

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตนและเจลาตินสำหรับ รักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา
ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งแปรรูปพร้อมบริโภค

นายประกิต โรจน์ปัญญากิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EDIBLE COATING FILMS FROM CHITOSAN AND GELATIN FOR MAINTAINING QUALITY AND
EXTENDING STORAGE LIFE OF MINIMALLY PROCESSED PUMMELO CV. KHAO-NAMPHUENG.

Mr.Prakit Roatphunyakit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ฟิล์มเคลือบบริเวณใต้จากโคโคซานและเจลาตินสำหรับ รักษาคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งแปรรูปพร้อมบริโภค
โดย	นายประภิต ใจนันทปัญญากิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ไตรดา กนกพานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.อภิธา บุญศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศสิทธิ์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สีรุ่ง ปรี่ชานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ไตรดา กนกพานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.อภิธา บุญศิริ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศิริพร วิหคโต)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อัศววัฒน์ ศิริสุข)

ประกาศ วจนปัญญากิจ: फिल्मเคลือบบริโภาคได้จากโคโตซานและเจลาตินสำหรับ รักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งแปรรูปพร้อมบริโภาค (EDIBLE COATING FILMS FROM CHITOSAN AND GELATIN FOR MAINTAINING QUALITY AND EXTENDING STORAGE LIFE OF MINIMALLY PROCESSED PUMMELO CV. KHAO-NAMPHUENG) อ.ที่ปรึกษา : ดร. โศรดา กนกพานนท์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.อภิธา บุญศิริ, 141 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรฟิล์มเคลือบบริโภาคได้จาก พอลิเมอร์ชีวภาพที่ผลิตในประเทศได้แก่ เจลาติน และโคโตซาน เพื่อผลในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อส้มโอสดพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยฟิล์มเคลือบถูกขึ้นรูปจากเจลาติน และโคโตซานในอัตราส่วนระหว่าง 1 ถึง 2% (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณ 0.2 ถึง 0.6% (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ฟิล์มที่ผลิตขึ้นมี ค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ระหว่าง 0.13 – 10.45 เมกะปาสคาล การยืดตัว 11.9 – 233.6 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ $2.08 - 4.67 \times 10^{-10}$ กรัม-เมตรต่อตารางเมตร-วินาที-ปาสคาล และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (T_g) อยู่ในระหว่าง -14.18 ถึง 58.30 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นสูตรของฟิล์ม 3 สูตรได้ถูกคัดเลือกมาพ่นเคลือบเนื้อส้มโอในอัตรา 21.24 มิลลิลิตรต่อเนื้อส้มโอ 1 กิโลกรัม แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 21 วัน เนื้อส้มโอกลุ่มที่ได้รับการเคลือบด้วยฟิล์มบริโภาคได้มีลักษณะทางคุณภาพที่ดีกว่าเนื้อส้มโอควบคุม (ไม่ได้รับการเคลือบ) เปรียบเทียบลักษณะทางคุณภาพของเนื้อส้มโอในระหว่างกลุ่มที่มีการเคลือบพบว่าสูตรที่ให้ประสิทธิภาพการเก็บรักษาเนื้อส้มโอขาวน้ำผึ้งดีที่สุดประกอบด้วย เจลาติน 2%, โคโตซาน 1.5%, และ ซอร์บิทอล 0.4% (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่งสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อส้มโอลง 8.24% เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบ การเคลือบฟิล์มนี้ไม่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค และสามารถใช้ในการเก็บรักษาเนื้อส้มโอเป็นเวลาอย่างน้อย 21 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการเคลือบเนื้อส้มโอด้วยฟิล์มเคลือบบริโภาคได้มีอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ และปริมาณกรดไม่แตกต่างจากตัวอย่างส้มโอที่ไม่ถูกเคลือบ แม้จะมีแนวโน้มที่ดีว่าต้นแบบสารเคลือบที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงความเหมาะสมที่จะถูกนำไปปรับใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อส้มโอขาวน้ำผึ้ง หรือสำหรับพัฒนาสูตรสารเคลือบเนื้อส้มโอสปีดอื่นๆต่อไป

ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2550	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4970425521 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: EDIBLE FILM / GELATIN / CHITOSAN / DURIAN COATING

PRAKIT ROATPHUNYAKIT: EDIBLE COATING FILMS FROM CHITOSAN AND GELATIN FOR MAINTAINING QUALITY AND EXTENDING STORAGE LIFE OF MINIMALLY PROCESSED PUMMELO CV. KHAO-NAMPHUENG . THESIS ADVISOR: SORADA KANOKPANONT, Ph.D., THESIS COADVISOR : APITA BUNSIRI, Ph.D., 141 pp.

This is a report of developing edible films from local obtainable biopolymers, gelatin and chitosan, for extending storage life of pomelo pulps cv. Khao-Namphueng. The films were fabricated using gelatin and chitosan using various compositions, ranged from 1 – 2 %w/v and a plasticizer, sorbitol, 0.2 – 0.6 %w/v. Their physical and mechanical properties were studied. The modified films had tensile strength, %elongation, water vapor permeability and glass transition temperature (T_g) in the range of 0.13 – 10.45 MPa, 11.9 – 233.6 %, 2.08 – 4.67 g-m/m²-s-Pa and -14.18 to 58.30 °C respectively. Then, Three formulations of films were selected to use for coating on pomelo plups (cv. Khao-Namphueng) at 21.24 ml solutions/1 kg. Pomelo pulps were stored at 5 °C, and 80% relative humidity for the 21 days. Overall qualities of pomelo pulps coated with edible films were higher than that of the control group (non-coating). The most effective formula for coating pomelo pulps composed of 2% gelatin, 1.5% chitosan, and 0.4% sorbitol (w/v). Results from the experiments showed this formulation was able to keep acceptable quality of pomelo pulps for at least 21 days at 5 °C and 80% relative humidity. This film reduced weight loss by 8.24%, compared to the uncoated pulps. The coated fruit showed no abnormal smells nor tastes. However, respiration rate, ethylene the pulp color, firmness, soluble solid contents, and acid contents of coated pulps were not significantly different from those without coatings. The result could be a promising way for invisible. Edible films produced in this project has promising quality for extending the shelf-life pomelo pulps and can be use as basis for developing edible coating films for other pomelo varieties.

Department Chemical Engineering
 Field of study Chemical Engineering
 Academic year 2007

Student's signature.....
 Advisor's signature.....
 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อ.ดร. โสธดา กนกพานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร.อภิธา บุญศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานวิจัยตลอดจนตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ อ.ดร.อนงค์นาฏ สมหวังชนโรจน์ อ.ดร.อัศวัต ศิริสุข ดร.ศิริพร วิหคโต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.สิริรุ่ง ปริษานนท์ ประธานสอบ วิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการ วิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่กรุณาให้ทุนในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง ขอขอบคุณทุนสนับสนุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ และ ค่าเบี้ยเลี้ยงในการไปเผยแพร่วิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมอนุภาค ที่กรุณาให้ใช้เครื่อง freeze dry ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมพอลิเมอร์ ที่กรุณาให้ใช้เครื่อง Universal Testing Machine และ DSC ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆกลุ่มวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี และกลุ่มวิจัย วิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์เคมีที่ให้คำแนะนำ และบรรยากาศที่ดีในการทำ วิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณพี่ๆ ที่ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่กรุณาให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัย ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยในส่วนการเคลือบเนื้อส้มโอสำเร็จลุล่วงไปได้ ขอขอบคุณ นางสาว ชวจรีย์ สงวนคำ และนางสาวจุฑาทิพย์ โรจน์ปัญญากิจ ที่เป็นกำลังใจ และช่วยตรวจทานเล่ม วิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณนายประชา โรจน์ปัญญากิจ และ นายประวิทย์ โรจน์ปัญญากิจ พี่ชายทั้งสองที่ ช่วยให้ความรู้ด้านคอมพิวเตอร์เมื่อมีปัญหา สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็น กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือในส่วนของการเคลือบเนื้อส้มโอโดยเฉพาะคำแนะนำในการแก้ปัญหา และรวมไปถึงการให้การสนับสนุนเงินทุนสำรองในงานวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ส้มโอ.....	4
2.2 เทคโนโลยีการเก็บรักษาผลไม้.....	6
2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในผลไม้.....	7
2.3.1 การเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล.....	7
2.3.2 การเปลี่ยนกรดอินทรีย์.....	9
2.3.3 การหายใจ.....	9
2.3.4 เอทิลีน (Ethylene)	12
2.4 การเปลี่ยนแปลงที่สามารถสัมผัสได้.....	13
2.4.1 ความอ่อนนุ่ม.....	13
2.4.2 สี.....	14
2.4.3 กลิ่นและรสชาติ.....	15
2.5 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเน่าเสียของผลิตผล.....	15
2.5.1 อุณหภูมิ.....	15
2.5.2 ความชื้นสัมพัทธ์.....	15
2.6 ฟิล์มเคลือบบริโภคได้ (Edible coating film)	16

2.6.1	ฟิล์มเคลือบบริโภคนได้จากโปรตีน (Protein based edible films)	17
2.6.2	ฟิล์มเคลือบบริโภคนได้จากพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide based edible films)	17
2.6.3	ฟิล์มเคลือบบริโภคนได้จากไขมัน (lipid based edible films).	19
2.7	พลาสติกไซเซออร์.....	20
2.8	การตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มเคลือบ.....	21
2.8.1	สมบัติทางความร้อน.....	21
2.8.2	สมบัติทางกล.....	21
2.8.3	สมบัติการแพร่ผ่านของฟิล์ม.....	22
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.2	วิธีการทดลอง.....	28
3.2.1	การผลิตฟิล์มเคลือบบริโภคนได้จากโคโคซาน และ เจลาติน.....	28
3.2.2	การทดสอบฟิล์มเคลือบบริโภคนได้จากโคโคซาน และ เจลาติน..	29
3.2.2.1	การทดสอบคุณสมบัติทางกล.....	29
3.2.2.2	การทดสอบค่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (WVTR)	29
3.2.2.3	การทดสอบค่าอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม (OTR)	30
3.2.2.4	การทดสอบสมบัติทางความร้อน(T _g)	31
3.2.2.5	ทดสอบลักษณะทางกายภาพของฟิล์มโดยมนุษย์....	32
3.2.2.6	ตรวจสอบความหนาและลักษณะของฟิล์มบนเนื้อส้มโอ.....	33
3.2.3	การเคลือบฟิล์มลงบนเนื้อ.....	33
3.2.4	การตรวจสอบคุณภาพเนื้อส้มโอ.....	34
3.2.4.1	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก.....	34
3.2.4.2	การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ.....	34

3.2.4.3 ความแน่นเนื้อ.....	35
3.2.4.4 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้.....	35
3.2.4.5 ปริมาณวิตามินซี	35
3.2.4.6 ปริมาณกรด	35
3.2.4.7 อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน.....	36
3.2.4.8 ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และ เอทิลีน ในการเก็บรักษา.....	36
3.2.4.9 คุณภาพในการรับประทาน.....	36
3.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	38
4.1 ลักษณะสมบัติของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	39
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	39
4.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	42
4.1.3 อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (WVTR)	45
4.1.4 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	47
4.1.5 อัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม (OTR).....	50
4.1.6 ลักษณะการเคลือบผิวเนื้อส้มโอ	50
4.2 ประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	52
4.2.1 ลักษณะภายนอกของเนื้อส้มโอ.....	52
4.2.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก.....	53
4.2.3 สี.....	55
4.2.4 ความแน่นเนื้อ.....	57
4.2.5 ปริมาณวิตามินซี.....	59
4.2.6 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้.....	61
4.2.7 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้.....	63
4.2.8 อัตราการหายใจ.....	65
4.2.9 การผลิตเอทิลีน.....	67
4.2.10 คุณภาพในการรับประทาน	69
4.3 วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	90

	ญ หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	92
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก.....	99
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ห้ข้อมูลทางสถิติ และตัวอย่างการคำนวณ.....	99
ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทาง กายภาพของฟิล์มเคลือบบริเวณนี้ได้.....	106
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการทดสอบ สมบัติทางกล และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ.....	117
ภาคผนวก ง วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของ เนื้อทุเรียน.....	121
ภาคผนวก จ สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการทดสอบคุณภาพของ เนื้อทุเรียน.....	130
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	141

สารบัญญัตราสาร

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1. สูตรฟิล์มเคลือบจากไคโตซานและเจลาติน ที่ใช้ในการศึกษา.....	28
ตารางที่ 3.2. ตารางประเมินสี กลิ่น และการติดมือ จากผู้เข้าร่วมโครงการ.....	32
ตารางที่ 4.1. ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเคลือบบริโศค ลักษณะทางกายภาพโดยมนุษย์ และค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g)	42
ตารางที่ 4.2. ค่าอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มของฟิล์มที่คัดเลือก.	50
ตารางที่ 4.3. ลักษณะทั่วไปของเนื้อสัมผัสที่เคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2และไม่เคลือบในวันที่ 0 และวันที่ 21 ของการเก็บรักษา.....	53
ตารางที่ 4.4. คะแนนสีเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	70
ตารางที่ 4.5. คะแนนสีเนื้อสวดยทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	71
ตารางที่ 4.6. คะแนนความมั่นใจจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	73
ตารางที่ 4.7. คะแนนความเหนียวติดมือของเนื้อสัมผัสจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	75
ตารางที่ 4.8. คะแนนความแฉะจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	76
ตารางที่ 4.9. คะแนนความแน่นเนื้อของเนื้อสัมผัสจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	78

ตารางที่ 4.10. คะแนนกลืนกรดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	80
ตารางที่ 4.11. คะแนนกลืนผิดปกติจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	81
ตารางที่ 4.12. คะแนนความเปรี้ยวจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	83
ตารางที่ 4.13. คะแนนความหวานจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	84
ตารางที่ 4.14. คะแนนรสชาติผิดปกติจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	86
ตารางที่ 4.15. คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	87
ตารางที่ 4.16. สรุปข้อมูลจากการทดลองที่ 1 และ การทดลองที่ 2.....	89
ตารางที่ 4.17. วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้สูตร F2 สำหรับเคลือบเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง.....	90
ตารางที่ ก.1. รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน.....	101
ตารางที่ ก.2. สูตรการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อ n ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน.....	102
ตารางที่ ค.1. ข้อมูลความทนแรงดึงของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	118
ตารางที่ ค.2. ข้อมูลการยืดตัวของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	119
ตารางที่ ค.3. ข้อมูลความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้.....	120

ตารางที่ จ.1. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	131
ตารางที่ จ.2. ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	132
ตารางที่ จ.3. ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีแดงและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส..	133
ตารางที่ จ.4. ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส..	134
ตารางที่ จ.5. ค่าเฉลี่ยค่าความแน่นเนื้อและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	135
ตารางที่ จ.6. ค่าเฉลี่ยปริมาณวิตามินซีและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	136
ตารางที่ จ.7. ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	137
ตารางที่ จ.8. ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	138
ตารางที่ จ.9. ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจ และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	139
ตารางที่ จ.10. ค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตเอทิลีน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	140

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1. ปริมาณแป้ง และน้ำตาลของทุเรียนหมอนทองระหว่างการสุก.....	8
รูปที่ 2.2. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ amylase ปริมาณแป้ง และปริมาณน้ำตาลในมะม่วงพันธุ์ Haden.....	8
รูปที่ 2.3. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (soluble solids, SS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้(titratable acidity,TA) และสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในน้ำส้มโอคั้น.....	9
รูปที่ 2.4. อัตราการหายใจของผลกระทันระหว่างการสุก	10
รูปที่ 2.5. อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท non-climacteric ระหว่างการสุก โดยอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นเมื่อรับเอทิลีน	10
รูปที่ 2.6. เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric	11
รูปที่ 2.7. เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric เมื่อได้รับเอทิลีนจากภายนอกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	11
รูปที่ 2.8. แผนภาพการสังเคราะห์เอทิลีนในพืช.....	13
รูปที่ 2.9. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพคติน, กรดเพคติน และ โปรโตเพคติน ในการย่อยสลายเพคติน.....	14
รูปที่ 2.10. โครงสร้างทางเคมีของไคติน.....	18
รูปที่ 2.11. โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน.....	18
รูปที่ 2.12. โครงสร้างทางเคมีของซอร์บิทอล.....	20
รูปที่ 2.13. แสดงแบบจำลองการทำงานของ DSC.....	21
รูปที่ 2.14. เครื่องมือตัวอย่างที่ใช้ในการวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซ.....	23
รูปที่ 2.15. การเตรียมไคโตซาน.....	25
รูปที่ 2.16. การเตรียมสารละลายเคลือบ.....	25
รูปที่ 2.17. วิธีการเคลือบผลิตผล.....	26
รูปที่ 3.1. แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....	27
รูปที่ 3.2. ภาพการทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVTR).....	30
รูปที่ 3.3. เครื่องทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจน (OTR).....	31

รูปที่ 3.4. ชั้นฟิล์มที่ผู้ประเมินได้รับในการทดสอบลักษณะทางกายภาพโดยมนุษย์.....	34
รูปที่ 4.1. ฟิล์มที่ขึ้นรูปจากเจลาตินโดยไม่มีไคโตซาน มีการปนเปื้อนเชื้อรา.....	40
รูปที่ 4.2. ฟิล์มเคลือบสูตร ไคโตซาน 1% เจลาติน 0% และซอร์บิทอล 0.2 %w/v (ข้าว) ไคโตซาน 1% เจลาติน 2% และซอร์บิทอล 0.6%w/v (ขวา).....	40
รูปที่ 4.3. กราฟแสดงความหนาของฟิล์มสูตรต่างๆ จากการสุ่มวัดความหนา 3 จุด ในฟิล์มชนิดเดียวจำนวน 10 ซ้ำ ตัวอักษร a, b และ c บนแท่งกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของความหนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p < 0.05$	41
รูปที่ 4.4. ผิวสัมผัสที่ถูกพ่นเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มสูตร A.....	41
รูปที่ 4.5. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าความทนแรงดึงที่จุดขาด และการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ ที่มีความเข้มข้นของไคโตซานที่ 1 %w/v.....	43
รูปที่ 4.6. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าความทนแรงดึงที่จุดขาด และการยืดตัวที่จุดขาด ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ ที่มีความเข้มข้นของไคโตซานที่ 1.5 %w/v.....	44
รูปที่ 4.7. กราฟแสดงความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำฟิล์มไคโตซานและฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน ดำเนินการที่ห้องควบคุมความอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความชื้น 70%.....	46
รูปที่ 4.8. ภาพการเคลือบที่เกิดขึ้นเพียงบางส่วน.....	50
รูปที่ 4.9. ภาพแสดงความหนาของฟิล์มและช่องว่างรูวงกลมที่เกิดจากการแตกของฟองก๊าซ.....	51
รูปที่ 4.10. ภาพแสดงพื้นที่เกิดช่องว่างรูวงกลมที่เกิดจากการแตกของฟองก๊าซ	51
รูปที่ 4.11. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อสัมผัส เมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	54
รูปที่ 4.12. การเปลี่ยนแปลง (n) ค่าความสว่าง, L (ข) ค่าความเป็นสีแดง, a (ค) ค่าความเป็นสีเหลือง, b ของเนื้อสัมผัสเมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	56

รูปที่ 4.13. ความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	58
รูปที่ 4.14. ความเข้มข้นวิตามินซีจากน้ำคั้นเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	60
รูปที่ 4.15. ปริมาณของแข็งละลายน้ำจากน้ำคั้นเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	62
รูปที่ 4.16. ความเข้มข้นของกรดซิตริกจากน้ำคั้นเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	64
รูปที่ 4.17. อัตราการหายใจของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	66
รูปที่ 4.18. อัตราการการรผลิตเอทิลีนของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน.....	68
รูปที่ ข.1. แบบของชิ้นงานที่ใช้วัดคุณสมบัติทางกล.....	107
รูปที่ ข.2. Universal testing machine ที่ใช้ในการทดลอง.....	108
รูปที่ ข.3. ลักษณะการยึดจับของชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine.....	109
รูปที่ ข.4. กราฟที่ได้จากการทดสอบฟิล์มเคลือบบริเวณได้สูตร E1.....	110
รูปที่ ข.5. ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ.....	111
รูปที่ ข.6. ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจน....	113
รูปที่ ข.7. ลักษณะการทำงานของเครื่อง DSC.....	115
รูปที่ ข.8. เครื่อง DSC รุ่น Diamond ที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ และกราฟที่ได้จากเครื่อง	115

รูปที่ ข.9.	(ก) ตัวอย่างกราฟเส้นฐาน (Baseline) และ (ข) กราฟ Tg ที่ได้จากการทดลอง.....	116
รูปที่ ง.1.	ระบบ Hunter scale.....	122
รูปที่ ง.2.	เครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลอง และตัวอย่างเนื้อสัมผัสที่ใช้วัดสี.....	123
รูปที่ ง.3.	เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ และตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ใช้ทดสอบ.....	123
รูปที่ ง.4.	Hand refractometer ที่ใช้ในการทดลอง.....	124
รูปที่ ง.5.	การคั่นน้ำสัมผัสโดยใช้ผ้าขาวบาง.....	126
รูปที่ ง.6.	เครื่อง Gas chromatography (GC-8A) ที่ใช้ในการตรวจสอบวิเคราะห์ก๊าซ.....	128

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

ส้มโอเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ที่ได้รับความนิยมทั้งบริโภคในประเทศ และส่งออกต่างประเทศ จากข้อมูลปริมาณการส่งออกส้มโอสด หรือแห้ง ของกรมศุลกากร ตลอดปี พุทธศักราช 2548 พบว่ามีปริมาณการส่งออก 6,292,920 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 99,672,793 บาท และ ตลอดปีพุทธศักราช 2549 พบว่ามีปริมาณการส่งออก 9,413,255 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 133,060,566 บาท แสดงถึงการส่งออกในปริมาณ และมูลค่าที่มากขึ้น จากข้อมูลที่กรมศุลกากรบันทึกในปีพุทธศักราช 2548 พบว่าส้มโอเป็นผลไม้อันดับต้นในการส่งออก รองจาก ลิ้นจี่สด, เงาะบรรจุกาษาขนาดกลม และสับปะรดแช่เย็น ส้มโอของประเทศไทย ส่งออกไปจีนเป็นส่วนใหญ่ โดยมีการส่งออกไปยังจีน 4,038,547 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 36,354,947 บาท เมื่อนำมาคำนวณเชิงปริมาณคิดเป็น 64.18% ของปริมาณการส่งออก ส้มโอทั้งหมด และ คำนวณเชิงมูลค่าคิดเป็น 36.47% ของมูลค่าการส่งออกส้มโอทั้งหมด และอีก กลุ่มประเทศที่น่าสนใจคือ กลุ่มยุโรป(EU) โดยมีการส่งออกไปเพียง 1,119,996 กิโลกรัม แต่มีมูลค่าในการส่งออกถึง 35,856,502 บาท เมื่อนำมาคำนวณเชิงปริมาณคิดเป็น 17.80% ของปริมาณการส่งออกส้มโอทั้งหมดและคำนวณเชิงมูลค่าคิดเป็น 35.97%ของมูลค่าการส่งออกส้มโอทั้งหมด (กรมศุลกากร, 2548, 2549) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณการส่งออกส้มโอไปยังจีนมีปริมาณที่มากกว่าไปยังยุโรปถึงเกือบสี่เท่า แต่มูลค่าที่ได้มามีค่าใกล้เคียงกัน จึงแสดงถึงความสำคัญในการจัดเก็บเพื่อยืดอายุก่อนการเน่าเสียของส้มโอพร้อมบริโภคให้นานที่สุด เพื่อประโยชน์ในด้านมูลค่าการส่งออกของประเทศ อีกทั้งในการส่งออกส้มโอแปรรูปพร้อมบริโภคนั้น ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการส่งออกส้มโอได้ เนื่องจากการส่งออกส้มโอทั้งผลมีน้ำหนักมาก โดยประมาณแล้ว ส้มโอมีน้ำหนักเปลือก 40 เปอร์เซ็นต์ (สุภาวดี ภัทรโกศล, 2546) เมื่อลดน้ำหนักส่วนนี้ลงได้จะสามารถประหยัดค่าขนส่งได้ อีกทั้งส้มโอแปรรูปพร้อมบริโภค มีการบรรจุที่ทำให้ผู้บริโภคสามารถมองเห็นสภาพเนื้อส้มโอที่เป็นอยู่ ช่วยทำให้ผู้บริโภคสามารถตัดสินใจเลือกซื้อได้ง่ายขึ้น

ส้มโอเมื่อผ่านการปอกเปลือก หั่น หรือตัด แล้วจะเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากผักหรือผลไม้เมื่อปอกเปลือก หั่น หรือตัด แล้วจะขาดเปลือกผลที่ช่วยปกป้องเนื้อผลจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เกิดเชื้อรา และจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดอันตรายทั้งพืชเอง และผู้บริโภคอีก ยังพบว่าการหั่น หรือตัด ยังก่อให้เกิดบาดแผลขึ้นกับผัก และผลไม้ ทำให้เกิดกระบวนการวายได้เร็วขึ้น

เนื่องจากบาดแผลที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เร่งให้เกิดการวางเร็วขึ้น(จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ฟิล์มเคลือบบริโภาคได้จากไคโตซานและเจลาติน มีความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อผลไม้สด เนื่องจากการใช้ฟิล์มเคลือบ เป็นวิธีการปรับปรุงบรรยากาศอย่างหนึ่ง มีพื้นฐานจากการควบคุมการเข้าออกของก๊าซทำให้บริเวณที่เคลือบมีความเข้มข้นก๊าซออกซิเจน(O_2) ต่ำลง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้อัตราการหายใจต่ำลง ส่งผลให้การผลิตก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ซึ่งเป็นก๊าซที่เร่งให้เกิดการสุกของผลไม้ตามธรรมชาติ ถูกสร้างขึ้นในกระบวนการหายใจ มีความเข้มข้นลดลง ทำให้ผลไม้เกิดการสุกช้าตามไปด้วย อีกทั้งฟิล์มเคลือบบริโภาคได้จาก ไคโตซานและเจลาตินมีส่วนประกอบของกรดซิตริก ซึ่งเป็นกรดผลไม้ตามธรรมชาติ ในความเข้มข้นสูง จะช่วยปรับสภาพพื้นผิวของส้มโอ ส่งผลให้สภาพไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์(จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) จากงานวิจัยของ ยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ พบว่าการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนสดพร้อมบริโภาคโดยใช้การเคลือบฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ ประกอบกับการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนสดไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาเนื้อทุเรียนสดพร้อมบริโภาคได้เป็นเวลาอย่างน้อย 26 วัน ซึ่งถือเป็นผลสำเร็จหนึ่งในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดโดยใช้ฟิล์มที่บริโภาคได้ (ยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ, 2548) สำหรับการเคลือบฟิล์มเคลือบบริโภาคได้กับส้มโอแปรรูปพร้อมบริโภาค ยังไม่มีรายงานการใช้ ดังนั้นการใช้ฟิล์มเคลือบจากไคโตซาน และเจลาติน จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้รักษาคุณภาพเนื้อส้มโอแปรรูปพร้อมบริโภาค ผู้วิจัยมีความสนใจในการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภาคได้จากไคโตซาน และเจลาติน มาใช้ในการรักษาคุณภาพเนื้อส้มโอสด เพื่อการแปรรูปพร้อมบริโภาค ให้ได้อย่างน้อย 2 สัปดาห์ โดยมีการทดสอบฟิล์มที่ใช้เคลือบ ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของส้มโอ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1. เพื่อพัฒนาสูตรของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ จากการผสมของพอลิเมอร์ชีวภาพระหว่างไคโตซาน และเจลาติน ให้ได้ฟิล์มที่มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมที่จะนำมาเคลือบส้มโอสดปอกเปลือก
- 1.2.2. เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางคุณภาพของเนื้อส้มโอที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพและไม่เคลือบ เมื่อจัดเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
- 1.2.3. เพื่อให้ทราบสูตรฟิล์มเคลือบบริโภาค จากไคโตซาน และ/หรือเจลาติน ที่สามารถรักษาคุณภาพ และรักษาคุณภาพเนื้อส้มโอสดได้นานไม่น้อยกว่า 2 สัปดาห์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1. ได้สูตรฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ จากการผสมของพอลิเมอร์ชีวภาพไคโตซาน และ/หรือ เจลาติน ที่สามารถรักษาคุณภาพเนื้อสัมผัสได้ยาวนานไม่น้อยกว่า 2 สัปดาห์
- 1.3.2. พัฒนาการใช้วัสดุที่ผลิตได้ในประเทศ เพื่อแก้ปัญหามลผลิตทางการเกษตร
- 1.3.3. เพิ่มมูลค่าให้ส้มโอที่มีตำหนิที่เปลือก แต่ไม่มีตำหนิที่เนื้อส้มโอ

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.4.1 พัฒนาสูตรของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ซึ่งเตรียมจากสารเจลาติน ไคโตซาน และ พอลิเมอร์ผสมของเจลาติน และไคโตซาน เพื่อใช้ในการเคลือบเนื้อส้มโอพันธุ์ขาว น้ำผึ้ง โดยศึกษา และทดสอบสมบัติเชิงกายภาพของฟิล์มเคลือบเจลาติน และ ไคโตซาน ความเข้มข้น 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ที่เหมาะสมในการเคลือบเนื้อ ส้มโอพันธุ์ ขาวน้ำผึ้งได้แก่ ความทนแรงดึง(tensile strength) การยืดตัว (% elongation) ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ และออกซิเจน และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะ คล้ายแก้ว (T_g)
- 1.4.2 นำฟิล์มที่ได้มาทดสอบวิธีเคลือบโดยมีการตรวจสอบความหนาที่ได้โดยใช้ scanning electron microscope (SEM) หรือกล้องจุลทรรศน์
- 1.4.3 ประเมินคุณภาพของเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่เคลือบด้วยฟิล์มที่คัดเลือก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่ไม่ได้เคลือบ เป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์
- 1.4.4 วิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้แบบที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลอง สำหรับเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง
- 1.4.5 เสนอแนวทางการใช้งานฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ และขยายขนาดการผลิต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้มโอ

ส้มโอ (Pomelo, Pummelo) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า "*Citrus maxima (Burm.) Merr*" จัดอยู่ในวงศ์ RUTACEAE ส้มโอเป็นผลไม้ที่มีลักษณะฉ่ำไปด้วยน้ำและเป็นผลตระกูลส้ม (grapefruit) ส้มโอในประเทศไทยมีรสหวานกว่ารสเปรี้ยว และมีขนาดผลที่ใหญ่กว่าส้มมาก ช่วงออกผลคือ เดือนสิงหาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน และส้มโอบางชนิดยังสามารถรับประทานได้ตลอดทั้งปี (ข้อมูลพรรณไม้, online) จากข้อมูลของกรมศุลกากร ตลอดปีพุทธศักราช 2548 พบว่ามีปริมาณการส่งออก 6,292,920 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 99,672,793 บาท และตลอดปีพุทธศักราช 2549 พบว่ามีปริมาณการส่งออก 9,413,255 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 133,060,566 บาท แสดงถึงการส่งออกในปริมาณ และมูลค่าที่มากขึ้น ในจำนวนนี้สามารถแยกเป็นการส่งออกไปกลุ่ม หรือประเทศหลักในปีพุทธศักราช 2549 ได้คือ กลุ่มประเทศเอเปก จำนวน 7,745,085 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 88,646,584 บาท, ประเทศจีน จำนวน 6,615,411 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 65,538,648 บาท และกลุ่มประเทศยุโรป (EU) จำนวน 1,324,936 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 38,448,996 บาท เป็นต้น (กรมศุลกากร, 2548, 2549)

ส้มโอในประเทศไทยสามารถแบ่งได้หลายพันธุ์ คือ พันธุ์ขาวทองดี น้ำหนักผลประมาณ 1 กิโลกรัม พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง น้ำหนักผลประมาณ 1.8 กิโลกรัม พันธุ์ขาวพวง น้ำหนักผลประมาณ 1.8 กิโลกรัม พันธุ์ขาวใหญ่ น้ำหนักผลประมาณ 2 กิโลกรัม พันธุ์ขาวแป้น น้ำหนักผลประมาณ 1 กิโลกรัม พันธุ์ขาวหอม น้ำหนักผลประมาณ 1 กิโลกรัม พันธุ์ขาวแดง น้ำหนักผลประมาณ 1.3 กิโลกรัม และพันธุ์ท่าข่อย น้ำหนักผลประมาณ 1.8 กิโลกรัม พันธุ์ที่ปลูกส้มโอส่วนใหญ่ของประเทศอยู่ที่จังหวัดนครปฐม และจังหวัดราชบุรี (สุภาวดี ภัทรโกศล, 2546) จากสถิติการปลูกไม้ผลไม้ยืนต้นปี 2544 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกส้มโอ 267,024 ไร่ และพื้นที่ที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ 192,426 ไร่ โดยมีผลผลิตต่อไร่อยู่ที่ 1,267 กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) พันธุ์ส้มโอที่สำคัญในการส่งออกคือ พันธุ์ทองดี พันธุ์ขาวพวง และ พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยเฉพาะพันธุ์ขาวพวงจะรู้จักกันในชื่อ siamise seedless (สุภาวดี ภัทรโกศล, 2546), (กรมวิชาการเกษตร กองพืชสวน, 2548)

ปัญหาที่ทำให้ผลส้มโอไม่สมบูรณ์เกิดได้จากสองสาเหตุคือ โรคส้มโอ และแมลงศัตรูส้มโอ ดังนี้(กรมวิชาการเกษตร)

โรคส้มโอ

- **โรคแคงเกอร์** เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย (*anthomonas campestri* pv : *citri* (Hasse) Dye) ระบาดมากในสภาพที่อากาศมีความชื้นสูงเชื้อเข้าทำลายได้ทั้งที่ใบอ่อน กิ่งอ่อน และผลส้มโอทำให้คุณภาพลดลง ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ลักษณะอาการ จะเห็นเป็นลักษณะแผลตกระเกิดบนใบ กิ่ง และผลจุดแผลบนใบค่อนข้างกลม และมีวงแหวนสีเหลืองล้อมรอบ ส่วนจุดแผลบนกิ่ง ขนาดแผลไม่แน่นอนถ้าอาการรุนแรงกิ่งจะแห้ง และใบร่วง อาการที่ผล ถ้าเป็นรุนแรง อาจพบมียางไหลออกมาบริเวณแผลด้วย
- **โรคใบแก้ว** เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย Fastidious bacteria (FB) ชนิดหนึ่งแพร่ระบาดโดยแมลงพาหะพวกเพลี้ยกระโดดส้ม (*Citrus psylla* : *Diaphorina citri*) และโดยการตอน การทาบ หรือการเสียบกิ่ง ลักษณะอาการ มีอาการคล้ายขาดธาตุอาหาร คือ ใบเหลืองซีด แต่เส้นใบยังคงสีเขียว หรือใบต่างเหลืองเป็นหย่อมๆ คล้ายขาดธาตุสังกะสี อาจพบอาการเส้นใบแตกด้วย ต้นทรุดโทรม
- **โรคทริสเตซ่า** เกิดจากเชื้อไวรัส (*CTV (Citrus Tristeza Virus)*) แพร่ระบาดโดยแมลงพาหะพวกเพลี้ยอ่อน (Aphids) และโดยการตอน ติดตา หรือเสียบกิ่ง ลักษณะอาการ ต้นส้มโอทรุดโทรม แคระแกรน ใบเหลืองคล้ายขาดธาตุอาหารใบม่วงงอ และมีอาการเส้นใบแตก (corky vein) บริเวณผิวของเนื้อไม้เมื่อลอกเปลือกลำต้นดู จะพบลักษณะเป็นหนามเล็กๆ ออกมาจากเนื้อไม้ เรียกว่า honey combing
- **โรครากเน่า** เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora parasitica* แพร่ระบาดโดยทางดินและน้ำ ลักษณะอาการ พืชมีอาการเหี่ยว ใบเหลือง และร่วงรากฝอยเน่าเปื่อยมีสีดำ รากใหญ่เปลือกกรากจะเปื่อยยุ่ย เนื้อไม้เน่าเสีย

แมลงศัตรูส้มโอ

- **เพลี้ยไฟ** พบบนดอก และบนยอดอ่อน เพลี้ยไฟที่ระบาด ทำความเสียหายมากที่สุดคือเพลี้ยไฟพริก *Scirtothrips dorsalis* Hood เป็นแมลงตัวเล็กสีเหลือง ลำตัวแคบยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัย ทำลายใบอ่อนและผล การทำลายบนผลถ้ามีมากทำให้เกิดการบิดเบี้ยว ผลร่วงหล่น ส่วนผลที่ถูกทำลายน้อยจะปรากฏร่องรอยบนผิวเป็นทางสีเทาเงินโดยเริ่มจากบริเวณขั้วผล ขยายลงส่วนล่างของผล หรือขยายไปทั่วทั้งผล ผลเจริญเติบโตไม่ดี แคระแกรน
- **หนอนชอนใบ** ตัวอ่อนจะกัดกินเนื้อเยื่อภายในได้ผิวของใบอ่อนและยอดอ่อนของส้มโอ ปรากฏเป็นรอยทางสีขาวคดเคี้ยวไปมา ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง ใบบิดเบี้ยว

ร่วงหล่น ความเสียหายจะเกิดกับ ส้มโอในระยะแตกใบอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งใบอ่อนที่แตกในช่วงฤดูฝน รอยแผลดังกล่าวยังเป็นช่องทาง ให้โรคสะเก็ดแห้ง(แคงเกอร์) ระบาดได้รุนแรงยิ่งขึ้น

- **โรขาว** การทำลายจะเริ่มเมื่อส้มโอติดผลแล้ว จนกระทั่งผลมีอายุประมาณ 2 เดือน โดยเฉพาะส้มโอปีที่ออกดอกติดผล ในเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ จะพบความเสียหายจากโรคนี้นี้มาก โรขาวมีขนาดเล็กรูปร่างเป็นรูปไข่ ผิวของลำตัวใสเป็นมันคล้ายหยดน้ำมัน เมื่อโตเต็มที่จะมีสีเหลืองอำพัน วงจรชีวิตสั้นเพียง 4-5 วัน การทำลายจึงค่อนข้างรวดเร็ว และรุนแรง โดยอาการที่เกิดขึ้นคือ ผิวส้มเป็นแผลสีเทาเมื่อส่องดูด้วยแว่นขยาย 10 เท่าจะพบเป็นร่องแหเต็มไปทั้งผล ทำให้ต้องทิ้งผลเพราะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนผลที่ถูกทำลายเป็นบางส่วนสามารถเจริญเติบโตได้ แต่พบว่ามีเปลือก หนา เนื้อน้อยมาก มีน้ำหนักเบาไม่สามารถขายได้
- **ผีเสื้อมวนหวาน** ระบาดในแหล่งปลูกส้มบริเวณใกล้ป่า หรือหุบเขา เข้าทำลายในช่วงที่ส้มโอแก่ใกล้เก็บเกี่ยวโดยตัวเต็มวัยจะใช้ปากแทงเข้าไปในผล แล้วดูดกินน้ำหวานจากผล ส้มโอ ผลที่ถูกเจาะจะมีรอยแผล เป็นรูเล็กๆ มียางไหล ออกมา บริเวณแผลจะเริ่มเหลืองเป็นวง ขยายออกเรื่อยๆ รอยแผลนี้จะเป็นช่องทางการเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้ โดยแมลงวันผลไม้จะมาวางไข่ในรอยแผลนั้น จะทำให้ผลเน่า และร่วงไปในที่สุด

ส้มโอเป็นผลไม้ลักษณะฉ่ำ และมีรสเปรี้ยวจากข้อมูลการวิเคราะห์ของกองอาหาร กรมอนามัย พบว่าเนื้อส้มโอ 100 กรัม ให้พลังงาน 61.0 หน่วย และมีองค์ประกอบดังนี้ ความชื้น 81.0 กรัม ไขมัน 0.2 กรัม คาร์โบไฮเดรต 17.8 กรัม โยอาหาร 0.6 กรัม โปรตีน 0.5 กรัม แคลเซียม 21.0 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 18.0 มิลลิกรัม เหล็ก 0.5 มิลลิกรัม วิตามิน เอ 10 หน่วย วิตามิน บี(1) 0.02 มิลลิกรัม วิตามิน บี(2) 0.01 มิลลิกรัม และ วิตามิน ซี 58.0 มิลลิกรัม (วิเชียร ภิรมย์สุภาพ, 2541)

2.2 เทคโนโลยีการเก็บรักษาผลไม้

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการจัดเก็บผักหรือผลไม้ได้พัฒนากันอย่างต่อเนื่องโดยเทคโนโลยีต่างๆในการจัดเก็บมีตัวอย่างดังนี้

การใช้ระบบอบแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze Dry) เป็นเทคโนโลยีในการอบแห้งวิธีหนึ่ง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการคงคุณค่าทางอาหารไว้ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการดูดนํ้าภายใต้สภาวะสูญญากาศ และความเย็นต่ำกว่า -40°C โดยปัจจุบันผู้ส่งออกได้ใช้วิธีนี้กับผลไม้ อาทิเช่น

ขนุน, ทูเรียน และลำไยเป็นต้น สำหรับทุเรียนแล้วการอบแห้งแบบแช่แข็งจะทำให้ลดน้ำหนักเนื้อทุเรียนเหลือเพียง 10 % (สากล อุไรกุล, 2546)

ข้อดี - สามารถคงคุณค่าทางอาหารไว้ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์

