อิทธิพลขององค์ประกอบของสารเคลือบผลไม้ที่มีเชลแล็กและไข ต่อคุณสมบัติของสารเคลือบและการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะโรงเรียน

นางสาวกาญจนา อินทลักษณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF COMPOSITIONS OF SHELLAC/WAX-BASED FRUIT COATING ON CHARACTERISTICS OF COATING SOLUTIONS AND SHELF-LIFE EXTENTION OF RAMBUTAN (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrien)

Miss Kanchana Intalak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลขององค์ประกอบของสารเคลือบผลไม้ที่มีเชลแล็กและไขต่อคุณสมบัติของสารเคลือบและการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะโรงเรียน
โดย	นางสาวกาญจนา อินทลักษณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สีรุ้ง ปรีชานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. อภิตา บุญศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ สุทธิธารธวัช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. สีรุ้ง ปรีชานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. อภิตา บุญศิริ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ปารวี วาศน์อำนวย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก จารุดิลกกุล)

กาญจนา อินทลักษณ์ : อิทธิพลขององค์ประกอบของสารเคลือบผลไม้ที่มีเชลแล็กและไขต่อคุณสมบัติของสารเคลือบและการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะโรงเรียน (EFFECTS OF COMPOSITIONS OF SHELLAC/WAX-BASED FRUIT COATING ON CHARACTERISTICS OF COATING SOLUTIONS AND SHELF-LIFE EXTENTION OF RAMBUTAN (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrien)) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สีรุ้ง ปรีชานนท์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. อภิตา บุญศิริ, 172 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาสูตรสารเคลือบผลไม้จากเชลแล็กขาวเกรดอาหารและไขคาร์นูบา โดยศึกษาผลของชนิดสารลดแรงตึงผิว กรดโอเลอิก กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ทวีน 80 ผสมสแปน 80 และทวีน 80 ที่ค่า HLB ต่างๆ และทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบต่อคุณภาพในการเก็บรักษาเงาะ จากการศึกษาสมบัติของสารเคลือบพบว่า สารเคลือบสูตรกรดโอเลอิก (HLB1) และสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน80 (HLB12.5) มีขนาดอนุภาคเล็ก ความคงตัวสูง และค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ มีลักษณะฟิล์มอิมัลชันเรียบเป็นเนื้อเดียว การประเมินประสิทธิภาพของสารเคลือบพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ เคมี และความพึงพอใจของผู้บริโภค สูตรสารเคลือบที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพเงาะคือ สูตรกรดโอเลอิก (HLB1) 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงขนดำ และให้ความแน่นเนื้อดี แต่พบคราบขาวหรือจุดขาวที่ผลเงาะ จึงทำการพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากเชลแล็กขาวที่มีกรดโอเลอิกเป็นสารลดแรงตึงผิว โดยการดัดแปลงด้วยไขคาร์นูบาและไขผึ้ง การทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าสารเคลือบที่ดัดแปลงด้วยไขผึ้งสามารถรักษาคุณภาพเงาะได้ดีเท่ากับสารเคลือบดัดแปลงด้วยไขคาร์นูบา แต่ไม่เกิดคราบขาวหรือจุดขาวที่เปลือกและขนเงาะ เมื่อทดสอบระดับการค้า พบว่าการเคลือบผิวเงาะด้วยสารเคลือบสูตรเชลแล็กดัดแปลงด้วยไขคาร์นูบา และสูตรเชลแล็กดัดแปลงด้วยไขผึ้ง ให้ผลทดลองที่ดี โดยพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสมที่ทำให้เงาะยังคงสภาพดีคือ เคลือบด้วยสารเคลือบและเก็บไว้ที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 และ 2 สัปดาห์ สามารถย้ายมาวางขายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 2 และ 1 วันตามลำดับ โดยสารเคลือบสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงขนดำ และให้ความแน่นเนื้อดี และพบว่าสารเคลือบสูตรเชลแล็กดัดแปลงด้วยไขผึ้ง 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานเพราะไม่พบคราบขาวหรือจุดขาวที่เปลือกและขนผลเงาะเช่นเดียวกับการทดสอบเคลือบเงาะระดับห้องปฏิบัติการ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5670120021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: SHELLAC,CARNAUBA WAX, BEESWAX, FRUIT COATING, SURFACTANT AND HLB

KANCHANA INTALAK: EFFECTS OF COMPOSITIONS OF SHELLAC/WAX-BASED FRUIT COATING ON CHARACTERISTICS OF COATING SOLUTIONS AND SHELF-LIFE EXTENTION OF RAMBUTAN (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrien). ADVISOR: ASSOC. PROF. SEEROONG PRICHANONT, Ph.D., CO-ADVISOR: PH.D. APITA BUNSIRI, 172 pp.

This project presents the development of shellac-based fruit coating formulations modified with different surfactant types namely; oleic acid, tween80, oleic acid/sodium dodecyl sulfate, oleic acid/tween80, and tween80/span80. The results from the characterization of the coating solution revealed that coating formulation with the oleic acid (HLB1) and oleic acid/tween80 (HLB12.5) led to small particle size of dispersed wax phase, high stability, and low water vapor transmission (WVT). The suitable fruit coating formulation was found to be the one with 2.5 %(w/w) oleic acid when tested by dip-coating rambutan (cv.Rongrien) and stored at 12 ℃, 85-95 % relative humidity for two weeks.This resulted in satisfactory appearances of rambutan, delay of the fruit hair darkening, and higher firmness. But the white crust was found on the rambutan surface. Therefore, the coating formulation was further improved by investigating effects of carnauba and beeswax on coating efficiency using oleic acid 2.5%(w/w) as a based solution. The efficacy of coating formulations was again tested on rambutan. The coating formulation modified with 5%(w/w) beeswax was selected for laboratory scale evaluation on preserving quality of rambutan. This formulation resulted in suitable rambutan surface without white crusts. The coated rambutans kept their qualities for at least 2 week in a commercial cold room (12℃,85-95% relative humidity). These coated rambutans still remained its freshness after stored on shelves (at 25 ℃) for 2 days and 1 days after the first and the second week of storage in the cold room.

Department: Chemical Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Chemical Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015 Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือที่ดีจากบุคคลต่างๆ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สีรุ้ง ปรีชานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.อภิตา บุญศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการวิจัยต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ สุทธิธารธวัช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ปารวี วาศน์อำนวย และ รศ.ดร. สมนึก จารุดิลกกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เพื่อน พี่ และน้อง ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และท่านผู้มี พระคุณทุกท่าน ที่ได้ให้ความสนับสนุน และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.3.1 การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB (Hydrophilic-Lipophilic-Balance) 3

1.3.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3

1.3.3 การศึกษาอิทธิพลชนิดไข 3

1.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของสารเคลือบผิวผลไม้ 4

1.3.4.1 การทดสอบความคงตัวของสารเคลือบผิวตามเวลา 4

1.3.4.2 การศึกษาลักษณะและสมบัติของฟิล์มของสารเคลือบ 4

1.3.4.3 ทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ 4

บทที่ 2 6

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 สารเคลือบผิวผลไม้ 8

2.2 ส่วนประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้ 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.2.1 เชลแล็ก (Shellac) 13
2.2.2 ไข (Wax) 15
2.2.2.1 ไขคาร์นูบา (Carnauba wax) 15
2.2.2.2 ไขผึ้ง (Bees wax) 16
2.2.3 สารปรับความเป็นด่าง 22
2.2.4 สารลดฟอง 22
2.2.5 สารลดแรงตึงผิว 22
2.3 อิมัลชัน 28
2.3.1 ลักษณะของอิมัลชัน 28
2.3.2 กลไกการเกิดอิมัลชัน 28
2.3.3 ความคงตัวของอิมัลชัน 29
2.3.4 ความไม่คงตัวของอิมัลชัน 30
2.3.4.1 การเกาะกลุ่มกัน (Flocculation) 30
2.3.4.2 การหลอมรวมตัวกัน (Coalescence) 30
2.3.4.3 การแยกชั้นครีม (Creaming) 31
2.3.4.4 การตกตะกอน (Sedimentation) 31
2.3.4.5 การกลับวัฏภาค (Phase inversion) 31
2.4 กระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้ 32
2.4.1 กระบวนการผลิตด้วยเครื่องกวนสารละลาย 32
2.4.2 กระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ (Homogenizer) 33
2.4.2.1 กระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ความเร็วสูง (High-speed homogenizer) 33
2.4.2.2 กระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ความดันสูง (High-pressure homogenizer) 33

หน้า

2.5 การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้ในห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมเคมี 35

บทที่ 3 40

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 40

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี 40

3.1.1 ผลไม้ 40

3.1.2 อุปกรณ์ 40

3.1.3 เคมีภัณฑ์ 41

3.2 วิธีการทดลอง 43

3.2.1 การดำเนินงานวิจัยทั้งโครงการ แสดงดังรูปที่ 3.3 43

3.2.2 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวผลไม้สำหรับกระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ 47

3.2.3 การทดสอบความคงตัวของสารเคลือบ 51

3.2.4 การศึกษาลักษณะและสมบัติของฟิล์มเคลือบ 51

3.2.5 การทดสอบเคลือบเงาะในระดับห้องปฏิบัติการ 54

บทที่ 4 63

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 63

ผลการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ โดยหัวข้อแรก ศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิว และความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ต่อคุณสมบัติของสารเคลือบ เพื่อหาองค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสม จากนั้นศึกษาอิทธิพลของไขเพื่อแก้ปัญหาการเกิดคราบขาว และสุดท้ายเลือกสูตรที่เหมาะสมมาใช้ทดสอบในระดับการค้าเพื่อจำลองการใช้สารเคลือบผิวในกระบวนการส่งออกสำหรับการใช้จริง 63

4.1 อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิว และความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ต่อคุณสมบัติของสารเคลือบ 63

4.1.1. คุณสมบัติของสารเคลือบ 63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

4.1.1.1 ชนิดสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB ต่างกัน 63
4.1.1.2. อิทธิพลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์เซอร์ต่อคุณสมบัติของสารเคลือบ 74
4.1.2 ประสิทธิภาพของสารเคลือบในการรักษาเงาโรงเรียนระดับห้องปฏิบัติการ 80
4.1.2.1 ลักษณะทางกายภาพ 80
4.1.2.2 ลักษณะทางเคมี 89
4.1.2.3 ความพึงพอใจของผู้บริโภค 94
4.2 ผลของชนิดไข 99
4.2.1. คุณสมบัติของสารเคลือบ 99
4.2.2. ประสิทธิภาพของสารเคลือบไขคาร์นูบา ไขผึ้ง ไขผสม และถุงพลาสติกในการเก็บรักษาเงาะโรงเรียนระดับห้องปฏิบัติการ 104
4.2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ 104
4.2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี 116
4.3. ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษาเงาะในระดับการค้า 126
4.3.1 ลักษณะทางกายภาพ 128
4.3.2 ลักษณะทางเคมี 147
บทที่ 5 150
สรุปผลการทดลอง 150
รายการอ้างอิง 152
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 172

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สถิติปริมาณและมูลค่าการส่งออกเงาะปี 2550-2554 7

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างส่วนประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้จากงานวิจัยในต่างประเทศ 10

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างส่วนประกอบของสารเคลือบที่ใช้ในการทดสอบเคลือบผิวผลไม้ในประเทศไทย 12

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของครั่งดิบ ครั่งเม็ด และเชลแล็ก 13

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของไขคาร์นูบา 16

ตารางที่ 2.6 สัดส่วนของสารประกอบในไขผึ้ง 18

ตารางที่ 2.7 สารเคลือบผิวผลไม้จากไขขี้ผึ้ง 19

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติ ราคา และแหล่งผลิตของไขคาร์นูบา และไขผึ้ง 21

ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่า HLB กับการประยุกต์ใช้งาน 24

ตารางที่ 2.10 ค่า HLB (Hydrophilic-lipophilic balance) ของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด ..26

ตารางที่ 2.11 องค์ประกอบของสารเคลือบสูตรต่างๆ 36

ตารางที่ 2.12 การเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีกับการประเมินทางประสาทสัมผัสของเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบด้วยเชลแล็กสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง 1P และ 2P เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ 37

ตารางที่ 3.2.1 องค์ประกอบของสารเคลือบที่ใช้ในงานวิจัย 48

ตารางที่ 3.2.2 องค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิวสูตรต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย 49

ตารางที่ 3.2.3 ปริมาณไขในแต่ละสูตร (ปริมาณไขรวม 5 เปอร์เซ็นต์) 50

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ปริมาณไขผึ้งในไขผสมต่อขนาดอนุภาคและความกว้างของการกระจายตัว (PolydispersityPDI) ของไขผึ้งผสมไขคาร์นูบา 20

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว หันส่วนที่มีขั้วเข้าหาน้ำและส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาไขมัน 23

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (ก) กรดโอลิอิก (ข) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) (ค) ทวีน 80 และ (ง) สแปน 80..... 27

รูปที่ 2.4 ความไม่คงตัวของอิมัลชันทางกายภาพ 30

รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคเฉลี่ยกับความเข้มข้นกรดโอเลอิกที่ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล..... 39

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับเวลาที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์ 6.5 10 15 20 และ 30 นาที..... 39

รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ รุ่น ultra-turrax จากบริษัท IKA® ประเทศมาเลเซีย 41

รูปที่ 3.2 เคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง ไขคาร์นูบา เชลแล็กขาวเกรดอาหาร และไขผึ้ง..... 42

รูปที่ 3.3 แผนผังการดำเนินงานทั้งโครงการ..... 43

รูปที่ 3.4 กระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้ (ก) เทไขที่หลอมเหลวลงในสารละลายเชลแล็ก (ข) สารผสมก่อนโฮโมจีไนส์ (ค) ขณะโฮโมจีไนส์ และ (ง) ลดอุณหภูมิหลังการโฮโมจีไนส์ 48

รูปที่ 3.5 การวัดความสูงของการแยกชั้นของสารเคลือบแต่ละสูตร 51

รูปที่ 3.6 การวัดค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission: WVT) (ก) การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม (ข) แผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปแล้ว (ค) เตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองในสภาวะที่ใช้ทดลอง 53

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำความสะอาดเงาะ (ก) เงาะสำหรับใช้ในการทดลอง (ข) คัดแยกเงาะล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม เพื่อฆ่าเชื้อ (ค) แช่ในน้ำยาโพรคลอราซ 250 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อป้องกันโรค และ (ง) ผึ่งให้แห้งเพื่อนำไปเคลือบในขั้นตอนต่อไป 55

รูปที่ 3.8 กระบวนการเคลือบผลไม้ (ก) สารเคลือบผิวผลไม้ (ข) การจุ่มเคลือบและรอสารเคลือบแห้ง (ค) จัดเรียงในกล่องโฟม (ง) หุ้มด้วยฟิล์ม (จ) บรรจุใส่กล่อง และ (ฉ) กล่องสำหรับเก็บในระหว่างการทดสอบ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์.....56

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการทำความสะอาดเงาะ (ก) เงาะสำหรับใช้ในการทดลอง (ข) คัดแยกเงาะล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ (ค) แช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม เพื่อฆ่าเชื้อ (ง) แช่ในน้ำยาโพรคลอราซ 250 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อป้องกันโรค และ (จ) ผึ่งให้แห้งเพื่อนำไปเคลือบในขั้นตอนต่อไป.....61

รูปที่ 3.10 กระบวนการเคลือบผลไม้ (ก) สารเคลือบผิวผลไม้สำหรับจุ่มเคลือบ (ข) จุ่มเคลือบทั้งตะกร้าเป็นเวลา 10 วินาที (ค) ยกและรอให้สารเคลือบที่ตกค้างออกจากตะกร้า (ง) รอให้แห้ง (จ) นำใส่ห้องควบคุมอุณหภูมิ (ฉ) เงาะในห้องควบคุมอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์ (ช) การบรรจุถุงพลาสติกและเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 62

รูปที่ 4.1.1 ค่า pH ของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) OS (กรดโอเลอิกผสมSDS) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ T (ทวีน 80) ที่ค่า HLB 1 5 10 และ15 ตามลำดับ ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ 64

รูปที่ 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารเคลือบผิวตามระยะเวลาการเก็บรักษาเงาะสูตร O (กรดโอเลอิก) OS (กรดโอเลอิกผสมSDS) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน80) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ T (ทวีน 80) ที่ค่า HLB 10 (สำหรับสารลดแรงตึงผิวผสม) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 64

รูปที่ 4.1.3 ขนาดอนุภาคของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) OS (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน80) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ T (ทวีน80) ที่ค่า HLB 10 (สำหรับสารลดแรงตึงผิวผสม) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ 66

รูปที่ 4.1.4 ขนาดอนุภาค (Particle size) ของสารเคลือบผิวสูตร (ก) O (กรดโอเลอิก) (ข) OS (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต) (ค) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80) (ง) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ (จ) T (ทวีน 80) ที่ค่า HLB 10 (สารลดแรงตึงผิวผสม) ความเข้มข้นสารลด

แรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ.....67

รูปที่ 4.1.5 ขนาดอนุภาคของสารเคลือบผิวสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ที่ค่า HLB 1 5 7.5 10 และ 12.5 ใช้ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการ.....68

รูปที่ 4.1.6 การเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคตามเวลาของสารเคลือบผิวสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ที่ค่า HLB 1 5 7.5 10 และ 12.5 ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....68

รูปที่ 4.1.7 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด (ก) กรดโอลิอิก (ข) โซเดียมโดเดซิลซันเฟต (ค) ทวีน 80 และ (ง) สแปน 80 69

รูปที่ 4.1.8 ค่าสัดส่วนของการแยกชั้นของสารเคลือบผิวตามเวลาการเก็บรักษาสูตร O (กรดโอเลอิก) OS (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน80) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ T (ทวีน 80) ที่ค่า HLB 10 (สารลดแรงตึงผิวผสม) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที 71

รูปที่ 4.1.9 ค่าสัดส่วนของการแยกชั้นของสารเคลือบผิวสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ที่ค่า HLB 1 5 7.5 10 และ 12.5 ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที.....71

รูปที่ 4.1.10 การแยกชั้นของสารเคลือบผิวเรียงจากซ้ายไปขวา สูตร O (กรดโอเลอิก) OS5 (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 5) OS10 (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 10) OT5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 5) OT10 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 10) T15 (ทวีน 80 HLB 15) TP5 (ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 5) และ TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 10) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ 72

รูปที่ 4.1.11 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ของสารเคลือบผิวสูตร O1 (กรดโอเลอิก HLB 1) OS5 (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 5) OS10(กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 10) OT5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 5) OT7.5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 7.5) OT10 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 10) OT12.5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 12.5) TP5 (ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 5) TP10 (ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 10) และ T15 (ทวีน 80 HLB 15) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที 73

รูปที่ 4.1.12 ค่า pH ของสารเคลือบผิวสูตร กรดโอเลอิก 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที 75

รูปที่ 4.1.13 ค่า pH ของสารเคลือบผิวสูตร กรดโอเลอิก 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที 75

รูปที่ 4.1.14 ขนาดอนุภาค (Particle size) ของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) ที่ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที และสูตร OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80) ที่ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ในสัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ 76

รูปที่ 4.1. 15 ความคงตัว (Stability) ของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) และสูตร OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80) ที่ความเข้มข้น 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โฮโมจีไนส์ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที 77

รูปที่ 4.1.16 ความคงตัว (Stability) ของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) และสูตร OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน80) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โฮโมจีไนส์ที่ความเร็วรอบ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที 78

รูปที่ 4.1.17 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ของสารเคลือบผิวสูตร O1 (กรดโอเลอิก HLB 1) OT 12.5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 12.5) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 4 ของการผลิตสารเคลือบ 79

รูปที่ 4.1.18 ลักษณะภายนอก และภายในของผลเงาะหลังการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบด้วยสารเคลือบสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล O1 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และบรรจุถุง FF3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส นาน 3 สัปดาห์ 82

รูปที่ 4.1.19 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 85

รูปที่ 4.1.20 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกด้านในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 86

รูปที่ 4.1.21 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเนื้อผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 87

รูปที่ 4.1.22 คะแนนการเกิดขนดำ โดย 0 หมายถึง ขนไม่ดำดำ และ 9 หมายถึง ขนไม่ดำ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control)) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ .. 88

รูปที่ 4.1.23 การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 88

รูปที่ 4.1.24 ความแน่นเนื้อของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 89

รูปที่ 4.1.25 (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และ(ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TSS/TA) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 91

รูปที่ 4.1.26 (ก) ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ข) ความเข้มข้นออกซิเจน (O_2) และ (ค) ความเข้มข้นเอทิลีน (C_2H_4) ของเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 92

รูปที่ 4.1.27 (ก) ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ข) ความเข้มข้นออกซิเจน (O_2) และ (ง) ความเข้มข้นเอทิลีน (C_2H_4) ภายในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 93

รูปที่ 4.1.28 (ก) คะแนนสีเปลือก (ข) ความแฉะ และ (ค) ความกรอบ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 97

รูปที่ 4.1.29 (ก) คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (ข) ความหวาน และ (ค) ความชอบ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์..... 98

รูปที่ 4.2.1 ค่า pH ของสารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เซลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที..... 100

รูปที่ 4.2.2 ขนาดอนุภาคแขวนลอยในสารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เซลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที 101

รูปที่ 4.2.3 ความคงตัวของสารเคลือบ (Stability) ของสารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เซลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที..... 102

รูปที่ 4.2.4 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ของสารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เซลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที..... 103

รูปที่ 4.2.5 ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะที่ไม่เคลือบ (Control) เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุง FF3 ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการเก็บรักษาอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส 105

รูปที่ 4.2.6 ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะที่ไม่เคลือบ (Control) เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุง FF3 ที่สัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษาอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส 106

รูปที่ 4.2.7 ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะที่ไม่เคลือบ (Control) เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุง FF3 ที่สัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส.....107

รูปที่ 4.2.8 ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะที่ไม่เคลือบ (Control) เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุง FF3 ที่สัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส.....108

รูปที่ 4.2.9 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....111

รูปที่ 4.2.10 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกด้านในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....112

รูปที่ 4.2.11 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเนื้อผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....113

รูปที่ 4.2.12 คะแนนการเกิดขนดำ (โดย 0 หมายถึง ขนดำ และ 9 หมายถึง ขนไม่ดำ) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....114

รูปที่ 4.2.13 การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 114

รูปที่ 4.2.14 ความแน่นเนื้อของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....115

รูปที่ 4.2.15 (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และ (ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TSS/TA) ของผล

เงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....118

รูปที่ 4.2.16 (ก) ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ข) ความเข้มข้นออกซิเจน (O_2) และ (ค) ความเข้มข้นเอทิลีน (C_2H_4) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 119

รูปที่ 4.2.17 (ก) ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ข) ความเข้มข้นออกซิเจน (O_2) และ (ค) ความเข้มข้นเอทิลีน (C_2H_4) ภายในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....120

รูปที่ 4.2.18 (ก) คะแนนขนดำ (ข) ความแฉะ และ (ค) ความกรอบ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....124

รูปที่ 4.2.19 (ก) คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (ข) ความหวาน และ (ค) ความชอบ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....125

รูปที่ 4.3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งของสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและไขผึ้ง หลังผ่านการจุ่มเคลือบ 127

รูปที่ 4.3.2 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 0 วันที่ 0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์.....129

รูปที่ 4.3.3 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 1 วันที่ 0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์.....130

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.3.4 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 1 เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์.....131

รูปที่ 4.3.5 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 2 เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์.....132

รูปที่ 4.3.6 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 2 วันที่ 0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์.....133

รูปที่ 4.3.7 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 1 เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์.....134

รูปที่ 4.3.8 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์.....135

รูปที่ 4.3.9 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 สัปดาห์.....139

รูปที่ 4.3. 10 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกด้านในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....140

รูปที่ 4.3. 11 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเนื้อผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 141

รูปที่ 4.3. 12 การเปลี่ยนแปลงค่า (L*) (a*) และ (b*) ของ (ก) เปลือกด้านนอก (ข) เปลือกด้านใน และ (ค) เนื้อผล ของเงาะที่ไม่เคลือบ เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบา และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ 142

รูปที่ 4.3. 13 เปอร์เซ็นต์การเกิดผลเน่าของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา (ก) 1 และ (ข) 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ 143

รูปที่ 4.3. 14 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ 145

รูปที่ 4.3. 15 การเปลี่ยนแปลงหนักของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา (ก) 1 และ (ข) 2 สัปดาห์ ก่อนบรรจุถุงพลาสติก และย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์.....145

รูปที่ 4.3. 16 ความแน่นเนื้อของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....146

รูปที่ 4.3. 17 ความแน่นเนื้อของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 และ 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75

± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์.....146

รูปที่ 4.3. 18 (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และ (ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TSS/TA) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์.....148

รูปที่ 4.3. 19 (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และ (ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TSS/TA) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 และ 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์.....149

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เงาะเป็นผลไม้เขตร้อนที่มีลักษณะภายนอกแตกต่างจากผลไม้ทั่วไป มีรสชาติหวานหรือหวานอมเปรี้ยว นิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งถือเป็นแหล่งผลิตเงาะที่สำคัญของโลก ในช่วงหลายปีหลังพบว่าปริมาณการส่งออกเงาะสดของไทยเพิ่มขึ้นจาก 2241 ตันในปี 2550 เป็น 12027 ตันในปี 2554 ทำให้มีรายได้เข้าประเทศเพิ่มขึ้นจาก 41.6 ล้านบาท เป็น 124.8 ล้านบาท ซึ่งตลาดส่งออกส่วนใหญ่เป็นประเทศเพื่อนบ้าน เช่น มาเลเซีย กัมพูชา [1] แต่ตลาดส่งออกที่เริ่มมีบทบาทสำคัญในปัจจุบันและในอนาคตคือประเทศจีนเนื่องจากมีประชากรจำนวนมาก แม้ประเทศไทยจะสามารถผลิตเงาะได้มากถึง 8 เดือนต่อปี แต่ปัญหาที่สำคัญในการส่งออกเงาะสดคือการเกิดขนดำ การเหี่ยว และการเน่าเสียของผลอย่างรวดเร็ว ทั้งในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง ซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากบริเวณขนเงาะมีช่องเปิดจำนวนมากและที่ปลายขนยังมีขนเล็กๆทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำ

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาคือการใช้สารเคลือบปิดช่องเปิดต่างๆ หรือทดแทนสารเคลือบธรรมชาติส่วนที่เคยมีอยู่บนผลไม้ที่ถูกชะล้างไปจากกระบวนการล้างทำความสะอาด การเคลือบผิวจึงทำให้การสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซลดน้อยลง ปริมาณออกซิเจนภายในผลลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น มีผลไปยับยั้งการสร้างและการทำงานของก๊าซเอทิลีน ซึ่งทำหน้าที่เร่งการสุกและเสื่อมสภาพของผลไม้ การใช้สารเคลือบจึงสามารถชะลอการเสื่อมสภาพโดยเฉพาะการเกิดขนดำของผลเงาะ ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษา การขนส่งและการวางจำหน่ายได้นานขึ้น

จากงานวิจัยการพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเชลแล็กเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพผลไม้เมืองร้อนไทย [2] มีการใช้สารเคลือบสูตรพื้นฐานเชลแล็ก10 เปอร์เซ็นต์ เชลแล็กผสมสารสกัดข่า เชลแล็กผสมไขคาร์นูบา และเชลแล็กผสมไขเชลแล็ก พบว่าเงาะที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบเชลแล็กผสมไขเชลแล็กและเชลแล็กผสมไขคาร์นูบาให้ผลใกล้เคียงกัน คือสามารถรักษาคุณภาพเงาะได้ดีที่สุด ในการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยลดการสูญเสียน้ำหนัก 2.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเงาะที่ไม่ถูกเคลือบ และสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงขนดำ ให้ความแน่นเนื้อดี คะแนนความชอบที่ดี และเมื่อทดสอบระดับการค้าในประเทศพบว่าเชลแล็กผสมไขคาร์นูบา 5 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลดีที่สุด แต่ปัญหาของการใช้สารเคลือบเชลแล็กดัดแปลงด้วยไข ทำให้เกิดคราบขาวของไขที่เปลือกและขนของ

ผลเงาะ อีกทั้งเกิดปัญหาเรื่องความคงตัวของสารเคลือบผิวผลไม้โดยเกิดการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง

งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อต่อยอดการพัฒนาการผลิตสารเคลือบผิวเงาะ โดยพัฒนาบนพื้นฐานของสูตรที่พัฒนามาก่อนหน้านี้ ภายในห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ประกอบด้วยเชลแล็กผสมไขคาร์นูบา 5 เปอร์เซ็นต์ โดยเลือกใช้กระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เพื่อช่วยลดขนาดของอนุภาคไข งานวิจัยเสนอการพัฒนาสูตรสารเคลือบด้วยการศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิว (กรดโอเลอิก โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ทวีน 80 และสแปน 80) ค่า HLB (Hydrophilic-lipophilic balance) และชนิดของไขที่มีผลต่อคุณสมบัติของสารเคลือบและประสิทธิภาพในการเก็บรักษาเงาะโรงเรียน ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้น่าจะมีประโยชน์ต่อผู้ค้าและผู้ส่งออก รวมทั้งเกษตรกรผู้ปลูกเงาะ และมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตเชลแล็กและไขผึ้งของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาสูตรสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเชลแล็กผสมไข เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเงาะโรงเรียนโดยมีวัตถุประสงค์จำเพาะคือ

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิด ค่า HLB และความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่อความคงตัว (Stability) และขนาดอนุภาค (Particle size) ของสารเคลือบ รวมถึงการซึมของไอน้ำ (Water vapor transmission) ผ่านฟิล์มเคลือบ ที่ผลิตจากสารละลายเชลแล็กผสมไขคาร์นูบา
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไขคาร์นูบา ไขผึ้ง และไขผสมในอัตราส่วนต่างๆ
3. เพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวสูตรที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะโรงเรียน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ทำการทดลองโดยควบคุมปริมาณเชลแล็ก 10เปอร์เซ็นต์ ไข 5เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนีย 0.89 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ใช้กระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

1.3.1 การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB (Hydrophilic-Lipophilic-Balance)

การศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB ของสารเคลือบผิวผลไม้ โดยเลือกสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB แตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ กรดโอเลอิก(HLB=1) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (HLB=40) ทวีน 80(HLB=15) และสแปน 80 (HLB=4.3) โดยแบ่งระบบของสารลดแรงตึงผิวที่ทำการศึกษาเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

1. กรดโอเลอิก
2. กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต
3. กรดโอเลอิกผสมทวีน 80
4. ทวีน 80 ผสมสแปน 80
5. ทวีน 80

ระบบสารลดแรงตึงผิวในงานวิจัยนี้ศึกษาค่า HLB ในช่วงระหว่าง 1-15

1.3.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารลดแรงตึงผิว

เลือกชนิดสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB ที่เหมาะสมจากข้อ 1.3.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะโรงเรียน

1.3.3 การศึกษาอิทธิพลชนิดไข

เลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 1.3.2 เพื่อนำมาศึกษาประสิทธิภาพของไขคาร์นูบา และไขผึ้ง โดย ใช้ไขที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 ไขคาร์นูบา 100 เปอร์เซ็นต์ (ไขผึ้ง 0 เปอร์เซ็นต์)

กลุ่มที่ 2 ไขผสม

- ไขผึ้ง 25 เปอร์เซ็นต์
- ไขผึ้ง 50 เปอร์เซ็นต์
- ไขผึ้ง 75 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 3 ไขผึ้ง 100 เปอร์เซ็นต์

1.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของสารเคลือบผิวผลไม้

1.3.4.1 การทดสอบความคงตัวของสารเคลือบผิวตามเวลา

- สังเกตการแยกชั้นของสารเคลือบผิวแต่ละสูตร พร้อมวัดความสูงของชั้นที่แยก
- วัดค่า pH ด้วยเครื่องวัด pH (pH meter)
- วัดขนาดอนุภาคไขในสารละลายเชลแล็กด้วยเครื่อง Mastersizer 2000

1.3.4.2 การศึกษาลักษณะและสมบัติของฟิล์มของสารเคลือบ

- การวัดค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission: WVT)

1.3.4.3 ทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้

เคลือบเงาโดยวิธีการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบแล้วทำการประเมินคุณภาพเงาะเป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยการประเมินคุณภาพแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ

ก) กายภาพ

- ลักษณะภายนอก
- การสูญเสียน้ำหนัก
- สีของเปลือกด้านนอก เปลือกด้านในและสีเนื้อผล
- ความแน่นเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข) ทางเคมี

- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity: TA)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids : TSS)
- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS:TA)
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลิตผล
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะที่บรรจุผลเงาะ
- ก๊าซเอทิลีนภายในผลิตผล
- ก๊าซเอทิลีนภายในภาชนะที่บรรจุผลเงาะ
- ก๊าซออกซิเจนภายในผลิตผล
- ก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะที่บรรจุผลเงาะ

ค) ความพึงพอใจของผู้บริโภค

- คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติ
- ความหวาน
- ความชอบ
- คะแนนสีเปลือก
- ความแฉะ
- ความกรอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลไม้เป็นสินค้าเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้ให้ประเทศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเกษตรกร ผู้เพาะปลูก ผู้ส่งออก และผู้ประกอบการของไทย เนื่องจากสภาพพื้นที่และภูมิอากาศมีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกผลไม้เขตร้อนหลากหลายชนิด โดยในปี 2544 ประเทศไทยมีการปลูกผลไม้มากเป็นอันดับที่ 17 ของโลก ด้วยปริมาณ 7.56 ล้านตัน คิดเป็น 1.62 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตผลไม้ทั้งหมดในโลก และเป็นอันดับที่ 2 ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รองจากฟิลิปปินส์ [3] ด้วยรสชาติที่เด่นและอร่อยของผลไม้แต่ละชนิดทำให้ผลไม้ไทยเป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น กล้วยหอม ทุเรียน มังคุด ลำไย สับปะรด และเงาะ ซึ่งเงาะถือเป็นหนึ่งในผลไม้เขตร้อนที่ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญ นิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกและภาคใต้ ในช่วงหลายปีหลังพบว่าปริมาณการส่งออกเงาะสดของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี 2550-2554 [4] แสดงดังตารางที่ 2.1 ทำให้ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกเงาะเพิ่มขึ้น ตลาดการส่งออกเงาะส่วนใหญ่เป็นประเทศเพื่อนบ้าน เช่น มาเลเซีย กัมพูชา และจีนซึ่งเป็นประเทศที่เริ่มมีบทบาทที่สำคัญในปัจจุบันและในอนาคตเนื่องจากมีจำนวนผู้บริโภคสูง ถึงแม้ประเทศไทยจะสามารถผลิตเงาะได้มากถึง 294567 ตันในปี 2554 แต่การส่งออกยังเป็นเพียงส่วนน้อยหรือคิดเป็น 4.5เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเงาะทั้งหมด [4] เนื่องจากการส่งออกเงาะสดมักประสบปัญหาการเกิดขนดำ การเหี่ยว และการเน่าเสียของผลอย่างรวดเร็ว ทั้งในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง ซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากบริเวณขนเงาะมีรูปากใบ(stomata) มากกว่าผิวถึง 5 เท่าและที่ปลายขนยังมีขนเล็กๆทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำ ส่งผลให้ผลเงาะเหี่ยวและเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว ผู้ส่งออกจึงประสบปัญหาสินค้าไม่ได้คุณภาพตามความต้องการ เพราะการส่งออกสินค้าไปต่างประเทศต้องใช้ระยะเวลาในการขนส่งและวางจำหน่าย ส่งผลให้ผลไม้บางส่วนเกิดการเน่าเสียก่อนถึงมือผู้บริโภค [5] ในปัจจุบันการส่งออกผลไม้สดจึงมีรูปแบบของการเก็บรักษาที่หลากหลายอาทิ การเก็บรักษาในห้องเย็น (Cold Storage) การเก็บรักษาโดยการควบคุมสภาพของบรรยากาศ (Controlled Atmosphere Storage – CA Storage) การใช้โอโซน การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ และการใช้สารเคลือบผิว [6] ซึ่งการใช้สารเคลือบผิวเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถใช้ควบคู่กับการควบคุมอื่น สามารถป้องกันโรค ทนทานต่อสภาพการเก็บรักษา อีกทั้งสารเคลือบผิวยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าสนใจ ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวจึงมีบทบาทในตลาดผลไม้มากขึ้นและจะมีบทบาทมากยิ่งขึ้นในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.1 สถิติปริมาณและมูลค่าการส่งออกเงาะปี 2550-2554 [4]

ปี	ปริมาณ (Quantity)(ตัน)	มูลค่า (Value)(ล้านบาท)
2550	2241	41.58
2551	5520	67.10
2552	5346	69.70
2553	7822	93.02
2554	12026	124.82

หลังการเก็บเกี่ยวการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเงาะ เช่น การหายใจ การคายน้ำ การเปลี่ยนสีและการเสื่อมสภาพต่างๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา [7] ดังนี้

การหายใจ เป็นกระบวนการเผาผลาญอาหารที่สะสมอยู่ในรูปแบบของคาร์โบไฮเดรตไปเป็นพลังงาน หากอัตราการหายใจสูงจะทำให้อาการที่สะสมลดน้อยลง คุณภาพในการบริโภคจึงต่ำลง [7] ซึ่งสมการการหายใจแสดงดังต่อไปนี้

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673\ kcal$$

อัตราการหายใจจึงเป็นสิ่งที่แสดงถึงอายุการเก็บรักษา โดยเงาะที่มีอัตราการหายใจต่ำจะสามารถเก็บรักษาได้นาน ดังนั้นการลดกระบวนการหายใจจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษา

การผลิตเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่มีอิทธิพลต่อการเร่งการเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเปลี่ยนสี การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงรสชาติ และการเกิดอาการผิดปกติ อีกทั้งเงาะเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric เอทิลีนจึงกระตุ้นให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น ยิ่งมีเอทิลีนมากอัตราการหายใจจะมากขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าสามารถลดเอทิลีนอัตราการหายใจจะลดลงใกล้เคียงกับอัตราการหายใจเดิม [7] ทั้งนี้การลดการผลิตเอทิลีนสามารถทำได้โดยลดความเข้มข้นของออกซิเจนให้ต่ำลง เนื่องจากในกระบวนการผลิตเอทิลีนต้องมีแก๊สออกซิเจนที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase ซึ่งทำหน้าที่ออกซิไดซ์ ACC เป็นเอทิลีน และหากเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในรูปแบบของ competitive inhibitor [8]

การคายน้ำ พืชมีการสูญเสียน้ำในรูปของไอน้ำผ่านช่องเปิดต่างๆ เช่น ทางปากใบ เลนติเซลขน หรือรอยแผลต่างๆ ซึ่งปกติบนเปลือกของผลไม้จะมีสารคิวทินเคลือบอยู่เพื่อลดการสูญเสียน้ำที่

เกิดขึ้นตลอดเวลา และเพื่อระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจ [7] แต่ในกระบวนการเก็บเกี่ยวและการจัดการผลผลิตทำให้เกิดบาดแผล กระบวนการล้างทำให้เกิดการสูญเสีย และสภาพอากาศที่ความชื้นต่ำ ทำให้เกิดการคายน้ำที่เพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อลดน้อยลง เกิดการเหี่ยวเฉา ไม่เป็นที่สนใจของผู้บริโภค ดังนั้นการเคลือบผิวจึงเป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่สามารถลดการคายน้ำได้ เนื่องจากไปปิดรูเปิดต่างๆทำให้เกิดการกีดขวางการคายน้ำ

เงาะเป็นผลไม้ที่มีอายุสั้น เกิดการเสียหายที่ผิวและขนได้ง่าย โดยจะต้องเก็บไว้ที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีรายงานว่า ถ้าเก็บเงาะในถุงที่อุณหภูมิ 7-10 องศาเซลเซียสจะอยู่ได้นาน 10-15 วัน แต่ถ้าเก็บในอุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียสจะเกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) [9] ดังนั้นการใช้สารเคลือบในการควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆพร้อมกับควบคุมสภาวะในการเก็บรักษาจะช่วยให้เงาะมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น

2.1 สารเคลือบผิวผลไม้

สารเคลือบผิวผลไม้เป็นสารที่สามารถลดการเสื่อมสภาพภายหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากสารเคลือบผิวจะทดแทนชั้นไขตามธรรมชาติที่อาจหลุดหายไปในระหว่างขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและการล้างทำความสะอาด อีกทั้งทำหน้าที่ปิดรูเปิดต่างๆบนผิวของผลไม้ ซึ่งอาจเป็นบาดแผลหลังการเก็บเกี่ยวหรือเป็นลักษณะเฉพาะของผลไม้ชนิดนั้น [10] การใช้สารเคลือบผิวจึงทำให้การสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซลดน้อยลง ปริมาณออกซิเจนภายในผลลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น มีผลไปยับยั้งการสร้างและการทำงานของก๊าซเอทิลีน ซึ่งทำหน้าที่เร่งการสุกและเสื่อมสภาพ ทำให้สามารถชะลอการเสื่อมสภาพ ยืดอายุการเก็บรักษา การขนส่งและการวางจำหน่ายได้นานขึ้น การใช้สารเคลือบผิวยังมีประโยชน์ในอีกหลายด้าน ดังเช่น

ประโยชน์ของสารเคลือบผิวผลไม้ [11]

1. ลดการสูญเสียน้ำ
2. ปรับปรุงลักษณะผิวเนื้อให้ดูน่ารับประทาน เช่น การเคลือบผิวแอปเปิ้ลและส้มให้มีความมันวาว
3. พยุงโครงสร้างของผลไม้ที่มีลักษณะปริแตกง่ายให้คงรูป
4. ลดอัตราการหายใจ และการสูญเสียความชุ่มชื้นของผลไม้
5. ลดการสูญเสียสารสำคัญ ทั้งวิตามิน และแร่ธาตุที่มีในผลไม้
6. ช่วยรักษาคุณภาพ กลิ่น สี รส อันเป็นเอกลักษณ์ของผลไม้ชนิดนั้นๆ ให้คงอยู่
7. ป้องกันเชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายเพื่อให้สามารถยืดอายุการเก็บผลไม้ไว้ได้นานขึ้น

จากงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่มีการศึกษาเกี่ยวกับสารเคลือบผิวผลไม้ พบว่ามีการใช้วัตถุดิบในการผลิตที่หลากหลายทั้งสารสกัดจากธรรมชาติ และสารสังเคราะห์ โดย

ส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่ประกอบด้วย เรซิน ไข สารปรับความเป็นด่าง สารเติมแต่ง และสารลดฟอง โดยพบว่า สารเคลือบแต่ละสูตรมีความเหมาะสมกับผลไม้ที่แตกต่างกัน ดังเช่น งานวิจัยการพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเชลแล็กเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และรักษาคุณภาพผลไม้เมืองร้อนไทย [2] มีการใช้สารเคลือบผิว 4 สูตร คือ สูตรพื้นฐานเชลแล็ก10เปอร์เซ็นต์ เชลแล็กผสมสารสกัดข่า เชลแล็กผสมไขคาร์นูบา และเชลแล็กผสมไขเชลแล็ก เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการรักษาคุณภาพผลไม้ไทย 4 ชนิด คือ มะม่วง เงาะ กล้วยไข่ และส้มโอ พบว่าสารเคลือบแต่ละสูตรมีประสิทธิภาพกับผลไม้แต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 2.2-2.3 ที่นำสารเคลือบผิวที่มีสูตรแตกต่างกัน 5 สูตร ได้แก่ เชลแล็ก เชลแล็กผสมไขคาร์นูบา เชลแล็กผสมเวย์โปรตีนไอโซเลท (Whey protein isolate) Oxidized polyethylene และไขแคนเดลิลา เคลือบแอปเปิล 4 สายพันธุ์ Delicious Fuji Braeburn และ Granny Smith พบว่าสารเคลือบแต่ละสูตรมีความเหมาะสมกับผลไม้ที่แตกต่างกัน โดยเชลแล็กเหมาะสมกับสายพันธุ์ Delicious แต่เชลแล็กผสมไขคาร์นูบาเหมาะสมกับสายพันธุ์ Granny Smith ดังตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบที่มีส่วนประกอบแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้แตกต่างกัน การเลือกใช้สารเคลือบให้เหมาะสมกับผลไม้จึงถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพของการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ยาวนานขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างส่วนประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้จากงานวิจัยในต่างประเทศ

สูตรสารเคลือบ (องค์ประกอบแสดงในหน่วย % โดยมวล)				ผลไม้ที่ทดสอบ	ผลไม้ที่ทดสอบ/ผลการทดลอง	อ้างอิง
ไข/สารอื่น	สารปรับความชื้นเบส	สารลดแรงตึงผิว	สารลดฟอง			
ไขคาร์นูบา 8.3% เซลแล็ก 9.5 %	มอร์ฟาลีน 1.7 % แอมโมเนีย 0.17 %	กรดโอเลอิก 1.7 %	polydimethysiloxene antifoam 0.01%	แอปเปิล 4 สายพันธุ์	สารเคลือบที่เหมาะสมกับแอปเปิลแต่ละพันธุ์	[12]
เซลแล็ก 19 %	มอร์ฟาลีน 4.4 % แอมโมเนีย 0.3 %	กรดโอเลอิก 1.0 %	polydimethysiloxene antifoam 0.01%	-Delicious -Fuji -Braeburn -Granny Smith	เซลแล็กเหมาะสมกับ Red Delicious คาร์นูบา-เซลแล็กเหมาะสมกับGranny Smith โดยผลของการใช้เซลแล็กในการเคลือบผิวแอปเปิล ให้ความมันวาวสูง O_2 ภายในต่ำสุด CO_2 ภายในสูงสุด	
เซลแล็ก 13.3 % whey protein isolate 3.0%	มอร์ฟาลีน 3.1 % แอมโมเนีย 0.2 %	กรดโอเลอิก 0.7 %	polydimethysiloxene antifoam 0.01%			
Oxidized polyethylene 18.6%	มอร์ฟาลีน 0.01 %	กรดโอเลอิก 3.4 %	polydimethysiloxene antifoam 0.01%			
ไขแคนเดลิลา 18.3%	มอร์ฟาลีน 2.4 %	กรดโอเลอิก 2.1 %	polydimethysiloxene antifoam 0.01%			

สูตรสารเคลือบ			ผลไม้ที่ทดสอบ	ผลไม้ที่ทดสอบ/ผลการทดลอง	อ้างอิง
ไข/สารอื่น	สารปรับความเป็นเบส	สารลดแรงตึงผิว			
ไขคาร์นูบา 3.5% เซลแล็ก 1.0%	โซเดียมคาร์บอเนต 0.15%	น้ำมันมะกอก 0.4% น้ำมันลาเวนเดอร์ 0.05%	ลูกพลัม (Plums)	สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของลูกพลัมได้	[13]
ไขคาร์นูบา 0.2% , แป้งมัน 3%	-	กรดสเตอริก 0.8% กลีเซอรอล1.5%	ฟิล์ม	ให้ผลเชิงกลที่ดีและทดสอบการซึมผ่านของน้ำและก๊าซต่ำ	[14]
ไขแคนเดลลา เจลาติน โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	โซเดียมคาร์บอเนต	ซอร์บิทอล และ ทวีน 40	ฟิล์ม	สามารถลดการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability) จาก 11.1 เป็น 41.7% เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม	[15]
แป้งมันสำปะหลัง 3.0 กรัม ไขคาร์นูบา 0.2 กรัม	กลีเซอรอล 1.5 กรัม	กรดสเตอริก 0.8 กรัม	แอปเปิล	พบว่าส่วนประกอบดังกล่าวเป็นองค์ประกอบที่ดีที่สุดในการยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิล	[14]
ไขผึ้ง	HPMC (Methocel E15)	กรดโอเลอิก กลีเซอรอล ทวีน80	มะเขือเทศ เชอรี่ (cherry tomatoes)	ลดการสูญเสียน้ำหนักและสามารถยืดระยะเวลาการเก็บรักษามะเขือเทศเชอรี่ ได้นานขึ้น โดยไม่ส่งผลต่อลักษณะของสีผล	[14]

ต่อ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างส่วนประกอบของสารเคลือบที่ใช้ในการทดสอบเคลือบผิวผลไม้ในประเทศไทย

สูตรสารเคลือบ					ผลไม้ที่ทดสอบ	ผลไม้ที่ทดสอบ/ผลการทดลอง	อ้างอิง
เซลแล็ก/ไข	สารปรับความเป็นเบส	สารลดแรงตึงผิว	สารลดฟอง	อื่นๆ			
เซลแล็ก 10 %	แอมโมเนีย 0.89 %	กรดโอเลอิก 1.0 %	-	น้ำ	ส้มโอ, กล้วยไข่, มะม่วง และ เงาะ	สารเคลือบคัดแปลงด้วยไขทั้งสองชนิด สามารถเคลือบติดเปลือกผลไม้ทั้งสี่ชนิดได้ดี - มะม่วงน้ำดอกไม้และส้มโอ มีความหมาะสมกับสารเคลือบเซลแล็กสูตรพื้นฐาน(S1096) - เงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรพื้นฐานดัดแปลงด้วยไขคาร์นูบา 5% ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงน้ำ ให้ความแน่นเนื้อดี คะแนนความชอบดี - กล้วยไข่การใช้สารเคลือบผิวสูตรดัดแปลงด้วยไขคาร์นูบา 5% มีความหมาะสมกว่าสารเคลือบสูตรอื่นๆ	[16]
เซลแล็ก 10 % สารสกัดผักตบชวา 0.25, 0.50, 0.75 และ 1 %	แอมโมเนีย 0.89 %	กรดโอเลอิก 1.0 %	-	น้ำ			
เซลแล็ก 10 % ไขคาร์นูบา 1.25, 2.5, 5 และ 7.5 %	แอมโมเนีย 0.89 %	กรดโอเลอิก 1.0 %	-	น้ำ			
เซลแล็ก 10 % ไขเซลแล็ก 1.25, 2.5, 5 และ 7.5 %	แอมโมเนีย 0.89 %	กรดโอเลอิก 1.0 %	-	น้ำ			
คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, อนุพันธ์ของเซลลูโลสประเภทหนึ่งที่เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมธิล และหมู่คาร์บอกซีเมธิล)					เงาะ โรงเรียน	สารเคลือบผิวที่ความเข้มข้น 2.0% มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ดีที่สุด ได้แก่ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก มีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกและขนน้อยที่สุด และมีอายุการ เก็บรักษาได้นานที่สุด 13.56 วัน	[17]

2.2 ส่วนประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้

2.2.1 เชลแล็ก (Shellac)

เชลแล็กเป็นสารธรรมชาติที่ได้จากแมลงครั่ง (*Laccifer lacca*) ซึ่งมีการเลี้ยงในประเทศไทยทางภาคเหนือตอนบน ภาคเหนือตอนล่าง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แมลงครั่งจะอาศัยอยู่ตามกิ่งไม้และใช้ปากซึ่งมีลักษณะเป็นปากดูด เจาะเข้าไปในกิ่งของต้นไม้เพื่อดูดน้ำเลี้ยงมาเป็นอาหารและขับถ่ายครั่งออกมา ห่อหุ้มตัวสำหรับเป็นเกราะป้องกันอันตรายจากสิ่งภายนอก ลักษณะของครั่งจะนิ่มเหนียวสีเหลืองทอง เมื่อถูกอากาศจะแข็งและมีสีน้ำตาล โดยครั่งที่เก็บได้จากต้นไม้เรียกว่าครั่งดิบ (stick lac) สามารถนำมาสกัดเป็นเชลแล็ก (ครั่งดิบประมาณ 100 กิโลกรัม หรือครั่งเม็ดประมาณ 85 กิโลกรัม ใช้ทำเชลแล็กได้ 65 กิโลกรัม) [18] ซึ่งเป็นสารพอลิเอสเตอร์ แต่ละโมเลกุลประกอบไปด้วยไฮดรอกซิล 4-5 หมู่ คาร์บอกซิลิก 1 พันธะชนิดไม่อิ่มตัว เอสเตอร์ 2-3 หมู่ [19] โดยองค์ประกอบของเชลแล็กแสดงดังตารางที่ 2.4 เชลแล็กมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ กรดอะเลอริติก (Aleuritic acid) กรดเทอร์พีนิก (Terpenic acid) กรดจาร์ลาริก (Jalaric acid) และกรดแลกซิจาร์ลาริก (Laccijalaric acid) ตามลำดับ ซึ่งเป็นพอลิเอสเตอร์ที่เกิดจาก aliphatic hydroxyl acids และ alicyclic hydroxyl acids ส่วนประกอบหลักของเชลแล็กคือเรซินอ่อนที่ประกอบด้วยเอสเตอร์โมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด และเรซินแข็ง ที่ประกอบไปด้วยพอลิเอสเตอร์สายสั้นๆ [20]

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของครั่งดิบ ครั่งเม็ด และเชลแล็ก [21]

องค์ประกอบ	**ครั่งดิบ (เปอร์เซ็นต์โดยมวล)**	**ครั่งเม็ด (เปอร์เซ็นต์โดยมวล)**	**เชลแล็ก (เปอร์เซ็นต์โดยมวล)**
เรซิน	68.0	88.5	90.9
ไข	6.0	4.5	4.0
สี	10.0	2.5	0.5
กลูเตน	5.5	2.0	2.8
ความชื้น	4.0	2.5	1.8
สิ่งเจือปน	6.5	-	-

คุณสมบัติที่สำคัญของเซลแล็ก [22]

1. การซึมผ่านของไอน้ำต่ำ สมบัตินี้เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เซลแล็กถูกนำมาใช้ทำฟิล์มเพื่อปกป้องความชื้น [23]
2. การละลายขึ้นกับค่า pH เนื่องจากเซลแล็กประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลิกทำให้มีคุณสมบัติไม่ละลายที่ค่า pH ต่ำแต่จะละลายได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มค่า pH โดยเซลแล็กจะเริ่มละลายได้ที่ pH ประมาณ 7.0
3. ความสวยงามของฟิล์ม ฟิล์มที่เตรียมจากเซลแล็กจะมีค่าดัชนีหักเหที่ค่อนข้างสูง (ประมาณ 1.521 - 1.527) สามารถสะท้อนแสงได้ดีทำให้ได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเงางาม จึงมีการนำมาใช้เคลือบผลไม้เพื่อเพิ่มความสวยงามและป้องกันการสูญเสียน้ำ
4. การนำความร้อนและไฟฟ้าต่ำ มีค่าการนำความร้อนประมาณ 0.24 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเซลเซียส ซึ่งจากคุณสมบัตินี้ทำให้เซลแล็กสามารถนำไปใช้เป็นฉนวนสำหรับทำสายไฟ รวมทั้งการนำไปใช้สำหรับอุปกรณ์ที่ป้องกันการนำไฟฟ้าได้
5. ความสามารถในการยึดเกาะผิวกับผิวของวัสดุได้เกือบทุกชนิด โดยอาจมีแรงยึดเกาะที่แตกต่างกันไปขึ้นกับวัสดุและมีความทนทานต่อการถูกขีดข่วนซึ่งช่วยป้องกันผิวที่เคลือบได้

จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เซลแล็กมีการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่

1. อุตสาหกรรมยาและการแพทย์เพื่อใช้ในการเคลือบยา นำเซลแล็กมาเคลือบยาเม็ดเพื่อป้องกันความชื้นและป้องกันตัวยาทำปฏิกิริยากับกรดในกระเพาะอาหาร
2. อุตสาหกรรมกระดาษ นำเซลแล็กมาใช้เคลือบกระดาษเพื่อช่วยให้แข็งแรงสวยงาม ป้องกัน

