การพัฒนาสารเคลือบเซลแล็กเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนหมอนทอง และมะนาวแป้น

นายธำรงค์ อัมพรรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-6111-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF SHELLAC COATING FOR EXTENDING SHELF-LIFE OF DURIAN (CV. MONTHONG) AND LIME (CV. PAN)

Mr.Thumrong Ampornratana

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 2005

ISBN 974-17- 6111-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาสารเคลือบเชลแล็กเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนหมอนทอง และมะนาวแป้น
โดย	นายธำรงค์ อัมพรรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.โศรดา กนกพานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. อภิตา บุญศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล)

……... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.โศรดา กนกพานนท์)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.อภิตา บุญศิริ)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์)

…… กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์)

ธำรงค์ อัมพรรัตน์: การพัฒนาสารเคลือบเชลแล็กเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนหมอนทองและมะนาวแป้น (DEVELOPMENT OF SHELLAC COATING FOR EXTENDING SHELF-LIFE OF DURIAN (CV. MONTHONG) AND LIME (CV. PAN))

อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. โศรดา กนกพานนท์

194 หน้า ISBN 974-17-6111-2

งานวิจัยนี้เป็นรายงานการพัฒนาสารเคลือบเชลแล็กเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนหมอนทองและมะนาวแป้น การเคลือบเปลือกทุเรียน 4 กลุ่มประกอบด้วย สารเคลือบสูตร Lab-a (15% เชลแล็กโดยน้ำหนัก) Lab-b (15% เชลแล็กโดยน้ำหนักมีส่วนผสมของสารเติมแต่ง) Teva (สารเคลือบทางการค้า) และกลุ่มควบคุม (ไม่ได้เคลือบ) เก็บรักษาที่สองอุณหภูมิคือ ที่อุณหภูมิห้อง (30±5 °C, ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5) ผลทุเรียนที่ถูกเคลือบเปลือกด้วยสูตร Lab-a เก็บรักษาได้อย่างน้อย 10 วัน ได้รับการยอมรับคุณภาพจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ แต่สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้มากกว่า และมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าเมื่อเทียบกับทุเรียนกลุ่มอื่นๆ ที่อุณหภูมิ 15±1 °C (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 86±2) ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาได้อย่างน้อย 21 วันได้รับการยอมรับคุณภาพจากผู้บริโภคเทียบเท่ากับกลุ่มอื่นๆ แต่สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก มีค่าของแข็งละลายน้ำได้ปริมาณต่ำที่สุดเทียบกับกลุ่มอื่นๆ สำหรับการทดลองเคลือบเปลือกมะนาวด้วยสารเคลือบสูตร Lab-a, Lab-c(10% เชลแล็กโดยน้ำหนัก), Teva และกลุ่มควบคุมแล้วเก็บรักษาที่สองสภาวะคือ อุณหภูมิห้อง (28±5 °C, ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5) และอุณหภูมิ 10±1 °C (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 86±2) ผลมะนาวที่เคลือบเปลือกด้วย Lab-a ไม่มีการหลุดลอกของสารเคลือบขณะที่พบการหลุดลอกของสารเคลือบในผลมะนาวที่เคลือบด้วย Teva หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน โดยกลุ่มที่เคลือบเก็บแล้วรักษาอุณหภูมิห้อง มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อวันมากกว่าอุณหภูมิต่ำ การเคลือบสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลแดง (browning) ที่เปลือกมะนาวได้ดีกว่ากลุ่มที่ควบคุม ผลมะนาวที่เคลือบด้วยสูตร Lab-a และ Teva สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวได้ดีพอๆกัน โดยผลมะนาวทั้งสองสูตรสามารถเก็บรักษาได้นานอย่างน้อย 15 วันที่อุณหภูมิห้อง และอย่างน้อย 56 วันที่อุณหภูมิ 10 °C นอกจากนี้ผลมะนาวกลุ่มที่เคลือบได้รับคะแนนลักษณะมันวาว สวยงามจากผู้บริโภคมากกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อทดสอบสมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบที่ใช้ในการทดสอบเคลือบผลไม้ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีเชลแล็กเป็นองค์ประกอบหลัก 5-15% (โดยน้ำหนัก) พบค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วระหว่าง 31.8-35.1 °C ความทนแรงดึงในช่วง 50.32-242.54 MPa การยืดตัว 2.73-5.83% และความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำในช่วง 4.29-18.13 g-m/m^2-s-Pa สารเคลือบทางการค้า (Teva) มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเท่ากับ 59 °C แต่มีลักษณะเป็นฟิล์มแตก เปราะ ไม่ยืดหยุ่น

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548

4670332521 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: SHELLAC / LIME COATING / DURIAN COATING

THUMRONG AMPORNRATANA:DEVELOPMENT OF SHELLAC COATING FOR EXTENDING SHELF-LIFE OF DURIAN (CV. MONTHONG) AND LIME (CV. PAN). THESIS ADVISOR: SORADA KANOKPANONT, Ph.D., 194 pp. ISBN 974-17-6111-2

Shellac based coating formulations were developed in order to extend the shelf-life of durian (cv. Monthong) and lime (cv. Pan). Durians treated with 3 waxes, Lab-a (15% wt shellac), Lab-b (15% wt shellac with additives), Teva (commercial formulation) and control (non-coating) groups were evaluated for their physical, chemical characterizations and eating qualities. Durians coated with Lab-a formulation kept acceptable qualities for at least 10 days at ambient temperature (30±5 °C, 70±5% relative humidity). Their acceptability from consumers were not differ from the other groups. However, they had the least weight loss and the highest pulp firmness. The fruits could be kept at this temperature for at least 10 days. Durians coated with Lab-a formulation and stored at 15 °C (86±2% relative humidity) could be kept at least 21 days. Their eating quality was not differ from the other treatments. However, they had the least weight loss and the lowest soluble solid contents. Limes were spray coated with Lab-a, Lab-c (10% wt shellac) and Teva before storing at ambient (28±5 °C, 70±5% relative humidity) and 10 °C (86±2% relative humidity). Teva coating film was found to flake off after 7 days of storage. Limes coated with all formulations had lower weight loss than those without coating. Coating delayed browning on the lime skin. Limes coated with Lab-a and Teva had the lowest weight loss. However, eating quality of all coated groups were not significantly different. Thermal and physical properties of shellac formulations (5-15% weight shellac) were statistically evaluated. Glass transition (Tg), tensile strength, % elongation and water permeability of the formulated films ranged from 31.8 to 35.1 °C, 50.32 to 242.54 MPa, 2.73 to 5.83% and 4.29 to 18.13 g-m/m^2-s-Pa respectively.

Department Chemical Engineering Student's signature.....

Field of study Chemical Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อ.ดร.โศรดา กนกพานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร.อภิตา บุญศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานวิจัยตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผศ.ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์ อ.ดร.อนงค์นาฎ สมหวังธนโรจน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรศ.ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม

บริษัทเอ็คเซลแลคส์ จำกัด ที่กรุณาเอื้อผงเซลแล็กเพื่อใช้ในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

พี่ๆ ที่งานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่กรุณาให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

งานวิจัยนี้จะสำเร็จลงไม่ได้ถ้าขาดบุคคลเหล่านี้ นางสาวผ่องเพ็ญ อรรคสีวร นางสาวยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ นายประชานารถ กิตติไกวัล ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยในส่วนการเคลือบผลทุเรียนและมะนาวสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพื่อนๆ น้องๆห้องปฏิบัติการและวิจัยวิศวกรรมชีวเคมีทุกคนสำหรับคำแนะนำ กำลังใจ และบรรยากาศที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ชาย พี่สาว ที่เป็นกำลังใจ และการตรวจทานเล่มวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงการให้การสนับสนุนเงินทุนสำรองในงานวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญภาพ.....ฑ
บทที่1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....3
บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1ทุเรียน.....4
2.2 มะนาว…….....5
2.3 ปัจจัยภายในที่มีต่อชีววิทยาของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว…….....5
2.4 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อชีววิทยาของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว.……....7
2.5 ดัชนีบ่งบอกคุณภาพของผลไม้……..10
2.6 สารเคลือบผิวผลไม้……...13
2.7 สารเคลือบเชลแล็ก……16
2.8 กระบวนการเคลือบ.....27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย…….....29
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย……..29
3.2 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์ในการวิจัย……....32
3.3 การเตรียมทุเรียน และมะนาวก่อนการเคลือบ.....33
3.4 การเคลือบผลทุเรียน และมะนาว.....33
3.5 การตรวจสอบคุณภาพของทุเรียน และมะนาว…….....34
3.6 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบ……...…….....39
3.7 สถานที่ทำการวิจัย…….....41

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง……..42
4.1 ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษาทุเรียน……..…….....42
4.2 ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษามะนาว……..…….....70
4.3 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบ…..……..98
4.4 วิเคราะห์ต้นทุนของสารเคลือบ……..……108
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง .....…….....…….…...111
5.1 สรุปผลการทดลอง…….....111
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ……...…112
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต……..…...112
รายการอ้างอิง……...…..113
ภาคผนวก……..…....121
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และตัวอย่างการคำนวณ……..…...121
ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบสมบัติทางกายภาพของสูตรสารเคลือบ.....139
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของสมบัติทางกล
ความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำ และความคงตัวของสารเคลือบ.....147
ภาคผนวก ง วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ
ทุเรียน และมะนาว……..…….....154
ภาคผนวก จ สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการทดสอบคุณภาพของ
ทุเรียน และมะนาว……..…….....163
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 194

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของสารเคลือบผิวสูตรต่างๆ……...…….....15
ตารางที่ 2.2 ข้อดีข้อเสียตามลักษณะประเภทของสารเคลือบ…….....16
ตารางที่ 2.3 สูตรสารเคลือบผลไม้จากเชลแล็ก.....22
ตารางที่ 2.4 แสดงผลงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับผลไม้เขตร้อน 2 ชนิด
ทุเรียน และมะนาว.....23
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนเชิงน้ำหนักสำหรับสารละลายเชลแล็กสูตรต่างๆ…….....30
ตารางที่ 4.1 คะแนนคุณลักษณะเฉลี่ยของทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตามระยะเวลาสุก
จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค.....62
ตารางที่ 4.2 คะแนนคุณลักษณะเฉลี่ยของทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 ^{0}C จากการ
ทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค.....63
ตารางที่ 4.3 ผลเปรียบเทียบระหว่างวัตถุพิสัย และจิตพิสัยของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบ
และเคลือบด้วยสูตร Lab-a Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน.....68
ตารางที่ 4.4 ผลเปรียบเทียบระหว่างวัตถุพิสัย และจิตพิสัยของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบ
และเคลือบด้วยสูตร Lab-a Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน.....69
ตารางที่ 4.5 คะแนนคุณลักษณะเฉลี่ยของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจากการทดสอบ
ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค.....91
ตารางที่ 4.6 คะแนนคุณลักษณะเฉลี่ยของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ^{0}C จากการทดสอบ
ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค.....93
ตารางที่ 4.7 ผลเปรียบเทียบระหว่างวัตถุพิสัย และจิตพิสัยของมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบ
และเคลือบด้วยสูตร Lab-a Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
ความชื้นสัมพัทธ์ 75±10 % เป็นระยะเวลา 15 วัน.....96
ตารางที่ 4.8 ผลเปรียบเทียบระหว่างวัตถุพิสัย และจิตพิสัยของมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบ
และเคลือบด้วยสูตร Lab-a Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C
ความชื้นสัมพัทธ์ 95±5 % เป็นระยะเวลา 56 วัน.....97
ตารางที่ 4.9 ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเคลือบที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้.....98

หน้า

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-b, Lab-c และLab-d) และสารเคลือบทางการค้า (Teva).....101
ตารางที่ 4.11 ต้นทุนวัตถุดิบของสารเคลือบสูตร Lab-a สำหรับเคลือบผลทุเรียน พันธุ์หมอนทอง และมะนาวพันธุ์แป้น.....108
ตารางที่ 4.12 ราคาสารเคลือบทางการค้าที่มีขายตามท้องตลาดในปัจจุบัน.....109
ตารางที่ 4.13 ราคาสารเคลือบสูตร Lab-a ที่ใช้เคลือบทุเรียน และมะนาว.....110
ตารางที่ ก.1 แสดงรูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน.....123
ตารางที่ ก.2 สูตรการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อ n ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน.....124
ตารางที่ ก.3 ข้อมูลความทนแรงดึงของสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d เมื่อมีจำนวนซ้ำในการทดลองเท่ากับ 5.....127
ตารางที่ ก.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d.....130
ตารางที่ ก.5 สรุปค่า F คำนวณที่ได้ของข้อมูลความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้.....131
ตารางที่ ก.6 รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละทรีทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน.....131
ตารางที่ ก.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ของข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 56 ของการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 °C.....134
ตารางที่ ก.8 รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของคะแนนรสมันที่ได้จากผู้ชิมในแต่ละทรีทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน (10 คน) 135
ตารางที่ ก.9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ของข้อมูลความหวานของเนื้อทุเรียนจากผู้ชิมในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาทุเรียนที่อุณหภูมิ 15 °C.....138
ตารางที่ ค.1 ข้อมูลความทนแรงดึงของฟิล์มเคลือบ (ทำการทดลอง 5 ครั้ง) 148
ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการยืดตัวของฟิล์มเคลือบ (ทำการทดลอง 5 ครั้ง) 148
ตารางที่ ค.3 ข้อมูลความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบ (ทำการทดลอง 4 ครั้ง.....149
ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบ.....149

หน้า

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลความหนืดของสารเคลือบที่อุณหภูมิ 30±5 °C
(ทำการทดลอง 2 ครั้ง) 150
ตารางที่ ค.6 ข้อมูลความหนืดของสารเคลือบที่อุณหภูมิ 4 °C
(ทำการทดลอง 2 ครั้ง) 151
ตารางที่ ค.7 ข้อมูลค่า pH ของสารเคลือบที่อุณหภูมิ 30±5 °C
(ทำการทดลอง 2 ครั้ง) 152
ตารางที่ ค.8: ข้อมูลค่า pH ของสารเคลือบที่อุณหภูมิ 4 °C
(ทำการทดลอง 2 ครั้ง) 153
ตารางที่ จ.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ
เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....164
ตารางที่ จ.2 สีเนื้อความสว่างของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่
อุณหภูมิห้อง.....164
ตารางที่ จ.3 สีเนื้อความเป็นสีเหลืองของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ
เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....165
ตารางที่ จ.4 ความแน่นเนื้อของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่
อุณหภูมิห้อง.....165
ตารางที่ จ.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ
ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....165
ตารางที่ จ.6 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ
เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....166
ตารางที่ จ.7 อัตราการหายใจของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่
อุณหภูมิห้อง.....167
ตารางที่ จ.8 การผลิตเอทิลีนของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่
อุณหภูมิห้อง.....169
ตารางที่ จ.9 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ
เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C.....171
ตารางที่ จ.10 สีเนื้อความสว่างของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่
อุณหภูมิ 15°C.....171
ตารางที่ จ.11 สีเนื้อความเป็นสีเหลืองของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ
เก็บรักษาที่อุณหภูมิ15°C.....172

หน้า

ตารางที่ จ.12 ความแน่นเนื้อของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ15°C.....172
ตารางที่ จ.13 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิด ต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C.....172
ตารางที่ จ.14 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ15°C.....173
ตารางที่ จ.15 อัตราการหายใจของผลทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C.....174
ตารางที่ จ.16 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C.....177
ตารางที่ จ.17 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....180
ตารางที่ จ.18 สีผิวผลความสว่างของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง..... 180
ตารางที่ จ.19 สีผิวผลความเป็นสีเขียวของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....181
ตารางที่ จ.20 สีผิวผลความเป็นสีเหลืองของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....181
ตารางที่ จ.21 Deformationของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....181
ตารางที่ จ.22 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....182
ตารางที่ จ.23 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....182
ตารางที่ จ.24 อัตราการหายใจของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....183
ตารางที่ จ.25 การผลิตเอทิลีนของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....184
ตารางที่ จ.26 การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C.....185

หน้า

ตารางที่ จ.27 สีผิวผลความสว่างของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C.....185
ตารางที่ จ.28 สีผิวผลความเป็นสีเขียวของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C.....186
ตารางที่ จ.29 สีผิวผลความเป็นสีเหลืองของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C.....186
ตารางที่ จ.30 Deformation ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C.....186
ตารางที่ จ.31 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วย ฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C.....187
ตารางที่ จ.32 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C.....187
ตารางที่ จ.33 อัตราการหายใจของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C.....188
ตารางที่ จ.34 การผลิตเอทิลีนของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C.....190

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric
และ non – climacteric.....6
รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงผลลัพธ์ที่เกิดจากผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูง.....7
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาลในผัก และผลไม้ที่ปอกหรือหั่น……..…….……..….11
รูปที่ 2.4 แผนภาพที่มีผลต่อการเคลือบผิวผลไม้……..14
รูปที่ 2.5 ผลที่เกิดจากความแตกต่างของปริมาณสารเคลือบ……....15
รูปที่ 2.6 โครงสร้างเคมีของพอลิเอสเทอร์ (ก) และเอสเทอร์โมเลกุลเดี่ยว (ข)
ที่เป็นองค์ประกอบของเรซิล….....17
รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงวิธีการเคลือบส้มจากโรงเคลือบส้มบริษัท จงธนา จำกัด.....28
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย……..……...…….....29
รูปที่ 4.1 ลักษณะภายนอกของผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ (Control) และเคลือบด้วย
สูตรทางการค้า (Teva) และสูตรที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-b)
ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 0 และ 10 วันตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง
ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5…….....44
รูปที่ 4.2 ลักษณะภายนอกของผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ (Control) และเคลือบด้วย
สูตรทางการค้า (Teva) และสูตรที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-b)
ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 0, 7, 14, 21 และ 28 วันตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 15±1 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ86±2.....45
รูปที่ 4.3 การสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %
เป็นระยะเวลา 10 วัน.....47
รูปที่ 4.4 การสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 %
เป็นระยะเวลา 21 วัน……..…….....47
รูปที่ 4.5 ค่าความสว่างของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %
เป็นระยะเวลา 10 วัน……49

หน้า

รูปที่ 4.6 ค่าความสว่างของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 %
เป็นระยะเวลา 21 วัน……..... 49
รูปที่ 4.7 ค่าความเป็นสีเหลืองของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %
เป็นระยะเวลา 10 วัน..... 50
รูปที่ 4.8 ค่าความเป็นสีเหลืองของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 %
เป็นระยะเวลา 21 วัน..... 50
รูปที่ 4.9 ความแน่นเนื้อของทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร
Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %
เป็นระยะเวลา 10 วัน..... 52
รูปที่ 4.10 ความแน่นเนื้อของทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร
Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 %
เป็นระยะเวลา 21 วัน..... 52
รูปที่ 4.11 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control)
เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน..... 54
รูปที่ 4.12 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control)
เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน..... 54
รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control)
เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน..... 56
รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control)
เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน..... 56
รูปที่ 4.15 อัตราการหายใจของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) และเคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5%
เป็นระยะเวลา 14 วัน..... 58

หน้า

รูปที่ 4.16 อัตราการหายใจของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) และเคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2%
เป็นระยะเวลา 20 วัน..... 58
รูปที่ 4.17 การผลิตเอทิลีนของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) และเคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องความชื้นสัมพัทธ์ 70±5%
เป็นระยะเวลา 14 วัน..... 60
รูปที่ 4.18 การผลิตเอทิลีนของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a,
Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2%
เป็นระยะเวลา 20 วัน..... 60
รูปที่4.19 ลักษณะภายนอกของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ (Control) และเคลือบด้วย
สูตรทางการค้า (Teva) และสูตรที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-c)
ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 0, 3, 6, 12 และ 15 วันตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง
ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5..... 71
รูปที่4.20 ลักษณะภายนอกของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ (Control) และเคลือบด้วย
สูตรทางการค้า (Teva) และสูตรที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-c)
ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 0, 14, 28, 42 และ 56 วันตามลำดับที่อุณหภูมิ 10±1 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 86±2..... 72
รูปที่4.21 การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %
เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 74
รูปที่ 4.22 การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 %
เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 74
รูปที่ 4.23 ค่าความสว่างของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 %
เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 76
รูปที่ 4.24 ค่าความสว่างของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย
สูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 %
เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 76

หน้า

รูปที่ 4.25 ค่าความเป็นสีเขียวของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย สูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 77
รูปที่ 4.26 ค่าความเป็นสีเขียวของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย สูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 77
รูปที่ 4.27 ค่าความเป็นสีเหลืองของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย สูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 75±10 % เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 78
รูปที่ 4.28 ค่าความเป็นสีเหลืองของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วย สูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 78
รูปที่ 4.29 Deformation ของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 80
รูปที่ 4.30 Deformation ของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 80
รูปที่ 4.31 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 82
รูปที่ 4.32 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 82
รูปที่ 4.33 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-cและ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 84
รูปที่ 4.34 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 84

หน้า

รูปที่ 4.35 อัตราการหายใจของผลมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 86
รูปที่ 4.36: อัตราการหายใจของผลมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 86
รูปที่ 4.37 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% เป็นระยะเวลา 15 วัน..... 88
รูปที่ 4.38 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% เป็นระยะเวลา 56 วัน..... 88
รูปที่ 4.39 แสดงลักษณะของสารเคลือบเมื่อถูกนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มประกอบด้วย สารที่เตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-b, Lab-c และLab-d) และ สารเคลือบ ทางการค้า (Teva).....99
รูปที่ 4.40 ค่าความทนแรงดึง (■) และการยืดตัว ◆) ของสารเคลือบที่เตรียมได้จาก ห้องปฏิบัติการสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d (n=5)..... 102
รูปที่ 4.41 ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของสารเคลือบที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ สูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d (n=4)..... 104
รูปที่ 4.42 ความหนืดของสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ที่อุณหภูมิ 30±5 °C.....106
รูปที่ 4.43 ความหนืดของสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ที่อุณหภูมิ 4 °C.....106
รูปที่ 4.44 ค่า pH ของสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ที่อุณหภูมิ 30±5 °C.....107
รูปที่ 4.45 ค่า pH ของสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ที่อุณหภูมิ 4 °C.....107
รูปที่ ข.1 แบบของชิ้นงานที่ใช้วัดคุณสมบัติทางกล..... 140
รูปที่ ข.2 ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ.....141
รูปที่ ข.3 DSC Thermogram ของสารเคลือบผิวทางการค้า (Teva).....143
รูปที่ ข.4 DSC Thermogram ของผงเซลแล็ก..... 144
รูปที่ ข.5 DSC Thermogram ของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d..... 145
รูปที่ ข.6 DSC Thermogram ของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการสูตร Lab-b.....146

หน้า

รูปที่ ง.1 ระบบ Hunter scale.....154
รูปที่ ง.2 เครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลองและลักษณะของข้อมูลที่ได้..... 156
รูปที่ ง.3 เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ และขนาดหัววัดแรงกดขนาด 2, 5, 8 และ 10 มิลลิเมตร.....157
รูปที่ ง.4 Hand refractometer ที่ใช้ในการทดลอง..... 157
รูปที่ ง.5 เครื่อง Gas chromatography (GC-8A) ที่ใช้ในการทดลองของฝ่ายปฏิบัติการวิจัย
และเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
(ก) ฉีดเอทิลีน (ข) ฉีดคาร์บอนไดออกไซด์..... 160
รูปที่ จ.1 เปรียบเทียบการแตกของผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วย Teva Lab-a
และ Lab-b เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน.....192
รูปที่ จ.2 เปรียบเทียบผลการเคลือบมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วย Lab-a และ
Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง……...…..193

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

ทุเรียน (*Durio zibethinus Merr.*) ได้ชื่อว่า " ราชาแห่งผลไม้ " เป็นไม้ผลเขตร้อนชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในประเทศมาเป็นเวลานาน ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มจะขยายการส่งออกทางเศรษฐกิจภายนอกประเทศได้อีกมาก ทำให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้น จึงถูกกำหนดให้เป็นพืชที่จะต้องเร่งรัดเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อการส่งออก

เนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาสั้น เพราะมีกระบวนการหายใจเพิ่มขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว ผลิตก๊าซเอทิลีนขึ้นมาเพื่อเร่งการสุก เป็นผลทำให้ต้องมีการควบคุมภายหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อสามารถส่งออกไปยังประเทศคู่ค้าต่างๆ เช่น ประเทศฮ่องกง ไต้หวัน และสาธารณรัฐประชาชนจีนได้ ปัจจุบันการขนส่งทุเรียนไปขายยังตลาดต่างประเทศ จะใช้การขนส่งทางเรือหรือทางเครื่องบินภายใต้อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% เป็นทุเรียนผลสดแช่เย็น หรือขนส่งทางเครื่องบิน ภายใต้อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นทุเรียนแช่เยือกแข็งทั้งผล ข้อมูลการส่งออกของทุเรียนในปี 2545 และ ปี2546 มีปริมาณประมาณ 144,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,341 ล้านบาท และ 96,000 ตันคิดเป็นมูลค่า 2000 ล้านบาทตามลำดับ (กรมศุลกากร, 2547)

มะนาวเป็นพืชในกลุ่มผักประเภท non-climacteric ที่รับประทานส่วนของผลเป็นพืชเศรษฐกิจขนาดเล็กที่มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของคนไทยเป็นอย่างมาก เห็นได้จากการนำมะนาวมาใช้ในการปรุงอาหารต่างๆมากมาย ปริมาณผลผลิตของมะนาวมีการจำหน่ายออกสู่ตลาดมากในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายน สำหรับในช่วงนอกฤดูกาลจะอยู่ในช่วงมีนาคมถึงเมษายน นอกจากนี้จังหวัดที่มีการปลูกมะนาวกันมากในประเทศไทยได้แก่ เพชรบุรี นครปฐม สมุทรสาคร นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี กาญจนบุรี และเชียงใหม่ (Khunprom และคณะ, 2002)

ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการส่งออกผลไม้คือ คุณภาพของผลไม้ เช่นอายุการเก็บรักษา ลักษณะเนื้อผล ความพอใจของผู้บริโภคเป็นต้น ทำให้ต้องมีการศึกษาเทคโนโลยีภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเคลือบผิวผลไม้ ซึ่งผลไม้โดยทั่วไปจะมีช่องเปิด เช่น ปากใบ lenticel เพื่อถ่ายเทอากาศนำเอาออกซิเจนเข้าไปสำหรับการหายใจ และระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เป็นผลทำให้ผลไม้มีการสูญเสียน้ำหนัก น้ำหนักที่จะขายได้ลดลง รสชาติของผลิตผลลดลงโดยเฉพาะใน

แง่ของเนื้อสัมผัส (texture) และยังทำให้ผิวเหี่ยวย่นไม่ดึงดูดใจผู้บริโภค ผลไม้ไม่ได้มาตรฐานตามต้องการ ไม่สามารถส่งออกได้ในประเทศที่อยู่ไกลมากๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541)

ผลไม้ที่เคลือบแล้วจะเป็นผลทำให้บริเวณพื้นผิวของผลถูกเคลือบเปรียบเสมือนเป็นการดัดแปลงบรรยากาศภายในผลิตผล ขัดขวางการผ่านเข้าออกของก๊าซ หรือลดปริมาณการแลกเปลี่ยนก๊าซ ลดการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำหนัก การศึกษาถึงการเคลือบผิวผลไม้จึงเป็นผลดีคือ สามารถยืดอายุผลไม้ได้นานทำให้ราคาส่งออกสูงขึ้นช่วยเหลือเศรษฐกิจภายในประเทศ ทำให้รูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์สวยงามเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

เชลแล็กเป็นสารเคลือบชนิดหนึ่งที่ผลิตจากมูลครั่งมีการเลี้ยงกันมากทางภาคเหนือตอนบน เป็นจุดสนใจของนักวิจัย เนื่องจากมีคุณสมบัติ เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ปลอดภัย สีมีความแตกต่างได้ตั้งแต่สีแดงไปจนถึงสีเหลืองอ่อน มีความเหนียวแต่จะอ่อนนุ่มเมื่อได้รับความร้อนต่ำๆที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ละลายได้ง่ายเมื่อใช้แอลเคน หรือแอลกอฮอล์ แต่ทนต่อสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน เมื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มจะมีความวาวและทน

ปัจจุบันสารเคลือบผลไม้ที่มีส่วนประกอบของเชลแล็ก ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ นำมาซึ่งความสนใจในงานพัฒนาส่วนประกอบของสารเคลือบที่มีส่วนผสมหลักคือเชลแล็กให้มีความเหมาะสมต่อผลไม้เขตร้อนสองชนิดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจของประเทศได้แก่ ทุเรียน และมะนาว เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาการส่งออกทุเรียน ลดการนำเข้าสารเคลือบเชลแล็กจากต่างประเทศ รวมทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์จากธรรมชาติของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. พัฒนาสารเคลือบเปลือกผลไม้จากเซลแล็กเพื่อใช้ในการเก็บรักษาทุเรียน และมะนาว
2. ประเมินความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียน และมะนาวของสารเคลือบเซลแล็กเปรียบเทียบกับสูตรทางการค้า
3. ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนของฟิล์มเคลือบที่ใช้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาส่วนประกอบของสารเคลือบผลไม้ที่มีการเผยแพร่ รวมทั้งชีววิทยาของทุเรียน และมะนาวเพื่อออกแบบสารเคลือบที่เหมาะสม
2. ประเมินลักษณะทางคุณภาพทุเรียน และมะนาวที่ได้รับการเคลือบ และไม่เคลือบด้วยสารเคลือบเซลแล็กที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบกับสูตรทางการค้า เช่นการสูญเสียน้ำหนัก สี ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ ความเป็นกรด อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และคุณภาพการรับประทาน สำหรับทุเรียนเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วันที่อุณหภูมิห้อง และเป็นเวลา 1 เดือนที่อุณหภูมิ 15 °C และมะนาวเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วันที่อุณหภูมิห้อง และเป็นเวลา 2 เดือนที่อุณหภูมิ 10 °C
3. ศึกษาและทดสอบสมบัติเชิงกายภาพของฟิล์มเคลือบที่เหมาะสม ได้แก่ ความทนแรงดึง (tensile strength) การยืดตัว (%tensile strain) ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ ความหนืด ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg)
4. วิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตของสารเคลือบที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองสำหรับทุเรียน และมะนาว

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทุเรียน (Durian)

ทุเรียน *(Durio zibethinus Merr.)* เป็นไม้ผลเขตร้อนทางทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีมูลค่าการส่งออก และเป็นที่นิยมชมชอบอย่างมากในตลาดต่างประเทศ ประเทศไทยมีการเพาะปลูกมากทางภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง จันทบุรี ปราจีนบุรี ตราด รองลงมาคือ ภาคใต้ ฤดูกาลของผลผลิตทุเรียนทางภาคตะวันออกคือ เดือนเมษายน และภาคใต้คือ เดือนมิถุนายน-เดือนสิงหาคม (สถิติการปลูกไม้ผลไม้ยืนต้น กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543) โดยมีความแตกต่างของทุเรียนแต่ละชนิดที่พบกันโดยทั่วไป เช่น ปริมาตรเนื้อผล ลักษณะเนื้อผิวสัมผัส รสชาติ และอายุการเก็บรักษา

ประเทศไทยมีพันธุ์ทุเรียนที่ได้รับการส่งเสริม 4 พันธุ์ด้วยกัน (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2546) ได้แก่

1. พันธุ์หมอนทอง ขนาดผลมีน้ำหนัก 2.0-4.5 กิโลกรัม ทรงผลยาว ไหล่ผลกว้าง ก้นผลแหลม พูเห็นชัดเจน เปลือกผลค่อนข้างบาง เนื้อมีสีเหลืองอ่อน เนื้อหนา กลิ่นน้อย รสหวานจัด
2. พันธุ์ชะนี ขนาดผลปานกลางถึงใหญ่มีน้ำหนักตั้งแต่ 1.5-4.2 กิโลกรัม ทรงผลเป็นทรงกระบอก หรือทรงไข่ ปลายแหลม กลางผลป่อง เนื้อมีสีเหลืองเข้ม ไม่ค่อยหนา กลิ่นแรง เนื้อละเอียดและเหนียว รสหวานมัน
3. พันธุ์ก้านยาว ขนาดผลมีน้ำหนัก 1.5-4.4 กิโลกรัม ทรงผลกลม หรือทรงลิ้นจี่ ค่อนข้างยาว ไหล่ผลกว้าง เนื้อมีสีเหลือง ไม่หนา กลิ่นน้อย รสหวานมัน เนื้อละเอียดและเหนียวเมล็ดโต
4. พันธุ์กระดุมทอง ขนาดผลเล็กถึงปานกลางมีน้ำหนัก 1.0-3.5 กิโลกรัม ทรงผลรูปกรวย ฐานกว้าง พุ่มโปร่ง เนื้อสีเหลืองเข้ม เนื้อบาง รสหวานจัด กลิ่นค่อนข้างแรง เนื้อละเอียดไม่เหนียว

ประเทศคู่ค้าที่สำคัญของประเทศไทยในการส่งออกทุเรียน ได้แก่ ฮ่องกง ไต้หวัน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น แคนาดา ออสเตรเลีย อินโดนีเซีย ซึ่งจากรายงานข้อมูลปี 2546 พบว่าทุเรียนสดมีมูลค่าการส่งออกรวม 1,324 ล้านบาท และทุเรียนแช่แข็งมีมูลค่าการส่งออกรวม 675 ล้านบาท นับว่าเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีมูลค่าการส่งออก และทำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก (กรมศุลกากร, 2546)

ทุเรียนเป็นผลไม้ประเภท climacteric ผลไม้ประเภทนี้มักมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในขณะที่ผลไม้นั้นสุก ลักษณะการเพิ่มสูงขึ้นของอัตราการหายใจนี้เรียกว่า climacteric ซึ่ง

มักจะแบ่งออกเป็น 4 ระยะด้วยกันคือ (1) pre-climacteric (2) climactriac rise (3) climacteric peak และ (4) post-climacteric ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

2.2 มะนาว (Lime)

มะนาว (*Citrus aurantifolia*) เป็นพืชในกลุ่มผักซึ่งใช้ผลในการบริโภคอยู่ในตระกูลส้ม (citrus fruits) เป็นพืชพื้นเมืองชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายมาช้านาน เนื่องจากปลูกง่ายมีความอุดมสมบูรณ์ และมีราคาถูกในฤดูกาล

มะนาวในประเทศไทยได้รับการปลูกอยู่ด้วยกันหลายพันธุ์ แต่พันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมากมี 3 พันธุ์ (จันทร์จิรา, 2545) ได้แก่

1. มะนาวหนัง ลักษณะกลมหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาวมีกลมมนบ้างเล็กน้อย ด้านหัวมีจุกเล็กๆมีเปลือกค่อนข้างหนา จึงทำให้เก็บรักษาผลไว้ได้นาน
2. มะนาวไข่ มีขนาดและลักษณะคล้ายมะนาวหนังเกือบทุกอย่าง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาวหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผละมีลักษณะกลมมนเป็นส่วนมาก เปลือกบางและผลโตกว่ามะนาวหนัง
3. มะนาวแป้น เป็นมะนาวที่สามารถให้ดอกออกผลได้ตลอดปี ผลมีขนาดกลางเป็นทรงผลแป้น และมีเปลือกบาง เป็นมะนาวที่เกษตรกรปลูกมากรองลงมาจากมะนาวไข่ เนื่องจากให้ผลที่ใหญ่ น้ำมาก ผิวบาง ออกผลเป็นพวงดกและให้ผลได้ตลอดปี

มะนาวเป็นพืชในกลุ่มผักประเภท non-climacteric อัตราการหายใจของพืชในส่วนที่กำลังเริ่มเจริญเติบโตจะสูง และลดต่ำลงเรื่อยๆเมื่อส่วนนั้นๆเจริญเติบโตเข้าสู่ความบริบูรณ์ทางสรีระวิทยา ภายหลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจลดลงเรื่อยๆโดยลดลงอย่างรวดเร็วในส่วนที่เป็น vegetative tissue พรือในผลไม้ที่ยังอ่อน และลดลงช้าในส่วนที่เป็นแหล่งสะสมอาหาร (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541)

2.3 ปัจจัยภายในที่มีต่อชีววิทยาของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว

2.3.1 การคายน้ำ

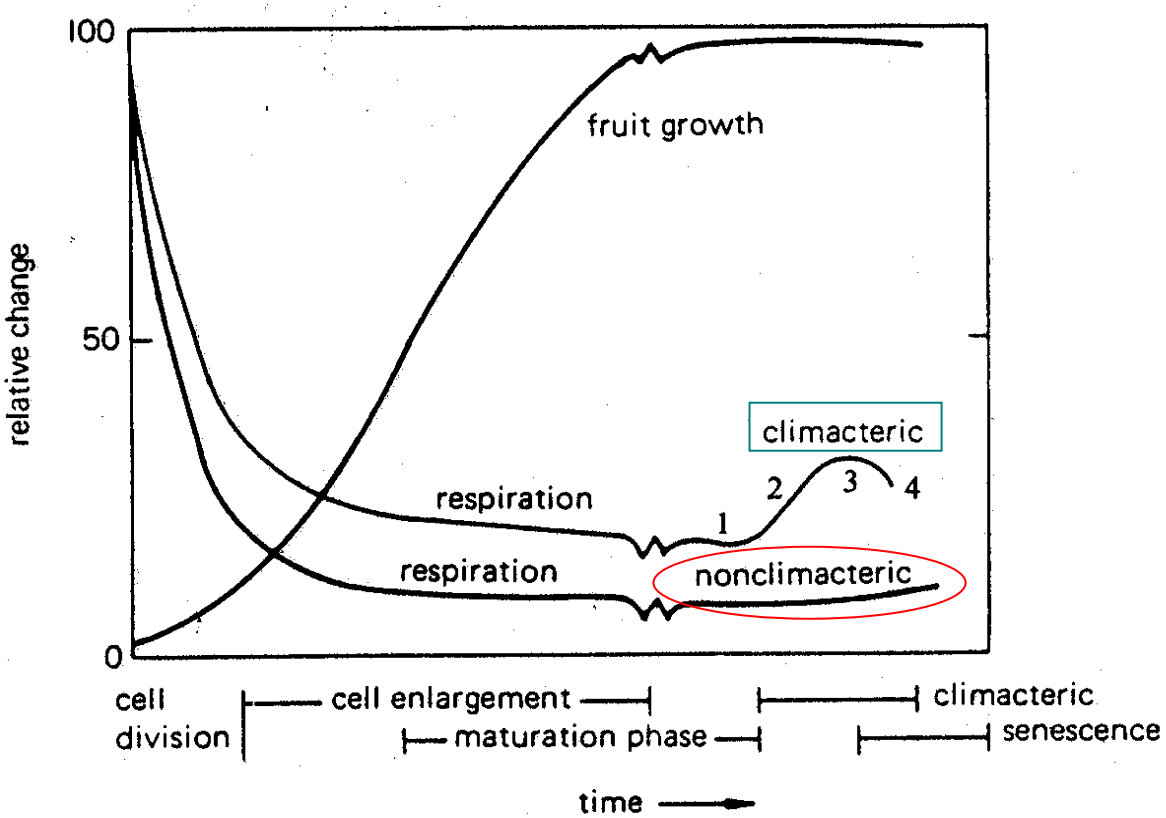
ความแตกต่างทางด้านความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นสาเหตุให้เกิดการคายน้ำ เนื่องจากความชื้นของอากาศภายนอกต่ำกว่าภายในผลไม้ เป็นผลให้น้ำภายในผลไม้มีการเคลื่อนตัวออกสู่ภายนอกตลอดเวลา ทำให้น้ำหนักของผลไม้ที่จะขายได้ลดลง คุณภาพในการรับประทานลดลง การเกิดบาดแผลก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งที่ ทำให้เกิดการคายน้ำได้มากขึ้น เพราะฉะนั้นภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงต้องป้องกันการสูญเสียน้ำด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช และธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

2.3.2 การหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และรีดักชั่น แปรรูปอาหารเช่นน้ำตาลหรือแป้งให้เกิดพลังงานสำหรับใช้ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ดังเห็นได้จากสมการการหายใจที่ใช้กลูโคสเป็น substrate ดังนี้

$$6\ O_2 + C_6H_{12}O_6 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 673\ Kcal\ (38\ ATP)$$

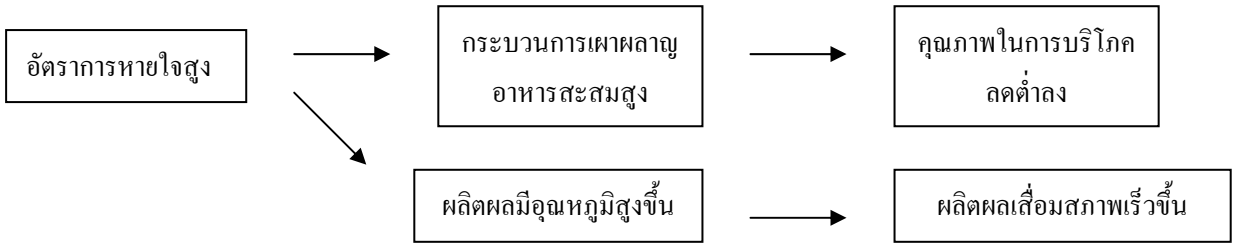
กระบวนการหายใจสามารถจำแนกประเภทของผลไม้ออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ ประเภทที่ 1 ถูกเรียกว่า “Climacteric” ซึ่งประเภทนี้อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในขณะที่ผลไม้สุก ยกตัวอย่างเช่น กล้วย มะม่วง และทุเรียนเป็นต้น โดยอัตราการหายใจแบบนี้แบ่งการเปลี่ยนแปลงออกได้เป็น 4 ระยะคือ 1. pre – climacteric 2. climacteric rise 3. climacteric peak และ post – climacteric



รูปที่ 2.1: เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non – climacteric ในช่วงของการเจริญเติบโตในระยะต่างๆ 1 = pre – climacteric 2= climacteric rise 3 = climacteric peak 4= post – Climacteric

ที่มา จริงแท้ ศิริพานิช, 2541

ประเภทที่ 2 ถูกเรียกว่า “Non-Climacteric” หลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจจะลดลงช้าในส่วนที่เป็นแหล่งสะสมอาหาร ยกตัวอย่างเช่น ลำไย ส้ม และมะนาว เป็นต้น



รูปที่ 2.2: แผนภาพแสดงผลลัพธ์ที่เกิดจากผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูง

2.3.3 การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนจัดเป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซ นอกจากนี้ยังเป็นฮอร์โมนพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความสุกของผลไม้ โดยในผลไม้ประเภท climacteric พบว่าขณะที่ตัวผลไม้เริ่มสุก ผลไม้จะมีการผลิตก๊าซเอทิลีนออกมาในปริมาณมาก ส่งผลให้ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลไม้มีค่าสูงขึ้น ผลไม้มีอัตราการหายใจมากขึ้น ทำให้ไปเร่งกระบวนการสุกยิ่งมีจำนวนผลไม้มาก เมื่อเกิดก๊าซเอทิลีนขึ้น จะเหนี่ยวนำให้ผลไม้โดยรอบมีความสุกมากยิ่งขึ้น ซึ่งในกระบวนการขนส่งผลไม้มีความจำเป็นจะต้องส่งผลไม้ในปริมาณมาก ทำให้ต้องจำกัดผลที่เกิดจากเอทิลีน ส่วนผลไม้ประเภท non-climacteric นั้นอัตราการผลิตและความเข้มข้นภายในของเอทิลีนจะต่ำอยู่ตลอดการพัฒนาและการเจริญเติบโต (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541)

2.4 ปัจจัยภายนอกที่มีต่อชีววิทยาของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว

2.4.1 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อชีววิทยาของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว เพราะความแตกต่างของปริมาณไอน้ำในอากาศ กับตัวผลไม้ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำ โดยถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูง สามารถลดการสูญเสียน้ำ ลดการเสื่อมสภาพของตัวผลิตผล นอกจากนี้ผลิตผลที่เก็บรักษาภายในสภาพบรรยากาศที่มีการเคลื่อนไหวน้อยจะสูญเสียน้ำน้อยกว่าในสภาพที่มีการเคลื่อนไหวมาก (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

2.4.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิดการเร่งกระบวนการต่างๆ เช่น การหายใจ การคายน้ำภายในตัวผลไม้มีผลให้อายุการเก็บรักษาสั้น แต่ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจนเกินไป จะเกิดอาการผิดปกติเรียกว่าอาการสะท้านหนาว (chilling injury) เนื่องจากผลไม้ในประเทศไทยเป็นผลไม้ในเขตร้อน

สุรพงษ์ (2525) ทดลองเก็บผลทุเรียนพันธุ์ชะนีไว้ที่อุณหภูมิต่างๆกันคือ 1, 7, 11, 15 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่าผลทุเรียนจะแสดงอาการเปลือกสีน้ำตาลคล้ำภายใน 36 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ผลทุเรียนแสดงอาการ chilling injury ภายในเวลา 4 วัน และถ้าปล่อยให้อยู่ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียสจนครบ 1 สัปดาห์ แล้วนำมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ปรากฏว่า ผลทุเรียนไม่ยอมสุกหรือสุกเป็นบางส่วน เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีผิดปกติไป ทำให้องค์ประกอบทางเคมีภายในผลทุเรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ต่างไปจากผลสุกปกติ

สายสนม (2529) ศึกษาถึงการเก็บรักษาทุเรียนที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าสามารถเก็บรักษาเนื้อทุเรียนทั้งพูที่มีเมล็ดอยู่แล้วหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกชนิด low density polyethylene ไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80±5 เปอร์เซ็นต์ได้นาน 30 วัน

เพชรรัตน์ (2533) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ำต่อการสุกของทุเรียนพันธุ์ชะนีที่แก่เต็มที่ พบว่าผลทุเรียนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเกิด chilling injury ภายในเวลา 3 สัปดาห์ แต่จะพบอาการดังกล่าวได้หลังจากเก็บไว้เพียง 1 สัปดาห์ ถ้าย้ายผลทุเรียนมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนเนื้อที่บรรจุในถาดโฟมห่อด้วยฟิล์ม PVC (polyvinyl chloride) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถอยู่ได้นาน 4 สัปดาห์โดยคุณภาพเนื้อได้แก่ สีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณ soluble solid เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากนั้นสีเนื้อเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม

อนุกูล (2525) ทดลองเก็บรักษาผลมะนาวในถุงพลาสติกทั้งที่เจาะรู และไม่ได้เจาะรู ที่อุณหภูมิห้องเก็บรักษาได้นาน 5 สัปดาห์ และอุณหภูมิ 10 °C เก็บรักษาได้นาน 13 สัปดาห์ ผลมะนาวที่เก็บอุณหภูมิ 10 °C สัปดาห์ที่ 5 จะแตกต่างจากผลมะนาวที่เก็บอุณหภูมิห้องเป็นอันมาก ผลมะนาวยังเขียวสดอยู่โดยที่เริ่มเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองชัดเจนในสัปดาห์ที่ 8

จันทนา (2547) ทดลองเก็บรักษาผลมะนาวที่อุณหภูมิต่ำ (10±1 °C) สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก ลดการสูญเสียน้ำหนักดีกว่าเปรียบเทียบกับผลมะนาวเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 °C)

Jiang และคณะ (2002) ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของผลลำไยพบว่า การเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 1- 5 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันการเกิดโรคจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆได้ ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส คืออุณหภูมิภายในของตู้เย็นโดยทั่วไป สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 30 วัน ที่ระยะเวลาหลังจากนี้ลำไยบางส่วนจะเกิดผลเป็นสีน้ำตาลหรือการเกิด browning นั่นเอง

2.4.3 ความเครียดทางกายภาพ

การกระทบกระเทือนของผลิตผลนอกจากจะก่อให้เกิดอาการชอกช้ำได้แล้ว ยังทำให้มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความเครียดทางกายภาพเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวจึงจำเป็นต้องทำด้วยความประณีตที่สุด เพื่อลดการเสียหายและรักษาคุณภาพที่ดีของผลิตผลเอาไว้ให้นานที่สุด (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541)

2.4.4 องค์ประกอบของบรรยากาศ

ออกซิเจน ในบรรยากาศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการหายใจ และการสร้างเอทิลีนในพืช ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ จะทำให้ทั้งอัตราการหายใจและการสร้างก๊าซเอทิลีนลดลง ส่งผลให้การเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ช้าลงตามไปด้วย ถ้าปริมาณออกซิเจนลดต่ำลงมากเกินไป (น้อยกว่า 5-10%) จะกระตุ้นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือเกิดกระบวนการหมักขึ้นภายในผลไม้ ทำให้เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์และมีผลให้ผลไม้มีกลิ่นรสที่ผิดปกติ ตายได้ในที่สุด

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหายใจของผลไม้ ถ้ามีการสะสมมากในสภาพแวดล้อมของการเก็บรักษา จะทำให้ทั้งการหายใจและการผลิตก๊าซเอทิลีนลดต่ำลงยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตได้ แต่ถ้ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากเกินไป (มากกว่า 10-15%) จะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการหมักในผลไม้

ก๊าซเอทิลีนที่พืชสร้างขึ้น หรือที่เกิดจากการเผาผลาญแบบไม่สมบูรณ์ในกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ ถ้ามีอยู่ในสภาพแวดล้อม จะกระตุ้นให้ผลไม้เกิดการเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามก๊าซเอทิลีนนี้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการให้ผลไม้มีการสุกอย่างสม่ำเสมอและรวดเร็ว (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

อนวัช และซิง ซิง (2531) ศึกษาผลของการปรับสภาพบรรยากาศที่มีผลต่อการสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่มีความแก่ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในสภาพที่มีระดับความเข้มข้นของออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ร่วมกันกับคาร์บอนไดออกไซด์คือ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียสนาน 7 วันพบว่าทุกการทดลองมีผลในการลดอัตราการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสุกโดยทุเรียนที่เก็บในสภาพที่มีเฉพาะออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาเก็บที่สภาพอากาศปกติ 4 วันพบว่าทุเรียนสุกปกติและมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับเช่นเดียวกับทุเรียนที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์

วรนุช และคณะ (2545) ศึกษาผลการเก็บรักษามะนาวด้วยวิธีการใช้บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere packaging) โดยเก็บผลมะนาวในถุงพลาสติกชนิด HDPE ที่ปิดสนิททำการผันแปรอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับออกซิเจน

ที่แตกต่างกัน 1:5 3:5 5:5 7:5 และ 9:5 มะนาวในถุงที่บรรจุอยู่ในบรรยากาศที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจน 5:5 ระยะเวลาการเก็บรักษา 105 วัน ผลมะนาวมีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีดีที่สุด และการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับต่อผู้บริโภค

จันทนา (2547) ทดลองเก็บรักษาผลมะนาวในสภาพดัดแปลงบรรยากาศที่อัตราส่วนความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจน 2:5 5:5 8:5 2:10 5:10 และ 8:10 อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 พบว่าบรรยากาศที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจน 2:5 สามารถลดการสูญเสียน้ำได้ดีที่สุด และบรรยากาศที่มีสัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์มาก (8:5) ผลมะนาวมีการเน่าเสียมากที่สุด ขณะที่บรรยากาศที่มีสัดส่วนของออกซิเจนมาก (2:10) ผลมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองมากที่สุด

Tian และคณะ (2002) ศึกษาถึงการควบคุมออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อการเก็บรักษาลำไย ภายใต้บรรยากาศที่มีความเข้มข้น 15% คาร์บอนไดออกไซด์ รวมกับ 4% ออกซิเจน สามารถลดการเน่าเสียของผลลำไย และยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน นอกจากนี้ถ้าเก็บภายใต้บรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนในระดับสูง (70% ออกซิเจน) จะยับยั้งกิจกรรมของ polyphenol oxidase (PPO) ป้องกันการเกิด browning ที่เปลือกลำไย และลดการผลิตก๊าซเอทิลีน

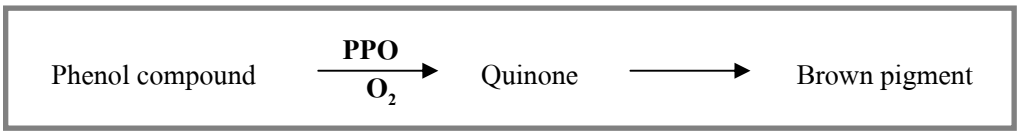
2.5 ดัชนีบ่งบอกคุณภาพของผลไม้

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงของสี (Pigment)

ผักและผลไม้ต่างๆจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น โดยส่วนมากสีเขียวจะจางหายไป และมักปรากฏสีเขียวหรือสีแดงขึ้นมาแทนภายหลังการเก็บเกี่ยว สารสีที่อยู่ภายในเซลล์พืชนั้นแบ่งได้ออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. กลุ่มที่สามารถละลายได้ในไขมัน
    - สารสีเขียวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll)
    - สารสีเหลืองของคาโรทีน (carotene)
    - สารสีแดงของไลโคปีน (lycopene)
2. กลุ่มที่สามารถละลายได้ในน้ำ
    - สารสีแอนโทไซยานิน (anthocyanin)ต่างๆ

สารสีเหล่านี้มีอิทธิพลค่อนข้างมาก ทำให้เกิดสีในช่วงสีแดง ม่วง และน้ำเงิน โดยจะบดบังสีเขียวและเหลืองของคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ไว้ นอกจากนี้เอนไซม์ polyphenol oxidase มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลไม้เป็นสีน้ำตาลเมื่อปอกเปลือกหรือหั่นเป็นชิ้นๆ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3: ขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ที่ปอกหรือหั่น