- ผลผลิตที่ได้สามารถส่งออกในราคาที่สูง

ข้อเสีย - การยืดอายุวิธีนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเปลี่ยนรูปไป ซึ่งอาจไม่ตรงกับความต้องการของลูกค้าที่ต้องการทุเรียนสด

การใช้ฟิล์มพอลิเมอร์เคลือบผิวของผักและผลไม้ (ยวลักษณ์ ศิริพลบุญ, 2548; พัฒนทวีโภค และคณะ, 2548; Gennadios, A. และคณะ, 1994) เป็นการนำเอาผักและผลไม้มาผ่านกรรมวิธีการเคลือบฟิล์มบาง เช่น การชุบ, การทำให้เกิดฟอง (Hartman, J. และคณะ, 1956), (Long, J. K. และคณะ, 1959), การพ่นฝอย และ การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม เป็นต้น โดยสารเคลือบจะช่วยให้ก๊าซส่งผ่านได้น้อยลง ส่งผลให้ผักและผลไม้มีการหายใจที่น้อยลง ในสารเคลือบที่มีความเป็นกรดสูงกว่าปกติช่วยทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเน่าเสียที่ช้าลง

ข้อดี - สามารถยืดอายุการจัดเก็บได้มากขึ้น และราคาถูก

ข้อเสีย - มีกรรมวิธีในการทำที่ยุ่งยาก

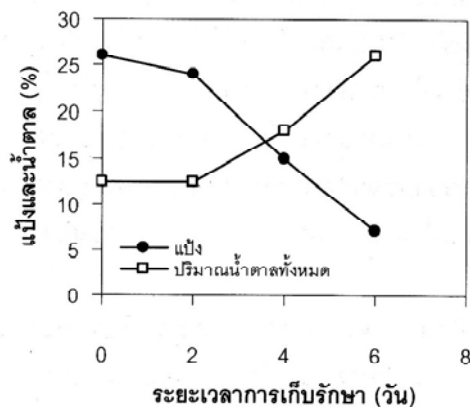
- ถ้าเคลือบฟิล์มหนาเกินไปจะทำให้ผลไม้เน่าเสียจากการหายใจโดยไม่ใช่ ออกซิเจน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในผลไม้

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในผลไม้เกิดจากผลของขั้นตอนตามธรรมชาติของผลไม้คือ การเจริญเติบโต การสุก (ripening) และการร่วง (senescence) โดยขั้นตอนเหล่านี้จะมีองค์ประกอบทางเคมีในผลไม้ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อแยกกระบวนการทางชีวเคมีแล้วสามารถแบ่งได้ดังนี้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

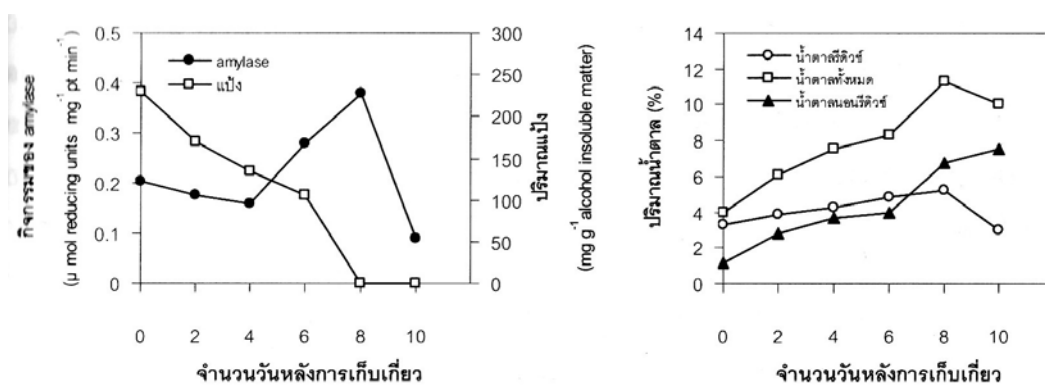
2.3.1 การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล

ผลไม้ส่วนใหญ่เก็บอาหารในรูปแป้งหรือน้ำตาล โดยพบว่าเมื่อผลไม้สุกแป้งที่อยู่ในผลไม้จะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปริมาณแป้ง และน้ำตาลของทุเรียนหมอนทองระหว่างการสุก (จริงแท้ ศิริพานิช , 2549)

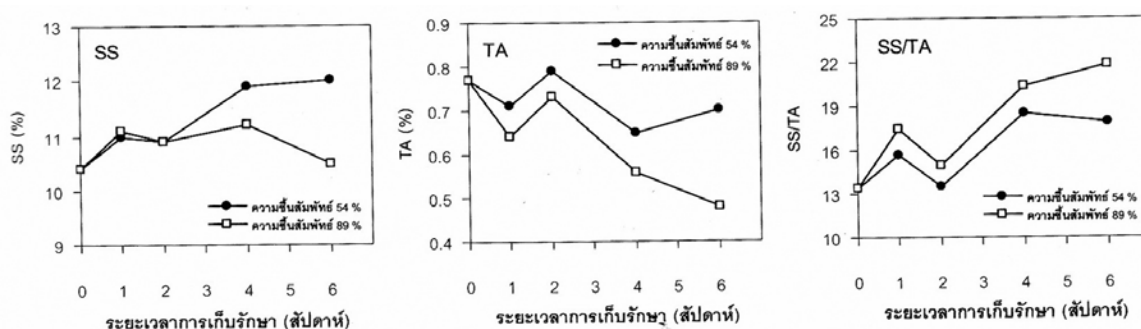
ในการเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลของพืชมีเอนไซม์หลักอยู่ 3 ชนิด คือ α - และ β -amylase และ starch phosphorylase โดย α - amylase มีหน้าที่เปลี่ยนแป้งไปเป็นเดกซ์ทริน oligosaccharide มอลโตส และกลูโคส ส่วน β -amylase และ starch phosphorylase เปลี่ยนแป้งไปเป็นมอลโตส และ glucose-1-phosphate ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Fuchs et al. ได้ศึกษากิจกรรมของมะม่วงพันธุ์ Haden พบว่ากิจกรรมของ amylase เปลี่ยนมีผลต่อปริมาณแป้ง และปริมาณน้ำตาลโดยที่ ปริมาณแป้งมีค่าลดลง และปริมาณน้ำตาลมีค่ามากขึ้น ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ amylase ปริมาณแป้ง และปริมาณน้ำตาลในมะม่วงพันธุ์ Haden (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

2.3.2 การเปลี่ยนกรดอินทรีย์

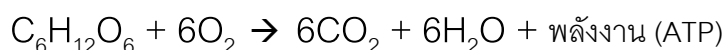
ปริมาณกรดอินทรีย์เป็นตัวหนึ่งที่ยังบอกการสุกของผลไม้โดยผลไม้ส่วนใหญ่ที่ยังอ่อนจะมีกรดในปริมาณที่สูงเพื่อให้ผลไม้ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งกรดในผลไม้มีตัวอย่างเช่น กลัวยมีกรดมาลิก องุ่นมีกรดทาร์ทาริก และมาลิก ส้มมีกรดซิตริก และมะม่วงมีกรดซัคซินิก เป็นต้นในการตรวจสอบปริมาณกรดอินทรีย์สามารถตรวจสอบได้สองวิธีคือ ตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (soluble solids, SS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) โดยสามารถแสดงตัวอย่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ดังรูปที่ 2.3



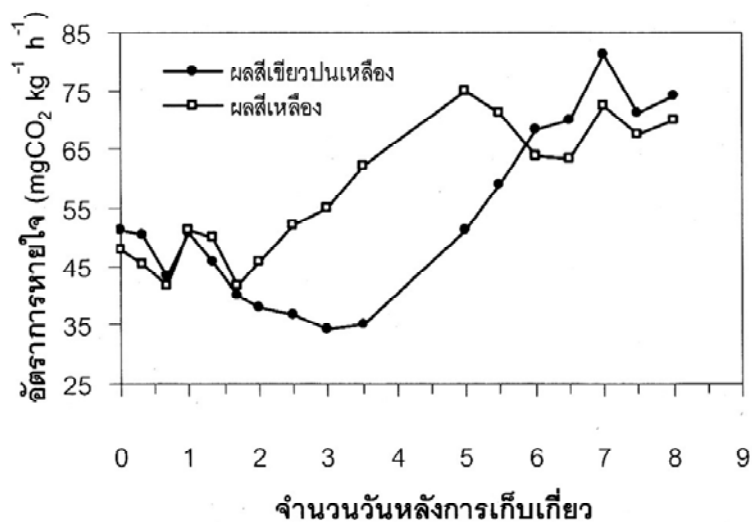
รูปที่ 2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (soluble solids, SS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) และสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในน้ำส้มโอดัชนี (รวมถัณฑ์ เจริญทรัพย์, 2530)

2.3.3 การหายใจ

การหายใจในผลไม้ส่งผลกับน้ำตาลกลูโคสที่เก็บสะสมอยู่ในเนื้อผลไม้คือ เมื่อผลไม้เกิดกระบวนการหายใจ น้ำตาลกลูโคสจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังสมการ

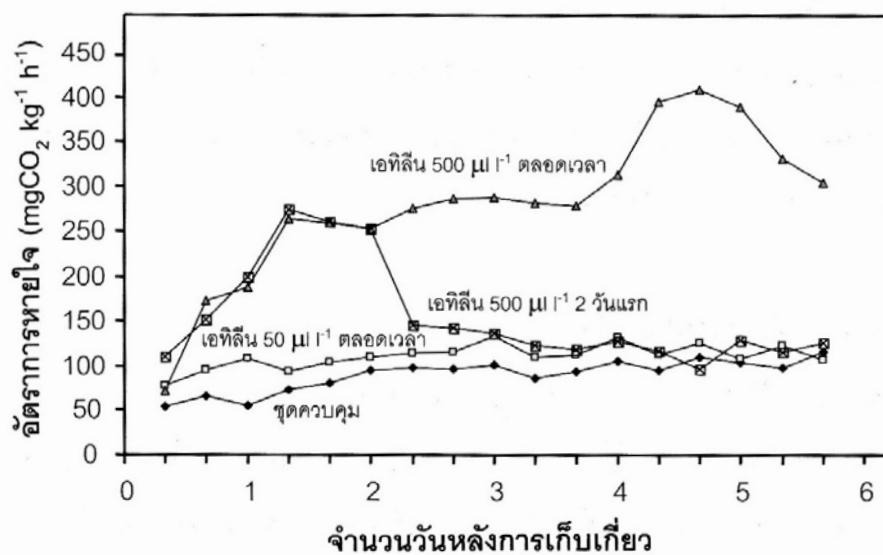


การหายใจของผลไม้จะสังเกตได้ชัดในผลไม้ประเภท climacteric เนื่องจากผลไม้ประเภทนี้ได้แก่ กลัวย ขนุน ท้อ ทูเรียน น้อยหน่า มะเขือเทศ มะม่วง มะละกอ ละคร สาลี่ และแอปเปิล มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้สุก ดังรูปที่ 2.4

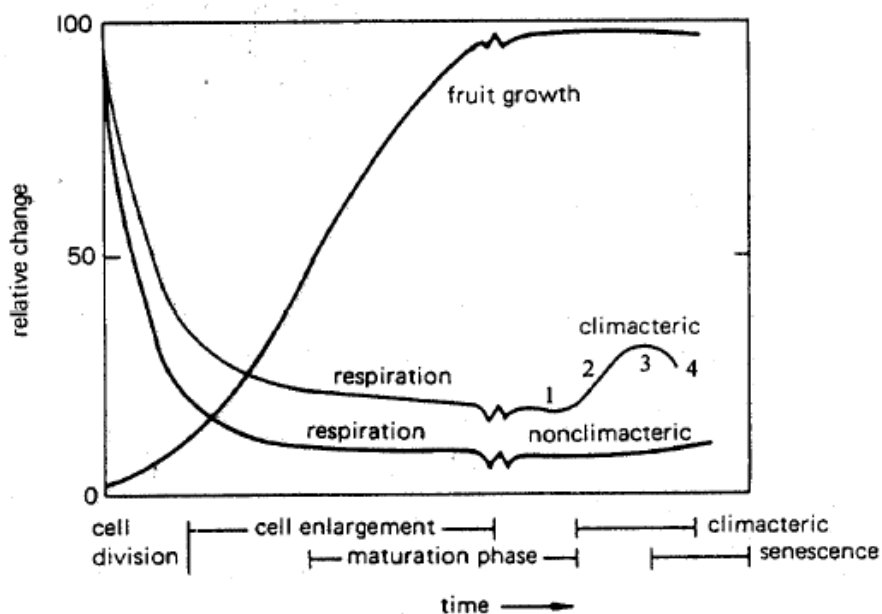


รูปที่ 2.4 อัตราการหายใจของผลกระท่อนระหว่างการสุก (พิชัย, 2544)

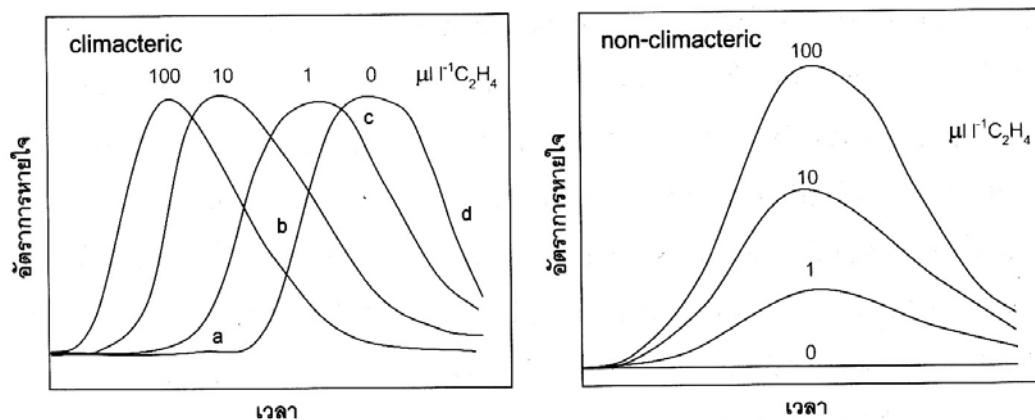
ต่างจากผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งเป็นผลไม้ที่แทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจหรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงการหายใจในช่วงที่ผลไม้สุกในทางที่ลดลง ดังรูปที่ 2.5 ผลไม้ประเภท non-climacteric ได้แก่ ชมพู พริก มะนาว ลำไย ลิ้นจี่ ส้ม ส้มโอ สละ สับปะรด และ องุ่น เป็นต้น



รูปที่ 2.5 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท non-climacteric ระหว่างการสุก โดยอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นเมื่อรับเอทิลีน (ดารณี, 2544)



รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric เมื่อได้รับเอทิลีนจากภายนอกที่ความเข้มข้นต่างๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

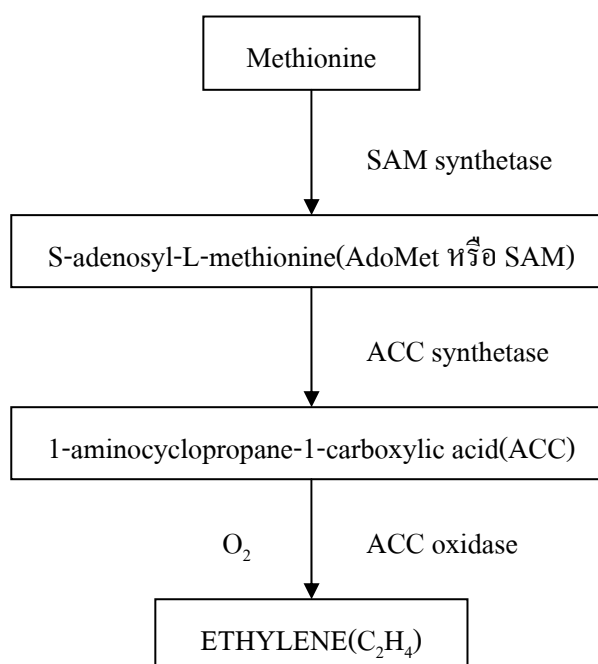
2.3.4 เอทิลีน (Ethylene)

เอทิลีนมีสูตรโครงสร้างคือ $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ จัดเป็นฮอร์โมนในพืช มีหน้าที่กระตุ้นให้เกิดการสุกของผลไม้ เอทิลีนเป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย ในการสุกของผลไม้ไม่แปรผันกับปริมาณความเข้มข้นของเอทิลีน แต่ขึ้นกับช่วงอายุของผลไม้ กล่าวคือ ในช่วงที่ผลไม้มีอายุน้อยต้องใช้เอทิลีนความเข้มข้นสูงเพื่อเร่งให้เกิดการสุก แต่เมื่อผลไม้เริ่มสุกแล้วเอทิลีนเพียงจำนวนน้อยก็มีผลให้เกิดการสุกที่เร็วได้

การสร้างเอทิลีนขึ้นเองในพืชสามารถเกิดได้ 2 ระบบ คือ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

- ระบบที่ 1 เป็นการสร้างเอทิลีนตลอดเวลา แต่มีปริมาณที่ต่ำ โดยไม่มีผลกับชนิดของผลไม้ แต่จะมีผลกับผลไม้ที่มีบาดแผล โดยถ้าผลไม้มีบาดแผลการผลิตเอทิลีนในส่วนนี้จะมีความเข้มข้น
- ระบบที่ 2 เป็นการสร้างเอทิลีนที่เกิดจากการตอบสนองต่อฮอร์โมนเอทิลีน โดยระบบนี้จะมีผลเฉพาะกับผลไม้ประเภท climacteric เรียกการกระตุ้นนี้ว่า autocatalysis ในการทดสอบการกระตุ้นชนิดนี้ทดสอบโดยแก๊สโพรไพลีน (propylene) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเอทิลีน จึงกระตุ้นให้เกิดการสร้างเอทิลีนมากขึ้น

การสร้างเอทิลีนทั้งสองระบบมีการสร้างที่เหมือนกันต่างกันที่การกระตุ้นเท่านั้น โดยเอทิลีนสร้างขึ้นจากกรดอะมิโนเมทไทโอนีน (methionine) ผ่านกระบวนการ SAM synthetase ได้ S-adenosyl-L-methionine (AdoMet หรือ SAM) ต่อมาผ่านกระบวนการ ACC synthetase ได้ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนวงแหวนที่ไม่ได้เป็นส่วนประกอบของโปรตีน และสุดท้ายผ่านกระบวนการ ACC oxidase กับออกซิเจน ได้เอทิลีนออกมา กระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภาพการสังเคราะห์เอทิลีนในพืช (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

การยับยั้งการสุกของผลไม้สามารถยับยั้งโดยการกำจัดเอทิลีนโดยโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) และยับยั้งการผลิตเอทิลีน สามารถทำได้โดยลดความเข้มข้นของออกซิเจนให้ต่ำลง เนื่องจากการผลิตเอทิลีนต้องการออกซิเจนในช่วง ACC oxidase เมื่อออกซิเจนมีน้อยลงจึงผลิตเอทิลีนได้น้อยลงตามไปด้วย เพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นการลดการหายใจของผลไม้ และการยับยั้งการทำงานในรูปแบบของ competitive inhibitor ซึ่งเป็นการยับยั้งในช่วง ACC synthase โดยใช้สารสังเคราะห์ aminoethoxyvinylglycine (AVG) และ aminooxyacetic acid (AOA)

2.4 การเปลี่ยนแปลงที่สามารถสัมผัสได้

เมื่อผลไม้สุกจะแสดงลักษณะที่บ่งบอกออกมาคือ ความอ่อนนุ่ม, สี, กลิ่น และรสชาติ สามารถอธิบายได้เป็นหัวข้อดังนี้

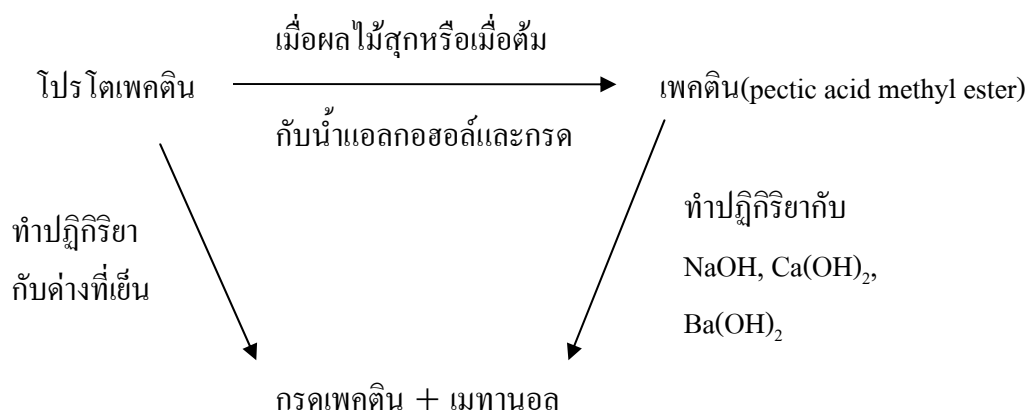
2.4.1 ความอ่อนนุ่ม

ความอ่อนนุ่ม หรือสามารถเรียกอีกอย่างว่าความแน่นเนื้อ เป็นผลที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาลของผลไม้ เมื่อผลไม้สุกผนังเซลล์จะสลายตัวเองโดยเฉพาะในส่วนของ

middle lamella ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างเซลล์ ที่มีส่วนประกอบหลักคือ เพคตินถูกเอนไซม์ย่อยสลายเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคตินหลักมี 3 ชนิดคือ

- polygalacturonase เข้าทำลายเพคตินโดยย่อยสลายพันธะ α -1,4 โดยปฏิกิริยา hydrolysis
- pectin methyl esterase (PME, PE) เข้าทำลายเพคตินโดยย่อยสลายกลุ่ม methyl
- pectatelyase เข้าทำลายเพคตินโดยย่อยสลายพันธะ α -1,4 โดยปฏิกิริยา β -elimination ในการย่อยสลายเหล่านี้จะได้กรดเพคตินออกมา

นัยทัศน์ ภูศรันย์ ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้ ซึ่งสามารถแสดงการย่อยสลายเพคตินได้ดังรูปที่ 2.9 (นัยทัศน์ ภูศรันย์, 2519)



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพคติน, กรดเพคติน และ โปรโตเพคตินในการย่อยสลายเพคติน (นัยทัศน์ ภูศรันย์, 2519)

โปรโตเพคติน เป็นสารตัวแรกซึ่งจะเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นเพคติน พบมากในผลไม้สีเขียว มักจะอยู่ในส่วนของมิดเดิลลามลล่า (middle lamella) ปะปนอยู่ในส่วนของเซลล์ลูโลส หรืออาจจะอยู่รวมกับเซลล์ลูโลสเรียกว่า โปรโตเซลล์ลูโลส (Chemistry in Context, 1997)

2.4.2 สี

สีของผัก และผลไม้ถือเป็นปัจจัยอันดับแรกสำหรับผู้บริโภคสามารถสังเกตได้ และเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกซื้อ ในการเปลี่ยนสีไปของผัก และผลไม้เกี่ยวข้องกับรงควัตถุ 3 กลุ่มใหญ่ดังนี้

- คลอโรฟิลล์ เป็นสารสีเขียวซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง แบ่งเป็นสองประเภทคือ คลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารที่ให้สีเขียวอมน้ำเงิน และคลอโรฟิลล์ บี ซึ่งมีสีที่เป็นขั้วสูงกว่า ให้สีเขียวอมเหลือง พืชจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงในช่วงแรก และต่ำในช่วงใกล้

สิ้นอายุของส่วนต่างๆของพืช เนื่องจากคลอโรฟิลล์ถูกทำลายเพื่อหมุนเวียนไนโตรเจน และแมกนีเซียมกลับไปใช้ในส่วนอื่น

- แคโรทีนอยด์ เป็นสารสีเหลือง ส้ม และแดง แคโรทีนอยด์มีอยู่ในพืชเกือบทุกชนิด และทุกส่วนแต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังจึงไม่แสดงออก แคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติเป็นวิตามิน เอ ที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ ตัวอย่างของแคโรทีนอยด์ที่รู้จักกันดีคือ β -carotene
- แอนโทไซยานิน เป็นสารสีแดง ม่วง และน้ำเงิน พบมากในพืชที่ทนต่อสภาวะแห้งแล้ง หรือพืชที่อยู่ในสภาวะแห้งแล้ง แอนโทไซยานินเป็นสารที่ละลายน้ำมีสภาพเป็นกรด

2.4.3 กลิ่นและรสชาติ

กลิ่นและรสชาติในผลไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ผลไม้ส่วนใหญ่จะมีกลิ่นที่แรงขึ้นเมื่อผลไม้สุก ซึ่งเกิดจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของผลไม้ โดยสารที่ส่งกลิ่นหลักคือ เอทิลีนซึ่งถือเป็นฮอร์โมนที่ส่งกลิ่นในผลไม้ รสชาติของผลไม้ก็เช่นกันกับกลิ่น เมื่อผลไม้เก็บเกี่ยวแล้วการสุกจะทำให้กรดอินทรีย์ในผลไม้มีค่าสูงขึ้น อีกทั้งการคายน้ำจะทำให้ความเข้มข้นของกรดมีความเข้มข้นสูงขึ้นด้วย

2.5 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเน่าเสียของผลิตผล

2.5.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์ อุณหภูมิที่ลดต่ำลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ลดลง 2 ถึง 3 เท่าตัว อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีต่ออัตราการเน่าเสียของผลิตผล ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษา (Mitchell, 1972)

นอกจากอุณหภูมิจะมีผลต่อผลไม้แล้วอุณหภูมียังมีผลโดยตรงต่อการงอกของสปอร์การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการสูญเสียน้ำของผลไม้ ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะช่วยรักษาคุณภาพ และลดปริมาณการเน่าเสีย แต่อย่างไรก็ตามการลดอุณหภูมิของผลไม้ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ผลไม้จะทำให้เกิดการอาการระคายเคือง ทำให้ผลไม้เสียหายได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

2.5.2 ความชื้นสัมพัทธ์

อัตราการสูญเสียน้ำของผลไม้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำระหว่างผลไม้และบรรยากาศภายนอก ซึ่งถูกควบคุมด้วยอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ อัตราการสูญเสียน้ำของผลไม้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง ในขณะที่เดียวกันที่ความชื้นสัมพัทธ์

หนึ่งๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการสูญเสียน้ำก็จะเพิ่มมากขึ้น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร)

2.6 फिल्मเคลือบบริโภคได้ (Edible coating film)

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้มีการตีพิมพ์มาตั้งแต่ ปี ทศวรรษ 1950 และได้ถูกใช้มานานอย่างจริงจังในทศวรรษที่ 1980 ในการเคลือบอาหารเพื่อชะลอการเน่าเสียของอาหาร และเคลือบยา (Na Cao et al., 2006) ฟิล์มเคลือบที่ใช้สามารถได้มาจากส่วนพืช และสัตว์ เช่น corn zein, wheat gluten, soy and peanut protein, cottonseed, albumin, gelatin, collagen, casein และ โปรตีนอื่นๆ (Seydim et al., 2006) ทำหน้าที่คล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งที่ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซ และสารให้กลิ่น และรสที่ระเหยได้ ส่งผลให้ช่วยชะลอการเน่าเสียของอาหาร ที่เคลือบได้ (Miller et al., 1997) คุณสมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบบริโภคขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม และการยึดติดกันเองของเนื้อฟิล์ม (cohesion) โดยวัดได้ในรูปของความทนแรงดึง (tensile strength) ของฟิล์ม ร้อยละการยืดตัวของฟิล์ม (%elongation) ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของฟิล์มบริโภคได้ โดยความทนแรงดึงเป็นค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างฟิล์มที่เกิดขึ้นขณะทดสอบด้วยการดึงให้ขาดออกจากกัน ส่วนร้อยละการยืดตัวของฟิล์มแสดงถึงความสามารถของตัวอย่างในการยืดตัวออกเมื่อได้รับแรงดึง และสารพลาสติกไซเซอร์ที่เติมเป็นส่วนประกอบในฟิล์มมีผลทำให้ความทนแรงดึงต่ำลง ขณะที่การยืดตัวสูงขึ้น และอีกตัวที่มีความสัมพันธ์กับความทนแรงดึง และการยืดตัวของฟิล์มคือ ความหนาของวัสดุ ถ้าวัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้นมักมีความทนแรงดึง และการยืดตัวเพิ่มขึ้น (Gennadios et al., 1994)

ในการนำฟิล์มเคลือบบริโภคได้มาใช้ สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การชุบเคลือบ การพ่นฝอย และการขึ้นรูปเป็นแผ่น โดยวิธีต่างๆเหล่านี้จะให้ผลของความหนา ความสม่ำเสมอ และการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน ผลไม้ต้องการการเคลือบผิวเพื่อลดเชื้อชื้นไซ หรือเปลือกที่หายไป เพื่อปิดกั้นความเป็นอิสระในการถ่ายเทมวลสารคือ ออกซิเจนจากภายนอกให้ถ่ายเทเข้ามาจำนวนน้อยลงคาร์บอนไดออกไซด์จากผลไม้ให้มีปริมาณความเข้มข้นมากขึ้น และเอทิลีนจากผลไม้มีความเข้มข้นมากขึ้น แต่ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงส่งผลมากกว่าเอทิลีนที่มีความเข้มข้นมากขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ฟิล์มเคลือบบริโภคผลิตจากพอลิเมอร์จากธรรมชาติเป็นหลักเนื่องจาก พอลิเมอร์จากธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และไม่ส่งผลข้างเคียงกับผู้บริโภค ในการสร้างฟิล์มเคลือบบริโภคได้สามารถทำได้จากวัตถุดิบ 3 ประเภทคือ proteins, polysaccharides และ lipid โดยที่การขึ้นรูปสามารถใช้วัตถุดิบประเภทเดียว หรือหลายประเภทก็ได้ (Barbara Bravin et al., 2005; รัตนา จินดาพรณ, 2548; สุรจักษ์ ศิริหงษ์ทอง, 2548)

2.6.1 फिल्मเคลือบบริโภคได้จากโปรตีน (Protein based edible films)

ฟิล์มเคลือบชนิดนี้สามารถได้มาจากส่วนของพืช และสัตว์ เช่น corn zein, wheat gluten, soy and peanut protein, cottonseed, albumin, gelatin, collagen, casein และโปรตีนอื่นๆ (Seydim et al., 2006) ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโปรตีนมีประโยชน์เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีประสิทธิภาพในการกั้นการแพร่ผ่านของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (Go' mez-Gu'ille et al., 2006)

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากเจลาติน

เจลาติน คือ โปรตีนชนิดหนึ่งที่เกิดจากการสลายคอลลาเจนด้วยกรด หรือด่าง มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อน สามารถสกัดได้จากกระดูกสัตว์ เป็นสารที่ปลอดภัยต่อมนุษย์ กินได้ เมื่อนำผงเจลาตินละลายน้ำอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส มันจะหลอมกลายเป็นของเหลวหนืด ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ของเหลวจะเซตตัวกลายเป็นเจล (elastic gel) ซึ่งเป็นคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง เจลที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่นทางการแพทย์ ใช้เป็นส่วนผสมของยาชนิดครีมหรือใช้เคลือบเม็ดยา ทางกรอาหารใช้ทำเยลลี่ หรือเคลือบอาหาร เจลาติน เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน -Ala-Gly-Pro-Arg-Gly-Glu-4Hyp-Gly-Pro- เรียงต่อกันเป็นชุดๆ (Abrusci et al., 2004)

หมายเหตุ Ala=alanine, Gly=glycine, Pro=proline, Arg=arginine, 4Hyp=4-hydroxyproline

เจลาตินสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิดตามลักษณะการสลายของคอลลาเจน ดังนี้

- เจลาตินชนิด A มีค่า IEP ประมาณ 9 เกิดจากการสลายคอลลาเจนด้วยกรด
- เจลาตินชนิด B มีค่า IEP ประมาณ 5 เกิดจากการสลายคอลลาเจนด้วยเบส

เจลาตินจัดเป็นสารที่ยอมให้น้ำแพร่ผ่านได้โดยจากงานวิจัยของ Hulda Chambi และ Carlos Grosso พบว่าฟิล์มจากเจลาตินและโปรตีนจากนมยอมให้น้ำแพร่ผ่านได้ประมาณ 6 ถึง 8 $g\ mm/m^2\ d\ kPa$ (Hulda Chambi & Carlos Grosso, 2005)

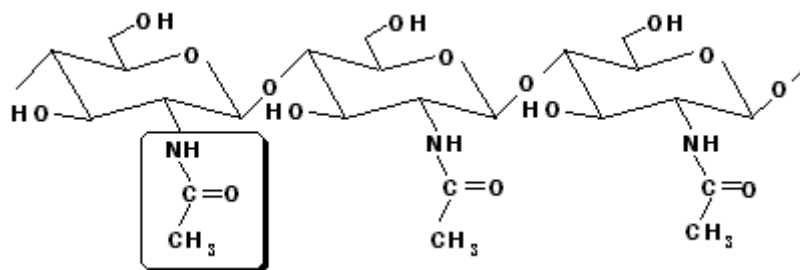
2.6.2 फिल्मเคลือบบริโภคได้จากพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide based edible films)

พอลิแซคคาไรด์เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบมีมากหลายประเภท เช่น แป้ง, ไคติน, ไคโตซาน, เซลลูโลส และเดกสแทน เป็นต้น โครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์เป็นโมเลกุลน้ำตาลเรียงต่อกัน โดยพอลิเมอร์เป็นเส้นตรง หรือแบบกึ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างช้า และเชื่อมโยงแบบ glycosidic (Gennadios et al., 1997) การใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จาก

พอลิแซ็กคาไรด์ พบว่าสามารถควบคุมการเข้าออกของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ได้ และน้ำสามารถผ่านได้ดี (Bertuzzi et al., 2006)

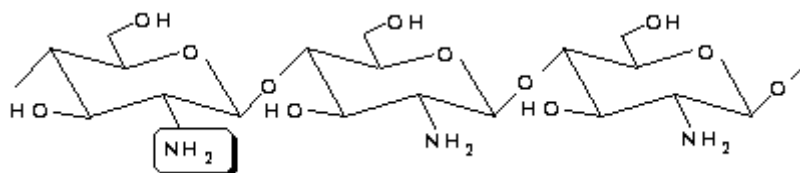
ฟิล์มเคลือบบริเวณใต้จากไคโตซาน

ไคตินเป็นสารธรรมชาติพบมากในเปลือกแข็งของสัตว์ทะเล (เปลือกปลา ปู และเปลือกแข็งของสัตว์พวกแมลง) และผลิตจากพวกเห็ดรา จุลินทรีย์ ซึ่งมีความแข็งแรงทางกลสูง และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติช้า เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ ไคตินไม่มีพิษ มีการยืนยันจากสถาบัน Food and Drug Administration (FDA) ของประเทศญี่ปุ่น ไคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวที่ประกอบด้วย น้ำตาลหน่วยย่อย คือ N-acetyl-D-glucosamine มาเรียงต่อกันเป็นสายลักษณะ เป็นของแข็งดังรูป 2.10 ละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ แต่ไม่ละลายในด่างเจือจาง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ (ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ, 2544)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของไคติน (ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ, 2544)

ไคโตซานคือ อนุพันธ์ของไคตินที่ตัดเอาหมู่ acetyl ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine (เรียกว่า deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น N-D-glucosamine) ออกตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป และมีสมบัติละลายได้ในกรดอ่อน



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน (ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ, 2544)

ปกติแล้วโคโตซานมีส่วนผสมของ น้ำตาล 2-acetamino-2-deoxy-β-D-glucose (N-acetyl-D-glucosamine) และ 2-amino-2-deoxy-β-D-glucose (N-D-glucosamine) อยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกัน ซึ่งระดับการกำจัดหมู่ acetyl (หรือเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation)(%DD) นี้ มีผลต่อสมบัติ และการทำงานของโคโตซาน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานบอกถึงความยาวของสายโคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่น โคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีสายยาวและสารละลายมีความหนืดมากกว่าโคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้น การนำโคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation (%DD) นี้ และน้ำหนักโมเลกุล(ประภัสสร สุรวัฒนารวรรณ, 2544)

Cervera และคณะ (2004) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์ม ได้แก่ ความทนแรงดึง และร้อยละการยืดตัว โพลีเอทิลีน เทฟลอน คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และอิริททอล โดย ฟิล์มโคโตซาน – กลีเซอรอล และฟิล์มโคโตซาน – อิริททอล มีความทนแรงดึง และร้อยละการยืดตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มโคโตซานบริสุทธิ์ ต่างจาก ฟิล์มโคโตซาน – ซอร์บิทอลนั้นมีความเปราะมากขึ้น

2.6.3 ฟิล์มเคลือบบริเวณได้จากไขมัน (lipid based edible films)

การใช้ฟิล์มเคลือบจากไขมันมีการใช้มานานกว่า 800 ปี โดยพบว่าในอดีตใช้ไขมันที่ได้จากผลไม้มาเคลือบลูกกวาด การใช้การเคลือบด้วยไขมันพบว่ามีลักษณะที่เป็น hydrophobic จึงสามารถกันการสูญเสียน้ำได้ ไขมันที่ใช้เคลือบสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้ (Jennifer Ann Ball, 1997)

- Wax and Oil Based Coatings ได้แก่ paraffin wax, candelilla wax, beeswax, carnauba wax, polyethylene wax, และ mineral oil
- Fatty Acids and Monoglycerides ได้จากกระบวนการ trans-esterification ของ glycerol และ triglycerol
- Emulsions เกิดจากการผสมกันของไขมัน หรือน้ำมันกับ Fatty Acids หรือ Monoglycerides
- Resins and Rosins ได้มาจากยางไม้

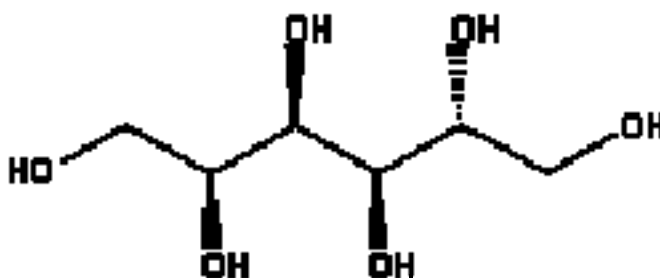
2.7 พลาสติไซเซอร์

Plasticizer มีการค้นพบ และมีการใช้ครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1933 โดย Dr. Semon แห่งบริษัท B.F. Goodrich เริ่มใช้โดยทำการผสมกับ PVC plasticizer กลุ่มที่ค้นพบนี้เป็นเอสเทอร์ชนิดจุดเดือดสูง plasticizer มีค่าจำกัดความคือ สารที่เติมผสมกับพอลิเมอร์ เพื่อให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวมากขึ้น มีผลค่า glass transition temperature (T_g) ลดลงเนื่องจาก plasticizer จะไปแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโมเลกุลพอลิเมอร์ ทำให้แรงดึงดูดระหว่างสายโมเลกุลพอลิเมอร์อ่อนแอลง ค่า T_g จึงเปลี่ยนไปในทางที่มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อสมบัติเชิงฟิสิกส์ด้วย เช่น ทำให้ความแข็งแรงลดลง การไหลตัวเมื่อหลอมเกิดได้ง่ายขึ้น และยังมีผลถึงการลดลงของอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปด้วย (Gould, 1965)

พลาสติไซเซอร์ที่สามารถบริโภคได้คือ polyols หรือน้ำตาลแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นสารให้ความหวานที่ได้จากธรรมชาติ ตัวอย่าง เช่น โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol), กลีเซอรอล (glycerol (glycerin)), ซอร์บิทอล (sorbitol), มอลทิทอล (maltitol), แมนนิทอล (mannitol), ไชลิตอล (xylitol), อิริททอล (erythritol), ไอโซมอลต์ (isomalt) และแลคทิทอล (lactitol) แม้ น้ำตาลแอลกอฮอล์จะไม่ได้ใช้ในครัวเรือนทั่วไป แต่ก็มีการใช้ในอาหารบางอย่าง ที่ระบุว่าปราศจากน้ำตาล หรือ sugar free ในลูกกวาด คุกกี้ ฝรั่ง เครื่องดื่ม ยาอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้มากในผลิตภัณฑ์ยาสีฟัน และน้ำยาบ้วนปาก เนื่องจากสารให้ความหวานประเภท polyols ไม่ทำให้ (จันทนา อึ้งชูศักดิ์, 2547)

ซอร์บิทอล

ซอร์บิทอลพบได้ตามธรรมชาติในผัก และผลไม้ หรืออาจผลิตจากน้ำตาลข้าวโพด (คอร์นไซรัป) ซอร์บิทอลให้ความหวานเพียง 50% ของน้ำตาล และไม่ค่อยมีผลข้างเคียงที่ทำให้ท้องเสีย มัดใช้ในลูกอม และหมาก (จันทนา อึ้งชูศักดิ์, 2547) ชื่ออื่นๆของซอร์บิทอลได้แก่ Clucitol, Sorbite, D-Glucitol, D-Sorbit, L-gulitol, Glucitol, Gulitol และ D-galactitol มีสูตรโครงสร้างคือ $C_6H_{14}O_6$ ซอร์บิทอลสามารถละลายได้ทั้งในน้ำ และละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตราย และเคมีภัณฑ์)

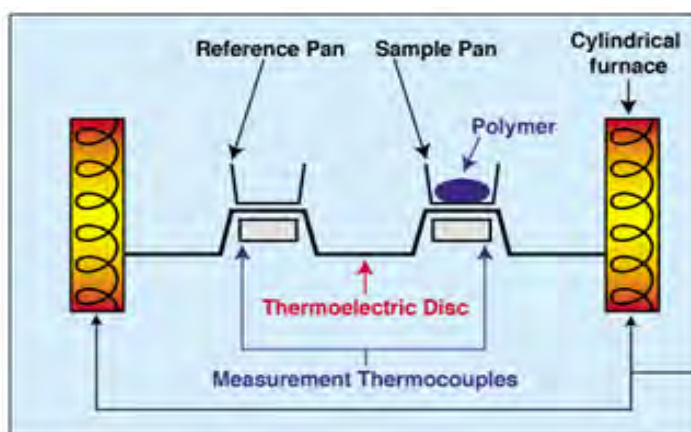


รูปที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของซอร์บิทอล (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตราย และเคมีภัณฑ์)