   การเปื้อนสกปรก และใช้เป็นตัวประสานในการผลิตกระดาษสำหรับทำภาชนะบรรจุอาหาร
3. อุตสาหกรรมหมึกพิมพ์ มีการนำเอาเซลแล็กมาใช้ในการทำหมึกเขียนชนิดกันน้ำ หมึกพิมพ์จะมีคุณสมบัติแห้งเร็วและกันน้ำได้
4. อุตสาหกรรมเกี่ยวกับวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากเซลแล็กไม่เป็นสื่อไฟฟ้าจึงมีการนำเอามาใช้ในการประสานเชื่อมติดกับวัสดุพวกเซลลูโลส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. อุตสาหกรรมยาง ที่นำเชลแล็กเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ การทำรองเท้า วัสดุที่ใช้ปูพื้น เบาะอะไหล่รถยนต์ จากการทดลองเมื่อไม่นานมานี้พบว่าแรงดึง ความยืดหยุ่นและความยาวสูงสุดและความแข็งของยางที่มีเชลแล็กผสมอยู่ทำให้ยางมีอายุการใช้งานดีกว่ายางที่มีส่วนผสมอย่างอื่น [18]
6. อุตสาหกรรมการเกษตรสำหรับการเคลือบผลไม้หรืออุตสาหกรรมอาหารสำหรับการเคลือบอาหารบางประเภท โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการเคลือบเพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

จากคุณสมบัติที่โดดเด่นดังกล่าวข้างต้นเชลแล็กจึงเป็นเรซินที่มีการนำมาใช้กับไขอื่นๆเพื่อเพิ่มความมันวาวให้กับวัสดุที่เคลือบ ลดการซึมผ่านของไอน้ำ และชะลอการเสื่อมสภาพ [24] ดังเช่นจากงานวิจัยของ Chen and Nussinovich (2001) [25] ใช้เชลแล็กในการเคลือบผิวแอปเปิล ทำให้แอปเปิลมีความมันวาวสูง O_2 ภายในต่ำ CO_2 ภายในสูง ทำให้เก็บรักษาความสดได้และเพิ่มความมันวาวให้ผลแอปเปิ้ล

2.2.2 ไข (Wax)

2.2.2.1 ไขคาร์นูบา (Carnauba wax)

ไขคาร์นูบาเป็นสารธรรมชาติที่สกัดจากใบของต้นคาร์นูบา (*Copernicia cerifera mart*.) ซึ่งเป็นต้นไม้ที่อยู่ในตระกูลปาล์ม มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิล [26] ไขคาร์นูบาเป็นขี้ผึ้งที่มีความแข็งสูง มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงประมาณ 83-86 องศาเซลเซียส ซึ่งจะคงสภาพแข็งในอุณหภูมิห้อง ทำให้มีการนำไปหลอมเหลวแล้วใช้เคลือบกับสินค้าต่างๆ เช่น ลูกกวาด ยา หรือนำไปผสมกับสารเคมีตัวอื่น สีของไขคาร์นูบาสามารถบ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ของไขได้ โดยมีสีตั้งแต่น้ำตาลอ่อนจนถึงสีเหลืองอ่อน ส่วนประกอบหลักของไขคาร์นูบาประกอบด้วย hydroxyl acid และ di-esters ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของไขคาร์นูบา [27]

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยมวล
กรดไฮดรอกซิลเอสเตอร์ (Hydroxyl acid ester)	53.0-55.0
ไดเอสเตอร์ (Di-esters)	19.0-21.0
กรด (Free acids)	3.0-3.5
แอลกอฮอล์	2.0-3.0
ไฮโดรคาร์บอน	1.5-3.0
เรซิน	4.0-6.0

ไขคาร์นูบามีคุณสมบัติเด่นสามารถลดการสูญเสียน้ำและเพิ่มความมันวาวให้กับผิวเคลือบ จึงถูกนำมาใช้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเสื่อมสภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เช่น มะม่วง [28] อะโวกาโด [29] และมานกาซึ่งเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งในประเทศโปรตุเกส [30] อีกทั้งยังมีรายงานการใช้ไขคาร์นูบาเคลือบบนผิวลูกพลัม [31] พบว่าไขคาร์นูบาสามารถป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับผลลูกพลัมได้ และไขคาร์นูบาสามารถลดการเกิดโรคของลูกพลัมได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ไขคาร์นูบาที่ความเข้มข้น 9เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไขคาร์นูบาใช้ร่วมกับไขเชลแล็กเคลือบผิวส้มแมนดาริน พบว่าสารเคลือบสามารถควบคุมการสูญเสียน้ำหนักได้ดีขึ้น และทำให้ผิวผลไม้มีความมันเงา [32] แสดงให้เห็นว่าการใช้ไขคาร์นูบาร่วมกับเชลแล็กทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้ดีขึ้น และมีความมันเงาเพิ่มขึ้น

2.2.2.2 ไขผึ้ง (Bees wax)

ไขผึ้งเป็นสารที่ผึ้งผลิตจากต่อมไขผึ้ง (wax gland) เพื่อใช้ซ่อมแซม ปิดฝาหลอดรวง และสร้างรวงผึ้ง ไขผึ้งที่ผลิตออกมาจากต่อมไขผึ้งจะมีลักษณะเป็นเกล็ดเล็กๆ (wax scale) สีขาวใส มีน้ำหนักเบา เกล็ดมีขนาดประมาณ 1x1 มิลลิเมตร หนาประมาณ 0.2-0.5 มิลลิเมตร [33] มีองค์ประกอบของโมเลกุลของธาตุหลักเช่นเดียวกับน้ำผึ้ง คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยสัดส่วนของสารประกอบชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.6 ไขผึ้งส่วนใหญ่ได้มาจากการเลี้ยงผึ้งอุตสาหกรรมหรือผึ้งพันธุ์ (*Apis mellifera*) โดยรวบรวมจากรวงผึ้งเก่า (old comb) รวงส่วนเกิน (burr comb) และจากส่วนที่ได้มาจากกการปาดรวงน้ำผึ้ง (capping wax) ก่อนนำไปเข้าเครื่องสลัดน้ำผึ้ง โดยไขผึ้งที่ได้จากแหล่งที่มาต่างกันจะมีผลต่อคุณภาพของไขผึ้ง

1. ไขผึ้งที่ได้จากการนำรวงผึ้งเก่ามาหลอมมักมีสีคล้ำ เพราะมีสิ่งเจือปนมาก เช่น ชันผึ้ง เกสร

ผึ้งและคราบดักแด้ จึงต้องนำไปฟอกสีก่อนเพื่อนำไปขายให้ได้ราคาสูงขึ้น ไขผึ้งที่ได้มาจากส่วนนี้มีราคาถูกที่สุดเพราะมีสิ่งเจือปนได้แก่สารพวกคาโรทีนอยด์และไอโอดีน

2. ไขผึ้งที่ได้จากรวงส่วนเกิน เมื่อทำการขูดทำความสะอาดคอนผึ้งที่ผึ้งกำลังสร้างรวงส่วนเกิน ผึ้งงานสร้างรวงส่วนเกินขึ้นมาตรงบริเวณที่มีช่องว่างในรัง ซึ่งกว้างเกินระยะช่องผึ้ง (bee space) หรือ 3/8 นิ้ว ที่ผึ้งใช้เป็นทางเดิน เพื่อการติดต่อกันระหว่างผึ้งงานด้วยกันเอง รวงส่วนเกินนี้มักเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ผึ้งรังนั้นมีประชากรมากขึ้นเพราะนางพญาไข่ดกและแหล่งอาหารในธรรมชาติอุดมสมบูรณ์

3. ไขผึ้งที่ได้จากการปาดหรือเปิดฝารวงน้ำผึ้ง ก่อนที่จะนำคอนน้ำผึ้งไปเข้าเครื่องสลัดน้ำผึ้งไข ผึ้งที่ได้จากการปาดรวงน้ำผึ้งเป็นไขผึ้งที่มีคุณภาพดีที่สุด [34] ไขผึ้งชนิดนี้มักใช้ทำเครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง [33]

คุณสมบัติของไขผึ้ง

1. ไขผึ้งบริสุทธิ์ไม่มีสีหรือเห็นเป็นสีใสๆโปร่งแสง ไขผึ้งละลายได้ดีในน้ำมัน โดยเฉพาะน้ำมันสน แต่ไม่ละลายในน้ำ ถ้านำไขผึ้งที่แข็งไปต้มในน้ำ ไขผึ้งจะหลอมละลายลอยตัวอยู่ที่ผิวน้ำ

2. ไขผึ้งมีจุดหลอมเหลวเฉลี่ยที่ 62-65 องศาเซลเซียส [35] ถ้าได้รับความร้อนสูงกว่าจุดหลอมเหลวจะเกิดเปลวไฟ ดังนั้นการหลอมไขผึ้งควรใช้ความร้อนจากไอน้ำหรือนึ่งในน้ำร้อน

3. ไขผึ้งถ้าเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ ไขผึ้งจะหดตัวและทำให้เปราะแตกง่าย เช่น เก็บไขผึ้งไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส ปริมาตรของไขผึ้งจะลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

Chulalongkorn University

การนำไปใช้ประโยชน์

ไขผึ้งจากธรรมชาติที่บริสุทธิ์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไขเทียม ไขผึ้งนอกจากนำไปทำเทียนไขแล้ว ยังใช้ทำเครื่องสำอาง กระบวนการทำผ้าบาติก งานโลหะ ใช้เป็นสารกันน้ำ สารขัดเงา สารหล่อลื่น ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ได้ดังนี้

1. ใช้ทำเครื่องสำอาง ประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์
2. ใช้ในงานเภสัชกรรม ประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์
3. ใช้ทำเทียนไข ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์
4. ใช้ทำอื่น ๆ ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์

โดยพบว่าประเทศที่ใช้ไขผึ้งมากที่สุดในโลกคือ อเมริกา ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น และเยอรมัน ตามลำดับ และที่สำคัญคือไขผึ้งแท้ถูกนำกลับมาใช้ทำแผ่นรังเทียม เพื่อประหยัดเวลาในการสร้างรวงรังให้แก่ผึ้ง ทำให้เก็บน้ำผึ้งได้มากขึ้น [36] และจากตารางที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่ามีการนำไขผึ้งมาเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้เพื่อช่วยชะลอการเสื่อมสภาพ ยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มความสวยงามให้กับผลไม้

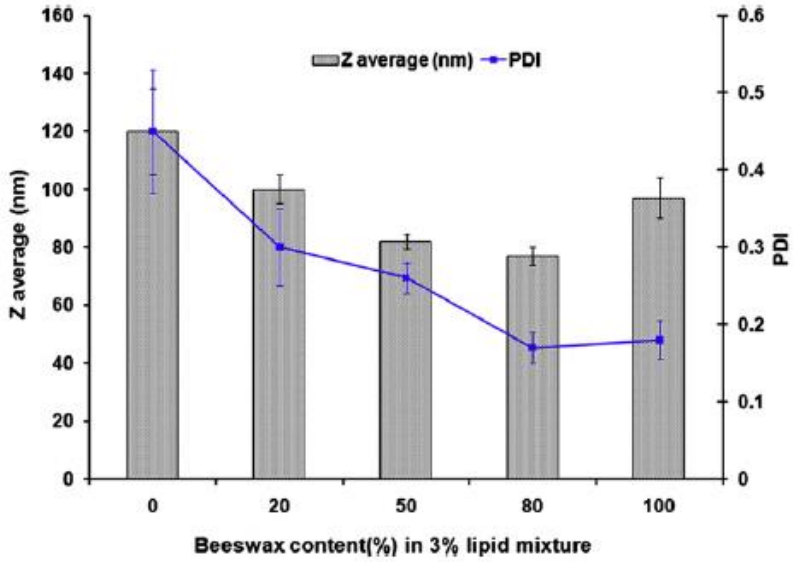
ตารางที่ 2.6 สัดส่วนของสารประกอบในไขผึ้ง

สารประกอบ	**เปอร์เซ็นต์**
ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons)	14
โมโนเอสเทอร์ (monoesters)	35
ไดเอสเทอร์ (diesters)	14
ไตรเอสเทอร์ (triesters)	3
ไฮดรอกซี่โมโนเอสเทอร์ (hydroxy monoesters)	4
ไฮดรอกซี่โพลีเอสเทอร์ (hydroxyl polyesters)	8
กรดเอสเทอร์ (acid esters)	1
กรดโพลีเอสเทอร์ (acid polyesters)	2
กรดอิสระ (free acid)	1
แอลกอฮอล์อิสระ (free alcohols)	1
สารที่ยังไม่ทราบชนิด (unidentifiect)	6

ตารางที่ 2.7 สารเคลือบผิวผลไม้จากไขขี้ผึ้ง

สูตรสารเคลือบ			การเตรียมสาร	ผลไม้ที่ใช้	อ้างอิง
ไข	อื่น	สารเติมแต่ง			
ไขผึ้ง	ปาล์มสเตียริน ปาล์มเคอเนลโอเลอิน (palm kernel olein, PKOo)	ซอยเลซิติน (อิมัลซิไฟเออร์)	ทลอม PS, PKOo ที่ 60 องศา ทลอม beeswax 65 องศาโดยเติม emulsifier	ฝรั่ง	[38]
ไขผึ้ง	ไคโตซาน	ทวีน 80 (อิมัลซิไฟเออร์), เอทานอล	ละลาย beeswax 0.5 g ใน เอทานอล 100 ml ให้อุณหภูมิ 70 องศา ใช้ ทวีน80 ที่ 25%	สตอเบอรี่	[39]
ไขผึ้ง	HPMC (Methocel E15)	กรดโอเลอิก (อิมัลซิไฟเออร์) กลีเซอรอล(พลาสติไซเซอร์) ทวีน80 (สารลดแรงตึงผิว)	เตรียมสารละลาย HPMC ที่ 90 องศา ผสม BW, glycerol, oleic acid, ทวีน 80 และ water ที่ 95 องศา โฮโมจีไนส์ 1 นาที ที่ 12,000 และ 3 นาที ที่ 22,000 rpm ลดอุณหภูมิด้วยการบ่มภายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศา เป็นเวลา 25 นาที	มะเขือเทศ เชอรี่	[14]
ไขผึ้ง	ไคโตซาน	กลีเซอรอล (พลาสติไซเซอร์)	เตรียมไคโตซานใน 100 mL สารละลาย acetic acid เจือจาง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วในการปั่นกวน 500 rpm เติม glycerol ให้อุณหภูมิที่ 80 องศา ใน water bath เพื่อ ทลอม beeswax จากนั้น homogenizer 3 นาที ที่ 28,000 rpm ลดอุณหภูมิไปที่อุณหภูมิห้องด้วย ice bath	กระดาษ	[15]

จากงานวิจัย Kheradmandnia และคณะ [37] ได้ทำการนำไขผึ้งผสมลงในไขคาร์นูบาเพื่อผลิตเป็นตัวนำส่งยา พบว่าการผสมไขขี้ผึ้งลงในไขคาร์นูบาที่อัตราส่วนของไขขี้ผึ้งต่อไขคาร์นูบา 50:50 และ 80:100 ทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไขคาร์นูบาหรือไขขี้ผึ้งเพียงอย่างเดียว แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปริมาณไขผึ้งในไขผสมต่อขนาดอนุภาคและความกว้างของการกระจายตัว (PolydispersityPDI) ของไขผึ้งผสมไขคาร์นูบา [37]

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ไขผึ้งร่วมกับไขคาร์นูบาเพื่อลดขนาดอนุภาคและลดปัญหาการเกิดคราบบนผิวเปลือกและขนเงาะ งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาอิทธิพลของไขผึ้งต่อสารเคลือบผิวผลไม้ โดยใช้ไขคาร์นูบาซึ่งเป็นสูตรที่ให้ผลดีที่สุดในการเคลือบผิวเงาะ เป็นส่วนประกอบในสารเคลือบ ซึ่งคาดว่าการใช้ไขผึ้งจะสามารถลดขนาดของอนุภาคสารเคลือบให้เล็กลง [2] และทำให้การซึมผ่านของน้ำลดลง และลดการเกิดคราบบนผิวเปลือกและขนเงาะ เพื่อพัฒนาใช้ไขผึ้งในการผลิตสารเคลือบเงาะในอนาคตเนื่องจากไขผึ้งสามารถหาซื้อได้ในไทยและมีราคาต่ำ แสดงตารางการเปรียบเทียบดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติ ราคา และแหล่งผลิตของไขคาร์นูบา และไขผึ้ง

ข้อเปรียบเทียบ	**ไขคาร์นูบา**	**ไขผึ้ง**
จุดหลอมเหลว(องศาเซลเซียส)	83-86	62-64
ลักษณะ	เกล็ดสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อแข็ง	สีเหลืองนุ่ม
ราคา (บาท/กิโลกรัม)	879	280
แหล่งผลิต	บราซิล	ไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3 สารปรับความเป็นด่าง

สารปรับความเป็นด่างเป็นส่วนประกอบสำคัญในสารเคลือบผิวผลไม้ที่มีเชลแล็กเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากเชลแล็กสามารถละลายได้เมื่อสารละลายมีค่า pH ที่เหมาะสมหรือมีสภาวะเป็นด่าง [40-42] ซึ่งงานวิจัยในช่วง 50 ปีที่ผ่านมาพบว่าสารเคลือบผิวที่ผลิตจากเชลแล็กหรือไขชนิดต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้มอร์โฟลีนในการปรับค่าความเป็นด่าง หรือในบางงานวิจัยจะใช้มอร์โฟลีนร่วมกับสารอื่น [34] ดังเช่น สารเคลือบเชอรี่ที่ผลิตจากไขคาร์นูบา [43] สารเคลือบผลไม้รสเปรี้ยวที่ผลิตจากไขคาร์นูบาและเชลแล็ก [32] สารเคลือบผลไม้รสเปรี้ยวและแอปเปิ้ล [44] และสารเคลือบแอปเปิลที่ผลิตจากเชลแล็กใช้มอร์โฟลีนกับแอมโมเนีย [45] และยังมีการใช้มอร์โฟลีนอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อพิจารณาถึงอันตรายของมอร์โฟลีนกลับพบว่ามอร์โฟลีนเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในสารเคลือบผิวผลไม้สำหรับส่งออกไปยังสหภาพยุโรป [46] จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้แอมมโมเนียแทนมอร์โฟลีนในการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้จากไขคาร์นูบา แล้วนำสารเคลือบดังกล่าวไปทดสอบกับแอปเปิ้ล ส้ม และองุ่น พบว่าให้ผลที่ดีทั้งในด้านคุณภาพและความสวยงาม โดยที่มอร์โฟลีนไม่มีความจำเป็นสำหรับสารเคลือบผิวผลไม้เนื่องจากสามารถใช้แอมโมเนียทดแทนได้ อีกทั้งแอมโมเนียมีจุดเดือด -37 องศาเซลเซียส เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิปกติหรืออุณหภูมิห้องจะสามารถระเหยได้ทำให้เมื่อสารเคลือบติดที่ผิวผลไม้แอมโมเนียจะระเหยออกสารเคลือบจึงติดผิวได้ดีไม่เกิดการหลุดเพราะไม่มีตัวทำละลายเหลืออยู่ [47] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แอมโมเนียในการปรับค่า pH ของสารละลายในการผลิตสารเคลือบเชลแล็กดัดแปลงด้วยไข

2.2.4 สารลดฟอง

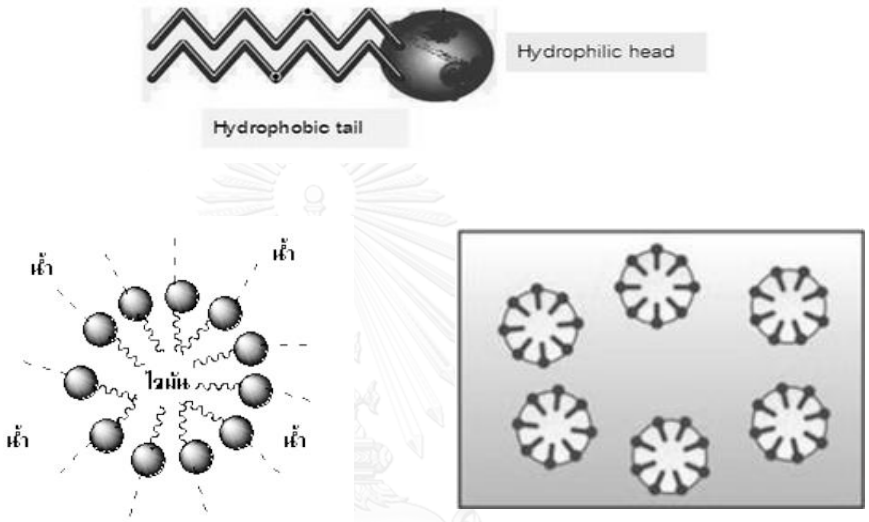
สารลดฟอง หรือสารป้องกันการเกิดฟอง คือสารเคมีปรุงแต่งชนิดหนึ่งที่สามารถลดหรือขัดขวางการเกิดฟอง ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ ดังตารางที่ 2.2 งานวิจัยของ Bai Jinhe และคณะ (2003) [45] มีการใช้polydimethysiloxene antifoam 0.01เปอร์เซ็นต์ ในการผลิตสารเคลือบ แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการผลิตสารเคลือบครั้งละ 200 มิลลิลิตร ซึ่งคาดว่าปัญหาของการเกิดฟองเกิดขึ้นน้อยมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการเล็กจึงไม่ใช้สารลดฟองในการผลิตสารเคลือบในงานวิจัยนี้ สำหรับในอนาคตเมื่อต้องการขยายกำลังการผลิต การใช้สารลดฟองจึงอาจเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง

2.2.5 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่ช่วยทำให้สารตั้งแต่สองชนิดที่มีเฟสต่างกันสามารถกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้นได้ ซึ่งปกติจะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

(Immiscible liquids) การกระจายตัวของสารเฟสหนึ่งในอีกเฟสหนึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อมีโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวอยู่ที่ผิวร่วมระหว่างสารทั้งสองเฟส

วัฏภาคที่กระจายตัวและวัฏภาคต่อเนื่อง ซึ่งโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (Polar หรือ hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Nonpolar หรือ hydrophobic) โดยจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาไขมัน [48] แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว หันส่วนที่มีขั้วเข้าหาน้ำและส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาไขมัน (ที่มา: http://www.pharm.su.ac.th/cheminlife/cms/index.php/ product-name/product-name-english/482-hydrophilic.html)

เราสามารถแบ่งประเภทของสารลดแรงตึงผิวตามการแตกตัวของสารนั้นๆ ได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactant) สารในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวและส่วนหัวจะมีประจุเป็นลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate SDS) เป็นต้น
2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactant) สารในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำแล้วส่วนหัวจะมีประจุบวก เช่น polyquaternium-6

3. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) สารในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะไม่แตกตัวจึงไม่มีประจุ คุณสมบัติของสารกลุ่มนี้จะแตกต่างกันไป ตั้งแต่ละลายน้ำได้จนไม่ละลายน้ำ สารที่ไม่ละลายน้ำมักใช้เป็นตัวดับฟอง และ สารลดแรงตึงผิวที่ละลายน้ำมักใช้เป็นสารทำความสะอาดตัวอย่าง ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้แก่ ทวีน 80 และสแปน 80
4. สารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Amphoteric surfactant) สารกลุ่มนี้มีทั้งประจุบวกและลบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน เมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุใดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยถ้าสภาพแวดล้อมเป็นกรดก็จะแสดงประจุบวก ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่างก็จะแสดงประจุลบ

การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิว

การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวจะพิจารณาจากสัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic-lipophilic balance HLB) ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยมวลของมวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) กับมวลโมเลกุลทั้งหมด คูณด้วย 20 (Griffin's method) โดยค่า HLB จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 20 เป็นค่าที่ใช้กำหนดการนำมาใช้งานของสารลดแรงตึงผิว [49] สารที่มีค่า HLB เท่ากับ 0 คือสารที่โมเลกุลมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ทั้งหมดและไม่ละลายในน้ำ สารที่มีค่า HLB สูงขึ้นคือสารที่โมเลกุลมีส่วนที่ชอบน้ำมากขึ้น [50] สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น ในการปรับค่า HLB ให้มีประสิทธิภาพ อาจทำโดยการผสมสารลดแรงตึงผิว เพื่อให้ได้ค่า HLB ต่างกันได้ [50] เนื่องจากระบบของสารแต่ละชนิดมีช่วงค่า HLB ที่เหมาะสมแตกต่างกัน ดังเช่น ตารางที่ 2.9 ดังนั้นการปรับค่า HLB ด้วยการผสมสารอื่นอาจช่วยให้ความเข้ากันดีขึ้น

ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่า HLB กับการประยุกต์ใช้งาน [51]

ค่า HLB	**การประยุกต์ใช้**
3-6	สารลดแรงตึงผิวชนิดน้ำในน้ำมัน
7-9	สารดูดความชื้น
8-18	สารลดแรงตึงผิวชนิดน้ำมันในน้ำ
15-18	รักษาเสถียรภาพ

การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวผสมจะช่วยทำให้อิมัลชันมีความคงตัวดีกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวเพียงชนิดเดียว เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่เท่ากัน เนื่องจากแรงตึงผิวจะลดลงเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวผสม ดังเช่น การใช้สารลดแรงตึงผิวผสมทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกาะตัวของโมเลกุลดีขึ้น เกิดการผสมของวัฏภาคของไขและของเหลวที่บริเวณผิวของอนุภาคหรือเกิดโมเลกุลเชิงซ้อนระหว่างสารลดแรงตึงผิวที่ผิวร่วม [52] ซึ่งการเลือกสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด สารชนิดหนึ่งควรละลายได้ดีในน้ำและอีกชนิดควรละลายได้ดีในน้ำมัน โดยคำนวณค่า HLB ต่างๆได้จากจากสมการ 2.2.1 [53]

$$(HLB)_{emulsion} = X_A (HLB)_A + (1-X_A)(HLB)_B \qquad (2.2.1)$$

เมื่อ $(HLB)_{emulsion}$ คือค่า HLB ผสมที่ต้องการ

X_A คือ สัดส่วนโดยมวลของสารลดแรงตึงผิวชนิด A

$(HLB)_A$ คือค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวชนิด A

$(HLB)_B$ คือค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวชนิด B

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับสารเคลือบผิวผลไม้ที่ผลิตจากเชลแล็กและไขคาร์นูบาพบว่าส่วนใหญ่ มีการใช้กรดโอเลอิกเป็นสารลดแรงตึงผิว แสดงดังตาราง 2.2 และ 2.3 เนื่องจากกรดโอเลอิกทำให้สารเคลือบมีความเข้ากันได้ดีระหว่างไขกับสารละลายและให้ฟิล์มที่มีความยืดหยุ่น [54] แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่งพบว่าสารเคลือบจะเกิดการแยกเฟสกันระหว่างไขกับสารละลาย ทำให้สารเคลือบไม่เสถียร ซึ่งอาจมีผลต่อการเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นหรือการเกาะกลุ่มกันของไข ดังนั้นการทำให้สารแยกชั้นช้าจะทำให้การรวมตัวของไขช้าลงหรืออีกในหนึ่งคือการรวมตัวที่ช้าลงจะทำให้การแยกชั้นเกิดได้ช้า ซึ่งนอกจากชนิดของสารลดแรงตึงผิวแล้วพบว่าค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเสถียรเนื่องจากสารแต่ละตัวต้องการค่า HLB ที่เหมาะสมแตกต่างกัน ดังเช่น ไขคาร์นูบามีความต้องการค่า HLB ที่ 15 ส่วนเชลแล็กไม่แสดงค่า HLB หรือความต้องการค่า HLB [53] แต่กรดโอเลอิกที่ใช้กันทั่วไปให้ค่า HLB 1 (ตารางที่ 2.10) ซึ่งไม่ตรงตามความต้องการกับชนิดไขที่ใช้ ดังนั้นการเลือกชนิดของสารลดแรงตึงผิวเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อความเสถียรของสาร จึงมีหลายงานวิจัยที่มีการนำสารลดแรงตึงผิวมาผสมกันเพื่อช่วยในการปรับค่า HLB ให้เหมาะสม ดังเช่น การใช้ระบบสารผสมของสารลดแรงตึงผิวโดยใช้กรดโอเลอิกผสมกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate; SDS) ในระบบของผลึก ZnS ผลที่ได้คือสารผสมกรด

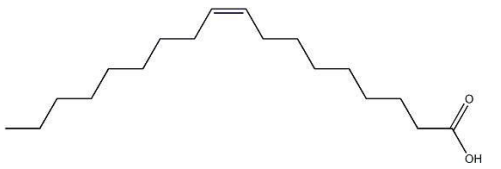
โอเลอิกผสมกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตทำให้ขนาดอนุภาคของผลึกเล็กและมีขนาดผลึกใกล้เคียงกัน [55]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำระบบผสมของสารลดแรงตึงผิวมาใช้ในการพัฒนาสารเคลือบ โดยเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีการใช้ร่วมกรดโอเลอิก ดังที่กล่าวมาข้างต้นคือกรดโอเลอิกผสมกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตหรือสารกลุ่มทวีน 80 และสแปน 80 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยจะเน้นไปที่ทวีน 80 และสแปน 80 เนื่องจากสามารถใช้ใส่ในอาหารได้จากการรับรองของคณะกรรมการอาหารและยา [56] โครงสร้างของสารเคลือบผิวที่ใช้แสดงดังรูปที่ 2.3

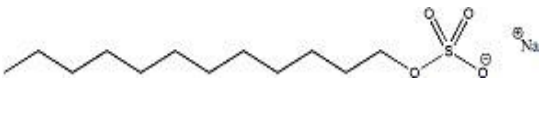
ตารางที่ 2.10 ค่า HLB (Hydrophilic-lipophilic balance) ของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด [51]

สารลดแรงตึงผิว	**HLB**
กรดโอเลอิก	1.0
โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต	40.0
ทวีน80	15.0
สแปน 80	4.3

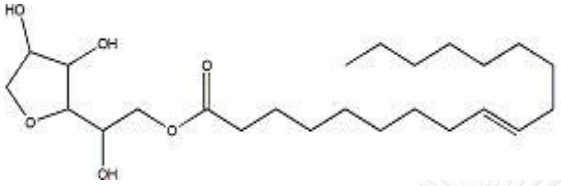
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



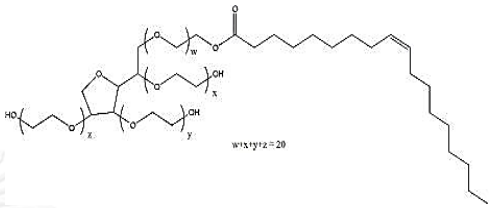
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (ก) กรดโอลิอิก (ข) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) (ค) ทวีน 80 และ (ง) สแปน 80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 อิมัลชัน

2.3.1 ลักษณะของอิมัลชัน

อิมัลชันประกอบด้วยของเหลวหรือของแข็งชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งปกติของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible liquids) เช่น น้ำกับน้ำมัน โดยของเหลวส่วนหนึ่งแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ เรียกว่า วัฏภาคที่กระจายตัว (Dispersed phase) ซึ่งจะกระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า วัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) [57] ซึ่งปกติแล้วอิมัลชันจะไม่สามารถคงตัวได้นานเนื่องจากเป็นสารต่างเฟสกัน จึงต้องอาศัยสารลดแรงตึงผิวเป็นตัวป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาค และช่วยให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคและคงตัวอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องได้ [58] ประเภทของอิมัลชันแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water emulsion O/W) มีน้ำมันเป็นวัฏภาคกระจายตัว และน้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง เช่น น้ำนม และอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water-in-oil emulsion W/O) มีน้ำเป็นวัฏภาคกระจายตัว และน้ำมันเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง เช่น เนย มายองเนส น้ำสลัด ไส้กรอก [58]

2.3.2 กลไกการเกิดอิมัลชัน

การเกิดอิมัลชันจะมีงานที่กระทำต่อระบบเพื่อทำให้เกิดการกระจายตัวของวัฏภาคกระจาpตัว เช่น การปั่นกวนจะมีแรงเฉือนที่ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่เกิดการกระจายตัว เนื่องจากอนุภาคแตกออกหรือเสียรูปเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีขึ้น [59] ถ้ากวนด้วยงานที่เหมาะสมจะส่งผลให้ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวเชื่อมระหว่างผิวร่วมของสองวัฏภาค ทำให้เกิดเป็นอิมัลชันที่คงตัว ซึ่งเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดความคงตัวจะแตกต่างกัน ขึ้นกับส่วนประกอบของอิมัลชันและกระบวนการที่ใช้ และการทดลองที่ดีต้องใช้เวลาที่เหมาะสม ถ้าต่ำกว่าเวลาที่เหมาะสมอิมัลชันที่ได้จะไม่คงตัว แต่ถ้าดำเนินการเกินระยะเวลาที่เหมาะสม อิมัลชันอาจได้รับความเสียหายทำให้ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวเกิดการเสื่อมเสียจากการปั่นกวนมากเกินไป [60]

อิมัลชันกึ่งแข็งกึ่งเหลวมักผ่านกระบวนการลดขนาดของส่วนไขมัน โดยการโฮโมจีไนส์ การเติมสารลดแรงตึงผิวจะช่วยลดแรงตึงของวัฏภาคที่กระจายตัวและวัฏภาคต่อเนื่องทำให้เกิดเป็นอิมัลชันได้ง่ายขึ้น สารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่สามารถละลายได้ทั้งในวัฏภาคกระจายตัวและวัฏภาคต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่สามารถละลายได้ทั้งในน้ำหรือน้ำมัน การเติมสารลดแรงตึงผิวจึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำให้เกิดเป็นสารอิมัลชัน [61] สารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดจะลดแรงตึง

ผิวได้ไม่เท่ากัน แต่การลดแรงตึงผิวอย่างเดียวจะไม่ทำให้อิมัลชันคงตัวได้ เนื่องจากเม็ดไขมันยังสามารถเคลื่อนที่เข้าหากันได้ในระหว่างที่เก็บรักษา ดังนั้นถ้าระบบอิมัลชันมีความสามารถในการขัดขวางการรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน ก็จะทำให้อิมัลชันนั้นๆมีความคงตัวตามเวลา [61]

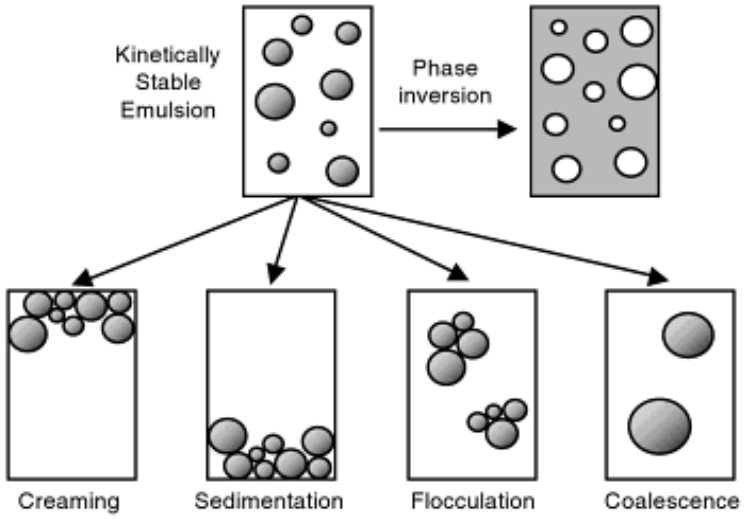
2.3.3 ความคงตัวของอิมัลชัน

ความคงตัวของอิมัลชันเกิดจากการที่วัฏภาคกระจายตัว ซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 1-100 ไมโครเมตร [61] เกิดการกระจายตัวในวัฏภาคต่อเนื่อง โดยการรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันสามารถทำได้โดยทำให้ส่วนของวัฏภาคที่กระจายตัวและส่วนของวัฏภาคต่อเนื่องถูกล้อมรอบเพื่อขัดขวางการรวมตัวของอนุภาคที่กระจายตัว หรือทำให้พื้นผิวของอนุภาคที่กระจายตัวมีประจุเพื่อให้เกิดการผลักกันกับอนุภาคกระจายตัว หรืออาจทำโดยการเพิ่มความหนืดให้กับวัฏภาคต่อเนื่อง เพื่อหน่วงการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่กระจายตัวให้ช้าลงกว่าเดิม [50] ในทางทฤษฎีความคงตัวของอิมัลชันเกี่ยวข้องกับแรงดึงดูดและแรงผลักที่เกิดกับอนุภาค ซึ่งแรงดึงดูดที่อาจเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลล์ (Van der waals) เป็นสาเหตุที่ทำให้อิมัลชันมีความไม่คงตัว ในขณะที่แรงผลักระหว่างอนุภาคกับน้ำทำให้เกิดความคงตัวเนื่องจากทำให้อนุภาคแยกออกจากกัน [48]

อย่างไรก็ตามอิมัลชันเป็นระบบที่ไม่คงตัวทางเทอโมไดนามิกซ์ (รูปที่ 2.4) เนื่องจากระบบต้องการพลังงานอิสระในการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างวัฏภาคของน้ำและน้ำมัน ทำให้เมื่อเวลาผ่านไปอิมัลชันจะเกิดการแยกชั้นโดยวัฏภาคที่มีความหนาแน่นต่ำจะลอยอยู่ด้านบน ส่วนวัฏภาคที่มีความหนาแน่นสูงจะอยู่ด้านล่าง [61] เช่น การนำน้ำผสมกับน้ำมัน ช่วงแรกจะเกิดเป็นอิมัลชันที่ดี คือ มีการกระจายตัวของน้ำมันในน้ำ แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ไม่นานจะเกิดการแยกชั้นของน้ำมันอยู่ด้านบนและน้ำอยู่ด้านล่าง [50]

2.3.4 ความไม่คงตัวของอิมัลชัน

ความไม่คงตัวทางกายภาพของอิมัลชันอาจพบได้หลายลักษณะ ดังต่อไปนี้ [50 52 61 62]



รูปที่ 2.4 ความไม่คงตัวของอิมัลชันทางกายภาพ [50]

2.3.4.1 การเกาะกลุ่มกัน (Flocculation)

เกิดขึ้นจากอนุภาคตั้งแต่ 2 อนุภาคเข้าใกล้และเกาะกลุ่มกัน โดยแต่ละอนุภาคไม่เกิดการรวมตัวกันทำให้จำนวนและขนาดของอนุภาคยังเท่าเดิม เพียงแต่รวมตัวและอยู่กันแบบเกาะกลุ่มเท่านั้น ซึ่งกระบวนการนี้อาจเป็นขั้นตอนแรกของการเกิดความไม่คงตัวของอิมัลชันก่อนที่จะเปลี่ยนไปเป็นความคงตัวในแบบอื่นๆ ในอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของอนุภาคน้อย เมื่อเกิดการเกาะกลุ่มจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการกวนจะทำให้ความหนืดลดลง เนื่องจากอนุภาคที่เกาะกลุ่มแตกออก ในขณะที่อิมัลชันที่มีความเข้มข้นของอนุภาคมาก การเกาะกลุ่มของอนุภาคจะเกิดเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ทำให้อิมัลชันมีความยืดหยุ่น

2.3.4.2 การหลอมรวมตัวกัน (Coalescence)

เกิดขึ้นจากอนุภาคตั้งแต่ 2 อนุภาคเข้าใกล้และรวมตัวกันทำให้จำนวนของอนุภาคน้อยลงและขนาด

ของอนุภาคใหญ่ขึ้น ซึ่งการรวมกันของอนุภาคทำให้พื้นผิวรวมของอนุภาคลดลง ส่งผลให้พลังงานพื้นผิวลดลงซึ่งเกิดขึ้นได้ง่ายทางเทอร์โมไดนามิก การรวมตัวกันของอนุภาคจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคเข้ามาใกล้กันและเยื่อหุ้มที่ผิวแตกออก แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างผิวสัมผัสที่มีสารลดแรงตึงผิวอยู่มีความสำคัญอย่างมาก โดยอัตราการรวมตัวกันของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสร่วม โดยอัตราการรวมตัวกันเพิ่มขึ้นเมื่อผิวสัมผัสร่วมถูกทำลายหรือแตกออกมากขึ้น และเยื่อหุ้มที่หนาและแข็งแรงจะทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันยากขึ้น ดังนั้นอัตราการรวมตัวกันของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารลดแรงตึงผิว

การรวมตัวกันของอนุภาคไม่สามารถทำให้เกิดการย้อนกลับไปเป็นอนุภาคขนาดเล็กได้โดยกระบวนการกวนธรรมดา ต่างจากการเกาะกลุ่มกันที่เมื่อปั่นกวนจะสามารถกลับไปเป็นอนุภาคที่กระจายตัวแบบเดิมได้ การรวมตัวกันของอนุภาคทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จนเกิดการแยกชั้นและเมื่อมีการรวมตัวกันอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดเป็นชั้นลอยอยู่ที่ด้านบนของอิมัลชัน

2.3.4.3 การแยกชั้นครีม (Creaming)

เกิดจากอนุภาคหรือกลุ่มของอนุภาคที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าวัฏภาคต่อเนื่องลอยตัวอยู่ด้านบนและเกิดการรวมตัวกันบริเวณด้านบนของอิมัลชัน โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะลอยตัวขึ้นที่ผิวด้านบนของอิมัลชันก่อนและจะเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่ลอยตามขึ้นไป การเกิดการรวมตัวหรือการเกาะกลุ่มกันจึงทำให้โอกาสของการแยกชั้นเกิดได้ง่ายขึ้นเนื่องจากอนุภาคมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น กระบวนการแยกชั้นครีมจึงเกิดได้เร็วขึ้น

2.3.4.4 การตกตะกอน (Sedimentation)

เกิดจากอนุภาคหรือกลุ่มของอนุภาคที่มีความหนาแน่นมากกว่าวัฏภาคต่อเนื่อง ตกตะกอนอยู่ด้านล่างและเกิดการรวมตัวกันบริเวณด้านล่างของอิมัลชัน โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนอยู่ด้านล่างของอิมัลชันก่อนและจะเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่ตกตามลงมา ซึ่งลักษณะคล้ายการแยกชั้นครีม

2.3.4.5 การกลับวัฏภาค (Phase inversion)

เกิดจากอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันเปลี่ยนเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำหรือเกิดจากอิมัลชันแบบ

น้ำมันในน้ำเปลี่ยนเป็นอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน โดยสาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนขององค์ประกอบในอิมัลชัน ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว หรืออาจเกิดจากการกวนหรือเขย่าอิมัลชัน

การที่สารเคลือบผิวจะสามารถมีความเป็นอิมัลชันที่คงตัวได้ สารลดแรงตึงถือเป็นปัจจัยสำคัญในการขัดขวางการรวมตัวกันของอนุภาคกระจายตัวซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแยกชั้นหรือความไม่คงตัวของสารนอกจากนี้กระบวนการผลิตยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความเป็นอิมัลชันอย่างมาก เนื่องจากช่วยลดขนาดของอนุภาคกระจายตัวและทำให้เกิดความเข้ากันของสาร

2.4 กระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้

กระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้มีหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ กระบวนการผลิตที่ใช้ใบพัดกวน (Magnetic stirrer) กระบวนการที่ใช้เครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ (Homogenizer)

2.4.1 กระบวนการผลิตด้วยเครื่องกวนสารละลาย

การกวนด้วยวิธีนี้ทำเพื่อผสมสารให้เข้ากันเท่านั้น ไม่สามารถลดขนาดอนุภาคได้ ดังเช่นการใช้เครื่องกวนสารละลาย Magnetic Stirrer สามารถปรับระดับ ความเร็วของการกวนได้โดยการหมุนปุ่มปรับความเร็วได้ ใช้มอเตอร์ชนิด Bearing-type ในการควบคุมความเร็วในการกวน ซึ่งการปั่นกวนเป็นกระบวนสามารถใช้สำหรับกระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้ เช่น สารเคลือบจากเชลแล็ก [63] แต่การผลิตสารเคลือบที่ใช้เชลแล็กรวมกับไขคาร์นูบาด้วยกระบวนการปั่นกวนแบบธรรมดาอนุภาคของไขที่ได้จะมีขนาดใหญ่เมื่อนำไปเคลือบผิววัสดุอาจทำให้ได้ผิวที่ขรุขระไม่สวยงาม และไม่สามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงเนื่องจากสารเคลือบมีขนาดอนุภาคใหญ่การกระจายตัวเป็นเนื้อฟิล์มจึงทำได้ไม่ดี [16] ซึ่งในการผลิตจากการปั่นกวนจะพบว่าต้องมีหลายขั้นตอนในการการผลิตเพื่อให้สารเข้ากันได้ดี ดังเช่น การผลิตสารเคลือบผิวส้ม ผลิตโดยนำไขพอลิเอทิลีนไขแคนเดลลิลา กรดโอเลอิกและน้ำผสมกันที่อุณหภูมิ170 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที แล้วเติมน้ำที่มีอุณหภูมิ 95 องศาเซียส ปั่นกวน 5 นาที แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เติมน้ำส่วนที่เหลือเพื่อทำให้เจือจาง [23] เนื่องจากการปั่นกวนในครั้งเดียวไม่สามารถทำให้สารเกิดความเข้ากันได้ดี

2.4.2 กระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ (Homogenizer)

2.4.2.1 กระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ความเร็วสูง (High-speed homogenizer)

เครื่องฮอโมจีไนส์เซอร์ทำหน้าที่ผสมและลดขนาดเม็ดไขมันในของเหลว เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันเกิดเป็นอิมัลชัน (emulsion) หลักการทำงานของเครื่องโฮโมจีไนส์ทำงานโดยลดขนาดอนุภาคของสารได้ด้วยแรงเฉือนจากการหมุนของโรเตอร์ในสเตเตอร์ การผลิตสารเคลือบที่มีไขเป็นส่วนประกอบด้วยกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน ผิวของผลไม้เมื่อเคลือบมีความมันวาว [19] ดังเช่น การผลิตสารเคลือบผลไม้รสเปรี้ยว (Citrus fruit) ผลิตโดยน้ำที่มีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ไขคาร์นูบาหลอมเหลวให้มีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เชลแล็ก กรดโอเลอิก และมอร์โฟลีน ทำการโฮโมจีไนส์โดยใช้เครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ความเร็วสูง (Ultra-turrax) ด้วยการปั่นกวนที่ 20500 รอบต่อนาที [25 32]

2.4.2.2 กระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ความดันสูง (High-pressure homogenizer)

หลักการทำงานของเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ความดันสูง บังคับให้ของเหลวไหลผ่านช่องแคบที่เรียกว่า วาล์วโฮโมจีไนส์ (Homogenization valve) ด้วยความเร็วสูงมาก พลังงานจากแรงดัน ทำให้เกิดแรงเฉือน (Shear) แรงกระแทกและการแตกตัวของฟองอากาศขนาดเล็ก (Cavitation) อย่างรุนแรง มีผลให้อนุภาคของเหลวมีขนาดเล็กลงและเกิดการกระจายเป็นเนื้อเดียวกัน ดังเช่น ในการผลิตสารเคลือบจากเชลแล็กและไขคาร์นูบา ทำการโฮโมจีไนส์ที่ความเร็ว 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาผ่านเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ความดันสูง ที่ความดัน 103 เมกะพาสคาล เพื่อให้ได้สารเคลือบที่มีขนาดอนุภาคในระดับนาโน พบว่าเมื่อนำไปเคลือบแอปเปิลทำให้ผลแอปเปิลมีความมันวาว [64] สูตรสำหรับเคลือบแอปเปิ้ล ประกอบด้วยไขเชลแล็ก ไขคาร์นูบาและน้ำมันหอมระเหย ทำการโฮโมจีไนส์ที่ความเร็ว10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาผ่านเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ความดันสูง ที่ความดัน 103 เมกะพาสคาล เพื่อให้ได้สารเคลือบที่มีขนาดอนุภาคในระดับนาโน [64]

การผลิตสารเคลือบจากเชลแล็กและไขคาร์นูบาด้วยกระบวนการปั่นกวนแบบธรรมดา ปั่นกวนด้วยโฮโมจีไนส์เซอร์ และปั่นกวนด้วยโฮโมจีไนส์เซอร์ตามด้วยโฮโมจีไนส์เซอร์แรงดันสูง พบว่า

สารเคลือบมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน โดยการปั่นกวนแบบธรรมดาเพียงอย่างเดียวให้ขนาดอนุภาค 180.8 ไมโครเมตร เมื่อต่อด้วยการปั่นกวนด้วยโฮโมจีไนส์เซอร์ที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ขนาดอนุภาคลดลงเหลือ 195.4 นาโนเมตร และเมื่อผ่านโฮโมจีไนส์เซอร์แรงดันสูงที่ 103 เมกะพาสคาล ให้ขนาดอนุภาคที่เล็กลง 74.2 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่ากระบวนการปั่นกวนด้วยโฮโมจีไนส์เซอร์สามารถลดขนาดของอนุภาคลงได้ [64] ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การปั่นกวนด้วยโฮโมจีไนส์เซอร์ในการผลิตสารเคลือบเนื่องจากขนาดอนุภาคที่ได้เล็กและกระบวนการผลิตไม่ยากเท่ากับการใช้โฮโมจีไนส์เซอร์แรงดันสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้ในห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมเคมี

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาสารเคลือบผิวที่ใช้กับเงาะพบงานวิจัยของ Gustavo และคณะ ได้ทำการศึกษาสารเคลือบผิวเพื่อลดความเป็นสีน้ำตาลของเปลือกเงาะโดยผลิตสารเคลือบผิวจากแบคทีเรียกรดแล็คติกและไคโตซานพบว่าสามารถรักษาคุณภาพของเงาะที่อุณหภูมิ 25 และ 10 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 10 และ 15 วัน ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองที่ดีแต่พบว่ามีกระบวนการผลิตที่ละเอียด ยุ่งยาก และใช้เวลานาน อีกทั้งวัสดุที่ใช้มีความละเอียดต่อสภาพแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะผลิตโดยการเลือกใช้วัตถุดิบจากเชลแล็กและไขซึ่งหาได้ง่ายและใช้กระบวนการผลิตที่ง่ายกว่า โดยจากงานวิจัยดังตารางที่ 2.11 [16] มีการพัฒนาสูตรสารเคลือบให้เหมาะสมกับผลไม้ไทยแต่ละกลุ่มรวมทั้งการขยายชนิดของผลไม้ที่ใช้ทดสอบ โดยเลือกผลไม้ที่มีการส่งออก จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ มะม่วง เงาะ กล้วยไข่ และส้มโอ โดยพัฒนาบนพื้นฐานที่ประกอบด้วยเชลแล็กเป็นองค์ประกอบหลัก มีการดัดแปลงสูตรด้วย การเติมสารสกัดข่าหรือการเติมไขของเชลแล็ก และไขคาร์นูบา มีการทดสอบลักษณะสมบัติทางเคมีกายภาพของไขสูตรปรับปรุงชนิดต่างๆ พบว่าเงาะโรงเรียน การบรรจุถุงพลาสติก High OTR ขนาดบรรจุ 2 ถาด (2P) หรือการสารเคลือบเชลแล็กสูตรดัดแปลงด้วยไขเชลแล็ก 7.5เปอร์เซ็นต์ (SW7.5 เปอร์เซ็นต์) สามารถรักษาคุณภาพเงาะได้ดีที่สุด ในการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยลดการสูญเสียน้ำหนัก 5.33 และ 2.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเงาะไม่ถูกเคลือบผิวตามลำดับ โดยสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงขนดำ ให้ความแน่นเนื้อดี คะแนนความชอบที่ดี ตารางที่ 2.12

ในสภาวะนอกห้องปฏิบัติการ ได้แก่ การทดสอบประสิทธิภาพการเก็บรักษาเงาะโรงเรียนในระดับการค้าในประเทศ การเคลือบผิวเงาะด้วย สูตรพื้นฐานดัดแปลงด้วย ไขคาร์นูบา 5 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสมทำให้ผลเงาะยังคงอยู่ในสภาพที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับเงาะไม่ถูกเคลือบผิวที่บรรจุในตะกร้า ชะลอการเปลี่ยนแปลงขนดำ ให้ความแน่นเนื้อดี คะแนนความชอบที่ดี สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการเก็บรักษาเงาะโรงเรียนในระดับการค้าในประเทศ พบว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะใช้สารเคลือบเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะขนดำ มะม่วงน้ำดอกไม้ เบอร์ 4 เหมาะที่จะใช้สารเคลือบ โดยเฉพาะสารเคลือบเชลแล็กสูตรพื้นฐาน (S10 เปอร์เซ็นต์) ที่ถึงแม้ว่าจะสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้น้อยกว่าการบรรจุในถุงพลาสติกแบบ High OTR แต่พบว่าสามารถป้องกันโรคที่เข้าทำลายผล และมีผลให้มะม่วงมีความแน่นเนื้อสูงกว่าการบรรจุในถุงพลาสติก High OTR โดยหลังการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ ที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95±5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปบ่มให้สุก ผู้ทดสอบชิมพอใจในคุณภาพของมะม่วงที่เคลือบ หรือมะม่วงที่บรรจุถุง มากกว่ามะม่วงที่ไม่เคลือบและไม่บรรจุถุง

กล้วยไข่ก่อนบ่มและหลังบ่ม ผลวิจัยชี้ว่าถุงพลาสติกทั้งชนิดบรรจุ 1 ผลและ 4 ผล (Bag 1H

และ Bag 4H ตามลำดับ) ของสหกรณ์ท่ายาง สามารถรักษาคุณภาพได้ดีกว่าการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบทุกสูตรที่ทำการทดสอบ โดยช่วยชะลอการสุก และการเปลี่ยนแปลงอื่นๆได้ เช่นการตกกระ การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ แม้ว่าจะมีปริมาณแอลกอฮอล์สูง แต่ไม่มีผลกระทบต่อการชิมหลังการบ่ม อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคลือบผิวสูตรดัดแปลงด้วยไขคาร์นูบา 5 เปอร์เซ็นต์ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95±5 เปอร์เซ็นต์แล้วนำไปบ่ม

ตารางที่ 2.11 องค์ประกอบของสารเคลือบสูตรต่างๆ [16]

สูตร	เชลแล็ก	อื่นๆ	สารลดแรงตึงผิว	เบส	น้ำ
1. เชลแล็กสูตรพื้นฐาน					
- S10 เปอร์เซ็นต์	10.00	-	1.00	0.89	88.11
2. เชลแล็กผสมสารสกัดข่า					
- G0.25 เปอร์เซ็นต์	10.00	0.25	1.00	0.89	87.86
- G0.50 เปอร์เซ็นต์	10.00	0.50	1.00	0.89	87.61
- G0.75 เปอร์เซ็นต์	10.00	0.75	1.00	0.89	87.36
- G1 เปอร์เซ็นต์	10.00	1.00	1.00	0.89	87.11
3. เชลแล็กผสมไขคาร์นูบา					
- SC 1.25 เปอร์เซ็นต์	10.0	1.25	1.00	0.89	86.86
- SC 2.5 เปอร์เซ็นต์	10.0	2.50	1.00	0.89	85.61
- SC 5 เปอร์เซ็นต์	10.0	5.00	1.00	0.89	84.36
- SC 7.5 เปอร์เซ็นต์	10.0	7.50	1.00	0.89	83.11
3. เชลแล็กผสมไขเชลแล็ก					
- SW 1.25 เปอร์เซ็นต์	10.0	1.25	1.00	0.89	86.86
- SW 2.5 เปอร์เซ็นต์	10.0	2.50	1.00	0.89	85.61
- SW 5 เปอร์เซ็นต์	10.0	5.00	1.00	0.89	84.36
- SW 7.5 เปอร์เซ็นต์	10.0	7.50	1.00	0.89	83.11

หมายเหตุ : สารตัวเติมในสูตรพื้นฐาน ได้แก่ สารสกัดข่า ไขเชลแล็ก และไขคาร์นูบา

ตารางที่ 2.12 การเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีกับการประเมินทางประสาทสัมผัสของเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบด้วยเชลแล็กสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง 1P และ 2P เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ [16]

