิวตัน และอัตราเร็วในการดึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที วิเคราะห์ทนแรงดึงสูงสุด (MPa) และการยืดตัวของฟิล์ม (%)

**4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

**การทดลองที่ 3 ผลของเวลาการรมสาร 1-methylcyclopropene ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาว**

**1. การวางแผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำ 11 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล ประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ คือ การรมผลมะนาวด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

**2. วัสดุพืช**

คัดเลือกมะนาวที่มีลักษณะผลและสีผิวเปลือกใกล้เคียงกันสม่ำเสมอทั้งผล โดยมีค่า hue angle เฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 121.00 จากนั้นนำมาทำความสะอาดโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 15 นาทีผึ่งให้แห้ง

**3. การรมสาร 1-MCP**

การรมสาร 1-MCP ทำโดยนำผลมะนาวใส่ในตู้กระจกสี่เหลี่ยมสำหรับรมสารขนาด 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร คำนวณปริมาณสารที่ใช้รมโดยเทียบกับปริมาณตู้รมสารที่ใช้ โดยชั่งสาร 1-MCP (AnsiP®-G) 0.15 กรัม จนได้ความเข้มข้นเท่ากับ 750 ไมโครกรัมต่อลิตร สารออกฤทธิ์ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ใส่ในขวดแก้วและเติมน้ำกลั่นตามอัตราส่วน สาร 1-MCP: น้ำกลั่น เท่ากับ 1:16 เพื่อเป็นตัวทำละลายสาร 1-MCP ให้ปลดปล่อยในรูปของก๊าซ ปิดตู้รมสารทันทีโดยผนึกขอบให้สนิทด้วยกาวย่น

นำมะนาวที่ได้จากการรมเป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง วางบนถาดโฟมขนาด 20 เซนติเมตร x 20 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29.6±0.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.1±5.1 เปอร์เซ็นต์

**4. การบันทึกผล**

บันทึกอายุหลังเก็บเกี่ยว สีของผิวเปลือกมะนาว และการสูญเสียน้ำหนัก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยกำหนดให้ผลมะนาวหมดอายุการเก็บรักษาที่มีคะแนนการเสื่อมสภาพจากเท่ากับ 3 คะแนน โดยคะแนนการเสื่อมสภาพกำหนดตามค่า hue angle เช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ในการทดลองที่ 1

**5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชั่น 2.14.0

**การทดลองที่ 4 ผลของการเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ $GA_3$ และสาร 1 - MCP ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ**

**1. การวางแผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในสุ่มสมบูณ์ (Factorial design in CRD) ทำ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล โดยมี 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย A คือ ทรีทเมนต์ของการทดลอง 7 ระดับ ได้แก่ 1) ชุดควบคุม 2) การเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 3) การแช่ผลมะนาวด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร 4) การแช่ผลมะนาวด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 5) การเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ผสมสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร 6) การรมผลมะนาวด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 7) การรมผลมะนาวด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 หลังให้ทรีทเมนต์ นำผลมะนาวมาวางบนถาดโฟมขนาด 20 เซนติเมตร x 20 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร และปัจจัย B คือ การบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ 2 ระดับ ได้แก่ 1) ไม่หุ้ม

ฟิล์มถนอมอาหาร และ 2) หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร แล้วนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 29.6±0.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.1±5.1 เปอร์เซ็นต์

**2. วัสดุพืช**

คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีลักษณะผลและสีผิวเปลือกใกล้เคียงกันสม่ำเสมอทั้งผลค่า hue angle เฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 121.00 จากนั้นนำมาทำความสะอาดโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (1/2 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 10 ลิตร) เป็นเวลา 15 นาที ล้างออกด้วยน้ำสะอาดและผึ่งให้แห้ง

**3. การเตรียมสารเคลือบผิวจากอัลจิเนตว่านหางจระเข้**

การเตรียมสารเคลือบผิวจากอัลจิเนตว่านหางจระเข้ มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

**4. การเตรียมสารละลาย $GA_3$**

การเตรียมสารละลาย $GA_3$ โดยเตรียมจากสารสารกรูพเคมี จีเอ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้มีความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแบ่งตามทรีทเมนต์การใช้สารละลาย $GA_3$ ได้แก่ 1) ผลมะนาวที่แช่สารละลาย $GA_3$ เป็นเวลา 30 นาที 2) ผลมะนาวที่แช่สารละลาย $GA_3$ เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยเคลือบมะนาวในอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 และ 3) การเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ที่ผสมสารละลาย $GA_3$

**5. การรมสาร 1-MCP**

การรมสาร 1-MCP มีวิธีการเตรียมสารเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 และเลือกใช้ระยะเวลาในการรมที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 ซึ่งแบ่งตามทรีมเมนต์การรมสาร 1-MCP ได้แก่ การรมผลมะนาวด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และการรมผลมะนาวด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ตามด้วยจุ่มเคลือบในสาร

ผสมอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปจุ่มลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที เพื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์มเคลือบ

**6. การบันทึกผล**

บันทึกอายุหลังเก็บเกี่ยว สีของผิวเปลือกมะนาว และการสูญเสียน้ำหนัก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยกำหนดให้ผลมะนาวหมดอายุการเก็บรักษาที่มีคะแนนการเสื่อมสภาพจากเท่ากับ 3 คะแนน โดยคะแนนการเสื่อมสภาพกำหนดตามค่า hue angle เช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ในการทดลองที่ 1

**7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of Variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และศึกษาปฏิกิริยาสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชั่น 2.14.0

# บทที่ 3

# ผล

## 1. ผลของสารเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาว

การทดลองนี้ได้ใช้มะนาวที่มีค่า hue angle เฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 121.00 (ผิวเปลือกมันวาวมีสีเขียวทั้งผล) หลังการเคลือบวางมะนาวไว้ที่อุณหภูมิ 24.3±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67.9±2.2 เปอร์เซ็นต์ บันทึกการเปลี่ยนแปลงสีผล อายุหลังเก็บเกี่ยว การสูญเสียน้ำหนักทุกวัน และบันทึกคุณภาพผลภายใน ได้แก่ ปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วน TSS/TA เมื่อคะแนนการเสื่อมสภาพของผลมะนาวเท่ากับ 3 คะแนน มีค่า hue angle 113.01-116.00 (ผิวเปลือกมีสีเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์) โดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

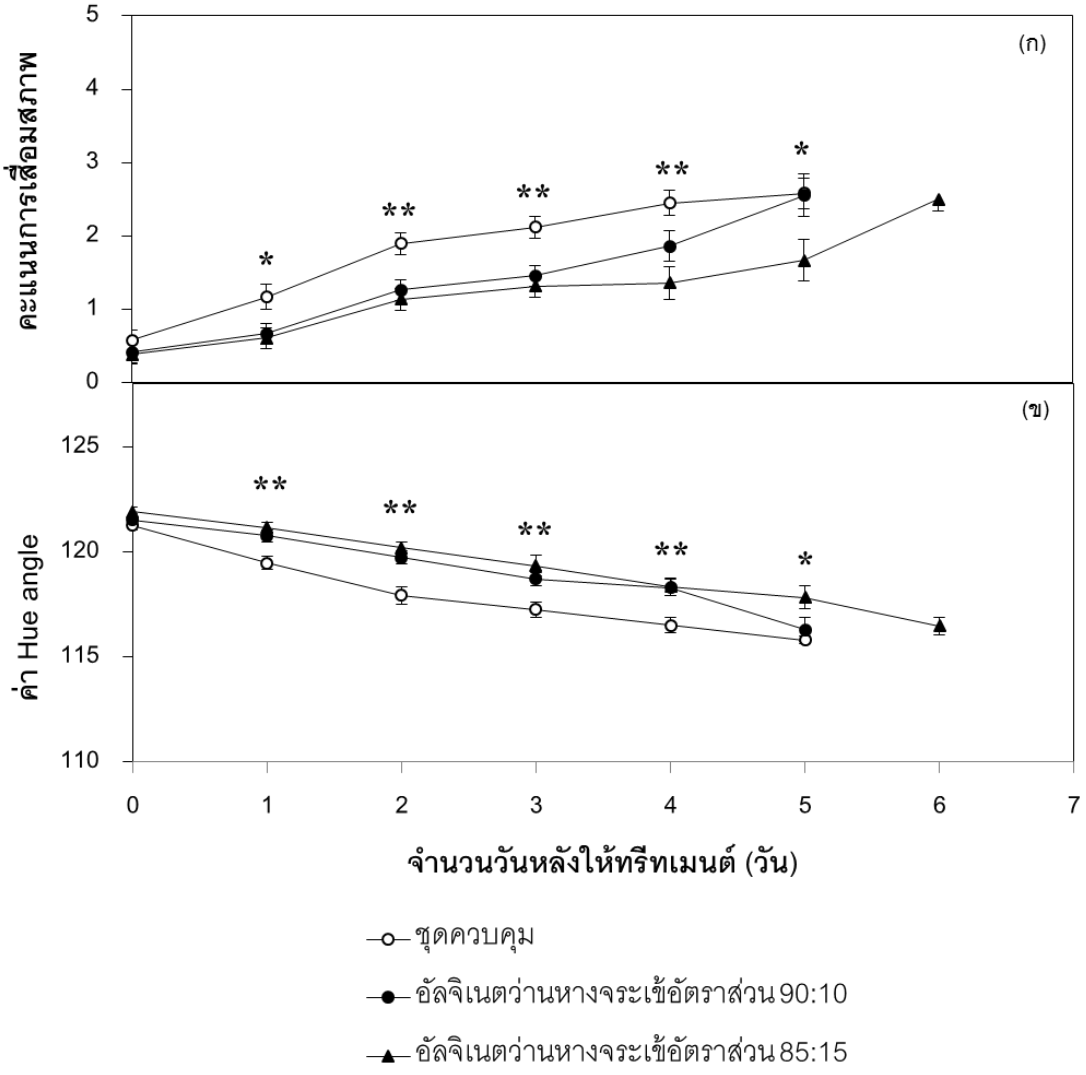
### 1.1 อายุการเก็บรักษา

ผลมะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุหลังเก็บเกี่ยวได้นาน 6 วัน ในขณะที่ผลมะนาวในชุดควบคุมมีอายุหลังเก็บเกี่ยว 5 วัน เท่ากับมะนาวที่เคลือบผิวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 (ภาพที่ 4ก)