2.8 การตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มเคลือบ

2.8.1 สมบัติทางความร้อน (Shah, 1984)

ฟิล์มเคลือบบริเวณใดก็ได้มีคุณสมบัติทางความร้อนที่ต้องตรวจสอบคือ ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass-transition temperature, T_g) สถานะที่พอลิเมอร์มีลักษณะแข็งและเปราะเหมือนแก้ว โมเลกุลลูกโซ่แกนกลางไม่มีการเคลื่อนไหวแต่กลุ่มด้านข้างมีการเคลื่อนไหวได้บ้างเมื่อมีความเค้นมากจะทำพอลิเมอร์จะตอบสนองเหมือนของแข็งซึ่งมีความยืดหยุ่น ความเค้นทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการงอและยืดได้บ้าง การตรวจสอบค่า T_g สามารถตรวจสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) แบบจำลองเครื่อง DSC สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงแบบจำลองการทำงานของ DSC (Richard, 2004)

2.8.2 สมบัติทางกล

สมบัติทางกลที่ใช้ทดสอบฟิล์มที่สำคัญคือ สมบัติในการต้านทานแรงดึง เป็นสมบัติทางกลที่มีประโยชน์ และได้รับความนิยมสูงสุดในการทำการทดสอบสมบัติพอลิเมอร์ เนื่องจากเป็นสมบัติที่สามารถใช้ในการจัดลำดับความแข็งแรงของพอลิเมอร์ได้ การทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์เป็นการตรวจวัดพฤติกรรมของความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติในการต้านทานแรงดึงคือ ค่าความต้านทานแรงดึง (tensile strength), มอดุลัสแรงดึง (tensile modulus), การยืดตัว และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดคราก (percent elongation at yield) และการยืดตัว และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด (percent elongation at break) มาตรฐานการทดสอบสมบัติในการต้านทานแรงดึงสำหรับฟิล์มคือ ASTM D 882 เตรียมชิ้นงานทดสอบกว้าง 12.6 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร (Sirikhajornnam & Danwanichakul, 2006; กฤษฎา เรือนใจแก่น และคณะ, 2548)

2.8.3 สมบัติการแพร่ผ่านของฟิล์ม

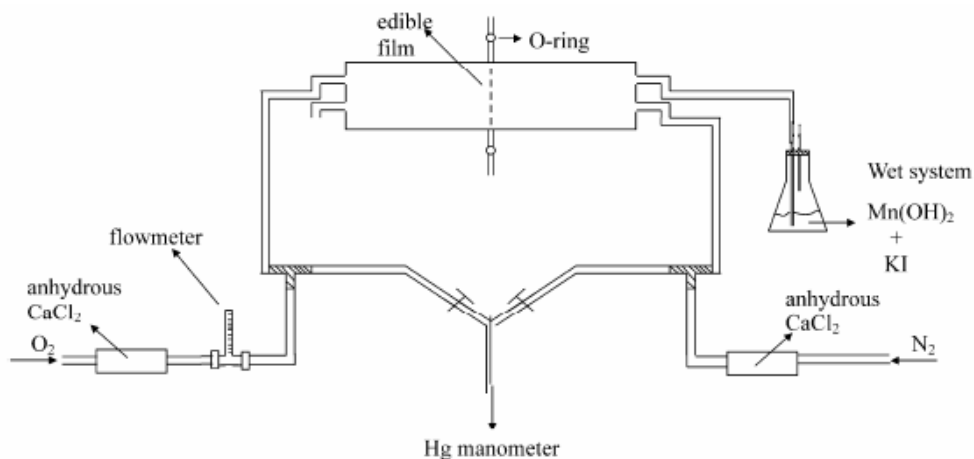
สมบัติการแพร่ผ่านฟิล์มเคลือบบริเวณโคได้ หรือความสามารถในการเป็นตัวกั้นสารเช่น ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และเอทิลีน เป็นต้น การแพร่ผ่านของสารดังกล่าวมีความสำคัญต่อการเก็บรักษาผลไม้ การใช้ฟิล์มเคลือบจึงเป็นต้อง วัดความสามารถในการแพร่ผ่านของฟิล์ม เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มในการนำมาเคลือบผลิตภัณฑ์ และเพื่อนำไปพัฒนาเป็นสูตรสำหรับเคลือบผลไม้ต่อไป (Ayranci & Tunc, 2003)

ตัวอย่างเครื่องวัดการแพร่ผ่านของฟิล์มแสดงดังรูปที่ 2.14

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arvanitoyannis และคณะ (1998) ได้ทดลองวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของฟิล์มจากโคโตซานและเจลาติน โดยวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Davenport apparatus ต่อเชื่อมกับ IBC/PC ในการวัดค่าการแพร่ผ่านของก๊าซ และวัดการแพร่ผ่านของน้ำด้วย โดยนำฟิล์มที่เตรียมมาวางไว้ในโหลแก้ว วางไว้เหนือสารละลายเกลือ หรือ phosphorus pentoxide และปริมาณน้ำที่แพร่ผ่าน วัดโดยการนำไปชั่งน้ำหนัก

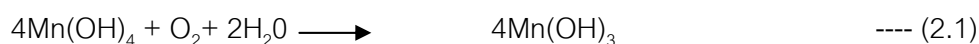
Ayranci และTunc (2003) วัดความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen permeability) ของฟิล์ม เมทิลเซลลูโลสที่เกิดจากการผสมของเมทิลเซลลูโลส 3 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 66 มิลลิลิตร และน้ำ 33 มิลลิลิตร และใส่ polyethylene glycol (PEG) 1 มิลลิลิตร อบในตู้อบสูญญากาศที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นงานมาทดสอบในเครื่องมือวัดดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เครื่องมือตัวอย่างที่ใช้ในการวัดความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซ

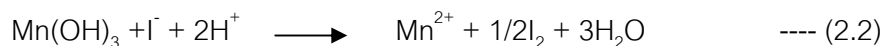
(Ayranci & Tunc, 2003)

ออกซิเจนที่ผ่านฟิล์มออกมาจะเข้าไปสู่ wet system ดังสมการ 2.1

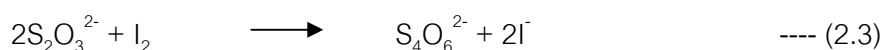


4Mn(OH)_3 จะตกตะกอน ทำการตรวจสอบโดยไทเทรตด้วย ification acid ได้ดังสมการที่

2.2



ไทเทรตหาปริมาณ I_2 ด้วยสารละลาย thiosulphate ได้ดังสมการที่ 2.3



คำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้โดยเทียบ การใช้สารละลาย thiosulphate 4 โมล เท่ากับ ออกซิเจนที่ผ่านฟิล์มออกมา 1 โมล

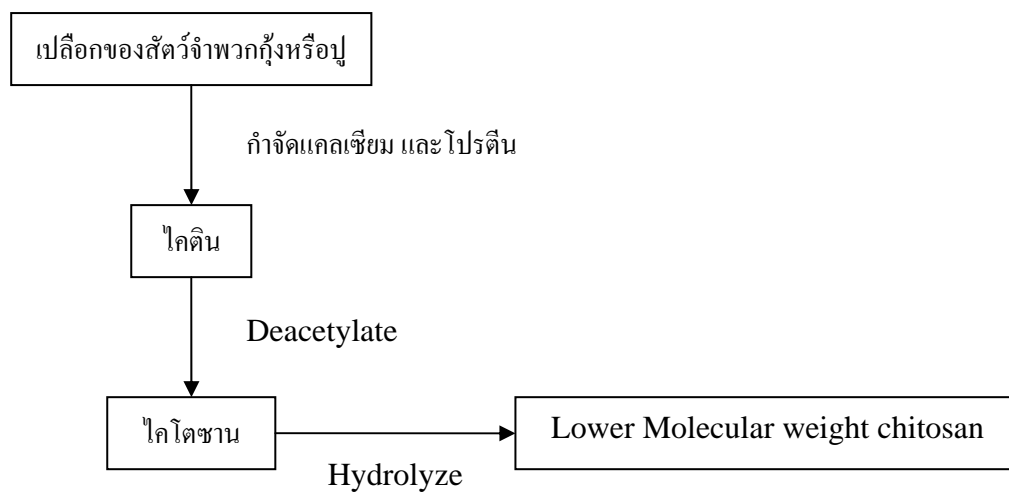
Bozdemir และTutas (2003) วัดความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบ บริเวณนี้ได้ ตามมาตรฐาน ASTM E96-93 ทดสอบโดยยึดติดฟิล์มเคลือบบริเวณนี้ได้กับขวดแก้วขนาดเล็กที่มีน้ำบรรจุอยู่ภายใน ตั้งขวดแก้วไว้ในโหลแก้วควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ (Desiccators) วัดค่าในรูปของอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR)

Jiang และ Li (1997) ได้ศึกษาผลของการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0% โดยน้ำหนักเคลือบเปลือกลำไย เก็บรักษาลำไยไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ไคโตซานเคลือบเปลือกลำไยช่วยลดอัตราการหายใจ ชะลอการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสี และทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น

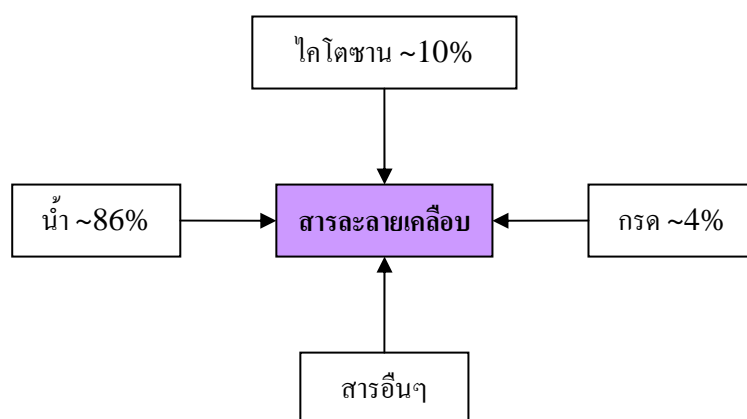
Pen และ Jiang ได้ศึกษาการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0 %w/v โดยเคลือบเนื้อเกาลัดสดปอกเปลือก เมื่อเก็บเกาลัดครบ 15 วันพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้น การเกิดสีน้ำตาลลดลง คะแนนรสชาติดีขึ้น และโรคที่เกิดกับผู้บริโภคลดลง

Sobral และคณะ (2001) ศึกษาสมบัติทางกล สมบัติในการแพร่ผ่านของไอน้ำ และคุณสมบัติทางความร้อน ของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากเจลาติน 2 ชนิด คือ เจลาตินจากหนังวัว และเจลาตินจากหนังหมู การขึ้นรูปทำโดยกำหนดความเข้มข้นของเจลาตินคงที่คือ 1 กรัมในน้ำ 100 มิลลิตร และเปลี่ยนแปลง ปริมาณซอร์บิทอล โดยใช้ซอร์บิทอล 15, 25, 35, 45, 55 และ 65 กรัมต่อปริมาณเจลาตินที่ใช้ 100 กรัม ขึ้นรูปฟิล์มโดยการหล่อฟิล์ม ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 58% เป็นเวลา 4 วัน พบว่าผลทางกลมีค่าใกล้เคียงกัน การแพร่ผ่านของไอน้ำ เจลาตินจากหนังวัวมีความสามารถในการแพร่ผ่านมากกว่าทุกความเข้มข้นของซอร์บิทอล และคุณสมบัติทางความร้อนคือ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) พบว่าในการทดลองเจลาตินจากหนังวัวอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลงจากจาก 56.5 องศาเซลเซียสที่ 15 กรัมซอร์บิทอลต่อปริมาณเจลาตินที่ใช้ 100 กรัม ไปเป็น 37.3 5 องศาเซลเซียสที่ 65 กรัมซอร์บิทอลต่อปริมาณเจลาตินที่ใช้ 100 กรัม และในการทดลองเจลาตินจากหนังหมู พบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลงจาก 50.3 องศาเซลเซียสที่ 15 กรัมซอร์บิทอลต่อปริมาณเจลาตินที่ใช้ 100 กรัม ไปเป็น 26.3 5 องศาเซลเซียสที่ 45 กรัมซอร์บิทอลต่อปริมาณเจลาตินที่ใช้ 100 กรัม แสดงถึงการเติมซอร์บิทอลช่วยลดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วได้

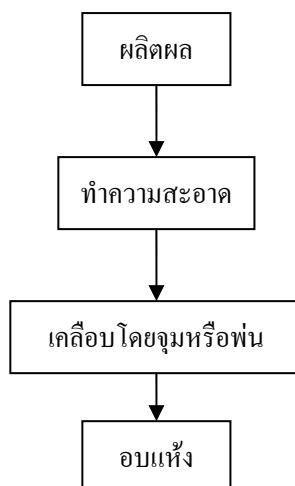
Iverson และคณะ (2003) หมายเลขสิทธิบัตร US 6,586,029 B1 เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับการเตรียมไคโตซานดั่งรูปที่ 2.15 เตรียมสารเคลือบจากไคโตซานผสมกันกรด และน้ำ ดั่งรูปที่ 2.16 และการเคลือบอาหาร ดั่งรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.15 การเตรียมไคโตซาน (Lverson et al., 2003)



รูปที่ 2.16 การเตรียมสารละลายไคโตซาน (Lverson et al., 2003)



รูปที่ 2.17 วิธีการเคลือบผลิตผล (Lverson et al., 2003)

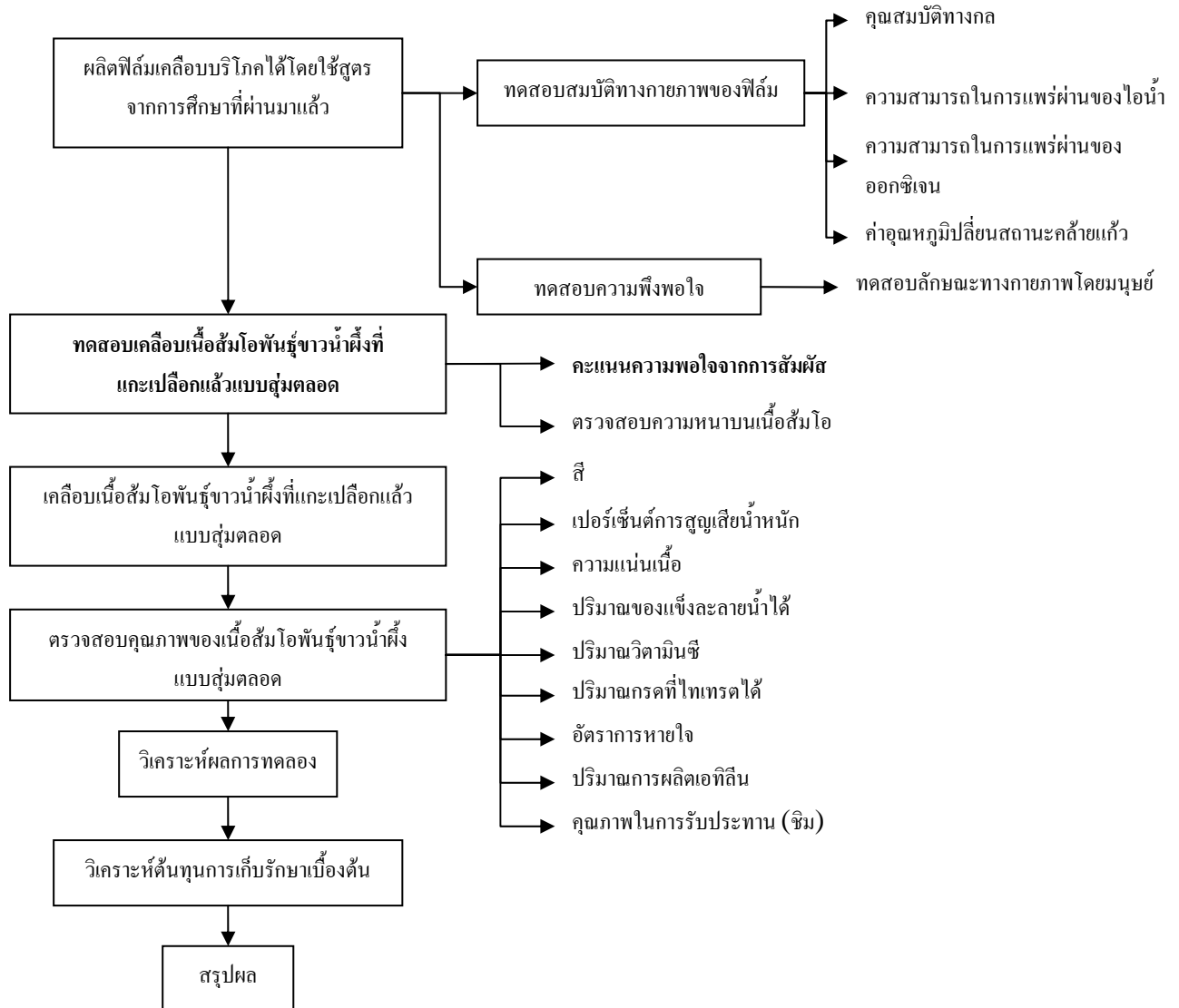
Miller และ Limited (1997) หมายเลข สิทธิบัตร 5,622,740 เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับการใช้ เจลาตินในการผลิตสิ่งหุ้มห่อบริโภคได้ในการห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ เช่น ไม้กรอก โดยการเติม ไคโตซานเพื่อลดความเปราะของฟิล์ม และง่ายต่อการขึ้นรูป พลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ คือ กลิเซอรอล หรือน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดอื่น เช่น ซอร์บิทอล แมนนิทอล และโพรพิลีนไกลคอล และมีการเติม hydroxypropylcellulose ซึ่งอัตราส่วนในการเตรียมฟิล์มดังนี้ เจลาตินที่ใช้อยู่ในช่วงระหว่าง 40 – 65% โดยน้ำหนัก ไคโตซานอยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 20 % โดยน้ำหนัก อยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 20 % โดยน้ำหนัก และเติมกลูตาวัลดีไฮด์ช่วงความเข้มข้น 10 -200 ppm โดยน้ำหนัก หรือ dextrose ช่วงความเข้มข้น 0.25 – 20% โดยน้ำหนัก เป็นตัว cross – link ฟิล์มให้เกิดโครงร่างตาข่าย สิทธิบัตรนี้อาจสรุปได้ว่าเป็นการปรับปรุงสูตรเพื่อให้ได้สิ่งห่อหุ้มบริโภคได้สำหรับใช้ห่อหุ้ม ผลิตภัณฑ์ เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของสิ่งห่อหุ้ม พบว่า pH 5.1 ความทนแรงดึงที่ได้เท่ากับ 1,160 psi หรือเท่ากับ 7.9 MPa และการยืดตัวเท่ากับ 140%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงดังแผนผังข้างล่าง



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การผลิตฟิล์มเคลือบบริเวณที่ได้จากไคโตซาน และ เจลาติน

ผสมสารละลายจากไคโตซาน 95 %DAC (Seafresh Chitosan (Lab) Co. Ltd., Bangkok, Thailand) ในสารละลายกรดซิตริก 6 %w/v ทำการละลายโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อ ตั้งอุณหภูมิที่ 106 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ละลายสารละลายเจลาติน(lab grade, LABORATORY CHEMICAL (LABCHEM), A1080, New Zealand) ในน้ำกลั่น และพลาสติกไซเซอริคคือ ซอร์บิทอล (LABORATORY REAGENT (UNIVAR), 1585, Australia) ให้ได้ตามสูตรที่กำหนดตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรฟิล์มเคลือบจากไคโตซานและเจลาติน ที่ใช้ในการศึกษา

สูตร	ไคโตซาน (%w/v)	เจลาติน (%w/v)	ซอร์บิทอล (%w/v)	น้ำ (%w/v)	%total solid wt. (%w/v)
A1	1.0	-	0.2	95.3	4.7
A2	1.0	-	0.4	95.1	4.9
A3	1.0	-	0.6	94.9	5.1
B1	1.5	-	0.2	94.8	5.2
B2	1.5	-	0.4	94.6	5.4
B3	1.5	-	0.6	94.4	5.6
C1	1.0	1.0	0.2	94.3	5.7
C2	1.0	1.0	0.4	94.1	5.9
C3	1.0	1.0	0.6	93.9	6.1
D1	1.0	2.0	0.2	93.3	6.7
D2	1.0	2.0	0.4	93.1	6.9
D3	1.0	2.0	0.6	92.9	7.1
E1	1.5	1.0	0.2	93.8	6.2
E2	1.5	1.0	0.4	93.6	6.4
E3	1.5	1.0	0.6	93.4	6.6
F1	1.5	2.0	0.2	92.8	7.2
F2	1.5	2.0	0.4	92.6	7.4
F3	1.5	2.0	0.6	92.4	7.6

ฟิล์มของสารละลายสูตรต่างๆในตารางที่ 3.1 ถูกนำมาขึ้นรูปบนภาตพลาสติกอบที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ในถุงพลาสติกปิดสนิท เพื่อรอการ ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ต่อไป

3.2.2 การทดสอบฟิล์มเคลือบบริเวณได้จากโคโตซาน และ เจลาติน

ทดสอบฟิล์มเคลือบบริเวณได้จากหัวข้อ 3.2.1 โดยการสุ่มวัดความหนา 3 จุด ในฟิล์มชนิด เดียวจำนวน 10 ซ้ำ ที่มีการเตรียมต่างเวลากัน ต่อจากนั้นนำฟิล์มมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.2.2.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

ทดสอบคุณสมบัติทางกลคือความทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (%Elongation) ซึ่งเป็นความสามารถของวัสดุในการต้านแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุจนกระทั่งวัสดุขาด โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine มาตรฐานในการทดสอบคือ ASTM D882-01 ทำโดย ตัดฟิล์มรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาวอย่างน้อย 7 เซนติเมตร ภาวะในการ ทดสอบที่ขนาดแรงดึง 1,000 นิวตัน และอัตราเร็วในการดึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที (ASTM, (2002b))

3.2.2.2 การทดสอบค่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (WVTR)

การทดสอบทำโดยประยุกต์จากวิธีของ Jo และคณะ (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 เพื่อศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำสำหรับฟิล์มเคลือบบริเวณได้ หลังจากนั้นวัด น้ำหนักเริ่มต้น และชั่งน้ำหนักอีกครั้งเมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 27 องศา เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70% แสดงภาพเครื่องมือในการทดสอบดังรูปที่ 3.2 เพื่อหาอัตราการ แพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ดังสมการ (วิธีการทดลองโดย ละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.)

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

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

A = พื้นที่สำหรับการใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำ

และทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังสมการ 3.2

$$WVP = (WVTR \times L) / \Delta P \quad (3.2)$$

โดย WVTR = อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate)

L = ความหนาของฟิล์ม (m)

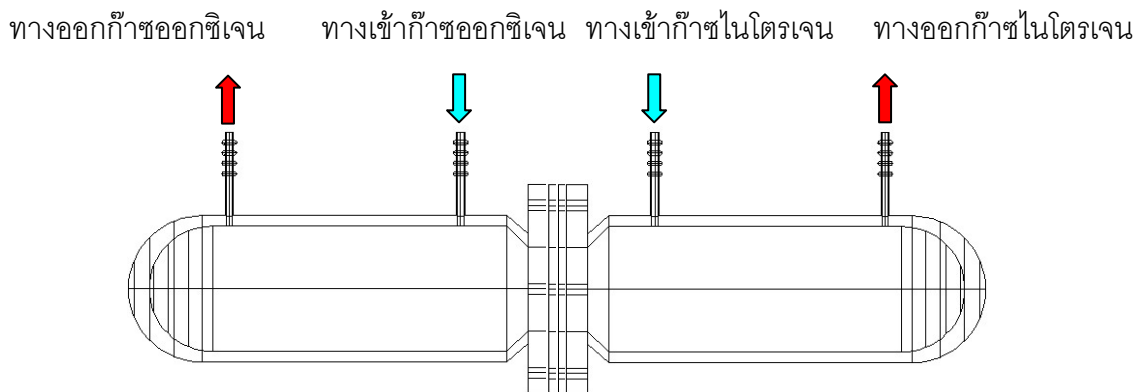
ΔP = ความแตกต่างของค่า partial vapor pressure ระหว่างฟิล์ม (Pa)



รูปที่ 3.2 ภาพการทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVTR) ในห้องควบคุมความอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความชื้น 70%

3.2.2.3 การทดสอบค่าอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม (OTR)

ทดสอบโดยประยุกต์จากวิธีของ Erol A. และ Sibel T. (2003 เพื่อศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนสำหรับฟิล์มเคลือบบริโภคได้ การทดสอบใช้คอลัมน์แก้วที่ทำขึ้นเป็นพิเศษเหมือนกัน 2 คอลัมน์ โดยมีปริมาตรภายใน 500 มิลลิลิตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ปากคอลัมน์ 4 เซนติเมตร กระจกฟิล์มวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตรไว้ตรงกลางระหว่าง คอลัมน์ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% ปล่องก๊าซไนโตรเจน เข้าและออกทางคอลัมน์หนึ่ง และก๊าซออกซิเจนในอีกคอลัมน์ หนึ่งที่ความเร็วก๊าซ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ภาพแสดงรูปคอลัมน์ใช้ทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.3 เก็บก๊าซขาออกของคอลัมน์ไนโตรเจนเมื่อผ่านไป 1 วันมาตรวจหาปริมาณออกซิเจนที่แพร่ผ่าน โดยใช้เครื่อง GC คำนวณหาค่าอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม ดังสมการ



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจนผ่านฟิล์ม (OTR)

$$M = (m \times v \times 1440 \times 32) / 22400 \quad (3.3)$$

โดย $M =$ น้ำหนักออกซิเจนที่แพร่ผ่านฟิล์มต่อเวลา (g/day)
 $m =$ ความเข้มข้นของออกซิเจนตรวจสอบด้วยเครื่อง GC (%v/v)
 $v =$ ปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ปล่อยเข้าคอลัมน์ (100 ml/min)

และ

$$OTR = (M \times d) / (A \times \Delta P) \quad (3.4)$$

โดย $OTR =$ อัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate)
 $A =$ พื้นที่สำหรับการแพร่ผ่านของออกซิเจน (m^2)
 $d =$ ความหนาของฟิล์ม(m)
 $\Delta P =$ ความแตกต่างของความดันก๊าซออกซิเจนระหว่างสองฝั่งฟิล์ม (1 atm)

ตัวอย่างในการคำนวณและรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.

3.2.2.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน(T_g)

ทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้โดยใช้ Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Diamond DSC, Perkin Elmer precisely, USA) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์หาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) จุดหลอมเหลวของโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ (T_m) ทำการทดสอบโดยตั้งชิ้นส่วนฟิล์มให้มีน้ำหนัก 5 มิลลิกรัมวางขึ้นตัวอย่างในภาชนะบรรจุ

ตัวอย่าง ให้ความร้อนแก่ชิ้นตัวอย่างด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ -60 ถึง 80 องศาเซลเซียส

3.2.2.5 ทดสอบลักษณะทางกายภาพของฟิล์มโดยมนุษย์

การทดสอบความพึงพอใจต่อลักษณะฟิล์ม โดยใช้ผู้ตรวจสอบจำนวน 12 คน ทดสอบฟิล์มทั้ง 18 สูตรโดยตัดชิ้นฟิล์มขนาด 2 x 2 เซนติเมตร และห่อด้วยพลาสติกไว้ (รูปที่ 3.4) จัดห้องประเมินโดยเป็นห้องปรับอากาศตั้งอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณแสงที่มากพออย่างสม่ำเสมอ โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ตั้งถาดตัวอย่างแต่ละถาดห่างกัน 60 เซนติเมตร เมื่อถึงเวลาทดสอบผู้ทดสอบจะเป็นผู้แกะพลาสติกด้วยตัวเอง โดยฟิล์มที่ผลิตขึ้นจะถูกประเมินสี กลิ่น และการติดมือ จากผู้เข้าร่วมประเมิน(ตารางที่ 3.2)โดยใช้เวลาทดสอบต่อคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 ตารางประเมินสี กลิ่น และการติดมือ จากผู้เข้าร่วมโครงการ

ชื่อ-นามสกุล..... อาชีพ											
.....											
ตัวอย่าง หมายเลข											
สี	ไม่เข้ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	เข้มมาก
ความใส	ใสมาก	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ขุ่นมาก
กลิ่น	ไม่มี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	มาก
การติดมือ	ไม่ติด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ติดมาก
ความชอบ	ไม่ชอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ชอบมาก



รูปที่ 3.4 ชั้นฟิล์มที่ผู้ประเมินได้รับในการทดสอบลักษณะทางกายภาพโดยมนุษย์

3.2.2.6 ตรวจสอบความหนาและลักษณะของฟิล์มบนเนื้อส้มโอ

การตรวจสอบความหนาของฟิล์มบนเนื้อส้มโอ ทำโดยเคลือบส้มโอตามหัวข้อ3.2.3 ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป เมื่อเคลือบเสร็จนำส้มโอเข้าเครื่องFreezing Dry เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อส้มโอแห้งมาแช่ในไนโตรเจนเหลว เพื่อทำการหักเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) เพื่อหาความหนา และสภาพการปกคลุมเนื้อส้มโอของฟิล์มเคลือบปริโภคได้

3.2.3 การเคลือบฟิล์มลงบนเนื้อ

นำสารละลายฟิล์มเคลือบปริโภคได้ จากผลที่ได้ในข้อที่ 3.2.1 และ 3.2.2 มาคัดเอาฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เพื่อใช้ในการเคลือบผิวส้มโอ โดยดูจากสมบัติความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วเป็นหลัก ทำการเคลือบโดยมีขั้นตอนการเคลือบดังนี้

1. ส้มโอขาวน้ำผึ้งจากสวนในอำเภอสามพราณ จังหวัดนครปฐม โดยบรรจุใส่ลงในตะกร้าละ 6 ผล บรรจุทุกโดยรถห้องเย็นที่ 10 องศาเซลเซียส มายังฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต่อจากนั้นทำการคัดผลส้มโอที่ด้อยคุณภาพออก แล้วทำความสะอาดผลส้มโอที่ดีด้วยน้ำคลอรีน 200 ppm และบรรจุผลส้มโอลงตะกร้าที่ทำความสะอาดด้วยน้ำคลอรีน 200 ppm เก็บรักษาส้มโอไว้ในห้องเย็นที่ 10 องศาเซลเซียส เพื่อรอปอกเปลือกในวันต่อไป

2. ปอกเปลือกส้มโอที่ทำความสะอาดแล้วในห้องที่ความสะอาดและเครื่องมือที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน 200 ppm โดยนำเนื้อส้มโอที่ได้จัดวางใส่ถาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ทำการคัด

เนื้อสัมผัสที่มีตำหนิ และเกิดผลจากการปกกออก เก็บเนื้อสัมผัสที่เหลือไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อรอการพ่นเคลือบต่อไป

3. จัดสถานที่พ่นเคลือบโดยฆ่าเชื้ออุปกรณ์ในการพ่นทั้งหมด บรรจุสารละลายฟิล์มเคลือบปริภาคได้ลงกระบอกลวดพ่นเคลือบ นำเนื้อสัมผัสที่เตรียมไว้มาพ่นเคลือบ โดยพ่นและทำแห้งที่ละด้าน โดยเป่าด้วยพัดลมสะอาดเป็นเวลาข้างละ 20 นาที

4. นำเนื้อสัมผัสจัดวางไว้บนภาชนะที่เตรียมไว้ ภาชนะ 3 ชั้น หุ้มด้วยฟิล์มห่อหุ้มอาหาร ยี่ห้อ m-wrap ซึ่งทำจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นทั้งหมดบันทึกภาพเนื้อสัมผัสในวันที่ 0 และทดสอบคุณภาพต่างๆ

5. นำเนื้อสัมผัสที่เคลือบฟิล์มแล้วเก็บไว้ที่ห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เพื่อรอที่จะทำการทดลองวันต่อไป

6. บันทึกภาพเนื้อสัมผัส และทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ทุก 3 วัน เป็นเวลา 21 วัน (3 สัปดาห์) เพื่อใช้การเปรียบเทียบ

3.2.4 การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัส

3.2.4.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

นำเนื้อสัมผัสมาชั่งน้ำหนักหลังการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับน้ำหนักเมื่อเริ่มทำการทดลอง โดยการชั่งน้ำหนักให้ทำการชั่งทันทีเมื่อนำออกจากห้องเก็บรักษา เพื่อป้องกันน้ำหนักจากการเกิดหยดน้ำเกาะบนภาชนะ คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักดังนี้ (แสดงตัวอย่างในการคำนวณและเครื่องมือที่ใช้ดังภาคผนวก ง.)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \quad (3.5)$$

3.2.4.2 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ

ใช้เครื่องมือวัดสีที่เรียกว่า Colormeter ยี่ห้อ CE MINOLTA รุ่น CR-400, Japan ในระบบ Hunter's scale ซึ่งเป็นระบบ L a b color space บันทึกค่า L คือค่าความสว่าง a คือค่าความเป็นสีแดง และค่า b หรือค่าความเป็นสีเหลือง ในแต่ละซ้ำวัดค่าทั้งหมด 6 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย (หลักการทำงานและเครื่องมือที่ใช้ดังภาคผนวก ง.)

$$\% \text{ Citric acid} = \frac{N \text{ NaOH} \times \text{ml NaOH} \times \text{meq.wt of Citric acid}}{3 \times \text{ml pomelo juice} \times 10} \quad (3.7)$$

โดย	%Citric acid	=	%กรดซิตริก (%w/v)
	N NaOH	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (mol/L)
	ml NaOH	=	ปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เทเทรต (ml)
	ml pomelo juice	=	ปริมาณน้ำคั้นส้มโอที่ใช้ (ml)
	meq.wt of Citric acid	=	น้ำหนักโมเลกุลของกรดซิตริก (192 g/mol)

3.2.4.7 อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนวัดโดยใช้เครื่อง GC (Gas Chromatography) มีขั้นตอนในการทำคือ นำเนื้อส้มโอในแต่ละทริทเมนต์ไปเก็บไว้ในขวดโหลที่ผ่านการฆ่าเชื้อและต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) (รูปที่ 3.2) ควบคุมอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส และผ่านอากาศเข้าขวดโหล จากนั้นทำการเก็บอากาศทางขาออกของขวดโหลไปทดสอบในวันที่ 0 และทุกๆ 3 วัน จนครบ 21 วัน โดยใช้ไซริงขนาด 3 มิลลิลิตร ดูดก๊าซและปิดปลายไซริงด้วยเซปตัม (septum) ทันทีเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซ นำก๊าซที่ได้มา 1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่อง GC เพื่อหาปริมาณ ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และ เอทิลีน ทำการคำนวณกลับจากปริมาณความเข้มข้นที่ตรวจพบกับอัตราการไหลเข้าอากาศที่ไหลเข้า เพื่อคำนวณอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนของส้มโอได้

3.2.4.8 ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และ เอทิลีน ในการเก็บรักษา

ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และ เอทิลีนในการเก็บรักษาวัดโดยใช้เครื่อง GC (Gas Chromatography) เช่นเดียวกับ หัวข้อ 3.2.4.5 มีขั้นตอนที่แตกต่างกันคือการเก็บก๊าซ ซึ่งใช้เข็มฉีดยาเจาะผ่านฟิล์มพอลิอะไธลีน (PS) เพื่อดูดก๊าซภายในภาควิเคราะห์

3.2.4.9 คุณภาพในการรับประทาน

คุณภาพในการรับประทานเป็นการประเมินจากความรู้สึกของแต่ละบุคคล หรือเรียกอย่างเป็นทางการว่าการประเมินแบบจิตพิสัย (subjective) ซึ่งสามารถมีความแตกต่างกันได้มากเนื่องจากทัศนคติ และการรับรู้รสชาติต่างๆ ที่ต่างกัน ซึ่งต่างจากแบบวัตถุวิสัย (objective) ที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่างๆที่สามารถวัดได้ง่าย มีความผิดพลาดน้อย ไม่มีอคติ แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัด เนื่องจากอุปกรณ์ในเรื่องเครื่องมือวัดที่มีขีดจำกัดในแต่ละการวัด หรือ

การวัดได้ทีละอย่าง และการวัดต่อตัวอย่างที่มีเวลานาน เช่น การวัดปริมาณกรด น้ำตาล และ ปริมาณก๊าซต่างๆเป็นต้นซึ่งต่างจากการใช้คนชิมรสที่สามารถรับรู้กลิ่น-รส และเนื้อสัมผัสได้ในเวลาเดียวกัน โดยรายละเอียดสำหรับการทดลองมีดังนี้

1. คัดเลือกผู้ชิมจำนวนประมาณ 8 คนในการประเมิน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) นำเนื้อสัมผัสออกจากห้องเก็บ มาปล่อยให้หายเย็นที่ อุณหภูมิห้อง โดยใช้พัดลมเป่าเพื่อป้องกันหยดน้ำเกาะบนเนื้อสัมผัสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2. จัดสถานที่สำหรับการชิมโดยห้องต้องสะอาด ปราศจากกลิ่น และมีแสงเพียงพอ

3. เตรียมตัวอย่างโดยแกะเนื้อสัมผัสออกเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 2 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ในแต่ละสูตรแล้วนำมาจัดวางลงถาดที่ติดเบอร์เลขสามหลักทั้งสี่ด้านซึ่งแทนแต่ละสูตรไว้ โดยทำการเปลี่ยนตัวเลขทุกวันที่ทำการทดสอบ

4. จัดชิมและเก็บใบประเมินผล นำข้อมูลหาค่าเฉลี่ยโดยแสดงแบบทดสอบที่ใช้ดังกล่าว ภาคผนวก ง.