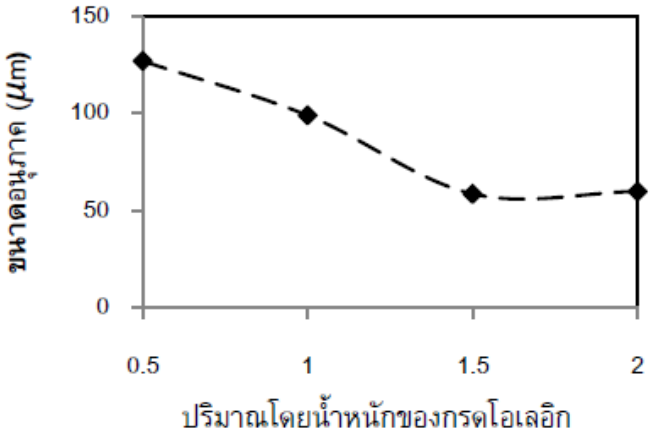
คุณภาพทางกายภาพ และเคมี	**ลำดับที่ 1**	**ลำดับที่ 2**	**ลำดับที่ 3**	**ลำดับที่ 4**	**ลำดับที่ 5**	**ลำดับที่ 6**	**ลำดับที่ 7**	**ำดับที่ 8**
การสูญเสียน้ำหนัก	1P	2P	SW7.5	S3 SC5 และ SC7.5				Control
ความแน่นเนื้อ	S10 SW5 SW7.5 SC5 และ 2P					Control SC7.5 และ 1P		
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	-							
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้	-							
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้	-							
อัตราการหายใจ	1P และ 2P		Control S10 SW5 SW7.5 SC5 และ SC7.5					
การผลิตเอทิลีน	S10 SW5 SW7.5 SC5 และ SC7.5					Control 1P และ 2P		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

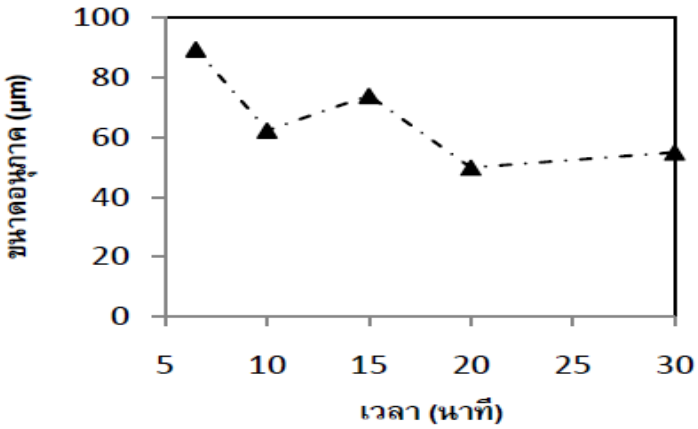
ตารางที่ 2.12 ต่อ

การประเมินทางประสาทสัมผัส	**ลำดับที่ 1**	**ลำดับที่ 2**	**ลำดับที่ 3**	**ลำดับที่ 4**	**ลำดับที่ 5**	**ลำดับที่ 6**	**ลำดับที่ 7**	**ลำดับที่ 8**
ลักษณะภายนอก (สีขนและเปลือก)	SW7.5 1P และ 2P			SC7.5	Control S10 SW5 และ SC5			
สีเนื้อ ความแฉะ	-							
ความกรอบ	S10 SW5 SW7.5 SC7.5 1P และ 2P						Control และ SC5	
ความหวาน ความเปรี้ยว	-							
กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	S10 SW5 SW7.5 SC5 SC7.5 1P และ 2P							Control
ความชอบ	SW7.5	S10 SW5 SC5 SC7.5 1P และ 2P						Control

แต่เมื่อนำสูตรที่เหมาะสมขยายกำลังการผลิตโดยใช้ใบพัดกวนแบบธรรมดาพบว่า สารเคลือบไม่ได้คุณภาพตามต้องการ คือสารเคลือบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ความคงตัวต่ำ มีอนุภาคไขแยกชั้นแขวนลอยอยู่ ส่งผลให้หลังการเคลือบผลไม้เห็นเม็ดสีขาวกระจายอยู่บนผิวผลไม้ กระบวนการโฮโมจีไนส์เซชันจึงถูกนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งจากการทดลอง (รูปที่ 2.5-2.6) พบว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณคาร์นูบาต่อกรดโอเลอิกเท่ากับ 5:1.5 ใช้เวลาในการโฮโมจีไนส์ 20 นาที โดยให้ความร้อนขณะโฮโมจีไนส์เพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะดำเนินการที่ 90 องศาเซลเซียส และปั่นกวนสารหลังการโฮโมจีไนส์จนสารเคลือบเย็นตัวลงถึง 50 องศาเซลเซียส [65]



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคเฉลี่ยกับความเข้มข้นกรดโอเลอิกที่ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล [65]



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับเวลาที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์ 6.5 10 15 20 และ 30 นาที

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

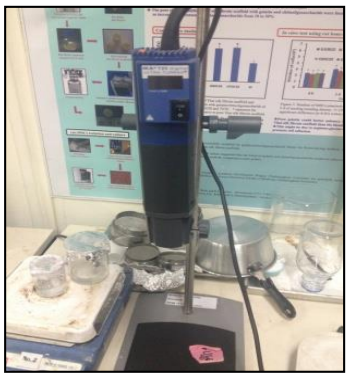
3.1.1 ผลไม้

1. เงาะโรงเรียน

3.1.2 อุปกรณ์

1. ขวดใส่สารเคมี ยี่ห้อ Duran ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
2. ฉนวนกันความร้อน
3. เทอร์มอมิเตอร์ (Thermometer)
4. เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hotplate and magnetic stirrer)
5. แม็กเนติกบาร์ (Magnetic bar) ขนาด 25x10 มิลลิเมตร
6. เครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ รุ่น ultra-turrax จากบริษัท IKA® ประเทศมาเลเซีย ดังรูปที่ 3.1
7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter) รุ่น MP220 จากบริษัท Mettle Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
8. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle sizing unified system) รุ่น Mastersizer 2000 จากบริษัท Malvern Instrument Ltd. Worcestershire สหราชอาณาจักร
9. เครื่องวัดความหนา (Micrometer) 0-25x0.01 mm ยี่ห้อ MACOH
10. อุปกรณ์วัดการซึมผ่านของไอน้ำ (ประดิษฐ์เอง)
11. หลอดทดลองฝาเกลียว (Test tube screw cap) ปริมาตร 70 มิลลิลิตร
12. ฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride)
13. เครื่องวัดสี ยีห้อ CIE MINOLTA รุ่น CR-300 ญี่ปุ่น
14. เครื่องวัดความแน่นเนื้อ ยีห้อ Effegi อิตาลี
15. เครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์แบบพกพา ยีห้อ ATAGON1 ญี่ปุ่น
16. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas chromatography) ยี่ห้อ Shimadsu รุ่น GC-8A
17. ถุงพลาสติกบรรจุเงาะ FF3 ยีห้อ ทานตะวัน LDPE (OTR เท่ากับ 18272 cc/(m^2-day) CO_2TR เท่ากับ >30000 cc/(m^2-day) WVTR เท่ากับ 25.1 g/(m^2-day))

18. อุปกรณ์เครื่องแก้ว หลอดเก็บก๊าซ วัสดุเก็บผลไม้

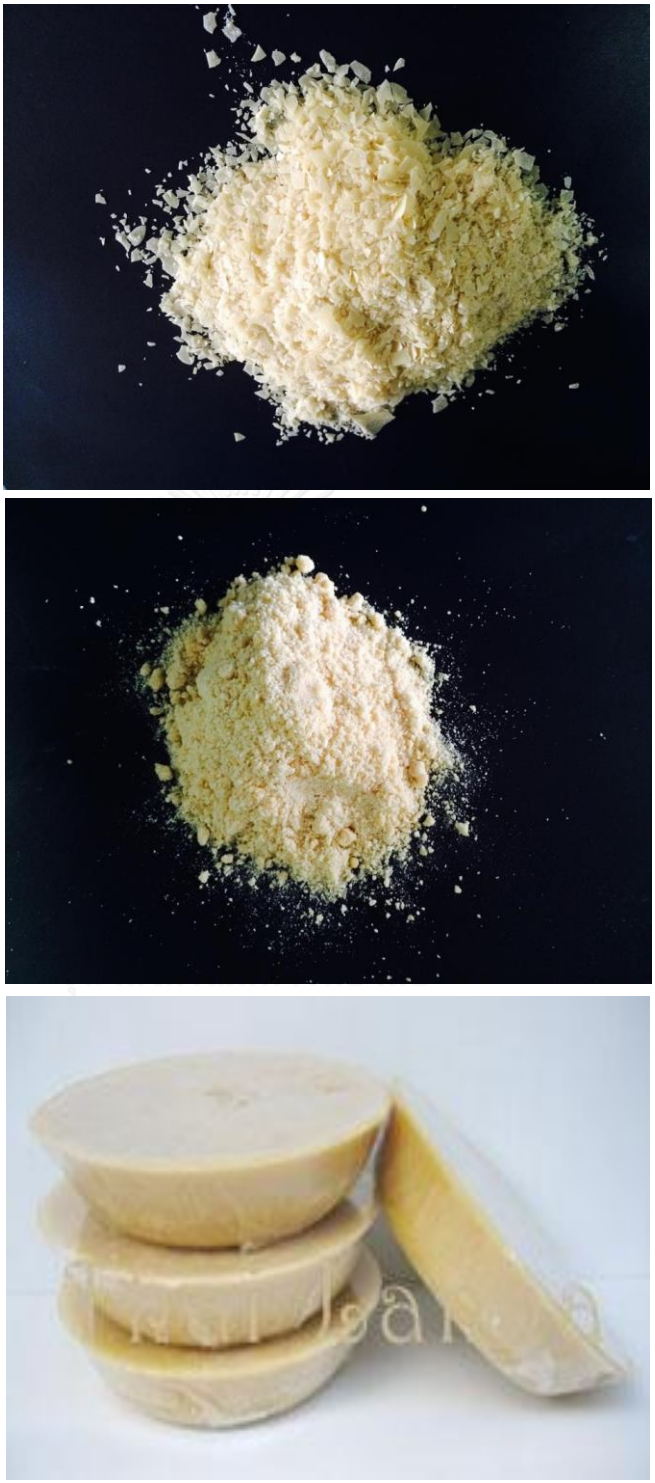


รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ รุ่น ultra-turrax จากบริษัท IKA® ประเทศมาเลเซีย

3.1.3 เคมีภัณฑ์

1. ไขคาร์นูบา จากบริษัท Kahl ประเทศเยอรมัน
2. ไขผึ้ง จากบริษัทไทยลานนาฟาร์มผึ้ง ประเทศไทย
3. เซลแล็กขาว เกรดอาหาร จากบริษัท เอกเซลแลคส์ จำกัด จังหวัดลำปาง
4. สารละลายแอมโมเนีย 25 เปอร์เซ็นต์ AR เกรด จากบริษัท QReC™ ประเทศนิวซีแลนด์
5. น้ำปราศจากไอออน (De-ionization)
6. กรดโอเลอิก ความบริสุทธิ์สูง (extra pure) เกรดห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ QReC™ ประเทศนิวซีแลนด์
7. โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศนิวซีแลนด์
8. Polyoxyethylene (20) sorbitan monooleate หรือ Polysorbate80 (Tween80) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท City Chemical LLC สหราชอาณาจักร
9. Sorbitan monooleate (Span80) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท Fluka Chemie AG ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
10. สารละลายคลอรีน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮเตอร์) (บริษัท คาโอ อินดัสเตรียล ประเทศไทยจำกัด) ในน้ำประปา สำหรับทำความสะอาดผลไม้

11. สารฆ่าเชื้อราโพรคลอราซ (เจอราจ) จากบริษัท เทพวัฒนาเคมีจำกัด



รูปที่ 3.2 เคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง ไขคาร์นูบา (บน) เซลแล็กขาวเกรดอาหาร (กลาง) และไขผึ้ง (ล่าง)

3.2 วิธีการทดลอง

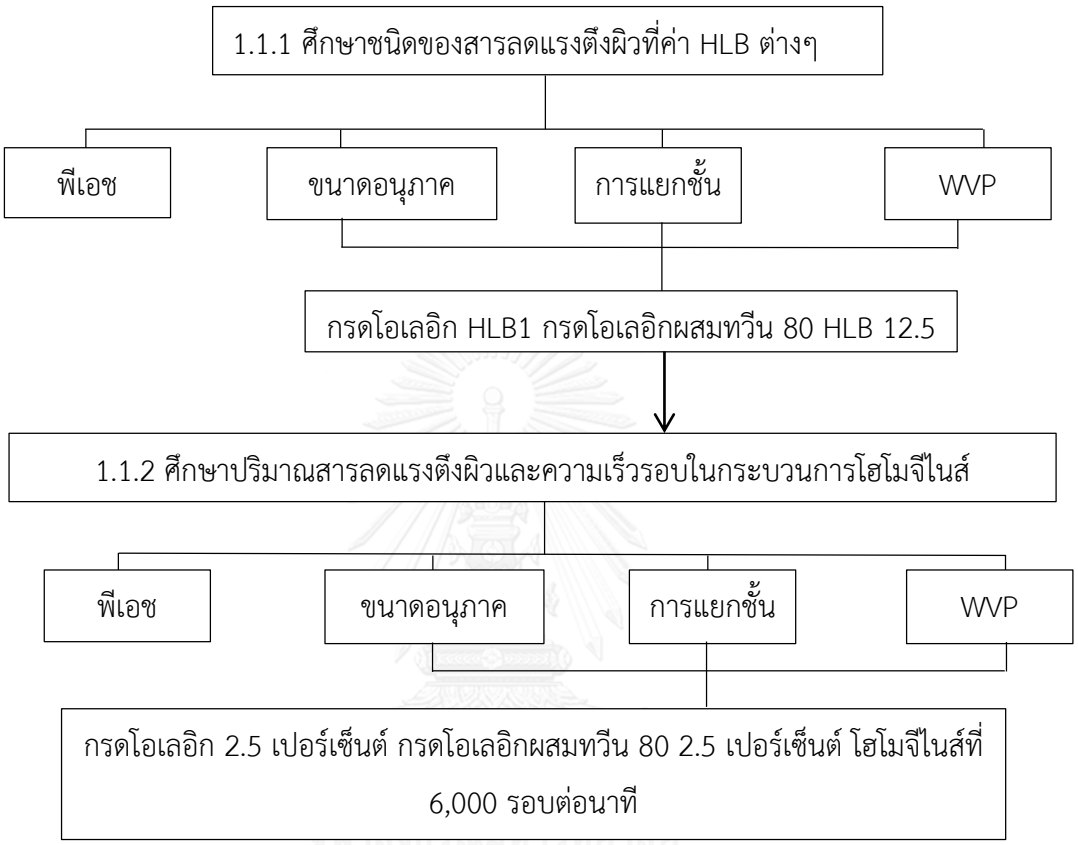
3.2.1 การดำเนินงานวิจัยทั้งโครงการ แสดงดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แผนผังการดำเนินงานทั้งโครงการ

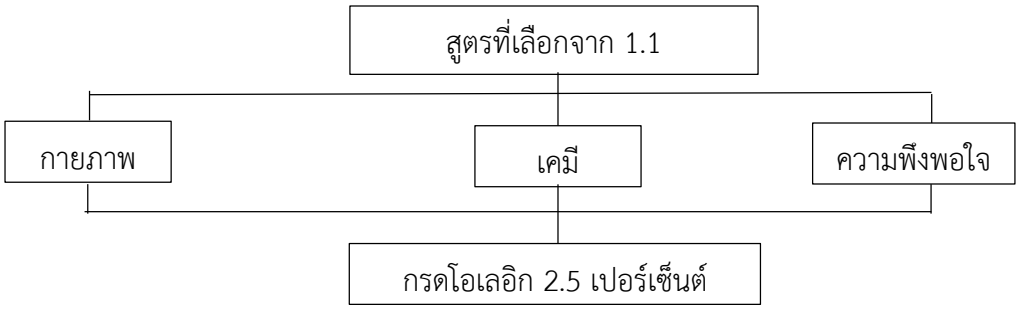
แผนผังแสดงภาพรวมผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1 ผลของสารลดแรงตึงผิว และความเร็วรอบในกระบวนการโฮโมจีไนส์

1.1 คุณสมบัติของสารเคลือบ



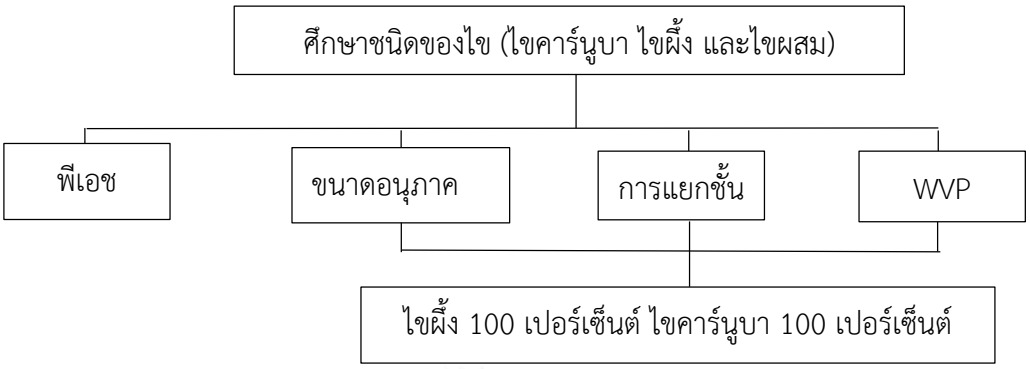
1.2 ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษาเงาะระดับห้องปฏิบัติการ



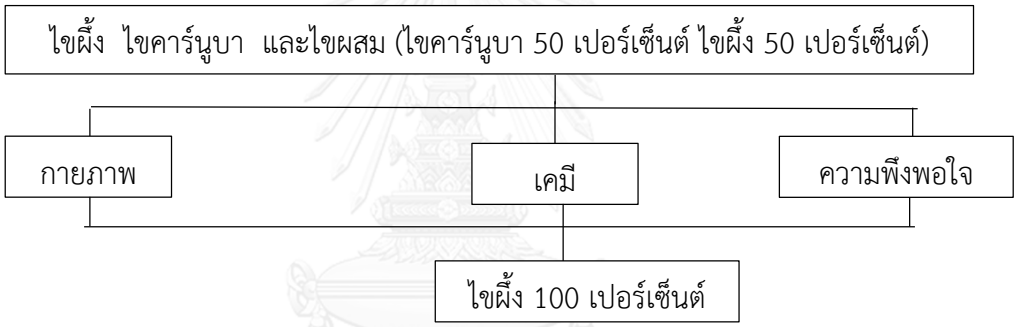
หมายเหตุ พบคราบขาวบนเปลือกและขนของเงาะทุกสูตรที่เคลือบผิว

2 ผลของชนิดไข

2.1 คุณสมบัติของสารเคลือบ



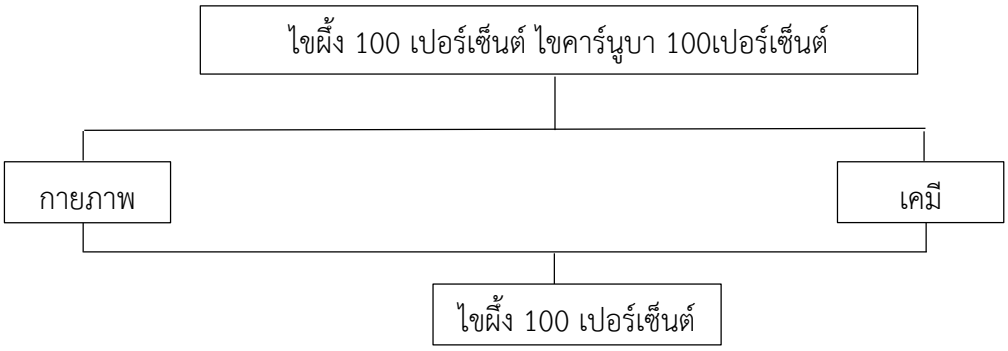
2.2 ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษาเงาะระดับห้องปฏิบัติการ



หมายเหตุ ไม่พบคราบขาวบนเปลือกและขนของเงาะเมื่อใช้ไขผึ้ง 100 เปอร์เซ็นต์

Chulalongkorn University

3 ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษาเงาะในระดับการค้า



หมายเหตุ ไม่พบคราบขาวบนเปลือกและขนของเงาะเมื่อใช้ไขผึ้ง100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาพบคราบขาวน้อยกว่าการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวผลไม้สำหรับกระบวนการผลิตด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์

1. การศึกษาอิทธิพลของระบบสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB (Hydrophilic-lipophilic balance) โดยเตรียมสารละลายเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผสมแอมโมเนีย น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) และสารลดแรงตึงผิวที่มีสัดส่วนองค์ประกอบดังตารางที่ 3.2.1 และ 3.2.2 ทำการปั่นกวนสารด้วย เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) ในภาชนะปิดขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีฉนวนหุ้มพร้อมกับให้ความร้อนโดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ปั่นกวนสารละลายผสมที่ระดับ 1 ประมาณ 10-15 นาที จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใส่ผงเชลแล็กโดยนำผงเชลแล็กปริมาณที่กำหนดแบ่งเป็นสามส่วน ใส่ทีละส่วนลงในสารละลาย (เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน) เมื่อเชลแล็กละลายหมดจะได้สารละลายเชลแล็กใสสีน้ำตาล จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 80 องศาเซลเซียส เพื่อเตรียมสารละลายเชลแล็กสำหรับผสมกับสารส่วนที่ 2

ส่วนที่ 2 หลอมละลายไขคาร์นูบาที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียสจนได้ไขเหลว (จุดหลอมเหลวของไขคาร์นูบา) การเพิ่มอุณหภูมิจาก 60 เป็น 80 องศาเซลเซียสในส่วนที่ 1 ทำพร้อมกับการเตรียมส่วนที่ 2

เมื่อได้สารทั้งสองส่วนนำสารส่วนที่ 2 เทลงในสารส่วนที่ 1 ปิดเครื่องให้ความร้อนทันทีและทำการผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที โดยหุ้มฉนวนกันความร้อน (เริ่มต้นโฮโมจีไนส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส) จากนั้นปั่นกวนต่อด้วยเครื่อง magnetic-stirrer heater เครื่องเดิม (แต่ไม่ให้ความร้อน) จนอุณหภูมิของสารเคลือบมีค่าประมาณ 40 องศาเซลเซียส (ขณะที่ลดอุณหภูมิปั่นกวนที่ระดับ 1.5 และมีฉนวนหุ้มขวด) ได้ผลิตภัณฑ์ที่พร้อมสำหรับการนำไปเคลือบผิวผลไม้

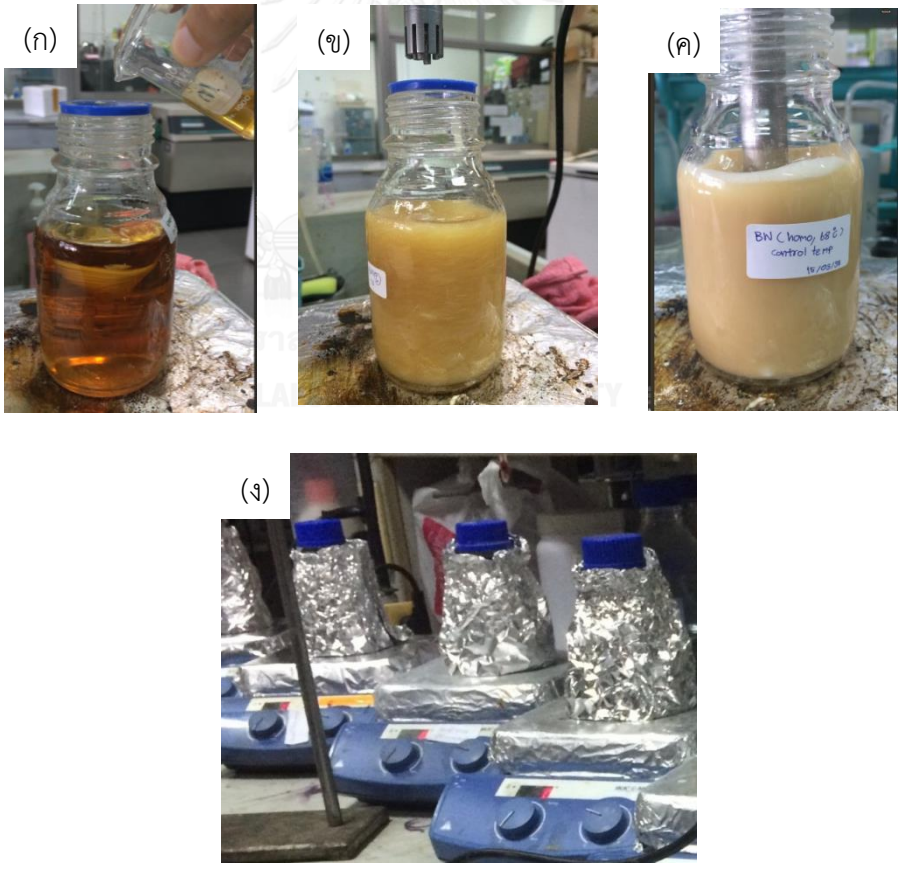
ข้อควรระวัง

- ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายเชลแล็กไม่ให้เกิน 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากสารละลายที่อุณหภูมิสูงทำให้ไขยังหลอมเหลวในสารละลายไม่เกิดเป็นอนุภาค กระบวนการโฮโมจีไนส์จะไม่สามารถลดขนาดอนุภาคไขได้
- หุ้มฉนวนปิดตลอดการทดลองเพื่อควบคุมอุณหภูมิ โดยเฉพาะขั้นตอนการลดอุณหภูมิ เนื่องจากถ้าอุณหภูมิลดเร็วเกินไปจะทำให้ไขเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่

ตารางที่ 3.2.1 องค์ประกอบของสารเคลือบที่ใช้ในงานวิจัย

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยมวล
1. เชลแล็ก	10.00
2. ไขคาร์นูบา	5.00
3. แอมโมเนีย	0.89
4. น้ำ	82.61
5. สารลดแรงตึงผิว	1.50

<u>หมายเหตุ</u> เปอร์เซ็นต์โดยมวลเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักผลิตภัณฑ์สุดท้าย ปริมาตร 200 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.4 กระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้ (ก) เทไขที่หลอมเหลวลงในสารละลายเชลแล็ก (ข) สารผสมก่อนโฮโมจีไนส์ (ค) ขณะโฮโมจีไนส์ และ (ง) ลดอุณหภูมิหลังการโฮโมจีไนส์

ตารางที่ 3.2.2 องค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิวสูตรต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่ม/สูตร	องค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิว (เปอร์เซ็นต์โดยมวล)			
	กรดโอเลอิก	SDS	ทวีน 80	สแปน 80
1. กรดโอเลอิก				
- HLB1	1.50	-	-	-
2. กรดโอเลอิกผสมSDS				
- HLB5	1.35	0.15	-	-
- HLB10	1.15	0.35	-	-
- HLB15	0.96	0.54	-	-
3. กรดโอเลอิกผสมทวีน 80				
- HLB5	1.07	-	0.44	-
- HLB7.5	0.80	-	0.71	-
- HLB10	0.53	-	0.97	-
- HLB12.5	0.26	-	1.24	-
4. ทวีน 80 และสแปน 80				
- HLB5	-	-	0.11	1.40
- HLB10	-	-	0.81	0.69
5. ทวีน 80				
- HLB15	-	-	1.5	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวและความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์

ทำการเลือกระบบสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB ที่เหมาะสม เพื่อพัฒนาหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวและความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ที่เหมาะสม โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล พร้อมกับศึกษาผลของความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ที่ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที โดยเตรียมสารเคลือบดังขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น

3. การศึกษาอิทธิพลของไขคาร์นูบา และไขผึ้ง

ทำการเลือกสูตรที่ดีที่สุดจากข้อ 1 และ 2 นำมาศึกษาอิทธิพลของไขคาร์นูบา และไขผึ้ง โดยปรับอัตราส่วนผสมระหว่างไขคาร์นูต่อไขผึ้งที่อัตราส่วนของไขผึ้งที่ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาณไขรวม 5เปอร์เซ็นต์) แสดงดังตารางที่ 3.2.3

ตารางที่ 3.2.3 ปริมาณไขในแต่ละสูตร (ปริมาณไขรวม 5 เปอร์เซ็นต์)

ไขรวม 100 เปอร์เซ็นต์	**ไขรวม 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล**	
เปอร์เซ็นต์ ไขผึ้ง	**ไขผึ้ง (กรัม)**	**ไขคาร์นูบา (กรัม)**
0	-	5
25	1.25	3.75
50	2.5	2.5
75	3.75	1.25
100	5	-

3.2.3 การทดสอบความคงตัวของสารเคลือบ

การทดสอบความคงตัวของสารเคลือบ โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พิจารณาดังนี้

1. **วัดค่า pH** ด้วยเครื่องวัด pH (pH meter)
2. **ขนาดอนุภาค** วัดขนาดอนุภาคไขในสารละลายเชลแล็กด้วยเครื่อง Mastersizer 2000
3. **ความคงตัว** วัดความสูงของการแยกชั้นของสารเคลือบ โดยส่วนที่ 1 วัดความสูงของสารละลายใสสีน้ำตาล และส่วนที่ 2 วัดความสูงของสารเคลือบทั้งหมด ดังรูปที่ 3.5 เพื่อหาอัตราส่วนความสูงของการแยกชั้นดังสมการ 3.2.1

$$\text{สัดส่วนความสูงของการแยกชั้น} = \frac{\text{ความสูงชั้นของเหลวใส (สารละลายเชลแล็ก)}}{\text{ความสูงทั้งหมดของสารเคลือบ}}$$

3.2.1

รูปที่ 3.5 การวัดความสูงของการแยกชั้นของสารเคลือบแต่ละสูตร

3.2.4 การศึกษาลักษณะและสมบัติของฟิล์มเคลือบ

การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม (รูปที่ 3.6) เขย่าสารเคลือบผิวผลไม้จนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและดูดสารเคลือบปริมาตร 40 มิลลิลิตร เทลงบนถาดพลาสติกขนาด 12x25 ตารางเซนติเมตร ซึ่งรองพื้นด้วยแผ่นฟิล์มยืดชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ เกลี่ยสารเคลือบผิวด้วยไม้บรรทัดเพื่อให้แผ่นฟิล์มมีความสม่ำเสมอ ทิ้งสารเคลือบผิวให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จนน้ำหนักคงที่ (ใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง) เมื่อฟิล์มแห้งนำแผ่นฟิล์มยืดพอลิไวนิลคลอไรด์ออกจากถาด ค่อยๆดึงแผ่นฟิล์มเคลือบออกจากฟิล์มยืด

อย่างระมัดระวัง จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปวัดความหนา และวัดค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission)

การวัดความหนาของฟิล์ม ทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 645-92 โดยตัดฟิล์มให้มีขนาด 5x5 เซนติเมตร วัดความหนาของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง Micrometer โดยวัดความหนาของฟิล์ม 5 จุด คือบริเวณใกล้มุมทั้งสี่และจุดกึ่งกลางของแผ่นฟิล์ม แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของฟิล์มเคลือบ

การวัดค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission: WVT) ทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM E 96-95 หรือวิธี cup method [66]โดยปรับสมดุลฟิล์มด้วยการนำแผ่นฟิล์มที่ได้เก็บรักษาในห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบ ซึ่งฟิล์มที่นำมาทดสอบต้องไม่มีรอยพับ รอยรั่ว หรือรอยขูดที่มองเห็น ใช้ขวดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยฟิล์มเคลือบสูตรต่างๆ ให้สนิทด้วยเทปกาวสองหน้าและพาราฟิน จากนั้นวัดน้ำหนักของขวดที่ใส่น้ำและหุ้มด้วยฟิล์ม เก็บไว้ในสภาวะทดสอบ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักทุกๆ 8 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 7 วัน) นำน้ำหนักของขวดทดลองที่วัดค่าได้คำนวณอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่อพื้นที่จากสมการ (3.2.1) และ (3.2.2)

$$\mathrm{WVT} = \frac{\Delta \mathrm{w}}{\Delta \mathrm{t} \times \mathrm{A}} \qquad (3.2.1)$$

โดย $\Delta w/\Delta t$ = น้ำหนักของน้ำที่ซึมผ่านต่อหน่วยเวลา

A = พื้นที่แผ่นฟิล์มสำหรับใช้ในการซึมผ่านของน้ำ (เมตร^2) (Active film area)

$$\text{Permeance} = \frac{WVT}{\Delta P} = \frac{WVT}{S(R_1 - R_2)} \qquad (3.2.2)$$

โดย WVT= อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate กรัม/วินาทีเมตร^2)

ΔP = ความแตกต่างของค่าความดันไอน้ำระหว่างฟิล์ม (ปาสคาล)

S = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิทดสอบ (มิลลิเมตรปรอท)

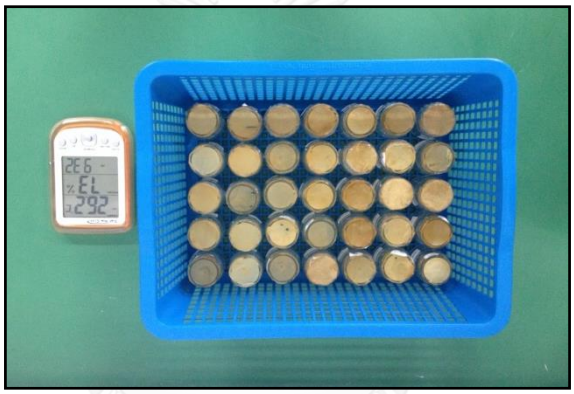
R_1 R_2 = ความชื้นสัมพัทธ์

$$\text{Average permeability} = \text{Permeance X Film thickness} \qquad (3.2.3)$$

ขวดที่มีน้ำเปรียบเสมือนผลไม้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ภายใน ซึ่งถือว่าภายในผลไม้มีความชื้นอยู่ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือมีความดันไออิ่มตัว (Saturated vapor pressure)

(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 3.6 การวัดค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission: WVT) (ก) การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม (ข) แผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปแล้ว (ค) เตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองในสภาวะที่ใช้ทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.5 การทดสอบเคลือบเงาะในระดับห้องปฏิบัติการ

กระบวนการทำความสะอาดเงาะ คัดเลือกเงาะสำหรับการทดลองแล้วทำความสะอาดสิ่งสกปรกด้วยการแช่น้ำเปล่าเพื่อกำจัดเพลี้ยและมดออกจากผิวเปลือกเงาะ จากนั้นทำความสะอาดผิวเงาะด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่ผิวผลเงาะ นำเงาะที่ผ่านการฆ่าเชื้อแช่ในน้ำยาโพรคลอราซ 250 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันโรค แล้วทิ้งไว้ให้หมาดในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสก่อนเตรียมการเคลือบ (รูปที่ 3.7-3.8)

กลุ่มการทดลอง (ทรีทเมนต์) แบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

กลุ่มที่ 1 เก็บรักษาเงาะในกล่องลูกฟูก

กลุ่ม 1.1 ไม่ได้เคลือบ (control)

กลุ่ม 1.2 เคลือบด้วยสารเคลือบ

กลุ่มที่ 2 เก็บรักษาเงาะในถุงพลาสติกชนิด Low Density Polyethylene (LDPE) ชนิด FF 3 OTR เท่ากับ 18272 $cm^3/(m^2\text{-day})$ CO_2TR เท่ากับ >30000 $cm^3/(m^2\text{-day})$ WVTR เท่ากับ 25.1 $g/(m^2\text{-day})$

กระบวนการเคลือบเงาะ หลังจากที่ทำการคัดเลือกเงาะและทำความสะอาดแล้ว นำมาเคลือบโดยใส่ตะกร้าจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ แล้วผึ่งให้แห้ง จัดเรียงบนถาดโฟม ปิดด้วยฟิล์มแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำความสะอาดเงาะ (ก) เงาะสำหรับใช้ในการทดลอง (ข) คัดแยกเงาะล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม เพื่อฆ่าเชื้อ (ค) แช่ในน้ำยาโพรคลอราซ 250 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อป้องกันโรค และ (ง) ผึ่งให้แห้งเพื่อนำไปเคลือบในขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 3.8 กระบวนการเคลือบผลไม้ (ก) สารเคลือบผิวผลไม้ (ข) การจุ่มเคลือบและรอสารเคลือบแห้ง (ค) จัดเรียงในกล่องโฟม (ง) หุ้มด้วยฟิล์ม (จ) บรรจุใส่กล่อง และ (ฉ) กล่องสำหรับเก็บในระหว่างการทดสอบ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์

การประเมินคุณภาพผลไม้ การประเมินคุณภาพแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ กายภาพ ทางเคมี และความพึงพอใจของผู้บริโภค

- **คุณภาพทางกายภาพ**

- **การสูญเสียน้ำหนัก** ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของผลไม้ในวันที่เคลือบ และชั่งน้ำหนักของผลไม้ภายหลังจากการเก็บรักษาในวันที่ทำการประเมินคุณภาพ รายงานผลเป็น เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ดังสมการ 3.2.4

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \left(\frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}\right) \times 100 \quad (3.2.4)$$

- **ลักษณะภายนอก** เปรียบเทียบโดยการถ่ายรูป พิจารณาลักษณะของ สีเปลือกนอก สีเปลือกในและสีเนื้อ

- **การวัดสีของผิวเปลือกนอก เปลือกใน และเนื้อ** สี (color) วัดด้วยระบบ color space CIE L*a*b โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) รุ่น Minolta CR 400 โดยที่ L* เป็นค่าความสว่าง (lightness) มีค่าในช่วง 0-100 a* ที่เป็นบวก สีจะเป็นไปในทิศทางของสีแดง ถ้าเป็นลบสีจะเป็นไปในทิศทางของสีเขียว และ b* ที่เป็นบวก สีจะเป็นไปในทิศทางของสีเหลือง ถ้าเป็นลบสีจะเป็นไปในทิศทางของสีน้ำเงิน เครื่องวัดสีมีหลักการทำงาน โดยให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่อง ตกกระทบบนผิววัสดุอนุภาคของสีบนผิววัสดุจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้และสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมา และถูกบันทึก และนำข้อมูลมาประมวลตามการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขตามระบบ CIE (Commission Internationale de l'Eclariage) ในแต่ละทรีทเมนต์วัดค่าทั้งหมด 8 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย

- **ความแน่นเนื้อ** ใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Effigi อิตาลี) ขนาด 1 กิโลกรัม ระยะกดลงไปบนเนื้อเงาะเท่ากับ 1 เซนติเมตร ใช้หัววัดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร กดลงไปบนเนื้อผลเงาะอ่านค่าเป็นหน่วยกิโลกรัม จากนั้นแปลงหน่วยให้เป็นพื้นที่

การวัดที่เท่ากัน และเปลี่ยนหน่วยเป็นนิวตันโดยการคูณด้วย 9.807 (เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน 2547) ในแต่ละทรีทเมนต์วัดค่าทั้งหมด 8 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย

- **คุณภาพทางเคมี**

- **ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้** (Total soluble solids TSS) โดยการวัดค่า TSS จากน้ำคั้นเงาะด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์แบบพกพา ยี่ห้อ ATAGO N1 ญี่ปุ่น โดยการนำน้ำคั้นเงาะมาหยดลงบนเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ทำการส่องอ่านค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของของแข็งที่ละลายน้ำได้

    - **เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (เปอร์เซ็นต์ Titratable acidity TA)** นำเนื้อเงาะมาคั้นน้ำ โดยใช้ผ้าขาวบาง คั้นน้ำออกมาพอประมาณ จากนั้นปิเปตน้ำคั้น 5 มิลลิลิตร เพื่อทดสอบความเป็นกรดโดยหยดฟีนอลทาลีน 1เปอร์เซ็นต์ เป็นอินดิเคเตอร์ ไทเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล จนกระทั้ง น้ำคั้นเปลี่ยนเป็นสีชมพู คำนวณหา เปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก ดังสมการที่ (4.2.5)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ } TA = \frac{\text{ปริมาณของ } NaOH \times Molar\ of\ NaOH \times mEq\ of\ acid}{\text{ปริมาณของตัวอย่าง}} \times 100 \qquad (3.2.5)$$

- **วิเคราะห์อัตราการหายใจของผลไม้** โดยวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซเอทิลีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas chromatography) นำเงาะในแต่ละทรีทเมนต์ที่เก็บไว้บนถาดโฟมที่มีฟิล์มหุ้ม ถาดละ 21 ลูก ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ เพื่อเก็บก๊าซ โดยใช้ไซริงค์ขนาด 3 มิลลิลิตร ดูดก๊าซจากบรรจุภัณฑ์ที่หุ้มด้วยฟิล์มและปิดปลายไซริงด้วยเซปตัม (Septum) ทันทีเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซ นำก๊าซที่ได้มา 1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ เพื่อหาปริมาณก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน

- **วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซเอทิลีนภายในผลเงาะ** ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas chromatography) โดยนำเงาะบรรจุลงในโถดูดความชื้นที่ต่อเข้ากับเครื่องปั๊มสุญญากาศ เพื่อดูดอากาศออกจากโหลแก้วเป็นเวลา 20 นาที ซึ่งก๊าซที่ผลเงาะจะถูกดึงออกมา ก่อนปิดช่องเปิดทางดูดอากาศออกของโหลแก้วแล้วปิดเครื่องปั๊ม จากนั้นเปิดช่องทางดูดอากาศออกอีกครั้ง จะเกิดแรงดันย้อนกลับ ก๊าซจะลอยขึ้นมา

ด้านบน ใช้ไซริงค์ดูดก๊าซมาฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ เพื่อหาปริมาณก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และ เอทิลีน

การวิเคราะห์ก๊าซ เพื่อหาปริมาณก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน (Shimadzu รุ่น GC-8A) ใช้ Detector ชนิด Thermal conductivity detector (TCD) คอลัมน์ Porapack Q80/100 บรรจุในท่อไร้สนิม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร ส่วนเครื่องวิเคราะห์ก๊าซเอทิลีน ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-8A ใช้ Detector ชนิด Flame ionization detector (FID) คอลัมน์ Porapack Q80/100 บรรจุในท่อไร้สนิม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน ได้ค่าออกเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และก๊าซเอทิลีนได้ค่าออกมาเป็นหน่วย พีพีเอ็ม

- **ความพึงพอใจของผู้บริโภค** โดยประเมินลักษณะภายนอก (สีขนและเปลือก) สีเนื้อ ความแฉะ ความกรอบ ความหวาน ความเปรี้ยว กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบ ในแต่ละสัปดาห์ที่เก็บรักษา โดยใช้ผู้ร่วมประเมิน 8 คน ให้คะแนน 0 – 9 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.2.4

3.2.6 การทดสอบเคลือบเงาในระดับการค้า

เงาะเมื่อส่งออกไปขายในต่างประเทศจะได้รับการกระทบกระเทือนมากและมีผลต่อสีขนและเปลือก ผู้วิจัยจึงทำการทดลองเลียนแบบสภาวะที่ผู้ค้าส่งเงาะไปขายต่างประเทศที่มีระยะการส่งออกสั้นๆในทวีปเอเชีย เช่น จีน ดูไบ อินโดนีเซีย และญี่ปุ่น และมีอายุการเก็บรักษาหลังการขนส่งน้อย (1-3 วัน) โดยการทดลองจะจำลองสภาวะที่ใช้ขนส่ง และสภาวะที่ขายในซุปเปอร์มาร์เก็ตที่มีการใช้อุณหภูมิต่ำในการวางขาย

ก) การเตรียมเงาะ (Pretreatment)

การเตรียมเงาะก่อนการเคลือบ โดยทำความสะอาดด้วยการล้างน้ำพร้อมคัดเลือกเงาะที่มีขนเขียวผลแดง (รูปที่ 3.9) จัดเรียงใส่ตะกร้าพลาสติกขนาด 2 กิโลกรัม จากนั้นทำความสะอาดผิวเงาะด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่ผิวผลเงาะ นำเงาะที่ผ่านการฆ่าเชื้อแช่ในน้ำยาโพรคลอราซ 250 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันโรค แล้วนำไปผึ่งให้แห้งเพื่อเตรียมเคลือบเงาะในขั้นตอนต่อไป

ข) กลุ่มการทดลอง (ทรีทเมนต์) สำหรับเงาะ

แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 เงาะที่ไม่ได้เคลือบ (control)

กลุ่มที่ 2 เงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม

- เงาะที่เคลือบด้วยสารสูตรไขคาร์นูบา 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล
- เงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

ค) กระบวนการเคลือบเงาะ

หลังจากทำการคัดเลือกเงาะและทำความสะอาดแล้ว จะถูกนำมาเคลือบโดยวิธีการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบเป็นเวลา 10 วินาที ทั้งตะกร้า หลังจากนั้นปล่อยให้ไขแห้งโดยระหว่างนั้นจะทำการพลิกตะกร้าให้อยู่ในแนวตั้งเพื่อป้องกันการตกค้างของสารเคลือบที่ก้นตะกร้า (รูปที่ 3.10) เมื่อแห้งนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์

ง) การประเมินคุณภาพ

เงาะที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ถูกสุ่มออกมา 9 ตะกร้าในแต่ละสัปดาห์ เงาะจาก 3 ตะกร้านำมาบรรจุถุงพลาสติก ตะกร้าละ 3 ถุง นำเงาะที่บรรจุถุงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อจำลองสภาวะการวางขายผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำเงาะจากถุงพลาสติกและเงาะที่เหลือ 6 ตะกร้านั้นนำมาทดสอบคุณภาพ โดยในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ทดสอบคุณภาพในวันที่ 0 1 และ 2 ของสัปดาห์นั้น โดยผลในแต่ละสัปดาห์ทำการทดสอบตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 3

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการทำความสะอาดเงาะ (ก) เงาะสำหรับใช้ในการทดลอง (ข) คัดแยกเงาะล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ (ค) แช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม เพื่อฆ่าเชื้อ (ง) แช่ในน้ำยาโพรคลอราซ 250 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อป้องกันโรค และ (จ) ผึ่งให้แห้งเพื่อนำไปเคลือบในขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 3.10 กระบวนการเคลือบผลไม้ (ก) สารเคลือบผิวผลไม้สำหรับจุ่มเคลือบ (ข) จุ่มเคลือบทั้งตะกร้าเป็นเวลา 10 วินาที (ค) ยกและรอให้สารเคลือบที่ตกค้างออกจากตะกร้า (ง) รอให้แห้ง (จ) นำใส่ห้องควบคุมอุณหภูมิ (ฉ) เงาะในห้องควบคุมอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์ (ช) การบรรจุถุงพลาสติกและเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ โดยหัวข้อแรก ศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิว และความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ต่อคุณสมบัติของสารเคลือบ เพื่อหาองค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสม จากนั้นศึกษาอิทธิพลของไขเพื่อแก้ปัญหาการเกิดคราบขาว และสุดท้ายเลือกสูตรที่เหมาะสมมาใช้ทดสอบในระดับการค้าเพื่อจำลองการใช้สารเคลือบผิวในกระบวนการส่งออกสำหรับการใช้จริง

4.1 อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิว และความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ต่อคุณสมบัติของสารเคลือบ

การทดสอบแบ่งเป็น 2 ตอน ตอนที่ 4.1.1 แสดงคุณสมบัติของสารเคลือบ โดยศึกษาค่า pH ขนาดอนุภาค (Particle size) ความคงตัว (Stability) และ การซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ตอนที่ 4.1.2 แสดงประสิทธิภาพของสารเคลือบในการรักษาเงาะโรงเรียนระดับห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และความพึงพอใจ แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

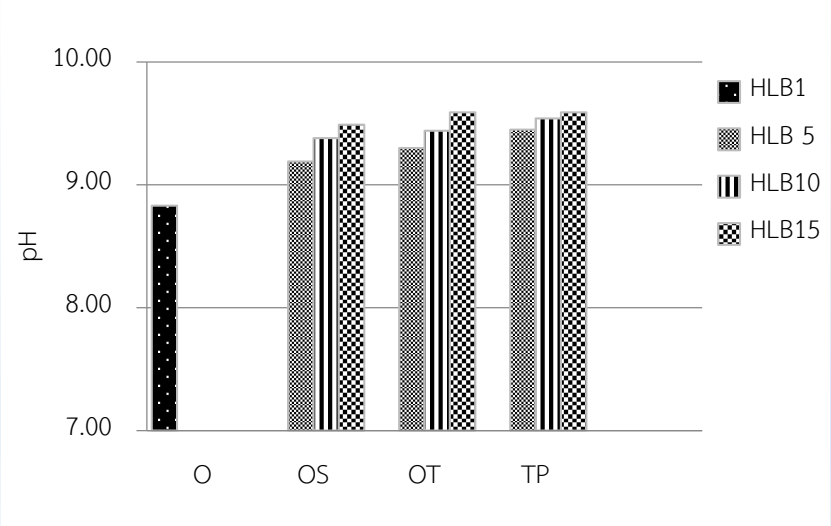
4.1.1. คุณสมบัติของสารเคลือบ

4.1.1.1 ชนิดสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB ต่างกัน

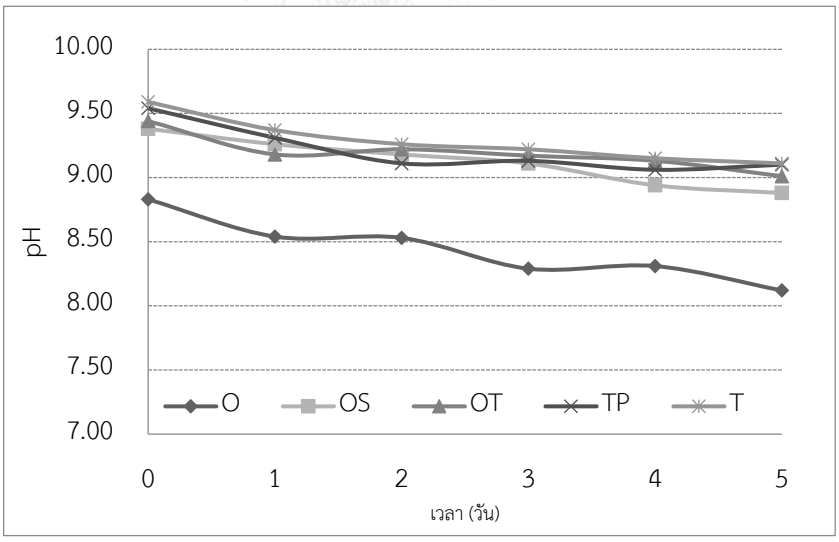
ศึกษาผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวและค่า HLB โดยสูตรสำหรับการทดลองนี้แสดงดังรายละเอียดดังนี้

ก) ค่า pH

ค่า pH ของสารเคลือบทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 8-10 (เบส) ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการละลายของเชลแล็ก [40 41 67] ในสัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ (รูปที่ 4.1.1) พบว่าสารเคลือบผิวทุกกลุ่มมีค่า pH เพิ่มขึ้นเมื่อค่า HLB เพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณกรด (กรดโอเลอิก pH 2.29) ลดลง และปริมาณทวีน 80 (pH 7.72) เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.1.1) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารเคลือบทุกสูตรตามระยะเวลาหลังการผลิตสารเคลือบ พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ค่า pH ของสารเคลือบทุกสูตรลดลง (รูปที่ 4.1.2) อาจเนื่องมาจากเกิดการระเหยของแอมโมเนียบางส่วนออกสู่บรรยากาศภายนอก ซึ่งการระเหยของแอมโมเนียเมื่อนำไปเคลือบผิวของผลไม้ทำให้สารเคลือบสามารถติดผิวผลไม้และไม่เกิดการหลุดเนื่องจากสารเคลือบไม่มีตัวทำละลายเหลืออยู่ [47]



รูปที่ 4.1.1 ค่า pH ของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) OS (กรดโอเลอิกผสมSDS) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ T (ทวีน 80) ที่ค่า HLB 1 5 10 และ15 ตามลำดับ ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ



รูปที่ 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารเคลือบผิวตามระยะเวลาการเก็บรักษาเงาะสูตร O (กรดโอเลอิก) OS (กรดโอเลอิกผสมSDS) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน80) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ T (ทวีน 80) ที่ค่า HLB 10 (สำหรับสารลดแรงตึงผิวผสม) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

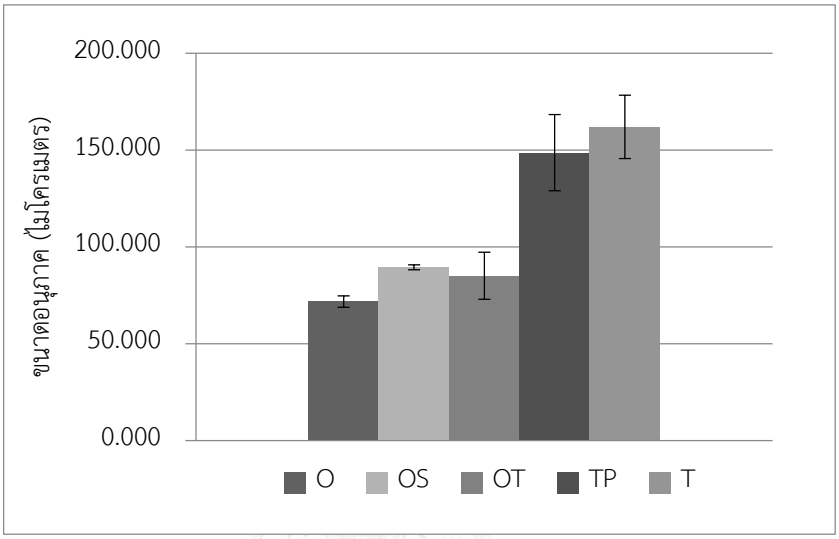
ข) ขนาดอนุภาค (Particle size)

ไขเป็นองค์ประกอบที่ไม่สามารถละลายร่วมกับสารละลายเชลแล็กได้ ทำให้ลักษณะของสารเคลือบอยู่ในรูปของคอลลอยด์หรืออิมัลชันที่มีอนุภาคไขกระจายตัวอยู่ในสารละลายเชลแล็ก ขนาดของอนุภาคไขจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของสารเคลือบและความเรียบเนียนของผิวผลไม้เมื่อเคลือบ [68] จากการทดลองผลิตสารเคลือบที่มีสารลดแรงตึงผิวต่างกัน (รูปที่ 4.1.3) พบว่า สารลดแรงตึงผิวมีผลต่อขนาดอนุภาค โดยสารลดแรงตึงผิวกลุ่มที่มีกรดโอเลอิก เช่น O OS และ OT มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันประมาน 70-90 ไมโครเมตร และมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าสารเคลือบที่ไม่มีกรดโอเลอิก เช่น TP และ T ซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 140-160 ไมโครเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fabra และคณะ ที่กล่าวว่า กรดโอเลอิกทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่น [54] เมื่อพิจารณาจากกราฟการกระจายตัวของอนุภาค (รูปที่ 4.1.4) พบว่า กรดโอเลอิกผสมกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตทำให้ขนาดอนุภาคของผลึกเล็กและมีขนาดผลึกใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang [69] อาจเนื่องจากโครงสร้างของ SDS เป็นเส้นตรงทำให้การจัดเรียงตัวล้อมอนุภาคไขร่วมกับกรดโอเลอิกเกิดได้ง่ายและทำให้ชั้นฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง (รูปที่ 4.1.7) สำหรับสูตรที่ใช้กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 พบว่าลักษณะพีคเกิดจากการผสมกันของพีคที่ใช้กรดโอเลอิกอย่างเดียวและพีคที่ใช้ทวีน 80 อย่างเดียว แต่การกระจายตัวมีแนวโน้มที่เล็กลงกว่าเดิมเมื่อนำมาผสมกัน อาจเนื่องจากโครงสร้างของกรดโอเลอิกและทวีน 80 มีความคล้ายกัน โครงสร้างประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน 18 ตัว แบบไม่อิ่มตัวมีลักษณะโค้งงอทำให้การจัดเรียงตัวล้อมรอบอนุภาคไขอาจเกิดการขัดขวางกันได้ (รูปที่ 4.1.7ก และ 4.1.7ค) จากกราฟเมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่ใช้สารลดแรงตึงผิวต่างชนิดกัน พบว่า สารเคลือบสูตร O OS และ OT ให้ขนาดอนุภาคเล็ก แต่สูตร OS พบปัญหาด้านความเป็นพิษ