### 1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือก

ค่า hue angle

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดการทดลองและส่งผลต่อค่า hue angle ที่ลดลงและมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ โดยผลมะนาวในชุดควบคุมมีค่า hue angle น้อยกว่ามะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$ และ $p<0.01$) อย่างไรก็ตาม ในผลมะนาวที่เคลือบผิวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้เท่ากันในช่วง 1-4 วันแรก แต่ในอัตราส่วน 85:15 ยังชะลอการเปลี่ยนแปลงสีต่อได้นาน 6 วัน (ภาพที่ 4ข)



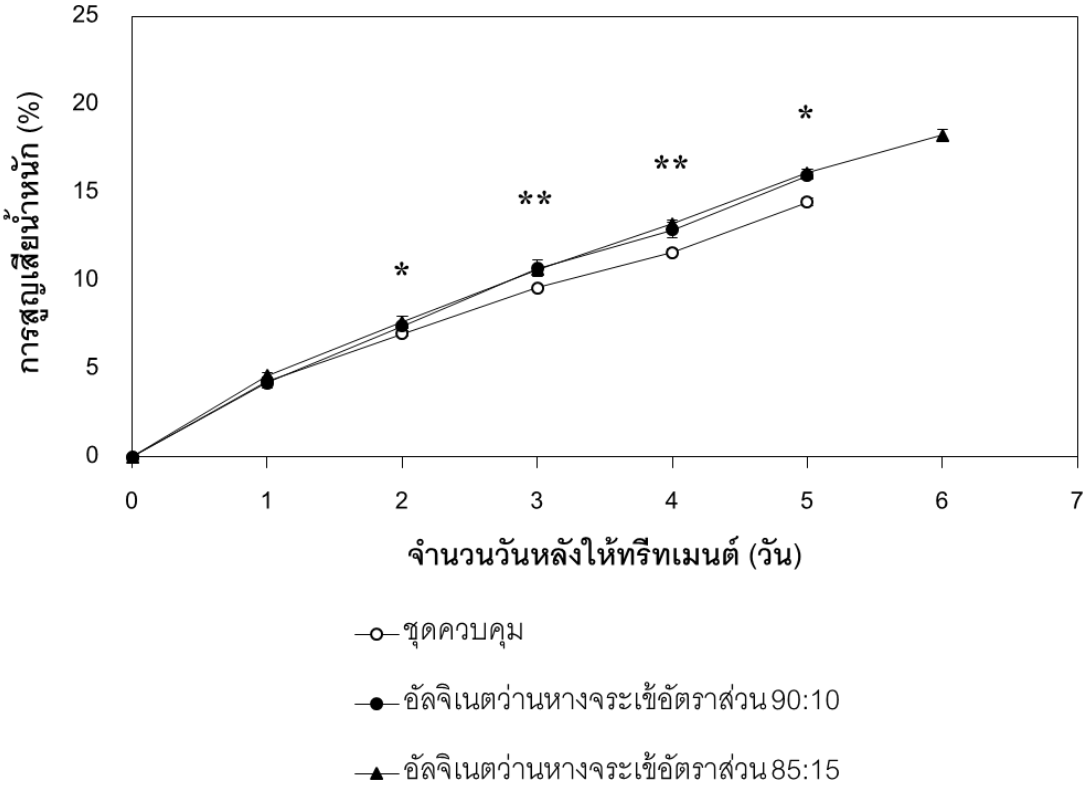

**ภาพที่ 4** คะแนนการเสื่อมสภาพ (ก) และค่า hue angle (ข) หลังเคลือบผลมะนาวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 ที่อุณหภูมิ 24.3±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67.9±2.2 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

**1.3 การสูญเสียน้ำหนัก (%)**

ผลการทดลองพบว่า ผลมะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยมะนาวที่เคลือบผิวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากันและมีค่ามากกว่าผลมะนาวในชุดควบคุมและมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 5)




**ภาพที่ 5** การสูญเสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 ที่อุณหภูมิ 24.3±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67.9±2.2 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

### 1.4 ปริมาณน้ำคั้น

ปริมาณน้ำคั้นของผลมะนาวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3)

### 1.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

จากการทดลองพบว่า ผลมะนาวด้วยสารเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากกว่ามะนาวในชุดควบคุมซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 3)

### 1.6 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

จากการทดลองพบว่า การเคลือบผลมะนาวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้น้อยกว่าผลมะนาวชุดควบคุมและผลมะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3)

### 1.7 อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

จากการทดลองพบว่า การเคลือบผิวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนไม่มีผลต่ออัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกทรีทเมนต์ (ตารางที่ 3)

**ตารางที่** 3 ผลของสารเคลือบผิวอัลจิเนตว่านหางจระเข้ที่อัตราส่วนต่างกันต่อปริมาณน้ำคั้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และ อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของมะนาวพันธุ์แป้นที่คะแนนการเสื่อมสภาพเท่ากับ 3 หรือผลสีเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์

| ทรีทเมนต์ | ปริมาณน้ำคั้น (%) | ปริมาณ TSS (%) | ปริมาณ TA (%) | อัตราส่วน TSS/TA |
|---|---|---|---|---|
| ชุดควบคุม | 30.8 | 8.2b | 8.9a | 0.9 |
| สารเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ (90:10) | 30.9 | 8.6a | 8.2b | 0.9 |
| สารเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15) | 30.6 | 8.8a | 8.5ab | 0.9 |
| F-test | ns | ** | ** | ns |
| C.V. (%) | 21.03 | 7.23 | 9.73 | 16.31 |

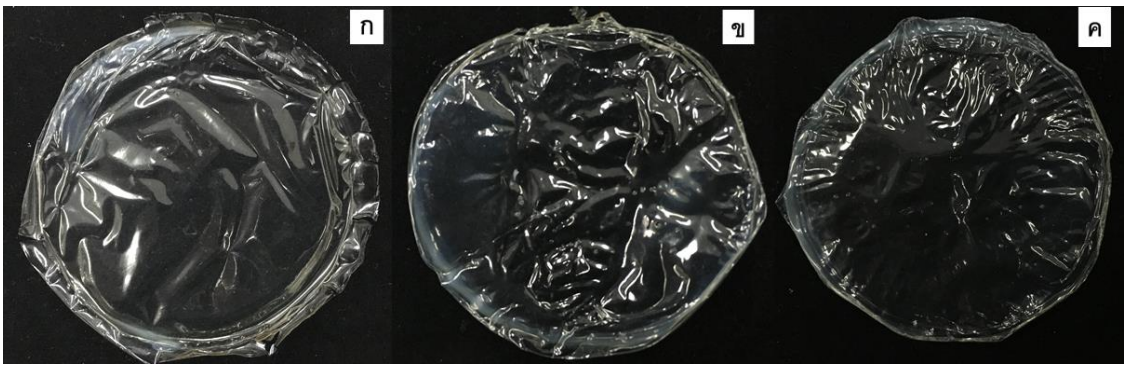
** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

## 2. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้

จากการทดลองที่ 1 พบว่าการเคลือบผลมะนาวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้สามารถยืดอายุของมะนาวได้ ซึ่งสารเคลือบดังกล่าวภายหลังจากการเคลือบจะก่อให้เกิดมีคุณสมบัติเป็นฟิล์ม ดังนั้น การทดลองนี้จึงได้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ที่ประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ คือ ซ้ำละ 1 ตัวอย่าง คือ ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้โดยมีอัตราส่วนของอัลจิเนต:ว่านหางจระเข้ 100:0 90:10 และ 85:15 (ภาพที่ 6) และบันทึกผลการทดลอง ได้แก่ ค่าสี ความหนา การทดสอบอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (WVTR) การละลายน้ำ (Solubility) ความทนแรงดึง (Tensile strength, TS) และการยืดตัว (Elongation, E) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ดังนี้




**ภาพที่ 6** ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน(ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 85:15

### 4.1 **ค่าสี**

ค่าสีของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 มีค่าการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง (L*) มากกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 โดยฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีค่าความสว่างมากที่สุดในขณะที่มีค่าสีเขียว (a*) น้อยกว่าฟิล์มฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 ที่มีค่าสีเท่ากับฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 สำหรับการเพิ่มขึ้นของค่าสีเหลือง (b*) และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ($\Delta$E) พบว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 มีค่าสีเหลืองและค่าการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** ค่าสี (L* a* และb*) และค่าการเปลี่ยนแปลงสี ($\Delta$E) ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้

| อัตราส่วนฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ | ค่าสี | | | $\Delta$E |
|---|---|---|---|---|
| | L* | a* | b* | |
| 100:0 | 87.47c | -0.90b | 4.51a | 4.52a |
| 90:10 | 87.68b | -0.90b | 3.95b | 3.92b |
| 85:15 | 87.88a | -0.83a | 3.63b | 3.56b |
| F-test | ** | ** | ** | ** |
| C.V.(%) | 0.19 | 4.28 | 8.27 | 9.46 |

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

### 4.2 **ค่าความหนา** (mm)

ค่าความหนาของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 มีค่าความหนาเฉลี่ย 0.04 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 ที่มีค่าเท่ากันคือ 0.03 มิลลิเมตร และมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

### 4.3 **อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ** (g /$m^2$ 24 hrs)

ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทุกอัตราส่วนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

### 4.4 **การละลายน้ำ** (%)

ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 สามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 5)

### 4.5 **ความทนแรงดึง** (Mpa) **และการยืดตัว** (%)

ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 มีความทนแรงดึงและการยืดตัวมากที่สุด และมีค่ามากกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 และมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

**ตารางที่** 5 ค่าความหนา (mm) อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (g /$m^2$ 24 hrs) การละลายน้ำ (%) ความทนแรงดึง (Mpa) และการยืดตัว (%) ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้

| อัตราส่วนฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ | ความหนา (mm) | อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำ (g /$m^2$ 24 hrs) | การละลายน้ำ (%) | ความทนแรงดึง (Mpa) | การยืดตัว (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 100:0 | 0.04a | 0.39a | 53.32a | 54.05a | 2.48a |
| 90:10 | 0.03b | 0.42a | 43.59b | 42.48ab | 1.79b |
| 85:15 | 0.03b | 0.39a | 46.19ab | 34.93b | 1.75b |
| F-test | * | ns | ** | * | * |
| C.V.(%) | 13.00 | 24.43 | 13.49 | 33.97 | 33.25 |