ที่มา จริงแท้ ศิริพานิช, 2541

ฐิติมา (2544) ศึกษาผลของ 1-MCP (1-methylcyclopropene) ต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลมะนาวพันธุ์แป้น ผลมะนาวที่ได้รับ 1-MCP ระดับเข้มข้น 100 nl/l นาน 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 20 °C ก่อนเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-95 ชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ดี โดยกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase อยู่ในระดับต่ำ

อรุณี (2545) ศึกษาผลของ 1-MCP (1-methylcyclopropene) และกรดจิบเบอเรลลิค (GA_3) ที่มีต่อการสูญเสียคลอโรฟิลล์ของเปลือกผลมะนาวพันธุ์แป้น ผลมะนาวที่รม 1-MCP ก่อนหรือหลังการให้ GA_3 สามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุด สีเปลือกของมะนาวยังเขียว อยู่ในวันที่ 70 ของการเก็บรักษา สามารถลดการหายใจ และลดกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase และ peroxidase ของผลมะนาวได้

Jiang (1999) เสนองานวิจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิด browning ศึกษาการทำปฏิกิริยาของ polyphenol oxidase ซึ่งได้สกัดแยกออกมาจากเนื้อลำไย พบว่าสารจำพวก pyrogallol หรือ 4-methylcathecol และ catechol เป็น substrate ที่ดีให้กับเอนไซม์ตัวนี้ ค่าpH ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับ 4-methylcathecol คือ 6.5 อุณหภูมิเสถียรภาพของเอนไซม์คือ 35 องศาเซลเซียส และสามารถอยู่ได้นานมากกว่า 20 นาทีที่อุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การลดปริมาณของ glutathione L-cysteine thiourea $FeSO_4$ และ $SnCl_2$ มีผลในการยับยั้งการทำงานของ polyphenol oxidase

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติ

ความพึงพอใจของผู้บริโภคเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการพิจารณาต่อการเลือกซื้อผลไม้ชนิดนั้นๆ ดังนั้นสิ่งที่เห็นเป็นนามธรรมจึงได้แก่ กลิ่นและรสชาติ กระบวนการเปลี่ยนแปลงเกิดจาก metabolism ของตัวผลไม้ โดยถ้าปฏิกิริยาทางเคมีของผักและผลไม้จะเปลี่ยนไป กล่าวคือจะมีการผลิตแอลกอฮอล์ขึ้น ทำให้กลิ่นรสของผักและผลไม้เปลี่ยนไปและเซลล์ของพืชถูกทำลาย กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า anaerobic decay ซึ่งจะทำให้ผักและผลไม้เสียภายใน 2 – 3 ชั่วโมง (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2526)

2.5.3 น้ำตาลและแป้ง

ผลไม้โดยทั่วไปเก็บสะสมสารอาหารไว้ในรูปแป้ง เมื่อผลไม้สุกแป้งจึงถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ส่งผลให้ผลไม้มีรสหวาน แต่ถ้าผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงภายในตัวผลไม้จะนำน้ำตาลที่ได้ไปใช้เป็นพลังงานทำให้ผลไม้ผลนั้นเสื่อมสภาพ (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

สุดารัตน์ (2536) ทดลองเก็บรักษาผลทุเรียนพันธุ์ชะนี และพันธุ์หมอนทองที่อุณหภูมิห้อง (30±2 °C) เป็นระยะเวลา 6 วัน และอุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 12 วัน ผลทุเรียนทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณแป้งลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

2.5.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)

เอนไซม์ 2 ชนิดที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้คือ pectinesterase และ polygalacturonase โดยมีความสามารถในการย่อยสลายสาร โปรโตเพคติน ทำให้เกิดอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้นที่เรียกว่า เพคติน (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2526; Imsabai, Ketsa และ Doorn, 2002; Ketsa และ Daengkanit, 1999b)

Ketsa และ Daengkanit (1999a) ศึกษาลักษณะการสุกของเนื้อทุเรียน พบว่า เอนไซม์ชนิด polygalacturonase จะมีปริมาณต่ำในเนื้อทุเรียนที่ยังไม่สุก และจะมีปริมาณที่สูงขึ้นระหว่างช่วงเวลาการสุกของทุเรียน นอกจากนี้ pectinesterase β-galactosidase และกิจกรรมของ cellulose มีระดับที่สูงในเนื้อทุเรียนที่ยังไม่สุก

Imsabai และคณะ (2002) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ 3 ระดับ คือที่ 12, 27 และ 34 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ±5% และกิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase ต่อความอ่อนนุ่มของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีพบว่า

- อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส ลักษณะความนุ่มของเนื้อทุเรียนจะเทียบเท่ากับการเก็บรักษาที่ 27 องศาเซลเซียส ในขณะที่สารเพคตินที่ละลายในน้ำ (water-soluble pectin) กับกิจกรรมของ polygalacturonase มีอัตราที่ต่ำกว่า
- อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เนื้อทุเรียนมีลักษณะนุ่มลงอย่างรวดเร็ว สารเพคตินที่ละลายในน้ำมีปริมาณมาก
- อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เนื้อทุเรียนไม่นุ่ม มีกิจกรรมของ polygalacturonase ต่ำ และสารเพคตินที่ละลายในน้ำเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ธิรา (2538) ทดลองเก็บรักษาผลทุเรียนพันธุ์ชะนี และพันธุ์หมอนทองที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80±5 เป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าทุเรียนพันธุ์ชะนีมีความแน่นเนื้อลดลงเร็วกว่า

ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ความแน่นเนื้อลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ water soluble pectin (WSP) ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ pectinmethylesterlase (PME) และ polygalacturonase (PG) มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นตลอดเวลาขณะอยู่ที่อุณหภูมิห้อง โดยกิจกรรมของเอนไซม์ PME เพิ่มขึ้นก่อนกิจกรรมของเอนไซม์ PG และทุเรียนพันธุ์ชะนีมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ PME และ PG สูงกว่าพันธุ์หมอนทอง

วชิรญา (2542) ทดลองเก็บรักษาผลทุเรียนที่อุณหภูมิสูงในระยะสั้น (42 °C นาน 6-24 ชม) สามารถลดกิจกรรมเอนไซม์ PG (polygalacturonase) อยู่ในระดับต่ำ ชะลอการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียนเล็กน้อยระยะผลสุกเต็มที่ และเก็บรักษาผลทุเรียนที่อุณหภูมิต่ำ (12 °C นาน 5 วัน) สามารถชะลอหรือยับยั้งกระบวนการสุกและการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียน ชะลอการย่อยสลายหรือละลายของ protopectin ลดกิจกรรมเอนไซม์ PG ค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับต่ำมาก

2.6 สารเคลือบผิวผลไม้

2.6.1 ลักษณะโครงสร้างที่ผิวของผลิตผล และปัญหาภายหลังการเก็บเกี่ยว

บริเวณผิวของผลไม้ประกอบด้วยส่วนของเนื้อเยื่อผิวที่ปกคลุมผล 2 ชนิด ทำหน้าที่ในการป้องกันการสูญเสียน้ำ และป้องกันตัวเองจากศัตรูภายนอกแบ่งออกได้เป็น

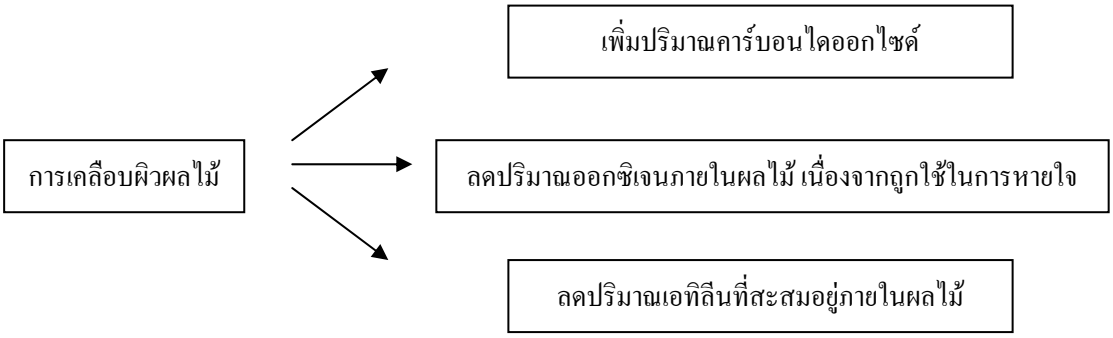
ชนิดที่1 epidermis ประกอบด้วยคิวติน และสารประกอบฟีนอล นอกจากนี้ยังมีส่วนของไขแทรกรวมอยู่กับส่วนของคิวติน เรียกรวมกันว่า “ คิวติเคิล ”

ชนิดที่ 2 periderm ประกอบด้วยสารประเภทลิกนิน และซูเบอริน ซึ่งเป็นส่วนของเซลล์ที่เจริญมาจากส่วนของ cortex ส่วนนี้จะแทนการหลุดของ epidermis

ส่วนใหญ่การสูญเสียน้ำของผลิตผลเกิดขึ้นในขั้นตอนระหว่างและภายหลังการเก็บเกี่ยว ยกตัวอย่างเช่น ระหว่างขั้นตอนการขนส่ง และการทำความสะอาด ก่อนเก็บเข้าภาชนะบรรจุ บางส่วนของผิวเปลือกมีการหลุดออก เช่น ไขที่ผิวมีการหลุดส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541)

2.6.2 ประโยชน์ของการเคลือบผิว

การใช้สารเคลือบผิวมีข้อดีคือ สารที่ใช้เคลือบจะมีหน้าที่ในการเกาะติดทั่วทั้งผิวของผลไม้ทดแทนการหลุดของไขทำให้ลดกระบวนการต่างๆที่จะส่งผลให้ผลไม้เสื่อมสภาพ หรือสุกเร็วขึ้น



รูปที่ 2.4: แผนภาพที่มีผลต่อการเคลือบผิวผลไม้

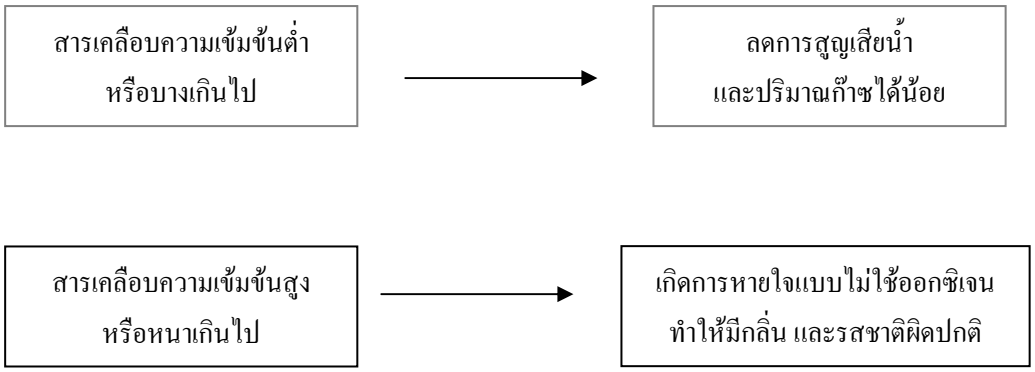
สุธีรา (2546) ทดลองเคลือบผิวผลทุเรียนด้วยสารเคลือบ methylcellulose, starfresh#7055, glucomannan และchitosan พบว่าสารเคลือบมีผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน ทุเรียนที่เคลือบด้วย methylcellulose มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด และทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบผิวมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด

ยุวลักษณ์ (2548) ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางคุณภาพของเนื้อทุเรียนที่ได้รับการเคลือบประกอบด้วยสูตร A3 มีเจลาตินผสมซอร์บิทอล สูตร B2 มีไคโตซานผสมซอร์บิทอลและกรดซิตริก สูตร C1 และ C2 มีไคโตซาน เจลาตินผสมซอร์บิทอลและกรดซิตริก พบว่าสูตร C1 ที่ประกอบด้วย เจลาติน 2%, ไคโตซาน 1%, ซอร์บิทอล 0.2% และกรดซิตริก 3.5% (โดยน้ำหนัก) สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนลง 36% ลดอัตราการหายใจลง 48.5% และลดการผลิตเอทิลีนลง 27.5% (วันที่ 5 ของการทดลอง (climacteric peak)) เปรียบเทียบกับเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ สามารถเก็บรักษาเนื้อทุเรียนเป็นเวลาอย่างน้อย 26 วันที่อุณหภูมิ 5 °C

จันทร์จิรา (2545) ศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพมะนาวในระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิห้อง (25±3 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60±8 พบว่าสารเคลือบ sta-fresh, สารเคลือบผสมระหว่างสาร sta-fresh กับสารเคลือบกลูโคแมนแนน, สารเคลือบผสมระหว่างกรดจิบเบอเรลลิคกับสารเคลือบ sta-fresh สามารถชะลอการเสื่อมเสียการสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของมะนาวในระหว่างการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ

จันทนา (2547) เสนองานวิจัยเคลือบผิวผลมะนาวด้วย stafresh 360HSa เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2 °C) ไม่มีความแตกต่างกับผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ แต่ที่อุณหภูมิ 10±1 °C สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือก ลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ และการเคลือบผิวผลมะนาวด้วย chitosan ไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ

ความเข้มข้นของปริมาณการใช้สารเคลือบผิว และชนิดของสารเคลือบผิวมีส่วนสำคัญในการถูกเลือกนำมาใช้ให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาต่อผลไม้ชนิดนั้นๆ



รูปที่ 2.5: ผลที่เกิดจากความแตกต่างของปริมาณสารเคลือบ

2.6.3 ชนิดและสมบัติของสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวผักและผลไม้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดหลายสูตร แต่ละชนิดมีองค์ประกอบแตกต่างกันไป ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มักจะเป็นความลับทางการค้า ในสารเคลือบผิวมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ ไข ตัวทำละลาย และ emulsifier สำหรับไขที่ใช้เตรียมสารเคลือบผิวมีหลายชนิดและได้มาจากหลายแหล่งต่างๆกันดังนี้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541)

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของสารเคลือบผิวต่างๆ

แหล่งที่มา	ตัวอย่าง	คุณลักษณะ และสมบัติ
พืช	carnauba	สกัดได้จากผิวของใบปาล์ม มีกลิ่นหอมและมีจุดหลอมเหลวสูง (84-96 องศาเซลเซียส)
	candelilla	เปราะ ราคาแพง
สัตว์	shellac	สกัดได้จากมูลครั่ง มีความเป็นมันเงาสูงมาก มีค่าจุดหลอมเหลวที่ 72-80 องศาเซลเซียส
น้ำมันปิโตรเลียม	paraffin	มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว อ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่น
	microcrystalline wax	มีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็กเหนียว และอ่อนนุ่ม มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีค่า tensile strength และจุดหลอมเหลวสูง

2.6.4 ข้อดี และข้อเสียแบ่งตามประเภทสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่ละลายน้ำ และประเภทที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยข้อดี และข้อเสียสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

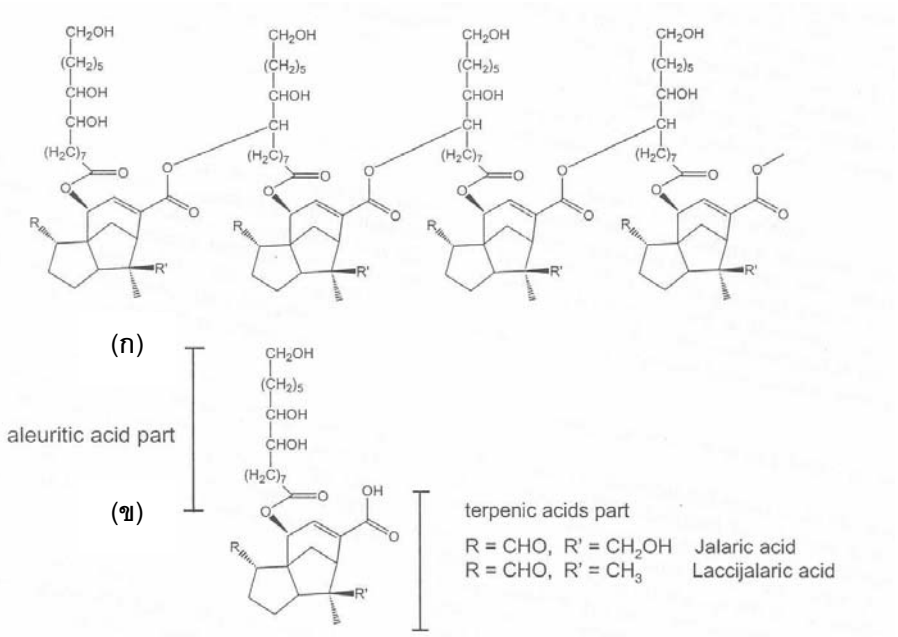
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อดี และข้อเสียตามลักษณะประเภทของสารเคลือบ

ประเภทสารเคลือบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ประเภทละลายในน้ำ	ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม	แห้งช้า สิ้นเปลืองพลังงาน ต้องใส่ emulsifier เป็นองค์ประกอบ ทำให้ขั้นตอนในการเตรียมยุ่งยาก
ประเภทละลายในตัวทำละลายอินทรีย์	แห้งเร็ว ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการทำให้แห้ง	มีกลิ่น และก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

2.7 สารเคลือบเชลแล็ก

2.7.1 ลักษณะและวิธีการผลิตเชลแล็ก

เชลแล็ก เป็นผลิตผลมาจากครั่งซึ่งเป็นยางหรือชันชนิดหนึ่งขับถ่ายออกมาจากตัวแมลงครั่ง มีการเลี้ยงกันมากทางภาคเหนือตอนบน โดยองค์ประกอบหลักของสารเคลือบเชลแล็ก คือ โมเลกุลของสายโซ่พอลิเอสเทอร์ซึ่งเมื่อนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จะพบกรดไขมันหลายชนิด ได้แก่ กรดอะเลอริติก (aleuritic acid) กรดเทอร์พีนิก (terpenic acid) และกรดแลกซิจาร์ลาริก (laccijalaric acid) (มานี และ ธนะเศรษฐ์, 2546)



รูปที่ 2.6: โครงสร้างเคมีของ (ก) พอลิเอสเทอร์และ (ข) เอสเทอร์โมเลกุลเดี่ยวที่เป็นองค์ประกอบของเรซิน
ที่มา: มานี และ ธนะเศรษฐ์, 2546

วิธีการผลิตเชลแล็กสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

1. เชลแล็กที่ได้จากวิธีผลิตดั้งเดิม (handmade shellac)
2. เชลแล็กที่ได้จากการผลิตด้วยเครื่องจักร (machine–made shellac)
3. เชลแล็กขาว (bleached shellac)

การผลิตเชลแล็กด้วยวิธีดั้งเดิม นำส่วนของครั่งดิบ (sticklac) และ ครั่งเม็ด (seedlac) มาบรรจุในถุงผ้าให้ความร้อน และบิดถุงผ้าให้แน่นเข้าเรื่อยๆ เนื้อครั่งจะค่อย ๆ ซึมออกจากถุงผ้าใช้มีดหรือวัสดุปาดเนื้อครั่งที่ซึมออกมาใส่บนภาชนะที่อังด้วยความร้อนจากไอน้ำ จะช่วยให้เนื้อครั่งนั้นมีความอ่อนตัว หลังจากนั้นนำเนื้อครั่งที่ได้มาทำการยืดเป็นแผ่นบาง ๆ ในขณะที่ครั่งยังร้อนอยู่ แล้วปล่อยให้เย็น จึงหักออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ เรียกว่า " shellac " (ครั่งดิบประมาณ 100 กิโลกรัม หรือครั่งเม็ดประมาณ 85 กิโลกรัม ใช้ทำ shellac ได้ 65 กิโลกรัม)

การผลิตเชลแล็กด้วยเครื่องจักร เป็นการส่งผ่านความร้อนจากตัวเครื่องจักรให้กับส่วนของครั่งดิบ (sticklac) และ ครั่งเม็ด (seedlac) จากนั้นนำมากรองโดยใช้ความดันทำให้ครั่งมีความบริสุทธิ์มากขึ้นได้เป็นเชลแล็ก (Martin, 1982; Class, 1991)

การผลิตเชลแล็กขาว คือการกำจัดสิ่งเจือปนเช่น ส่วนของขี้ผึ้ง และการมีสีของเชลแล็กออกไปเพื่อให้ได้เชลแล็กขาวซึ่งมีความบริสุทธิ์ สามารถนำมาใช้ในอาหารได้ โดยองค์การอาหารและยา ประเทศสหรัฐอเมริกาให้การรับรอง

2.7.2 ประโยชน์ของเชลแล็ก

ปัจจุบันเป็นที่รู้จักกันดีว่าเชลแล็กนำมาใช้เป็นฟิล์มเคลือบบนผิววัสดุ เพราะฟิล์มที่ได้จากเชลแล็กจะมีค่าดัชนีหักเห (refractive index) ค่อนข้างสูง ทำให้สะท้อนแสงได้ดี มีความเงางาม (มานี และ ธนะเศรษฐ์, 2546) การนำเชลแล็กไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆสามารถถูกแจกแจงออกมาได้พอสังเขปดังนี้

1. อุตสาหกรรมยา คุณสมบัติในการนำมาใช้ยกตัวอย่างเช่น การนำมาเคลือบยาเม็ดเพื่อป้องกันความชื้น (protective coating) และควบคุมการปลดปล่อยยา (controlled release coating)

Pearnchob และคณะ (2003) ศึกษาการสลายตัวของเชลแล็กที่เคลือบบนตัวยาแคปซูลที่ทำจากเจลาติน โดยมีจุดประสงค์ในการใช้ยาตัวนี้ให้มีการออกฤทธิ์ในลำไส้ใหญ่ พบว่าการใส่ Sorbic acid เป็น plasticizer เข้าไปในสารเคลือบเชลแล็กทำให้เป็นผลดีคือมีความทนทานเมื่อแคปซูลอยู่ในกระเพาะอาหาร (gastric resistance) และสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วในลำไส้เล็ก

2. อุตสาหกรรมอาหาร คุณสมบัติในการนำมาใช้ยกตัวอย่างเช่น การนำเชลแล็กขาวมาทำเป็นฟิล์มเคลือบผลผลิตทางการเกษตรและขนมหวาน และนำมาใช้เป็นสารเคลือบเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้

Hagenmaier และ McGuire (1996) ได้ศึกษาผลไม้ที่ผ่านการเคลือบแล้ว พบว่ามีการซึมผ่านของไอน้ำ การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์)ระหว่างภายในและภายนอกผลผลิตลดลง ส่งผลให้อายุการเก็บรักษายาวขึ้น สวย เป็นเงา นอกจากนั้นยังป้องกันการกัดกินของแมลงและการเกิดโรคพืชบางชนิดด้วย

3. อุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมหมึกพิมพ์ อุตสาหกรรมเคลือบไม้และเฟอร์นิเจอร์

2.7.3 การใช้ตัวทำละลายในกระบวนการผลิตสารเคลือบเชลแล็ก

2.7.3.1. การใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย

สมบัติที่เป็นข้อเสียของแอลกอฮอล์คือ เป็นสารที่ระเหยได้ง่าย ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมต้องมีการออกแบบถังเก็บสารละลายแอลกอฮอล์ให้มีความเหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น ออกแบบถังเก็บที่เพดานของถังเก็บสามารถเลื่อนขึ้นลงเองได้ (explosion-proof storage tank) เพื่อป้องกันไม่ให้แอลกอฮอล์ระเหยขึ้นมามากเกินไปจนอาจนำไปสู่การเกิดระเบิด นอกจากนี้ถ้านำสารเคลือบมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จะต้องมีบางส่วนตกค้าง เพราะเป็นไปไม่ได้ที่แอลกอฮอล์จะระเหยออกไปหมด เป็นผลให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค (Shaw, 1991)

2.7.3.2. การใช้แอมโมเนียเป็นตัวทำละลาย

สารละลายแอมโมเนียมีคุณสมบัติเป็นพิษ เมื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลายสามารถเกิดเกลือของแอมโมเนียขึ้นได้ มีผลต่อการหลุดของฟิล์มเคลือบ เมื่อโดนน้ำ หรือเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากต่ำไปสูง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปสารเคลือบจะมีความหนืดมากขึ้น และสามารถรวมตัวตกตะกอนมีผลให้อายุการใช้งานต่ำ (Cook, 1996)

2.7.4 กระบวนการผลิตสารเคลือบเชลแล็กโดยทำให้เป็นสารแขวนลอย

ลักษณะสารแขวนลอยของสารเคลือบเชลแล็ก คือสารเคลือบมีการเกิดอนุภาคเล็กๆของเชลแล็กกระจายตัวอยู่ในของเหลว (Banker และคณะ , 1981)

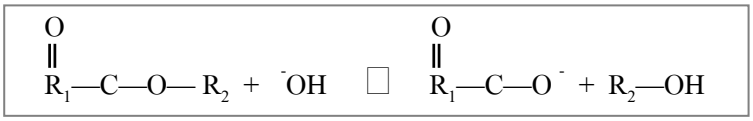
ข้อดีของสารเคลือบที่ผลิตด้วยวิธีนี้คือ เมื่อนำไปใช้งานเช่นงานเคลือบผิวผลไม้ ส่วนที่เป็นสารละลายจะระเหยขึ้นไปจนหมด ทำให้เหลือเพียงอนุภาคเล็กๆของเชลแล็กที่เกาะติดบนผิว อนุภาคเหล่านี้จะมีการรวมตัวกันเกิดเป็นฟิล์มเคลือบ ไม่หลุดเมื่อโดนน้ำ แต่วิธีนี้จำเป็นต้องมีการเติมสาร plasticizer ลงไปเพื่อทำให้อนุภาคเล็กๆของเชลแล็กหลอมตัวบนผิวของอาหารได้ดีขึ้น

อธิบายกระบวนการผลิตสารแขวนลอยของเชลแล็กในน้ำ

อาศัยหลักการสำคัญสองขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการละลายเชลแล็ก และขั้นตอนการตกตะกอนเชลแล็ก สามารถแสดงปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้

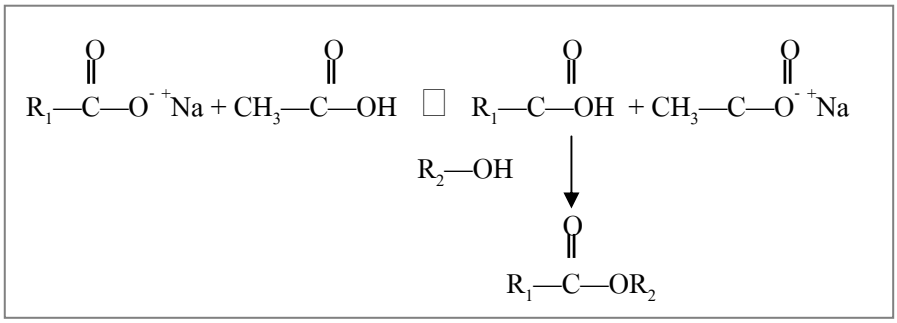
- **ขั้นตอนการละลายเชลแล็ก**

เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่เอสเทอร์ของเชลแล็ก กับหมู่ไฮดรอกซิลของด่าง ได้ผลลัพธ์เป็นเกลือเอสเทอร์ และแอลกอฮอล์



- **ขั้นตอนการตกตะกอนเชลแล็ก**

เป็นปฏิกิริยาระหว่างเชลแล็กในรูปสารละลายเกลือจากขั้นตอนที่หนึ่ง และกรดอะซิติกได้ผลิตภัณฑ์เป็นโซเดียมอะซิเตต และ กรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาได้ต่อกับแอลกอฮอล์จากขั้นตอนแรก ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเชลแล็กที่มีขนาดเล็กโมเลกุลเล็กลง



R_1 และ R_2 หมายถึง กรดอะเลอริติก และกรดเทอร์พีนิก ตามลำดับ

2.7.5 สิทธิบัตรและงานวิจัยการผลิตสารแขวนลอยของเชลแล็กในน้ำ

หลักการผลิตสารแขวนลอยของเชลแล็กในน้ำ โดยใช้เครื่องโฮโมจิไนเซอร์เพื่อเพิ่มแรงเฉือนทำให้ขนาดของอนุภาคเชลแล็กที่ตกตะกอนออกมามีขนาดเล็กพอที่จะสามารถแขวนลอยอยู่ในสารละลายได้

ตัวอย่างสิทธิบัตร (Cook, 1996)

กล่าวถึงกระบวนการผลิตสารแขวนลอยของเชลแล็กในน้ำไว้สองวิธีด้วยกันโดยวิธีแรกจะมีอัตราส่วนของสารละลายเบสเชลแล็กต่อสารละลายกรดเป็น 1:5 ส่วนวิธีที่สองจะมีอัตราส่วนของสารละลายเบสเชลแล็กต่อสารละลายกรดเป็น 1:1 ดังรายละเอียดดังนี้

1. เตรียมสารละลายเชลแล็กที่ละลายในสารละลายเบส โดยละลายเชลแล็ก 100 กรัมในสารละลายเบส 1 N ปริมาตร 170 มิลลิลิตร หลังจากนั้นให้ความร้อนเพื่อให้เชลแล็กละลายได้ดียิ่งขึ้นที่อุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส

2. เติมสารละลายเบสเรื่อยๆจนได้ปริมาตรสุทธิ 770 มิลลิลิตร วัดค่า pH ให้อยู่ในค่าระหว่าง 7-7.5

3. เตรียมสารละลายกรด โดยใช้เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ความเร็ว 5,000-10,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาทีทำการผสมน้ำ 950 มิลลิลิตร เข้ากับ เอธิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร และ 10% สารละลายกรดอะซิติกโดยปริมาตร 50 มิลลิลิตร

4. อัตราส่วนของสารละลายเบสเชลแล็กต่อสารละลายกรดเป็น 1:5 เพิ่มปริมาณของเชลแล็กในสารละลายด้วยวิธี diaflitration คือกระบวนการแยกสารโมเลกุลใหญ่และเล็กออกจากกันโดยทำการชะด้วยตัวทำละลาย (solvent) ด้วยปริมาตรคงที่จนได้สารแขวนลอยของเชลแล็ก 26% โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ Cook ยังมีวิธีการเตรียมวิธีที่ 2 ดังนี้

1. แบ่งอัตราส่วนของสารละลายเบสเชลแล็กต่อสารละลายกรดโดยปริมาตรเป็น 1:1

2. ปรับ pH ด้วยสารละลายกรดอะซิติก 10% โดยน้ำหนักให้มีค่าประมาณ 5.5-6 แล้วทำให้สารแขวนลอยเข้มข้นขึ้นด้วยวิธี evaporation หรือใช้ความดัน

ตัวอย่างสิทธิบัตร (Reduick และคณะ, 1996)

กล่าวถึงการใช้อัตราส่วนของน้ำต่อสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 28 เปอร์เซ็นต์ (U.S.P.) ประมาณ 10:1 ถึง 30:1 ในการละลายเชลแล็กเพื่อเคลือบตัวยา โดยมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ใส มีคุณสมบัติกันน้ำ หรือป้องกันความชื้น สามารถเคลือบตัวยาได้อย่างรวดเร็ว และราคาไม่แพง ซึ่งดีกว่าการเคลือบด้วยน้ำตาลที่เห็นชั้นของการเคลือบชัดเจน นอกจากนี้สามารถใส่พลาสติไซเซอร์ เช่น polyethylene glycol หรือ polyvinylpyrrolidone เพื่อเพิ่มความมันเงา ความยืดหยุ่น และความเรียบ เมื่อเคลือบบนตัวยา

ตัวอย่างงานวิจัย (Krause และ Muller, 2001)

Krause และคณะ (2001) ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาสารแขวนลอยของเชลแล็กในน้ำ เพื่อให้สามารถแขวนลอยอยู่ได้ในสารละลายโดยมีวิธีการดังนี้

1. ละลายผงเชลแล็ก 20%โดยปริมาตร ลงในสารละลาย NaOH 1M ที่ pH ประมาณ8-9

2. ปั่นกวนที่ความเร็ว 9,500 รอบต่อนาที ขณะเติมกรดไฮโดรคลอริก เครื่องโฮโมจิไนเซอร์เป็นเวลา 30 นาที ที่ความดัน 500 บาร์

3. หาขนาดของอนุภาคที่ได้ด้วยวิธี laser diffractrometry

อนุภาคแขวนลอยอยู่ได้ มีขนาดอนุภาคประมาณ 5 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ 4 สัปดาห์บางส่วนของอนุภาครวมตัวกันนอนก้น แต่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้เมื่อเขย่า

2.7.6 สูตรของสารละลายของเชลแล็กในน้ำสำหรับการเคลือบผิวผลไม้

จากการค้นคว้าพบว่าในงานวิจัยมีการผลิตสารเคลือบผิวของเชลแล็กแสดงดังตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่2.3 แสดงสูตรสารเคลือบผลไม้จากเชลแล็ก

ผลไม้ที่ถูกเคลือบ	องค์ประกอบหลัก	ค่าพีเอช	กรด	เบส	สารเติมแต่ง	อ้างอิง
องุ่น	Shellac R49 19%	7.70	-	morpholine 1% ammonia 0.4%	-	Mcguire และ Hagenmaier, 1996
	Shellac ester 20%	8.00	ethanol 3.6%	ammonia 0.5%	-	
	Shellac R49 13% + Shellac ester 4%	9.10	ethanol 4.3% + oleic acid 1.1%	morpholine 1.3% + ammonia 0.6%	-	
	Shellac R49 14% + Shellac ester 4%	7.60	ethanol 4.2% + oleic acid 1.1%	morpholine 1.4% + ammonia 0.6%	-	
ส้มพันธุ์ Mandarin	Shellac 15.4%	-	oleic acid 0.5%	morpholine 1.8% + ammonia 0.3%	whey protein 0.8% + PEG 3% + polydimethyl siloxane antifoam 10%	Hagenmaier, 2000
ส้มพันธุ์ Valencia	polyethylene wax 10% + candelilla wax 5% + shellac 6.70%	-	myristic acid 0.5%	ammonia 1.0%	-	Hagenmaier,2002

ตารางที่ 2.4 แสดงผลงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับผลไม้เขตร้อน 2 ชนิดคือทุเรียน และมะนาว

ชนิดผลไม้	จุดประสงค์การทดลอง	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
ทุเรียน	ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของเอนไซม์และการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียนสุกพันธุ์ชะนีอายุเก็บเกี่ยว 102 และ 109 วัน และพันธุ์หมอนทองอายุเก็บเกี่ยว 116 และ 123 วัน เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80±5 เปอร์เซ็นต์	- ความแน่นเนื้อของทุเรียนพันธุ์ชะนีมีแนวโน้มลดลงเร็วกว่าทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 4-5 เป็นระยะที่ผลทุเรียนเริ่มสุก - การลดลงของความแน่นเนื้อ และการเพิ่มขึ้นของปริมาณ WSP (water soluble pectin) สัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ PME (pectin methylcellulase) และ PG (polygalacturonase) มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่อุณหภูมิห้อง - กิจกรรมเอนไซม์ β-galactosidase ในทุเรียนทั้ง 2 พันธุ์ยังไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่แน่ชัด และกิจกรรมของเอนไซม์ cellulase ไม่มีความสัมพันธ์กับการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียน	ธิรา, 2538

(ต่อ)

ชนิดผลไม้	จุดประสงค์การทดลอง	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
ทุเรียน	ผลของอุณหภูมิต่อการสุกของทุเรียนพันธุ์ชะนี	- ผลของทุเรียนที่ได้รับอุณหภูมิสูงในระยะสั้น (42 °C นาน 6-24 ชม.) สามารถลดกิจกรรมเอนไซม์ PG (polygalacturonase) อยู่ในระดับต่ำ ชะลอการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียนเล็กน้อยระยะผลสุกเต็มที่ - ผลของทุเรียนที่ได้รับอุณหภูมิสูงต่อเนื่อง (34 °C นาน 5 วัน) มีผลต่อกระบวนการสุกของทุเรียนน้อยมาก - ผลของทุเรียนที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ (12 °C นาน 5 วัน) สามารถชะลอหรือยับยั้งกระบวนการสุกและการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียน ชะลอการย่อยสลายหรือละลายของ protopectin ลดกิจกรรมเอนไซม์ PG ค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับต่ำมาก	วชิรญา, 2542
ทุเรียน	อิทธิพลของสารเคลือบผิวบางชนิด (Methylcellulose, Glucomannan, Chitosan และ Sta-fresh #7055) ต่อคุณภาพของผลทุเรียนเก็บรักษาอุณหภูมิ 15 °C	- ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย methylcellulose มีคุณภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับผลที่ไม่ได้เคลือบ มีการสูญเสียน้ำหนัก 16.46% และมีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุดที่การเก็บรักษา 20 วัน	สุธีรา, 2546

(ต่อ)

ชนิดผลไม้	จุดประสงค์การทดลอง	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
มะนาว	อิทธิพลของ 1-MCP ต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลมะนาวพันธุ์แป้น	- ผลมะนาวที่ได้รับ 1-MCP ระดับเข้มข้น 100 nl/l นาน 12 ชม.ที่อุณหภูมิ 20 °C ก่อนเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-95 ชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ดี โดยกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase อยู่ในระดับต่ำ - ผลมะนาวที่ได้รับ 1-MCP ระดับเข้มข้น 100 nl/l นาน 12 ชม.ก่อนรับเอทิลีนที่ระดับเข้มข้น 10 ppm ในวันที่ 5 และ 10 ของการเก็บรักษาสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้นานที่สุด 12 วัน - การใช้ GA_3 ที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm ชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุดเปรียบเทียบกับการใช้ 1-MCP เข้มข้น 100 nl/l การใช้ไคโตแซนเคลือบผิวมะนาว และชุดควบคุมตามลำดับ	จิฏิมา, 2544

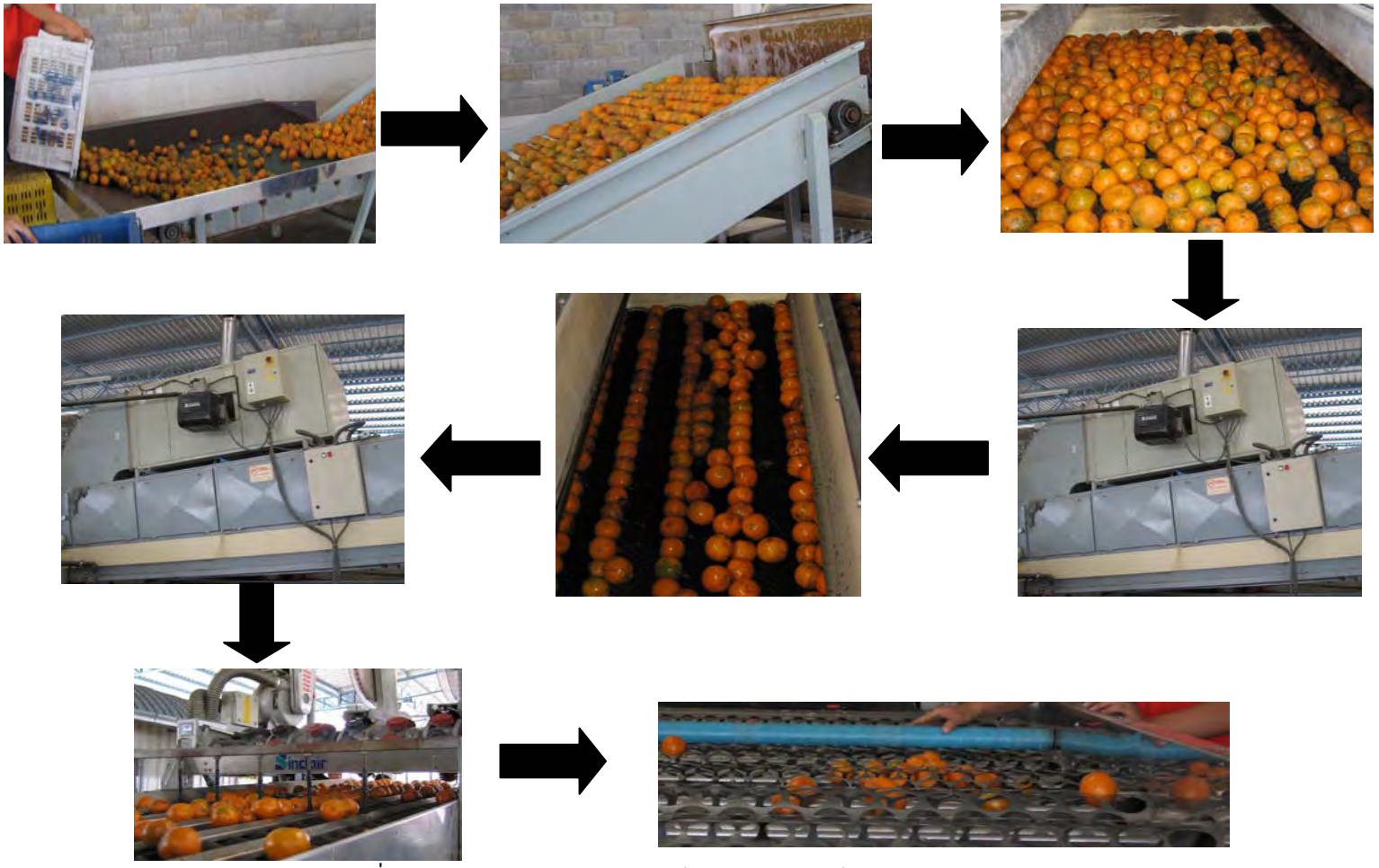
(ต่อ)

ชนิดผลไม้	จุดประสงค์การทดลอง	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
มะนาว	อิทธิพลของ 1-MCP ต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลมะนาวพันธุ์แป้น เก็บรักษา 20 °C นาน 12 วัน	- รม 1-MCP เข้มข้น 500 ppb นาน 6 ชม.สามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด รวมทั้งยับยั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาโรทีนอยด์ และสีผิว (ค่า L a b และดัชนีสีผิว) ได้ดีที่สุด	อรุณี, 2545
	อิทธิพลของกรดจิบเบอเรลลิค (GA_3) ต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลมะนาวพันธุ์แป้น เก็บรักษา 20 °C นาน 12 วัน	- GA_3 สามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด	
	อิทธิพลของ 1-MCP ร่วมกับกรดจิบเบอ-เรลลิค (GA_3) ต่อการสลายตัวของ คลอโรฟิลล์ในผลมะนาวพันธุ์แป้น เก็บรักษา 20 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 นาน 70 วัน	- การรม 1-MCP ก่อนหรือหลังการให้ GA_3 สามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุด สีเปลือกของมะนางยังเขียวอยู่ในวันที่ 70 ของการเก็บรักษา สามารถลดการหายใจ และลดกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase และ peroxidase ของผลมะนาวได้	
มะนาว	อิทธิพลของสารเคลือบผิวบางชนิดต่อคุณภาพมะนาวในระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิห้อง (25±3 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60±8	- สารเคลือบ Sta-Fresh, สารเคลือบผสมระหว่างสาร Sta-Fresh กับสารเคลือบกลูโคแมนแนน, สารเคลือบผสมระหว่างกรดจิบเบอเรลลิคกับสารเคลือบ sta-fresh สามารถชะลอการเสื่อมเสีย การสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของมะนาวในระหว่างการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ	จันทร์จิรา, 2545

2.8 กระบวนการเคลือบ

การเคลือบผิวผลไม้จะมีขั้นตอนต่างๆมากมายทั้งการทำความสะอาดผิวผลไม้ก่อนการเคลือบ อบให้ผิวผลไม้แห้งก่อนถูกเคลือบ การเคลือบผิวผลไม้ อบให้ผิวผลไม้ที่ถูกเคลือบมาให้แห้งสนิท ติดเบอร์บนผิวผลไม้ และทำการคัดขนาดผลไม้ก่อนส่งออกขาย อ้างอิงจากโรงเคลือบของบริษัท จงธนา จำกัด อยู่เลขที่ 88/8 หมู่15 ต.หนองกระโดน อ.เมือง จ.นครสวรรค์ สามารถสรุปได้ดังนี้ (รูปที่ 2.7)

1. เทผลไม้ลงบนถาดเทโดยมีสายพานลำเลียง
2. ลำเลียงผลไม้บนโรลเลอร์ มุมของสายพานที่ลำเลียงประมาณ 45 องศา
3. ผลไม้จะตกลงบนแปรงล้างที่หมุนกลิ้งเพื่อทำความสะอาดตัวผลไม้นั้นมีน้ำประปาไหลผ่านเข้ามา อัตราการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับการประมาณความสกปรกของตัวผิวผลไม้ ปกติจะใช้ทำความสะอาดผลไม้ เช่น ผลส้มสายน้ำผึ้งประมาณ 2,500 kg ต่อ เวลา 25 นาที
4. ผลไม้ที่ถูกทำความสะอาดจะเปียกไม่เหมาะต่อการเคลือบ ต้องทำการเป่าลม และอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 45 °C อาจใช้วิธีการดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาให้มีการไหลเวียนอยู่ภายในตู้อบและเพิ่มพลังงานความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 45°C อากาศที่ใช้จะมีการไหลเวียนเข้าออกตลอดเวลา
5. เมื่อผลไม้แห้งแล้วจะถูกลำเลียงต่อไปยังส่วนของแปรงที่ทำการเคลือบ มีถังกวนสารละลายที่ใช้เคลือบแล้วปั๊มสารเคลือบเข้ามา แปรงเคลือบจะหมุน 360 องศาเพื่อให้เคลือบผลไม้ได้ดี
6. ผลไม้ที่ถูกเคลือบแล้ว ต้องทำการเป่าลม และอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 45 °C มีขั้นตอนทุกอย่างเหมือนขั้นตอนที่ 3
7. ลำเลียงผลไม้ที่ได้รับการเคลือบ และแห้งแล้วมาติดสติกเกอร์เพื่อบ่งบอกที่มาของตัวผลไม้นั้น
8. คัดเกรดของผลไม้ตามขนาดเพื่อนำไปบรรจุภัณฑ์



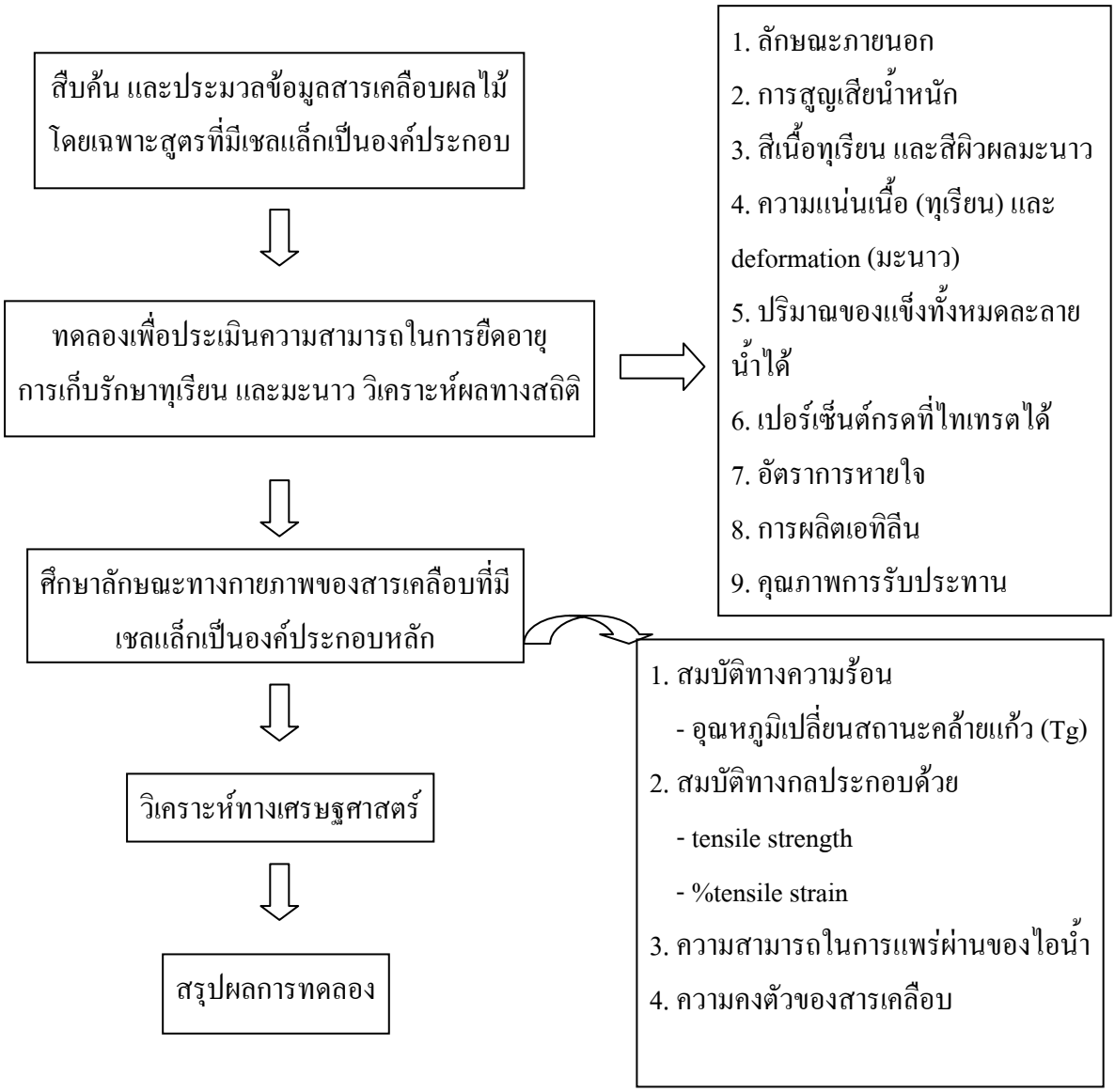
รูปที่ 2.7 : แผนผังแสดงวิธีการเคลือบส้มจากโรงเคลือบส้มบริษัท จงธนา จำกัด

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 การดำเนินงานวิจัย

สามารถสรุปได้ดังแผนผังรูปที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1: แผนการดำเนินงานวิจัย

จากรูปมีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

1. นำสารเคลือบผิวผลไม้มาเคลือบบนผิวทุเรียน และมะนาวด้วยวิธีการพ่นด้วยกาพ่นสี เพื่อให้ได้ฟิล์มบาง ออกแบบการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยทุเรียนทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (30±5 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% และอุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% และมะนาวทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (28±5 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% และอุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% สำหรับทุเรียนใช้ปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อทุเรียน 1 กิโลกรัม0[1] และมะนาวใช้ปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 30 มิลลิลิตรต่อมะนาว 1 กิโลกรัม1[2] ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ

2. เปรียบเทียบ และประเมินประสิทธิภาพของสารเคลือบในการการเก็บรักษาทุเรียน และมะนาว โดยวัดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อสำหรับทุเรียน deformation สำหรับมะนาว ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และคุณภาพในการรับประทาน มีการวิเคราะห์ผลความแตกต่างทางสถิติแบบ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และใช้วิธีการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ (comparing pairs of treatment means)

3. ผลิตฟิล์มเคลือบจากสารเคลือบที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ และสารเคลือบทางการค้า ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1: แสดงสัดส่วนเชิงน้ำหนักสำหรับสารละลายเชลแล็กสูตรต่างๆ

สูตร	Shellac	Ammonia	Water	Oleic acid	PEG	Antifoam	PE
Lab-a	15	0.840	83.16	1	-	-	
Lab-b	15	0.739	73.16	1	10	0.1	
Lab-c	10	0.890	88.11	1	-	-	
Lab-d	5	0.940	93.06	1	-	-	
Teva	•	-	•	-	-	-	•

หมายเหตุ: สารเคลือบสูตรทางการค้า (Teva) มีส่วนผสมของเชลแล็ก และพอลิเอทิลีนเป็นองค์ประกอบหลักแต่ไม่ทราบปริมาณ

---

[1] ประมาณการใช้สารเคลือบพ่นผลทุเรียนทั่วทั้งผล 1 รอบ

[2] ประมาณการใช้สารเคลือบพ่นมะนาวทั่วทั้งผล 1 รอบ

ฟิล์มของสารละลายสูตรต่างๆในตารางที่ 3.1 ถูกนำมาขึ้นรูปในจานพลาสติก แล้วปล่อยทิ้งไว้ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงสามารถลอกออกมาเป็นแผ่นฟิล์มได้เพื่อวัดคุณสมบัติต่างๆ ต่อไป ซึ่งสูตรที่นำมาใช้การเคลือบผลทุเรียนคือ Lab-a Lab-b และ Teva สำหรับมะนาวสูตรที่นำมาใช้เคลือบคือ Lab-a Lab-c และ Teva

4. ทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางกลของฟิล์มบาง โดยศึกษาคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม ได้แก่ ความทนแรงดึง การยืดตัวของฟิล์ม ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability, WVP) และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของฟิล์ม เปรียบเทียบ และประเมินประสิทธิภาพของฟิล์มที่ได้รับของสมบัติทางกล และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ ใช้การวิเคราะห์ผลความแตกต่างทางสถิติแบบ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และใช้วิธีการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสูตรต่างๆเป็นคู่ๆ (comparing pairs of treatment means)

5. วิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบที่นำมาผลิตสารเคลือบสูตรที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับทุเรียน และมะนาว

6. สรุปผลการทดลอง

3.2 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์ในการวิจัย

3.2.1 วัตถุดิบ

-ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากสวนในจังหวัดจันทบุรีจำนวน 164 ผลที่มีอายุการเก็บเกี่ยวหลังดอกบานประมาณ 120 วันทำการทดลองระหว่างวันที่ 7 พฤษภาคม 2548 ถึง 7 มิถุนายน 2548

-มะนาวพันธุ์แป้น ผิวเรียบมีสีเขียวเข้มจากสวนใน อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาครจำนวน 1,500 ผลทำการทดลองระหว่างวันที่ 8 พฤศจิกายน 2548 ถึง 5 มกราคม 2549

3.2.2 สารเคมี

-เชลแล็กขาวเกรดอาหารได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอกเซลแลคส์ จำกัด
-สารเคลือบผิวผลไม้ทางการค้า Teva ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอกเซลแลคส์ จำกัด
-สารเคลือบผิวผลไม้ที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ
-โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดอุตสาหกรรม
-พอลิเอทิลีน ไกลคอล (polyethylene glycol; PEG) น้ำหนักโมเลกุล 4,000 เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka
-กรดโอลิอิค เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท Ajax
-น้ำมันซิลิโคน (silicone oil) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท Ajax
-สารละลายแอมโมเนีย 30% เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท PA (Panreac)
-น้ำกลั่น
-สารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้น 70 %w/w สำหรับทำความสะอาดพื้นผิวต่างๆ
-สารฆ่าเชื้อรา Amista (ชื่อทางการค้า)
-เอธิฟอน 2000 ppm

3.2.3 อุปกรณ์ในการทำวิจัย

-เครื่องกวนสารด้วยแรงแม่เหล็ก รุ่น CRT Basic บริษัท Ika Laboratechnik, Malaysia
-เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง รุ่น MP220 บริษัท Mettler Toledo, Switzerland
-กาพ่นสารละลายเชลแล็ก
-เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (4-digit balance) ของบริษัท Mettler Toledo, Switzerland
-เครื่องมือวัดสียี่ห้อ CE MINOLTA รุ่น CR-300, Japan
-เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อยี่ห้อ Effegi, Italy
-Hand refractometer ยี่ห้อ ATAGO N1 (Brix 0-32%), Japan

-Gas chromatography ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น GC-8A บริษัท SHIMADZU CORPORATION, Japan
-เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ยี่ห้อ Jouan รุ่น MR23i, France
-Differential Scanning Calorimeter, DSC รุ่น DSC822 ^{e} บริษัท Mettler Toledo, Switzerland
-Micrometer ยี่ห้อ Fowler 0 – 25 0.01, USA
-Universal Testing Machine รุ่น LLOYD 500, England
-เครื่องวัดความหนืด RHEOLAB MC 1 ของบริษัทเมโทร์มสยาม, japan
-จานพลาสติก
-โหลแก้วจำนวน 32 โหล
-ถังพลาสติกสีขาวจำนวน 32 ถัง
-แผงควบคุมการไหลของอากาศ (Flow board)

3.3 การเตรียมทุเรียน และมะนาวก่อนการเคลือบ

3.3.1 ทุเรียนทำความสะอาดด้วยการจุ่มในสารฆ่าเชื้อชื่อ Amista (ชื่อทางการค้า) 200 ppm ใช้เวลา 10 วินาที สำหรับมะนาวทำความสะอาดด้วยการล้างในสารละลายคลอรีนเข้มข้น 200 ppm

3.3.2 เป่าพัดลมให้ผิวของผลทุเรียน และมะนาวแห้งสนิทใช้เวลาประมาณ 30 นาที เมื่อผิวของผลทุเรียน และมะนาวแห้งแล้วจะพร้อมสำหรับการนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบผิวต่อไป

3.4 การเคลือบผลทุเรียน และมะนาว

การเคลือบทุเรียน และมะนาวใช้วิธีการพ่นโดยกาพ่นสีที่ใช้ผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยสารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้น 70 %w/w ก่อนและหลังใช้งาน

3.4.1 วางทุเรียนบนแผ่นพลาสติก สำหรับมะนาวจัดแบ่งใส่ตะกร้า และแยกตามทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์

3.4.2 ตวงสารเคลือบปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อ 1 กิโลกรัมน้ำหนักทุเรียน และสารเคลือบปริมาตร 30 มิลลิลิตร ต่อ 1 กิโลกรัมน้ำหนักมะนาว

3.4.3 ต่อกาพ่นสีเข้ากับปั๊มลม พ่นสารเคลือบเป็นละอองขนาดเล็กเคลือบลงบนผิวของผลทุเรียน และมะนาวทั่วทั้งผล โดยผู้ทำการทดลองจะจับที่ขั้วผลของทุเรียน ตั้งผลทุเรียนขึ้น หมุนผลทุเรียนโดยรอบ และพ่นจนสารเคลือบหมด สำหรับมะนาวผู้ทำการทดลองจะวางบนถาดพลาสติกแล้วพ่นจนสารเคลือบหมดเช่นเดียวกัน

3.4.4 เป่าด้วยพัดลมจนสารเคลือบแห้งสนิทใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

3.4.5 ให้สัญลักษณ์สารเคลือบแต่ละทรีทเมนต์ด้วยการพันด้ายสีต่างๆที่ขั้วผลของทุเรียน และเขียนสัญลักษณ์ไว้บริเวณก้นของผลมะนาว

3.5 การตรวจสอบคุณภาพของทุเรียน และมะนาว

3.5.1 ลักษณะภายนอก

ลักษณะภายนอกของผลไม้เขตร้อนที่ทำการทดลองทั้งสองชนิด ได้แก่ ทุเรียน และมะนาว การทดลองของผลไม้แต่ละชนิดทุกทรีทเมนต์ ถูกนำมาเปรียบเทียบกันด้วยการถ่ายรูป โดยนำผลไม้ที่เก็บในอุณหภูมิต่ำแต่ละกลุ่มออกมาจากตู้เย็น แล้วเป่าด้วยพัดลมให้แห้งก่อนจะมาถ่ายรูป แล้วนำแต่ละกลุ่มมาวางเปรียบเทียบกัน โดยใช้กล้องดิจิตอล ยี่ห้อ Sony รุ่น DSC – P8 เพื่อถ่ายรูปเก็บไว้เปรียบเทียบทุก 1 สัปดาห์สำหรับผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และทุก 3 วันสำหรับผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ยกเว้นทุเรียนที่อุณหภูมิห้องจะถ่ายรูปเก็บไว้เปรียบเทียบวันที่ 0 กับวันสุดท้ายที่เก็บรักษาคือ 10 วัน

3.5.2 การวัดสี

สีของทุเรียนวัดการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (โดยแสดงค่า L และ b) สำหรับทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องวัดผลวันที่ 0, 3, 7 และ 10 วัน ส่วนทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 ^{0}C วัดผลทุก 1 สัปดาห์ ด้วยเครื่องวัดสี CE MINOLTA รุ่น CR-300

สีของมะนาววัดการเปลี่ยนแปลงสีของผิวเปลือก (โดยแสดงค่า L a และ b) สำหรับมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องวัดผลทุก 3 วัน ส่วนมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ^{0}C วัดผลทุก 1 สัปดาห์ ด้วยเครื่องวัดสี CE MINOLTA รุ่น CR-300 (เอกสารประกอบการอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน รุ่นที่19)

3.5.3 การสูญเสียน้ำหนัก

เนื่องจากผลไม้ทุกชนิด หลังจากที่ทำการเก็บเกี่ยวมาแล้ว จะมีการสูญเสียน้ำออกไปอยู่ตลอดเวลา ซึ่งนอกจากจะทำให้ผลไม้เหี่ยวเฉา และลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไปแล้ว ยังทำให้มีน้ำหนักลดลง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อราคาขายของผลไม้ ซึ่งใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ โดยจะมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของผลไม้ในวันที่เคลือบ (วันที่ 0)
2. ชั่งน้ำหนักของผลไม้ภายหลังจากการเก็บรักษา โดยแบ่งออกได้ 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ผลไม้ที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้องชั่งน้ำหนักในวันที่ 3, 7 และ 10 สำหรับทุเรียน และมะนาวจะชั่งน้ำหนัก ในวันที่ 3, 6, 12 และ 15 วัน ส่วนกรณีที่ 2 ผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ชั่งน้ำหนักทุกๆ 7 วันคือ วันที่ 7, 14, 21 และ 28 ตามลำดับ

3. รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss) โดยคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

3.5.4 ความแน่นเนื้อ

การวัดค่าความแน่นเนื้อ ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า firmness tester ยี่ห้อ Effegi ประเทศอิตาลี โดยใช้หัวรับแรงกดขนาดต่าง ๆ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1. เลือกใช้หัวรับแรงกดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 5, 8 และ 10 มิลลิเมตรตามความเหมาะสม กดลงไปในเนื้อทุเรียนแล้วอ่านค่า ทำซ้ำผลละ 2 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ย

2. แปลงค่าแรงกดที่ได้จาก กิโลกรัมเป็นนิวตัน โดยคูณด้วย 9.81

สำหรับมะนาวเป็นการวัด deformation โดยใช้แรงกดลงบนเปลือกแทนการกดลงที่เนื้อด้วยระยะที่คงที่เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ใช้วิธีการวิเคราะห์เหมือนความแน่นเนื้อ (เอกสารประกอบการอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน รุ่นที่19)

3.5.5 การวัดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid Content, TSS)

การวัดค่า TSS ของผลไม้ เป็นดัชนีบ่งชี้ความสุกของผลไม้ตัวหนึ่ง โดยเมื่อผลไม้เริ่มสุกแป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นน้ำตาลซึ่งสามารถละลายน้ำได้ โดยเราสามารถวัดค่าปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นได้โดยใช้ hand refractometer ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าน้ำตาลในสารละลายโดยอาศัยหลักการหักเหของแสง โดยค่าที่อ่านได้จะเรียกว่า ค่าองศาบริกซ์ (^{0}Brix) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในสารละลาย (เอกสารประกอบการอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน รุ่นที่19) โดยมีวิธีการดังนี้

1. คั้นน้ำมะนาวปริมาณ 5 มิลลิลิตร

2. จากนั้นนำน้ำคั้นมาหาปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ โดยใช้หลอดหยดดูดน้ำคั้นมาหยดลงบน hand refractometer และอ่านค่า ^{0}Brix ที่วัดได้

การวัดค่า TSS ของเนื้อทุเรียนจะมีความแตกต่างออกไปจากของมะนาว เนื่องจากเนื้อทุเรียนไม่สามารถคั้นน้ำได้มีวิธีการดังนี้

1. ปั่นเนื้อทุเรียน 20 กรัม กับน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร (dilution factor = 3)

2. จากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาทีที่อุณหภูมิ 25 °C

3. จากนั้นนำสารละลายส่วนใสมาหาปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ โดยใช้ hand refractometer และอ่านค่า °Brix ที่วัดได้

4. รายงานผลเป็น %TSS

%TSS = °Brix คูณด้วย 3 (3 คือ dilution factor)

3.5.6 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity)

1. นำน้ำคั้นของผลมะนาว และสารละลายส่วนใสที่จะได้จากการปั่นเหวี่ยงเนื้อทุเรียนจากข้อ 3.5.5 มา 5 มิลลิลิตร ไปหาความเป็นกรดโดยหยดฟีนอลทาลีน2-3หยดเป็นอินดิเคเตอร์แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M สำหรับทุเรียน และ 1 M สำหรับมะนาว

3. คำนวณหาร้อยละของกรด ดังสูตร

$$\% \text{ TA} = \frac{\text{ml of NaOH x Molar of NaOH x mEq of acid x 100}}{\text{ml of sample}}$$

โดย มะนาวประกอบด้วย Critic acid เป็นหลัก และมีค่า mEq = 0.064

ทุเรียนประกอบด้วย Malic acid เป็นหลัก และมีค่า mEq = 0.067

3.5.7 การวัดอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีน

การวัดอัตราการหายใจของผลไม้สามารถวัดได้จากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหายใจ และความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนสามารถบ่งบอกความสุกของผลไม้ได้ (เอกสารประกอบการอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน รุ่นที่19)

การวัดอัตราการหายใจ และการผลิตก๊าซเอทิลีน มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำความสะอาดโหลแก้วที่จะนำไปใส่มะนาว และถังที่จะนำไปใส่ทุเรียน เพื่อวัดอัตราการหายใจ ด้วยการล้างและฆ่าเชื้อด้วยการพ่นแอลกอฮอล์ 70 % w/wให้ทั่วทิ้งไว้ให้แห้ง นำโหลหรือถังไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกไว้

2. นำตัวอย่างมะนาวใส่ในโหลแก้วที่ทำความสะอาดแล้ว โดยใส่มะนาว 5 ผลต่อหนึ่งโหล ทุเรียน 1 ผลต่อหนึ่งถัง ปิดฝาด้วยจุกยางหรือฝาปิดถังให้สนิท แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักไว้

3. นำโหลแก้ว และถังไปต่อเข้ากับแผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (flow board) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าโหลโดยโหลจะถูกเก็บไว้ในห้องเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ (10 ^{0}C) และความชื้นสัมพัทธ์ 95±5% และที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 75±10% ส่วนถังใส่

ทุเรียนจะถูกเก็บไว้ในห้องเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ(15 ^{0}C) และความชื้นสัมพัทธ์ 95±5% และที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 80±10%

4. เก็บตัวอย่างก๊าซทุก 12 ชั่วโมงสำหรับทุเรียน และทุก 3 วันสำหรับมะนาวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อหมดมะนาวที่อุณหภูมิห้องแล้วเก็บทุก 7 วันที่อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยใช้เข็มฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตรเก็บก๊าซจากสายยางมาปริมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วนำก๊าซมาเก็บในหลอดเก็บก๊าซโดยใช้วิธีการแทนที่ในน้ำเกลืออิ่มตัว ก๊าซจะถูกเก็บไว้ในหลอดโดยมีน้ำเกลือกั้นไว้อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการแพร่ของก๊าซ

5.นำก๊าซมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเอทิลีน โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography, GC ที่ฝ่ายปฏิบัติงานวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้ก๊าซปริมาตร 1 มิลลิลิตรในการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 1 ครั้ง

สภาวะของเครื่อง gas chromatography ในการเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Type of column : Porapack Q

Detector : Flame Ionization detector (FID)

Column temperature : 80 °C

Mobile phase : Nitrogen

Injection / detector temperature : 110 °C

ภาวะของเครื่อง gas chromatography ในการเก็บก๊าซเอทิลีน

Type of column : Porapack Q

Detector : Thermal conductivity detector (TCD)

Column temperature : 70 °C

Mobile phase : Helium

Injection / detector temperature : 110 °C

6. จากนั้นคำนวณอัตราการหายใจโดยคำนวณจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ดังสมการ

$$\text{Respiration Rate}(\text{mg } CO_2/\text{kg - hr}) = \frac{\text{Flow rate} \times 60 \times (\%CO_2) \times 1{,}000 \times \text{CF}}{100 \text{ x weight of fruit}}$$

โดยที่ Flow rate คือ อัตราการไหลของอากาศมีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อชั่วโมง

CF คือ Convertion Factor ซึ่งเป็นค่าที่เชื่อมโยงกับอุณหภูมิและความดันที่ทำการทดลอง จึงต้องมีการคำนวณทุกครั้ง สูตรที่ใช้คำนวณหามีดังนี้

$$CF = \frac{273 \times P \times 1.96}{T \times 760}$$

โดยที่ P คือ ค่าความดันที่ใช้ในการทำการทดลองมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

T คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทารทดลองมีหน่วยเป็นเคลวิน

ความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 286 และ 303 เคลวินตามลำดับ

ดังนั้น ค่า Convection Factor ที่อุณหภูมิ 283 เคลวิน เท่ากับ 1.89

ค่า Convection Factor ที่อุณหภูมิ 288 เคลวิน เท่ากับ 1.87

ค่า Convection Factor ที่อุณหภูมิ 301 เคลวิน เท่ากับ 1.78

ค่า Convection Factor ที่อุณหภูมิ 303 เคลวิน เท่ากับ 1.77

7. คำนวณการผลิตเอทิลีน ดังสมการ

$$\text{Ethylene production} = \frac{C_2H_4(\text{ppm}) \times \text{Flowrate} \times 60}{\text{weight of fruits (g)}} \quad \mu\text{l /kg.hr}$$

3.5.8 การวัดความพึงพอใจของผู้บริโภค

1. เตรียมสถานที่และอุปกรณ์ (จาน ส้อม กระดาษเช็ดปาก ถุงสำหรับบ้วนปาก น้ำสำหรับล้างปาก)

2. เตรียมตัวอย่าง โดยจัดตัวอย่างแต่ละทรีทเมนท์ใส่จาน ทรีทเมนต์ละหนึ่งผล โดยมีป้ายบอกเบอร์ของตัวอย่างแต่ละทรีทเมนท์ (ใช้เลขสามหลักเรียงกันแบบสุ่ม โดยไม่ให้ผู้ชิมทราบซึ่งอาจจะทำให้เกิดความลำเอียง)

3. แจกตัวอย่างและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ผู้ชิม โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 10 คน ผู้ชิมเป็นบุคคลเดิมประมาณร้อยละ 70

4. เมื่อผู้ชิมชิมเสร็จและให้คะแนนเรียบร้อยแล้ว รวบรวมคะแนนมาวิเคราะห์ผล

กรณีของทุเรียนมีขั้นตอนดังนี้

1. นำทุเรียนที่ได้อายุการเก็บรักษาไปบ่มด้วยสารละลายเอธิฟอนเข้มข้น 2,000 ppm โดยการหยดด้วยปิเปต 2-3 หยดที่ขั้วผลของทุเรียน วางลงบนตะกร้า บ่มเป็นเวลาประมาณ 3 วัน หรือจนกว่าทุเรียนจะสุกจนสามารถรับประทานได้

2. เตรียมสถานที่และอุปกรณ์ (จาน ส้อม กระดาษเช็ดปาก ถุงสำหรับบ้วนปาก น้ำสำหรับล้างปาก)

3. เตรียมตัวอย่าง ปอกเปลือกทุเรียน แล้วตัดแบ่งเป็นชิ้นพอดีคำ นำเนื้อทุเรียนจาก 4 ตัวอย่างในทรีทเมนต์เดียวกันมาคละรวมกันเพื่อความสม่ำเสมอของตัวอย่าง จัดตัวอย่างแต่ละกลุ่มใส่จานโดยมีป้ายบอกหมายเลขของตัวอย่างแต่ละทรีทเมนต์ (โดยไม่ให้ผู้ชิมทราบถึงที่มาของตัวอย่าง)

4. แจกตัวอย่างและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ผู้ชิม โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 10 คน โดยตลอดอายุการเก็บรักษาทุเรียนใช้ผู้ชิมเป็นบุคคลเดิมประมาณร้อยละ 70

5. เมื่อผู้ชิมชิมเสร็จและให้คะแนนเรียบร้อยแล้ว รวบรวมคะแนนมาวิเคราะห์ผล (ตัวอย่างใบประเมินการชิมอยู่ในภาคผนวก ง)

3.6 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบ

3.6.1 ความทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (%Tensile strain)

ความทนแรงดึงเป็นความสามารถของวัสดุในการต้านแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุจนกระทั่งวัสดุขาด (ดูวิธีการทดสอบได้ที่ภาคผนวก ข)

เครื่องมือ: Universal Testing Machine เป็นรุ่น LLOYD 500

มาตรฐาน: ASTM D638

ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ:

ขนาด Load cell	1,000 นิวตัน
อัตราเร็วในการดึง	20 มิลลิเมตรต่อนาที

3.6.2 การทดสอบค่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ

การทดสอบทำโดยประยุกต์จากวิธีของ Jo และคณะ (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 เพื่อศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำสำหรับฟิล์มเคลือบบริโภคได้ชนิดต่างๆ การทดลองจะประยุกต์นำเอาขวดแก้ว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.2032 มิลลิเมตร เติมน้ำกลั่นลงไปในขวดแก้วและยึดติดฟิล์มเหนือปากขวด หลังจากนั้นวัดน้ำหนักเริ่มต้นและชั่งน้ำหนักอีกครั้งเมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เพื่อหาอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ดังสมการ

$$WVTR = [(\Delta w/(\Delta t \cdot A)] \quad \ldots (3.1)$$

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

A = พื้นที่สำหรับใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำ

และทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังสมการ 3.2

$$WVP = (WVTR \times L)/\Delta P \qquad \text{.... (3.2)}$$

โดย WVTR = อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate)

L = ความหนาของฟิล์ม (m)

ΔP = ความแตกต่างของค่า partial vapor pressure ระหว่างฟิล์มซึ่งคิดเป็น 2 เฟส (Pa)

ดูวิธีการทำและวิธีการคำนวณได้ดังภาคผนวก ข.

3.6.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การวัดคุณสมบัติทางความร้อนของสารเคลือบสำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้การทดสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น DSC822^e ประเทศสหราชอาณาจักรเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของวัสดุกับความร้อนที่ใช้ เครื่อง DSC นี้สามารถวัดปริมาณความร้อนที่ใช้ไปในกระบวนการทั้งกระบวนการดูดความร้อนและกระบวนการคายความร้อน โดยมากเครื่อง DSC นิยมใช้ในการวิเคราะห์หาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature) จุดหลอมเหลวของโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ ค่าความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวของโครงสร้างผลึก (Heat of melting, ΔH_m) (Gan และคณะ, 1997) ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC นี้ เตรียมโดยตัดฟิล์มของแต่ละตัวอย่างให้มีน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างในช่วง 3 - 10 มิลลิกรัม โดยวางชิ้นตัวอย่างในภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ทำจากอลูมิเนียม ให้ความร้อนแก่ชิ้นตัวอย่างด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที ในช่วงอุณหภูมิ -20 - 80ºC

3.6.4 การทดสอบสมบัติความคงตัวของสูตรสารเคลือบ

วัดโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดทดสอบด้วยเครื่อง RHEOLAB MC 1 ของบริษัทเมโทร์มสยาม ประเทศญี่ปุ่น และค่า pH ด้วยเครื่องวัดกรด-ด่าง รุ่น MP220 Mettler Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

3.7 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ชั้น 5 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องปฏิบัติการงานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ทดสอบคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม ห้องปฏิบัติการวิจัยพอลิเมอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษาทุเรียน

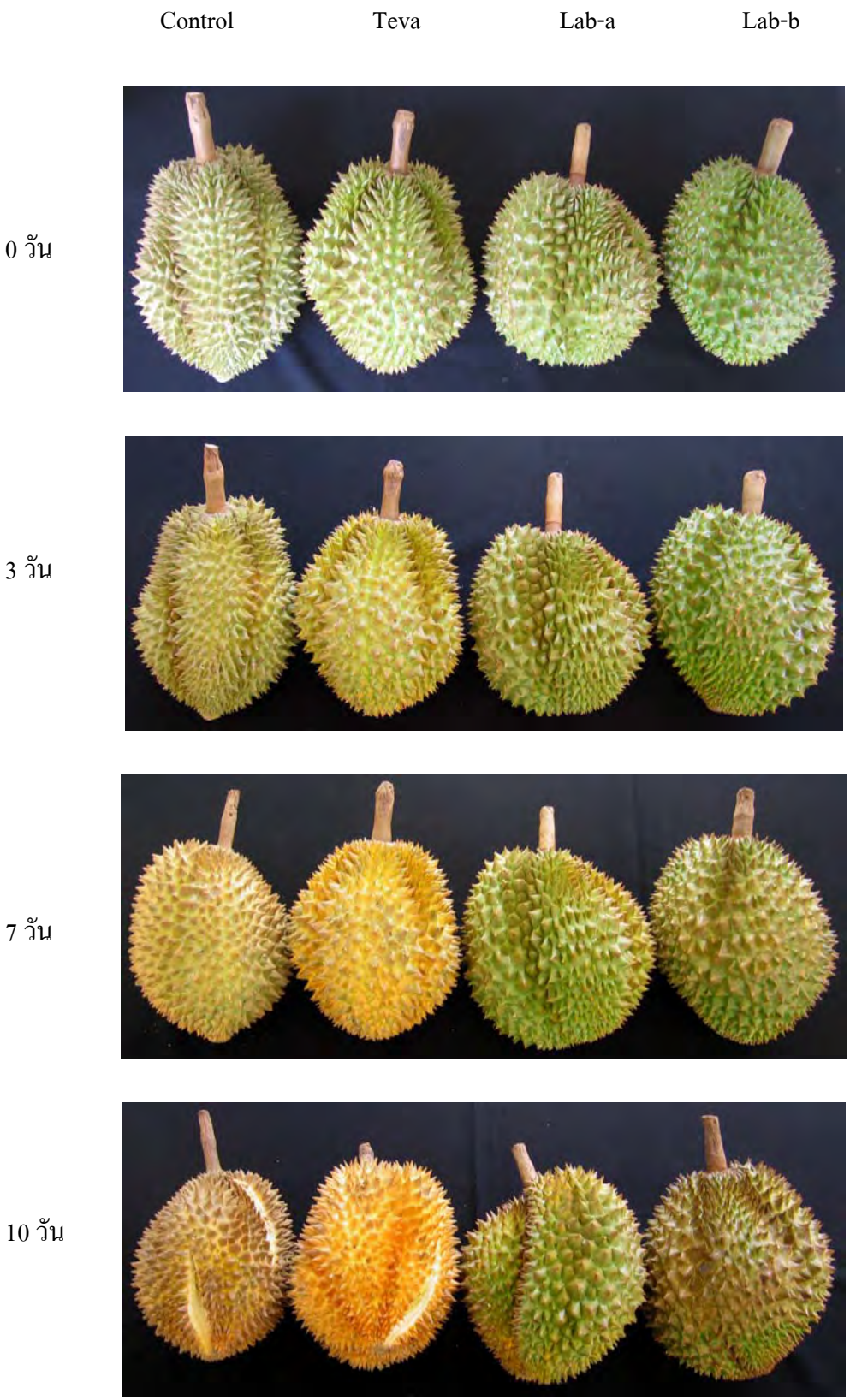
4.1.1 อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพ

4.1.1.1 ลักษณะภายนอก

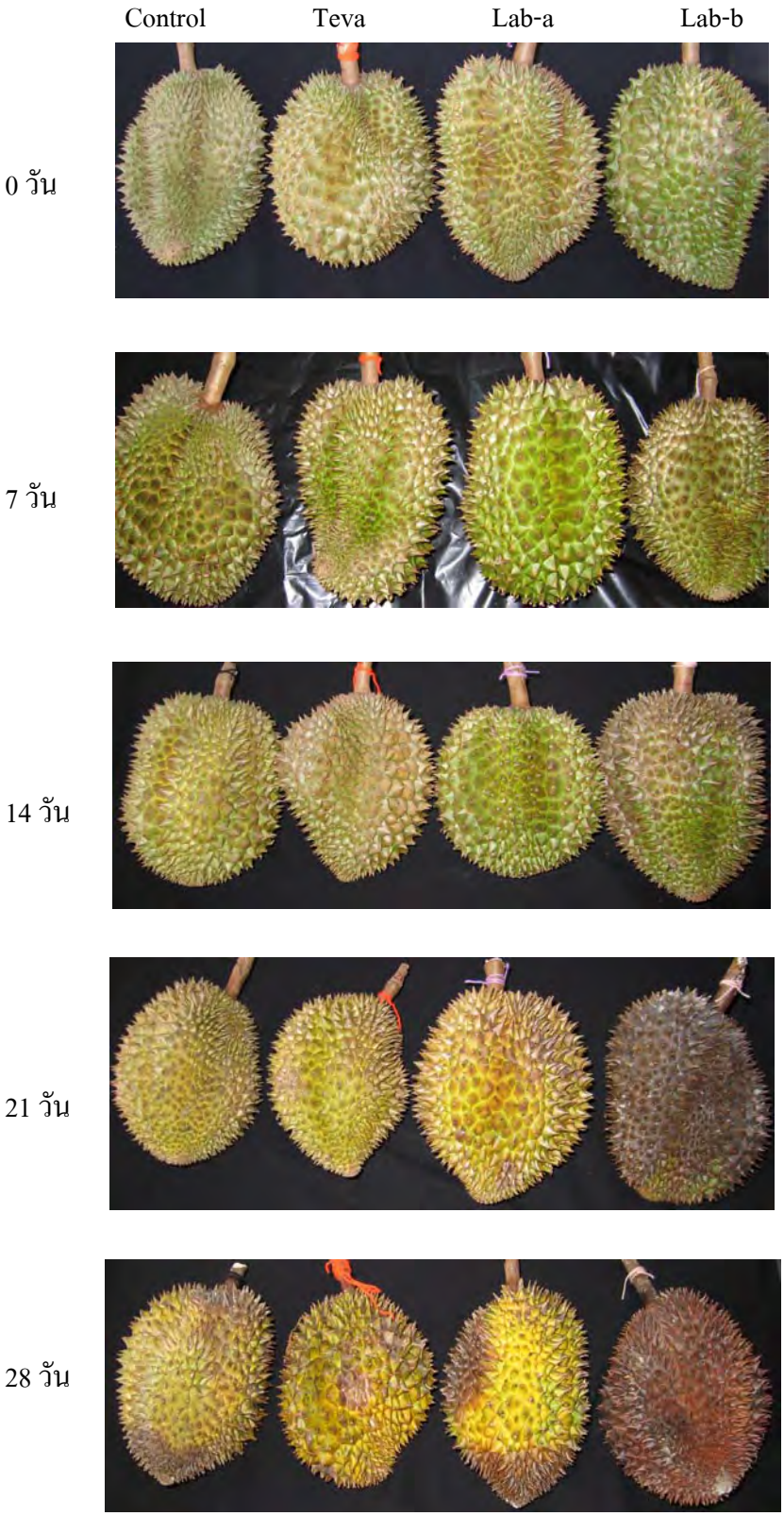
ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่เคลือบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C มีสีผิวผลเป็นมันเงามากกว่าที่ไม่ได้เคลือบ (รูปที่ 4.1 และ 4.2) โดยมีการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลบริเวณโคนหนามจากสีเขียวกลายเป็นสีเขียวปนน้ำตาล สอดคล้องกับสุรพงษ์ (2538) สีผิวของทุเรียนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเมื่อผลเริ่มสุก โดยสีผิวของทุเรียนที่เริ่มมีความบริบูรณ์ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโคนหนามจะเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อน หรือสีเขียวปนน้ำตาล และบริเวณร่องหนามมีสีน้ำตาลห่างกันมากขึ้น ซึ่งผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วย Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วันมีการแตกที่ผิวผล โดยผลทุเรียนเริ่มแตกในวันที่ 7 และ 8 ตามลำดับ ขณะที่ไม่พบการแตกบนผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a และ Lab-b เนื่องจากผลทุเรียนที่เคลือบมีสารเคลือบปกคลุมผิวผล จำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซ ทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าที่ไม่ได้เคลือบส่งผลให้ผลทุเรียนมีการแตกที่ช้ากว่า และจากหัวข้อ 4.3 แสดงลักษณะของฟิล์มเคลือบ Teva ที่มีลักษณะแตกเป็นเกร็ด ซึ่งแตกต่างกับสารเคลือบ Lab-a ที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง และยืดหยุ่น และสารเคลือบ Lab-b ที่มีลักษณะเป็นเจล เปราะ ทำให้ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าเป็นผลให้พบการแตกบนผลทุเรียน และผลทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตรนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวผลจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเร็วกว่าทรีทเมนต์อื่น โดยเริ่มเกิดในวันที่ 5 เนื่องจากลักษณะที่แตกต่างของฟิล์มเคลือบ ทำให้ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a และ Lab-b น่าจะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในผลิตผลมาก เป็นผลให้ยับยั้งการทำงานของเอทิลีน เนื่องจากสูตรโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเอทิลีน (C_2H_4) โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะแย่งที่เอทิลีนในการจับกับตัวรับ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสีผิวผลช้ากว่าที่เคลือบด้วย Teva นอกจากนี้ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b พบลักษณะสีดำบริเวณโคนหนามเป็นบางบริเวณที่ผิวผล แต่สีผิวยังคงเขียวอยู่ และผิวผลภายในของเปลือกไม่เป็นสีชมพู ขณะที่ไม่พบลักษณะนี้ในผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a โดยผลทุเรียนสุกของกลุ่มทุเรียนที่เคลือบ และไม่ได้เคลือบ ผู้ชิมให้คะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกัน

ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 14 วันมีลักษณะอาการของโรคที่เกิดจากเชื้อรา phytophtora มีลักษณะเป็นวงสีดำบนผิวผลภายในของเปลือกเป็นสีชมพู

แต่พบเป็นพื้นที่เพียงเล็กน้อย และมีอาการของวงสีดำเพิ่มมากขึ้นเกือบทั่วบริเวณผลที่เวลา 21 วัน ขณะที่ทุเรียนทรีทเมนต์อื่นเริ่มเกิดวงสีดำบนผิวผล แสดงว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b มีภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อรา phytophtora ดีกว่าทรีทเมนต์อื่น และมีเวลาการเก็บรักษาสั้นกว่าทุเรียนในทรีทเมนต์อื่นคือประมาณ 14 วัน ในขณะที่ทุเรียนใน ทรีทเมนต์อื่นสามารถเก็บรักษาได้นานประมาณ 21 วัน สณทรรศน์ (2543) ได้กล่าวว่าเชื้อราที่สำคัญที่เกิดกับทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาคือ phytophtora เป็นเชื้อราที่พบบริเวณขั้วผลหรือผิวผล อันเนื่องมาจากอากาศที่สัมผัสบริเวณผิวของผลทุเรียน อีกทั้งสภาพอุณหภูมิที่เก็บรักษามีความชื้นสูงจึงเหมาะกับการเจริญเติบโตของเชื้อราต่างๆ ซึ่งการเกิดราที่เร็วกว่าของทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร Lab-b อาจแสดงถึงผลขององค์ประกอบภายในสูตรสารเคลือบ ได้แก่ น้ำมันซิลิโคน และ PEG ที่อาจจะเป็นผลให้ความชื้นที่เปลือกสูงกว่าสูตรอื่นๆ และการเก็บรักษาทุเรียนที่อุณหภูมิต่ำมีการเปลี่ยนของโคนหนามจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อน หรือสีเขียวปนน้ำตาลช้ากว่าที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย และมีผลในการเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆที่มีต่อกระบวนการสุกของผล



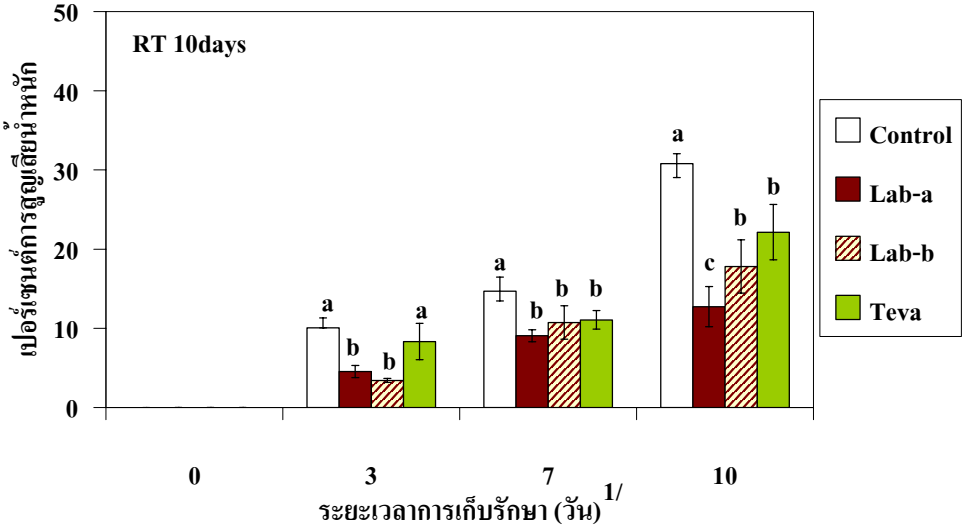
รูปที่ 4.1: ลักษณะภายนอกของผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ (Control) และเคลือบด้วยสูตรทางการค้า (Teva) และสูตรที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-b) ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 0, 3, 7 และ 10 วันตามลำดับที่ อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5



รูปที่ 4.2: ลักษณะภายนอกของผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ (Control) และเคลือบด้วยสูตรทางการค้า (Teva) และสูตรที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-b) ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 0, 7, 14, 21 และ 28 วันตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 86±2

4.1.1.2 การสูญเสียน้ำหนัก

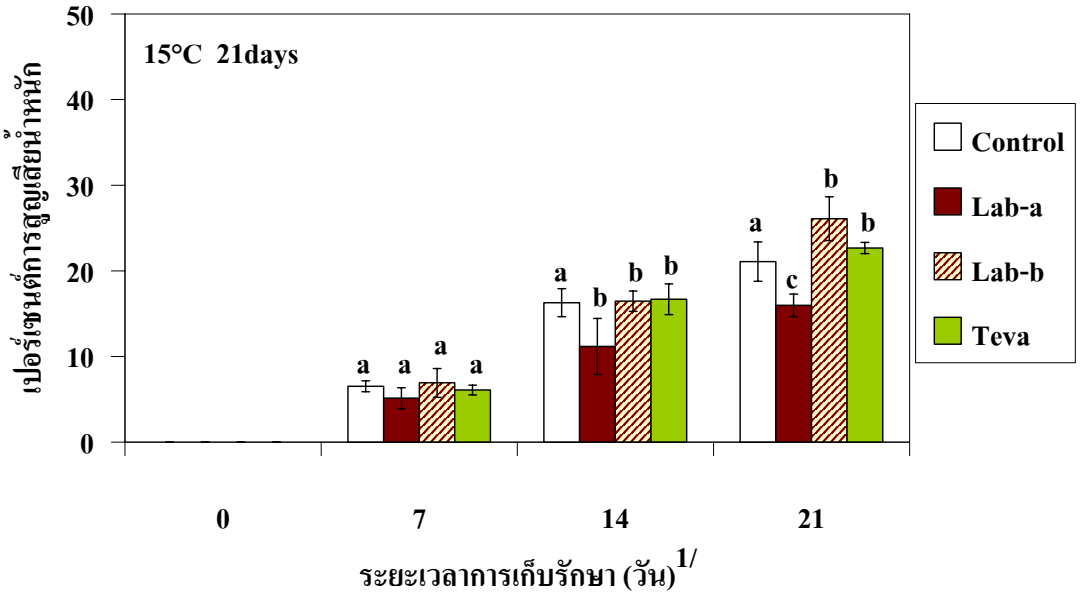
ผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 และอุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 86±2 มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียนส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียน้ำให้กับบรรยากาศรอบๆที่เก็บรักษา เช่นความแตกต่างระหว่างปริมาณความชื้น (ความดันไอภายในผลิตผล) กับความดันไอของอากาศภายนอก (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ซึ่งผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน (รูปที่ 4.3) มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด รองลงมาคือผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b, Teva และไม่ได้เคลือบ ทำนองเดียวกันกับผลทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 21 วัน (รูปที่ 4.4) ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด รองลงมาคือผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b, Teva และไม่ได้เคลือบ เนื่องจากสารเคลือบมีผลต่อการปกคลุมผิวผลทุเรียนทดแทนการหลุดของไขทำให้น้ำมีการสูญเสียให้กับบรรยากาศน้อยลง จากการทดลองของสุธีรา (2546) ซึ่งเก็บรักษาผลทุเรียนที่อุณหภูมิ 15 °C ที่ระยะเวลา 20 วันเคลือบด้วยสารเคลือบ Sta-fresh#7055 มีการสูญเสียน้ำหนัก 13.64 เปอร์เซ็นต์น้อยกว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย methylcellulose ที่มีการสูญเสียน้ำหนัก 16.46 เปอร์เซ็นต์ และสารเคลือบไคโตซาน สารเคลือบกลูโคแมนแนน และผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบที่มีการสูญเสียน้ำหนัก 22.31, 28.20 และ 29.72เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงว่าผลที่เคลือบมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลที่ไม่ได้เคลือบ นอกจากนี้ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b และ Teva ซึ่งผลการทดลองในหัวข้อ 4.3 สารเคลือบมีลักษณะของฟิล์มที่แตกต่างกันทำให้สารเคลือบ Lab-a ที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง มีความยืดหยุ่น และมีความต่อเนื่อง ทำให้สามารถปกคลุมผิวผลทุเรียนทดแทนการหลุดของไขได้ดีที่สุด และการเก็บรักษาผลทุเรียนที่อุณหภูมิต่ำคือ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 86±2 มีการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5 เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีความแตกต่างของความชื้นของอากาศภายนอกกับภายในผลไม้มาก เป็นผลให้น้ำภายในผลไม้มีการเคลื่อนตัวออกสู่ภายนอก นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูงมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลมากขึ้น ดังนั้นโอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากสถานะที่เป็นของเหลวไปอยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซก็เกิดได้มากขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)



รูปที่ 4.3: การสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



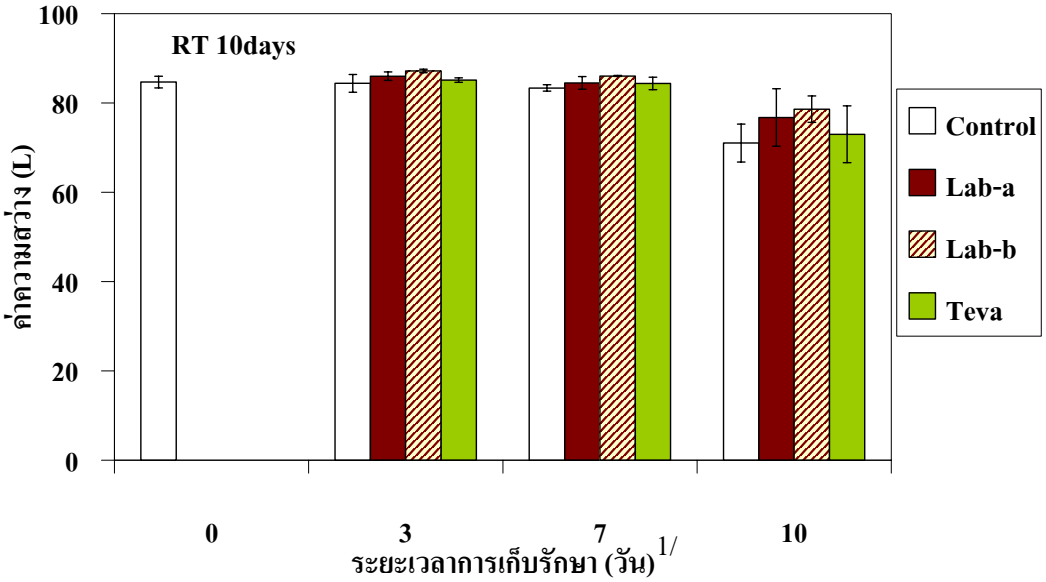
รูปที่ 4.4: การสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.1.3 สีเนื้อทุเรียน

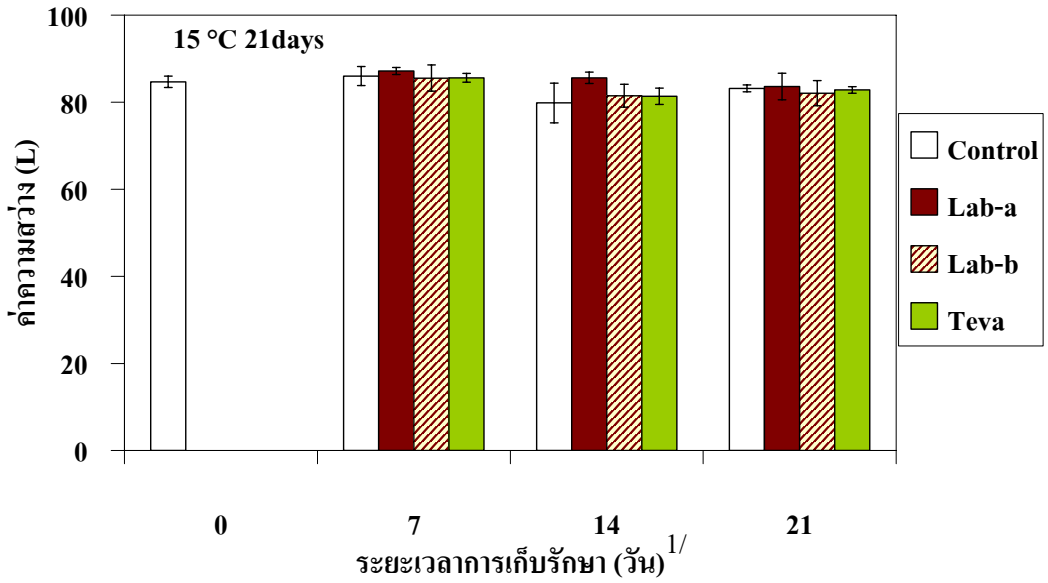
การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของทุเรียนมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองเข้มขึ้น เนื่องจากปริมาณเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นสารที่ให้สีเหลืองในเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอายุการเก็บรักษาเป็นผลให้ค่าความสว่าง (L) ลดลง และความเป็นสีเหลือง (b) ของสีเนื้อทุเรียนเพิ่มขึ้น (สุดารัตน์ สุตพันธ์, 2536 ; ยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ, 2548) ลักษณะเช่นนี้พบในการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ (รูปที่ 4.6-4.8) ของผลทุเรียนในทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มของค่าความสว่าง (L) ลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ



รูปที่ 4.5: ค่าความสว่างของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

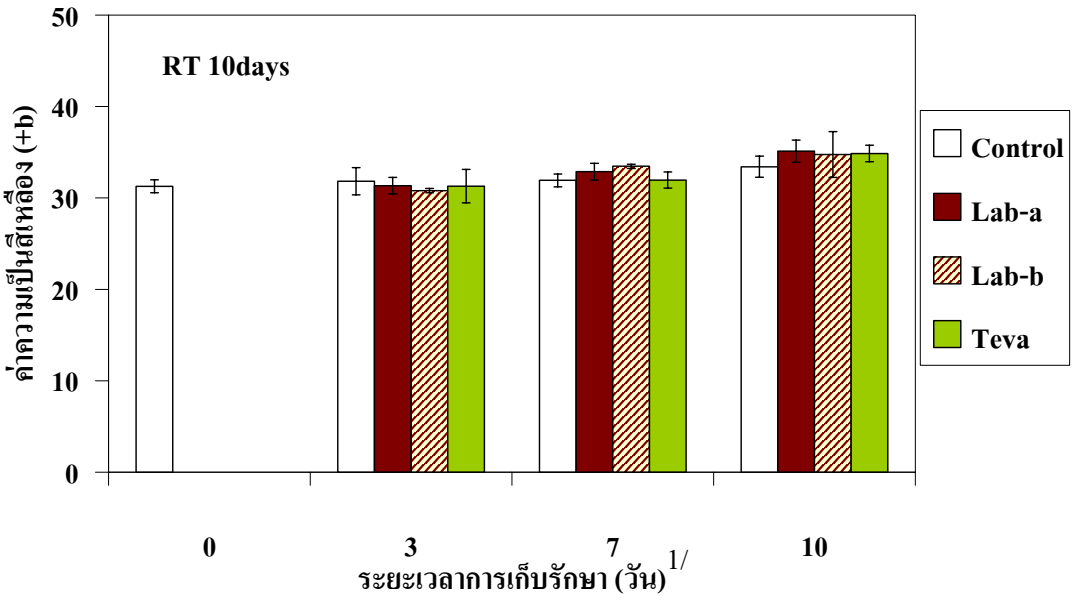
* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 4.6: ค่าความสว่างของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

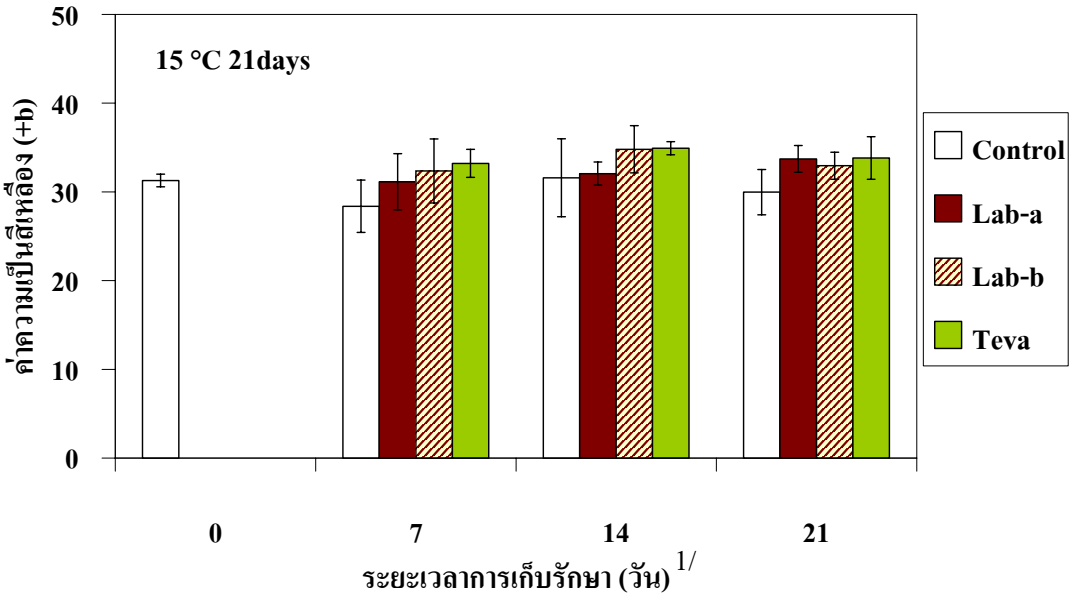
* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 4.7: ค่าความเป็นสีเหลืองของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 4.8: ค่าความเป็นสีเหลืองของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน

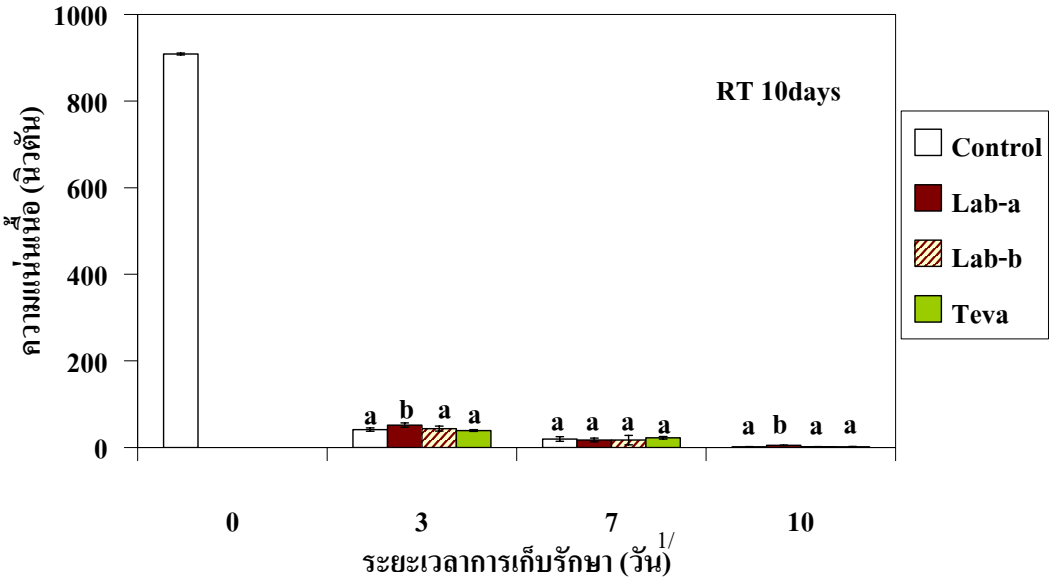
1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

4.1.1.4 ความแน่นเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C มีแนวโน้มของค่าความแน่นเนื้อลดลง เนื่องจากเอนไซม์ pectinesterase และ polygalacturonase ย่อยสลายสารโปรโตเพคตินให้อยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้เรียกว่าเพคติน ทำให้เกิดการอ่อนตัวของผนังเซลล์ (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2526) โดยค่าความแน่นเนื้อลดลงอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C จากนั้นการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในลักษณะลดลงเพียงเล็กน้อย และเริ่มคงที่ใกล้เคียงกันในทุกทรีทเมนต์

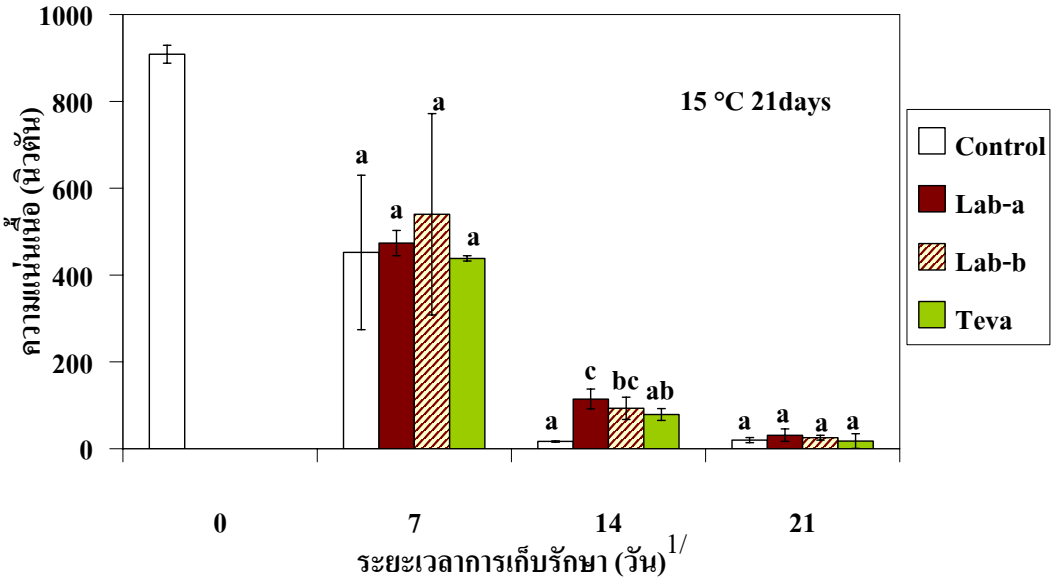
ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน (รูปที่ 4.9) มีความแน่นเนื้อสูงที่สุด รองลงมาคือผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b, Teva และไม่ได้เคลือบตามลำดับ สอดคล้องกับผลทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 14 วัน (รูปที่ 4.10) ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a สามารถชะลอการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อได้ดีที่สุด รองลงมาคือผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b, Teva และไม่ได้เคลือบตามลำดับ เนื่องจากการเคลือบผิวผลทุเรียนเป็นการดัดแปลงบรรยากาศภายในผลทุเรียนทำให้จำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซ ซึ่งมีผลต่อกระบวนการสุกของผลทุเรียน แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อของผลทุเรียนวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ผลทุเรียนไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าการเคลือบผิวทุเรียนสามารถชะลอการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อได้ 14 วัน นอกจากนี้ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b และ Teva เนื่องจากความแตกต่างกันของลักษณะฟิล์มเคลือบทั้ง 3 สูตร (ดูหัวข้อ 4.3) โดยลักษณะฟิล์มเคลือบของสูตร Lab-a สามารถปกคลุมผิวผลทุเรียน และจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซทำให้ชะลอการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อได้ดีกว่าสารเคลือบสูตร Lab-b และ Teva การเก็บผลทุเรียนไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C สามารถชะลอการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียนได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้องเพราะอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอหรือยับยั้งกระบวนการสุกและการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียน ชะลอการย่อยสลายหรือละลายของ protopectin ลดกิจกรรมเอนไซม์ PG (polygalacturonase) ค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับต่ำมาก (วชิรญา อิ่มสบาย, 2542)