การเปลี่ยนแปลงค่า HLB เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อขนาดอนุภาคของสารเคลือบ สำหรับสารลดแรงตึงผิวชนิดเดียวกันที่ค่า HLB ต่างกัน (รูปที่ 4.1.5) พบว่าเมื่อค่า HLB เพิ่มสูงขึ้นขนาดอนุภาคไขใหญ่ขึ้นแต่เมื่อค่า HLB มากกว่า 10 อนุภาคไขเฉลี่ยมีขนาดเล็กลง เนื่องจากสารเคลือบเป็นอิมัลชันประเภท น้ำมันในน้ำ ซึ่งค่า HLB ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8-18 [69] การเพิ่มค่า HLB จนถึงช่วงหนึ่งทำให้การกระจายตัวของไขเกิดได้ดีขึ้น จากผลการทดลองพบว่าสารเคลือบสูตร OT ที่ค่า HLB 12.5 มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าที่ HLB อื่น ซึ่งสอดคล้องกับ Milanovic ที่กล่าวว่า ไขคาร์นูบามีความต้องการค่า HLB ประมาณ 12 [70]

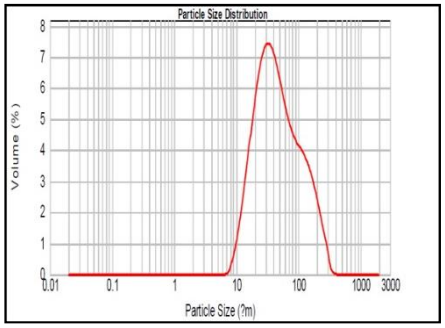
ระยะเวลาการเก็บรักษาสารเคลือบหลังการผลิตเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสารเคลือบตามเวลา ขนาดอนุภาคของสารเคลือบ (รูปที่ 4.1.6) ที่สัปดาห์ที่ 1 หลังการผลิต พบว่าสารเคลือบมีขนาดเพิ่มขึ้นจากเดิมทุกสูตร เนื่องจากความไม่คงตัวทางกายภาพของอิมัลชันทำให้เกิดการแยกชั้นครีม (Creaming) อนุภาคที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าวัฏภาคต่อเนื่อง ลอยตัวอยู่ด้านบน

และเกิดการรวมตัวกันบริเวณด้านบนของอิมัลชัน อนุภาคไขที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวล้อมรอบหรือมีไม่มากพอจึงเกิดการรวมตัวกัน ทำให้อนุภาคไขคาร์นูบาบางส่วนเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น [50] หลังจากสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษาพบว่าสารเคลือบมีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันมากในแต่ละสัปดาห์

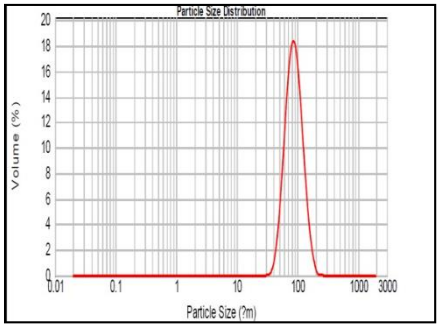


รูปที่ 4.1.3 ขนาดอนุภาคของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) OS (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน80) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ T (ทวีน80) ที่ค่า HLB 10 (สำหรับสารลดแรงตึงผิวผสม) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ
(สารเคลือบสูตร TP และ T มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสารเคลือบสูตรอื่น)

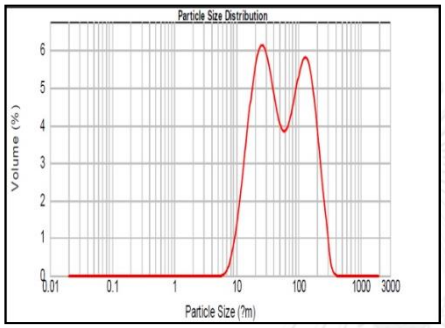
(ก)



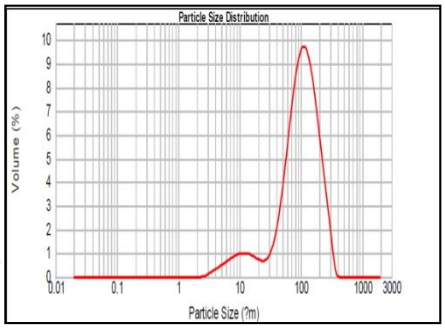
(ข)



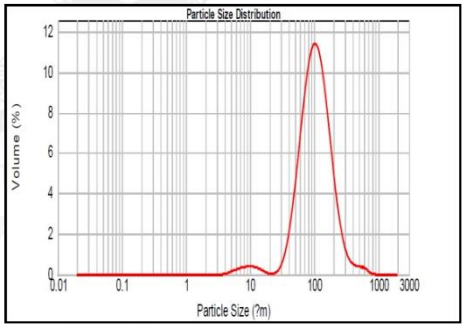
(ค)



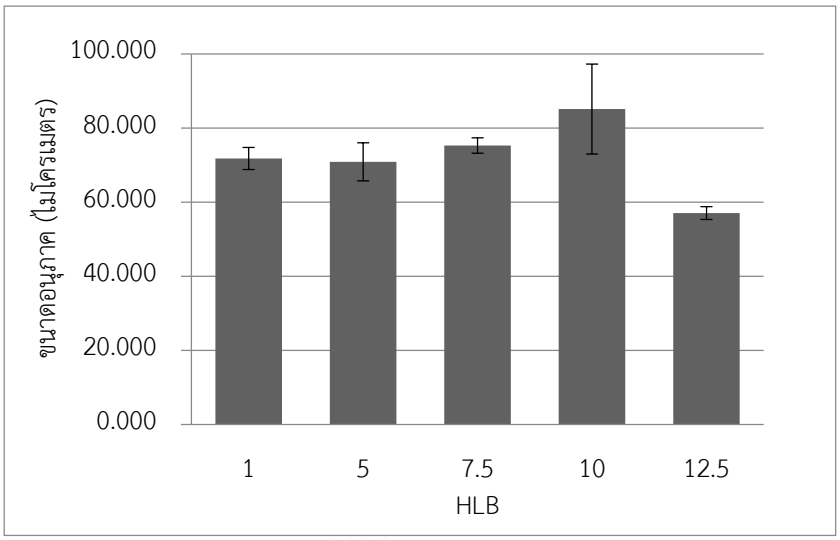
(ง)



(จ)

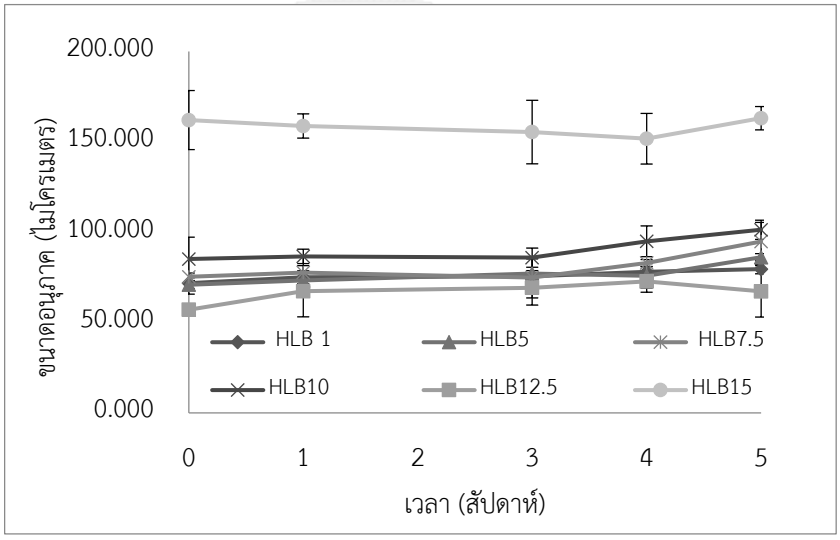


รูปที่ 4.1.4 ขนาดอนุภาค (Particle size) ของสารเคลือบผิวสูตร (ก) O (กรดโอเลอิก) (ข) OS (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต) (ค) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80) (ง) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ (จ) T (ทวีน 80) ที่ค่า HLB 10 (สารลดแรงตึงผิวผสม) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ

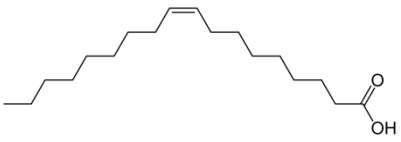


รูปที่ 4.1.5 ขนาดอนุภาคของสารเคลือบผิวสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ที่ค่า HLB 1 5 7.5 10 และ 12.5 ใช้ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ

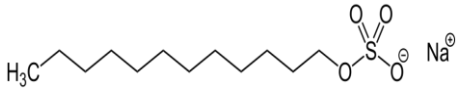
(สารเคลือบสูตร HLB 12.5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสารเคลือบสูตรอื่น)



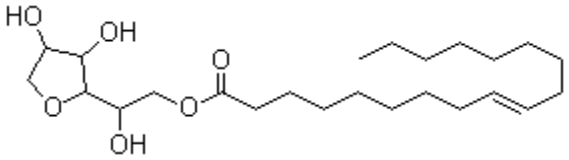
รูปที่ 4.1.6 การเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคตามเวลาของสารเคลือบผิวสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ที่ค่า HLB 1 5 7.5 10 และ 12.5 ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



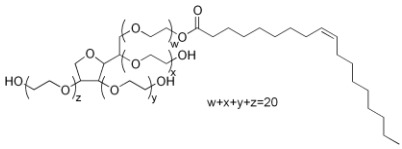
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.1.7 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด (ก) กรดโอลิอิก (ข) โซเดียมโดเดซิลซันเฟต (ค) ทวีน 80 และ (ง) สแปน 80

ค) ค่าสัดส่วนของการแยกชั้นของสารเคลือบ

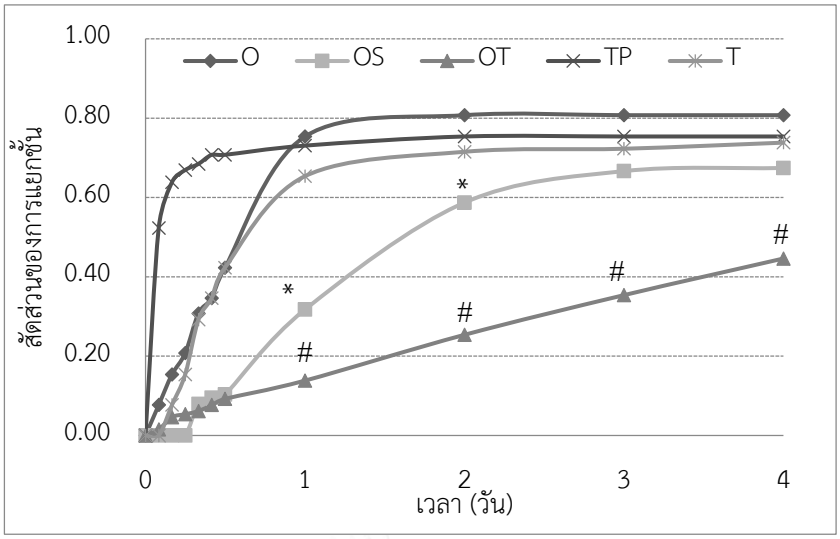
สารเคลือบจะคงตัวอยู่ได้เมื่อมีสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้ไขกระจายตัวอยู่ในสารละลายเซลแล็กไขเป็นสารไม่มีขั้ว ส่วนสารละลายมีส่วนประกอบหลักคือน้ำซึ่งมีขั้ว สารทั้งสองไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้แต่สามารถกระจายตัวได้ในลักษณะของคอลลอยด์ สารลดแรงตึงผิวจึงมีความสำคัญในการทำให้ไขคงตัวอยู่ในสารละลาย เมื่อพิจารณาการแยกชั้นของสารเคลือบระหว่างการเก็บรักษาพบว่าระบบที่มีสารลดแรงตึงผิวแตกต่างกันมีลักษณะการแยกชั้นต่างกัน (รูปที่ 4.1.8) สารเคลือบสูตร TP เกิดการแยกชั้นเร็วที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลของขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สารเคลือบสูตร OS เกิดการแยกชั้นช้าเนื่องจากขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กการรวมกลุ่มกันของอนุภาคจึงช้า สารเคลือบสูตร Oและ T มีระยะเวลาในการแยกชั้นใกล้เคียงกันแต่ผลของขนาดอนุภาคแตกต่างกัน โดยสารเคลือบสูตรที่ใช้กรดโอเลอิกมีขนาดอนุภาคประมาณ 70 ไมโครเมตร สารเคลือบสูตรที่ใช้ทวีน 80 มีขนาดอนุภาคประมาณ 160 ไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่าทวีน 80 ทำให้สารเคลือบสามารถคงตัวอยู่ได้เนื่องจากโครงสร้างของทวีน 80 ส่วนที่มีขั้วมีขนาดใหญ่จึงสามารถการกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ดี และสารเคลือบสูตร OT เกิดการแยกชั้นช้ากว่าสารเคลือบกลุ่มอื่นๆ อาจเนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กและมีทวีน 80ที่มีโครงสร้างของส่วนที่มีขั้วใหญ่

ความคงตัวของสารเคลือบเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดเดียวกันแต่ค่า HLB ต่างกัน พบว่าสารเคลือบสูตร TP ไม่มีความแตกต่างกันของความคงตัวเมื่อเปลี่ยนค่า HLB สารเคลือบสูตร OS และ

OT เกิดการแยกชั้นช้าเมื่อค่า HLB มีค่าสูง (รูปที่ 4.1.9 และ 4.1.10) โดยสูตร OT ที่ค่า HLB ที่ 12.5 มีความคงตัวมากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับขนาดอนุภาคและความเป็นอิมัลชันของไขคาร์นูบาทีมีความต้องการค่า HLB 12 [70]

จากผลการทดลองความคงตัวของสารเคลือบผิวผลไม้ที่ผลิตจากเชลแล็กและไขคาร์นูบาสูตรที่ใช้กรดโอลิอิกผสมทวีน 80 ที่ค่า HLB 12.5 เป็นสูตรที่ดีที่สุด เนื่องจากมีมีความคงตัวสูงและมีขนาดอนุภาคเล็ก

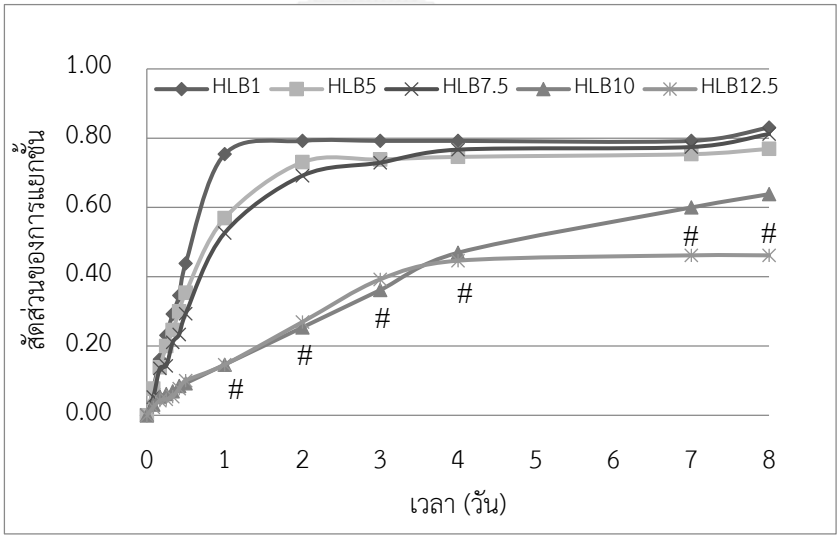
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.1.8 ค่าสัดส่วนของการแยกชั้นของสารเคลือบผิวตามเวลาการเก็บรักษาสูตร O (กรดโอเลอิก) OS (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต) OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน80) TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80) และ T (ทวีน 80) ที่ค่า HLB 10 (สารลดแรงตึงผิวผสม) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที

(*สารเคลือบสูตร OS มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสารเคลือบสูตรอื่น)

(#สารเคลือบสูตร OT มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสารเคลือบสูตรอื่น)



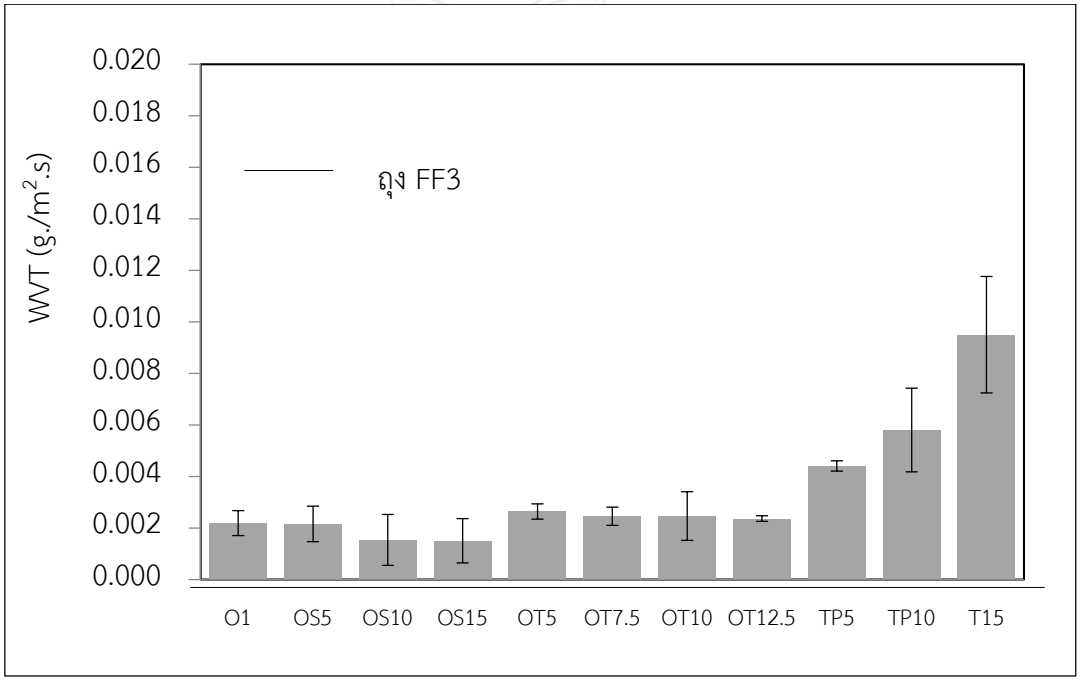
รูปที่ 4.1.9 ค่าสัดส่วนของการแยกชั้นของสารเคลือบผิวสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ที่ค่า HLB 1 5 7.5 10 และ 12.5 ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที

(#สารเคลือบสูตร OS และ OT มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสารเคลือบสูตรอื่น)

รูปที่ 4.1.10 การแยกชั้นของสารเคลือบผิวเรียงจากซ้ายไปขวา สูตร O (กรดโอเลอิก) OS5 (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 5) OS10 (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 10) OT5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 5) OT10 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 10) T15 (ทวีน 80 HLB 15) TP5 (ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 5) และ TP (ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 10) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการผลิต*สารเคลือบ*

ง) การซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT)

ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ของสารเคลือบผิวบ่งบอกถึงความสามารถของสารเคลือบเมื่อนำไปใช้เป็นเคลือบผลไม้ว่าจะสามารถลดการสูญเสียน้ำได้ และจากผลการทดลองพบว่า (รูปที่ 4.1.11) สารเคลือบสูตร O OS และ OT มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าการซึมผ่านของไอน้ำสอดคล้องกับขนาดอนุภาคเนื่องจากขนาดอนุภาคของสารทั้งสามสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน สารเคลือบผิวสูตร TP และT มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำที่สูงกว่ากลุ่มอื่นเนื่องจากมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ากลุ่มอื่นๆถึงสองเท่า อนุภาคที่มีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ว่างระหว่างอนุภาคน้อยการซึมผ่านของไอน้ำจึงเกิดขึ้นได้ยาก เมื่ออนุภาคของสารเคลือบมีขนาดใหญ่ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมาก การซึมผ่านของไอน้ำจึงเกิดขึ้นได้ดีกว่า [50]



รูปที่ 4.1.11 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ของสารเคลือบผิวสูตร O1 (กรดโอเลอิก HLB 1) OS5 (กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 5) OS10(กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 10) OT5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 5) OT7.5 (กรดโอเลอิก

ผสมทวีน 80 HLB 7.5) OT10 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 10) OT12.5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 12.5) TP5 (ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 5) TP10 (ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 10) และ T15 (ทวีน 80 HLB 15) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที

(สารเคลือบสูตร TP5 TP10 และ T15 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสารเคลือบสูตรอื่น)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า สารเคลือบผิวสูตรO OSและ OT มีคุณสมบัติดีกว่าสารเคลือบสูตร TP และ T เมื่อพิจารณาจาก ความคงตัว ขนาดอนุภาค ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) และลักษณะทางกายภาพที่สังเกตเห็นด้วยตา แต่เนื่องจาก SDS มีความเป็นพิษไม่สามารถใช้ในอาหารได้ สูตร OS จึงยังไม่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้กับสารเคลือบผิวผลไม้ แต่อาจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับสารเคลือบวัสดุอื่นๆในอนาคตได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้สูตร O ที่ค่า HLB 1 และ OT ที่ค่า HLB 12.5

4.1.1.2. อิทธิพลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์เซอร์ต่อคุณสมบัติของสารเคลือบ

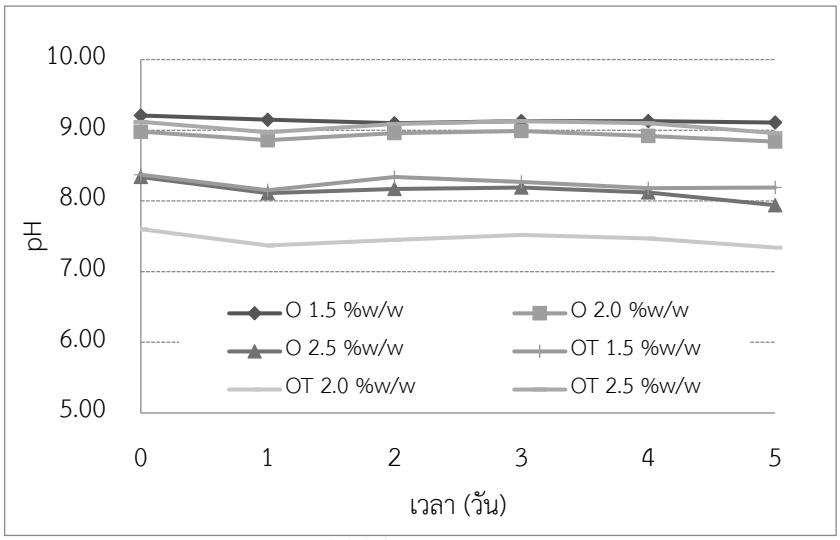
จากตอนที่ 4.1.1.1 เลือกสูตรที่เหมาะสมจากคุณสมบัติของ ขนาดอนุภาค ความเสถียร และค่าการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งได้แก่สารเคลือบสูตร O1 และ OT12.5 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ที่ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

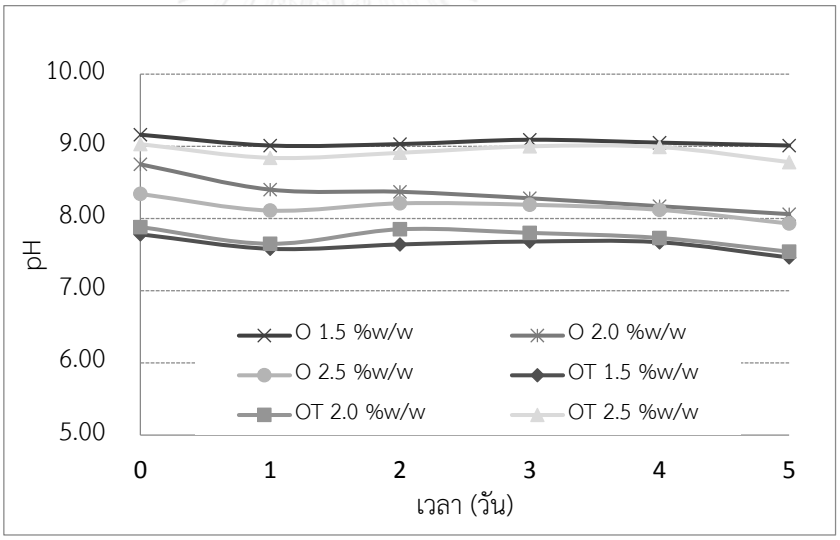
ก) ค่า pH

ค่า pH ของสารเคลือบ สูตร O1 ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล ที่ความเร็วรอบ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที พบว่าค่า pH ลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นสูตร OT12.5 ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ที่ความเร็วรอบ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที ค่า pH เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น แสดงว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อค่า pH ของสารเคลือบ

การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารเคลือบสูตรต่างๆในแต่ละสัปดาห์พบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH ของสารเคลือบทุกสูตรลดลง (รูปที่ 4.1.12 4.1.13)



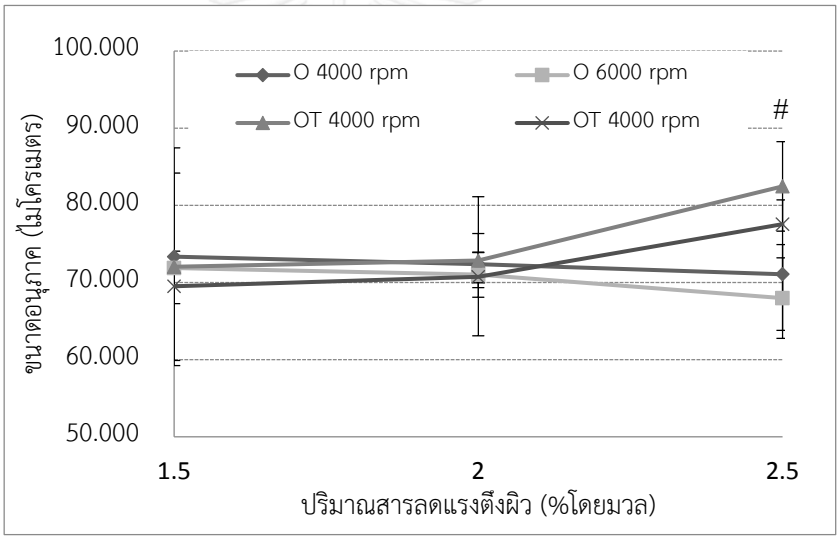
รูปที่ 4.1.12 ค่า pH ของสารเคลือบผิวสูตร กรดโอเลอิก 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.1.13 ค่า pH ของสารเคลือบผิวสูตร กรดโอเลอิก 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที

ข) ขนาดอนุภาค (Particle size)

ขนาดอนุภาคของสารเคลือบ (รูปที่ 4.1.14) ทั้งสูตร O1 และ OT12.5 พบว่า ขนาดอนุภาคลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์จาก 4,000 เป็น 6,000 รอบต่อนาที เนื่องจากความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นทำให้แรงเฉือนจากการหมุนของโรเตอร์ในสเตเตอร์เพิ่มขึ้น [71] และผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว พบว่า สารเคลือบสูตร O มีขนาดเล็กลงเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น เกิดจากการจัดเรียงเป็น micelle ล้อมรอบไขคาร์นูบา ทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดี [72] ในทางตรงกันข้าม พบว่าสารเคลือบสูตร OT12.5 ขนาดอนุภาคไขเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากทวีน 80 เป็นสารที่ทำให้เกิดฟองเมื่อใส่ในปริมาณมากทำให้เกิดฟองในขั้นตอนการโฮโมจีไนส์ อนุภาคไขที่ลอยอยู่ในฟองจึงไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการโฮโมจีไนส์เซชันได้ อีกทั้งส่วนของฟองที่อยู่ด้านบนมีอุณหภูมิลดลงเร็วกว่าทำให้เกิดการรวมตัวของไขขึ้น (รูปที่ 4.1.14)

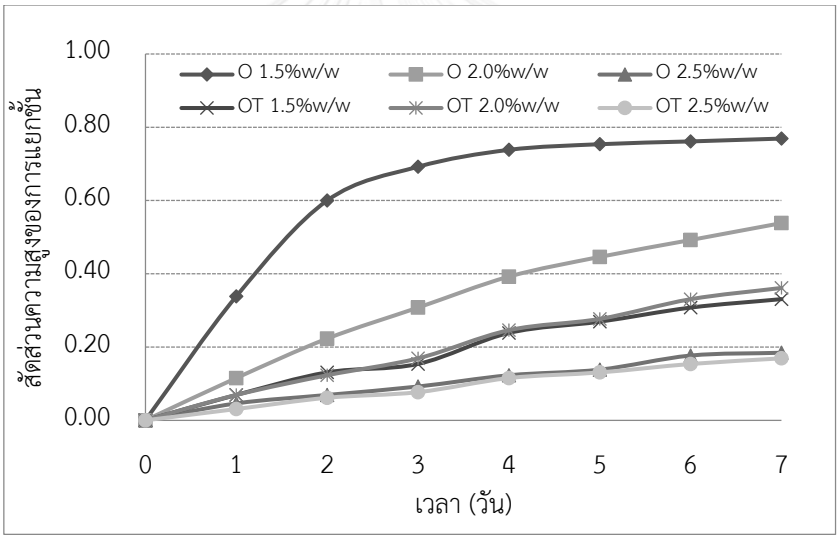


รูปที่ 4.1.14 ขนาดอนุภาค (Particle size) ของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) ที่ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที และสูตร OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80) ที่ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ในสัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ (#สารเคลือบสูตร OT 4000 และ OT 6000 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสารเคลือบสูตร O 4000 และ O 6000)

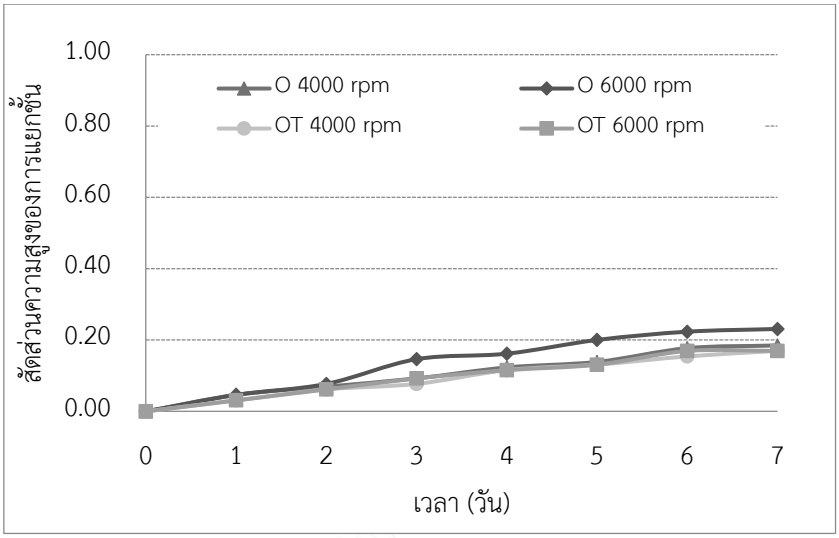
ค) ความคงตัวของสารเคลือบ (Stability)

ความคงตัวของสารเคลือบผิวที่โฮโมจีไนส์ด้วยความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที (รูปที่ 4.1.15) พบว่าสูตร O1 ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลมีความคงตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้นทำให้การกระจายตัวของไขในสารละลายเซลแล็ก สูตร OT12.5 การแยกชั้นเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทั้ง 3 ความเข้มข้นและความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เกิดการแยกชั้นช้าที่สุดและใกล้เคียงสูตร O1 ที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

สำหรับสารเคลือบที่มีความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลแต่มีความเร็วรอบต่างกันของทั้ง 2 สูตร (รูปที่ 4.1.16) ไม่พบความแตกต่างของการแยกชั้นแสดงว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อความคงตัวสารมากกว่าความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีหน้าที่สำคัญที่ทำให้ไขกระจายตัวในสารละลายเซลแล็ก



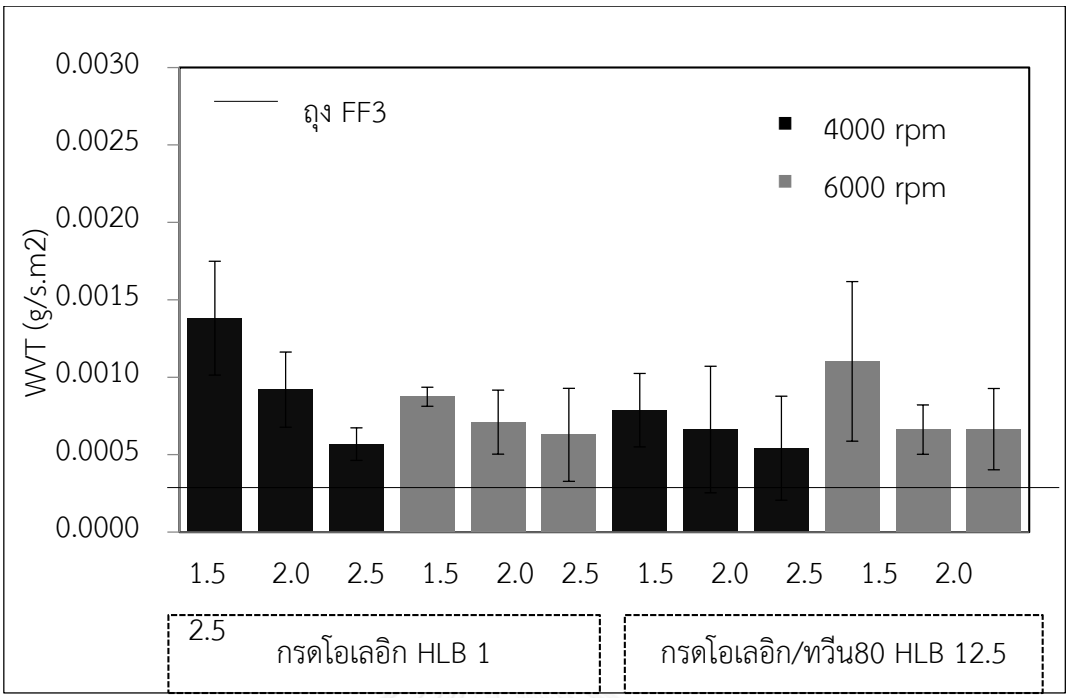
รูปที่ 4.1. 15 ความคงตัว (Stability) ของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) และสูตร OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80) ที่ความเข้มข้น 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โฮโมจีไนส์ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.1.16 ความคงตัว (Stability) ของสารเคลือบผิวสูตร O (กรดโอเลอิก) และสูตร OT (กรดโอเลอิกผสมทวีน80) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โฮโมจีไนส์ที่ความเร็วรอบ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที

ง) การซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT)

ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ของสารเคลือบผิว (รูปที่ 4.1.17) สูตร O1 ทั้งสองความเร็วรอบ มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลของขนาดอนุภาคที่ลดลงและความคงตัวที่มากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ในขณะที่ค่าการซึมผ่านของไอน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์เพิ่มขึ้น สูตร OT12.5 พบว่าค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลของขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงขึ้นขนาดอนุภาคที่ใหญ่อาจเป็นแค่ไขบางส่วนลอยอยู่ในฟองขณะโฮโมจีไนส์ แต่อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเล็กสังเกตจากผลของความคงตัวที่มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการซึมผ่านของไอน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสูตร O1 ซึ่งสอดคล้องกับผลของขนาดอนุภาคไข อนุภาคที่มีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ว่างระหว่างอนุภาคน้อยการซึมผ่านของไอน้ำจึงเกิดขึ้นได้ยาก เมื่ออนุภาคของสารเคลือบมีขนาดใหญ่ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมาก การซึมผ่านของไอน้ำจึงเกิดขึ้นได้ดีกว่า [50]



รูปที่ 4.1.17 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ของสารเคลือบผิวสูตร O1 (กรดโอเลอิก HLB 1) OT 12.5 (กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 12.5) ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 4 ของการผลิตสารเคลือบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

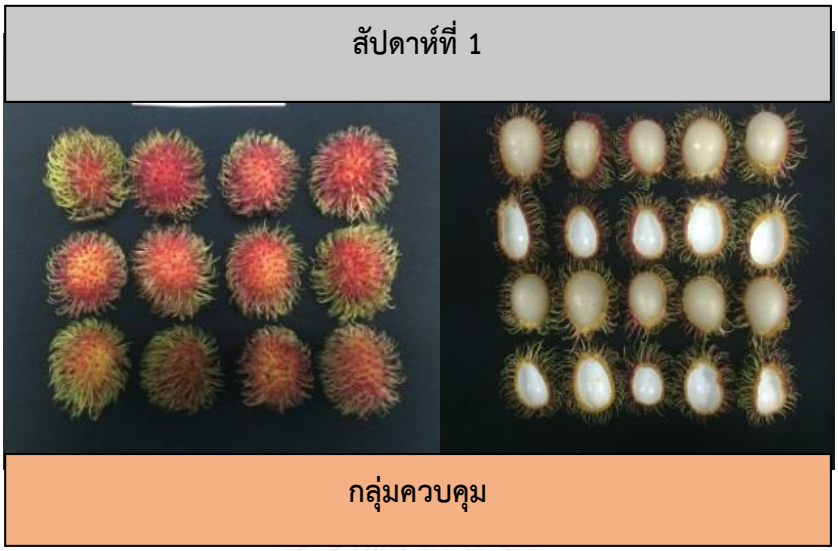
4.1.2 ประสิทธิภาพของสารเคลือบในการรักษาเงาะโรงเรียนระดับห้องปฏิบัติการ

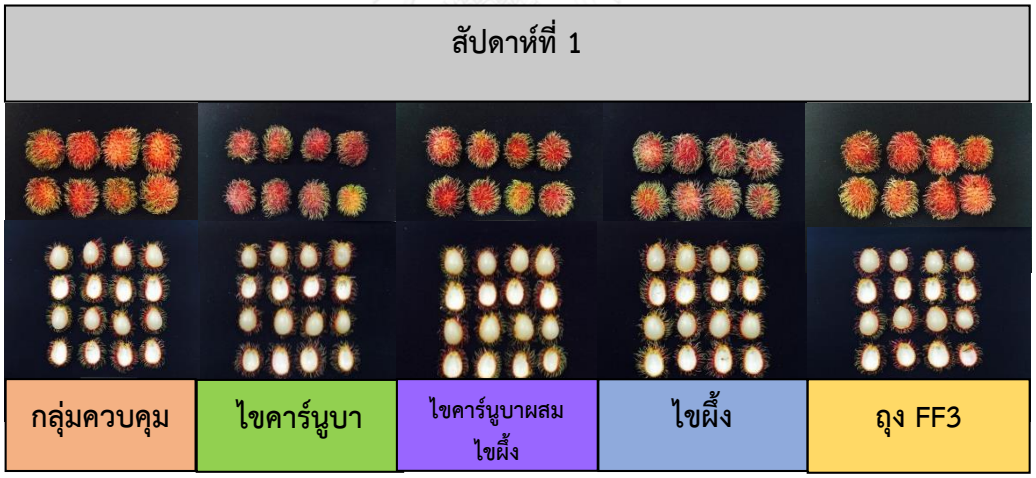
จากขั้นตอนที่ 4.1.1.2 เลือกสารเคลือบสูตร OT12.5 และ O1 ที่ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพในการรักษาเงาะโรงเรียนระดับห้องปฏิบัติการ เทียบกับกลุ่มควบคุม เงาะบรรจุถุงพลาสติก FF3 และเงาะเคลือบสารเคลือบสูตร O1 ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งเป็นสูตรที่เหมาะสมในทำการทดลองก่อนหน้า ดังนั้นการทดลองในขั้นตอนนี้จึงประกอบไปด้วย 3 กลุ่มหลักดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2 เคลือบเงาะด้วยสารเคลือบประกอบด้วย สูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (สูตรเดิม) สูตร O1 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และสูตร OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และ กลุ่มที่ 3 เงาะบรรจุถุงพลาสติก FF3

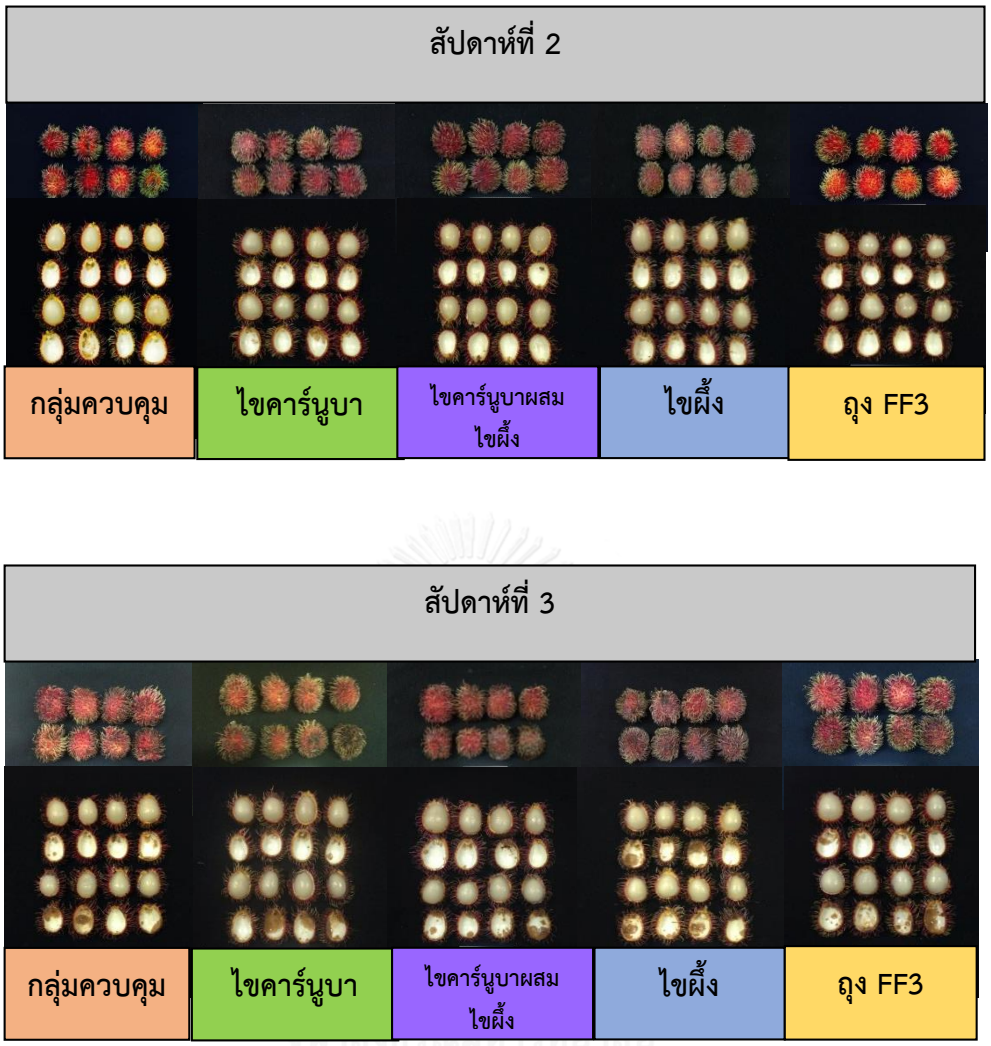
4.1.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

ก) ลักษณะภายนอกและภายในเงาะ

การเคลือบผลเงาะด้วยเชลแล็กดัดแปลงด้วยไขคาร์นูบา 5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้กรดโอเลอิก 1.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล และใช้กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล ในวันที่ 0 (วันที่ดำเนินการเคลือบ) มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างจากผลที่ไม่ผ่านการเคลือบ(Control) ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวไม่ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของผลเงาะในตอนแรก แต่เมื่อเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 1 พบว่า การเคลือบผิวผลเงาะด้วยสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์ O1 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล มีลักษณะภายนอกปรากฏไม่แดงสดเท่ากรณีที่ไม่เคลือบและบรรจุในถุงพลาสติก เนื่องจากเกิดคราบขาวและจุดขาวของไขที่ผิวและขนของผลเงาะ เห็นได้จากสีเปลือกและสีขนเงาะที่ดูไม่สด แต่หลังจากผ่าผลเงาะเพื่อดูลักษณะภายใน พบว่าผลเงาะที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร O1 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลและบรรจุถุง FF3 สามารถรักษาลักษณะเนื้อปรากฏได้ดีกว่ากลุ่มอื่น ๆ ที่เป็นเช่นนี้เพราะ การเคลือบผิวไปปิดปากใบที่อยู่บนเปลือกและขนเงาะจำนวนมาก ส่วนการบรรจุถุงพลาสติก ทำให้สภาพภายในมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตผลเคลื่อนที่ออกได้น้อยลงทำให้ชะลอการเปลี่ยนแปลงการเกิดขนและเปลือกดำ ทั้งนี้การทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสมที่ทำให้ผลเงาะยังคงอยู่ในสภาพที่ดีคือ 2 สัปดาห์ เนื่องจากในสัปดาห์ที่ 3 เงาะเริ่มเกิดการเน่าเสีย นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สีขนของผลเงาะ มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองส้มเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น (สัปดาห์ที่ 3) สีขนและสีเปลือกภายในผลเงาะเปลี่ยนเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง สาเหตุที่ทำให้ผลเงาะเป็นเช่นนี้คือการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากผลเงาะมีโครงสร้างของเปลือกที่เป็นขน ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำได้เป็นอย่างดี [40]


สัปดาห์ที่ 1
กลุ่มควบคุม


สัปดาห์ที่ 1
กลุ่มควบคุม
ไขคาร์นูบา
ไขคาร์นูบาผสม ไขผึ้ง
ไขผึ้ง
ถุง FF3



Chulalongkorn University

รูปที่ 4.1.18 ลักษณะภายนอก และภายในของผลเงาะหลังการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบด้วยสารเคลือบสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล O1 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และบรรจุถุง FF3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส นาน 3 สัปดาห์

ข) สี

สีเปลือกนอกของผลเงาะมีค่าความสว่าง (L*) (รูปที่ 4.1.19) เพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรกและลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 ผลเงาะที่เคลือบด้วยสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์ O1 2.5 เปอร์เซ็นต์ OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และเงาะที่บรรจุถุง FF3 มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างช้ากว่าเงาะกลุ่มที่ไม่มีการเคลือบสาร ขณะที่ค่าสีแดง (a*) ขึ้นลงเล็กน้อยจากค่าเริ่มต้น ค่า (a*) ในทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน สำหรับค่าสีเหลือง (b*) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีเหลือง-ส้มของผลเงาะ พบว่าในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาเงาะที่ไม่เคลือบผิวมีค่า b* ลดลงมากกว่ากลุ่มอื่น แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวเงาะหรือการบรรจุถุงพลาสติก FF3 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ การลดลงของค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง บอกให้ทราบถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวผลเงาะเป็นสีเข้มมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้เพราะผลเงาะมีการสูญเสียน้ำออกทางปากใบซึ่งมีจำนวนมากกว่าล้านเซลล์ทำให้ผลเงาะเกิดอาการเหี่ยวแห้ง และเกิดการเปลี่ยนสีผลจากสีเหลืองส้มหรือสีแดงไปเป็นสีที่เข้มขึ้น [73] จนในที่สุดมีสีดำทั่วทั้งผลในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา

ค่าความสว่าง (L*) ของสีเปลือกด้านในผลเงาะเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และมีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์ที่ 2 โดยผลเงาะทุกกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) มีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 2 สัปดาห์แรกและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 โดยสารเคลือบสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวลและเงาะที่ไม่เคลือบมีการเปลี่ยนแปลงของสีแดงมากที่สุด สำหรับค่าสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น แสดงว่าสีเปลือกด้านในของผลเงาะจากสีขาวไปเป็นสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างของค่า (b*) ในทุกกลุ่มการทดลองในช่วง 2 สัปดาห์แรก (รูปที่ 4.1.20) ทั้งนี้เนื่องมาจากผลเงาะมีการสูญเสียน้ำออกจากเปลือกและขนจำนวนมาก ทำให้เซลล์พืชสูญเสียความเต่งเซลล์เกิดความเสียหายไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ได้ ทำให้เนื้อเยื่อของเปลือกเงาะด้านในเกิดอาการสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น [7] โดยในสัปดาห์ที่ 3 เงาะที่เคลือบด้วยสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์ และเงาะที่ไม่เคลือบมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของสีแดง

สีเนื้อผลเงาะ มีค่าความสว่าง (L*) ที่มีแนวโน้มที่ลดลงจากเริ่มต้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 โดยทุกกลุ่มการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่ค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และมีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 แต่ไม่พบความแตกต่างกัน สำหรับค่าสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มลดลงจากค่าเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าสีเนื้อมีการพัฒนาจากสีขาวใสไปเป็นสีเข้มมากขึ้น นอกจากนั้นเมื่อเก็บรักษาเงาะเป็นเวลานานขึ้นสีเนื้อของเงาะมีการเปลี่ยนเป็นสีขาวใสออกเหลืองเพิ่มขึ้น และพบว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสารเคลือบสูตรอื่นๆ (รูปที่ 4.1.21)

ค) การเกิดสีขนดำ

คะแนนการเกิดสีขนดำของเงาะ (รูปที่ 4.1.22) พบว่าเงาะที่ถูกเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และOT12.5 มีคะแนนสีขนดำลดลงมากกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ เนื่องจากสารเคลือบสองกลุ่มนี้เกิดคราบขาวบริเวณเปลือกและขนของเงาะทำให้เงาะไม่แดงสด การเคลือบด้วยสารเคลือบสูตร O1 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล มีค่าไม่แตกต่างจากเงาะไม่เคลือบผิว และเงาะบรรจุถุงพลาสติก เนื่องจากการเกิดคราบขาวหรือจุดขาวที่เปลือกและขนของเงาะน้อยกว่ากลุ่มที่ใช้ O1 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และ OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล แต่สามารถสังเกตเห็นคราบที่เกิดขึ้น

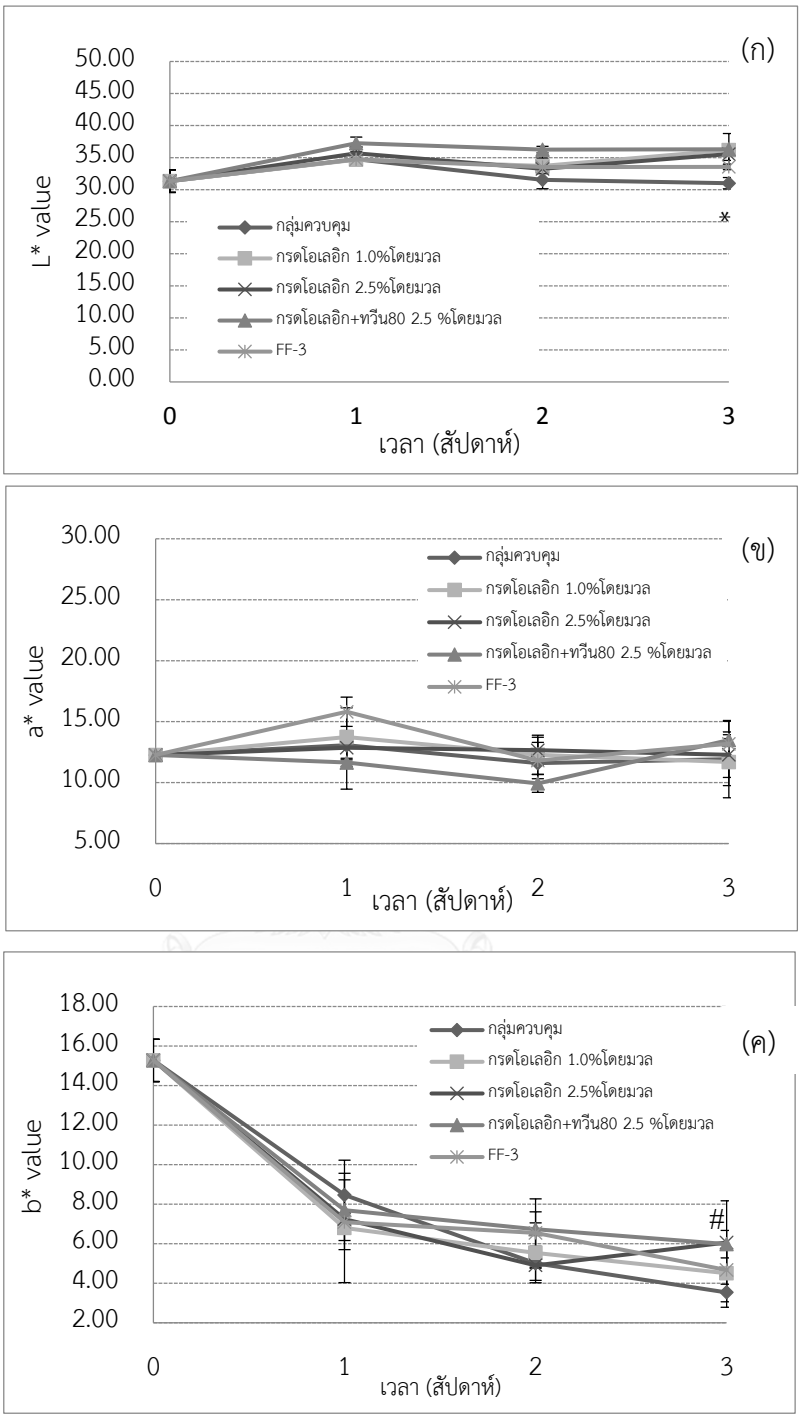
ง) การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยพบว่าผลเงาะที่บรรจุถุง FF3 มีการสูญเสียน้ำหนักในสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 0.93 1.51 และ 2.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลเงาะที่เคลือบผิวและผลเงาะกลุ่มที่ไม่เคลือบ (control) ทั้งนี้เนื่องจากการยอมให้ไอน้ำผ่านเข้าออกจากถุงพลาสติก (WVT) ต่ำ ทำให้สภาพภายในมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ส่งผลให้น้ำที่อยู่ในผลเคลื่อนที่ออกได้น้อยลง

จ) ความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อของผลเงาะทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มลดลงในทุกสัปดาห์ของการเก็บรักษา และพบว่าเงาะที่เคลือบผิวและเงาะที่บรรจุถุง FF3 ให้ความแน่นเนื้อที่สูงกว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบ (control) ในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา โดยสูตร OT12.5 O1 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และเงาะบรรจุถุงพลาสติกให้ค่าความแน่นเนื้อที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่มในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 3 (รูปที่ 2.1.24)

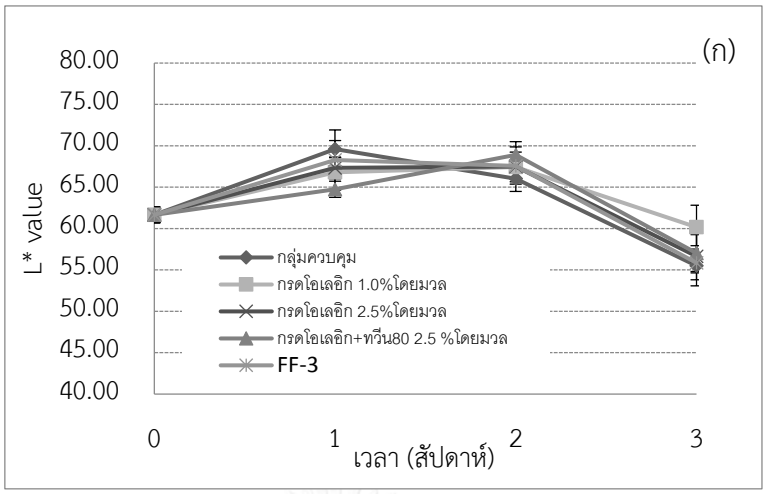
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