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

**3. ผลของเวลาการรมสาร 1 – MCP ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาว**

การทดลองนี้ได้ใช้มะนาวที่มีค่า hue angle เฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 121.00 (ผิวเปลือกมันวาวมีสีเขียวทั้งผล) หลังการรม 1-MCP วางมะนาวไว้ที่อุณหภูมิ 29.6±0.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.1±5.1 เปอร์เซ็นต์ บันทึกอายุหลังเก็บเกี่ยวเมื่อคะแนนการเสื่อมสภาพของผลมะนาวเท่ากับ 3 คะแนน มีค่า hue angle 113.01-116.00 (ผิวเปลือกมีสีเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์) การเปลี่ยนแปลงสีผล และการสูญเสียน้ำหนักทุกวัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

**3.1 อายุหลังเก็บเกี่ยว**

จากการทดลองพบว่า มะนาวที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 24 ชั่วโมง มีอายุหลังเก็บเกี่ยวนาน 7 วัน รองลงมาคือ การรมสาร 1-MCP เป็นเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง มีอายุหลังเก็บเกี่ยว 4 และ 5 วัน ตามลำดับ โดยมีอายุหลังเก็บเกี่ยวนานกว่ามะนาวในชุดควบคุมที่มีอายุ 3 วัน เท่ากับมะนาวที่รมสาร 1-MCP เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 6)

**ตารางที่ 6** อายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวหลังรม 1-MCP เป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง

| ทรีทเมนต์ | อายุหลังเก็บเกี่ยว (วัน) |
|---|---|
| ชุดควบคุม | 3d |
| รมสาร 1-MCP เป็นเวลา 3 ชั่วโมง | 3d |
| รมสาร 1-MCP เป็นเวลา 6 ชั่วโมง | 4c |
| รมสาร 1-MCP เป็นเวลา 12 ชั่วโมง | 5b |
| รมสาร 1-MCP เป็นเวลา 24 ชั่วโมง | 7a |
| F-test | ** |
| C.V. (%) | 15.23 |

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

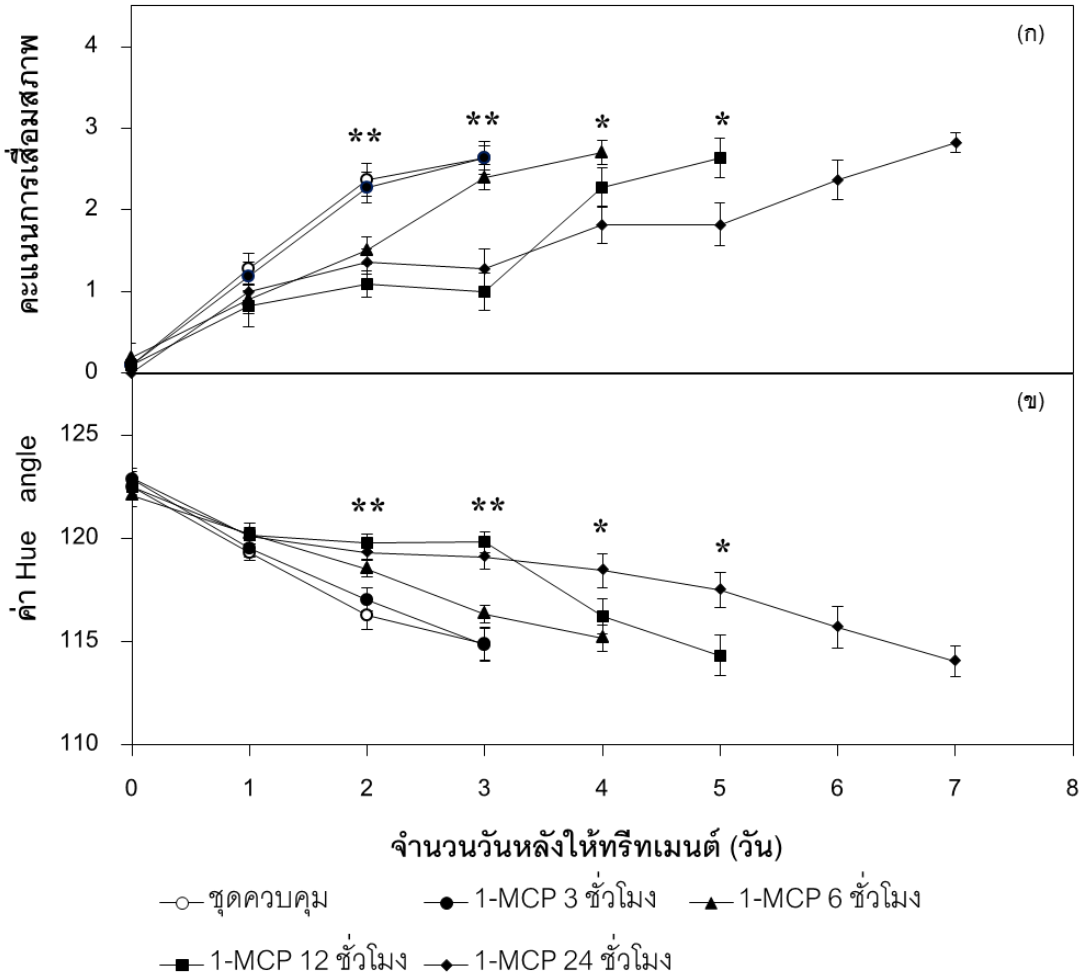
### 3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือก

ค่า hue angle

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดการทดลองและส่งผลต่อค่า hue angle ที่ลดลงและมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ โดยผลมะนาวในชุดควบคุมมีค่า hue angle น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับคะแนนเสื่อมสภาพ (ภาพที่ 8) อย่างไรก็ตาม การรมสาร 1 - MCP นาน 24 ชั่วโมง สามารถชะลอการลดลงของค่า hue angle การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวในทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 7)

**ชุดควบคุม** 1-MCP 3 **ชั่งโมง** 1-MCP 6 **ชั่งโมง** 1-MCP 12 **ชั่งโมง** 1-MCP 24 **ชั่งโมง**

**ภาพที่ 7** การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของผลมะนาวที่รม 1-MCP เป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)



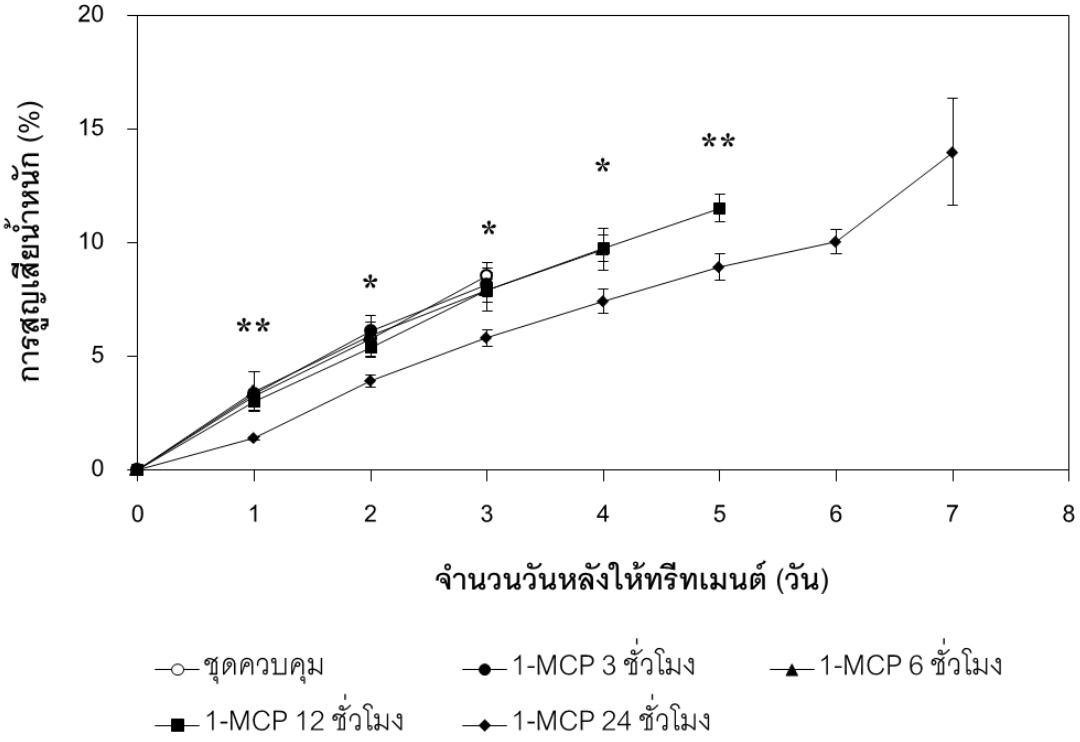

**ภาพที่ 8** คะแนนการเสื่อมสภาพ (ก) และค่า hue angle (ข) ของมะนาวหลังรม 1-MCP เป็นเวลา 0 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 29.6±0.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.1±5.1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

### 3.3 การสูญเสียน้ำหนัก (%)

ผลการทดลองพบว่า ผลมะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยมะนาวชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับมะนาวที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ในวันที่ 1-3 ทรีทเมนต์ที่ให้ผลดีที่สุดคือ การรมสาร 1-MCP เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกทรีทเมนต์ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 9)




**ภาพที่ 9** การสูญเสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังรม 1-MCP เป็นเวลา 0 3 12 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 29.6±0.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.1±5.1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

## 4. ผลของการเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ $GA_3$ และสาร 1-MCP ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ

การทดลองนี้ได้ใช้มะนาวที่มีค่า hue angle เฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 121.00 (ผิวเปลือกมันวาวมีสีเขียวทั้งผล) ที่อุณหภูมิ 30.1±0.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78.9±1.8 เปอร์เซ็นต์ บันทึกอายุหลังเก็บเกี่ยวเมื่อคะแนนการเสื่อมสภาพของผลมะนาวเท่ากับ 3 คะแนน มีค่า hue angle 113.01-116.00 (ผิวเปลือกมีสีเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์) การเปลี่ยนแปลงสีผล และการสูญเสียน้ำหนักทุกวัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

### 4.1 อายุหลังเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือก

อายุหลังเก็บเกี่ยว

ผลการทดลองพบว่า ในชุดการทดลองที่มะนาวไม่ได้อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศ ผลมะนาวที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร ก่อนการเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุหลังเก็บเกี่ยวนาน 10 วัน ซึ่งนานกว่าผลมะนาวในชุดควบคุมที่มีอายุ 2 วัน และในส่วนของมะนาวที่เคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุ 4 วัน การจุ่มแช่ด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และการจุ่มแช่ด้วยสารละลาย $GA_3$ ร่วมกับการเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุหลังเก็บเกี่ยว 7 วัน และการเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ที่ผสมสารละลาย $GA_3$ และการรมด้วยสาร 1-MCP มะนาวสามารถอยู่ได้นาน 6 วัน โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 10ก และตารางที่ 7) สำหรับชุดการทดลองที่มะนาวอยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศพบว่า มะนาวที่จุ่มแช่ด้วยสารละลาย $GA_3$ ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 และรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตรก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุหลังเก็บเกี่ยวนาน 14 วัน เท่ากัน ซึ่งนานกว่าการจุ่มแช่ในสารละลาย $GA_3$ และการเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ที่ผสมสารละลาย $GA_3$ มีอายุ 13 วัน การเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุ 12 วัน การรมด้วยสาร 1-MCP มะนาวสามารถอยู่ได้นาน 6 วัน ซึ่งทรีทเมนต์ดังกล่าวทั้งหมดมีอายุหลังเก็บเกี่ยวอยู่ได้นานกว่าผลมะนาวในชุดควบคุมที่มีการเสื่อมสภาพและมีอายุหลังเก็บเกี่ยว 3 วัน โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 10ข และตารางที่ 7) นอกจากนี้พบว่า

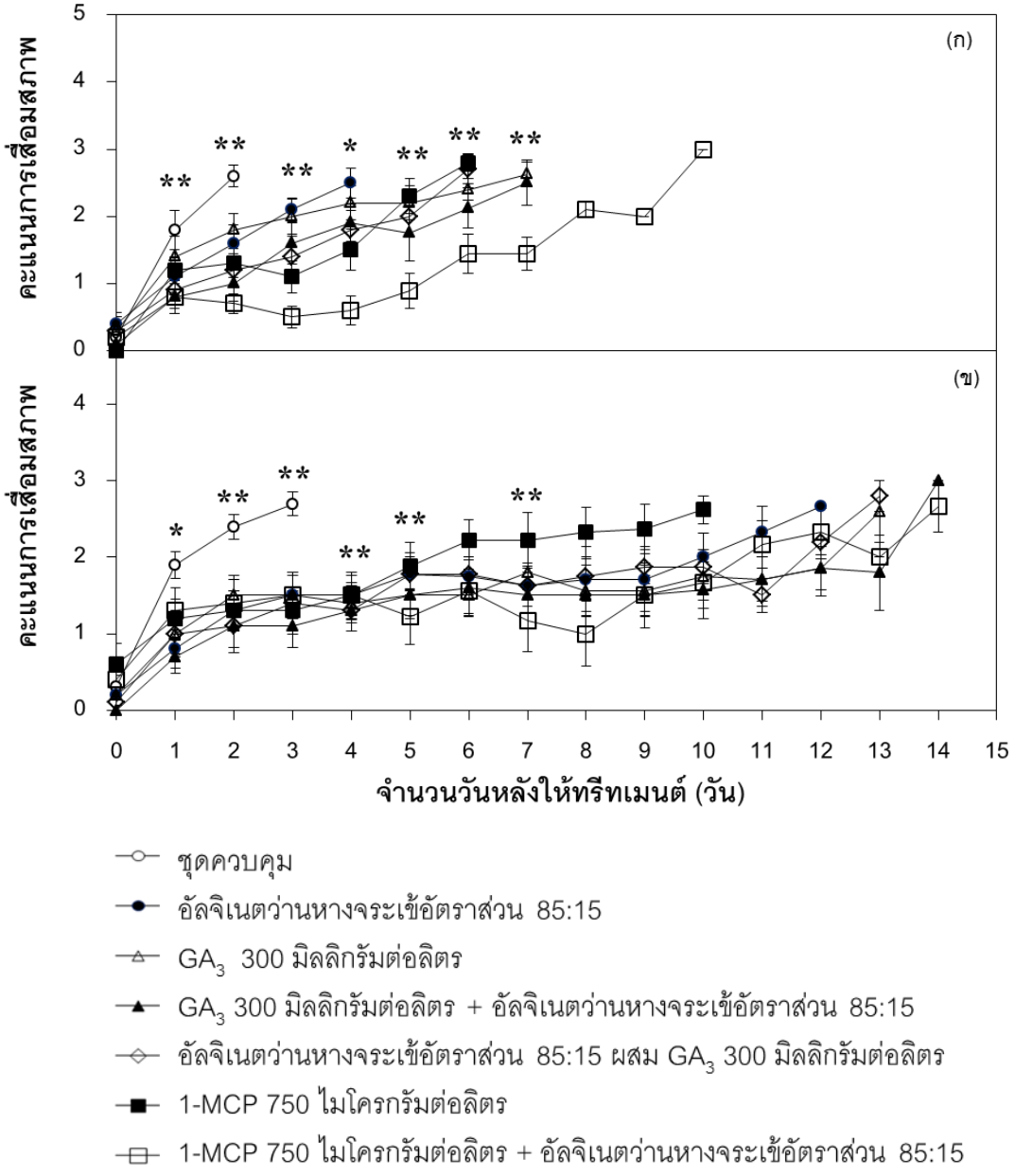
ปัจจัยของทรีทเมนต์และการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันทางสถิติ ($p<0.01$) โดยพบว่า มะนาวในชุดการทดลองที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศมีผลทำให้มะนาวมีอายุหลังเก็บเกี่ยวได้นานขึ้น

**ตารางที่** 7 อายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวหลังได้รับทรีทเมนต์

| ทรีทเมนต์ | อายุหลังเก็บเกี่ยว (วัน) |
|---|---|
| ชุดควบคุม+ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 2i |
| อัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15)+ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 4g |
| $GA_3$ 300 มิลลิตร/ลิตร+ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 7e |
| $GA_3$ 300 มิลลิตร/ลิตร ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15)+ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 7e |
| อัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15) ผสม $GA_3$ 300 มิลลิตร/ลิตร+ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 6f |
| 1-MCP 750 ไมโครกรัม/ลิตร+ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 6f |
| 1-MCP 750 ไมโครกรัม/ลิตร ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15)+ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 10d |
| ชุดควบคุม+หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 3h |
| อัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15)+หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 12c |
| $GA_3$ 300 มิลลิตร/ลิตร+หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 13b |
| $GA_3$ 300 มิลลิตร/ลิตร ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15)+หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 14a |
| อัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15) ผสม $GA_3$ 300 มิลลิตร/ลิตร+หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 13b |
| 1-MCP 750 ไมโครกรัม/ลิตร+หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 10d |
| 1-MCP 750 ไมโครกรัม/ลิตร ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ (85:15)+หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร | 14a |
| F-test | ** |
| C.V. (%) | 4.21 |

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT




**ภาพที่ 10** คะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ ที่อุณหภูมิ 30.1±0.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78.9±1.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

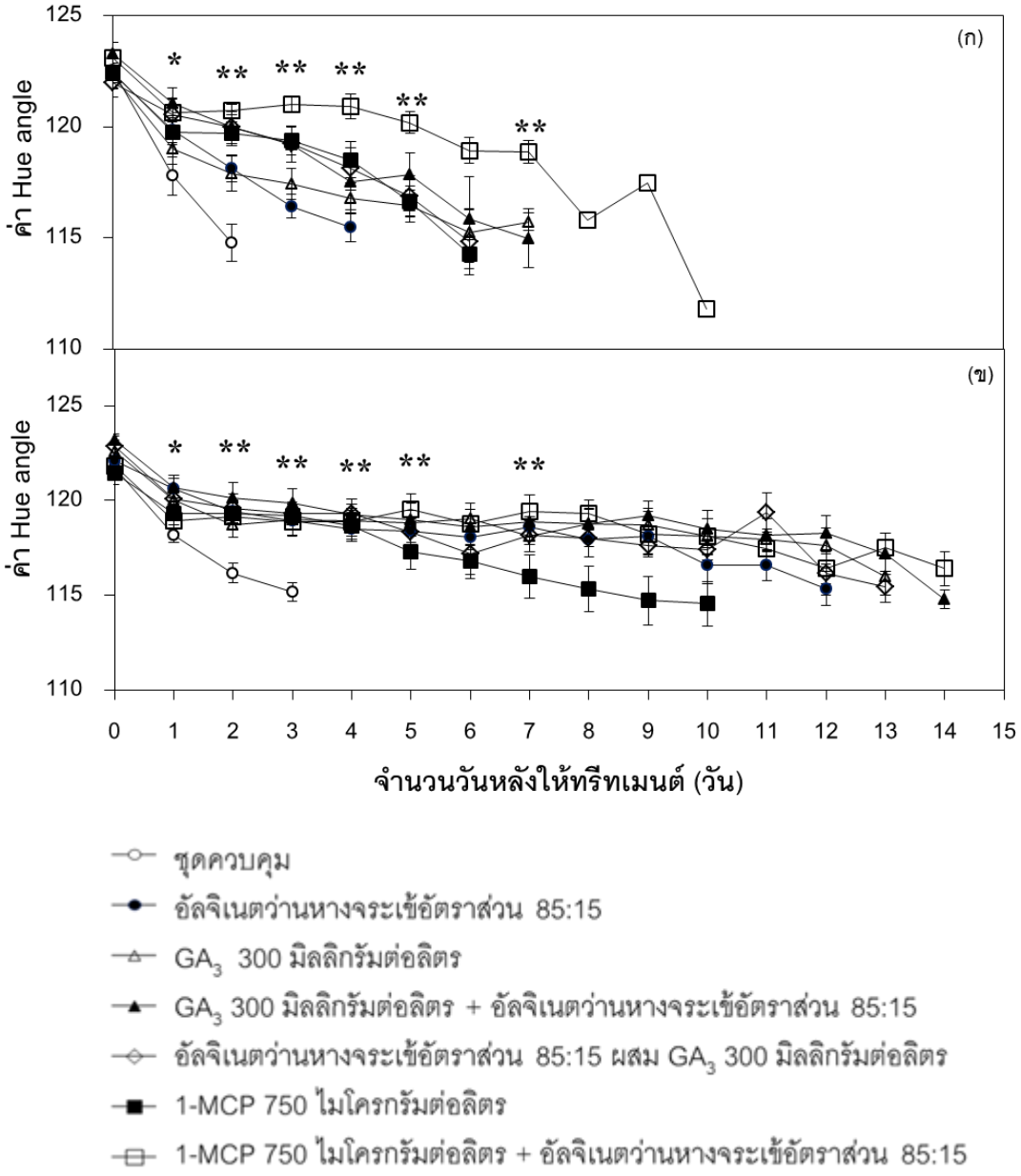
(ก) ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร และ (ข) หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ค่า hue angle

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดการทดลองและส่งผลต่อค่า hue angle ที่ลดลงและมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ สำหรับในชุดการทดลองที่มะนาวไม่ได้อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศ โดยผลมะนาวในชุดควบคุมมีค่า hue angle น้อยกว่าหรือเกิดการลดลงของค่า hue angle มากกว่ามะนาวทุกทรีทเมนต์และมีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ผลมะนาวที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตรก่อนถูกเคลือบด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 สามารถชะลอการลดลงของค่า hue angle (ภาพที่ 11ก) และการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 12) สำหรับชุดการทดลองที่มะนาวอยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ พบว่า ผลมะนาวในชุดควบคุมมีค่า hue angle น้อยกว่ามะนาวทุกทรีทเมนต์และมีความแตกต่างกันทางสถิติ จนถึงวันที่ 3 จากนั้นมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง โดยมะนาวที่จุ่มแช่ในสารละลาย $GA_3$ ก่อนเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 สามารถชะลอการลดลงของค่า hue angle (ภาพที่ 11ข) และการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 13) นอกจากนี้พบว่า ปัจจัยของทรีทเมนต์และการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันทางสถิติ โดยพบว่า มะนาวในชุดการทดลองที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศสามารถช่วยการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลมะนาวได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศ




**ภาพที่ 11** ค่า hue angle ของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ ที่อุณหภูมิ 30.1 ± 0.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78.9 ± 1.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

(ก) ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร และ (ข) หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

| ชุดควบคุม | อัลจิเนต ว่านหางจระเข้ (85:15) | $GA_3$ 300 มิลลิกรัม ต่อลิตร | $GA_3$ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนเคลือบ อัลจิเนต ว่านหางจระเข้ (85:15) | อัลจิเนต ว่านหางจระเข้ (85:15) ผสม $GA_3$ 300 มิลลิกรัม ต่อลิตร | 1-MCP 750 ไมโครกรัม ต่อลิตร | 1-MCP 750 ไมโครกรัมต่อลิตร ก่อนเคลือบ อัลจิเนต ว่านหางจระเข้ (85:15) |
|---|---|---|---|---|---|---|

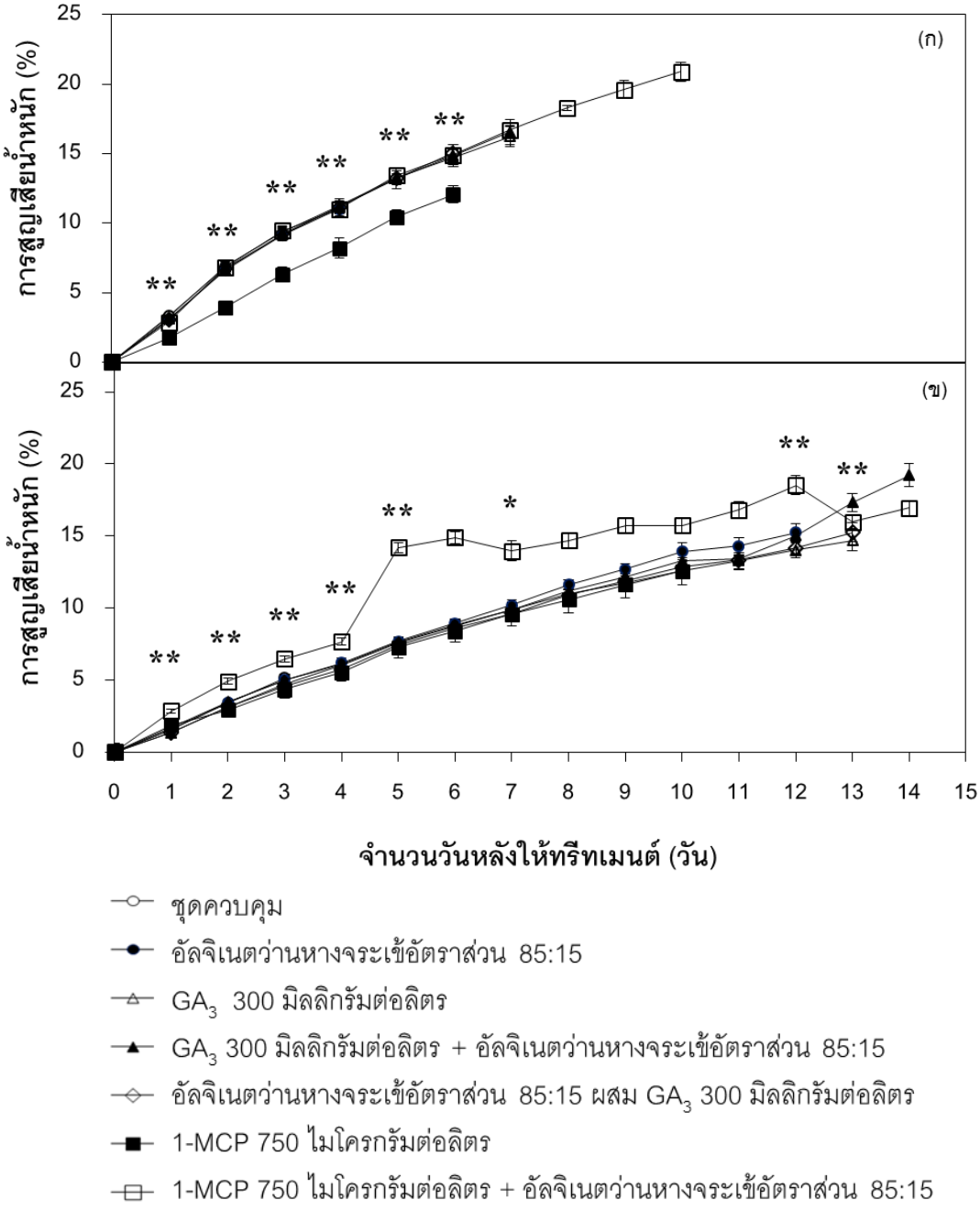
**ภาพที่** 12 การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ที่ไม่หุ้มฟิล์ม ถนอมอาหาร (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)

| ชุดควบคุม | อัลจิเนต ว่านหางจระเข้ (85:15) | $GA_3$ 300 มิลลิกรัม ต่อลิตร | $GA_3$ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนเคลือบ อัลจิเนต ว่านหางจระเข้ (85:15) | อัลจิเนต ว่านหางจระเข้ (85:15) ผสม $GA_3$ 300 มิลลิกรัม ต่อลิตร | 1-MCP 750 ไมโครกรัม ต่อลิตร | 1-MCP 750 ไมโครกรัมต่อลิตร ก่อนเคลือบ อัลจิเนต ว่านหางจระเข้ (85:15) |
|---|---|---|---|---|---|---|

**ภาพที่** 13 การเปลี่ยนแปลงสีจากเขียวเป็นเหลืองของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์และหุ้มฟิล์ม ถนอมอาหาร (ก) ผลมะนาวในชุดควบคุมมีคะแนนการเสื่อมสภาพที่ระดับ 3 (ข)

### 4.2 การสูญเสียน้ำหนัก (%)

ผลการทดลองพบว่า มะนาวในชุดการทดลองที่ไม่ได้อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศ ผลมะนาวทุกทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยผลมะนาวที่รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดและสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 การแช่ด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร การแช่ด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 การเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ผสมสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรและการรมผลมะนาวด้วย 1-MCP ก่อนอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักใกล้เคียงกัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 14ก) สำหรับชุดการทดลองที่มะนาวอยู่ในบรรจุภัณฑ์ พบว่า การรมผลมะนาวด้วย 1-MCP ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวในชุดควบคุมและมะนาวทรีทเมนต์อื่น ๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 14ข) นอกจากนี้ พบว่า ปัจจัยของทรีทเมนต์และการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันทางสถิติ โดยพบว่า มะนาวในชุดการทดลองที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว และลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่ามะนาวที่ไม่อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศ




**ภาพที่ 14** การสูญสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ ที่อุณหภูมิ 30.1 ± 0.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78.9 ± 1.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT (บาร์แนวตั้ง = ± SE)

(ก) ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร และ (ข) หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

# บทที่ 4

# วิจารณ์

การเคลือบผิวเป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวได้นานขึ้น การทดลองครั้งนี้ได้มีการใช้สารเคลือบผิวอัลจิเนตว่านหางจระเข้กับมะนาวพันธุ์แป้น พบว่าผลมะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุหลังเก็บเกี่ยวได้นาน 6 วัน ซึ่งนานกว่าผลมะนาวเคลือบผิวด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และชุดควบคุมที่มีอายุหลังเก็บเกี่ยว 5 วัน และมะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่า hue angle ได้ดีกว่ามะนาวในชุดควบคุม ทั้งนี้ในการเปลี่ยนแปลงของค่า hue angle ที่ลดลงบ่งบอกถึงกระบวนการสุกและการเสื่อมสภาพที่เพิ่มขึ้น เกิดจากกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวของผลหายไปและปรากฏสีเหลืองแดงขึ้น (จริงแท้, 2553) และในว่านหางจะเข้มีฮอร์โมนจิบเบอเรลลินเป็นองค์ประกอบ (Sharma and Gautam, 2013) ซึ่งมีผลในการยืดอายุของผลิตผลสามารถชะลอการเปลี่ยนสีที่ทำให้ผลสุกช้า (ดนัย, 2540) เนื่องจากไปลดการสร้างเอทิลีนจึงช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ ทำให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงสีช้าลง (จริงแท้, 2553) เช่นในการทดลองการใช้สารเคลือบผิวว่านหางจระเข้เพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายของมะนาวพันธุ์แป้นพบว่า สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่า hue angle ของผลมะนาวได้ (ชมพูนุท และลดาวัลย์, 2557) นอกจากนี้การทดลองยังพบว่า ทรีทเมนต์มีการเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจะเข้ทั้งสองอัตราส่วนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ามะนาวชุดควบคุม ทั้งนี้อาจเกิดจากหลังจากการเคลือบผลมะนาวจะเกิดเป็นเป็นฟิล์มขึ้น และเมื่อเวลาเก็บรักษานานขึ้นแผ่นฟิล์มเกิดรอยแตกหรือรอยแยกอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการคายน้ำออกจากผลิตผลอย่างรวดเร็ว ผลการทดลองคล้ายกับรายงานของ Silva และคณะ (2014) ที่มีการเคลือบผลมะละกอพบว่า มะละกอมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชุดควบคุม ในส่วนคุณภาพผล พบว่าการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวอัลจิเนตร่วมกับสารสกัดว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนไม่มีผลต่อปริมาณน้ำคั้นและอัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเคลือบผลมะนาวด้วยสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้เพียงอย่างเดียว (ชมพูนุท และลดาวัลย์, 2557) สำหรับปริมาณ TSS พบว่า มะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนมีค่า TSS มากกว่าผลมะนาวชุดควบคุม เช่นเดียวกับการทดลองของ Hassanpour (2015) ที่ศึกษาการเคลือบผิว

ราสเบอร์รี่ด้วยเจลว่านหางจระเข้เป็นเวลา 5 นาที พบว่าผลมะนาวที่ให้ทรีทเมนต์มีค่า TSS สูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งพืชตระกูลส้มไม่มีการสะสมแป้งระหว่างการเจริญเติบโต ภายหลังการเก็บเกี่ยวอาจมีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะการสูญเสียน้ำออกจากผลทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้น (จริงแท้, 2553) ในขณะที่ปริมาณ TA ในผลมะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่าผลมะนาวชุดควบคุม โดยทั่วไปการลดลงของปริมาณ TA ของผลไม้หลังเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นเนื่องจากผลไม้ใช้กรดอินทรีย์เป็นซับสเตรทในกระบวนการหายใจ (Valero and Serrano, 2010) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเคลือบผลเชอรี่หวานด้วยอัลจิเนต 5 เปอร์เซ็นต์ ที่พบว่ามีปริมาณ TA ต่ำกว่าชุดควบคุม (Chiabrando and Giacalone, 2015)

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงสี ($\Delta$E) ค่า b* และค่า a* ของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนอัลจิเนตเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากอัลจิเนตสกัดมาจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลและเมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบางจะมีสีขุ่น จึงทำให้แผ่นฟิล์มมีสีแดงเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อค่าการปลี่ยนแปลงสี สำหรับค่า L* ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีค่าความสว่างมากที่สุด เนื่องจากมีการผสมกันระหว่างอัตราส่วนของอัลจิเนตที่น้อยที่สุดและว่านหางจระเข้ในอัตราส่วนที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบในทรีทเมนต์ ทำให้เกิดการเจือจางของสารทั้งสองเมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มจึงทำให้มีความขุ่นจากสารอัลจิเนตลดลง และมีความใสจากว่านหางจระเข้เพิ่มขึ้น เมื่อวัดค่า L* ทำให้แผ่นฟิล์มมีความสว่างมากกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ สำหรับความหนาของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้ พบว่าค่าความหนาของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 มีค่าสูงที่สุด อาจเกิดจากปริมาณอัตราส่วนของอัลจิเนตที่เพิ่มขึ้น ขณะที่พื้นที่ในการขึ้นรูปฟิล์มเท่าเดิมจึงส่งผลให้ความหนาเพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 มีค่ามากกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 ที่มีค่าเท่ากับอัตราส่วน 85:15 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) อัลจิเนตเป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) (Gol and Chaudhari, 2015) โมเลกุลของน้ำจะดึงดูดน้ำโมเลกุลอื่น ๆ เข้ามาในพอลิเมอร์ด้วยการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (ชัยวุฒิ, 2558) เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ทำให้ไอน้ำซึมผ่านได้น้อยลงเป็นผลให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลง และจากการทดลองที่ 1 การใช้สารเคลือบผิวอัลจิเนตว่านหางจระเข้ พบว่าการเคลือบผลมะนาวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ามะนาวชุดควบคุม อาจเนื่องจากผลมะนาวที่ถูกเคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้มีลักษณะเป็นฟิล์มส่งผลให้มีการซึมผ่านไอน้ำที่ลดลง อาจจะส่งผลให้มะนาวที่เคลือบด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสอง

อัตราส่วนมีการสูญเสียน้ำออกจากผลมากกว่ามะนาวในชุดควบคุม และความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม พอลิเมอร์ชีวภาพทั่วไปจะมีความไวต่อความชื้นและความสามารถในการละลายน้ำ ซึ่งส่วนประกอบที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มโดยการเชื่อมขวางระหว่างพอลิเมอร์มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำ (Lacroix, 2009) นอกจากนี้ยังพบว่า ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 มีค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 โดยปริมาณอัตราส่วนของอัลจิเนตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมีการละลายเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอนิล (H-bond หรือปฏิกิริยาโควาเลนต์) ระหว่างพอลิเมอร์ที่ส่งผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม และเมื่อนำฟิล์มมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่า ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 มีความทนแรงดึงและการยืดตัวสูงกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15 เนื่องจากอัลจิเนตมีการเชื่อมพันธะต่อกันเป็นสายยาวของโมโนเมอร์ทำให้เกิดโครงสร้างที่ค่อนข้างแข็งแรง (Nieto, 2009) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอัลจิเนตที่มีการเติมว่านหางจระเข้ การเติมว่านหางจระเข้ร่วมกับอัลจิเนตส่งผลให้การยืดตัวของฟิล์มลดลงและค่าความทนแรงดึงของฟิล์มลดลง อาจเนื่องจากการเข้าไปแทรกตัวของว่านหางจระเข้อาจทำให้แรงยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์อ่อนแอลง ความแข็งแรงและการยืดตัวจึงลดลงทำให้ฟิล์มมีความเปราะ ซึ่งจากการทดลองของ Benavides และคณะ (2012) ที่ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของฟิล์มอัลจิเนตต่อผลของระดับการเชื่อมขวาง (crosslinking degree) โดยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเชื่อมขวางกลับพบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลทำให้ความหนาของฟิล์มอัลจิเนตเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม กล่าวคือความหนาของฟิล์มได้รับอิทธิพลจากปริมาณของสารละลายที่เติมในการหล่อฟิล์ม การทนแรงดึงและค่าการยืดตัวของฟิล์มอัลจิเนตที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าการทนแรงดึงมีความแข็งแรงมากกว่าฟิล์มในชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าขอบเขตของการเชื่อมขวาง (crosslinking) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มทำให้ทนต่อแรงดึงได้มากขึ้นและต้องใช้แรงมากในการแตกตัว และค่าการยืดตัวมีการลดลงเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มชุดควบคุม ความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มในการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า มีค่าลดลงตามปริมาณของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าสารสกัดว่านหางจระเข้มีความเป็นด่าง เมื่อนำไปผสมกับสารอัลจิเนตซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรด ทำให้ความเป็นกรดของสารผสมอัลจิเนตว่านหางจระเข้ลดลง ซึ่งอาจส่งผลต่อการเชื่อมขวางที่ลดลง จึงทำให้ฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้มีความแข็งแรงลดลง

นอกจากการเคลือบผิวซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวได้นานขึ้น โดยการใช้สาร 1-MCP เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผล เป็นยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุก ทำให้การสุกของผลถูกยับยั้ง จึงส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสีช้าลงและมีผลโดยตรงต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลส้ม และในมะนาว พบว่า ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองได้ (จริงแท้, 2553) จะเห็นได้ว่าในการรมสารดังกล่าวจะมีช่วงเวลาที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับผลิตผลและความเข้มข้นที่ใช้ จากการศึกษาผลของเวลาการรมสาร 1-MCP ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาว พบว่าการรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะนาวได้ดีที่สุดและมีอายุหลังเก็บเกี่ยวนาน 7 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวในทุกทรีทเมนต์ และจากการทดลองของ Win และคณะ (2006) พบว่าการใช้สาร 1-MCP ความเข้มข้น 250 และ 500 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถชะลอการเหลืองของมะนาวได้ 36 วัน ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากกลไกการทำงานของ 1-MCP ซึ่งเป็นตัวรับที่ไปจับกับเอทิลีน จึงคาดว่าในมะนาวจำเป็นต้องใช้เวลาในการรมนาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้โมเลกุลของ 1-MCP สามารถจับกับโมเลกุลของเอทิลีนได้หมด ด้านเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักพบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษาและมะนาวที่รมสาร 1-MCP เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมะนาวทุกทรีทเมนต์ โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตหลังมีความเกี่ยวข้องกับการหายใจ เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นการหายใจ ถ้ามีการหายใจสูง เอทิลีนเพิ่มขึ้น การสูญเสียน้ำหนักจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อเอทิลีนลดลง อัตราการหายใจก็จะลดลงมาใกล้เคียงกับการหายใจในระดับเดิม การสูญเสียน้ำหนักจึงลดลง (ดนัย, 2540) และจากการศึกษาการให้สาร 1-MCP กับผลมะนาวพันธุ์แป้นของชมพูนุท (2559) พบว่า ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวถูกควบคุมหรือกั้นโดยชั้นแวกซ์ที่เป็นไขของผล ทำให้ไม่มีความแตกต่างกันของผลมะนาวที่ได้รับสาร 1-MCP และชุดควบคุม และไม่สอดคล้องกับการให้สาร 1-MCP กับส้มเขียวหวานพันธุ์ ‘Shamouti’ พบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเช่นกัน (Porat *et al*., 2001)

ด้านการศึกษาผลของสารเคลือบผิวอัลจิเนตร่วมกับเจลว่านหางจระเข้ $GA_3$ และสาร 1-MCP อายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ พบว่า ผลมะนาวที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการเคลือบผลด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ที่ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหารสามารถชะลอ

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ของมะนาว และมีอายุหลังเก็บเกี่ยวนานสุด 10 วัน โดยทั่วไปการเคลือบผิวจะไปจำกัดการซึมผ่านของไอน้ำโดยไปปิดรูเปิดตามธรรมชาติในเนื้อเยื่อชั้นผิว (epidermis) (จริงแท้, 2542) นอกจากนี้ยังพบว่าจากการทดลองในทุกทรีทเมนต์มีการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักตลอดเก็บรักษา และยังพบว่าทรีทเมนต์การรม 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ สำหรับการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ โดยการบรรจุมะนาวด้วยการหุ้มฟิล์มถนอมอาหาร พบว่ามะนาวที่จุ่มแช่ในสารละลาย $GA_3$ ก่อนการเคลือบด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 และการรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร ก่อนการเคลือบผลด้วยอัลจิเนตร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาว และมีอายุหลังเก็บเกี่ยวนานสุด 14 วัน การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวเป็นการเก็บรักษาผลิตผลแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศและมีการหุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหารซึ่งเป็นการบรรจุในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซมีน้อยลง เมื่อผลไม้ได้รับออกซิเจนจากภายนอกน้อยลง ทำให้อัตราการหายใจลดลง และการสะสมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจภายในผลมีมากขึ้น ส่งผลทำให้ชะลอการสุก การเสื่อมสภาพ ทำให้อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนช้าลง (จริงแท้, 2542) เช่นเดียวกับการรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร ก่อนการเคลือบผลด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ทั้งนี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของวาสนา และคณะ (2558) พบว่า การเคลือบผิวมะนาวด้วย $GA_3$ เพียงอย่างเดียว หรือการเคลือบผิวด้วย $GA_3$ ร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวเป็นสีเหลืองได้ดีกว่าการเคลือบผิวด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาเพียงอย่างเดียว ขณะที่เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก พบว่าการรมผลมะนาวด้วย 1-MCP ก่อนการเคลือบด้วยสารละลายอัลจิเนตผสมสารสกัดว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมากที่สุดเมื่อเทียบกับมะนาวในชุดควบคุมและมะนาวทรีทเมนต์อื่น ๆ อาจเนื่องมาจากหลังจากการรมสาร 1-MCP มีการเคลือบผิวมะนาวด้วยสารอัลจิเนตร่วมกับว่านจระเข้และหุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหารซึ่งเป็นการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศทำให้มีโครงสร้างของการเคลือบที่หนาขึ้น ความหนาและการจัดเรียงตัวของสารเคลือบที่ประกอบกันเป็นชั้นของคิวติเคิลอยู่ตามผิวของผลิตผลซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการกำหนดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก และผลการทดลองสอดคล้องกับ จริงแท้ (2553) ที่กล่าวว่า การใช้ฮอร์โมนจิบเบอเรลลินช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในส้มเขียวหวานได้ และการใช้สาร 1-MCP ช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้แต่ก็ไม่ดีเท่ากับการชะลอกระบวนการสุกอื่น ๆ จึงคาดว่า

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในมะนาวมีทั้งกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับเอทิลีน และกระบวนการที่ไม่ขึ้นกับเอทิลีน นอกจากนี้การศึกษาเปรียบเทียบการหุ้มฟิล์มถนอมอาหารและการวางมะนาวในถาดกระดาษชานอ้อย ยังทำให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การนำบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ (Modified Atmosphere Packaging; MAP) มาใช้ในการทำให้มะนาวหลังได้รับทรีทเมนต์ $GA_3$ 1-MCP และอัลจิเนตว่านหางจระเข้ มีอายุหลังเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นได้ โดยสามารถเก็บไว้ได้นาน 12-14 วัน ในขณะที่มะนาวที่ไม่ได้บรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศที่ได้รับทรีทเมนต์จะมีอายุหลังเก็บเกี่ยว 4-10 วัน (ตารางที่ 7) จึงสรุปได้ว่า การให้ทรีทเมต์ $GA_3$ 1-MCP และอัลจิเนตว่านหางจระเข้ร่วมกับบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศทำให้ผลมะนาวมีอายุหลังเก็บเกี่ยวได้นานขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ เสาวภา และธีรพงษ์ (2551) ที่การใช้ MAP สามารถเก็บรักษาส้มโอได้นานขึ้น

# บทที่ 5

# สรุป

จากการศึกษาผลของการเคลือบฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้เพื่อยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้นสรุปได้ว่า

1. การเคลือบผิวมะนาวด้วยอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีอายุหลังเก็บเกี่ยวได้นาน 6 วัน และสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก การเสื่อมสภาพของมะนาว แต่มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการการทดลอง ในส่วนของคุณภาพผล พบว่าการเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ทั้งสองอัตราส่วนไม่มีผลต่อปริมาณน้ำคั้นและอัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA)

2. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้

2.1 การเปลี่ยนแปลงสี ($\Delta$E) ค่า b* และ ค่า a* ของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนอัลจิเนตเพิ่มขึ้น ค่า L* ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 มีค่าความสว่างมากที่สุด

2.2 ความหนา พบว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 มีค่ามากที่สุด

2.3 อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 มีค่ามากกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 ที่มีค่าเท่ากับอัตราส่วน 85:15 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

2.4 การละลายน้ำของฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 สามารถละลายน้ำได้ดีที่สุด

2.5 การทดสอบคุณสบัติเชิงกล พบว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 100:0 มีความทนแรงดึงและการยืดตัวมากกว่าฟิล์มอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 และ 85:15

3. การรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 24 ชั่วโมง มีอายุหลังเก็บเกี่ยวนาน 7 วัน ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด

4. การศึกษาผลของการเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้ $GA_3$ และสาร 1-MCP ต่ออายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ

4.1 มะนาวที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ที่ไม่ได้บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศเป็นวิธีที่ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ดีที่สุด โดยมีอายุหลังเก็บเกี่ยวนานสุด 10 วัน และการรม 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตรนาน 24 ชั่วโมง ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด

4.2 มะนาวที่จุ่มแช่ในสารละลาย $GA_3$ ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 และการรม 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตรนาน 24 ชั่วโมง ก่อนเคลือบอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 และอยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศเป็นวิธีที่ชะลอชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะนาวได้ดีที่สุด และมีอายุหลังเก็บเกี่ยวนานสุด 14 วัน

# เอกสารอ้างอิง


จริงแท้ ศิริพานิช. 2542. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 396 น.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2553. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. 453 น.

เจริญ ขุนพรม, อุดม ฟ้ารุ่งสาง, นวลวรรณ ฟ้ารุ่งสาง, ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล, สมนึก ทองบ่อ และจริงแท้ ศิริพานิช. 2545. ผลของ $KMnO_4$ สารเคมี และปริมาณเชื้อราบนผลมะนาวต่อการเปลี่ยนสีและการเกิดโรคของมะนาวพันธุ์แป้นระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 33 : 54-59.

ชัยวุฒิ วัดจัง. 2558. การปรับปรุงสมบัติไฮโดรฟิลิกของยางธรรมชาติ: การเตรียม และการวิเคราะห์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.ธัญบุรี 5 : 2: 1-16.

ชมพูนุท บัวเผื่อน และลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2557. การใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้เพื่อยืดอายุวางจำหน่ายของมะนาวพันธุ์แป้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 45 : 3/1 (พิเศษ) : 101-104.

ชมพูนุท บัวเผื่อน. 2559. ผลของสารเคลือบผิวว่านหางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 92 น.

นิภา คุณทรงเกียรติ. 2540. การเก็บรักษามะนาว. วารสารเกษตรก้าวหน้า 5 : 7-9.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. เชียงใหม่: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 226 น.

ไพรัตน์ โสภโณดร, สุทธวัฒน์ เบญจกุล และวิคเนตร พระพุทธ. 2536. การใช้ไคโตแซนเป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว. วารสารสงขลานครินทร์ 15 : 259-265.

วาสนา พิทักษ์พล, เพ็ญโฉม พจนธารี และสมสุดา วรพันธุ์. 2558. การยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวด้วยสารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา และกรดจิบเบอเรลลิค. วารสารแก่นเกษตร 43 : 881-887.

ศุภกิจ แก้วถนอม. 2540. การปลูกมะนาว. กรุงเทพฯ. อักษรสยามการพิมพ์. 71 น.

ศูนย์ข้อมูลผลไม้. 2558. มะนาว. เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th [เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559].

สมโภชน์ น้อยจินดา. 2540. การหายใจและการผลิตเอทธิลีนของผลมะนาว. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 7 : 27-30.

สายชล เกตุษา. 2555. การใช้ 1-methylcyclopropene กับผลผลิตพืชสวนสดหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารราชบัณฑิตยสถาน 37 : 111-123.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. มะนาว. เข้าถึงได้จาก : http://www.doae.go.th [เข้าถึงเมื่อ 18 กันยายน 2561].

เสาวภา ไชยวงศ์ และ ธีรพงษ์ เทพกรณ์. 2551. ผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดีในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 : 3 (พิเศษ) : 287-290.

Adetunji, C.O., Fawole, O.B., Arowora, K.A., Nwaubani, S.I., Ajayi, E.S., Oloke, J.K., Majolagbe, O.M., Ogundele, B.A., Aina, J.A. and Adetunji, J.B. 2012. Effect of edible coating from *Aloe vera* gel on quality and postharvest physiology of *Ananas comosus* (L.) fruit during ambient storage. Global Journal of Science Frontier Research Bio-Tech & Genetics 12 : 38-43.

Arowora, K.A., Williams, J.O., Adetunji, C.O., Fawole, O.B., Afolayan, S.S., Olaleya, O.O., Adetunji, J.B. and Ogundele, B.A. 2013. Effects of *Aloe vera*coatings on quality characteristics of oranges stored under cold storange. Greener Journal of Agricultural Science3 : 39-47.

Asghari, M., Khalili, H., Rasmi, Y. and Mohammadzadeh, A. 2013. Influence of postharvest nitric oxide and *Aloe vera* gel application on sweet cherry quality indices and storage life. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 : 2393-2398.

Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H.M., Tan, C.P., and Adzahan, N.M. 2014. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. Postharvest Biology and Technology 88 : 1-7.

Banker, G. S. 1966. Film coating theory and practice. Journal of. Journal of Pharmaceutical Sciences 55 : 81-89.

Benavides, S., Villalobos-Carvajal, R. and Reyes, J. E. 2012. Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: Effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration. Journal of Food Engineering 110 : 232-239.

Blankenship, S.M. and Dole, J.M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. Postharvest Biology and Technology 28 : 1-25.

Cagri, A., Ustunol, Z. and Ryser, E.T. 2004. Antimicrobial edible films and coatings. Journal of Food Protection 67 : 833-848.

Chiabrando, V. and Giacalone, G. 2015. Effects of alginate edible coating on quality and antioxidant properties in sweet cherry during postharvest storage. Italy Journal of Science 27 : 173-180.

Coggins, C.W. and Lewis, L.N. 1962. Regreening of Valencia orange as influenced by potassium gibberellate. Journal of Plant Physiology 37 : 625–627.

Debbarma, N. and Hazarika, B.N. 2016. Effect of plant growth regulators and chemicals on yield and quality of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) under foothill condition of Arunachal Pradesh. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology 9 : 231-236.

Diaz-Mula, H.M., Serrano, M., and Valero, D. 2012. Alginate coatings preserve fruit quality and bioactive compounds during srorage of sweet cherry fruit. Food and Bioprocess Technology 5 : 2990-2997.

Ekthamasut, K and Akesowan, A. 2001. Effect of Vegetable Oils on Physical Characteristics of Edible Konjac Films. Journal of Technology : 1-6.

Embuscado, M.E. and Huber, K.C. 2009. Edible Films and Coatings for Food Applications. Materials and Process Technology. Moscow: Idaho. 410 p.

Gol, N. B. and Chaudhari, M. L. 2015. Effect of edible coatings on quality and shelf life of carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit during storage. Journal of Food Science and Technology 52(1) : 78–91.

Guibert, S. 1986. Technology and Application of Edible film. *In* Food Packaging and Preservation Theory and Practice. (ed Mathlouthi, M.). Elsevier Applied Science Publisher. London : 371-394.

Hassanpour, H. 2015. Effect of *Aloe vera* gel coating on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activities and decay in raspberry fruit. Food Science and Technology 60 : 495-501.

Jo, C., Kang, H., Lee, N.Y., Kwon, J.H. and Byun, M.W. 2004. Pectin- and gelatin-based film: effect of gamma irradiation on the mechanical properties and biodegradation. Journal of Radiation Physics and Chemistry 72 : 745-750.

Lacroix, M. 2009. Mechanical and Permeability Properties of Edible Films and Coatings for Food and Pharmaceutical Applications. *In* Edible Films and Coatings for Food Applications. (eds. M.E. Embuscada, and K.C. Huber) pp. 355-356. Mosco: Idaho.

Minolta, K. 2003. Precise colour communication: https://www.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/4_Learning_Centre/C_A/PRECISE_COLOR_COMMUNICATION/pcc_english_13.pdf. (access date 24 June 2018)

Nieto, M.B. 2009. Structure and function of polysaccharide gum-based edible films and coatings. *In* Edible Films and Coatings for Food Applications. (eds. M.E. Embuscada, and K.C. Huber) pp. 71-21. Mosco: Idaho.

Passam, W.C. and Blunden, G. 1982. Experiment on the storage of limes at tropical ambient temperature. Tropical Agriculture 59 : 20-24.

Peyro, H., Mirjalili, S.A., and Kavoosi, B. 2017. Effect of salicylic acid and *Aloe vera* gel on postharvest quality of table grapes (*Vitis vinifera*). Trakia Journal of Sciences 2 : 154-159.

Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., Goren, R. and Droby, S. 2001. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. Postharvest Biology and Technology 15 : 155–163.

Pranamornkith, T. 2009. Effects of Postharvest treatments on storage quality of Lime (*Citrus Latifolia* Tanaka) fruit. A thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Food Technoly. Massey University. New Zealand.

Rhim J.W. 2004. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. Journal of Food Science and Technology 37 : 323–330.

Ruben, P., Ausenda, M. and . Bartolo, P. 2013. Alginate/Aloe vera hydrogel films for biomedical applications. Procedia CIRP 5 : 210-215.

Sharma, A. and Gautam, S. 2013. An overview on medical properties of *Aloe vera*: Antibacterial & antifungal aspects. International Journal of Pharma and Biosciences 4 : 694-705.

Silva, D.A., Oliveira,J.K., Santos, C.M., Bery, C.C.S., Castro, A.A. and Santos, J.A.B. 2014. The use of sodium alginate-based coating and cellulose acetate in papaya post-harvest preservation. Acta Scientiarum 36(3) : 569-573.

Sipahi, R. E., Castell-Perez, M.E. Moreira, R.G., Gomes, C. and Castillo, A. 2013. Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*). Journal of Food Science and Technology 51 : 9-15.

Tapia-Blacido, D., Mauri, A. N., Menegalli, F., Sobral, P.J. and Ahon, M.C. 2007. Contribution of the protein and lipid fractions to the physical, thermal and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. Journal of Food Science 72 : 293-300.

Valero, D. and Serrano, M. 2010. Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality. Boca Raton. CRC-Taylor and Francis.

Win, T.O., Srilaong, V., Heyes, J., Kyu, K.L. and Kanlayanarat, S. 2006. Effect of different concentrations of 1-MCP on the yellowing of West Indian lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) fruit. Postharvest Biology and Technology 42 : 23-30.

Zhong, Y. and Li, Y. 2011. Effects of surfactants on the functional and structural properties of kudzu (*Pueraria lobata*) starch/ascorbic acid films. Carbohydrate Polymers 85 : 622-628.

# ภาคผนวก

**ตารางภาคผนวกที่ 1** ค่าปฏิสัมพันธ์ของคะแนนการเสื่อมสภาพของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ระหว่างปัจจัย A คือ ทรีทเมนต์ของการทดลอง[1/] และปัจจัย B คือการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ 2 ระดับ ได้แก่ 1) ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร และ 2) หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร

| Source of variation | df | SS | MS | F |
|---|---|---|---|---|
| treatments | 13 | 1477.6 | | |
| A | 6 | 829.4 | 138.2 | 3455.7 ** |
| B | 1 | 521.1 | 521.1 | 13027.8 ** |
| A:B | 6 | 127.1 | 21.2 | 529.7 ** |
| Error | 6 | 470.8 | 78.46525 | |
| Total | 19 | 1006.8 | | |

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

**ตารางภาคผนวกที่ 2** ค่าปฏิสัมพันธ์ของค่า hue angle ของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ระหว่างปัจจัย A คือ ทรีทเมนต์ของการทดลอง[1/] และปัจจัย B คือ การบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ 2 ระดับ ได้แก่ 1) ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร และ 2) หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร

| ปัจจัย | จำนวนวันหลังให้ทรีทเมนต์ (วัน) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| A | ns | ** | ** | ** | ** | ** | * | * | ns | * | ns | ns | ns | ns | ns |
| B | ns | ns | ns | ns | * | * | ** | ** | * | ns | ** | - | - | - | - |
| A:B | ns | ns | ns | * | * | ns | ns | ns | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V. (%) | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | 2.0 | 2.1 | 2.7 | 2.7 | 2.5 | 2.1 | 2.5 | 1.7 | 2.0 | 1.7 | 1.1 |

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

[1/]ทรีทเมนต์ของการทดลอง ได้แก่ 1) ชุดควบคุม 2) สารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 3) การแช่ผลมะนาวด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร 4) การแช่ผลมะนาวด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการเคลือบด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 5) การเคลือบด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ผสมสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร 6) การรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 7) การรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร่วมกับการเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15

**ตารางภาคผนวกที่ 3** ค่าปฏิสัมพันธ์ของการสูญเสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังให้ทรีทเมนต์ระหว่างปัจจัย A คือ ทรีทเมนต์ของการทดลอง[1/] และปัจจัย B คือ การบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ 2 ระดับ ได้แก่ 1) ไม่หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร และ 2) หุ้มฟิล์มถนอมอาหาร

| ปัจจัย | จำนวนวันหลังให้ทรีทเมนต์ (วัน) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| A | - | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ns | ** | ** | ns |
| B | - | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | - | - | - | - |
| A:B | - | ** | ** | ** | ** | * | * | ns | - | - | - | - | - | - | - |
| C.V. (%) | - | 24.8 | 17.7 | 16.0 | 15.3 | 13.8 | 13.7 | 19.6 | 12.4 | 12.6 | 11.8 | 11.0 | 8.6 | 8.7 | 7.3 |

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

[1/]ทรีทเมนต์ของการทดลอง ได้แก่ 1) ชุดควบคุม 2) สารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 3) การแช่ผลมะนาวด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร 4) การแช่ผลมะนาวด้วยสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการเคลือบด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 5) การเคลือบด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15 ผสมสารละลาย $GA_3$ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร 6) การรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 7) การรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร่วมกับการเคลือบผลมะนาวด้วยสารละลายอัลจิเนตว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85:15

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ - สกุล** นางสาววรรณทการณ์ สถิตย์กุล

**รหัสประจำตัวนักศึกษา** 5810620062

**วุฒิการศึกษา**

| วุฒิ | ชื่อสถาบัน | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
|---|---|---|
| วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | 2558 |

**ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)**

1. งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมูลนิธิโทเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ (ประเทศไทย)

2. สถานวิจัยความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 2 คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

3. ทุนอุดหนุนวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

**การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน**

วรรณทการณ์ สถิตย์กุล และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2557. ผลของการใช้สารเคลือบผิวจากอัลจิเนตและสารสกัดว่านหางจระเข้ต่อการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพผลของมะนาวพันธุ์แป้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 47 : 3 (พิเศษ) : 162-165.