รูปที่ 4.9: ความแน่นเนื้อของทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.10: ความแน่นเนื้อของทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน

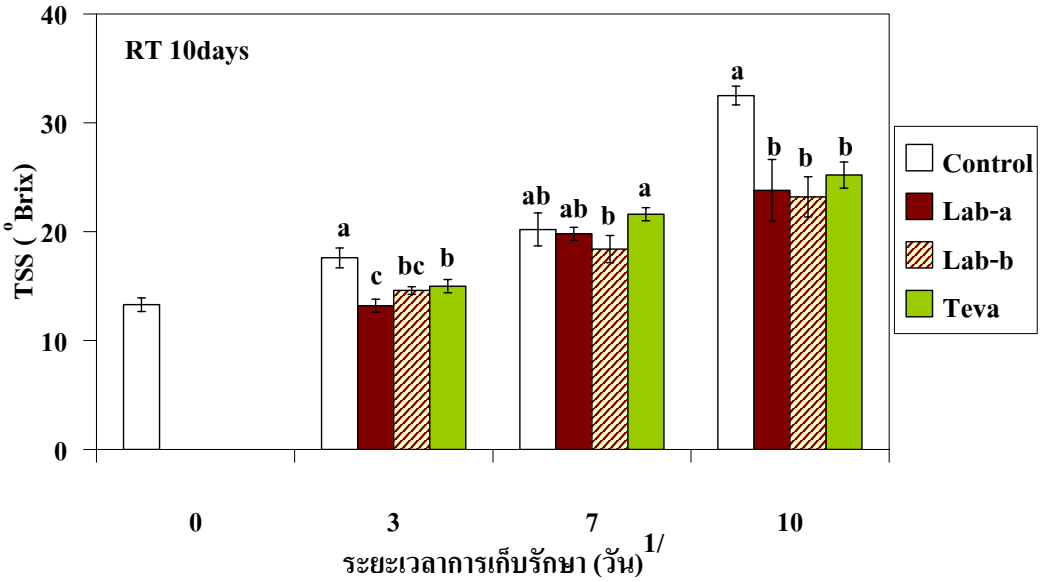
1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.2 อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

4.2.2.1 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด

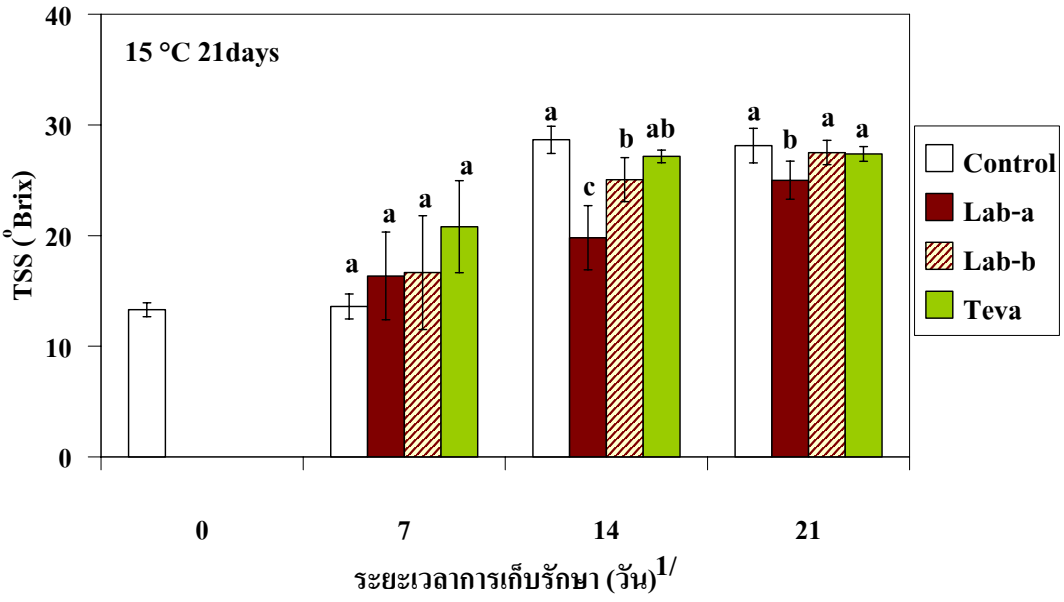
ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของผลทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลไม้จำพวก climacteric จะมีปริมาณน้ำตาล ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง เมื่อผลไม้สุกแป้งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีรสหวานขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543) ซึ่งผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน (รูปที่ 4.11) มีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้สูงที่สุด รองลงมาคือ ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva, Lab-a และ Lab-b ตามลำดับ คล้ายคลึงกับผลทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 14 วัน (รูปที่ 4.12) ผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้สูงที่สุด รองลงมาคือ ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva, Lab-b และ Lab-a ตามลำดับ เนื่องจากการเคลือบผิวผลทุเรียนเป็นการดัดแปลงบรรยากาศภายในผลทุเรียน ทำให้จำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซ ซึ่งมีผลต่อกระบวนการสุกของผลทุเรียน และในวันที่ 21 ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ต่ำที่สุดแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มผลทุเรียนที่เคลือบ เนื่องจากสารเคลือบ Lab-a สามารถชะลอการสลายตัวของแป้งไปเป็นน้ำตาลได้ดีกว่าสารเคลือบสูตร Lab-b และ Teva เพราะความแตกต่างกันของลักษณะฟิล์มเคลือบ (หัวข้อ 4.3) สอดคล้องกับความแน่นเนื้อของผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a ที่สามารถชะลอการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ เนื่องจากเอนไซม์ pectinesterase และ polygalacturonase ย่อยสลายสารโปรโตเพคตินให้อยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้เรียกว่า เพคติน และการเก็บรักษาผลทุเรียนที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีผลในการเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆที่มีต่อกระบวนการสุกของผลทุเรียน



รูปที่ 4.11: ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



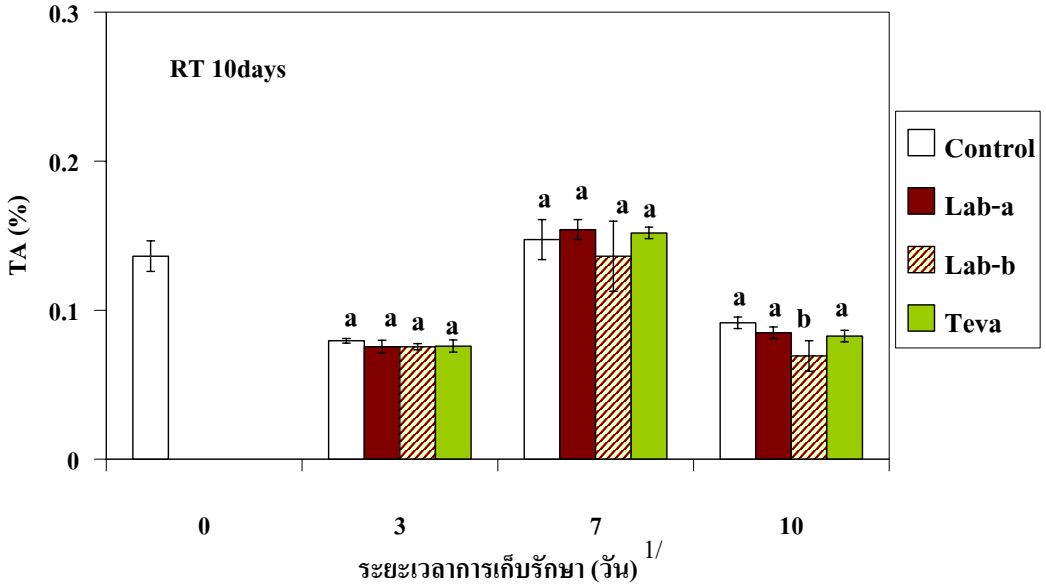
รูปที่ 4.12: ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.2.2 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้

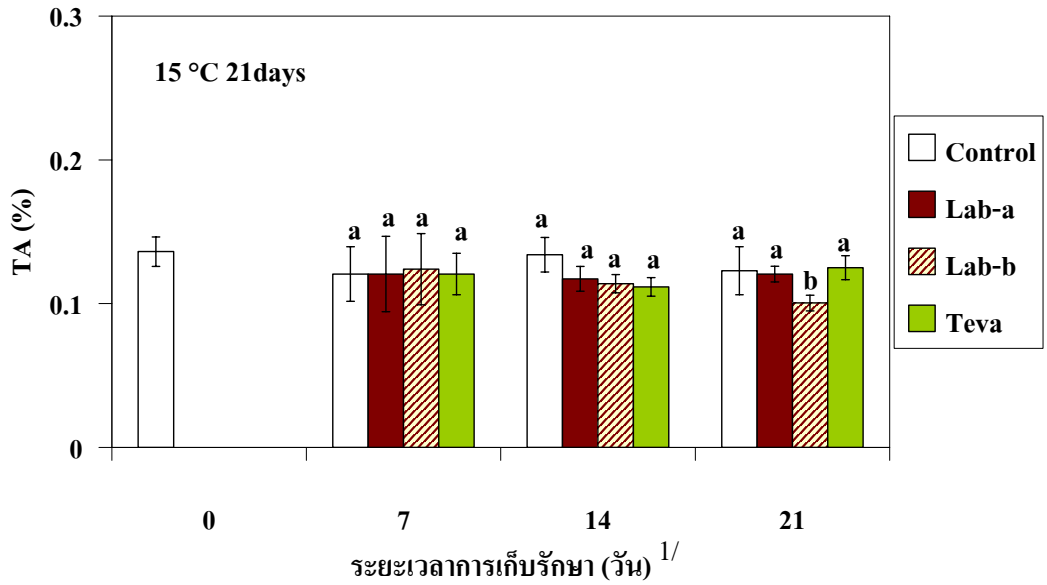
เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C ทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ลดลง เนื่องจากกรดมาลิคที่อยู่ในรูปเกลือมาเลต (malate) ถูกใช้ในกระบวนการหายใจผ่านทางวัฏจักรเครบส์ (Tucker, 1993) แต่ผลทุเรียนที่เคลือบมีเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างทางสถิติกับผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และวันสุดท้ายของการเก็บรักษาของทั้ง 2 อุณหภูมิ (รูปที่ 4.13 และ4.14) ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b มีเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ต่ำที่สุดและแตกต่างทางสถิติกับผลทุเรียนทรีทเมนต์อื่น



รูปที่ 4.13: ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.14: ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียน เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน

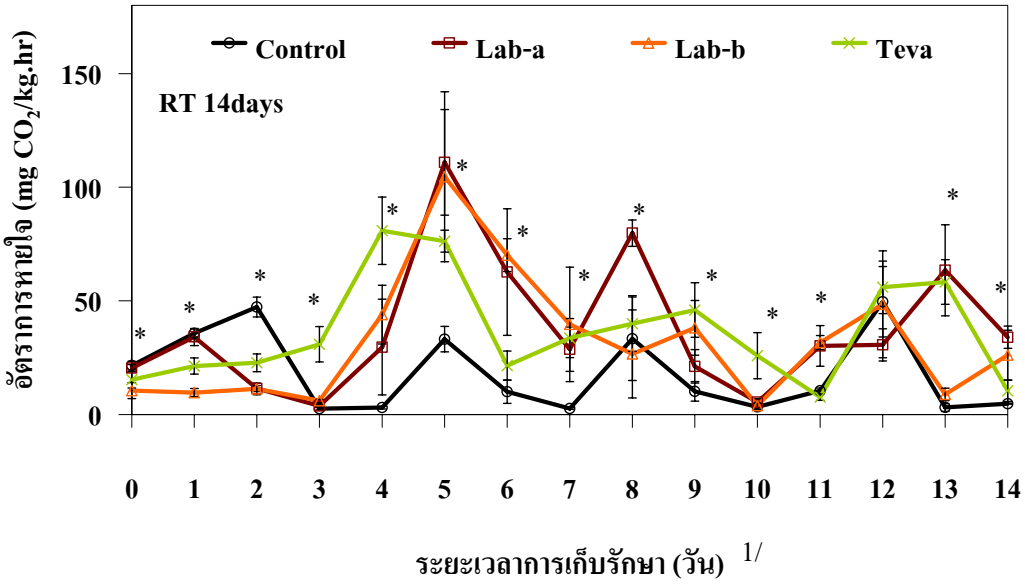
1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.3 อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่ออัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

4.1.3.1 อัตราการหายใจ

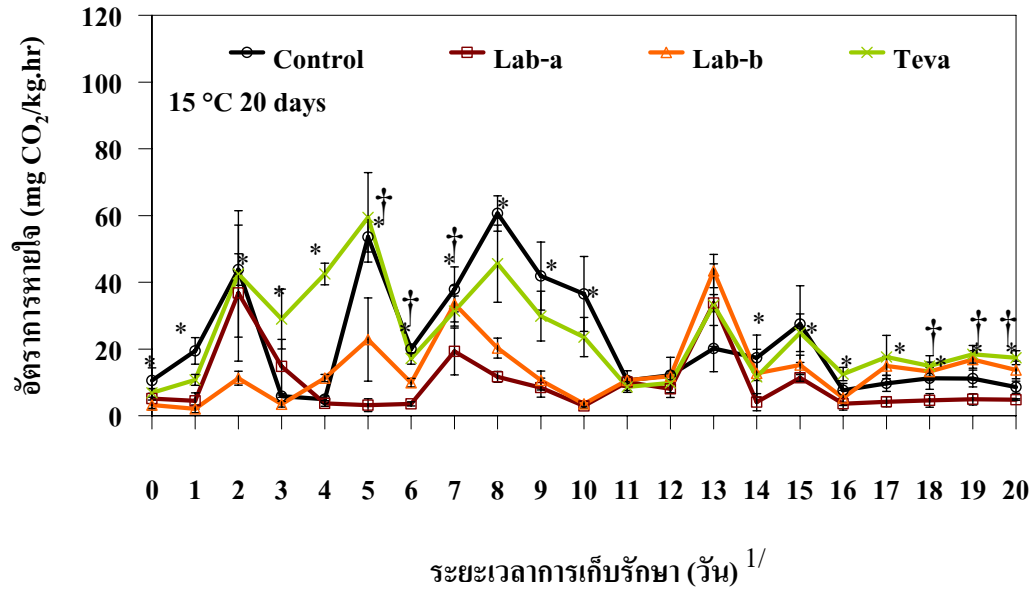
ผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva, Lab-a และ Lab-b ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีอัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 2, 4 และ 5 (Lab-a และ Lab-b) ตามลำดับ (รูปที่ 4.15) แต่เนื่องจากอัตราการหายใจของผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ มีแนวโน้มต่ำกว่าอัตราการหายใจของผลทุเรียนที่เคลือบ แสดงว่าผลทุเรียนที่เคลือบเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) หรือกระบวนการหมัก (fermentation) สำหรับผลทุเรียนที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 15 °C (รูปที่ 4.16) อัตราการหายใจของผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva เพิ่มสูงขึ้น และลดลงจนกระทั่งสูงสุดในวันที่ 5 ขณะที่ผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และสูงสุดในวันที่ 8 สอดคล้องกับสุชีรา (2537) ได้ทำการทดลองเก็บรักษาผลทุเรียนในกล่องลูกฟูกที่อุณหภูมิ 15 °C พบว่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลง แต่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพบรรยากาศรอบๆผลทุเรียนถูกจำกัด ทำให้ก๊าซออกซิเจนถูกใช้ไปเพื่อการหายใจ และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสะสมเพิ่มขึ้น สำหรับผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 2 แต่ในอัตราที่ต่ำกว่าผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วย Teva จากนั้นอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 13 ขณะที่ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b มีแนวโน้มอัตราการหายใจที่ต่ำที่สุด โดยอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในวันที่ 13 แต่ทั้งนี้ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b พบการเข้าทำลายของโรคเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ เริ่มเห็นเป็นวงสีดำขึ้นในวันที่ 14 และการเก็บรักษาผลทุเรียนที่อุณหภูมิต่ำ มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีผลในการเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆที่มีต่อกระบวนการสุกของผลทุเรียน ดังนั้นการเคลือบผลทุเรียนควรทำควบคู่กับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 4.15: อัตราการหายใจของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% เป็นระยะเวลา 14 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* ผลทุเรียนที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.16: อัตราการหายใจของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% เป็นระยะเวลา 20 วัน

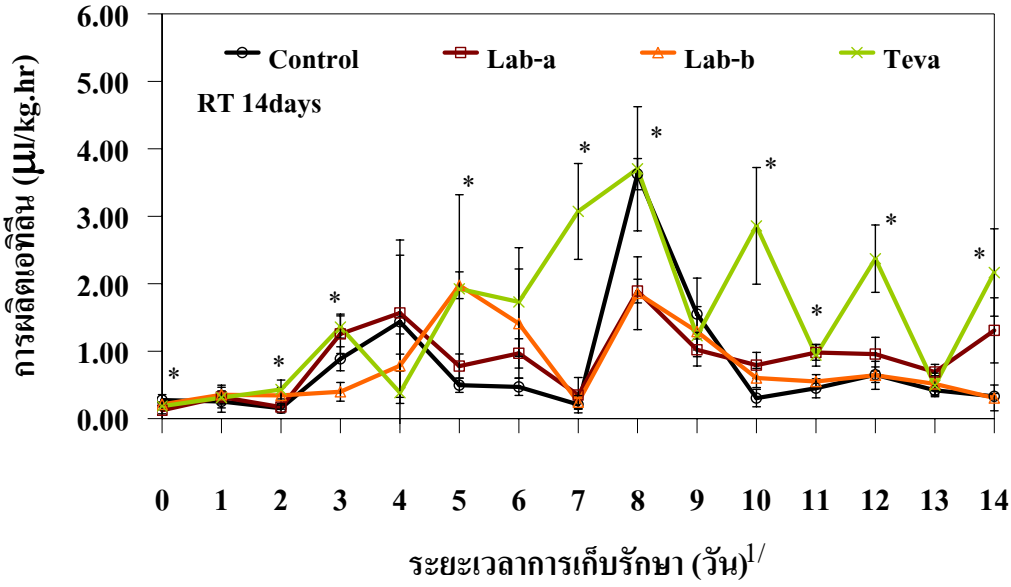
1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* ผลทุเรียนที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

† ผลทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร Lab-a มีอัตราการหายใจน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับผลทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร Lab-b, Teva, และผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ

4.2.3.2 การผลิตเอทิลีน

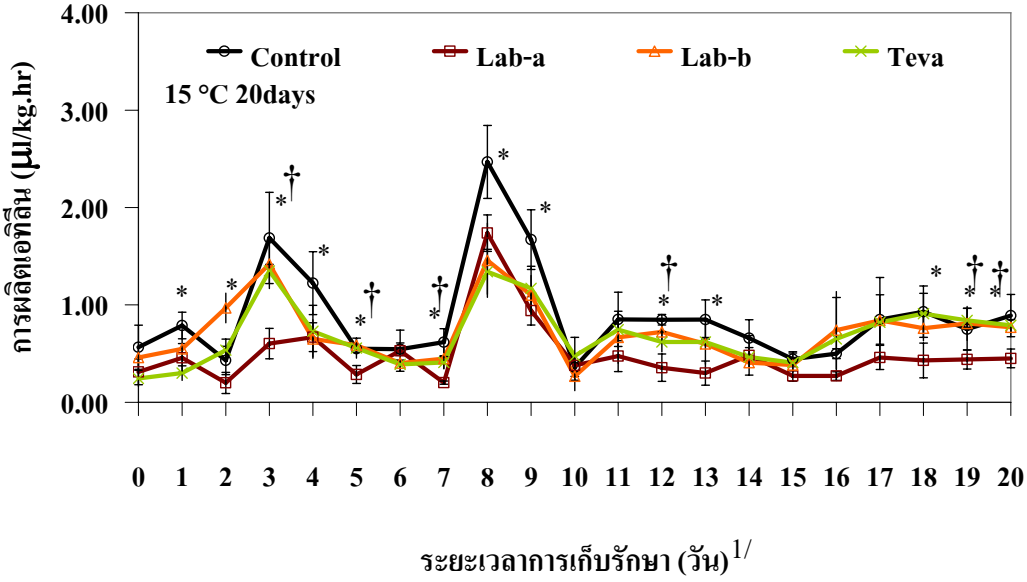
การผลิตเอทิลีนของผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4.17) มีการผลิตเอทิลีนสูงที่สุดในวันเดียวกันคือวันที่ 8 ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a และ Lab-b มีการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วย Teva ตามลำดับ แต่ปริมาณการผลิตเอทิลีนในวันอื่นๆยังมีลักษณะขึ้นๆลงๆของทุกทรีทเมนต์ แสดงว่าการเก็บรักษาผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มของอัตราการผลิตเอทิลีนไม่แตกต่างกัน สำหรับการผลิตเอทิลีนของผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 15 °C เพิ่มสูงสุด 2 ระยะคือวันที่ 3 และวันที่ 8 (รูปที่ 4.18) โดยวันที่ 8 ผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีการผลิตเอทิลีนสูงกว่าผลทุเรียนที่เคลือบ เนื่องจากการใช้สารเคลือบผิวเคลือบบนผลทุเรียนเป็นการดัดแปลงบรรยากาศทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นไปได้น้อย ปริมาณออกซิเจน (O_2) ภายในต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ภายในสูงขึ้น สภาพดังกล่าวสามารถยับยั้งการสร้างเอทิลีน (สภาพการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่ต่ำ) และยับยั้งการทำงานของเอทิลีน เนื่องจากสูตรโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเอทิลีน (C_2H_4) โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะแย่งที่เอทิลีนในการจับกับตัวรับ กระบวนการสุกของผลไม้จึงชะลอลงและการหายใจในผลิตผลลดลงด้วย จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลออกไปได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ซึ่งผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีแนวโน้มการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าที่เคลือบด้วย Lab-b และ Teva และการเก็บรักษาผลทุเรียนที่อุณหภูมิสูงมีการผลิตเอทิลีนมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆทำให้เกิดเร็วขึ้น ดังนั้นการหายใจภายในผลิตผลก็จะเกิดขึ้นเร็วทำให้ผลิตผลมีการสุก (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541)



รูปที่ 4.17: อัตราการผลิตเอทิลีนของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% เป็นระยะเวลา 14 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* ผลทุเรียนที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.18: อัตราการผลิตเอทิลีนของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% เป็นระยะเวลา 20 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* ผลทุเรียนที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

† ผลทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร Lab-a มีอัตราการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับผลทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร Lab-b, Teva, และเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้

4.1.4 คุณภาพในการรับประทาน

การประเมินคุณภาพในการรับประทานเป็นการประเมินโดยใช้ผู้ชิมทั้งหมด 10 คน ซึ่งการใช้ผู้ชิมจะสามารถรับรู้กลิ่น-รส และเนื้อสัมผัสได้ในเวลาเดียวกันโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นการทดสอบจากคุณลักษณะของสีเนื้อ กลิ่นหอม ความหวาน รสมัน ความนุ่ม กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบของผู้บริโภค

ผลทุเรียนที่วัดคุณภาพในการรับประทาน เป็นผลทุเรียนสุก โดยผลทุเรียนสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่ละทรีทเมนต์มีระยะเวลาการสุกไม่เท่ากัน

- ผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ (Control) ระยะเวลาการสุก 4 วัน
- ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva ระยะเวลาการสุก 5 วัน
- ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a และ Lab-b ระยะเวลาการสุก 8 วัน

ผลทุเรียนที่เก็บรักษา 15 °C แต่ละทรีทเมนต์มีระยะเวลาการสุกไม่เท่ากัน

- ระยะเวลาการเก็บรักษา 7 วัน ใช้ระยะเวลาการบ่ม 3 วันทุกทรีทเมนต์
- ระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วันใช้ระยะการบ่มผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva และ Lab-b เป็นเวลา 1 วัน และผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a ใช้ระยะเวลาการบ่ม 2 วัน
- ระยะเวลาการเก็บรักษา 21 วันสามารถนำมาทำชิมได้เลยทุกทรีทเมนต์ ยกเว้นผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b ไม่สามารถนำมาทำชิมได้ เนื่องจากเกิดโรคบนผลทุเรียนเป็นอันตรายต่อผู้ชิม
- ระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วันไม่สามารถนำมาทำชิมได้เลยทุกทรีทเมนต์ เนื่องจากเกิดโรคบนผลทุเรียน

ผลการทดสอบโดยสรุปแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ผลคะแนนคุณภาพในการรับประทานของผลทุเรียนสุกที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15°C สามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ตารางที่4.1: คะแนนคุณลักษณะเฉลี่ยของทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตามระยะเวลาสุกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

ทรีทเมนต์	คะแนน						
	สี[1/]	กลิ่นหอม[1/]	ความหวาน[1/]	ความมัน[1/]	ความนุ่ม[1/]	กลิ่นและรสชาติผิดปกติ[1/]	ความชอบ[1/]
ไม่เคลือบ	3.3±0.95bc	3.7±0.67a	4±0.67a	3.3±1.16	3.6±0.70b	0.2±0.42	3.8±0.79a
Lab-a	4.3±0.67a	3.6±0.52a	2.8±1.03b	3.6±0.97	2.3±0.67c	0.4±0.70	4.2±0.63a
Lab-b	2.5±1.18c	2.5±1.43b	3.5±0.70ab	2.9±0.99	4.4±0.52a	1.2±1.32	2.6±0.97b
Teva	3.6±0.70ab	3.6±0.70a	3.6±0.70a	2.8±1.55	4.2±1.23ab	0.8±0.63	3.1±0.32b
F-test	*	*	*	**ns**	*	**ns**	*
CV (%)	31.63	29.89	25.23	37.73	31.66	137.38	27.17

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* เนื้อทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนกลิ่นหอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

ผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบมีระยะเวลาสุก 4 วัน

ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva มีระยะเวลาสุก 5 วัน

ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a และ Lab-b มีระยะเวลาสุก 8 วัน

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่ 4.2: คะแนนคุณลักษณะเฉลี่ยของทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 ^{0}C จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

คุณลักษณะ	ทรีทเมนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
		7 วัน [1/]	14 วัน [1/]	21 วัน [1/]
สี	Control (ไม่เคลือบ)	3.1±1.37	3.3±0.67	3.7±0.95
(คะแนน)	Lab-a	3.3±1.16	3.9±0.74	3.6±0.70
	Lab-b	3.5±0.85	3.9±0.57	-
	Teva	3.8±0.63	3.6±0.70	4.1±0.99
	F-test	ns	ns	ns
	CV (%)	30.22	18.88	23.33
กลิ่นหอม	Control (ไม่เคลือบ)	1.9±1.20c	3.4±0.52	3.1±0.70b
(คะแนน)	Lab-a	3.2±1.03b	3.2±0.63	3.9±0.94a
	Lab-b	3.1±0.88b	3.7±1.16	-
	Teva	4.4±0.70a	2.7±0.67	3.2±0.52b
	F-test	*	ns	*
	CV (%)	41.02	12.58	37.23
ความหวาน	Control (ไม่เคลือบ)	1.9±1.10b	3.2±0.79	3.4±0.84
(คะแนน)	Lab-a	2.7±0.82ab	3.5±0.53	2.5±1.43
	Lab-b	3±1.15a	3.8±0.42	-
	Teva	3.8±0.42a	3±1.05	3.4±1.07
	F-test	*	ns	ns
	CV (%)	39.37	22.94	38.22
ความมัน	Control (ไม่เคลือบ)	3.4±0.84	3.1±0.74b	3±1.15
(คะแนน)	Lab-a	2.8±0.92	3.9±0.74a	3.2±1.40
	Lab-b	3.1±0.74	3.2±0.63b	-
	Teva	2.7±1.25	3.9±0.57a	3.2±1.03
	F-test	ns	*	ns
	CV (%)	32.03	21.29	37.23

ตารางที่ 4.2: (ต่อ)

คุณลักษณะ	ทรีทเมนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
		7 วัน [1/]	14 วัน [1/]	21 วัน [1/]
ความนุ่ม	Control (ไม่เคลือบ)	2.2±1.03b	3.1±1.10a	2.8±1.03
(คะแนน)	Lab-a	2.8±0.92ab	3.2±0.79a	2.1±1.37
	Lab-b	2.2±0.79b	3.2±1.03a	-
	Teva	3.5±0.97a	2.1±0.88b	2.7±0.82
	F-test	*	*	ns
	CV (%)	39.15	35.61	43.65
ความผิดปกติ	Control (ไม่เคลือบ)	0.1±0.32	0.1±0.32	0.4±0.97
ของกลิ่นและรสชาติ	Lab-a	0.2±0.42	0.2±0.42	0.5±0.97
	Lab-b	0.3±0.67	0.3±0.48	-
	Teva	0.4±0.52	0.2±0.42	0.1±0.32
	F-test	ns	ns	ns
	CV (%)	197.42	202.55	240.69
ความชอบ	Control (ไม่เคลือบ)	2.5±1.08	3.3±0.67	3.5±1.08
(คะแนน)	Lab-a	3.2±1.03	3.6±0.84	3±1.49
	Lab-b	3.3±0.82	3.8±1.03	-
	Teva	3.2±0.92	3.7±0.48	4±0.82
	F-test	ns	ns	ns
	CV (%)	32.32	21.61	34.18

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ทุเรียนที่เก็บรักษาทุกทรีทเมนต์มีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* ทุเรียนที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b มีปัญหาการเกิดโรค และเสื่อมสภาพที่ระยะเวลา 21 วัน

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

4.1.4.1 สีเนื้อทุเรียน

คะแนนสีเนื้อทุเรียนของผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C ไม่มีความแตกต่างกัน โดยคะแนนสีเนื้อทุเรียนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการวัดสีเนื้อทุเรียนของผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C มีค่าความสว่าง (L) และความเป็นสีเหลือง (b) ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจสีเนื้อทุเรียนของผลทุเรียนที่เคลือบ และไม่ได้เคลือบไม่แตกต่างกัน

4.1.4.2 กลิ่นหอม

กลิ่นหอมของทุเรียนเป็นอีกลักษณะหนึ่งที่มีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้อต่อผู้บริโภค ซึ่งผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a, Teva และไม่ได้เคลือบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีกลิ่นหอมมากกว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b ขณะที่ผลทุเรียนที่เคลือบเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C มีแนวโน้มกลิ่นหอมของเนื้อทุเรียนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งกลิ่นของผลทุเรียนสุกมาจากสารระเหยที่เป็นสารประกอบจำพวกอีเทอร์ โดยคะแนนกลิ่นหอมของผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a และLab-b เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน มีกลิ่นหอมมากกว่าที่เคลือบด้วย Teva ซึ่งที่เวลา 14 วันผลทุเรียนทุเรียนทุกทรีทเมนต์มีกลิ่นหอมไม่แตกต่างกัน แต่วันที่ 21 (ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b เกิดโรคไม่ได้นำมาทำชิม) ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีกลิ่นหอมมากกว่าที่เคลือบด้วย Teva และไม่ได้เคลือบ แสดงว่าการเคลือบผิวผลทุเรียนและเก็บรักษาทั้ง 2อุณหภูมิไม่มีผลต่อกลิ่นหอมของเนื้อทุเรียน

4.1.4.3 ความหวาน

ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีคะแนนความหวานของเนื้อทุเรียนน้อยกว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b Teva และไม่ได้เคลือบตามลำดับ สอดคล้องกับผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วันมีการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียนต่ำที่สุด รองลงมาคือผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b Teva และไม่ได้เคลือบตามลำดับ แสดงว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a สามารถชะลอการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ เนื่องจากเอนไซม์ pectinesterase และ polygalacturanase ย่อยสลายสารโปรโตเพคตินให้อยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้เรียกว่าเพคติน เป็นผลให้คะแนนความหวานของผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a ต่ำที่สุด ขณะที่ผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 14 และ 21 วัน มีคะแนนความหวานไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 21 วันมีการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียนไม่แตกต่างกัน

4.1.4.4 รสมัน

รสมันของผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องไม่มีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 7 และ 21 วัน ไม่มีความแตกต่างกัน แต่วันที่ 14 ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a และ Teva มีรสมันมากกว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b และไม่ได้เคลือบ แสดงว่าการเคลือบผิวผลทุเรียนและเก็บรักษาทั้ง 2อุณหภูมิไม่มีผลต่อรสมันของเนื้อทุเรียน

4.1.4.5 ความนุ่ม

ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีคะแนนความนุ่มน้อยที่สุด รองลงมาคือ ผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และที่เคลือบด้วย Lab-b และTeva ตามลำดับ ซึ่งผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b และ Teva ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วันมีความแน่นเนื้อมากกว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b Teva และไม่ได้เคลือบตามลำดับ ขณะที่ผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 21 วัน มีคะแนนความนุ่มไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับผลทุเรียนทุก ทรีทเมนต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 21 วัน มีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการเคลือบผิวผลทุเรียนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไม่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อทุเรียน ขณะที่การเคลือบผิวด้วย Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเมื่อผลสุกมีความนุ่มมากที่สุด

4.1.4.6 ความผิดปกติของกลิ่น และรสชาติ

ผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C ไม่พบกลิ่น และรสชาติที่ผิดปกติ แสดงว่าการเคลือบผิวผลทุเรียนเก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิไม่มีผลต่อกลิ่นและรสชาติผิดปกติของเนื้อทุเรียนที่มีต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค

4.1.4.7 ความชอบ

ผู้ชิมให้คะแนนความชอบของผลทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการเคลือบผิวผลทุเรียนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิต่ำไม่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภค

ผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน มีค่าความเป็นสีเหลือง (+b) ความสว่าง (L) อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนไม่แตกต่างกัน แต่ลักษณะภายนอก การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของ ผลทุเรียนที่เคลือบสามารถยืดอายุการเก็บรักษาดีกว่าที่ไม่ได้เคลือบ โดยผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าและความแน่นเนื้อสูงกว่าผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva และ Lab-b (ตารางที่ 4.3) สำหรับผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 21 วัน มีค่าความเป็นสีเหลือง (+b) ความแน่นเนื้อ ความสว่าง (L) ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ และการสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a มีค่าต่ำกว่า และแตกต่างกับผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Teva, Lab-b และไม่ได้เคลือบ (ตารางที่ 4.4) นอกจากนี้ลักษณะภายนอกของผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b ในวันที่ 21 เกิดโรคจากเชื้อรา phytophtora ขึ้น ทำให้ถึงแม้ว่าอัตราการหายใจของ Lab-b จะต่ำที่สุด แต่มีโรคเกิดขึ้นทำให้ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-b มีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุดที่อุณหภูมิ 15 °C และการผลิตเอทิลีนของผลทุเรียนที่เคลือบมีแนวโน้มดีกว่าที่ไม่ได้เคลือบ ทำให้ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิมีแนวโน้มยืดอายุการเก็บรักษาดีที่สุด ขณะที่ผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์มีผลความพึงพอใจของผู้บริโภคไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ผลเปรียบเทียบระหว่างวัตถุพิสัย และจิตพิสัยของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วยสูตร Lab-a Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 10 วัน

วัตถุพิสัย	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	**จิตพิสัย**	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4
ความสว่าง	Control Lab-a Lab-b และ Teva				สีเนื้อทุเรียน	Control Lab-a Lab-b และ Teva			
ความเป็นสีเหลือง	Control Lab-a Lab-b และ Teva								
ความแน่นเนื้อ	Lab-a	Control Lab-b และ Teva			ความนุ่ม	Control Lab-b และ Teva			Lab-a
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	Lab-a Lab-b และ Teva			Control	ความหวาน	Control และ Teva		Lab-b	Lab-a
เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด	Control Lab-a และ Teva			Lab-b	กลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ	Control Lab-a Lab-b และ Teva			
การสูญเสียน้ำหนัก	Lab-a	Lab-b และ Teva		Control	กลิ่นหอม	Control Lab-a และ Lab-b			Teva
อัตราการหายใจ	Control Lab-a Lab-b และ Teva				รสมัน	Control Lab-a Lab-b และ Teva			
อัตราการผลิตเอทิลีน	Control Lab-a Lab-b และ Teva				ความชอบโดยรวม	Control และ Lab-a		Lab-b และ Teva	

หมายเหตุ ลำดับที่ 1 แสดงคุณภาพที่ดีที่สุด ลำดับที่ 4 แสดงคุณภาพที่ด้อยที่สุด

 แสดงคุณภาพที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.4 ผลเปรียบเทียบระหว่างวัตถุพิสัย และจิตพิสัยของผลทุเรียนเมื่อไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วยสูตร Lab-a Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 21 วัน

วัตถุพิสัย	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	**จิตพิสัย**	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3
ความสว่าง	Control Lab-a Lab-b และ Teva				สีเนื้อทุเรียน	Control Lab-a และ Teva		
ความเป็นสีเหลือง	Control Lab-a Lab-b และ Teva							
ความแน่นเนื้อ	Control Lab-a Lab-b และ Teva				ความนุ่ม	Control Lab-a และ Teva		
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	Lab-a	Control Lab-b และ Teva			ความหวาน	Control Lab-a และ Teva		
เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด	Control Lab-a และ Teva			Lab-b	กลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ	Control Lab-a และ Teva		
การสูญเสียน้ำหนัก	Lab-a	Control และ Teva		Lab-b	กลิ่นหอม	Lab-a	Control และ Teva	
อัตราการหายใจ	Lab-b	Control Lab-a และ Teva			รสมัน	Control Lab-a และ Teva		
อัตราการผลิตเอทิลีน	Lab-a Lab-b และ Teva			Control	ความชอบโดยรวม	Control Lab-a และ Teva		

หมายเหตุ ลำดับที่ 1 แสดงคุณภาพที่ดีที่สุด ลำดับที่ 4 แสดงคุณภาพที่ด้อยที่สุด

↔ แสดงคุณภาพที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

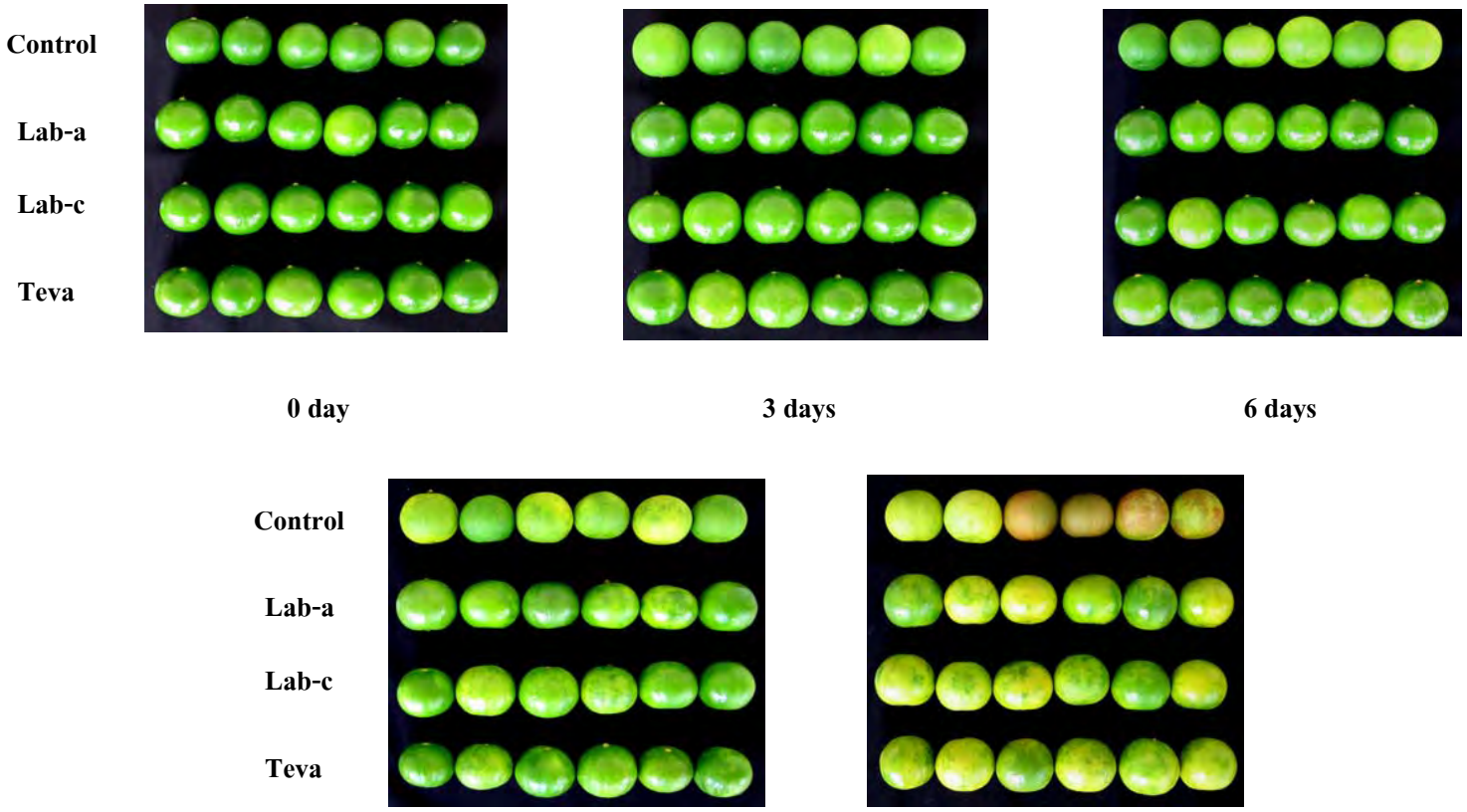
ไม่มีผล Lab-b ในตารางจิตพิสัย เนื่องจากที่ระยะเวลา 21 วันผลทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตรนี้เกิดโรค

4.2 ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษามะนาว

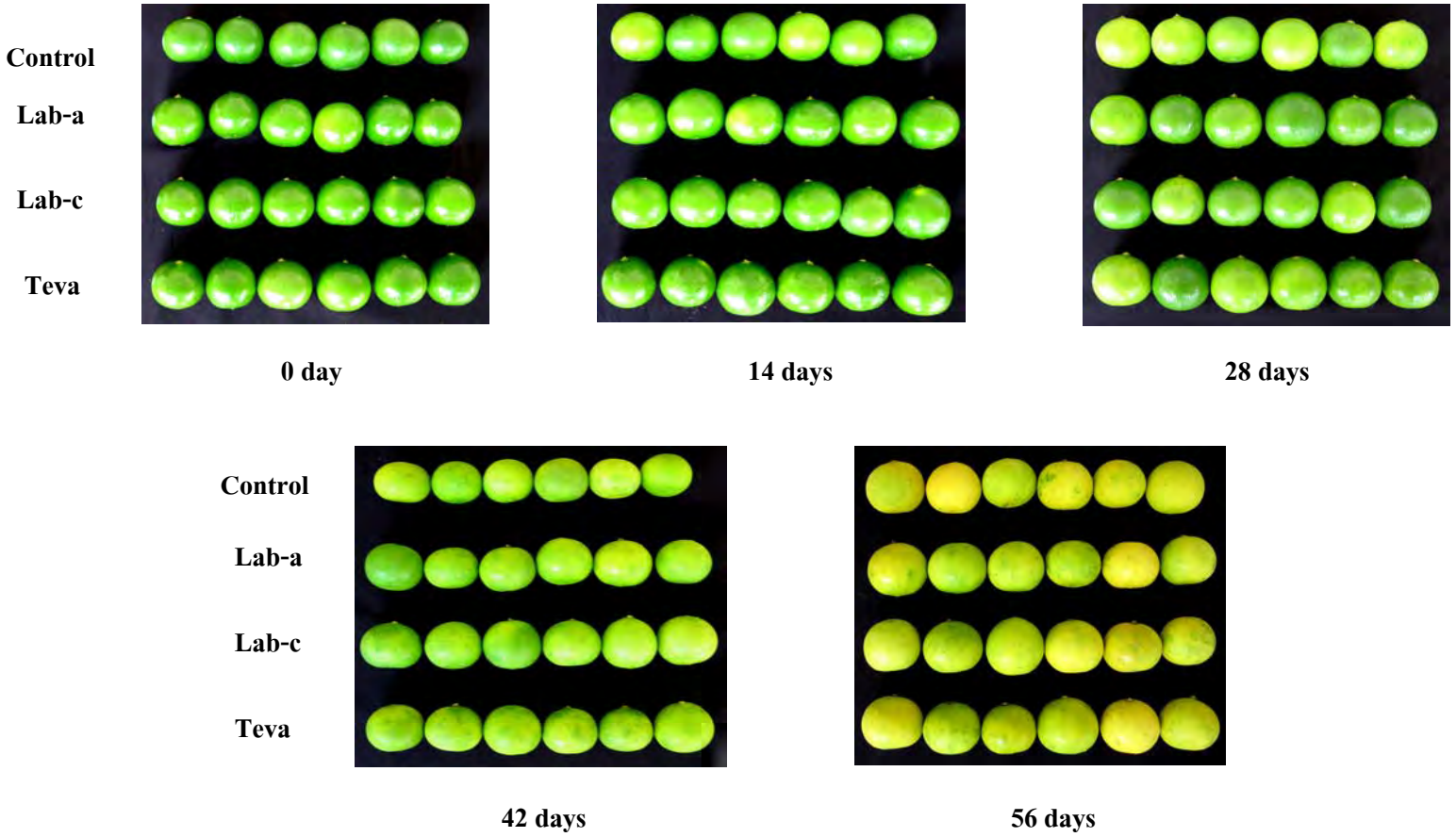
4.2.1 อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพ

4.2.1.1 ลักษณะภายนอก

มะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a, Lab-c และTeva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C มีความมันเงา สวยงามมากกว่ามะนาวที่ไม่เคลือบ แต่พบการหลุดลอกของสารเคลือบ Teva เป็นผงสีน้ำตาล (แสดงดังรูปที่ จ.2 ภาคผนวกจ) ผิวมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือสีเหลืองอมเขียว ซึ่งมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 วัน (รูปที่ 4.19) สีผิวของมะนาวที่ไม่เคลือบส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเกือบทั่วทั้งผล และประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดงกินพื้นที่โดยรอบของมะนาวประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่มะนาวที่เคลือบไม่พบลักษณะเช่นนี้ ทำนองเดียวกับมะนาวที่ไม่เคลือบเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 56 วัน มะนาวประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดง เนื่องจากมะนาวที่ไม่เคลือบบริเวณผิวเปลือกมีการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนมากกว่ามะนาวที่เคลือบ ซึ่งสารเคลือบผิวสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก และควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซได้ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในผลลดลง เนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจทำให้เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ไม่สามารถเปลี่ยนสารประกอบฟีนอล กลายเป็นรงควัตถุสีน้ำตาล (brown pigment) ดังนั้นการเคลือบมีผลชะลอการเกิดสีน้ำตาลแดงบนผิวมะนาว และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดการเกิดลักษณะสีน้ำตาลแดงที่ผิวผลได้ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำมีความชื้นสัมพัทธ์สูงสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก และลดกิจกรรมของเอนไซม์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง



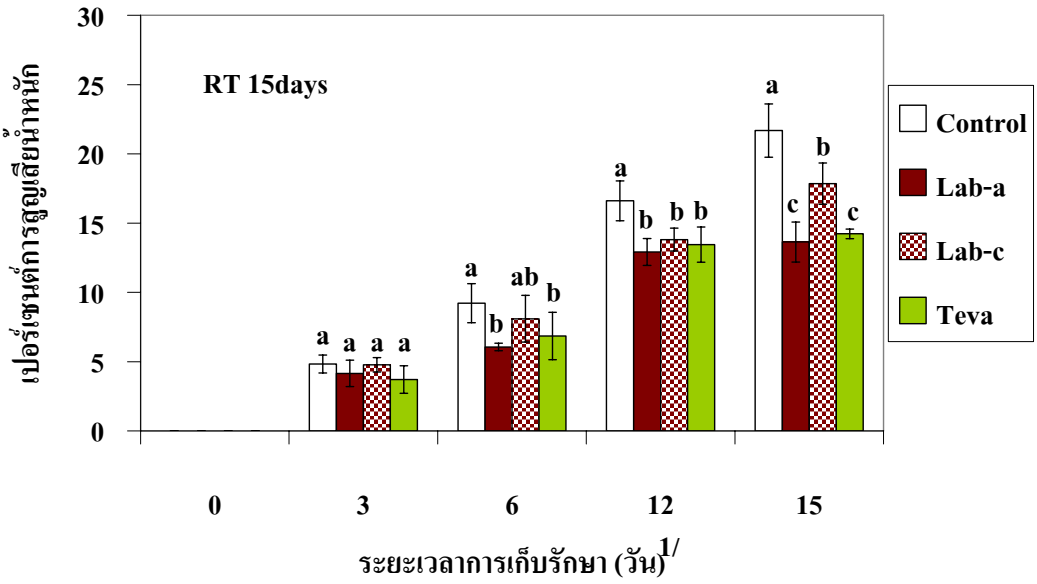
รูปที่4.19: ลักษณะภายนอกของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ (Control) และเคลือบด้วยสูตรทางการค้า (Teva) และสูตรที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-c) ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 0, 3, 6, 12 และ 15 วันตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5



รูปที่4.20: ลักษณะภายนอกของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ (Control) และเคลือบด้วยสูตรทางการค้า (Teva) และสูตรที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-c) ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 0, 14, 28 , 42 และ 56 วันตามลำดับที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 86±2

4.2.1.2 การสูญเสียน้ำหนัก

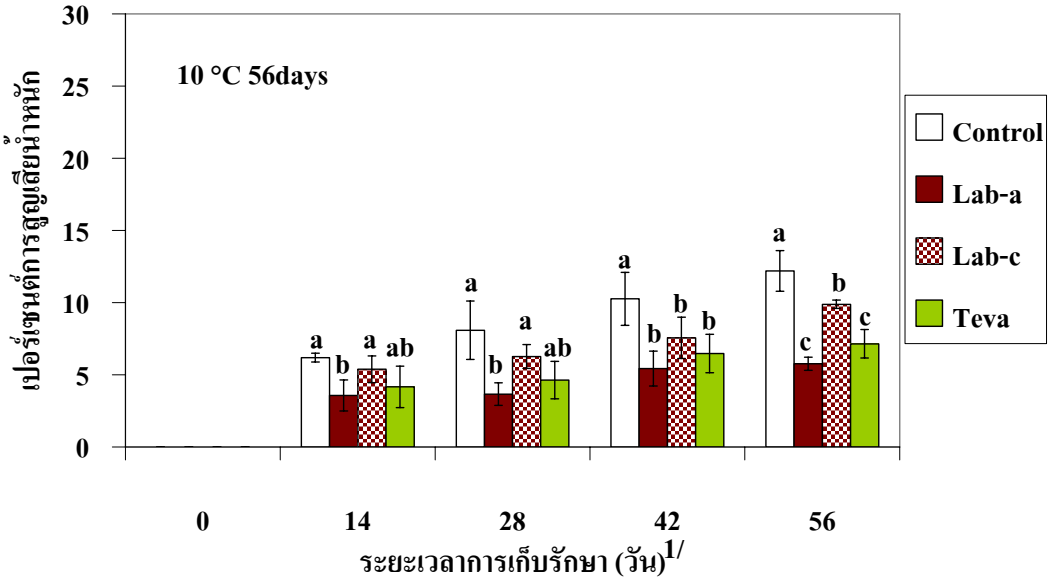
มะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 และอุณหภูมิ 10 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความชื้นหรือน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของผัก และผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 วัน (รูปที่ 4.21) มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด รองลงมาคือ Lab-c และไม่ได้เคลือบตามลำดับ สอดคล้องกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C มะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a และ Teva สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด รองลงมาคือ Lab-c และไม่ได้เคลือบตามลำดับ เนื่องจากการเคลือบผิวมะนาวสามารถชะลอการสูญเสียน้ำได้ โดยสารเคลือบผิวปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่ช่วยลดการสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้นทางคิวติเคิล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2540) สอดคล้องกับการทดลองของ จันทร์จิรา (2545) ซึ่งเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้อง (25±3 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60±8 ในวันที่ 14 มะนาวที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบ Sta-fresh มีการสูญเสียน้ำหนัก 13.54 เปอร์เซ็นต์ มะนาวที่เคลือบด้วยกรดจิบเบอเรลลิค สารเคลือบผสมระหว่างกรดจิบเบอเรลลิคกับสารเคลือบกลูโคแมน-แนน และสารเคลือบผสมระหว่างสารเคลือบ Sta-fresh กับสารเคลือบกรดจิบเบอเรลลิคมีการสูญเสียน้ำหนัก 20.00, 19.13 และ 14.21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่ามะนาวที่ไม่ได้เคลือบที่มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 20.52 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผลมะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a และ Teva มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าที่เคลือบด้วย Lab-c ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารเคลือบ Lab-a (15 เปอร์เซ็นต์เชลแล็กโดยน้ำหนัก) มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง มีความยืดหยุ่น และ Teva มีลักษณะแตกเป็นชิ้นๆ (ดูหัวข้อ 4.3) สามารถปกคลุมผิวผลทุเรียน และจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซได้ดีกว่า สารเคลือบ Lab-c (10 เปอร์เซ็นต์เชลแล็กโดยน้ำหนัก) ที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง แต่มีปริมาณเชลแล็กน้อยกว่า Lab-a สอดคล้องกับอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ ซึ่งสารเคลือบ Lab-a มีอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำกว่า Lab-c และการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีการคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 86±2 สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศกับภายในผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง ทำให้น้ำภายในผลิตผลมีการเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่4.21: การสูญเสียน้ำหนักของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



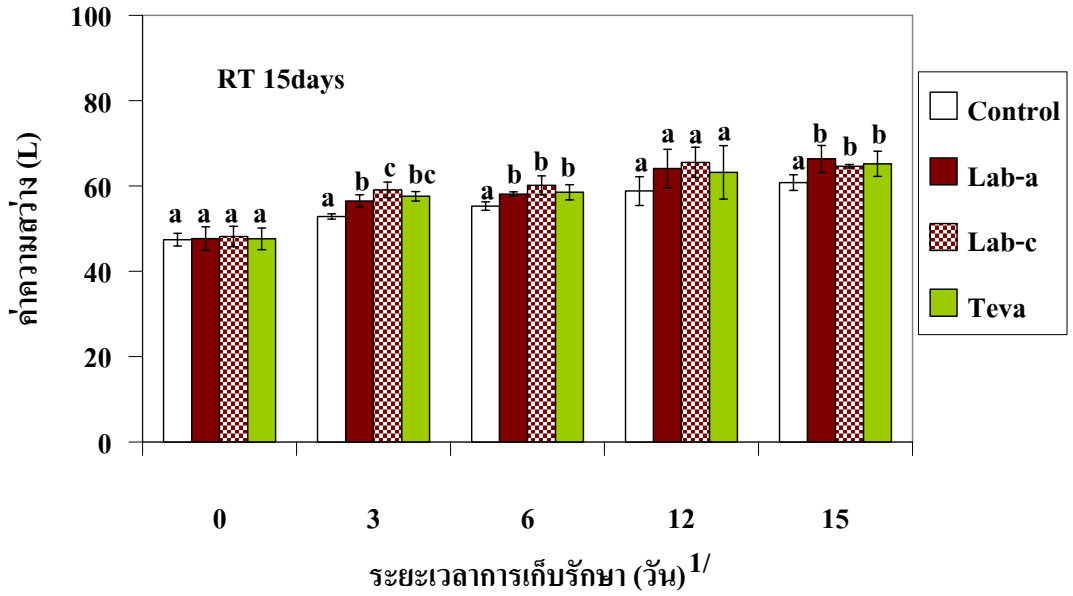
รูปที่ 4.22: การสูญเสียน้ำหนักของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.1.3 สีผิวมะนาว

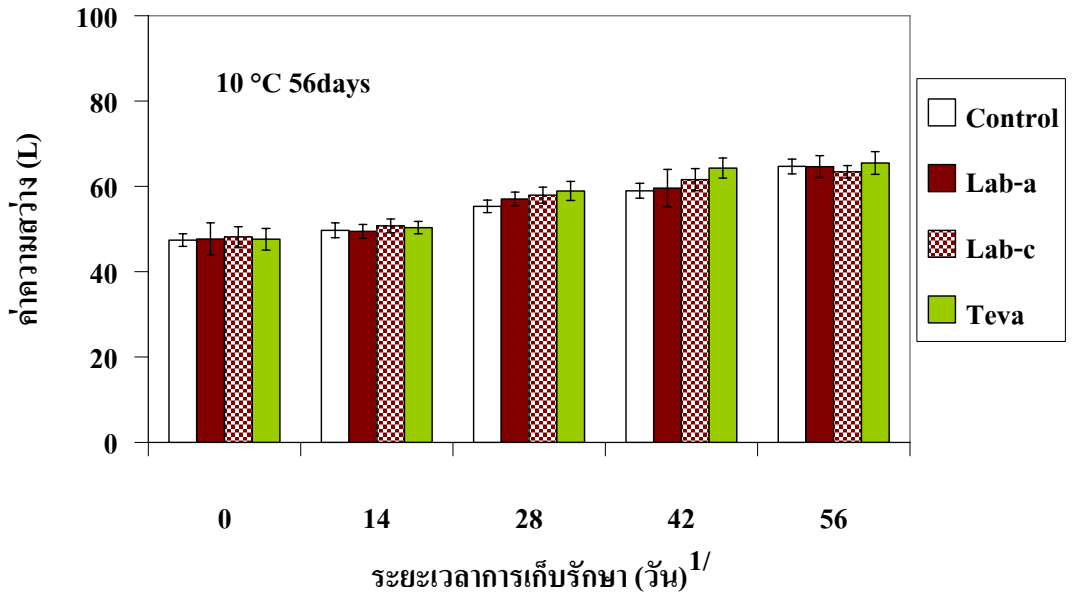
มะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C ทุกทรีทเมนต์ มีค่าความสว่าง (L) เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเขียว (a) ลดลง และค่าความเป็นสีเหลือง (b) มากขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงชั้นสีระหว่างการเจริญเติบโต flavedo จะเป็นสีเขียวเข้ม (dark green) ของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) จากนั้นจะลดลงทำให้ chloroplasts ถูกเปลี่ยนไปเป็น chromoplasts ที่เต็มไปด้วย carotenoids ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (Goldschmidt, 1988) สอดคล้องกับ Tucker (1993) กล่าวว่าสาเหตุที่ความเขียวของเปลือกลดลงนั้นเป็นเพราะคลอโรฟิลล์ที่ผิวเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส อีกทั้งเอทิลีนที่เกิดขึ้นยังเป็นตัวกระตุ้นให้เอนไซม์คลอโรฟิลเลสทำงานเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้สีเขียวที่เปลือกลดลง ซึ่งมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 วัน (รูปที่ 4.23, 4.25 และ 4.27) มีค่าความสว่าง ค่า a และค่า b ของมะนาวทั้ง 4 ทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 56 วัน (รูปที่ 4.24, 4.26 และ 4.28) มะนาวที่เคลือบ และไม่ได้เคลือบ มีค่าความสว่าง ค่า a และค่า b ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าการเคลือบผิวมะนาวด้วยสารเคลือบ Lab-a, Lab-c และ Teva ไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวหรือการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในมะนาวได้ แต่การเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาวได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการลดกิจกรรมของเอนไซม์ให้อยู่ในระดับต่ำ และค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.23: ค่าความสว่างของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

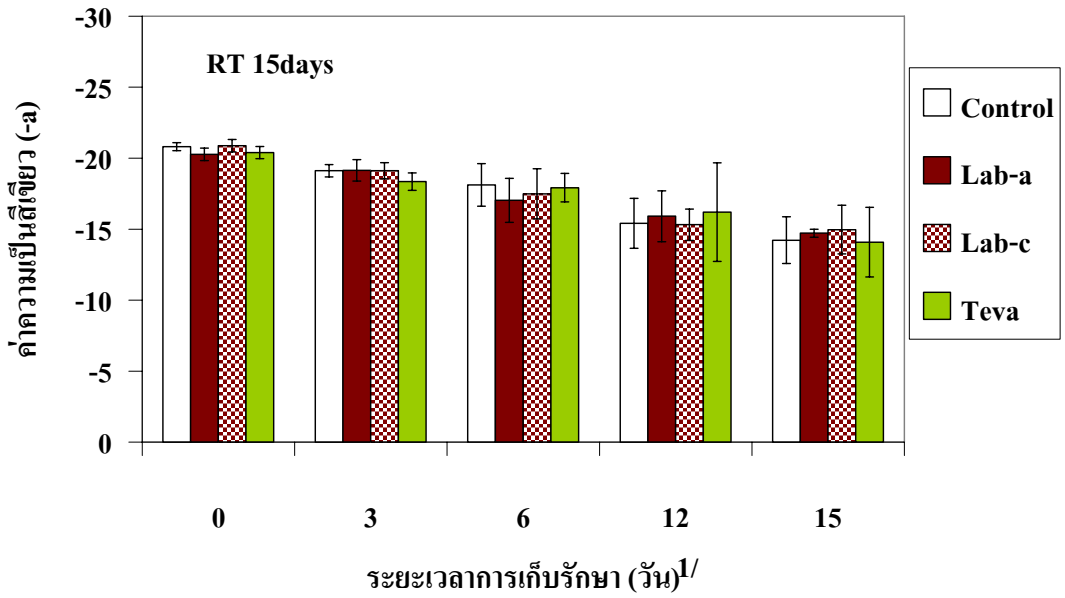
ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน.ในแต่ละวันของการเก็บรักษาหมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.24: ค่าความสว่างของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

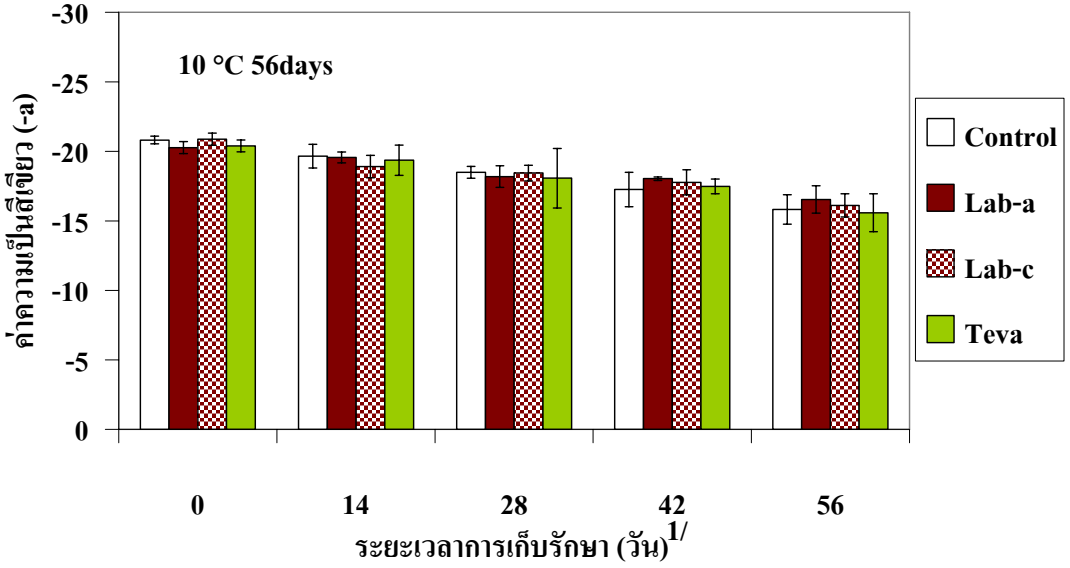
* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 4.25 : ค่าความเป็นสีเขียวของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

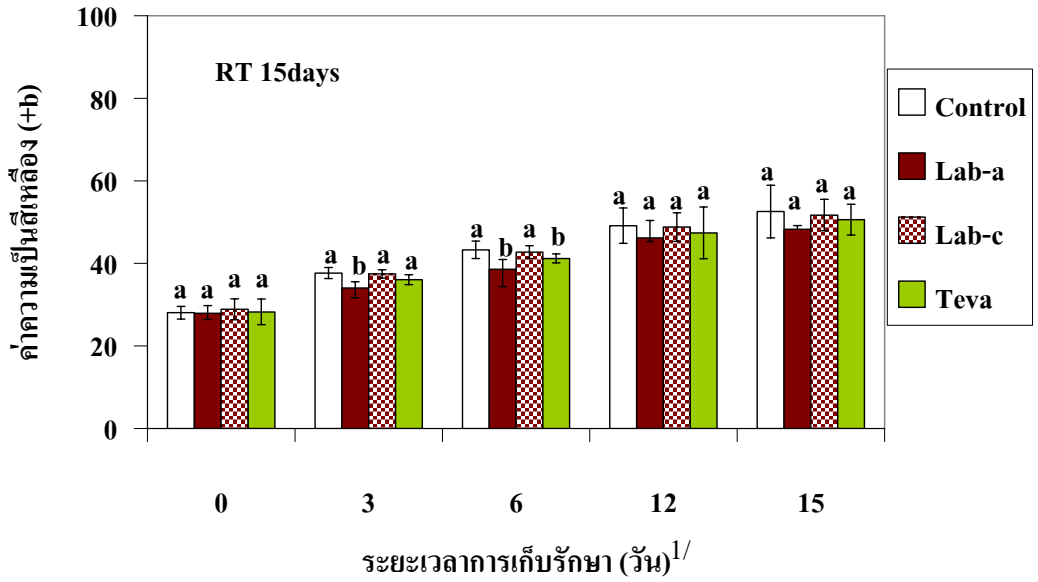
* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 4.26 : ค่าความเป็นสีเขียวของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

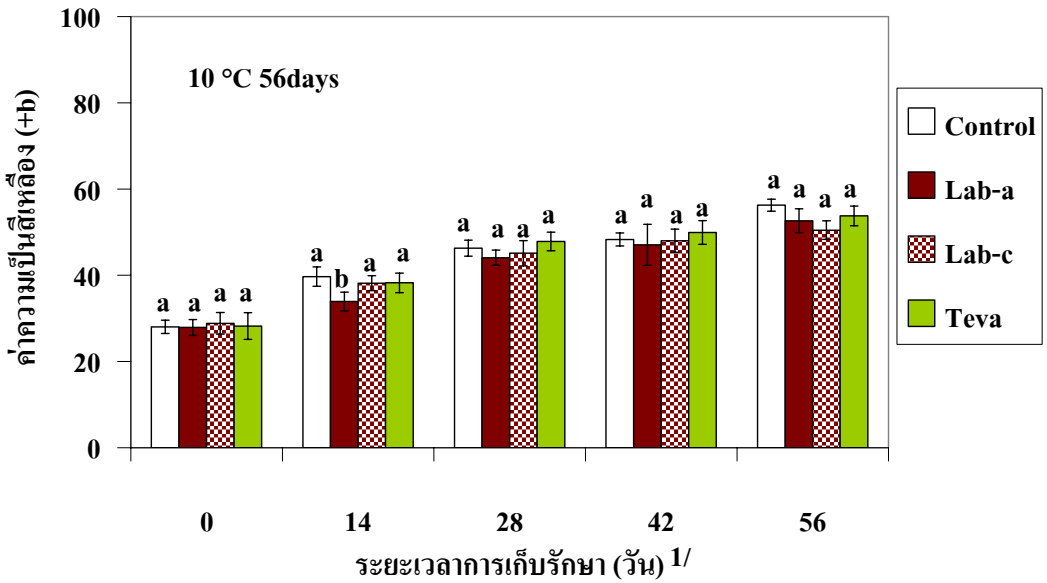
* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 4.27: ค่าความเป็นสีเหลืองของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน.ในแต่ละวันของการเก็บรักษา หมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.28: ค่าความเป็นสีเหลืองของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน

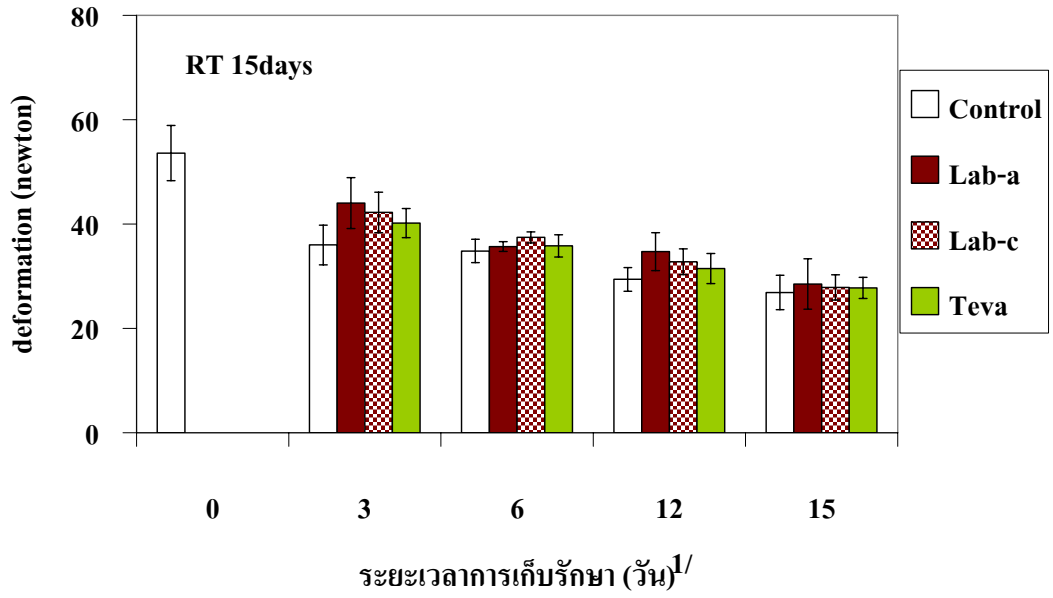
1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน.ในแต่ละวันของการเก็บรักษาหมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.1.4 Deformation

Deformation เป็นค่าของแรงที่กดลงบนผิวบริเวณด้านข้างของผลมะนาวด้วยระยะทางการกดที่เท่ากันตลอดทุกครั้ง โดยผลของการกดต้องไม่ทำให้ผลมะนาวเปลี่ยนรูปไป ผลมะนาวที่ใช้แรงกดมากแสดงว่ามะนาวยังคงความสด ผลิตผลไม่เหี่ยว ในทางตรงข้ามถ้าผลมะนาวใช้แรงในการกดน้อย แสดงว่ามะนาวมีลักษณะเสื่อมสภาพ

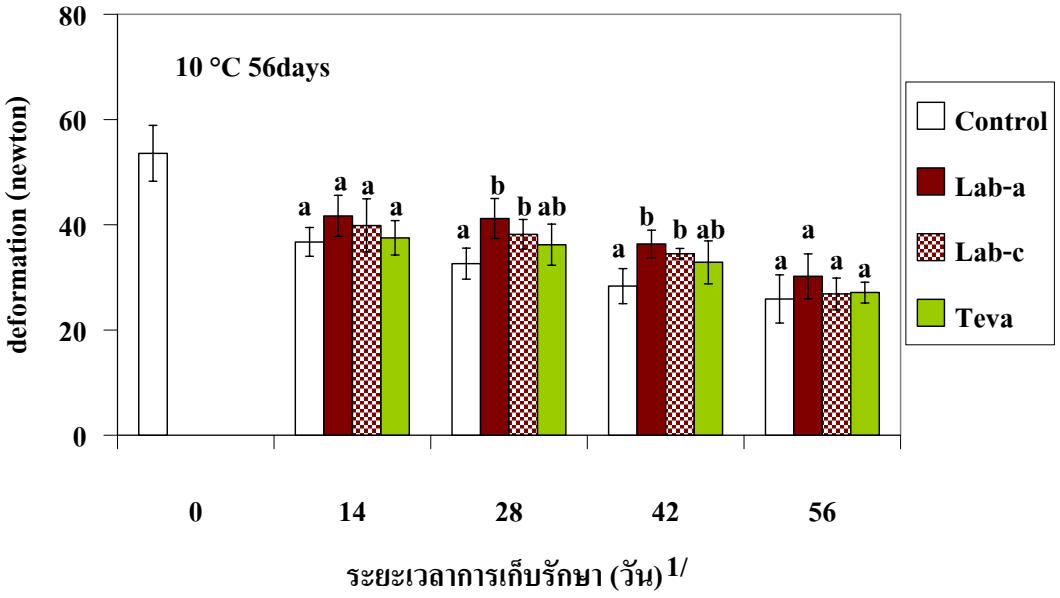
มะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C มี deformation ลดลง เนื่องจากมะนาวมีสีผิวเป็นสีเหลืองมากขึ้นทำให้ค่าแรงกดที่ใช้ลดลง (Valero และคณะ, 1998) โดยในช่วงการเจริญเติบโตขั้น color break ซึ่งมีลักษณะผิวสีเขียว ใช้ค่าแรงกดมากกว่าช่วงมะนาวที่มีสีเหลืองทั้งผล อาจเนื่องจากชั้น albedo ซึ่งเป็นลักษณะเยื่อขาวใต้ชั้นผิวของ flavedo โดยในช่วงของการเจริญแรกๆจะมีอยู่ร้อยละ 60 ถึง 90 ของปริมาณผล จากนั้นเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้นชั้น albedo จะกลายเป็นชั้นบางๆ (Spiegel-Roy และ Goldschmidt, 1996) ทำให้แรงกดที่ใช้มีค่าลดลง ซึ่งมะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน (รูปที่ 4.29) มี deformation ไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 56 วัน (รูปที่ 4.30) มะนาวที่เคลือบ และไม่ได้เคลือบมี deformation ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มของมะนาวที่เคลือบมีการลดลงของ deformation น้อยกว่าที่ไม่ได้เคลือบในวันที่ 28 และ 42 เนื่องจากการเคลือบผิวเป็นการดัดแปลงบรรยากาศจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซ มีผลลดการสูญเสียน้ำหนักและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวมะนาวจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ทำให้ชั้น albedo มีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทำให้แรงกดที่ใช้มีแนวโน้มต่ำกว่ามะนาวที่ไม่ได้เคลือบ



รูปที่ 4.29: Deformation ของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 4.30: Deformation ของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน

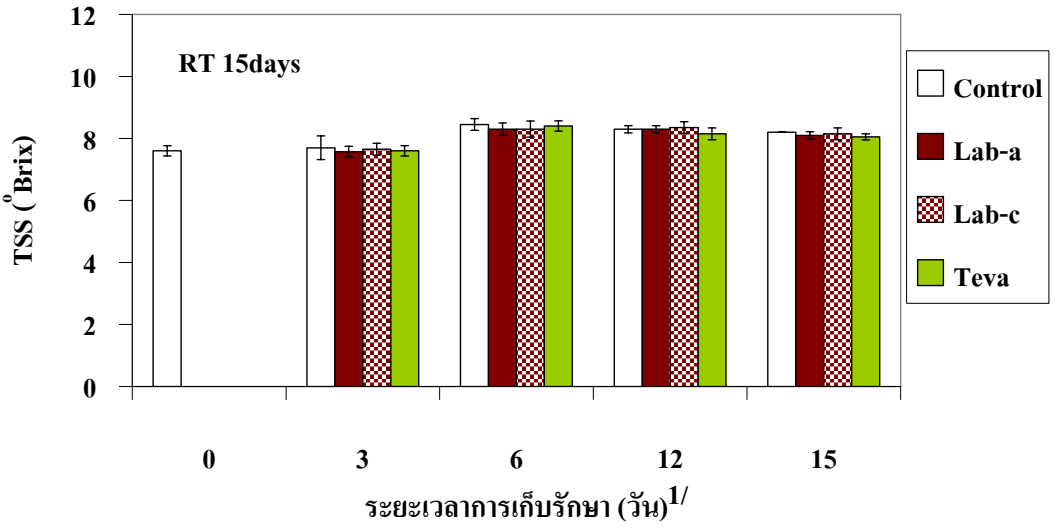
1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน.ในแต่ละวันของการเก็บรักษาหมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.2 อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

4.2.2.1 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด

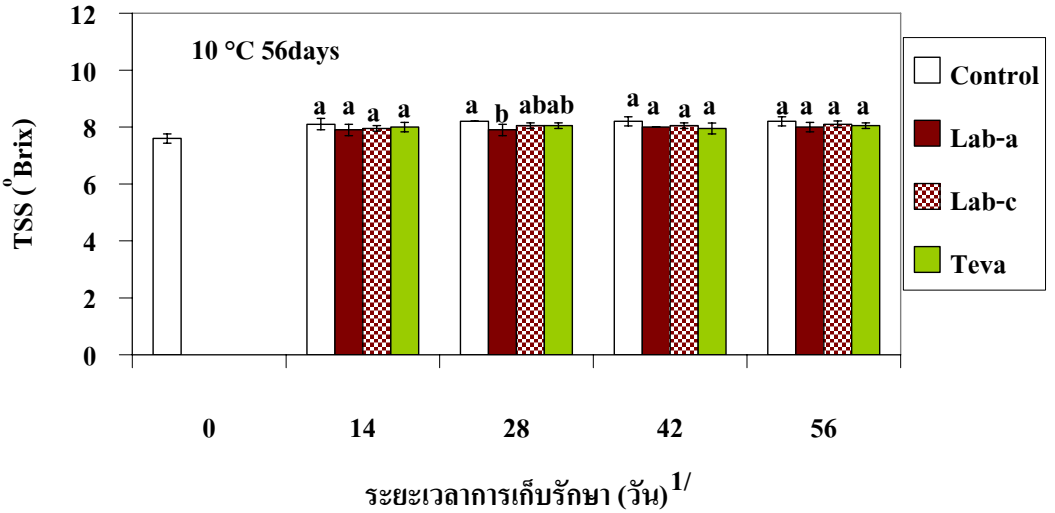
มะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน (รูปที่ 4.31) มีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกัน ทำนองเดียวกันกับมะนาวที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 56 วัน (รูปที่ 4.32) มะนาวที่เคลือบ และไม่ได้เคลือบมีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับอังคณา (2539) ทดลองเคลือบผิวมะนาวด้วยสารเคลือบ Sta-Fresh สารเคลือบกรดจิบเบอเรลริค และสารเคลือบผสมระหว่าง Sta-Fresh และกรดจิบเบอเรลริค เก็บรักษาในถุงพลาสติกเจาะรู 32 รูที่อุณหภูมิ 10 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 เป็นเวลา 50 วัน พบว่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกกลุ่มทดลอง เนื่องจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาวจะบอกถึงปริมาณของสารต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำมะนาว อาจประกอบด้วยกรดอินทรีย์ และน้ำตาล ซึ่งสารต่างๆเหล่านี้จำเป็นสำหรับกระบวนการหายใจ โดยความไม่แตกต่างกันของปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของมะนาวทุกทรีทเมนต์สอดคล้องกับผลการทดลองของอัตราการหายใจ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ นอกจากนี้การเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 °C มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการลดกิจกรรมของเอนไซม์ให้อยู่ในระดับต่ำ และค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.31: ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



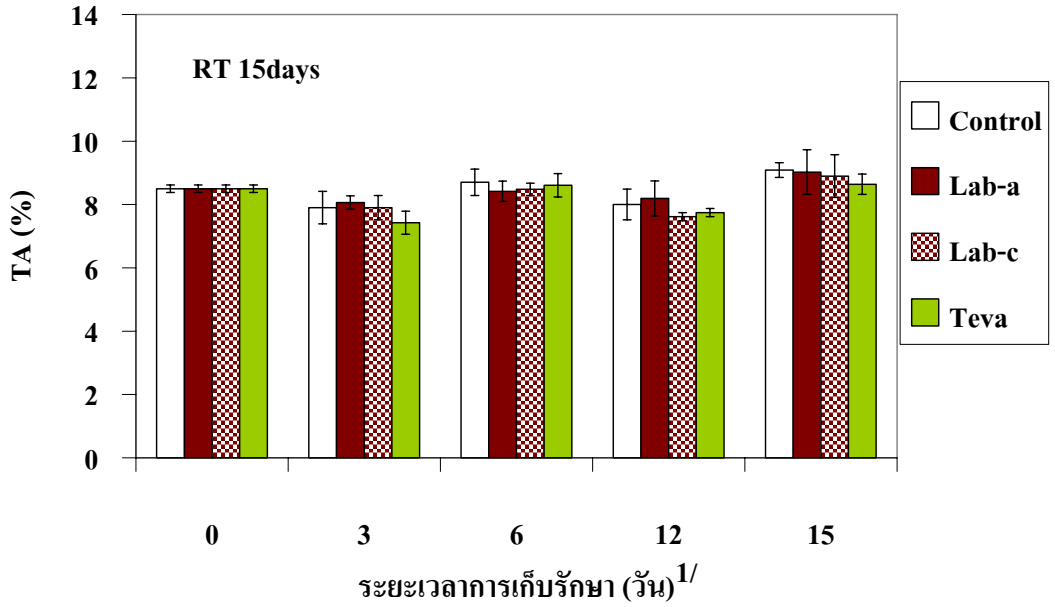
รูปที่ 4.32: ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน.ในแต่ละวันของการเก็บรักษาหมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.2.2 เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้

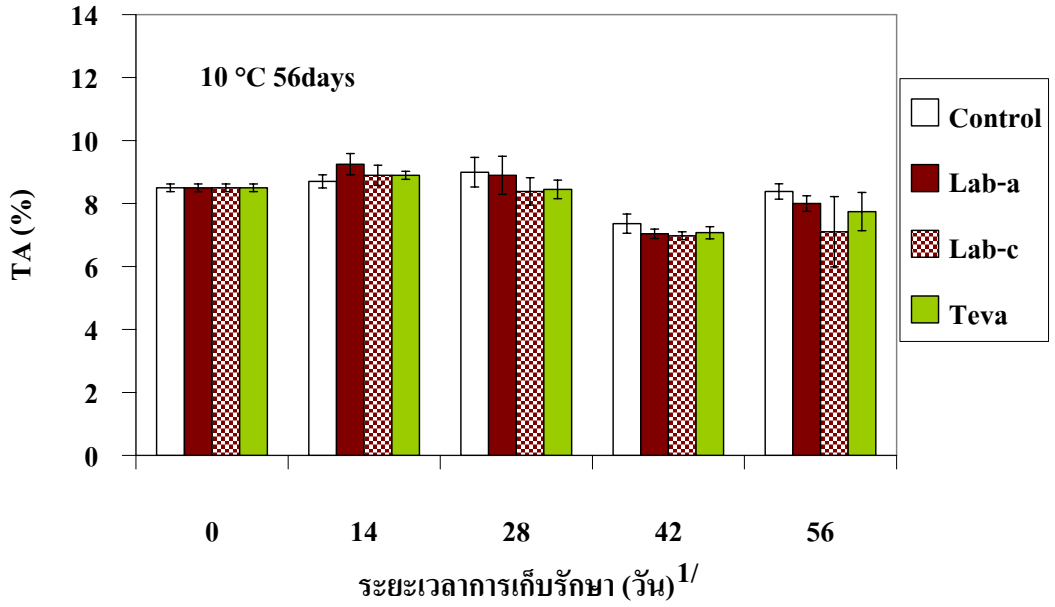
เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C (รูปที่ 4.33 และ4.34) มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวลดลงเป็นผลจากการหายใจของมะนาวที่ภายหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีการหายใจอยู่ได้มีการใช้กรดซิตริกที่อยู่ในรูปของเกลือซิเตรท (citrate) เป็นแหล่งพลังงานทดแทนคาร์โบไฮเดรตสะสมภายในเซลล์ ที่ลดลงในกระบวนการหายใจโดยผ่านทาง วัฐจักรเครบส์ (Kreb' cycle) ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน (William และ Brent, 1991) และวันสุดท้ายของการเก็บรักษาของทั้ง 2 อุณหภูมิให้ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันคือ มะนาวทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 4.33: ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-cและ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 4.34: ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะนาว เมื่อไม่ได้เคลือบสาร (Control) เคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน

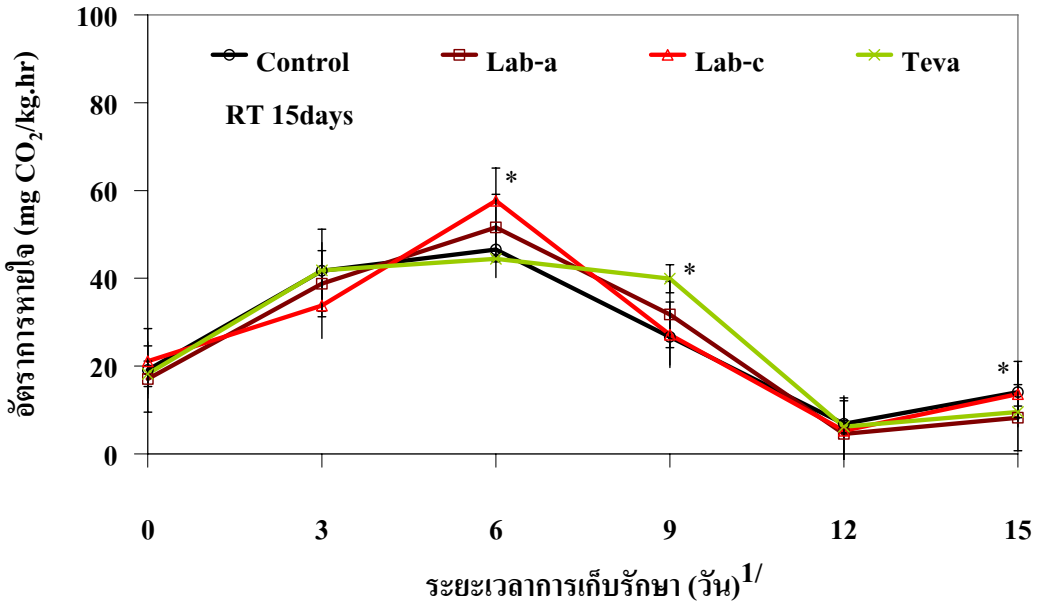
1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* แท่งกราฟไม่ปรากฏตัวอักษร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

4.2.3 อิทธิพลของสารเคลือบผิวต่ออัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

4.2.3.1 อัตราการหายใจ

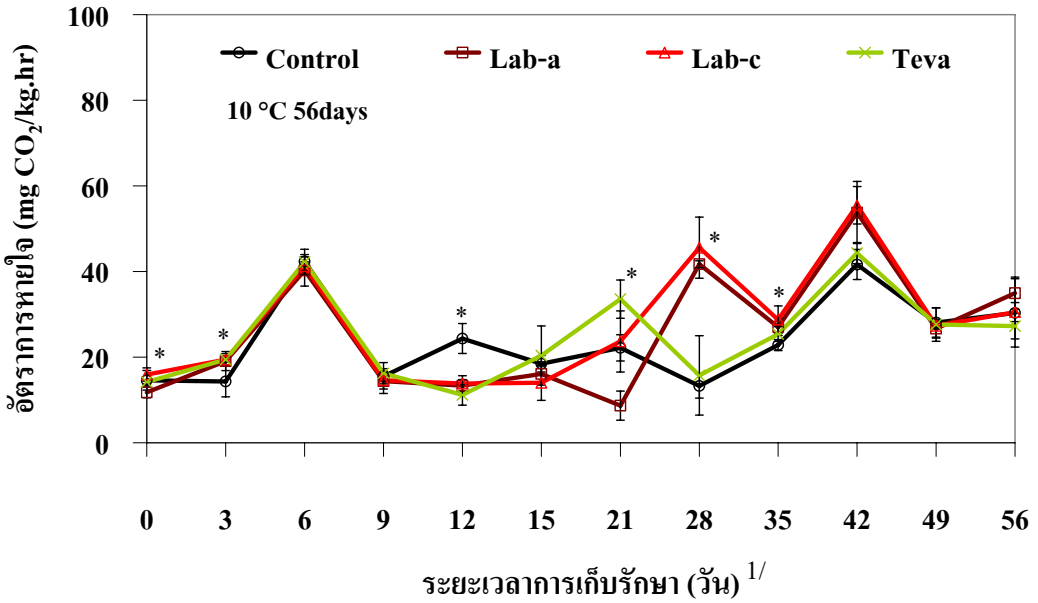
อัตราการหายใจของมะนาวในการทดลองวัดในรูปของการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมะนาวที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4.35) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 แล้วลดลงจนคงที่ในวันที่ 12 และ 15 สอดคล้องกับมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C (รูปที่ 4.36) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันที่ 28 ถึงวันที่ 42 แล้วลดลงจนคงที่ในวันที่ 49 และ 56 เนื่องจากมะนาวเป็นพืชในกลุ่มผักประเภท non-climacteric มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจน้อยเมื่อเทียบกับประเภท climacteric โดยอัตราการหายใจของพืชในส่วนที่กำลังเริ่มเจริญเติบโตจะสูง และลดต่ำลงเรื่อยๆเมื่อส่วนนั้นๆเจริญเติบโตเข้าสู่ความบริบูรณ์ทางสรีรวิทยา (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) ซึ่งอัตราการหายใจของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอยู่ในช่วง 10-60 $mgCO_2/kg.hr$ มีช่วงอัตราการหายใจที่มากกว่ามะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำที่มีช่วงเท่ากับ 15-50 $mgCO_2/kg.hr$ เนื่องจากการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิสูงมีผลในการเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆทำให้อัตราการหายใจสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยพบว่ามะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วันมีอัตราการหายใจไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C มะนาวที่เคลือบ และไม่ได้เคลือบมีอัตราการหายใจไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.35: อัตราการหายใจของมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* มะนาวที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



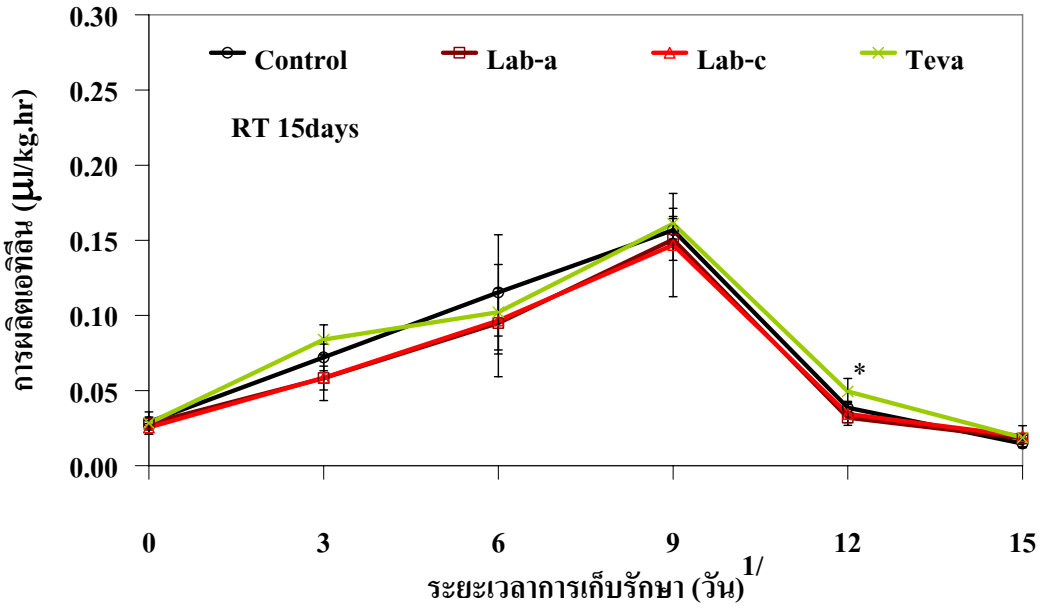
รูปที่ 4.36: อัตราการหายใจของมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% เป็นระยะเวลา 56 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* มะนาวที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.3.2 การผลิตเอทิลีน

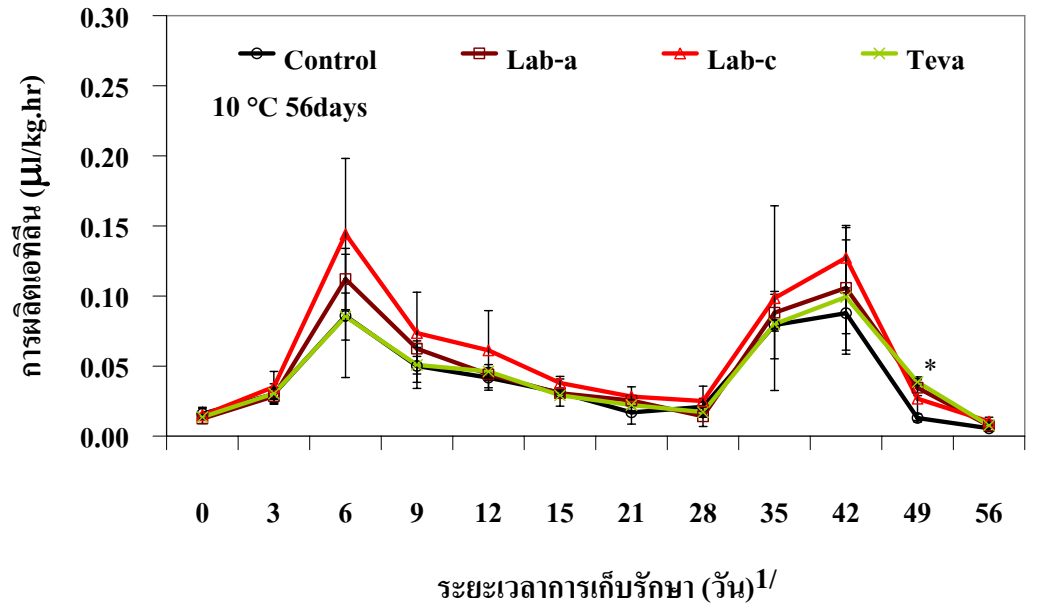
การผลิตเอทิลีนของมะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4.37) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 9 แล้วลดลงจนเริ่มคงที่ในวันที่ 12 และ 15 สอดคล้องกับมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C (รูปที่ 4.38) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 28 จนถึงวันที่ 42 แล้วลดลงจนเริ่มคงที่ในวันที่ 49 และ 56 เนื่องจากมะนาวเป็นพืชในกลุ่มผักประเภท non-climacteric จะมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณค่อนข้างต่ำ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อผลนั้นผ่านช่วง postclimacteric ไปแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์เกิดการสลายตัว เป็นผลให้เกิดการผลิตเอทิลีนที่เกิดจากบาดแผล (wound ethylene) รวมทั้งอาจมีการผลิตเอทิลีนจากเชื้อราที่ติดมากับผลด้วย (สมโภชน์, 2540) โดยการผลิตเอทิลีนของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอยู่ในช่วง 0.01-0.16 $\mu l C_2H_4/kg.hr$ มากกว่าการผลิตเอทิลีนของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C ที่อยู่ในช่วง 0.01-0.14 $\mu l C_2H_4/kg.hr$ ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับอัตราการหายใจ เนื่องจากการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิสูงมีผลในการเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆทำให้มีการผลิตเอทิลีนสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และมะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วันมีการผลิตเอทิลีนไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C มะนาวที่เคลือบ และไม่ได้เคลือบมีการผลิตเอทิลีนไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.37: อัตราการผลิตเอทิลีนของมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% เป็นระยะเวลา 15 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* มะนาวที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.38: อัตราการผลิตเอทิลีนของมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร Lab-a, Lab-c และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2% เป็นระยะเวลา 56 วัน

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* มะนาวที่เก็บรักษาในทรีทเมนต์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.4 คุณภาพในการรับประทาน

การประเมินคุณภาพในการรับประทานเป็นการประเมินโดยใช้ผู้ชิม 10 คน โดยใช้แบบสอบถามที่แสดงไว้ในภาคผนวก การใช้ผู้ชิมสามารถรับรู้ลักษณะภายนอก กลิ่น-รส และเนื้อสัมผัสได้ในเวลาเดียวกัน โดยเป็นการทดสอบจากคุณลักษณะของ ความมัน สีผิวผล กลิ่นหอม ความขม ความเปรี้ยว กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบของผู้บริโภค ซึ่งต่างจากการวัดโดยใช้เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งสามารถวัดได้ทีละอย่างเท่านั้น ตารางที่ 4.5 และ 4.6 แสดงผลคะแนนคุณภาพในการรับประทานของผลทุเรียนสุกที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15°C สามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

4.2.4.1 ความมันเงา

คะแนนความมันเงาของมะนาวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ตารางที่4.5) และอุณหภูมิ 10 °C (ตารางที่4.6) มีแนวโน้มลดลง และมีความแตกต่างกัน เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปมะนาวเกิดการเสื่อมสภาพ และสารเคลือบที่เคลือบไว้บางบริเวณอาจหลุดออก โดยมะนาวที่เคลือบด้วยสารเคลือบจะมีคะแนนความมันเงามากกว่ามะนาวที่ไม่ได้เคลือบ แสดงว่าสารเคลือบสามารถเพิ่มความมันเงาให้กับมะนาวที่เคลือบได้อย่างเด่นชัด นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความมันเงาระหว่างสูตรสารเคลือบ เมื่อทดสอบชิมในวันที่ 12 และ 15 ผลมะนาวที่เคลือบด้วยสูตร Lab-a และ Teva มีความแตกต่างกับผลมะนาวที่เคลือบด้วยสูตร Lab-c เนื่องจากสารเคลือบ Lab-c มีเปอร์เซ็นต์ของผงเชลแล็กในสารเคลือบน้อยกว่า Lab-a จึงเป็นผลให้ความมันเงาของผลมะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a มีมากกว่า และความมันเงาของมะนาวที่เคลือบเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 ^{0}C มีคะแนนความมันเงามากกว่ามะนาวที่ไม่ได้เคลือบแต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมะนาวที่เคลือบด้วยสารเคลือบทั้งสามสูตรพบว่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าความมันเงาของสารเคลือบแต่ละสูตรเมื่อมองด้วยตาไม่สามารถบอกความแตกต่างได้

4.2.4.2 สีผิวผล

คะแนนสีผิวผลของมะนาวทุกทรีทเมนต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้นทำให้มะนาวเกิดการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น ผลิตผลเหี่ยวย่น แต่มะนาวที่เคลือบ และไม่ได้เคลือบมีคะแนนสีผิวผลไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการเคลือบไม่สามารถทำให้ผู้บริโภคเห็นว่าสีผิวผลมีความแตกต่างกันได้ ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับการวัดสีที่ให้ผลไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผลมะนาวทุกทรีทเมนต์

4.2.4.3 กลิ่นหอม

มะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C มีคะแนนกลิ่นหอมไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการเคลือบผิวไม่มีผลต่อกลิ่นหอมของมะนาว หรือผู้บริโภคไม่สามารถบอกความแตกต่างของกลิ่นหอมของมะนาวที่เคลือบและไม่เคลือบได้

4.2.4.4 ความขม

คะแนนความขมของมะนาวจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค คะแนนความขมของมะนาวทุกทรีทเมนต์มีคะแนนค่อนข้างใกล้เคียงกัน และไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าการเคลือบไม่มีผลต่อความขมของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C ผู้บริโภคไม่สามารถบอกความแตกต่างของความขมของมะนาวที่เคลือบและไม่เคลือบได้

4.2.4.5 ความเปรี้ยว

คะแนนรสชาติความเปรี้ยวของมะนาวจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค คะแนนสูงบ่งบอกว่ามีรสเปรี้ยวมาก พบว่าคะแนนความเปรี้ยวของมะนาวทุกทรีทเมนต์ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 10 ^{0}C มีค่าไม่แตกต่างกัน

4.2.4.6 ความผิดปกติของกลิ่นและรสชาติ

คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติของมะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 10 °C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงว่าการเคลือบผิวมะนาวไม่มีผลต่อความผิดปกติ หรือไม่ส่งผลให้เกิดกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

4.2.4.7 ความชอบ

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมะนาวที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาด้วยวิธีการให้คะแนน คะแนนความชอบที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคไม่แตกต่างกัน แสดงว่าทั้งมะนาวที่เคลือบและไม่ได้เคลือบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C การยอมรับของผู้บริโภคก็ยังเหมือนเดิม

ตารางที่ 4.5: คะแนนคุณลักษณะเฉลี่ยของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

คุณลักษณะ	ทรีทเมนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)[1/]			
		3 วัน	6 วัน	12 วัน	15 วัน
ความมันเงา	Control (ไม่เคลือบ)	1.4±1.17a	1.3±0.67a	0.8±0.63a	0.9±0.57a
(คะแนน)	Lab-a	3.9±0.74c	3.9±1.08b	3.7±0.95b	3.8±0.79b
	Lab-c	3.2±0.92b	3.5±0.97b	2.4±1.26c	2.5±0.71c
	Teva	4.2±0.63bc	3.7±0.95b	3.5±0.53b	3.7±0.95b
	F-test	*	*	*	*
	CV (%)	43.90	43.09	55.63	51.22
กลิ่น	Control (ไม่เคลือบ)	3.4±1.07	3.7±1.16	3.4±1.35	4.4±0.70
(คะแนน)	Lab-a	3.6±1.26	3.5±1.35	3.9±0.99	3.9±1.29
	Lab-c	3.3±1.25	3.7±1.25	4.0±1.05	3.6±1.43
	Teva	3.9±1.10	4.3±0.67	3.3±1.16	3.7±1.06
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	32.50	29.92	31.36	29.49
สีผิวผล	Control (ไม่เคลือบ)	4.3±1.03	3.4±0.97	2.9±0.70	2.7±0.82
(คะแนน)	Lab-a	4.1±0.94	3.4±0.52	2.8±0.63	2.6±0.52
	Lab-c	4.0±0.97	3.5±0.85	2.9±0.70	2.6±0.46
	Teva	4.1±0.74	3.2±0.79	3.0±0.67	2.5±0.47
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	21.86	22.50	22.94	21.98
ความขม	Control (ไม่เคลือบ)	1.2±0.92	1.3±1.16	1.4±0.84	1.1±0.88
(คะแนน)	Lab-a	1.3±1.34	1.4±1.35	1.1±0.99	1.0±0.94
	Lab-c	1.4±0.97	1.0±0.82	1.0±0.79	1.0±0.67
	Teva	1.5±0.85	0.9±0.88	1.2±0.82	1.3±0.82
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	74.17	91.41	71.82	73.65

ตารางที่ 4.5: (ต่อ)

คุณลักษณะ	ทรีทเมนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)[1/]			
		3 วัน	6 วัน	12 วัน	15 วัน
ความเปรี้ยว	Control (ไม่เคลือบ)	3.8±1.03	4.3±0.82	4.2±0.63	4.3±0.82
(คะแนน)	Lab-a	4.0±0.94	4.4±0.88	4.6±0.52	4.2±1.03
	Lab-c	3.6±1.17	4.1±0.84	4.3±0.82	4.5±0.71
	Teva	4.0±0.94	4.4±0.74	4.4±0.52	4.1±0.99
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	26.01	18.94	14.35	20.51
ความผิดปกติ	Control (ไม่เคลือบ)	0.3±0.67	0.2±0.42	0.1±0.32	0.4±0.52
ของกลิ่นและรสชาติ	Lab-a	0.2±0.42	0.4±0.70	0.3±0.67	0.4±0.52
(คะแนน)	Lab-c	0.2±0.42	0.3±0.67	0.1±0.32	0.3±0.48
	Teva	0.2±0.42	0.1±0.32	0.2±0.42	0.2±0.42
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	213.21	217.21	255.14	145.95
ความชอบ	Control (ไม่เคลือบ)	3.5±1.08	3.0±1.05	2.9±0.99	2.5±1.65
(คะแนน)	Lab-a	4.0±0.67	3.8±1.32	3.1±1.20	2.9±0.74
	Lab-c	3.7±1.16	3.9±0.88	3.2±0.67	2.8±1.23
	Teva	3.6±1.07	3.5±1.08	3.3±1.16	3.1±0.99
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	26.82	31.22	32.43	41.57

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns มะนาวที่เก็บรักษาทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* มะนาวที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนความมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่ 4.6: คะแนนคุณลักษณะเฉลี่ยของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ^{0}C จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

คุณลักษณะ	ทรีทเมนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)[1/]			
		14 วัน	28 วัน	42 วัน	56 วัน
ความมันเงา	Control (ไม่เคลือบ)	1.4±0.70a	1.0±0.67a	1.3±1.82a	0.8±0.79a
(คะแนน)	Lab-a	4.0±0.67b	3.8±0.35b	4.0±0.74b	3.4±0.52b
	Lab-c	3.1±0.74b	2.8±0.63b	2.8±1.03b	2.6±0.70b
	Teva	3.9±0.82b	3.5±0.54b	3.5±0.63b	3.0±0.84b
	F-test	*	*	*	*
	CV (%)	40.54	44.13	44.70	48.87
กลิ่น	Control (ไม่เคลือบ)	3.1±1.10	4.1±0.99	3.6±0.84	4.0±0.94
(คะแนน)	Lab-a	3.4±1.35	3.5±1.18	4.3±0.67	4.0±0.67
	Lab-c	3.6±0.70	3.4±1.26	3.8±1.23	3.6±1.07
	Teva	3.7±1.06	3.8±0.92	3.7±1.06	3.7±0.82
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	33.34	29.48	25.33	22.84
สีผิวผล	Control (ไม่เคลือบ)	4.5±0.58	3.8±0.63	2.8±0.59	2.6±0.70
(คะแนน)	Lab-a	4.1±0.74	3.5±0.47	2.6±0.74	2.5±0.53
	Lab-c	4.1±0.61	3.5±0.71	2.8±0.59	2.8±0.63
	Teva	4.3±0.67	3.3±0.67	2.6±0.78	2.6±0.52
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	22.31	23.65	17.87	15.30
ความขม	Control (ไม่เคลือบ)	1.5±0.97	1.1±0.88	1.1±0.99	1.4±0.97
(คะแนน)	Lab-a	0.9±0.99	1.2±1.40	0.6±0.70	1.0±0.94
	Lab-c	1.2±0.79	1.2±0.92	1.6±1.07	0.9±0.99
	Teva	1.3±0.95	1.3±0.95	1.2±1.32	1.2±0.92
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	149.44	84.82	94.82	83.45

ตารางที่ 4.6: (ต่อ)

คุณลักษณะ	ทรีทเมนต์	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)[1/]			
		14 วัน	28 วัน	42 วัน	56 วัน
ความเปรี้ยว	Control (ไม่เคลือบ)	4.0±0.82	4.0±0.82	4.0±0.67	4.2±0.79
(คะแนน)	Lab-a	3.8±1.32	4.1±0.74	4.2±0.79	4.2±1.03
	Lab-c	3.9±1.10	4.2±0.79	4.2±1.03	4.1±0.88
	Teva	3.9±0.88	3.9±1.10	4.3±0.67	4.0±0.82
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	25.84	20.88	18.70	20.68
ความผิดปกติ	Control (ไม่เคลือบ)	0.2±0.42	0.2±0.42	0.1±0.32	0.3±0.48
ของกลิ่นและรสชาติ	Lab-a	0.2±0.42	0.3±0.67	0.2±0.63	0.4±0.52
(คะแนน)	Lab-c	0.1±0.32	0.1±0.32	0.1±0.32	0.3±0.48
	Teva	0.2±0.42	0.3±0.67	0.1±0.32	0.2±0.42
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	241.08	235.77	323.44	154.70
ความชอบ	Control (ไม่เคลือบ)	3.2±1.03	3.6±1.35	3.3±0.95	2.4±1.17
(คะแนน)	Lab-a	3.9±0.57	3.4±1.43	3.1±0.88	2.9±0.74
	Lab-c	3.7±0.82	4.0±1.05	2.6±0.70	2.7±1.06
	Teva	3.6±0.70	3.8±1.03	3.5±1.27	2.9±0.99
	F-test	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	19.17	32.50	31.74	36.21

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns มะนาวที่เก็บรักษาทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* มะนาวที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์มีคะแนนความมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงคะแนนความมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

มะนาวทุกทรีทเมนต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีความสว่าง (L) ความเป็นสีเขียว (a) ความเป็นสีเหลือง (b) Deformation ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนไม่มีความแตกต่างกัน แต่การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวที่เคลือบให้ผลการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวดีกว่า และแตกต่างกับที่ไม่ได้การเคลือบ โดยมะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a และTeva มีแนวโน้มการยืดอายุที่ดีกว่า เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า และแตกต่างกับมะนาวที่เคลือบด้วย Lab-c (ตารางที่ 4.7) สอดคล้องกับมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C มะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a และ Teva มีความแตกต่างกับมะนาวที่เคลือบด้วย Lab-c แต่มะนาวทุกทรีทเมนต์มีความสว่าง (L) ความเป็นสีเขียว (a) ความเป็นสีเหลือง (b) Deformation ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.8) นอกจากนี้ความมันเงาบนผิวมะนาวทั้ง 2 อุณหภูมิยังพบว่ามะนาวที่ได้รับการเคลือบมีความมันเงาสวยงามกว่ามะนาวที่ไม่ได้รับการเคลือบ และเนื่องจากมะนาวที่เคลือบด้วย Teva มีการหลุดลอกของสารเคลือบทำให้ Lab-a มีแนวโน้มการเลือกนำมาใช้ที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.7: ผลเปรียบเทียบระหว่างวัตถุพิสัย และจิตพิสัยของมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วยสูตร Lab-a Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 % เป็นระยะเวลา 15 วัน

วัตถุพิสัย	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	**จิตพิสัย**	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4
ความสว่าง	Lab-a Lab-b และ Teva			Control	ความมันเงา	Lab-a และ Teva		Lab-c	Control
สีผิวผล	Control Lab-a Lab-c และ Teva				สีผิวผล	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด	Control Lab-a Lab-c และ Teva				ความเปรี้ยว	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
การสูญเสียน้ำหนัก	Lab-a และ Teva		Lab-c	Control	ความขม	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
Deformation	Control Lab-a Lab-c และ Teva				กลิ่นหอม	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	Control Lab-a Lab-c และ Teva				กลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
อัตราการหายใจ	Control Lab-a Lab-c และ Teva				ความชอบโดยรวม	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
อัตราการผลิตเอทิลีน	Control Lab-a Lab-c และ Teva								

หมายเหตุ ลำดับที่ 1 แสดงคุณภาพที่ดีที่สุด ลำดับที่ 4 แสดงคุณภาพที่ด้อยที่สุด

←→ แสดงคุณภาพที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.8: ผลเปรียบเทียบระหว่างวัตถุพิสัย และจิตพิสัยของมะนาวเมื่อไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วยสูตร Lab-a Lab-b และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ความชื้นสัมพัทธ์ 86±2 % เป็นระยะเวลา 56 วัน

วัตถุพิสัย	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	**จิตพิสัย**	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4
ความสว่าง	Control Lab-a Lab-c และ Teva				ความมันเงา	Lab-a Lab-c และ Teva			Control
สีผิวผล	Control Lab-a Lab-c และ Teva				สีผิวผล	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด	Control Lab-a Lab-c และ Teva				ความเปรี้ยว	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
การสูญเสียน้ำหนัก	Lab-a และ Teva		Lab-c	Control	ความขม	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
Deformation	Control Lab-a Lab-c และ Teva				กลิ่นหอม	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	Control Lab-a Lab-c และ Teva				กลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
อัตราการหายใจ	Control Lab-a Lab-c และ Teva				ความชอบโดยรวม	Control Lab-a Lab-c และ Teva			
อัตราการผลิตเอทิลีน	Control Lab-a Lab-c และ Teva								

หมายเหตุ ลำดับที่ 1 แสดงคุณภาพที่ดีที่สุด ลำดับที่ 4 แสดงคุณภาพที่ด้อยที่สุด

←→ แสดงคุณภาพที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3 ลักษณะสมบัติของสารเคลือบ

สมบัติทางความร้อนที่สำคัญของการใช้สารเคลือบ ได้แก่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ซึ่งสามารถบอกได้ว่าฟิล์มเคลือบมีสถานะอย่างไรที่อุณหภูมิในการใช้งาน สมบัติทางกายภาพคือความทนแรงดึง (tensile strength) และการยืดตัว (% elongation) จะบอกถึงลักษณะความแข็งแรง ความยืดหยุ่นของฟิล์มเคลือบ และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบจะสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนักของผลไม้ นอกจากนี้การศึกษาสมบัติต่างๆของสารเคลือบสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนา และปรับปรุงสูตรต่อไป

4.3.1 ลักษณะของฟิล์มเคลือบ

สูตรสารเคลือบต่างๆถูกนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มบาง และทำการสังเกต บันทึกลักษณะทางกายภาพ สี และกลิ่นของสารเคลือบแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเคลือบที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ (รูปที่ 4.39)

สูตรสารเคลือบ	ลักษณะทั่วไป
Lab-a	ฟิล์มมีสีเหลืองเข้มปนน้ำตาล มีกลิ่นของแอมโมเนียที่ใช้เป็นตัวทำละลายเล็กน้อย
Lab-b	ไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ ลักษณะเป็นเจลเปราะมีสีเหลืองอมน้ำตาล มีกลิ่นของแอมโมเนียที่ใช้เป็นตัวทำละลายเล็กน้อย
Lab-c	ฟิล์มมีสีเหลืองออกไปทางน้ำตาล มีกลิ่นของแอมโมเนียที่ใช้เป็นตัวทำละลายเล็กน้อย
Lab-d	ฟิล์มมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นของแอมโมเนียที่ใช้เป็นตัวทำละลายเล็กน้อย
Teva	ไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้มีสีน้ำตาล มีกลิ่นสารละลายฉุนกว่าสูตรอื่น

ลักษณะฟิล์มเคลือบของสูตร Lab-a Lab-c และ Lab-d เหมือนกันคือมีลักษณะสีเหลืองน้ำตาล มีความยืดหยุ่น แตกต่างกันตรงความเข้มของสีที่ปรากฏ เนื่องจากปริมาณเชลแล็กที่ละลายอยู่ในสารละลายไม่เท่ากัน ขณะที่ฟิล์มเคลือบ Lab-b มีลักษณะเป็นเจล เปราะ และ Teva มีลักษณะแตกเป็นเกร็ด (รูปที่ 4.39) ดังนั้นสารเคลือบ Lab-a Lab-c และ Lab-d สามารถปกคลุมผิวผลไม้ได้ดีกว่าสารเคลือบ Lab-b และ Teva เนื่องจากมีความยืดหยุ่น ดึงแล้วไม่ขาดทันทีเหมือนสูตร Lab-b และไม่แตกเป็นเกร็ดเหมือน Teva ทำให้เมื่อนำมาเคลือบบนผิวผลไม้แล้วสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก จำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซ ที่มีผลต่อชีวเคมีภายในผลิตผลที่มีต่อกระบวนการสุกของผลไม้ได้ดีกว่าสารเคลือบทั้งสองสูตร

Lab-a

Lab-b

Lab-c

Lab-d

Teva

รูปที่ 4.39: ลักษณะของสารเคลือบสูตรต่างๆที่เตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-b, Lab-c และLab-d) และสารเคลือบทางการค้า (Teva) เมื่อถูกนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มบาง

4.3.2 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนมีความสำคัญต่อสารเคลือบผิวผลไม้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับลักษณะของฟิล์มเคลือบที่อุณหภูมิใช้งาน

อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) คืออุณหภูมิของพอลิเมอร์เปลี่ยนสถานะจากของแข็งคล้ายแก้ว (glasslike) เป็นของแข็งคล้ายยาง (rubberlike) เนื่องจากปริมาณความร้อนทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนไหว โดยที่ต่ำกว่า Tg พอลิเมอร์จะมีความใส แข็ง และเปราะเหมือนแก้ว (เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, 2546) จากตารางที่ 4.10 ค่า Tg ของสารเคลือบทางการค้า (Teva) เท่ากับ 59 °C และผงเชลแล็ก (food grade) มีค่า Tg เท่ากับ 41.4 °C โดยค่า Tg ของสารเคลือบสูตร Lab-a, Lab-c, และ Lab-d ที่มีสารละลายแอมโมเนียเป็นตัวทำละลายและมีผงเชลแล็กตัวนี้ละลายอยู่เป็นส่วนประกอบ 15, 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักอยู่ที่ 32, 31.8 และ 35.1 °C ตามลำดับ เห็นได้ว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 สูตรและต่ำกว่าผงเชลแล็ก เนื่องจากสารละลายเชลแล็ก 3 สูตรนี้มีส่วนประกอบของกรดโอเลอิค ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ซึ่งสามารถแทรกตัวอยู่ภายในสายโซ่โมเลกุลของเชลแล็กทำให้ปริมาตรว่างเพิ่มขึ้น โมเลกุลของเชลแล็กไม่สามารถจัดตัวเป็นระเบียบ ทำให้ปริมาณความร้อนเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลน้อยลง ค่า Tg จึงมีค่าลดลง สอดคล้องกับทฤษฎีปริมาตรว่าง (free-volume theory) อธิบายว่า พลาสติไซเซอร์จะเพิ่มที่ว่าง หรือปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น (อรอุษา สรวารี, 2546) สารที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการสูตร Lab-b ไม่ปรากฏค่า Tg จากการวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิ -20 °C ถึง 80 °C (ดูภาคผนวก ข) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสูตร Lab-b ที่มีส่วนประกอบของ PEG (พอลิเอทิลีนไกลคอล) 10 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันซิลิโคน (antifoam) 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า Tg ที่ต่ำมากกว่า -20 °C หรือไม่สามารถหาค่า Tg ได้จากช่วงอุณหภูมิ หรือสภาวะที่ทดสอบ

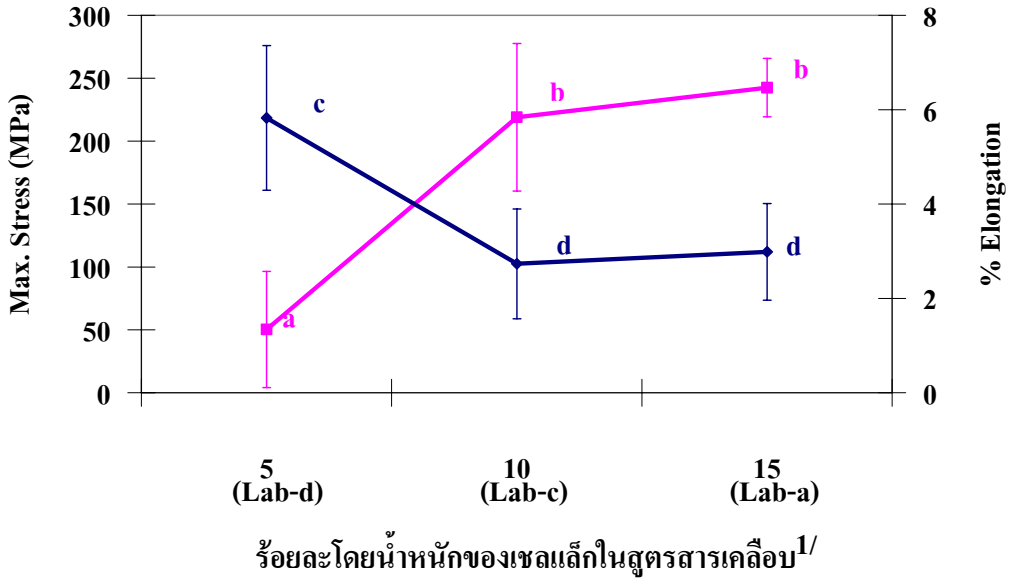
ตารางที่ 4.10: ข้อมูลสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ (Lab-a, Lab-b, Lab-c, Lab-d) และสารเคลือบทางการค้า (Teva)

สูตร	Shellac (%w/w)	Oleic acid (%w/w)	PEG (%w/w)	Antifoam (%w/w)	PE (%w/w)	Tg (°C)	ความทนแรงดึง (MPa)	การยืดตัว (%)	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ $X10^{-10}$ $(g\text{-}m/s\text{-}m^2\text{-}Pa)$
Lab-a	15	1	-	-	-	32.0	242.54	2.99	4.29
Lab-b	15	1	10	0.1	-	n/a	n/a	n/a	n/a
Lab-c	10	1	-	-	-	31.8	218.96	2.73	13.24
Lab-d	5	1	-	-	-	35.1	50.32	5.83	18.13
Teva	•	-	-	-	•	59.0	n/a	n/a	n/a

4.3.3 สมบัติทางกล

สมบัติทางกลของสารเคลือบ เช่นความทนแรงดึง (tensile strength) และการยืดตัว (% elongation) มีผลต่อความยืดหยุ่น และความเหนียวของสารเคลือบเมื่อปกคลุมที่ผิวของผลไม้

สารเคลือบผิวทางการค้า (Teva) ไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้มีลักษณะแตกเป็นชิ้นๆ และสารเคลือบผิวสูตร Lab-b เมื่อฟิล์มแห้งแล้วมีลักษณะเหนียวเป็นเจล เปราะ ดึงออกมาจะขาดทันที (รูปที่ 4.39) ส่วนสารเคลือบผิวอีก 3 สูตรที่เหลือคือ Lab-a, Lab-c และ Lab-d มีความหนาของฟิล์มเท่ากับ 1.192, 0.904 และ 0.384 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยมีค่าความทนแรงดึง (tensile strength) เท่ากับ 242.54, 218.96 และ 50.32 MPa และการยืดตัว (% elongation) เท่ากับ 2.99, 2.73 และ 5.83% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) ซึ่งสารเคลือบผิวสูตร Lab-d มีค่าความทนแรงดึงน้อยกว่าสูตร Lab-a (เชลแล็ก 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และ Lab-c (เชลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และการยืดตัวสูตร Lab-d มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมากกว่าสูตร Lab-a และ Lab-c อย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.40) แสดง57’ความเข้มข้นของปริมาณเชลแล็กที่มีผลต่อความทนแรงดึง และการยืดตัวของฟิล์ม



รูปที่ 4.40: ค่าความทนแรงดึง (■) และการยืดตัว ◆) ของสารเคลือบที่มีเชลแล็กเป็นองค์ประกอบหลัก 5, 10 และ 15%โดยน้ำหนัก (n=5)

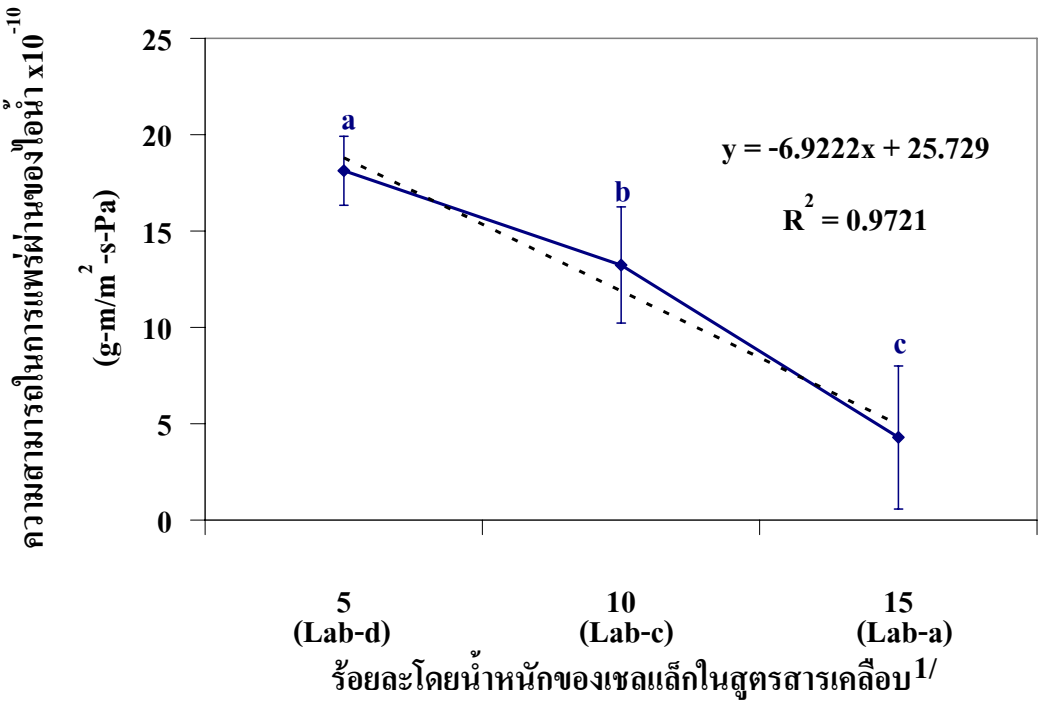
1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันหมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.3.4 ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

สารเคลือบเมื่อถูกเคลือบบนผิวของผลไม้แล้วจะทำหน้าที่คล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลไม้ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ เพราะผลไม้ส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลให้ลดการเหี่ยวย่น และการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล ซึ่งมีส่วนในกระบวนการสุกของผลไม้ การทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆของไอน้ำทำโดยประยุกต์จากวิธีของ Jo และคณะ (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95

สารเคลือบที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d มีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ 4.29, 13.24 และ 18.13 g-m/m^2-s-Pa ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) โดย Lab-a (เชลแล็ก 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) มีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด และต่ำกว่าสูตร Lab-c (เชลแล็ก 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และ Lab-d (เชลแล็ก 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (รูปที่ 4.41) ดังนั้นความเข้มข้นของปริมาณเชลแล็กมีผลต่อความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ ผลการทดลองการเคลือบผิวทุเรียนด้วย Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าที่เคลือบด้วย Lab-b และ Teva ซึ่งสารเคลือบทั้ง 2 สูตรไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ ขณะที่มะนาวเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 °C ให้ผลที่เหมือนกันคือ การเคลือบผิวมะนาวด้วย Lab-a สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้มากกว่า Lab-c

กราฟความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงที่มีสมการ $y = -6.9222x + 25.729$ และ $R^2 = 0.9721$ ดังนั้นสามารถประมาณค่าการแพร่ผ่านของไอน้ำที่ค่าของเปอร์เซ็นต์เชลแล็กอื่นๆในสูตรสารเคลือบได้



รูปที่ 4.41: ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของสารเคลือบของสารเคลือบที่มีเชลแล็กเป็นองค์ประกอบหลัก 5, 10 และ 15% โดยน้ำหนัก (n=4)

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันหมายถึงคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

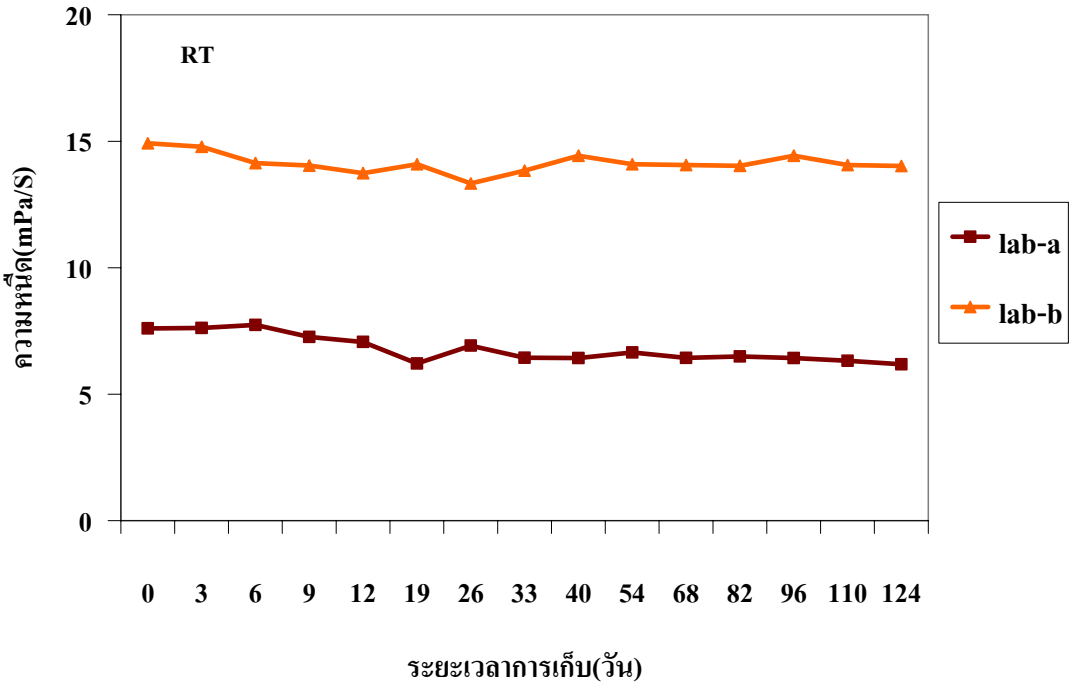
4.3.5 ความคงตัวของสารเคลือบ

งานวิจัยนี้ใช้การวัดความหนืด (viscosity) และค่า pH เพื่อทดสอบความคงตัวของสารเคลือบตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น โดยค่าความหนืดอาจแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสารละลาย การตกตะกอน หรือการเปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลของเชลแล็ก ส่วนค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงอาจเป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีที่อาจเกิดขึ้นในสารละลายที่เก็บไว้เป็นเวลานานๆ

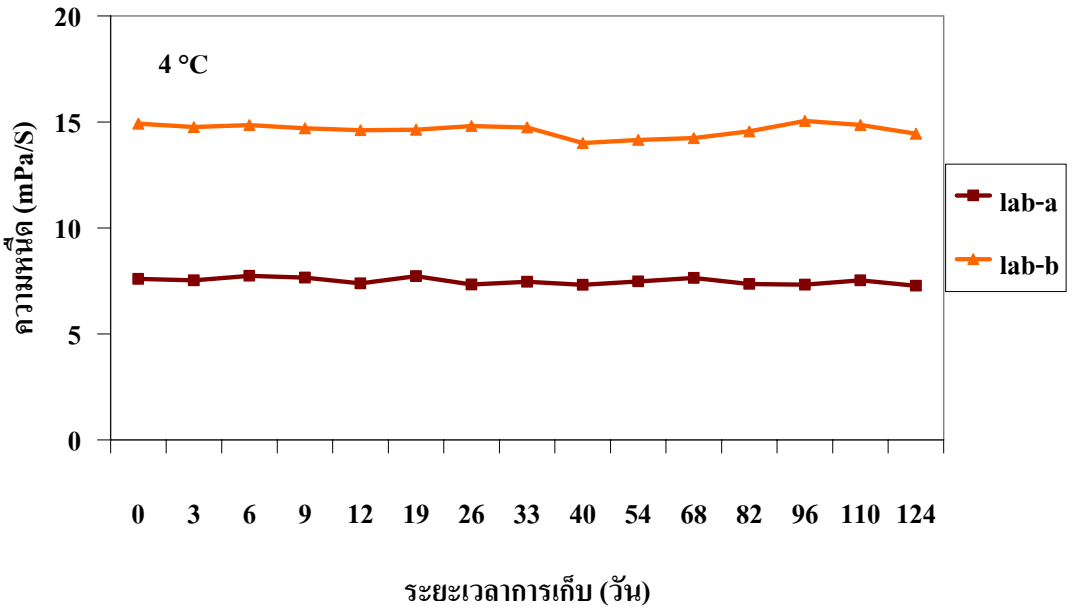
สารเคลือบที่นำมาทดสอบความคงตัวมี 2 สูตรคือ Lab-a และ Lab-b ทำการทดสอบ 2 อุณหภูมิคือ 30±5 °C และ 4 °C (อุณหภูมิตู้เย็น) โดยตรวจวัดความหนืดที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 25±3 °C ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษากว่า 3 เดือน การเปลี่ยนแปลงความหนืดของทั้ง 2 สูตรเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเพียงเล็กน้อย ที่อุณหภูมิ 30±5 °C สารเคลือบสูตร Lab-a มีความหนืดในช่วง 6.18-7.74 MPa/s และ Lab-b มีค่าความหนืดในช่วง 13.33-14.92 MPa/s (รูปที่ 4.42) และที่อุณหภูมิ 4 °C สารเคลือบสูตร Lab-a มีความหนืดในช่วง 7.27-7.72 MPa/s และ Lab-b มีค่าความหนืดในช่วง 14.01-14.92 MPa/s (รูปที่ 4.43) สอดคล้องกันทั้ง 2 อุณหภูมิสารเคลือบ Lab-b มีความหนืดสูงกว่า Lab-a อาจเนื่องมาจากพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และ silicone oil (antifoam)ทำให้องค์ประกอบภายในสารละลายเพิ่มขึ้น ขณะที่สารเคลือบ Lab-a มีเพียงกรดโอเลอิคเป็นพลาสติไซเซอร์

นอกจากนี้ความหนืดอาจสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลของเชลแล็ก หากสายโซ่ของเชลแล็กถูกตัดสั้นลง (depolymerized) จะทำให้สารละลายมีความหนืดลดลง ซึ่งจากการทดลองความหนืดค่อนข้างคงที่ทั้งสองอุณหภูมิ ทำให้สารเคลือบ Lab-a และ Lab-b ยังคงมีความคงตัวอยู่ที่ระยะเวลาการเก็บ 124 วัน

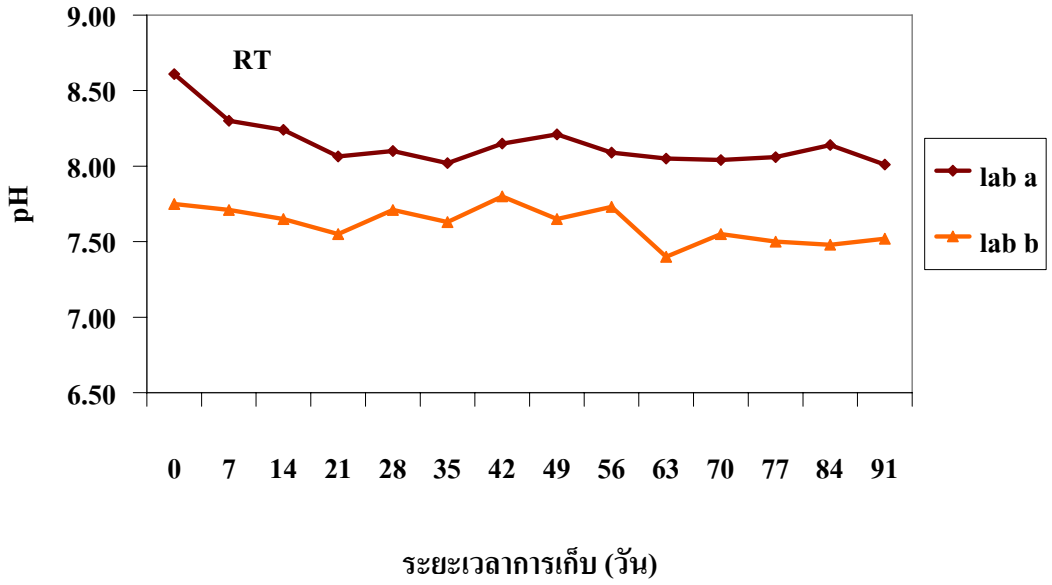
สารเคลือบสูตร Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30±5 °C มีค่า pH อยู่ระหว่าง 8.01-8.61 และสารเคลือบสูตร Lab-b มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.40-7.80 (รูปที่ 4.44) และที่อุณหภูมิ 4 °C สารเคลือบสูตร Lab-a มีค่า pH อยู่ระหว่าง 8.54-8.85 และสารเคลือบสูตร Lab-b มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.75-8.40 (รูปที่ 4.45) ซึ่งสารเคลือบสูตร Lab-b มีค่า pH ต่ำกว่า Lab-a เนื่องจากสัดส่วนของแอมโมเนียที่มีคุณสมบัติเป็นเบสต่ำกว่า เพราะพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และ silicone oil (antifoam) ที่เพิ่มเข้ามาในสูตร Lab-b โดยสารเคลือบทั้ง 2 สูตรเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่า pH ต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องแอมโมเนียระเหยออกไปได้มากกว่าอุณหภูมิ 4 °C ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนี้สารเคลือบสูตร Lab-b มีลักษณะเป็นไขเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 4 °C เนื่องจากเกิดการรวมตัวของพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และ silicone oil (antifoam) ขณะที่สารเคลือบสูตร Lab-a ไม่มีลักษณะนี้เกิดขึ้น



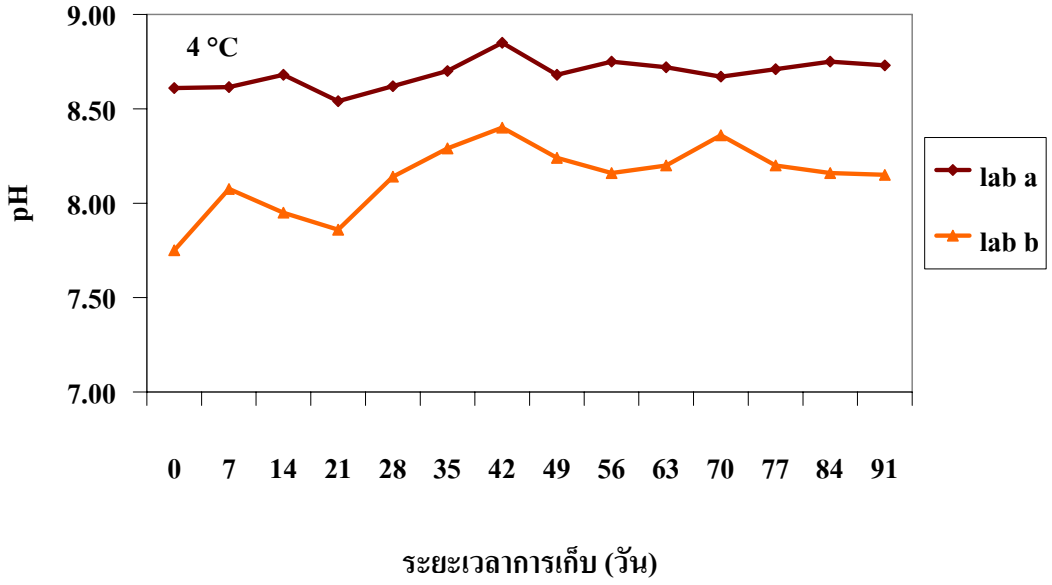
รูปที่ 4.42: ความหนืดของสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ที่อุณหภูมิ 30±5 °C (n=2)



รูปที่ 4.43: ความหนืดของสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ที่อุณหภูมิ 4 °C (n=2)



รูปที่ 4.44: ค่า pH ของสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ที่อุณหภูมิ 30±5 °C (n=2)



รูปที่ 4.45: ค่า pH ของสารเคลือบสูตร Lab-a และ Lab-b ที่อุณหภูมิ 4 °C (n=2)

4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตสารเคลือบ

จากผลการทดลองทั้งหมด 3 ส่วน คัดเลือกสูตร Lab-a เป็นสารเคลือบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนพันธุ์หมอนทอง และมะนาวพันธุ์แป้น ซึ่งสารเคลือบสูตรดังกล่าวมีส่วนผสมของเชลแล็ก 15% (w/w) + แอมโมเนีย 0.084% (w/w) + กรดโอเลอิค 1% (w/w) โดยมีราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารเคลือบดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11: ต้นทุนวัตถุดิบของสารเคลือบสูตร Lab-a สำหรับเคลือบผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองและมะนาวพันธุ์แป้น

วัสดุ	บริษัทผู้ผลิต	ราคา ต่อ หน่วย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (หน่วย) ต่อการผลิตสารเคลือบ 1 ลิตร	ราคาต่อการผลิตสารเคลือบ 1 ลิตร (บาท)
เชลแล็กขาว เกรดอาหาร	เอคเซลแล็คส์ จำกัด	300 / กิโลกรัม	150 กรัม	45
แอมโมเนีย เข้มข้น 30%	Panreac	202 / ลิตร	31.39 มิลลิลิตร	6.34
กรดโอเลอิค	Panreac	900 / ลิตร	11.20 มิลลิลิตร	10.08
น้ำกรอง	น้ำดื่ม ทรายทอง จำกัด	0.20 / ลิตร	830.16 มิลลิลิตร	0.17
			รวม	61.60

สารเคลือบสูตร Lab-a หนึ่งลิตร ใช้วัตถุดิบราคารวม 61.60 บาท ซึ่งในงานวิจัยนี้ทุเรียน 1 กิโลกรัมใช้สารเคลือบ 20 มิลลิลิตรคิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบ 1.23 บาท และการเคลือบมะนาว 1 กิโลกรัมใช้สารเคลือบ 30 มิลลิลิตรคิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบ 1.85 บาท

ปัจจุบันยังไม่มีการเคลือบทุเรียนขายในระดับการค้า แต่มีการเคลือบมะนาว และผลไม้ประเภทส้ม ดังตัวอย่างเช่น บริษัท นเรศไม้ผล จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่รับเคลือบเฉพาะส้ม มะนาว และเลมอน ที่ตลาดเอื้ออารี ตำบลหนองกระโดน อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ใช้สารเคลือบ Citra shine และ Zivdar โดยคิดราคาเคลือบ 1 บาทจากการใช้สารเคลือบ 1.43 มิลลิลิตรต่อการเคลือบส้ม 1 กิโลกรัม (20 ลิตรต่อการเคลือบส้ม 14,000 กิโลกรัม)

สารเคลือบ Lab-a มีราคาสารเคลือบคิดเฉพาะวัตถุดิบ 12,342 บาทต่อ 200 ลิตร ซึ่งจากองค์ประกอบในการประเมินต้นทุน (components of cost estimate) ที่มี 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของต้นทุนเงินทุน (capital cost) แบ่งออกได้เป็นต้นทุนเงินทุนคงที่ (fixed capital cost) เช่น ต้นทุนใน

การซื้ออุปกรณ์ในกระบวนการผลิต ค่าติดตั้งอุปกรณ์ และต้นทุนหมุนเวียน (working capital cost) เกี่ยวข้องกับต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบคงคลัง (stocked raw materials) ผลิตภัณฑ์คงคลัง (stocked products) ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการผลิต เป็นต้น และส่วนของต้นทุนการผลิตทั้งหมด (total product cost) ที่แบ่งออกได้เป็นต้นทุนการผลิต (manufacturing cost) และค่าใช้จ่ายทั่วไป ซึ่งต้นทุนการผลิต เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการผลิตประกอบด้วยต้นทุนการดำเนินงาน ต้นทุนคงที่ (fixed cost) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (overhead cost) ซึ่งต้นทุนการดำเนินงานจะรวมถึงต้นทุนด้านวัตถุดิบ และสาธารณูปโภคต่างๆ (สีรุ้ง ปรีชานนท์, ไม่ระบุวันที่) ดังนั้นราคาสารเคลือบ Lab-a ที่คิดเฉพาะต้นทุนด้านวัตถุดิบเป็นเพียงส่วนหนึ่งในส่วนของของต้นทุนการผลิตทั้งหมด และไม่รวมส่วนของต้นทุนเงินทุนทำให้ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับราคาสารเคลือบประเภทที่ใช้ในการเคลือบส้ม ดังตารางที่ 4.12 ที่มีขายตามท้องตลาดที่ประกอบด้วยเชลแล็กได้

ตารางที่ 4.12: ราคาสารเคลือบทางการค้าที่มีขายตามท้องตลาดในปัจจุบัน

ชนิดสารเคลือบ	องค์ประกอบ*	ราคาขาย (บาท) / 200 ลิตร**	ราคาสารเคลือบ (บาท) / กิโลกรัมผลไม้ประเภทส้ม***
Teva	shellac polyethylene (องค์ประกอบหลัก)	30,000	0.21
Citra shine (ประเทศอิตาลีเป็นผู้ผลิต)	shellac natural resin fatty acid polyethylene ammonium hydroxide	22,000	0.16
Zivdar (ประเทศอิสราเอลเป็นผู้ผลิต)	shellac polyethylene (องค์ประกอบหลัก)	18,000	0.13
Citra shine (50%) + Zivdar (50%)	shellac natural resin fatty acid polyethylene ammonium hydroxide	20,000	0.14

* ข้อมูลจากฉลากข้างผลิตภัณฑ์

** ข้อมูลราคาเดือนเมษายน ปี2549

*** คิดการเคลือบ 1.43 มิลลิลิตรต่อผลไม้ 1 กิโลกรัม

การเคลือบส้มของบริษัท นเรศไม้ผล จำกัดใช้สารเคลือบ 1.43 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมผลไม้ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณสารเคลือบมากกว่าการเคลือบส้ม คือใช้สารเคลือบ 20 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมทุเรียน และสารเคลือบ 30 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมมะนาว เนื่องจากผลไม้เป็นคนละชนิด และวิธีการพ่นเคลือบแตกต่างกัน นอกจากนี้สารเคลือบ Lab-a มีความเข้มข้นเชลแล็ก 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสารเคลือบทางการค้าอาจมีปริมาณเชลแล็กที่ต่ำกว่า และมีสารเติมแต่งอื่นๆ ทำให้ไม่สามารถประเมินเปรียบเทียบราคาสารเคลือบต่อกิโลกรัมผลไม้กับทางการค้าได้ ซึ่งตารางที่ 4.13 แสดงราคาสารเคลือบ Lab-a ต่อกิโลกรัมผลไม้ที่นำมาเคลือบทุเรียน และมะนาว

ตารางที่ 4.13: ราคาสารเคลือบสูตร Lab-a ที่ใช้เคลือบทุเรียน และมะนาว

ชนิดผลไม้	ราคาสารเคลือบ (บาท)* / 200 ลิตร	ราคาผลไม้ก่อนเคลือบ** / กิโลกรัม	ราคาสารเคลือบ (บาท)* / กิโลกรัม
ทุเรียน	12,342	50[3], 80[4]	1.23
มะนาว	12,342	40	1.85

* คิดเฉพาะราคาวัตถุดิบ

** ข้อมูลราคาเดือนเมษายน ปี2549

3 ราคาขายผลทุเรียนที่ตลาดไท

4 ราคาขายผลทุเรียนส่งออกที่ตลาดไท

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลทุเรียนที่ได้รับการเคลือบเปลือกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องให้ผลยืดอายุการเก็บรักษาดีกว่าทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ โดยสารเคลือบสูตร Lab-a คือสูตรที่ให้ผลดีที่สุด ซึ่งลดการสูญเสียน้ำหนักได้ 58.61 เปอร์เซ็นต์ ชะลอการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ และเก็บรักษาได้อย่างน้อย 10 วัน ส่วนที่อุณหภูมิ 15 °C ผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a ลดการสูญเสียน้ำหนักได้ 17.13 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ต่ำที่สุดเทียบกับกลุ่มอื่นๆ และ เก็บรักษาได้อย่างน้อย 21 วัน เมื่อวัดผลความพึงพอใจจากผู้บริโภคผลทุเรียนที่เคลือบด้วย Lab-a เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 °C ไม่แตกต่างกันกับผลทุเรียนทุกทรีทเมนต์

มะนาวที่ได้รับการเคลือบให้ผลที่ดีกว่าที่ไม่ได้เคลือบโดยกลุ่มมะนาวที่ได้รับการเคลือบดีที่สุดคือ Lab-a และ Teva แต่สารเคลือบ Teva มีการหลุดลอกของสารเคลือบออกมาเป็นเกร็ดสีน้ำตาล เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a ลดการสูญเสียน้ำหนักได้ 37.07 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 10 °C ลดการสูญเสียน้ำหนักได้ 52.76 เปอร์เซ็นต์ ผู้บริโภคให้คะแนนความมันเงา สวยงามกับมะนาวกลุ่มที่เคลือบดีกว่ามะนาวที่ไม่ได้เคลือบที่การเก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิ โดยวันสุดท้ายของการเก็บรักษา Lab-a มีคะแนนความมันวาวมากที่สุด ผลการทดลองกับผลไม้ทั้ง 2 ชนิดสารเคลือบสูตร Lab-a สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดสอดคล้องกับอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม สารเคลือบสูตร Lab-a จึงสมควรจะนำมาใช้เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด ต้นทุนสารเคลือบ Lab-a คิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบ 1.23 บาท ต่อทุเรียน 1 กิโลกรัม และคิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบ 1.85 บาทต่อมะนาว 1 กิโลกรัม

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ต้นแบบสารเคลือบผลทุเรียน และมะนาวได้ข้อมูลลักษณะสมบัติของสูตรสารเคลือบที่สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาสูตรสำหรับผลไม้เขตร้อนชนิดอื่นๆที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มลักษณะที่ดีให้แก่ผลไม้ชนิดดังกล่าว

2. ข้อมูลสมบัติทางกล ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ Tg ของสูตรสารเคลือบผิวผลไม้สามารถใช้เป็นพื้นฐานปรับปรุงสูตรสารเคลือบต่อไปให้ดีขึ้น

3. ทดแทนการนำเข้าสารเคลือบผลไม้ที่มีองค์ประกอบสำคัญคือเชลแล็กจากต่างประเทศ และเพิ่มมูลค่าการส่งออกตลาดผลไม้ในอนาคต

4. ส่งเสริมงานเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำหรับผลไม้ในเขตร้อน และพัฒนาความรู้ทางด้านวัสดุศาสตร์ รวมทั้งวิศวกรรมชีวเคมี และเกษตรศาสตร์ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

เพื่อให้การใช้สารเคลือบผิวผลไม้มีประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลทุเรียน และมะนาว หรือผลไม้ชนิดอื่น อาจใช้ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์ม โดยศึกษาเพิ่มเติมในแง่ต่างๆ ดังนี้

1.ศึกษาผลของความหนาของสารเคลือบ หรือปริมาณสารเคลือบที่มีต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลทุเรียน และมะนาว เนื่องจากมีผลต่อการดัดแปลงบรรยากาศ และอัตราผ่านเข้าออกของก๊าซและไอน้ำโดยตรง

2.พัฒนาองค์ประกอบสูตรสารเคลือบ เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราหรือโรคที่เกิดกับผลไม้ต่างๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

3. ทำการทดสอบคุณภาพของผลมะนาวในระยะเวลาที่ยาวขึ้น หรือจนกว่าจะสังเกตการเน่าเสียอย่างชัดเจนเพื่อให้การวิเคราะห์ผลมีความสมบูรณ์มากขึ้น

4.ลดอัตราส่วนผงเชลแล็กที่ใช้ละลายในสูตรสารเคลือบลงให้อยู่ระหว่าง 11-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนของราคาวัตถุดิบที่ใช้ เนื่องจากความเข้มข้นของเชลแล็กนี้ไม่ทำให้สมบัติของฟิล์มเคลือบเปลี่ยนแปลงไปมาก ทั้งนี้ควรมีการทดสอบกับผลไม้ซ้ำ

5. ทดสอบสูตรสารเคลือบที่พัฒนาขึ้นกับผลไม้ชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะผลไม้เขตร้อน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จริงแท้ ศิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. 700 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. 7,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม: โครงการเกษตรกู้ชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

เจริญ ขุนพรม. อุดม ฟ้ารุ่งสาง. นวลวรรณ ฟ้ารุ่งสาง. ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์. พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล. สมนึก ทองบ่อ และจริงแท้ ศิริพานิช. ผลของ KMnO4 สารเคมี และปริมาณเชื้อราบนผลมะนาวต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมะนาวพันธุ์แป้นระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร 33(6): 54-59, 2545.

จันทร์จิรา พิมพาเรียน. อิทธิพลของสารเคลือบผิวบางชนิดต่อคุณภาพมะนาวในระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2545.

จันทนา สันทัดพรม. การเก็บรักษาแบบดัดแปลงบรรยากาศและการเคลือบผิวที่มีต่อคุณภาพมะนาว. วารสารวิจัยและฝึกอบรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 (3): 26-41, 2547.

จันทนา อึ้งชูศักดิ์. มารู้จักน้ำตาลแอลกอฮอล์. [Online]. 2547. แหล่งที่มา : http://www.anamai.mbph.go.th/oralhealth/kanom/bank07.php [2548, เมษายน 30].

ชลลดา ฤทธิ์วิรุฬห์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาพอลิเมอร์ผสม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2545.

โชติช่วง เยี่ยมฉวี. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ส่งออกไปยังไต้หวัน. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2546.

ฐิติมา ช้างทอง. ผลของ 1-methylcyclopropene ต่อการสูญเสียคลอโรฟิลล์ของเปลือกมะนาวพันธ์แป้น.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2544.

ดารณี ปานขลิบ. การปอกผลและการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2544.

ทนง ภัครัชพันธุ์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของผักและผลไม้ เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526.

ธิรา แดงกนิษฐ์. ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของเอนไซม์ Polygalacturonase, Pectin Methylesterase และ β-Galactosidase และการอ่อนตัวของเนื้อทุเรียนสุก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2538.

นิพนธ์ เดชะ. กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งที่มา : http:// plantpro.doae.go.th.

ประสานมิตร เรืองศรี. ผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด และสารเคลือบผิวต่อคุณภาพของมะนาว. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2525.

เพ็ชรรัตน์ บุญเจิม. การเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของทุเรียนพันธุ์ชะนีภายหลังการเก็บเกี่ยว. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2533.

ไพบูลย์ อินนาจิตร. วิศวกรรมพอลิเมอร์ เล่ม 1. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2538.

ยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ. ฟิล์มเคลือบบริโภคได้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2548.

วชิรญา อิ่มสบาย. ผลของอุณหภูมิต่อการสุกของทุเรียนพันธุ์ชะนี. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2542.

วรนุช ศรีเจษฎารักข์. เกษม นันทชัย. นาตยา ศิริพงษ์. การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวโดยการใช้บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงบรรยากาศ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น 7 (2): 33-44, 2545.

ศุลกากร, กรม. ปริมาณการส่งออกผลไม้ประจำปี พ.ศ. 2546. กรุงเทพมหานคร: กรมศุลกากร, 2547.

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. สถิติการปลูกไม้ผลไม้ยืนต้น. กรุงเทพมหานคร: กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543.

ส่งเสริมการส่งออก, กรม. การจัดการหลังเก็บเกี่ยวผักผลไม้สดเพื่อการแปรรูป. กรุงเทพมหานคร: สำนักบริการการส่งออก กรมส่งเสริมการส่งออก, 2546.

สายชล สินสมบูรณ์ทอง. การวางแผนการทดลองทางการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.

สีรุ้ง ปรีชานนท์. เอกสารคำสอนวิชา 2105-650 วิศวกรรมชีวเคมี. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุธีรา วัฒนกุล. การยืดอายุการเก็บรักษาผลทุเรียนสดและเนื้อทุเรียนพร้อมรับประทาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2546.

สุชีรา เยี่ยงยุกดิ์สากล. การเก็บรักษาผลและเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่หุ้มด้วยฟิล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2537.

สุดารัตน์ สุตพันธ์. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีและพันธุ์ หมอนทองภายหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2536.

สุรพงษ์ โกสิยจินดา. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะ มังคุด ทุเรียน. เคหการเกษตร 10(115): 37-41, 2529.

สุรพล อุปดิสกุล. สถิติการวางแผนการทดลองเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2523.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. การเก็บรักษาทุเรียนด้วยความเย็น. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ 20: 44-49, 2529

สมโภชน์ น้อยจินดา. การหายใจและการผลิตเอธิลีน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 7(1): 27-31, 2540

สมศักดิ์ วรมงคลชัย. สารปรับแต่งพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ปุ๊คเนท, 2546.

โสภา กลิ่นจันทร์. สมดุลมวลสาร พลังงาน และการถ่ายเทโมเมนตัม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2544.

อิทธิพล แจ้งชัด. พอลิเมอร์ฟิสิกส์. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.

อังคณา ภู่รุ่งเรือง. การพัฒนาการเก็บรักษามะนาว. โครงงานวิศวกรรมการเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2539.

อรสา สรวารี. สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

อรุณี ชิณวงศ์. ผลของ 1-methylcyclopropene และ Gibberellic acid ต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ของมะนาวพันธุ์แป้น (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Paan). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2545.

อนุกูล แต้มประเสริฐ. การเก็บรักษามะนาวในถุงพลาสติก. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2525.

อนวัช สุวรรณกุล และซิง ซิง ทองดี. ผลของการปรับสภาพบรรยากาศที่มีต่อการสุกของทุเรียน เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องทุเรียน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 25-26 กุมภาพันธ์ 2531.

เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 26 – 30 ตุลาคม 2547.

ภาษาอังกฤษ

Arvanitoyannis, I. S., Nakayama, A., and Aiba, S. Chitosan and gelatin based edible films: state diagrams, mechanical and permeation properties. Journal of Carbohydrate Polymers. 37 (1998): 371-382.

Bai, J., Alleyne, V., Hagenmaier, R.D., Mattheis, J.P., and Baldwin, E.A. Formulation of zein coatings for apples (*Malus domestica* Borkh). Journal of Postharvest Biology and Technology. 100 (2003):1-10.

Bai J., Hagenmaier R.D., and Baldwin E. Volatile response of four apple varieties with different coatings during marketing at room temperature. Journal of Agricultural and Food Chemistry . 50 (2002): 7660-7668.

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

Banker G., and Agyilirah G. Polymers for Controlled Drug Delivery. Polymers for enteric coating applications. In: Tarcha P .J (ed.),CRC Press, London, 39-66, 1999 .

Bozdemir, O.A., and Tutas, M. Plasticizer effect on water vapor permeability properties of locust bean gum based-edible films. Journal of Turk Chem. 27 (2003): 773-782.

Bower, J.H., Jobling J.J., Patterson B.D., and Ryan D.J. A method for measuring the respiration rate and respiratory quotient of detached plant tissues. Postharvest Biology and Technology. 13 (1998): 263-270.

Chatfield, H.W. Varnish Constituents. London: Leonard Hill., 1953.

Cook, R. Shellac dispersions and coatings, and method of forming aqueous-based shellac dispersions, and coatings. US patent, 5,567,438, 1996.

Cade, D., Colmar, Madit, N., Mulhouse, Warner-Lambert Company and Morris Plains, N.J.

Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng K., Jiang Y. Effect of Chitosan coating on quality and shelf-life of peel litchi fruit. Journal of Food Engineering. 64 (2004): 355-358.

Gan, Z., Liang, Q., Zhang, J., and Jing, X. Enzymatic degradation of poly(Ɛ-caprolactone) film in phosphate buffer solution containing lipase. Polymer Degradation and Stability**.** 56 (1997): 209-213.

Guilbert, S., Gontard, N. and Gorris, L. G. M. A review article: Prolongation of the shelf life of perishable food products using biodegradable films and coatings. Journal of Lebensm. – Wiss. U. Technol. 29 (1996): 10-17.

Hagenmaier, R. D., and Shaw, P. Permeability of shellac coatings to gases and water vapor. J. Agric. Food Chem. 39(5) (1991): 827-829.

Hagenmaier R.D. The flavor of mandarin hybrids with different coatings. Postharvest Biology and Technology. 24 (2002): 79-87.

Hagenmaier R.D., and Baker R.A. Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 41 (1993): 283-287.

Hartman, J., and Isenberg, F.,M. Waxing vegetables. New York Agric. Ext. Ser. Bull. No. 965. (1956).

Hatakeyama, T., and Quinn, F.X. Thermal analysis: fundamental and applications to polymer science. John Wiley & Sons Ltd., 1994.

Imsabai, W., Ketsa, S., and Doorn, W. G. Effect of temperature on softening and the activities of polygalacturonase and pectinesterase in durian fruit. Journal of Postharvest Biology and Technology. 26 (2002):347 – 351.

Iverson, E., C., Ager, P., S., and CH_2O Incorporated. Method of coating food products and a coating composition. Patent of United States. US 6,586,029 B1, 2003.

Jiang, Y., and Li, Y. Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. Journal of Food Chemistry. 73 (1997): 139-143.

Jiang Y.M. Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. Food Chemistry. 66 (1999): 75-79.

Jiang Y., Zhang Z., Joyce D.C., and Ketsa S. Postharvest biology and handling of longan fruit Postharvest Biology and Technology. 26 (2002): 241-252.

Jo, C., Kang, H., Lee, N. Y., Kwon, J. H., Byun, M. W. Pectin- and gelatin-based film: effect of gamma irradiation on the mechanical properties and biodegradation. Journal of Radiation Physics and Chemistry. (2004): 1-6.

Ketsa, S., and Daengkanit, T. Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase, β - galactosidase and cellulose in ripening durian harvested at different stages of maturity. Journal of Scientia Horticulture. 80 (1999a):181 – 182.

Ketsa, S., and Daengkanit, T. Softening of durian cultivars. Journal of Plant Physiol. 154 (1999b):408-411.

Kester, J. J., and Fennama, O. R. An edible film of lipids and cellulose ethers: Barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. J. Food Sci. 50 (1989):1382-1389.

Khumprom C., Farungsang U., Farungsang N.,Romphophak T., Sangwanangkool P., Thong-Bo S., and Siripanich J. Effect of $KMnO_4$, chemicals and fruit fungi on color change disease control of lime cv. Pan during storage. Journal of Agricultural Science. 33 (2002) : 54-59.

Krause K.P., and Muller R.H. Production of aqueous shellac dispersions by high pressure Homogenization. International Journal of Pharmaceutics . 223 (2001): 89-92.

Long, J. K., and Leggo, D. Waxing citrus fruit. CSIRO Food Preserve. Quart. 19 (1959): 32-37.

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

Mannheim C.H., and Soffer T. Permeability of different wax coatings and their effect on citrus fruit quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44 (1996): 919-923.

Martin, J., Shellac in Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd edition, 20, 1982. ., 737-747.

Miller, T., A., and Limited, D. Method for preparing edible casings and compositions thereof. Patent of United States. US5,622,740, 1997.

Passam W., Blunden G. Experimental on the storage of lime at tropical ambient temperature. Tropical Agricultural (Trinided). 59(1982): 20-24.

Pen, L. T., and Jiang, Y. M. Effect of chitosan coating on shelf -life and quality of fresh cut chinese water chestnut. Journal of Lebensm-Wiss U Technol. 36 (2003):359-364.

Pearnchob N., and Bodmeir R. Dry polymer powder coating and comparison with conventional liquid-base coatings for Eudragit RS, ethylcellulose and shellac. European Journal of Pharmaceutics and Biophamaceutics. 56 (2003): 363-369.

Pearnchob N., Dashevsky A., and Bodmeier R. Improvement in the disintegration of shellac-coated soft gelatin capsules in simulated intestinal fluid. Journal of Controlled Release. 94 (2004): 313-321.

Salakpetch, S.: Durian production in thailand. Chanthaburi: Horticultural Research Center, 2000.

Spiegel-Roy P., and Goldschmidt E. Biology of Citrus. Cambridge University Press. 1996: 230.

Sobral, P. J. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., and Roques, M. A. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. Journal of Food Hydrocolloids. 15 (2001): 423-432.

Tian S., Xu Y., Jiang A., and Gong Q. Physiology and quality responses of longan fruit to high O_2 or high CO_2 atmospheres in storage. Postharvest Biology and Technology. 24 (2002): 335-340.

Valero D., Martinez D., Serrano M., Riquelme F. Postharvest gibberellin and heat treatment effects on polyamines, abscisic acid and firmness in lemons. Journal of Food Science. 63(1998): 611-615.

Whistler, R.L. Introduction to industrial short course 18 th AACC short course on gum chemistry and technology, November 6-8. Chicaco, 1991.

Xu, S., Xu, L., D., Chen, X. Determining optimum edible films for kiwifruits using an analytical hierarchy process. Journal of Computers and Operations Research., 2003.

Zhang, D. and Quantick, P. C. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. Journal of Postharvest Biology and Technology. 12 (1997): 195-202.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และตัวอย่างการคำนวณ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ก.1 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบรูณ์

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เป็นการวางแผนแบบที่ง่ายที่สุด โดยเป็นการจัดทรีทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลองซึ่งเป็นไปอย่างสุ่มเพื่อไม่ให้เกอดความเอนเอียงในการทดลอง แต่ละทรีทเมนต์อาจมีจำนวนซ้ำได้หลายครั้งและจำนวนซ้ำในแต่ละทรีทเมนต์อาจเท่ากัน หรือไม่เท่ากันก็ได้ โดยปกติมักใช้จำนวนซ้ำเท่ากันเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูล การวางแผนการทดลองเช่นนี้ใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความสม่ำเสมอกัน หน่วยทดลองแต่ละหน่วยมีโอกาสได้รับเลือกเท่ากัน (สายชล สินสมบูรณ์, 2546)

ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ ANOVA (Analysis of Variance)

ใช้กับงานวิจัยที่ต้องการเปรียบเทียบผลระหว่างหลาย ๆ กลุ่ม ตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไปมีชื่อเรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งเรียกย่อๆ ว่า ANOVA

ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์

1. การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มหลาย ๆ กลุ่มจะมีความแปรปรวนที่ต้องคำนวณอยู่ 2 ตัว คือ ความแปรปรวนระหว่ากลุ่มและความแปรปรวนภายในกลุ่ม
2. สมมติฐานไร้นัยสำคัญ (Null hypothesis) จะเป็นดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = = \mu_\kappa$ (เมื่อ k คือจำนวนกลุ่ม)

3. สูตรที่ใช้ในการทดสอบ คือ F – ratio โดยคำนวณค่า F ที่ได้จากสูตรเปรียบเทียบกับ F ที่เปิดได้จากตาราง ถ้าพบว่า F คำนวณมากกว่า F ตารางก็ปฏิเสธ H_0 แล้วยอมรับ H_1 และสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อยหนึ่งคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ก.1 แสดงรูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน

ค่าสังเกต	**ทรีทเมนต์**					
	1	2	…	j	…	k
1	X_{11}	X_{12}		X_{1j}		X_{1k}
2	X_{51}	X_{22}		X_{2j}		X_{2k}
.	.	.		.		.
.	.	.		.		.
n	X_{n11}	X_{n22}		X_{njj}		X_{nkk}
ผลรวม	X_1	X_2		X_3		X_4

โดยที่ X_1, X_2, X_3 และ X_4 คือ ผลรวมของแต่ละทรีทเมนต์

X_{11} หมายความว่า เป็นข้อมูลตัวที่ 1 ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1

สูตรการทดสอบ

$$F = \frac{MS_B}{MS_W}$$

โดยที่ MS_B คือ Mean square between- group

MS_W คือ Mean square within- group

ตารางที่ ก.2 สูตรการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อ n ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน

ตัวแปร	องศาความเป็นอิสระ	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	F
ระหว่างกลุ่ม	k-1	$SS_B = \frac{\sum_{j=1}^{k} T_j}{n_j} - \frac{T^2}{N}$	$MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$	$F = \frac{MS_B}{MS_W}$
ภายในกลุ่ม	k(n-1)	$SS_W = SS_T - SS_B$	$MS_W = \frac{SS_w}{k(n-1)}$	
รวม	nk – 1	$SS_T = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$		

โดยที่ T_j = ผลรวมของคะแนน n ค่าในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

$\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆค่าในทุกกลุ่มตัวอย่าง

n_j = จำนวนคะแนนในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

k = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

N = จำนวนคะแนนทั้งหมด

T = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

T^2 = ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

นิยาม 1 องศาความเป็นอิสระ (degree of freedom) หรือ df. คือ เลขจำนวนเต็มบวก ที่บอกว่ามีค่าของตัวแปรสุ่มที่เหลืออยู่กี่ค่า ที่นำมาสร้างค่าสถิติแล้วสามารถเปลี่ยนแปลง หรือ กำหนดค่าได้อย่างอิสระ

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_1 ดังนี้

H_0: $\mu_1=\mu_2=...=\mu_\kappa$ (เมื่อ k คือจำนวนกลุ่ม)

H_1: อย่างน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มไม่เท่ากัน

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า F จากสูตร $F = \frac{MS_B}{MS_W}$

ขั้นที่ 4 หาค่า F จากตาราง ซึ่งต้องทราบค่าดังต่อไปนี้

1) α ซึ่งโดยทั่วไปนิยมตั้งที่ระดับ 0.05 และ 0.01
2) df ของ MS_B $df_1 = k-1$
3) df ของ MS_W $df_2 = N-k$

ขั้นที่ 5 เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F ที่ได้จากตาราง

ขั้นที่ 6 สรุปผล

การสรุปผล และแปลความหมาย

ลักษณะที่ 1 ถ้า F คำนวณน้อยกว่า F ตารางจะยอมรับ H_0 ในกรณีที่เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ก็จะสรุปได้ว่าตัวแปรอิสระแต่ละประเภทที่จัดกระทำให้กลุ่มตัวอย่างต่างๆนั้นให้ผลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือกล่าวให้เข้าใจง่ายๆว่า ตัวแปรอิสระประเภทต่างๆเหล่านั้นให้ผลคล้ายคลึงกัน

ลักษณะที่ 2 ถ้าพบว่า F คำนวณมากกว่า F ตารางก็จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่างสถิติ ซึ่งจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

ก.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (comparisons of treatment means)

ในการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เราได้วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ค่าสถิติทดสอบเอฟในการทดสอบ ถ้าค่าสถิติทดสอบเอฟไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าไม่มีค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์คู่ไหนเลยที่มีความแตกต่างกัน แต่ถ้าค่าสถิติทดสอบเอฟมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์อย่างน้อย 1 คู่ ที่มีความแตกต่างกัน แต่เราไม่ทราบว่าค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์คู่ไหนบ้างที่แตกต่างกัน การสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ยังไม่สามารถบอกได้ว่ามีทรีทเมนต์คู่ไหนบ้างที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน จึงต้องทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่อไป

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ ๆ (Comparing pairs of treatment means)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ ใช้เมื่อค่าสถิติทดสอบเอฟในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้การทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ นิยมใช้ Duncan ในกรณีที่มีทรีทเมนต์จำนวนมากและต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ทั้งหมดในคราวเดียวกัน โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. จัดเรียงค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์จากน้อยไปหามาก
2. หาผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ ${}^nC_2 = n(n-1)/2$ (n = จำนวนกลุ่ม)

3. คำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$LSR_{\alpha} = r_{\alpha}(p, f)\sqrt{\frac{MS_W}{2}\left(\frac{1}{r_i}+\frac{1}{r_j}\right)} \qquad ; \ r_i \neq r_j$$

$$LRS_{\alpha} = r_{\alpha}(p, f)\sqrt{\frac{MS_W}{r}} \qquad ; \ r_i = r_j$$

เมื่อ $r_{\square}(p, f)$ คือ ค่าวิกฤติของพิสัยของ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ □ โดยที่ p คือ จำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ +1 และมีจำนวนองศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ f

MS_W คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ri, rj คือ จำนวนซ้ำของทรีทเมนต์ i และ j ที่ต้องการเปรียบเทียบตามลำดับ

4. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5. ถ้าผลต่างนั้นยังมีค่ามากกว่า LSR ให้ทำต่อไปเรื่อยๆ คือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยถัดขึ้นมาจากการเปรียบเทียบครั้งก่อน จะหยุดการเปรียบเทียบก็ต่อเมื่อผลต่างนั้นมีค่าน้อยกว่า LSR และสรุปว่าค่าเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงนั้นไม่แตกต่างกัน

6. เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสูงสุดปละค่าเฉลี่ยอื่นๆหมดแล้ว ก็ให้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรองสูงสุดกับค่าเฉลี่ยอื่นๆ ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ

7. จัดกลุ่มค่าเฉลี่ยตามความแตกต่างโดยใช้สัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน

ก.4 ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในส่วนการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบ

ยกตัวอย่างข้อมูลความทนแรงดึงของสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d โดยมีข้อมูลแสดงดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3: ข้อมูลความทนแรงดึงของสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d เมื่อมีจำนวนซ้ำในการทดลองเท่ากับ 5

ค่าที่/สูตรที่	ความทนแรงดึง (MPa)		
	Lab-a	**Lab-c**	**Lab-d**
1	242.428	193.577	33.959
2	190.344	300.491	49.081
3	262.874	143.729	90.505
4	209.080	246.155	37.004
5	307.982	210.869	41.042
ผลรวม	**1212.708**	**1094.821**	**251.590**
ค่าเฉลี่ย	**242.542**	**218.964**	**50.318**

แสดงขั้นตอนดังนี้

1. องศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม = k-1 = 3-1 = 2 (k คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 5)

2. องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่ม = k(n-1) = 3x(5-1) = 12 (n คือจำนวนซ้ำในแต่ละกลุ่มเท่ากับ5)

3. คำนวณผลรวมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองยกกำลังสองจากสูตรคือค่า T^2

$= (1212.708+1094.821+251.590)^2 = (2559.120)^2$

$= 6549094$

จากนั้นหา $T^2/N = 6549094/15 = 436606.27$ (โดย N เป็นจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด)

4. คำนวณผลบวกของ (ผลรวมของแต่ละทรีทเมนต์)^2 จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^{k} T_j^2$

โดยที่ Tj แต่ละกลุ่มเท่ากับ 1212.708, 1094.821 และ 251.590

ดังนั้น $= (1212.708)^2 + (1094.821)^2 + (251.590)^2$

$= 1470661 + 1198634 + 63297.71$

$\sum_{j=1}^{k} T_j^2 = 2732592$

จากนั้นหา $\frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n}$ = 2732592/5 = 546518.47

5. คำนวณหา SS_B หรือ sum square between group จาก $SS_B = \frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N}$

ดังนั้น SS_B = 546518.47-436606.27 = 109912.20

6. คำนวณผลบวกของ (ข้อมูลจากแต่ละหน่วยทดลอง)^2 จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$

ดังนั้น = $(242.428)^2 + (190.344)^2 + (262.87)^2 + (209.08)^2 + (307.98)^2 + (193.58)^2 + (300.49)^2 + (143.73)^2 + (2246.16)^2 + (210.87)^2 + (33.96)^2 + (49.08)^2 + (90.51)^2 + (37.00)^2 + (41.04)^2$

$\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$ = 570962.26

7. คำนวณหา SS_T หรือ sum square total จาก $SS_T = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$

ดังนั้น SS_T = 570962.26 -436606.27 = 134356

8. คำนวณหา SS_W หรือ sum square within group จาก $SS_W = SS_T - SS_B$

ดังนั้น SS_W = 134356-109912.20 = 2443.80

9. คำนวณหา MS_B หรือ Mean square between- group จาก $MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$

ดังนั้น MS_B = 109912.20/2 = 54956.10

10. คำนวณหา MS_W หรือ Mean square within- group จาก $MS_W = \frac{SS_w}{k(n-1)}$

ดังนั้น MS_W = 24443.80/12 = 2036.98

11. คำนวณหาค่า F คำนวณ จาก $F = \frac{MS_B}{MS_W}$

ดังนั้น F = 54956.10/2036.98 = 26.98

12. เปิดค่า F ตารางจากตารางค่า F (สุรพล อุปดิสสกุล, 2523) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยองศาความเป็นอิสระของ MS_B หรือ df_1 = k-1 = 2 และองศาความเป็นอิสระของ MS_W หรือ df_2 = k(n-1) = 3x(5-1) = 12

ดังนั้น $F_{0.05(2,12)}$ = 3.89

13. สรุปผลได้ว่า F คำนวณที่คำนวณได้เท่ากับ 26.98 ซึ่งมากกว่า F ตารางซึ่งเท่ากับ 3.89 ดังนั้น F คำนวณมากกว่า F ตาราง สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่างสถิติ ซึ่งจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

ของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ และใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

14. เรียงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก ดังนี้

(1)	(2)	(3)
50.32	218.96	242.54

15. คำนวณหาจำนวนที่ใช้เปรียบเทียบว่าใช้กี่คู่จาก ${}^{n}C_{2} = n(n-1)/2$ (n = จำนวนกลุ่ม)
ดังนั้น = (3x2)/2 = 3 คู่

16. คำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ $LSR_{\alpha} = r_{\alpha}(p,f)\sqrt{\frac{MS_W}{r}}$

(LSR คือ least significant ranges) โดยอาศัยตาราง Significant Studentized ranges, SSR ในหนังสือสถิติทั่วไป

โดยที่ p ในที่นี้ คือ จำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ +1 นั่นคือเท่ากับ 2และ 3 เช่นข้อมูลนี้มี 3 กลุ่มเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่3 กับ ข้อมูลที่ 1 ผลต่างของ 3 กับ 1 คือ 2 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 3 หรือถ้าจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลชุดที่ 2 กับข้อมูลชุดที่ 1 ผลต่างของ 2 กับ 1 คือ 1 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 2 ทำอย่างนี้เรื่อยๆจนครบ 3 กลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่ได้ก็คือ 3 นั่นเอง

f ในที่นี้ คือ องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่มเท่ากับ k(n-1) = 3x(5-1) = 12

r ในที่นี้ คือ จำนวนซ้ำในแต่ละทรีทเมนต์

α ในที่นี้ คือ ระดับนัยสำคัญ = 0.05

$$\sqrt{\frac{MS_W}{r}} = \sqrt{\frac{2036.98}{5}} = 407.40$$

p	2	3
r0.05(p,12)	3.08	3.23
LSR0.05	62.16693	65.19454

17. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ ก.5

ตารางที่ ก.4: การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d

ผลต่างของค่าเฉลี่ยชุดที่	ผลต่างของค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้		$LSR_{0.05}$
(3) – (1)	192.22	>	>65.19*
(3) – (2)	23.58	<	<62.17
(2) – (1)	168.65	>	>62.17*

* ค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

18. เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบอย่างชัดเจนได้มีการใส่ตัวอักษรกำกับไว้ดังนี้

(1)	(2)	(3)
b	a	a

19. ดังนั้นจากข้อมูลความทนแรงดึงของสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณเชลแล็กที่ละลายในสารเคลือบปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าความทนแรงดึงที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P□0.05) คือฟิล์มเคลือบสูตร Lab-d มีความทนแรงดึงน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P□0.05) กับสูตร Lab-a และ Lab-c

20. แสดงค่า F คำนวณของข้อมูลความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้ดังตาราง ก.5 และเปรียบเทียบกับ F ที่เปิดได้จากตาราง

ตารางที่ ก.5: สรุปค่า F คำนวณที่ได้ของข้อมูลความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้

สูตร	F คำนวณ			F ตาราง
	ความทนแรงดึง	การยืดตัว	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ	
Lab-a , Lab-c และ Lab-d	26.98*	9.29*	30.21*	3.89

หมายเหตุ * F คำนวณ > F ตาราง นั่นคือข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ก.5 ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบ

ยกตัวอย่างข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 56 ของการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 °C โดยมีข้อมูลแสดงดังตารางที่ ก.6

ตารางที่ ก.6: รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละทรีทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน

Day 56	ทรีทเมนต์ (%)			
ค่าสังเกต	ไม่เคลือบ	Teva	Lab-c	Lab-a
1	13.39	5.83	9.56	5.65
2	11.84	8.02	10.26	6.17
3	10.34	6.96	9.83	5.17
4	13.19	7.76	9.88	6.03
ผลรวม	**48.76**	**28.56**	**39.53**	**23.03**
ค่าเฉลี่ย	**12.19**	**7.14**	**9.88**	**5.76**

แสดงขั้นตอนดังนี้

1. องศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม = k-1 = 4-1 = 3 (k คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 4)

2. องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่ม = k(n-1) = 4x(4-1) = 12 (n คือค่าสังเกตในแต่ละกลุ่มเท่ากับ 4)

3. คำนวณผลรวมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองยกกำลังสองจากสูตรคือค่า T^2

$= (48.76+28.56+39.53+23.03)^2 = (139.88)^2$

$= 19566.31$

จากนั้นหา $T^2/N = 19566.31/16 = 1222.89$ (โดย N เป็นจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด)

4. คำนวณผลบวกของ (ผลรวมของแต่ละทรีทเมนต์)^2 จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^{k} T_j^2$

โดยที่ Tj แต่ละกลุ่มเท่ากับ 48.76, 28.56, 39.53, และ 23.03

ดังนั้น $= (48.76)^2 + (28.56)^2 + (39.53)^2 + (23.03)^2$

$= 2377.43 + 815.77 + 1562.40 + 530.47$

$\sum_{j=1}^{k} T_j^2 = 5286.06$

จากนั้นหา $\frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n} = 5286.06/4 = 1321.52$

5. คำนวณหา SS_B หรือ sum square between group จาก $SS_B = \frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N}$

ดังนั้น $SS_B = 1321.52 - 1222.89 = 98.62$

6. คำนวณผลบวกของ (ข้อมูลจากแต่ละหน่วยทดลอง)^2 จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$

ดังนั้น $= (13.39)^2 + (11.84)^2 + (10.34)^2 + (13.19)^2 + (5.83)^2 + (8.02)^2 + (6.96)^2 + (7.76)^2 + (9.56)^2 + (10.26)^2 + (9.83)^2 + (9.88)^2 + (5.65)^2 + (6.17)^2 + (5.17)^2 + (6.03)^2$

$\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 = 19566.31$

7. คำนวณหา SS_T หรือ sum square total จาก $SS_T = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$

ดังนั้น $SS_T = 1331.23 - 1222.89 = 108.33$

8. คำนวณหา SS_W หรือ sum square within group จาก $SS_W = SS_T - SS_B$

ดังนั้น $SS_W = 108.33 - 98.62 = 9.71$

9. คำนวณหา MS_B หรือ Mean square between- group จาก $MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$

ดังนั้น $MS_B = 98.62/3 = 32.87$

10. คำนวณหา MS_W หรือ Mean square within- group จาก $MS_W = \frac{SS_w}{k(n-1)}$

ดังนั้น $MS_W = 9.71/12 = 0.81$

11. คำนวณหาค่า F คำนวณ จาก $F = \frac{MS_B}{MS_W}$

ดังนั้น $F = 32.87/0.81 = 40.61$

12. เปิดค่า F ตารางจากตารางค่า F (สุรพล อุปดิสสกุล, 2523) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยองศาความเป็นอิสระของ MS_B หรือ $df_1 = k-1 = 3$ และองศาความเป็นอิสระของ MS_W หรือ $df_2 = k(n-1) = 4x(4-1) = 12$

ดังนั้น $F_{0.05(4,15)} = 3.49$

13. สรุปผลได้ว่า F คำนวณที่คำนวณได้เท่ากับ 40.61 ซึ่งมากกว่า F ตารางซึ่งเท่ากับ 3.49 ดังนั้น F คำนวณมากกว่า F ตาราง สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่างสถิติ ซึ่งจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ และใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

14. เรียงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก ดังนี้

(1)	(2)	(3)	(4)
5.76	7.14	9.88	12.19

15. คำนวณหาจำนวนที่ใช้เปรียบเทียบว่าใช้กี่คู่จาก ${}^nC_2 = n(n-1)/2$ (n = จำนวนกลุ่ม)

ดังนั้น $= (4x3)/2 = 6$ คู่

16. คำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ $LSR_\alpha = r_\alpha(p,f)\sqrt{\frac{MS_W}{r}}$

(LSR คือ least significant ranges) โดยอาศัยตาราง Significant Studentized ranges, SSR ในหนังสือสถิติทั่วไป

โดยที่ p ในที่นี้ คือ จำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ +1 นั่นคือเท่ากับ 2, 3, และ 4 เช่นข้อมูลนี้มี 4 กลุ่มเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ 4 กับ ข้อมูลที่ 1 ผลต่างของ 4 กับ 1 คือ 3 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 4 หรือถ้าจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลชุดที่ 4 กับข้อมูลชุดที่ 2 ผลต่างของ 4 กับ 2 คือ 2 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 3 ทำอย่างนี้เรื่อยๆจนครบ 6 กลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่ได้ก็คือ 4 นั่นเอง

f ในที่นี้ คือ องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่มเท่ากับ $k(n-1) = 4x(4-1) = 12$

r ในที่นี้ คือ จำนวนซ้ำในแต่ละทรีทเมนต์

α ในที่นี้ คือ ระดับนัยสำคัญ = 0.05

$$\sqrt{\frac{MS_W}{r}} = \sqrt{\frac{0.81}{4}} = 0.45$$

p	2	3	4
r0.05(p,12)	3.08	3.23	3.33
LSR0.05	1.386	1.4535	1.4985

17. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7: การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ของข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 56 ของการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 °C

ผลต่างของค่าเฉลี่ยชุดที่	**ผลต่างของค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้**		**$LSR_{0.05}$**
(4) – (1)	6.43	>	1.50*
(4) – (2)	5.05	>	1.45*
(4) – (3)	2.31	>	1.39*
(3) – (1)	4.12	>	1.45*
(3) – (2)	2.74	>	1.39*
(2) – (1)	1.38	<	1.39

* ค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

18. เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบอย่างชัดเจนได้มีการใส่ตัวอักษรกำกับไว้ดังนี้

(1)	(2)	(3)	(4)
c	c	b	a

19. ดังนั้นจากข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 56 ของการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 °C จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า ผลมะนาวที่เคลือบด้วยสูตร Lab-a และ Teva ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างทรีทเมนต์ แต่ทั้ง 2 ทรีทเมนต์มีความแตกต่างกับทรีทเมนต์ควบคุมและทรีทเมนต์ Lab-c นอกจากนี้ทรีทเมนต์ควบคุมยังมีความแตกต่างกับทรีทเมนต์ Lab-c อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

20. แสดงค่า F คำนวณของข้อมูลการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนดังตารางที่ ก. 8 เปรียบเทียบกับ F ตารางที่ได้

ก.6 ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ยกตัวอย่างข้อมูลคะแนนรสมันที่ได้จากผู้ชิมในแต่ละทรีทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน (10 คน) ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาทุเรียนที่อุณหภูมิ 15 °C ดังตารางที่ก.9

ตารางที่ ก.8: รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของคะแนนรสมันที่ได้จากผู้ชิมในแต่ละทรีทเมนต์และการคำนวณค่าต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน (10 คน)

Day 14	**ทรีทเมนต์ (คะแนน)**			
จำนวนซ้ำ	**ไม่เคลือบ**	**Lab-a**	**Lab-b**	**Teva**
1	4	5	4	4
2	3	4	4	4
3	3	4	3	3
4	3	4	4	5
5	4	3	2	3
6	3	5	3	4
7	4	3	3	4
8	2	4	3	4
9	2	4	3	4
10	3	3	3	4
ผลรวม	**31**	**39**	**32**	**39**
ค่าเฉลี่ย	**3.1**	**3.9**	**3.2**	**3.9**

แสดงขั้นตอนดังนี้

1. องศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม = k-1 = 4-1 = 3 (k คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 5)

2. องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่ม = k(n-1) = 4x(10-1) = 36 (n คือค่าสังเกตในแต่ละกลุ่มเท่ากับ 10)

3. คำนวณผลรวมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองยกกำลังสองจากสูตรคือค่า T^2

$= (4+3+3+3+4+3+4+2+2+3+\ldots+4+4)^2$

$= (141)^2$

$= 19881$

จากนั้นหา $T^2/N = 19881/40 = 497.03$ (โดย N เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด)

4. คำนวณผลบวกของ (ผลรวมของแต่ละทรีทเมนต์)^2 คือค่า $\sum_{j=1}^{k} T_j^2$

โดยที่ Tj แต่ละกลุ่มเท่ากับ 31, 39, 32, และ39

ดังนั้น $= (31)^2 + (39)^2 + (32)^2 + (39)^2$

$= 961 + 1521 + 1024 + 1521$

$\sum_{j=1}^{k} T_j^2 = 5027$

จากนั้นหา $\frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n} = 5027/10 = 502.7$

5. คำนวณหา SS_B หรือ sum square between group จาก $SS_B = \frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n} - \frac{T^2}{N}$

ดังนั้น $SS_B = 502.7 - 497.03 = 5.68$

6. คำนวณผลบวกของ (ข้อมูลจากแต่ละหน่วยทดลอง)^2 จากสูตรคือค่า $\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$

ดังนั้น $= (4)^2 + (3)^2 + (3)^2 + (3)^2 + (4)^2 + \ldots + (4)^2 + (4)^2$

$\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 = 519$

7. คำนวณหา SS_T หรือ sum square total จาก $SS_T = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$

ดังนั้น $SS_T = 519 - 497.03 = 21.98$

8. คำนวณหา SS_W หรือ sum square within group จาก $SS_W = SS_T - SS_B$

ดังนั้น $SS_W = 21.98 - 5.68 = 16.30$

9. คำนวณหา MS_B หรือ Mean square between- group จาก $MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$

ดังนั้น $MS_B = 5.68/3 = 1.89$

10. คำนวณหา MS_W หรือ Mean square within- group จาก $MS_W = \frac{SS_w}{k(n-1)}$

ดังนั้น $MS_W = 16.30/36 = 0.45$

11. คำนวณหาค่า F คำนวณ จาก $F = \frac{MS_B}{MS_W}$

ดังนั้น $F = 1.89/0.45 = 4.18$

12. เปิดค่า F ตารางจากตารางค่า F (สุรพล อุปดิสสกุล, 2523) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยองศาความเป็นอิสระของ MS_B หรือ $df_1 = k-1 = 3$ และองศาความเป็นอิสระของ MS_W หรือ df2 = $k(n-1) = 4x(10-1) = 36$

ดังนั้น $F_{0.05(4,45)} = 2.86$

13. สรุปผลได้ว่า F คำนวณที่คำนวณได้เท่ากับ 4.18 ซึ่งมากกว่า F ตารางซึ่งเท่ากับ 2.86 ดังนั้น F คำนวณมากกว่า F ตาราง สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่างสถิติ ซึ่งจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ และใช้วิธีของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ

14. เรียงค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก ดังนี้

(1)	(2)	(3)	(4)
3.1	3.2	3.9	3.9

15. คำนวณหาจำนวนที่ใช้เปรียบเทียบว่าใช้กี่คู่จาก ${}^nC_2 = n(n-1)/2$ (n = จำนวนกลุ่ม)

ดังนั้น = (4x3)/2 = 6 คู่

16. คำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ $LSR_\alpha = r_\alpha(p,f)\sqrt{\frac{MS_W}{r}}$

(LSR คือ least significant ranges) โดยอาศัยตาราง Significant Studentized ranges, SSR ในหนังสือสถิติทั่วไป

โดยที่ p ในที่นี้ คือ จำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ +1 นั่นคือเท่ากับ 2, 3, และ 4 เช่นข้อมูลนี้มี 4 กลุ่มเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ 4 กับ ข้อมูลที่ 1 ผลต่างของ 4 กับ 1 คือ 3 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 4 หรือถ้าจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลชุดที่ 4 กับข้อมูลชุดที่ 2 ผลต่างของ 4 กับ 2 คือ 2 บวกเข้าไปอีก 1 คือ 3 ทำอย่างนี้เรื่อยๆจนครบ 6 กลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่ได้ก็คือ 4 นั่นเอง

f ในที่นี้ คือ องศาความเป็นอิสระภายในกลุ่มเท่ากับ $k(n-1) = 4x(10-1) = 36$

r ในที่นี้ คือ จำนวนซ้ำ = 10

α ในที่นี้ คือ ระดับนัยสำคัญ = 0.05

$$\sqrt{\frac{MS_E}{r}} = \sqrt{\frac{0.45}{10}} = 0.21$$

p	2	3	4
r0.05(p,36)	2.872	3.022	3.102
LSR0.05	0.611135	0.643054	0.660077

17. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ ก.10

ตารางที่ ก.9: การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ของข้อมูลความหวานของเนื้อทุเรียนจากผู้ชิมในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาทุเรียนที่อุณหภูมิ 15 °C

ผลต่างของค่าเฉลี่ยชุดที่	ผลต่างของค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้		$LSR_{0.05}$
(4) – (1)	0.8	>	0.66*
(4) – (2)	0.7	>	0.64*
(4) – (3)	0.0	<	0.61
(3) – (1)	0.8	>	0.64*
(3) – (2)	0.7	>	0.61*
(2) – (1)	0.1	<	0.61

* ค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

18. เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบอย่างชัดเจนได้มีการใส่ตัวอักษรกำกับไว้ดังนี้

(1)	(2)	(3)	(4)
b	b	a	a

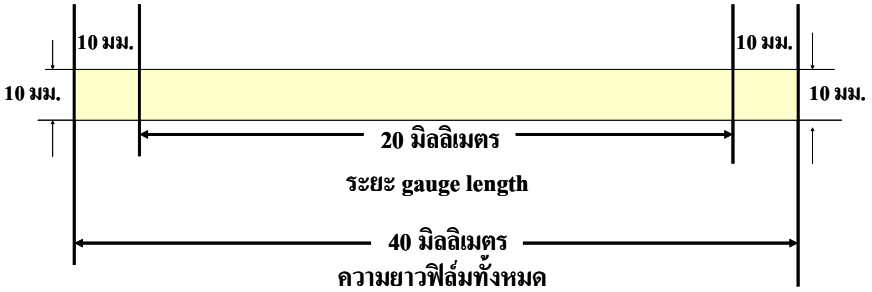
19. ดังนั้นจากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า ทุเรียนที่เคลือบด้วยสูตร Lab-a และ Teva ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างทรีทเมนต์ แต่ทั้ง 2 ทรีทเมนต์มีความแตกต่างกับทรีทเมนต์ควบคุมและทรีทเมนต์ Lab-b นอกจากนี้ทรีทเมนต์ควบคุมยังมีความแตกต่างกับทรีทเมนต์ Lab-b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาคผนวก ข

วิธีการทดสอบสมบัติทางกายภาพของสูตรสารเคลือบ

ข.1 วิธีการทดสอบสมบัติทางกลและตัวอย่างการคำนวณ

1. เตรียมตัวอย่าง โดยชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยมีลักษณะดังรูปที่ ข.1โดยจำนวนแผ่นฟิล์มในการทดสอบแต่ละชุดไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน แผ่นฟิล์มตัวอย่างมีขนาด 10x40 มิลลิเมตร โดยบริเวณขอบของฟิล์มต้องไม่เกิดรอยตำหนิจากการเตรียม



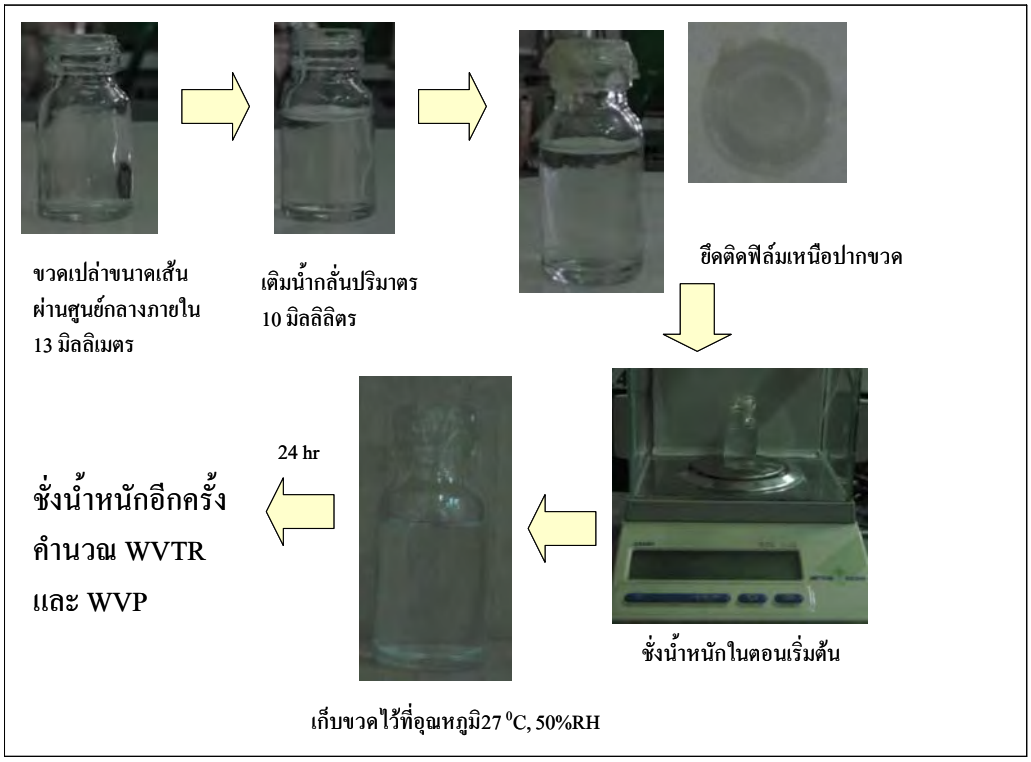
รูปที่ ข.1: แบบของชิ้นงานที่ใช้วัดคุณสมบัติทางกล
ที่มา: ยุวลักษณ์, 2548

2. การทดสอบเริ่มต้นด้วยการนำชิ้นงานใส่ในเครื่อง Universal Testing Machine โดยยึดชิ้นงานที่จุดยึด จากนั้นกำหนดตัวแปรที่ต้องการให้เครื่องแสดง จากนั้นตั้งค่าความหนาและความกว้างของชิ้นงานในคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งพร้อมกับเครื่อง Universal Testing Machine

3. เริ่มทำการทดสอบชิ้นงานและเมื่อชิ้นงานขาด (ทดสอบเสร็จสิ้น) เครื่องคอมพิวเตอร์จะรายงานค่า แรงที่ใช้ (Load) พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน และค่าความทนแรงดึงรวมทั้งค่าอื่นๆ ที่ทำการกำหนดไปเมื่อทำการตั้งค่าต่างๆ ของการทดสอบ แสดงลักษณะกราฟที่ได้

ข.2 เครื่องมือที่ใช้และตัวอย่างการคำนวณอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ

แสดงขั้นตอนการวัดค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังรูป ข.2



รูปที่ ข.2: ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ
ที่มา: ยุวลักษณ์, 2548

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นเท่ากับ 15.6631 กรัม จากนั้นชั่งน้ำหนักฟิล์มเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ได้เท่ากับ 15.6412 กรัม ดังนั้น $\Delta W = 15.6631-15.6412 = 0.0219$ กรัม โดยที่ $\Delta t = 24$ ชั่วโมงเมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางขวดเฉลี่ยเท่ากับ 1.2032 มิลลิเมตรดังนั้นมีพื้นที่ที่ใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำเท่ากับ 1.1364 ลูกบาศก์มิลลิเมตร หรือเท่ากับ 1.1364×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรจากสูตรหาอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ

$$WVTR = [(\Delta w/(\Delta t \cdot A)]\, kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$$

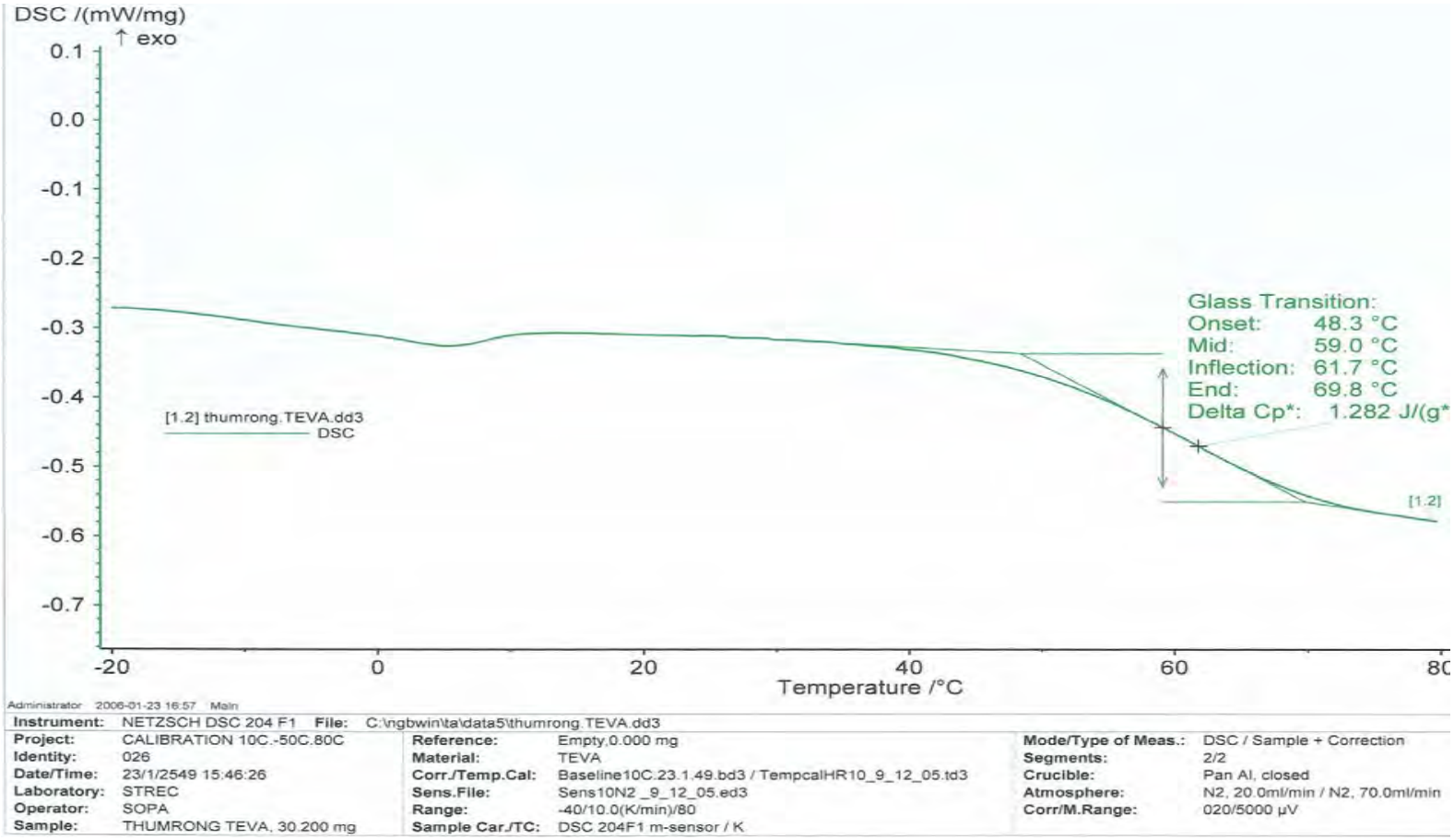
ดังนั้นอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.2230 g/s-m^2

จากนั้นนำมาหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำโดยคิดว่าภายในขวดที่มีน้ำกลั่นอยู่เมื่อเทียบกับผลไม้ที่มีน้ำอยู่ภายในเป็นองค์ประกอบซึ่งสำหรับพืชแล้วน้ำในเซลล์ไม่บริสุทธิ์แต่น้ำก็ระเหยออกมาอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ได้มากใกล้เคียง 100% ซึ่งเราถือว่าในผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมานี้อากาศมีความชื้นอยู่ 100% มีความดันไอในระดับอิ่มตัว (saturated vapor pressure) ซึ่งมีความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสอ่านค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริค (psychrometric chart) ได้

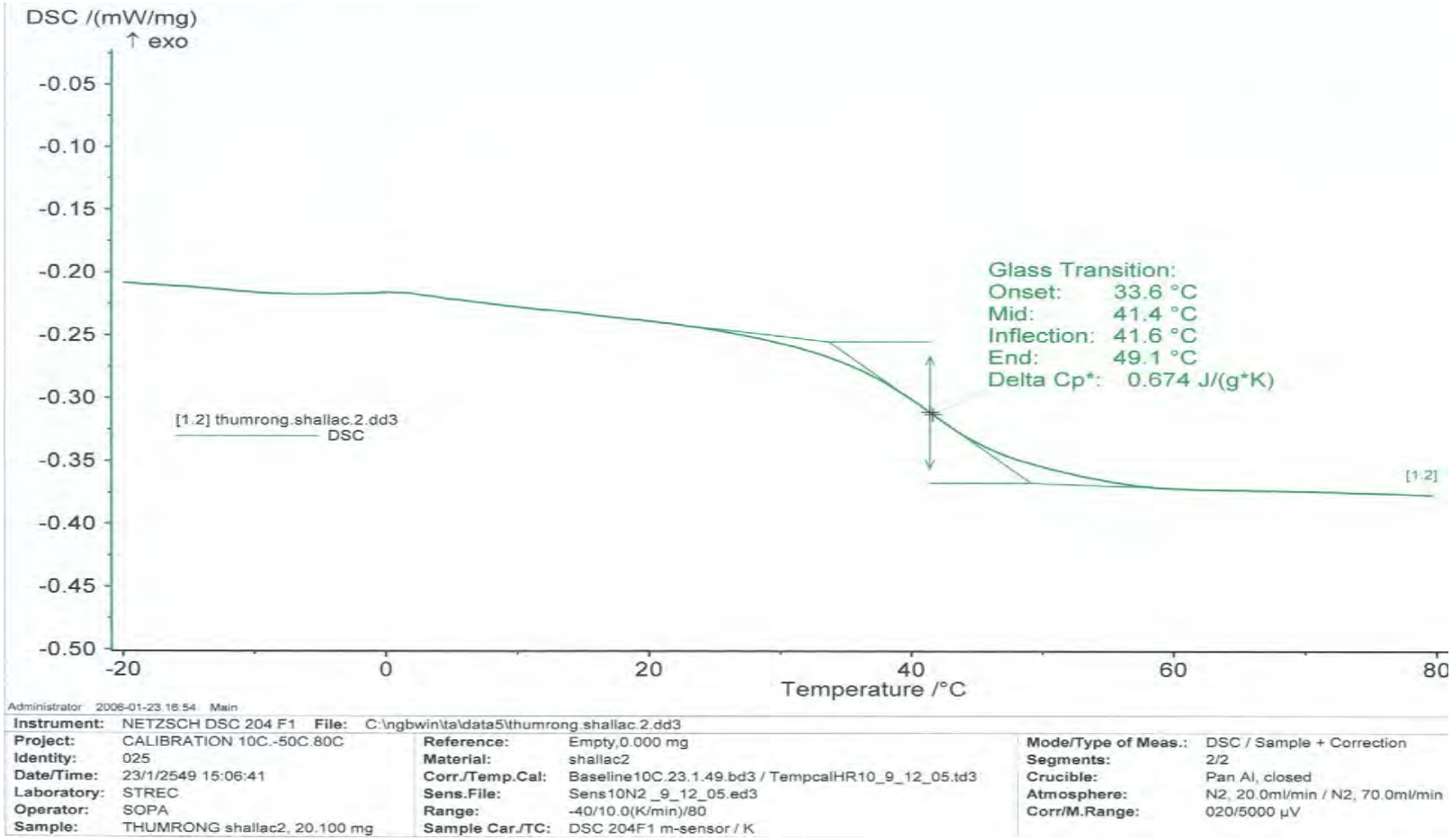
เท่ากับ 38 มิลลิบาร์หรือเท่ากับ 3,800 Pa ถ้าขวดน้ำกลั่นที่เราเก็บไว้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกันแต่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% เมื่ออ่านค่าความดันไอจากแผนภูมิไซโครเมตริคได้เท่ากับ 21 มิลลิบาร์หรือเท่ากับ 2,100 Pa ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอน้ำมีค่าเท่ากับ 1,700 Pa โดยมีความหนาของฟิล์มเท่ากับ 11.96×10^{-6} เมตร ดังนั้นจากสูตรการหาค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

$$WVP = (WVTR \times L)/\Delta P$$

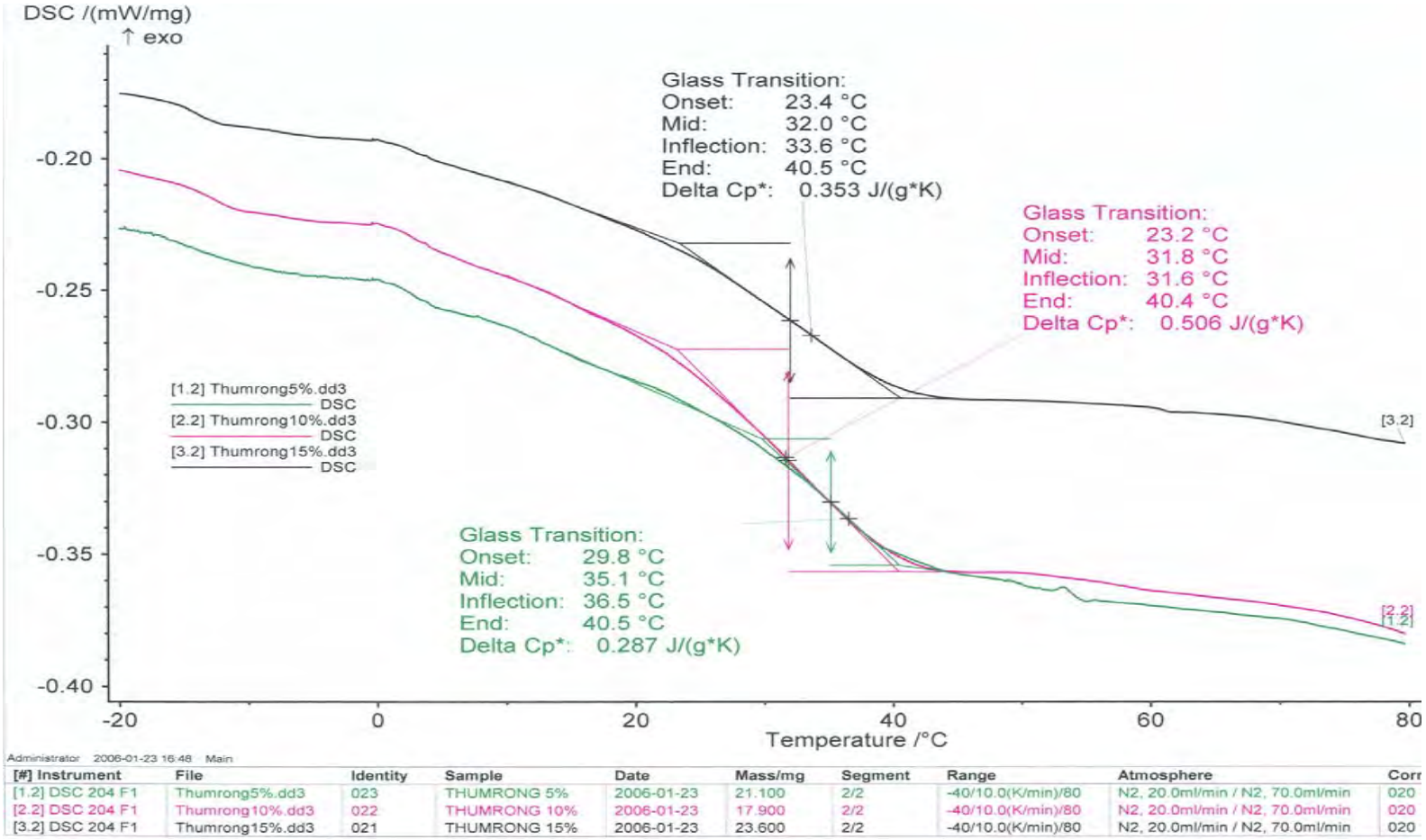
ดังนั้นความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1.57×10^{-9} g-m/m^2-s-Pa



รูปที่ ข.3: DSC Thermogram ของสารเคลือบผิวทางการค้า (Teva)

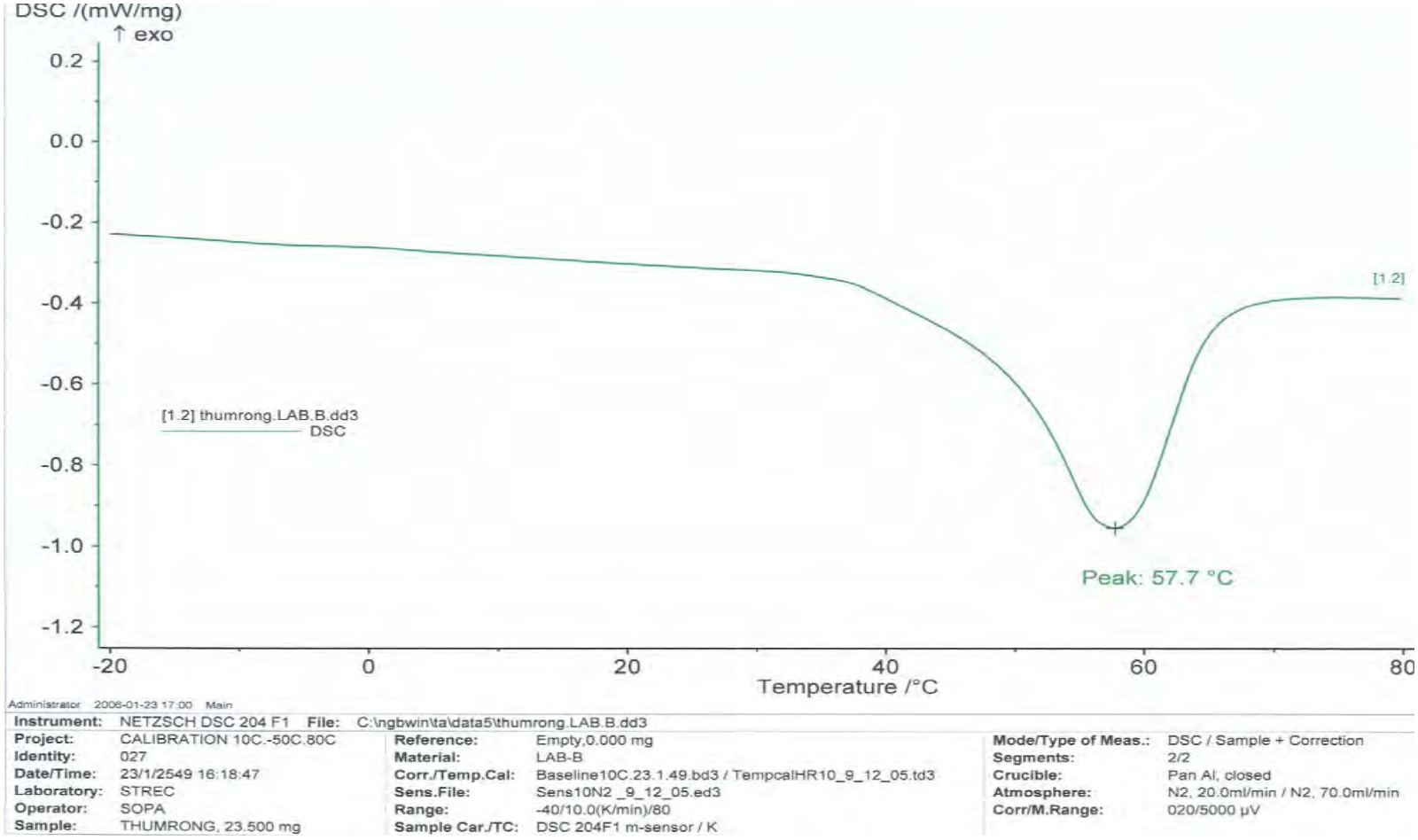


รูปที่ ข.4: DSC Thermogram ของผงเชลแล็ก



[#] Instrument	File	Identity	Sample	Date	Mass/mg	Segment	Range	Atmosphere	Corr
[1.2] DSC 204 F1	Thumrong5%.dd3	023	THUMRONG 5%	2006-01-23	21.100	2/2	-40/10.0(K/min)/80	N2, 20.0ml/min / N2, 70.0ml/min	020
[2.2] DSC 204 F1	Thumrong10%.dd3	022	THUMRONG 10%	2006-01-23	17.900	2/2	-40/10.0(K/min)/80	N2, 20.0ml/min / N2, 70.0ml/min	020
[3.2] DSC 204 F1	Thumrong15%.dd3	021	THUMRONG 15%	2006-01-23	23.600	2/2	-40/10.0(K/min)/80	N2, 20.0ml/min / N2, 70.0ml/min	020

รูปที่ ข.5: DSC Thermogram ของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการสูตร Lab-a, Lab-c และ Lab-d(มีองค์ประกอบของผงเชลแล้ก 15, 10 และ 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก)



รูปที่ ข.6: DSC Thermogram ของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการสูตร Lab-b

ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบ และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของสมบัติทางกล ความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำ และความคงตัวของสารเคลือบ

ค.1 ข้อมูลดิบของค่าความทนแรงดึง การยืดตัวของฟิล์มและความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำแสดงดังตารางที่ ค.1 ค.2 และ ค.3 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.1: ข้อมูลความทนแรงดึงของฟิล์มเคลือบ (ทำการทดลอง 5 ครั้ง)

ค่าที่/สูตรที่	ความทนแรงดึง (MPa)		
	Lab-a	Lab-c	Lab-d
1	242.4283	193.577	33.95915
2	190.3437	300.4906	49.08072
3	262.8744	143.7293	90.50508
4	209.0802	246.1552	37.0039
5	307.9815	210.8692	41.04152
ผลรวม	**1212.708**	**1094.821**	**251.5904**
ค่าเฉลี่ย	**242.5416**	**218.9643**	**50.31807**

ตารางที่ ค.2: ข้อมูลการยืดตัวของฟิล์มเคลือบ (ทำการทดลอง 5 ครั้ง)

ค่าที่/สูตรที่	ร้อยละการยืดตัว (%)		
	Lab-a	Lab-c	Lab-d
1	2.346	2.099	6.984
2	2.069	4.568	4.445
3	5.714	1.481	6.667
4	2.593	2.948	5.366
5	2.222	2.566	5.665
ผลรวม	**14.9433**	**13.6628**	**29.1267**
ค่าเฉลี่ย	**2.98866**	**2.73256**	**5.82534**

ตารางที่ ค.3: ข้อมูลความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบ (ทำการทดลอง 4 ครั้ง)

ค่าที่/สูตรที่	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ x 10^{-10} (g-m/m^2-s-Pa)		
	Lab-a	Lab-c	Lab-d
1	2.30039E-10	1.27678E-09	1.56916E-09
2	4.15313E-10	1.76372E-09	1.46619E-09
3	4.04194E-10	1.11616E-09	2.28133E-09
4	6.64846E-10	1.13855E-09	1.93548E-09
ผลรวม	**1.71439E-09**	**5.29521E-09**	**7.25216E-09**
ค่าเฉลี่ย	**4.28598E-10**	**1.3238E-09**	**1.81304E-09**

สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4: การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความทนแรงดึง การยืดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบ

สูตร/สมบัติทางกายภาพ	**ความทนแรงดึง (MPa)**	**การยืดตัว (%)**	**ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ x10^{-10} (g-m/m^2-s-Pa)**
Lab-a	242.54a	2.98a	4.29a
Lab-c	218.96a	2.73a	13.24b
Lab-d	50.32b	5.83b	18.13c
F-test	*	*	*

* ข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P□0.05)

ns ข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P□0.05)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P□0.05) โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสูตรต่างๆเป็นคู่ๆ โดยวิธีของ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.5: ข้อมูลความหนืดของสารเคลือบที่อุณหภูมิ 30±5 °C (ทำการทดลอง 2 ครั้ง)

จำนวนวัน	ความหนืด (MPa/s)	
	Lab-a	**Lab-b**
0	7.60	14.92
3	7.62	14.78
6	7.74	14.14
9	7.26	14.04
12	7.06	13.74
19	6.22	14.09
26	6.92	13.33
33	6.45	13.84
40	6.43	14.43
54	6.65	14.09
68	6.44	14.06
82	6.49	14.03
96	6.43	14.43
110	6.32	14.06
124	6.18	14.02

ตารางที่ ค.6: ข้อมูลความหนืดของสารเคลือบที่อุณหภูมิ 4 °C (ทำการทดลอง 2 ครั้ง)

จำนวนวัน	ความหนืด (MPa/s)	
	Lab-a	**Lab-b**
0	7.60	14.92
3	7.53	14.76
6	7.75	14.85
9	7.66	14.70
12	7.38	14.61
19	7.72	14.63
26	7.33	14.81
33	7.46	14.74
40	7.32	14.01
54	7.48	14.15
68	7.64	14.24
82	7.36	14.55
96	7.32	15.05
110	7.53	14.86
124	7.27	14.44

ตารางที่ ค.7: ข้อมูลค่า pH ของสารเคลือบที่อุณหภูมิ 30±5 °C (ทำการทดลอง 2 ครั้ง)

จำนวนวัน	pH	
	Lab-a	**Lab-b**
0	8.61	7.75
7	8.30	7.71
14	8.24	7.65
21	8.07	7.55
28	8.10	7.71
35	8.02	7.63
42	8.15	7.80
49	8.21	7.65
56	8.09	7.73
63	8.05	7.40
70	8.04	7.55
77	8.06	7.50
84	8.14	7.48
91	8.01	7.52

ตารางที่ ค.8: ข้อมูลค่า pH ของสารเคลือบที่อุณหภูมิ 4 °C (ทำการทดลอง 2 ครั้ง)

จำนวนวัน	pH	
	Lab-a	**Lab-b**
0	8.61	7.75
7	8.62	8.08
14	8.68	7.95
21	8.54	7.86
28	8.62	8.14
35	8.70	8.29
42	8.85	8.40
49	8.68	8.24
56	8.75	8.16
63	8.72	8.20
70	8.67	8.36
77	8.71	8.20
84	8.75	8.16
91	8.73	8.15

ภาคผนวก ง

วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพทุเรียน และมะนาว

ง.1 ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

น้ำหนักวันแรกของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบเท่ากับ 239 กรัม ชั่งน้ำหนักในวันถัดมาได้ 225 กรัม หาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้ดังสูตร

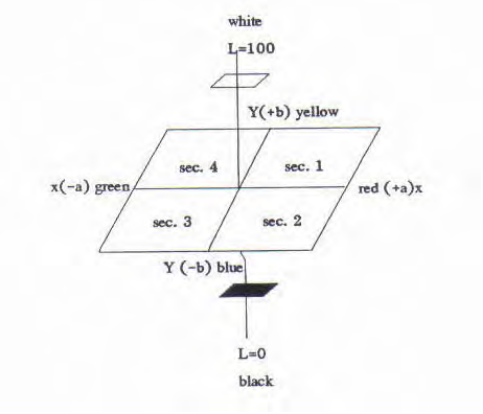
$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ได้ $= ((239-225)\times100)/239$

$= 5.86\ \%$

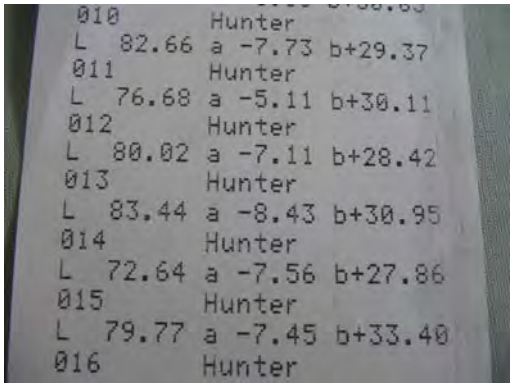
ง.2 ลักษณะของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อที่ได้

ในการทดลองใช้เครื่องวัดสีที่เรียกว่า Colormeter ในระบบ Hunter's Scale ซึ่งเป็นระบบ L a b color space แสดงดังรูปที่ ง.1 โดยที่ระบบนี้ค่า L เป็นค่าความสว่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0-100 (0 เท่ากับสีดำ และ 100 เท่ากับสีขาว) โดยที่ความสว่างมากค่า L จะใกล้ 100 แต่ถ้าความสว่างน้อย ค่าของ L ก็จะเข้าใกล้ 0 ค่า a จะบอกให้ทราบว่า วัตถุมีสีแดงหรือสีเขียวมากน้อยเพียงใด ถ้า a มีค่าเป็นบวก ยิ่งค่ามากแสดงว่าวัตถุมีสีแดงอยู่มาก แต่ถ้า a เป็นค่าลบ ก็จะบอกให้เราทราบว่าวัตถุมีสีเขียว ยิ่งค่าติดลบมากแสดงว่าวัตถุมีสีเขียวมาก และค่า b บอกให้ทราบว่าวัตถุมีสีน้ำเงินหรือสีเหลืองมากน้อยเพียงใด ถ้า b เป็นค่าบวกแสดงว่าวัตถุจะมีสีเหลืองมาก แต่ถ้า b เป็นลบ แสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงินมาก แสดงเครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลองและลักษณะข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.1: ระบบ Hunter scale

ที่มา เอกสารประกอบการอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน รุ่นที่19



รูปที่ ง.2: เครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลองและลักษณะของข้อมูลที่ได้
ที่มา: ยุวลักษณ์, 2548

ง.3 การคำนวณหาปริมาณความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียน

จากการทดลองวัดความแน่นเนื้อของเนื้อทุเรียนเราจะได้ค่าการวัดในหน่วยกิโลกรัมมา และมีการเปลี่ยนขนาดหัววัดแรงกดซึ่งขึ้นอยู่กับความแน่นเนื้อของทุเรียนในการทดลองแต่ละครั้ง แต่เพื่อให้สามารถนำค่าที่วัดมาเปรียบเทียบกันได้ จึงต้องมีการแปลงค่าที่อ่านได้จากขนาดหัวชนิดหนึ่งมาเป็นค่าที่อ่านได้จากหัวกดอีกขนาดหนึ่ง โดยในช่วงวันแรกจะใช้หัวกดขนาดเล็กเนื่องจากเนื้อทุเรียนยังมีความแข็งอยู่และค่อยเปลี่ยนมาเป็นหัวรับแรงกดขนาดใหญ่ ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการเปลี่ยนค่าที่ได้มาเป็นขนาดหัวรับแรงกดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หมดทุกค่า โดยการเปลี่ยนค่าสามารถทำได้ดังนี้

ค่าที่อ่านได้จากหัวรับแรงกดขนาด 8 มิลลิเมตรเท่ากับ 1.8 กิโลกรัม ซึ่งขนาดหัวรับแรงกดขนาด 8 มิลลิเมตร มีพื้นที่เท่ากับ 50.24 ตารางมิลลิเมตร และขนาดหัวรับแรงกดขนาด 10 มิลลิเมตร มีพื้นที่เท่ากับ 78.5 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งสามารถหาค่าที่ขนาดหัวรับแรงกด 10 มิลลิเมตรโดยการเทียบ

พื้นที่กด 50.24 ตารางมิลลิเมตร อ่านค่าได้ 1.8 กิโลกรัม
พื้นที่กด 78.5 ตารางมิลลิเมตร อ่านค่าได้ 2.8125 กิโลกรัม

โดยนำค่าที่ได้นี้ไปคูณกับ 9.81 เพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นแรงกดที่มีหน่วยเป็นนิวตัน แสดงเครื่องมือวัดความแน่นเนื้อที่ใช้ในการทดลอง และขนาดหัวรับแรงกดขนาดต่างๆดังรูปที่ ง.3

รูปที่ ง.3: เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ และขนาดหัววัดแรงกดขนาด 2, 5, 8 และ 10 มิลลิเมตร
ที่มา: ยุวลักษณ์, 2548

ง.4 การคำนวณหาค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

การวัดค่าปริมาณของของแข็งละลายน้ำได้ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Hand refractometer แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ ง.5 เป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในสารละลายโดยอาศัยหลักการหักเหของแสง ค่าที่อ่านได้เป็นค่าบริกซ์ (Brix) แล้วนำค่าที่อ่านได้มาคูณด้วย 3 คือ dilution factor ของเนื้อทุเรียน: น้ำกลั่น (2:1)

ตัวอย่างถ้าค่าที่อ่านได้จาก Hand refractometer เท่ากับ 10% การรายงานผลนำค่า 10% ที่ได้คูณด้วย 3 ดังนั้นปริมาณของแข็งละลายน้ำได้มีค่าเท่ากับ 30%

รูปที่ ง.4: Hand refractometer ที่ใช้ในการทดลอง
ที่มา: ยุวลักษณ์, 2548

ง.5 การคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

นำตัวอย่างก๊าซที่ได้มาฉีดเข้าเครื่อง GC แสดงเครื่อง GC ที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ ง.6 อ่านค่าที่ได้แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ ง.7 แล้วนำมาคำนวณค่าอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนดังนี้

การคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตแก๊สเอทิลีนมีค่าที่ต้องทราบดังนี้

1. อุณหภูมิ (เคลวิน) และความดัน(มิลลิเมตรของปรอท) ที่ทำการทดลอง
2. อัตราการไหลของอากาศผ่านขวดแก้วบรรจุผลไม้ (มิลลิลิตร/นาที)
3. น้ำหนักของเนื้อผลไม้ (กรัม)
4. ความเข้มข้นของแก๊ส เป็น เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
5. Convertion Factor (CF) จะเชื่อมโยงกับอุณหภูมิและความดันที่เราทดลอง จึงต้องมีการคำนวณทุกครั้ง ถ้า ความดันที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 1 บาร์ หรือ เท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิที่ใช้เท่ากับ 0 องศาเซลเซียส หรือเท่ากับ 273 องศาเคลวิน ค่า CF = 1.96 โดย CF จะมีการคำนวณ ดังนี้

$$CF = \frac{273 \times P \times 1.96}{T \times 760}$$

จากนั้นคำนวณอัตราการหายใจดังสมการ

$$\text{Respiration Rate}(\text{mg } CO_2/\text{kg - hr}) = \frac{\text{Flow rate} \times 60 \times \%CO_2 \times 1{,}000 \times CF}{100 \times \text{weight of fruits}}$$

และคำนวณการผลิตเอทิลีนดังสมการ

$$\text{Ethylene production} = \frac{C_2H_4(\text{ppm}) \times \text{Flowrate} \times 60}{\text{weight of fruits (g)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

ผลไม้หนัก 2650 กรัม เก็บไว้ในถังที่มีอัตราการไหลของอากาศผ่านถังบรรจุผลไม้ เท่ากับ 100.56 มิลลิลิตร/นาที โดยวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 0.978%โดยปริมาตร และความเข้มข้นของเอทิลีนเท่ากับ 0.252 ppm ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศหรือ 760 มิลลิเมตรปรอทดังนั้นค่า CF จะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{273 \times 760 \times 1.96}{288 \times 760} = 1.86$$

คำนวณอัตราการหายใจ

ก๊าซ 100 มิลลิลิตร มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.978 มิลลิลิตร

อัตราการไหล 100.56 มิลลิลิตร มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.9835 มิลลิลิตร

ในเวลา 1 นาที มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.9835 มิลลิลิตร

ในเวลา 60 นาที มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 59 ml CO_2/hr

ผลทุเรียน 2650 กรัม มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 59 มิลลิลิตร

ผลทุเรียน 1000 กรัม มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 22.27 ml CO_2/kg-hr

ดังนั้นอัตราการหายใจ เท่ากับ 22.27xCF = 22.27x1.86* = 41.41 mg CO_2/kg-hr

*ก๊าซ 1 g-mole มีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 g-mole หนัก 44 กรัม

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 22,400 มิลลิลิตร หนัก 44,000 มิลลิกรัม

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 มิลลิลิตร หนัก 1.96 มิลลิกรัม

หรือคำนวณตามสูตรที่ให้ไว้ข้างต้น

$$\frac{(100.56 \times 60 \times 0.978 \times 1000 \times CF)}{(100 \times 2650)} = 41.4 mgCO_2 / kg - hr$$

คำนวณการผลิตเอทิลีน

ก๊าซ 1,000,000 มิลลิลิตร มีก๊าซเอทิลีน 0.252 มิลลิลิตร

อัตราการไหล 100.56 มิลลิลิตร มีก๊าซเอทิลีน 0.000025 มิลลิลิตร

ในเวลา 1 นาที มีก๊าซเอทิลีน 0.000025 มิลลิลิตร

ในเวลา 60 นาที มีก๊าซเอทิลีน 0.0015 มิลลิลิตร (ml/hr)

ผลทุเรียน 2650 กรัม มีก๊าซเอทิลีน 0.0015 ml/hr

ผลทุเรียน 1,000 กรัม มีก๊าซเอทิลีน 0.0057 ml/kg-hr

ดังนั้นอัตราการผลิตเอทิลีน เท่ากับ 0.0057 ml/kg-hr หรือเท่ากับ 5.70 μl/kg-hr

หรือคำนวณตามสูตรที่ให้ไว้ข้างต้น $\frac{0.252 \times 100.56 \times 60}{2650} = 5.70 \mu l / kg - hr$

(ก)

(ข)

รูปที่ ง.5: เครื่อง Gas chromatography (GC-8A) ที่ใช้ในการทดลองของฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (ก) ฉีดเอทิลีน (ข) ฉีดคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา: ยุวลักษณ์, 2548

ตัวอย่างแบบประเมินทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ_____

วันที่ _____

ตัวอย่าง____ทุเรียน_____

ใบประเมินการชิม

หมายเลขตัวอย่าง_____

1 สี	ไม่สวย	0	1	2	3	4	5	สวยมาก
2. กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่นหอมมาก
3. ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	5	หวานมาก
4. ความมัน	ไม่มัน	0	1	2	3	4	5	มันมาก
5. ความนุ่ม	แข็ง	0	1	2	3	4	5	นุ่มมาก
6. กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ไม่มี	0	1	2	3	4	5	ผิดปกติมาก
7. ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

หมายเลขตัวอย่าง_____

1 สี	ไม่สวย	0	1	2	3	4	5	สวยมาก
2. กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่นหอมมาก
3. ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	5	หวานมาก
4. ความมัน	ไม่มัน	0	1	2	3	4	5	มันมาก
5. ความนุ่ม	แข็ง	0	1	2	3	4	5	นุ่มมาก
6. กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ไม่มี	0	1	2	3	4	5	ผิดปกติมาก
7. ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

หมายเลขตัวอย่าง_____

1 สี	ไม่สวย	0	1	2	3	4	5	สวยมาก
2. กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่นหอมมาก
3. ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	5	หวานมาก
4. ความมัน	ไม่มัน	0	1	2	3	4	5	มันมาก
5. ความนุ่ม	แข็ง	0	1	2	3	4	5	นุ่มมาก
6. กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ไม่มี	0	1	2	3	4	5	ผิดปกติมาก
7. ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

หมายเลขตัวอย่าง_____

1 สี	ไม่สวย	0	1	2	3	4	5	สวยมาก
2. กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่นหอมมาก
3. ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	5	หวานมาก
4. ความมัน	ไม่มัน	0	1	2	3	4	5	มันมาก
5. ความนุ่ม	แข็ง	0	1	2	3	4	5	นุ่มมาก
6. กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ไม่มี	0	1	2	3	4	5	ผิดปกติมาก
7. ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

หมายเลขผู้ทดสอบ_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

วันที่ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

ตัวอย่าง_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

ใบประเมินการชิม

กรุณาประเมินตัวอย่างอาหารต่อไปนี้จากซ้ายไปขวา โดยการทำเครื่องหมายที่คะแนนตามการตัดสินใจ

หมายเลขตัวอย่าง_ _

1. ความมันเงา	ไม่มันเงา	0	1	2	3	4	5	มันเงามาก
2. กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่น
3. สีผิวผล	สีเขียว	0	1	2	3	4	5	สีเหลือง
4. ความขม	ไม่ขม	0	1	2	3	4	5	ขมมาก
5. ความเปรี้ยว	ไม่เปรี้ยว	0	1	2	3	4	5	เปรี้ยวมาก
6. กลิ่น และรสชาติผิดปกติ	ปกติ	0	1	2	3	4	5	ไม่ปกติ
7. ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

หมายเลขตัวอย่าง_ _

1. ความมันเงา	ไม่มันเงา	0	1	2	3	4	5	มันเงามาก
2. กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่น
3. สีผิวผล	สีเขียว	0	1	2	3	4	5	สีเหลือง
4. ความขม	ไม่ขม	0	1	2	3	4	5	ขมมาก
5. ความเปรี้ยว	ไม่เปรี้ยว	0	1	2	3	4	5	เปรี้ยวมาก
6. กลิ่น และรสชาติผิดปกติ	ปกติ	0	1	2	3	4	5	ไม่ปกติ
7. ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

หมายเลขตัวอย่าง_ _

1. ความมันเงา	ไม่มันเงา	0	1	2	3	4	5	มันเงามาก
2. กลิ่นหอม	ไม่มีกลิ่น	0	1	2	3	4	5	มีกลิ่น
3. สีผิวผล	สีเขียว	0	1	2	3	4	5	สีเหลือง
4. ความขม	ไม่ขม	0	1	2	3	4	5	ขมมาก
5. ความเปรี้ยว	ไม่เปรี้ยว	0	1	2	3	4	5	เปรี้ยวมาก
6. กลิ่น และรสชาติผิดปกติ	ปกติ	0	1	2	3	4	5	ไม่ปกติ
7. ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

ภาคผนวก จ

สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการทดสอบคุณภาพของทุเรียน และมะนาว

ตารางสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ตามลำดับ

ตารางที่ จ.1: เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (%weight loss)** [1/]			
	0วัน	3วัน	7วัน	10วัน
Control	0	10.08±1.23a	14.71±1.76a	30.81±1.25a
Lab-a	0	4.55±0.76b	9.08±0.75b	12.75±2.54c
Lab-b	0	3.43±0.25b	10.75±2.11b	17.82±3.36b
Teva	0	8.34±2.29ab	11.07±1.18b	22.14±3.50b
F-test	ns	*	*	*
CV (%)	0	46.36	22.05	35.07

ตารางที่จ.2:สีเนื้อความสว่างของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**สีเนื้อความสว่าง (L)**[1/]			
	0วัน	3วัน	7วัน	10วัน
Control	84.70±1.32	84.42±2.00	83.38±0.73	71.05±4.25
Lab-a	84.70±1.32	86.00±0.95	84.51±1.43	76.75±6.44
Lab-b	84.70±1.32	87.20±0.39	86.07±0.12	78.63±2.93
Teva	84.70±1.32	85.14±0.50	84.40±1.38	73.01±6.36
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.55	1.71	1.60	7.25

ตารางที่จ.3: สีเนื้อความเป็นสีเหลืองของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**สีเนื้อความเป็นสีเหลือง (-b)**[1/]			
	0วัน[1/]	3วัน[1/]	7วัน[1/]	10วัน[1/]
Control	31.28±0.71	31.83±1.49	31.92±0.70	33.42±1.16
Lab-a	31.28±0.71	31.34±0.90	32.87±0.92	35.11±1.22
Lab-b	31.28±0.71	30.80±0.24	33.47±0.23	34.75±2.50
Teva	31.28±0.71	31.29±1.83	31.95±0.88	34.87±0.91
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.28	3.66	2.84	4.37

ตารางที่จ.4: ความแน่นเนื้อของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**ความแน่นเนื้อ (Firmness)**[1/]			
	0วัน	3วัน	7วัน	10วัน
Control	908.62±20.83	41.28±2.04a	19.57±5.21	3.34±1.02a
Lab-a	908.62±20.83	51.83±5.69b	17.25±4.33	14.96±0.37b
Lab-b	908.62±20.83	43.49±4.81a	17.00±10.93	4.66±0.37a
Teva	908.62±20.83	39.08±3.94a	22.48±2.82	4.22±1.22a
F-test	ns	*	ns	*
CV (%)	2.05	14.23	31.81	79.41

ตารางที่จ.5: ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS)**[1/]			
	0วัน	3วัน	7วัน	10วัน
Control	13.30±0.62	17.60±0.92a	20.20±1.51ab	32.50±0.87a
Lab-a	13.30±0.62	13.80±0.60c	19.80±0.60ab	23.80±2.84b
Lab-b	13.30±0.62	14.40±0.35bc	18.40±1.25b	23.20±1.83b
Teva	13.30±0.62	15.00±0.60b	21.60±0.60a	25.20±1.20b
F-test	ns	*	*	*
CV (%)	4.00	11.59	7.50	16.02

ตารางที่จ.6: เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (%Titratable Acidity)**[1/]			
	0วัน	3วัน	7วัน	10วัน
Control	0.1362±0.0102	0.0795±0.0015	0.1474±0.0134	0.0916±0.0039
Lab-a	0.1362±0.0102	0.0755±0.0043	0.1541±0.0067	0.0849±0.0039
Lab-b	0.1362±0.0102	0.0755±0.0020	0.1362±0.0235	0.0692±0.0102
Teva	0.1362±0.0102	0.0759±0.0041	0.1519±0.0039	0.0826±0.0039
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6.10	4.27	9.50	12.12

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leqslant 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่จ.7: อัตราการหายใจของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg-hr)[1/]						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	21.31±1.84a	34.40±1.99a	46.39±4.36a	2.77±0.52a	3.36±0.62a	32.40±5.61a	13.28±5.08a
Lab-a	20.05±1.60ab	33.15±3.79a	11.75±1.27c	3.86±0.46a	29.35±21.35b	109.38±23.26b	63.73±27.86b
Lab-b	11.47±3.51c	10.54±1.76c	11.44±2.56c	6.12±0.66a	45.60±12.94b	103.90±37.36b	72.97±7.20b
Teva	15.89±3.63bc	21.18±3.54b	22.46±3.92b	30.78±7.78b	80.34±14.78c	81.31±4.79b	23.77±6.39a
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	27.40	41.82	65.01	114.27	79.58	45.48	67.79

ตารางที่จ.7 (ต่อ)

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg-hr)[1/]							
	7	8	9	10	11	12	13	14
Control	2.93±0.39a	32.30±18.38a	11.13±4.27a	4.31±1.07a	10.95±1.23a	49.35±15.47	3.52±1.66a	4.60±0.25a
Lab-a	30.41±9.74b	80.53±5.76b	22.30±7.37a	5.62±1.46a	30.65±8.95b	30.09±7.09	63.80±20.02b	32.50±4.88b
Lab-b	41.47±25.20b	26.99±19.36a	37.56±12.08b	3.98±0.94a	31.65±3.13b	49.90±23.52	9.06±2.73a	26.43±11.04b
Teva	33.02±8.58b	41.29±12.26a	45.41±11.99b	24.18±10.15b	7.70±1.33a	56.61±11.56	58.16±9.85b	10.50±4.73a
F-test	*	*	*	*	*	ns	*	*
CV (%)	72.66	56.26	16.15	104.04	59.96	37.24	89.56	70.72

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่จ.8: การผลิตเอทิลีนของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**การผลิตเอทิลีน (µl/kg-hr)**[1/]						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	0.28±0.08a	0.26±0.16	0.16±0.07a	0.89±0.18a	0.88±1.21	0.51±0.11a	0.50±0.13
Lab-a	0.14±0.05b	0.32±0.08	0.17±0.03a	1.25±0.29b	1.26±0.86	0.79±0.18a	0.98±0.22
Lab-b	0.22±0.03ab	0.35±0.14	0.36±0.12b	0.41±0.14c	0.69±0.47	1.98±0.20b	1.38±0.21
Teva	0.21±0.06ab	0.31±0.15	0.44±0.14b	1.34±0.17b	0.87±0.57	1.91±1.40b	1.71±0.81
F-test	*	ns	*	*	ns	*	ns
CV (%)	34.39	41.18	54.02	42.99	83.49	71.48	61.36

ตารางที่จ.8: (ต่อ)

ทรีทเมนต์	การผลิตเอทิลีน (µl/kg-hr)							
	7	8	9	10	11	12	13	14
Control	0.22±0.07a	3.64±0.23a	1.56±0.53	0.33±0.13a	0.46±0.14a	0.63±0.11a	0.42±0.09	0.35±0.04a
Lab-a	0.39±0.26a	1.89±0.18b	0.99±0.24	0.76±0.19a	0.99±0.11b	0.98±0.25a	0.66±0.12	0.93±0.48a
Lab-b	0.24±0.10a	1.86±0.54b	1.29±0.37	0.58±0.14a	0.54±0.10a	0.64±0.21a	0.51±0.16	0.40±0.19a
Teva	3.05±1.71b	3.71±1.92a	1.26±0.05	2.86±0.87b	0.93±0.16b	2.40±0.50b	0.49±0.14	2.24±0.65b
F-test	*	*	ns	*	*	*	ns	*
CV (%)	149.48	46.60	29.26	98.64	36.59	68.67	28.34	89.27

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C

แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ตามลำดับ

ตารางที่ จ.9: เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C

ทรีทเมนต์	**เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (%weight loss)** [1/]			
	0วัน	7วัน	14วัน	21วัน
Control	0	6.53±0.64	16.29±1.62a	21.09±2.30a
Lab-a	0	5.13±1.24	11.17±3.27b	15.97±1.31c
Lab-b	0	6.92±1.68	16.46±1.18a	26.08±2.55b
Teva	0	6.09±0.57	16.69±1.80a	22.67±0.66a
F-test	ns	ns	*	*
CV (%)	0	19.79	20.07	19.19

ตารางที่จ.10:สีเนื้อความสว่างของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C

ทรีทเมนต์	**สีเนื้อความสว่าง (L)**[1/]			
	0วัน	7วัน	14วัน	21วัน
Control	84.70±1.32	86.01±2.18	79.84±4.55	83.20±0.77
Lab-a	84.70±1.32	87.19±0.82	85.63±1.29	83.61±3.05
Lab-b	84.70±1.32	85.55±3.02	81.49±2.61	82.09±2.87
Teva	84.70±1.32	85.63±1.01	81.37±1.89	82.84±0.74
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.55	2.20	4.13	2.44

ตารางที่จ.11: สีเนื้อความเป็นสีเหลืองของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C

ทรีทเมนต์	**สีเนื้อความเป็นสีเหลือง (-b)[1/]**			
	0วัน	7วัน	14วัน	21วัน
Control	31.28±0.71	28.37±2.95	31.59±4.39	29.97±2.56
Lab-a	31.28±0.71	31.14±3.16	32.07±1.29	33.71±1.50
Lab-b	31.28±0.71	32.36±3.62	34.80±2.66	32.95±1.53
Teva	31.28±0.71	33.21±1.58	34.92±0.74	33.82±2.40
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.28	10.31	8.59	7.49

ตารางที่จ.12: ความแน่นเนื้อของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C

ทรีทเมนต์	**ความแน่นเนื้อ (Firmness)[1/]**			
	0วัน	7วัน	14วัน	21วัน
Control	908.62±20.83	452.07±178.02	16.55±1.48a	19.78±6.03
Lab-a	908.62±20.83	473.75±29.27	114.30±25.57b	31.07±14.36
Lab-b	908.62±20.83	540.03±231.79	93.21±22.96bc	25.34±5.47
Teva	908.62±20.83	438.16±6.10	78.69±13.46ab	17.58±17.14
F-test	ns	ns	*	ns
CV (%)	2.05	28.88	54.27	50.91

ตารางที่จ.13: ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C

ทรีทเมนต์	**ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS)[1/]**			
	0วัน	7วัน	14วัน	21วัน
Control	13.30±0.62	13.60±1.13	28.65±1.24a	28.13±1.56a
Lab-a	13.30±0.62	16.35±3.96	19.80±2.90c	25.00±1.72b
Lab-b	13.30±0.62	16.65±5.15	25.05±1.98b	27.50±1.10a
Teva	13.30±0.62	20.80±4.17	27.15±0.57ab	27.38±0.67a
F-test	ns	ns	*	*
CV (%)	4.00	26.02	15.29	6.33

ตารางที่จ.14: เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลทุเรียน ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C

ทรีทเมนต์	**เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (%Titratable Acidity)**[1/]			
	0วัน	7วัน	14วัน	21วัน
Control	0.1362±0.0102	0.1206±0.0190	0.1286±0.0120	0.1228±0.0167
Lab-a	0.1362±0.0102	0.1206±0.0262	0.1173±0.0086	0.1206±0.0055
Lab-b	0.1362±0.0102	0.1240±0.0248	0.1122±0.0064	0.1005±0.0055
Teva	0.1362±0.0102	0.1206±0.0145	0.1122±0.0064	0.1251±0.0084
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6.41	15.97	8.85	11.58

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leqslant 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่ จ.15: อัตราการหายใจของผลทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg-hr)[1/]						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	11.42±3.83a	20.17±3.97a	43.82±4.71a	6.03±0.34a	5.54±1.01a	52.64±4.50a	20.42±1.17a
Lab-a	5.54±2.92b	4.42±2.45b	36.74±20.39a	14.43±8.13c	3.69±0.83a	4.63±1.90c	3.82±0.63d
Lab-b	3.92±1.50b	2.58±1.17b	11.44±2.10b	3.56±0.86a	11.27±1.07a	21.27±12.43b	10.10±1.26c
Teva	6.97±1.29b	10.58±1.64c	42.23±18.94a	28.86±8.96b	42.51±3.25b	58.39±13.39a	17.15±1.71b
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	53.23	78.95	55.07	87.45	103.46	71.31	52.25

ตารางที่ จ.15: (ต่อ)

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg-hr)[1/]						
	7	8	9	10	11	12	13
Control	39.54±6.74a	60.45±5.30a	40.10±10.16a	35.68±11.25a	10.36±2.98	12.07±5.38	20.89±6.94a
Lab-a	18.05±7.02c	11.89±1.64c	8.51±2.86b	3.09±0.70c	9.92±1.48	8.43±2.60	33.71±2.52b
Lab-b	32.42±5.44ab	19.96±3.00c	10.77±2.82b	4.11±0.83c	10.50±0.97	11.78±1.42	43.79±5.01b
Teva	29.38±4.49b	46.32±11.56b	31.91±7.45a	22.41±5.88b	9.04±1.60	10.03±2.97	33.02±12.37b
F-test	*	*	*	*	ns	ns	*
CV (%)	32.29	60.81	66.45	92.66	18.17	32.19	32.90

ตารางที่ จ.15: (ต่อ)

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg-hr)[1/]						
	14	15	16	17	18	19	20
Control	17.27±6.80	28.44±11.46a	7.87±2.09a	9.58±2.38ab	11.52±3.30a	11.26±2.52a	8.97±1.81a
Lab-a	6.24±2.55	11.75±1.07b	3.60±1.93b	4.20±1.53b	5.38±2.06b	5.19±1.66b	4.96±0.24b
Lab-b	12.97±7.19	15.94±2.88ab	5.47±2.24ab	14.77±2.87a	13.36±2.79a	16.94±2.62c	14.78±2.65c
Teva	12.00±6.10	24.92±5.66a	12.21±2.01c	17.34±6.50a	14.78±3.11a	18.78±2.65c	17.79±2.09d
F-test	ns	*	*	*	*	*	*
CV (%)	55.25	44.83	52.21	54.35	39.95	45.18	46.70

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่ จ.16: การผลิตเอทิลีนของผลทุเรียนซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C

ทรีทเมนต์	**การผลิตเอทิลีน (μl/kg-hr)**[1/]						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	0.56±0.23	0.78±0.14a	0.42±0.15ab	1.78±0.47a	1.21±0.32a	0.56±0.04a	0.54±0.06
Lab-a	0.31±0.13	0.46±0.15bc	0.23±0.11b	0.62±0.16b	0.65±0.15b	0.28±0.09b	0.53±0.21
Lab-b	0.43±0.10	0.56±0.18b	1.02±0.15c	1.42±0.25a	0.64±0.20b	0.61±0.07a	0.41±0.05
Teva	0.26±0.08	0.30±0.07c	0.56±0.11a	1.34±0.07a	0.73±0.27b	0.57±0.10a	0.38±0.04
F-test	ns	*	*	*	*	*	ns
CV (%)	45.68	41.22	57.87	38.90	40.46	30.24	26.96

ตารางที่จ.16: (ต่อ)

ทรีทเมนต์	การผลิตเอทิลีน (µl/kg-hr)[1/]						
	7	8	9	10	11	12	13
Control	061±0.14a	2.49±0.37a	1.65±0.31a	0.37±0.13	0.86±0.28	0.85±0.05a	0.84±0.20a
Lab-a	0.20±0.02b	1.71±0.19b	0.92±0.15b	0.38±0.11	0.45±0.16	0.37±0.14b	0.29±0.12b
Lab-b	0.45±0.11c	1.45±0.38b	1.09±0.20b	0.26±0.15	0.68±0.26	0.74±0.10c	0.61±0.21b
Teva	0.40±0.06c	1.35±0.23b	1.15±0.23b	0.49±0.19	0.74±0.19	0.64±0.10ac	0.61±0.05b
F-test	*	*	*	ns	ns	*	*
CV (%)	41.21	30.70	28.78	41.95	37.60	31.29	40.01

ตารางที่ จ.16: (ต่อ)

ทรีทเมนต์	การผลิตเอทิลีน (µl/kg-hr)[1/]						
	14	15	16	17	18	19	20
Control	0.68±0.19	0.43±0.08	0.50±0.05	0.86±0.25	0.93±0.26a	0.75±0.21a	0.89±0.22a
Lab-a	0.47±0.20	0.27±0.05	0.26±0.04	0.45±0.12	0.44±0.18b	0.44±0.10b	0.47±0.10b
Lab-b	0.41±0.05	0.40±0.07	0.75±0.40	0.84±0.22	0.73±0.13bc	0.80±0.17a	0.76±0.06a
Teva	0.43±0.10	0.41±0.10	0.65±0.43	0.83±0.46	0.92±0.21ac	0.84±0.13a	0.80±0.06a
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*	*
CV (%)	34.90	24.76	59.52	42.22	36.29	30.60	26.92

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิว ผล Deformation ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ตามลำดับ

ตารางที่จ.17: เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (%weight loss)** [1/]				
	0วัน	3วัน	6วัน	12วัน	15วัน
Control	0	4.83±0.65	9.22±1.41a	16.61±1.44a	21.68±1.92a
Lab-a	0	4.15±0.95	6.05±0.27b	12.91±0.97b	13.64±1.45c
Lab-c	0	4.77±0.52	8.09±1.68ab	13.81±0.83b	17.85±1.49b
Teva	0	3.71±0.99	6.86±1.71b	13.45±1.27b	14.22±0.35c
F-test	ns	ns	*	*	*
CV (%)	0	19.77	23.33	12.69	21.14

ตารางที่จ.18: สีผิวผลความสว่างของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**สีผิวผลความสว่าง (L)**[1/]				
	0วัน	3วัน	6วัน	12วัน	15วัน
Control	47.40±1.48	52.20±0.60a	55.28±1.00a	58.80±3.37	60.78±1.84a
Lab-a	47.66±2.78	56.50±1.41b	58.12±0.51b	64.08±4.51	66.32±3.18b
Lab-c	48.15±2.39	59.06±1.83c	60.15±2.21b	65.54±3.55	64.62±0.41b
Teva	47.61±2.51	57.59±1.11bc	58.54±1.77b	63.17±6.27	65.19±2.94b
F-test	ns	*	*	ns	*
CV (%)	4.43	4.68	3.91	7.70	4.69

ตารางที่จ.19: สีผิวผลความเป็นสีเขียวของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**สีผิวผลความเป็นสีเขียว (+a)[1/]**				
	0วัน	3วัน	6วัน	12วัน	15วัน
Control	-20.81±0.28	-18.49±0.43	-18.12±1.50	-15.41±1.76	-14.23±1.65
Lab-a	-20.27±0.44	-18.44±0.76	-17.03±1.54	-15.91±1.79	-14.71±0.29
Lab-c	-20.13±0.44	-18.44±0.57	-17.49±1.76	-15.31±1.11	-14.97±1.72
Teva	-20.40±0.43	-18.35±0.62	-17.92±1.00	-16.20±3.48	-14.09±2.45
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.19	2.95	7.88	12.83	10.87

ตารางที่จ.20: สีผิวผลความเป็นสีเหลืองของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**สีผิวผลความเป็นสีเหลือง (-b)[1/]**				
	0วัน	3วัน	6วัน	12วัน	15วัน
Control	28.05±1.52	37.64±1.35a	43.29±1.00a	49.13±4.26	52.54±6.35
Lab-a	27.90±1.85	34.02±1.51b	38.58±0.51b	46.19±4.20	48.25±0.90
Lab-c	28.86±2.53	37.44±1.01a	42.70±2.21a	48.78±3.46	51.71±3.79
Teva	28.24±3.12	36.04±1.20a	41.18±1.77b	47.39±6.27	50.57±3.73
F-test	ns	*	*	ns	ns
CV (%)	7.52	5.19	6.03	9.07	8.04

ตารางที่จ.21: Deformationของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	**Deformation[1/]**				
	0วัน	3วัน	6วัน	12วัน	15วัน
Control	53.59±5.29	35.98±3.78	34.83±2.23	29.39±2.27	26.87±3.29
Lab-a	53.59±5.29	44.02±4.87	35.68±0.94	34.73±3.64	28.51±4.82
Lab-c	53.59±5.29	42.22±3.87	37.44±1.06	32.78±2.46	27.85±2.43
Teva	53.59±5.29	40.18±2.79	35.81±2.12	31.46±2.90	27.76±2.03
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9.88	11.48	5.01	10.15	10.92

ตารางที่จ.22: ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS)[1/]				
	0วัน	3วัน	6วัน	12วัน	15วัน
Control	7.60±0.16	7.70±0.38	8.45±0.19	8.30±0.12	8.20±0.00
Lab-a	7.60±0.16	7.58±0.17	8.30±0.20	8.30±0.12	8.10±0.12
Lab-c	7.60±0.16	7.65±0.19	8.30±0.26	8.35±0.19	8.15±0.19
Teva	7.60±0.16	7.60±0.16	8.40±0.16	8.15±0.19	8.05±0.10
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.11	2.94	2.35	1.95	1.52

ตารางที่จ.23: เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (%Titratable Acidity)[1/]				
	0วัน	3วัน	6วัน	12วัน	15วัน
Control	8.50±0.12	7.90±0.52	8.70±0.42	8.00±0.48	9.09±0.23
Lab-a	8.50±0.12	8.06±0.21	8.42±0.32	8.19±0.55	9.02±0.70
Lab-c	8.50±0.12	7.90±0.38	8.48±0.19	7.62±0.13	8.90±0.67
Teva	8.50±0.12	7.42±0.36	8.61±0.37	7.64±0.13	8.64±0.32
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.36	5.41	3.76	5.20	5.65

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leqslant 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่จ.24: อัตราการหายใจของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg-hr)[1/]					
	0	3	6	9	12	15
Control	19.12±2.97	41.73±3. 50	46.56±3.66ab	26.64±1.44a	6.84±2.34	14.06±2.21a
Lab-a	17.05±1.69	38.77±10.07	51.18±6.11a	31.76±3.32b	4.56±0.63	8.23±2.67b
Lab-c	21.10±2.89	33.78±9.34	57.66±0.70c	27.15±3.17a	5.28±1.42	13.62±1.33a
Teva	18.23±0.55	41.83±4.06	44.45±2.80b	39.91±1.00c	6.20±0.98	9.54±0.67b
F-test	ns	ns	*	*	ns	*
CV (%)	13.07	18.33	12.48	18.94	27.32	27.20

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leqslant 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่จ.25: การผลิตเอทิลีนของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ทรีทเมนต์	การผลิตเอทิลีน (μl/kg-hr)[1/]					
	0	3	6	9	12	15
Control	0.0291±0.0010	0.0721±0.0089	0.1153±0.0384	0.1568±0.0091	0.0386±0.0042ab	0.0148±0.0028
Lab-a	0.0281±0.0043	0.0583±0.0079	0.0949±0.0206	0.1506±0.0139	0.0320±0.0034b	0.0182±0.0019
Lab-c	0.0255±0.0045	0.0585±0.0151	0.0966±0.0373	0.1469±0.0344	0.0344±0.0385b	0.0197±0.0071
Teva	0.0283±0.0075	0.0840±0.0098	0.1021±0.0158	0.1610±0.0102	0.0494±0.0087a	0.0187±0.0025
F-test	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)	15.87	21.18	26.13	11.57	22.91	22.50

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leqslant 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิว ผล Deformation ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ตามลำดับ

ตารางที่จ.26: การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

ทรีทเมนต์	**การสูญเสียน้ำหนัก (%)**				
	0 วัน	14วัน	28วัน	42วัน	56วัน
Control	0	6.19±0.31a	8.09±2.02a	10.25±1.83a	12.19±1.41a
Lab-a	0	3.57±1.07b	3.65±0.78b	5.42±1.21b	5.76±0.45c
Lab-c	0	5.38±0.93a	6.26±0.82a	7.55±1.43b	9.88±0.29b
Teva	0	4.16±1.43ab	4.63±1.30ab	6.47±1.33b	7.14±0.98c
F-test	ns	*	*	*	*
CV (%)	0	28.94	37.22	30.65	30.74

ตารางที่จ.27: สีผิวผลความสว่างของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

ทรีทเมนต์	**สีผิวผลความสว่าง (L)**[1/]				
	0วัน	14วัน	28วัน	42วัน	56วัน
Control	47.40±1.48	49.71±1.74	55.32±1.46	58.97±1.77	64.65±1.70
Lab-a	47.66±2.78	49.45±1.60	57.05±1.58	59.60±4.41	64.64±2.57
Lab-c	48.15±2.39	50.73±1.61	57.92±1.88	61.57±2.58	63.42±1.48
Teva	47.61±2.51	50.34±1.45	58.92±2.22	64.28±2.33	65.48±2.68
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5.29	3.05	3.70	5.55	3.23

ตารางที่จ.28: สีผิวผลความเป็นสีเขียวของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

ทรีทเมนต์	**สีผิวผลความเป็นสีเขียว (+a)[1/]**				
	0วัน	14วัน	28วัน	42วัน	56วัน
Control	-20.81±0.28	-19.66±0.85	-18.49±0.43	-17.26±1.24	-15.82±1.06
Lab-a	-20.27±0.44	-19.56±0.39	-18.19±0.77	-18.03±0.13	-16.54±0.99
Lab-c	-20.13±0.44	-18.91±0.81	-18.44±0.57	-17.77±0.90	-16.11±0.83
Teva	-20.40±0.43	-19.37±1.09	-18.07±2.14	-17.48±0.54	-14.84±1.36
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.19	4.01	5.92	4.46	7.35

ตารางที่จ.29: สีผิวผลความเป็นสีเหลืองของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

ทรีทเมนต์	**สีผิวผลความเป็นสีเหลือง (-b)[1/]**				
	0วัน	14วัน	28วัน	42วัน	56วัน
Control	28.05±1.52	39.70±2.25a	46.29±1.85	48.29±1.50	56.26±1.37
Lab-a	27.90±1.85	33.92±2.17b	44.06±1.75	47.06±4.75	52.63±2.75
Lab-c	28.86±2.53	38.24±1.73a	45.11±2.93	48.00±2.68	50.47±2.13
Teva	28.24±3.12	38.17±2.25a	47.85±2.14	49.93±2.75	53.77±2.29
F-test	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)	7.52	7.79	5.36	6.23	5.47

ตารางที่จ.30: Deformation ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

ทรีทเมนต์	**Deformation[1/]**				
	0วัน	14วัน	28วัน	42วัน	56วัน
Control	53.59±5.29	36.75±2.73	32.62±2.96a	28.35±3.33a	25.90±4.56
Lab-a	53.59±5.29	41.69±3.90	41.20±3.80b	36.34±2.62b	30.21±4.27
Lab-c	53.59±5.29	39.88±5.04	38.18±2.82b	34.50±1.01b	26.85±3.03
Teva	53.59±5.29	37.52±3.26	36.22±3.93ab	32.86±4.09ab	27.12±1.97
F-test	ns	ns	*	*	ns
CV (%)	9.88	10.21	11.97	12.29	13.21

ตารางที่จ.31: ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

ทรีทเมนต์	**ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS)[1/]**				
	0วัน	14วัน	28วัน	42วัน	56วัน
Control	7.60±0.16	8.10±0.20	8.20±0.20a	8.20±0.16	8.20±0.16
Lab-a	7.60±0.16	7.90±0.20	7.90±0.00b	8.00±0.00	8.00±0.16
Lab-c	7.60±0.16	7.95±0.10	8.05±0.10ab	8.05±0.10	8.10±0.12
Teva	7.60±0.16	8.00±0.16	8.05±0.10ab	7.95±0.19	8.05±0.10
F-test	ns	ns	*	ns	ns
CV (%)	2.11.	2.14	1.92	1.92	1.80

ตารางที่จ.32: เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C

ทรีทเมนต์	**เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (%Titratable Acidity)[1/]**				
	0วัน	14วัน	28วัน	42วัน	56วัน
Control	8.50±0.12	8.70±0.21	8.99±0.47	7.36±0.30	8.38±0.25
Lab-a	8.50±0.12	9.25±0.34	8.90±0.60	7.04±0.15	8.00±0.25
Lab-c	8.50±0.12	8.90±0.32	8.38±0.44	6.98±0.13	7.10±1.11
Teva	8.50±0.12	8.90±0.13	8.45±0.30	7.07±0.19	7.74±0.60
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.36	3.48	5.75	3.49	9.73

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leqslant 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่จ.33: อัตราการหายใจของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg-hr)[1/]					
	0	3	6	9	12	15
Control	14.58±2.30a	14.31±3.60a	42.35±1.10	15.50±1.17	24.34±3.49a	18.45±1.94
Lab-a	11.78±1.27a	19.07±2.23b	40.28±3.67	14.40±2.91	13.33±1.45b	16.09±1.79
Lab-c	15.93±1.56b	19.44±1.37b	41.25±0.99	14.62±2.05	13.81±1.83b	14.00±4.29
Teva	14.21±0.53a	19.42±0.62b	42.24±2.94	16.24±2.48	11.15±2.38b	20.37±6.90
F-test	*	*	ns	ns	*	ns
CV (%)	14.72	16.66	5.70	14.14	36.45	26.24

ตารางที่จ.33: (ต่อ)

ทรีทเมนต์	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg-hr)[1/]					
	21	28	35	42	49	56
Control	22.15±3.07a	15.12±2.84a	22.83±1.31a	44.07±3.52	28.07±3.42	30.32±7.98
Lab-a	8.68±3.40c	41.72±0.81b	27.02±2.00b	50.77±7.26	26.65±2.19	34.95±3.75
Lab-c	23.68±7.15a	45.57±7.13b	28.75±3.23b	49.31±4.36	27.32±0.75	30.53±2.23
Teva	33.56±4.45b	20.22±9.26a	25.40±1.75ab	44.29±2.46	27.61±3.94	27.26±2.98
F-test	*	*	*	ns	ns	ns
CV (%)	45.89	47.76	11.48	11.12	9.51	16.68

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leqslant 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

ตารางที่จ.34: การผลิตเอทิลีนของผลมะนาว ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C

ทรีทเมนต์	**การผลิตเอทิลีน (μl/kg-hr)[1/]**					
	0	3	6	9	12	15
Control	0.0160±0.0039	0.0301±0.0073	0.0858±0.0439	0.0501±0.0160	0.0418±0.0071	0.0312±0.0097
Lab-a	0.0125±0.0007	0.0285±0.0050	0.1121±0.0220	0.0625±0.0055	0.0441±0.0044	0.0306±0.0018
Lab-c	0.0149±0.0057	0.0351±0.0112	0.1442±0.0539	0.0736±0.0292	0.0612±0.0284	0.0380±0.0046
Teva	0.0136±0.0.0015	0.0304±0.0.0042	0.0853±0.0.0168	0.0509±0.0124	0.0461±0.0049	0.0292±0.0010
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	24.39	22.91	39.05	31.86	32.23	18.69

ตารางที่จ.34: (ต่อ)

ทรีทเมนต์	การผลิตเอทิลีน (µl/kg-hr)[1/]					
	21	28	35	42	49	56
Control	0.0170±0.0083	0.0209±0.0060	0.0792±0.0240	0.0877±0.0145	0.0130±0.0029a	0.0056±0.0022
Lab-a	0.0254±0.0025	0.0142±0.0073	0.0881±0.0132	0.1059±0.0445	0.0346±0.0057b	0.0075±0.0018
Lab-c	0.0283±0.0068	0.0251±0.0106	0.0985±0.0659	0.1273±0.0215	0.0268±0.0156b	0.0104±0.0032
Teva	0.0222±0.0040	0.0171±0.0060	0.0799±0.0029	0.0993±0.0407	0.0993±0.0024b	0.0077±0.0022
F-test	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)	29.34	40.43	38.10	31.12	44.73	35.49

1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงแตกต่างทางสถิติ ($P \leqslant 0.05$)

CV (%) คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of varience)

Control

Teva

Lab-a

Lab-b

รูปที่ จ.1: เปรียบเทียบการแตกของผลทุเรียนที่ไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วย Teva Lab-a และ Lab-b เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน

Control

(a) มะนาวที่ไม่ได้เคลือบเกิดสีผิวเปลือกเป็นสีน้ำตาล (browning) ที่เก็บรักษา 15 วัน

Lab-a

(b) มะนาวที่เคลือบด้วย Lab-a ไม่พบการหลุดลอกของสารเคลือบ

Teva

(b) มะนาวที่เคลือบด้วย Teva พบการหลุดลอกของสารเคลือบ

รูปที่ จ.2: เปรียบเทียบผลการเคลือบมะนาวที่ไม่ได้เคลือบ และเคลือบด้วย Lab-a และ Teva เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธำรงค์ อัมพรรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2525 ที่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2542 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2546

ทุนที่ได้รับ

- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการ “การพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารแขวนลอยของเชลแล้กในน้ำเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้เขตร้อนสามชนิด” ระยะเวลา เดือนมกราคม ปี 2547 ถึง เดือนมกราคม ปี 2549