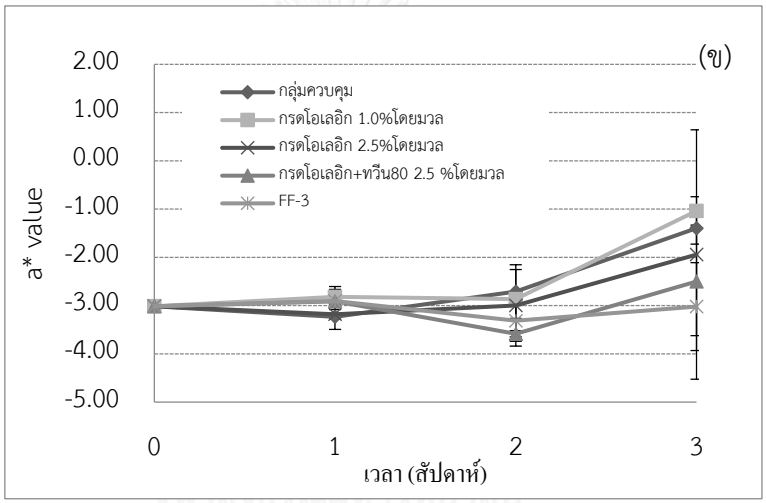


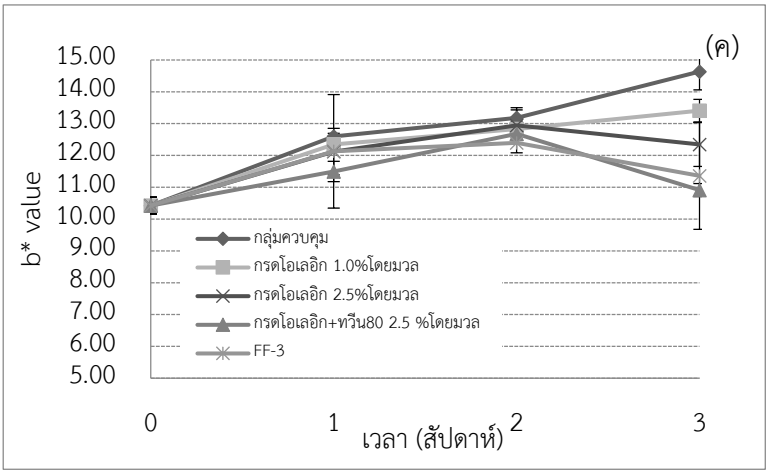
รูปที่ 4.1.19 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกผลเงาะกลุ่มควบคุม เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

*กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

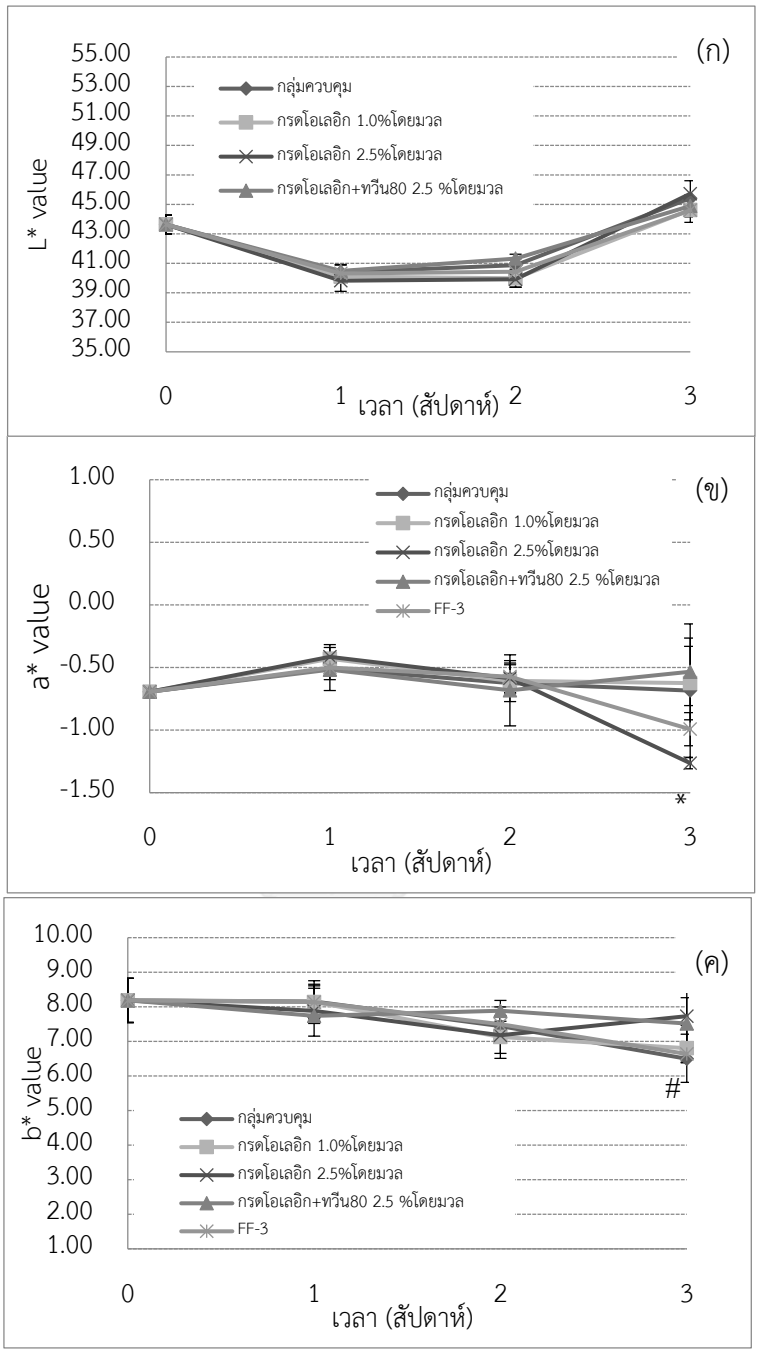
#สารเคลือบสูตรกรดโอเลอิ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวลและ กรดโอเลอิ/ทวีน 80 2.5 เปอร์เซ็นต์โดดยมวล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น







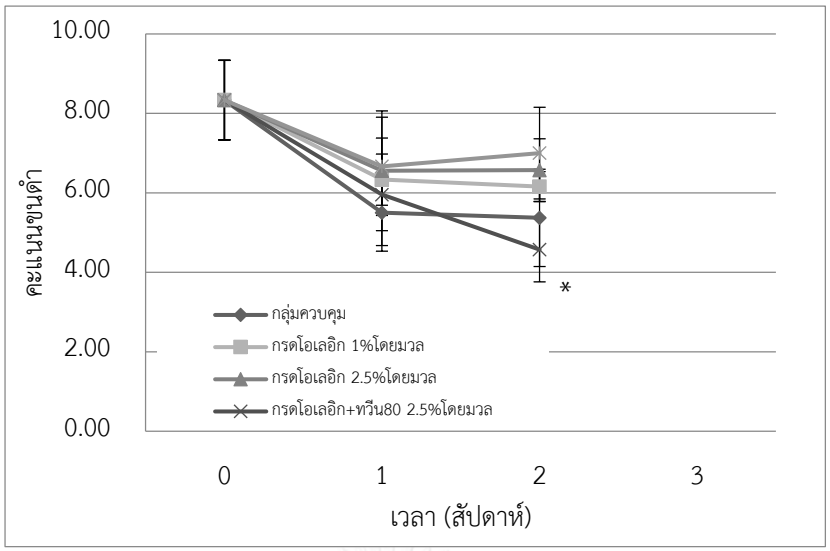
รูปที่ 4.1.20 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกด้านในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์



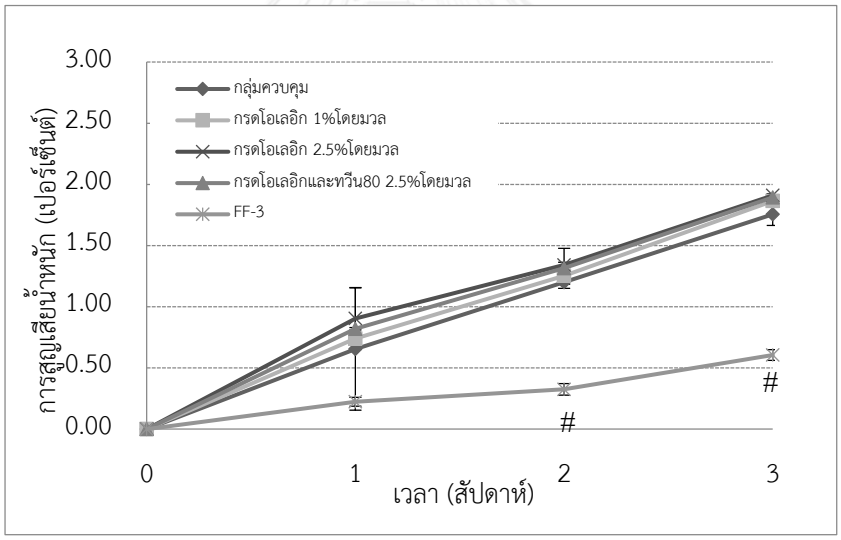
รูปที่ 4.1.21 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเนื้อผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

*เงาะสูตรกรดโอเลอิก 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และบรรจุถุง FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

#สารเคลือบสูตรกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลและ กรดโอเลอิ/ทวีน 80 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น



รูปที่ 4.1.22 คะแนนการเกิดขนดำ โดย 0 หมายถึง ขนไม่ดำดำ และ 9 หมายถึง ขนไม่ดำ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control)) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

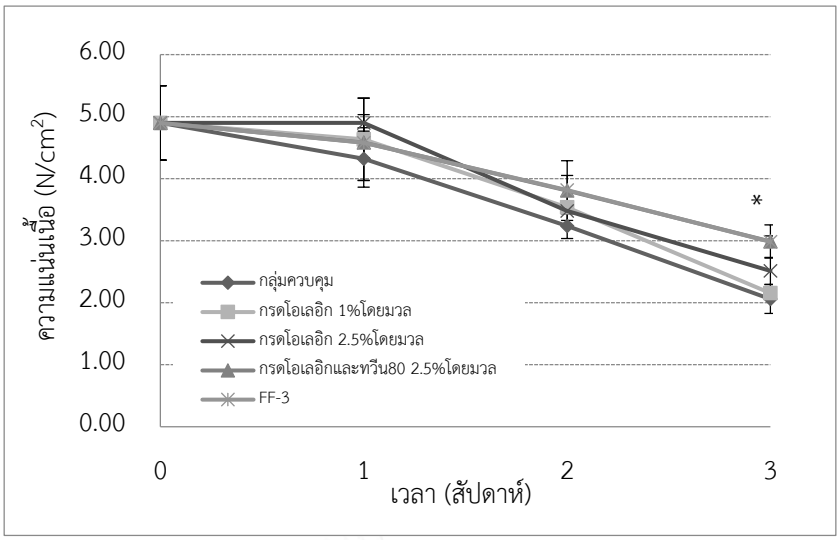


รูปที่ 4.1.23 การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

*เงาะสูตรกรดโอเลอิ/ทวีน 80 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

#เงาะบรรจุถุง FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P≤0.05)



รูปที่ 4.1.24 ความแน่นเนื้อของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

*เงาะสูตรกรดโอเลอิ/ทวีน 80 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลและบรรจุถุง FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

4.1.2.2 ลักษณะทางเคมี

ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทีไทเทรตได้ (TSS/TA)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) (รูปที่ 4.1.25) มีการเปลี่ยนแปลงทุกสัปดาห์ โดยมีแนวโน้มขึ้นๆลงๆทุกกลุ่มการทดลอง อย่างไรก็ตามการทดลองไม่พบแนวโน้มของความแตกต่างที่ชัดเจนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเงาะจัดเป็นผลไม้จำพวก non-climacteric ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเกิดขึ้นน้อยภายหลังจากการเก็บเกี่ยว [73]

ข) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และเอทิลีน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจน (O_2) ผลผลิตจะใช้ในกระบวนการหายใจของผลเงาะที่บรรจุถุงพลาสติก FF3 จะมีปริมาณออกซิเจนที่ลดลงมากกว่าสารเคลือบกลุ่มอื่นๆและมากว่ากลุ่มไม่เคลือบ อาจเป็นเพราะมีการใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ออกซิเจนที่มีอยู่อย่างจำกัดภายในถุงลดน้อยลง

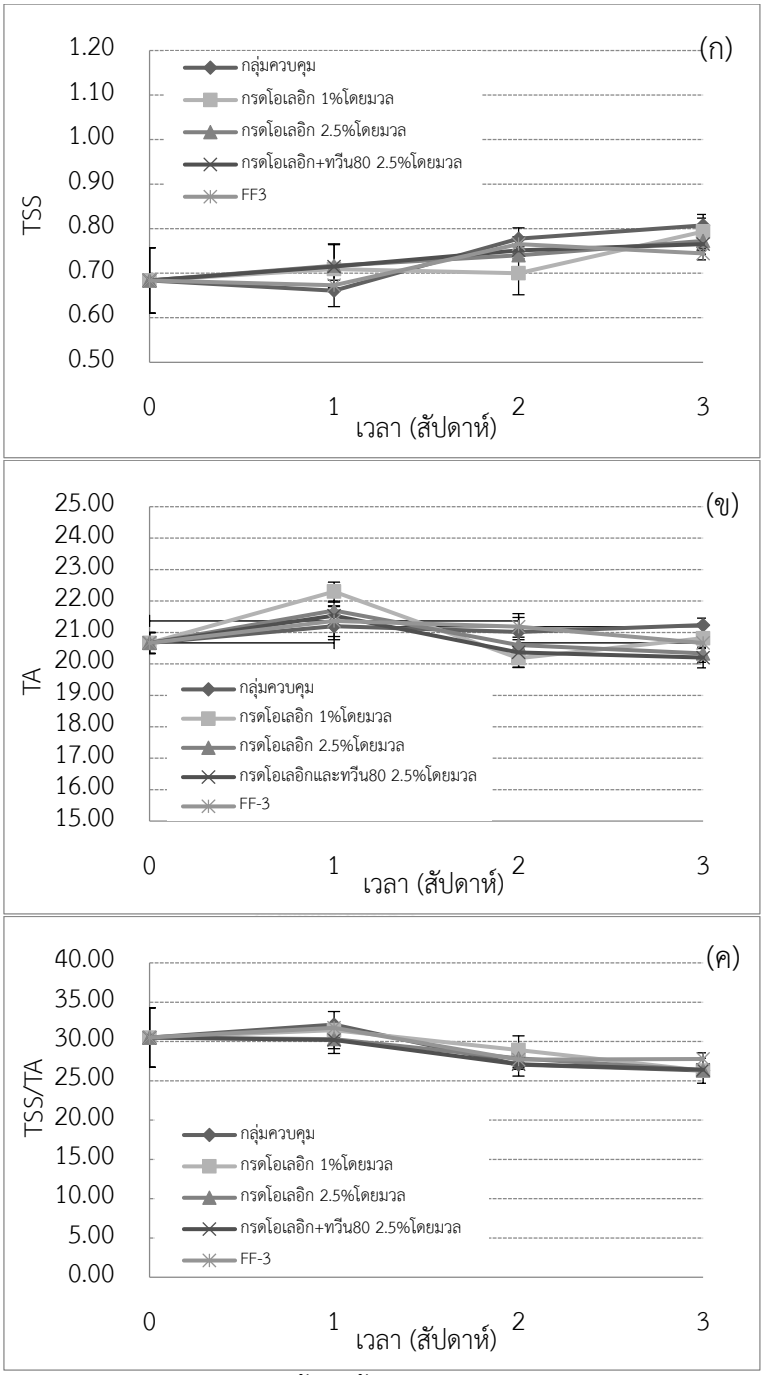
การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งปล่อยออกมาในกระบวนการหายใจของผลเงาะที่บรรจุถุงพลาสติก FF3 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของผลผลิตมากกกว่ากลุ่มอื่นๆ อาจเป็นเพราะเกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาเรื่อย ๆ ตลอดการเก็บรักษาซึ่งถูกกักไว้ภายในถุงพลาสติกที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านเข้าออกค่อนข้างยาก (รูปที่ 4.1.26) จึงทำให้สามารถตรวจวัดได้มาก และนอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ อาจเกิดจากความผิดปกติทางสรีระของเงาะ เช่นบาดแผล หรือการเน่าเสีย ส่งผลให้มีอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น [73] ความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 กลุ่ม Control และกลุ่มที่บรรจุถุงพลาสติก FF3 มีปริมาณ C_2H_4 สะสมสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ

ค) ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนภายในผล

ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในผลมีค่าขึ้นลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา และไม่พบความแตกต่างกันของเงาะที่ไม่เคลือบ เคลือบสารเคลือบผิวและเงาะที่บรรจุถุงพลาสติก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารเคลือบและถุงพลาสติกมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ความเข้มข้นของก๊าซที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน

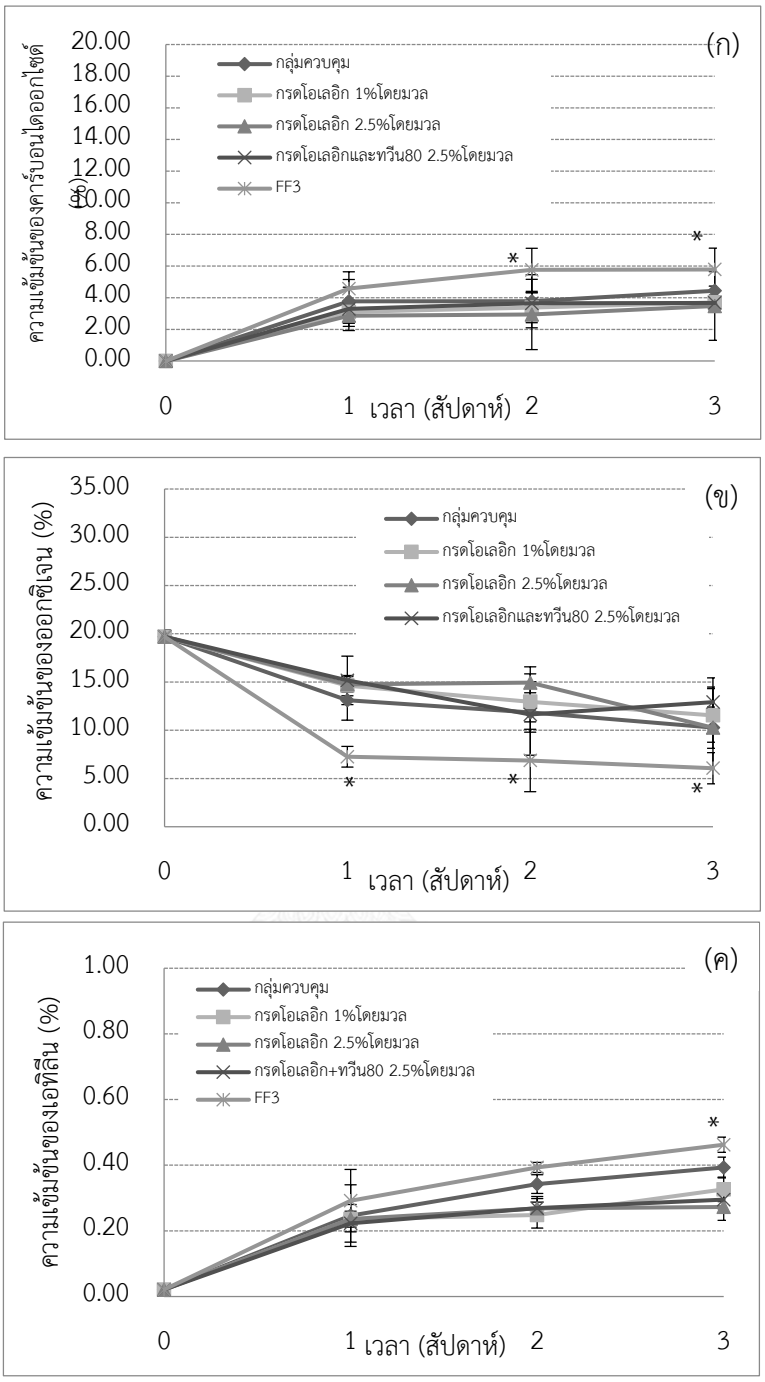
ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และมีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์ที่ 2 แล้วเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการหายใจของเงาะเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้น มีการผลิตและสะสมอยู่ภายในเป็นจำนวนมากจึงทำให้สามารถตรวจวัดได้มาก และนอกจากนี้แล้วการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์อาจเกิดจากความผิดปกติทางสรีระของเงาะ เช่นบาดแผล หรือการเน่าเสีย ส่งผลให้มีอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น [73]

ความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนมีค่าสูงขึ้นในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาและหลังจากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา เงาะที่ไม่เคลือบ (Control) มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 1และ 2 แต่สำหรับกลุ่มอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน การเพิ่มขึ้นของก๊าซเอทิลีนในสัปดาห์แรกอาจเกิดจากการกระตุ้นเนื่องจากความเครียดจากการจัดการผลผลิตหรือจากการเก็บรักษา และหลังจากนั้นจนกระทั่ง ถึงสัปดาห์ที่ 3 การผลิตเอทิลีนลดลง(รูปที่ 4.1.27) เนื่องจากการเก็บเงาะในสภาพดัดแปลงบรรยากาศจะทำให้มีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นตัว Competitive inhibitor เข้าไปแทนที่ Active site ของเอทิลีน และขัดขวางการทำงานของเอทิลีน โดยแย่งเอทิลีนจับกับตัวรับ [74]



รูปที่ 4.1.25 (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และ (ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TSS/TA) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

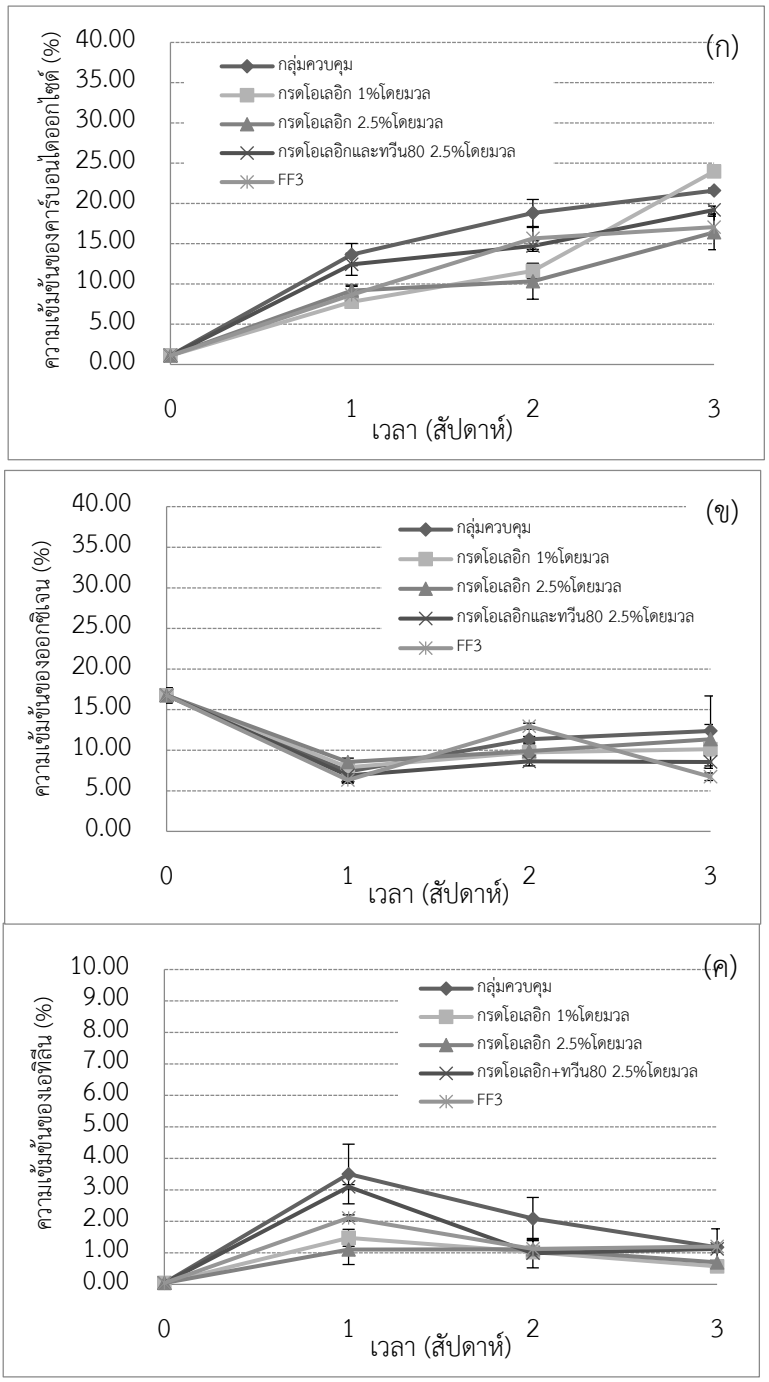
ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.1.26 (ก) ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ข) ความเข้มข้นออกซิเจน (O_2) และ (ค) ความเข้มข้นเอทิลีน (C_2H_4) ของเงาะกลุ่มควบคุม เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

*เงาะบรรจุถุง FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.1.27 (ก) ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ข) ความเข้มข้นออกซิเจน (O_2) และ (ง) ความเข้มข้นเอทิลีน (C_2H_4) ภายในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

4.1.2.3 ความพึงพอใจของผู้บริโภค

การตรวจสอบคุณภาพในการรับประทานถูกประเมินทั้งหมด 8 คน โดยใช้แบบสอบถาม ผู้ชิมสามารถรับรู้กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสได้ในเวลาเดียวกัน โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นการทดสอบจาก คุณลักษณะภายนอก (สีเปลือก) ความแฉะ ความกรอบ ความหวาน กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบของผู้ทดสอบชิม ซึ่งค่าทดสอบสามารถทดสอบได้ในคราวเดียวต่างจากค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ความเข้มสีต่างๆ ที่ต้องทำการแยกทดสอบเท่านั้น

ก) ลักษณะภายนอก (สีขนและเปลือก)

สีเปลือกเป็นสิ่งแรกที่ผู้ทดสอบชิมสังเกตเห็น เมื่อต้องการซื้อสินค้า ซึ่งลักษณะสีผลและขนของเงาะจำเป็นต้องมีลักษณะที่ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถเห็นความแตกต่างของการประเมินสีขนว่าถูกเคลือบ คะแนนสีขนและเปลือกจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดการสุก โดยในสัปดาห์ที่ 1 เงาะที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยสูตร OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล คะแนนของสีเปลือกและสีขนน้อยกว่า เนื่องจากเกิดขนเปลือกดำกว่าเงาะที่เคลือบด้วยสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์ O1 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และเงาะบรรจุถุงพลาสติก และยังพบว่าเงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตร OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล มีลักษณะของคราบขาวติดที่เปลือกและขนของผลเงาะ เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่าเงาะทุกทรีทเมนต์มีคะแนนลดลงจากสัปดาห์ที่ 1 และมีแนวโน้มใกล้เคียงเดิม โดยเงาะที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยสูตร OT12.5 2.5เปอร์เซ็นต์ โดยมวล มีคะแนนต่ำสุด ส่วนเงาะที่เคลือบด้วยสูตร O1 พบว่า ที่ 2.5เปอร์เซ็นต์โดยมวล มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและขนช้ากว่าที่ 1.0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวทำให้สารเคลือบมีขนาดอนุภาคเล็กลง มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น การปิดปากใบที่มีเป็นล้านเซลล์บริเวณเปลือกและขนของผลเงาะ ทำได้ดีกว่าทำให้เงาะมีเปลี่ยนแปลงช้า (รูปที่ 4.1.28) [75]

ข) ความแฉะ

เงาะเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะมีความแฉะของเนื้อเพิ่มขึ้น ทำให้การประเมินคะแนนความแฉะในแต่ละสัปดาห์มีแนวโน้มที่ลดลงในทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.1.28) พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา เงาะที่ไม่เคลือบผิวมีคะแนนความแฉะต่ำกว่าเงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์ O1 2.5เปอร์เซ็นต์ OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์และบรรจุถุงพลาสติก โดยเงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตร O1 2.5เปอร์เซ็นต์ และ OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์คะแนนความแฉะเท่ากันและมีคะแนนสูงกว่าเงาะที่เคลือบด้วยสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุงพลาสติก เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่า ไม่

พบความแตกต่างระหว่างเงาะที่เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติก แต่เงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบพบว่ามีคะแนนที่ต่ำกว่าทรีทเมนต์อื่นๆเนื่องจากว่าเนื้อผลเงาะมีความแฉะมากกว่ากลุ่มอื่นๆ

ค) ความกรอบ

เงาะเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ความเต่งตึงของเนื้อเงาะจะลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำ ซึ่งมีผลทำให้ความกรอบลดลง การประเมินความกรอบ (รูปที่ 4.1.28) พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา เงาะที่เคลือบด้วยสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์ และ O1 2.5เปอร์เซ็นต์ มีความกรอบมากกว่าเงาะที่เคลือบด้วยสูตร OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์ เงาะบรรจุถุงพลาสติก และเงาะที่ไม่เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่า เงาะที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยสูตร OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีความกรอบของเนื้อเงาะน้อยกว่าทรีทเมนต์อื่น

ง) ความหวาน

ความหวานจัดเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อความชอบของผู้ทดสอบชิมผลไม้อย่างหนึ่ง โดยปกติแล้วเงาะเมื่อสุกจะมีความหวานเพิ่มขึ้น ผลการประเมินความหวานโดยผู้ทดสอบชิม (รูปที่ 4.1.29) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่สัปดาห์ที่ 1 พบว่า ความหวานมีช่วงคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 8 ซึ่งใกล้เคียงกับสัปดาห์ที่ 0 ถือว่าความหวานยังดีอยู่ โดยเงาะในทุกทรีทเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเงาะจัดเป็นผลไม้จำพวก non-climacteric ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเกิดขึ้นไม่มากหลังจากการเก็บเกี่ยว [73] ในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บเกี่ยว พบว่าเงาะที่ไม่ได้เคลือบผิวและเงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตร OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีความหวานที่ลดลงอาจเนื่องจากปริมาณ TSS ลดลง เพราะถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณ CO_2 เพิ่มขึ้น ปริมาณ O_2 ลดลง

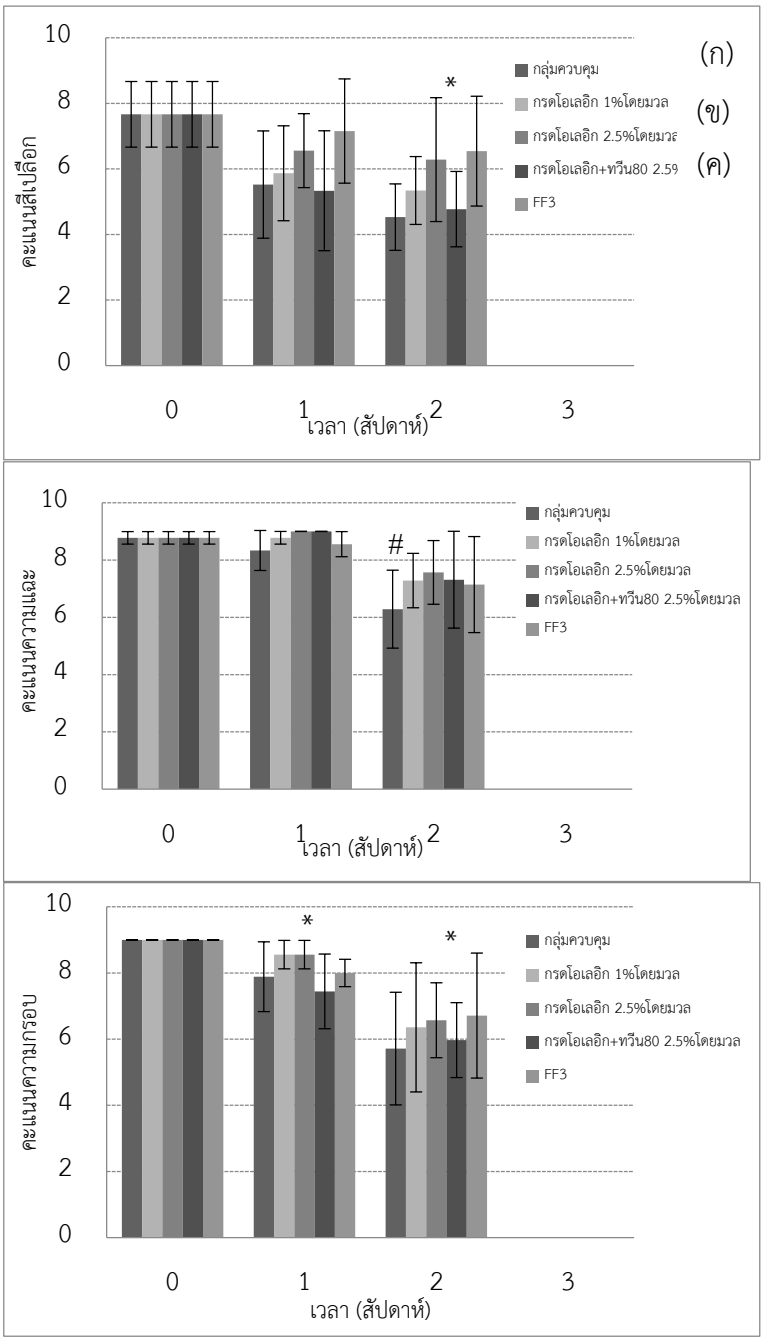
จ) กลิ่นและรสชาติผิดปกติ

กลิ่นและรสชาติผิดปกติบ่งบอกถึงการเริ่มเสียของผลไม้ ซึ่งอาจบ่งบอกจุดยุติของการทดสอบได้ถ้ากลิ่นหรือรสชาติมีความผิดปกติมาก ผลการประเมิน (รูปที่ 4.1.29) พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา เงาะที่บรรจุถุงพลาสติกพบกลิ่นและรสชาติผิดปกติที่มากกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ แต่ไม่แตกต่างมากซึ่งกลิ่นดังกล่าวอาจเป็นเพราะการบรรจุในถุงพลาสติกทำให้การถ่ายเทของอากาศเกิดได้ยากกว่า เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่าเงาะที่ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตร OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุงพลาสติก พบกลิ่นและรสชาติผิดปกติมากกว่าเงาะที่เคลือบด้วยสูตร O1 1.0 เปอร์เซ็นต์ และ O1 2.5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าสารเคลือบที่ใช้กรดโอเลอิกเป็นสารเคลือบผิวช่วยให้เงาะเกิดการเน่าเสียช้ากว่า

ฉ) ความชอบ

คะแนนนี้จัดเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการตรวจสอบรสสัมผัส เนื่องจากคะแนนความชอบจากผู้ประเมินเป็นตัวสะท้อนความชอบของผู้ทดสอบชิมได้ดี และจัดเป็นสิ่งสำคัญบ่งบอกถึงผลโดยรวมของการใช้งานของสารเคลือบ เนื่องจากถ้าเงาะที่เก็บได้นานแต่ไม่ผู้ทดสอบชิมไม่ชอบจะทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ สำหรับผลการประเมิน (รูปที่ 4.1.29) พบว่าคะแนนความชอบมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของทุกทรีทเมนต์ เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบเงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตร O1 มากกว่าเงาะที่ไม่เคลือบ เงาะที่เคลือบด้วยสูตร OT12.5 และเงาะบรรจุในถุงพลาสติก

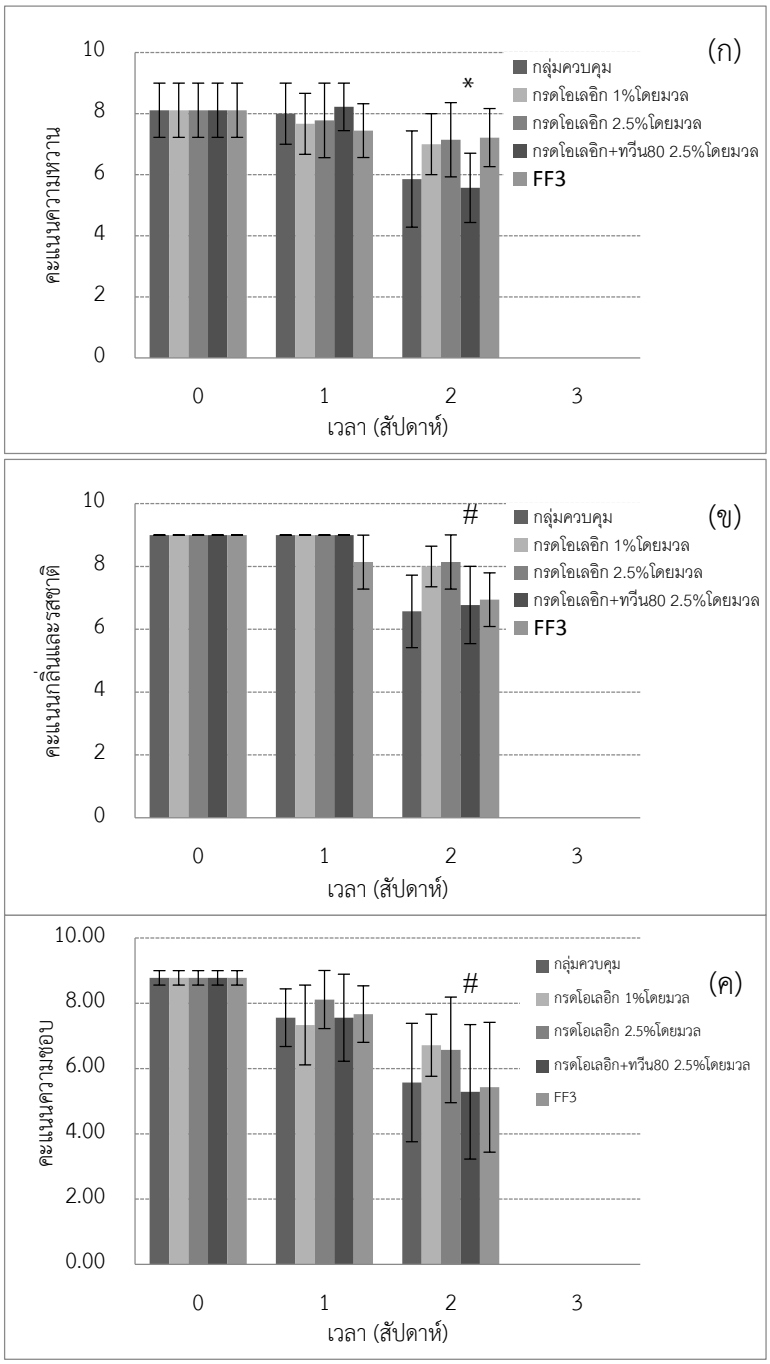
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.1.28 (ก) คะแนนสีเปลือก (ข) ความแฉะ และ (ค) ความกรอบ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

*เงาะกลุ่มควบคุม และเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรกรดโอเลอิก/ทวีน 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

#เงาะกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น



รูปที่ 4.1.29 (ก) คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (ข) ความหวาน และ (ค) ความชอบ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

*เงาะกลุ่มควบคุม และเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรกรดโอเลอิก/ทวีน 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

#เงาะกลุ่มควบคุม เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรกรดโอเลอิก/ทวีน 80 และบรรจุถุง FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

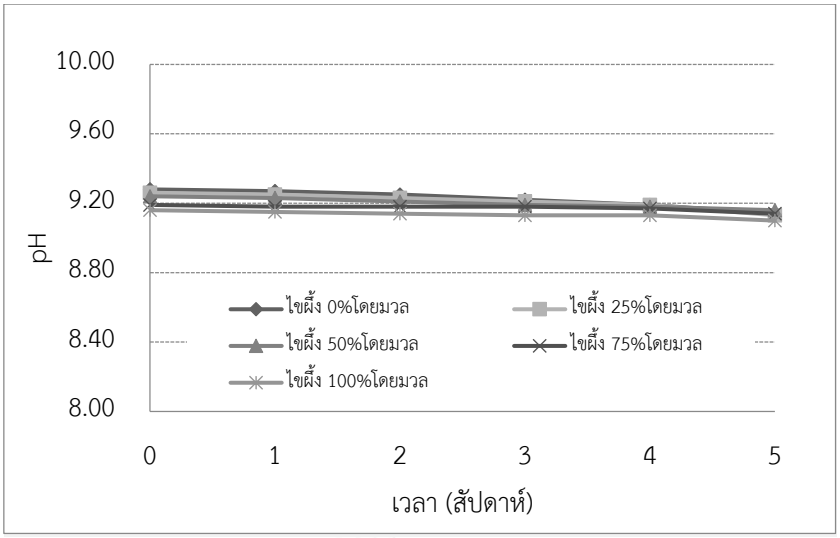
4.2 ผลของชนิดไข

จากหัวข้อ 4.1แสดงให้เห็นว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร O1 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ให้ผลทางด้านคุณภาพโดยรวมที่ดีกว่าเงาะกลุ่มควบคุมและกลุ่มอื่นๆ แต่ลักษณะภายนอกซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเลือกซื้อของผู้บริโภค พบคราบขาวที่เปลือกและขนของผลเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบทุกสูตร ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าชนิดของไขซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารเคลือบอาจเป็นสาเหตุให้เกิดคราบขาวดังกล่าว ดังนั้นการทดลองในส่วนนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดของไขต่อคุณสมบัติของสารเคลือบและประสิทธิภาพในการเคลือบผิวเงาะ โดยทำการแปรเปลี่ยนชนิดของไข คือ ไขคาร์นูบา ไขผึ้ง และไขผสม ที่อัตราส่วนของไข 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ไขคาร์นูบา 100 เปอร์เซ็นต์ (ไขผึ้ง 0 เปอร์เซ็นต์) กลุ่มที่ 2 ไขผสม แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ไขผึ้ง 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ และ กลุ่มที่ 3 ไขผึ้ง 100 เปอร์เซ็นต์

4.2.1. คุณสมบัติของสารเคลือบ

ก) ค่า pH

สารเคลือบกลุ่มที่ 1 2 และ 3 ได้ถูกนำมาตรวจสอบค่า pH ตามระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่า pH ของสารเคลือบทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 9.15-9.30 เป็นสภาวะเบสซึ่งเหมาะสมต่อการละลายของเชลแล็ก ในสัปดาห์ที่ 0 ของการผลิตสารเคลือบ (รูปที่ 4.2.1) พบว่า สารเคลือบผิวมีค่า pH แตกต่างกันเล็กน้อย พบการเปลี่ยนแปลงค่า pH มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกสัปดาห์ สอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงในหัวข้อ 4.1.1 อาจเนื่องมาจากเกิดการระเหยของแอมโมเนียออกสู่บรรยากาศภายนอกเมื่อมีการเปิดใช้งานหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารเคลือบ



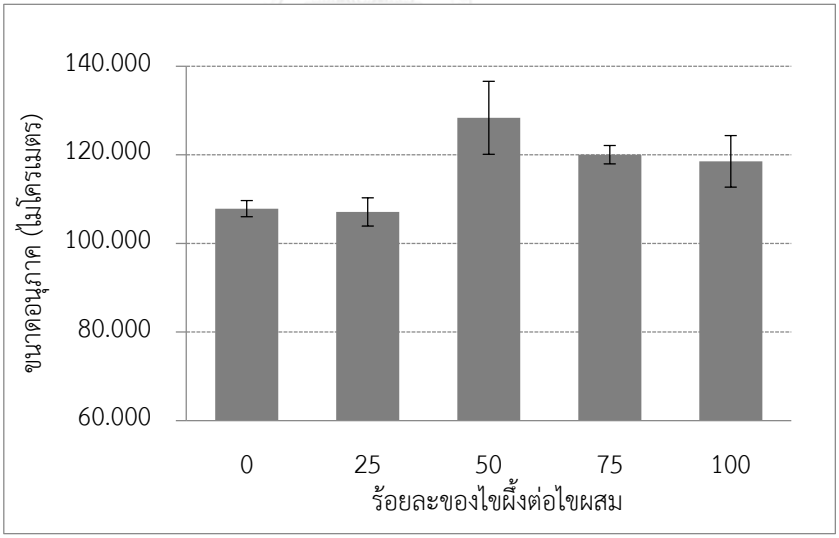
รูปที่ 4.2.1 ค่า pH ของสารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เชลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข) ขนาดอนุภาค (particle size)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดของไขที่มีต่อขนาดอนุภาคของสารแขวนลอยในสารเคลือบ (รูปที่ 4.2.2) พบว่าสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าสารเคลือบที่ใช้ไขผึ้งหรือไขผสม ไขผสม ไขผึ้ง 25 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับไขผึ้ง 0 เปอร์เซ็นต์และไขผึ้ง 75 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงไขผึ้ง 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไขผสมที่ประกอบด้วยไขผึ้ง 50 เปอร์เซ็นต์ขนาดอนุภาคไขมีขนาดใหญ่ที่สุด แสดงให้เห็นว่าไขผึ้งและไขคาร์นูบาอาจผสมกันได้ไม่ดี เนื่องจากไขทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ไขคาร์นูบาเป็นไขที่ได้จากพืชตระกูลปาล์ม ส่วนประกอบหลักของไขคาร์นูบาประกอบด้วยกรดไฮดรอกซิลและเอสเตอร์ในขณะที่ไขผึ้งผลิตจากต่อมไขผึ้งมีองค์ประกอบหลักคือ โมโนเอสเทอร์ [27]

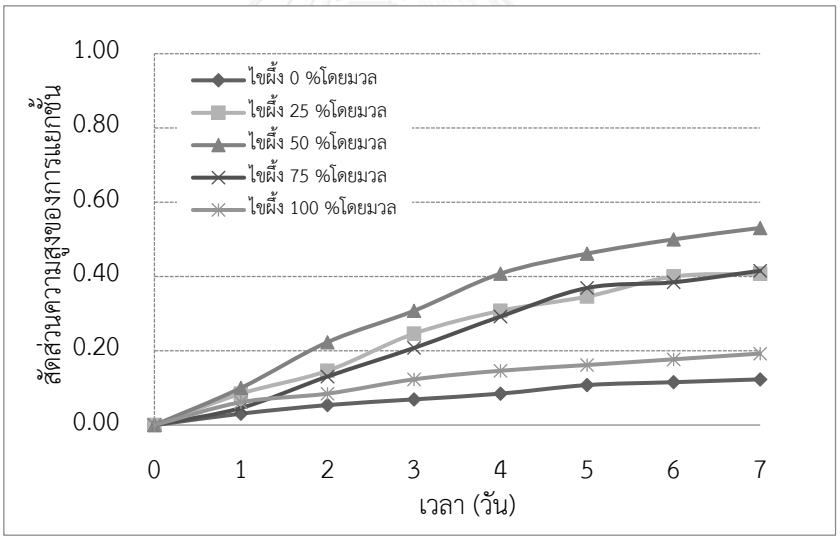
ระยะเวลาการเก็บรักษาสารเคลือบหลังการผลิตเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกถึงความคงตัวของสารเคลือบ พบว่าขนาดอนุภาคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาในทุกสูตร เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคบางส่วน ทำให้เกิดการแยกชั้นครีม (creaming) อนุภาคที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าวัฏภาคต่อเนื่อง จะลอยตัวขึ้นและเกิดการรวมตัวกันบริเวณผิวหน้าของสารเคลือบ อนุภาคไขที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวล้อมรอบหรือมีไม่มากพอจึงเกิดการรวมตัวกัน เป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น [50]



รูปที่ 4.2.2 ขนาดอนุภาคแขวนลอยในสารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เชลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

ค) ความคงตัวของสารเคลือบ (Stability)

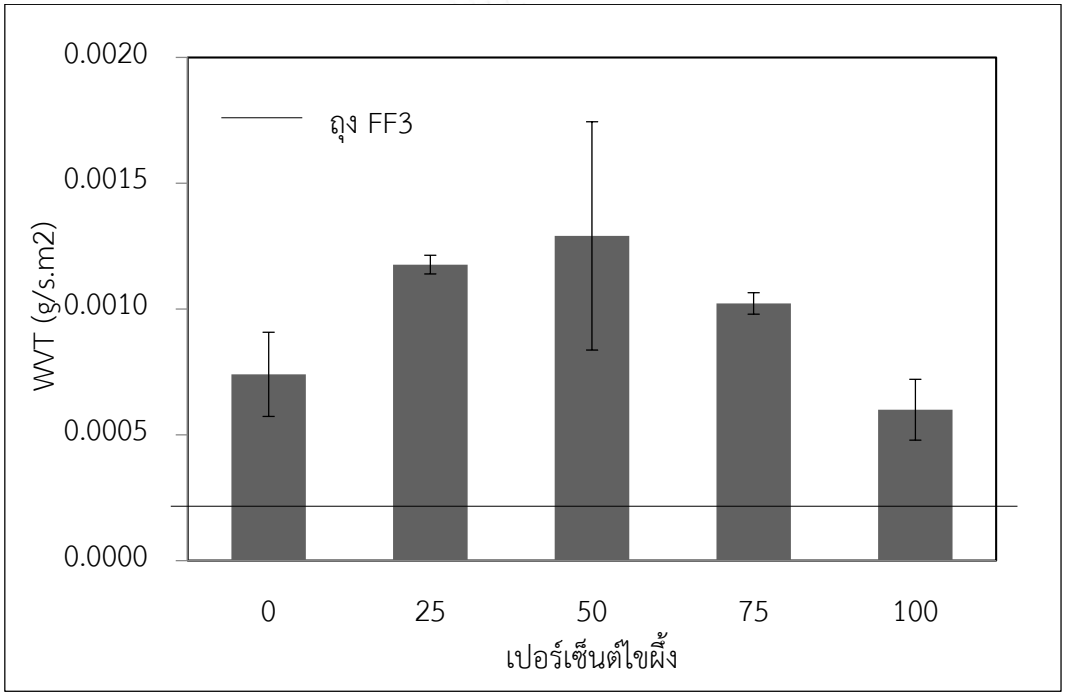
ความคงตัวของสารเคลือบเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญเนื่องจากสารเคลือบเป็นสารแขวนลอย การแยกชั้นจึงสามารถเกิดขึ้นได้ในระยะเวลาสั้น จากการศึกษาความคงตัวของสารเคลือบโดยใช้ไขต่างชนิดกัน (รูปที่ 4.2.3) พบว่าสารเคลือบสูตรไขผสมแยกชั้นเร็วกว่าไขผึ้ง 100 เปอร์เซ็นต์และไขคาร์นูบา 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าไขทั้งสองชนิดเข้ากันไม่ดีในเชิงกายภาพ สังเกตจากลักษณะภายนอกที่ไม่เป็นเนื้อเดียวและการแยกชั้นที่เร็วกว่าสารเคลือบจากไขชนิดเดียว และจากการแยกชั้นพบว่าไขผึ้งเกิดการแยกชั้นเร็วกว่าไขคาร์นูบา ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของอนุภาคไขที่สารเคลือบสูตรไขคาร์นูบามีขนาดเล็กกว่าไขผึ้ง (รูปที่ 4.2.2) โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะลอยตัวขึ้นที่ผิวด้านบนของอิมัลชันก่อนเนื่องจากอนุภาคไขมีความหนาแน่นน้อยกว่าสารละลาย หลังจากนั้นอนุภาคขนาดเล็กจึงลอยตามขึ้นไป การเกิดการรวมตัวหรือการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคจึงทำให้เกิดการแยกชั้นขึ้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเกิดจากความไม่คงตัวทางกายภาพของอิมัลชัน ที่เรียกว่า การแยกชั้นครีม (Creaming) [57]



รูปที่ 4.2.3 ความคงตัวของสารเคลือบ (Stability) ของสารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เชลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

ค) การซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT)

ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ผ่านฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นการจำลองการสูญเสียน้ำภายในผลออกสู่ภายนอก จากรูปที่ 4.2.4 พบว่าสูตรไขผสมมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบา และไขผึ้งซึ่งสอดคล้องกับค่าความคงตัวของสารเคลือบ(รูปที่ 4.2.3) ที่แสดงว่าสารเคลือบไขคาร์นูบา และไขผึ้งมีความคงตัวสูงกว่าไขผสม ความคงตัวของสารเคลือบสูงทำให้ฟิล์มเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากรณีไขผสม ดังนั้นจากการทดลองแสดงว่าสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและไขผึ้งมีโอกาสที่จะป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าสารเคลือบไขผสมเมื่อนำไปทดสอบกับผลไม้



รูปที่ 4.2.4 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission WVT) ของสารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เชลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

4.2.2. ประสิทธิภาพของสารเคลือบไขคาร์นูบา ไขผึ้ง ไขผสม และถุงพลาสติกในการเก็บรักษาเงาะโรงเรียนระดับห้องปฏิบัติการ

จากขั้นตอนที่ 4.2.1 คัดเลือกสารเคลือบสูตร ไขคาร์นูบา 100 เปอร์เซ็นต์ (ไขผึ้ง 0 เปอร์เซ็นต์) ไขผสม (ไขคาร์นูบา 50 เปอร์เซ็นต์ ไขผึ้ง 50 เปอร์เซ็นต์) และ ไขผึ้ง 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเปรียบเทียบผลของไขต่างชนิดและไขผสมในการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ และเพื่อแก้ปัญหาของคราบขาวที่เกิดขึ้นดังแสดงไว้ในหัวข้อ 4.1 ซึ่งคาดว่าการใช้ไขผึ้งที่มีลักษณะใสไม่มีสีแทนไขคาร์นูบาที่มีลักษณะขุ่นทึบจะสามารถแก้ปัญหาคราบขาวที่เกิดขึ้นได้ รายละเอียดของผลการทดลองแสดงดังนี้