5. วิเคราะห์ผลความแตกต่างทางสถิติแบบ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และใช้วิธีการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่าง ๆ เป็นคู่ๆ (comparing pairs of treatment means) โดยใช้ผู้ชิมคือจำนวนซ้ำของแต่ละสูตร

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ชั้น 5 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน จ.นครปฐม

ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลองออกตามวัตถุประสงค์ในการทดลองได้ 3 ขั้นตอนใหญ่ดังนี้

4.1 การทดลองในส่วนฟิล์มซึ่งเป็นการทดสอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสูตรในอัตราส่วนผสมต่างๆของสารละลายเริ่มต้น คือ ไคโตซาน เจลาติน และ ซอร์บิทอล โดยขึ้นรูปในสภาพพลาสติกตามหัวข้อที่ 3.2.1 และทดสอบลักษณะต่างๆ ของฟิล์ม โดยในส่วนการทดลองนี้ทำการขึ้นรูปและทดสอบอยู่ที่ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นหลัก โดยสามารถแบ่งได้ตามหัวข้อได้ดังนี้

4.1.1 ผลการขึ้นรูปฟิล์มเคลือบบริเวณได้และลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม

4.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบบริเวณได้ ได้แก่ ความทนแรงดึง (tensile strength) และการยืดตัวของฟิล์ม (%elongation)

4.1.3 ผลการทดสอบหาค่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (water vapor transmission rate : WVTR)

4.1.4 ผลการทดสอบหาค่าอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม (oxygen transmission rate : OTR)

4.1.5 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของฟิล์ม (glass transition : T_g)

4.1.6 ลักษณะการเคลือบผิวเนื้อสัมผัส ตรวจสอบและบันทึกภาพด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM)

4.2 การทดลองในส่วนผลไม้ ซึ่งเป็นการทดสอบที่นำฟิล์มที่พิจารณาได้จาก หัวข้อที่ 4.1 ว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสม เคลือบลงบนเนื้อสัมผัสและตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปมาเทียบกับการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของส้มโอบอกเปลือก (control) ทำการทดลอง ณ งานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยมีผลการทดสอบแบ่งตามหัวข้อได้ดังนี้

4.2.1 ลักษณะภายนอกของเนื้อสัมผัสจากการถ่ายรูปบันทึกไว้

4.2.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงสี ด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR400 ของประเทศญี่ปุ่น

4.2.4 ความแน่นเนื้อ โดยเครื่องวัดความแน่นเนื้อ Effegi ของประเทศอิตาลี

4.2.5 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ โดยเครื่อง hand refractometer ยี่ห้อ Atago ของประเทศญี่ปุ่น

4.2.6 ปริมาณวิตามินซี (A.O.A.C., 1990)

4.2.7 ปริมาณกรดที่ไทเทรต (A.O.A.C., 1990)

4.2.8 อัตราการหายใจ โดยการบรรจุเนื้อส้มโอในโหลบรรจุผลิตภัณฑ์ ต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ ที่จำกัดอัตราการไหลของอากาศ 100 มล./นาที่ จากนั้นวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ส้มโอปลดปล่อย ออกมาโดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

4.2.9 การผลิตเอทิลีน ทำเช่นเดียวกับ 4.2.8 แต่วิเคราะห์ก๊าซเอทิลีนแทน

4.2.10 คุณภาพในการรับประทาน โดยให้ผู้ชิมที่ผ่านการทดสอบและทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณภาพต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบประสาทสัมผัส จำนวน 12 คน ชิมเนื้อส้มโอแล้วให้คะแนน 0-9 ดังตารางทดสอบชิมต่อไปนี้

4.3 วิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบการเก็บรักษาเบื้องต้น

รายละเอียดของผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

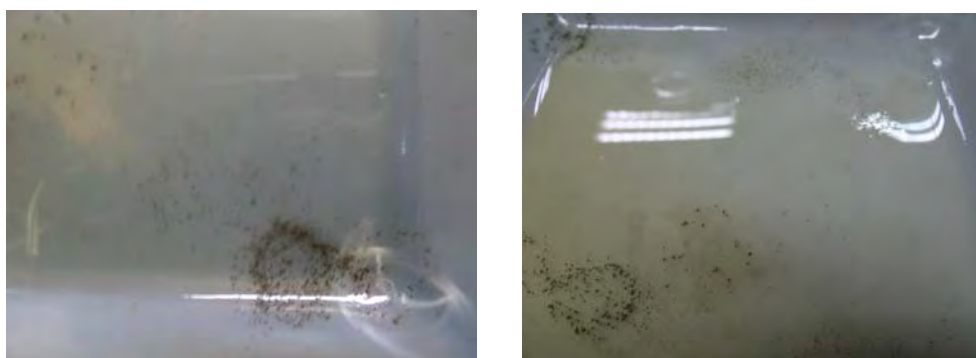
4.1 ลักษณะสมบัติของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้

ฟิล์มเคลือบบริโภาคได้เพื่อใช้ในการยืดอายุการเก็บเนื้อส้มโอสดพร้อมบริโภาคถือเป็นทางเลือกหนึ่ง ซึ่งใช้หลักการการปรับปรุงบรรยากาศในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อส้มโอ โดยฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ควรมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการบริโภาคเช่น มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับสีของเนื้อส้มโอที่ใช้เคลือบ, ไม่มีกลิ่นผิดปกติ, ยึดติดกับเนื้อส้มโอได้ดี และ มีความเหนียวติดมือน้อย มีความแข็งแรงพอควรแต่การยืดตัวต่ำ เพื่อให้มีลักษณะที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ และสามารถลดการสูญเสียน้ำได้ดี ซึ่งคุณสมบัติต่างๆที่กล่าวมาจะถือเป็นคุณสมบัติที่ใช้ในการคัดเลือกสูตรฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ต่อไป

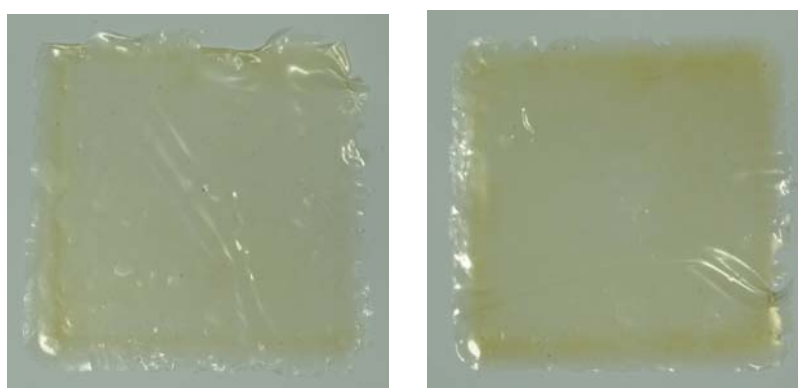
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้

จากการขึ้นรูปฟิล์มตามสูตรผสมต่างๆ นำสารละลายมาเทลงบนถาดพลาสติก และขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยการอบไว้ที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงพบว่าทุกสูตรสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ แต่พบว่าฟิล์มเจลาตินที่ไม่มีโคโตซานผสมอยู่มีการติดเชื้อ *Aspergillus niger* มีลักษณะ spore สีดำ เนื่องด้วยเจลาตินเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ดี (รูปที่ 4.1) ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเมื่อแกะออกจากถาดพลาสติกแสดงดังรูปที่ 4.2 ฟิล์มที่ผลิตขึ้นจะถูกประเมินสี กลิ่น และสัมผัส โดยให้ผู้ตรวจสอบจำนวน 12 คน ทดสอบฟิล์มทั้ง 18 สูตร พบว่าฟิล์มเตรียมขึ้นมีความหนา

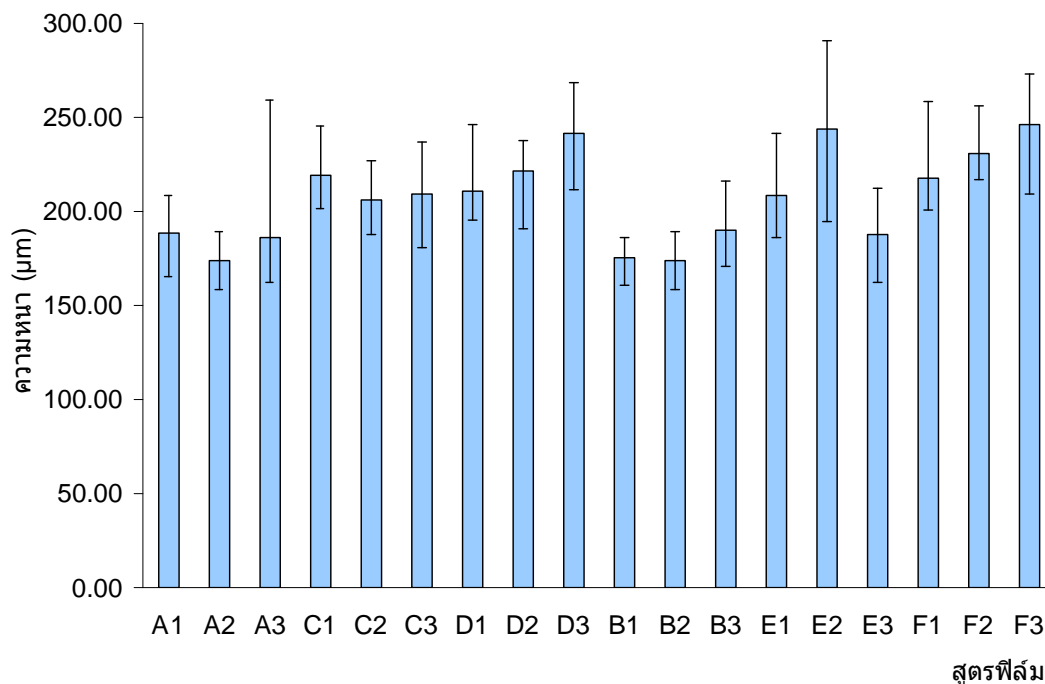
สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น (ความหนาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%) แต่ความหนาของฟิล์มแต่ละสูตรมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า %total solid weight (รูปที่ 4.3) และค่า pH ซึ่งมีผลจากปริมาณกรดซิตริกที่เติมลงไปเท่ากันมีค่า pH ที่ใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง pH 2.16 ถึง 2.48 สำหรับลักษณะทางกายภาพที่ทดสอบโดยมนุษย์ พบว่าสีและความใสของฟิล์มแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันโดยอยู่ในช่วง 4 ถึง 6 คะแนน คือมีลักษณะของสีเหลืองกลาง และความใสอยู่ในช่วง 3 ถึง 5 คะแนน ถือว่ามีความใส สำหรับกลิ่นกรดอยู่ในช่วงแทบจะไม่มีกลิ่นถึงไม่มีกลิ่นเลยคือต่ำกว่า 3 คะแนน แต่การติดมือมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดคือฟิล์มสูตร A และ B ซึ่งเป็นสูตรที่ไม่มีเจลาตินอยู่เลยพบว่าไม่ติดมือ และจากการทดสอบการพันเคลือบลงบนเนื้อ ส้มโสดพบว่าฟิล์มสูตร A และ B หลุดร่อนได้ง่าย (รูปที่ 4.4) จึงไม่เหมาะในการเคลือบจริง แต่สำหรับฟิล์มสูตรอื่นๆ มีลักษณะการติดมืออยู่ในช่วงเล็กน้อยถึงปานกลางซึ่งทางผู้ทดสอบสามารถรับได้ จึงไม่เป็นอุปสรรคในการเคลือบ ค่าต่างๆที่กล่าวมาสามารถแสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ฟิล์มที่ขึ้นรูปจากเจลาตินโดยไม่มีโคโตซาน มีการปนเปื้อนเชื้อรา



รูปที่ 4.2 ฟิล์มเคลือบสูตร โคโตซาน 1% เจลาติน 0% และซอร์บิทอล 0.2 %w/v (ซ้าย) โคโตซาน 1% เจลาติน 2% และซอร์บิทอล 0.6 %w/v (ขวา) ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเคลือบบริโภคได้ในงานวิจัยนี้ ทุกฟิล์มมีลักษณะคล้ายกัน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความหนาของฟิล์มสูตรต่างๆ จากการสุ่มวัดความหนา 3 จุด ในฟิล์มชนิดเดียวจำนวน 10 ซ้ำ ตัวอักษร a, b และ c บนแท่งกราฟแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของความหนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p < 0.05$



รูปที่ 4.4 ผิวสัมผัสที่ถูกพ่นเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มสูตร A (ข้าว) 0.6 %w/v (ขวา) ผิวสัมผัสที่มีการหลุดร้อน (ขวา)

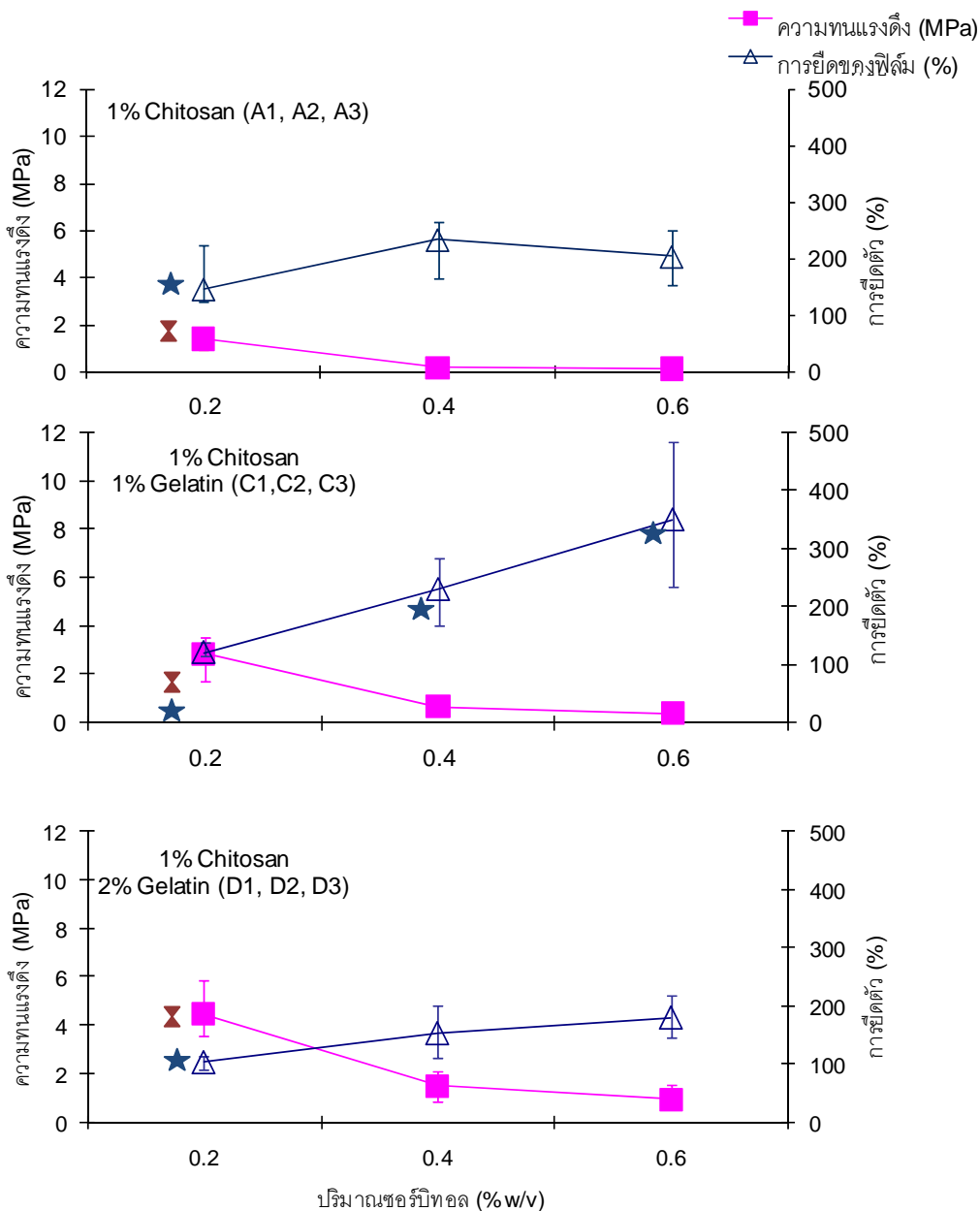
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเคลือบบริเวณ ลักษณะทางกายภาพโดยมนุษย์ และค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g)

สูตร	ลักษณะทั่วไปของฟิล์ม		ลักษณะทางกายภาพโดยมนุษย์				T_g ($^{\circ}\text{C}$)
	ความหนาของฟิล์ม \pm SD (μm) (n=10)	pH ของสารละลาย	สี \pm SD (ไม่เหลือง =1) (เหลืองมาก =9)	ความใส \pm SD (ใสมาก =1) (ขุ่นมาก =9)	กลิ่นกรด \pm SD (ไม่มี =1) (มาก =9)	การติดมือ \pm SD (ไม่ติด =1) (ติดมาก =9)	
A1	188.40 \pm 16.75	2.19	4.33 \pm 1.90	4.25 \pm 1.99	1.67 \pm 0.80	3.42 \pm 2.35	58.30
A2	174.00 \pm 8.37	2.16	5.25 \pm 2.00	4.75 \pm 1.93	2.67 \pm 0.45	4.33 \pm 2.37	28.07
A3	185.97 \pm 28.13	2.16	4.50 \pm 1.68	3.92 \pm 2.22	2.00 \pm 0.45	4.92 \pm 2.15	18.90
B1	175.53 \pm 8.29	2.51	4.17 \pm 1.83	4.33 \pm 1.60	1.33 \pm 0.89	3.08 \pm 1.44	48.66
B2	174.10 \pm 11.48	2.48	6.08 \pm 1.59	5.00 \pm 1.67	2.92 \pm 0.65	4.92 \pm 1.56	50.66
B3	189.97 \pm 17.06	2.41	4.25 \pm 1.78	4.42 \pm 1.78	3.00 \pm 1.78	4.58 \pm 1.78	35.76
C1	219.67 \pm 14.51	2.22	5.42 \pm 1.70	4.58 \pm 1.51	2.33 \pm 1.88	3.67 \pm 1.93	12.30
C2	206.40 \pm 14.34	2.25	4.00 \pm 1.24	4.33 \pm 1.45	2.00 \pm 1.78	4.42 \pm 2.11	1.42
C3	209.43 \pm 18.85	2.23	4.92 \pm 1.72	4.67 \pm 1.56	2.42 \pm 0.97	4.50 \pm 2.39	-3.27
D1	210.80 \pm 17.32	2.29	4.17 \pm 1.71	3.83 \pm 1.41	1.50 \pm 1.08	5.33 \pm 2.55	-9.82
D2	221.87 \pm 15.12	2.32	4.17 \pm 1.62	4.42 \pm 1.03	2.92 \pm 1.36	4.58 \pm 2.17	-7.66
D3	241.63 \pm 16.36	2.28	3.75 \pm 1.91	4.00 \pm 1.54	1.92 \pm 1.67	4.83 \pm 2.84	-14.18
E1	208.90 \pm 18.59	2.47	4.00 \pm 1.60	3.92 \pm 1.71	1.25 \pm 1.87	4.83 \pm 2.06	21.35
E2	243.63 \pm 28.16	2.44	3.50 \pm 1.56	3.50 \pm 0.74	2.67 \pm 2.61	5.58 \pm 2.02	2.44
E3	187.57 \pm 19.06	2.35	4.08 \pm 1.28	4.17 \pm 1.15	2.25 \pm 1.35	5.00 \pm 1.93	-3.96
F1	217.53 \pm 20.70	2.43	3.42 \pm 1.98	3.75 \pm 1.62	1.25 \pm 1.21	5.42 \pm 3.09	24.85
F2	230.83 \pm 13.77	2.43	3.67 \pm 2.18	4.08 \pm 1.83	1.75 \pm 1.86	6.42 \pm 2.84	22.86
F3	246.40 \pm 17.57	2.45	4.00 \pm 1.98	4.00 \pm 1.87	2.67 \pm 1.73	5.50 \pm 2.75	-2.09

หมายเหตุ : SD คือ Standard deviation

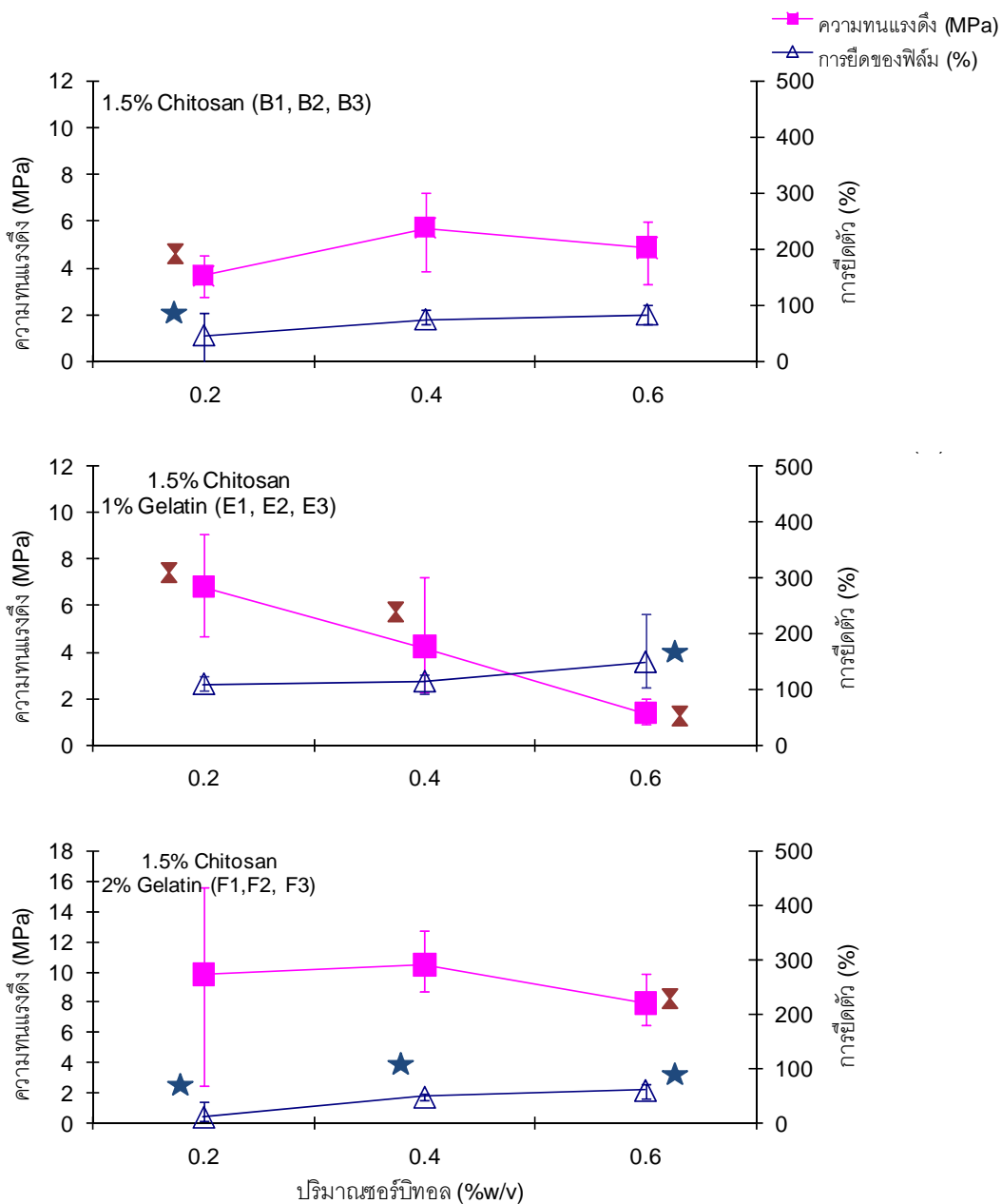
4.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบบริเวณได้

สมบัติทางกลที่ทดสอบในงานวิจัยนี้คือ ความทนแรงดึงที่จุดขาด (tensile strength) และการยืดตัวของฟิล์มที่จุดขาด (% elongation) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึง (tensile strength) และการยืดตัวของฟิล์ม (% elongation) ได้ดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชอริบิทอลกับค่าความทนแรงดึงที่จุดขาด (■) และการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ (▲) จาก ไคโตซาน และฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน ที่มีความเข้มข้นของไคโตซานที่ 1 %w/v ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (n=8)

โดยที่ ■ และ ▲ แสดงถึงแตกต่างของค่าความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มเคลือบบริโภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p < 0.05$ ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชอริบิทอลกับค่าความทนแรงดึงที่จุดขาด (■) และการยืดตัวที่จุดขาด ของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ (■) จาก ไคโตซาน และฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและไคโตซาน ที่มีความเข้มข้นของไคโตซานที่ 1.5 %w/v ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (n=8)

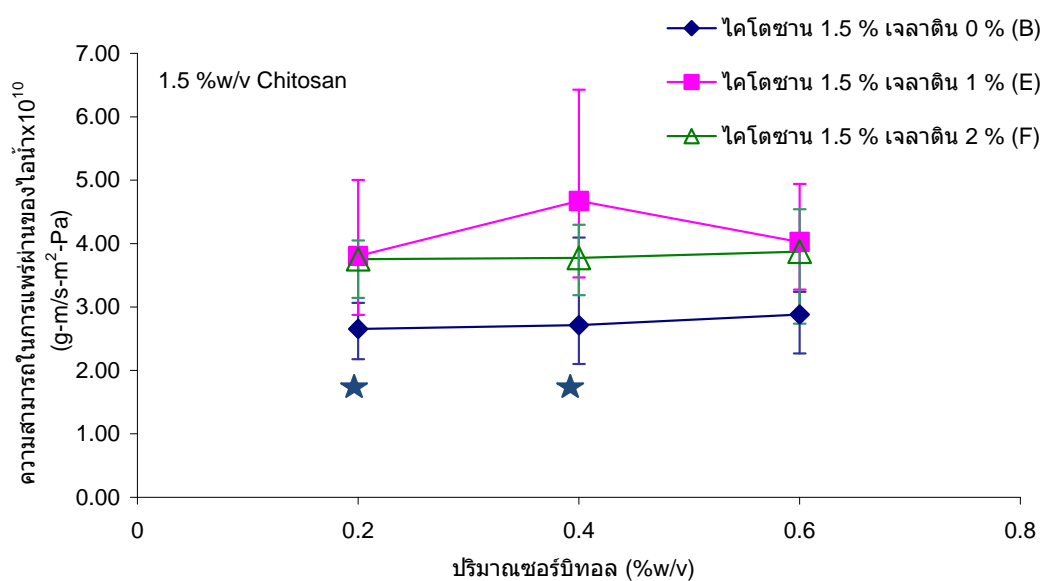
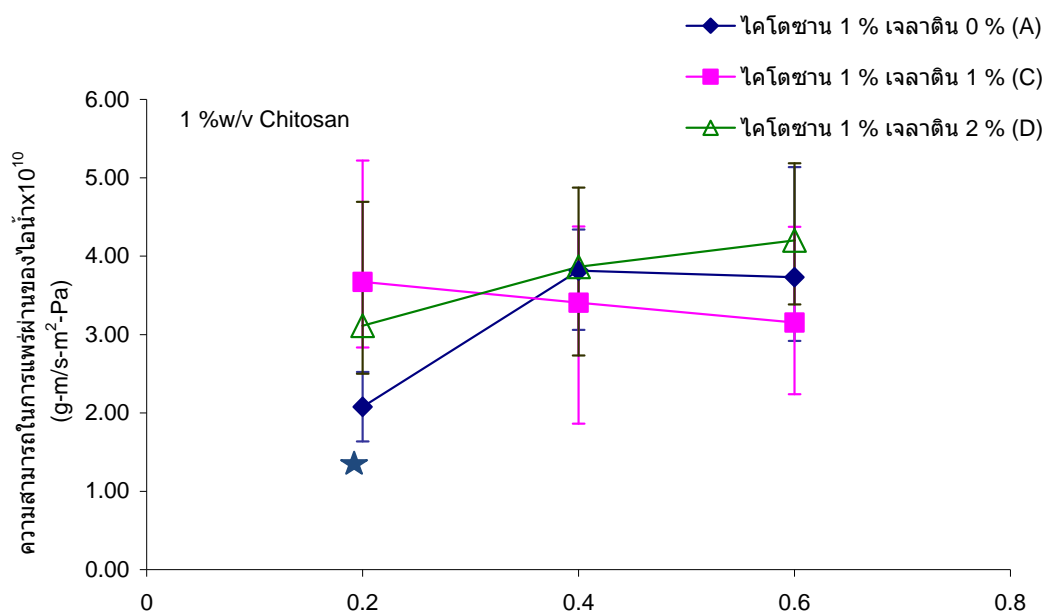
โดยที่ \blacktriangle และ \star แสดงถึงแตกต่างของค่าความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มเคลือบบริโภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p < 0.05$ ตามลำดับ

จากกราฟทั้ง 2 รูปจะเห็นว่าในการเติมซอร์บิทอลในฟิล์มที่มีความเข้มข้นของโคโตะซานระหว่าง 1 ถึง 1.5 %w/v และ เจลาตินระหว่าง 1 ถึง 2 %w/v ความใช้ ซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นไม่เกิน 0.4 %w/v เนื่องจากเมื่อซอร์บิทอลมากกว่า 0.4 %w/v คุณสมบัติทางกลของทุกสูตรมีค่าความทนแรงดึงที่ต่ำลง และการยืดตัวที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยพบว่าค่าการยืดตัวแปรผันตรงกับปริมาณความเข้มข้นของซอร์บิทอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ของซอร์บิทอลอย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโคโตะซานเป็น 1.5 %w/v (รูปที่ 4.6) เมื่อใช้ฟิล์มโคโตะซานอย่างเดียวโดยไม่มีเจลาตินเป็นองค์ประกอบอยู่เลย (homogeneous film) พบว่าค่าความทนแรงดึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลจาก 0.2 เป็น 0.4 %w/v และลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลจาก 0.4 เป็น 0.6 %w/v โดยที่ค่าการยืดตัวแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดิม โดยค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ที่วัดได้ (ตารางที่ 4.1) มีค่าลดลงจาก 48.66 องศาเซลเซียส เป็น 35.76 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ซอร์บิทอล 0.6 %w/v ซึ่งแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างระบบโมเลกุลของฟิล์มที่สูงขึ้น เมื่อมีการเติมเจลาตินผสมในฟิล์มโคโตะซาน (สูตร E และ F) แนวโน้มของความทนแรงดึง และการยืดตัวกลับเป็นเช่นเดียวกับสูตรอื่นๆ ยกเว้นสูตร B แสดงให้เห็นความสำคัญของชนิด และอัตราส่วนของ พอลิเมอร์ต่อพลาสติกไซเซอร์ ที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม

จากผลของสมบัติทางกลอาจไม่สามารถบ่งบอกการเลือกใช้สูตรฟิล์มเคลือบจริงได้แต่สูตร F มีความทนแรงดึงที่สูงกว่าสูตรคืออยู่ในช่วง 7.94 และ 10.45 MPa และค่าการยืดตัวที่ต่ำกว่าสูตรอื่น คืออยู่ในช่วง 11.93 และ 60.65 % ซึ่งอาจมีเหตุผลมาจากสูตรทั้งสามมีความเข้มข้นของโคโตะซาน และ เจลาตินที่มากกว่าสูตรอื่น ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็ง และเปราะมากขึ้น การที่ฟิล์มมีการยืดตัวน้อยมีผลดีต่อการใช้ฟิล์มเคลือบบริเวณได้ กล่าวคือเมื่อผู้บริโภคนัดจะไม่สามารถเห็นฟิล์มเคลือบบริเวณได้ ค่าความทนแรงดึง และค่าการยืดตัวของฟิล์มทั้งสามมีผลใกล้เคียงกับลักษณะสมบัติของฟิล์ม ที่เหมาะสมในการใช้เคลือบเนื้อทุเรียนหมอนทอง รายงานโดยคุณลักษณะ (2548) ที่ผลิตฟิล์มในอัตราส่วนเจลาติน 2 %w/v และโคโตะซาน 1 %w/v โดยใส่ซอร์บิทอลปริมาณ 0.2 %w/v พบว่าได้ค่าความทนแรงดึงที่ 11.4 MPa และค่าการยืดตัวของฟิล์มที่ 99.9%

4.1.3 อัตราการแพร่ฟิล์มผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (WVTR)

ในการทดสอบได้ประยุกต์ใช้วิธีของ Jo และคณะ (2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 โดยใช้ขวดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 ตารางเซนติเมตรปิดด้วยฟิล์มด้านบนของขวด ค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำแสดงรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำฟิล์มโคโตซานและฟิล์มผสมระหว่างเจลาตินและโคโตซาน ดำเนินการที่ห้องควบคุมความอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความชื้น 70% เมื่อ ★ แสดงถึงแตกต่างของค่าความทนแรงดึงและการยึดตัวของฟิล์มเคลือบบริเวณ มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p < 0.05$ ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.7 พบว่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำมีความแตกต่างกันในสูตรที่มีไคโตซานอยู่โดยไม่มีเจลาติน ซึ่งให้ผลที่มีค่าคุณสมบัติในการแพร่ผ่านของไอน้ำที่ต่ำกว่าสูตรอื่น เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลไคโตซานที่ยาว จึงมีโอกาที่การจัดเรียงตัวของโมเลกุลโครงสร้างเป็นโครงร่างผลึก (crystalline) จากรายงานของ Francis – Suh และ Matthew พบว่าที่ไคโตซานระหว่างมวลโมเลกุล 50 – 1000 kD คุณสมบัติโดยทั่วไปมีโครงสร้างเป็นโครงร่างผลึก (crystalline) (Francis – Suh และ Matthew, 2000) และสำหรับฟิล์มผสมระหว่างไคโตซานและเจลาตินพบว่าค่าไม่แตกต่างกันคือ อยู่ในช่วง 3 ถึง 5×10^{-10} g-m/s-m²-Pa เนื่องจากลักษณะของฟิล์มที่ชอบน้ำมากซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับผลของยูลักซ์ (2548) ที่พบว่า ฟิล์มจากไคโตซานอย่างเดียวมี่ค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำอยู่ที่ 2 ถึง 3×10^{-10} g-m/s-m²-Pa ที่ความเข้มข้นของซอร์บิทอลที่ 0.5 ถึง 0.75 %w/v และมีแนวโน้มที่ต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของซอร์บิทอลต่ำลงอีกด้วย

4.1.4 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำได้

สมบัติทางความร้อนที่ทดสอบคือ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ซึ่งมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา และการบริโภค ค่าการทดสอบอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

เมื่อมีการเติมซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นในสูตรฟิล์ม อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นในสูตร B และ F ที่เมื่อเพิ่มซอร์บิทอลจาก 0.2 %w/v ไปเป็น 0.4 %w/v ไม่มีผลต่อค่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมากนัก เนื่องจากซอร์บิทอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าพอลิเมอร์ที่ใช้ เข้าไปแทรกตัวอยู่ในสายโซ่โมเลกุลทำให้ปริมาตรช่องว่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โมเลกุลมีส่วนที่ไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ปริมาณความร้อนที่ต้องให้แก่ฟิล์มในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจึงมีค่าน้อยลง จึงทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีค่าลดลง โดยผลมีความสอดคล้องกับผลของ Arvanitoyannis และคณะ (1998) ที่ทดสอบหาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของฟิล์มเคลือบไคโตซานและเจลาตินที่ 2 และ 5%w/v ตามลำดับโดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณซอร์บิทอลที่เติมเข้าไปที่ 0.22, 0.25 และ 0.30 พบว่าค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของฟิล์มมีค่าลดลงเป็น 135, 125 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ อีกตัวอย่างผลงานที่เห็นได้ชัดคือผลงานของยูลักซ์ (2548) ซึ่งขึ้นฟิล์มสูตรไคโตซาน 1%w/v เจลาติน 2%w/v และซอร์บิทอล 0.2%w/v (สูตร D1) พบว่า มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วอยู่ที่ -5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลงานนี้ซึ่งให้ค่าที่ -9.82 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากวิธีการเตรียมสารละลายที่ต่างกัน ด้วยข้อมูลจากตารางที่ 4.1 ยังพบว่าค่า

คุณสมบัติเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(T_g) ของสูตรฟิล์มที่มีโคโตซานอย่างเดียว มีค่าสูงกว่า สูตรฟิล์มเคลือบที่มีเจลาตินผสมอยู่ ซึ่งอาจเกิดจากธรรมชาติของโคโตซานเป็น polysaccharide จะมีค่าอุณหภูมิหลอมสูงกว่า โปรตีนเจลาติน โคโตซาน 1 %w/v อย่างเดียวของ Lazaridou และคณะ (2002) ซึ่งผสมซอร์บิทอล 0.3 %w/v มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 59.6 องศาเซลเซียส และฟิล์มโคโตซานจากสารละลาย 1 %w/w โคโตซานในคลอโรฟอร์ม ของ Manisara และคณะ พบค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 50 ± 1 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่ามากกว่าฟิล์มเจลาติน 1 %w/v อย่างเดียวของ Sobral และคณะ (2001) ซึ่งผสมซอร์บิทอล 0.25 %w/v มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 45 องศาเซลเซียส

จากค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ได้พบว่าฟิล์มที่ยังคงสภาพดีที่อุณหภูมิเก็บรักษาเมื่อนำมาเคลือบจริงที่ 5 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิในการบริโภคที่ 25 องศาเซลเซียส คือ สูตร A, B (เคลือบไม่ติดผล) และ E1, F1 และ F2 ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่มากกว่า 5 องศาเซลเซียส และเกือบทุกสูตรมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นการช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเล็กน้อยไม่แข็งเปราะจนผู้บริโภคสังเกตเห็นได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามต้องมีการนำปัจจัยอื่น มาพิจารณาต่อไป เพื่อคัดเลือกฟิล์มมาใช้ในการเคลือบจริง

จากผลการทดสอบในหัวข้อ 4.1 ทั้งหมดสามารถสรุปเพื่อใช้คัดเลือกสูตรที่จะใช้เคลือบลงบนเนื้อส้มโอจริงโดยมีหลักเกณฑ์ว่าฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตซานและเจลาตินต้องการคุณสมบัติที่ผู้บริโภคไม่สามารถสังเกตเห็นได้ โดยการที่ผู้บริโภคไม่สามารถสังเกตเห็นนั้นต้องพิจารณาจากหลายปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (เปรียบเทียบจากตารางที่ 4.1)

1. สี พบว่าฟิล์มที่ให้ค่าสีที่น้อยหรือช่วงคะแนนต่ำกว่า 4.00 คือ ฟิล์มสูตร D3, E2, F1 และ F2 ตามลำดับ
2. ความใส พบว่าฟิล์มที่ให้ค่าความใสที่น้อยหรือช่วงคะแนนต่ำกว่า 4.00 คือ A3, D1, E1, E2 และ F1 ตามลำดับ
3. กลิ่นกรด พบว่าฟิล์มที่ให้ค่ากลิ่นกรดที่น้อยมากหรือช่วงคะแนนต่ำกว่า 2.00 คือ A1, B1, D1, D3, E1, F1 และ F2 ตามลำดับ
4. การติดมือ พบว่าฟิล์มที่ให้ค่าการติดมือที่น้อยหรือช่วงคะแนนต่ำกว่า 4.00 คือ A1, B1, และ C1 ตามลำดับ

5. อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกสมบัติของฟิล์มในช่องจัดเก็บ และสมบัติของฟิล์มเคลือบที่อุณหภูมิบริโภคนคือฟิล์มที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส คือฟิล์มสูตร C1, E1, F1 และ F2 ตามลำดับ

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้ง 5 ข้อพบว่า ฟิล์มที่มีความเหมาะสมในการนำมาเคลือบเนื้อสัมผัสคือฟิล์มสูตร E1, F1 และ F2 ตามลำดับ จะสังเกตว่าความแตกต่างของฟิล์ม E1 และ F1 คือความเข้มข้นของเจลาตินที่เพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 2 %w/v และ ฟิล์มสูตร F1 และ F2 มีความแตกต่างของฟิล์มคือความเข้มข้นของซอร์บิทอลที่เพิ่มขึ้นจาก 0.2 เป็น 0.4 %w/v ซึ่งมีค่าลักษณะต่างๆของฟิล์มดังนี้

- อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วอยู่ในช่วง 21.35 ถึง 24.85 องศาเซลเซียส
- ความทนแรงดึงอยู่ในช่วง 9.83 ถึง 10.45MPa
- การยืดตัวในช่วง 11.93 ถึง 48.40 %
- ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำในช่วง 3.39 ถึง 3.56×10^{-10} g-m/s-m²-Pa

สำหรับการติดมือเพียงเล็กน้อยของฟิล์มทั้งสามนั้น เมื่อนำมาเคลือบลงบนผลไม้จริง ผู้บริโภคไม่สามารถสังเกตเห็นได้ แม้ว่าสูตรที่เลือกจะมีค่า %total solid wt. สูง แต่จากการทดสอบพบว่าไม่พบปัญหาความหนืด หรือการอุดตันแต่อย่างใด

ตัวอย่างลักษณะสมบัติของฟิล์มเคลือบบริโภคได้

จากผลงานของยูวลักษณะณ์ (2548) ฟิล์มเคลือบบริโภคที่ดีที่สุดคือ ฟิล์มผสมโคโคซาน 1 %w/v เจลาติน 2 %w/v และ ซอร์บิทอล 0.2 %w/v มีลักษณะสมบัติดังนี้

- อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว = -5 องศาเซลเซียส
- ความทนแรงดึง 11.43 MPa
- การยืดตัว 99.88%
- ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ 1.74×10^{-10} g-m/s-m²-Pa

จากผลงานของ Barbara B. และคณะ (2006) เป็นการทำให้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากแป้งข้าวโพด, methylcellulose (MC) และน้ำมันถั่วเหลือง เพื่อใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังพบว่า มีลักษณะสมบัติดังนี้

- ความทนแรงดึง 13.22 – 17.99 MPa
- การยืดตัว 8.95-12.66%
- ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ $8.95 - 12.66 \times 10^{-11}$ g-m/s-m²-Pa

4.1.5 อัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม (OTR)

สมบัติการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มโดยใช้คอลัมน์ทดสอบความจุก๊าซ 500 มิลลิลิตร โดยปล่อยก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนคนละด้านในอัตราเร็ว 100 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าอัตราการแพร่ผ่านของของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มมีค่าดังตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด ($P \leq 0.05$)

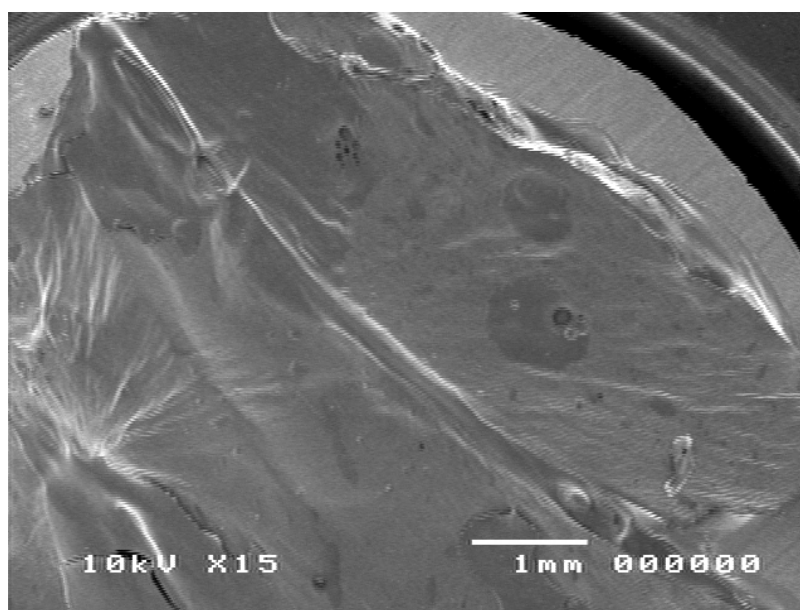
ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มของฟิล์มที่คัดเลือก

สูตร	E1	F1	F2	cv.
OTR ($\text{cm}^3\text{-m/d-m}^2\text{-kPa}$)	9.78	9.85	9.89	20.05

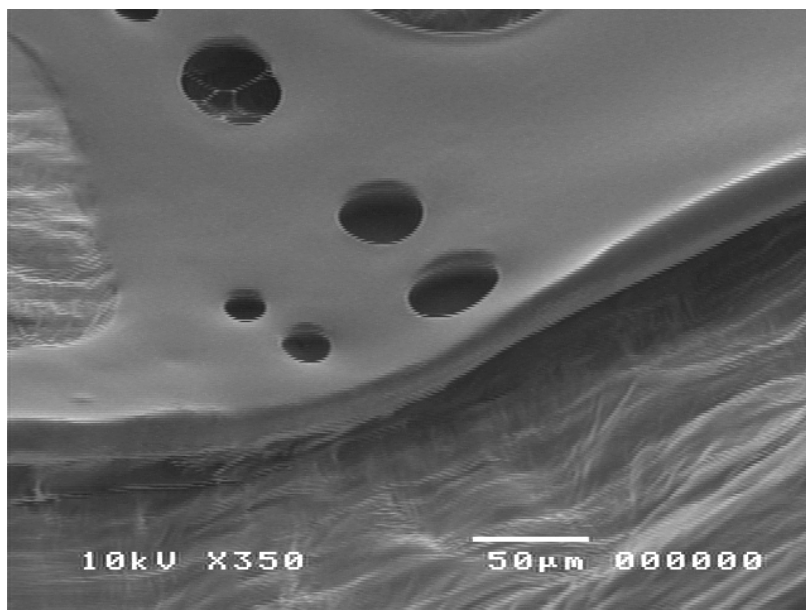
cv. คือ coeff. variation

4.1.6 ลักษณะการเคลือบผิวเนื้อสัมผัส

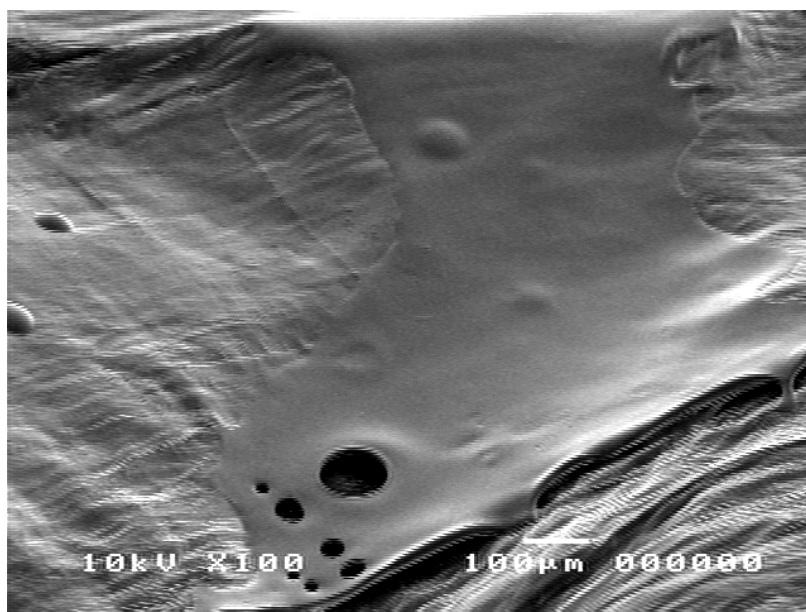
การตรวจสอบความหนาและความสม่ำเสมอในการพ่นเคลือบผิวเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (SEM) พบว่าพื้นที่พ่นเคลือบถูกเคลือบเป็นบางส่วน (รูปที่ 4.8) และมีความหนาประมาณ 10 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.9) โดยมีการตรวจพบช่องว่างเป็นรูปร่างกลมอันเนื่องมาจากการพ่นเคลือบที่เกิดฟองก๊าซ เมื่อฟิล์มแห้งและเกิดการแตกของฟองก๊าซจึงเกิดช่องว่างรูปร่างกลมขึ้น (รูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.8 ภาพการเคลือบที่เกิดขึ้นเพียงบางส่วน



รูปที่ 4.9 ภาพแสดงความหนาของฟิล์มและช่องว่างรูวงกลมที่เกิดจากการแตกของฟองก๊าซ



รูปที่ 4.10 ภาพแสดงพื้นที่เกิดช่องว่างรูวงกลมที่เกิดจากการแตกของฟองก๊าซ

4.2 ประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบบริเวณใต้









จากการนำสูตรฟิล์มเคลือบบริเวณใต้ที่ผ่านการคัดเลือก 3 สูตรมาพ่นเคลือบเนื้อส้มโอเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบ เก็บข้อมูลทุก 3 วัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 21 วัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และใช้การทดสอบเอฟ (F-test) ในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน โดยวิธีการวิเคราะห์และตัวอย่างการคำนวณทั้งหมดแสดงดังภาคผนวก ก.

4.2.1 ลักษณะภายนอกของเนื้อส้มโอ

ลักษณะภายนอกของเนื้อส้มโอโดยการบันทึกภาพเนื้อส้มโอทุก 3 วันตลอดการเก็บรักษา 21 วัน โดยสามารถแสดงส้มโอในวันที่ 0 และวันสุดท้ายของการเก็บรักษาได้ดังตารางที่ 4.3

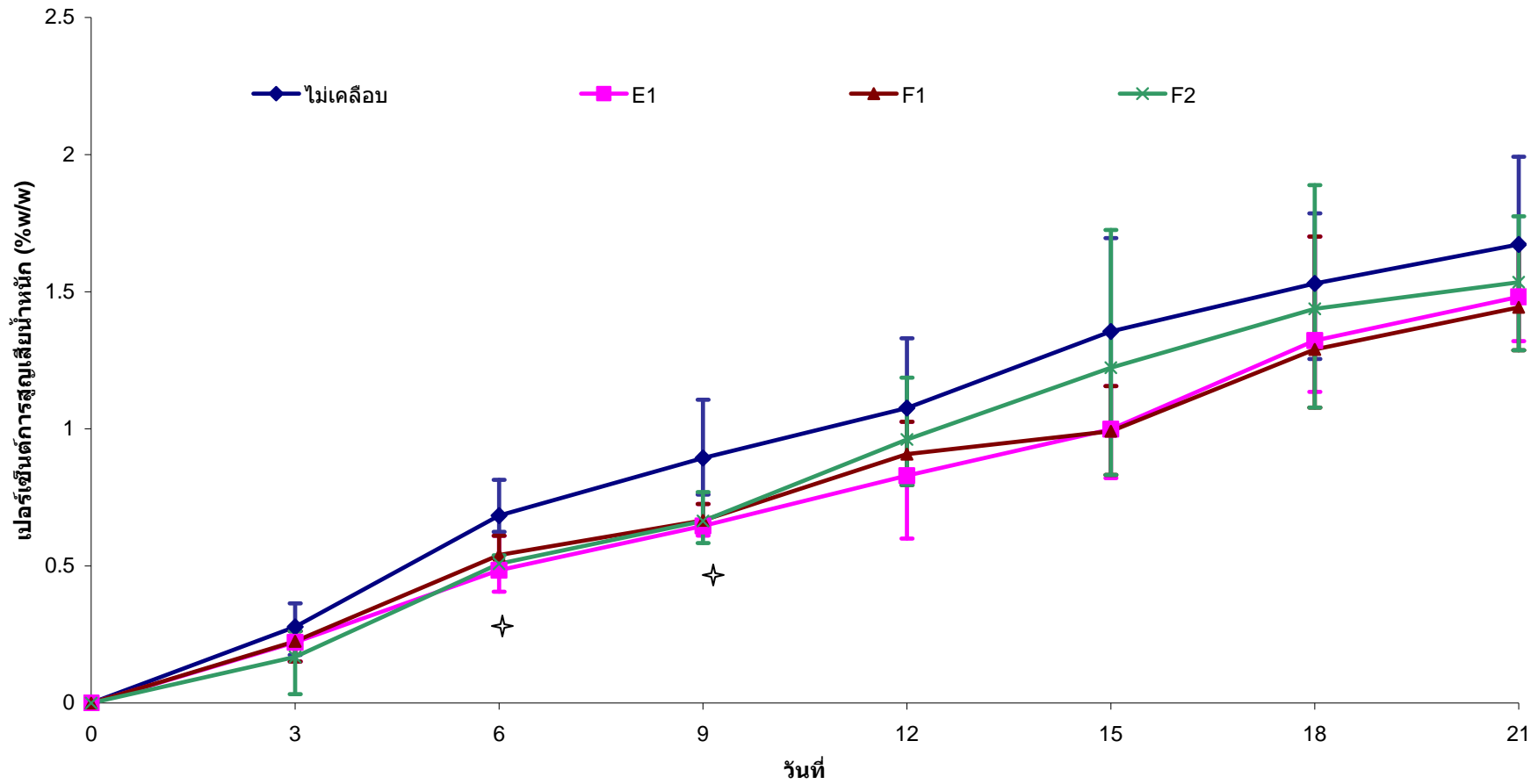
จากตารางที่ 4.3 สามารถบ่งบอกได้ว่าวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ในตัวอย่างของเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบ และเนื้อส้มโอที่เคลือบด้วยโคโคซาน 1.5 % โดยน้ำหนัก เจลาติน 1 % โดยน้ำหนัก และซอร์บิทอล 0.2 % โดยน้ำหนัก (สูตร E1) มีการพบเชื้อที่มีลักษณะเส้นใยสีฟ้าคล้ายกำมะหยี่ซึ่งเป็นลักษณะของเชื้อ *Penicillium* sp. ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวบ่งชี้ว่าสูตร E1 เป็นสูตรที่ไม่เหมาะสมในการเคลือบเนื้อส้มโอ

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทั่วไปของเนื้อส้มโอที่เคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 และไม่เคลือบในวันที่ 0 และวันที่ 21 ของการเก็บรักษา

วันที่	0	21
ไม่เคลือบ		
เคลือบด้วยสูตร E1		
เคลือบด้วยสูตร F1		
เคลือบด้วยสูตร F2		

4.2.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

ส้มโอหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้ว ยังมีการหายใจเกิดขึ้นตลอดเวลา การปกปิดเปลือกส้มโอออกนั้นส่งผลให้เนื้อส้มโอมีปริมาณการสูญเสียน้ำมากขึ้น เนื่องจากขาดผิวเปลือกทำหน้าที่ปกป้องการสูญเสียน้ำ การเคลือบเนื้อส้มโอด้วยฟิล์มเคลือบบริโภคนั้นช่วยให้การสูญเสียน้ำลดลง และอัตราการหายใจต่ำเนื่องจากคุณสมบัติการควบคุมการแพร่ผ่านเข้าออกของน้ำ และก๊าซที่ได้ทดสอบในหัวข้อ 4.1 โดยค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 เปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อซี่งอ เมื่อไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน

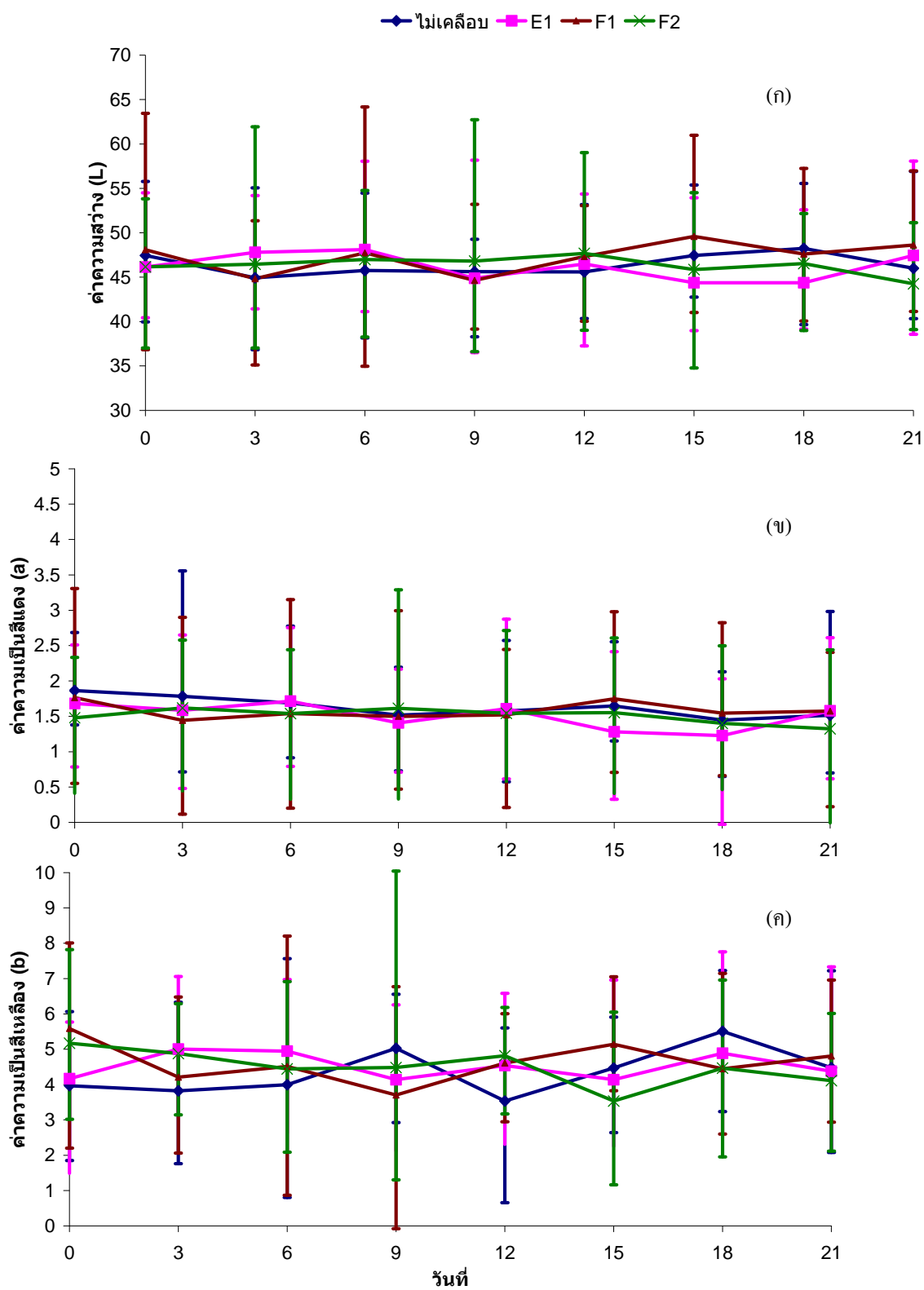
✦ เนื้อซี่งอที่เคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับเนื้อซี่งอที่ไม่ได้เคลือบ

จากรูปที่ 4.11 เนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบและที่เคลือบด้วยฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำได้ในทุก ทริตเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ยกเว้นวันที่ 6 และ 9 ที่มีการสูญเสีย น้ำหนักน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจมีผลมาจากการเคลือบผิวเนื้อ ส้มโอเนื้อด้วยฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำได้ ปกคลุมไม่สม่ำเสมอทุกจุด และการเกิดการแตกของฟองก๊าซ ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างที่ทำให้น้ำสามารถผ่านเข้าออกได้ง่ายขึ้นจึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่าเนื้อส้มโอที่ผ่านการเคลือบผิวมีแนวโน้มของการสูญเสีย น้ำหนักต่ำกว่าเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบ เนื่องจากฟิล์มไปปิดกั้นการเข้าออกของอากาศ และไอน้ำทำ ให้เกิดการสูญเสียให้น้อยลง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

4.2.3 สี

สีจัดเป็นสิ่งบ่งชี้หนึ่งที่บ่งบอกการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ในระหว่างการสุกที่เห็นได้ ชัด โดยส่วนมากแล้วเมื่อผลิตผลถูกเก็บเกี่ยวมาแล้วมักมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น การทดสอบ การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของส้มโอสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือ Colormeter รายงานผลเป็นค่า L, a และค่า b โดยค่า L แสดงค่าความสว่างถ้าใกล้ 100 แสดงว่าสว่างมาก หรือ แสดงถึงความมันวาว ของเนื้อผลไม้ที่สะท้อนออก ค่า a แสดงค่าสีแดงกับสีเขียวถ้าค่า a มีค่าเป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสี แดง และถ้าค่า a มีค่าเป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีเขียว ค่า b แสดงค่าสีเหลืองกับสีน้ำเงินถ้าค่า b มีค่า เป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีเหลือง และถ้าค่า b มีค่าเป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน

รูปที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อตลอดช่วงระยะเวลาเก็บรักษา 21 วันที่เก็บรักษา เนื้อส้มโอในทุกทริตเมนต์มีแนวโน้มของค่าความสว่างเฉลี่ย (L) ในช่วง 43 ถึง 50% สำหรับค่า a มีค่าเฉลี่ยคงที่อยู่ในช่วง 1 ถึง 2 แสดงว่าเนื้อส้มโอไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีแดง และช่วงของสี แดงนี้แสดงถึงเนื้อส้มโอมีสีแดงอยู่น้อยมาก ขณะที่ค่า b มีค่าเฉลี่ยคงที่อยู่ในช่วง 3.5 ถึง 5.5 แสดงว่าเนื้อส้มโอไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีเหลือง และช่วงของสีเหลือง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทาง สถิติพบว่าค่าความสว่าง ค่า a และค่า b ในทุกทริตเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละ วันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิตินี้ดังภาคผนวก ก. และ สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.2 จ.3 และจ.4) นี้แสดงว่าสีเนื้อ ส้มโอที่เคลือบด้วยฟิล์มเคลือบบริโภคน้ำได้ไม่แตกต่างจากเนื้อส้มโอที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

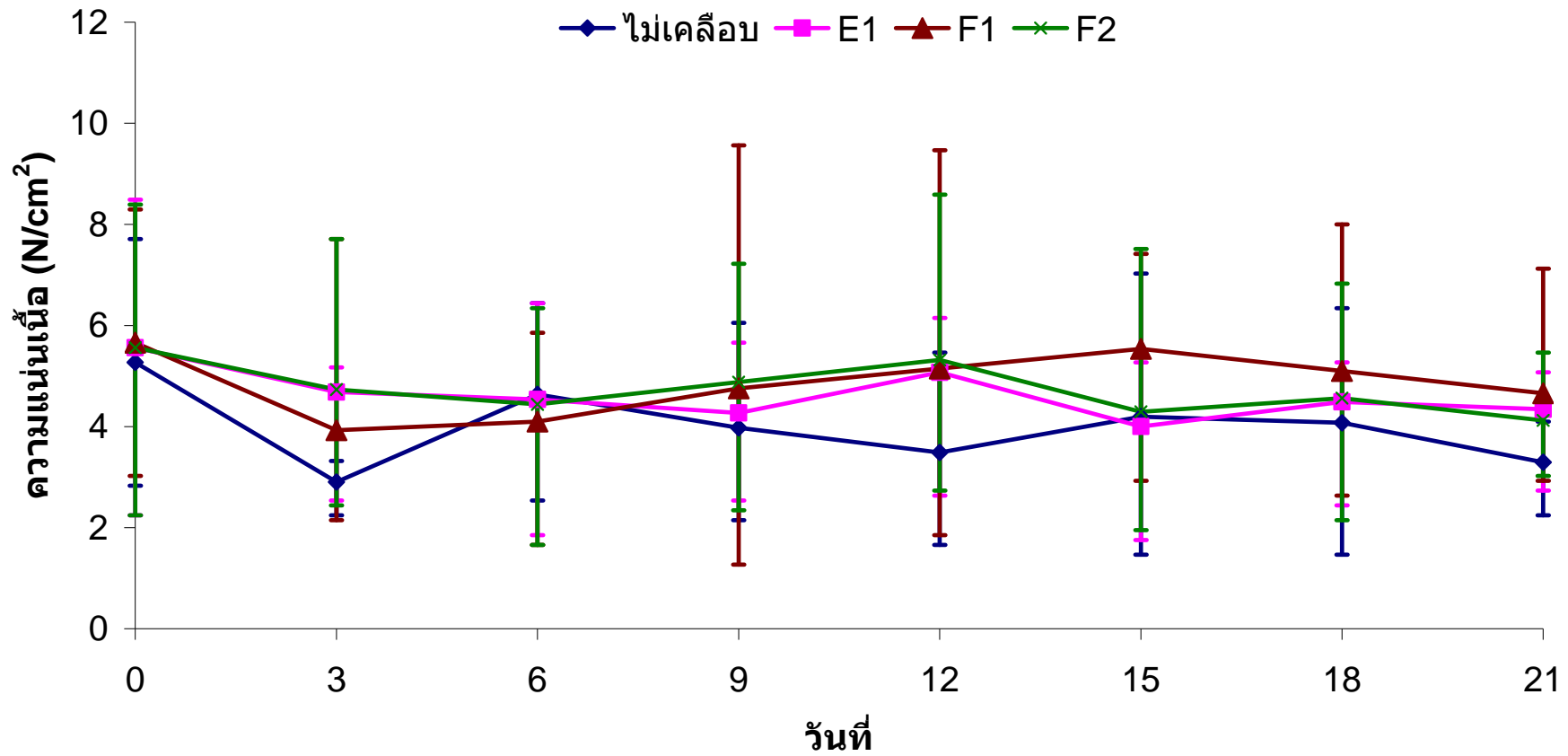


รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลง (ก) ค่าความสว่าง, L (ข) ค่าความเป็นสีแดง, a (ค) ค่าความเป็นสีเหลือง, b ของเนื้อส้มโอเมื่อไม่ได้เค็ลือบและเค็ลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน

4.2.4 ความแน่นเนื้อ

ผลไม้เมื่อสุกเนื้อเยื่อจะมีความอ่อนนุ่มมากขึ้น โดยสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ ซึ่งมีโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำส่งผลให้ผลไม้มีความแข็ง เมื่อผลไม้สุกเอนไซม์ pectinesterase และ polygalacturonase หรือเรียกรวมกันว่า protopectinase ทำการย่อยสลายสารโปรโตเพคติน เปลี่ยนไปเป็นเพคตินที่สามารถละลายน้ำได้จึงทำให้ผลไม้มีลักษณะที่อ่อนนุ่มลง [ทอง ภัครัชพันธุ์, 2526] ในการทดสอบความแน่นเนื้อโดยใช้หัวทดสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร กดลงบนกึ่งของเนื้อส้มโอ (กลีบย่อยของเนื้อส้มโอ) ค่าที่เครื่องวัดอ่านได้มีหน่วยเป็น กิโลกรัม เปลี่ยนเป็นนิวตันโดยคูณด้วย 9.81 โดยค่าที่ทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 4.13

รูปที่ 4.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อตลอดช่วงระยะเวลาเก็บรักษา 21 วันที่เก็บรักษา ค่าความความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโอในทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ค่าความแน่นเนื้อของทรีทเมนต์ ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยฟิล์ม E1 F1 และ F2 มีค่าเป็น 5.27, 5.56, 5.66 และ 5.56 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และมีค่าลดลงเป็น 3.29, 4.34, 4.66 และ 4.12 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาตามลำดับ (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.5) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าความแน่นเนื้อในทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโอที่ผ่านการเคลือบผิวมีแนวโน้มสูงกว่าเนื้อส้มโอที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฟิล์มเคลือบบริเวณผิวได้สามารถลดการสูญเสียน้ำได้ จากรูปที่ 4.11 จึงทำให้เกิดการอ่อนตัวที่ช้ากว่า [จริงแท้ ศิริพานิช, 2549]

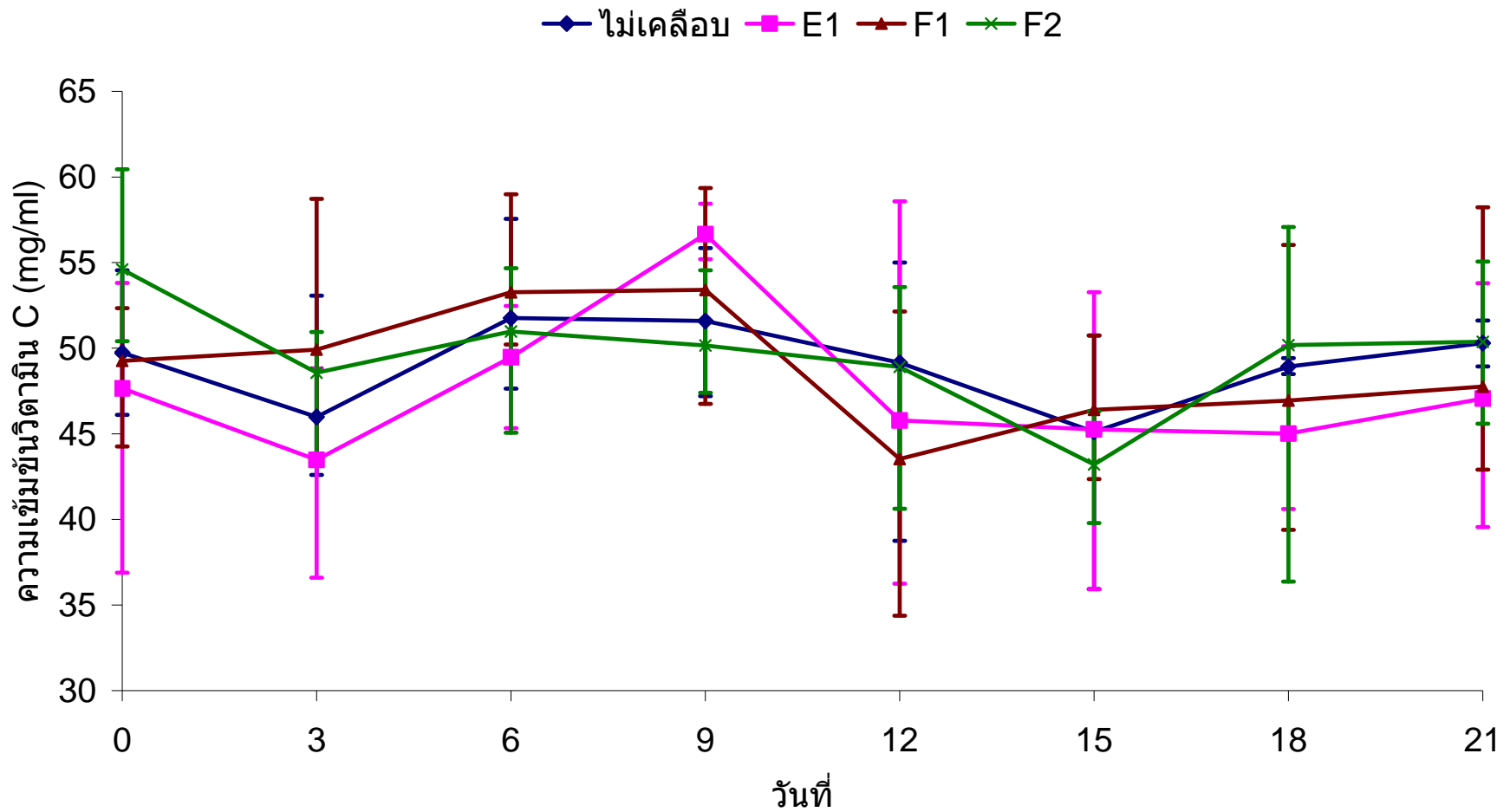


รูปที่ 4.13 ความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน

4.2.5 ปริมาณวิตามินซี

วิตามินซีจัดเป็นจุดเด่นของผลไม้ตระกูลส้ม การตรวจสอบปริมาณวิตามินซีจึงถือได้ว่าเป็นการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อส้มโอด้วย โดยการตรวจสอบใช้การไทเทรตน้ำคั้น และคำนวณปริมาณวิตามินซีเป็น มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของวิตามินซีแสดงดังรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของวิตามินซีในน้ำคั้นเนื้อส้มโอตลอดช่วงระยะเวลาเก็บรักษา 21 วันที่เก็บรักษา น้ำคั้นเนื้อส้มโอในทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มของปริมาณวิตามินซีคงที่หรือไม่สูญเสียวิตามินซี โดยพบว่าวันที่ 0 ของการเก็บรักษาปริมาณวิตามินซีของทรีทเมนต์ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยฟิล์ม E1 F1 และ F2 มีค่าเป็น 49.74, 47.65, 49.27 และ 54.60 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีค่าเป็น 50.30, 47.06, 47.76 และ 50.37 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาตามลำดับ(แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.7) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าปริมาณวิตามินซีในน้ำคั้นเนื้อส้มโอในทุกทรีทเมนต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$)

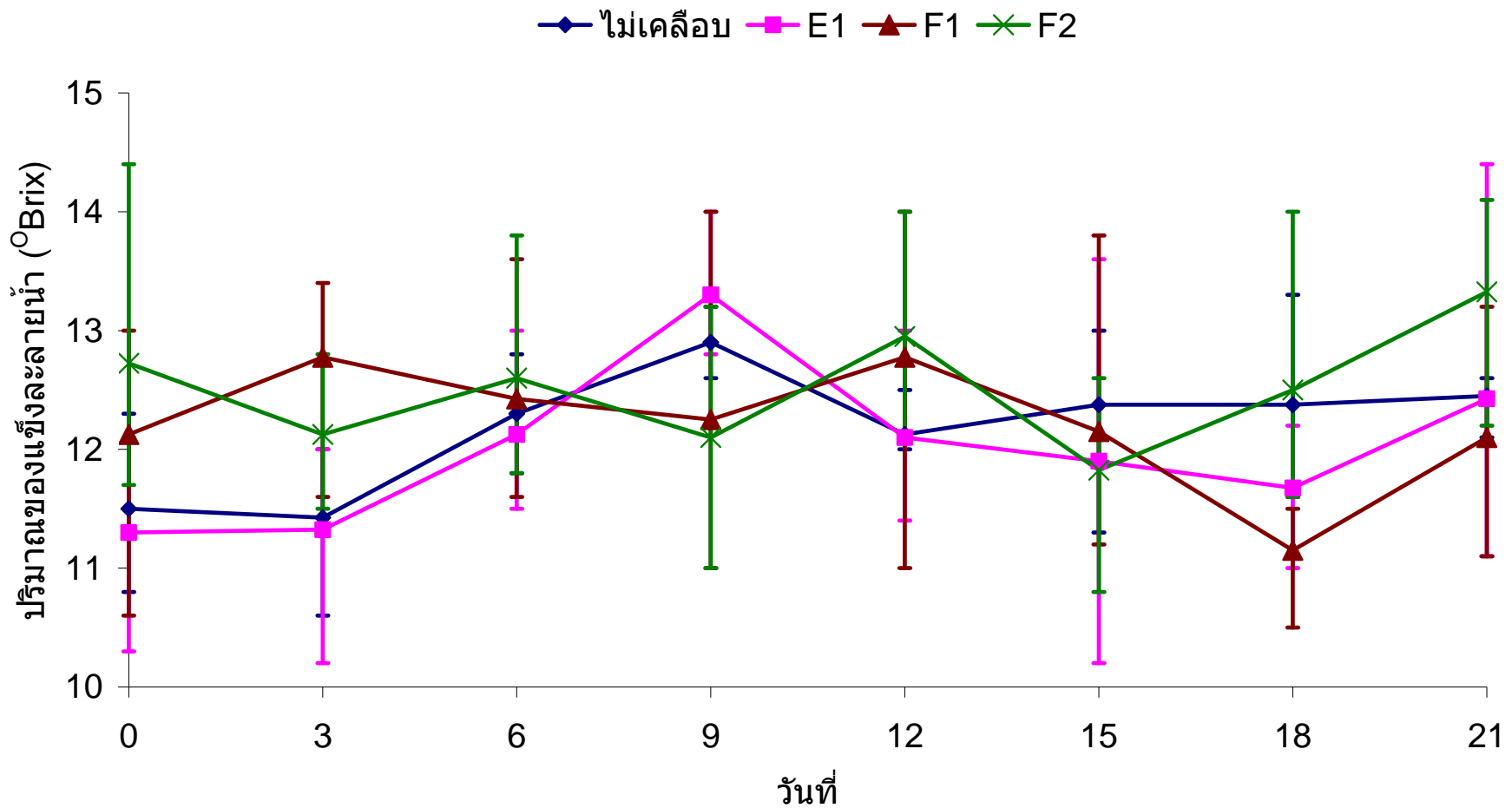


รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นวิตามินซีจากน้ำคั้นเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน

4.2.6 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

การสุกของผลไม้โดยปกติแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงของแป้งที่ไม่ละลายน้ำไปเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำ ส่งผลให้ผลไม้มีรสหวานมากขึ้น ในการตรวจสอบปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ ทำโดยการหยดน้ำคั้นส้มโอบนปริซึมของเครื่อง Hand refractometer และอ่านค่าที่วัดได้

รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ของเนื้อส้มโอดลอดช่วงระยะเวลาเก็บรักษา 21 วันที่เก็บรักษา เนื้อส้มโอบนทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มของปริมาณของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยพบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำของทรีทเมนต์ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยฟิล์ม E1 F1 และ F2 มีค่าเป็น 11.50, 11.30, 12.13 และ 12.73 °Brix ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 12.45, 12.43, 12.10 และ 13.33 °Brix ในวันที่สุดท้ายของการเก็บรักษา ตามลำดับ (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.6) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ในทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ รมณีย์ เจริญทรัพย์ (2530) ที่พบว่าน้ำคั้นเนื้อส้มโอบนที่เก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำ 10 องศาเซลเซียสมีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ในสามสัปดาห์แรกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยดังรูปที่ 2.3

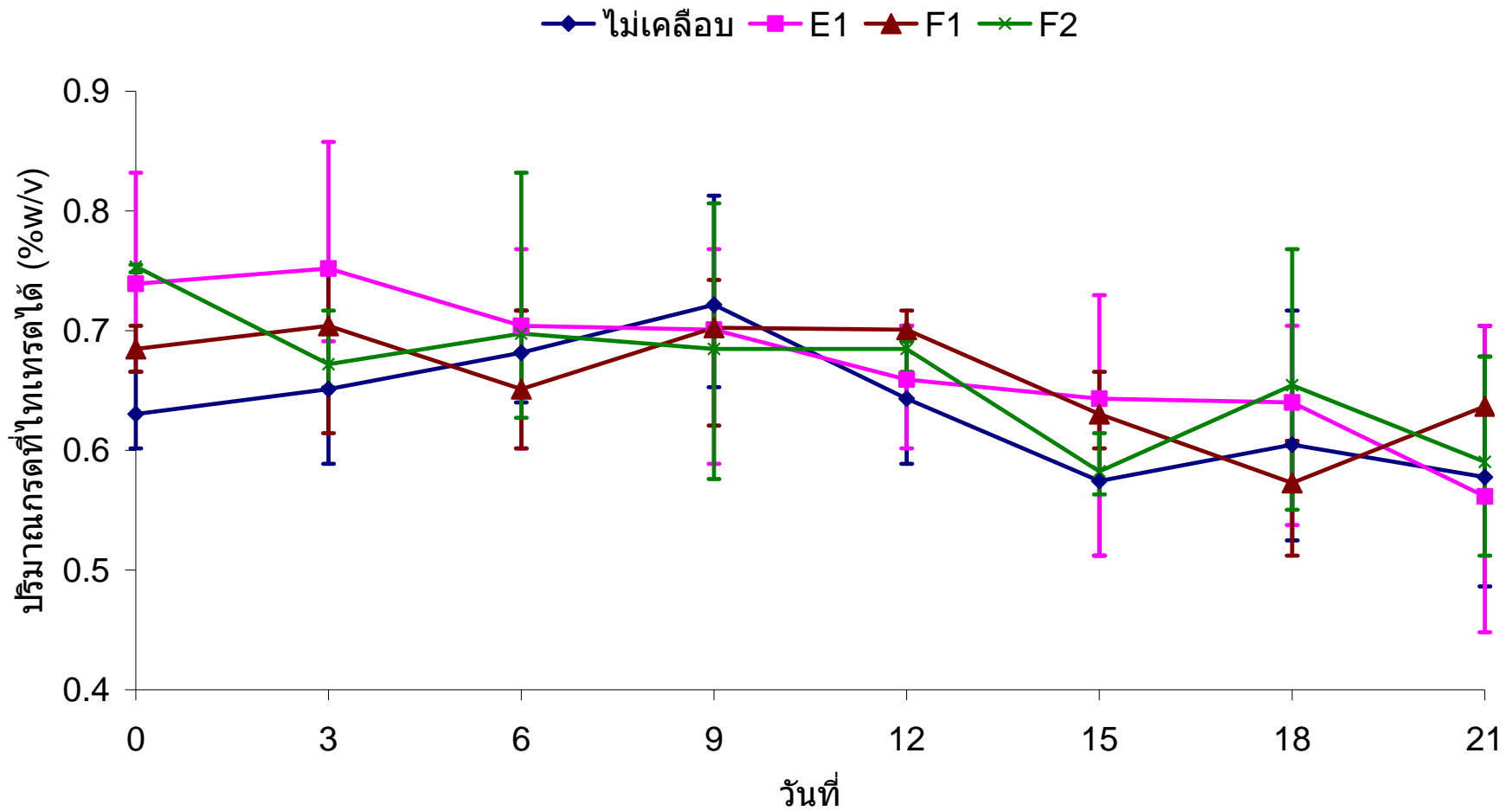


รูปที่ 4.15 ปริมาณของแข็งละลายน้ำจากน้ำคั้นเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน

4.2.7 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

โดยปกติส้มโอจัดเป็นผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวจากกรดซิตริก การตรวจสอบมะม่วงน้ำดอกไม้ของ ดวงตรา พบว่ามะม่วงดิบมีปริมาณกรดอยู่ที่ 1.3 %โดยน้ำหนัก และมะม่วงสุกมีปริมาณกรด 1.1 %โดยน้ำหนัก (ดวงตรา กสานติกุล, 2526) สำหรับการตรวจสอบโดยใช้การไทเทรตน้ำคั้น และคำนวณปริมาณกรดออกมาในรูป %น้ำหนักต่อปริมาตร ความเข้มข้นของกรดในน้ำคั้นส้มโอแสดงดังรูปที่ 4.16

รูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในน้ำคั้นเนื้อส้มโอตลอดช่วงระยะเวลาเก็บรักษา 21 วันที่เก็บรักษา ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มของลดลง โดยพบว่าวันที่ 0 ของการเก็บรักษาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของทรีทเมนต์ ไม่เคลือบ E1 F1 และ F2 มีค่าเป็น 0.63, 0.74, 0.68 และ 0.75 %w/v ตามลำดับและมีค่าเป็น 0.58, 0.56, 0.64 และ 0.59 %w/v ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ตามลำดับ (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.8) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในน้ำคั้นเนื้อส้มโอระหว่างกลุ่มในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าเนื้อส้มโอที่ผ่านการเคลือบผิวมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟิล์มเคลือบบริเวณผิวได้ที่ใช้มีปริมาณกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบอยู่ 3.5 %w/v ทำให้เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ซึ่งในการทดลองนี้วิเคราะห์ในรูปกรดซิตริก จึงทำให้มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าเมื่อคั้นน้ำจึงเกิดการชะเอากรดที่อยู่ในฟิล์มเคลือบที่มีความเข้มข้นสูงออกมาบางส่วนซึ่งเห็นความแตกต่างทางสถิติในน้ำคั้นส้มโอที่เนื้อส้มโอไม่เคลือบและเคลือบฟิล์ม หลังจากวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในวันเก็บรักษาเดียวกันแต่อย่างใด ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าใน 9 วันแรกของการเก็บรักษาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าคงที่ และลดลงหลังจากนั้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ รมณีญ์ เจริญทรัพย์ (2530) ศึกษาความสัมพันธ์ของการสูญเสีย น้ำกับคุณภาพของส้มโอหลังเก็บเกี่ยวพบว่าน้ำคั้นเนื้อส้มโอที่เก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำ 10 องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดที่คงที่หรืออาจพบว่ามีค่ามากขึ้นเล็กน้อยในบางทรีทเมนต์ในสองสัปดาห์แรก แสดงในรูปที่ 2.3 ทั้งนี้ยังไม่มีหลักฐานที่ชัดเจนมาอธิบาย แต่อย่างไรก็ตาม อาจเป็นไปได้ว่าในสภาพที่อุณหภูมิต่ำลงกิจกรรมของเอนไซม์บางอย่างในกระบวนการหายใจมีการเปลี่ยนแปลงไป จนทำให้เกิดการสะสมกรดอินทรีย์ขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

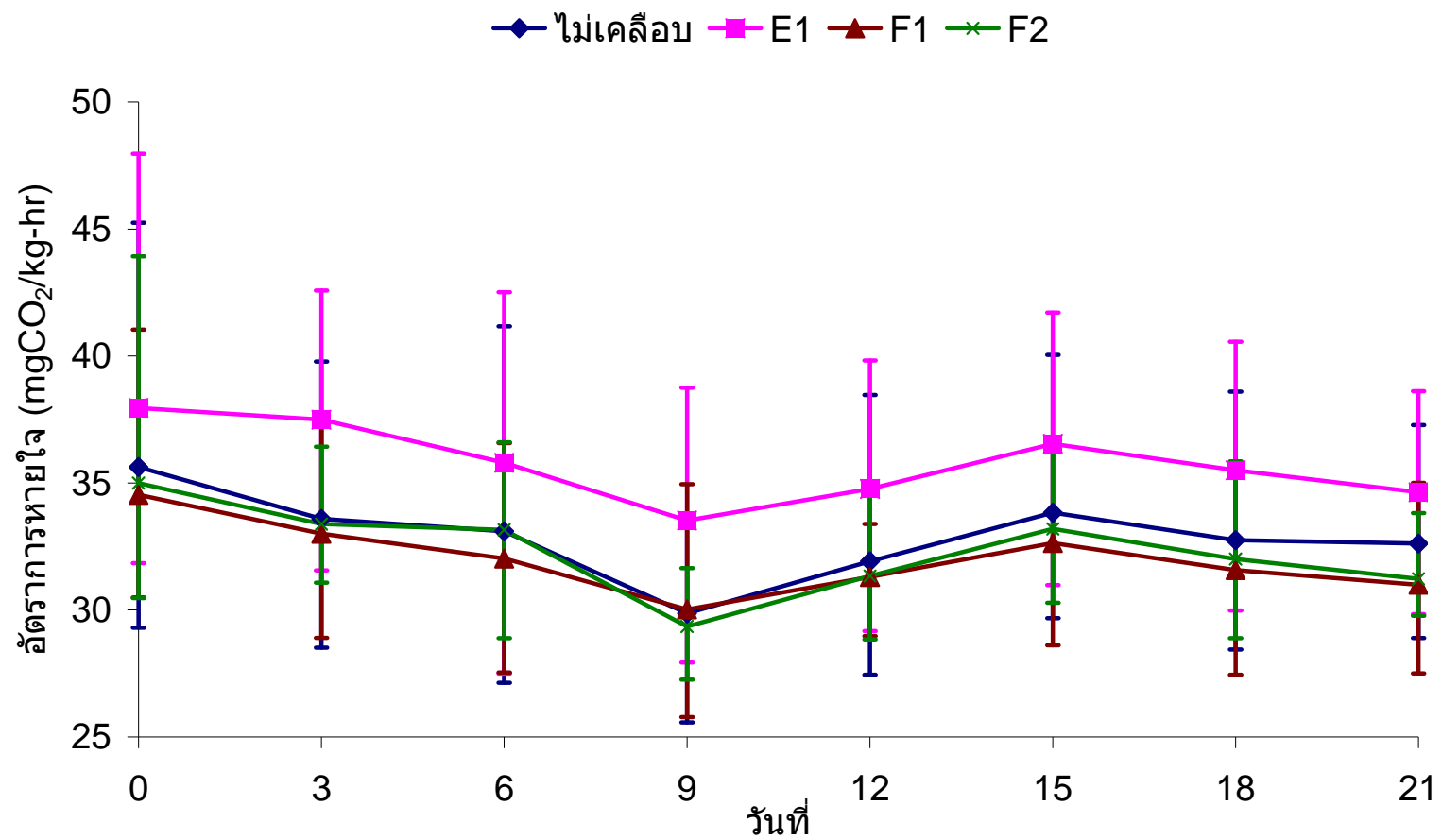


รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นของกรดซिटริกจากน้ำคั้นเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน

4.2.8 อัตราการหายใจ

การตรวจสอบการหายใจของผลไม้เป็นตัวบ่งบอกถึงอัตราของปฏิกิริยาชีวเคมีภายในผลไม้ สัมไอจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งมีการหายใจคงที่เมื่อผลไม้สุก แต่อย่างไรก็ตามการหายใจของผลไม้จะมีอัตราที่ลดลงตามเวลาหลังจากผ่านการเก็บเกี่ยวมาแล้ว การทดสอบหาอัตราการหายใจกระทำโดยการวิเคราะห์ก๊าซที่เก็บมาจากไหลทดสอบบรรจุเนื้อสัมไอ โดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี (GC) อ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟที่ได้และนำมาคำนวณหาอัตราการหายใจแสดงดังภาคผนวก ง. ค่าอัตราการหายใจที่ตรวจสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17

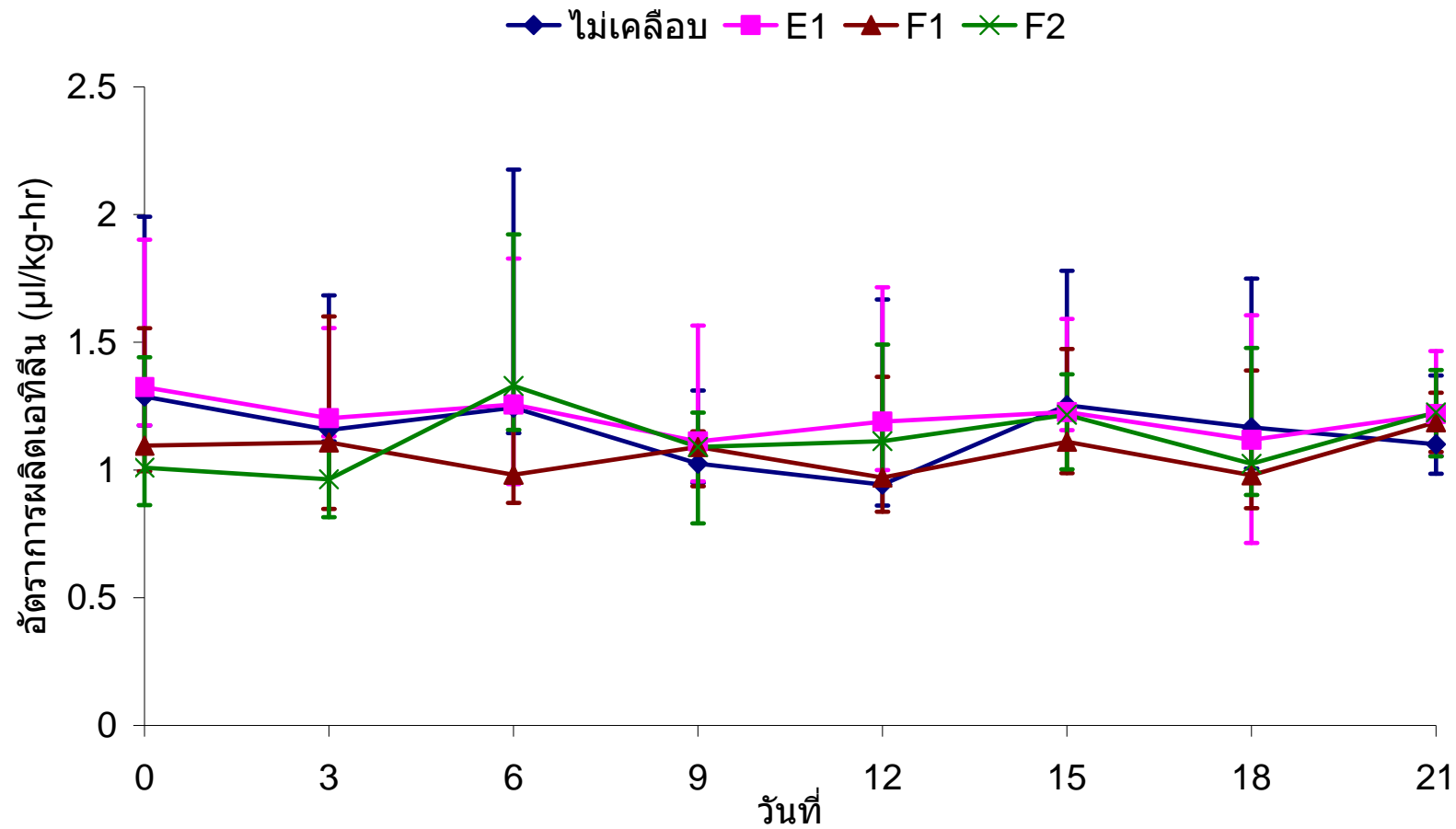
จากรูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจของเนื้อสัมไอตลอดช่วงระยะเวลาเก็บรักษา 21 วันที่เก็บรักษา อัตราการหายใจของเนื้อสัมไอในทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าวันที่ 0 ของการเก็บรักษา มีอัตราการหายใจของทรีทเมนต์ ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยฟิล์ม E1 F1 และ F2 มีค่าเป็น 35.62, 37.95, 34.53 และ 34.99 mgCO₂/kg-hr ตามลำดับ และมีค่าเป็น 32.61, 34.63, 30.99 และ 31.23 mgCO₂/kg-hr ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ตามลำดับ (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.9) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า อัตราการหายใจของเนื้อสัมไอในทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) เนื่องจากสัมไอจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ดังนั้นการตรวจสอบค่าอัตราการหายใจของเนื้อสัมไอจึงไม่สามารถเห็นความเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการหายใจที่ลดลงมากนัก หรือสามารถดูได้จากรูปที่ 2.6 จะเห็นรูปกราฟ non-climacteric ที่มีความคงที่ในช่วงหลัง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) นอกจากนี้ยังอาจเป็นผลมาจากปริมาณเอทิลีนมีค่าต่ำกว่า 0.05 ppm ทำให้ไม่สามารถเร่งให้เกิดการหายใจที่เพิ่มขึ้นได้ สอดคล้องกับรายงานของดารณี ปานขลิบ (2544) ที่พบว่าความเข้มข้นของเอทิลีนที่สามารถทำให้อัตราการหายใจของผลสละซึ่งเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric เปลี่ยนแปลงไปจำเป็นต้องมีค่ามากกว่า 500 ppm จากการตรวจสอบความหนาและความสม่ำเสมอโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (SEM) (รูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10) พบว่าการพ่นเคลือบลงบนเนื้อสัมไอเกิดการเคลือบบางส่วน (partial coating) และในส่วนของพื้นที่ฟิล์มปกคลุมพบส่วนที่เกิดช่องว่างเนื่องจากอากาศในสารเคลือบ จึงอาจเป็นไปได้ที่ทำให้ค่าอัตราการหายใจของทรีทเมนต์ที่เคลือบและไม่เคลือบไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 4.17 อัตราการหายใจของเนื้อสัตว์ที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน

4.2.9 การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นก๊าซ จึงง่ายต่อการแพร่กระจายได้ทั่ว โดยพบว่าเอทิลีนที่ความเข้มข้น 500 ppm สามารถเร่งการสุกของผลไม้ได้รูปที่ 2.5 แสดงถึงผลของเอทิลีนที่ความเข้มข้น 500 ppm สามารถเร่งกระบวนการหายใจของผลไม้ประเภท non-climacteric ได้ (दारणी, 2544) ในการยับยั้งการผลิตเอทิลีนสามารถยับยั้งได้หลายแบบ อาทิเช่น การใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ดักจับก๊าซเอทิลีนออกไป ในงานวิจัยมีการควบคุมการเข้าออกของก๊าซโดยการปกคลุมด้วยฟิล์มบาง ทำให้มีปริมาณออกซิเจนที่ต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้น สภาพเช่นนี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) การวิเคราะห์ก๊าซเอทิลีนใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี (GC) แสดงดังภาคผนวก ง. อัตราการผลิตเอทิลีนของเนื้อส้มโอทุกทรีตเมนต์แสดงในรูปที่ 4.19 มีแนวโน้มคงที่ โดยพบว่าวันที่ 0 ของการเก็บรักษาการผลิตเอทิลีนของทรีตเมนต์ ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยฟิล์ม E1 F1 และ F2 มีค่าเป็น 1.29, 1.32, 1.10 และ 1.01 $\mu l/kg-hr$ ตามลำดับและพบว่ามีค่าเป็น 1.10, 1.22, 1.19 และ 1.23 $\mu l/kg-hr$ ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ตามลำดับ (แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังภาคผนวก ก. และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดังตารางภาคผนวก จ.10) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าการผลิตเอทิลีนของเนื้อส้มโอในทุกทรีตเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.18 อัตราการการผลิตเอทิลีนของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นระยะเวลา 21 วัน

4.2.10 คุณภาพในการรับประทาน

การตรวจสอบคุณภาพในการรับประทานถูกประเมินโดยผู้ประเมินทั้งหมด 12 คนใช้แบบสอบถามแสดงถึงภาคผนวก ง. ผู้ชิมสามารถรับรู้กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสได้ในเวลาเดียวกัน โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นการทดสอบจากคุณลักษณะของ สีเนื้อ ความมันวาว การติดมือ ความแฉะ ความแข็ง กลิ่นกรด กลิ่นผิดปกติ ความเปรี้ยว ความหวาน รสชาติผิดปกติ และความชอบของผู้บริโภค ซึ่งค่าทดสอบสามารถทดสอบได้ในคราวเดียว ต่างจากค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ความเข้มข้นต่างๆ ที่ต้องทำการแยกทดสอบเท่านั้น

4.2.10.1 สีเนื้อ

สีเนื้อเป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภคสังเกตเห็นเมื่อต้องการซื้อสินค้า ซึ่งเนื้อสัมผัสพร้อมบริโภค จำเป็นต้องมีลักษณะที่ผู้บริโภคไม่สามารถเห็นความแตกต่าง การประเมินความเข้มของสีเนื้อ (ตารางที่ 4.4) และความสวยงามของสีเนื้อ (ตารางที่ 4.5) พบว่าคะแนนความเข้มของสีเนื้อตลอด 21 วันของการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนในช่วงสีเนื้อเข้ม ค่าความเข้มของสีเนื้อ ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในวันเก็บรักษาเดียวกัน ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (21 วัน) ยกเว้นวันที่ 6, 9 และ 12 มีความแตกต่างกัน แต่เป็นความแตกต่างที่ไม่สามารถบ่งบอกความต่างกันของทรีทเมนต์ที่เคลือบฟิล์มและไม่เคลือบฟิล์มได้ เช่น ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ทรีทเมนต์ที่ไม่เคลือบมีความแตกต่างกับทรีทเมนต์ F1 แต่วันที่ 9 พบว่ามีความแตกต่างกับทรีทเมนต์ F2 เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้พบว่าในวันอื่นๆ นี้แสดงให้เห็นได้ว่าฟิล์มที่เคลือบไม่มีผลต่อความเข้มของสีที่ผู้บริโภคสังเกตเห็น ในทำนองเดียวกันในเรื่องสีเนื้อสวย (ตารางที่ 4.5) พบว่าคะแนนสีเนื้อสวยตลอด 21 วันของการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 คะแนนเช่นกัน ซึ่งเป็นคะแนนในช่วงสีเนื้อสวย ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษาเดียวกัน ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (21 วัน) ยกเว้นวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่พบความแตกต่างของคะแนนเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามระดับคะแนนที่ผู้ประเมินให้ก็ยังอยู่ในระดับคะแนน 5 ถึง 7 คะแนน นี้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มไม่มีผลต่อความเข้มและความสวยของเนื้อสัมผัสแต่อย่างใด ซึ่งสอดคล้องกับผลของการวัดสีเนื้อสัมผัสในหัวข้อ 4.2.3 ที่ไม่พบค่าแตกต่างของสีเนื้อสัมผัสในทุกทรีทเมนต์

ตารางที่ 4.4 คะแนนสีเนื้อเข้มทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้ฟันเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

วันที่ ทรีท เมนต์	สีเนื้อเข้ม							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	5.33 ±1.15a	6.17 ±1.40a	6.58 ±1.08a	5.42 ±1.08a	5.50 ±1.00ab	6.08 ±1.16a	6.08 ±1.31a	5.75 ±1.06a
E1	6.17 ±0.83a	6.25 ±1.14a	5.92 ±1.62ab	6.58 ±0.90b	5.75 ±1.22a	6.25 ±0.87a	5.50 ±1.09a	5.58 ±0.90a
F1	6.17 ±1.19a	6.25 ±1.29a	5.17 ±1.64b	5.33 ±0.65a	4.75 ±1.36b	5.33 ±1.44a	5.92 ±1.08a	5.33 ±1.07a
F2	6.25 ±1.06a	5.67 ±1.44a	6.50 ±1.00a	6.08 ±1.08ab	6.25 ±0.87a	5.83 ±0.58a	6.25 ±1.60a	5.58 ±1.00a
cv.	17.87	21.72	22.66	16.17	20.24	18.05	21.71	18.13

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ สีเนื้ออ่อน

คะแนน 3-5 คือ สีเนื้อเข้มเล็กน้อย

คะแนน 5-7 คือ สีเนื้อเข้ม

คะแนน 7-9 คือ สีเนื้อเข้มมาก

ตารางที่ 4.5 คะแนนสีเนื้อสวดยทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

ทรีท เมนต์	วันที่								
	สีเนื้อสวดย								
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	6.25 ±1.29a	5.75 ±1.42a	6.33 ±1.07a	5.67 ±1.07a	6.17 ±1.34a	6.42 ±1.00a	5.67 ±1.37a	5.83 ±1.27a	
E1	6.08 ±1.44a	6.08 ±1.08a	5.50 ±2.15a	5.67 ±1.23a	5.42 ±1.31a	5.5 ±1.17ab	5.83 ±1.34a	5.00 ±1.54a	
F1	6.58 ±1.00a	5.92 ±1.62a	5.25 ±1.66a	5.75 ±0.97a	5.33 ±1.15a	5.00 ±1.48b	6.00 ±0.85a	5.00 ±1.04a	
F2	6.33 ±1.44a	5.33 ±1.78a	6.42 ±1.00a	5.25 ±1.06a	6.00 ±1.21a	5.42 ±1.51ab	6.25 ±1.6a	5.42 ±1.31a	
cv.	20.65	25.96	26.27	19.44	21.90	23.36	22.22	24.51	

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ สีเนื้อไม่สวดย

คะแนน 3-5 คือ สีเนื้อสวดยมีผิวดปกติเล็กน้อย

คะแนน 5-7 คือ สีเนื้อสวดย

คะแนน 7-9 คือ สีเนื้อสวดยมาก

4.2.10.2 ความมันวาวของเนื้อส้มโอ

เนื้อส้มโอจัดเป็นเนื้อผลไม้ที่มีความมันวาว การประเมินความมันวาวเป็นการตรวจสอบเพื่อตรวจหาความแตกต่างต่อการสะท้อนแสงของเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบ และเคลือบฟิล์ม ดังตารางที่ 4.6 แสดงคะแนนการประเมินความมันวาวของเนื้อส้มโอ ซึ่งพบว่าค่าระดับคะแนนความมันวาวของเนื้อส้มโอที่ได้อยู่ในช่วง 3 ถึง 7 คะแนน ในระยะแรกเนื้อส้มโอมีความมันวาวในช่วง 5 ถึง 7 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนในช่วงเนื้อส้มโอมันวาว และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น คะแนนความมันวาวมีค่าลดลงมาอยู่ในช่วง 3 ถึง 5 ซึ่งเป็นคะแนนในช่วงเนื้อส้มโอมันวาวเล็กน้อย ทั้งนี้จากตารางจะพบว่าค่าความมันวาวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (21 วัน) ยกเว้นวันที่ 15 พบความแตกต่างเพียงเล็กน้อย เฉพาะสูตร F1 แสดงให้เห็นว่าการเคลือบเนื้อส้มโอไม่มีผลต่อความมันวาวของเนื้อส้มโอ ซึ่งสอดคล้องกับค่าแสงที่สะท้อนกลับของเนื้อส้มโอมาจากเครื่องวัดสีในหัวข้อ 4.2.3 มีการสะท้อนกลับที่อยู่ในช่วง 40 ถึง 50 % เป็นการสะท้อนกลับขนาดกลาง และค่าการสะท้อนกลับไม่มีความแตกต่างระหว่างเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบ และเคลือบฟิล์ม

ตารางที่ 4.6 คะแนนความมั่นคงจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้ฟันเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

ทรีท เมนต์	วันที่	ความมั่นคงของเนื้อสัมผัส							
		0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ		5.50 ±1.45a	4.75 ±1.71a	6.08 ±1.00a	4.75 ±1.14a	6.17 ±1.11a	6.00 ±1.21a	5.58 ±2.11a	4.92 ±1.88a
E1		6.25 ±1.14a	5.25 ±1.66a	5.83 ±1.47a	5.08 ±1.31a	5.58 ±1.24a	5.00 ±1.28ab	5.33 ±1.83a	4.58 ±1.93a
F1		5.83 ±1.47a	4.67 ±1.56a	5.17 ±1.34a	4.92 ±1.38a	5.50 ±1.31a	4.33 ±1.15b	5.25 ±1.42a	4.75 ±1.82a
F2		5.75 ±1.76a	4.33 ±1.92a	5.83 ±1.11a	4.42 ±1.16a	5.75 ±1.29a	5.33 ±1.37ab	5.50 ±1.73a	4.83 ±1.47a
cv.		25.21	36.16	21.68	26.13	21.59	24.30	33.03	37.36

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ เนื้อสัมผัสด้าน

คะแนน 3-5 คือ เนื้อสัมผัสมั่นคงน้อย

คะแนน 5-7 คือ เนื้อสัมผัสมั่นคง

คะแนน 7-9 คือ เนื้อสัมผัสมั่นคงมาก

4.2.10.3 ความเหนียวติดมือของเนื้อส้มโอ

การติดมือทำการประเมินเนื่องจากผลของฟิล์มที่พ่นเคลือบว่ามีผลต่อการติดมือหรือไม่ เนื่องจากที่อุณหภูมิบริโคคที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของฟิล์มซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสถานะของฟิล์มที่อาจทำให้เกิดการเหนอะหนะติดมือได้ สำหรับการติดมือของเนื้อส้มโอที่รีทเมนต์ต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.7 ในขั้นตอนการทดสอบฟิล์มพบว่า การติดมือของฟิล์มในวันแรก (วันที่ 0) เนื้อส้มโอไม่เคลือบมีคะแนนอยู่ที่ 2.58 คะแนน (ไม่ติดมือ) และ สูตรเคลือบมีการติดมือเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากนั้นอยู่ในช่วงไม่ติดมือตลอดช่วงเวลาทดสอบ 21 วัน สำหรับการเปรียบเทียบในวันเดียวกันพบว่า การติดมือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในวันเก็บรักษาเดียวกัน ($P \leq 0.05$) จึงเป็นการยืนยันได้ว่าการเคลือบฟิล์มไม่มีผลต่อการติดมือเมื่อผู้บริโภคหยิบจับเนื้อส้มโอแต่อย่างใด

4.2.10.4 ความแฉะของเนื้อส้มโอ

ความแฉะของเนื้อส้มโอจากการชิม เกิดขึ้นจากการเก็บรักษาเนื้อส้มโอไว้เป็นเวลานานขึ้น ทำให้เนื้อส้มโอมีการเสื่อมสภาพมากขึ้น (รมณีย์ เจริญทรัพย์, 2530) เมื่อเก็บรักษาส้มโอเป็นเวลานานขึ้น เซลล์ส้มโอมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบมากขึ้น เนื่องจากเพคติน hemicellulose พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงลดลง ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีการสลายตัวของ hemicellulose ทำให้ผนังเซลล์ แตกและเกิดความแฉะขึ้น ขณะที่พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase (PG) และ pectin methylesterase (PME) ย่อยสลาย polygalacturonic acid มีค่ามากขึ้น (อรุณี สวัสดิ์พูน, 2537) สำหรับความแฉะของเนื้อส้มโออยู่ในช่วงคะแนนไม่แฉะถึงแฉะเล็กน้อยในวันแรก เมื่อเวลาผ่านไปคะแนนความแฉะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) ตลอดช่วงเวลาทดสอบ 21 วัน อาจเป็นไปได้ที่เกิดจากการเก็บรักษาเนื้อส้มโอที่อุณหภูมิต่ำ และส้มโอจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงเกิดการเสื่อมสภาพช้าลง อย่างไรก็ตามพบว่าแนวโน้มของคะแนนที่ผู้ประเมินให้มีความแฉะของเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบสูงกว่าที่เคลือบ จึงแสดงให้เห็นว่าการเคลือบฟิล์มสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของเนื้อส้มโอได้

ตารางที่ 4.7 คะแนนความเหนียวติดมือของเนื้อส้มโอจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

วันที่ ทรีท เมนต์	ความเหนียวติดมือของเนื้อส้มโอ								
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	2.58 ±1.98a	1.50 ±0.80a	1.50 ±0.80a	1.58 ±1.16a	1.75 ±1.76a	1.50 ±1.24a	1.58 ±0.90a	1.08 ±0.29a	
E1	3.83 ±2.21a	1.50 ±0.80a	1.67 ±0.89a	1.50 ±1.00a	1.67 ±1.78a	1.33 ±0.78a	2.08 ±2.07a	1.25 ±0.62a	
F1	3.67 ±2.77a	1.50 ±0.80a	1.50 ±0.80a	1.58 ±1.00a	1.33 ±0.78a	1.75 ±1.42a	1.75 ±1.42a	1.08 ±0.29a	
F2	3.17 ±2.37a	1.92 ±1.51a	1.92 ±1.38a	1.58 ±1.00a	1.58 ±1.24a	2.00 ±1.41a	1.75 ±1.14a	1.08 ±0.29a	
cv.	70.93	63.68	60.47	66.67	91.57	75.89	80.85	35.45	

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ เนื้อส้มโอไม่ติดมือ

คะแนน 3-5 คือ เนื้อส้มโอติดมือเล็กน้อย

คะแนน 5-7 คือ เนื้อส้มโอติดมือ

คะแนน 7-9 คือ เนื้อส้มโอติดมือมาก

ตารางที่ 4.8 คะแนนความแฉะจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้ฟันเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

วันที่ ทรีท เมนต์	ความแฉะของเนื้อสัมผัส							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	3.25 ±2.05a	2.75 ±2.53a	3.08 ±2.11a	4.08 ±2.35a	4.08 ±2.39a	4.17 ±2.33a	3.08 ±1.83a	4.92 ±2.35a
E1	3.25 ±2.53a	3.00 ±2.59a	3.75 ±2.34a	3.92 ±1.62a	3.50 ±1.68a	3.58 ±1.78a	3.17 ±1.99a	4.50 ±2.32a
F1	3.75 ±2.67a	3.25 ±2.80a	3.42 ±1.98a	3.92 ±2.02a	3.42 ±1.93a	4.50 ±2.68a	3.00 ±2.09a	4.50 ±2.11a
F2	2.83 ±1.75a	2.33 ±2.46a	4.00 ±2.66a	4.67 ±2.19a	3.92 ±2.27a	3.92 ±2.07a	4.50 ±2.24a	3.92 ±2.11a
cv.	69.66	91.72	64.19	4.78	55.98	55.39	59.42	49.91

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ เนื้อสัมผัสไม่แฉะ

คะแนน 3-5 คือ เนื้อสัมผัสแฉะเล็กน้อย

คะแนน 5-7 คือ เนื้อสัมผัสแฉะ

คะแนน 7-9 คือ เนื้อสัมผัสแฉะมาก

4.2.10.5 ความแน่นเนื้อส้มโอจากการสัมผัส

ส้มโอจัดเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำมากจึงส่งผลให้ความแน่นเนื้อมีปริมาณน้อยแต่อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วผลไม้จะมีการอ่อนนิ่มของเนื้อที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น เนื่องจากการสูญเสียน้ำ และการทำงานของเอนไซม์ protopectinase จึงทำให้เนื้อมีความแน่นเนื้อลดลง (ทง ภัคศรีพันธุ์, 2526) คะแนนการประเมินความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโอจากการสัมผัสในแต่ละวันแสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความแน่นเนื้อส้มโอจากการสัมผัสที่ผู้ประเมินรู้สึกในวันแรก (วันที่ 0) มีค่าอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนในช่วงเนื้อส้มโออ่อนนิ่มเล็กน้อย หลังจากนั้นเกิดการอ่อนนิ่มขึ้นทีละน้อย และในวันสุดท้าย (วันที่ 21) พบว่าคะแนนความแน่นเนื้อส้มโอจากการสัมผัสค่าอยู่ในช่วง 3 ถึง 5 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนในช่วงเนื้อส้มโออ่อนนิ่มปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกันพบว่าความแน่นเนื้อจากการสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในวันเก็บรักษาเดียวกัน ($P \leq 0.05$) ตลอดช่วงเวลาทดสอบ 21 แต่อย่างไรก็ตามพบว่าแนวโน้มคะแนนความแน่นเนื้อจากการสัมผัสของเนื้อส้มโอที่เคลือบมีแนวโน้มที่สูงกว่า เนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความแน่นเนื้อ และความแข็งที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว

ตารางที่ 4.9 คะแนนความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโจากจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

ทรีทเมนต์	ความแน่นเนื้อส้มโจากจากการสัมผัส								
	วันที่ 0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	5.50 ±1.57a	4.50 ±1.38a	4.92 ±1.56a	4.17 ±1.11a	4.50 ±1.17a	4.25 ±2.05a	4.92 ±1.31a	3.67 ±1.61a	
E1	5.58 ±1.62a	4.17 ±2.12a	4.92 ±1.68a	5.17 ±1.53a	4.92 ±1.24a	4.25 ±1.76a	5.17 ±1.47a	4.58 ±1.44a	
F1	5.67 ±1.50a	4.58 ±1.88a	5.08 ±1.51a	4.50 ±1.45a	4.33 ±1.56a	3.67 ±1.50a	4.92 ±1.78a	4.25 ±1.60a	
F2	6.17 ±1.27a	5.00 ±1.48a	4.17 ±1.47a	3.92 ±1.68a	4.42 ±1.62a	4.33 ±1.37a	3.92 ±1.16a	5.08 ±1.78a	
cv.	26.08	38.19	32.60	32.81	31.05	41.00	30.65	36.74	

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ เนื้อส้มโอ่อนนุ่มมาก

คะแนน 3-5 คือ เนื้อส้มโอ่อนนุ่มปานกลาง

คะแนน 5-7 คือ เนื้อส้มโอ่อนนุ่มเล็กน้อย

คะแนน 7-9 คือ เนื้อส้มโอ่อนนุ่มน้อยมาก

4.2.10.6 กลิ่นกรด

สารละลายฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ที่ใช้เคลือบเนื้อส้มโอทั้งสามสูตรมีปริมาณกรดซิตริกอยู่ที่ 3.5 %w/v ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดในเนื้อส้มโอที่มีปริมาณไม่เกิน 1 %w/v (หัวข้อ 4.2.7) การตรวจสอบกลิ่นกรดจึงมีความจำเป็นที่ต้องทดสอบเพื่อตรวจสอบผลกระทบที่อาจเกิดการส่งกลิ่นกรดจากปริมาณความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เคลือบอยู่บนผิว ผลการประเมินกลิ่นกรดแสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่ากลิ่นกรดที่ผู้บริโภาคให้คะแนนมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 3 คะแนนเกือบทั้งหมด ซึ่งแสดงถึงการไม่มีกลิ่นกรดปรากฏอยู่จนผู้บริโภาคสังเกตได้ และเมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกันพบว่ากลิ่นกรดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) อีกทั้งในวันที่ 0, 6 และ 21 ของการเก็บรักษา ผู้ประเมินให้คะแนนกลิ่นกรดของทรีทเมนต์ที่ไม่เคลือบสูงกว่าที่เคลือบ แสดงว่าฟิล์มที่พ่นเคลือบไม่มีผลต่อกลิ่นกรด จึงถือได้ว่าฟิล์มที่ใช้ทั้งสามมีคุณสมบัติที่ไม่ส่งกลิ่นกรดออกมา

4.2.10.7 กลิ่นผิดปกติ

กลิ่นผิดปกติเป็นการประเมินความชอบของผู้ประเมินในด้านกลิ่น ซึ่งอาจบ่งบอกจุดยุติของการทดสอบได้ถ้ากลิ่นมีความผิดปกติมาก โดยส่วนใหญ่กลิ่นผิดปกติจะเกิดจากการที่ผลไม้เริ่มเสีย หรือเกิดกระบวนการหมักซึ่งจะผลิตแอลกอฮอล์ที่มีกลิ่นขึ้นในเนื้อผลไม้ ผลการประเมินกลิ่นผิดปกติแสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่ากลิ่นผิดปกติที่ผู้บริโภาคให้คะแนนมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 3 คะแนนเกือบทั้งหมด ซึ่งแสดงถึงผู้บริโภาคไม่รู้สึกรังเกียจกลิ่นผิดปกติ และเมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกันพบว่ากลิ่นผิดปกติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) อีกทั้งในวันที่ 9, 18 และ 21 ของการเก็บรักษา ผู้ประเมินให้คะแนนกลิ่นผิดปกติของทรีทเมนต์ที่ไม่เคลือบสูงกว่าที่เคลือบ แสดงว่าฟิล์มที่พ่นเคลือบไม่มีผลต่อกลิ่นผิดปกติของเนื้อส้มโอ

ตารางที่ 4.10 คะแนนกลิ่นกรดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

วันที่ ทรีท เมนต์	กลิ่นกรด							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	1.92 ±1.16a	1.00 ±0.00a	1.42 ±0.67a	1.50 ±1.73a	1.00 ±0.00a	1.00 ±0.00a	1.08 ±0.29a	1.33 ±0.65a
E1	1.42 ±0.67a	1.17 ±0.39a	1.25 ±0.45a	1.50 ±1.73a	1.17 ±0.39a	1.25 ±0.62a	1.17 ±0.39a	1.08 ±0.29a
F1	1.83 ±1.19a	1.00 ±0.00a	1.33 ±0.65a	2.00 ±2.22a	1.08 ±0.29a	1.50 ±1.73a	1.17 ±0.58a	1.25 ±0.62a
F2	2.08 ±1.56a	1.17 ±0.58a	1.25 ±0.62a	1.58 ±2.02a	1.08 ±0.29a	1.50 ±1.73a	1.17 ±0.39a	1.08 ±0.29a
cv.	65.71	2.14	46.06	117.63	26.03	96.27	37.02	41.62

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ ไม่มีกลิ่นกรด

คะแนน 3-5 คือ มีกลิ่นกรดเล็กน้อย

คะแนน 5-7 คือ มีกลิ่นกรด

คะแนน 7-9 คือ มีกลิ่นกรดมาก

ตารางที่ 4.11 คะแนนกลิ่นผิดปกติจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

วันที่ ทรีท เมนต์	กลิ่นผิดปกติ							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	1.00 ±0.00a	1.17 ±0.39a	1.25 ±0.45a	1.92 ±1.56a	1.00 ±0.00a	1.08 ±0.29a	1.58 ±1.73a	1.42 ±0.51a
E1	1.25 ±0.62a	1.50 ±1.45ab	1.67 ±0.89a	1.67 ±1.61a	1.17 ±0.39a	1.08 ±0.29a	1.08 ±0.29a	1.08 ±0.29a
F1	1.67 ±1.50a	2.58 ±2.57b	1.67 ±1.07a	2.17 ±2.29a	1.08 ±0.29a	2.00 ±1.71a	1.00 ±0.00a	1.50 ±0.67a
F2	1.58 ±1.00a	1.33 ±0.65ab	1.75 ±0.97a	2.33 ±2.5a	1.17 ±0.39a	1.67 ±1.44a	1.50 ±1.45a	1.33 ±0.65a
cv.	69.20	92.62	55.38	100.62	28.15	77.70	87.99	41.54

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ ไม่มีกลิ่นผิดปกติ

คะแนน 3-5 คือ มีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย

คะแนน 5-7 คือ มีกลิ่นผิดปกติ

คะแนน 7-9 คือ มีกลิ่นผิดปกติมาก

4.2.10.8 ความเปรี้ยว

ส้มโอจัดเป็นผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวอยู่ จากการตรวจสอบขั้นต้นพบว่าน้ำคั้นส้มโอมีปริมาณกรดอยู่ที่ 0.6 ถึง 0.75 %w/v และพบว่ามีความหนืดของปริมาณลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ดังนั้นความเปรี้ยวจึงควรมีค่าลดลงด้วย ผลการประเมินความเปรี้ยวแสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าค่าความเปรี้ยวที่ผู้ประเมินรับรสในวันแรก (วันที่ 0) มีค่าที่คะแนนในช่วง 5 ถึง 7 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนในช่วงเปรี้ยว และเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าคะแนนลดลง มาอยู่ที่ 3 ถึง 5 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนในช่วงเปรี้ยวเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของกรดที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกันพบว่าความเปรี้ยวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) ตลอดช่วงเวลาทดสอบ 21 วัน

4.2.10.9 ความหวาน

ความหวานจัดเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภคผลไม้อย่างหนึ่ง โดยปกติแล้วผลไม้เมื่อสุกจะมีความหวานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาลของผลไม้ แต่สำหรับส้มโอซึ่งเป็นผลไม้ตระกูลส้มซึ่งไม่มีการสะสมแป้งระหว่างการเจริญเติบโตนั้น ภายหลังจากเก็บเกี่ยวอาจมีน้ำตาลสูงขึ้นได้เล็กน้อย ทั้งนี้เพราะการสูญเสียน้ำออกจากผลทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ผลการประเมินความหวานแสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าค่าความหวานที่ผู้ประเมินรับรสครั้งที่ โดยพบว่าวันที่ 0 ของการเก็บความหวานมีค่าอยู่ในช่วง 4 ถึง 6 คะแนน และที่วันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่ามีความหวานมีค่าอยู่ในช่วง 4 ถึง 6 คะแนนเช่นกัน ซึ่งเป็นคะแนนระหว่างหวานเล็กน้อยถึงหวาน เมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกันพบว่าความหวานไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) ซึ่งเกิดจากส้มโอจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงมีการเปลี่ยนแปลงในรสชาติหวานเพียงเล็กน้อยถึงไม่เปลี่ยนแปลงเลย ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ที่มีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.12 คะแนนความเปรี้ยวจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้ฟันเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

วันที่ ทรีท เมนต์	ความเปรี้ยว							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	5.00 ±1.81a	4.58 ±2.02a	4.00 ±2.00a	4.25 ±1.86a	5.17 ±1.64a	5.00 ±2.17a	5.25 ±1.60a	4.50 ±1.73ab
E1	5.17 ±1.90a	5.08 ±2.23a	4.08 ±1.24a	4.42 ±2.07a	4.67 ±1.97a	4.25 ±1.71a	4.92 ±1.93ab	4.75 ±1.66ab
F1	5.25 ±1.86a	4.50 ±2.32a	3.92 ±1.51a	4.25 ±2.34a	4.67 ±1.87a	4.50 ±2.24a	4.25 ±2.01ab	3.83 ±1.40a
F2	5.83 ±1.70a	4.67 ±1.92a	4.33 ±1.61a	4.42 ±2.35a	4.67 ±2.15a	4.17 ±1.64a	3.33 ±2.06b	5.75 ±1.82b
cv.	34.24	45.22	39.51	49.97	40.00	43.74	42.98	35.24

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ: คะแนน 1-3 คือ ไม่เปรี้ยว

คะแนน 3-5 คือ เปรี้ยวเล็กน้อย

คะแนน 5-7 คือ เปรี้ยว

คะแนน 7-9 คือ เปรี้ยวมาก

ตารางที่ 4.13 คะแนนความหวานจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้ฟันเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

วันที่ ทรีท เมนต์	ความหวาน							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	5.75 ±1.91a	5.25 ±1.91a	5.08 ±1.68a	4.83 ±1.64a	4.67 ±1.30a	5.58 ±1.62a	5.17 ±1.34a	5.08 ±2.11a
E1	5.83 ±2.43a	5.08 ±2.43a	5.00 ±1.76a	4.67 ±1.56a	5.50 ±1.09a	5.42 ±1.83a	5.83 ±1.59a	5.33 ±1.92a
F1	5.25 ±2.57a	4.42 ±2.57a	5.42 ±1.31a	5.67 ±1.56a	5.42 ±1.68a	5.00 ±1.76a	5.00 ±1.91a	5.50 ±2.07a
F2	4.92 ±2.19a	4.92 ±2.19a	5.00 ±1.28a	4.92 ±2.11a	4.42 ±2.15a	5.58 ±1.38a	5.33 ±1.67a	4.67 ±2.19a
cv.	29.74	46.60	29.68	34.49	32.12	30.70	30.70	40.32

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ ไม่หวาน

คะแนน 3-5 คือ หวานเล็กน้อย

คะแนน 5-7 คือ หวาน

คะแนน 7-9 คือ หวานมาก

4.2.10.10 รสชาติผิดปกติ

รสชาติจัดเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในรสสัมผัสทั้งหมด การที่รสชาติมีความผิดปกติมากจะทำให้ผู้บริโภคเกิดความรู้สึกไม่ชอบขึ้น รสชาติผิดปกติอาจเกิดได้จากการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อสัมผัสหรือการเกิดกระบวนการหมักซึ่งส่งผลให้รสชาติผิดแปลกไป ผลการประเมินรสชาติผิดปกติสามารถแสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่ารสชาติผิดปกติที่ผู้บริโภคให้คะแนนมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 3 คะแนนทั้งหมด ซึ่งแสดงถึงการไม่มีรสชาติผิดปกติปรากฏอยู่ และเมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกันพบว่ารสชาติผิดปกติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในวันเก็บรักษาเดียวกัน ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 21 วัน แสดงถึงการเก็บรักษาเนื้อสัมผัสไว้ที่ 5 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพที่ทำให้รสชาติไม่เปลี่ยนแปลงเป็นเวลาอย่างน้อย 21 วัน

4.2.10.11 ความชอบ

คะแนนความชอบจัดเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการตรวจสอบรสสัมผัส เนื่องจากคะแนนความชอบจากผู้ประเมินเป็นตัวสะท้อนความชอบของผู้บริโภคได้ดีที่สุด และจัดเป็นสิ่งสำคัญบ่งบอกความสำเร็จของงานเนื่องจากถ้าเนื้อสัมผัสที่เก็บได้นานแต่ผู้บริโภคไม่ชอบจะทำให้การนำไปใช้จริงทำไม่ได้ สำหรับผลการประเมินรสชาติผิดปกติสามารถแสดงดังตารางที่ 4.15 พบว่าค่าคะแนนความชอบมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยพบว่าวันที่ 0 ของการเก็บความชอบของทรีทเมนต์ไม่เคลือบ E1 F1 และ F2 มีค่าเป็น 6.50, 6.42, 5.58 และ 5.33 คะแนนตามลำดับ และมีค่าเป็น 4.42, 5.08, 4.67 และ 5.08 คะแนน ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบในวันเดียวกันพบว่าความชอบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) จากข้อมูลจะเห็นว่าคะแนนความชอบของทุกทรีทเมนต์มีค่าลดลงแต่อย่างไรก็ตามพบว่าในสูตร F2 มีค่าคะแนนความชอบในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 21) มากที่สุด และมีคะแนนลดลงจากวันแรกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.14 คะแนนรสชาติผิดปกติจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พ่นเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

ทรีทเมนต์	วันที่	รสชาติผิดปกติ							
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	1.42 ±0.39a	1.17 ±0.39a	1.42 ±0.90a	2.00 ±1.71a	1.17 ±0.39a	1.58 ±1.73a	1.67 ±1.78a	1.75 ±1.14a	
E1	1.25 ±1.17a	1.50 ±1.17ab	1.67 ±1.07a	2.08 ±2.19a	1.25 ±0.62a	1.50 ±0.67a	1.33 ±0.65a	1.08 ±0.29a	
F1	1.83 ±2.62a	2.83 ±2.62b	2.25 ±1.86a	2.25 ±2.73a	1.08 ±0.29a	3.58 ±2.91b	1.25 ±0.45a	1.50 ±0.80a	
F2	2.00 ±1.92a	2.33 ±1.92ab	1.75 ±0.97a	3.00 ±3.05a	1.08 ±0.29a	3.17 ±2.62ab	1.92 ±1.08a	1.42 ±0.67a	
cv.	85.45	88.78	71.27	106.00	36.63	88.12	72.19	54.58	