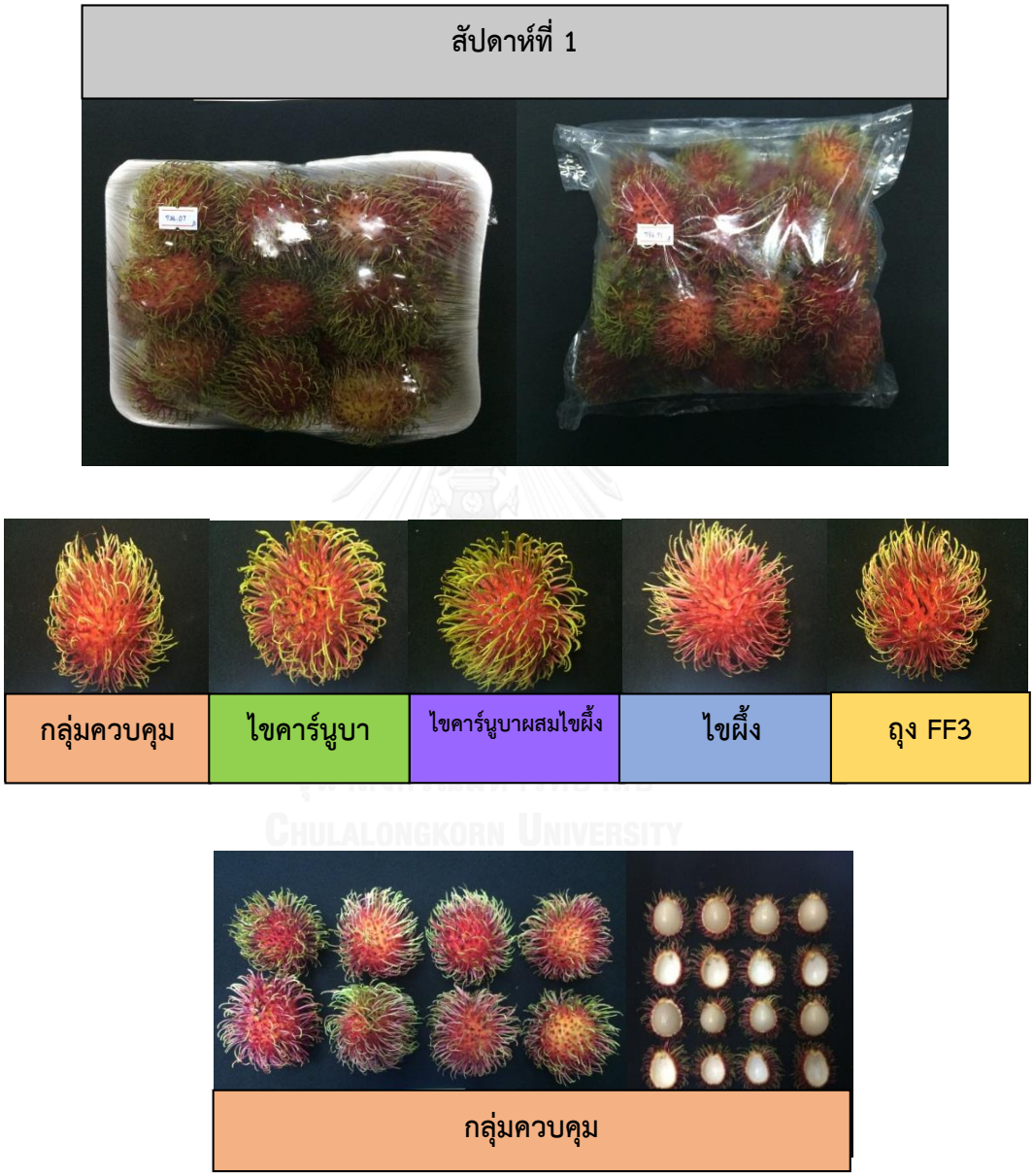
4.2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ก) ลักษณะภายนอกและภายในผลเงาะ

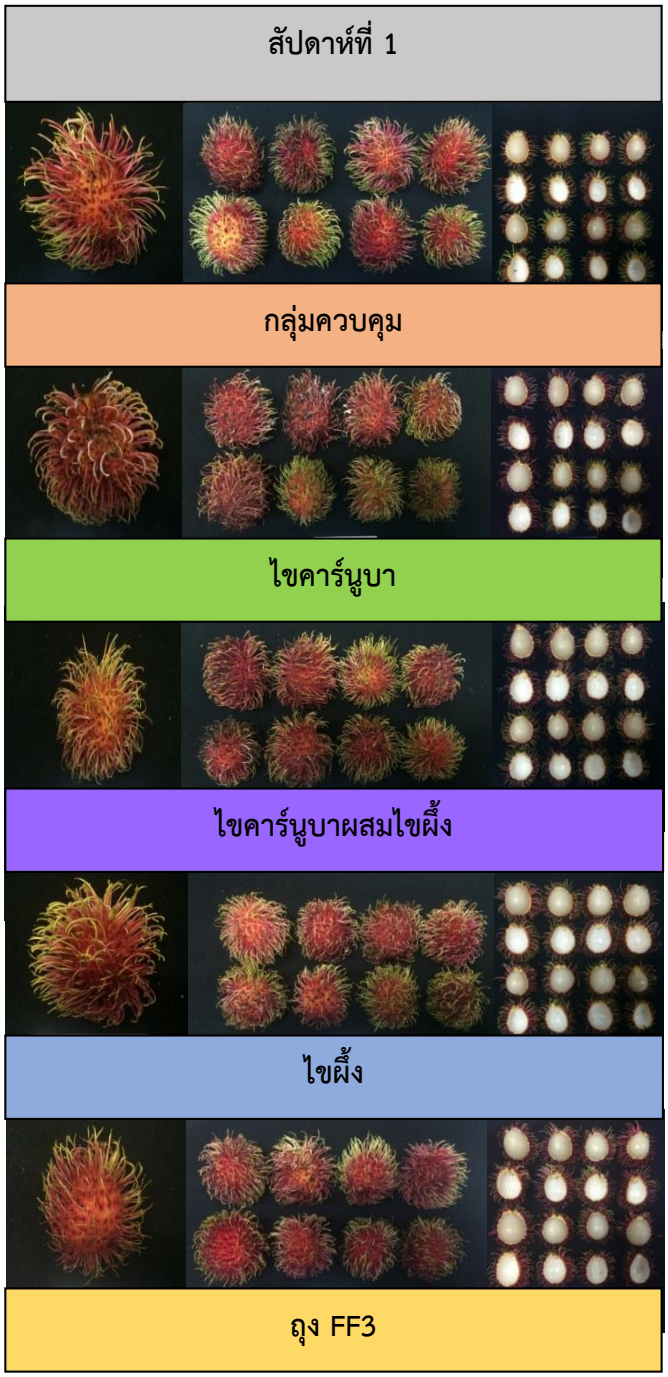
การเคลือบผลเงาะด้วยเชลแล็กดัดแปลงด้วยไข 5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ไขคาร์นูบา 100 เปอร์เซ็นต์ ไขผึ้ง 100 เปอร์เซ็นต์ และไขผสม (ไขคาร์นูบา 50 เปอร์เซ็นต์ ไขผึ้ง 50 เปอร์เซ็นต์) ในวันที่ 0 (วันที่ดำเนินการเคลือบ) มีลักษณะปรากฏแตกต่างจากผลที่ไม่ผ่านการเคลือบ (Control) เล็กน้อยโดยสังเกตเห็นเงาะที่ผ่านการเคลือบมีความมันวาวมากกว่าเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวไม่ได้มีผลทำให้เกิดลักษณะภายนอกที่ไม่พึงประสงค์ในระยะแรกของการเก็บรักษา หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.2.5) พบว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและไขผสมมีลักษณะภายนอกที่ไม่พึงประสงค์เกิดขึ้น เนื่องจากเกิดคราบขาวและจุดขาวของไขที่ผิวและขนของผลเงาะเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1 เห็นได้จากสีเปลือกและสีขนเงาะที่ดูไม่สดแตกต่างจากการใช้ไขผึ้ง แสดงให้เห็นว่าการใช้ไขผึ้งสามารถแก้ปัญหาการเกิดคราบขาวได้ สำหรับผลในด้านอื่นของการเคลือบ พบว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบมีลักษณะขนที่แข็งกว่าเงาะที่ไม่เคลือบ การที่ขนเงาะยังคงสภาพดีเนื่องจากการเคลือบผิวช่วยปิดปากใบที่มีอยู่หลายล้านเซลล์บนเปลือกและขนเงาะ [75] ส่วนการบรรจุถุงพลาสติกพบว่าเงาะมีสีสดและคุณภาพดี เนื่องจากถุงพลาสติกทำให้สภาพภายในมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตผลเคลื่อนที่ออกได้น้อยลงทำให้ชะลอการเปลี่ยนแปลงการเกิดขนและเปลือกดำได้

ระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสมที่ทำให้ผลเงาะยังคงอยู่ในสภาพที่ดีคือ 2 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สีขนของผลเงาะ มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองส้มเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และในช่วงท้ายของการเก็บรักษา (สัปดาห์ที่ 3) สีขนและสีเปลือกภายในผลเงาะจะเปลี่ยนเป็นสีดำมากขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง สาเหตุที่ทำให้ผลเงาะมีลักษณะเช่นนี้เกิดจาก

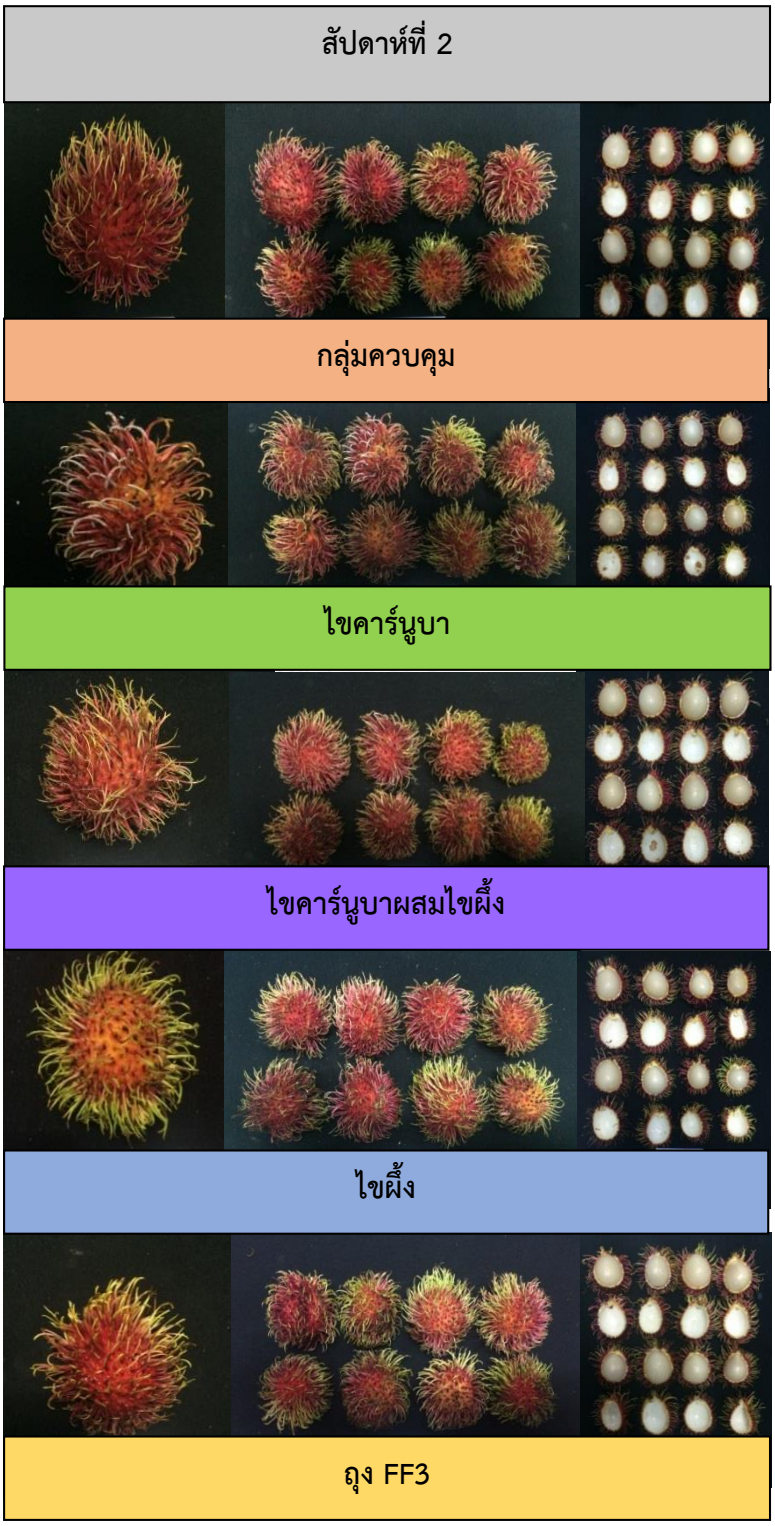
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากผลเงาะมีโครงสร้างของเปลือกที่เป็นขน ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำได้เป็นอย่างดี [74]



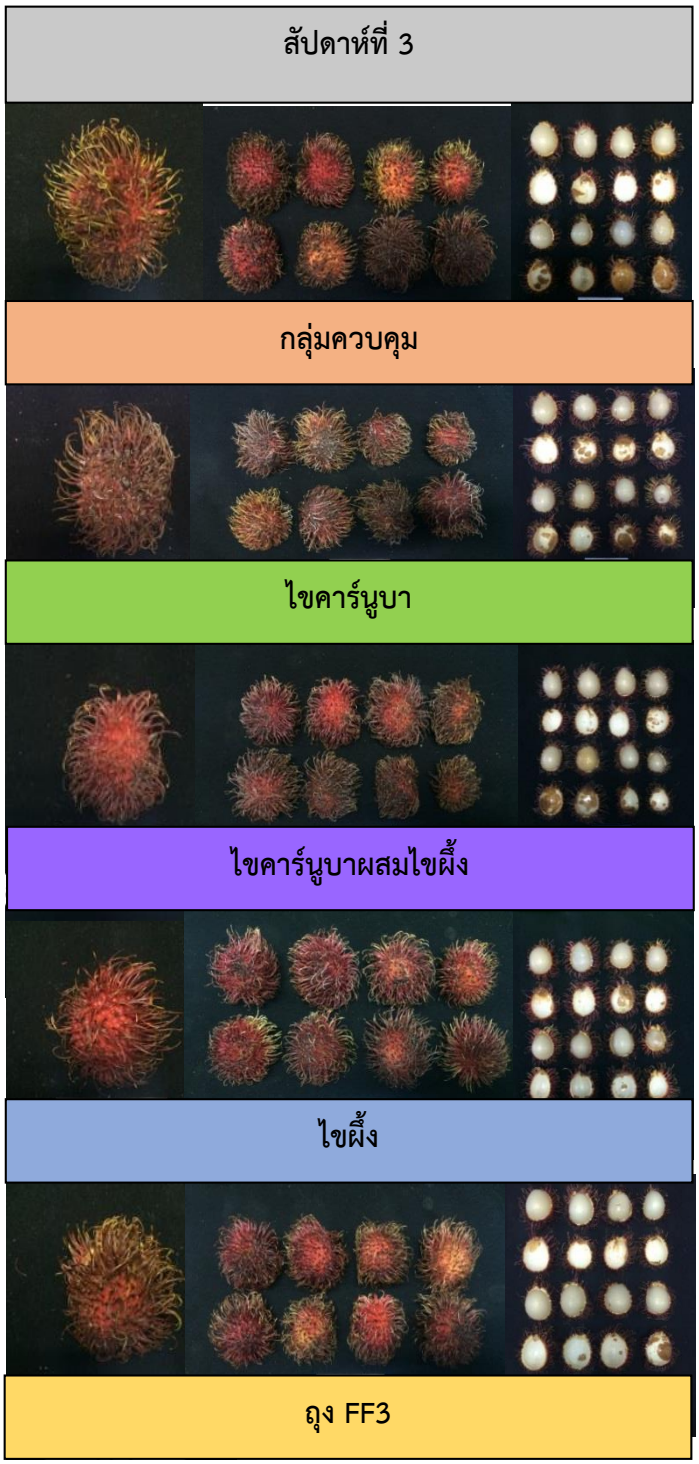
รูปที่ 4.2.5 ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะที่ไม่เคลือบ (Control) เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุง FF3 ที่สัปดาห์ที่ 0 ของการเก็บรักษาอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2.6 ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะที่ไม่เคลือบ (Control) เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุง FF3 ที่สัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษาอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2.7 ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะที่ไม่เคลือบ (Control) เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุง FF3 ที่สัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษาอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2.8 ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะที่ไม่เคลือบ (Control) เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง 0 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และเงาะบรรจุถุง FF3 ที่สัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ข) สี

- สีเปลือกด้านนอกของผลเงาะมีค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรกและค่อยๆลดลง ผลเงาะที่เคลือบด้วยสูตรไขคาร์นูบา ไขผสม และไขผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงค่า L* ใกล้เคียงกันและ ช้ากว่าผลเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบ โดยเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบมีค่า L* ลดลงมากในสัปดาห์ที่ 3 ขณะที่ค่าสีแดง (a*) มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า (a*) ในทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน ค่าสีเหลือง (b*) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีเหลือง-ส้ม มีแนวโน้มลดลงทุก ทรีทเมนต์โดยเฉพาะที่สัปดาห์ที่ 3 (รูปที่ 4.2.6) แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตร ไขคาร์นูบา ไขผสม ไขผึ้ง และเงาะบรรจุถุงพลาสติก สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ เนื่องจากการลดลงของค่าความสว่าง การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง ทั้งนี้เพราะผลเงาะมีการสูญเสียน้ำออกทางปากใบซึ่งมีจำนวนมากกว่าล้านเซลล์ทำให้ผลเงาะเกิดอาการเหี่ยวแห้ง และเกิดการเปลี่ยนสีผล จนในที่สุดมีสีดำทั่วทั้งผล [73] แต่ค่า L* a* และ b* ในแต่ละทรีทเมนต์มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันความสว่าง (L*) ของสีเปลือกด้านในผลเงาะมีค่าเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และเริ่มลดลง เมื่อเก็บรักษาที่สัปดาห์ที่ 1 และ 2 พบว่าค่า L* ของเปลือกในไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเก็บถึงสัปดาห์ที่ 3 พบว่าเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีค่า L* ลดลงกว่าทรีทเมนต์อื่น และพบว่าเงาะที่เคลือบผิวด้วยไขผึ้งและบรรจุถุงพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยสุด ขณะที่ค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาที่สัปดาห์ที่ 3 เงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตร ไขคาร์นูบา ไขผสม ไขผึ้ง และบรรจุถุงพลาสติก เพิ่มขึ้น น้อยกว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว สำหรับค่าสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านในของผลเงาะจากสีขาวไปเป็นสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น และทุกทรีทเมนต์ มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.2.7) ทั้งนี้เนื่องมาจากผลเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบมีการสูญเสียน้ำออกจากเปลือกและขนจำนวนมากกว่า ทำให้เซลล์พืชสูญเสียความเต่ง เซลล์เกิดความเสียหายไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆได้ ทำให้เนื้อเยื่อของเปลือกเงาะด้านในเกิดอาการ สีน้ำตาลมากกว่าผลเงาะที่ผ่านการเคลือบ [75]

- สีเนื้อผลเงาะ มีค่าความสว่าง (L*) ที่มีแนวโน้มที่ลดลงจากเริ่มต้น พบว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว มีค่า L* ลดลงมากกว่าผลเงาะที่เคลือบผิวและเงาะที่บรรจุถุงพลาสติก ขณะที่ค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มลดลง และเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา แต่ไม่พบความแตกต่างของเงาะแต่ละทรีทเมนต์ สำหรับค่าสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มลดลงจากค่าเริ่มต้น และไม่พบความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.2.8) แสดงให้เห็นว่าสีเนื้อมีการพัฒนาจากสีขาวใสไปเป็นสีเหลืองเข้มมากขึ้น และเมื่อเก็บรักษาเงาะเป็นเวลานานขึ้นสีเนื้อของเงาะมีการเปลี่ยนเป็นสีขาวใสออกเหลืองเพิ่มขึ้น

ค) การเกิดสีขนดำและผลเน่าของเงาะ

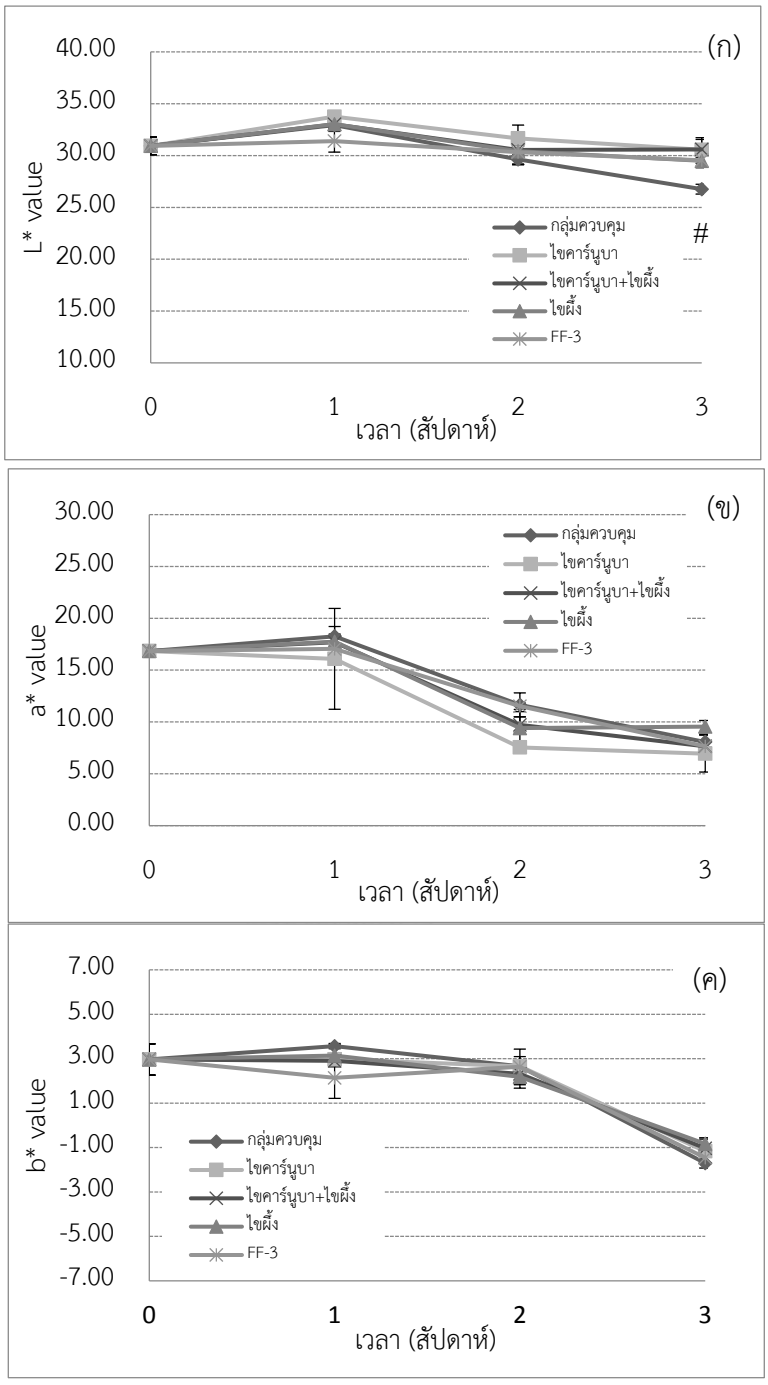
ผลจากการให้คะแนนการเกิดสีขนดำของเงาะจากผู้ทดสอบจำนวน 5 คน โดย 0 หมายถึง ขนดำ และ9 หมายถึง ขนไม่ดำ พบว่าเงาะกลุ่มควบคุมมีคะแนนสีขนดำน้อยกว่า ทรีทเมนต์อื่นๆ เพราะการเคลือบผิวและการบรรจุถุงพลาสติกช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสภาพของเปลือกและขน ไม่ให้เสื่อมสภาพเร็ว การสูญเสียน้ำน้อยลงและเชื้อโรคเข้าทำลายได้ยากกว่า การเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบา ไขผสม และไขผึ้ง มีค่าไม่แตกต่างกันและมีคะแนนน้อยกว่าเงาะที่บรรจุถุงพลาสติก เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำหนัก จึงทำให้สีขนของกลุ่มที่ผ่านการเคลือบมีคะแนนขนดำต่ำกว่าเงาะบรรจุถุงพลาสติก (รูปที่ 4.2.9) แต่เมื่อนำไปทดสอบทางด้านการค้าปัญหาดังกล่าวอาจลดลงเนื่องจากไม่มีการรัดของฟิล์มซึ่งทำให้ส่วนของขนเงาะหักและส่งผลให้เกิดแผลที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของเงาะที่เร็วขึ้น

ง) การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น โดยผลเงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตรไขคาร์นูบา ไขผสม และไขผึ้ง สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้มากกว่ากลุ่มควบคุม เนื่องจากสารเคลือบทำหน้าที่ปิดปากใบที่อยู่บนเปลือกและขนจำนวนมาก ทำให้การสูญเสียน้ำหนักลดลง สำหรับผลเงาะที่ผ่านการเคลือบผิว พบว่าสูตรที่ใช้ไขผึ้ง ไขผสม และไขคาร์นูบา มีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เคลือบสูญเสียน้ำหนักประมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่มีการเคลือบผิวสูญเสียน้ำหนักในประมาน 2 เปอร์เซ็นต์และเงาะบรรจุถุงพลาสติกสูญเสียน้ำหนัก 1.5 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 3 สัปดาห์ (รูปที่ 4.2.10) โดยเงาะที่บรรจุถุงพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเพราะถุงพลาสติกยอมให้ถุงน้ำผ่านเข้าออกได้น้อยกว่า

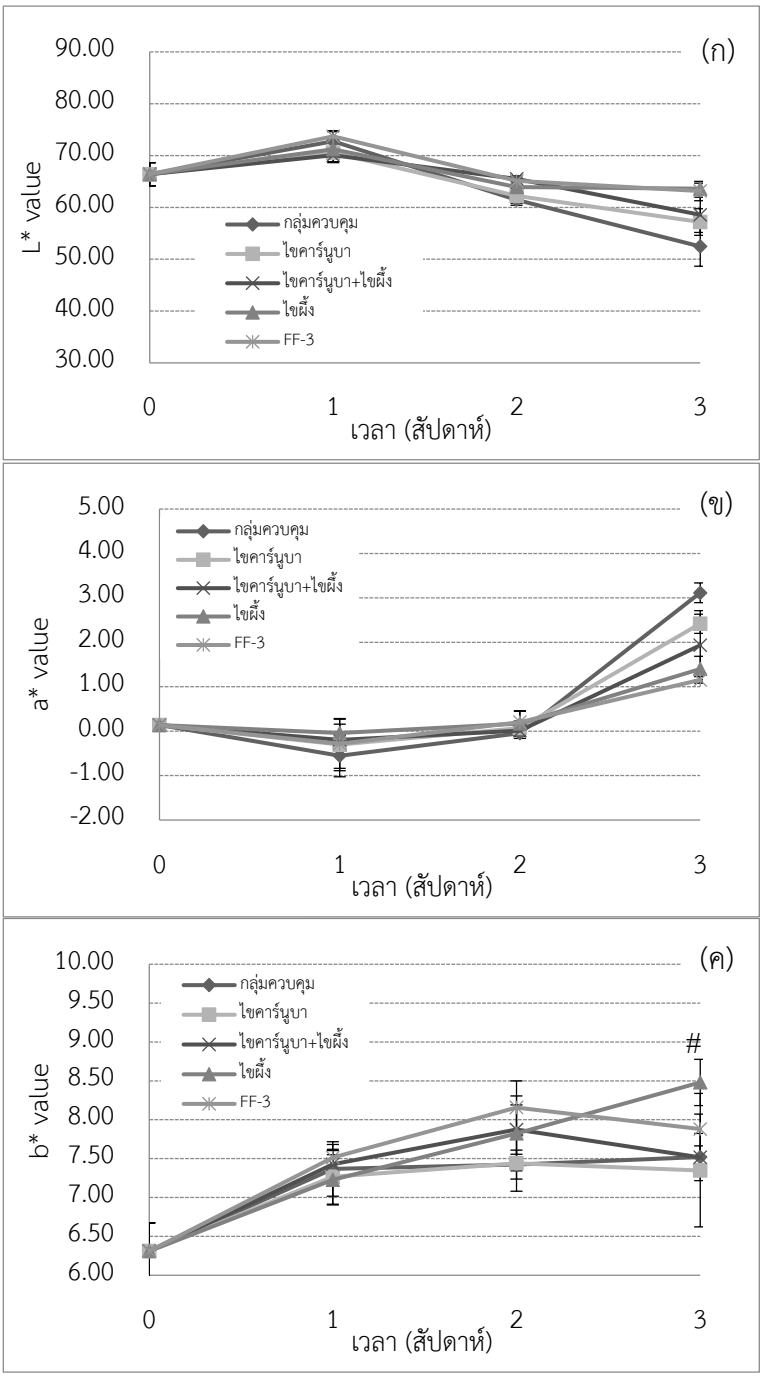
จ) ความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อของผลเงาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรก อาจเนื่องจากเงาะถูกเก็บรักษาในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 12 องศาเซลเซียส ผลของความแน่นเนื้อในสัปดาห์แรกจึงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแน่นเนื้อเริ่มต้น และพบว่าค่าความแน่นเนื้อลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ของการเก็บรักษาทุกทรีทเมนต์ โดยไม่พบความแตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.2.11)



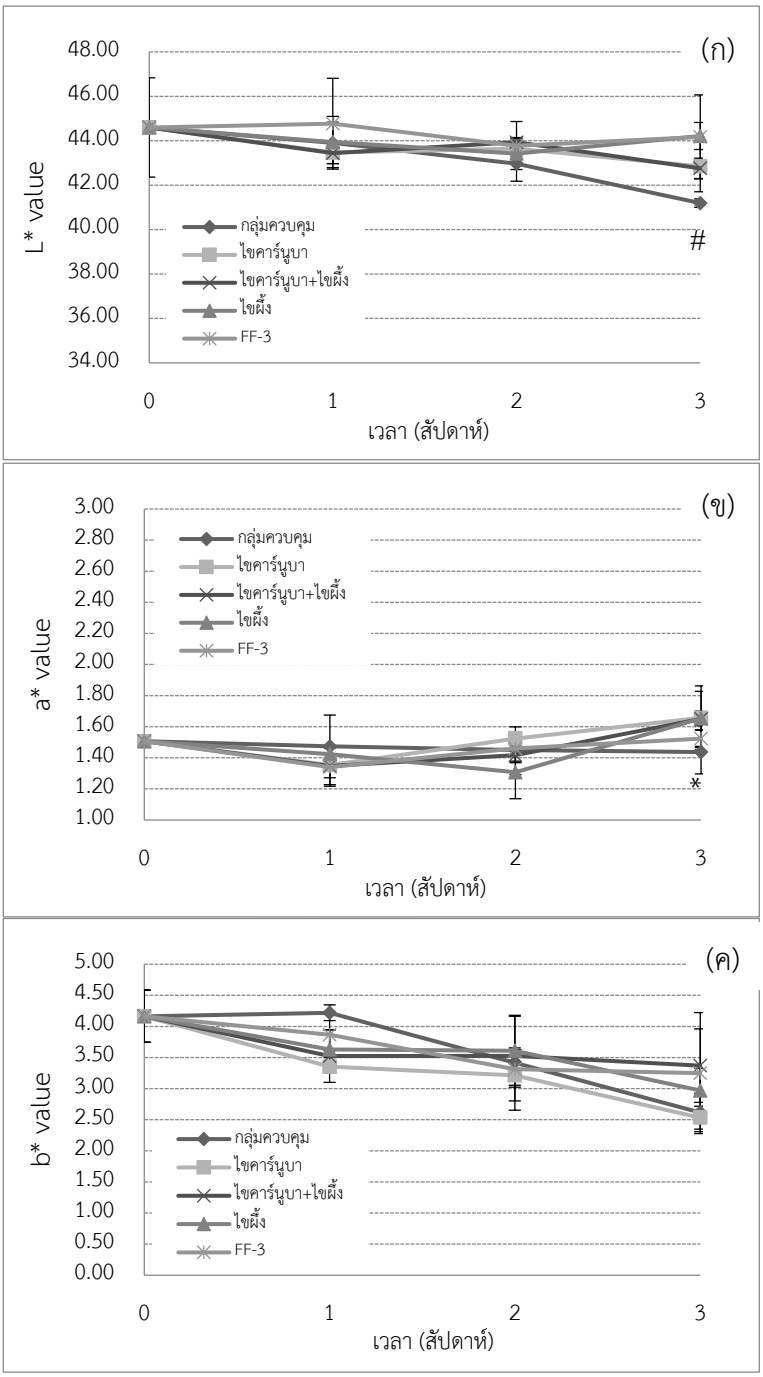
รูปที่ 4.2.9 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

#กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น



รูปที่ 4.2.10 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกด้านในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

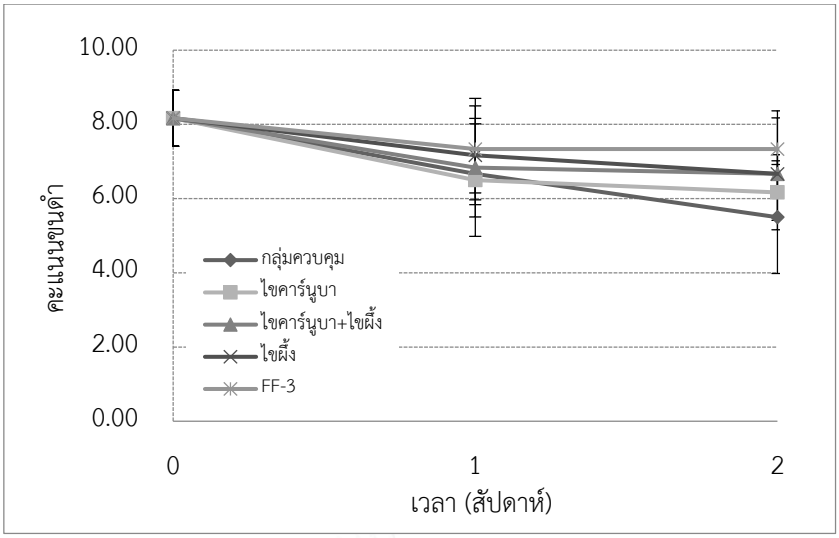
#กลุ่มไขผึ้งและถุง FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น



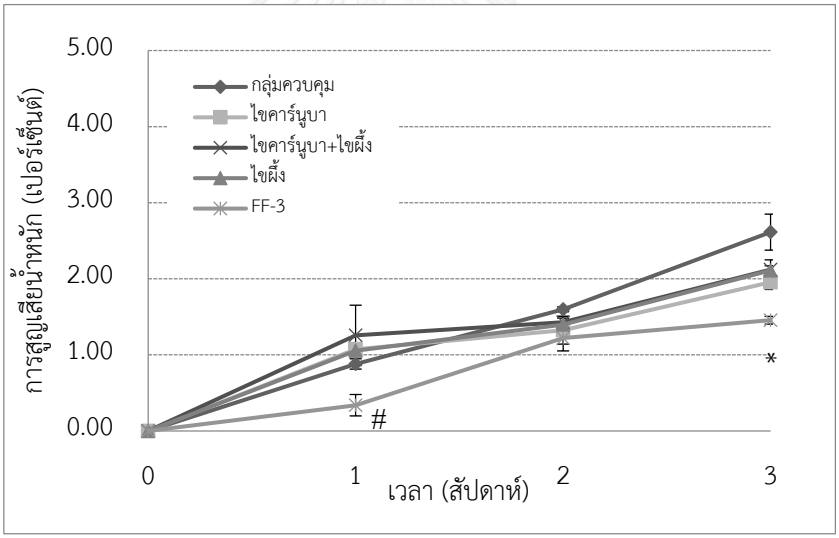
รูปที่ 4.2.11 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเนื้อผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

*กลุ่มบรรจุถุงพลาสติก FF3 และกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

#กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น



รูปที่ 4.2.12 คะแนนการเกิดขนดำ (โดย 0 หมายถึง ขนดำ และ 9 หมายถึง ขนไม่ดำ) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

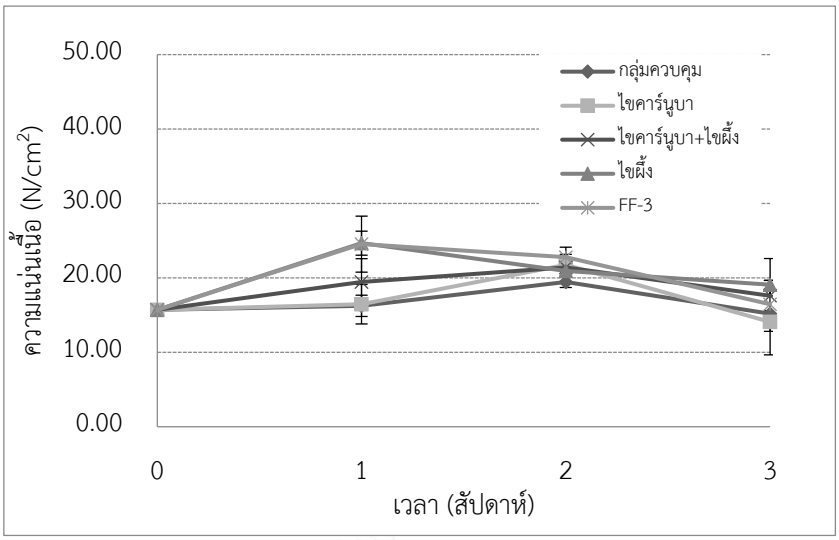


รูปที่ 4.2.13 การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

#กลุ่มบรรจุถุงพลาสติก FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

*กลุ่มบรรจุถุงพลาสติก FF3 และกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P≤0.05)



รูปที่ 4.2.14 ความแน่นเนื้อของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้(TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ มีแนวโน้มลดลงทุกทรีทเมนต์ ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเงาะจัดเป็นผลไม้จำพวก non-climacteric ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเกิดขึ้นน้อยภายหลังการเก็บเกี่ยว [73] และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากเงาะเปลี่ยนแปลงไปสู่ระยะสุก อย่างไรก็ตามผลการทดลองไม่แสดงความแตกต่างของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.2.12)

ข) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ตามระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าผลเงาะที่บรรจุถุงพลาสติกมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่ากลุ่มที่ไม่บรรจุถุงพลาสติกอาจเพราะเกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงพลาสติกซึ่งก๊าซผ่านออกได้ยาก เนื่องจากถุง FF3 มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ (WVTR เท่ากับ 25.1 g/(m^2-day)) โดยความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ใน ทรีทเมนต์อื่นๆแตกต่างกันเล็กน้อย (รูปที่ 4.2.13) ผลที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจน (O_2)ภายในบรรจุภัณฑ์ พบว่าผลเงาะที่บรรจุถุงพลาสติกมีปริมาณออกซิเจนที่ลดลงมากกว่าทรีทเมนต์ที่ไม่บรรจุถุง (รูปที่ 4.2.13) อาจเป็นเพราะมีการใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา อีกทั้งปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่อย่างจำกัดภายในถุงลดลงจึงทำให้ปริมาณของออกซิเจนลดลงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามเวลาการเก็บรักษา

ความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่บรรจุถุงพลาสติก FF3 มีปริมาณเอทิลีนสะสมสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ และพบว่าความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนของเงาะที่เคลือบสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบา ไขผึ้ง และไขผสม มีค่าไม่แตกต่างกัน

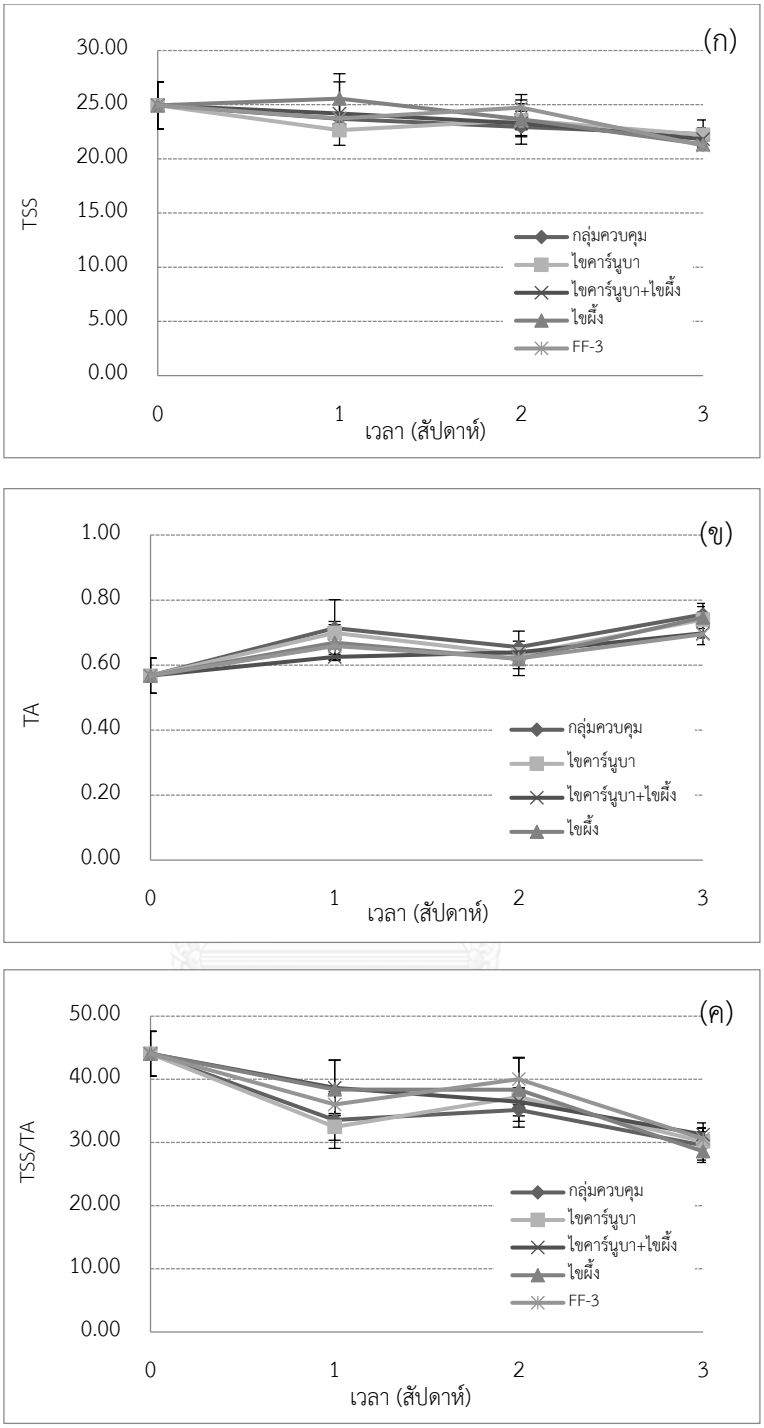
ค) ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนภายในผล

ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์ โดยเฉพาะเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผสม (รูปที่ 4.2.14) การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการหายใจของเงาะทำให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นจึงเกิดการสะสมอยู่ภายในผล และนอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อาจเมีสาเหตุจากความผิดปกติทางสรีระของเงาะ เช่น บาดแผล หรือการเน่าเสีย ส่งผลให้มีอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น [73] ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองในหัวข้อ 4.1 เนื่องจากมีกระบวนการเตรียมเงาะเหมือนกัน กระบวนการดังกล่าวเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เงาะเกิดบาดแผลจากการ ล้าง จุ่มเคลือบ และบรรจุได้

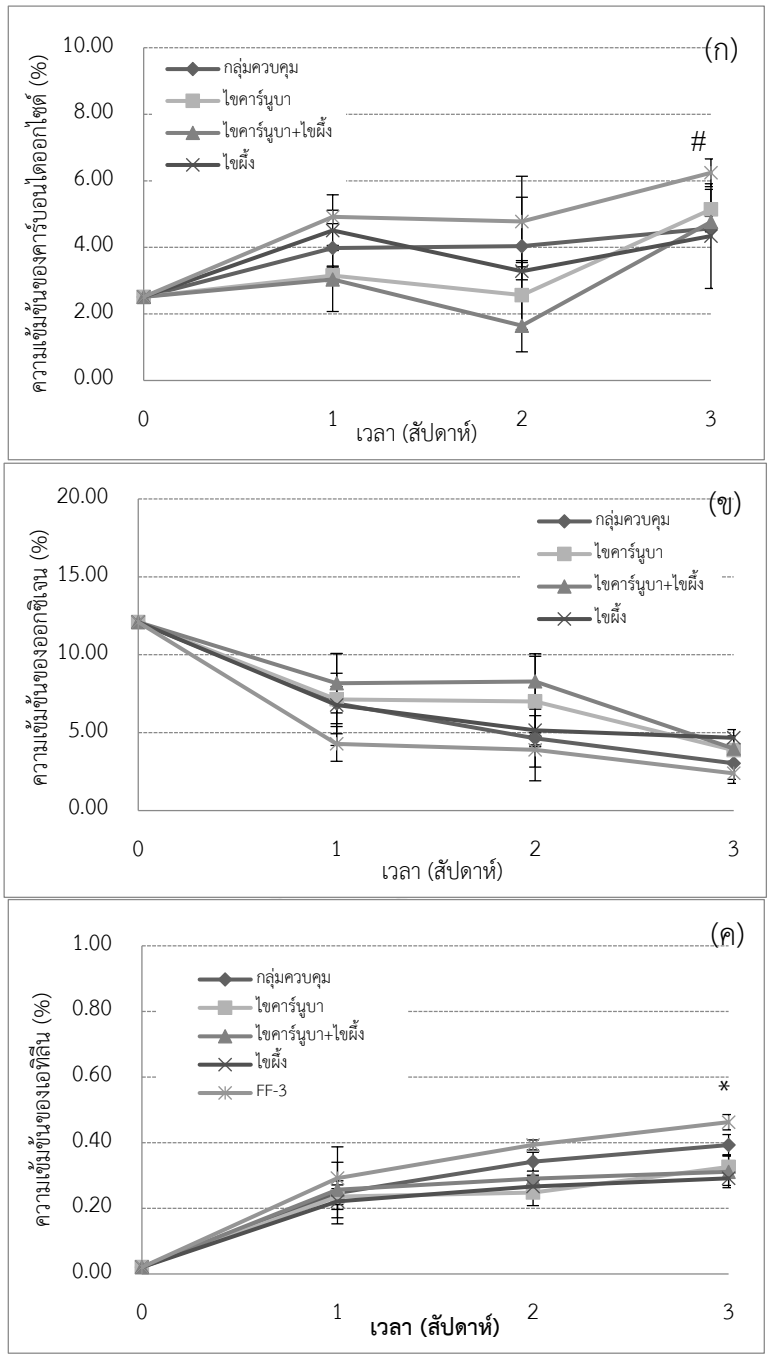
ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในผลเงาะมีค่าลดลงใน 2 สัปดาห์แรกแต่เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม เงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบ และเงาะบรรจุถุงพลาสติก

ความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนมีค่าสูงขึ้นในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา แต่หลังจากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา เงาะกลุ่มควบคุม มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 1และ 2 แต่สำหรับเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนใกล้เคียงกัน การเพิ่มขึ้นของก๊าซเอทิลีนในสัปดาห์แรกอาจเกิดจากการกระตุ้นเนื่องจากความเครียดจากการจัดการผลผลิตหรือจากการเก็บรักษา และหลังจากนั้นจนกระทั่ง ถึงสัปดาห์ที่ 3 การผลิตเอทิลีนลดลง(รูปที่ 4.2.14) เนื่องจากการเก็บเงาะในสภาพดัดแปลงบรรยากาศจะทำให้มีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ซึ่งโดยปกติคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็น Competitive inhibitor เข้าไปแทนที่ Active site ในกระบวนการของเอทิลีน และขัดขวางการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลีน [74]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.2.15 (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และ (ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TSS/TA) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

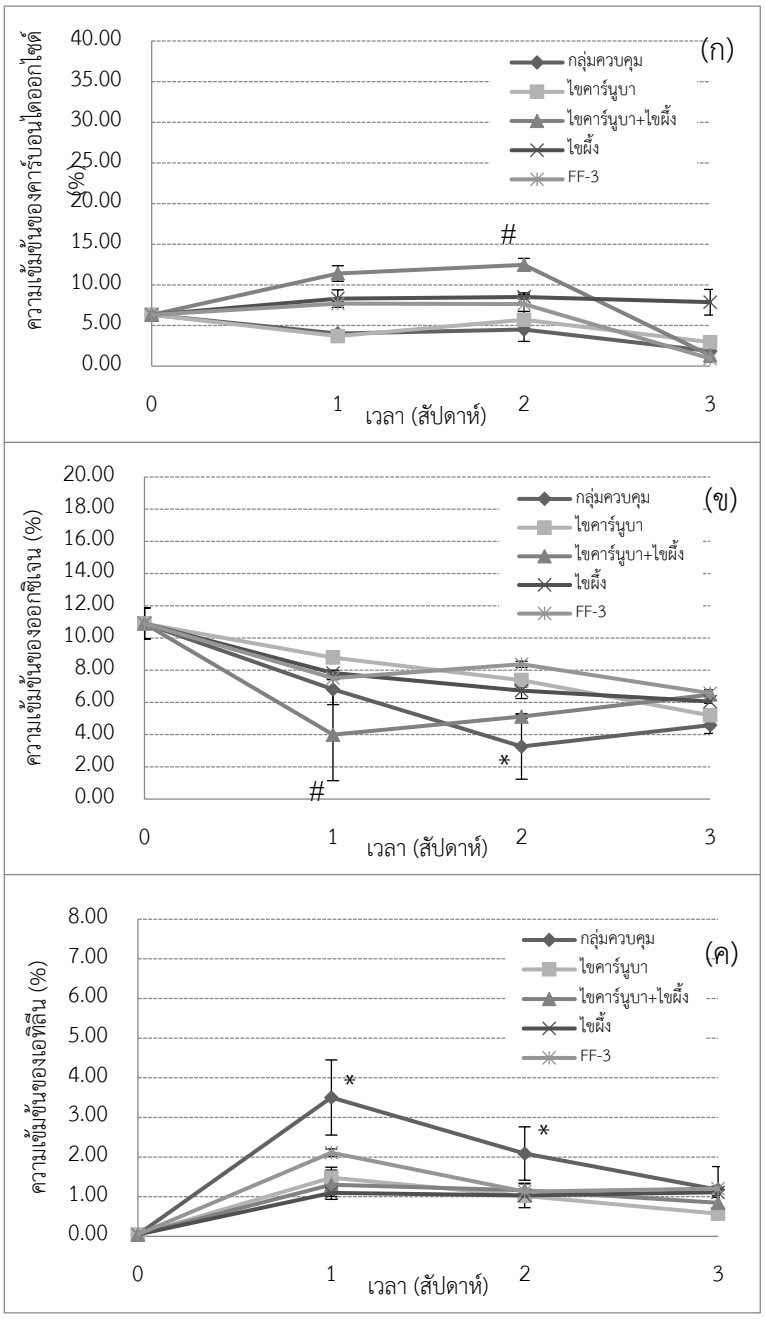


รูปที่ 4.2.16 (ก) ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ข) ความเข้มข้นออกซิเจน (O_2) และ (ค) ความเข้มข้นเอทิลีน (C_2H_4) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

*กลุ่มบรรจุถุงพลาสติก FF3 และกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

#กลุ่มบรรจุถุงพลาสติก FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.2.17 (ก) ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ข) ความเข้มข้นออกซิเจน (O_2) และ (ค) ความเข้มข้นเอทิลีน (C_2H_4) ภายในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

*กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

#สูตรไขคาร์นูบา/ไขผึ้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.2.3 ความพึงพอใจของผู้บริโภค

การตรวจสอบคุณภาพในการรับประทานถูกประเมินเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 4.1.2.3 โดยครั้งนี้ใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 5 คน โดยใช้แบบสอบถามด้านกลิ่น รส และเนื้อสัมผัส โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นการทดสอบจาก คุณลักษณะภายนอก (สีเปลือก) ความแฉะ ความกรอบ ความหวาน กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบของผู้ทดสอบ

ก) ลักษณะภายนอก (สีขนและเปลือก)

ลักษณะภายนอกของเงาะในทุกทรีทเมนต์มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา (รูปที่ 4.2.15) โดยในสัปดาห์ที่ 1 พบว่าคะแนนสีเปลือกและขนไม่แตกต่างกันมาก แต่พบคราบขาวบนผิวเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีไขคาร์นูบาเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับตอนที่ 4.1 เงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผสมระหว่างไขผึ้งและไขคาร์นูบาพบคราบขาวน้อยกว่าสูตรที่ใช้ไขคาร์นูบาเพียงอย่างเดียว และเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้งไม่พบคราบขาวที่ผิวของผลเงาะ แสดงให้เห็นว่าการใช้ไขผึ้งสามารถแก้ปัญหาการเกิดคราบขาวบริเวณผลและขนของเงาะได้ ในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษาพบว่ากลุ่มควบคุมมีคะแนนสีขนและเปลือกน้อยกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ และพบคราบขาวเพิ่มมากขึ้นกว่าสัปดาห์แรกในสูตรที่ใช้สารเคลือบผิวไขคาร์นูบา และไขผสม แต่ไม่พบคราบขาวบนผลเงาะที่ใช้สารเคลือบสูตรไขผึ้งแม้จะมีระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น

ข) ความแฉะ

เงาะที่มีระยะเวลาการเก็บนานจะมีความแฉะเพิ่มขึ้น คะแนนความแฉะจึงลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา (รูปที่ 4.2.15) ในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและไขผึ้งมีคะแนนความแฉะสูงกว่ากลุ่มควบคุม เคลือบผิวด้วยสารเคลือบไขผสม และเงาะบรรจุถุงพลาสติก

ค) ความกรอบ

เงาะหลังการเก็บเกี่ยวมีความกรอบ แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นความเต่งตึงของผลเงาะจะค่อยๆลดลง ซึ่งมีผลทำให้ความกรอบลดลง ผลจากการประเมินความกรอบ (รูปที่ 4.2.15) พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา เงาะทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความกรอบลดลงแต่ไม่แตกต่างระหว่าง ทรีทเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่าเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีคะแนนความกรอบน้อยกว่าเงาะที่ผ่านการเคลือบผิวและเงาะบรรจุถุงพลาสติก

ง) กลิ่นและรสชาติผิดปกติ

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเงาะเพิ่มขึ้นเราจะพบกลิ่นและรสชาติผิดปกติของเงาะปรากฏขึ้น ซึ่งบ่งบอกถึงจุดยุติของการทดสอบเนื่องจากโดยส่วนใหญ่กลิ่นหรือรสชาติผิดปกติเกิดจากการที่ผลไม้เริ่มเน่าเสีย ผลการประเมิน (รูปที่ 4.2.16) พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา เงาะกลุ่มควบคุมและเงาะที่บรรจุถุงพลาสติกมีคะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติต่ำกว่าเงาะที่ผ่านการเคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่าเงาะที่บรรจุถุงพลาสติกมีคะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติต่ำที่สุด เนื่องจากถุง FF3 ถ่ายเทได้ยาก และพบว่าเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีคะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติต่ำกว่าเงาะที่เคลือบผิว เนื่องจากสารเคลือบสามารถช่วยปิดปากใบและรอยแผลต่างๆที่ผิวเปลือกและขนของเงาะ การสูญเสียน้ำจึงลดลง การเน่าเสียของเงาะจึงช้ากว่าเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

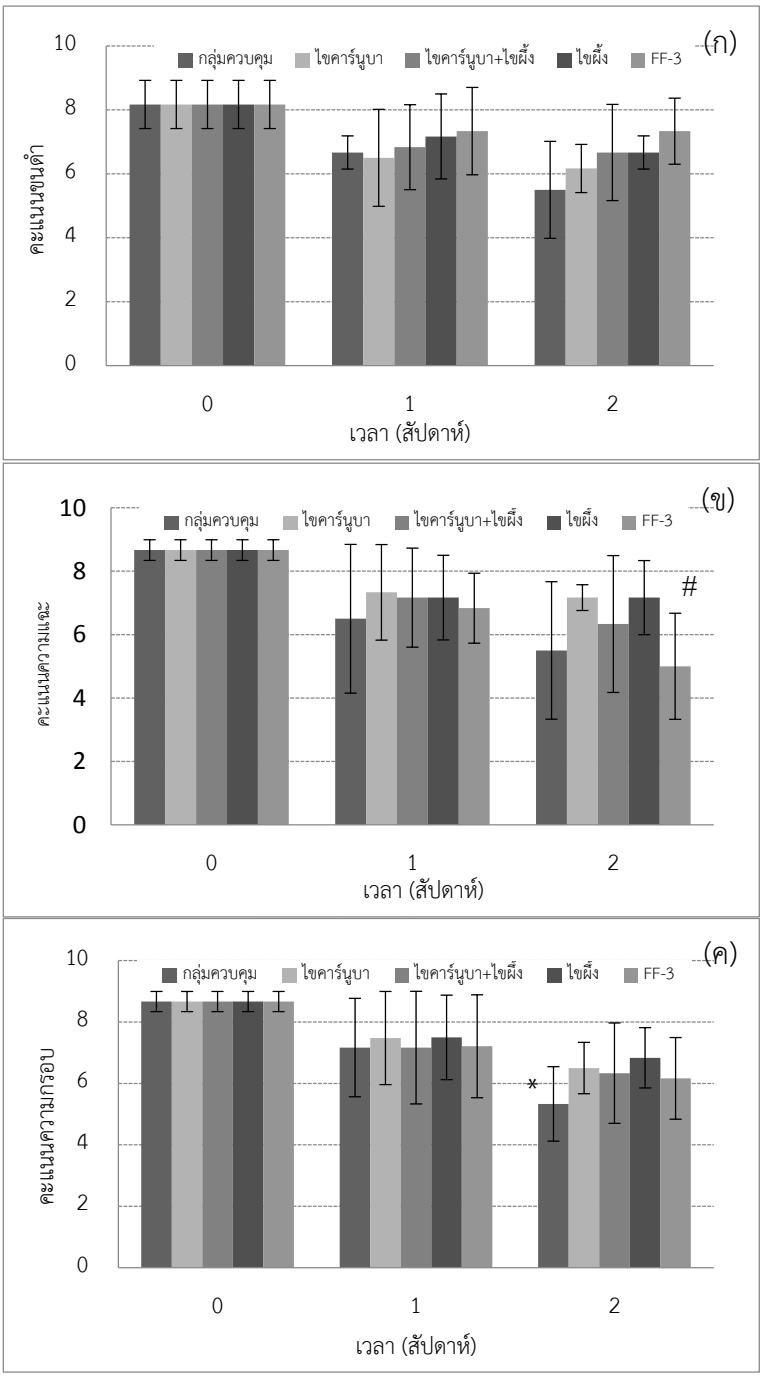
จ) ความหวาน

ความหวานเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภค โดยปกติแล้วเงาะเมื่อสุกจะมีความหวานเพิ่มขึ้น และเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้นความหวานของเงาะจะลดลง ผลการประเมินความหวานโดยผู้ทดสอบ (รูปที่ 4.2.16) เมื่อเก็บรักษาเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าความหวานของเงาะมีค่าลดลงแต่ไม่แตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าเงาะทุกทรีทเมนต์มีคะแนนลดน้อยลงและไม่แตกต่างกัน เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเงาะจัดเป็นผลไม้จำพวก non-climacteric ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีขึ้นน้อยหลังการเก็บเกี่ยว [73]

ฉ) ความชอบ

คะแนนความชอบเป็นภาพรวมของการทดสอบโดยผู้บริโภค เนื่องจากคะแนนความชอบจากผู้ประเมินเป็นตัวสะท้อนความพึงพอใจของผู้บริโภคได้ดีที่สุด และเป็นสิ่งสำคัญในการแสดงผลการทดสอบว่าสามารถนำไปใช้งานจริงได้ สำหรับผลการประเมินความชอบ (รูปที่ 4.2.16) พบว่าเงาะที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ใช้ไขผึ้งและถุงพลาสติกมีคะแนนความชอบสูงกว่าทรีทเมนต์อื่น อาจเนื่องจากเกิดการเน่าเสียช้ากว่า และเงาะที่เคลือบด้วยสูตรไขผึ้งไม่เกิดคราบและมีความมันวาว ขนของเงาะแข็ง จึงมีคะแนนความชอบโดดเด่นกว่าสูตรอื่น เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 2 พบว่าผู้ทดสอบมีความชอบเงาะที่เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติกมากกว่าเงาะที่ไม่เคลือบผิว แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเงาะที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบแต่ละสูตรพบว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบามีความชอบน้อยกว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบไขผสมและไขผึ้ง เนื่องจากเงาะที่เคลือบผิวด้วยไขคาร์นูบามีคราบขาวที่ผิวของเปลือกและขนเงาะทำให้ลักษณะภายนอกไม่สวยงาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

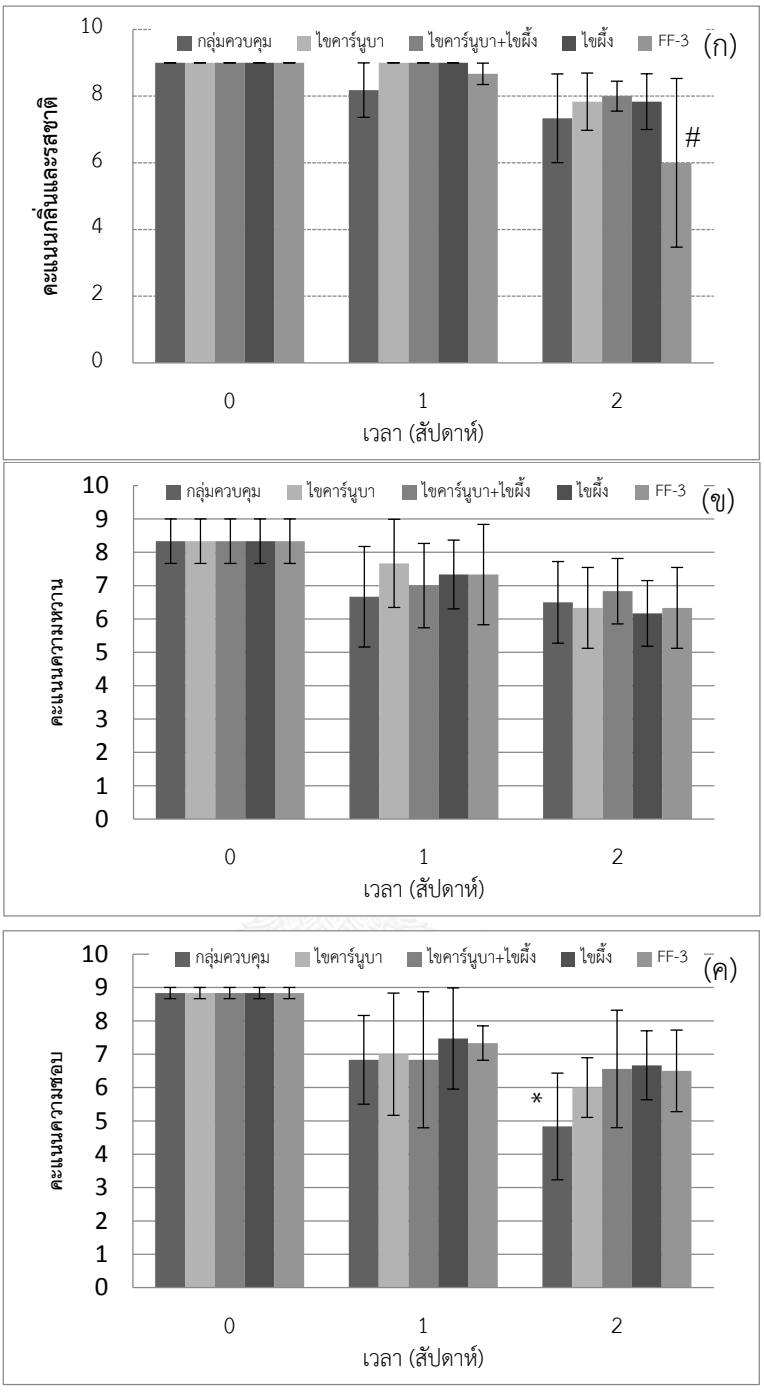


รูปที่ 4.2.18 (ก) คะแนนขนดำ (ข) ความเฉะ และ (ค) ความกรอบ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

#กลุ่มควบคุมและบรรจุถุง FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบา และไขผึ้ง

*กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P≤0.05)



รูปที่ 4.2.19 (ก) คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (ข) ความหวาน และ (ค) ความชอบ ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

#กลุ่มบรรจุถุง FF3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

*กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

4.3. ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษาเงาะในระดับการค้า

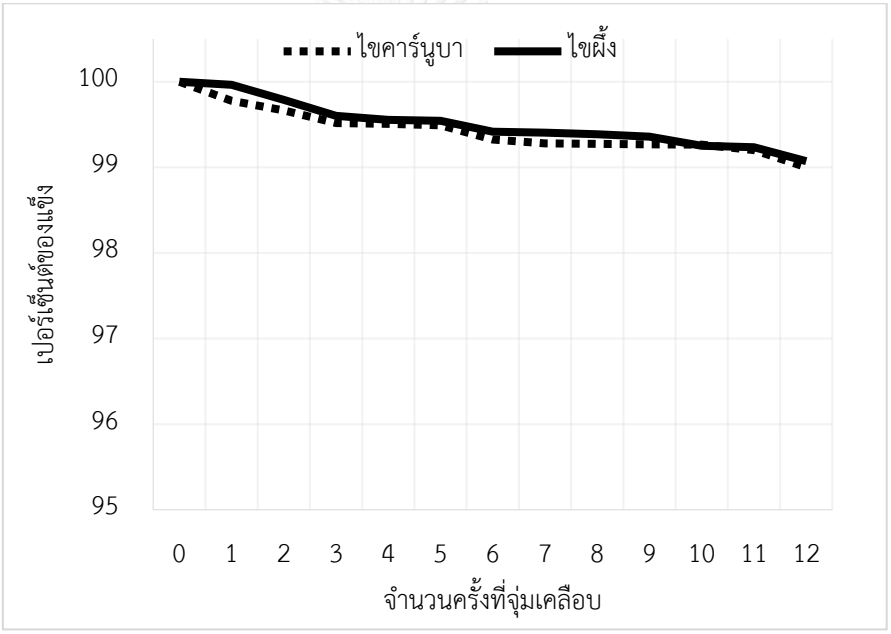
สืบเนื่องจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการเคลือบผลเงาะด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้งให้ผลทางคุณภาพดีและไม่พบคราบขาว ทำให้สารเคลือบสูตรไขผึ้งมีศักยภาพในการนำไปใช้ในการส่งออกเงาะในอนาคต เพื่อความมั่นใจในการพัฒนาสารเคลือบดังกล่าว ทางคณะผู้วิจัยจึงทำการทดสอบในตอนที่ 4.3 เพื่อจำลองการส่งออกเงาะในระดับการค้า โดยการทดสอบนี้จะแตกต่างจากการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการคือ เมื่อเคลือบเงาะแล้วจะไม่นำมาบรรจุในโฟมแล้วหุ้มด้วยฟิล์มเก็บในกล่อง แต่จะนำตะกร้าที่จุ่มเคลือบเสร็จแล้วเก็บเข้าห้องควบคุมอุณหภูมิหลังสารเคลือบแห้ง ซึ่งขั้นตอนนี้คาดว่าจะให้ผลที่ดีกว่าเนื่องจากเงาะไม่เกิดบาดแผลจากการจุ่มเคลือบและการบรรจุ หลังจากนั้นทำการทดสอบโดยนำเงาะบางส่วนบรรจุถุงที่ใช้ในห้างสรรพสินค้ามาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อจำลองสภาวะการวางขายผลิตภัณฑ์ในห้างสรรพสินค้า ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาผลของการเคลือบเงาะแบบตะกร้าและเก็บรักษาในตะกร้าในแต่ละสัปดาห์เพื่อทดสอบว่าผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการหรือไม่ โดยเฉพาะผลของการเกิดคราบขาวซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับการเคลือบผิวเงาะ อีกทั้งศึกษาผลของเงาะสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ทดสอบคุณภาพในวันที่ 0 1 และ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เปอร์เซ็นต์ โดยการทดลองนี้จะทำการทดสอบสารเคลือบสูตรไขผึ้ง เปรียบเทียบกับไขคาร์นูบา และเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบ ผลการทดลองแสดงดังนี้

ปริมาณของแข็งที่เหลือในการจุ่มสารเคลือบ

สารเคลือบผิวมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยไขซึ่งเป็นของแข็งละลายอยู่ในสารละลายเชลแล็ก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าหลังจากใช้สารเคลือบในการจุ่มเคลือบหลายๆครั้ง ปริมาณอนุภาคไขแขวนลอยจะลดลง จึงได้ทำการศึกษาปริมาณของแข็งที่ลดลงเมื่อทำการเคลือบแต่ละครั้ง รูปที่ 4.3.1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีอยู่ในสารเคลือบมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามจำนวนครั้งการจุ่มเคลือบ โดยพบว่าปริมาณของแข็งที่ลดลงเฉลี่ยต่อการเคลือบเงาะประมาณ 2 กิโลกรัม เท่ากับ 0.0149 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบา และ 0.0139 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสารเคลือบสูตรไขผึ้ง แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแข็งที่ลดลงเฉลี่ยของไขคาร์นูบามากกว่าไขผึ้ง และพบว่าอัตราการลดลงต่อครั้งการจุ่มมีค่าไม่คงที่ (ตารางที่ 4.3.1) อาจเป็นผลมาจาก 1) พื้นที่ผิวของเปลือกและขนเงาะที่มีความแปรปรวนสูง 2) สารเคลือบสูตรที่ผสมไขมีสภาพเป็นไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งมีส่วนที่ชอบน้ำและส่วนไม่ชอบน้ำ ทำให้สารเคลือบส่วนหนึ่งติดกับตะกร้าพลาสติกซึ่งไม่ชอบน้ำได้

ดี ซึ่งอนุภาคของคอลลอยด์ที่มีความไม่สม่ำเสมออาจมีผลต่อความไม่สม่ำเสมอของความเข้มข้นของสารเคลือบได้

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องมีการทดสอบการลดลงของปริมาณไขในระหว่างการจุ่มเคลือบผลไม้ เนื่องจากทำให้ปริมาตรและความเข้มข้นของสารเคลือบเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลต่อความหนาและการเกาะติดของฟิล์มเคลือบ การจุ่มเคลือบเพื่อใช้งานในระดับการค้า ที่มีขนาดการเคลือบปริมาณมากจำเป็นต้องมีการทดสอบจุ่มเคลือบที่คล้ายคลึงกับการทดลองในหัวข้อนี้ โดยควรมีระบบการเติมสารเคลือบเป็นระยะ จากการทดลองด้วยการจุ่มเคลือบทั้งหมด 12 ครั้ง พบว่าไม่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาเงาะ เนื่องจากสารเคลือบสามารถจุ่มเคลือบเงาะ และยังคงประสอทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะได้



รูปที่ 4.3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งของสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและไขผึ้ง หลังผ่านการจุ่มเคลือบ

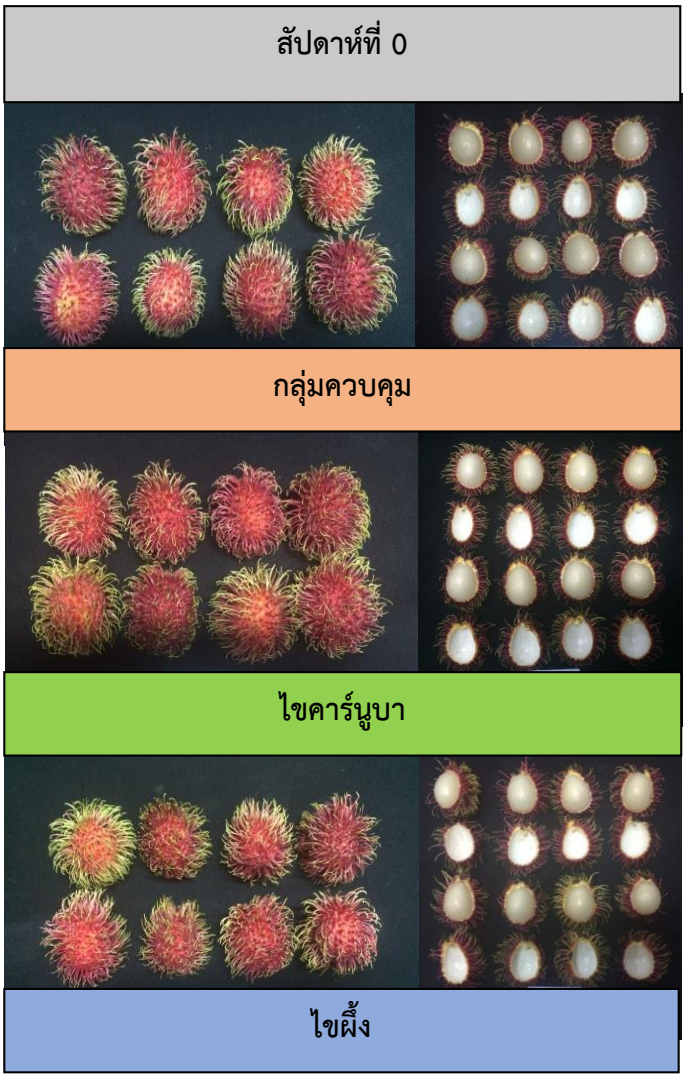
4.3.1 ลักษณะทางกายภาพ

ก) ลักษณะภายนอกและภายในผลเงาะ

การเคลือบผลเงาะด้วยเชลแล็กดัดแปลงด้วยไข 5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สารเคลือบสูตรไขคาร์นูบา และสารเคลือบสูตรไขผึ้ง ในวันที่ 0 รูปที่ 4.3.2 (วันที่ดำเนินการเคลือบ) มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างจากผลที่ไม่ผ่านการเคลือบ(Control) ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวไม่ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของผลเงาะ แต่เมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้น 90±5 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.3.3) พบว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตร ไขคาร์นูบามีลักษณะภายนอกไม่ดีเท่ากรณีที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง เนื่องจากเกิดคราบขาวและจุดขาวของไขที่ผิวและขนของผลเงาะ เห็นได้จากสีเปลือกและสีขนเงาะที่ดูไม่สดซึ่งสอดคล้องกับผลในหัวข้อที่ 4.2 ขณะที่เงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบมีลักษณะขนที่ตั้งแข็งกว่าเงาะที่ไม่เคลือบ การที่เงาะขนไม่ล้มเนื่องจากสารเคลือบฟอร์มเป็นฟิล์มพลาสติก และปิดปากใบที่อยู่บนเปลือกและขนเงาะจำนวนมาก ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลเงาะยังคงอยู่ในสภาพที่ดีคือ 2 สัปดาห์ (รูปที่ 4.3.5) นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สีขนของผลเงาะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองส้มเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และในช่วงท้ายของการเก็บรักษาดังรูปที่ 4.3.7 (สัปดาห์ที่ 3) สีขนและสีเปลือกภายในผลเงาะเปลี่ยนเป็นสีดำเพิ่มมากขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง สาเหตุที่ทำให้ผลเงาะเป็นเช่นนี้คือการสูญเสียน้ำเนื่องจากผลเงาะมีโครงสร้างของเปลือกและขนที่มีช่องเปิดจำนวนมาก ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำได้เป็นอย่างดี [7]

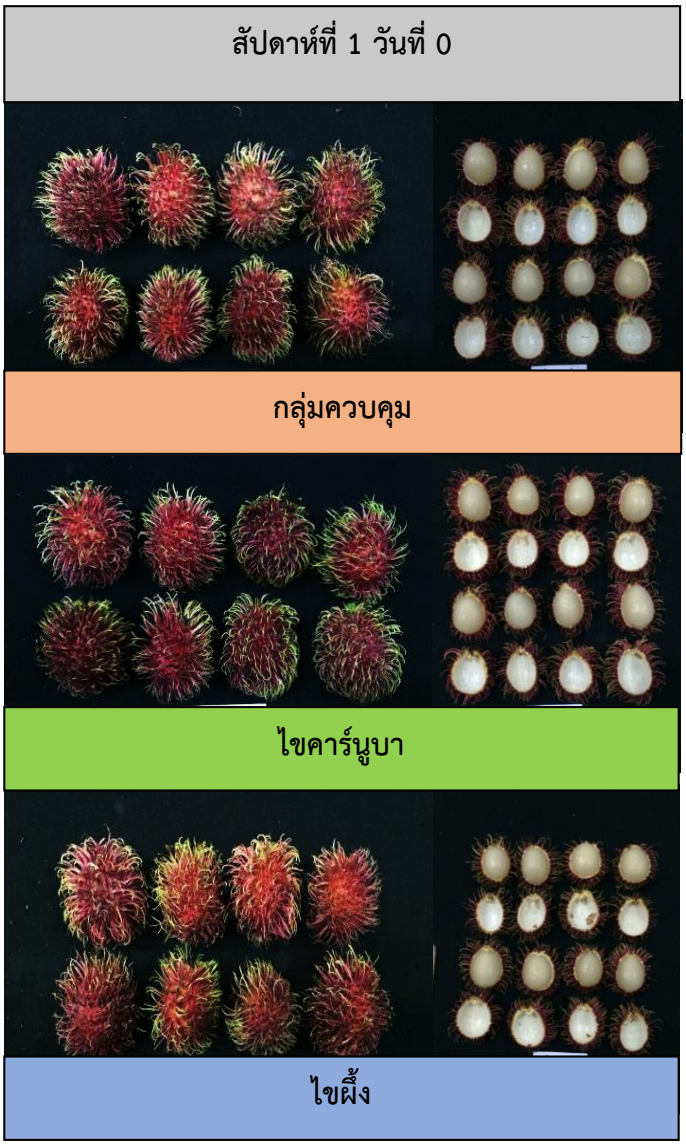
หลังจากที่เก็บรักษาเงาะทุกกลุ่มทดลองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้น 90±5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (รูปที่ 4.3.3) และย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 75±5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน (รูปที่ 4.3.4) พบว่าผลเงาะที่เคลือบผิวเปลือกและขนยังคงสวยและมีขนที่แข็งกว่า แต่เงาะที่ไม่เคลือบผิวขนเริ่มดำ นอกจากนี้ตลอดระยะเวลา 2 วัน ผลเงาะที่ผ่านการเคลือบผิวมีลักษณะภายนอกปรากฏดีกว่าโดยเฉพาะเมื่อใช้สารเคลือบสูตรไขผึ้ง หลังจากเก็บรักษาผลเงาะที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้น 90±5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ (รูปที่ 4.3.5) เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 75±5 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.3.6) พบว่าเงาะที่เคลือบสามารถรักษาคุณภาพภายนอกภายในได้เพียง 1 วัน จากผลการทดลองแสดงว่าเงาะที่เคลือบมีคุณภาพดีกว่าเงาะที่ไม่เคลือบ โดยเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาให้คุณภาพดีแต่สังเกตคราบขาวหรือจุดขาวอีกทั้งปริมาณคราบขาวหรือจุดขาวสังเกตเห็นเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่เงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้งมีคุณภาพดีและไม่พบคราบขาวหรือจุดขาวที่ผลเงาะ

(ก) (ข)



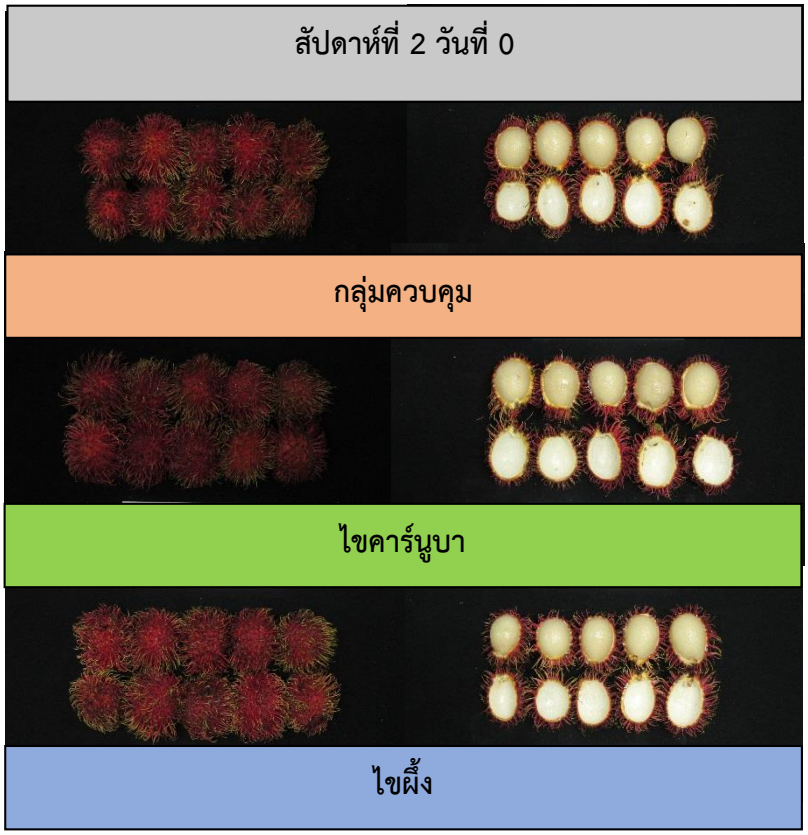
รูปที่ 4.3.2 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 0 วันที่ 0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์

(ก) (ข)



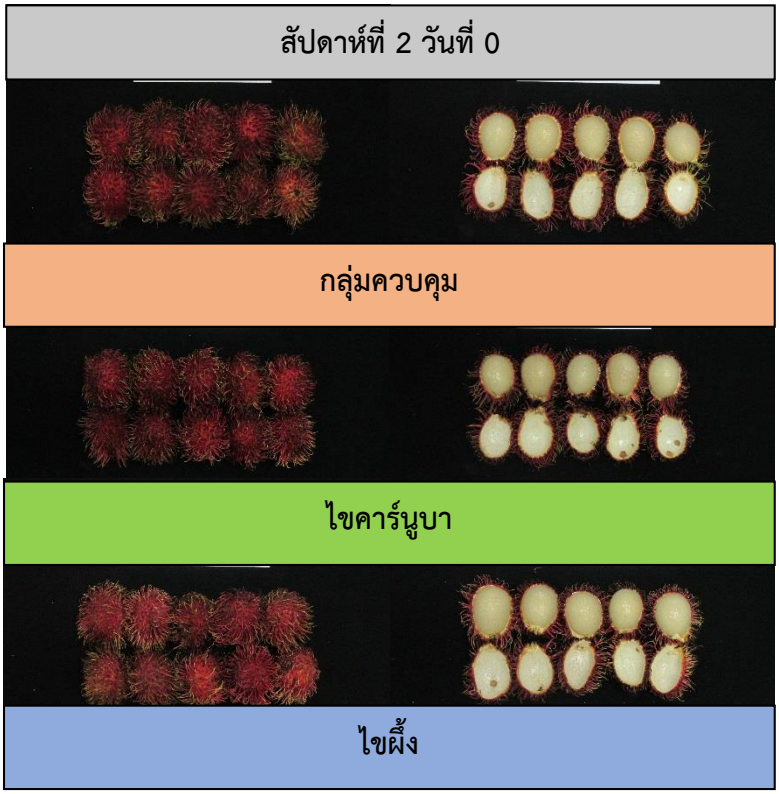
รูปที่ 4.3.3 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 1 วันที่ 0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์

(ก) (ข)



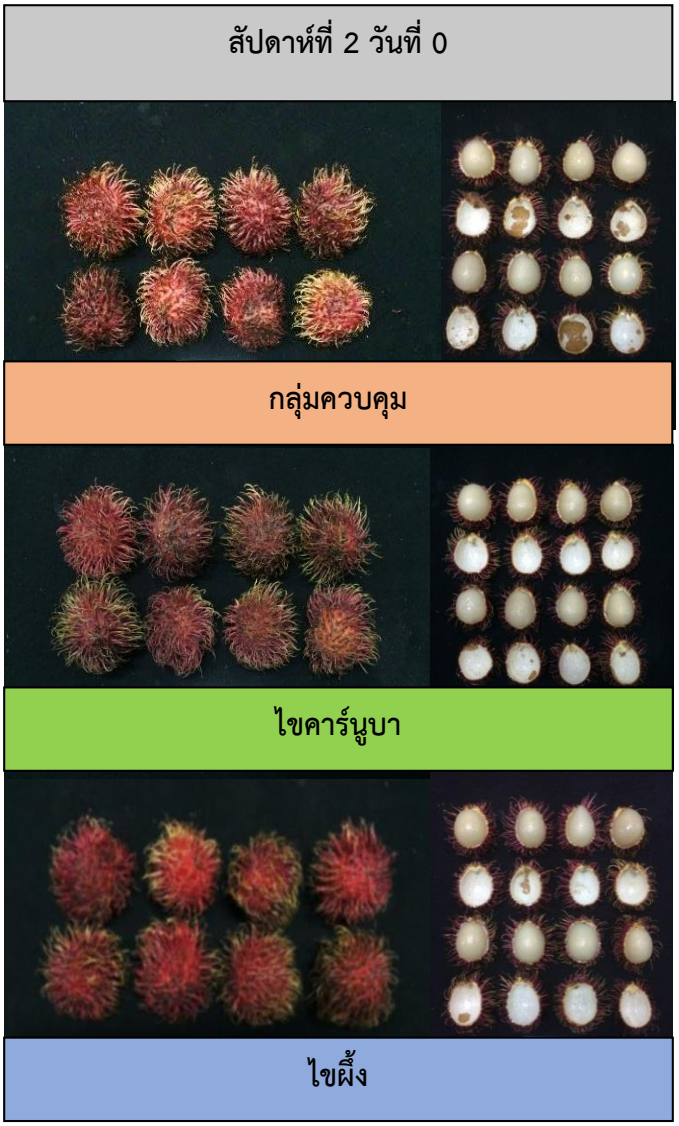
รูปที่ 4.3.4 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 1 เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

(ก) (ข)



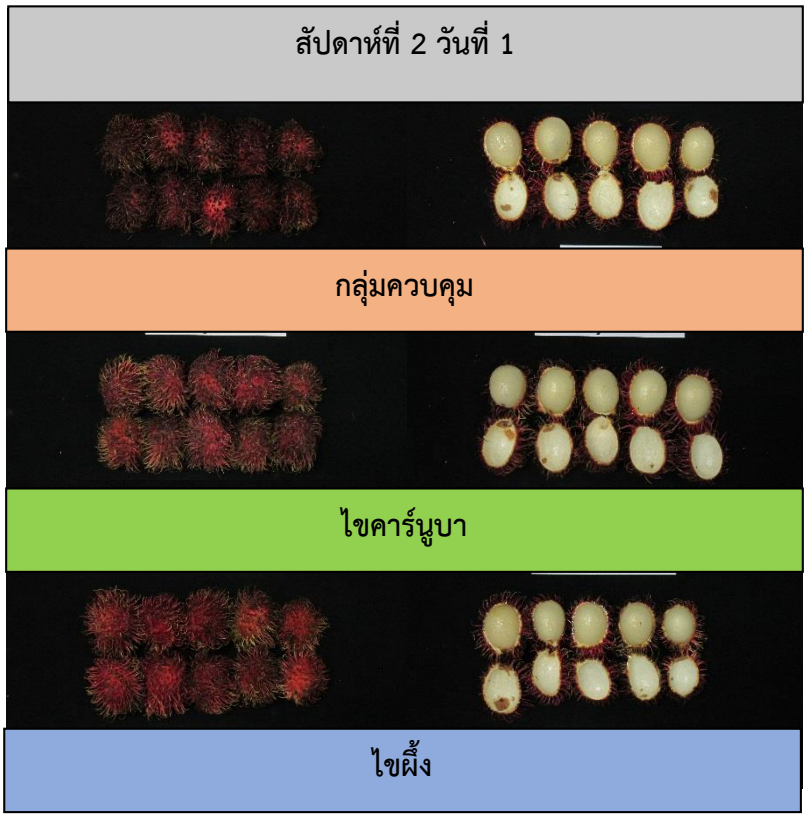
รูปที่ 4.3.5 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 2 เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

(ก) (ข)



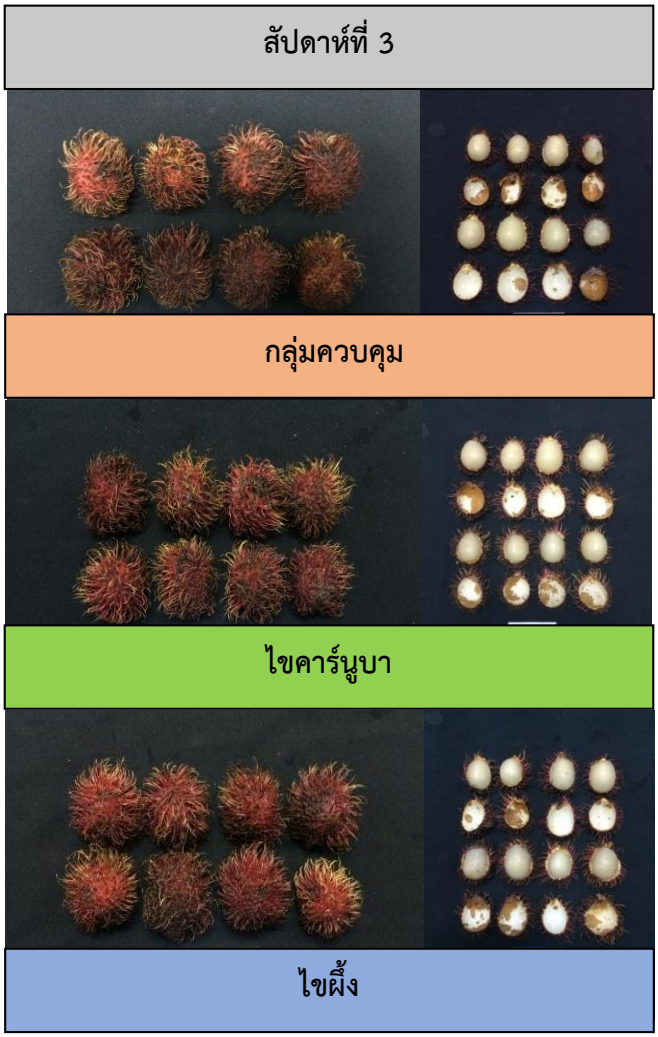
รูปที่ 4.3.6 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 2 วันที่ 0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์

(ก) (ข)



รูปที่ 4.3.7 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 1 เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

(ก) (ข)



รูปที่ 4.3.8 (ก) ลักษณะภายนอก และ (ข) ภายในของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเงาะที่ผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์

ข) สี

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกนอก เปลือกใน และเนื้อผล โดยเปรียบเทียบผลในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาเงาะในตะกร้าที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ และผลของเงาะ เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในวันที่ 1 และ 2 ของเงาะที่บรรจุในถุง ดังนี้

- สีเปลือกด้านนอกของผลเงาะมีค่าความสว่าง (L*) ที่มีแนวโน้มลดลงในแต่ละสัปดาห์ ผลเงาะที่เคลือบด้วยสูตรไขคาร์นูบาและไขผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงค่า L* ช้ากว่ากลุ่มควบคุม (รูปที่ 4.3.3) เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 1 ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกที่เข้มขึ้น (รูปที่ 4.3.6 ก) ขณะที่ค่าสีแดง (a*) ในแต่ละสัปดาห์มีการเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นโดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 2 และลดลงในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ค่า (a*) ของผลเงาะที่เคลือบด้วยไขคาร์นูบาและไขผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบ (รูปที่ 4.3.3) เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอด 2 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 1 หลังจากนั้นลดลง การทดลองไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกผลเงาะไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว (รูปที่ 4.3.6 ก)

สำหรับค่าสีเหลือง (b*) ในแต่ละสัปดาห์มีค่าลดลงน้อยกว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบ (รูปที่ 4.3.3) แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวด้วยไขคาร์นูบาและไขผึ้ง สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 2 วันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันแรกและลดลงในวันที่ 2 โดยไม่พบความแตกต่างกันระหว่างเงาะไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว (รูปที่ 4.3.6 ก)

การลดลงของค่าความสว่าง และค่าสีเหลือง ตลอดจนการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดงบอกให้ทราบถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวผลเงาะเป็นสีเข้มมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้มีความแตกต่างกันชัดเจนกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้เพราะผลเงาะมีการสูญเสียน้ำออกทางปากใบซึ่งมีจำนวนมากกว่าล้านเซลล์ทำให้ผลเงาะเกิดอาการเหี่ยวแห้ง และเกิดการเปลี่ยนสีผลจากสีเหลืองส้มหรือแดงไปเป็นสีที่เข้มขึ้น จนในที่สุดมีสีดำทั่วทั้งผล [14] ในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา

- สีเปลือกด้านในของผลเงาะในแต่ละสัปดาห์ความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงจากเริ่มต้นโดยผลเงาะที่เคลือบผิวด้วยไขคาร์นูบาและไขผึ้ง มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว

อย่างเห็นได้ชัดเจนในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 4.3.4) เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 1 และหลังจากนั้นค่อยคงที่ ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของค่าความสว่าง L* ของผลเงาะไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว (รูปที่ 3.4.6 ข)

ขณะที่ค่าสีแดง (a*) เมื่อเปรียบเทียบผลแต่ละสัปดาห์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ผลเงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตร ไขคาร์นูบา และไขผึ้ง เพิ่มขึ้นน้อยกว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบ (รูปที่ 4.3.4) เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาเก็บรักษามีแนวโน้มเพิ่มข้นเล็กน้อย ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของค่า a* ของผลเงาะไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว (รูปที่ 3.4.6 ข)

สำหรับค่าสีเหลือง (b*) เมื่อเปรียบเทียบผลแต่ละสัปดาห์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าสีเปลือกด้านในของผลเงาะจากสีขาวไปเป็นสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าเปลือกด้านในผลเงาะที่เคลือบด้วยไขคาร์นูบาและไขผึ้งเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเปลือกด้านในผลเงาะที่ไม่เคลือบ (รูปที่ 4.3.4) ทั้งนี้เนื่องมาจากผลเงาะที่ไม่ผ่านการเคลือบมีการสูญเสียน้ำออกจากเปลือกและขนจำนวนมากกว่า ทำให้เซลล์พืชสูญเสียความเต่ง เซลล์เกิดความเสียหายไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆได้ ทำให้เนื้อเยื่อของเปลือกเงาะด้านในเกิดอาการสีน้ำตาลมากกว่าผลเงาะที่ผ่านการเคลือบ [7]เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าในวันที่ 1 ผลเงาะเคลือบผิวสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า b* ได้เมื่อเปรียบเทียบกับเงาะไม่เคลือบผิว (รูปที่ 3.4.6 ข)

- สีเนื้อผลเงาะ ค่าความสว่าง (L*) ในแต่ละสัปดาห์มีแนวโน้มที่ลดลงจากเริ่มต้น พบว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว มีค่า L* ลดลงมากกว่าผลเงาะที่เคลือบผิว (รูปที่ 4.3.5) เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงค่า L* มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยตลอด 2 วัน ของการเก็บรักษา ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของค่า L* ของผลเงาะไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว (รูปที่ 3.4.6 ค)

ขณะที่ค่าสีแดง (a*) ในแต่ละสัปดาห์มีแนวโน้มลดลง และเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา แต่ไม่พบความแตกต่างของเงาะที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส ไม่พบความแตกต่างของผลเงาะไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว (รูปที่ 3.4.6 ค)

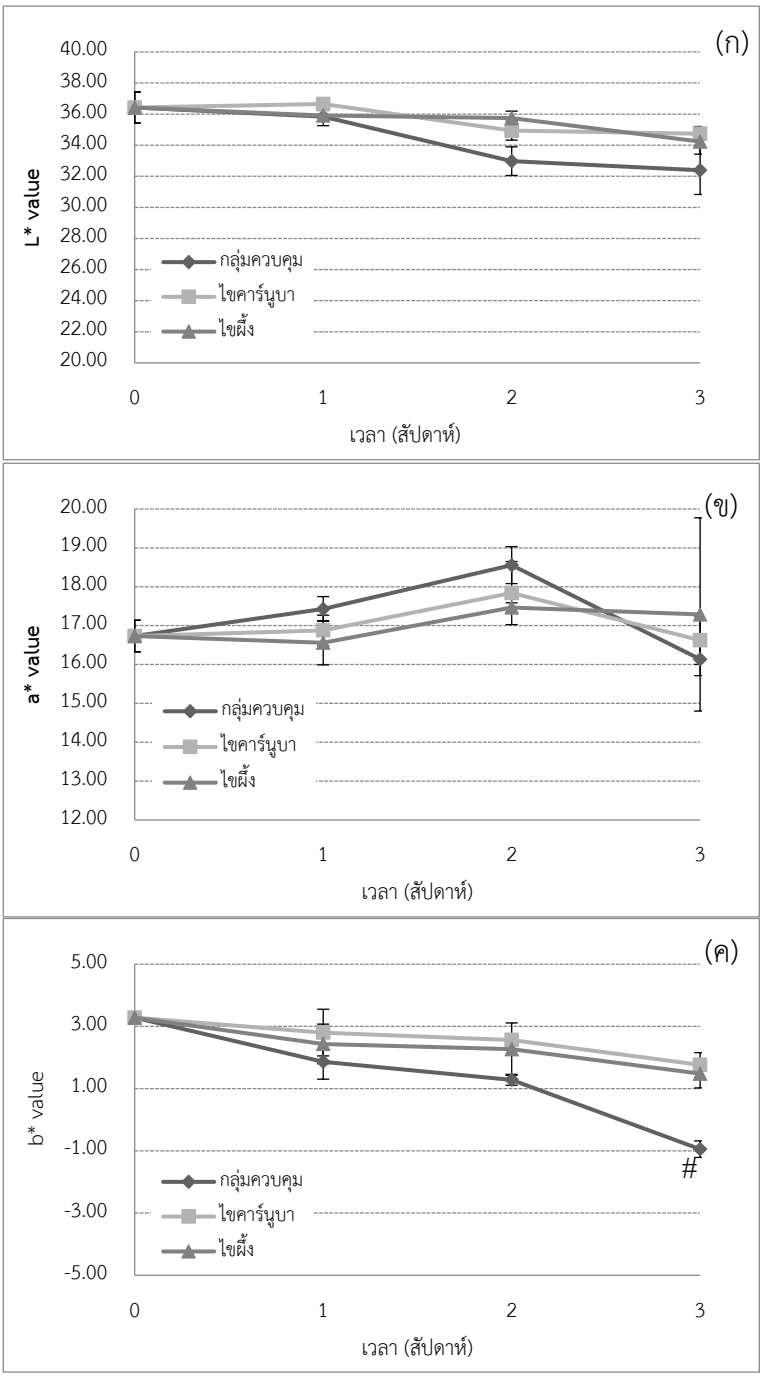
สำหรับค่าสีเหลือง (b*) ของผลเงาะที่เก็บในตะกร้าที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ (รูปที่ 4.3.5) และเงาะที่เก็บรักษาผลเงาะเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

และย้ายมาที่ 25 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3.4.6 ค) มีแนวโน้มลดลงจากค่าเริ่มต้น และไม่พบความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนต์ แสดงให้เห็นว่าสีเนื้อมีการพัฒนาจากสีขาวใสไปเป็นสีเหลืองเข้มมากขึ้น และเมื่อเก็บรักษาเงาะเป็นเวลานานขึ้นสีเนื้อของเงาะมีการเปลี่ยนเป็นสีขาวใสออกเหลืองเพิ่มขึ้น

ค) อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณผลเน่า

เงาะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เกิดการเน่าเสียเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบการเปลี่ยนแปลงของเงาะอย่างรวดเร็ว โดยพบว่าเงาะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ปริมาณการเน่าเสียของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิวประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ของผลเงาะทั้งหมดที่บรรจุในถุง ส่วนเงาะที่เคลือบผิวพบการเน่าเสีย 7-8 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.3.12) เงาะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน เกิดผลเน่าของผลเงาะที่ไม่เคลือบมากกว่าผลเงาะที่เคลือบ หลังจากนั้นจะเกิดผลเน่ากับทุกทรีทเมนต์โดยจะพบว่าการเคลือบผิวสามารถชะลอการเกิด ผลเน่าได้

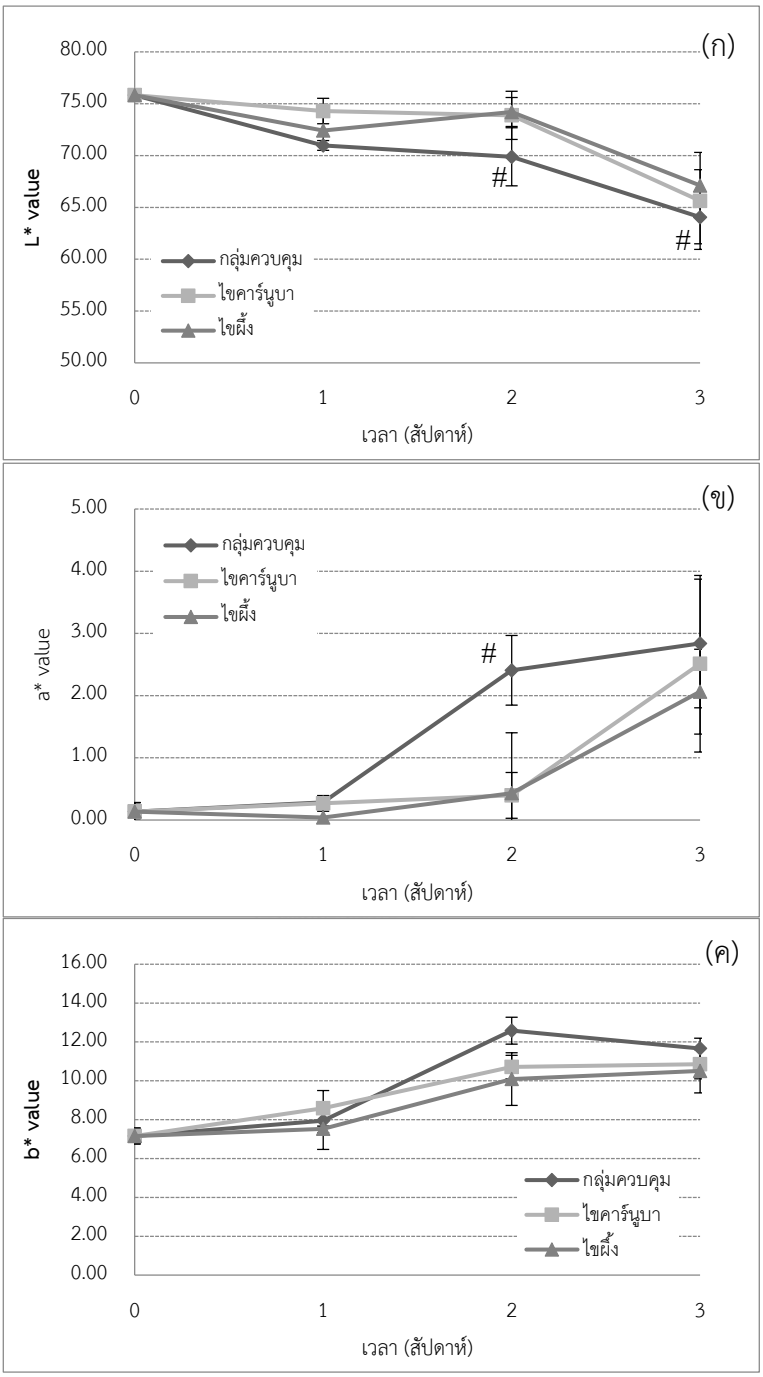
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.3.9 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 สัปดาห์

#กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

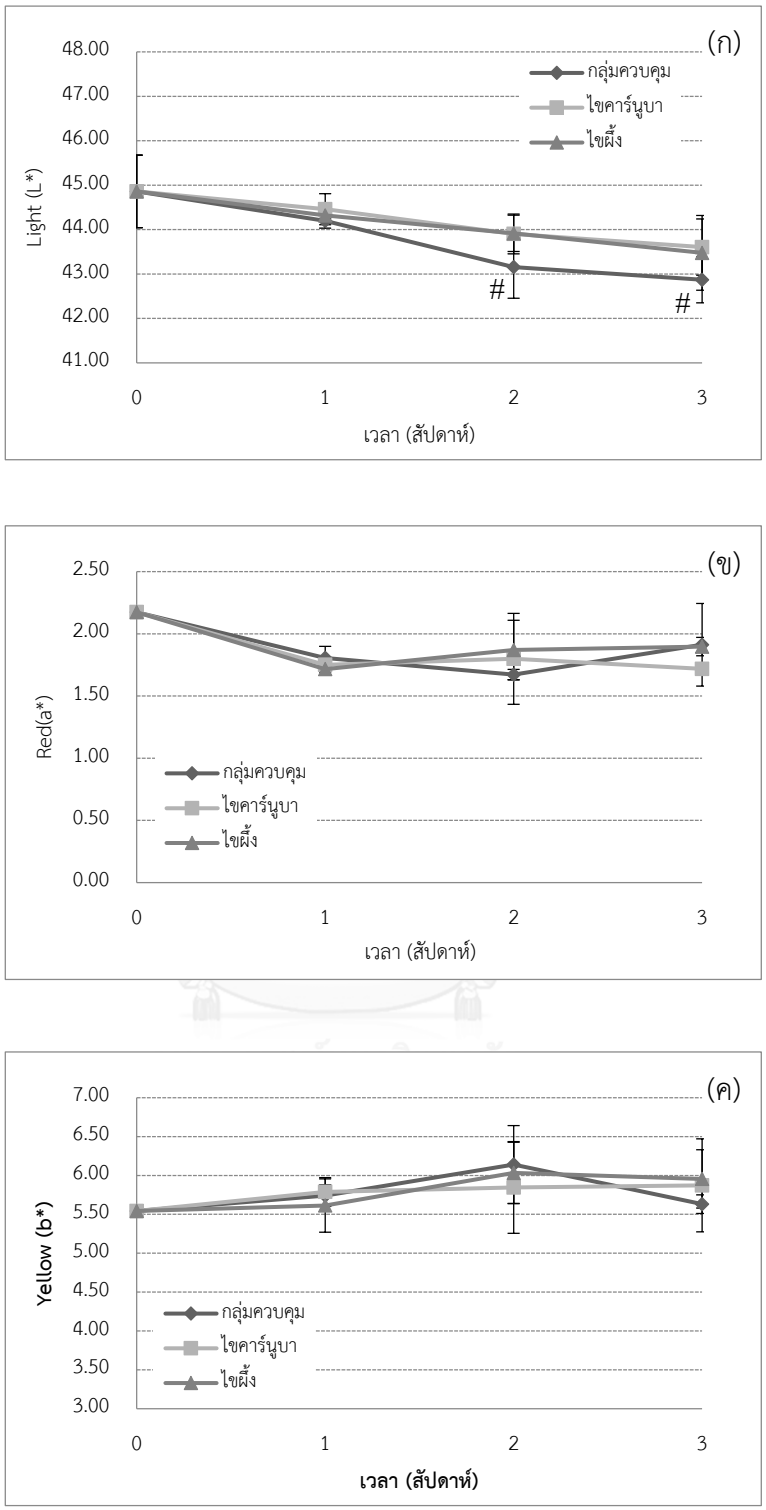
ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.3.10 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเปลือกด้านในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

#กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P≤0.05)

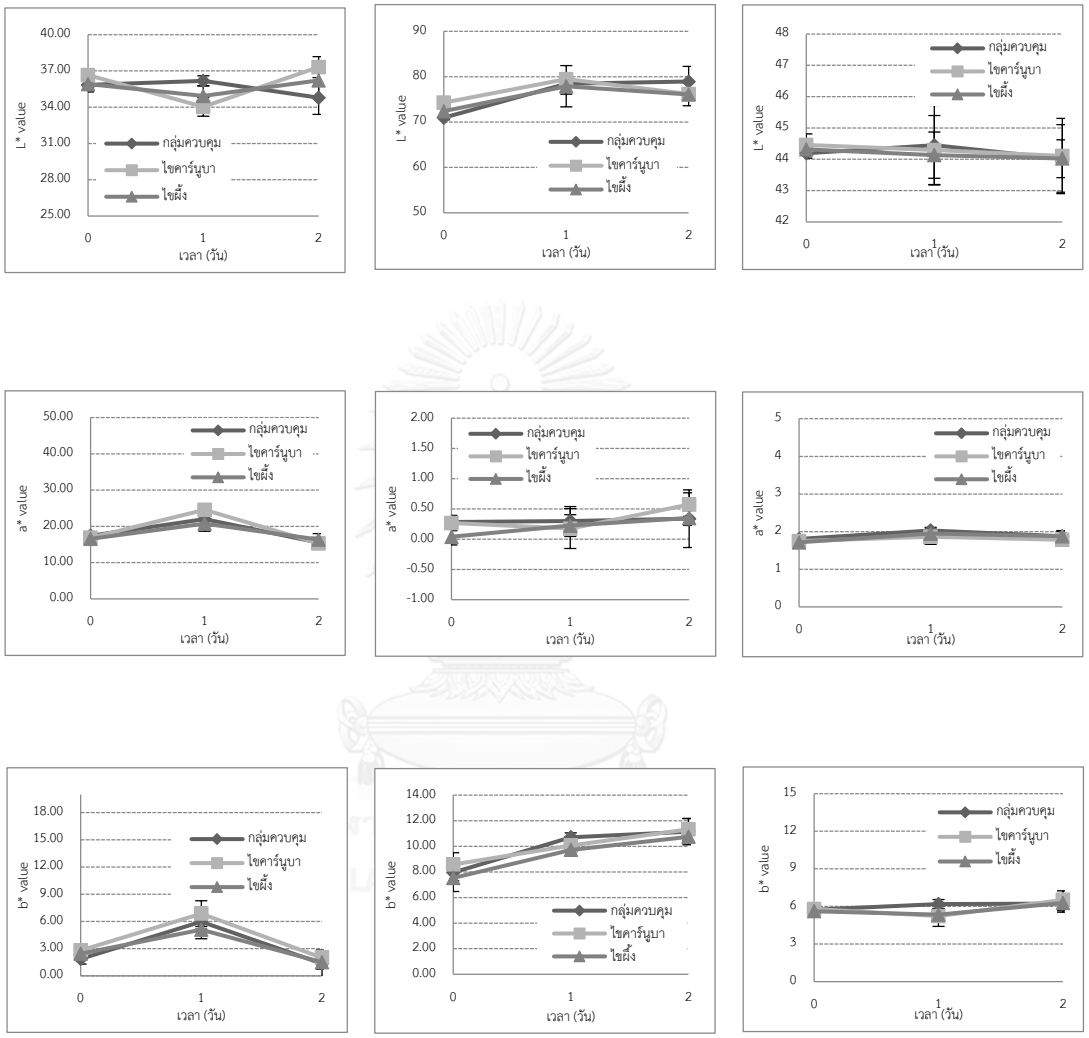


รูปที่ 4.3. 11 การเปลี่ยนแปลงค่า (ก) L* (ข) a* และ (ค) b* ของเนื้อผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา

#กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

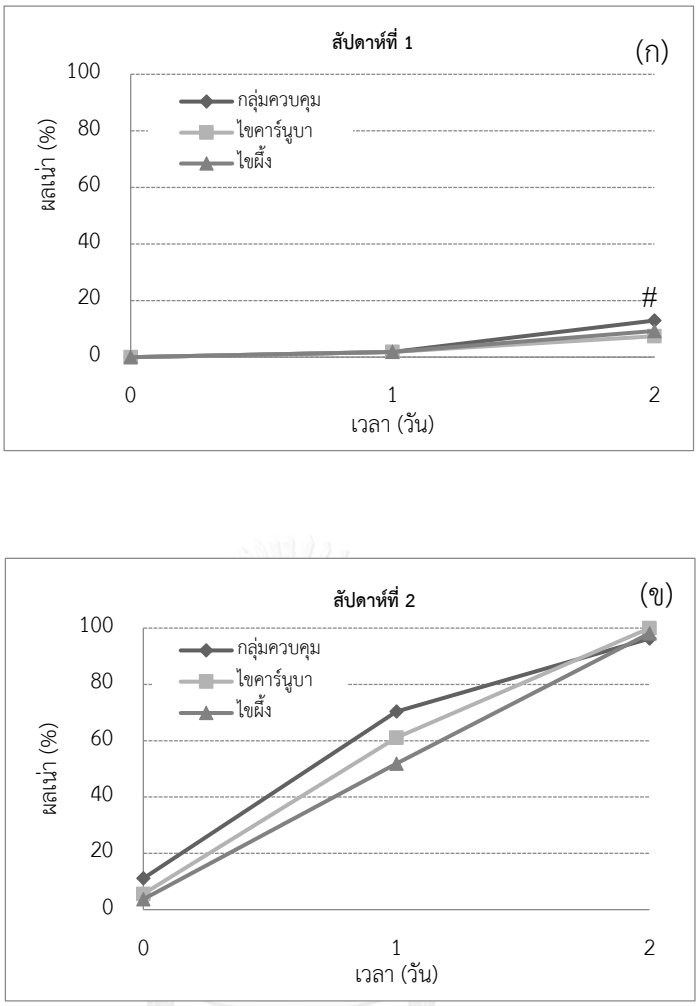
สัปดาห์ที่ 1

(ก) (ข) (ค)



รูปที่ 4.3. 12 การเปลี่ยนแปลงค่า (L*) (a*) และ (b*) ของ (ก) เปลือกด้านนอก (ข) เปลือกด้านใน และ (ค) เนื้อผล ของเงาะที่ไม่เคลือบ เคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบา และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้ง บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.3. 13 เปอร์เซ็นต์การเกิดผลเน่าของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา (ก) 1 และ (ข) 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์

#กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น

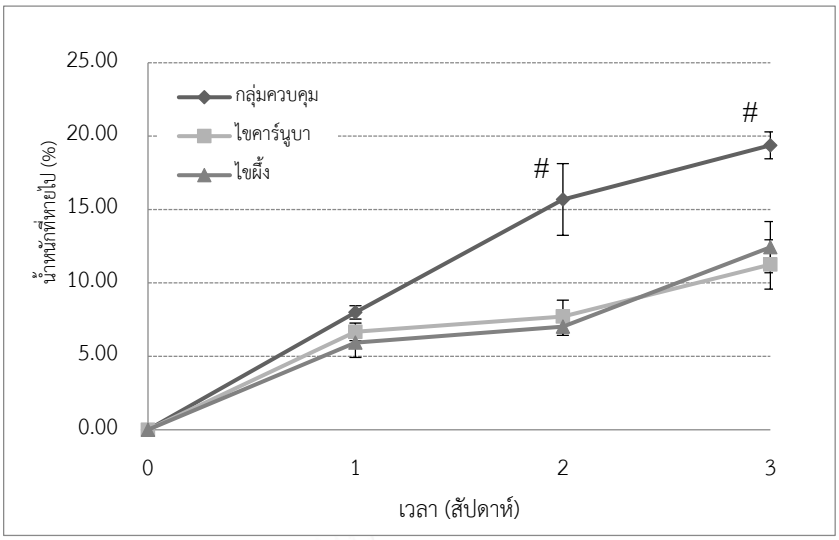
ง) การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น โดยผลเงาะที่เคลือบผิวด้วยสูตรไขคาร์นูบา และไขผึ้ง พบการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสารเคลือบทำหน้าที่ไปปิดปากใบที่อยู่บนเปลือกและขนจำนวนมาก [17] ทำให้การสูญเสียน้ำหนักลดลง สำหรับผลเงาะที่ผ่านการเคลือบผิว พบว่าสูตรที่ใช้ไขผึ้งมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างจากสูตรที่ใช้ไขคาร์นูบา เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เคลือบที่สูญเสียน้ำหนักประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการเคลือบผิวสูญเสียน้ำหนักในช่วง 11-13 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 3 สัปดาห์ (รูปที่ 4.3.13) เมื่อเก็บรักษาทั้งสัปดาห์ที่ 1 และ 2 แล้วย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขผึ้งมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด (รูปที่ 4.3.14)

จ) ความแน่นเนื้อ

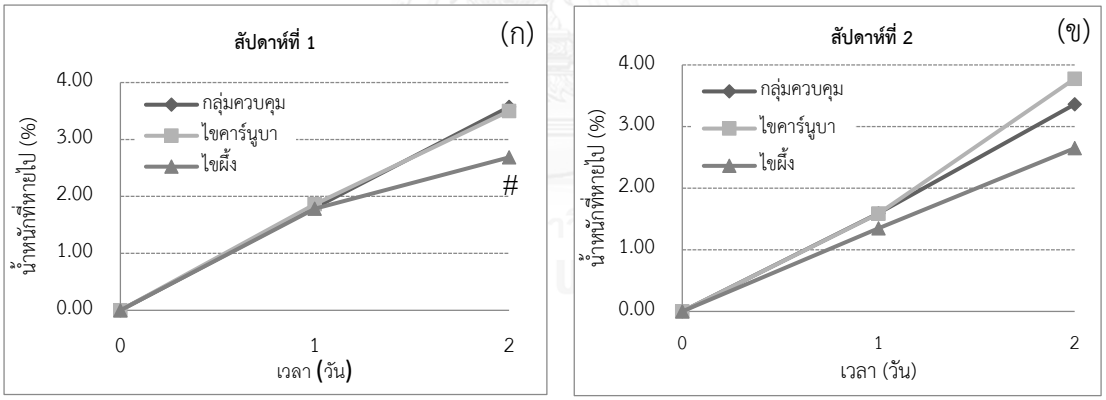
ความแน่นเนื้อของผลเงาะ (รูปที่ 4.3.15) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 เนื่องจากสัปดาห์ที่ 1 เงาะผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิในสัปดาห์ที่ 0 และลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ของการเก็บรักษาทุกทรีทเมนต์ และพบว่าการเคลือบผิวผลเงาะทั้งสองทรีทเมนต์ให้ค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว โดยในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา กลุ่มที่ไม่เคลือบมีค่าความแน่นเนื้อ 13 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร และกลุ่มที่มีการเคลือบผิวมีค่า ความแน่นเนื้อ 16-18 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเก็บรักษาถึงสัปดาห์ที่ 1 หลังย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส ไม่พบความแตกต่างของผลเงาะไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว แต่เมื่อเก็บรักษา ถึงสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการเคลือบผิวให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่า (รูปที่ 4.3.16)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



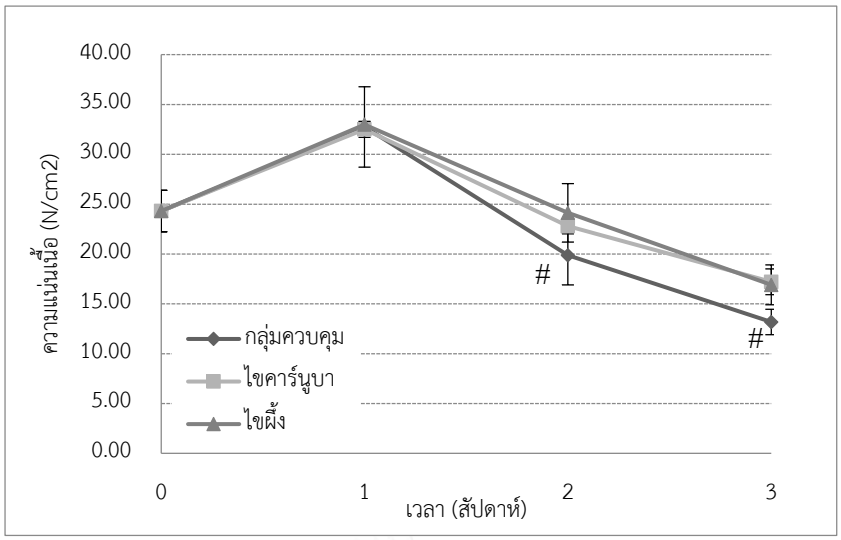
รูปที่ 4.3. 14 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

#กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

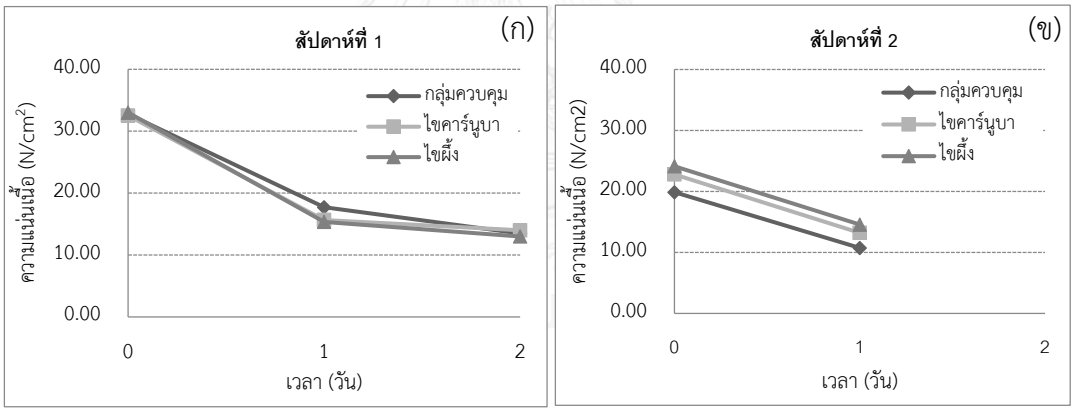


รูปที่ 4.3. 15 การเปลี่ยนแปลงหนักของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา (ก) 1 และ (ข) 2 สัปดาห์ ก่อนบรรจุถุงพลาสติก และย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์

#สูตรไขผึ้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น



รูปที่ 4.3. 16 ความแน่นเนื้อของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลาการเก็บ*รักษา*



รูปที่ 4.3. 17 ความแน่นเนื้อของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 และ 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์

#กลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) กับสูตรอื่น

ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P≤0.05)

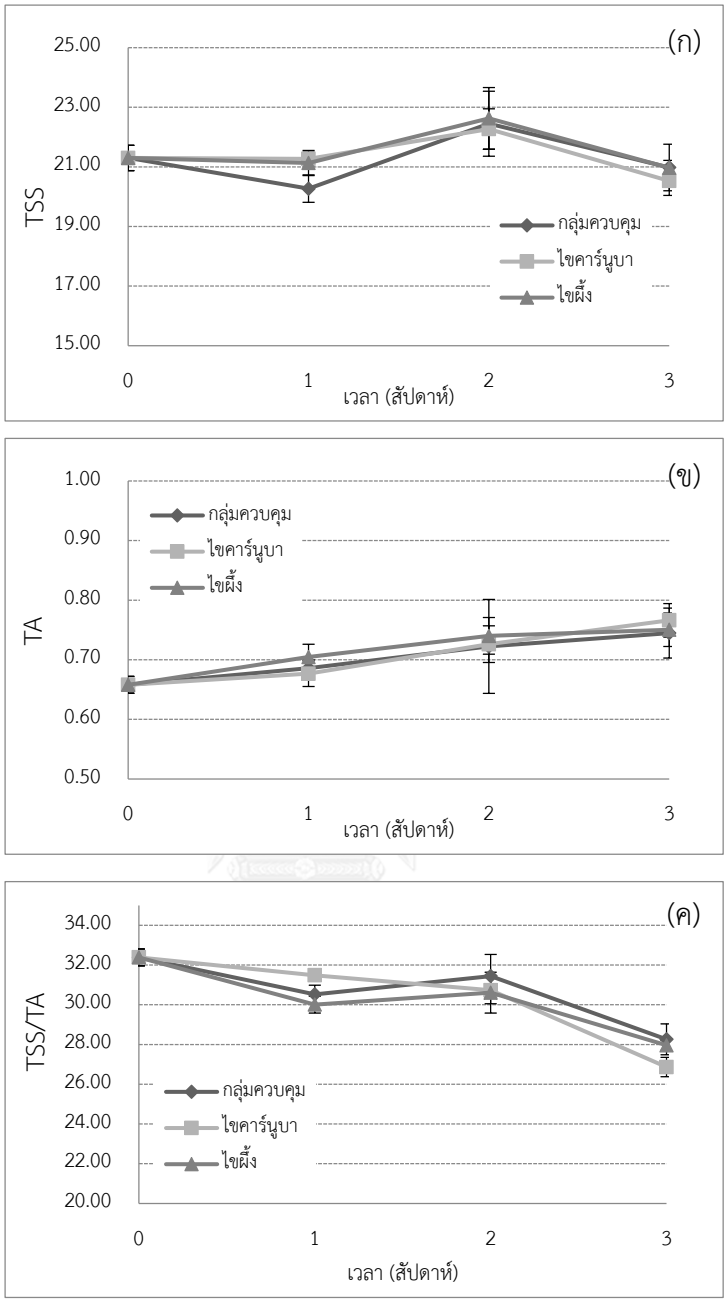
4.3.2 ลักษณะทางเคมี

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA)

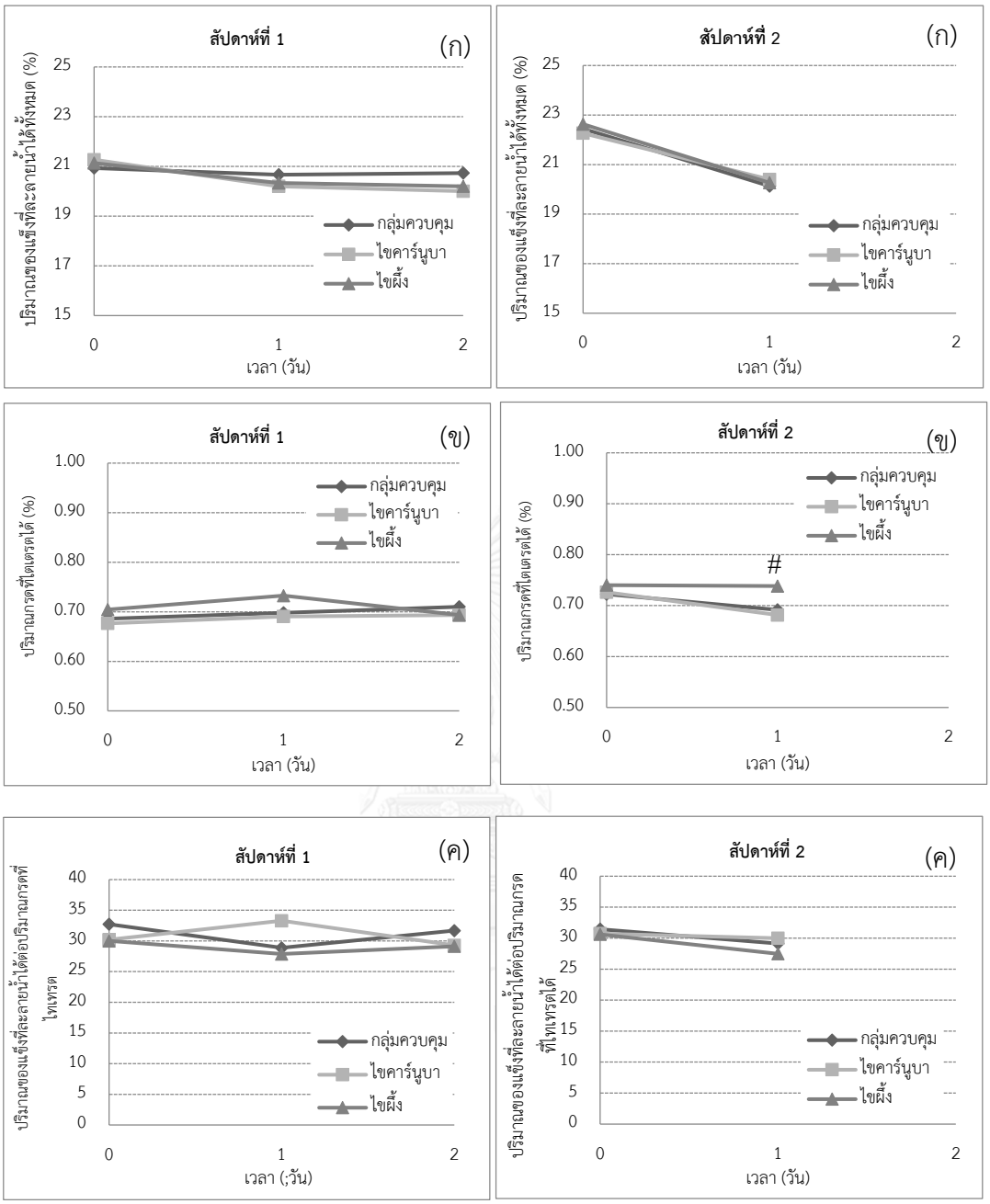
จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ มีแนวโน้มขึ้นลงทุกทรีทเมนต์ ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 4.3.17) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเงาะจัดเป็นผลไม้จำพวก non-climacteric ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเกิดขึ้นน้อยภายหลังการเก็บเกี่ยว [74] และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากเงาะเปลี่ยนแปลงไปสู่ระยะสุก โดยในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาจะมีการลดลงที่ชัดเจน

ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ของการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส แล้วย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน พบแนวโน้มขึ้นลงทุกทรีทเมนต์สำหรับสัปดาห์ที่ 1 (รูปที่ 4.3.18) และสัปดาห์ที่ 2 อย่างไรก็ตามการทดลองไม่พบความแตกต่างของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมานกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทุกทรีทเมนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.3. 18 (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และ (ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TSS/TA) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์



รูปที่ 4.3. 19 (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และ (ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TSS/TA) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวและด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 และ 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน โดยนำผลเงาะบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์

#สารเคลือบสูตรไขผึ้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรอื่น ไม่มีสัญลักษณ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาสูตรสารเคลือบผลไม้จากเชลแล็กขาวเกรดอาหารและไขคาร์นูบา โดยศึกษาผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวที่ค่า HLB ต่างๆ ปริมาณสารลดแรงตึงผิว และความเร็วรอบในกระบวนการโฮโมจีไนส์ โดยเป้าหมายเพื่อศึกษาความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะ ในระดับห้องปฏิบัติการ สรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้โดยปรับปรุงชนิดสารลดแรงตึงผิวห้าชนิดคือ กรดโอเลอิก กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ทวีน80ผสมสแปน 80 และทวีน 80 ที่ค่า HLB ต่างๆ พบว่า สารลดแรงตึงผิวและค่า HLB มีผลต่อคุณสมบัติของสารเคลือบ โดยสารเคลือบที่มีส่วนประกอบของกรดโอเลอิกที่ HLB1 และกรดโอเลอิกผสมทวีน80ที่ HLB 12.5 มีขนาดอนุภาคเล็ก ความคงตัวสูงและค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำต่ำกว่าสูตรอื่นๆ
2. การศึกษาความเข้มข้นและความเร็วรอบในกระบวนการโฮโมจีไนส์ของสารเคลือบผิวที่ใช้สารลดแรงตึงผิวเป็น กรดโอเลอิก และกรดโอเลอิผสมทวีน 80 โดยศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และความเร็วรอบในกระบวนการโฮโมจีไนส์ที่ 4,000 และ 6,000 รอบต่อนาที พบว่าการเพิ่มสารลดแรงตึงผิวทำให้คุณสมบัติของสารเคลือบสูตรกรดโอเลอิกดีขึ้น โดยเฉพาะความคงตัวของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด สำหรับสารเคลือบสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน 80 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวทำให้ความคงตัวสูงขึ้นแต่ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น อาจเนื่องจากทวีน 80 เป็นสารที่ทำให้เกิดฟองเมื่อใส่ในปริมาณมากจึงเกิดฟองขึ้นขณะโฮโมจีไนส์ทำให้อนุภาคบางส่วนที่ลอยอยู่บนฟองไม่ผ่านโฮโมจีไนส์ เมื่อพิจารณาฟิล์มเคลือบสารเคลือบที่มีความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล มีลักษณะเรียบเนียนกว่าและมีค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่า การเพิ่มความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ของสารเคลือบให้คุณภาพของสารเคลือบที่ดี ดังนั้นสารเคลือบสูตรกรดโอเลอิกที่ HLB1 และสารเคลือบสูตรกรดโอเลอิกผสมทวีน 80 ที่ HLB 12.5 ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซนต์โดยมวล ที่ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที มีคุณสมบัติโดยรวมที่ดี

3. การทดสอบประสิทธิภาพการเก็บรักษาเงาะในห้องปฏิบัติการ พบว่าการบรรจุถุง FF3 และการเคลือบเงาะด้วยสารเคลือบสูตรกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล สามารถรักษาคุณภาพของเงาะได้ดีกว่าที่เงาะที่ไม่เคลือบ ในการเก็บรักษาในการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงขนดำ ให้ความแน่นเนื้อดี และคะแนนความชอบดี แต่การใช้สารเคลือบทุกสูตรพบคราบขาวและจุดขาวบนผิวของผลเงาะ

งานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาต่อยอดเพื่อแก้ปัญหาคราบขาวและจุดขาวบนผิวของผลเงาะ โดยดัดแปลงด้วยสารเคลือบผิวจากเซลแล็กด้วย ไขคาร์นูบา ไขผึ้ง และไขผสม โดยมีเป้าหมายเพื่อแก้ไขปัญหาคราบขาวและจุขาวบนผิวเงาะ และศึกษาความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะในระดับห้องปฏิบัติการและระดับการค้า

1. สารเคลือบเซลแล็กดัดแปลงด้วย ไขคาร์นูบาและไขผึ้งมีขนาดอนุภาคเล็ก ความคงตัวสูง และค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำต่ำกว่าสารเคลือบดัดแปลงด้วยไขผสม
2. สารเคลือบเซลแล็กดัดแปลงด้วย ไขคาร์นูบาและไขผึ้ง สามารถเก็บรักษาในการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงขนดำ ให้ความแน่นเนื้อดี และคะแนนความชอบดี และไม่พบคราบขาวและจุดขาวบนผิวของผลเงาะที่เคลือบด้วยสารเคลือบเซลแล็กดัดแปลงด้วยไขผึ้ง

3. การทดสอบประสิทธิภาพการเก็บรักษาเงาะในระดับการค้า การเคลือบผิวเงาะด้วย สูตรไขผึ้งให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยพบว่าระยะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาที่ทำให้ผลเงาะคงสภาพดีคือ เก็บไว้ที่ 12 องศาเซลเซียส 1 และ 2 สัปดาห์ สามารถย้ายมาวางขายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ได้เป็นเวลา 2 และ 1 วันตามลำดับ โดยสารเคลือบสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงขนดำ และให้ความแน่นเนื้อดี และไม่พบคราบขาวหรือจุดขาวที่ผิวผลเงาะเช่นเดียวกับการทดสอบเคลือบเงาะระดับห้องปฏิบัติการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[1] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมรายไตรมาส ไตรมาตรปี 2555. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, (2555).

[2] โศรดา กนกพานนท์, อภิตา บุญศิริ และ สีรุ้ง ปรีชานนท์. การพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเชลแล็กเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพผลไม้เมืองร้อนไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), (2555).

[3] ตลาดการส่งออกหรือการจำหน่ายผักผลไม้. ตลาดผักผลไม้อบแห้งของไทยกำลังขยายตัวทั้งตลาดในประเทศ และตลาดส่งออก. ตลาดการส่งออกหรือการจำหน่ายผักผลไม้, (2557).

[4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สถิติการส่งออก (Export) เงาะสด : ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, (2558).

[5] เฉลิมชัย วงษ์อารี และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. การเก็บรักษาเงาะเพื่อการส่งออก (2555).

[6] สรวิศ แจ่มจำรูญ. การยืดอายุผักและผลไม้. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, (2556).

[7] จริงแท้ ศิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตกาแพงแสน มหาวิทยาลั ยเกษตรศาสตร์ นครปฐม, (2549): 396.

[8] Begon, M., Mortimer, M., and Thompson, D.J.. BOOK TOOLS (1996).

[9] Li, J., Brick, P., O'hare, M. C., Skarzynski, T., Lloyd, L. F., Curry, V. A., and Blow, D. M.. Structure of full-length porcine synovial collagenase reveals a C-terminal domain containing a calcium-linked, four-bladed β-propeller. Structure, 3(6), (1995): 541-549.

[10] อนุวัตร แจ้งชัด. สารเคลือบผิวผลไม้จากไขรำข้าว. สำนักงานจัดการสิทธิเทคโนโลยี (TLO) สวทช., (2550).

[11] โสรญา รอดประเสริฐ. สารเคลือบผิวผลไม้มีประโยชน์อย่างไร. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ฉบับที่ 196, ปีที่ 62, (2557).

[12] Bai, J., Hagenmaier, R.D., and Baldwin, E.A.. Coating selection for 'Delicious' and other apples. Postharvest Biology and Technology, 28(3), (2003): 381-390.

[13] Johnson, G., and Hofman, P.. 15 Postharvest Technology and Quarantine Treatments, (2009).

[14] Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A.R., and Pérez-Gago, M.B.. Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings on gray

mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. Postharvest Biology and Technology, 92, (2014): 1-8.

[15] Zhang, W., Xiao, H., and Qian, L.. Beeswax–chitosan emulsion coated paper with enhanced water vapor barrier efficiency. A≤plied Surface Science, 300, (2014): 80-85.

[16] โศรดา กนกพานนท์, อภิตา บุญศิริ และ สีรุ้ง ปรีชานนท์. การพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเชลแล็กเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพผลไม้เมืองร้อนไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), (2555).

[17] Kaewsuksaeng, S., and Tatmala, N.. Postharvest quality maintenance and prolong storage life of rambutan cv. Rongrian by coating with carboxymethyl cellulose. KHON KAEN AGR. J., 43 SUPPL. 1 : (2015).

[18] ศูนย์ส่งเสริมเทคโนโลยีการเกษตรด้านแมลงเศรษฐกิจ. ผึ้งและแมลงเศรษฐกิจ. ศูนย์ส่งเสริมเทคโนโลยีการเกษตรด้านแมลงเศรษฐกิจจังหวัดเชียงใหม่, (2557).

[19] Xia, H., Baranga, A.B.-A., Hoffman, D., and Romalis, M.. Magnetoencephalography with an atomic magnetometer. Applied Physics Letters, 89(21), (2006): 211104.

[20] Sharma, S., Shukla, S., and Vaid, D.. Shellac-structure characteristics and modification. Defence Science Journal, 33(3), (2014): 261-271.

[21] Hatchett, C.. Observations on the Change of Some of the Proximate Principles of Vegetables into Bitumen; With Analytical Experiments on a Peculiar Substance Which is Found with the Bovey Coal. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, (1804): 385-410.

[22] สนทยา ลิ้มมัทวาภิรัต์. เชลแล็ก: แนวทางการประยุกต์ใช้สารจากธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศ. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร, 24, (2547): 202-211.

[23] Hagenmaier, R.D.. Evaluation of a polyethylene–candelilla coating for ‘Valencia’oranges. Postharvest biology and technology, 19(2), (2000): 147-154.

[24] Alleyne, V., and Hagenmaier, R.D.. Candelilla-shellac: an alternative formulation for coating apples. HortScience, 35(4), (2000): 691-693.

[25] Chen, S., and Nussinovitch, A.. Permeability and roughness determinations of wax-hydrocolloid coatings and their limitations in determining citrus fruit overall quality. Food hydrocolloids, 15(2), (2001): 127-137.

[26] Silva, C.d. et al. Evaluation of antioxidant activity of Brazilian plants. Pharmacological Research, 52(3), (2005): 229-233.

[27] Kelley, M.J.. Hard wax substitute. Google Patents, (1944).

[28] Dang, K.T., Singh, Z., and Swinny, E.E.. Edible coatings influence fruit ripening quality and aroma biosynthesis in mango fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(4), (2008): 1361-1370.

[29] Feygenberg, O., Hershkovitz, V., Ben-Arie, R., Jacob, S., Pesis, E., and Nikitenko, T.. Postharvest use of organic coating for maintaining bio-organic avocado and mango quality. In V International Postharvest Symposium, 682, (2004): 507-512.

[30] Ergun M. Sargent, S.A., Fox, A.J., Crane, J.H., and Huber, D.J.. Ripening and quality responses of mamey sapote fruit to postharvest wax and 1-methylcyclopropene treatments. Postharvest Biology and Technology, 36(2), (2005): 127-134.

[31] Gonçalves, F.P., Martins, M.C., Junior, G.J.S., Lourenço, S.A., and Amorim, L.. Postharvest control of brown rot and Rhizopus rot in plums and nectarines using carnauba wax. Postharvest Biology and Technology, 58(3), (2010): 211-217.

[32] Chen, S., and Nussinovitch, A.. Galactomannans in disturbances of structured wax–hydrocolloid-based coatings of citrus fruit (easy-peelers). Food hydrocolloids, 14(6), (2000): 561-568.

[33] สมนึก บุญเกิด. ผึ้ง. สำนักพิมพ์มติชน กรุงเทพ, (2544).

[34] Abbott, A., Abel, P., Arnold, D., and Milne, A.. Cost–benefit analysis of the use of TBT: the case for a treatment approach. Science of the Total Environment, 258(1), (2000): 5-19.

[35] Han, J.H.. Innovations in food packaging. Academic Press, (2005).

[36] สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ. ชีววิทยาของผึ้ง. บริษัทต้นอ้อ จำกัด กรุงเทพ, (2532).

[37] Kheradmandnia, S., Vasheghani-Farahani, E., Nosrati, M., and Atyabi, F.. Preparation and characterization of ketoprofen-loaded solid lipid nanoparticles made from beeswax and carnauba wax. Nanomedicine: Nanotechnology Biology and Medicine, 6(6), (2010): 753-759.

[38] Ruzaina, I., Norizzah, A., Halimahton Zahrah, M., Cheow, C., and Adi, M.. Utilisation of palm–based and beeswax coating on the postharvest-life of guava (*Psidium guajava L.*) during ambient and chilled storage, (2012).

[39] Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V.D., and Moldão-Martins, M.. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa cv Camarosa*) under commercial storage conditions. LWT-Food Science and Technology, 52(2), (2013): 80-92.

[40] Limmatvapirat, S., Limmatvapirat, C., Luangtana-anan, M., Nunthanid, J., Oguchi, T., Tozuka, Y., and Puttipipatkhachorn, S.. Modification of physicochemical and mechanical properties of shellac by partial hydrolysis. International Journal of Pharmaceutics, 278(1), (2004): 41-49.

[41] Limmatvapirat, S., Limmatvapirat, C., Puttipipatkhachorn, S., Nuntanid, J., and Luangtana-anan, M.. Enhanced enteric properties and stability of shellac films through composite salts formation. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 67(3), (2007): 690-698.

[42] Luangtana-Anan, M., Limmatvapirat, S., Nunthanid, J., Wanawongthai, C., Chalongsuk, R., and Puttipipatkhachorn, S.. Effect of salts and plasticizers on stability of shellac film. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(3) (2007): 687-692.

[43] Schrader, L.E.. Applying wax emulsion emulsifier water and osmosis controllers. Google Patents, (2007).

[44] Njombolwana, N.S., Erasmus, A., Van Zyl, J.G., Du Plooy, W., Cronje, P.J., and Fourie, P.H.. Effects of citrus wax coating and brush type on imazalil residue loading green mould control and fruit quality retention of sweet oranges. Postharvest Biology and Technology, 86, (2013): 362-371.

[45] Bai Jinhe, H.R.D., Baldwin Elizabeth, A.. Coating selection for 'Delicious' and other apples. Postharvest Biology and Technology, 28(3), (2003): 381-390.

[46] หนังสือพิมพ์เดลินิวส์. อียูห้ามใช้ Morpholine เคลือบผลไม้สดส่งออก. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, (2554).

[47] Hagenmaier, R.D.. Fruit coatings containing ammonia instead of morpholine. In Proc. Fla. State Hort. Soc, (2004): 396-402.

[48] St Angelo, A.. A brief introduction to food emulsions and emulsifiers. Elsevier: New York, (1989): 1-8.

[49] Anton, M.J.A., Beaumal, V.A.M., Bialek, J.M., Hamm, D.J., Regismond, S.T.A., and Sirvente, H.F.. Edible oil-and-water emulsion. Google Patents, (2013).

[50] McClements, D.J.. Food emulsions: principles practices and techniques. CRC press, (2004).

[51] Belitz, H.D.. Food Chemistry. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, (1999).

[52] Dickinson, E., and Stainsby, G. Colloids in Foods. Applied Science, (1982).

[53] Griffin, W.C., and Lynch, M.J.. Surface active agents. Handbook of food additives 2nd edn.(Ed.: Furia TE), (1968): 397.

[54] Fabra, M.J., Talens, P., and Chiralt, A.. Tensile properties and water vapor permeability of sodium caseinate films containing oleic acid–beeswax mixtures. Journal of Food Engineering, 85(3), (2008): 393-400.

[55] Zhang, Y., and Yu, M.. One pot synthesis and characterization of ZnS nanoparticles in the mixed surfactant system. Materials Chemistry and Physics, 145(1), (2014): 197-202.

[56] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, (2547).

[57] Dickinson, E., and Stainsby, G.. Colloids in food. Applied Science Publishers, (1982).

[58] นิธิยา รัตนาปนนท์ม. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, (2545): 316-334.

[59] Friberg, S., Larsson, K., and Sjoblom, J.. Food emulsions. CRC Press, (2003).

[60] Larsson, K., and Friberg, S.E.. Food emulsions. Marcel Dekker Inc, (1990).

[61] นิศรา ฮะเจริญ. การเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนในการแปรรูปและความคงตัวต่อความเย็นในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กะทิสเตอริไรส์. เทคโนโลยีอาหาร, (2554).

[62] Dickinson, E.. Introduction to food colloids. Oxford University Press , (1992).

[63] Soradech, S., Nunthanid, J., Limmatvapirat, S., and Luangtana-Anan, M.. An approach for the enhancement of the mechanical properties and film coating efficiency of shellac by the formation of composite films based on shellac and gelatin. Journal of Food Engineering, 108(1), (2012): 94-102.

[64] Jo, W.-S., Song, H.-Y., Song, N.-B., Lee, J.-H., Min, S.C., and Song, K.B.. Quality and microbial safety of 'Fuji'apples coated with carnauba-shellac wax containing lemongrass oil. LWT-Food Science and Technology, 55(2), (2014): 490-497.

[65] จิรวรรณ ตรีเมธสุนทร, จิรัสย์ จึงสิริพิทักษ์, ธัญรดา ธัญลักษณ์มะระ และ พิชญา เตชะประเสริฐวิทยา. การพัฒนาสูตรและวิธีการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้จากเชลแล็กและไขด้วยกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน. รายงานโครงการปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2556).

[66] Bertuzzi, M., Vidaurre, E.C., Armada, M., and Gottifredi, J.. Water vapor permeability of edible starch based films. Journal of Food Engineering, 80(3) (2007): 972-978.

[67] Limmatvapirat, S., Panchapornpon, D., Limmatvapirat, C., Nunthanid, J., Luangtana-Anan, M., and Puttipipatkhachorn, S.. Formation of shellac succinate having improved enteric film properties through dry media reaction. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 70(1), (2008): 335-344.

[68] Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J., and Solans, C.. Formation and stability of nano-emulsions. Advances in Colloid and Interface Science, 108, (2004): 303-318.

[69] Belitz, H.D., and Grosch, W.. Food Chemistry. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, (1999): 252-261.

[70] Milanovic, J., Manojlovic, V., Levic, S., Rajic, N., Nedovic, V., and Bugarsk,i B.. Microencapsulation of flavors in carnauba wax. Sensors, 10(1), (2010): 901-912.

[71] Liu, C., Li, M., Liang, C., and Wang, W.. Measurement and analysis of bimodal drop size distribution in a rotor–stator homogenizer. Chemical Engineering Science, 102, (2013): 622-631.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[72] Ghosh, S., Krishnan, A., Das, P.K., and Ramakrishnan, S.. Determination of critical micelle concentration by hyper-Rayleigh scattering. Journal of the American Chemical Society, 125(6), (2003): 1602-1606.

[73] วาริช ศรีละออง, ศิริชัย กัลยาณรัตน์ และ ฐิฏิมา ช้างทอง. รายงานผลการวิจัยเรื่องผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อการเก็บรักษาผลเงาะที่อุณหภูมิต่ำ. ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2543): 121.

[74] จริงแท้ ศิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตกาแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม, (2538).

[75] Yingsana, P., Srilaong, V., McGlasson, B., Kabanoff, E., Kanlavanarat, S., and Noichinda, S.. Morphological differences associated with water loss in Rambutan fruit cv. Rongrien and See-chompoo. In IV International Conference on Managing Quality in Chains-The Integrated View on Fruits and Vegetables Quality, 712, (2006): 453-460.

[76] Martínez-Castellanos, G., Shirai, K., Pelayo-Zaldívar, C., Perez-Flores, L. J., and Sepúlveda-Sánchez, J. D.. Effect of Lactobacillus plantarum and chitosan in the reduction of browning of pericarp Rambutan (Nephelium lappaceum). Food microbiology, 26(4), (2009): 444-449

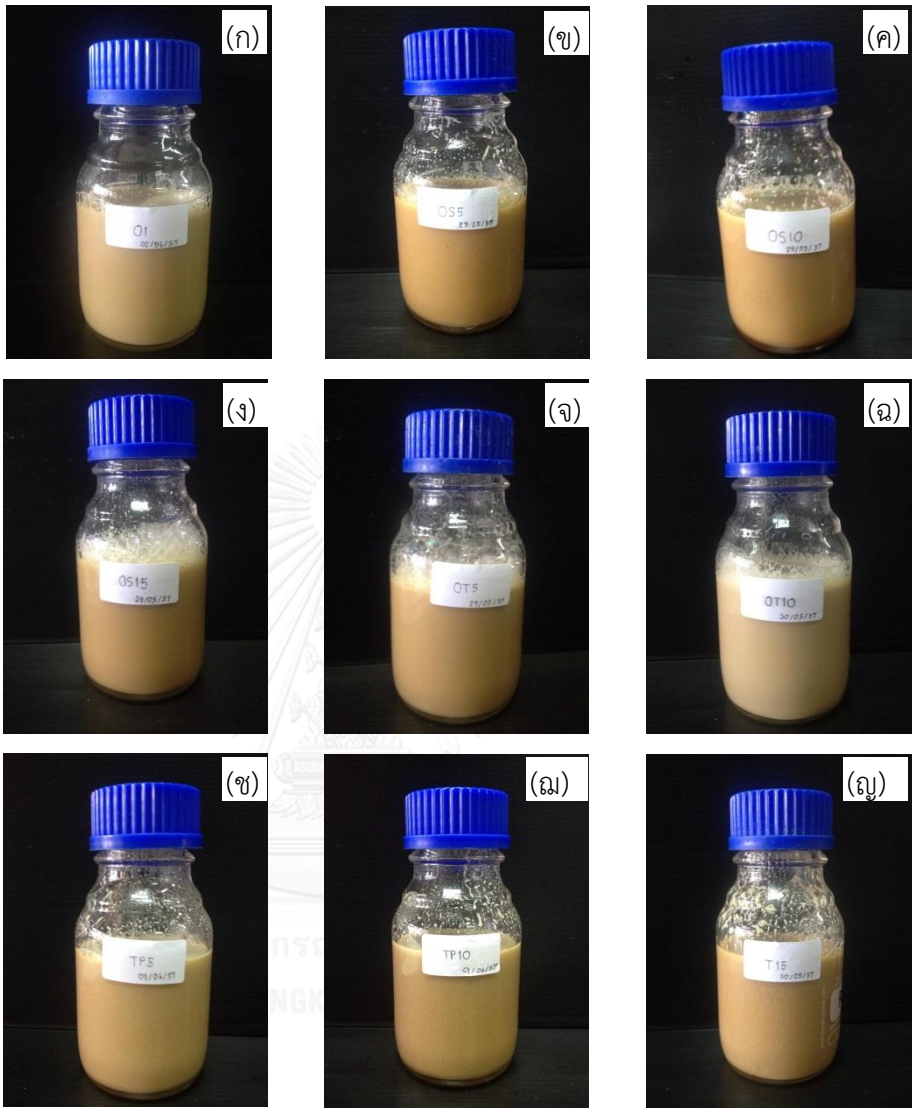
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

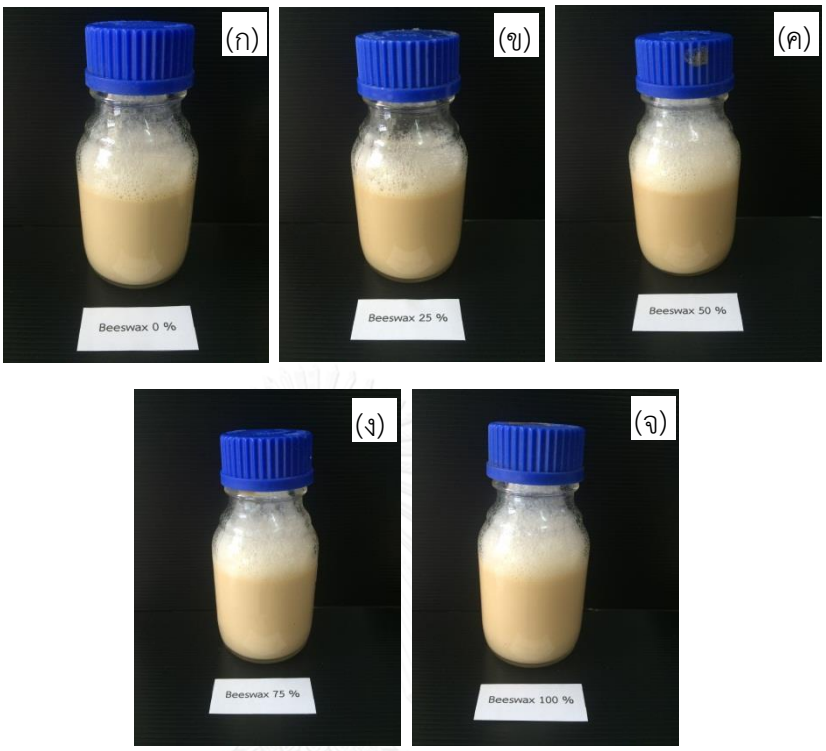
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

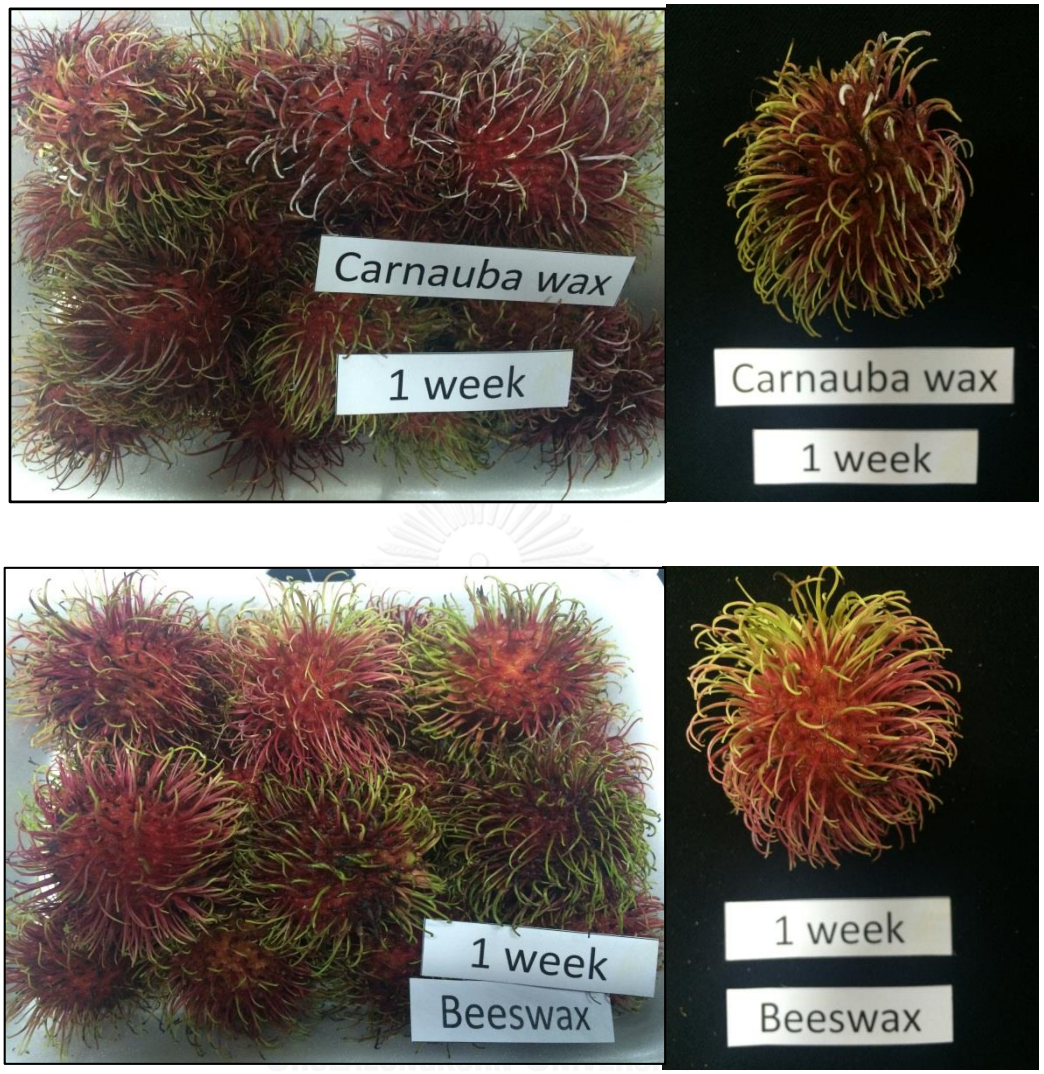
รูปสารเคลือบผิว



รูปที่ 1ก สารเคลือบผิวผลไม้จากเชลแล็กและไขคาร์นูบา สูตร (ก) กรดโอเลอิก (ข) กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 5 (ค) กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 10 (ง) กรดโอเลอิกผสมโซเดียมโดเดซิลซันเฟต HLB 15 (จ) กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 5 (ฉ) กรดโอเลอิกผสมทวีน 80 HLB 10 (ช) ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 5 (ฌ) ทวีน 80 ผสมสแปน 80 HLB 10 และ (ญ) ทวีน 80 HLB 15 ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว 1.5เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 4,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 2ก สารเคลือบผิวสูตร ไขผึ้ง (ก) 0 (ข) 25 (ค) 50 (ง) 75 และ (จ) 100 เปอร์เซ็นต์ที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เชลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3ก ลักษณะภายนอกและภายในของผลเงาะหลังการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรไขคาร์นูบาและไขผึ้งที่ประกอบด้วยไขทั้งสิ้น 5เปอร์เซ็นต์โดยมวล เชลแล็ก 10เปอร์เซ็นต์โดยมวล และกรดโอเลอิก 2.5เปอร์เซ็นต์โดยมวล ความเร็วรอบในการโฮโมจีไนส์ 6,000 รอบต่อนาที ที่สัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข

ปริมาณสารที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1ข ปริมาณสารที่ใช้ในหัวข้อ 4.1.1 โดยใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

สูตร	เซลแล็ก (กรัม)	ไขคาร์นูบา (กรัม)	แอมโมเนีย (มิลลิลิตร)	น้ำ (มิลลิลิตร)	กรดโอเลอิก (มิลลิลิตร)	สารลดแรงตึงผิว ตัวที่ 2 (กรัม)
O1	20.00	10.00	7.91	165.22	3.21	0.00
OS5	20.00	10.00	7.91	165.22	2.89	0.30
OS10	20.00	10.00	7.91	165.22	2.47	0.69
OS15	20.00	10.00	7.91	165.22	2.05	1.08
OT5	20.00	10.00	7.91	165.22	2.25	0.81
OT7.5	20.00	10.00	7.91	165.22	1.68	1.31
OT10	20.00	10.00	7.91	165.22	1.13	1.79
OT12.5	20.00	10.00	7.91	165.22	0.56	2.29
T15	20.00	10.00	7.91	165.22	0.00	2.78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2ข ปริมาณสารที่ใช้ในหัวข้อ 4.1.2 โดยใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

สูตร	เซลแล็ก (กรัม)	ไขคาร์นูบา (กรัม)	แอมโมเนีย (มิลลิลิตร)	น้ำ (มิลลิลิตร)	กรดโอเลอิก (มิลลิลิตร)	ทวีน 80 (กรัม)
O1 1.5 เปอร์เซ็นต์	20.00	10.00	7.91	165.22	3.21	0.00
O1 2.0 เปอร์เซ็นต์	20.00	10.00	7.91	164.22	4.28	0.00
O1 2.5 เปอร์เซ็นต์	20.00	10.00	7.91	163.22	5.35	0.00
OT12.5 1.5 เปอร์เซ็นต์	20.00	10.00	7.91	165.22	0.56	2.29
OT12.5 2.0 เปอร์เซ็นต์	20.00	10.00	7.91	164.22	0.74	3.06
OT12.5 2.5 เปอร์เซ็นต์	20.00	10.00	7.91	163.22	0.93	3.82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3ข ปริมาณสารที่ใช้ในหัวข้อ 4.2 โดยใช้ปริมาณไขทั้งหมด 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

สูตร	เชลแล็ก (กรัม)	ไขคาร์นูบา (กรัม)	ไขผึ้ง (กรัม)	แอมโมเนีย (มิลลิลิตร)	น้ำ (มิลลิลิตร)	กรดโอเลอิก (มิลลิลิตร)
ไขผึ้ง 0 เปอร์เซ็นต์	20.00	0.00	5.00	7.91	165.22	5.35
ไขผึ้ง 25 เปอร์เซ็นต์	20.00	1.25	3.75	7.91	164.22	5.35
ไขผึ้ง 50 เปอร์เซ็นต์	20.00	2.50	2.50	7.91	163.22	5.35
ไขผึ้ง 75 เปอร์เซ็นต์	20.00	3.75	1.25	7.91	165.22	5.35
ไขผึ้ง 100 เปอร์เซ็นต์	20.00	5.00	0.00	7.91	164.22	5.35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง 1ค ความคงตัวของสารเคลือบโดยพิจารณาจากสัดส่วนความสูงของการแยกชั้น

วิธีการคำนวณ

$$\text{สัดส่วนความสูงของการแยกชั้น} = \frac{\text{ความสูงชั้นของเหลวใส (สารละลายเชลแล็ก)}}{\text{ความสูงทั้งหมดของสารเคลือบ}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สารเคลือบบรรจุในหลอดทดลองวัดความสูงจากก้นหลอดทดลองถึงผิวบนของสารเคลือบได้ 13 เซนติเมตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน พบว่าเกิดการแยกชั้นเป็นสองส่วนโดยส่วนล่างประกอบด้วยสารละลายเชลแล็กสีน้ำตาลมีความสูง 3.4 เซนติเมตร ด้านบนเป็นอนุภาคไขรวมตัวอยู่หนาแน่น

$$\text{สัดส่วนความสูงของการแยกชั้น} = \frac{3.4}{13} = 0.26$$

แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบที่มีค่าสัดส่วนความสูงของการแยกชั้นต่ำจะมีความคงตัวสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่าง 2ค ค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability: WVP) วัดน้ำหนักของขวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตรที่ใส่น้ำและหุ้มด้วยฟิล์มหนา 0.1143 มิลลิเมตร เก็บไว้ในสภาวะทดสอบ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักทุกๆ 8 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 7 วัน) จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของน้ำหายไป 0.015 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง น้ำหนักของขวดทดลองที่วัดค่าได้คำนวณอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่อพื้นที่

$$\mathrm{WVT} = \frac{\Delta w}{\Delta t \times A}$$

$$\mathrm{WVT} = \frac{0.015}{4 \times \pi * 0.035^2/4} = 3.90 \text{ กรัม/ชั่วโมงตารางเมตร}$$

$$\text{Permeance} = \frac{WVT}{\Delta P} = \frac{WVT}{S(R_1 - R_2)}$$

$$\text{Permeance} = \frac{3.90}{3.45(1-.75)} = 4.52 \text{ กรัม/ชั่วโมง ตารางเมตร ปาสคาล}$$

Average permeability = permeance X film thickness

Average permeability = 4.52X 0.0143 = 0.065 permeability per mm

ดังนั้นค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.065 permeability per mm

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่างที่ 3ค การสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของผลไม้ในวันที่เคลือบได้ 2.04 กิโลกรัม และชั่งน้ำหนักของผลไม้ภายหลังจากการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ พบว่าน้ำหนังลดลงเหลือ 1.82 กิโลกรัม หา เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนัก} = \left(\frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}\right) \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนัก} = \left(\frac{2.04 - 1.82}{2.04}\right) \times 100 = 0.11$$

ตัวอย่างที่ 4ค เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (เปอร์เซ็นต์ Titratable Acidity TA)

นำเนื้อเงาะมาคั้นน้ำ โดยใช้ผ้าขาวบาง คั้นน้ำออกมาพอประมาณ จากนั้นปิเปตน้ำคั้น 5 มิลลิลิตร เพื่อทดสอบความเป็นกรดโดยหยดฟีนอลทาลีน 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นอินดิเคเตอร์ ไทเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล พบว่าน้ำคั้นเปลี่ยนเป็นสีชมพูเมื่อหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.3 มิลลิลิตร คำนวณหา เปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก ดังสมการที่ (4.2.5)

$$\text{เปอร์เซ็นต์TA} = \frac{\text{ปริมาณของ NaOH} \times \text{Molar of NaOH} \times \text{mEq of acid}}{\text{ปริมาณของตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์}TA = \frac{2.3x0.2x0.07}{5} \times 100 = 0.64\text{เปอร์เซ็นต์}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างใบประเมิน

ตาราง 1ง ตัวอย่างใบประเมินสำหรับผู้ทดสอบชิม

ตัวอย่างหมายเลข.....วันที่ชิม.....ผู้ชิม.....

คำแนะนำ ทำเครื่องหมายสำหรับหมายเลขที่คุณชอบมากที่สุด

การเกิดขนดำ	ดำมาก	1	3	5	7	9	ไม่ดำ
สีเปลือก	ไม่สวย	1	3	5	7	9	สวยมาก
ความกรอบ	ไม่กรอบ	1	3	5	7	9	กรอบมาก
ความแฉะ	แฉะมาก	1	3	5	7	9	ไม่แฉะ
กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ผิดปกติมาก	1	3	5	7	9	ไม่ผิดปกติ
ความหวาน	ไม่หวาน	1	3	5	7	9	หวานมาก
ความชอบ	ไม่ชอบ	1	3	5	7	9	ชอบมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ

ปริมาณของแข็งในสารเคลือบ

ปริมาณของแข็งที่เหลือในการจุ่มเคลือบเงาครั้งละประมาณ 2 กิโลกรัม/สารเคลือบ 15 ลิตรในระดับการค้า

ครั้งที่เก็บผล	สูตรไขคาร์นูบา			สูตรไขผึ้ง		
	เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในสารเคลือบ	เปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารเคลือบที่ลดลง	เปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารเคลือบที่ลดลงเฉลี่ยต่อการเคลือบเงาประมาณ 2 กก.	เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในสารเคลือบ	เปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารเคลือบที่ลดลง	เปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารเคลือบที่ลดลงเฉลี่ยต่อการเคลือบเงาประมาณ 2 กก.
0	17.9595	0.0000	0.0149±0.01483	17.9670	0.0000	0.0139±0.0125
1	17.9194	0.0401		17.9608	0.0063	
2	17.8994	0.0200		17.9290	0.0318	
3	17.8728	0.0266		17.8954	0.0336	
4	17.8713	0.0014		17.8871	0.0083	
5	17.8681	0.0032		17.8850	0.0021	
6	17.8382	0.0299		17.8622	0.0228	
7	17.8304	0.0078		17.8601	0.0021	
8	17.8291	0.0012		17.8567	0.0034	
9	17.8281	0.0010		17.8519	0.0048	
10	17.8275	0.0006		17.8328	0.0192	
11	17.8161	0.0114		17.8296	0.0032	
12	17.7803	0.0358		17.8003	0.0293	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกาญจนา อินทลักษณ์ เกิดเมื่อวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2532 จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม จังหวัดนครสวรรค์ เมื่อปี พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาศิลปากร ปี พ.ศ. 2555 และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2556

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

Kanchana Intalak, Sorada Kanokpanont, Apita Bunsiri and Seeroong Prichanont. “Effects of surfactant mixtures on characteristics of shellac and carnauba wax-based solution”. The 2 2 nd Regional Symposium on Chemical Engineering. September 24-25, 2015 Novotel Suvarnabhumi Airport Hotel, Thailand

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University