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ รสชาติปกติ

คะแนน 3-5 คือ รสชาติผิดปกติเล็กน้อย

คะแนน 5-9 คือ รสชาติผิดปกติ

ตารางที่ 4.15 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประเมินเมื่อไม่ได้พันเคลือบฟิล์ม และเคลือบด้วยสูตร E1, F1 และ F2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นระยะเวลา 21 วัน

วันที่ ทรีท เมนต์	ความชอบ							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	6.50 ±1.08a	5.92 ±1.08a	5.42 ±1.31a	5.08 ±1.44a	5.42 ±1.16a	5.17 ±1.47a	4.83 ±1.80a	4.42 ±1.93a
E1	6.42 ±1.15a	5.67 ±1.15a	4.83 ±2.08a	4.83 ±1.75a	5.75 ±0.62a	5.17 ±1.64a	6.17 ±1.64a	5.08 ±1.62a
F1	5.58 ±2.39a	4.92 ±2.39a	4.83 ±2.41a	5.58 ±1.62a	6.08 ±1.00a	4.00 ±2.09a	5.58 ±1.88a	4.67 ±2.15a
F2	5.33 ±1.75a	5.17 ±1.75a	4.5 ±1.93a	4.25 ±1.76a	5.67 ±1.56a	4.67 ±1.97a	5.42 ±1.78a	5.08 ±1.44a
cv.	26.23	31.01	40.29	33.41	19.82	38.08	32.34	37.51

cv. คือ coeff. variation

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

หมายเหตุ : คะแนน 1-3 คือ ไม่ชอบ

คะแนน 3-5 คือ ความชอบเฉยๆ

คะแนน 5-7 คือ ชอบ

คะแนน 7-9 คือ ชอบมาก

จากข้อมูลในหัวข้อที่ 4.2 สามารถสรุปว่าสูตรฟิล์มเคลือบที่เหมาะสมที่จะใช้สูตรฟิล์มเคลือบบริเวณใต้ที่ใช้กับเนื้อส้มโอสดพันธุ์ขาวน้ำผึ้งคือ สูตร F2 ที่ประกอบด้วย โคลโตซาน 1.5 %w/v เจลาติน 2 %w/v ซอร์บิทอล 0.4 %w/v และ กรดซิตริก 3.5 %w/v ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่เคลือบในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาองได้ร้อยละ 8.24 มีลักษณะสีจากเครื่องวัดสีที่ไม่แตกต่างจากเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบฟิล์ม ความแน่นเนื้อมีค่ามากกว่าความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบได้ถึง 0.83 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร สามารถรักษาปริมาณวิตามินซีในเนื้อส้มโอได้มากที่สุด ในส่วนของรสสัมผัส พบว่าไม่มีการติดมือ กลิ่นกรด กลิ่นผิดปกติ รสชาติผิดปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความแน่นเนื้อในส่วนรสสัมผัสสูงที่สุด เช่นเดียวกับค่าความชอบของผู้ประเมินที่ได้คะแนนสูงสุดเท่ากับสูตร E1 อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบด้วยตาซึ่งจะเห็นดังหัวข้อที่ 4.2.1 พบว่าสูตร E1 มีเชื้อ *Penicillium* sp. เกิดขึ้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เคลือบ จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าสูตรสารละลายฟิล์มเคลือบที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเคลือบเนื้อส้มโอสดพันธุ์ขาวน้ำผึ้งคือ สูตร F2 นั้นเอง ดังตารางสรุปข้อมูลที่

4.16

ตารางที่ 4.16 สรุปข้อมูลจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 (ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา)

ทรีทเมนต์	T _g (°C)	ความทน แรงดึง (MPa)	ร้อยละ การยืด ตัว (%)	ความสามารถ ใน การแพร่ผ่าน ของ ไอน้ำ x10 ⁻¹⁰ (g-m/m ² -s-Pa)	ความสามารถ ในการแพร่ผ่าน ของออกซิเจน (cm ³ -m/d-m ² - kPa)	การสูญเสีย น้ำหนักที่วัน สุดท้ายของ การเก็บรักษา (%) ^{1/}	สีเนื้อ (L,a,b) ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ปริมาณของแข็ง ละลายน้ำได้ (%)	ปริมาณ วิตามินซี (mg/ml) ปริมาณ กรด (%w/v)	อัตราการ หายใจ (mgCO ₂ /k g-hr) ^{1/}	การผลิต เอทิลีน (µl/kg- hr) ^{1/}	ความ ชอบ (คะแนน) ^{1/}
ไม่เคลือบ	-	-	-	-	-	1.67a	ns	ns	32.61a	1.10a	4.42a
E1	21.35	6.082	64.96	3.39	9.78	1.48a	ns	ns	34.63a	1.22a	5.08a
F1	24.85	9.836	11.93	3.42	9.85	1.44a	ns	ns	30.99a	1.19a	4.67a
F2	22.86	10.45	48.40	3.56	9.89	1.53a	ns	ns	31.23a	1.23a	5.08a

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

ns เนื้อสัมผัสที่เก็บรักษาในทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

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

4.3 วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้

จากผลการทดลองในส่วนที่ 1 (ส่วนฟิล์ม) และส่วนที่ 2 (ส่วนเคลือบลงบนเนื้อส้มโอจริง) สามารถคัดเลือกฟิล์มที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับเคลือบเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งคือสูตร F2 โดยใช้สารละลายฟิล์มเคลือบบริโภาคได้เฉลี่ย 21.24 มิลลิลิตรต่อเนื้อส้มโอ 1 กิโลกรัม เมื่อคำนวณต้นทุนวัตถุดิบพบว่าใช้เงิน 0.87 บาทต่อเนื้อส้มโอ 1 กิโลกรัม ซึ่งสามารถคำนวณต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 วิเคราะห์ต้นทุนของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้สูตร F2 สำหรับเคลือบเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

วัสดุ	บริษัทผู้ผลิต	ราคาต่อ กิโลกรัม (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กรัมต่อกิโลกรัม เนื้อส้มโอ)	คิดเป็นมูลค่า (บาท/กิโลกรัม เนื้อส้มโอ)
เจลาติน	SR lab	2,000	0.425	0.851
ไคโตซาน	ซีเฟรชไคโตซาน	2,000	0.319	0.637
ซอร์บิทอล	ฮงฮวด จำกัด	43.75	0.085	0.004
กรดซิตริก	ฮงฮวด จำกัด	65	0.743	0.048
น้ำกลั่น	น้ำดื่ม เจเอสพีจำกัด	20 L = 15 บาท	21.240	0.016
			รวม	1.556

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยสามารถพัฒนาฟิล์มเคลือบบริเวณใต้สำหรับเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง และศึกษาเปรียบเทียบผลของฟิล์มเคลือบที่ส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อส้มโอ ฟิล์มเคลือบบริเวณใต้ผลิตขึ้นจากไบโอพอลิเมอร์ฟิล์มในประเทศได้แก่ เจลาติน และโคโตซาน สารละลายเตรียมจากอัตราส่วนพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันอัตราส่วนของเจลาตินที่ 0 - 2 %w/v และโคโตซาน 0 - 1.5 %w/v ในสารละลายกรดซิตริก 3.5 %w/v และเติมซอร์บิทอล ซึ่งเป็นพลาสติกไฮเซอรินในอัตราส่วน 0.2 - 0.6 %w/v พบว่าฟิล์มที่ไม่มีโคโตซานผสมอยู่มีเชื้อ *Aspergillus niger* เกิดขึ้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของฟิล์ม (T_g) พบว่าเมื่อเติมปริมาณ ซอร์บิทอลมากขึ้นค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วจะมีค่าลดลง สำหรับสูตรสารเคลือบที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานจริง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิบริเวณพบว่าสูตรฟิล์มที่เหมาะสมคือ A ทั้งหมด, B ทั้งหมด, E1, F1 และ F2 เมื่อทดสอบเคลือบจริงพบว่าสูตร A และ B ทั้งหมดมีการหลุดร่อนในการเคลือบจริง ด้วยเหตุนี้จึงคัดเลือกสูตร E1, F1 และ F2 ในการเคลือบเนื้อส้มโอ พบว่าการเคลือบฟิล์มมีผลต่อน้ำหนักเนื้อส้มโอที่ลดลงโดยพบความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 6 และ 9 ของการเก็บรักษา อีกทั้งฟิล์มสามารถลดการแพร่ผ่านของไอน้ำได้ดี ทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบอยู่ร้อยละ 8.24 ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา และในด้านการเจริญเติบโตของเชื้อพบว่าเนื้อส้มโอที่ไม่เคลือบ และเคลือบสูตร E1 มีเชื้อ *Penicillium* sp. ขึ้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างในลักษณะคุณภาพอื่นๆ สุดท้ายพิจารณาที่ความชอบของผู้บริโภคพบว่าสูตร F2 ผู้บริโภคมีความชอบมากกว่าสูตร F1 ด้วยคะแนน 5.08 ต่อ 4.67 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าสูตรสารละลายฟิล์มเคลือบบริเวณใต้ที่เหมาะสมในการนำมาเคลือบลงบนเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งคือ สูตร F2 ที่ประกอบด้วยประกอบด้วยเจลาติน 2 %w/v โคโตซาน 1.5 %w/v ซอร์บิทอล 0.4 %w/v และกรดซิตริก 3.5 %w/v สามารถเก็บรักษาเนื้อส้มโอได้นานอย่างน้อย 3 สัปดาห์ ซึ่งช่วยให้ผู้ผลิตสามารถมีความมั่นใจมากขึ้นในการส่งออกเนื้อส้มโอสดพร้อมบริโภคสามารถป้องกันเชื้อ *Penicillium* sp. ขึ้นเนื้อส้มโอได้นาน 3 สัปดาห์ และผู้บริโภคยังมีความชอบอยู่ในคะแนนที่ดีอยู่ โดยในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายเคลือบ 21.24 มิลลิลิตร ต่อเนื้อส้มโอ 1 กิโลกรัม เมื่อประเมินค่าวัตถุดิบที่ใช้พบว่ามีค่าใช้จ่าย เท่ากับ 1.556 บาทต่อเนื้อส้มโอที่ใช้ 1 กิโลกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

เพื่อให้การใช้สูตรสารเคลือบบริเวณได้มีประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อส้มโอหรือผลไม้ชนิดอื่นในทางการค้า อาจใช้ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มโดยศึกษาเพิ่มเติมในแง่ต่างๆ ดังนี้

1. ศึกษาผลของวิธีเคลือบว่ามีผลต่อความหนา และคุณภาพของเนื้อส้มโออย่างไรเนื่องจากมีผลต่อการปรับปรุงบรรยากาศ และอัตราผ่านเข้าออกของก๊าซและไอน้ำโดยตรง
2. ทดสอบฟิล์มเคลือบที่ผลิตได้ในการคงคุณภาพเนื้อส้มโอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะช่วยให้รู้ได้ว่าฟิล์มที่ใช้เหมาะกับการใช้กับอุตสาหกรรมในครัวเรือนเพียงใด
3. ทดสอบฟิล์มเคลือบบริเวณได้กับผลไม้ชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะผลไม้ประเภท non-climacteric ที่ต้องมีการปกปิดเปลือก ตัด หรือหั่น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มในผลไม้ประเภทนี้ให้มากขึ้น เนื่องจากมีการทดสอบใช้ฟิล์มเคลือบบริเวณได้กับผลไม้ประเภทนี้อยู่น้อย
4. ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดเชื้อในสารเคลือบเอง เพื่อประโยชน์ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์เก็บสารผสมเสร็จพร้อมใช้ต่อไป
5. การละลายโคโคซานซึ่งจัดเป็นสารที่มีการละลายยากจึงควรหาวิธีการละลายที่มีคุณภาพมากขึ้นโดยไม่ทำให้คุณสมบัติของโคโคซานเปลี่ยนแปลงไป และลดเวลาในการละลายลง
6. ควรศึกษาผลของสารเคลือบที่ความเข้มข้นต่ำลงเพื่อให้ละลายง่ายขึ้นแต่เปลี่ยนวิธีการเคลือบจากการพ่นเคลือบเป็นการชุบแทน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและยังทำให้เคลือบได้ทั่ว ประกอบกับอาจทำให้สารเคลือบเกาะมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อสารเคลือบแห้งอาจให้ความหนามีค่าใกล้เคียงค่าเดิมแต่มีความทั่วถึงของการเคลือบมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดการเกิดช่องว่างเนื่องจากฟองก๊าซได้อีกด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กฤษฎา เรือนใจแก่น, ปิยะบุตร ชุันททรัพย์, ธวัชชัย ชรินพานิชกุล , และ อาทร วิจิตรอมรเลิศ, การปรับปรุงคุณสมบัติการให้แสงผ่านของฟิล์มพอลิเอทิลีนโดยใช้อนุภาคซิลิกา, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548
- กัลยา วาณิชปัญชา, การวิเคราะห์สถิติ:สถิติเพื่อการตัดสินใจ, คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
- ข้อมูลพรรณไม้. โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. [Online]. http://www.rspg.thaigov.net/plants_data/use/fruit_16.htm
- จริงแท้ ศิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้, พิมพ์ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2549
- จันทนา อึ้งชูศักดิ์. มารู้จักน้ำตาลแอลกอฮอล์. [Online]. <http://www.anamai.mbph.go.th/oralhealth/kanom/bank07.php>, 2548
- ดวงตรา กสานติกุล. การศึกษาการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วง (Mangifera indica L.) พันธุ์น้ำดอกไม้, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526.
- ดารณี ปานขลิบ. การปอกผลและการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- ดารณี ปานขลิบ. การหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลสะละ (Salacca spp.) ภายใต้สภาพที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาการให้เอทิลีนต่างกัน, ปัญหาพิเศษปริญญาโท ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 2544.
- ทอง ภักดิ์พันธุ์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของผักและผลไม้, เล่มที่ 1, กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526
- นัยทัศน์ ภูศรีรัมย์, การสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้, กรุงเทพฯ: ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์., 2519
- ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ. โคติน-โคโตซาน, กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ปทุมธานี, 2544

- พัฒน์ ทวีโภค,ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, สุพจิต สุขกันตะ. การผลิตฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารจากสารประกอบไคโตซาน-เจลาติน, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ,นครปฐม, 2548
- พิชัย สุทธิรัตนกร. การเก็บรักษาและสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลกระท่อนพันธุ์ปุยฝ้าย, ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์., 2544
- ยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ, ฟิล์มเคลือบบริโภคได้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2548
- รมณีญ์ เจริญทรัพย์, ความสัมพันธ์ของการสูญเสียน้ำกับคุณภาพของส้มโอหลังเก็บเกี่ยว, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530
- รัตนา จินดาพรรณ, สุรจักร์ ศิริหังทอง, Effect of Coating base on Mung Bean Protein on the Storage of Frozen pork , Department of Food Technology Faculty of Science, 2548
- วิชาการเกษตร, กรม. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตส้มโอ (Good agricultural Practice (GAP) for Pummelo). กรุงเทพมหานคร : กรมวิชาการเกษตร. http://www.doa.go.th/gap/gap_pummelo_1.html
- วิชาการเกษตร, กรม. พืชสวน, กรม. ส้มโอ. กรุงเทพมหานคร : กรมวิชาการเกษตร, 2548
- วิเชียร ภิรมย์สุภาพ, ส้มโอไม้ผลเศรษฐกิจ, กองเกษตรสัมพันธ์ สำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541
- ส่งเสริมการเกษตร, กรม. สถิติการปลูกไม้ผลไม้ยืนต้นปี 2544. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). ฝ่ายเทคโนโลยีอาหา , ปทุมธานี สุภาวดี ภัทรโกศล, เรื่องนำรู้เกี่ยวกับส้มโอ, กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ผล สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้า, [Online]. 2546 <http://www.doae.go.th/prompt/pummelo/index.html>
- สากล อุไรกู, อารมณ์ คงสวัสดิ์,ราตรี เม่นประเสริฐ, ประนาถ พิพิฑกุล, รัชณี วงศ์จันทร์กานต์, และ เพ็ญศรี สาวดี, โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาการผลิตและการตลาดทุเรียนเพื่อการส่งออก (Research Program for Development of Production and Marketing of Durian for Export), สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, [Online] 2546. <http://www.oae.go.th>

- สายชล สีนสมบูรณ์ทอง, การวางแผนการตลาดทางการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- ศุลกากร, กรม. รายงานรายพิกัดสินค้าพ.ศ. 2548. กรุงเทพมหานคร: กรมศุลกากร, 2547
- ศุลกากร, กรม. รายงานรายพิกัดสินค้าพ.ศ. 2549. กรุงเทพมหานคร: กรมศุลกากร, 2547
- ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. [Online]. <http://msds.pcd.go.th/index.asp>
- อรุณี สวัสดิ์พูน, การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในเนื้อส้มโอ ระหว่างการเก็บรักษา, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต เกษตรศาสตร์ สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2537

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.
- Ayranci, E., and Tunc, S., A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods, Journal of Food Chemistry. 80 (2003) :423-431.
- Bravin, B., Peressini, D., and Sensidoni, A. Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products, Department of Food Science, University of Udine, Via Marangoni, 97-33100 Udine, Italy, 2548.
- 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.
- Bertuzzi, M.A., Castro E.F., Armada, M., and Gottifredi, J.C. Water vapor permeability of edible starch based films, Instituto de Investigaciones para la Industria Quimica (CONICET), Facultad de Ingeniera, Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires 177 (A4402 FDC) Salta, Argentina., 2006.
- Chemistry in Context : Applying Chemistry To Society. A project of the American Chemical Society, 2nd ed., Number 6, Heidelberg : Springer Berlin, 1997

- Francis - Suh, J. K., and Matthew, H. W. T. A review: Application of chitosan – based polysaccharide biomaterials in cartilage tissue engineering. Journal of Biomaterial. 21 (2000): 2589-2598.
- Gennadios, A., McHugh, T. H., Weller, C. L. and Krochta, J. M. Edible coatings and films based on protein. In J. M. Krochta E. A. Baldwin and M. O. N. Carriedo (eds), Edible coatings and films to improve food quality, pp. 201-269. Pennsylvania: Technomic, 1994.
- Gennadios, A., Hanna, M. A., and Kurth, L. B. A review: Application of edible coatings on meats, poultry and seafood. Journal of Lebensm – Wiss. U. Technol.30 (1997): 337- 350.
- Gould, R.F. Advances in Chemistry Series: Plasticization and Plasticizer Processes, American Chemical Society Publication, 1965
- Go' mez-Gu'ille , M.C., Ihlb, M., Bifani, V. , Silvab, A. , and Montero, P. Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (Ugni molinae Turcz), Instituto del Frio (CSIC), C/Jose' Antonio Nova'is, 10, 28040 Madrid, Spain., 2006.
- Hartman, J., and Isenberg, F.,M. Waxing vegetables. New York Agric. Ext. Ser. Bull. No. 965., 1956
- Hulda Chambi, Carlos Grosso, Edible films produced with gelatin and casein cross-linked with transglutaminase, Department of Foods and Nutrition, Faculty of Food Engineering, State University of Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, CEP 13083-862, Brazil, 2005.
- Hull, R. Thermal analysis, Bolton Institute, Deane Road, Bolton, BL3 5AB, 2004
- Iverson, E., C., Ager, P., S., Method of coating food products and a coating composition., Patent of United States. US 6,586,029 B1, 2003.
- Jennifer Ann Ball, Evaluation of Two Lipid-Based Edible Coatings For Their Ability to Preserve Post Harvest Quality of Green Bell Peppers, Master of Science in Human Nutrition, Foods, and Exercise, 1997.
- 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.

- 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.
- Lazaridou, A., and Biliaderis, C. G., Thermophysical properties of chitosan, chitosan – starch and chitosan – pullulan films near the glass transition, Journal of Carbohydrate Polymers. 48 (2002) :179 – 190.
- Long, J. K., and Leggo, D. Waxing citrus fruit. CSIRO Food Preserve. Quart. 19(1959) : 32-37.
- Manisara Peesan, Pitt Supaphol, Ratana Rujiravanit. Preparation and characterization of hexanoyl chitosan/poly lactide blend films, Carbohydrate Polymers.60. (2005): 343–350.
- Mitchell, F.G., Guillou R. and Parsons, R.A. Commercial cooling of fruits and vegetables, Manual 43. California Agricultural Experiment Station. Davis, CA, 1972.
- Miller, T.A., and Limited, D., Method for preparing edible casings and compositions thereof, Patent of United States. US5,622,740, 1997.
- Na Cao, Yuhua Fu, Junhui He, Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films, Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Zhongguancun Beiyitiao 2, Haidianqu, Beijing 100080, PR China., 2006.
- 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.
- Richard H. THERMAL ANALYSIS. [Online] Bolton University : The Bolton Fire Materials Laboratory. http://www.doa.go.th/gap/gap_pummelo_1.html., 2004.
- Sirikhajornnam, P. and Danwanichakul, P. A Preliminary Study of Preparing Biodegradable Film from Starch, proceedings in The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, Bangkok, Thailand, October 10-12, 2006.
- 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.

Shah, V. Handbook of Plastic Testing Technology, 1st ed. New York: John Wiley & Sons Inc., ISBN: 0471078719, 1984.

Seydim, A.C., and Sarikus, G. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils, Department of Food Engineering, Faculty of Agriculture, Su leyman Demirel University, 32260 Isparta, Turkey, 2006.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและตัวอย่างการคำนวณ

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

แผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์เป็นแบบที่มีลักษณะง่ายที่สุด เหมาะสำหรับการใช้กับตัวอย่างที่ลักษณะเหมือนกัน มีความสม่ำเสมอมาก โดยที่เป็นการจัดทรีทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลองที่สามารถยืดหยุ่นจำนวนของสิ่งทดลอง และซ้ำได้ จำนวนซ้ำอาจไม่เท่ากันในแต่ละสิ่งทดลองก็ได้ แต่โดยทั่วไปนิยมให้เท่ากัน มีข้อดีคือ วิธีการคำนวณง่ายและสะดวก และจำนวนชั้นแห่งความอิสระสำหรับ experimental error มีมากกว่าการวางแผนแบบอื่น ทำให้งานทดลองขนาดเล็กมีความเที่ยงตรงสูง (สายชล สนิทสมบูรณ์ทอง, 2546)

ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ ANOVA (Analysis of Variance)

การวิเคราะห์นี้ใช้เมื่อต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลาย ๆ ค่าพร้อมกัน และสามารถแยกความแปรปรวนออกเป็น ส่วน ๆ ได้ หลักการที่ใช้คือต้องแยกความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดออกเป็น ความแปรปรวนระหว่างประชากร, ความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกัน โดยที่ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะเท่ากับ ความแปรปรวนระหว่างประชากรรวมกับความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกัน ถ้าความแปรปรวนระหว่างประชากรมีค่ามากเมื่อเทียบกับความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกัน แสดงว่าความแตกต่างระหว่างประชากรมากกว่าความแตกต่างภายในประชากรเดียวกัน แสดงว่าประชากรที่เรากำลังสนใจอยู่ ซึ่งมีอยู่หลายกลุ่มมีอย่างน้อย 1 กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างไปจากกลุ่มอื่น (กัลยา วาณิชบัญชา, 2540)

สำหรับงานวิจัยนี้ในการวิเคราะห์แบบนี้เป็นหลักในการแยกความแตกต่างของทรีทเมนต์ต่างๆ ทั้งสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม และประสิทธิภาพของฟิล์มเมื่อเคลือบลงบนเนื้อส้มโอ โดยมีตัวแปรอิสระอยู่ 1 ตัวคือ ในส่วนของการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มมี 18 ทรีทเมนต์ หรือจำนวนสูตรฟิล์มนั่นเอง และสำหรับส่วนการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มเมื่อเคลือบลงบนเนื้อส้มโอตัวแปรอิสระคือ สูตรสารเคลือบซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ทรีทเมนต์ คือ ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยสูตร E1,F1 และ F2 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบว่าทั้ง 4 ทรีทเมนต์มีความแตกต่างของค่าที่ทดสอบได้ หรือตัวแปรตามในวันเก็บรักษาเดียวกันหรือไม่

การจัดเรียงข้อมูลเพื่อให้เข้าใจสามารถแสดงได้ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 รูปแบบข้อมูลของการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน

ค่าสังเกต	Treatment, ประชากร, สิ่งที่น่าสนใจเปรียบเทียบ				
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	...	กลุ่มที่ k
1	X_{11}	X_{21}	X_{31}	...	X_{k1}
2	X_{12}	X_{22}	X_{32}	...	X_{k2}
:	:	:	:	:	:
n	X_{1n}	X_{2n}	X_{3n}	...	X_{kn}
ผลรวม	X_1	X_2	X_3	...	X_k
ค่าเฉลี่ย	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	...	\bar{X}_k

โดยที่ X_{kn} คือ ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ k ตัวที่ n

X_k คือ ผลรวมของข้อมูลกลุ่ม k

\bar{X}_k คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ k

ข้อสมมติในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ข้อมูลต้องได้มาอย่างไม่เจาะจง
2. ประชากรแต่ละกลุ่มต้องมีการแจกแจงแบบปกติ
3. ความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_k^2$)

สมมติฐานในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$ ประชากรแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_k$ มีประชากรอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มมีค่าเฉลี่ยต่างไปจากกลุ่มอื่น

โดยที่ μ_k คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ k

สูตรการทดสอบในการเปรียบเทียบความแตกต่าง

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

โดยที่ MS_B คือ Mean square between-group

MS_W คือ Mean square within-group

ในการเปรียบเทียบใช้สูตร $F_{(table)} - F$ โดยคำนวณค่า F ที่ได้จากสูตรเปรียบเทียบกับ F ที่เปิดได้จากตารางถ้าพบว่า F คำนวณมากกว่า F ตารางก็จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่างสถิติ

ตารางที่ ก.2 สูตรการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อ n ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน

ตัวแปร	องศาอิสระ	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F
	Df	SS	MS=SS/df	
ระหว่างกลุ่ม (Between Group)	k-1	$SS_B = \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N}$	$MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$	$F = \frac{MS_B}{MS_W}$
ภายในกลุ่ม (ความคลาดเคลื่อน : Error)	k(n-1)	$SS_W = SS_T - SS_B$	$MS_W = \frac{SS_W}{k(n-1)}$	
รวม(Total)	nk-1	$SS_T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$		

โดยที่ T_j = ผลรวมของค่า n ค่าในแต่ละทรีทเมนต์

X = ผลรวมของค่าแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆค่าในทุกกลุ่มตัวอย่าง

n_j = จำนวนซ้ำในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

k = จำนวนทรีทเมนต์

N = จำนวนค่าที่ได้รับทั้งหมด

T = ผลรวมของค่าที่ได้ทั้งหมด

T^2 = ผลรวมของค่าที่ได้ทั้งหมดยกกำลังสอง

องศาความเป็นอิสระ (degree of freedom) หรือ df คือ ค่าของตัวแปรสุ่มที่เหลืออยู่ที่สามารถนำมาสร้างค่าสถิติแล้วสามารถเปลี่ยนแปลง หรือ กำหนดค่าได้อย่างอิสระ องศาความเป็นอิสระจึงเท่ากับ $nk - 1$ หรือจำนวนตัวอย่างทั้งหมดลบด้วย 1

ขั้นตอนในการเปรียบเทียบ

1. ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_1 ดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$ ประชากรแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_k$ มีประชากรอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มมีค่าเฉลี่ยต่างไปจากกลุ่มอื่น โดยที่ μ_k คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ k

2. กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบ (α)

โดยทั่วไปนิยมตั้งที่ 0.05 (ความเชื่อมั่น 95%) และ 0.01 (ความเชื่อมั่น 99%)

3. กำหนดหาตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

โดยการหาค่า F ซึ่งการแสดงวิธีการคำนวณดังตารางที่ ก.2

4. หาขอบเขตของการยอมรับและปฏิเสธ H_0

ขอบเขตของการยอมรับ และปฏิเสธ H_0 ทำโดยเปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F เปิดตาราง โดยเปิดที่ F_{α, v_1, v_2} เมื่อ α คือระดับนัยสำคัญ, v_1 คือ df ของ Treatment = $k-1$, ส่วน v_2 คือ df ของ Error = $k(n-1)$

5. สรุปผล

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ ค่า F ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง นั่นคือ จะปฏิเสธ H_0 ก็ต่อเมื่อ F จากการคำนวณ $> F_{\alpha, v_1, v_2}$ ซึ่งในการสรุปสามารถทำได้ 2 ลักษณะดังนี้

ลักษณะที่ 1 ถ้า F คำนวณน้อยกว่า F ตารางจะยอมรับ H_0 ในกรณีที่เป็นการวิจัยเชิงทดลองก็จะสรุปได้ว่าตัวแปรอิสระแต่ละประเภทที่จัดกระทำให้กลุ่มตัวอย่างต่าง ๆ นั้นให้ผลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือกล่าวให้เข้าใจง่ายๆว่า ตัวแปรอิสระประเภทต่างๆ เหล่านั้นให้ผลคล้ายคลึงกัน

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

ก.3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (comparisons of treatment means)

ในการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เราได้วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ค่าสถิติทดสอบเอฟในการทดสอบ ถ้าค่าสถิติทดสอบเอฟไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าไม่มีค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์คู่ไหนเลยที่มีความแตกต่างกัน แต่ถ้าค่าสถิติทดสอบเอฟมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์อย่างน้อย 1 คู่ ที่มีความแตกต่างกัน การสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ยังไม่สามารถบอกได้ว่ามีทรีทเมนต์คู่ไหนบ้างที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน จึงต้องทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่อไป ในการทดลองใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสูตรต่างๆที่ได้ผลิตขึ้นมาในส่วนของ 1 และเนื้อสัมผัสที่ไม่ได้เคลือบ และเนื้อสัมผัสที่เคลือบด้วยสูตร 3 สูตร ซึ่งใช้เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นตอนแรกแล้วพบว่ามีความแตกต่าง โดยมีการเปรียบเทียบความทนแรงดึง การยึดตัว ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ ระหว่างสูตรการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และคุณภาพในการรับประทาน

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ (comparing pairs of treatment means)

เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นคู่ๆ โดยจะกระทำเมื่อค่าสถิติทดสอบเอฟในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ใช้การทดสอบแบบพหุเชิงพหุของดันแคน (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

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

$$LSR_\alpha = r_\alpha(p, f) \sqrt{\frac{MS_w}{r}} \quad ; \quad r_i = r_j$$

เมื่อ $r_\alpha(p, f)$ คือ	ค่าวิกฤติของพิสัยของ Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ α โดยที่ p คือจำนวนค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับผลต่างของอันดับ $+1$ และมีจำนวนองศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ f
MS_w คือ	ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน
r_i, r_j คือ	จำนวนซ้ำของทรีทเมนต์ i และ j ที่ต้องการเปรียบเทียบตามลำดับ

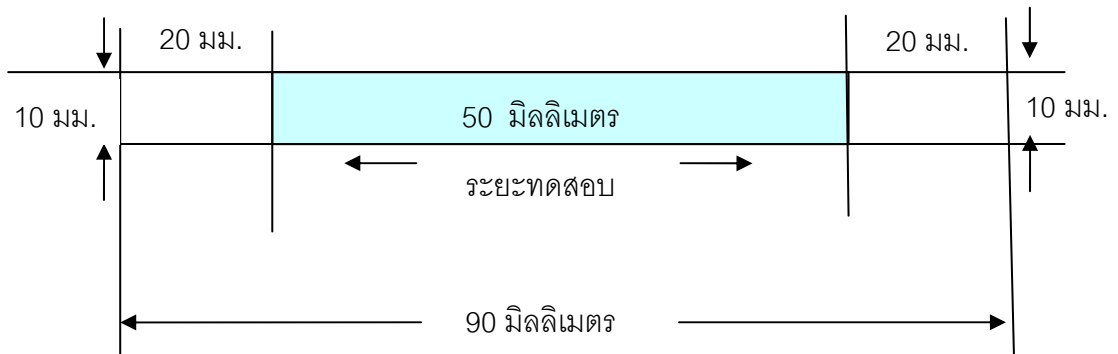
- เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยต่ำสุดกับค่า LSR ถ้าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยในช่วงนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- ถ้าผลต่างนั้นยังมีค่ามากกว่า LSR ให้ทำต่อไปเรื่อยๆ คือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยถัดขึ้นมาจากการเปรียบเทียบครั้งก่อน จะหยุดการเปรียบเทียบก็ต่อเมื่อผลต่างนั้นมีค่าน้อยกว่า LSR และสรุปว่าค่าเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงนั้นไม่แตกต่างกัน
- เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสูงสุดและค่าเฉลี่ยอื่นๆหมดแล้ว ก็ให้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรองสูงสุดกับค่าเฉลี่ยอื่นๆ ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ
- จัดกลุ่มค่าเฉลี่ยตามความแตกต่างโดยใช้สัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน

ภาคผนวก ข.

วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพของ
ฟิล์มเคลือบบริเวณใต้

ข.1 วิธีการทดสอบสมบัติทางกลและตัวอย่างการคำนวณ

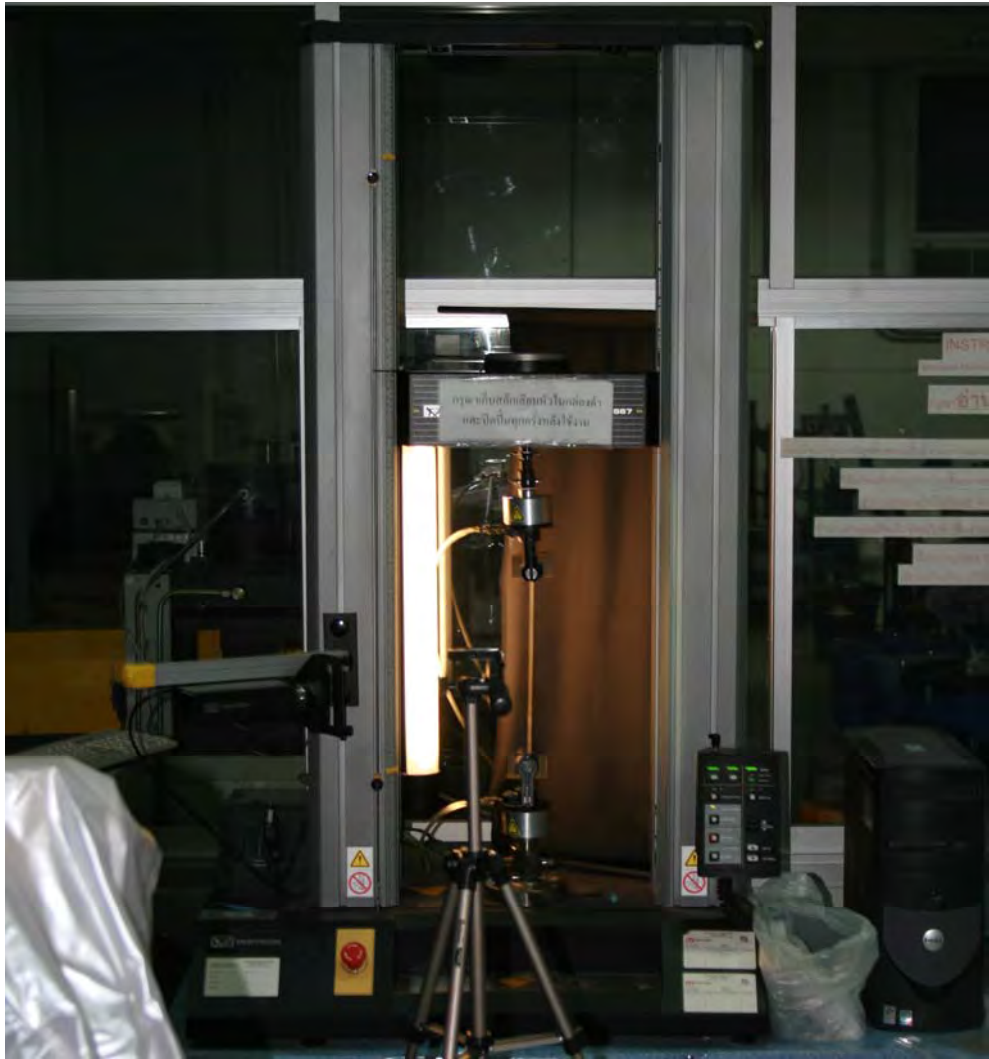
1. เตรียมตัวอย่าง โดยขึ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยมีลักษณะดังรูปที่ ข.1 โดยจำนวนแผ่นฟิล์มในการทดสอบแต่ละชุดไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน แผ่นฟิล์มตัวอย่างมีขนาด 10x40 มิลลิเมตร โดยบริเวณขอบของฟิล์มต้องไม่เกิดรอยตำหนิจากการเตรียม



รูปที่ ข.1 แบบของชิ้นงานที่ใช้วัดคุณสมบัติทางกล

2. การทดสอบเริ่มต้นด้วยการนำชิ้นงานใส่ในเครื่อง Universal Testing Machine แสดงดังรูปที่ ข.2 โดยยึดชิ้นงานที่จุดยึดแสดงดังรูปที่ ข.3 จากนั้นตั้งค่าความหนาของชิ้นงานในคอมพิวเตอร์กำหนดความเร็วในการดึงที่ 20 มิลลิเมตรต่อนาที

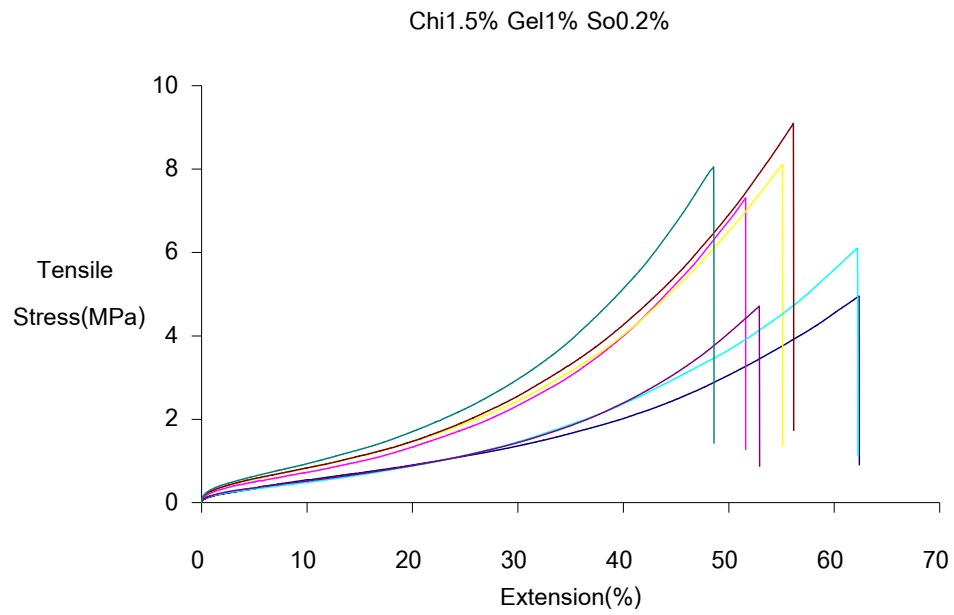
3. เริ่มทำการทดสอบชิ้นงานและเมื่อชิ้นงานขาด (ทดสอบเสร็จสิ้น) เครื่องคอมพิวเตอร์จะรายงานค่า แรงที่ใช้ (Load) พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน และค่าความทนแรงดึงรวมทั้งค่าอื่นๆที่ทำการกำหนดไปเมื่อทำการตั้งค่าต่างๆ ของการทดสอบ แสดงลักษณะกราฟที่ได้ ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.2 Universal Testing Machine ที่ใช้ในการทดลอง



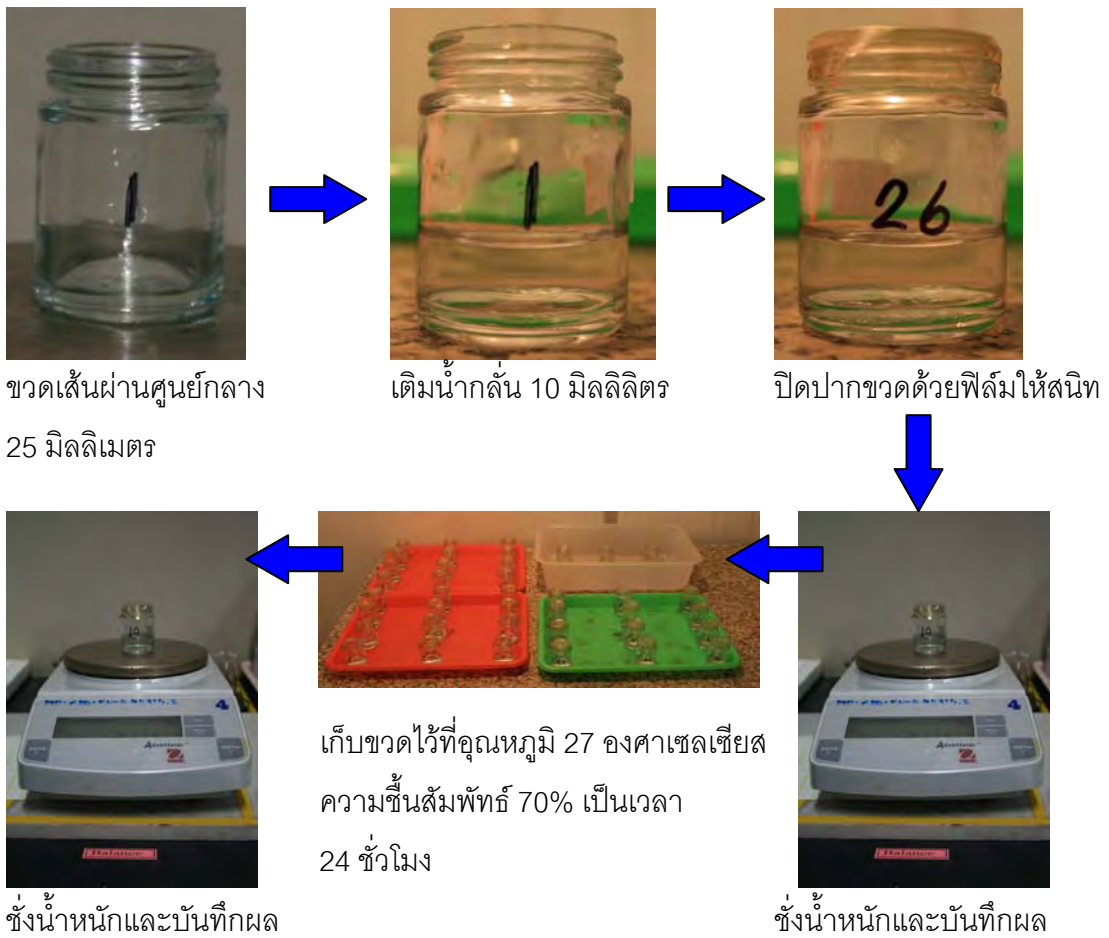
รูปที่ ข.3 ลักษณะการยึดจับของชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine



รูปที่ ข.4 กราฟที่ได้จากการทดสอบฟิล์มเคลือบบริโภาคได้สูตร E1

ข.2 เครื่องมือที่ใช้และตัวอย่างการคำนวณอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ

แสดงขั้นตอนการวัดค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังรูป ข.5



รูปที่ ข.5 ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นเท่ากับ 75.63 กรัม จากนั้นชั่งน้ำหนักฟิล์มเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ได้เท่ากับ 75.49 กรัม ดังนั้น $\Delta w = 75.63 - 75.49 = 0.14$ กรัม โดยที่ $\Delta t = 24$ ชั่วโมง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขวดเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ดังนั้นมีพื้นที่ที่ใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำเท่ากับ 4.9087 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือเท่ากับ 4.9087×10^{-4} ลูกบาศก์เมตรจากสูตรหาอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ

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

ดังนั้นอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ $3.30 \times 10^{-3} \text{ g/s} \cdot \text{m}^2$

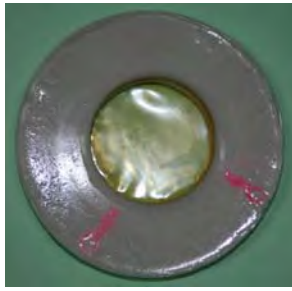
จากนั้นนำมาหาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำโดยคิดว่าภายในขวดที่มีน้ำกลั่นอยู่เมื่อเทียบกับผลไม้ที่มีน้ำอยู่ภายในเป็นองค์ประกอบซึ่งสำหรับพืชแล้วน้ำในเซลล์ไม่บริสุทธิ์แต่น้ำก็ระเหยออกมาอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ได้มากใกล้เคียง 100% ซึ่งเราถือว่าในผลิตภัณฑ์ที่เก็บเกี่ยวมานี้อากาศมีความชื้นอยู่ 100% มีความดันไอในระดับอิ่มตัว (saturated vapor pressure) ซึ่งมีความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสอ่านค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริก (psychrometric chart) ได้เท่ากับ 38 มิลลิบาร์หรือเท่ากับ 3,800 Pa ถ้าขวดน้ำกลั่นที่เราเก็บไว้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกันแต่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 70% เมื่ออ่านค่าความดันไอจากแผนภูมิไซโครเมตริกได้เท่ากับ 16 มิลลิบาร์หรือเท่ากับ 1,600 Pa ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอน้ำมีค่าเท่ากับ 2,200 Pa โดยมีความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.24 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ 0.00024 เมตร ดังนั้นจากสูตรการหาค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

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

ดังนั้นความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเท่ากับ 3.6×10^{-10} g-m/m²-s-Pa

ข.3 เครื่องมือที่ใช้และตัวอย่างการคำนวณอัตราการแพร่ผ่านของออกซิเจน

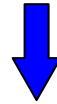
แสดงขั้นตอนการวัดค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจนดังรูป ข.6



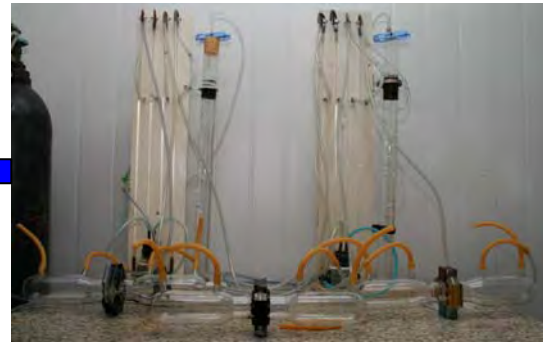
ตัดฟิล์มเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร และประกบเข้ากับซิลิโคนวง



ประกอบคอลัมน์ทดสอบโดยใช้คลิปหนีบกระดาษขนาด 2.5 นิ้วหนีบทั้งสี่ด้าน



เก็บก๊าซทางขาออกของคอลัมน์ไนโตรเจน มาตรวจสอบหาออกซิเจนโดยเครื่อง GC



ปล่อยก๊าซออกซิเจน และไนโตรเจนบริสุทธิ์ทางด้านเข้าของคอลัมน์ ด้วยอัตราเร็ว 100 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ ข.6 ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจน

ตัวอย่างการคำนวณ

คอลัมน์มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4 เซนติเมตรดังนั้นมีพื้นที่ที่ใช้ในการแพร่ผ่านของน้ำเท่ากับ 12.5664 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือเท่ากับ 12.5664×10^{-4} ลูกบาศก์เมตร ควบคุมการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อนำก๊าซขาออกของไนโตรเจนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC พบว่ามีความเข้มข้น 0.0314 %v/v จากสูตรหาน้ำหนักออกซิเจนที่แพร่ผ่านฟิล์ม

$$M = (m \times v \times 1440 \times 32) / 22400$$

ดังนั้นน้ำหนักออกซิเจนที่แพร่ผ่านฟิล์มเท่ากับ 6.4594 g/day

จากนั้นนำมาหาความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจนโดยคิดว่าภายในคอลัมน์ด้านหนึ่งมีออกซิเจนอยู่ 100 % และอีกด้านหนึ่งไม่มีออกซิเจนอยู่เลย ทั้งสองด้านทางออกของคอลัมน์เปิดสู่อากาศ เพราะฉะนั้นจึงถือได้ว่าคุณค่าความแตกต่างของความดันไอของออกซิเจนเท่ากับ 1 atm หรือ 100 MPa ความหนาของฟิล์มอยู่ที่ 0.2525 มิลลิเมตร หรือ 0.0002525 เมตร ดังนั้นจากสูตรการหาความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจนได้ตามสมการ

$$\text{OTR} = (M \times d)/(A \times \Delta P)$$

ดังนั้นความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจนเท่ากับ $1.2979 \times 10^{-5} \text{ g-m}^2\text{-s-Pa}$
หรือ $9.09 \text{ cm}^3\text{-m/day- m}^2\text{-kPa}$

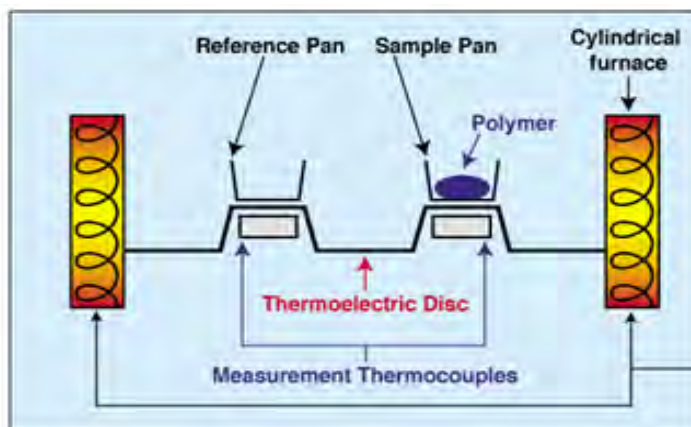
ข.3 หลักการทำงานของเครื่อง Differential Scanning Calorimeter, DSC

DSC เป็นเทคนิคที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงความร้อนหรือค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat) ต่ออุณหภูมิ ซึ่งมีหลักการทำงานโดย ตัวอย่างและตัวอ้างอิง (reference) จะอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ปริมาณความร้อนที่ให้ต่างกัน เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ให้แกตัวอย่างหรือปริมาณพลังงานที่ตัวอย่างคายออกมา เพื่อที่จะรักษาระดับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวอย่างและตัวอ้างอิงให้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมิมีค่าเป็น 0 ซึ่งค่าพลังงานนี้จะแสดงในรูปของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับอุณหภูมิหรือเวลา

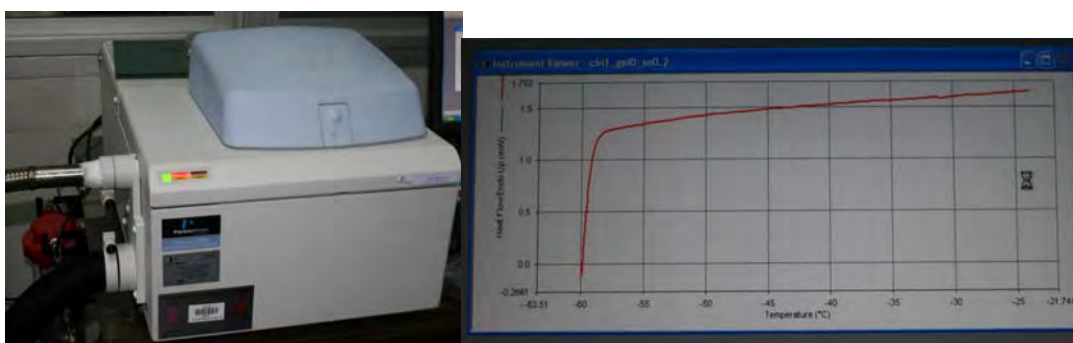
การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่นำมาใช้ควรจะแห้ง บาง และมีขนาดเล็ก โดยมีน้ำหนักประมาณ 0.3 ถึง 0.5 กรัม และมีลักษณะที่เป็นแผ่นเดียวเพื่อลดผลกระทบจากความแตกต่างของอุณหภูมิเนื่องจากชั้นของตัวอย่าง จากนั้นนำวางบนภาชนะที่ใส่ตัวอย่างและปิดฝาให้สนิทเพื่อป้องกันรั่วไหลของความร้อนที่ใช้ไปสู่ด้านนอก

ตัวอย่างถูกใส่ใน pan ที่ปิดสนิทและตัวอ้างอิงทำโดยใช้ pan เปล่าที่ปิดสนิทเช่นกัน โดยทั้งสอง pan ถูกควบคุมอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันเมื่อทำการวิเคราะห์ ตัวอย่างและตัวอ้างอิง ดังรูปที่ ข.7



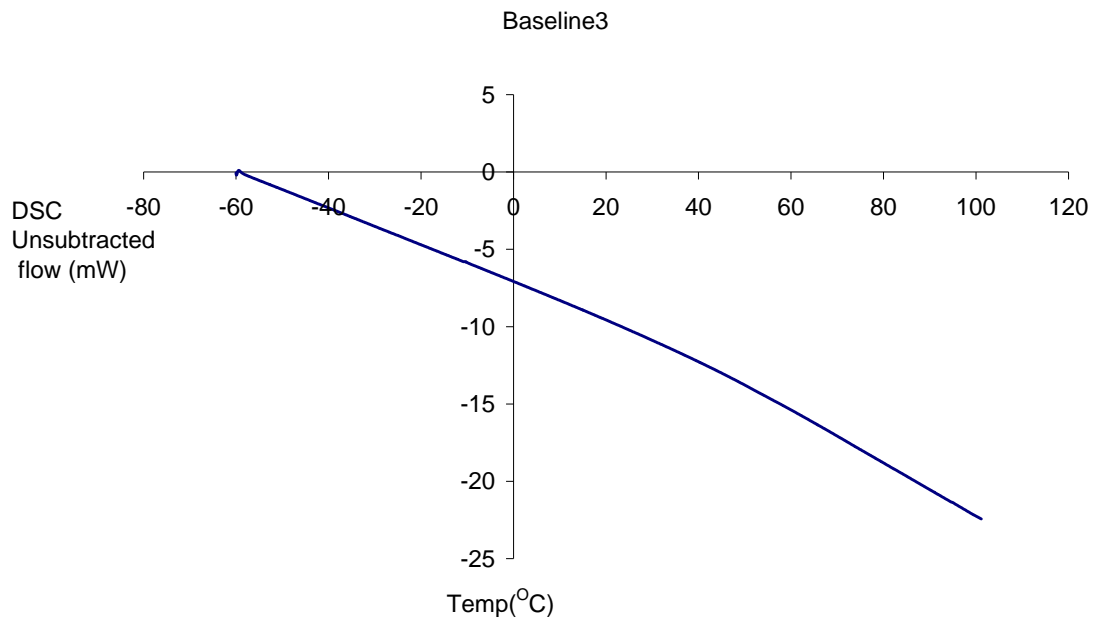
รูปที่ ๗.๗ ลักษณะการทำงานของเครื่อง DSC (Richard, 2004)



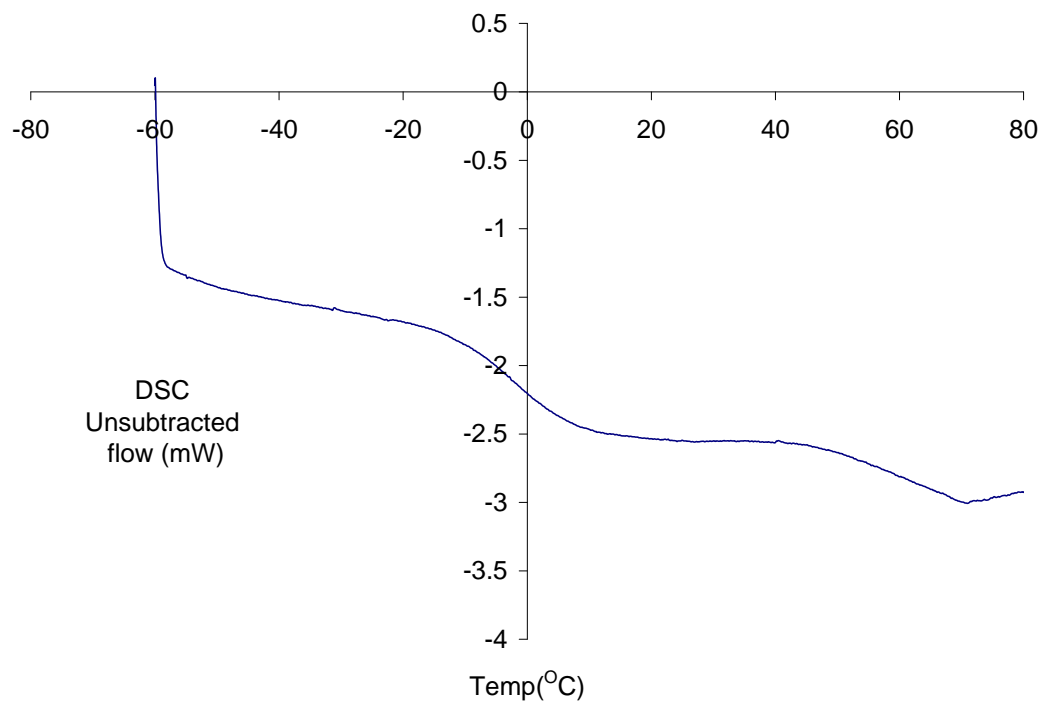
รูปที่ ๗.๘ เครื่อง DSC รุ่น Diamond ที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ และกราฟที่ได้จากเครื่อง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง DSC ค่าความร้อนที่ใช้จะอยู่ในรูปเป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ เมื่อทำการวิเคราะห์โดยปราศจากตัวอย่าง เส้นกราฟที่ได้จะเรียกว่า เส้นฐาน (Baseline) เปรียบเทียบกับลักษณะกราฟที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ ๗.๘ เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง ค่าความร้อนที่ใช้ไปที่เวลาหรืออุณหภูมิต่างๆ มีการเบี่ยงเบนออกจากเส้นฐาน ในบางช่วงตามค่าความร้อนที่ใช้ไป เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์เส้นกราฟจะกลับเข้าสู่เส้นฐานการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้สามารถนำไปใช้หาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature - T_g), อุณหภูมิหลอมตัวผลึก (Melting Temperature - T_m) และค่าความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวของโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ได้ (Heat of Fusion - H_f) ซึ่งสังเกตได้จากช่วงเปลี่ยนแนวโน้มเนื่องจากที่อุณหภูมิในจุดดังกล่าวต้องการพลังงานมากขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ ๑.๙ (ก) ตัวอย่างกราฟเส้นฐาน (Baseline) และ (ข) กราฟ Tg ที่ได้จากการทดลอง

ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบ และสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของสมบัติทางกล
และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

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

ตารางที่ ค.1: ข้อมูลความทนแรงดึงของฟิล์มเคลือบบริเวณได้

ค่าที่	สูตร	ค่าความทนแรงดึง (MPa)																	
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3	
1	0.96	0.17	0.12	3.36	6.74	5.08	2.93	0.93	0.52	4.15	2.14	0.66	4.96	2.77	1.52	2.54	11.12	9.93	
2	1.54	0.17	0.15	2.87	4.41	5.84	1.77	0.72	0.54	5.85	1.23	0.68	7.21	3.93	1.94	10.22	9.92	9.65	
3	1.63	0.23	0.14	3.96	3.88	4.95	2.89	0.69	0.24	4.41	0.88	1.55	7.42	4.07	1.07	11.63	8.69	7.98	
4	1.31	0.19	0.13	2.76	5.49	5.15	2.62	0.54	0.54	4.3	1.84	1.09	6.10	7.23	1.31	9.11	12.75	7.32	
5	1.45	0.20	0.15	4.57	5.92	3.77	3.58	0.83	0.35	5.21	1.67	1.00	4.71	6.24	0.91	10.1	10.15	6.71	
6	1.3	0.10	0.12	4.35	6.34	5.97	3.48	0.52	0.38	3.56	1.68	1.04	9.10	2.31	1.37	9.70	10.3	7.55	
7	1.66	0.11	0.09	3.88	7.21	3.32	2.73	0.62	0.36	3.62	1.2	0.75	8.05	2.98	1.47	15.57	10.21	6.49	
เฉลี่ย	1.41	0.17	0.13	3.68	5.71	4.87	2.86	0.69	0.41	4.44	1.52	0.97	6.79	4.22	1.37	9.84	10.45	7.95	

ตารางที่ ค.2: ข้อมูลการยึดตัวของฟิล์มเคลือบบริเวณใต้

ค่าที่	ร้อยละการยึดตัว (%)																	
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3
1	147.1	241.4	201.1	48.1	69.7	101.1	131.6	282.8	235.2	99.2	200.2	218.5	124.7	119.3	113.9	10.1	54.7	47.1
2	144.0	265.7	216.6	47.5	69.6	90.2	117.6	244.8	485.1	104.1	112.1	203.6	103.2	117.9	235.9	8.2	41.9	65.4
3	148.7	165.7	250.2	43.1	70.7	82.3	138.5	232.2	255.5	115.6	162.1	162.4	110.2	119.9	178.4	39.3	45.6	73.0
4	159.1	184.9	221.7	35.1	93.6	78.4	114.5	204.4	337.8	114.2	156.5	175.8	114.6	108.2	151.2	6.2	49.5	59.5
5	160.1	251.2	185.5	43.8	80.1	67.9	114.5	167.1	335.4	103.7	151.2	147.0	105.8	92.6	156.9	4.1	45.7	65.1
6	162.0	265.1	195.3	46.7	75.2	88.8	114.9	225.6	386.6	101.7	141.3	190.7	107.3	125.3	121.9	10.4	50.5	61.3
7	244.2	261.3	155.5	59.1	66.7	80.1	116.1	254.5	419.4	90.2	152.5	164.2	97.1	112.3	103.2	5.1	50.9	53.5
เฉลี่ย	166.5	233.6	203.7	46.2	75.1	84.1	121.1	230.2	350.7	104.1	153.7	180.3	109.0	113.7	151.6	11.9	48.4	60.7

ตารางที่ ค.3: ข้อมูลความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มเคลือบบริโภาคได้ (ทำการทดลอง 6 ซ้ำ)

สูตร	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ x 10 ¹⁰ (g-m/m ² -s-Pa)																	
	ค่าที่	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2
1	2.52	3.33	5.14	3.24	4.09	2.74	3.78	1.86	2.24	2.83	3.90	5.19	4.59	5.53	4.61	4.02	3.46	4.35
2	2.08	4.27	3.36	2.41	3.27	3.24	5.22	3.80	3.15	3.49	3.92	5.06	3.87	5.14	3.78	4.05	3.19	3.14
3	2.08	4.34	4.03	2.76	2.31	3.09	2.84	3.25	2.54	3.38	3.12	4.10	3.97	3.73	4.12	3.49	4.30	3.94
4	1.64	4.34	3.81	1.98	2.37	2.74	3.78	4.38	3.76	2.74	4.64	3.73	2.79	6.43	3.43	4.05	4.30	4.54
5	2.00	3.06	2.92	2.86	1.87	2.74	2.97	3.80	4.37	4.94	4.88	3.74	2.65	3.74	4.94	3.77	3.41	2.74
6	2.16	3.56	3.14	2.70	2.36	2.74	3.46	3.34	2.85	2.74	2.73	3.38	2.46	3.47	3.28	3.14	3.99	4.54
เฉลี่ย	2.08	3.82	3.73	2.66	2.71	2.88	3.67	3.41	3.15	3.11	3.86	4.20	3.80	4.67	4.03	3.75	3.77	3.88

สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความทนแรงดึง การยึดตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำดังตารางที่ ค.4

ภาคผนวก ง.

วิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัส

ง.1 ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

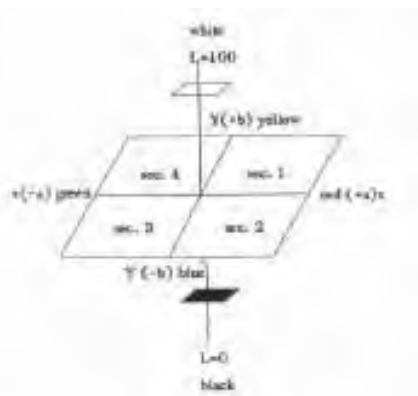
น้ำหนักวันแรกของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบเท่ากับ 203.76 กรัม ซึ่งน้ำหนักในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาได้ 198.12 กรัม หาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้ดังสูตร

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

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ได้} &= ((203.76 - 198.12) \times 100) / 203.76 \\ &= 2.77 \% \end{aligned}$$

ง.2 ลักษณะของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อที่ได้

ในการทดลองใช้เครื่องวัดสี (Colormeter) ยี่ห้อ CE MINOLTA รุ่น CR-400, Japan ในระบบ Hunter's scale ซึ่งเป็นระบบ L a b color space แสดงดังรูปที่ ง.1 โดยที่ระบบนี้ค่า L เป็นค่าความสว่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0-100 (0 เท่ากับสีดำ และ 100 เท่ากับสีขาว) โดยที่ความสว่างมาก ค่า L จะใกล้ 100 แต่ถ้าความสว่างน้อย ค่าของ L ก็เข้าใกล้ 0 ค่า a จะบอกให้ทราบว่า วัตถุมีสีแดงหรือสีเขียวมากน้อยเพียงใด ถ้า a มีค่าเป็นบวก ยิ่งค่ามากแสดงว่าวัตถุมีสีแดงอยู่มาก แต่ถ้า a เป็นค่าลบ ก็บอกให้เราทราบว่าวัตถุมีสีเขียวยิ่งค่าติดลบมากแสดงว่าวัตถุมีสีเขียวมาก และค่า b บอกให้ทราบว่าวัตถุมีสีน้ำเงินหรือสีเหลืองมากน้อยเพียงใด ถ้า b เป็นค่าบวกแสดงว่าวัตถุจะมีสีเหลืองมาก แต่ถ้า b เป็นลบ แสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงินมาก แสดงเครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลองและลักษณะข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.1 ระบบ Hunter scale

ที่มา เอกสารประกอบการอบรมวิทยากรหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน รุ่นที่ 19



รูปที่ ง.2 เครื่องมือวัดสีที่ใช้ในการทดลอง และตัวอย่างเนื้อส้มโอที่ใช้วัดสี

ง.3 การคำนวณหาปริมาณความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโอ

จากการทดลองวัดความแน่นเนื้อของเนื้อส้มโอด้วยการใช้เครื่อง Firmness tester ยี่ห้อ Effegi และหัววัดแรงกดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร ค่าที่ได้สามารถอ่านได้ในหน่วยกิโลกรัม

ตัวอย่างการคำนวณ เมื่ออ่านค่าได้ 0.5 กิโลกรัม ซึ่งขนาดหัววัดแรงกดขนาด 2 มิลลิเมตร มีพื้นที่เท่ากับ 3.14 ตารางมิลลิเมตร นำค่าที่อ่านได้ไปคูณกับ 9.81 เพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นแรงกดที่มีหน่วยเป็นนิวตัน แสดงเครื่องมือวัดความแน่นเนื้อที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ ง.4



รูปที่ ง.3 เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ และตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ใช้ทดสอบ

ง.4 การคำนวณหาค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

การวัดค่าปริมาณของของแข็งละลายน้ำได้ใช้เครื่องมือ Hand refractometer แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ ง.4 เป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในสารละลาย หรือน้ำคั้นโดยอาศัยหลักการหักเหของแสง ค่าที่อ่านได้เป็นค่าบริกซ์ (Brix) หรือ %SS นั้นเอง



รูปที่ ง.4 Hand refractometer ที่ใช้ในการทดลอง

ง.5 การคำนวณหาค่าปริมาณวิตามินซี

ในการทดสอบใช้วิธีการไทเทรตด้วย 2,6-dichlorophenolindophenol มีหลักการคือ Ascorbic acid (ไม่มีสี) หรือ วิตามินซีจะทำปฏิกิริยากับ 2,6-dichlorophenolindophenol (สีน้ำเงินเข้ม) เกิดเป็นสารละลายไม่มีสี แต่เมื่อมี 2,6-dichlorophenolindophenol มากเกิดพอล หรือถึงจุดยุติจะมีสีชมพูเกิดขึ้นเนื่องจาก $\text{HPO}_3\text{-HOAc}$ หรือ $\text{HPO}_3\text{-HOAc-H}_2\text{SO}_4$ ให้สีชมพูที่ pH สูงหรือเป็นเบส

ในการเตรียมการทดสอบต้องเตรียมสารละลาย 3 ชนิดเพื่อใช้ในการไทเทรต และเปรียบเทียบดังนี้

การเตรียมสารละลาย metaphosphoric-acetic acid เตรียมโดย ละลายในสารละลายกรดอะซิติก(HOAc) 20%v/v โดยละลายในอัตราส่วน metaphosphoric-acetic acid 75 กรัม ต่อสารละลายกรดอะซิติก 1 ลิตร

การเตรียมสารละลาย indophenol เตรียมโดยละลาย 2,6-dichlorophenolindophenol 0.25 กรัม และ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 0.21 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเพื่อใช้เปรียบเทียบโดยละลาย ascorbic acid 50 มิลลิกรัมในสารละลาย metaphosphoric-acetic acid ($\text{HPO}_3\text{-HOAc}$) ที่เตรียมไว้ก่อน 50 มิลลิลิตร

ตัวอย่างการคำนวณ

การตรวจสอบปริมาณวิตามินซี ไทเทรตสารละลายมาตรฐาน 2 มิลลิลิตรใน metaphosphoric-acetic acid 5 มิลลิลิตร โดยใช้สารละลาย 2,6-dichlorophenolindophenol (dye solution) ไป 16.3 กรัม และเมื่อไทเทรตน้ำคั้นส้มโอ 2 มิลลิลิตรที่ผสม metaphosphoric-acetic acid 5 มิลลิลิตร ใช้ 2,6-dichlorophenolindophenol ไป 7.6 มิลลิลิตร สามารถหาความเข้มข้นของวิตามินซีได้ดังนี้

$$\text{mg ascorbic acid/ 100 ml juice} = (X-B)(F/E)(V/Y) \times 100$$

- โดยที่ X คือ ปริมาตรของสารละลาย dye solution ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 B คือ ปริมาตรของสารละลาย dye solution ที่ใช้ไทเทรต blank (มิลลิลิตร)
 F คือ mg. equivalent ascorbic acid/ 1 ml dye solution
 E คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ (มิลลิลิตร)
 V คือ ปริมาตรสารละลายที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
 Y คือ ปริมาตรสารละลายทั้งหมดที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร) (ในงานวิจัยนี้เท่ากับ V)

ดังนั้นความเข้มข้นของวิตามินซีเท่ากับ 46.63 mg ascorbic acid/ 100 ml juice
 การคั้นน้ำส้มโอเพื่อใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ ๖.๕ การคั่นน้ำส้มโอโดยใช้ผ้าขาวบาง

๖.๖ การคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

นำตัวอย่างก๊าซที่ได้มาวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas Chromatography(GC) แสดงเครื่อง GC ที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ ๖.๖ อ่านค่าที่ได้แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ ๖.๗ แล้วนำมาคำนวณค่าอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนดังนี้

การคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตแก๊สเอทิลีนมีค่าที่ต้องทราบดังนี้

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

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

จากนั้นคำนวณอัตราการหายใจดังสมการ

$$\text{Respiration Rate}(\text{mg CO}_2/\text{kg-hr}) = \frac{\text{Flow rate} \times 60 \times \% \text{CO}_2 \times 1,000 \times CF}{100 \times \text{weight of fruits}}$$

และคำนวณการผลิตเอทิลีนดังสมการ

$$\text{Ethylene production} = \frac{C_2H_4(\text{ppm}) \times \text{Flow rate} \times 60}{\text{weight of fruit(g)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

ผลไม้หนัก 196.54 กรัม เก็บไว้ในขวดโหลที่มีอัตราการไหลของอากาศผ่านขวดแก้วบรรจุผลไม้เท่ากับ 100.53 มิลลิลิตร/นาที โดยวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 0.0641% โดยปริมาตร และความเข้มข้นของเอทิลีนเท่ากับ 0.0559 ppm ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศหรือ 760 มิลลิเมตรปรอทดังนั้นค่า CF จะมีค่าเท่ากับ 100

$$CF = \frac{273 \times 760 \times 1.96}{278 \times 760} = 1.925$$

คำนวณอัตราการหายใจ

ก๊าซ 100 มิลลิลิตร มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.0641 มิลลิลิตร

อัตราการไหล 100.53 มิลลิลิตร มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.06444 มิลลิลิตร

ในเวลา 1 นาที มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.06444 มิลลิลิตร

ในเวลา 60 นาที มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3.8664 ml CO₂/hr

เนื้อส้มโอ 196.54 กรัม มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3.8664 มิลลิลิตร

เนื้อส้มโอ 1000 กรัม มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 19.67 ml CO₂/kg-hr

ดังนั้นอัตราการหายใจ เท่ากับ $19.67 \times CF = 19.67 \times 1.925 = 37.87$ mg CO₂/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

$$\begin{aligned} \text{Respiration Rate(mg CO}_2\text{/kg-hr)} &= \frac{101.28 \times 60 \times 0.0641 \times 1,000 \times 1.925}{100 \times 196.54} \\ &= 37.87 \text{ mg CO}_2\text{/kg-hr} \end{aligned}$$

คำนวณการผลิตเอทิลีน

ก๊าซ 1,000,000 มิลลิลิตร มีก๊าซเอทิลีน 0.0559 มิลลิลิตร

อัตราการไหล 100.53 มิลลิลิตร มีก๊าซเอทิลีน 0.0000562 มิลลิลิตร

ในเวลา 1 นาที มีก๊าซเอทิลีน 0.00000562 มิลลิลิตร

ในเวลา 60 นาที มีก๊าซเอทิลีน 0.0003372 มิลลิลิตร (ml/hr)

เนื้อส้มโอ 196.54 กรัม มีก๊าซเอทิลีน 0.0003372 ml/hr

เนื้อส้มโอ 1,000 กรัม มีก๊าซเอทิลีน 0.00172 ml/kg-hr

ดังนั้นอัตราการผลิตเอทิลีน เท่ากับ 0.00172 ml/kg-hr หรือเท่ากับ 1.72 μ l/kg-hr

หรือคำนวณตามสูตรที่ให้ไว้ข้างต้น

$$\text{Ethylene production} = \frac{0.0559 \times 100.53 \times 60}{196.54} = 1.72 \mu\text{l/kg-hr}$$



รูปที่ ง.6: เครื่อง Gas chromatography (GC-8A) ที่ใช้ในการตรวจสอบวิเคราะห์ก๊าซ ของฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

แบบทดสอบการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ง.6 ลักษณะแบบสอบถามที่ใช้

ชื่อ-นามสกุล..... วันเดือนปี.....

ตัวอย่าง หมายเลข											
สี (เข้ม)	ไม่เข้ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	เข้มมาก
สี (สวย)	ไม่สวย	1	2	3	4	5	6	7	8	9	สวยมาก
ความมันวาว	ไม่มันวาว	1	2	3	4	5	6	7	8	9	มันวาวมาก
การติดมือ	ไม่ติด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ติดมาก
ความแฉะ	ไม่แฉะ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	แฉะมาก
ความแข็ง	นุ่มมาก	1	2	3	4	5	6	7	8	9	แข็งมาก
กลิ่นกรด	ไม่มี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	คูนมาก
กลิ่นผิดปกติ	ปกติ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ผิดปกติมาก
ความเปรี้ยว	ไม่เปรี้ยว	1	2	3	4	5	6	7	8	9	เปรี้ยวมาก
ความหวาน	ไม่หวาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	หวานมาก
รสชาติผิดปกติ	ปกติ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ผิดปกติมาก
ความชอบ	ไม่ชอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ชอบมาก

ภาคผนวก จ

สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการทดสอบคุณภาพของเนื้อส้มโอ

๑.1 ตารางสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

แสดงข้อมูลทางสถิติ และผลการวิเคราะห์ของการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความสว่าง, L) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ค่าความเป็นสีแดง, a และ ค่าความเป็นสีเหลือง, b) ความแน่นเนื้อ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ ปริมาณกรด อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนดังตารางที่ ๑.1, ๑.2, ๑.3, ๑.4, ๑.5, ๑.6, ๑.7, ๑.8, ๑.9 และ ๑.10 ตามลำดับ

ตารางที่ ๑.1 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

วันที่ ทรีท เมนต์	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก								
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	0.00a	0.28a	0.68a	0.89a	1.08a	1.36a	1.53a	1.67a	
E1	0.00a	0.22a	0.48b	0.65b	0.83a	1.00a	1.32a	1.48a	
F1	0.00a	0.23a	0.54b	0.67b	0.91a	0.99a	1.29a	1.44a	
F2	0.00a	0.17a	0.51b	0.66b	0.96a	1.22a	1.44a	1.53a	
cv.	-	35.78	13.20	13.31	20.51	27.66	22.52	14.02	

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.2 ค่าเฉลี่ยค่าความสว่างและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อสัมผัส ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

วันที่ ทรีท เมนต์	ค่าความสว่าง (L)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	47.44a	44.94a	45.75a	45.62a	45.59a	47.44a	48.23a	45.99a
E1	46.14a	47.80a	48.11a	44.87a	46.49a	44.37a	44.37a	47.45a
F1	48.09a	44.83a	47.73a	44.63a	47.31a	49.59a	47.61a	48.61a
F2	46.16a	46.46a	46.98a	46.81a	47.68a	45.85a	46.53a	44.25a
cv.	9.79	7.58	8.93	7.15	5.39	7.58	5.53	6.14

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.3 ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีแดงและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อสัมผัส ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีท เมนต์	วันที่	ค่าความเป็นสีแดง (a)							
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	1.86a	1.78a	1.69a	1.52a	1.58a	1.65a	1.45a	1.51a	
E1	1.68a	1.59a	1.72a	1.41a	1.61a	1.28a	1.23a	1.58a	
F1	1.76a	1.44a	1.54a	1.50a	1.52a	1.75a	1.55a	1.57a	
F2	1.48a	1.62a	1.54a	1.61a	1.54a	1.55a	1.40a	1.32a	
cv.	24.84	26.04	29.59	24.16	25.72	27.37	16.74	25.43	

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.4 ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นสีเหลืองและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

วันที่ ทรีท เมนต์	ค่าความเป็นสีเหลือง (b)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	3.97a	3.82a	3.99a	5.03a	3.53a	4.47ab	5.51a	4.48a
E1	4.17a	5.00a	4.95a	4.14a	4.54a	4.14ab	4.89a	4.38a
F1	5.59a	4.21a	4.51a	3.71a	4.61a	5.14a	4.45a	4.81a
F2	5.17a	4.88a	4.44a	4.48a	4.82a	3.53b	4.47a	4.11a
cv.	21.21	17.98	26.13	27.58	19.26	20.42	22.93	24.43

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.5 ค่าเฉลี่ยค่าความแน่นเนื้อและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อสัมผัส ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีท เมนต์	วันที่	ความแน่นเนื้อ (N/cm ²)							
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	5.27a	2.90a	4.64a	3.98a	3.49a	4.20a	4.07a	3.29a	
E1	5.56a	4.68a	4.54a	4.27a	5.07a	4.00a	4.49a	4.34a	
F1	5.66a	3.93a	4.10a	4.76a	5.15a	5.54a	5.10a	4.66a	
F2	5.56a	4.73a	4.44a	4.88a	5.32a	4.29a	4.56a	4.12a	
cv.	56.03	49.68	49.54	57.72	51.33	49.26	45.3	37.83	

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณวิตามินซีและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

วันที่ ทรีท เมนต์	ปริมาณวิตามินซี (mg/ml)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	49.74a	45.98a	51.76a	51.59ab	49.15a	45.11a	48.93a	50.30a
E1	47.65a	43.48a	49.47a	56.66a	45.78a	45.26a	45.01a	47.06a
F1	49.27a	49.92a	53.27a	53.41ab	43.53a	46.40a	46.95a	47.76a
F2	54.60a	48.57a	50.98a	50.16b	48.91a	43.21a	50.18a	50.37a
cv.	10.59	10.77	7.76	6.83	16.37	12.10	13.65	10.65

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อสัมผัส ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีท เมนต์	วันที่	ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ (Brix)							
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	11.50a	11.43a	12.30a	12.90a	12.13a	12.38a	12.38a	12.45a	
E1	11.30a	11.33a	12.13a	13.30a	12.10a	11.90a	11.68ab	12.43a	
F1	12.13a	12.78b	12.43a	12.25a	12.78a	12.15a	11.15b	12.10a	
F2	12.73a	12.13ab	12.60a	12.10a	12.95a	11.83a	12.50a	13.33a	
cv.	8.14	6.05	5.86	7.83	6.75	8.98	6.15	7.71	

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อสัมผัส ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์	วันที่	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%w/v)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ		0.63a	0.65a	0.68a	0.72a	0.64a	0.57a	0.6a	0.58a
E1		0.74b	0.75a	0.70a	0.70a	0.66a	0.64a	0.64a	0.56a
F1		0.68ab	0.70a	0.65a	0.70a	0.70a	0.63a	0.57a	0.64a
F2		0.75b	0.67a	0.7a	0.68a	0.68a	0.58a	0.65a	0.59a
cv.		5.73	8.93	9.56	11.23	5.66	9.44	12.7	14.99

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.9 ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจ และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อสัมผัส ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทรีท เมนต์	วันที่	อัตราการหายใจ (mgCO ₂ /kg-hr)							
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ไม่เคลือบ	35.62a	33.58a	33.10a	29.86a	31.92a	33.83a	32.75a	32.61a	
E1	37.95a	37.49a	35.80a	33.52a	34.77a	36.54a	35.50a	34.63a	
F1	34.53a	33.00a	32.02a	30.02a	31.30a	32.64a	31.57a	30.99a	
F2	34.99a	33.38a	33.16a	29.35a	31.34a	33.19a	32.00a	31.23a	
cv.	18.16	13.17	16.86	13.54	13.02	12.17	12.94	10.90	

cv. คือ coeff. variation

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

ตารางที่ ๑.10 ค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตเอทิลีน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเนื้อส้มโอ ซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

วันที่ ทรีท เมนต์	อัตราการผลิตเอทิลีน (µl/kg-hr)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ไม่เคลือบ	1.29a	1.16a	1.24a	1.02a	0.94a	1.25a	1.17a	1.1a
E1	1.32a	1.20a	1.26a	1.11a	1.19a	1.23a	1.12a	1.22a
F1	1.10a	1.11a	0.98a	1.09a	0.97a	1.11a	0.98a	1.19a
F2	1.01a	0.96a	1.33a	1.09a	1.11a	1.22a	1.02a	1.23a
cv.	46.11	36.41	44.43	19.42	12.22	10.26	17.02	12.41

cv. คือ coeff. variation

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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายประกิต โรจนปัญญากิจ เกิดเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร ปัจจุบันอาศัยอยู่ที่ แขวงบางแคเหนือ เขตบางแค กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอัสสัมชัญธนบุรี ในปีการศึกษา 2545 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 1 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์ทางสื่อสิ่งพิมพ์และอิเล็กทรอนิกส์

- P. Roatphunyakit, S. Vihokto, A. Boonsiri and S. Kanokpanont, "Edible coating films from chitosan and gelatin for maintaining quality of minimally processed pomelo cv. Khao-Namphueng", SmartMat08 & IWOFM-2 Conference, Chiang Mai, 22-25 April 2008.

ทุนการศึกษาที่ได้รับ

- ทุนการศึกษาระดับปริญญาโท และค่าใช้จ่าย (เกียรตินิยม ทุนประเภท 2)
- ทุนผู้ช่วยสอน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
- ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย