



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเซลลูลิก
เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพผลไม้เมืองร้อนไทย

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชรดา กนกพานนท์ และคณะ

ธันวาคม 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเซลลูล์
เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพผลไม้เมืองร้อนไทย

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชรดา กนกพานนท์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดร. อภิตา บุญศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชุดโครงการ “มังคุดครบวงจร”

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เสนอการพัฒนาสูตรสารเคลือบผลไม้จากเซลลูล์โลสจากข้าวเกร็ดอาหาร โดยการดัดแปลงด้วยไฮคาร์บูนา และไฮเซลแล็ค และทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบต่อคุณภาพในการเก็บรักษาผลไม้ไทยสี่ชนิด คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ กัลลวยไข่ ส้มโอขาวใหญ่ และเงาะโรงเรียน โดยมีทั้งการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับการเก็บในถุงพลาสติกแบบ High OTR หรือการใช้สารเคลือบทางการค้า และการทดสอบการเคลือบเงาะโรงเรียนในระดับการค้า ผลจากการศึกษาลักษณะสมบัติของฟิล์มเคลือบ พบว่าสารเคลือบเซลลูล์โลสพื้นฐาน (10% เซลลูล์โลส) ที่มีการดัดแปลงโดยการเติมไฮคาร์บูนาจากเซลลูล์โลส หรือจากคาร์บูนา ปริมาณ 5.0-7.5% โดยน้ำหนัก มีสมบัติทางกลสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงขึ้น แต่อัตราการกั้นผ่านเข้าออกของก๊าซและไอน้ำลดลง เนื่องจากลักษณะฟิล์มของอิมัลชันที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยกว่าสารเคลือบเซลลูล์โลสสูตรพื้นฐาน ซึ่งทำให้เกิดลักษณะการเคลือบบางส่วนของเปลือกผลไม้ การประเมินประสิทธิภาพของสารเคลือบพิจารณาจากลักษณะทางคุณภาพ และการซึม สูตรสารเคลือบที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 คือสารเคลือบเซลลูล์โลสสูตรพื้นฐาน ที่ซึ่งแม้ว่าจะสามารถลดการสูญเสียน้ำได้น้อยกว่าการบรรจุในถุงพลาสติก High OTR แต่พบว่าสามารถป้องกันการถูกคุกคามของโรคที่เข้าทำลายผล และมีความแน่นเนื้อสูงกว่าการใช้ถุงพลาสติก หลังการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ ที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 ± 5 ก่อนบ่ม สำหรับกัลลวยไข่ การบรรจุถุงพลาสติกที่ใช้ในการค้า (สหกรณ์การเกษตรท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี) สามารถรักษาคุณภาพได้ดีกว่าการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ โดยช่วยชะลอการสุก การตกกระ การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ แม้ว่าจะมีปริมาณแอลกอฮอล์สูง แต่ไม่มีผลกระทบต่ออาการซึมหลังการบ่ม โดยสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 ± 5 สำหรับส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสูตรที่พัฒนาขึ้นทุกสูตร หรือสูตรการค้า (CM) สามารถรักษาคุณภาพของส้มโอได้ดีกว่าไม่เคลือบ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 ± 5 แต่สารเคลือบเซลลูล์โลสทุกสูตรที่พัฒนาขึ้นให้ผลดีกว่า CM ที่ทำให้เกิดการสร้างแอลกอฮอล์สูงในผล โดยสารเคลือบเซลลูล์โลสสูตรพื้นฐานมีต้นทุนต่ำที่สุดจึงเหมาะสมที่ใช้งานมากที่สุด ส่วนการรักษาคุณภาพของเงาะโรงเรียน การจุ่มเคลือบใน สารเคลือบเซลลูล์โลสสูตรดัดแปลงด้วย ไฮเซลแล็ค 7.5% (โดยน้ำหนัก) หรือ การบรรจุถุงพลาสติก High OTR เป็นวิธีรักษาคุณภาพที่ดีที่สุด เมื่อเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-95% เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงขนาด ให้ความแน่นเนื้อดี เมื่อทำการทดสอบสารเคลือบกับเงาะโรงเรียนในสภาวะที่ใช้ในการค้า 2 ครั้ง ได้แก่ ระดับการค้าในประเทศ เลียนแบบสภาวะการวางขายในซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่าการเคลือบผิวผลเงาะด้วยสารเคลือบสูตรพื้นฐานดัดแปลงด้วยไฮคาร์บูนา 5% ให้ผลการทดลองที่ดี สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้พอๆกับการใช้ถุงพลาสติก โดยพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสมที่ทำให้เงาะยังคงอยู่ในสภาพที่ดีคือการเคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสดัดแปลงด้วยไฮคาร์บูนา 5% และเก็บรักษาไว้ที่ 20°C ได้เป็นเวลา 3 วัน (จำลองการวางขายในห้าง) หากมีการเก็บไว้ที่ 12°C เป็นเวลา 1 หรือ 2 สัปดาห์ สามารถย้ายมาวางขายที่อุณหภูมิ 20°C ได้เป็นเวลา 2 หรือ 1 วัน ตามลำดับ โดยสารเคลือบสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงขนาด ให้ความแน่นเนื้อดี และคะแนนการชิมสูง สำหรับการทดสอบการใช้งานสารเคลือบเงาะโรงเรียนในระดับการค้าเพื่อส่งออกต่างประเทศ (รัฐดูไบ) พบว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะใช้สารเคลือบเพื่อชะลอการเปลี่ยนลักษณะขนาด โดยกระบวนการเคลือบไม่ยุ่งยากเกินไปสำหรับผู้ประกอบการและมีศักยภาพที่จะลดต้นทุนการขนส่งเงาะไปยังต่างประเทศได้

Abstract

This project presented a development of shellac-based fruit coating formulations modified with carnauba or shellac waxes. The efficacy of coating formulations was tested on four types of Thai fruits; mango (cv. Namdokmai), Khai banana, pomelo (cv. Kaoyai), and rambutan (cv. Rongrien). The tests were done on laboratory scales, in comparison to either the storage in high-OTR plastic bags, or using a commercialized coating solution. The commercial-scaled evaluations were conducted on rambutans. The results from the characterization of the films of the coating solution revealed that the basic shellac coating formula (10% shellac) modified with 5.0-7.5%(w/w) led to higher mechanical properties, higher glass transition temperature, but lower diffusivities for gases and water vapor compared to the based formulation. This is because the emulsion characteristic of the modified formulation which were less homogeneous. This would result in the partial coating on the fruit skin. Efficacies of the coating formulations were evaluated using physico-chemical properties and tasting of the fruits. The suitable fruit coating formulation for mango (Namdokmai No.4) was the based shellac solution. Although coating mangoes with this formula resulted in higher weight loss in comparison to the storage in high-OTR plastic bags, it could protect the fruits against pathogens and the loss of flesh firmness. After 3 weeks of storage at 12 °C, 95±5% RH, the consumer satisfaction with the ripening mangoes using this coating was not different from those kept in the high OTR plastic bags. For Khai banana, it was found that storage in plastic bags (Tayang district agricultural cooperation, Petchaburi province), resulted in the highest fruit storage qualities. After 3 weeks of storage at 12 °C, 95±5% RH, it was found that the plastic bags could delay the ripening process, and other quality changes such as skin spotting, weight loss, lowering flesh firmness, and total soluble solids. Although this method caused the highest alcohol concentration, but changes in flavor was not detected by consumers. For pomelo (cv. Kaoyai), after 8 weeks of storage at 10 °C and 95±5% RH, all of the tested coating formulations, including a commercialized coating (CM, composed of polyethylene and latex) gave better fruit qualities than the controlled group (no coatings). The shellac based formulations did not result in high level of alcohol productions as in the fruits coated with the CM. The basic formulation had the lowest cost, so it was then chosen as the most suitable coating. For rambutan (cv. Rongrien) storage at 12 °C, and 85-95% relative humidity for 2 weeks, the best method discovered was either the dip coating with shellac based formulation modified with 7.5% (w/w) shellac wax, or the use of high-OTR plastic bags. These two methods resulted in satisfactory appearances, delay of the fruit hair darkening, and higher firmness. The coating formulation modified with 5% (w/w) carnauba wax was selected for a commercial-scale evaluation on preserving quality of rambutan (cv. Rongrien). The obtained results were promising. The coated rambutans kept their qualities for at least 2 weeks in a commercial cold room (12°C) . These coated rambutans remained fresh after moving out to shelves (at 20 °C) for 3 days, and 2 days after the first and the second week of storage in the cold room. The coating was found to reduce water loss, delay hair darkening and retain the firmness of the fruit flesh. The coated fruit received high preference scores from consumers. For the same coating tested on commercial exported rambutans, the high potential was found for the application this specific coating since the coating could retard the appearance of blackening hairs. In addition, the coating process used was simple enough for exporters. The results showed potential of the coating formulation in reducing export costs.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

บทที่ 1 บทนำ

1

บทที่ 2 ทฤษฎีและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3

2.1 สารเคลือบผิวผลไม้

3

2.1.1 เซลแล็ค (shellac)

4

2.1.2 ไบเซลแล็ค (shellac wax)

7

2.1.3 ไบคาร์นูบา (carnauba wax)

7

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในผลไม้

9

2.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลไม้

13

2.4 สรีระวิทยาของผลไม้

14

2.4.1 เงาะ

14

2.4.2 มะม่วง

17

2.4.3 ส้มโอ

18

2.5 ฤทธิ์ของสารสกัดชาในการต้านเชื้อจุลินทรีย์

19

2.6 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

20

2.7 สูตรสารเคลือบเปลือกผลไม้

21

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

26

3.1 การดำเนินงานวิจัยทั้งโครงการ

26

3.2 วัสดุ สารเคมีและอุปกรณ์การวิจัย

27

3.3 การทำความสะอาดไบเซลแล็ค

29

3.4 การเตรียมสารละลายเซลแล็คสูตรพื้นฐานดัดแปลงด้วยไข่

29

3.5 การเตรียมสารเคลือบเซลแล็คสูตรพื้นฐานผสมสารสกัดชา

30

3.6 การทดสอบลักษณะสมบัติความคงตัวของสารเคลือบ

32

3.7 การศึกษาลักษณะสมบัติของฟิล์มของสารเคลือบ

32

3.8 การทดสอบประสิทธิภาพในการเก็บรักษาของสารเคลือบเซลแล็คในการเคลือบผิวผลไม้ไทย 4 ชนิด

36

3.8.1 การทดสอบเคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ระดับห้องปฏิบัติการ

36

3.8.2 การทดสอบเคลือบกล้วยไข่ ระดับห้องปฏิบัติการ

45

3.8.3 การทดสอบเคลือบส้มโอขาวใหญ่ ระดับห้องปฏิบัติการ

48

3.8.4 การทดสอบเคลือบเงาะโรงเรียน ระดับห้องปฏิบัติการ

51

3.9 การทดสอบเคลือบเงาะโรงเรียน ระดับการค้า

54

3.9.1 การทดสอบเคลือบเงาะโรงเรียนระดับการค้าครั้งที่ 1 การค้าเงาะในประเทศ

54

3.9.2	การทดสอบเคลือบเงาโรงเรียนระดับการค้าครั้งที่ 2 การส่งออกเงาไปต่างประเทศ	56
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปราย	59
4.1	ลักษณะสมบัติของสารเคลือบและฟิล์มเคลือบ	59
4.1.1	ลักษณะภายนอกของฟิล์มเคลือบ	61
4.1.2	สมบัติเชิงกลของฟิล์มเคลือบ	66
4.1.3	สมบัติทางความร้อน	68
4.1.4	สมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่าน	69
4.1.5	สมบัติการยอมให้ออกซิเจนซึมผ่าน	70
4.1.6	การดูดซับน้ำ	71
4.1.7	ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม	71
4.2	การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบและการใช้ถุงพลาสติกในการรักษาคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้	76
4.2.1	ลักษณะทางกายภาพ	76
4.2.2	ลักษณะทางเคมี	112
4.2.3	คุณภาพในการบริโภค	123
4.3	ประสิทธิภาพของสารเคลือบและถุงพลาสติกในการรักษาคุณภาพกล้วยไข่	131
4.3.1	คะแนนลักษณะปรากฏ	131
4.3.2	การสูญเสียน้ำหนัก	135
4.3.3	ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนภายในผล	136
4.3.4	การเปลี่ยนแปลงค่าสี	139
4.3.5	ความแน่นเนื้อ	144
4.3.6	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	144
4.3.7	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และ ปริมาณแอลกอฮอล์	145
4.3.8	คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัส	145
4.4	การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบในการรักษาคุณภาพส้มโอขาวใหญ่	155
4.4.1	ลักษณะปรากฏ	155
4.4.2	ลักษณะทางเคมีกายภาพ	183
4.4.3	คุณภาพในการบริโภค	194
4.5	ประสิทธิภาพของสารเคลือบและถุงพลาสติกในการรักษาคุณภาพเงาโรงเรียน ระดับห้องปฏิบัติการ	202
4.5.1	ปริมาณการใช้ในการจุ่มเคลือบต่อน้ำหนักเงาโรงเรียน	202
4.5.2	ลักษณะทางกายภาพ	205
4.5.3	ลักษณะทางเคมี	218
4.5.4	ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม	223
4.6	ประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีต่อการเก็บรักษาเงาในระดับการค้า	231
4.6.1	การทดสอบเคลือบเงาโรงเรียนระดับการค้าครั้งที่ 1 การค้าเงาในประเทศ	231
4.6.2	การเปลี่ยนแปลงทางเคมี	248
4.6.3	คุณภาพในการรับประทาน	249

4.6.4	การทดสอบเคลือบเงาโรงเรียนระดับการคำครั้งที่ 2 การส่งออกเงาไปต่างประเทศ	258
4.7	การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของสารเคลือบสูตรที่มีการใช้งาน	261
บทที่ 5 สรุปผล		264
เอกสารอ้างอิง		275
ภาคผนวก		
	-บทความวิชาการที่เกี่ยวข้องเผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ	
	-ร่างสิทธิบัตรเรื่อง สูตรและกระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผลไม้จากเซลล์ผสม	
	เซลล์แก้วกัสน้ำเพื่อรักษาคุณภาพผลไม้	
	-ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.1	โครงสร้างของเซลล์ (a) พอลิเอสเทอร์และ (b) เอสเทอร์โมเลกุลเดี่ยวที่เป็นองค์ประกอบของเรซิน	5
2.1.2	กระบวนการทั่วไปในการการผลิตเซลล์	6

2.1.3	โครงสร้างส่วนประกอบหลักของไฮคาร์นูบาร์ (a) hydroxyl acid ester เมื่อ n, m เท่ากับ 18-30 และ 24-34 ตามลำดับ (b) di-esters เมื่อ n, m เท่ากับ 2-8 และ 2n หรือ 2n-2 และ R หรือ R' คือ alkyl group เมื่อ carbon atoms เท่ากับ 16-22	8
2.2.1	อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงการเจริญเติบโตในระยะต่างๆ	10
2.2.2	อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric	11
2.4.1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มโอ	18
3.1.1	แผนผังการดำเนินงานวิจัยทั้งโครงการ	26
3.5.1	สารเคลือบจากเซลลูลูสพื้นฐาน และสูตรดัดแปลงด้วยไขมันที่ใช้ในงานวิจัยนี้	31
3.7.1	ขนาดของฟิล์มสารเคลือบที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกล	33
3.7.2	เครื่องทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของออกซิเจนผ่านฟิล์ม	35
3.8.1	การเตรียมมะม่วงก่อนการเคลือบ	38
3.8.2	กระบวนการเคลือบและเก็บรักษามะม่วงระหว่างการทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในระดับห้องปฏิบัติการ	39
3.8.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาแก๊สที่สะสมอยู่ภายในผลมะม่วง	42
3.8.4	กระบวนการเคลือบกล้วยไข่ระดับห้องปฏิบัติการ	47
3.8.5	การเตรียมส้มโอก่อนการเคลือบ	48
3.8.6	อุปกรณ์ในการหาอัตราการหายใจของส้มโอ	50
3.8.7	กระบวนการจุ่มเคลือบและการเก็บรักษาเงาะ	53
3.8.8	การให้คะแนนการเปลี่ยนแปลงสีขนและเปลือกของเงาะ	53
3.9.1	กระบวนการเคลือบเงาะระดับการค้า ครั้งที่ 1 ที่สวนเกษตรกร	57
3.9.2	กระบวนการเคลือบเงาะ และบรรจุ ระดับการค้า ครั้งที่ 2 ที่บริษัทผู้ส่งออก	58
4.1.1	ลักษณะฟิล์มสารเคลือบเซลลูลูสแต่ละสูตร	63
4.1.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสกัดข่า ไฮคาร์นูบาร์และไฮเซลลูลูส ค่าความทนแรงดึงสูงสุด ระยะยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์ม ความต้านทานแรงดึง จากฟิล์มสารเคลือบเซลลูลูส	67
4.1.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยอมให้อิออนน้ำแพร่ผ่านกับปริมาณสารสกัดข่า ไฮคาร์นูบาร์ ไฮเซลลูลูส ในฟิล์มสารเคลือบเซลลูลูส ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5	69
4.1.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถการแพร่ผ่านออกซิเจนกับปริมาณสารสกัดข่า ไฮคาร์นูบาร์ ไฮเซลลูลูส ในฟิล์มสารเคลือบเซลลูลูส ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5	70
4.1.5	กราฟความพึงพอใจของผู้บริโภคของฟิล์มเซลลูลูสสูตรพื้นฐาน เซลลูลูสผสมสารสกัดข่า ผสมไฮคาร์นูบาร์และไฮเซลลูลูส	72
4.1.6	ความคงตัวของสารเคลือบเซลลูลูสผสมไฮเซลลูลูส	75
4.2.1	ภาพตัดขวางและพื้นผิวเปลือกมะม่วงที่ไม่เคลือบผิว และเคลือบผิวด้วยสูตร S10% ภาพถ่ายโดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด	78
4.2.2(1)	ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงดิบที่ไม่ได้เคลือบ เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลลูลูส ดัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติกเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5	79
4.2.2(2)	ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงดิบที่ไม่ได้เคลือบ เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลลูลูสดัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติกเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5	80

[illegible]

[illegible]

เซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์มาบ่มสุกด้วยสารละลายเอทิลฟอน 500 ppm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน

- [illegible]

	90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์	
4.2.25	แก๊สเอทิลีนที่สะสมภายในผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์	122
4.2.26	การวัดคุณภาพในการรับประทานสีเนื้อและกลิ่นหอมของผลมะม่วงบ่มสุกไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติกเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ เก็บรักษา 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5	125
4.2.27	การวัดคุณภาพในการรับประทานสีเนื้อและความเปรี้ยวของผลมะม่วงบ่มสุกไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติกเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ เก็บรักษา 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5	126
4.2.28	การวัดคุณภาพในการรับประทานด้านความหวานและกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลมะม่วงบ่มสุกไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุ ถุงพลาสติกเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ เก็บรักษา 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5	127
4.2.29	การวัดคุณภาพในการรับประทานด้านความชอบของผู้บริโภคต่อมะม่วงบ่มสุกไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติกเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ เก็บรักษา 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5	128
4.3.1	คะแนนลักษณะปรากฏของกล้วยไข่ไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวก่อนบ่ม (a) และหลังบ่ม (b) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	132
4.3.2	การพัฒนาของกล้วยไข่ก่อนบ่มไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	133
4.3.3	การพัฒนาของกล้วยไข่หลังบ่มไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80±5 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	134
4.3.4	การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยไข่ไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวก่อนบ่ม (a) และหลังบ่ม (b) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	137
4.3.5	ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (a) ก๊าซออกซิเจน (b) และ ก๊าซเอทิลีน (c) ภายในผลของกล้วยไข่ก่อนบ่มไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	138
4.3.6	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) (A) ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) (B) ค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) (C) ค่าความอึดตัวของสี (C)(D) และค่ามุมของสี (°H) (E) ของเปลือกกล้วยไข่ก่อนบ่มไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	140
4.3.7	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) (A) ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) (B) ค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) (C) ค่าความอึดตัวของสี (C)(D) และค่ามุมของสี (°H) (E) ของเนื้อกล้วยไข่ก่อนบ่มไม่เคลือบ และเคลือบสารเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	141
4.3.8	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) (A) ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) (B) ค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) (C) ค่าความอึดตัวของสี (C)(D) และค่ามุมของสี (°H) (E) ของเปลือกกล้วยไข่หลังบ่มไม่เคลือบ และเคลือบสารเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80±5 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	142

4.3.9	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) (A) ค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) (B) ค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) (C) ค่าความอึมตัวของสี (C)(D) และค่ามุมของสี ($^{\circ}H$) (E) ของเนื้อกล้วยไข่หลังบ่มไม่เคลือบ และเคลือบสารเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 สัปดาห์	143
4.3.10	ความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวก่อนบ่ม (a) และหลังบ่ม (b) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	147
4.3.11	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของกล้วยไข่ไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวก่อนบ่ม (a) และหลังบ่ม (b) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	148
4.3.12	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยไข่ไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวก่อนบ่ม (a) และหลังบ่ม (b) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	149
4.3.13	ปริมาณแอลกอฮอล์ได้ของกล้วยไข่ไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวก่อนบ่ม (a) และหลังบ่ม (b) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	150
4.3.14	คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ความสวยงาม (A) ความมันเงา (B) สีเปลือก (C) อาการดกกระ (D) ความฝาด (E) ความหวาน (F) ความเปรี้ยว (G) กลิ่นและรสชาติผิดปกติ (H) และความชอบ (I) กล้วยไข่หลังบ่มไม่เคลือบและเคลือบสารเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	151
4.4.1(1)	ลักษณะภายนอกผลส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์	157
4.4.1(2)	ลักษณะภายนอกผลส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์	158
4.4.1(3)	ลักษณะภายนอกผลส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์	159
4.4.1(4)	ลักษณะภายนอกผลส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 7 และ 8 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์	160
4.4.1(5)	ลักษณะภายนอกผลส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	161
4.4.1(6)	ลักษณะภายนอกผลส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	162
4.4.2(1)	ลักษณะภายนอกของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์	163
4.4.2(2)	ลักษณะภายนอกของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์	164
4.4.2(3)	ลักษณะภายนอกของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์	165
4.4.2(4)	ลักษณะภายนอกของเนื้อส้มโอที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยสูตรต่างๆ เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 7 และ 8 ที่	166

[illegible]

4.4.15	การเปลี่ยนแปลงค่า C^*O_H ของเนื้อส้มโอที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์ ดัดแปลงต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	182
4.4.16	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของส้มโอ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	186
4.4.17	ค่าความแน่นเนื้อของส้มโอ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	187
4.4.18	ปริมาณของแข็งละลายน้ำของส้มโอเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	188
4.4.19	ปริมาณกรดทิโทเทรตได้ของส้มโอเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็น เวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	189
4.4.20	ปริมาณแอลกอฮอล์ของส้มโอเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	190
4.4.21	ปริมาณแก๊สออกซิเจนของส้มโอ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็น เวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความสัมพันธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	191
4.4.22	อัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของส้มโอ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความสัมพันธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	192
4.4.23	อัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนของส้มโอ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความสัมพันธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	193
4.4.24	วัดคุณภาพของเนื้อส้มโอด้านความและ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความสัมพันธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	196
4.4.25	วัดคุณภาพของเนื้อส้มโอด้านความหวาน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความสัมพันธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	197
4.4.26	วัดคุณภาพของเนื้อส้มโอด้านความเปรี้ยว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความสัมพันธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	198
4.4.27	วัดคุณภาพของเนื้อส้มโอด้านความชอบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความสัมพันธ์ร้อยละ 70 ± 5 เป็นเวลา 4 สัปดาห์	199
4.5.1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งของสารเคลือบเซลล์สูตรที่ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูนาร์ 5% หลังผ่าน การจุ่มเคลือบ โดยมี การเติมสารเคลือบเพิ่มหลังผ่านการจุ่มครั้งที่ 10	203
4.5.2	ผลเงาที่ไม่ผ่านการเคลือบ (control) และ จุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%) และ สูตรที่ ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC 7.5%) และ ไซเซลลิ่ง 5% (SW 5%), 7.5 % (SW7.5%)	206
4.5.3 (1)	ลักษณะภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาหลังการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบด้วยสารเคลือบ เซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%) และ สูตรที่ ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC 7.5%) และ ไซเซลลิ่ง 5% (SW 5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $12^{\circ}C$ นาน 3 สัปดาห์	207

4.5.3 (2)	ลักษณะภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาหลังการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบด้วยสารเคลือบ เซลลูล์โลสพื้นฐาน (S10%) และ สูตรที่ คัดแปลงด้วย ไซคาร์บูเนียร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC 7.5%) และ ไซเซลลูล์ 5% (SW 5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 2 สัปดาห์	208
4.5.3 (3)	ลักษณะภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาหลังการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบด้วยสารเคลือบ เซลลูล์โลสพื้นฐาน (S10%) และ สูตรที่ คัดแปลงด้วย ไซคาร์บูเนียร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC 7.5%) และ ไซเซลลูล์ 5% (SW 5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	209
4.5.4	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพื้นผิวของขนเงาที่ไม่ได้ถูกเคลือบ (A) และพื้นผิวของขนเงาที่ เคลือบด้วยเซลลูล์โลสพื้นฐานคัดแปลงด้วยไซเซลลูล์ 7.5% (B) ภาพตัดขวางของเปลือกเงาที่ไม่ได้ เคลือบ (C) และพื้นผิวของเปลือกเงาที่เคลือบด้วยเซลลูล์โลสพื้นฐานคัดแปลงด้วยไซเซลลูล์ 7.5% (D) บริเวณที่ถูกครีซหรือชั้นของสารเคลือบ	210
4.5.5	การเปลี่ยนแปลงค่า (L*), (a*) และ (b*) ของเปลือกผลเงาที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสาร เคลือบเซลลูล์โลสพื้นฐาน (S10%), สูตรคัดแปลงด้วยไซคาร์บูเนียร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไซ เซลลูล์ 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้น สัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	213
4.5.6	การเปลี่ยนแปลงค่า (L*), (a*) และ (b*) ของเปลือกด้านในผลเงาที่ไม่เคลือบผิว (Control)) เคลือบผิว ด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสพื้นฐาน (S10%), สูตรคัดแปลงด้วยไซคาร์บูเนียร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไซเซลลูล์ 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	214
4.5.7	การเปลี่ยนแปลงค่า L*, a* และ b* ของเนื้อผลเงาที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบ เซลลูล์โลสพื้นฐาน (S10%), สูตรคัดแปลงด้วยไซคาร์บูเนียร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไซเซลลูล์ 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	215
4.5.8	คะแนนการเกิดขนดำ (บน) โดย 0 หมายถึง ขนไม่ดำ และ 4 หมายถึง ขนดำมาก และเปอร์เซ็นต์การ เกิดผลเน่า (ล่าง) ของผลเงาที่ไม่เคลือบผิว (Control)) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสพื้นฐาน (S10%), สูตรคัดแปลงด้วยไซคาร์บูเนียร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไซเซลลูล์ 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	216
4.5.9	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลเงาที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลส พื้นฐาน (S10%), สูตรคัดแปลงด้วยไซคาร์บูเนียร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไซเซลลูล์ 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85- 95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	217
4.5.10	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลเงาที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลส พื้นฐาน (S10%), สูตรคัดแปลงด้วยไซคาร์บูเนียร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไซเซลลูล์ 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85- 95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	217
4.5.11	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS:a), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA:b) และปริมาณของแข็งที่	220

	ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA: c) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control)) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%), สูตรดัดแปลงด้วยไฮคาร์บอนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไบเซลเล็ก 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	
4.5.12	ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ :a) ความเข้มข้นออกซิเจน (O ₂ :b) และความเข้มข้นเอทิลีน (C ₂ H ₄ :c) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control)) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%), สูตรดัดแปลงด้วยไฮคาร์บอนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไบเซลเล็ก 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	221
4.5.13	ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ :a) ความเข้มข้นออกซิเจน (O ₂ :b) และความเข้มข้นเอทิลีน (C ₂ H ₄ :c) ภายในผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%), สูตรดัดแปลงด้วยไฮคาร์บอนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไบเซลเล็ก 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	222
4.5.14	ปริมาณแอลกอฮอล์ของเงาะที่ไม่เคลือบ เคลือบสารเคลือบผิว และบรรจุพลาสติก) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%), สูตรดัดแปลงด้วยไฮคาร์บอนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไบเซลเล็ก 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P เก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	223
4.5.15	คะแนนคุณภาพลักษณะภายนอก การมีสีดำของ สีขนและเปลือก (a) และสีเนื้อ (b) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%) และ สูตรที่ดัดแปลงด้วยไฮคาร์บอนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไบเซลเล็ก 5% (SW5%), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	226
4.5.16	คะแนนความเงะ (a) และความกรอบ (b) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%) และ สูตรที่ดัดแปลงด้วย ไฮคาร์บอนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไบเซลเล็ก 5% (S3), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	227
4.5.17	คะแนนความหวาน (a) และความเปรี้ยว (b) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%) และ สูตรที่ดัดแปลงด้วย ไฮคาร์บอนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไบเซลเล็ก 5% (S3), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	228
4.5.18	คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (a) และความชอบ (b) ของผลเงาะที่ไม่เคลือบผิว (Control) และเคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%) และ สูตรที่ดัดแปลงด้วย ไฮคาร์บอนาร์ 5 % (SC5%), 7.5 % (SC7.5%) , ไบเซลเล็ก 5% (S3), 7.5 % (SW7.5%) และบรรจุ 1P และ 2P ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 3 สัปดาห์	229
4.6.1	ลักษณะภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบและหลังผ่านการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ดัดแปลงด้วยไฮคาร์บอนาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกในสัปดาห์ที่ 0 ที่อุณหภูมิ 12 °ซ/ วันที่ 0 ที่อุณหภูมิ 20 °ซ	232
4.6.2	ลักษณะภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบ	233

	เซลแล็กต์ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก ในตะกร้าและถุงพลาสติกของการเก็บรักษาใน สัปดาห์ที่ 0 ที่อุณหภูมิ 12 °ซ/วันที่ 1 2 และ 3 ที่อุณหภูมิ 20 °ซ	
4.6.3	ลักษณะภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบ เซลแล็กต์ดัดแปลงด้วยไซคาร์บูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก ในตะกร้าของสัปดาห์ที่ 1 ที่อุณหภูมิ 12 °ซ/ วันที่ 0 ที่ อุณหภูมิ 20 °ซ	234
4.6.4	ลักษณะภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบ เซลแล็กต์ดัดแปลงด้วยไซคาร์บูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าและถุงพลาสติกของการเก็บรักษาใน สัปดาห์ที่ 1 ที่อุณหภูมิ 12 °ซ/วันที่ 1 2 และ 3 ที่อุณหภูมิ 20 °ซ	235
4.6.5	ภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบเซลแล็กต์ ดัดแปลงด้วยไซคาร์บูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าของสัปดาห์ที่ 2 ที่อุณหภูมิ 12 °ซ/ วันที่ 0 ที่อุณหภูมิ 20 °ซ	236
4.6.6	ลักษณะภายนอก (A) และภายใน (B) ของผลเงาะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบ เซลแล็กต์ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าและถุงพลาสติกของการเก็บรักษาใน สัปดาห์ที่ 1 ที่อุณหภูมิ 12 °ซ/วันที่ 0, 1 และ 3 ที่อุณหภูมิ 20 °ซ	237
4.6. 7	การเปลี่ยนแปลงค่า L* (A-C), a* (D-F) และ b* (G-I) ของเปลือกผลเงาะไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วย สารเคลือบเซลแล็กต์ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A,D,G), 1 (B,E,H), และ 2 (C,F,I) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ดงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	242
4.6.8	การเปลี่ยนแปลงค่า L* (A-C), a* (D-F) และ b* (G-I) ของเปลือกด้านในเงาะไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วยสารเคลือบเซลแล็กต์ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A,D,G), 1 (B,E,H), และ 2 (C,F,I) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ดงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	243
4.6. 9	การเปลี่ยนแปลงค่า L* (A-C), a* (D-F) และ b* (G-I) ของเนื้อเงาะไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วยสาร เคลือบเซลแล็กต์ดัดแปลงด้วย carnauba wax 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A,D,G), 1 (B,E,H), และ 2 (C,F,I) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ดงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	244
4.6.10	คะแนนการเกิดขนดำของผลเงาะไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วยสารเคลือบเซลแล็กต์ ดัดแปลงด้วย carnauba wax 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A), 1 (B), และ 2 (C) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุ ถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ดงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	245
4.4.11	เปอร์เซ็นต์การเกิดผลเน่าของผลเงาะไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วยสารเคลือบเซลแล็กต์ ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A), 1 (B), และ 2 (C) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุ ถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ดงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	245
4.6.12	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลเงาะไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วยสารเคลือบเซลแล็กต์ดัดแปลงด้วย	257

	ไขคาร์นูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A), 1 (B), และ2 (C) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ถุงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	
4.6.13	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลเงาะ ไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วยสารเคลือบเซลล์กั ดัดแปลง ด้วย carnauba wax 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A), 1 (B), และ2 (C) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ถุงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	247
4.6.14	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS:A-C), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA:D-F) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA:G-I) ของเงาะไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วยสารเคลือบเซลล์กัดัดแปลงด้วย ไขคาร์นูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A,D,G), 1 (B,E,H), และ2 (C,F,I) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ถุงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	252
4.6.15	ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ :A-C), ความเข้มข้นออกซิเจน (O ₂ :D-F) และความเข้มข้นเอทิลีน (C ₂ H ₄ :G-I) ของเงาะไม่เคลือบผิว และเคลือบผิว ด้วยสารเคลือบเซลล์กัดัดแปลงด้วย ไขคาร์นูบาร์ 5 % โดยน้ำหนัก บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A,D,G), 1 (B,E,H), และ2 (C,F,I) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ถุงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	253
4.6.16	การวัดคุณภาพในการรับประทาน คุณลักษณะภายนอก (สีขนและเปลือก, A-C) และ สีเนื้อ (D-F) ของผลเงาะไม่เคลือบผิว และ ไม่เคลือบผิว บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A, D), 1 (B, E), และ2 (C, F) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ถุงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	254
4.6.17	การวัดคุณภาพในการรับประทาน ความและ (A-C) และ ความกรอบ (D-F) ของผลเงาะไม่เคลือบผิว และ ไม่เคลือบผิว บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A, D), 1 (B, E), และ2 (C, F) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ถุงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	255
4.6.18	การวัดคุณภาพในการรับประทาน ความหวาน (A-C) และ ความเปรี้ยว (D-F) ของผลเงาะไม่เคลือบผิว และ ไม่เคลือบผิว บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A, D), 1 (B, E), และ2 (C, F) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ถุงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	256
4.6.19	การวัดคุณภาพในการรับประทาน กลิ่นและรสชาติผิดปกติ (A-C) และความชอบ (D-F) ของผลเงาะไม่เคลือบผิว และ ไม่เคลือบผิว บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 0 (A, D), 1 (B, E), และ2 (C, F) สัปดาห์ ก่อนย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 3 วัน โดยนำผลเงาะส่วนหนึ่งมาบรรจุถุงพลาสติกของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ถุงละ 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับผลเงาะบรรจุในตะกร้า	257
4.6.20	ลักษณะปรากฏของเงาะ โรงเรียนที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์กัดัดแปลง แล้วส่งออกไปจัดจำหน่ายในรัฐดูไบ หลังการเคลือบผิวประมาณ 3 วัน	258
4.6.21	จดหมายแสดงความเห็นในการใช้งานสารเคลือบเงาะ โรงเรียนเพื่อส่งออกจากผู้ประกอบการ	259

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อ	หน้า
2.1-1	ตัวอย่างสารเคลือบผิวต่างๆ	3
2.1-2	องค์ประกอบของครั่งดิบ (stick lac) ครั่งเม็ด (seed lac) และเซลแล็ค (shellac)	4
2.1-3	องค์ประกอบทางเคมีของไซเซลแล็ค	7
2.1-4	องค์ประกอบทางเคมีของไซคาร์นูบาร์	8
2.1-5	ลักษณะสมบัติทางเคมีของเซลแล็ค ไซเซลแล็ค ไซคาร์นูบาร์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	9
2.4-1	ลักษณะทางเคมีของเงาสายพันธุ์ต่างๆ ในขณะที่ถูกเก็บเกี่ยว	16
2.6-1: (1) –(3)	สูตรสารเคลือบที่มีการรายงานในบทความวิจัย	22-24
2.6-2	สูตรสารเคลือบที่มีการใช้ทางการค้า	25
3.4-1	องค์ประกอบของสารเคลือบสูตรต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย	30
3.7-1	แบบประเมินความพึงพอใจของฟิล์มสารเคลือบ	36
3.8-1	ตารางประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมสำหรับมะม่วง	44
3.8-2	ตารางประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมกล้วยไข่	46
3.8-3	ตารางประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมส้มโอ	50
3.8-4	ตารางประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมเงาะ	54
4.1-1	สรุปสถานะที่เหมาะสมในการใช้งานสารเคลือบผลไม้ชนิดต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้ในระดับห้องปฏิบัติการ	60
4.1-2	ลักษณะภายนอกของฟิล์มสารเคลือบแต่ละสูตร	62
4.1-3	ลักษณะสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบเซลแล็คและเซลแล็คดัดแปลง	64-65
4.1-4	ค่าการยอมให้แพร่ผ่านของฟิล์มและบรรจุภัณฑ์เพื่อการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ และส้มโอที่มีรายงานวิจัยมาก่อน	74
4.2-1	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะม่วงผลดิบ ไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติก (CONTROL), เคลือบผิวด้วยเซลแล็ค สูตรพื้นฐาน (S10%) และสารเคลือบดัดแปลงด้วยไซคาร์นูบาร์(SC5%, SC7.5%) และ ไซเซลแล็ค (SW5%, SW7.5%) และมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5 ในสัปดาห์ที่ 4	129
4.2-2	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะม่วงผลบ่มสุก ไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติก (Control), เคลือบผิวด้วยเซลแล็ค สูตรพื้นฐาน (S10%) และสารเคลือบดัดแปลงด้วยไซคาร์นูบาร์(SC 5%, SC 7.5%) และ ไซเซลแล็ค (SW 5%, SW 7.5%) และมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5 ในสัปดาห์ที่ 4	130
4.3-1	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของกล้วยไข่ก่อนบ่ม ไม่ได้เคลือบสารเคลือบผิว และเคลือบสารเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์	152
4.3-2	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของกล้วยไข่หลังบ่ม ไม่ได้เคลือบสารเคลือบผิว และเคลือบสารเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์	153
4.3-3	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยไข่หลังบ่ม ไม่ได้เคลือบสารเคลือบผิว และเคลือบสารเคลือบผิว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์	154

4.4-1	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของส้มโอไม่ได้เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยสูตร เซลล์พื้นฐาน สูตรดัดแปลงต่างๆ เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5 ในสัปดาห์ที่ 8	200
4.4-2	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของส้มโอไม่ได้เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยสูตร เซลล์พื้นฐาน สูตรดัดแปลงต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 70±5 ในสัปดาห์ที่ 4	201
4.5-1	ตัวอย่างปริมาณสารเคลือบเซลล์สูตรที่ดัดแปลงด้วยโซคาร์บูนา 5 % ที่ใช้และปริมาณของแข็งที่ เหลือในการจุ่มเคลือบเงาครั้งละ 1 กิโลกรัม/สารเคลือบปริมาตร 9 ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการ	204
4.5-2	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีกับการประเมินทางประสาทสัมผัสของเงาที่ไม่ เคลือบผิว (Control) และเคลือบด้วยเซลล์สูตรต่างๆ และที่บรรจุถุง 1P และ 2P เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 °ซ เป็นเวลา 2 สัปดาห์	230
4.7-1	วิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของสารเคลือบเซลล์และสูตรดัดแปลง	261
4.7-2	วิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของสารเคลือบเซลล์และสูตรดัดแปลง	262
4.7-3	ราคาสารเคลือบทางการค้าที่มีขายตามท้องตลาดในปัจจุบัน	263

บทที่ 1

บทนำ

เชลแล็ค (shellac) เป็นสารเรซินธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาจากแมลง *Laccifer lacca* (ครั่ง) หรือ *Tachardia lacca* พบได้ในประเทศไทยและประเทศในแถบเอเชียใต้ เช่น อินเดีย ปากีสถาน และศรีลังกา ส่วนประกอบหลักของเชลแล็คคือกรดไขมันเพียงสามชนิด คือ กรดอะลอรติก (aleuritic acid; น้ำหนักโมเลกุล = 304) กรดเชลโลลิก (shellolic acid; น้ำหนักโมเลกุล = 296) และกรดจาลาริก (jalaric acid; น้ำหนักโมเลกุล = 280) [Golz-Berner และ Kastrow, 2001] เป็นส่วนประกอบสำคัญในสารเคลือบเปลือกผลไม้ที่ผลิตทางการค้า โดยเฉพาะเปลือกส้ม โดยมีหน้าที่สำคัญคือให้ลักษณะที่สวยงามแก่ผลไม้และลดการสูญเสียน้ำที่จะทำให้อายุการเก็บรักษายืนยาวออกไป อย่างไรก็ตามผลของสารเคลือบผิวเชลแล็คแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดของผลไม้ ในปัจจุบันมีสารเคลือบเปลือกผลไม้ที่ผลิตจากเชลแล็คส่งมาขายในประเทศประมาณ 6 ชนิด ราคาอยู่ในช่วง 17,000 – 25,000 บาทต่อ 200 ลิตร ประเทศไทย และอินเดีย มีการเลี้ยงครั่งเป็นจำนวนมากที่สุดเพื่อการค้าป้อนตลาดโลก สำหรับประเทศไทย โรงงานผู้ผลิตอยู่ทางภาคเหนือทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากครั่ง ซึ่งคือ ครั่งเม็ด (seed-lac) เชลแล็คแผ่น (flaked shellac) และเชลแล็คขาว (bleached shellac) โดยในประเทศไทยมีการผลิตเชลแล็คขาวเกรดอาหาร (food grade) ที่มีคุณภาพดี และมีสีเฉพาะตัว

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเชลแล็คตั้งแต่ปี 2549 (สิริ้ง ปรีชา นนท์ ไชโรดา กนกพานนท์ ภา ศิวรังสรรค์ และอภิธา บุญศิริ, 2549) โดยมีการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการกับผลไม้ไทยหลายชนิดอย่างต่อเนื่อง มีการพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารแขวนลอยของเชลแล็คในน้ำ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้เขตร้อนสามชนิด คือ ทุเรียน มังคุด และมะม่วง จนได้สูตรของสารละลายเชลแล็คที่ใช้ได้ในการรักษาคุณภาพผลไม้เหล่านั้นที่มีคุณภาพสูงกว่าสารเคลือบที่มีองค์ประกอบคล้ายกันแต่นำเข้ามาจากต่างประเทศ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะขยายขนาดการทดสอบเพื่อเป็นแนวทางและผลักดันให้เกิดการใช้สารเคลือบที่ผลิตในประเทศ ซึ่งมีผลการวิจัยรองรับ และมีการปรับสูตรให้เข้ากับผลไม้ไทยแต่ละกลุ่ม รวมทั้งการขยายชนิดของผลไม้ที่ใช้ทดสอบ โดยเลือกผลไม้ที่มีศักยภาพสูงในการส่งออก และผลไม้ที่มีความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ มะม่วงเงาะ กล้วยไข่ และ ส้มโอ โดยพัฒนามาบนพื้นฐานของสูตรที่เคยพัฒนามาแล้ว ที่ประกอบด้วยเชลแล็คเป็นองค์ประกอบหลัก มีเสนอการดัดแปลงสูตรด้วยการเพิ่มสารจากธรรมชาติ 2 ชนิดเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของสารเคลือบ ได้แก่การเติมสกลัดซึ่งเป็นสมุนไพรที่น้ำจะป้องกันการเกิดโรคบนผลไม้ หรือการเติมไข (wax) ของเชลแล็ค ซึ่งเป็นผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมผลิตเชลแล็คในประเทศที่ยังไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ และไขคาร์นูบา ซึ่งมีการใช้ประกอบสารเคลือบผลไม้

ทางการค้า มีการทดสอบลักษณะสมบัติทางเคมีกายภาพของไขสูตรปรับปรุงชนิดต่างๆ แล้วเลือกมาทดสอบประสิทธิภาพการรักษาคุณภาพผลไม้ไทย 4 ชนิดในระดับห้องปฏิบัติการโดยเลียนแบบสภาพการส่งออก ก่อนทดสอบในระดับการค้ากับผลไม้ 1 ชนิดเพื่อการส่งออก มีความร่วมมือกับผู้ค้าผลไม้และการประเมินต้นทุนการผลิตสารเคลือบ ผลที่จะได้จากงานวิจัยนี้จึงจะมีประโยชน์โดยตรงต่อผู้ค้าและผู้ส่งออกผลไม้เขตร้อนที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจของไทย รวมทั้งเกษตรกรผู้ปลูกผลไม้ ผู้บริโภค ผู้เลี้ยงกุ้ง และปลูกปาล์มน้ำมัน และภาคอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์ของประเทศ

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเซลล์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และป้องกันการเกิดโรคในผลไม้ไทย 4 ชนิด คือ มะม่วง เงาะ กล้วยไข่ และส้มโอ โดยมีวัตถุประสงค์จำเพาะต่อไปนี้

- 1) เพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวผลไม้จากสารละลายเซลล์ และสารละลายเซลล์ดัดแปลงด้วยสารสกัดจากข่า หรือดัดแปลงด้วยไข (wax) ชนิดต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และป้องกันการเกิดโรคในผลไม้ไทย 4 ชนิด คือ มะม่วง เงาะ กล้วยไข่ และส้มโอ
- 2) เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพในการเก็บรักษาและการป้องกันการเกิดโรคของสารเคลือบเซลล์ในการเคลือบผิวผลไม้ในผลไม้ไทย 4 ชนิดดังกล่าว
- 3) เพื่อทดสอบการผลิตและการใช้งานจริง สารเคลือบในระดับการค้ากับผลไม้ 1 ชนิด

บทที่ 2

ทฤษฎีและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเคลือบผิวผลไม้

การเคลือบผิวสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และการเหี่ยวของผิวของผลไม้ เนื่องจากการเคลือบผิวทำให้ช่องเปิดต่างๆ และรอยแผลถูกปกคลุมบางส่วนทำให้ลดการสูญเสียน้ำ และลดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้อีกด้วย ถือว่าเป็นการใช้สภาพบรรยากาศดัดแปลงลดปริมาณออกซิเจน เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ (คณัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนพานนท์, 2548) หลังจากการเก็บเกี่ยวและการทำความสะอาดผลไม้ ไซธรรมชาติที่ผิวของผลไม้อาจหลุดหายไป การเคลือบผิวนั้นช่วยทดแทนไซธรรมชาติที่หลุดหายไปแต่ปริมาณการเคลือบไซจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของไซและผลไม้เป็นหลัก หากหนาเกินไปอาจทำให้เกิดการหายใจแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติเกิดความผิดปกติ คุณภาพของผลไม้เปลี่ยนแปลงไป การเลือกชนิดและปริมาณของไซที่เหมาะสมทำให้ช่วยเก็บรักษาผลไม้ได้นานขึ้น ไซที่นิยมนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวที่ได้จาก พืช สัตว์ ปิโตรเลียม และไซจากการสังเคราะห์ ดังตารางที่ 2.1-1 เรซินธรรมชาติ เช่น เชลแล็ค (Shellac) ไซคาร์นุบา (Carnauba wax) และไซเชลแล็ค (Shellac wax) เป็นสิ่งที่ผู้สนใจให้ความสนใจ เนื่องจากไม่มีพิษต่อร่างกายและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

ตารางที่ 2.1-1: ตัวอย่างสารเคลือบผิวต่างๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

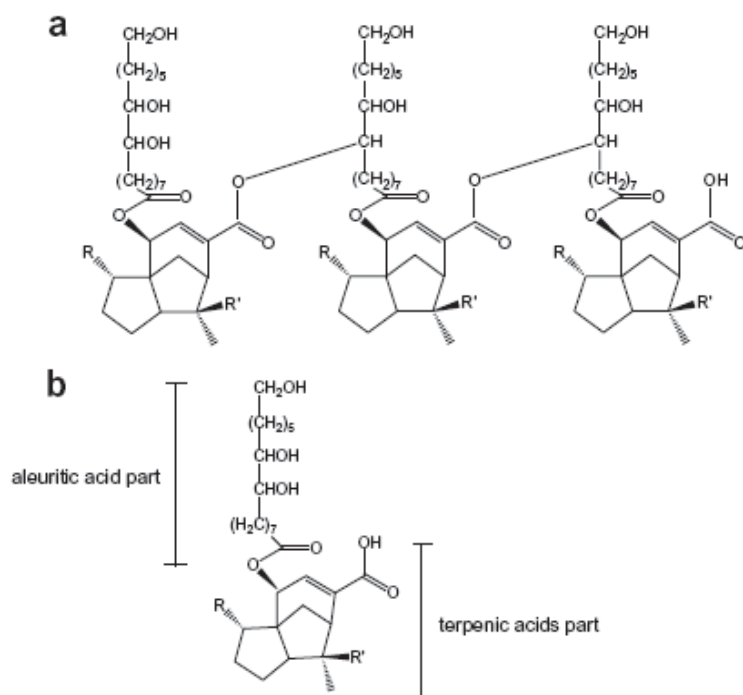
ชนิดของไซ	แหล่งที่มา	ลักษณะสมบัติ
Carnauba	ต้นปาล์ม	สกัดจากผิวของต้นปาล์ม มีความมันเงาสูง ไม่มีพิษ ราคาแพง จุดหลอมเหลว 84-96 องศาเซลเซียส
Candelilla	วัชพืช <i>Pedilanthus pavonis</i>	สกัดจากต้นวัชพืช <i>Pedilanthus pavonis</i> มีความมันเงารองจาก Carnauba wax
Shellac	แมลงครั่ง	สารคัดหลั่งจากแมลงครั่ง มีความมันเงาสูง จุดหลอมเหลว 72-80 องศาเซลเซียส
Paraffin	น้ำมันปิโตรเลียม	ลักษณะเป็นของแข็งสีขาว อ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่น

2.1.1 เชลแล็ค (shellac)

ครั่งหรือเชลแล็คเป็นสารธรรมชาติที่ขับถ่ายออกมาตามลำตัวของแมลงครั่งซึ่งได้อาศัยตามต้นไม้บางชนิด สำหรับประเทศไทยมีการเลี้ยงกันทางภาคเหนือ อีสาน และภาคกลางตอนเหนือ และยังมีในประเทศอินเดียและประเทศพม่า เชลแล็คมีส่วนประกอบของเรซิน สี ไขเชลแล็ค กลูเตน และสิ่งเจือปน ครั่งดิบ (stick lac) ที่ถูกแกะออกจากต้นไม้ที่ใช้เลี้ยงครั่ง ซึ่งยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่มาก มีลักษณะเหนียว นุ่ม มีสีเหลืองทอง ครั่งเม็ด (seed lac) เป็นครั่งที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดเพื่อแยกสิ่งเจือปนออกโดยการย่อย กรองด้วยตะแกรงและล้างน้ำ จนกระทั่งได้สารที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมๆ สีแดงเข้ม พบว่าผลพลอยได้จากครั่งดิบได้เป็นครั่งเม็ดประมาณ 66% เชลแล็ค เป็นครั่งเม็ดที่ถูกกำจัดสีโดยล้างด้วยโซเดียมคาร์บอเนต ฟอกสีด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ จากนั้นตกตะกอนด้วยสารละลายกรด ผ่านกระบวนการทำให้แห้ง และรีดเป็นแผ่นบาง ผลพลอยได้จากครั่งเม็ดได้เป็นเชลแล็คประมาณ 87% (Sequeira and Bezkorowajnyj, 1998) เรซินเป็นส่วนประกอบหลักในเชลแล็คซึ่งเป็นสารพอลิเอสเทอร์ประกอบไปด้วยมวลโมเลกุลเท่ากับ 1,000 แต่ละโมเลกุลประกอบไปด้วยไฮดรอกซิล 4-5 หมู่ คาร์บอกซิลิก 1 พันธะชนิดไม่อิ่มตัวเอสเทอร์ 2-3 หมู่ (Xia et al., 2006) องค์ประกอบของครั่งแสดงในตารางที่ 2.1-2

ตารางที่ 2.1-2: องค์ประกอบของครั่งดิบ (stick lac) ครั่งเม็ด (seed lac) และเชลแล็ค (shellac)
(Hatchett, 1804)

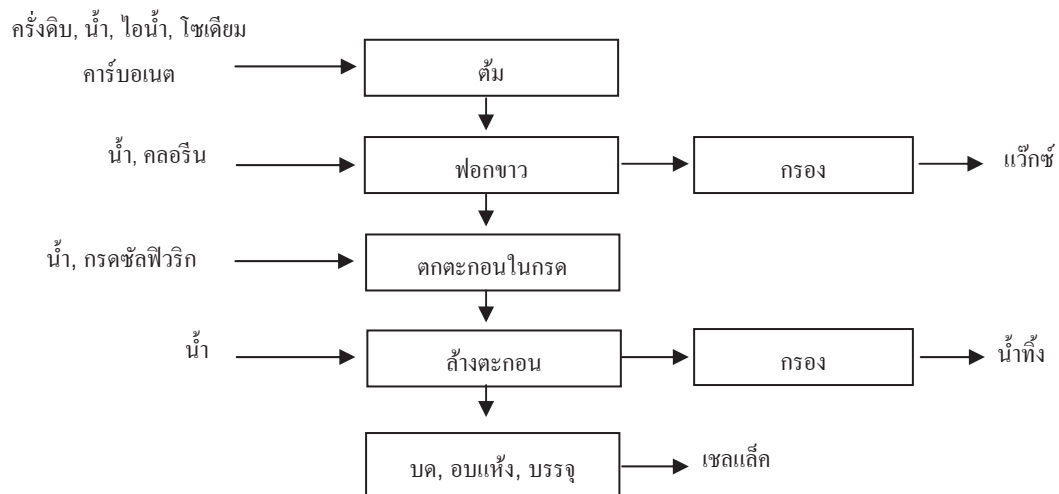
องค์ประกอบ	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)		
	ครั่งดิบ (stick lac)	ครั่งเม็ด (seed lac)	เชลแล็ค (shellac)
เรซิน	68.0	88.5	90.9
ไข	6.0	4.5	4.0
สี	10.0	2.5	0.5
กลูเตน	5.5	2.0	2.8
ความชื้น	4.0	2.5	1.8
สิ่งเจือปน	6.5	-	-



รูปที่ 2.1.1 โครงสร้างของเซลแล็ค (a) พอลิเอสเทอร์และ (b) เอสเทอร์โมเลกุลเดี่ยวที่เป็นองค์ประกอบของเรซิน (Limmatvapirat et al., 2008)

เซลแล็คเป็นพอลิเอสเทอร์ที่เกิดจาก aliphatic hydroxyl acids และ alicyclic hydroxyl acids ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ กรดอะเลอริติก (aleuritic acid) และกรดเทอร์ปีนิก (terpenic acid) ตามลำดับ ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ คือ กรดจาลาริก (jalaric acid) และกรดแลคซิจาลาริก (laccijalaric acid) ดังรูป 2.1.1 ส่วนประกอบหลักของเรซินเซลแล็คเป็นเรซินแข็ง ที่ประกอบไปด้วยพอลิเอสเทอร์สายสั้นๆ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 1900 และเรซินอ่อน ที่ประกอบด้วยเอสเทอร์โมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆ หลายชนิด มีมวลโมเลกุลประมาณ 500 (Banerjee et al., 1982) ตัวอย่างขั้นตอนการผลิตเซลแล็คของโรงงานในประเทศไทย ดังรูป 2.1.2 เริ่มจากการนำครั้งดิบมากำจัดเศษไม้ออกก่อน แล้วต้มด้วยน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เติมนโซเดียมคาร์บอเนต แล้วทำการปั่นกววนเพื่อให้ครั้งกลายเป็นสารละลาย แล้วกรองเอาเศษไม้ที่ยังหลงเหลืออยู่โดยผ่านตะแกรง สารละลายจะถูกปล่อยให้เย็นจนมีอุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส แล้วนำไปฟอกสีโดยการค่อยๆ เติมสารละลายคลอรีนแล้วต้มให้เดือดอีกครั้งและปล่อยให้เย็นลง ในขั้นตอนนี้จะได้ใบเซลแล็คลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของสารละลายซึ่งจะถูกตัดออก ต่อจากนั้นใบเซลแล็คที่ได้ถูกนำไปต้มด้วยน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส แล้วใช้ลูกกลิ้งที่มีน้ำเย็นหล่อหมุนผ่าน ซึ่งใบเซลแล็คที่ได้ออกมาสุดท้ายจะมีลักษณะเป็นแผ่นๆ สีน้ำตาลอ่อน

ส่วนสารละลายที่ได้นี้จะถูกนำไปกรองด้วย filter press เพื่อกำจัดไขและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆที่เหลืออยู่ สารละลายที่ได้จะถูกนำไปเติมสารละลายเจือจางของกรดซัลฟริกเพื่อให้เกิดการตกตะกอนในกรด จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปล้างด้วยน้ำและทำให้แห้งด้วยเครื่องเหวี่ยง นำมาบดและอบแห้งในเครื่องอบ ได้เป็นเซลล์ผงที่พร้อมบรรจุเพื่อนำไปขาย



รูปที่ 2.1.2 กระบวนการทั่วไปในการผลิตเซลล์ (จากการสำรวจโรงงานผลิตเซลล์ในประเทศของคณะผู้วิจัย)

เซลล์จึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน ได้แก่

1. อุตสาหกรรมยา มีการนำเซลล์มาเคลือบยาเพื่อป้องกันความชื้น และควบคุมการปลดปล่อยของยา ปัจจุบันความนิยมในการใช้เซลล์ลดน้อยลงเนื่องจากเซลล์ไม่สามารถละลายใน pH ต่ำกว่า 7 ได้ ทำให้ยาไม่สามารถปลดปล่อยที่ลำไส้เล็กได้
2. อุตสาหกรรมอาหาร มีการนำเซลล์เกรดอาหารหรือเซลล์ขาวมาทำการเคลือบลูกกวาด ขนมเพื่อให้มีความมันเงา น่ารับประทาน นอกจากนี้ยังนำมาทำการเคลือบภาชนะบรรจุอาหารและเคลือบผิวของผักและผลไม้เพื่อยืดอายุในการเก็บรักษา
3. อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ใช้ในการเคลือบไม้แลโลหะ ทำให้เกิดความมันเงา สวยงาม ช่วยเพิ่มความทนทาน ป้องกันน้ำและความสกปรกเข้าถึงเนื้อไม้และโลหะได้อีกด้วย
4. อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ ใช้เซลล์เป็นส่วนผสมเพื่อให้เกิดความมันเงาในผลิตภัณฑ์ เช่น ลิปสติก สเปรย์ น้ำยาทาเล็บ เป็นต้น

5.อุตสาหกรรมหมึกพิมพ์ ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อความมันเงา ช่วยให้หมึกติดทน แห้งเร็ว ทนทานกับอากาศและน้ำ

6.อุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมเกี่ยวกับวัสดุฉนวนไฟฟ้า อุตสาหกรรมพลาสติก (Xia et al., 2006)

เซลลูล์มีลักษณะสมบัติเด่น คือ ความสามารถในการแพร่ผ่านของน้ำและอากาศได้น้อย มีความมันเงา สามารถยึดติดได้ดี โดยค่าแสดงลักษณะสมบัติของเซลลูล์มีดังนี้ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เท่ากับ 65-70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (T_m) เท่ากับ 75-80 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เท่ากับ 1.14-1.21 (Sharma et al., 1983) ความสามารถในการแพร่ผ่านของน้ำ (water vapor permeability) เท่ากับ 2.78×10^{-8} กรัม-เมตร/ซั้วโมง-เมตร²-ปาสคาล (Sontaya et al., 2008)

2.1.2 ไบเซลแล็ค (shellac wax)

ไบเซลแล็คเป็นไบชนิดแข็ง ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตเซลแล็ค ดังรูปที่ 2.2 มีไบเป็นองค์ประกอบในครั้งอยู่ประมาณ 4% ไบมีลักษณะเป็นเกล็ดสีน้ำตาล มีจุดหลอมเหลวในช่วง 74-80 องศาเซลเซียส มีความมันเงาสูง จึงมีการนำมาใช้แทนไบคาร์นูบา (carnauba wax) และไบแคนเดลิลา (candelilla wax) (Xia et al., 2006) ปัจจุบันมีการนำไบเซลแล็คมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายๆ ด้าน ซึ่งคล้ายคลึงกับการนำเซลแล็คมาประยุกต์ใช้ เช่น ฉนวนไฟฟ้า การเคลือบยา น้ำยาขัดเงารถยนต์ รองเท้า เฟอร์นิเจอร์ รวมถึงเครื่องสำอาง สเปรย์ ลิปสติก กระดาษ การเคลือบผิวผักและผลไม้ (Xia et al., 2006) องค์ประกอบทางเคมีของไบเซลแล็ค แสดงในตารางที่ 2.1-3 และ 2.1-5

ตารางที่ 2.1-3: องค์ประกอบทางเคมีของไบเซลแล็ค (Edwards and Falk, 1997; Moloney, 2005)

Fatty ester (C_{14} - C_{34})	70-82%
Fatty alcohols (C_{26} - C_{34})	8-14%
Free acid	1-4%
Hydrocarbon	1-6%

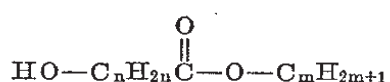
2.1.3 ไบคาร์นูบา (carnauba wax)

ไบคาร์นูบาสกัดได้จากใบของต้นคาร์นูบา (*copernicia cerifera mart.*) ซึ่งเป็นต้นไม้ในตระกูลปาล์ม มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิล

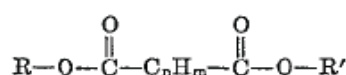
(Thomas, 1961) สีของไขคาร์นูบาสามารถบ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ของไขได้ โดยมีสีตั้งแต่น้ำตาลอ่อนจนถึงสีเหลืองอ่อน มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 83-86 องศาเซลเซียส ไขคาร์นูบาได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายๆ ด้าน สามารถนำมาประยุกต์ใช้เช่นเดียวกับในไขเซลแล็คสามารถใช้แทนกันได้ ดังตารางที่ 2.1-4 และ 2.1-5 ส่วนประกอบหลักของไขคาร์นูบาประกอบไปด้วย hydroxyl acid ester และ di-esters ดังรูปที่ 2.1.3

ตารางที่ 2.1-4: องค์ประกอบของไขคาร์นูบา (Maurice and Kelley, 1944)

Hydroxyl acid ester	53.0-55.0%
Di-esters	19.0-21.0%
Free acids	3.0-3.5%
Alcohols	2.0-3.0%
Hydrocarbon	1.5-3.0%
Resins	4.0-6.0%



(a)



(b)

รูปที่ 2.1.3 โครงสร้างส่วนประกอบหลักของไขคาร์นูบา (a) hydroxyl acid ester เมื่อ n, m เท่ากับ 18-30 และ 24-34 ตามลำดับ (b) di-esters เมื่อ n, m เท่ากับ 2-8 และ $2n$ หรือ $2n-2$ และ R หรือ R' คือ alkyl group เมื่อ carbon atoms เท่ากับ 16-22 (Thomas et al., 1961)

จากงานวิจัยที่มีการนำไขคาร์นูบาความเข้มข้น 2, 3, 4.5, 9% มาเคลือบผิวของผลลูกพลัม เพื่อป้องกันความเสียหายและการเกิดโรค ซึ่งลดความเสียหายที่เกิดกับผลลูกพลัมได้ ที่ความเข้มข้น 9% สามารถลดการเกิดโรคได้ถึง 90% (Fabricio *et al.*, 2010) การเคลือบเปลือกมะม่วงพันธุ์ cat hoa loc ในประเทศเวียดนาม ด้วยสารเคลือบที่มีไขคาร์นูบาเป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้การสูญเสีย น้ำหนักลดลง ชะลอการสุกของมะม่วง และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ (Hoa and Ducamp, 2008)

มะม่วงโชนันต์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบหลัก โดยมีความเข้มข้น 0, 2, 4, 6% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เกิดโรคซ้ำกว่า สูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า และมีลักษณะภายนอกที่ดีกว่ามะม่วงที่ไม่ถูกเคลือบ โดยพบว่ามะม่วงเคลือบด้วยไขมัน 4% สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้มากที่สุด (มงคล อินทะหลุก, 2548)

ตารางที่ 2.1-5: ลักษณะสมบัติทางเคมีของเซลแล็ค ไชเซลแล็ค ไชคาร์บูบา ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ไข (wax)	acid value (มิลลิกรัมKOH/ กรัม)	ester value (มิลลิลิตรกรัม KOH/กรัม)	melting point (องศา เซลเซียส)
เซลแล็คฟอกขาว (บริษัท เอกเซล แลคส์ จำกัด (ลำปาง))	70-95	N/A	60-75
ไชเซลแล็ค (บริษัท เอกเซลแลคส์ จำกัด (ลำปาง))	4	38	79
ไชคาร์บูบา (บริษัท สงหวด จำกัด)	7	81	83

หมายเหตุ ค่าความเป็นกรด (acid value) คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (mg KOH) ที่ทำปฏิกิริยาเป็นกลางพอดีกับกรดในไข 1 กรัม ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณกรดในไข 1 กรัม ตามมาตรฐานของ ASTM D 1639 และค่าเอสเตอร์ (ester value) คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (mg KOH) ที่ทำให้เอสเตอร์มีสภาพเป็นกลางใน 1 กรัมของไข ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณเอสเตอร์ในไข 1 กรัม ตามมาตรฐานของ ASTM D 6871-03

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในผลไม้

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในผลไม้ เช่น การเจริญเติบโต การหายใจ การคายน้ำ การสุก และการเสื่อมสลาย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) การแปรรูปสารอาหารให้กลายเป็นพลังงาน แม้ว่าผลผลิตจะผ่านการเก็บเกี่ยวมาแล้ว แต่กระบวนการทางชีววิทยาเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาทำให้องค์ประกอบต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย (จริงแท้ ศิริพานิชและธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

ก. การหายใจ

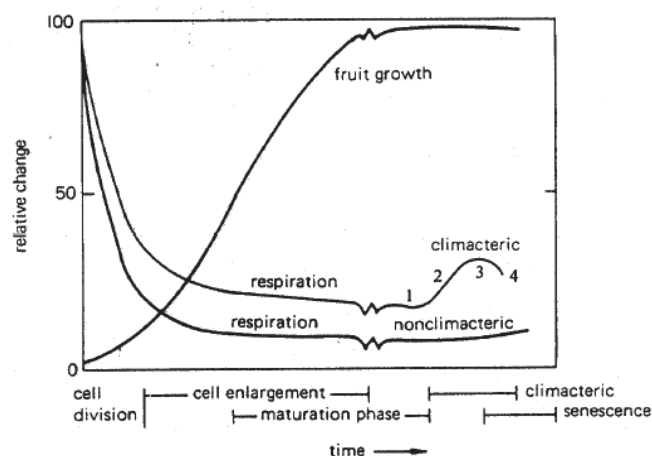
การหายใจเป็นกระบวนการเผาผลาญอาหารที่สะสมอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไปเป็นพลังงาน โดยกระบวนการหายใจทำให้อาหารที่ถูกเก็บสะสมลดน้อยลง และหากอัตราการหายใจสูงจะทำให้คุณภาพในการบริโภคต่ำลงด้วย (จริงแท้ ศิริพานิชและธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์ 2549) การหายใจดังสมการต่อไปนี้



อัตราการหายใจเป็นสิ่งที่แสดงถึงอายุหลังการเก็บรักษา ผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำจะสามารถเก็บรักษาได้นานซึ่งนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาของผักและผลไม้ (สายชล เกตุษา, 2528) จากสมการจะได้พลังงานออกมาใช้ประโยชน์ได้ทันที (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ลักษณะการหายใจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังรูปที่ 2.2.1

ประเภทแรก อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในขณะที่ผลไม้สุก เป็นผลไม้ประเภท climacteric จากรูป 2.3 แบ่งระยะเป็น 4 ระยะการหายใจ (1) pre-climacteric (2) climacteric rise (3) climacteric peak และ (4) post-climacteric เช่น น้อยหน่า มะละกอ ขนุน กีวี สาเล่ ท้อ พลับ กว๊าว พุริณ มะม่วง

ประเภทที่สอง อัตราการหายใจมีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือลดลงเรื่อยๆ เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric เช่น องุ่น สับปะรด ลำไย ลองกอง มะนาว ส้มชนิดต่างๆ (สายชล เกตุษา, 2528)

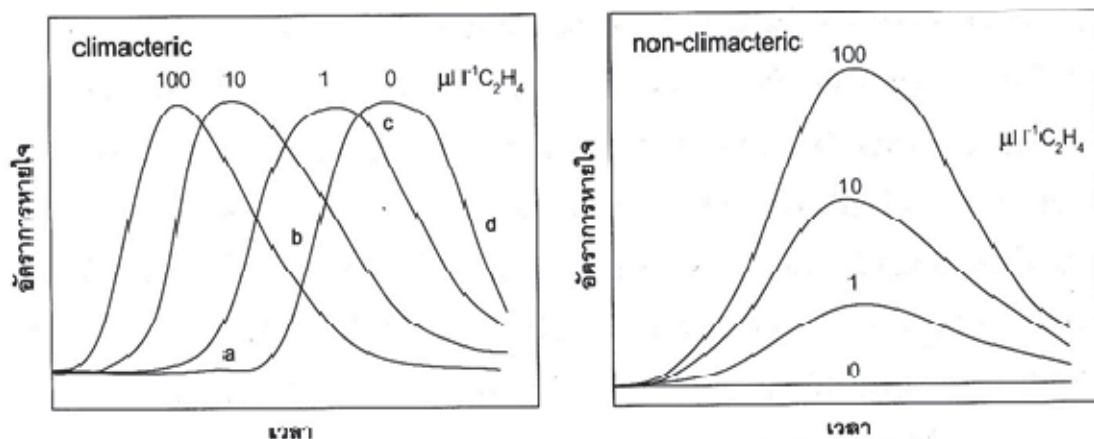


รูปที่ 2.2.1 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงการเจริญเติบโตในระยะต่างๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ข. การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชเพียงชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย เป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทางเคมี $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ เอทิลีนนั้นเป็นฮอร์โมนที่มีอิทธิพลมากต่อผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยทั่วไปแล้วเอทิลีนมักเร่งให้เกิดการชราภาพเร็วขึ้น เช่น การสุกเสียสี เชื้อรา การร่วงของส่วนต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสและรสชาติ การเกิดอาการผิดปกติ การเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้เอทิลีนยังสามารถกระตุ้นผลไม้ประเภท climacteric เกิดระยะ

climacteric rise และ climacteric peak ได้เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อมีเอธิลีนมากขึ้นจะยิ่งเกิดได้เร็วขึ้นแต่ไม่มีผลต่ออัตราการหายใจที่สูงขึ้นมากนัก แต่สำหรับผลไม้ประเภท non-climacteric เอธิลีนจะกระตุ้นให้มีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น ยังมีเอธิลีนมากอัตราการหายใจจะมากขึ้นตามไปด้วย หากไม่มีเอธิลีนแล้วอัตราการหายใจจะลดลงมากใกล้เคียงกับอัตราการหายใจระดับเดิม (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ดังแสดงในรูปที่ 2.2.2



รูปที่ 2.2.2 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

หากต้องการให้การผลิตเอธิลีนน้อยลงสามารถทำได้โดยลดความเข้มข้นของออกซิเจนให้ต่ำลง เนื่องจากในกระบวนการผลิตเอธิลีนต้องการแก๊สออกซิเจนที่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase ซึ่งทำหน้าที่ออกซิไดซ์ ACC เป็นเอธิลีน และหากเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะยับยั้งการทำงานของเอธิลีนในรูปแบบของ competitive inhibitor (Thompson, 1996)

งานวิจัยของเสาวภา ไชยวงศ์ (2547) รายงานการผลิตเอธิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้และสีทอง ในสัปดาห์ที่ 1-4 ว่ามีอัตราการผลิตค่อนข้างต่ำ และเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด (175 – 225 mgCO₂/kg.hr) และลดลงในสัปดาห์ที่ 6-8 ของการเก็บรักษา เสาวภา ไชยวงศ์และธีรพงศ์ เทพภรณ์ (2551) นำส้มโอพันธุ์ทองดีมาทำการเคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติก มีทั้งหมด 5 รูปแบบ ได้แก่ ชุดควบคุม (ไม่เคลือบผิว) เคลือบผิวสารเคลือบทางการค้า ได้แก่ Citrosol AK (Carnuba wax 18%) Honra (Polyethylene wax 13% และ Wood rosin 3%) การหุ้มด้วยฟิล์ม PVC และการบรรจุแบบ liner (bag-in-box type) เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน ทำการวัด internal gas วัดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการเก็บ internal gas ระหว่างการเก็บรักษาทุกๆ 10 วัน หลังจากนั้นย้ายส้มโอมาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน แล้วจึง

ทำการเก็บแก๊ส พบว่าส้มโอพันธุ์ทองดีที่เคลือบผิวด้วยสาร Citrolsol AK แก๊สออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่มีความเข้มข้นภายในผลต่ำที่สุด ในขณะที่เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด คือ 4-8% และ 9% ตามลำดับ ส่วนส้มโอที่ไม่ได้เคลือบผิวมีความเข้มข้น แก๊สใกล้เคียงกับสภาพบรรยากาศปกติ คือ แก๊สออกซิเจน 20% และคาร์บอนไดออกไซด์ 1.4%

ค. การคายน้ำ

พืชสูญเสียน้ำไปโดยการคายน้ำสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำผ่านทางช่องเปิดต่างๆ เช่น ทางปากใบ เลนติเซล ขน หรือทางรอยแผลต่างๆ ปริมาณความชื้นภายในผลซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำค่อนข้างสูงทำให้น้ำจึงเคลื่อนที่ออกจากผล ซึ่งเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก โดยปกติบนเปลือกผลไม้นั้นมีสารคิวทินเคลือบอยู่เพื่อลดการสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา และเพื่อระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำของผลิตผล เช่น ความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณความชื้นในผลิตผล อุณหภูมิ และการเคลื่อนไหวของอากาศ (จริงแท้ ศิริพานิชและธีรนต์ ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2549) ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้และทำการเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นต่ำ ผลไม้จะเกิดการสูญเสียน้ำ ความแน่นเนื้อลดน้อยลง เกิดการเหี่ยวเฉา ไม่ดึงดูดต่อผู้บริโภค ดังนั้น การเคลือบผิวจึงเป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่สามารถลดการคายน้ำได้ เนื่องจากกีดขวางการคายน้ำ

ง. น้ำตาลและแป้ง

ผลไม้หลายชนิดสะสมแป้งและน้ำตาลเป็นอาหาร กระบวนการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาลในผลไม้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท เมื่อผลเริ่มแก่ คาร์โบไฮเดรตจะถูกสะสมมากขึ้น และเมื่อเกิดกระบวนการสุก คาร์โบไฮเดรตเหล่านั้นจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซึ่งเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการหายใจ ทำให้ผลไม้มีรสหวานขึ้น ปริมาณน้ำตาลในผลจึงเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ดีและกระบวนการเหล่านี้ถูกพบในผลไม้ประเภท climacteric fruit อีกประเภทหนึ่งจะมีการสะสมน้ำตาลในระยะผลแก่แต่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง (non-climacteric fruit) ปัจจุบันการวัดปริมาณน้ำตาลนิยมวัดในรูปของของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยใช้เครื่องมือรีแฟรคโตมิเตอร์แบบพกพา (hand refractometer) โดยวัดจากน้ำคั้นของผลไม้ (คณัย บุญเกียรติ และนิธิยา รัตนพานนท์, 2548) น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสเป็นน้ำตาลที่สำคัญซึ่งสะสมอยู่ในผักและผลไม้ โดยปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดจะมากหรือน้อยตามชนิดของผักและผลไม้ด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

จ. กรดอินทรีย์

เมื่อผลอยู่ในระยะอ่อนจะมีรสเปรี้ยวเนื่องจากกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่ถูกสะสมอยู่ในแวคิวโอล กรดอินทรีย์ที่พบมาก คือ กรดซิตริก ซึ่งมักพบในผลไม้พวกส้ม ฝรั่ง ทับทิม สับปะรด สตรอ

เบอร์รี่ และกรดมาลิก ซึ่งพบมากในกล้วย มะม่วง และองุ่น ผลไม้ที่อยู่ในระยะอ่อนจะมีปริมาณกรดสูงส่งผลให้มีค่า pH ต่ำ ทำให้ไม่เหมาะต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรค เมื่อผลไม้สุกปริมาณกรดจะลดต่ำ ทำให้เหมาะในการรับประทานของผู้บริโภคแต่เชื้อโรคสามารถเข้าทำลายได้ง่าย (จริงแท้ ศิริพานิชและธีรนุต ร่มโพธิ์ศักดิ์, 2549) ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดภายในผลไม้ที่ลดลงทำให้รสชาติดีขึ้น แต่บางกรณีปริมาณกรดอาจเพิ่มขึ้นได้ เช่น เมื่อเก็บรักษาส้มโอไว้ที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

2.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลไม้

แม้ว่าจะเก็บเกี่ยวผลิตผลจากต้นมาแล้ว แต่ในผลิตผลนั้นยังคงมีการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาต่างๆ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ หรือลักษณะปรากฏไปด้วย เช่น ความแน่นเนื้อ สี กลิ่นและรสชาติ

ก. การเปลี่ยนแปลงของสี

สีของผักและผลไม้มักเป็นตัวบ่งชี้ระยะความแก่ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น คุณค่าทางโภชนาการ โดยสีที่พบในผักและผลไม้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- แครอทินอยด์ เป็นกลุ่มของสารที่ไม่ละลายน้ำให้สีเหลืองและสีส้ม พบได้ในมะม่วง ส้ม สับปะรด มะเขือเทศ แดงโม และมะละกอ
- แอนโทไซยานิน เป็นกลุ่มของสารสีที่ละลายได้ในน้ำให้สีแดงและสีม่วง สามารถพบได้ในฝรั่ง ลิ้นจี่ และกล้วย โดยปริมาณสารแอนโทไซยานินจะแปรผันตามชนิดและพันธุ์ของผักและผลไม้ด้วย
- คลอโรฟิลล์ เป็นสารที่ให้สีเขียวในผักและผลไม้ดิบ โดยทั่วไปการสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์จากผลิตผลบ่งบอกถึงความแก่ของผลิตผล

ข. ลักษณะเนื้อสัมผัส

ในระหว่างการสุกเนื้อเยื่อของผักและผลไม้จะอ่อนตัวลง โดยความแข็งแรงหรือการเกาะตัวกันของเซลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบเพกติน สารประกอบเพกตินที่ไม่ละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นสารเพกตินที่ละลายน้ำได้เมื่อเกิดกระบวนการสุก จึงทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป โดยมีเอนไซม์ที่สำคัญในการย่อยสลายเพกติน คือ pectinesterase และ polygalacturonase (ฉันทบุญเกียรติและนิธิยา รัตนพานนท์, 2548) นอกจากนี้การสูญเสียน้ำออกจากผลไม้ทำให้ความดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์ของผลไม้ลดลงและทำให้เซลล์อ่อนนุ่มลงได้เช่นกัน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ค. กลิ่นและรสชาติ

กลิ่นและรสชาติถือได้ว่าเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวที่สำคัญ เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคต้องการ เมื่อเกิดกระบวนการสุกขึ้นผลไม้จะมีกลิ่นแรงขึ้น โดยเอธิลีนถือเป็นฮอร์โมนสำคัญที่ทำให้ผลไม้ส่งกลิ่นซึ่งกลิ่นที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ ปริมาณและชนิดของสารระเหยแต่ละระยะการเจริญเติบโตของผลไม้จะมีไม่เหมือนกัน เมื่อผลไม้สุกปริมาณและชนิดของสารระเหยจะมีมากขึ้น แต่มีสารระเหยไม่กี่ชนิดในผลไม้แต่ละชนิดที่ทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะตัวได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

2.4 สรีระวิทยาของผลไม้

2.4.1 เงาะ

เงาะ (*Nephelium lappaceum* L.) เป็นผลไม้ชนิด non-climacteric ในวงศ์เดียวกับ ลิ้นจี่ และ ลำไย เป็นผลไม้ในเขตร้อนชื้น (humid-tropical fruit crop) (สอาด และคณะ, 2525) ถิ่นกำเนิดอยู่แถบหมู่เกาะมาลาโยได้แก่ อินโดนีเซียและมาเลเซีย ต่อมาได้มีการแพร่กระจายพันธุ์ไปยังต่างประเทศอย่างกว้างขวาง เช่น ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ พม่า ศรีลังกาและไทย อีกทั้งมีการแพร่กระจายไปยังประเทศในแถบอเมริกากลางด้วย (วารสารเกษตร, 2537) แหล่งผลิตเงาะที่สำคัญของไทยมีอยู่ 2 พื้นที่ คือ ภาคตะวันออกและภาคใต้ เนื่องจากมีสภาพดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมในการปลูกเงาะ โดยผลผลิตจากทั้ง 2 ภาคนี้ มีประมาณร้อยละ 99.5 ของผลผลิตเงาะทั้งหมด ในภาคตะวันออกปลูกมากที่จังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด และปราจีนบุรี ส่วนทางใต้ปลูกมากที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร นราธิวาสและนครศรีธรรมราช (Lam, 1987) ซึ่งพันธุ์เงาะที่มีการเพาะปลูกกันมากที่สุดในประเทศไทยคือ พันธุ์โรงเรียน และพันธุ์สีชมพู เงาะพันธุ์โรงเรียนได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีคุณภาพดีกว่าพันธุ์อื่นๆ เมื่อผลแก่เต็มที่มีสีแดง ขนบริเวณโคนมีสีแดงและที่ปลายมีสีเขียวเปลือกผลบาง เนื้อหนาแข็ง ล่อนจากเมล็ดได้ง่ายและมีรสหวานอร่อย (วารสารเกษตร, 2537) ผลเงาะให้พลังงาน 64 หน่วยแคลอรี ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ประมาณร้อยละ 16.5 มีวิตามินซี แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก เป็นองค์ประกอบสูง คือ ประมาณ 53, 20, 15, และ 1.9 มิลลิกรัม/100 กรัมโดยน้ำหนัก นอกจากจะมีรสชาติดีแล้ว น้ำสกัดจากเนื้อเงาะยังมีค่าการต่อต้านอนุมูลอิสระสูง (ค่า $IC_{50} > 100$ micrograms/ml) รวมทั้งไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์มนุษย์ เมื่อเทียบกับน้ำสกัดมะม่วงและทับทิม [Okonogi, และคณะ, 2007]

การเก็บเกี่ยวเงาะในประเทศไทยจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคมโดยเงาะจากภาคตะวันออกจะออกสู่ตลาดก่อนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม ในขณะที่เงาะจากทางจังหวัดภาคใต้จะออกสู่ตลาดในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม ดัชนีในการเก็บเกี่ยวในประเทศไทยนั้นสามารถสังเกตได้หลายวิธีดังนี้

1. การนับจำนวนวันหลังจากดอกบานเต็มที่ โดยจะเก็บเกี่ยวในวันที่ 100-120 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2534)

2. การสังเกตจากสีเปลือกสำหรับเงาะโรงเรียนนั้นดูจากสีของผลเป็นสีส้มแดง

อายุของเงาะมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของอายุการเก็บรักษาและอายุการวางขายทั้งในและต่างประเทศ โดยทั่วไปอายุของเงาะในช่วงผลเริ่มแก่จนถึงผลแก่เกินไปแบ่งออกเป็น 8 ระยะจะเปลี่ยนจากสีเขียวมากในระยะ 1-2 มีคุณภาพด้อย ผลระยะที่ 8 มีรสหวานมาก ผลเงาะที่มีรสชาติอร่อยคือระยะที่ 3-7 (วาริช, 2540)

3. การดูจากองค์ประกอบทางเคมีของผลเงาะ (มนตรี, 2536)

องค์ประกอบทางเคมีของเงาะพันธุ์โรงเรียนประกอบด้วย

- Total soluble solids ร้อยละ 20
- Titratable acidity ร้อยละ 0.3
- pH 4.2

เงาะมีอายุการเก็บรักษาสั้น เกิดการเสียหายที่ผิวและขนได้ง่าย โดยจะต้องเก็บรักษาไว้ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 โดยมีรายงานว่า ถ้าเงาะเก็บในถุงที่ 7-10 องศาเซลเซียส อยู่ได้ 10-15 วัน โดยอาจสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ได้ 3-4 วัน หากเก็บภายใต้สภาวะ 9-12 % CO₂ [O'Hare, T. J, 1995] และหากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียสก็จะเกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling Injury) ได้

อัตราการหายใจของเงาะที่เก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิ 0-20 องศาเซลเซียส มักจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และมีการผลิตเอทิลีนต่ำ (< 0.04 microliter/kg.hr) ยกเว้นในกรณีที่มีการสูญเสียไอน้ำมาก การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเช่นอุณหภูมิห้อง การเกิดอาการสีน้ำตาล (Browning) หรือมีการถูกกรุกรานจากเชื้อรา อาจจะทำให้อัตราการหายใจค่อยๆสูงขึ้น และอาจผลิตเอทิลีนสูงมากถึง 2-3 microliter/kg.hr ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การสูญเสียไอน้ำจากผลเกิดได้สูงมาก ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับอาการสีน้ำตาล บริเวณขน (spinterns) เปลือกนอกและเปลือกใน (pericarp and endocarp) ของเงาะ [Landrigan และคณะ, 1996] โดยเฉพาะบริเวณขน ซึ่งมีช่องรูเปิด (stomatas) ที่เปิดถาวร (ไม่มีการปิดหากใช้กรด abscisic หรือ Fusicoccin) และอาจหนาแน่นถึง 50-70 รูต่อ มม.² ของพื้นที่ของขน [O'Hare, T. J, 1995] นอกจากนั้นการสูญเสียไอน้ำยังมีได้มากที่บริเวณผิวเปลือก และเนื้อผล ส่วนการเปลี่ยนสีขนและเปลือก มักจะเป็นมาจากอาการสีน้ำตาล และการลดลงของสาร anthocyanin อย่างไรก็ดีตามหากเกิด Chilling Injury ถึงแม้ว่าปริมาณ anthocyanin ในเปลือกจะคงที่แต่ก็ยังมีพัฒนาสีน้ำตาลที่เปลือกขึ้นได้ ปริมาณลักษณะทางเคมีของเงาะสายพันธุ์ต่างๆในขณะที่ถูกเก็บเกี่ยวแสดงในตารางที่ 2.4-1

ในเปลือก เนื้อ และเมล็ด ของเงาะมีสารประกอบพอลิเอไมด์ ซึ่งมีรายงานว่าอาจมีส่วนช่วยในการลด CI ผ่านกระบวนการทำให้เมมเบรนมีความเสถียร โดย Kondo และ คณะ (2001) ได้

ศึกษาว่าปริมาณสารประกอบพอลิเอไมด์ที่มีจำนวนมากที่สุดชื่อ Putrescine (Put) ในเปลือก และเนื้อของเงาะโรงเรียนที่เก็บรักษาไว้ระหว่าง 8-13 องศาเซลเซียส โดยพบว่าที่ 8 องศาเซลเซียส เปลือกเงาะซึ่งมีปริมาณ Put น้อยกว่าที่เนื้อพบอาการ CI เกิดขึ้น ในขณะที่เนื้อเงาะซึ่งมี Put มากกว่าไม่แสดงอาการ CI สาร Put ในเปลือกเงาะมีการพัฒนาตั้งแต่ 28 วันหลังดอกบานจนมีปริมาณสูงสุดที่ 13% (โดยน้ำหนัก) ที่ 100 วันหลังดอกบาน ส่วนในเนื้อเงาะ Put เริ่มพัฒนาช้ากว่าแต่มีปริมาณสูงกว่า โดยเงาะโรงเรียนมี Put ประมาณ 22% และเงาะสีชมพู มี Put ประมาณ 25% (โดยน้ำหนัก) ที่ 100 วันหลังดอกบาน ส่วนในเมล็ดมี Put ต่ำว่า 3% ในเงาะทั้งสองพันธุ์

Yingsanga และคณะ (2008) ได้ทดลองเก็บรักษาเงาะโรงเรียน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (60–70%) และสูง (85–95%) ไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก คัชนีสีน้ำตาล (browning index) ปริมาณสารประกอบฟีนอล และกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL), polyphenol oxidase (PPO) และ peroxidase (POD) พบว่าการที่เงาะมีขนาดมาก มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ความชื้นสัมพัทธ์มีผลกระทบต่อกิจกรรมของเอนไซม์ POD แต่ไม่มีผลกระทบต่อ PPO

ตารางที่ 2.4-1: ลักษณะทางเคมีของเงาะสายพันธุ์ต่างๆ ในขณะที่ถูกเก็บเกี่ยว [O'Hare, T. J, 1995]

Variable		Cultivar	Reference
CO ₂ output (25°C)	62 mg kg ⁻¹ h ⁻¹	Jit Lee	McLauchlan et al. (1994)
C ₂ H ₂ output (25°C)	<0.04 µl kg ⁻¹ h ⁻¹	R162	O'Hare et al. (1994a)
TA	0.07%	Rapiah	Lam and Kosiyachinda (1987)
	0.27%	Jit Lee	Lam and Kosiyachinda (1987)
	0.55%	Seenjonja	Lam and Kosiyachinda (1987)
		Philippine seedling	Paull and Chen (1987)
Citric acid ^a	140.0 meq g ⁻¹	Philippine seedling	Paull and Chen (1987)
Succinic acid ^a	12.0 meq g ⁻¹	Philippine seedling	Paull and Chen (1987)
Ascorbic acid	0.29 mg g ⁻¹	Philippine seedling	Paull and Chen (1987)
TSS	17.0%	Lebakbulus	Lam and Kosiyachinda (1987)
	18.7%	Seechompoo	Somboon (1984)
	21.1%	R134	Lam and Kosiyachinda (1987)
		Philippine seedling	Paull and Chen (1987)
Sucrose ^b	23.0 mg g ⁻¹	Philippine seedling	Paull and Chen (1987)
Fructose ^b	22.0 mg g ⁻¹	Philippine seedling	Paull and Chen (1987)
Glucose ^b	14.0 mg g ⁻¹	Philippine seedling	Paull and Chen (1987)
Dry matter content (pulp)	17.1%	Unspecified	Ortiz and Cordero (1984)

^a Values represent free acid plus the salt of the acid.

^b Values may be underestimated due to low sensitivity of individual sugar assays.

ความพยายามในการรักษาคุณภาพเงาะหลังเก็บเกี่ยวมีรายงานว่า Paull และคณะ (1994) ทำการทดลองใช้การจุ่มน้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่ 49 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่าทำให้เกิดอาการสีน้ำตาล แต่เมื่อมีการรม Sulphurdioxide เป็นเวลา 80 นาที ก่อน HWT ทำให้อาการสีน้ำตาลลดลง Sivakimar และ คณะ (2001) ได้ทำการทดลองจุ่มเงาะในน้ำที่มีสารฆ่าเชื้อรา Cinnamaldehyde ปริมาณ 30 ppm เป็นเวลา 20 นาที ก่อนทำให้แห้งและเก็บรักษา พบว่าสามารถ

ป้องกันการเกิดไมซีเลียและการงอกของสปอร์ของเชื้อรา *Botryodiplodia theobromae*, *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Gliocephalotrichum microchlamydosporum* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหรืออาการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น อาการ stem-end rot, anthracnose และ brown spot โดยสามารถเก็บรักษาคุณภาพของผลเงาะไว้ที่ 13.5 องศาเซลเซียส 95% RH ได้เป็นเวลา 14 วัน

ล่าสุดมีการทดลองของ Martínez-Castellanos และคณะ (2009) ทำการทดลองจุ่มเคลือบผิวเปลือกเงาะด้วย Biofilm ของแบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum* ผสมวุ้นที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยทำการจุ่มเงาะในสารละลายไคโตซาน (20 g/l, MW 171.4 kDa, 15% DEA) 1 นาที แล้วนำมาจุ่มในสารละลายแบคทีเรียในวุ้นแล้วทำให้แห้งในอากาศ 1 ชั่วโมง แล้วจุ่มสารละลายไคโตซานทับอีกชั้นหนึ่ง การทำเช่นนี้สามารถรักษาคุณภาพเงาะไว้ที่ 25 และ 10 องศาเซลเซียส 75% RH ได้เป็นเวลา 10 และ 15 วันตามลำดับ โดยคุณภาพโดยรวมของผลไม้เป็นที่น่าสนใจ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยลง 10% และ 2 % เมื่อเก็บรักษาในกล่องเจาะรูขนาด 25 ผลไว้ที่ 25 และ 10 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เคลือบ โดยผู้วิจัยคาดว่าแบคทีเรียช่วยรักษาความเป็นกรดของเปลือกเงาะและทำให้สามารถควบคุมอาการเกิดสีน้ำตาลได้

2.4.2 มะม่วง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลมะม่วงที่เกี่ยวข้องกับชีวเคมีได้แก่

- เปลือก (exocarp) ความหนาบางของเปลือกขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะม่วงเป็นสำคัญ ความหนาของเปลือกอยู่ในช่วง 0.1-0.2 เซนติเมตร มะม่วงที่มีเปลือกหนาจะมีความแข็งแรงทนทานต่อความเสียหายได้ดีกว่ามะม่วงเปลือกบางและอ่อนนุ่ม โดยชั้นนอกสุดของมะม่วง คือ ชั้นเซลล์ผิว (epidermal layer) อีกทั้งยังประกอบไปด้วยคิวติเคิล (cuticle) ปากใบ (stomata) เลนติเซล (lenticel) ชั้นเซลล์ผิวประกอบไปด้วยเซลล์ epidermis ซึ่งเป็นเซลล์ขนาดเล็ก มีผนังหนา จัดวางตัวเรียงต่อกันและมีช่องว่างซึ่งเรียกว่า ปากใบ ปากใบนั้นเป็นทางผ่านของไอน้ำและก๊าซต่างๆ โดยคิวติเคิลมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งซึ่งปกคลุมผิวของชั้นเซลล์ผิวมีส่วนช่วยลดการสูญเสียน้ำจากผลมะม่วง บนเปลือกของผลมะม่วงที่โตเต็มที่จะมีเลนติเซลซึ่งมีลักษณะเป็นรูหรือช่องเล็กๆ จำนวนมาก ซึ่งเลนติเซลพัฒนามาจากปากใบ
- เนื้อผล (mesocarp) ชั้นนี้ประกอบไปด้วยเซลล์พาราเควมาจำนวนมาก รูปร่างยาวและกลมสลับกันไป เมื่อผลสุกผนังเซลล์พาราเควมาจะแตกสลายทำให้เนื้อเยื่ออ่อนตัว
- เมล็ด (endocarp) ความแข็งของเมล็ดเกิดจากมีสารลิกนินเข้าไปสะสมทำให้เกิดความแข็ง โดยเมล็ดจะเริ่มแข็งตัวหลังจากผสมพันธุ์ได้แล้วประมาณ 10 สัปดาห์ (เอกสารประกอบการอบรม ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี, 2531)

โรคแอนแทรคโนสเป็นโรคที่แพร่ระบาดอย่างกว้างขวางไม่เพียงแต่ในมะม่วง ยังระบาดในผลไม้ชนิดอื่นๆ ด้วย เช่น กล้วย มะละกอ และองุ่น โดยโรคนี้สามารถทำลายมะม่วงได้ในทุกระยะการเจริญเติบโตซึ่งมีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* เชื้อราชนิดนี้เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนชื้น ฝนตกชุก นอกจากนั้นเชื้อราชนิดนี้ยังสามารถเจริญเติบโตในต้นพืชที่ตายแล้ว โดยเชื้อราจะสร้างสปอร์ มีลักษณะเป็นน้ำสีเหลืองส้ม ลักษณะของสปอร์มีขนาดเล็กมากซึ่งไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าได้ โดยสปอร์สามารถปลิวไปตามลมหรือปะปนไปกับน้ำรดต้นไม้ เมื่อตกลงบนผิวพืชสปอร์จะงอกและแทงเข้าไปยังส่วนต่างๆ ของพืช เชื้อมักฝังตัวรอจนกว่าพืชจะเริ่มสุกจึงจะทำการแสดงอาการของโรค ทั้งนี้ในระยะต้นกล้าจะเป็นระยะที่เชื้อโรคเข้าทำลายมากที่สุด เนื่องจากเป็นระยะที่อ่อนแอและมีโอกาสได้รับเชื้อสูงกว่าระยะที่ต้นเติบโตเต็มที่แล้ว ระยะออกดอกและผลจะแสดงอาการบนผลแก่หรือผลสุก อาการเริ่มแรกจะเป็นจุดน้ำน้ำตาลและกลายเป็นจุดสีดำ ต่อมาจะขยายขนาดใหญ่ขึ้น รอยแผลเกิดเป็นรอยบุ๋มตื้น จนกระทั่งแผลเน่าและยุบลง โดยมะม่วงที่มีรอยแผลอยู่แล้วจะสามารถรับเชื้อได้ง่ายและเร็วขึ้น

2.4.3 ส้มโอ

ลักษณะของผลส้มโอเป็นแบบผลมีเนื้อหลายเมล็ด (berry) มีชื่อเรียกพิเศษว่า แบบส้ม (hesperidium) ผลส้มโอจะมีส่วนประกอบคล้ายส้มทั่วไป ดังรูปที่ 2.4.1



รูปที่ 2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มโอ

-ผนังผลชั้นนอก (epicarp) หรือฟลาเวโด (flavedo) เป็นส่วนของเปลือก ประกอบด้วยเซลล์ที่มีสารสีคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์และมีต่อมน้ำมัน (oil gland) เล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมาก

-ผนังผลชั้นกลาง (mesocarp) หรือเปลือกชั้นกลาง เป็นส่วนที่มีเนื้อเยื่อสีขาวประกอบด้วย spongy tissue ของเซลล์พารენไคมาขนาดใหญ่ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยเพกตินและเฮมิเซลลูโลส มีลักษณะเป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มเรียกอัลเบโด (albedo) อาจมีสีขาวหรือสีชมพูตามลักษณะประจำพันธุ์ของส้มโอ

-ผนังผลชั้นใน (endocarp) เป็นส่วนที่รับประทานได้ มีลักษณะเป็นกลีบ (carpels) อาจมีสีขาวหรือสีชมพูตามลักษณะประจำพันธุ์ของส้มโอ (รวี เสฐฐักดิ์, 2523) ส่วนเนื้อที่ใสรับประทานของพืชตระกูลส้มมีลักษณะเป็นถุงน้ำภายในมีของเหลวหรือที่นิยมเรียกว่า กุ้ง (juice sac หรือ juice vesicle) กุ้งเป็นถุงน้ำที่เชื่อมติดกับผนังกลีบส้มโดยท่อลำเลียงน้ำและอาหาร ซึ่งปกติหนึ่งผลจะมีประมาณ 9-13 กลีบ แต่ละกลีบจะเชื่อมติดกันซึ่งภายในหนึ่งกลีบประกอบด้วยกุ้งเป็นจำนวนมาก กุ้งคือเนื้อของส้มโอที่นำมารับประทาน ลักษณะของกุ้งจะมีลักษณะเป็นถุงยาวคล้ายกระบอก เซลล์ของกุ้งเป็นเซลล์ที่มีความเปราะบางซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากเซลล์ผนังผลชั้นใน (endocarp) เจริญเข้าสู่ช่อง (locule) ข้างในมีน้ำหวานอยู่เต็มกุ้งและมีสีแตกต่างกันไปตามพันธุ์ (วิจิตร วังโน, 2526)

อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาในส้มมีหลายอย่างด้วยกันซึ่งอาการเหล่านี้อาจมีผลมาจากสภาพภูมิอากาศ สภาพของดิน น้ำ หรือธาตุอาหาร ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจทราบสาเหตุหรือไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงได้ อาการผิดปกติที่มักพบเมื่อเก็บเกี่ยวเข้าไป คือ อาการข้าวสารหรือฟาม (granulation หรือ ricing) ลักษณะอาการข้าวสารจะพบว่ากุ้ง (juice sac) ทางด้านข้างผลกลายเป็นสีขาวขุ่นและแห้งไม่มีน้ำ ผนังเซลล์ของกุ้งที่เป็นอาการนี้จะหนากว่าปกติและส่วนประกอบของเซลล์ก็แตกต่างกันออกไป ปริมาณของ pectic substances เพิ่มขึ้นและอยู่ในรูปของเจล (gel) ปริมาณน้ำตาล กรดอินทรีย์ (organic acids) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ลดลง ในขณะที่แร่ธาตุหลายชนิดเพิ่มปริมาณสูงขึ้นโดยเฉพาะแคลเซียมและแมกนีเซียม (รวี เสฐฐักดิ์, 2523) ซึ่งอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของส้มโอ

2.5 ฤทธิ์ของสารสกัดข่าในการต้านเชื้อจุลินทรีย์

ข่า (galangal) หรือ *Alpinia galanga* (Linn.) Swartz. หรือ *Languas galanga* (Linn.) Stuntz. เป็นส่วนของรากของพืชในวงศ์ *Zingiberaceae* ซึ่งมีจุดกำเนิดในประเทศอินโดนีเซีย มีการใช้เป็นอาหารและยาแผนโบราณมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร มหาวิทยาลัยมหิดล) การสกัดข่ามักทำในผงข่าแห้ง สกัดด้วยเอธานอลความเข้มข้น 50-95 % น้ำร้อน หรือตัวทำละลายอื่นในการสกัด (Schimmer และคณะ, 1994) สารสกัดข่าด้วยไดเอทิลอีเธอร์ ปิโตรเลียมอีเธอร์ และน้ำกลั่นสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* (แสงจันทร์ เอี่ยมธรรมชาติ, 2543) ที่เป็นสาเหตุของอาการแน่นจุกเสียดท้องได้ โดยพบ eugenol เป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Okazaki และ Oshima, 1952) ส่วนสารออกฤทธิ์สำคัญอีกสองชนิดคือ 1'-

acetoxychavicol acetate และ 1'-acetoxyeugenol acetate ของข้าวช่วยยับยั้งแผลในกระเพาะอาหารได้ (Okizo, A., และคณะ, 1974) และ Mazsuda และคณะ, 2003) สารออกฤทธิ์ทั้งสามชนิดช่วยลดอาการอักเสบได้ (Venkataranganna และคณะ, 2000, Sundari และคณะ, 2001) สารสกัดข้าวด้วยน้ำเมทานอล, ไดคลอโรมีเทน, เฮกเซน, หรืออัลกอฮอล์ สามารถฆ่าเชื้อรา *Microsporum gypseum* *Trichophyton rubrum* และ *Trichophyton mentagrophyte* ที่เป็นสาเหตุของโรคกลากเกลื้อนได้ โดยพบว่า 1'-acetoxychavicol acetate และ 1'-acetoxyeugenol acetate เป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อรา (Jassen และคณะ, 1985)

มีรายงานว่า การใช้สารสกัดจากข้าวสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคกับพืชและผู้บริโภคได้ กานดา คำมูล (2547) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดข้าวในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Phomopsis asparagi* และ *Colletotrichum gloeosporioides* ในหน่อไม้ฝรั่ง สารสกัดจากข้าวที่ใช้ 95% เอนาทอล เป็นตัวทำละลาย ทำการสกัดที่ระยะเวลา 0, 10 และ 20 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 10,000 20,000 30,000 และ 40,000 ppm นำมาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Phomopsis asparagi* และ *Colletotrichum gloeosporioides* พบว่า เมื่อระยะเวลาและระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อราทั้ง 2 ชนิด จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ชลิดา เล็กสมบูรณ์ และ ชัยณรงค์ รัตกริทากุล (2550) ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อนำพืชสมุนไพรมาใช้ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสในพริก พบว่าสารสกัดจากข้าว ที่ระดับความเข้มข้น 30,000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ 100 % และที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm. สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อราได้ถึง 100%

2.6 ลิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

- 1) ลิทธิบัตรของ Hagenmaier and Grohmann, 2000 (US006162475A)

Edible food coatings containing polyvinyl acetate

ลิทธิบัตรได้กล่าวถึงส่วนประกอบของการเตรียมสารเคลือบบริโภคได้สำหรับผักและผลไม้ ซึ่งสารเคลือบประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักคือ พอลิไวนิล อะซิเตท นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ประเภทยา (Pharmaceutical) เมื่อนำมาเคลือบยาแล้วทำให้เกิดความมันเงา โดยเฉพาะเมื่อนำมาเคลือบผักและผลไม้ซึ่งช่วยควบคุมการเข้าออกของอากาศและน้ำ ควบคุมอัตราการหายใจของผักและผลไม้ และได้มีการเพิ่มเซลล์และไซคาร์บูนาซึ่งเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติเป็นส่วนประกอบหนึ่งของสารเคลือบ ซึ่งทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำและอากาศน้อยลง ดังนั้นเมื่อนำมาเคลือบกับผลไม้ประเภทส้มทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักน้อยกว่า สารเคลือบมีส่วนประกอบของพอลิไวนิล อะซิเตท

2) ลิขสิทธิ์ของ Signorino, 2003 (US006620431B1)

Shellac film coatings providing release at selected pH and method

กล่าวถึงกระบวนการผลิตเซลแล็คฟิล์มเพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของฟิล์มในการปลดปล่อยยาในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น pH โดยส่วนผสมของเซลแล็คฟิล์มที่แตกต่างกันทำให้ลักษณะการปลดปล่อยของยาแตกต่างกันไปด้วย เซลแล็คเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหารและยา ซึ่งมีการพัฒนาสูตรเซลแล็คฟิล์มโดยทำให้ฟิล์มมีค่า acid value ที่แตกต่างกัน ฟิล์มเซลแล็คที่สามารถปลดปล่อยยาหรือละลายได้ใน pH ที่มากกว่า 7.4 จะมีค่า acid value น้อยกว่า 7.4 ฟิล์มเซลแล็คที่สามารถละลายได้ใน pH ที่มากกว่า 7.0 จะมีค่า acid value น้อยกว่า 8.0 ฟิล์มเซลแล็คจะสามารถละลายใน pH ที่ต่ำลงได้เมื่อฟิล์มเซลแล็คมีค่า acid value ที่มากขึ้น

3) ลิขสิทธิ์ของ Cook, 1996 (US005567438A)

Shellac dispersions and coatings, and method of forming aqueous-based shellac dispersions and coating

สิทธิบัตรได้กล่าวถึงวิธีการผลิตสารแขวนลอยของเซลแล็คในน้ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เซลแล็ค 100 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล ปริมาตร 170 มิลลิลิตร และให้ความร้อนถึง 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเซลแล็คหลอมเหลว เติมน้ำปรับปริมาตรจนถึงปริมาตร 770 มิลลิลิตร มีค่า pH ประมาณ 7.5

2. เตรียมสารละลายกรดโดยผสมน้ำปริมาตร 950 มิลลิลิตร เอซิลแอลกอฮอล์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กรดอะซิติก 10% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วทำการผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที

3. ผสมสารละลายเบสเซลแล็คต่อสารละลายกรดเป็น 1:5 โดยทำการเพิ่มปริมาณเซลแล็คในสารละลายโดยการชะด้วยตัวทำละลายจนได้สารแขวนลอยเซลแล็ค 26% โดยน้ำหนัก

2.7 สูตรสารเคลือบเปลือกผลไม้

คณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจการใช้และการพัฒนาสูตรสารเคลือบผลไม้ที่เกี่ยวข้องทั้งที่รายงานในบทความและที่ใช้จริงในระดับการค้า ดังแสดงในตารางที่ 2.6-1 และ 2.6-2

ตารางที่ 2.6-1: (1) สูตรสารเคลือบที่มีการรายงานในบทความวิจัย

ผลไม่ทดสอบ	เซลล์	สารเคลือบอื่น ๆ	ผลการทดลอง	อ้างอิง
ส้ม (Valencia)	- HIGROSS เป็นสารเคลือบทางการค้าที่มีความมันวาวสูง ที่มีการผลิตใน Florida และ California องค์ประกอบหลักประกอบด้วย shellac: wood resin ในอัตราส่วน 3:1 และประกอบด้วย fatty acid soaps, propylene glycol และส่วนผสมอื่นเล็กน้อย (ไม่มีเร็กซ์) - สารเคลือบเซลล์ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ มีองค์ประกอบดังนี้ 15.4%Shellac, 3.0%polyethylene glycol 600, 1.8%whey protein, 0.5% oleic acid, 0.3%NH ₃ , 150 ppm SE21 และน้ำ	สารเคลือบที่เตรียมจาก Polyethylene-candelilla wax (150 g polyethylene, 100 g candelilla wax, 47 g oleic acid, 13 g myristic acid, 42 g of 30% NH ₃ และ 865 g water)	- ส้มที่เคลือบด้วยแว็กซ์มีคะแนนรสชาติสูง (8.9-10.4) ส้มที่เคลือบด้วย HIGROSS มีคะแนนรสชาติต่ำกว่า (3.7-4.1) - ส้มที่เคลือบด้วย HIGROSS มีผิวมันกว่าที่เคลือบด้วยแว็กซ์ แต่สูญเสียความมันงาเร็วกว่าหลังจากเก็บไว้ 8 วัน	Hagenmaier, 2000
แอปเปิล 4 พันธุ์ -Delicious - Fuji - Braeburn - Granny Smith	- Carnauba-shellac มีส่วนประกอบดังนี้ 9.5%shellac, 8.3%carnuba wax, 3.3% morpholine, 1.7% oleic acid, 0.17%NH ₃ , 0.01%polydimethylsiloxane antifoam - Shellac มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้ 19%shellac, 1.0%oleic acid, 4.4%morpholine, 0.3%NH ₃ , 0.01%polydimethylsiloxane antifoam - Shellac-WPI มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้ 13.3%shellac, 3.0%whey protein isolate, 3.1%morpholine, 0.7%oleic acid, 0.2%NH ₃ , 0.01%polydimethylsiloxane antifoam	- Polyethylene ประกอบด้วย 18.6%oxidized polyethylene, 3.4%oleic acid, 2.8%morpholine, 0.01%polydimethylsiloxane antifoam - Candelilla ประกอบด้วย 18.3% candelilla wax, 2.1%oleic acid, 2.4% morpholine, 0.02%polydimethylsiloxane antifoam	- ผลของการใช้เซลล์ในการเคลือบ ให้ความมันวาวสูง O ₂ ภายในต่ำสุด CO ₂ ภายในสูงสุดสำหรับทุกชนิดของแอปเปิล - สารเคลือบที่เหมาะสมต่อแอปเปิลแต่ละพันธุ์ เซลล์เล็กกับ Delicious, Carnauba-shellac เหมาะกับ Braeburn และ Fuji, Polyethylene เหมาะกับ Granny Smith	Bai et al., 2003

ตารางที่ 2.6-1: (2) สูตรสารเคลือบที่มีการรายงานในบทความวิจัย (ต่อ)

ผลไม้ทดสอบ	ส่วนผสม	สารเคลือบอื่น ๆ	ผลการทดลอง	รายการอ้างอิง
ส้ม Mandarin	- Shellac-wax ประกอบด้วย 12.3% polyethylene wax, 8.8% candelilla wax, 3.8% oleic acid, 1.1% myristic acid, 1.1% NH ₃ และน้ำ	- Polyethylene-candelilla wax มีส่วนประกอบดังนี้ 12.3% polyethylene, 8.8% candelilla wax, 3.8% oleic acid, 1.1% myristic acid, 1.1% NH ₃ และน้ำ - Polyethylene มีส่วนประกอบดังนี้ 18.3% polyethylene wax, 3.7% oleic acid, 2.6% morpholine, 1.1% NH ₃ และน้ำ	- เมื่อเก็บผลไม้ไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิ 21 °C พบว่า ความสามารถในการแพร่ผ่านลดลง <1.1x10 ⁻¹⁶ mol-m/s-m-Pa - การเกิดกลิ่นส่วนมากจะเกิดควบคู่กับการมี O ₂ ภายใน <4% และ CO ₂ ภายใน >14% ที่อุณหภูมิ 21 °C - สารเคลือบทุกสูตรเหมาะสมสำหรับผลไม้รสเปรี้ยว โดยสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 7 วัน	Hagenmaier et al., 2000
มังคุด	- สารเคลือบทางการค้า Citrus Shine เข้มข้น 60 และ 10 %	- สารเคลือบทางการค้า Semper Fresh เข้มข้น 1 และ 2% - ห่อด้วยฟิล์มพลาสติก PVC บนกระดาษโฟม - เคลือบด้วย Citrus Shine 60 % และห่อด้วยฟิล์มพลาสติก PVC บนกระดาษโฟม	- การใช้ Semper Fresh ให้ผลไม่ต่างจากไม่เคลือบ - การใช้ Citrus Shine ทั้งสองความเข้มข้น สามารถลดการคายน้ำ ชะลอการแห้งของผิวผล และกลีบเลี้ยง เก็บรักษามังคุดได้นานขึ้น 4 วัน - การใช้ฟิล์มพลาสติกก ลดการสูญเสียได้ดีกว่า การใช้สารเคลือบผิว 1 เท่า - การใช้ฟิล์มพลาสติกก ร่วมกับ การใช้สารเคลือบผิว ทำให้เนื้อมังคุดภายในเน่า	ชูลิพร พูลสวัสดิ์, 2531

ตารางที่ 2.6-1: (3) สูตรสารเคลือบที่มีการรายงานในบทความวิจัย (ต่อ)

ผลไม้ทดสอบ	เซลล์เล็ก	สารเคลือบอื่น ๆ	ผลการทดลอง	รายการอ้างอิง
มังคุด	- สารเคลือบทางการค้า Sta-fresh#7055 เข้มข้น 15 20 และ 25%	-	- ทำให้คุณภาพภายนอกดีขึ้น การใช้สารเคลือบทุกความเข้มข้น สามารถลดการสูญเสียให้น้ำหนัก ระหว่างการเก็บของกิลบเลี้ยง	รุจิรา เชื้อหอม, 2540
มะม่วงน้ำดอกไม้	- สารเคลือบทางการค้า Sta-fresh#360 เข้มข้น 30 และ 40% - สารเคลือบทางการค้า Citurs Shine เข้มข้น 40 และ 60 %	-	- มะม่วงที่เคลือบและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทำให้สุกช้า มีการสูญเสียให้น้ำหนักน้อย TSS ต่ำ และการเน่าเสียน้อย แต่ความแน่นเนื้อ TA TNC และวิตามินซีมาก - มะม่วงที่เคลือบด้วย Sta-fresh 40% และ Citurs Shine เข้มข้น 40 และ 60 % เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ มะม่วงที่เคลือบด้วย Sta-fresh 30% ไม่เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ธรรมนูญ ประภาสวัต, 2534

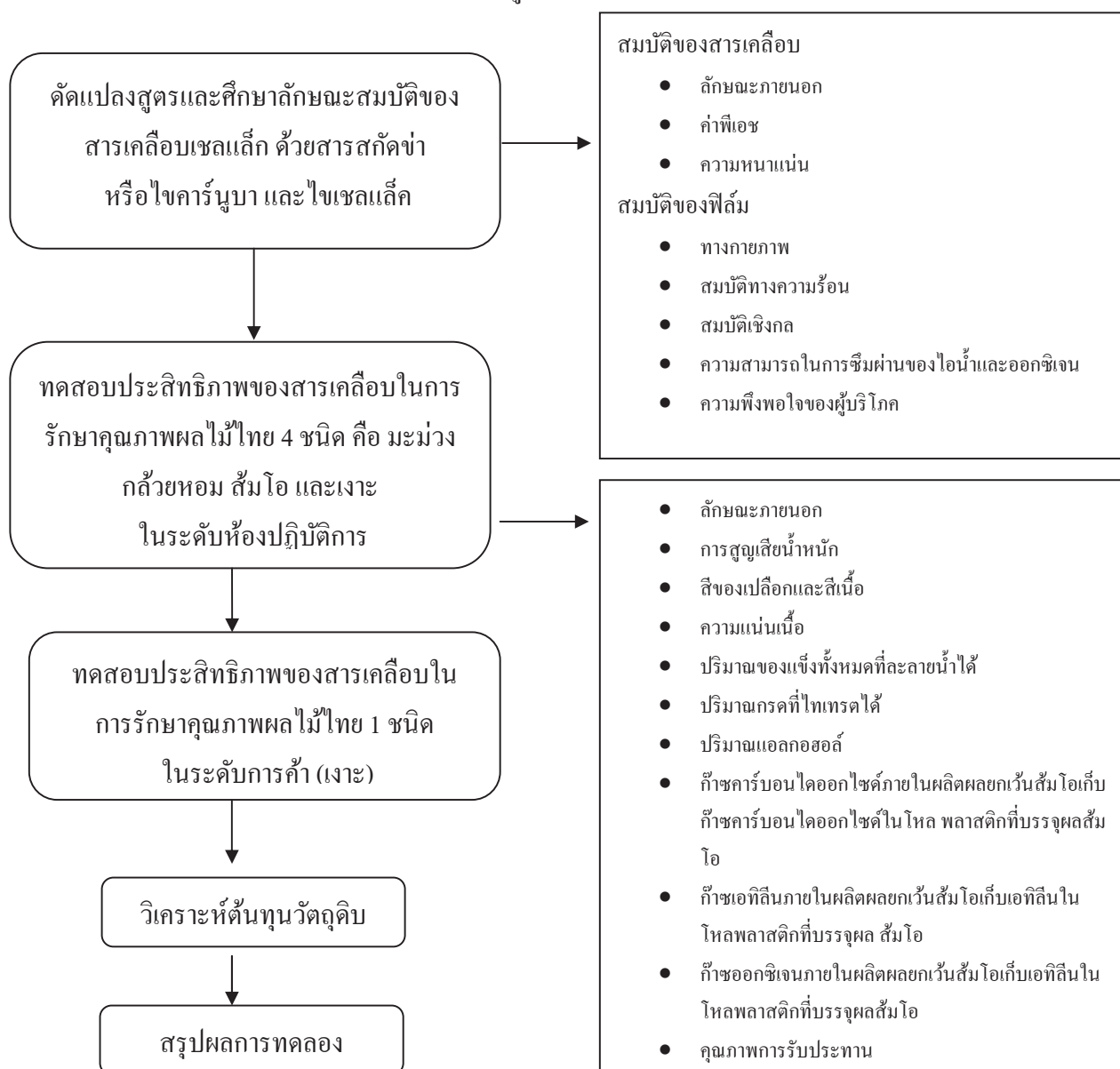
ตารางที่ 2.6-2: สูตรสารเคลือบที่มีการใช้ทางการค้า (* ไม่มีการระบุองค์ประกอบทางเคมี)

ผลไม้ที่แนะนำให้ใช้	ชื่อการค้า	ส่วนประกอบสารเคลือบ	บริษัทผู้ผลิต/จำหน่าย, ประเทศ	อ้างอิงจาก
แอปเปิล ส้ม	CAWAX-201	CARNUBA PALM WAX	Syntec ,ไทย	http://www.syntecadditive.com
มะม่วง, มะเฟือง, ขนุน	Freshcoat FC13	*	FRESHCOAT BIOTECH MARKETING, มาเลเซีย	http://www.freshcoat-fc13.com
ส้ม ส้มโอ มะม่วง และมะยงชิด	KU WAX	เซลลูล์	Food Industry Network, ไทย	http://www.foodindustrythailand.com
แอปเปิล ส้ม มะนาว พีช	(ไม่มีชื่อ)	Ozocerite Montan wax Synthetic wax	Agricultural Engineering College & Research Institute, Tamil Nadu Agricultural University, อินเดีย	http://www.techno-preneur.net
ส้ม, มะนาว	Marcus oxidized grades	Wax, polyethelene	Marcus oil and chemical, สหรัฐ	http://www.marcusoil.com
แอปเปิล ส้ม	Decco Citrus Lustr [®] 520	Carnauba wax	ARBICO Organics, สเปน	http://www.arbico-organics.com
1) ผลไม้ประเภทส้ม 2) ไม้ระบู่ 3) ผลไม้ประเภทส้ม 4) ไม้ระบู่ 5) แอปเปิล 6) แอปเปิล	1) Carnauba Citrus 2) Citrus Clear 3) Citrus Fresh 4) Citrus Gleam 5) Apple Glaze 6) Apple Gloss	1) Carnauba wax และอื่นๆ 2) Polyethylene และอื่นๆ 3) * 4) Shellac และอื่นๆ 5) Carnauba wax และอื่นๆ 6) Shellac และอื่นๆ	Castle Chemicals, ออสเตรเลีย	http://www.castlechem.com.au
ผลไม้ประเภทส้ม สับปะรด มะม่วง ลำไย มังคุด แอปเปิล มะละกอ ลิ้นจี่ เชอร์รี่ มะเขือเทศ แตงกวา	Sta-Fresh [®] (มีหลายสูตร สำหรับกลุ่มผลไม้แต่ละชนิด)	Shellac และอื่นๆ	JBT Food Tech, อินเดีย	http://www.fruitwaxindia.com/

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การดำเนินงานวิจัยทั้งโครงการดัง แสดงในรูปที่ 3.1.1



รูปที่ 3.1.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัยทั้งโครงการ

ทั้งนี้คณะวิจัยได้รับอนุมัติให้มีการปรับแผนการดำเนินการโครงการ 2 ครั้ง เพื่อให้สอดคล้องกับผลการวิจัยแต่ละงวด โดยมีการปรับการทดสอบเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบเซลล์แลคติกดัดแปลงด้วยสารสกัดชาออกเนื่องจากผลการทดสอบฟิล์มพบว่าฤทธิ์การฆ่าเชื้อของสารสกัดชาหมดไปเมื่อผสมกับสารเคลือบที่มีฤทธิ์เป็นด่าง โดยมีการเพิ่มงานในส่วนการเคลือบโดยเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ใกล้เคียงที่สุดที่ใช้กับผลไม้ชนิดนั้นๆ ได้แก่ การใช้ถุงพลาสติกแบบ High OTR หรือเปรียบเทียบกับเคลือบด้วยสารเคลือบที่ใช้ในการค้า ณ เวลาที่ทำการทดลอง รวมทั้งการปรับเปลี่ยนการดำเนินการทดสอบเคลือบผลไม้ระดับการค้าจากมะม่วง ซึ่งเริ่มมีการใช้งานสารเคลือบระดับการค้าบ้างแล้ว เป็นเงาะโรงเรียนซึ่งยังไม่มีรายงานการใช้สารเคลือบ

3.2) วัสดุ สารเคมีและอุปกรณ์การวิจัย

ผลไม้

- มะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 อายุประมาณ 100-110 วันหลังดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ จากสวน เกษตรกรในเขตอำเภอฟัว จังหวัด เชียงใหม่
- เงาะโรงเรียน ระยะ 3-6 จากสวนเกษตรกร อำเภอนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- กล้วยไข่ จากสหกรณ์เกษตรอำเภอยาง จังหวัดจันทบุรี
- ส้มโอขาวใหญ่ อายุประมาณ 7 เดือน จากสวนในอำเภอมะปวย จังหวัดสมุทรสงคราม

สารเคมี

- เซลล์เชื้อรากรดอาหาร และไซเซลล์ จากบริษัท เอกเซลล์แลคส์ จำกัด จังหวัดลำปาง
- คาร์บูนาไล จากบริษัท Kahl, เยอรมนี
- กรดโอเลอิก กรดห่อหุ้มปฏิบัติการ จากบริษัท PA (Panreac), สเปน
- สารละลายแอมโมเนีย 25% AR เกรด จากบริษัท QRec, นิวซีแลนด์
- น้ำสะอาด (Demineralized water)
- กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) จากบริษัท QRec, นิวซีแลนด์
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากบริษัท QRec, นิวซีแลนด์
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จากบริษัท QRec, นิวซีแลนด์
- โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) จากบริษัท QRec, นิวซีแลนด์
- สารละลายคลอรีน 100 mg/l (ไฮเตอร์) (บริษัท คาโอ อินดัสเตรียล ประเทศไทยจำกัด) ในน้ำประปา สำหรับทำความสะอาดผลไม้
- สารฆ่าเชื้อราโพรคลอราซ (เจอราก) จากบริษัท เทพพัฒนาเคมีจำกัด

-อีธิฟอน 1000 ppm (โปรเทรล 48) จาก บริษัท โปรครอป จำกัด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องกวนสารด้วยแรงแม่เหล็ก รุ่น RCT basic บริษัท Ika Laboratechnik, เยอรมนี
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5400 (Jeol Ltd., ญี่ปุ่น)
- เครื่องเคลือบทอง รุ่น SC 7620, ญี่ปุ่น
- เครื่องทำตัวอย่างแห้ง ชนิดเยือกแข็ง (Freeze dry) รุ่น LY3TTE เนเธอร์แลนด์
- เครื่องวัดสี ยี่ห้อ CE MINOLTA รุ่น CR-300, ญี่ปุ่น
- เครื่องวัดความแน่นเนื้อ ยี่ห้อ Effegi, อิตาลี
- เครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์แบบพกพา ยี่ห้อ ATAGON1, ญี่ปุ่น
- เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Chromatography) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-8A
- กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Cannon รุ่น Ixus 800 IS, ญี่ปุ่น
- ถุงพลาสติกบรรจุเงาะของห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ ชนิด PE เจาะรู 12 รู
- ถุงพลาสติกบรรจุมะม่วง FF5 ยี่ห้อ ทานตะวัน LLDPE (OTR เท่ากับ 12,500 cc/(m²-day), CO₂TR เท่ากับ 42,250 cc/(m²-day), WVTR เท่ากับ 19.5 g/(m²-day))
- ถุงพลาสติกบรรจุเงาะ FF3 ยี่ห้อ ทานตะวัน LDPE (OTR เท่ากับ 18,272 cc/(m²-day), CO₂TR เท่ากับ >30,000 cc/(m²-day), WVTR เท่ากับ 25.1 g/(m²-day))
- ถุงพลาสติกบรรจุกล้วยไข่ของสหกรณ์ทำยาง
- สารเคลือบสัมผัสทางการค้า ประกอบด้วย PE wax 20% Latex 75% และ Additive 5% ได้รับความอนุเคราะห์จาก คุณพชร เต็มทานาม
- อุปกรณ์วัดการซึมผ่านของก๊าซ (ประดิษฐ์เอง)
- อุปกรณ์วัดการซึมผ่านของไอน้ำ (ประดิษฐ์เอง)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-2450 Shimadzu ญี่ปุ่น
- ขวดแก้วแบบฝาเกลียว เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 10.6 ซม. ขวดขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 ซม. สูง 4.2 ซม. สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์
- กาฟันทึกลีโอบและปั๊ม ยี่ห้อ TuvrheInland ความดันสูงสุด 12 bar, สหรัฐอเมริกา
- ถ้วยชั่งสารเคลือบเทปลอน BIO-BIK balance dishes ขนาด 138x 138x25 มม.(INAOPTIKA co., Ltd, ญี่ปุ่น)
- อุปกรณ์เครื่องแก้ว หลอดเก็บก๊าซ วัสดุเก็บผลไม้
- ถังพลาสติกทรงกระบอกขนาด 7 ลิตรและจุกยางสำหรับเก็บแก๊ส

- กรรไกรตัดกิ่งขนาดเล็ก
- อุปกรณ์ครัวในการเตรียมผลไม้

3.3) การทำความสะอาดไซเซลล์เล็ก

ไซเซลล์เล็กที่ซื้อจากโรงงานเอกเซลแลคส์ จำกัด (ลำปาง) ทำความสะอาดโดยรอบแรกทำการสะเทินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ 80 มิลลิลิตร ต่อไซเซลล์เล็ก 200 กรัม ต่อน้ำ 1,600 มิลลิลิตร ปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นจนไซแข็งตัว รอบที่สองนำไซที่ได้ทำการสะเทินด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โดยใส่กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ 80 มิลลิลิตร สักส่วนและวิธีเหมือนกับวิธีการสะเทินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นทำการล้างไซเซลล์เล็กด้วยน้ำอีก 3 ครั้ง สักส่วนของไซต่อน้ำ เท่ากับ 200 กรัม ต่อน้ำ 1,600 มิลลิลิตร หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจนไซแข็งตัว นำไปบดละเอียด แล้วเก็บไว้ในที่ปลอดความชื้นก่อนการใช้งานต่อไป (พันธุ์สิริ ศิริรัชตพงษ์ และ พิชญ์นรี สถิตาภรณ์, 2551)

3.4) การเตรียมสารละลายเซลล์สูตรพื้นฐานดัดแปลงด้วยไซ

สารเคลือบเซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%) และสูตรดัดแปลงด้วยไซ คือ ไซคาร์บูนาและไซเซลล์เล็ก ที่ความเข้มข้น 1.25-7.50 % โดยน้ำหนัก และมีส่วนประกอบอื่นคือ เบส พลาสติกไซเซอร์ และน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.4-1 โดยเตรียมสารละลายเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนแรก นำผงเซลล์เล็กปริมาณที่กำหนดใส่ลงในสารละลายผสมระหว่างเบสและน้ำ โดยปริมาณเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ใช้ทั้งหมด ทำการปั่นกวนสารแขวนลอยที่ได้ในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิ 60 °ซ จนเซลล์เล็ก ละลายหมด ได้สารละลายเซลล์ใสสีน้ำตาล

ส่วนที่สอง ผสมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณที่กำหนดผสมสารละลายเบสที่เหลือจากส่วนแรก ทำการปั่นกวน 15-30 นาที จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นเติมไซและน้ำที่เหลือ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °ซ จนไซละลายหมด ก่อขาคอดอุณหภูมิที่ละ 5 °ซ จนเหลือ 60 °ซ ใช้เวลาคอดอุณหภูมิประมาณ 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.4-1: องค์ประกอบของสารเคลือบสูตรต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่ม/สูตร	องค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	เซลลูล์	ตัวเติม*	พลาสติกไซเซอร์	เบส	น้ำ
1. เซลลูล์สูตรพื้นฐาน S10%	10.00	-	1.00	0.89	88.11
2. เซลลูล์ผสมสารสกัดข่า					
- G0.25%	10.00	0.25	1.00	0.89	87.86
- G0.50%	10.00	0.50	1.00	0.89	87.61
- G0.75%	10.00	0.75	1.00	0.89	87.36
- G1%	10.00	1.00	1.00	0.89	87.11
3. เซลลูล์ผสมไซคาร์บูนา					
- SC 1.25%	10.00	1.25	1.00	0.89	86.86
- SC 2.5%	10.00	2.50	1.00	0.89	85.61
- SC 5%	10.00	5.00	1.00	0.89	84.36
- SC 7.5%	10.00	7.50	1.00	0.89	83.11
4. เซลลูล์ผสมไซเซลลูล์					
-SW1.25%	10.00	1.25	1.00	0.89	86.86
-SW 2.5%	10.00	2.50	1.00	0.89	85.61
-SW 5%	10.00	5.00	1.00	0.89	84.36
-SW 7.5%	10.00	7.50	1.00	0.89	83.11

หมายเหตุ : สารตัวเติมในสูตรพื้นฐาน ได้แก่ สารสกัดข่า, ไซเซลลูล์, และไซคาร์บูนา

3.5) การเตรียมสารเคลือบเซลลูล์สูตรพื้นฐานผสมสารสกัดข่า

ก. การสกัดข่า

ข่าแห้งที่ถูกบดด้วยเครื่องบดลูกกลิ้ง (ball mill) ให้มีขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ถูกสกัดด้วยเอทานอล 95% อัตราส่วน 100 กรัม ต่อ 400 มิลลิลิตร โดยการปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง สารสกัดถูกกรองด้วยกระดาษกรองวอทแมนเบอร์ 4 แล้วทำการระเหยแอลกอฮอล์ออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40°C (สุกพงษ์ ใบประเสริฐ และ เอกรินทร์ วงศ์เจริญวนกิจ, 2552)

ข.สารเตรียมสารเคลือบผสมสารสกัดชา

การเตรียมสารเคลือบเซลลูลอสที่ดัดแปลงด้วยสารสกัดชา มีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 3.4-1 มีการผสมสารสกัดชาที่ความเข้มข้น 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 % โดยน้ำหนัก การเตรียมสารละลาย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนแรก นำผงเซลลูลอสปริมาณที่กำหนดใส่ลงในสารละลายผสมระหว่างเบสและน้ำ ปริมาตรครึ่งหนึ่งของปริมาตรที่ใช้ทั้งหมด ทำการปั่นกวนสารแขวนลอยที่ได้ในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิ 60 °ซ จนเซลลูลอสละลายหมด ได้สารละลายเซลลูลอสใสสีน้ำตาล จากนั้นลดอุณหภูมิมาที่อุณหภูมิห้อง

ส่วนที่สอง ผสมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณที่กำหนดในเบสที่เหลือจากส่วนแรก ที่อุณหภูมิ 60 °ซ ทำการปั่นกวน 15-30 นาที จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นเติมสารสกัดชาและน้ำปริมาณที่เหลือจากส่วนแรก ค่อยๆลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้อง

จากนั้นเทสารละลายพลาสติกไซเซอร์ (ส่วนที่สอง) ลงในสารละลายเซลลูลอส (ส่วนแรก) ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะของสารเคลือบจากเซลลูลอสสูตรพื้นฐาน และสารเคลือบสูตรดัดแปลงด้วยชา แสดงในรูปที่ 3.5.1 เซลลูลอสสูตรดัดแปลงด้วยสารสกัดชาที่มีสีน้ำตาลอำพัน เหมือนกับเซลลูลอสสูตรพื้นฐาน แต่สารเคลือบสูตรดัดแปลงด้วยชาทั้งสองชนิดข้นสีครีม สารเคลือบทุกสูตรถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และถูกใช้งานภายใน 1 สัปดาห์หลังการเตรียมสาร ยกเว้นในกรณีการศึกษาความคงตัวของสารเคลือบ (หัวข้อ 3.6)



เซลลูลอสสูตรพื้นฐาน S10%



สูตรดัดแปลงด้วยชาคาร์னுบา



สูตรดัดแปลงด้วยชาเซลลูลอส

รูปที่ 3.5.1 สารเคลือบจากเซลลูลอสสูตรพื้นฐาน และสูตรดัดแปลงด้วยชาที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3.6) การทดสอบลักษณะสมบัติความคงตัวของสารเคลือบ

สารเคลือบที่นำมาทดสอบลักษณะสมบัติความคงตัวได้คัดเลือกมาจากการนำสารเคลือบสูตรดัดแปลงต่างๆที่เหมาะสมกับการเคลือบบนผิวมะม่วงและส้มโอ โดยทำการทดสอบทุกๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยพิจารณาดังนี้

- ลักษณะภายนอก บันทึกข้อมูลลักษณะภายนอกของสารละลาย ด้วยการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล สังเกตการแยกชั้นของสารเคลือบแต่ละสูตร
- ความหนืด วัดความหนืดของสารละลายด้วยเครื่องวัดความหนืดของเหลว (viscometer)
- pH ด้วยเครื่องวัด pH (pH meter)
- เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของแข็งที่อยู่ในสารเคลือบ (insoluble solid) วัดน้ำหนักของของแข็งด้วยการอบด้วยเตาอบ (drying oven) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักที่คงที่

3.7) การศึกษาลักษณะสมบัติของฟิล์มของสารเคลือบ

สารเคลือบสูตรต่างๆถูกนำมาขึ้นรูปฟิล์มความหนา 100 ไมครอน ด้วยวิธี casting ในพิมพ์ที่ทำจาก ถ้วยชั่งสารเคลือบเทปลอน BIO-BIK balance dishes ขนาด 138x 138x25 มิลลิเมตร.(INAOPTIKA co., ltd, ญี่ปุ่น) แล้วทิ้งให้แห้งในที่สะอาดจนน้ำหนักคงที่ และเก็บรักษาในภาชนะปิดสนิท ความชื้น เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของฟิล์มที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในการเคลือบผิวผลไม้ต่อไป

ก. ความหนาของฟิล์ม โดยวัดค่าเฉลี่ยจากการใช้ เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์แบบดิจิทัล อย่างน้อย 6 จุด

ข. การดูดซับน้ำ (Moisture adsorption) วัดปริมาณการดูดซับน้ำได้โดย ตัดฟิล์มสารเคลือบในแต่ละสูตรขนาดเท่าๆกัน ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นแช่ฟิล์มในน้ำอุณหภูมิ 25 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ชั่งน้ำหนักทุกๆ 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ วัดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเทียบกับน้ำหนักของฟิล์มแห้ง

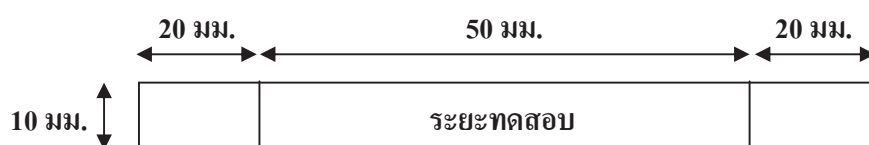
ค. สี (color) วัดระบบ color space CIE L*a*b โดยใช้เครื่องวัดสี(Colorimeter) รุ่น Minolta CR 400 โดยที่ L* เป็นค่าความ สว่าง (lightness) มีค่าในช่วง 0-100, a* ที่เป็นบวก สีจะเป็นไปในทิศทางของสีแดง ถ้าเป็นลบสีจะเป็นไปในทิศทางของสีเขียว และ b* ที่เป็นบวก สีจะเป็นไปในทิศทางของสีเหลือง ถ้าเป็นลบสีจะเป็นไปในทิศทางของสีน้ำเงิน และจุดๆหนึ่งใน space จะมี ตำแหน่ง (coordination) ที่จุด L*a*b ใดๆ ค่าความแตกต่างระหว่างสี 2 จุด สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.1)

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (3.1)$$

เครื่องวัดสีทำงานใช้หลักการ โดยให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่อง ตกกระทบบนผิววัสดุ อนุภาคของสีบนผิววัสดุจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้ และสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมา และถูกบันทึก และนำข้อมูลมาประมวลผลการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขตามระบบ CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)

ง. สมบัติทางความร้อน (thermal properties) วิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature: T_g) และอุณหภูมิในการหลอมเหลว (melting temperature: T_m) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะของพอลิเมอร์ โดยตัดฟิล์มน้ำหนัก 5 มิลลิกรัม วางในภาชนะบรรจุตัวอย่าง ให้ความร้อนแก่ชิ้นตัวอย่างด้วยอัตรา 10°C ต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ -20 ถึง 180°C

จ. สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ได้แก่ ความทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (%Elongation) โดยใช้เครื่อง Universal testing machine ซึ่งเป็นความสามารถของวัสดุในการต้านแรงดึง ที่กระทำต่อวัสดุจนกระทั่งวัสดุขาดโดยใช้เครื่องอ้างอิงมาตรฐานในการทดสอบ ASTM D882-01 เตรียมตัวอย่าง โดยขึ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยมีลักษณะดังรูปที่ 3.7.1 โดยจำนวนแผ่นฟิล์ม ในการทดสอบแต่ละชุดไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 10×90 มิลลิเมตรโดยบริเวณขอบของฟิล์มต้องไม่มีรอยตำหนิจากการเตรียม ภาวะในการทดสอบคือใช้ขนาดแรงดึง 1,000 นิวตัน และอัตราเร็วในการดึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที คำนวณค่า Young's modulus (MPa) จาก Stress/Strain ณ จุดที่ดึงขาด



รูปที่ 3.7.1 ขนาดของฟิล์มสารเคลือบที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกล

ฉ. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP) โดยการวัดปริมาณน้ำหนักของไอน้ำที่สามารถซึมผ่านฟิล์มได้ในช่วงเวลาต่างๆ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผ่านเข้าออกของไอน้ำ และความหนาของฟิล์ม การทดสอบทำโดยประยุกต์จากวิธีของ Jo และคณะ(2004) ตามมาตรฐาน ASTM E96-95 เพื่อศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำสำหรับฟิล์มเคลือบบริโกลได้ ใช้ขวด

เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยฟิล์มเคลือบสูตรต่างๆ ให้สนิท หลังจากนั้นวัดน้ำหนักเริ่มต้น และชั่งน้ำหนักอีกครั้งเมื่อครบ 24 ชม. ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 80% คำนวณหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่อพื้นที่จากสมการ (3.2) และ (3.3)

$$WVTR = [(\Delta w / \Delta t) / A] \quad (3.2)$$

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

A = พื้นที่สำหรับการใช้ในการซึมผ่านของน้ำ (เมตร²)

$$WVP = (WVTR \times L) / \Delta P \quad (3.3)$$

โดย

$WVTR$ = อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, กรัม/วินาที เมตร²)

L = ความหนาของฟิล์ม (เมตร)

ΔP = ความแตกต่างของค่าความดันไอน้ำระหว่างฟิล์ม (ปาสคาล)

โดยคิดว่าขวดที่มีน้ำกลั่นอยู่เทียบได้กับผลไม้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ภายใน ซึ่งเราถือว่าภายในผลไม้ อากาศมีความชื้นอยู่ 100% มีความดันไอน้ำในระดับอิ่มตัว (saturated vapor pressure) ตัวอย่างเช่น ขวดน้ำกลั่นที่ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 27 °C มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 70%เมื่ออ่านค่าความดันไอน้ำจากแผนภูมิไซโครเมตริกได้เท่ากับ 16 มิลลิบาร์หรือเท่ากับ 1,600 ปาสคาล ความดันไอน้ำในระดับอิ่มตัว ที่อุณหภูมิ 27 °C อ่านค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริก (psychrometric chart) ได้เท่ากับ 38 มิลลิบาร์หรือเท่ากับ 3,800 ปาสคาล ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างฟิล์มมีค่าเท่ากับ 2,200 ปาสคาล โดยมีความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.24 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ 0.00024 เมตร

ข. อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen transmission rate, OTR) ทดสอบได้โดยการใช้เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ ประยุกต์จากวิธีของ Erol A. และ Sibel T. (2003) เครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วยคอลัมน์แก้วที่ทำขึ้นเป็นพิเศษเหมือนกัน 2 คอลัมน์ มีปริมาตรภายใน 500 มิลลิลิตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ปากคอลัมน์ 4 ซม. ประกบฟิล์มสารเคลือบวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. ไว้ตรงกลางระหว่างคอลัมน์ (รูปที่ 3.7.2) ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 80% ปลอ่ยก๊าซไนโตรเจนเข้าและออกทางคอลัมน์หนึ่ง และก๊าซออกซิเจนในอีกคอลัมน์ ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บก๊าซขาออกของคอลัมน์ในโตรเจนตามเวลา ทุกๆ 24 ชม. จนกว่าปริมาณออกซิเจน

ที่ซึมผ่านจะคงที่ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Chromatography) คำนวณหาอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มสารเคลือบ ดังสมการ (3.4) และ (3.5)

$$M = (m \times v \times 1440 \times 32) / 22400 \quad (3.4)$$

โดย M = น้ำหนักออกซิเจนที่ซึมผ่านฟิล์มต่อเวลา (กรัม/วัน)

m = ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (% โดยปริมาตร)

v = อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน เข้าสู่คอลัมน์ (100 มิลลิลิตร/นาที)

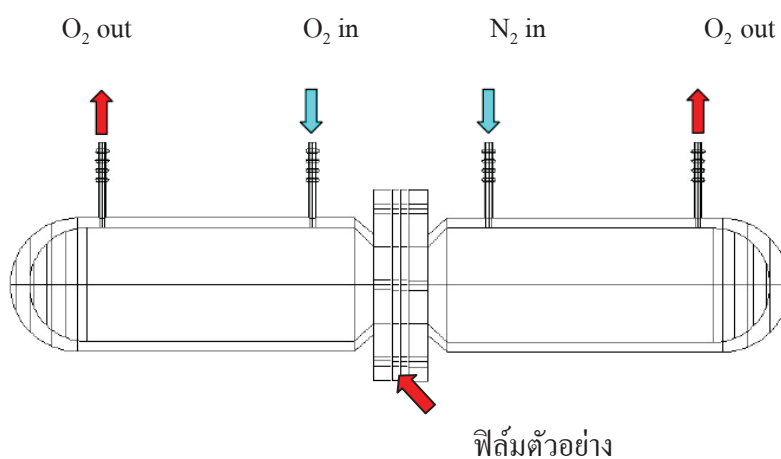
$$OTR = (M \times d) / (A \times \Delta P) \quad (3.5)$$

โดย OTR = อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen transmission rate, ลบ.ซม.³/เมตร²/วัน เมตร² กิโลปาสกาล)

A = พื้นที่สำหรับการซึมผ่านของออกซิเจน (เมตร²)

d = ความหนาของฟิล์ม (เมตร)

ΔP = ความแตกต่างของความดันก๊าซออกซิเจนระหว่างฟิล์ม (1 บรรยากาศ)



รูปที่ 3.7.2 เครื่องทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจนผ่านฟิล์ม

ข. ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม เพื่อประเมินลักษณะที่ผู้ทดสอบสามารถสัมผัสหรือมองเห็นได้ จำนวน 8 คน โดยให้คะแนน 0-5 เช่น สี กลิ่น ความเหนียว ความเปรี้ยว การเกิดการปนเปื้อนจาก เชื้อจุลินทรีย์ การทดสอบความพึงพอใจต่อลักษณะฟิล์ม โดยตัดชิ้นฟิล์มขนาด 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร และห่อด้วยพลาสติกไว้ จัดห้องประเมินโดยเป็นห้องปรับอากาศตั้งอุณหภูมิห้อง ให้ปริมาณ แสงที่มากพออย่างสม่ำเสมอ โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ตั้งถาดตัวอย่างแต่ละถาดห่างกัน 60 เซนติเมตร เมื่อถึงเวลาทดสอบผู้ทดสอบจะเป็นผู้แกะพลาสติกด้วยตัวเอง โดยฟิล์มที่ผลิตขึ้นจะถูก ประเมินสีกลิ่น และการติดมือ จากผู้เข้าร่วมประเมิน ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.7-1 (ประกิจ โรจน์ ปัญญากิจ, 2550)

ตารางที่ 3.7-1: แบบประเมินความพึงพอใจของฟิล์มสารเคลือบ

ชื่อ-สกุล						หมายเลขตัวอย่าง		
สี	เข้มมาก	0	1	2	3	4	5	ไม่เข้ม
ความใส	ขุ่นมาก	0	1	2	3	4	5	ใส
กลิ่น	มาก	0	1	2	3	4	5	ไม่มี
เหนียวติดมือ	ติดมาก	0	1	2	3	4	5	ไม่ติด
ความเปรี้ยว	เปรี้ยวมาก	0	1	2	3	4	5	ไม่เปรี้ยว
ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

3.8) การทดสอบประสิทธิภาพในการเก็บรักษาของสารเคลือบเซลล์ในการเคลือบผิวผลไม้ไทย 4 ชนิด

การทดสอบประสิทธิภาพสารเคลือบเซลล์ที่มีการดัดแปลงสูตรแบบต่างๆในงานวิจัยนี้ ทำโดยการ ทดสอบเคลือบผลไม้ด้วยสารเคลือบเซลล์สูตรต่างๆ ระดับห้องปฏิบัติการ บนผลไม้ไทย 4 ชนิด ได้แก่ มะม่วง กล้วยหอม ส้มโอ และเงาะโดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเทคโนโลยีการเก็บรักษาหรือการ ดัดแปลงบรรยากาศแบบใกล้เคียงที่มีใช้งานทางการค้าในปัจจุบัน

3.8.1) การทดสอบเคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้ เบอร์ 4 ระดับห้องปฏิบัติการ

ก) การเตรียมมะม่วง (Pretreatment)

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 อายุ 100-110 วันหลังจากดอกบาน คัดผลที่มีขนาดน้ำหนักใกล้เคียงกันและผลมีความสมบูรณ์ นำมะม่วงที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาตัดขั้วให้ความยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร แล้วผ่าผลมะม่วงลงบนกระสอบเพื่อให้น้ำยางแห้ง คัดเลือกผลมะม่วงที่มีความเหมาะสมด้วยวิธีการนำไปลอยในน้ำและน้ำเกลือ 1% และ 2% ตามลำดับ ในที่นี้เลือกผลมะม่วงที่จมน้ำ จากนั้นทำความสะอาดผิวมะม่วงด้วยสารละลายคลอรีนที่มีสารออกฤทธิ์โซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 ppm เพื่อฆ่าเชื้อ นำมะม่วงที่ล้างแล้วแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และจุ่มน้ำเย็น 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปแช่น้ำยาโปรคลอราซ 250 ppm เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันโรคมะม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยว จากนั้นแปรรูปด้วยพัดลมให้แห้งสนิทใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยการเตรียมมะม่วงก่อนการเคลือบทุกขั้นตอนแสดงดังรูป 3.8.1

ข) กลุ่มการทดลอง (ทรีตเมนต์) แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1: เก็บรักษามะม่วงในกล่องสุญญากาศ

กลุ่ม 1.1 ไม่เคลือบ (Control)

กลุ่ม 1.2 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ลิกนินพื้นฐาน (A1)

กลุ่ม 1.3 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ลิกนินดัดแปลงด้วย ไซลลิก 5.0% (S3)

กลุ่ม 1.4 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ลิกนินดัดแปลงด้วย ไซลลิก 7.5% (S4)

กลุ่ม 1.5 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ลิกนินดัดแปลงด้วย ไซลลิก 5.0% (C3)

กลุ่ม 1.6 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ลิกนินดัดแปลงด้วย ไซลลิก 7.5% (C4)

กลุ่มที่ 2: เก็บรักษามะม่วงในถุงพลาสติกชนิด Linear low density polyethylene (LLDPE) ชนิด FF 5 (OTR = 12,500 cc/(m²-day), CO₂TR = 42,250 cc/(m²-day), WVTR = 19.5 g/(m²-day))

กลุ่ม 2.1 ไม่เคลือบ และบรรจุในถุงพลาสติก ขนาด 3 กก. (P-3)

กลุ่ม 2.2 ไม่เคลือบ และบรรจุในถุงพลาสติก ขนาด 5 กก. (P-5)

ค) วิธีการเคลือบมะม่วง และการบรรจุถุงพลาสติก high OTR

มะม่วงที่ถูกคัดและทำความสะอาดผิวแล้ว ในกลุ่มที่ 1 ถูกพ่นเคลือบผิวแห้งด้วยสารเคลือบที่บรรจุในกาพ่นสี ทำการพ่นเคลือบ (ใช้ปั๊มลม) ในปริมาณ 20 มิลลิลิตร/กิโลกรัม (ซึ่งมีการทดสอบแล้วว่าเคลือบได้ทั่วทั้งผลในระดับห้องปฏิบัติการ) ทำการเป่าแห้งด้วยลมเย็นแล้วเก็บรักษาในกล่องสุญญากาศที่ใช้ในการส่งออก สำหรับกลุ่มที่ 2 นำมะม่วงน้ำหนัก 3 กก. และ 5 กก. มาบรรจุถุงพลาสติก high OTR ขนาด 13 x 18 ตารางนิ้ว และ 17x22 ตารางนิ้ว แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (รูปที่ 3.8.2)



ตัดขั้วเหลือ 0.5-1.0 ซม.



สะเด็ดยาง



จมน้ำเกลือ



ล้างคลอรีน 200 ppm



แช่น้ำร้อน 52 องศาเซลเซียส



แช่น้ำเย็น 3 นาที



จุ่มสารฆ่าเชื้อรา 250 ppm



ผึ่งให้แห้ง



เก็บรักษา 12 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.8.1 การเตรียมมะม่วงก่อนการเคลือบ



พ่นเคลือบ 20 มิลลิลิตร/กิโลกรัม



ผึ่งให้แห้ง



การบรรจุมะม่วง



เก็บที่ 12 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95%



มะม่วงที่ไม่ถูกเคลือบแต่ถูกบรรจุในถุงพลาสติก high OTR ขนาด 3 กก. และ 5 กก (กลุ่มที่ 2)

รูปที่ 3.8.2 กระบวนการเคลือบและเก็บรักษามะม่วงระหว่างการทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในระดับห้องปฏิบัติการ

ง) การประเมินคุณภาพผลไม้มะม่วง

การประเมินคุณภาพแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ทางเคมีกายภาพ และความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม มีการประเมินผลทั้งในมะม่วงผลดิบและผลบ่มสุก (ใช้สารละลายเอธิฟอนความเข้มข้น 1000 ppm บ่มมะม่วงจนสุกใช้เวลา 5-7 วัน) ในแต่ละสัปดาห์

● คุณภาพทางกายภาพ

- ลักษณะภายนอก เปรียบเทียบโดยการถ่ายรูปใช้กล้องดิจิทัล Cannon รุ่น Ixus 800 IS พิจารณาลักษณะของ สีเปลือก สีเนื้อ เมล็ด โดยหาเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่แสดงการเกิดโรค(โดยคิดทั้งผลเป็น 100%)และการเปลี่ยนแปลงของสี ถ่ายรูปที่รีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ

- รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) JEOL รุ่น JSM-5410 LV ญี่ปุ่น เพื่อทำการศึกษารูปภาพพื้นผิวและภาพตัดขวางของเปลือกมะม่วงที่เคลือบผิวและไม่ได้เคลือบผิว

การเตรียมตัวอย่างสามารถทำได้โดย นำเปลือกมะม่วงที่ต้องการถ่ายรูปไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ 0°ซ เป็นเวลา 24 ชม. นำเข้าเครื่องทำตัวอย่างแห้ง ชนิดเยือกแข็ง (Freeze dry รุ่น LY3TTE เนเธอร์แลนด์) ความดัน 33.3 ปาสกาล อุณหภูมิ -45°ซ เป็นเวลา 96 ชม. [A Nussinovitch, 2004] จากนั้นใช้มีดคมตัดเปลือกมะม่วงให้มีขนาด 0.5x0.5 x0.1 ซม. ใช้ยาทาเล็บทาบนแท่นตัวอย่าง แล้วนำเปลือกมะม่วงที่ตัดได้มาจัดเรียงบนแท่นตัวอย่าง รอจนตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างไปเคลือบทองด้วยเครื่อง Ion sputter coater รุ่น SC 7620 ใช้กระแสไฟฟ้า 4 mA ความดัน 0.2 mbar เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อหาภาพพื้นผิวและพื้นที่ตัดขวาง

- การวัดสีของผิวเปลือกและเนื้อ (โดยแสดงค่า $L^* a^* b^*$) ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อของแต่ละรีตเมนต์ตลอดการเก็บรักษา ด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR 400 ญี่ปุ่น บันทึกค่า L คือค่าความสว่าง a คือค่าความเป็นสีแดง และค่า b หรือค่าความเป็นสีเหลือง ในแต่ละรีตเมนต์วัดค่าทั้งหมด 6 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย
- การสูญเสียน้ำหนัก ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของผลไม้ในวันที่เคลือบ และชั่งน้ำหนักของผลไม้ภายหลังการเก็บรักษาในวันที่ทำการประเมินคุณภาพ รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3.6)$$

- ความแน่นเนื้อ ใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Effigi, อิตาลี) ขนาด 1 กก. ระยะกดลงไปบนเนื้อมะม่วงเท่ากับ 1 ซม. ใช้หัววัดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2, 5, 8 และ 10 มิลลิเมตร กดลงไปบนเนื้อผลไม้ อ่านค่าเป็นหน่วยกิโลกรัม จากนั้นแปลงหน่วยให้เป็นพื้นที่การวัดที่เท่ากันและเปลี่ยนหน่วยเป็นนิวตันโดยการคูณด้วย 9.807 (เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิชาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547) ในแต่ละทรีตเมนต์วัดค่าทั้งหมด 6 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย

● คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid , TSS) โดยการวัดค่า TSS จากน้ำคั้นมะม่วงด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์แบบพกพา ยี่ห้อ ATAGO N1, ญี่ปุ่น โดยการนำน้ำคั้นมะม่วงมาหยดลงบนเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ทำการส่องอ่านค่าเป็นร้อยละ (%) ของของแข็งที่ละลายน้ำ

- เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ (% Titratable Acidity, TA) นำเนื้อมะม่วงมาคั้นน้ำ โดยใช้ผ้าขาวบาง คั้นน้ำออกมาพอประมาณให้ได้มากกว่า 5 มิลลิตร จากนั้นบีบน้ำคั้น 5 มิลลิตร ไปหาความเป็นกรดโดยหยดฟีนอลทาลีน 1% เป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล จนกระทั่งน้ำคั้นเปลี่ยนเป็นสีชมพู คำนวณหาร้อยละของกรดซิตริก ดังสมการที่ (3.7)

$$\%TA = \frac{\text{ปริมาตรของ NaOH} \times \text{Molar of NaOH} \times \text{mEq of acid} \times 100}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง}} \quad (3.7)$$

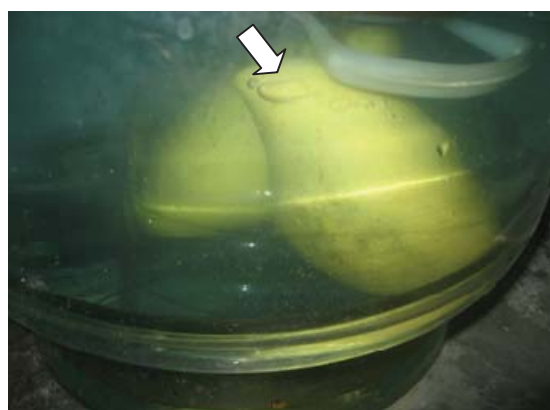
ปริมาตรของตัวอย่าง

มะม่วงประกอบด้วย Critic acid เป็นหลัก และมีค่า mEq = 0.064 (เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิชาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน, 2547)

- วิเคราะห์อัตราการหายใจของผลไม้โดยวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซเอทิลีน โดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Chromatography) นำมะม่วงในแต่ละทรีตเมนต์ไปเก็บไว้ในถัง ถังละ 1 ลูก ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ถังพลาสติกทรงกระบอกขนาด 7 ลิตร ปิดฝาทิ้งไว้ 1 ชม. ซึ่งฝาดังมีสายซิลิโคน เพื่อเก็บก๊าซ โดยใช้ไซริงขนาด 3 มิลลิตร ดูดก๊าซและปิดปลายไซริงด้วยเซปตัม (septum) ทันทีเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซ นำก๊าซที่ได้มา 1 มิลลิตร ฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ เพื่อหาปริมาณ ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน

-วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซเอทิลีนภายในผลมะม่วง โดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Chromatography) โดยนำมะม่วงบรรจุลงในโถ desicator ที่ต่อเข้ากับเครื่องแวกคิวอัมปั๊ม เพื่อดูดอากาศออกจากโหลแก้วเป็นเวลา 5 นาที ซึ่งก๊าซภายในผลมะม่วงจะถูกดึงออกมาจากภายในผลมะม่วงด้วย ก่อนปิดช่องเปิดทางดูดอากาศออกของโหลแก้ว แล้วปิดเครื่องปั๊ม จากนั้นจึงเปิดช่องทางดูดอากาศออกอีกครั้ง จะเกิดแรงดันย้อนกลับ ก๊าซจะลอยขึ้นมาด้านบน จากนั้นจึงใช้ไซริงค์ดูดก๊าซมาฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ เพื่อหาปริมาณก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และ เอทิลีน (รูปที่ 3.8.3)

การวิเคราะห์แก๊ส เพื่อหาปริมาณแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน (Shimadzu รุ่น GC-8A) ใช้ detector ชนิด thermal conductivity detector (TCD) คอลัมน์ porapak Q80/100 บรรจุในท่อไร้สนิม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร ส่วนเครื่องวิเคราะห์แก๊สเอทิลีน ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-8A ใช้ detector ชนิด flame ionization detector (FID) คอลัมน์ porapak Q80/100 บรรจุในท่อไร้สนิม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.48 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร ค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน ได้ค่าออกเป็นหน่วย %โดยปริมาตร และแก๊สเอทิลีนได้ค่าออกมาเป็นหน่วย ppm



รูปที่ 3.8.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาแก๊สที่สะสมอยู่ภายในผลมะม่วง ลูกศรีษะขาวแสดงฟองแก๊สจากผล

- ปริมาณแอลกอฮอล์ โดยวิธี jam jar experiment หลักการ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลกอฮอล์และสารละลายไดโครเมต นำสารตัวอย่างปริมาณ 0.06 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร สูง 4.2 เซนติเมตร) และนำขวดขนาดเล็กใส่ลงไปในขวดแก้ว (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 10.6 เซนติเมตร) ที่บรรจุสารละลายไดโครเมต (0.1 โมลาร์ สารละลายไดโครเมต ใน 2.5 โมลาร์ กรดซัลฟิวริก) ปริมาณ 0.6 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดแก้วให้แน่น ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เมื่อไอแอลกอฮอล์ที่ระเหยจากสารตัวอย่างเกิดปฏิกิริยากับไดโครเมตที่บรรจุอยู่ในขวดแก้ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะไปเปลี่ยนสีของสารละลายไดโครเมต ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 590 นาโนเมตร สามารถทำการวิเคราะห์จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) นำเอทานอลความเข้มข้น 95% เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 0, 100, 200, 500, 1,000, 1,200 และ 2,000 ppm วิธีการทดลองเช่นเดียวกับการใช้ตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน (ศศิธร มั่นเจริญและคณะ, 2549) เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์

● ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม

สำหรับมะม่วงบ่มสุก โดยประเมินในด้านต่างๆดังนี้ สีเนื้อ กลิ่นหอม ความเปรี้ยว ความหวาน กลิ่นรสผิดปกติ เสียนและความชอบ ในแต่ละสัปดาห์ ผู้ร่วมประเมิน 12 คน ทำการประเมิน ดังตารางที่ 3.8-1 ให้คะแนน 0 – 5 โดยคะแนน 5 คือ แสดงค่าการประเมินด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมาก คะแนน 0 แสดงค่าการประเมินด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นน้อย ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) จัดสถานที่สำหรับการชิมโดยห้องต้องสะอาด ปราศจากกลิ่น และมีแสงเพียงพอ นำเนื้อมะม่วงในแต่ละสูตรมาจัดวางลงถาดที่ติดเบอร์เลขสามหลักซึ่งแทนแต่ละสูตรไว้ โดยทำการเปลี่ยนตัวเลขทุกวันที่ทำกรทดสอบ จัดชิมและประเมินผลตามตารางที่ 3.8-1 สำหรับส้มโอ วิธีการเช่นเดียวกับมะม่วง มีการประเมินในด้านต่างๆดังนี้ สีเนื้อ ความฉ่ำ ความหวาน ความเปรี้ยว กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบ

ตารางที่ 3.8-1: ตารางประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมสำหรับมะม่วง

ชื่อ-สกุล						หมายเลขตัวอย่าง		
สีเนื้อ	ไม่สวย	0	1	2	3	4	5	สวยมาก
กลิ่นหอม	ไม่หอม	0	1	2	3	4	5	หอมมาก
ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	5	หวานมาก
ความเปรี้ยว	ไม่เปรี้ยว	0	1	2	3	4	5	เปรี้ยวมาก
เสี้ยน	ไม่มีเสี้ยน	0	1	2	3	4	5	มีเสี้ยนมาก
กลิ่นและรสชาติ ผิดปกติ	ไม่ผิดปกติ	0	1	2	3	4	5	ผิดปกติมาก
ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

3.8.2) การทดสอบเคลือบกล้วยไข่ ระดับห้องปฏิบัติการ

ก) การหาปริมาณสารที่ใช้จุ่มเคลือบกล้วยไข่

สารเคลือบ 10 ลิตรใส่ในถังพลาสติกที่แห้งและสะอาด จุ่มเคลือบกล้วย 48 กิโลกรัม ครั้งละหนึ่งหวีในสารเคลือบแต่ละสูตร วัดปริมาตรที่เหลืออยู่หลังจุ่มครบ 48 กิโลกรัม ของสารเคลือบแต่ละสูตร บันทึกผลแล้วหาค่าเฉลี่ยปริมาตรของสารเคลือบที่ใช้ในการจุ่มเคลือบกล้วยไข่ต่อหวี และต่อน้ำหนักเฉลี่ยของกล้วยไข่

ข) การเตรียมกล้วยไข่ (Pretreatment)

การเตรียมกล้วยไข่ก่อนการเคลือบ ทำโดยคัดเลือกกล้วยไข่จากสหกรณ์ท่ายาง ในเขตจังหวัดจันทบุรี ขนส่งโดยรถห้องเย็น 12 °ซ มายังห้องปฏิบัติการศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วิธีการทำความสะอาด ฆ่าและป้องกันเชื้อโรควิธีเดียวกับในข้อ 3.8.1) ก. จากนั้นผึ่งให้แห้งโดยใช้พัดลมเป่า (รูปที่ 3.8.4)

ค) กลุ่มการทดลองสำหรับกล้วยไข่ (ทรีทเมนต์)

แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

กลุ่มที่ 1: เก็บรักษากล้วยไข่ ในกล่องลูกฟูก

กลุ่ม 1.1 ไม่ได้เคลือบสารเคลือบ (Control)

กลุ่ม 1.2 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์ซสูตรพื้นฐาน (A1)

กลุ่ม 1.3 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์ซดัดแปลงด้วย ไข่เซลลูล์ซ 5.0% (S3)

กลุ่ม 1.4 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์ซดัดแปลงด้วย ไข่เซลลูล์ซ 7.5% (S4)

กลุ่ม 1.5 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์ซดัดแปลงด้วย ไข่คาร์บูนา 5.0% (C3)

กลุ่ม 1.6 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์ซดัดแปลงด้วย ไข่คาร์บูนา 7.5% (C4)

กลุ่มที่ 2: เก็บรักษาเงาะในถุงพลาสติกของสหกรณ์ท่ายาง

กลุ่ม 2.1 บรรจุกล้วย 1 หวี (1H)

กลุ่ม 2.2 บรรจุกล้วย 6 หวี (6H)

ง) กระบวนการเคลือบเปลือกกล้วยไข่

หลังจากที่ทำการคัดเลือกกล้วยไข่และทำความสะอาดแล้ว จะถูกนำมาเคลือบโดยวิธีการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรเซลลูล์ซพื้นฐาน และเซลลูล์ซดัดแปลงด้วยไข่ต่างๆ หลังจากผ่านการจุ่มปล่อยให้ไข่แห้ง โดยแขวนไว้บนราวแล้วใช้พัดลมเป่า จากนั้นไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90±0.5% ใช้พัดลมเป่า (รูปที่ 3.8.4)

จ) การประเมินคุณภาพเบื้องต้น หลังจากเคลือบผิวกล้วยด้วยสารละลายเซลล์สูตรดัดแปลงด้วยไข่ เช่นเดียวกับมะม่วง ทั้ง 3 ด้าน ด้านกายภาพ ด้านเคมี และความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม

- **คุณภาพทางกายภาพ**

- ลักษณะภายนอก เปรียบเทียบโดยการถ่ายรูปใช้กล้องดิจิทัล Sony รุ่น DSC-HX1 พิจารณาลักษณะของสีเปลือก และการเกิดโรค

- วัดสีของผิวเปลือกนอก สีเปลือกด้านใน และเนื้อ (โดยแสดงค่า L^* a^* b^*), การสูญเสีย น้ำหนัก และความแน่นเนื้อ โดยเมื่อเนื้อยังคงแข็งอยู่ใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. แต่เมื่อเนื้อผลสุกใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 ซม. วิธีการโดยรวมเช่นเดียวกับมะม่วง

- **คุณภาพทางเคมี** วิธีการเช่นเดียวกับมะม่วง แต่ไม่มีการวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์

- **ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม** โดยประเมิน สีเนื้อ เนื้อสัมผัส ความหวาน กลิ่นและรสชาติ ผิดปกติ ความชอบ และคุณภาพโดยรวม ในแต่ละสัปดาห์ที่เก็บรักษา ใช้ผู้ร่วมประเมิน 10 คน โดยการใช้คะแนน 0-4 ดังตารางที่ 3.8-2

ตารางที่ 3.8-2: ตารางประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมกล้วยไข่

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน						
สีเนื้อ	ไม่สวย	0	1	2	3	4	สวย
เนื้อสัมผัส	ไม่ละเอียด	0	1	2	3	4	ละเอียดมาก
ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	หวาน
กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ไม่ผิดปกติ	0	1	2	3	4	ผิดปกติมาก
ความชอบ	น้อย	0	1	2	3	4	มาก
คุณภาพโดยรวม	ไม่ยอมรับ	0	1	2	3	4	ดีมาก



ล้างด้วยสารละลายคลอรีน 200 ppm



จุ่มน้ำยาฆ่าเชื้อรา 250 ppm 5 นาที



ผึ่งให้แห้ง

การเตรียมกล้วยไข่ ก่อนการเคลือบ



จุ่มเคลือบ



ปล่อยให้แห้ง

รูปที่ 3.8.4 กระบวนการเคลือบกล้วยไข่ระดับห้องปฏิบัติการ

3.8.3) การทดสอบเคลือบส้มโอขนาดใหญ่ ระดับห้องปฏิบัติการ

ก) การเตรียมส้มโอ (Pretreatment)

คัดเลือกส้มโอน้ำผึ้งอายุ 7 เดือนนับจากดอกบาน จากสวนในอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม โดยน้ำหนักใกล้เคียงกันประมาณ 1,000-2,000 กรัม นำผลส้มโอที่คัดเลือกมาล้างทำความสะอาดด้วยสารละลายคลอรีนที่มีสารออกฤทธิ์โซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 ppm จากนั้นล้างด้วยคาร์เบนดาซิม 500 ppm ป้องกันเชื้อรา และเป่าด้วยพัดลมให้แห้งสนิทใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยการเตรียมส้มโอก่อนการเคลือบทุกขั้นตอนในรูปแบบที่ 3.8.5



ขัดล้างด้วยคลอรีน เข้มข้น 200



จุ่มสารฆ่าเชื้อรา คาร์เบนดาซิม 500 ppm



ผึ่งให้แห้ง



เก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.8.5 การเตรียมส้มโอก่อนการเคลือบ

ข) กลุ่มการทดลองสำหรับส้มโอขาวใหญ่

กลุ่ม 1 ไม่ได้เคลือบ (CONTROL)

กลุ่ม 2 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสพื้นฐาน (S10%)

กลุ่ม 3 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสโดยผสมไขเซลลูล์โลส 5.0% (SW5%)

กลุ่ม 4 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสโดยผสมไขเซลลูล์โลส 7.5% (SW7.5%)

กลุ่ม 5 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสโดยผสมไขคาร์นูบา 5.0% (SC5%)

กลุ่ม 6 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสโดยผสมไขคาร์นูบา 7.5% (SC7.5%)

กลุ่ม 7 ส้มโอที่เคลือบด้วยสารเคลือบทางการค้า (CM)

ค) การประเมินคุณภาพเบื้องต้น หลังจากเคลือบผิวกล้วยด้วยสารละลายเซลลูล์โลสที่ดัดแปลงด้วย ไข เช่นเดียวกับมะม่วง ทั้ง 3 ด้าน ด้านกายภาพ ด้านเคมี และความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม

● **คุณภาพทางกายภาพ**

- ลักษณะภายนอก เปรียบเทียบโดยการถ่ายรูป พิจารณาลักษณะของ สีเปลือกนอก สีเปลือก ด้านใน สีเนื้อ และการเกิดโรค

- วัดสีของผิวเปลือกนอก สีเปลือกด้านใน และเนื้อ (โดยแสดงค่า L^* a^* b^*), การสูญเสีย น้ำหนัก และความแน่นเนื้อ โดยเมื่อเนื้อยังคงแข็งอยู่ใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. แต่เมื่อเนื้อผลสุกจะใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 ซม. วิธีการโดยรวมเช่นเดียวกับ มะม่วง

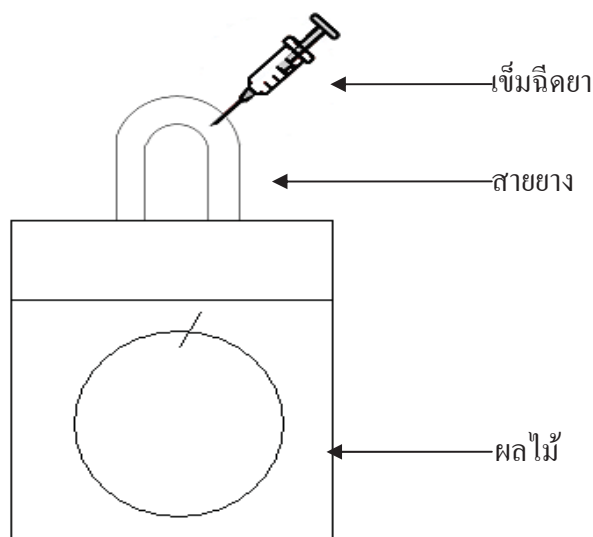
● **คุณภาพทางเคมี วิธีการเช่นเดียวกับมะม่วง และ**

- อัตราการหายใจ ทำโดยนำส้มโอแต่ละกลุ่มการทดลองไปเก็บไว้ในถัง ถังละ 1 ลูก กลุ่มการทดลองละ 3 ซ้ำ ถึงพลาสติกทรงกระบอกขนาด 21 ลิตร ปิดฝาทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงดังรูป 3.8.6 ซึ่งฝา ถังมีสายซิลิโคน เพื่อเก็บแก๊ส โดยนำแก๊สที่ได้มา 1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์แก๊ส เพื่อหา ปริมาณ แก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน และคำนวณหาอัตราการหายใจและการ ผลิตเอทิลีนได้

● **ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม** โดยใช้ผู้ร่วมประเมิน 10 คน ทำการประเมิน ให้คะแนน ดัง

ตาราง

ที่ 3.8-3



รูปที่ 3.8.6 อุปกรณ์ในการหาอัตราการหายใจของส้มโอ

ตารางที่ 3.8-3: ตารางประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมส้มโอ

ชื่อ-สกุล						หมายเลขตัวอย่าง		
สีเนื้อ	ไม่สวย	0	1	2	3	4	5	สวยมาก
ความฉ่ำ	ไม่ฉ่ำ	0	1	2	3	4	5	ฉ่ำมาก
ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	5	หวานมาก
ความเปรี้ยว	ไม่เปรี้ยว	0	1	2	3	4	5	เปรี้ยวมาก
กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ไม่ผิดปกติ	0	1	2	3	4	5	ผิดปกติมาก
ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	5	ชอบมาก

ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำโดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด อัตราการหายใจ การผลิตแก๊สเอทิลีน และคุณภาพในการรับประทาน จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ความแตกต่างทางสถิติแบบ ANOVA ที่ความเชื่อมั่น 95%

3.8.4) การทดสอบเชื้อราโรงเรียน ระดับห้องปฏิบัติการ

ก) การทดลองเพื่อหาปริมาณสารเคลือบที่ใช้ในการจุ่มเชื้อรา

เนื่องจากการพ่นเคลือบไม่เหมาะสมที่ใช้กับเงาะซึ่งมีลูกเล็กและพื้นที่ผิวมาก จึงต้องใช้การจุ่มเคลือบ และเนื่องจากการจุ่มเคลือบซ้ำๆกัน อาจทำให้ความเข้มข้นของสารเคลือบเปลี่ยนแปลงไปจึงจำเป็นต้องทำการทดลองเพื่อหาวิธีและปริมาณการใช้สารเคลือบที่เหมาะสม ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเงาะถูกจัดเรียงลงตะกร้าพลาสติก ขนาด กว้าง×ยาว×สูง(นิ้ว) = $14 \times 20 \times 15$ (รูป 3.8.7) ซึ่งสารเคลือบที่ใช้ทดสอบ คือ สารเคลือบเซลลูล์โลส ดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูนา 5 % (C3) x ปริมาณ 9 ลิตร จุ่มเงาะทั้งตะกร้าในสารเคลือบใช้เวลา 20 วินาที แต่แต่ละครั้งการจุ่มเคลือบจะเก็บสารเคลือบมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลายโดยวิธีอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C นาน 6 ชั่วโมง และวัดปริมาตรของสารเคลือบที่เหลืออยู่ จุ่มเงาะครั้งละ 1 กิโลกรัม หลายๆรอบ จนไม่สามารถจุ่มได้ทั่วผล แล้วจึงเติมสารเคลือบให้ปริมาตรรวมเท่ากับปริมาตรเริ่มต้น แล้วจึงเริ่มทำการจุ่มเคลือบซ้ำใหม่อีกรอบ

ข) การเตรียมเงาะ (Pretreatment)

การเตรียมเงาะก่อนการเคลือบ ทำโดยคัดเลือกเงาะโรงเรียนจากสวนเกษตรกรที่อำเภอ นาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี ระยะที่ 3-6 (รูปที่ 3.8.7) จัดเรียงใส่ตะกร้าพลาสติกขนาด 15 กิโลกรัม ขนส่งโดยรถห้องเย็นอุณหภูมิ 12°C มายังห้องปฏิบัติการศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ทำความสะอาดสิ่งสกปรกด้วยการแช่น้ำ 3 นาที แล้วทำความสะอาดผิวเงาะด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 200 ppm เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่ผิวผล นำไปแช่ในน้ำยาโพรคลอราซ 250 ppm เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันโรค แล้วทิ้งไว้ให้หมาดในห้องเย็นก่อนการเคลือบ

ค) กลุ่มการทดลอง (ทรีตเมนต์) สำหรับเงาะ

แบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

กลุ่มที่ 1: เก็บรักษาเงาะในกล่องสุญญากาศ

กลุ่ม 1.1 ไม่ได้เคลือบ (Control)

กลุ่ม 1.2 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสพื้นฐาน (A1)

กลุ่ม 1.3 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสดัดแปลงด้วย ไซเซลลูล์ 5.0% (S3)

กลุ่ม 1.4 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสดัดแปลงด้วย ไซเซลลูล์ 7.5% (S4)

กลุ่ม 1.5 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูนา 5.0% (C3)

กลุ่ม 1.6 เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์โลสดัดแปลงด้วย ไซคาร์บูนา 7.5% (C4)

กลุ่มที่ 2: เก็บรักษาเงาะในถุงพลาสติกชนิด Low Density Polyethylene (LDPE) ชนิด FF 3

OTR เท่ากับ $18,272 \text{ cc}/(\text{m}^2\text{-day})$, CO_2TR เท่ากับ $>30,000 \text{ cc}/(\text{m}^2\text{-day})$, WVTR เท่ากับ $25.1 \text{ g}/(\text{m}^2\text{-day})$

กลุ่ม 2.1 บรรจุ 1 ถาด (ถาดละ 20 ผล) ขนาดถุงพลาสติก 27×32 ซม. (1P)

กลุ่ม 2.2 บรรจุ 2 ถาด (ถาดละ 20 ผล) ขนาดถุงพลาสติก 44×35 ซม. (2P)

ง) กระบวนการเคลือบเงาะ

หลังจากที่ทำการคัดเลือกเงาะและทำความสะอาดแล้ว จะถูกมาเคลือบโดยวิธีการจุ่มเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่างๆ แล้วทำให้แห้งด้วยลมเย็น แล้วไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95%

จ) การประเมินคุณภาพเบื้องต้น หลังจากเคลือบผิวเงาะด้วยสารละลายเซลล์สูตรดัดแปลงด้วยไข่ การประเมินคุณภาพแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ

- **คุณภาพทางกายภาพ**

- ลักษณะภายนอก เปรียบเทียบโดยการถ่ายรูปใช้กล้องดิจิทัล พิจารณาลักษณะของ สีเปลือกนอก สีเปลือกด้านใน และสีเนื้อ

- ประเมินการเปลี่ยนแปลงสีขนและเปลือกดำ และเปอร์เซ็นต์การเกิดผลเน่า โดยการให้คะแนน (รูปที่ 3.8.8)

- รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), วัดสีของผิวเปลือกนอก สีเปลือกด้านใน และเนื้อ (โดยแสดงค่า L^* a^* b^*), การสูญเสียน้ำหนัก และความแน่นเนื้อ โดยใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. วิธีการโดยรวมเช่นเดียวกับมะม่วง

- **คุณภาพทางเคมี วิธีการเช่นเดียวกับมะม่วง**

- **ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม** โดยประเมิน ลักษณะภายนอก (สีขนและเปลือก) สีเนื้อ ความ และ ความกรอบ ความหวาน ความเปรี้ยว กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบ ในแต่ละสัปดาห์ที่เก็บรักษา โดยใช้ผู้ร่วมประเมิน 10 คน ให้คะแนน 0 – 4 ดังตารางที่ 3.8-4



ระยะเก็บเกี่ยวเงาะโรงเรียน



เงาะที่ถูกฆ่าเชื้อแล้วถูกจัดเรียงในตะกร้าและชั่งน้ำหนัก



จุ่มเคลือบประมาณ 15 วินาที แล้วเป่าแห้งด้วยลมเย็น



การบรรจุเงาะ เพื่อเก็บรักษาที่ 12° เซลเซียส

รูปที่ 3.8.7 กระบวนการจุ่มเคลือบและการเก็บรักษาเงาะ

คะแนน 0



คะแนน 1



คะแนน 2



คะแนน 3



คะแนน 4

รูปที่ 3.8.8 การให้คะแนนการเปลี่ยนแปลงสีขนและเปลือกของเงาะ

ตารางที่ 3.8-4: ตารางประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมเงาะ

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน						
ลักษณะภายนอก(สีขนและเปลือก)	ต่ำน้อย	0	1	2	3	4	ต่ำมาก
สีเนื้อ	ไม่สวย	0	1	2	3	4	สวย
ความและ	ไม่และ	0	1	2	3	4	และมาก
ความกรอบ	ไม่กรอบ	0	1	2	3	4	กรอบมาก
ความหวาน	ไม่หวาน	0	1	2	3	4	หวาน
ความเปรี้ยว	ไม่เปรี้ยว	0	1	2	3	4	เปรี้ยวมาก
กลิ่นและรสชาติผิดปกติ	ไม่ผิดปกติ	0	1	2	3	4	ผิดปกติมาก
ความชอบ	ไม่ชอบ	0	1	2	3	4	ชอบมาก

3.9) การทดสอบเคลื่อนเงาะโรงเรียน ระดับการค้า

เงาะโรงเรียน ถูกเลือกมาทดสอบเคลื่อนระดับการค้า เนื่องจากความเร่งด่วนในการแก้ปัญหาการค้าเงาะในต่างประเทศ จากข้อมูลที่ได้ในการสอบถามจากผู้ประกอบการขายเงาะในประเทศ และส่งเงาะออกไปขายในต่างประเทศ การขายในประเทศเนื่องจากเงาะจะได้รับการกระทบกระเทือนมากและมีผลต่อสีขนและเปลือกหากขายโดยให้ผู้ทดสอบชิมเลือกและบรรจุเอง คณะผู้วิจัยจึงทำการทดลองเลียนแบบสภาวะที่ผู้ค้าจากสวนเก็บเงาะมาบรรจุลงลังหน้า และส่งขายในซูเปอร์มาร์เก็ตที่มีการใช้อุณหภูมิต่ำในการวางขาย ส่วนการขนส่งเงาะไปขายต่างประเทศ มักทำได้ในระยะสั้นๆในทวีปเอเชีย เช่นใน จีน ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย รัสเซีย ญี่ปุ่นเป็นต้นและมีอายุการเก็บรักษาหลังการขนส่งน้อย (1-3 วัน) เงาะสีเปลี่ยนเป็นสีดำเกือบหมดทำให้ดูไม่น่ารับประทาน คณะผู้วิจัยทำการทดลองเลียนแบบสภาวะที่ผู้ค้ารับเงาะปริมาณมากจากสวนมาคัด ทำความสะอาดและบรรจุแบบต่างๆ ก่อนการส่งออกไปที่ผู้กระจายสินค้าเพื่อการวางขายต่อไป

3.9.1) การทดสอบเคลื่อนเงาะโรงเรียนระดับการค้าครั้งที่ 1 การค้าเงาะในประเทศ

ก) การเตรียมเงาะ (Pretreatment)

การทดสอบทำระหว่างวันที่ 5-25 กรกฎาคม 2553 การเตรียมเงาะก่อนการเคลื่อน ทำโดยคัดเลือกเงาะโรงเรียน ระยะที่ 3-6 จัดเรียงใส่ตะกร้าเหล็กขนาด 5 กิโลกรัม (รูปที่ 3.9.1) แล้วทำความสะอาด ผ่าและป้องกันเชื้อโรคสวน ที่สวนเกษตรกรที่อำเภอ นาสาร จังหวัด น้ำที่ใช้เป็นน้ำบ่อ จากอำเภอชะอวด ในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยมีวิธีทำความสะอาด ผ่าและป้องกันเชื้อโรคเดียวกับในข้อ 3.8.4) ข.

ข) กลุ่มการทดลอง (ทรีทเมนต์) สำหรับเงาะ

แบ่งชุดเงาะออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

ชุด 1: เก็บรักษาเงาะในตะกร้าพลาสติกขนาดบรรจุ 5 กิโลกรัม

กลุ่ม 1 เงาะที่ไม่ได้เคลือบ (Control)

กลุ่ม 2 เงาะที่เคลือบด้วยสารละลายเซลลูล์ก สูตรผสมไซคาร์บูนา 5% (C3)

ชุด 2: เก็บรักษาเงาะในถุงพลาสติก ขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม ชนิด PE เจาะรู (12 รู) ของ

ห้างสรรพสินค้า เดอะมอลล์

กลุ่ม 1 เงาะที่ไม่ได้เคลือบ (Control)

กลุ่ม 2 เงาะที่เคลือบด้วยสารละลายเซลลูล์ก สูตรผสมไซคาร์บูนา 5% (C3)

ไซคาร์บูนาเป็นผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติที่มีทางการค้า ซึ่งผู้ผลิตสารเคลือบที่สามารถหาซื้อได้ ดังนั้นจึงเลือกสารเคลือบที่ดัดแปลงด้วยไซคาร์บูนามาใช้ในการทดสอบ

ค) กระบวนการเคลือบเงาะ

หลังจากที่ทำการคัดเลือกเงาะและทำความสะอาดแล้ว จะถูกมาเคลือบโดยวิธีการจุ่มเคลือบด้วยสารละลายเซลลูล์ก สูตรผสม ไซคาร์บูนา 5% (C3) 20 วินาที ทั้งตะกร้า หลังจากนั้นปล่อยให้ไซแห้ง แล้วจัดเงาะลงในตะกร้าพลาสติกขนาด 7 กิโลกรัม (รูปที่ 3.9.1) จากนั้นไปเก็บรักษาไว้ในรถห้องเย็น อุณหภูมิ 12 °ซ แล้วขนส่งมายังห้องปฏิบัติการศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม (ถึงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 9 กรกฎาคม 2553)

ง) การประเมินคุณภาพ

เงาะที่ทำการเก็บรักษา 12 °ซ ถูกสุ่มออกมา 9 ตะกร้าในแต่ละสัปดาห์ เงาะจาก 3 ตะกร้านำมาบรรจุถุงพลาสติก ตะกร้าละ 3 ถุง นำเงาะที่บรรจุถุงและตะกร้าที่เหลือ มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°ซ เพื่อจำลองสภาวะการวางขายผลิตภัณฑ์เกษตรของผู้ประกอบการ จากนั้นนำเงาะจากถุงพลาสติกและเงาะที่เหลือ 6 ตะกร้านั้นนำมาทดสอบคุณภาพ โดยในแต่ละสัปดาห์ ทดสอบคุณภาพในวันที่ 0, 1, 2, 3 ของสัปดาห์นั้น โดยทำการทดสอบตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 จนถึง สัปดาห์ที่ 2

3.9.2) การทดสอบเคลื่อนย้ายโรงเรียนระดับการคำครั้งที่ 2 การส่งออกเงาะไปต่างประเทศ

ก) การเตรียมเงาะ (Pretreatment)

การทดสอบทำระหว่างวันที่ 16 พฤษภาคม - สิงหาคม 2554 ที่บริษัท สยามโอเรียนทัลฟู้ด จำกัด สาทร กรุงเทพฯซึ่งมีการรับซื้อเงาะโรงเรียนคุณภาพดีจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี เพื่อจัดการและบรรจุส่งออกปากรุงดูไบ ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรต การเตรียมเงาะก่อนการเคลื่อนย้าย ทำโดยคัดเลือกเงาะโรงเรียน ระยะที่ 3-6 แล้วทำความสะอาดด้วยการขัดด้วยแปรงในน้ำประปาแล้วทิ้งไว้ให้หมาดในห้องเย็น เพื่อเตรียมการเคลื่อนย้าย (รูปที่ 3.9.2)

ข) กลุ่มการทดลอง (ทรีทเมนต์) สำหรับเงาะ

แบ่งชุดเงาะออกเป็น 2 ชุดๆ ละประมาณ 50 กิโลกรัม ดังนี้

ชุด 1: บรรจุในถาดโฟม ขนาด 500 กรัม ปิดด้วยแผ่นฟิล์มถนอมอาหาร

กลุ่ม 1 ไม่ได้เคลื่อนย้าย (Control)

กลุ่ม 2 เคลื่อนย้ายด้วยสารละลายเซลลูล์ก สูตรผสมโซเดียมคลอไรด์ 5%

ชุด 2: บรรจุในถุงพลาสติก PE เงาะรู ขนาด 500 กรัม

กลุ่ม 1 เงาะที่ไม่ได้เคลื่อนย้าย (Control)

กลุ่ม 2 เงาะที่เคลื่อนย้ายด้วยสารละลายเซลลูล์ก สูตรผสมโซเดียมคลอไรด์ 5%

ค) กระบวนการเคลื่อนย้ายเงาะ

เงาะถูกจัดเรียงในตะกร้าที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ น้ำหนัก 7 กิโลกรัม แล้วนำไปจุ่มเคลื่อนย้ายในสารเคลื่อนย้าย ประมาณ 20 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำยาที่อุณหภูมิห้อง และทำให้แห้งโดยให้ลมเป่าประมาณ 30 นาที นำไปพักไว้ในห้องเย็นประมาณ 1 ชั่วโมงจนกว่าจะถึงเวลาบรรจุ การแบ่งบรรจุเป็น 2 กลุ่มดังที่แบ่งใน หัวข้อ 3.9.2) ข. แล้วจึงบรรจุกล่องกระดาษของบริษัทอีกครั้งหนึ่ง และเข้าห้องเย็นอุณหภูมิ 12 °ซ. เพื่อเตรียมการส่งออกตามกระบวนการของบริษัท

ง) การประเมินคุณภาพ

การประเมินคุณภาพทำโดยการถ่ายภาพผลผลิตที่เดินทางถึงประเทศปลายทาง และสอบถามความเห็น และพึงพอใจจากผู้ประกอบการ ในแง่ประโยชน์และความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ให้การเคลื่อนย้ายในกระบวนการส่งออกเงาะ



เก็บเงาะไม่ให้ตกลงพื้นดิน เพื่อควบคุมเชื้อ



แช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 200 ppm และ
น้ำยาโปรคลอราซ 250 ppm เพื่อควบคุมเชื้อ



ตะกร้าใส่เงาะขนาด 5 กิโลกรัม ที่คณะผู้วิจัยออกแบบและ
จัดทำสำหรับสำหรับจุ่มเคลือบเงาะในระดับการค้า



การจุ่มเคลือบ



การจัดเก็บเพื่อขนส่งไปจัดจำหน่าย



การบรรจุถุงพลาสติกเงาะรู

รูปที่ 3.9.1 กระบวนการเคลือบเงาะระดับการค้า ครั้งที่ 1 ที่สวนเกษตรกร



รูปที่ 3.9.2 กระบวนการเคลือบ และบรรจุเงาะ ระดับการค้า ครั้งที่ 2 ที่บริษัทผู้ส่งออก

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

ผลการดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 7 หัวข้อ ดังนี้

- 4.1 ลักษณะสมบัติของสารเคลือบและฟิล์มเคลือบ
- 4.2 ประสิทธิภาพของสารเคลือบและถุงพลาสติกในการรักษาคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4
- 4.3 ประสิทธิภาพของสารเคลือบและถุงพลาสติกในการรักษาคุณภาพกล้วยไข่
- 4.4 ประสิทธิภาพของสารเคลือบในการรักษาคุณภาพส้มโอขาวใหญ่
- 4.5 ประสิทธิภาพของสารเคลือบและถุงพลาสติกในการรักษาคุณภาพเงาะโรงเรียน
- 4.6 การทดสอบการใช้งานสารเคลือบการรักษาคุณภาพเงาะโรงเรียนระดับการค้า
- 4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของสารเคลือบสูตรที่มีการใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะสมบัติของสารเคลือบและฟิล์มเคลือบ

สารเคลือบที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นสารละลายดังที่แสดงในรูป 3.5.1 สารเคลือบเซลล์ลิกสูตรพื้นฐาน และสูตรเติมสารสกัดข่ามีสีน้ำตาลอำพัน ส่วนสูตรที่ดัดแปลงด้วยไข่ทั้งสองชนิดมีลักษณะเป็นอิมัลชันสีขาว สารเคลือบสูตรดัดแปลงด้วยไข่เซลล์ลิกมีสีเข้มกว่าสูตรดัดแปลงด้วยไข่คาร์บูนาเล็กน้อย สารเคลือบที่เตรียมขึ้นทุกสูตรมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ โดยความหนาแน่นสูงขึ้นหากสูตรนั้นมีการใช้ตัวเติมในปริมาณมากขึ้น (ปริมาณของแข็งรวมสูงขึ้น) และสูงกว่าสารเคลือบส้มโอที่ใช้ทางการค้า (CM) ดังเห็นได้จากตารางที่ 4.1-2 และเนื่องจากสารเคลือบทุกสูตรอยู่ในสารละลายเบสทำให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.5-8.7 และมีกลิ่นเบสจืด อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเติมสารที่ใช้ดัดแปลงสูตร กลิ่นของสารละลายก็น้อยลงโดยเฉพาะกลิ่นของสารเคลือบสูตรดัดแปลงด้วยไข่ทั้ง 2 ชนิด น้อยกว่าสูตรพื้นฐาน CM และสูตรดัดแปลงด้วยสารสกัดข่า ตามลำดับ

สารเคลือบทุกชนิดที่ถุ่กนำมาพ่นเคลือบผลไม้สามารถติดผิวได้ดี และเวลาที่ใช้ในการแห้งและก่อฟิล์มบนผลไม้ไม่แตกต่างจากสูตร CM แต่สูตรที่ดัดแปลงด้วยไข่ทั้งสองชนิดแห้งช้ากว่าเล็กน้อยเนื่องจากความข้นของสารละลายมากกว่า ลักษณะของเปลือกผลไม้ก็มีผลต่อการเคลือบติดและเวลาในการแห้งของสารเคลือบ เช่น มะม่วงน้ำดอกไม้ที่เคลือบด้วยสารเคลือบ 20 มิลลิลิตร/กิโลกรัม ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาทีที่อุณหภูมิห้องจึงแห้งสนิท และมีลักษณะการติดผิวที่สม่ำเสมอกว่าเงาะซึ่งเมื่อจุ่มเคลือบในเวลาประมาณ 15 วินาที จะใช้เวลาประมาณ 20-30 นาทีที่กว่าสารเคลือบจะแห้งหมด เนื่องจากเงาะมีความมันบริเวณเปลือกมากกว่าและพื้นที่ผิวที่สูง ใน

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทดลองหาสภาวะและปริมาณสารเคลือบที่จะเหมาะสมในการใช้งานกับผลไม้ไทยแต่ละชนิดก่อนแล้วจึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดการเคลือบผิวที่ทั่วถึงมาทำการทดสอบในหัวข้อ 4.2-4.6 โดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบผลไม้ชนิดต่างๆดังในตารางที่ 4.1-1

ตารางที่ 4.1-1: สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานสารเคลือบผลไม้ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ในระดับห้องปฏิบัติการ

ผลไม้	วิธีการเคลือบ	ปริมาณการเคลือบ	เวลาในการแห้งที่อุณหภูมิห้อง
มะม่วงน้ำดอกไม้	พ่นเคลือบใช้หัวสเปรย์	20 มล./กก.	15 นาที
ส้มโอขาวน้ำผึ้ง	พ่นเคลือบใช้หัวสเปรย์	20 มล./กก.	10-15 นาที
กล้วยไข่	จุ่มเคลือบ	10 ลิตรในการจุ่มเคลือบกล้วยที่ละ 1 หวี (มีการเติมสารเคลือบเพิ่มให้สารละลายทั่วผลไม้พอดี)	20 นาที
เงาะโรงเรียน	จุ่มเคลือบ	10 ลิตรในการจุ่มเคลือบเงาะที่ละ 1 กก. (มีการเติมสารเคลือบเพิ่มให้สารละลายทั่วผลไม้พอดี)	20-30 นาที (ทิ้งให้แห้งในตะกร้า)

เช่นเดียวกับสารเคลือบที่ใช้เคลือบส้มในการค้า สารเคลือบที่ละลายในเบสมีกลิ่นฉุน จึงจำเป็นต้องจัดโรงเคลือบให้มีการระบายอากาศที่ดี หรือเคลือบในอุปกรณ์ระบบปิด อาจมีการเป่าลมเย็นช่วยระบายอากาศและทำให้ผิวผลไม้แห้งเร็วขึ้น

เมื่อนำสารเคลือบมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มบาง ลักษณะสมบัติของฟิล์มเคลือบเซลล์กึ่งตัวนำ พื้นฐาน และสูตรพื้นฐานดัดแปลงด้วยสารสกัดจากความเข้มข้น 0.25-1% โดยน้ำหนัก หรือดัดแปลงด้วยไฮคาร์บูนา หรือ ไฮเซลลูล์ ความเข้มข้น 1.25-7.5% โดยน้ำหนัก ในด้านลักษณะภายนอก สี ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการยอมให้น้ำและออกซิเจนซึมผ่าน สมบัติการดูดซับน้ำ ข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญ เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการเลือกสูตรที่เหมาะสมมาทดสอบจริงกับผลไม้ และเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงสูตรต่อไป

4.1.1 ลักษณะภายนอกของฟิล์มเคลือบ

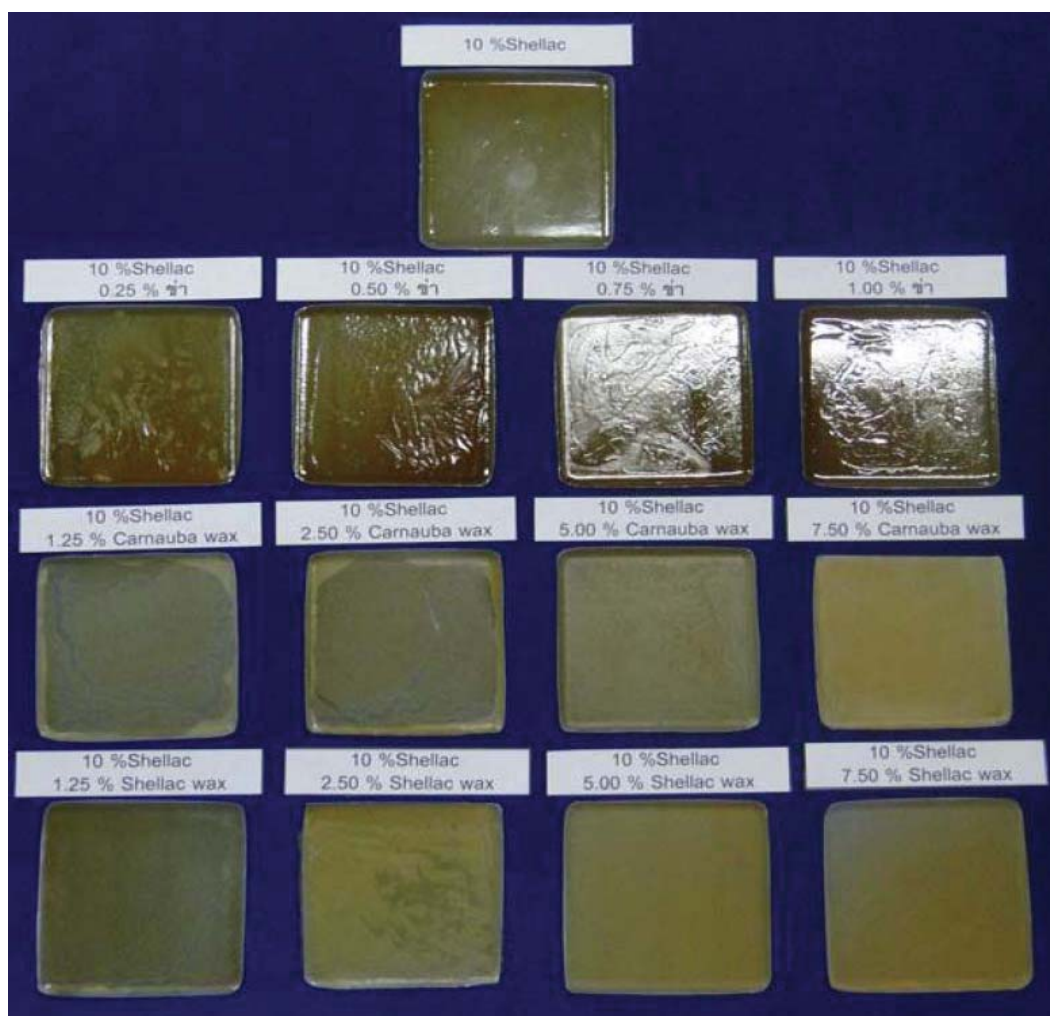
ลักษณะภายนอกที่สังเกตได้ด้วยตาตั้งในตารางที่ 4.1-2 และรูปที่ 4.1.1

- ฟิล์มสารเคลือบสูตรพื้นฐาน มีสีน้ำตาลอ่อน มีความมันวาว มีความเหนียวติดมือและมีกลิ่นฉุน เมื่อเติมสารสกัดข่าเพิ่มขึ้น พบว่ามีความมันวาวและความเหนียวติดมือมากขึ้น มีกลิ่นข่าเล็กน้อย
- ฟิล์มสารเคลือบพื้นฐานเดิมด้วยโซลาร์บูนาและเซลลูล์โลส มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีความขุ่น สีเหลืองอ่อน ไม่เหนียวติดมือ ลักษณะที่สังเกตได้เพิ่มเติมคือฟิล์มที่เติมโซลาร์บูนามีสีเหลืองอ่อนกว่าฟิล์มที่เติมโซลเซลลูล์
- ฟิล์มสารเคลือบทางการค้าสำหรับส้มโอ (CM) มีสีเหลืองอ่อน มีความเหนียวติดมือ แต่มีลักษณะแตกไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ไม่สามารถหาลักษณะสมบัติของฟิล์มได้ แสดงว่าเป็นสูตรที่น่าจะก่อฟิล์มแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนของไอน้ำและก๊าซได้มากบนผิวผลไม้ แสดงให้เห็นความสำคัญการเติมพลาสติกไซเซอร์ในสูตรให้เพียงพอที่จะทำให้ก่อฟิล์มได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.1-2 แสดงสรุปลักษณะสมบัติทางกายภาพของฟิล์มของสารเคลือบที่ศึกษาทั้งหมด ความหนาแน่นของสารเคลือบสูตรต่างๆที่ใช้ในการศึกษาไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสารคัดแปลงในสูตรพื้นฐาน (S10%) ทำให้ค่าน้ำหนักของแข็งทั้งหมด (total solid weight) ไม่เท่ากัน และแปรผันตามปริมาณสารคัดแปลงที่ใช้ โดยสูตรผสมสารสกัดข่ามีความหนาแน่นในช่วง 1.011-1.014 กรัม/มิลลิลิตร และมีปริมาณของแข็งในช่วงร้อยละ 10.25-11.00 สูตรผสมโซลาร์บูนามีความหนาแน่นในช่วง 1.0170-1.0180 กรัม/มิลลิลิตร ปริมาณของแข็งในช่วงร้อยละ 11.25-17.50 และสูตรผสมโซลเซลลูล์มีปริมาณของแข็งในช่วงเดียวกันกับโซลาร์บูนา มีความหนาแน่นในช่วง 1.0178-1.0188 กรัม/มิลลิลิตร ดังนั้นความหนาแน่นและปริมาณเนื้อฟิล์มจึงไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามเมื่อผู้วิจัยทำการทดสอบลักษณะสมบัติที่ความหนาแน่นมีผลกระทบต่อลักษณะสมบัตินั้นๆ เช่น สมบัติเชิงกล การยอมให้ซึมผ่าน การดูดซับน้ำ และได้มีการคำนวณค่าเหล่านั้นให้อยู่บนพื้นฐานเดียวกัน

ตารางที่ 4.1-2: ลักษณะภายนอกของฟิล์มสารเคลือบแต่ละสูตร (องค์ประกอบของฟิล์มแสดงในตาราง 3.4-1)

	สูตรสารเคลือบ	ลักษณะทั่วไปของฟิล์ม
1	สูตรพื้นฐาน S10%	ฟิล์มมีสีน้ำตาลอ่อน ใส มันวาว มีกลิ่นฉุนของเบสเล็กน้อย
2	สูตรดัดแปลงด้วยสารสกัดข่า G0.25% G0.50% G0.75% G1.00%	ฟิล์มมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น มีความมันวาวเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดข่า มีกลิ่นของข่าเล็กน้อย กลิ่นฉุนของเบส
3	สูตรดัดแปลงด้วยไซคาร์บูนา SC1.25% SC2.50% SC5.00% SC7.50%	ฟิล์มสีน้ำตาลอ่อนปนเหลือง มีสีเหลืองมากขึ้น ความมันวาวลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณไซคาร์บูนา มีกลิ่นฉุนน้อยลง
4	สูตรดัดแปลงด้วยไซเซลแล็ค SW1.25% SW2.50% SW5.00% SW7.50%	ฟิล์มสีน้ำตาลอ่อนปนเหลือง มีสีเหลืองมากขึ้น ความมันวาวลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณไซเซลแล็ค มีกลิ่นฉุนน้อยลง
5	สารเคลือบสัมผัสอัตราการค้ำ (CM)	ฟิล์มมีสีเหลืองอ่อน ใส มีความมันวาว เกิดการแยกเฟสเมื่อขึ้นรูป ฟิล์มแตก มีกลิ่นน้อยที่สุด



สารเคลือบทางการค้าส้มโอ



รูปที่ 4.1.1 ลักษณะฟิล์มสารเคลือบเซลลูลอสแต่ละสูตร

ตารางที่ 4.1-2: ลักษณะสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบเซลล์และเซลล์กึ่งตัวแปลง

สมบัติของสารละลาย			สมบัติของฟิล์มสารเคลือบ							การดูดซับน้ำ (%)
สูตรดัดแปลงด้วย	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาณของแข็ง (%)	สมบัติเชิงกล			สมบัติทางความร้อน		สมบัติการยอมให้ซึมผ่าน		
			ความทนแรงดึงสูงสุด (MPa)	Elongation (%)	Young's Modulus (MPa)	Tg (°C)	Tm (°C)	WVP x 10 ¹¹ กรัม-เมตร/วินาที-ปาสคาล	OTR มิลลิลิตร-เมตร/วินาที-ปาสคาล	
เซลล์สูตรพื้นฐาน (S10%)	1.0086	10.00	0.81c	95.48a	20.61d	43.37	119.38	16.23a	1.18a	116.32a
สารสกัดข้าว G0.25%	1.0108	10.25	1.17c	22.82b	75.38c	N/A	132.91	5.17b	1.06a	123.11a
G0.50%	1.0119	10.50	4.45a	12.51c	149.98b	51.75	142.27	3.32b	0.83ab	120.45a
G0.75%	1.0125	10.75	4.48a	4.78d	249.58a	54.94	N/A	3.28b	0.63b	141.67a
G1.00%	1.0138	11.00	2.30b	2.41d	131.93b	61.64	110.97	5.01b	0.10c	130.23a
Carnauba wax										
SC1.25%	1.0170	11.25	0.55c	29.22b	90.45c	66.90	82.10	4.89b	0.53c	90.22a
SC2.50%	1.0174	12.50	0.60c	23.88c	151.96b	57.00	82.60	3.15b	0.98b	93.45a
SC5.00%	1.0180	15.00	1.43b	20.30c	167.23b	57.60	83.60	5.04b	0.64c	97.89a
SC7.50%	1.0180	17.50	2.00a	7.22d	230.45a	56.30	83.40	6.01b	0.81bc	105.6a
Shellac wax	1.0178	11.25	1.46d	19.45b	101.45c	47.20	73.30,	4.23bc	0.74b	38.32c

SW1.25%																				
SW2.50%	1.0180	12.50		2.35c	8.19c		131.84bc	53.00	72.70, 79.60	6.37b			0.60bc							47.73bc
- SW5.00%	1.0184	15.00		3.35b	3.32d		181.39a	52.70	73.10, 79.60	2.21bc			0.45bc							54.66bc
- SW7.50%	1.0188	17.50		4.02a	4.73d		191.23c	47.90	73.10, 79.60	0.47c			0.21c							69.55b
- CM	0.9916	**	**	**	**	**	**	26.31	N/A	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	20.56d

a-e ตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในกลุ่มลักษณะสมบัติเดียวกัน

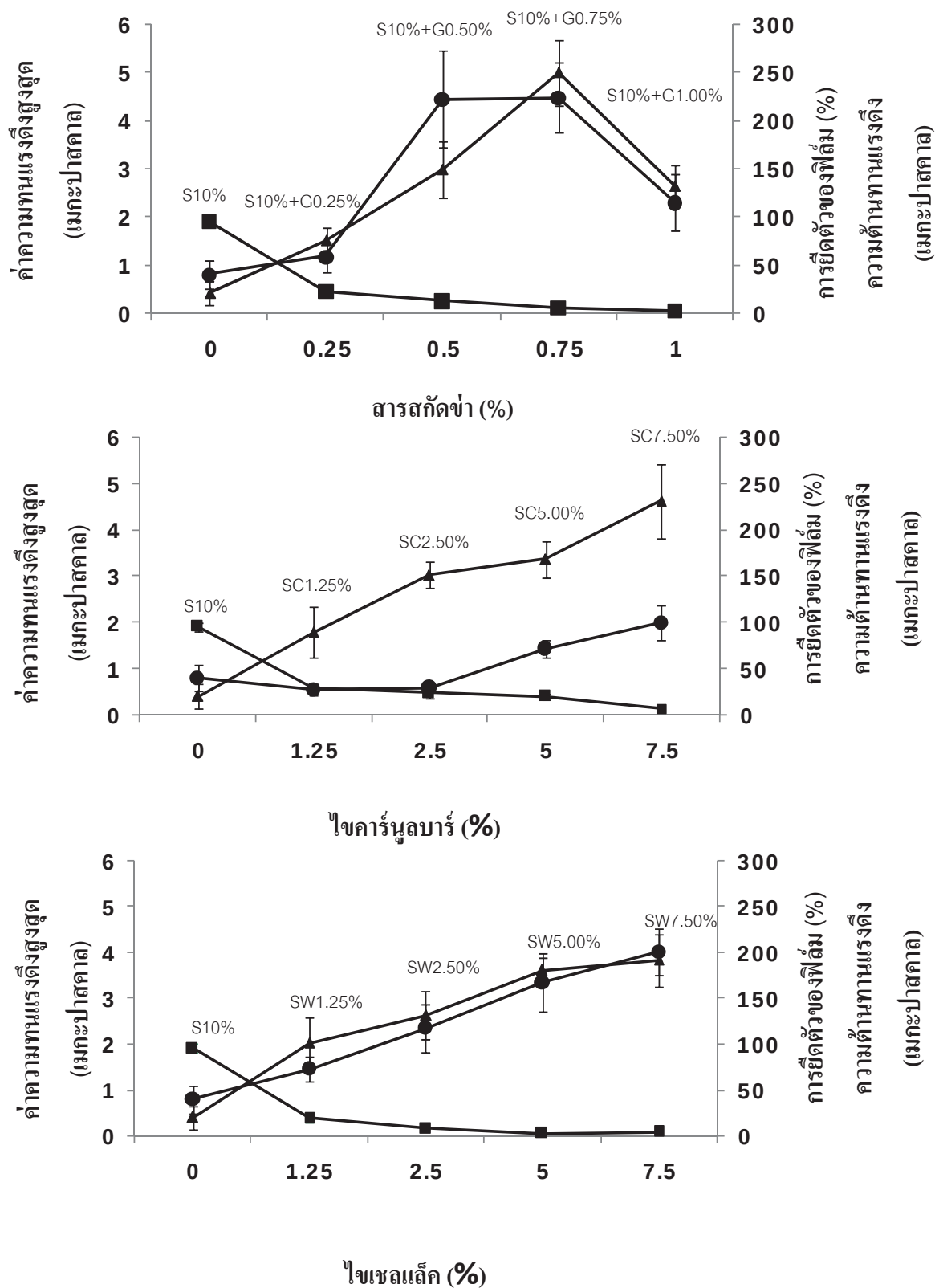
** ค่าที่ไม่ได้แสดงทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์มไม่ได้

N/A ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

4.1.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มเคลือบ

ความแข็งแรง ความเหนียว และการยึดตัวของฟิล์มเคลือบถูกนำมาเป็นเกณฑ์พิจารณาเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการเคลือบผิวผลไม้ ฟิล์มที่ดีควรจะไม่เหนียวจนเกินไป ดึงขาดง่ายและไม่แข็งแรงจนเกินไป มีลักษณะไม่เป็นธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความทนแรงดึงสูงสุด (ultimate tensile strength) และการยึดตัวของฟิล์มที่จุดขาด (% elongation at break) ความต้านทานแรงดึง (elastic modulus) ดังรูปที่ 4.1.2 สารเคลือบทางการค้า CM ไม่สามารถขึ้นรูปให้เป็นฟิล์มได้ จึงไม่มีการทดสอบลักษณะสมบัติอื่นๆ

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความหนาแน่น น้ำหนักโมเลกุล การเกิดผลึก ความมีขั้ว ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ อุณหภูมิที่ใช้งาน เป็นต้น (Ebewe, 2000) สารเคลือบเซลลูลอสพื้นฐาน มีค่าความทนแรงดึงสูงสุด 0.81 เมกะปาสคาล ระยะการยืดตัว ณ จุดขาด 95.48% ความต้านแรงดึง 20.61 เมกะปาสคาล การผสมสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดลงในสารเคลือบเซลลูลอสทำให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุดและความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น ระยะการยืดตัวลดลง ฟิล์มสารเคลือบเซลลูลอสเติมด้วยสารสกัดข่า ไชคาร์นูบา และ ไชเซลลูลอส มีค่าความทนแรงดึงสูงสุดอยู่ในช่วง 0.55-4.48 เมกะปาสคาล ความต้านทานแรงดึงมีค่าอยู่ในช่วง 75.38-249.58 เมกะปาสคาล และระยะยืดตัว 29.22-2.41% สารสกัดข่ามีสารสำคัญส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติก ความเป็นผลึกสูง ทำให้มีความแข็ง ความยืดหยุ่นต่ำ เมื่อเติมสารสกัดข่าเข้าไปในสารละลายเซลลูลอส ทำให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น และระยะการยืดตัวน้อยลง อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มสารสกัดข่าขึ้นเป็นร้อยละ 1 (โดยน้ำหนัก) ความทนแรงดึงลดลงมาเท่ากับ 2.30 เมกะปาสคาล ส่วนการเติมไชคาร์นูบา และไชเซลลูลอสให้ผลเช่นเดียวกันกับการเติมสารสกัดข่า ซึ่งสารเติมแต่งทั้งสองชนิดมีส่วนประกอบหลักเป็นพอลิเอสเทอร์ มีความเป็นระเบียบสูง ความเป็นผลึกมาก ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานคุณสมบัติทางกลของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากการฟอกสี ซึ่งเมื่อทำการฟอกทำให้โครงสร้างของฟิล์มมีเซลลูโลสที่บริสุทธิ์มากขึ้น เซลลูโลสที่มีความเป็นผลึกมาก ทำให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุดเพิ่มมากขึ้นและระยะยืดตัวน้อยลง (ฉัตรนันทน์ ทิวราตรีวิทย์, สุพัฒน์คำไทย และพรชัย ราชชนะพันธุ์, 2549)



รูปที่ 4.1.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสกัดชา ไชคาร์นูบาและไชเซลเล็ค ค่าความทนแรงดึงสูงสุด (●) ระยะยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์ม (■) ความต้านทานแรงดึง (▲) จากฟิล์มสารเคลือบเซลเล็ค

4.1.3 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนของฟิล์มมีความสำคัญเนื่องจากสะท้อนถึงสถานะของฟิล์มสารเคลือบกับอุณหภูมิที่ใช้งาน อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) คืออุณหภูมิที่ทำให้สายโซ่โมเลกุลส่วนที่เป็นอสัณฐาน หรือ ส่วนที่ไม่เป็นผลึก (amorphous region) สามารถเคลื่อนไหวได้ เกิดการอ่อนตัวลงคล้ายยาง (rubbery state) และอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้สายโซ่โมเลกุลส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) สามารถเคลื่อนไหว เกิดสภาพหลอมตัว (molten stage) (กัญญา ตระกูลตุ, 2533) การเก็บรักษาผลไม้มัดเคลือบที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g ทำให้โมเลกุลสารเคลือบอยู่ในสถานะคล้ายแก้ว ไม่เกิดสถานะอ่อนตัวคล้ายยางหรือหลอมเหลว ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะเหนียวเหนอะติดมือ สารเคลือบทุกสูตรในงานวิจัยมีค่า T_g สูงกว่าอุณหภูมิห้อง (ตารางที่ 4.1-2) ซึ่งแสดงว่าสารเคลือบจะไม่มีลักษณะเหนียวเหนอะติดมือ ยกเว้น สูตรสารเคลือบ CM มีค่า T_g เท่ากับ 26.31 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) และฟิล์มสูตร S10%+G0.25% ไม่สามารถหาค่า T_g ได้ จากการสังเกตของผู้ทดสอบชิม ฟิล์มสูตรนี้ไม่เกิดความรู้สึกเหนียวติดมือเมื่อสัมผัส

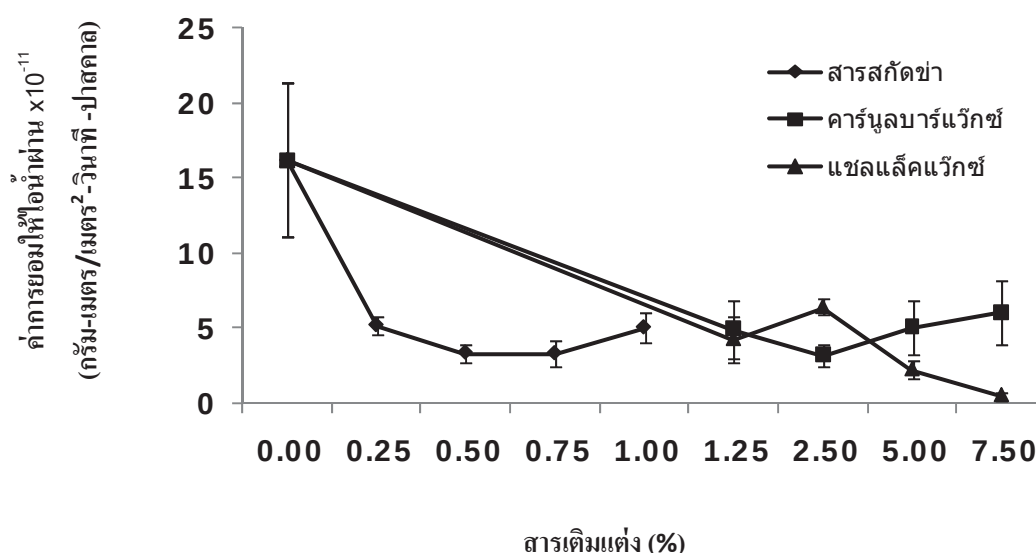
ค่า T_m ของฟิล์มแสดงค่าอุณหภูมิที่ควรใช้ในกระบวนการผลิตสารเคลือบ โดยมีค่าสูงกว่าค่า T_g จากผลการทดลองในตาราง 4.1-2 สารเคลือบที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันเช่นสูตรพื้นฐานและสูตรผสมสารสกัดข่าฟิล์มมีค่า T_m สูง ในช่วง 110.97-142.27 องศาเซลเซียส ส่วนสารเคลือบที่เป็นอิมัลชัน เช่นสูตรผสมแว็กซ์ทั้งสองชนิดมีค่า T_m ต่ำกว่า โดยสูตรผสมไขคาร์นูบามีค่า T_m อยู่ในช่วง 82.10-83.60 และสูตรผสมไขเซลแล็คมีค่า T_m อยู่ในช่วง 73.10-83.70 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า T_g , T_m ได้แก่ ปริมาตรอิสระของพอลิเมอร์ (ซึ่งไปผลจากโครงสร้างทางเคมี และสิ่งแวดล้อม) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล ขนาดของหมู่ข้างเคียง (Chanda and Roy, 2009) สูตรสารเคลือบเซลล์เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดข่า ค่า T_g และ T_m มีค่าสูงขึ้น เป็นผลจากสารออกฤทธิ์ในกลุ่ม phenylpropanoids (แสดงโครงสร้างในหัวข้อ 2.6.4) เป็นส่วนประกอบหลักในสารสกัดข่า (Matsuda, Morikawa, Managi and Yoshikawa, 2003) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นวงอะโรเมติก เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ทำให้สายโซ่หลักของพอลิเมอร์ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ทำให้ปริมาตรอิสระลดลง สูตรสารเคลือบเซลล์ เมื่อเพิ่มปริมาณไขคาร์นูบาและไขเซลแล็ค ค่า T_g ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีแนวโน้ม อาจเนื่องจากการผสมไขคาร์นูบาและไขเซลแล็คลงในสารเคลือบเซลล์ เกิดกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอจนทำให้ฟิล์มที่ได้ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ค่า T_g และ T_m ไม่มีแนวโน้ม นอกจากนี้ค่า T_m ของสูตรสารเคลือบเซลล์ผสมไขเซลแล็คมี 2 ค่า อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของไขเซลแล็คที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันขนาดต่างๆหลายชนิด

4.1.4 การยอมให้น้ำซึมผ่าน

ค่าการยอมให้น้ำซึมผ่าน (water vapor permeability) เป็นลักษณะสมบัติของฟิล์มสารเคลือบที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ฟิล์มที่มีลักษณะที่ดี คือ ฟิล์มที่มีการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ สะท้อนการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีลักษณะภายนอกที่ดี ลดการเหี่ยวแห้ง ซึ่งการคัดเลือกฟิล์มต้องพิจารณาจากหลายๆด้าน เช่น สมบัติทางความร้อน ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม เป็นต้น

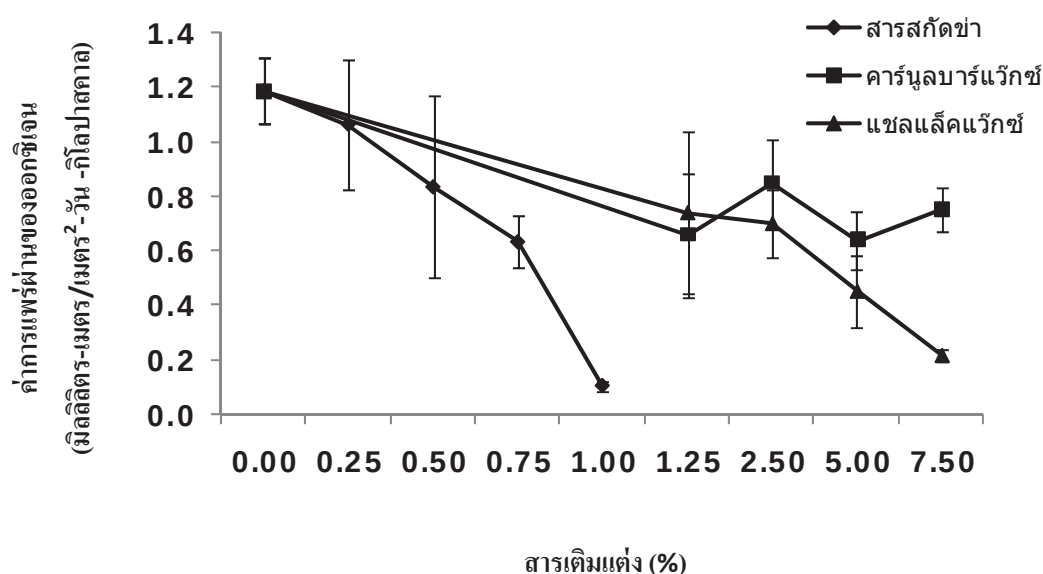
ค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสารเคลือบเซลล์เคลือบพื้นฐานมีค่า 16.23×10^{-11} กรัม-เมตร/เมตร²-วินาที-ปาสคาล เมื่อเติมด้วยสารสกัดชา ไซคาร์บูบา และไซเซลลัค ดังรูปที่ 4.1.3 การซึมผ่านของไอน้ำลดลงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับฟิล์มเซลล์เคลือบพื้นฐาน เนื่องจากสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ทำให้เกิดการซึมผ่านของไอน้ำที่ลดลง และสารสกัดชาซึ่งมีส่วนประกอบเป็นอะโรมาติก ไซคาร์บูบาและไซเซลลัค ซึ่งส่วนประกอบหลักเป็นพอลิเอสเทอร์มีความเป็นผลึกมาก การซึมผ่านส่วนใหญ่จะซึมผ่านในวัฏภาคที่เป็นอสัณฐาน (ไม่เป็นผลึก) ทำให้เกิดการซึมผ่านของไอน้ำที่น้อยลง (Hernandez, Selke and Culter, 2000) การเพิ่มปริมาณสารเติมแต่งลงในสารเคลือบเซลล์เคลือบ ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากมีความเป็นเนื้อเดียวกันน้อย สารเติมแต่งอาจเกิดการเกาะกลุ่ม บางส่วนของฟิล์มเซลล์เคลือบอาจไม่มีสารเติมแต่ง ทำให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำไม่มีแนวโน้มเมื่อเพิ่มปริมาณสารเติมแต่ง



รูปที่ 4.1.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านกับปริมาณสารสกัดชา (◆) ไซคาร์บูบา (■) ไซเซลลัค (▲) ในฟิล์มสารเคลือบเซลล์เคลือบ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5

4.1.5 การยอมให้ออกซิเจนซึมผ่าน

ค่าอัตราการซึมผ่านของของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มมีค่าดังรูปที่ 4.1.4 เมื่อเพิ่มปริมาณสารเติมแต่งทุกชนิด พบว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านออกซิเจนลดลงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ฟิล์มสูตรสารเคลือบเซลล์พื้นฐานมีค่าการซึมผ่านออกซิเจนเท่ากับ 1.18 มิลลิลิตร-เมตร/เมตร²-กิโลปาสกาล-วัน เมื่อเติมด้วยสารสกัดชา ไซคาร์บูนาและไซเซลล็ค ค่าการซึมผ่านออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.06-0.10, 0.98-0.53 และ 0.74-0.21 มิลลิลิตร-เมตร/เมตร²-กิโลปาสกาล-วัน ตามลำดับ การเติมสารสกัดชาและเซลล์ไซในปริมาณมากขึ้นมีผลในการลดการซึมผ่านของออกซิเจน แสดงถึงความหนาแน่นและความเป็นเนื้อเดียวกันของฟิล์มที่สูงกว่า แต่การเติมไซคาร์บูนาในจำนวนมากขึ้นไม่ทำให้การผ่านเข้าออกของก๊าซลดลงมากนักอาจเนื่องจากการแยกเฟสของไซที่ประกอบด้วยกรดไขมันโมเลกุลใหญ่หลายชนิด ทำให้มีช่องออกของก๊าซในเนื้อฟิล์มสอดคล้องกับผลงานวิจัยในการเติมแต่งไมก้าในโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง HDPE ซึ่งทำให้อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนลดลงเนื่องจากไมก้าช่วยลดช่องว่างระหว่างโมเลกุลของ HDPE (รังสิมา หนูตสอน และคณะ, 2545)



รูปที่ 4.1.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถการซึมผ่านออกซิเจนกับปริมาณสารสกัดชา (♦) ไซคาร์บูนา (■) ไซเซลล็ค (▲) ในฟิล์มสารเคลือบเซลล์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70±5

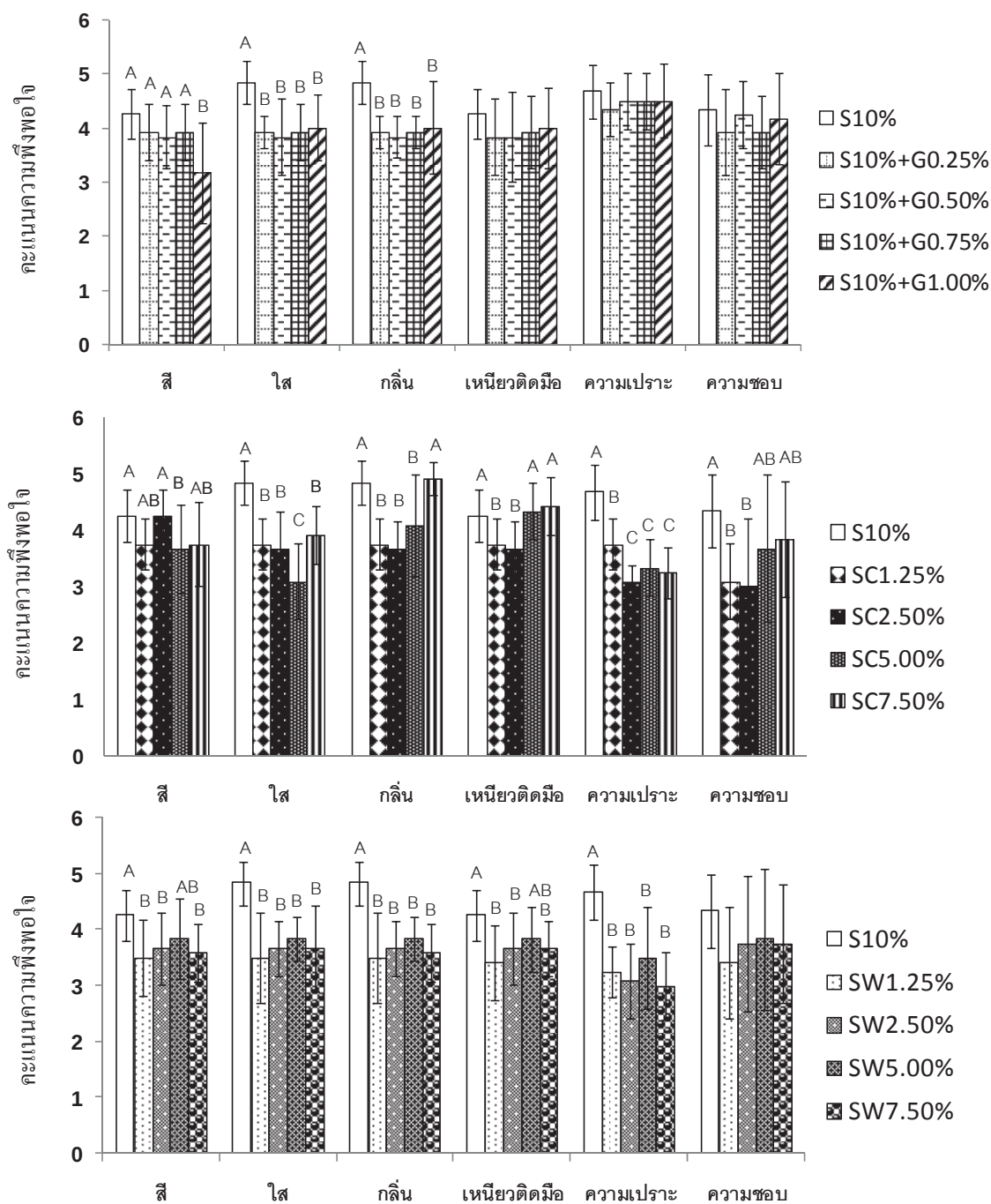
4.1.6 การดูดซับน้ำ

การดูดซับน้ำแสดงถึงความสามารถที่จะอุ้มน้ำจากบรรยากาศหรือน้ำที่จะซึมออกมาจากผลผลิต การดูดซับน้ำเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำและฟิล์มมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่น้ำถูกดูดซับเข้าไปในวัตถุที่สัมผัสด้วย เรียกว่า คาพิลลารี (capillary) (Birdi, 2010) ฟิล์มที่ดีควรเลือกฟิล์มที่ดูดซับน้ำได้พอเหมาะ หากเลือกฟิล์มไม่สามารถดูดซับน้ำได้ ทำให้น้ำที่ซึมออกมาจากผลผลิตถูกกักไว้ระหว่างผลกับสารเคลือบ ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคได้ แต่หากเลือกฟิล์มที่ดูดซับน้ำมาก จนเกิดอาการบวมน้ำ ทำให้ผู้ทดสอบชิมสังเกตได้ จากผลการทดลองพบว่าการเติมสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิด สารสกัดชา ไชคาร์บูนาและไซเซลลีส มีการดูดซับน้ำได้ 123-130%, 90-105% และ 38-69% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับน้ำของฟิล์มสูตรพื้นฐาน 116.32% การดูดซับน้ำของฟิล์มที่ผสมไซเซลลีสปริมาณต่างๆมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.1-2) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มเคลือบที่ผสมไซเซลลีสมีความชอบน้ำน้อยกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ เนื่องจากตัวเติมทั้งสามชนิดมีโครงสร้างแบบ hydrophobic

4.1.7 ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิม

การประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมในลักษณะสมบัติของฟิล์มโดยทำการสอบถามจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน ถึงความพึงพอใจด้านสี ความใส กลิ่น ความเหนียวติดมือ ความเปราะ และความชอบ ในขณะที่คะแนนที่น้อยจะให้ผลในทางตรงกันข้าม ฟิล์มเซลล์ลีสผสมสารสกัดชา มีคะแนนในด้านความเหนียวติดมือ ความเปราะ ความชอบอย่างไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนในด้านสี ความใส กลิ่น เซลล์ลีสสูตรพื้นฐานได้รับคะแนนมากที่สุด มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเติมสารสกัดชาลงในสูตร เซลล์ลีสพื้นฐานแต่ไม่มีความแตกต่างเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดชา ฟิล์มเซลล์ลีสผสมไชคาร์บูนา โดยฟิล์มเซลล์ลีสสูตรพื้นฐานเมื่อเติมไชคาร์บูนามีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกๆด้าน

ในด้านสีและความชอบ ผู้ทดสอบชิมเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไชคาร์บูนาไม่แตกต่างกัน และในด้านความใสและความเปราะ เมื่อเพิ่มปริมาณไชคาร์บูนา ผู้ทดสอบชิมเห็นว่า มีความใสน้อยลงและมีความเปราะมากขึ้น นอกจากนี้ด้านความเหนียวติดมือซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการคัดเลือกฟิล์มเนื่องจาก ผู้ทดสอบชิมสามารถรับรู้ถึงการเคลือบผิวผลไม้จากการสัมผัส ฟิล์มที่คัดเลือกไม่ควรมีความความเหนียวติดมือ และด้านกลิ่น เมื่อเพิ่มปริมาณไชคาร์บูนา ผู้ทดสอบชิมเห็นว่ามีความเหนียวติดมือน้อยลงและมีกลิ่นลดน้อยลงด้วย สำหรับฟิล์มเซลล์ลีสผสมไซเซลลีส เซลล์ลีสสูตรพื้นฐานได้รับคะแนนมากที่สุด มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเติมไซเซลลีสลงในสูตรเซลล์ลีสพื้นฐาน แต่ไม่มีความแตกต่างเมื่อเพิ่มปริมาณไซเซลลีส และในด้านความชอบไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.1.5 กราฟความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมของฟิล์มเซลลูล์โลสพื้นฐาน เซลลูล์ผสมสารสกัดชาผสมไคคาร์บูนาและไคเซลลูล์ (โดยคะแนนที่มีค่ามาก (ค่าใกล้ 5) แสดงถึงลักษณะที่ดีของฟิล์ม ได้แก่ สีไม่เข้ม ใส ไม่มีกลิ่น ไม่เหนียวติดมือ ไม่เปรี้ยวและ ชอบมาก)

จากผลการทดสอบในหัวข้อ 4.1 ทั้งหมดสามารถสรุปเพื่อใช้คัดเลือกสูตรที่จะใช้เคลือบบนผิวผลไม้ไทย 4 ชนิด ได้แก่ มะม่วง ก้อยไข่ ส้มโอ และเงาะ โดยมีหลักเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

1.สมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความทนแรงดึง การยืดตัว โดยฟิล์มเคลือบผิวที่ดี คือ ไม่เหนียว ดึงขาดง่าย การวัดค่าแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มเคลือบที่เหมาะสมมีความจำเป็นที่จะใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาฟิล์มเคลือบต่อไป ค่าแรงดึงและการยืดตัวได้ของฟิล์มที่เหมาะสมในการเคลือบเปลือกมะม่วง ทูเรียน มะนาว และมังคุด รายงานก่อนหน้ามีค่าความทนแรงดึงอยู่ในช่วง 50.32-242.54 เมกะปาสกาล และ 2.73-5.83% (ธารง อัมพรรัตน์, 2548 : ผ่องเพ็ญ อรรคสิ่ว, 2548)

2. สมบัติทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ค่า T_g ของฟิล์มควรจะสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้งาน เพื่อให้ไม่เกิดการเหนียวเหนอะติดมือจากงานวิจัยนี้สารเคลือบทุกสูตรมีอุณหภูมิ T_g สูงกว่าอุณหภูมิใช้งาน ยกเว้นสารเคลือบทางการค้าของส้มโอที่มีค่า T_g ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เนื่องจากต้องการนำมาเปรียบเทียบกับผลการเคลือบผิวโดยวัตถุดิบของส้มโอจึงได้นำมาใช้

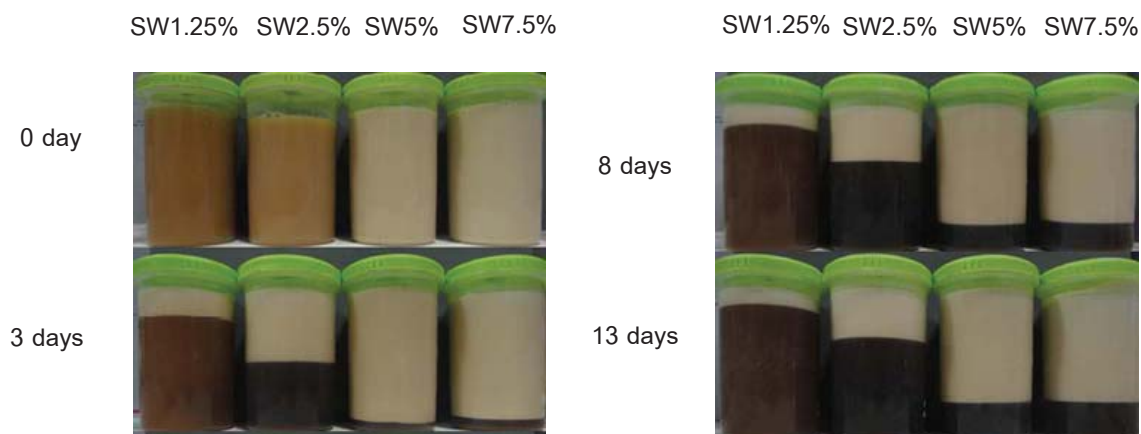
3. การยอมให้อิออน้ำและออกซิเจนซึมผ่าน จากตารางที่ 4.1-4 เป็นการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 และส้มโอขาวใหญ่ ค่าการยอมให้อิออน้ำและออกซิเจนผ่านได้นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับอัตราการคายน้ำและอัตราการหายใจของผลไม้ พบว่า ส่วนใหญ่ของบรรจุภัณฑ์มีค่าการยอมให้ออกซิเจนผ่านมากกว่าอัตราการหายใจประมาณ 1-3 เท่าและค่าการยอมให้อิออน้ำผ่าน ส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่าประมาณ 7-10 เท่าของอัตราการคายน้ำของผลิตผลนั้นๆ ที่สภาวะเดียวกัน สำหรับฟิล์มสารเคลือบของงานวิจัยนี้มีค่าการยอมให้ออกซิเจนผ่านอยู่ในช่วง 71,464-370,070 มิลลิลิตร/วัน-เมตร² และค่าการยอมให้อิออน้ำผ่านอยู่ในช่วง 3-101 กรัม/วัน-เมตร² ค่าเหล่านี้จะมีการเก็บเป็นข้อมูลเพื่อการพัฒนาต่อไป

4. ความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมในด้านต่างๆ พิจารณาในด้านของความเหนียวติดมือ ฟิล์มที่ดีควรมีความเหนียวติดมือน้อย จากกราฟ 4.1.5 พบว่าด้านความเหนียวติดมือในสูตรเซลล์ผสมไขคาร์นูบาที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยสูตร S10%, SC5% และ SC 7.5% ผู้ทดสอบชิมเห็นว่าดีเนื่องจากไม่เหนียวติดมือ

5.ความคงตัวของสารเคลือบ ในการเลือกสูตรสารเคลือบเซลล์ผสมไขเซลล์ได้นำความคงตัวของสารเคลือบมาพิจารณาด้วย ซึ่งเป็นลักษณะสมบัติที่สำคัญของสารละลายที่นำไปใช้งาน จากรูปที่ 4.1.6 พบว่าสูตร SW5% และ SW7.5% มีความคงตัวมากที่สุด ส่วนสารเคลือบผสมไขคาร์นูบาก็มีผลในทำนองเดียวกัน อนึ่งความคงตัวของอิมัลชันที่ไม่เกิดการแยกชั้นเกิดจากอัตราส่วนของ น้ำ:น้ำมัน:สารลดแรงตึงผิว (ในที่นี้คือ พลาสดีไซเซอร์) มีอัตราส่วนที่เหมาะสม รวมทั้งมีกระบวนการ Homogenization ที่ทำให้เกิดขนาดอนุภาคที่พอเหมาะทำให้เกิดการรวมตัวของอิมัลชันช้าลง อย่างไรก็ตามการแยกชั้นของสูตรสารเคลือบดัดแปลงด้วยไขทุกสูตรสามารถย้อนกลับได้ ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการปั่นกวนด้วยใบกวนในระหว่างการพ่นเคลือบ ซึ่งสามารถทำได้ไม่ยากในสายการผลิตระดับการค้า (ปัจจุบันมีการกวนสารเคลือบระหว่างการพ่นเคลือบส้มโออยู่แล้ว เนื่องจากสารเคลือบในทางการค้าก็อาจมีการแยกชั้นเช่นกัน) และสามารถทำการปรับสูตรให้คงตัวขึ้นได้ในอนาคต

ตารางที่ 4.1-4: ค่าการยอมให้ผ่านของฟิล์มและบรรจุภัณฑ์เพื่อการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ และส้มโอที่มีรายงานวิจัยมาก่อน

การนำไปประยุกต์ใช้	ค่าการยอมให้ออกซิเจนผ่าน (มิลลิลิตร/วัน-เมตร ²)	ค่าการยอมให้ไอน้ำผ่าน (กรัม/วัน-เมตร ²)	เอกสารอ้างอิง
ถุงพลาสติกชนิด OPP เก็บรักษามะม่วงตัดแต่ง ได้เป็นเวลา 13 วัน ที่ 5 องศาเซลเซียส	1,474	7.50	โคกชา อภิชาตวรศิลป์, วาณี ชนเห็นชอบ และ Briuce, 2548
ถุงพลาสติกที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูง เก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองชนิด LDPE เก็บรักษาได้นาน 3 สัปดาห์ที่ 13 องศาเซลเซียส	15,000	N/A	ชนิด วานิกานุกูล, วาณี ชนเห็นชอบ และ ศศิธร จันทนวรากล, 2550
ถุงพลาสติกชนิด PE เก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง เป็นเวลา 15 วัน ที่ 5 องศาเซลเซียส	14,154	11.90	เกศวดี อัคระวิสิทธิ์, 2552
ถุงพลาสติกชนิด PE เก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง เป็นเวลา 15 วัน ที่ 5 องศาเซลเซียส	22,932	14.26	เกศวดี อัคระวิสิทธิ์, 2552
การเคลือบผิวโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บรักษาได้ 18 วัน ที่ 25 องศาเซลเซียส	N/A	87.68-119.54	ศรินทร์ทิพย์ ธนคณเศรษฐี และคณะ, 2552
อัตราการหายใจและคายน้ำของมะม่วงที่ 12 องศาเซลเซียส	32,653	34.06	หัวข้อ 4.2.1, 4.2.2 การสูญเสียน้ำหนักและอัตราการหายใจของมะม่วง
อัตราการหายใจและคายน้ำของมะม่วงตัดแต่ง ที่ 5 องศาเซลเซียส	8,163	75.83	Chiumarelli et al., 2011
ถุงพลาสติกที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูง เก็บรักษาส้มโอพันธุ์ทองดี	17,000	N/A	เสาวภา ไชยวงศ์ และ ชีรพงษ์ เทพกรณ์, 2551



รูปที่ 4.1.6 ความคงตัวของสารเคลือบเซลล์ผสมไฮเซลเล็ก

ดังนั้นสูตรสารเคลือบที่ได้รับเลือกไปทดสอบการเคลือบผิวมะม่วงและส้มโอคือ สูตร S10%, S10%+G0.5%, S10%+G1%, SC5%, SC7.5%, SW5% และ SW7.5% เมื่อคัดเลือกแล้วได้มีการนำไปทดสอบการเคลือบผิวผลไม้ในระดับห้องปฏิบัติการต่อไป

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบและการใช้ถุงพลาสติกในการรักษาคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

ก. ลักษณะภายนอกของมะม่วง

- ภาพถ่ายฟิล์มสารเคลือบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การตรวจสอบความหนาและการเคลือบผิวของมะม่วงด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) วัดความหนาของฟิล์มสารเคลือบประมาณ 5 ไมครอน ดังรูป 4.2.1 (B) เมื่อทำการเคลือบผิวด้วยการพ่นพบว่าสารเคลือบทุกสูตรติดกับเปลือกมะม่วงได้ดีและสารเคลือบแห้งเร็ว อย่างไรก็ตามเมื่อนำเปลือกมะม่วงที่เคลือบมาทำการถ่ายภาพ SEM ต้องมีการนำตัวอย่างเข้าสู่กระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง (freeze dry) มีการสูญเสียน้ำจากฟิล์มและจากเปลือกไปทำให้ฟิล์มสารเคลือบที่ปรากฏอาจมีลักษณะไม่ติดกับเปลือกผลไม้ในบางส่วนของผลไม้ โครงสร้างของผนังเซลล์ผลไม้ ประกอบไปด้วย ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกติน ไบโพรเทิน และส่วนที่ชอบน้ำ ได้แก่ โกลโคโปรตีน ประกอบไปด้วย หมู่อะมิโนและคาร์บอกซิล (Ashok and Haider, 2009) สำหรับฟิล์มสารเคลือบ ส่วนประกอบหลักคือ เซลลูลोज ซึ่งเป็พอลิเอสเทอร์ ประกอบไปด้วย หมู่ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิล ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และ ไฮโดรคาร์บอน และไขมันที่เติมลงไปซึ่งไม่ชอบน้ำเช่นกัน การตรวจสอบพื้นผิวของมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวดังรูปที่ 4.2.1 (C) พื้นผิวมีความขรุขระและมีปากใบอย่างชัดเจน เมื่อทำการเคลือบผิวพื้นผิวของเปลือกมะม่วง ดังรูปที่ 4.2.1 (D) มีความเรียบขึ้น ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของเซลลูลोजซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ทำให้การเคลือบผิวผลไม้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Chen และ Nussinovich (2000) ที่เคลือบผิวส้มด้วยสารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของกาแลกโตแมนแนนที่เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง ทำให้ผิวหน้าของเปลือกส้มที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวดังกล่าวมีผิวหน้าที่เรียบไปปกคลุมช่องเปิดบนผิวของผลผลิต ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลผลิตได้ดีขึ้น

-เปลือก

มะม่วงผลดิบทุกกลุ่มการทดลอง มีลักษณะภายนอกที่ปรากฏในสัปดาห์ที่ 0-3 ไม่แตกต่างกันดังรูป 4.2.2 (1), 4.2.2 (2) โดยมะม่วงสูตร CONTROL เกิดโรคขึ้น ในสัปดาห์ที่ 4 สำหรับผลมะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสูตร S10%+G0.5%, S10%+G1.0%, SC5%, SC7.5%, SW7.5% และการบรรจุในถุงพลาสติก CONTROL 3 kgs, CONTROL 5 kgs พบ

การเน่าเสียในสัปดาห์ที่ 5 ขณะที่มะม่วงเคลือบผิวสูตร S10% และ SW5% พบการเกิดโรคในสัปดาห์ที่ 6 รูปที่ 4.2.2 (3)

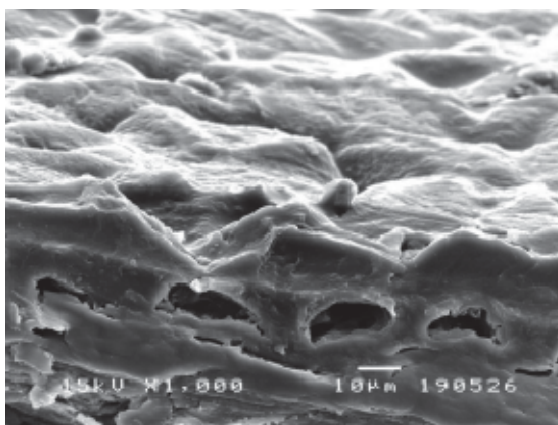
หลังการบ่ม ผลมะม่วงสุกในทุกกลุ่มการทดลองที่ผ่านการเคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติกมีลักษณะภายนอกปรากฏในสัปดาห์ที่ 0-3 ไม่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.2.3 (1) - 4.2.3 (2) ขณะที่มะม่วงสูตร CONTROL เกิดโรคขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 ดังรูปที่ 4.2.3 (2) อย่างไรก็ตามการเน่าเสียของผลมะม่วงสุกที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสูตร SC7.5%, SW5%, S10%+G0.5%, S10%+G1.0% และบรรจุถุงพลาสติก CONTROL 5 kgs ปรากฏให้เห็นในสัปดาห์ที่ 4 ขณะที่ผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสูตร SC5%, SW7.5%, CONTROL 3 kgs และ S10% พบการเน่าเสียในสัปดาห์ที่ 5 ของการเก็บรักษา ดังรูปที่ 4.2.3 (3)

เมื่อพิจารณาจากลักษณะภายนอก การเคลือบผิวมะม่วงด้วยสูตร S10%, SW5% และ SW7.5% ให้ผลการเก็บรักษาได้ดีกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ โดยเกิดการสุกและพบการคุกคามของโรคช้ากว่าอย่างชัดเจน และยังดีกว่าการใช้ถุงพลาสติกทึบดำวัน FF5 (CONTROL 3 kgs และ CONTROL 5 kgs) แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารเคลือบสูตร SC5% และ SC7.5% ให้ผลการเก็บรักษาใกล้เคียงกับ CONTROL 3 kgs และ CONTROL 5 kgs สำหรับมะม่วง CONTROL แสดงการสุกและเกิดโรคเร็วที่สุด การพิจารณาลักษณะภายนอกของเนื้อมะม่วง ดังรูป 4.2.4 และ 4.2.5 ลักษณะภายนอกของเมล็ดมะม่วง ดังรูป 4.2.6 และ 4.2.7 ลักษณะการเกิดโรคมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับลักษณะภายนอกที่ปรากฏของเปลือกมะม่วงทั้งผลดิบและผลบ่มสุก

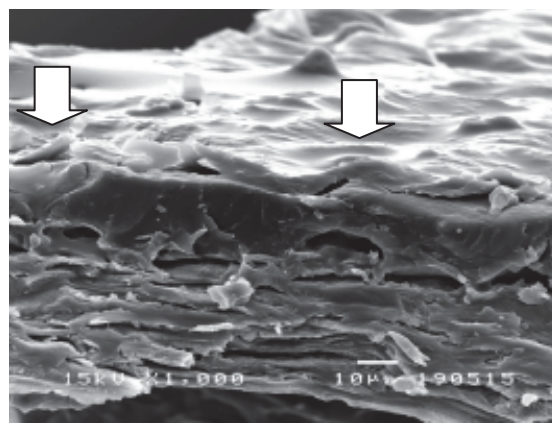
งานวิจัยการพัฒนาสารเคลือบเซลล์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ห้องเพ็ญ อรรถสิริ, 2548) รายงานว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว พบการเกิดโรคในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสูตรเซลล์พื้นฐาน (S10%) พบการเกิดโรคในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา โดยเมื่อเปรียบเทียบผลของงานวิจัยนี้ มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสูตรพื้นฐาน สามารถเก็บรักษาอยู่ได้ 5 สัปดาห์ ที่ 12 องศาเซลเซียส ซึ่งเก็บรักษาได้นานกว่า อาจเนื่องจากการทดลองในครั้งนี้มีการควบคุมกระบวนการคัดเลือกตลอดจนกระบวนการเตรียมผลไม้ก่อนการเคลือบแตกต่างกัน ขั้นตอนการคัดเลือกและเตรียมมะม่วงนั้นเตรียมมาจากวิธีการของบริษัท ซึ่งอาจทำให้อายุการเก็บรักษาผลไม้นี้แตกต่างกันได้

การนำถุงพลาสติกชนิด LLDPE บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง โดยสามารถเก็บรักษาที่ เก็บรักษาที่ 13 องศาเซลเซียส ได้ 20 วัน (นภาพรณ โนมิตรเรืองชัยและวิชา สะอาดสุด, 2553) และมีงานวิจัยที่นำถุงพลาสติกที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านได้สูง (high OTR-LDPE) 15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/เมตร²-วัน เก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสามารถเก็บรักษาได้ 3 สัปดาห์ ที่ 13 องศาเซลเซียส (ชนิด วานิกานุกูล, วาณี ชนเห็นชอบ และ

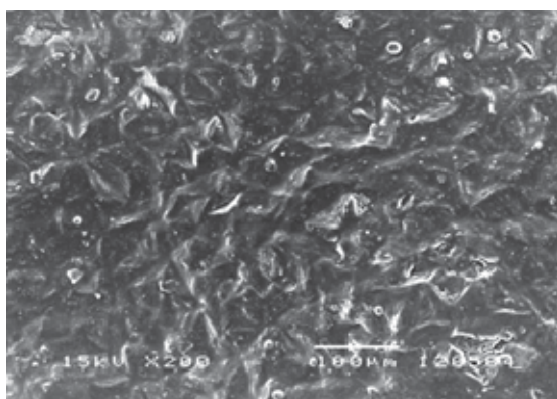
ศศิธร จันทนวรารกุล, 2550) งานวิจัยนี้ได้นำถุงพลาสติกชนิด LLDPE บริษัททานตะวัน รุ่น FF5 ทำการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ได้นาน 4 สัปดาห์ ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า เนื่องจากมีค่าการยอมให้แก๊สออกซิเจนแพร่ผ่านแตกต่างกัน ทำให้สภาพบรรยากาศเปลี่ยนแปลงภายในถุงแตกต่างกันไป



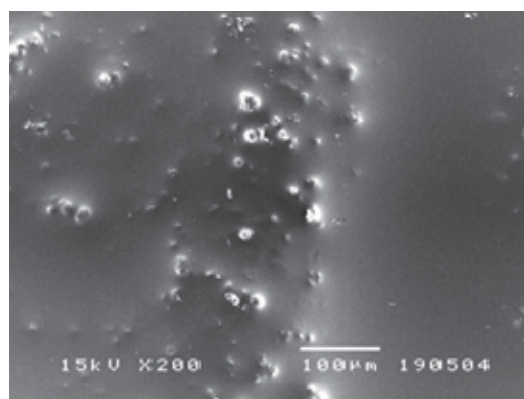
(A) ภาพตัดขวางเปลือกมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว



(B) ภาพตัดขวางเปลือกมะม่วงที่เคลือบผิวด้วย
สูตร S10%



(C) ภาพพื้นผิวเปลือกมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว



(D) ภาพพื้นผิวเปลือกมะม่วงที่เคลือบผิวด้วย
สูตร S10%

รูปที่ 4.2.1 ภาพตัดขวางและพื้นผิวเปลือกมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว และเคลือบผิวด้วยสูตร S10%
ถูกตรึงบริเวณผิวที่โคนเคลือบไข ถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

0 สัปดาห์

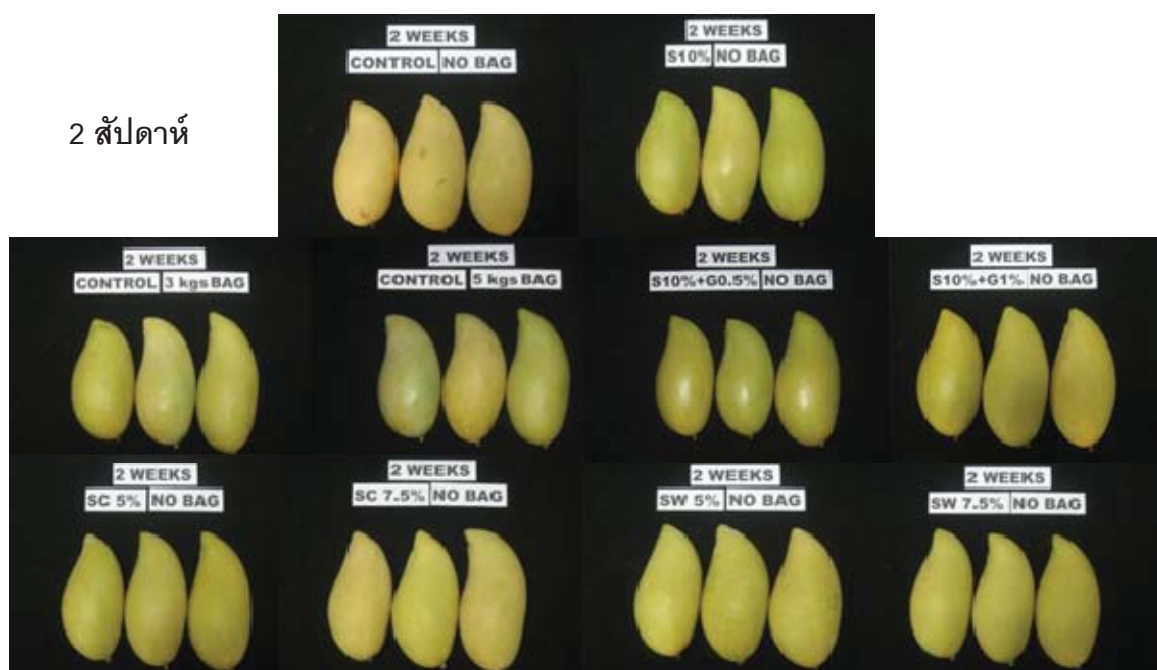
ผลดิบ



1 สัปดาห์



2 สัปดาห์



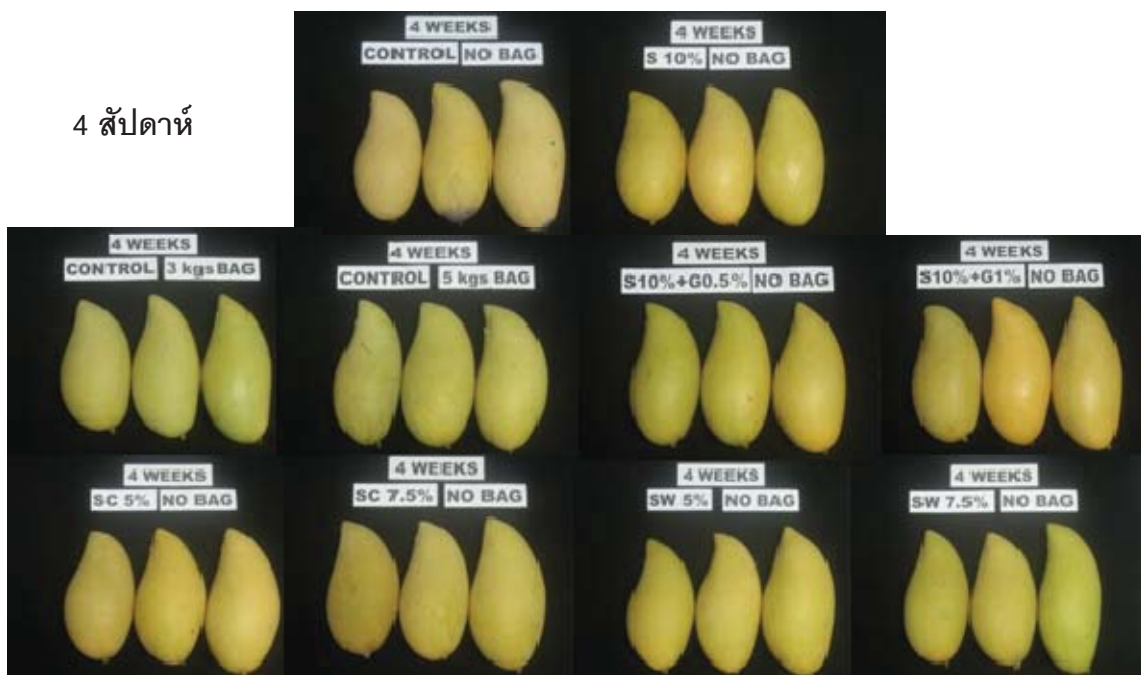
รูปที่ 4.2.2 (1) ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบ
 เซลลูลอสส์ดัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ที่อุณหภูมิ 12
 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5

3 สัปดาห์

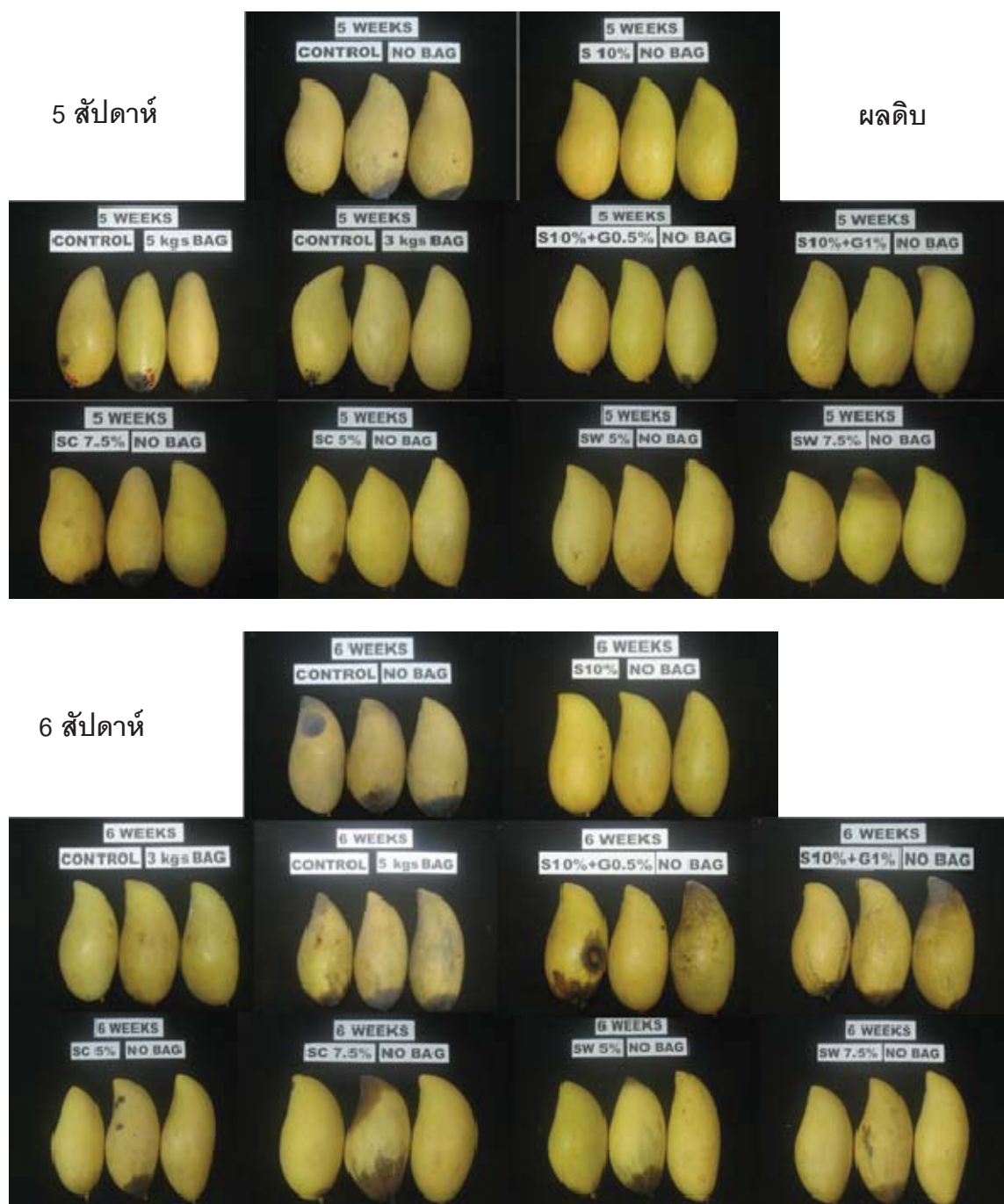
ผลดิบ



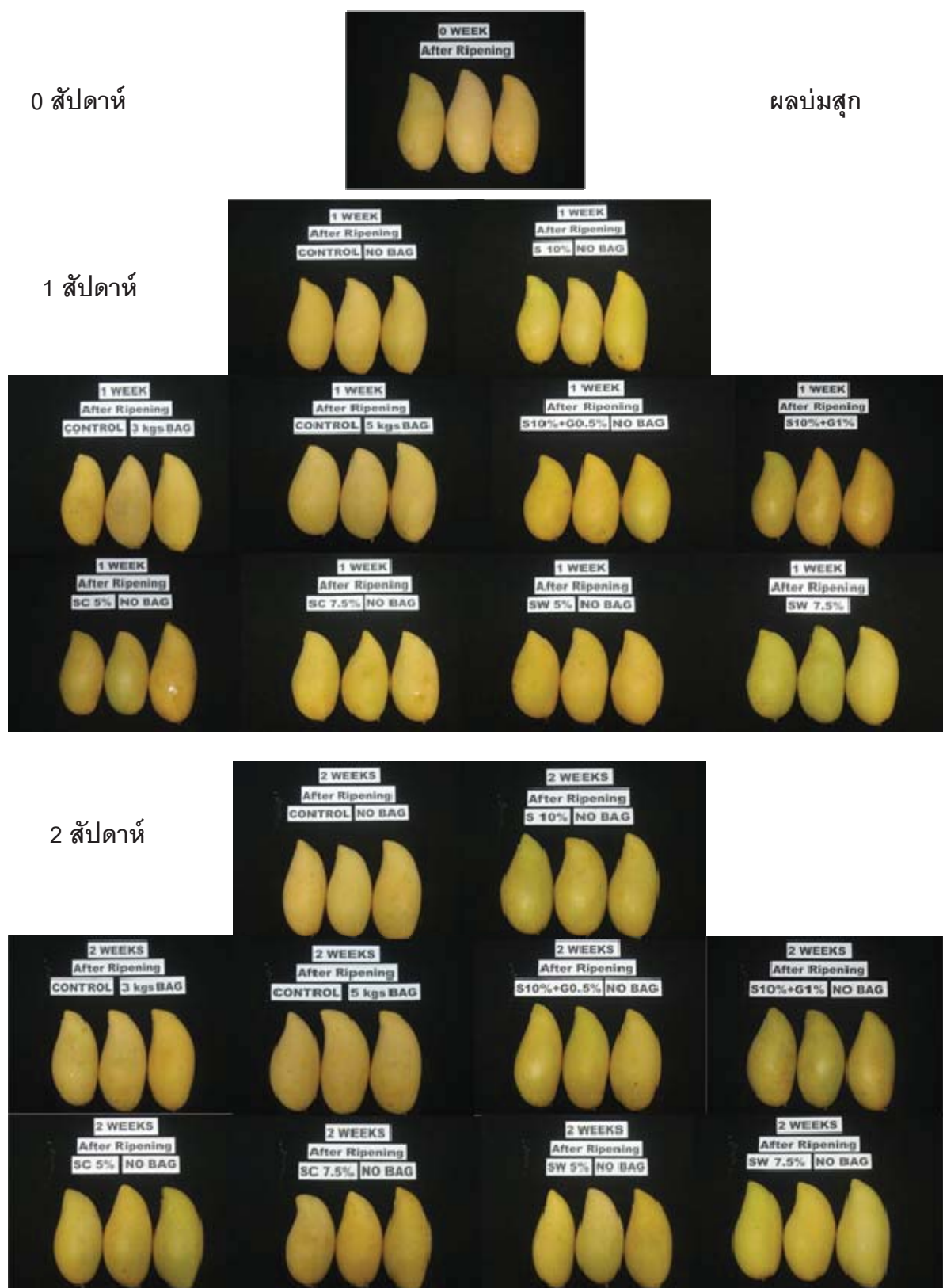
4 สัปดาห์



รูปที่ 4.2.2 (2) ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบ
 เซลล์เคลือบต่าง ๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ 12
 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5



รูปที่ 4.2.2 (3) ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบ เซลลูลอสส์ดัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5



รูปที่ 4.2.3 (1) ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์ที่ดัดแปลง
ต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ
90±5 ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 แล้วยับด้วยเอทิลฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4 วัน

3 สัปดาห์

ผลบ่มสุก



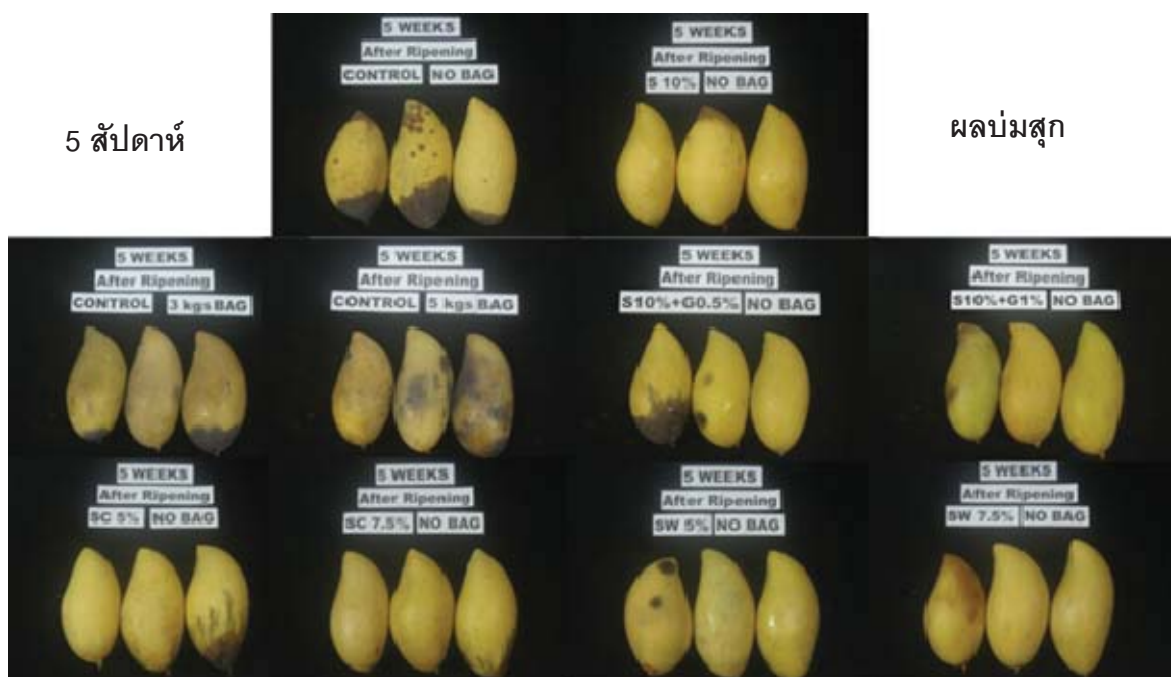
4 สัปดาห์



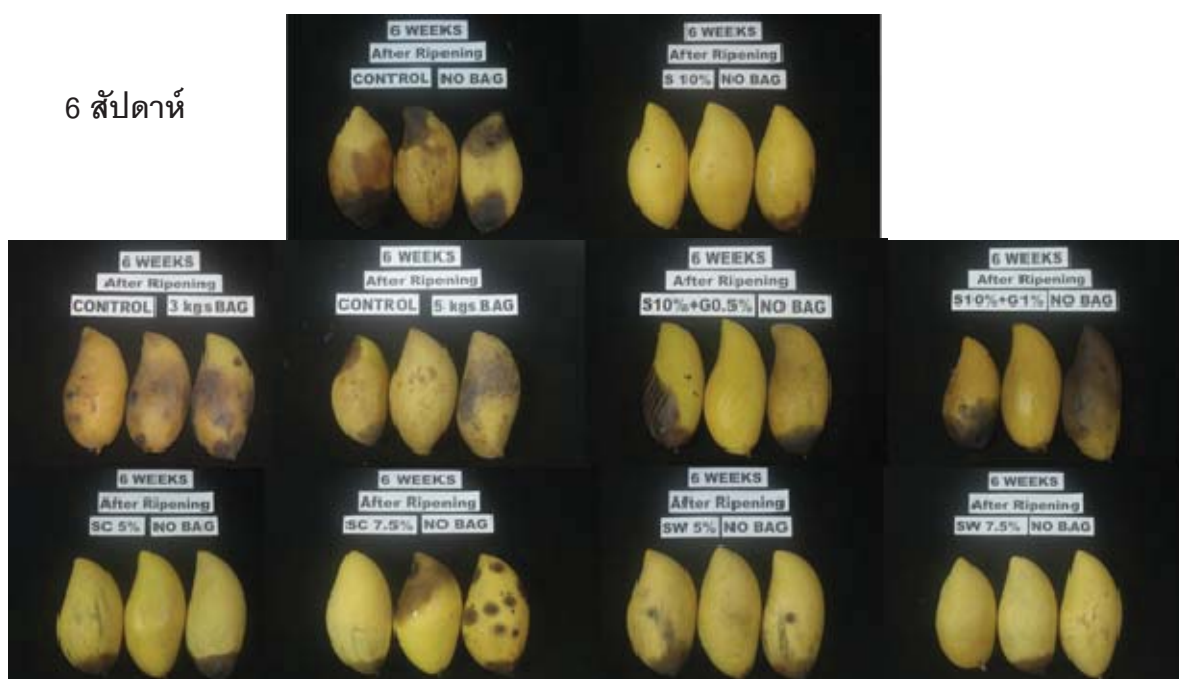
รูปที่ 4.2.3 (2) ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบ เซลลูลอสส์ดัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 แล้วบ่มด้วยเอทิลฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4 วัน

5 สัปดาห์

ผลบ่มสุก



6 สัปดาห์



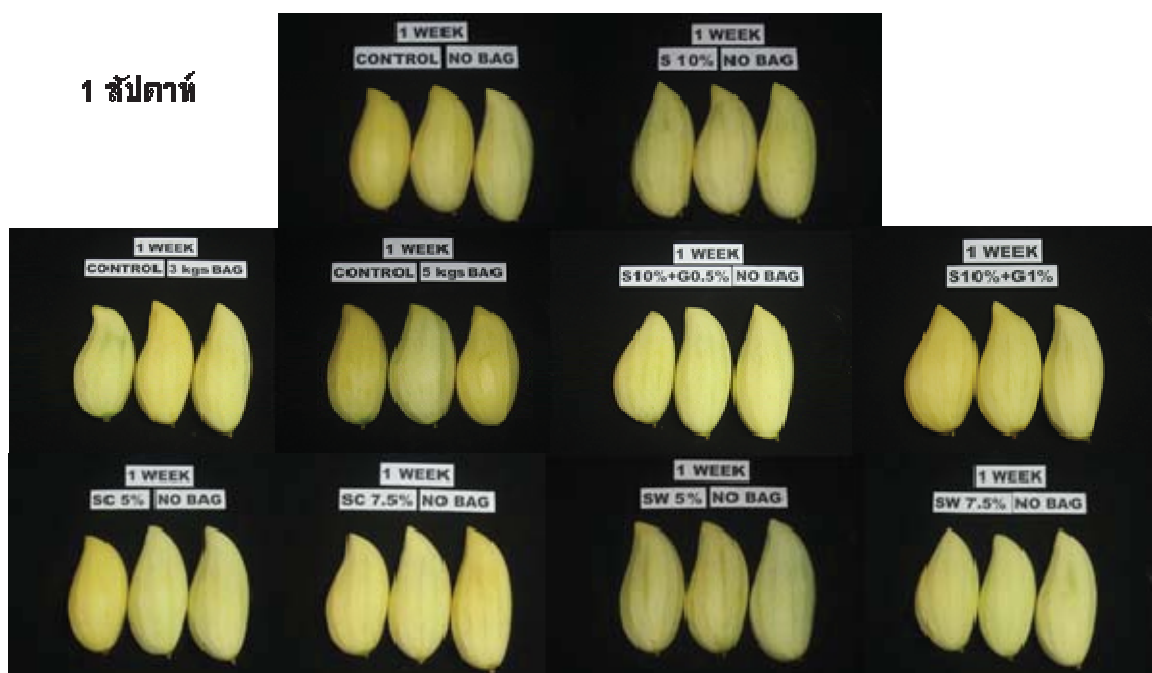
รูปที่ 4.2.3 (3) ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลลูล์โลสเปลี่ยนแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 ในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 แล้วบ่มด้วยเอทิลฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4 วัน

0 สัปดาห์

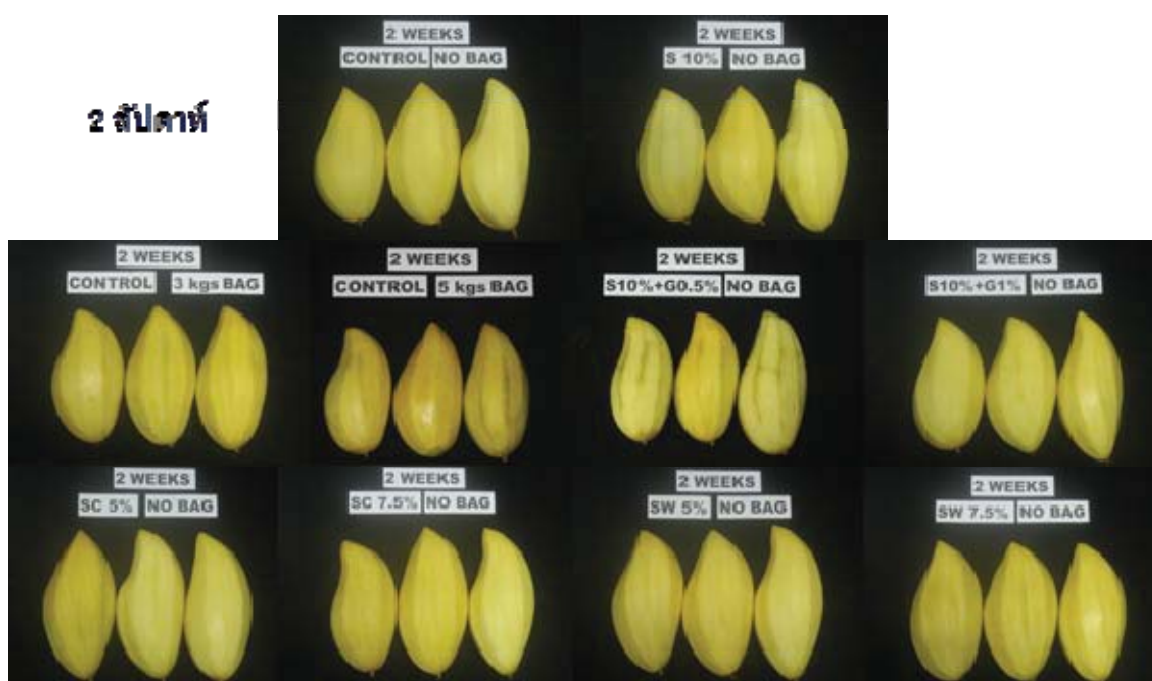


ผลดิบ

1 สัปดาห์



2 สัปดาห์



รูปที่ 4.2.4(1) ลักษณะภายนอกของเนื้อมะม่วงผลดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลลูล์ซัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5

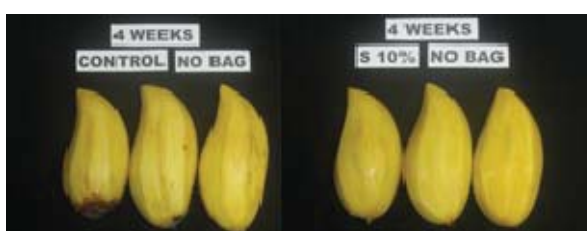
3 สัปดาห์



ผลดิบ



4 สัปดาห์



รูปที่ 4.2.4(2) ลักษณะภายนอกของเนื้อมะม่วงผลดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบ
เซลล์เล็กต่าง ๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ 12
องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5



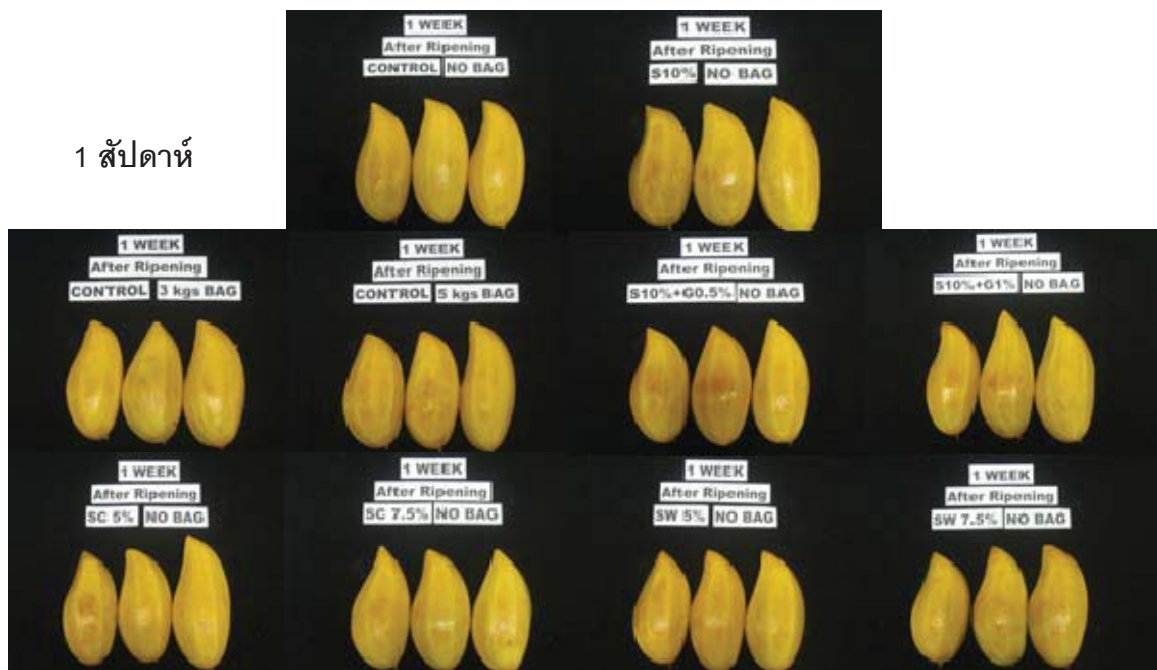
รูปที่ 4.2.4(3) ลักษณะภายนอกของเนื้อมะม่วงผลดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลลูล์โลสแบบต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5

0 สัปดาห์

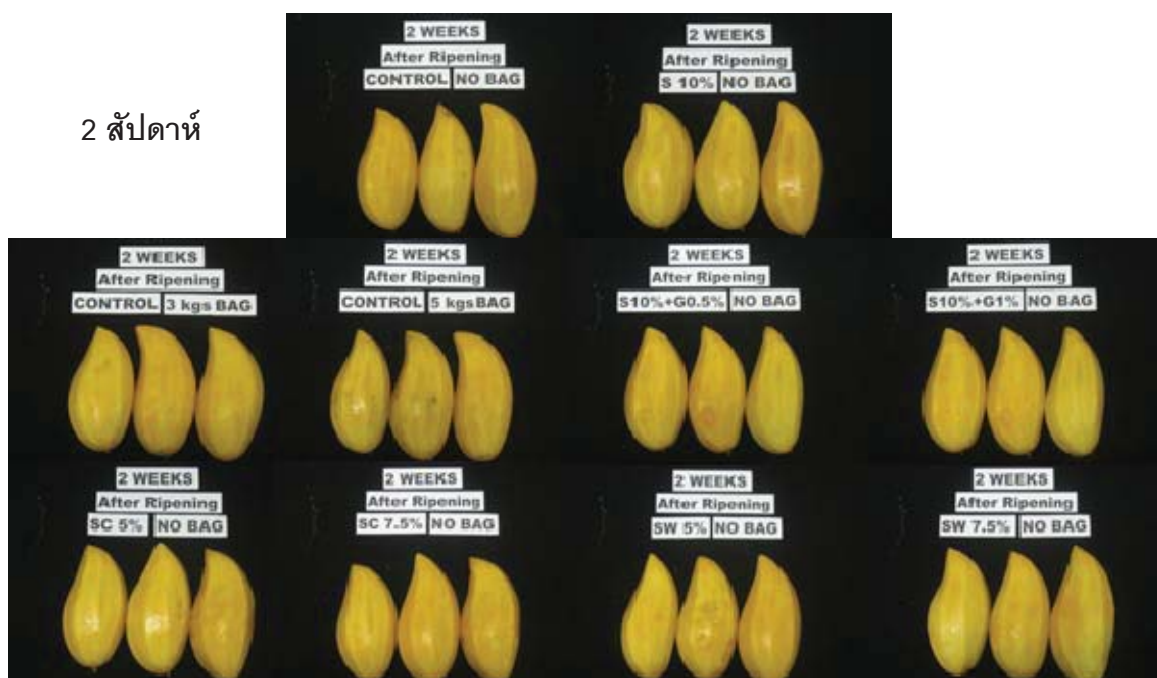


ผลบ่มสุก

1 สัปดาห์



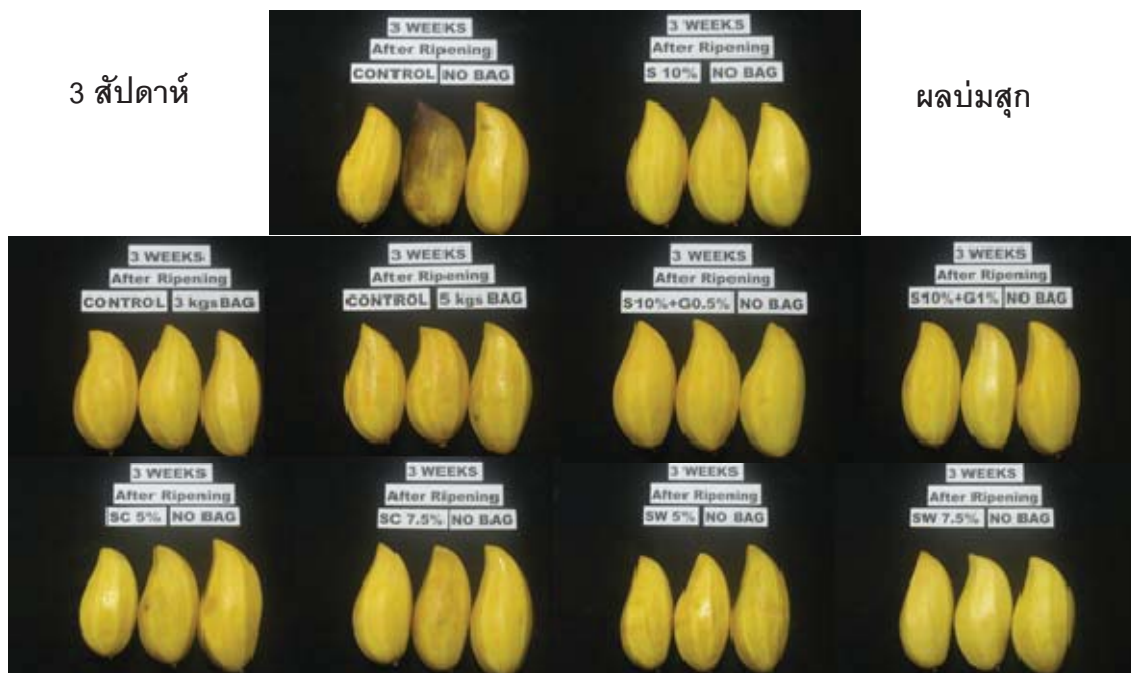
2 สัปดาห์



รูปที่ 4.2.5(1) ลักษณะภายนอกของเนื้อผลมะม่วงบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังจากนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 แล้วบ่มด้วยเอทิลฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4 วัน

3 สัปดาห์

ผลบ่มสุก



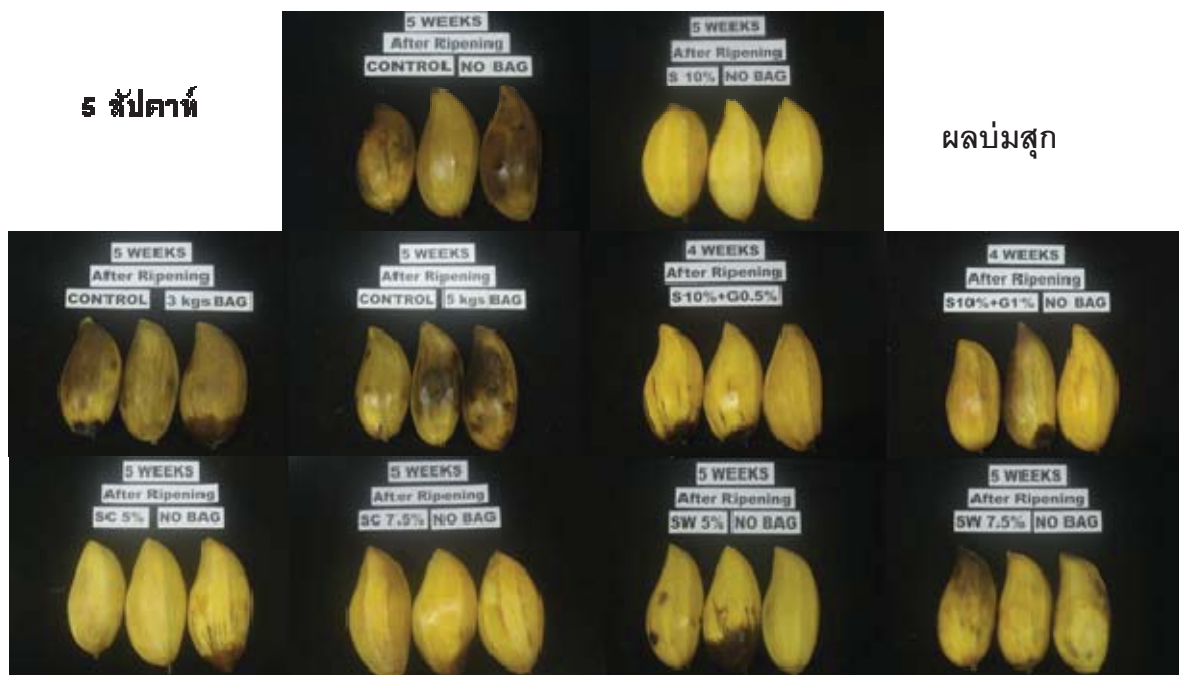
4 สัปดาห์



รูปที่ 4.2.5(2) ลักษณะภายนอกของเนื้อผลมะม่วงบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบ เซลลูลอสค์ดัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังจากนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 แล้วบ่มด้วยเอทีฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4

5 สัปดาห์

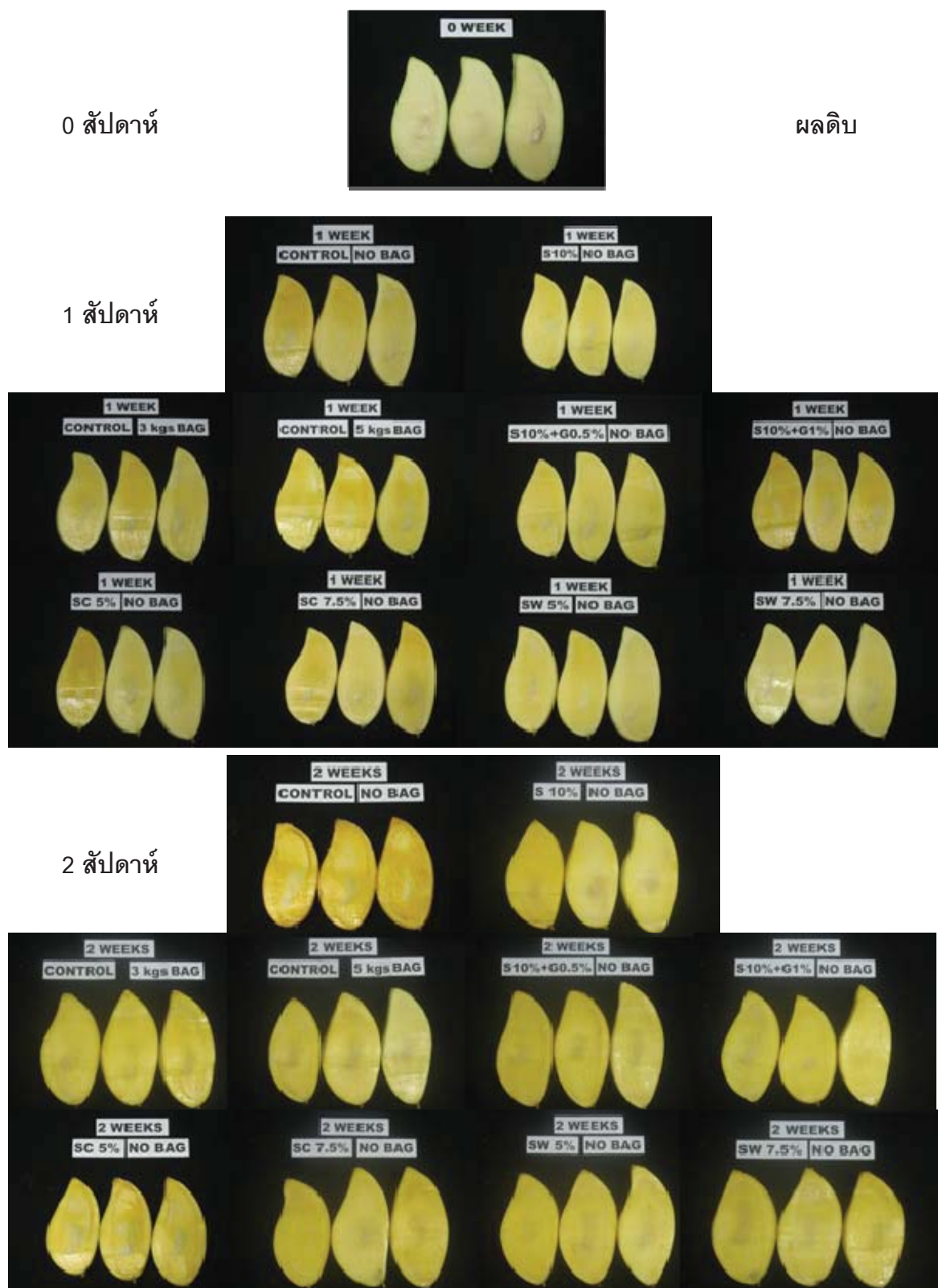
ผลบ่มสุก



6 สัปดาห์



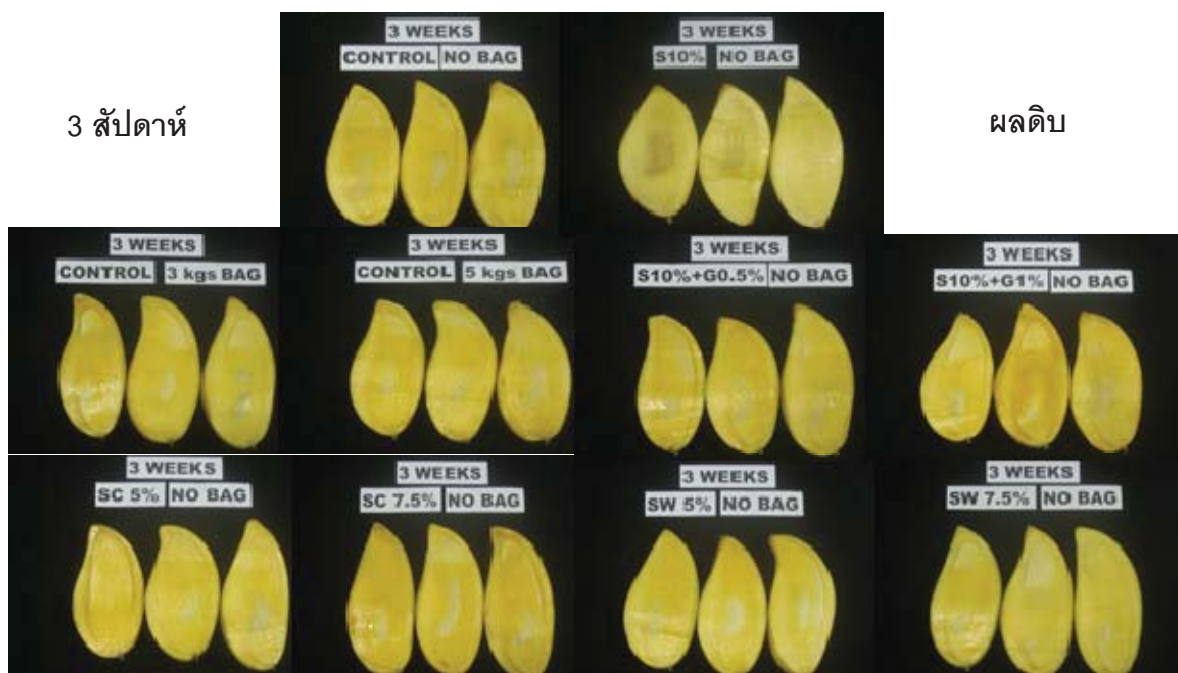
รูปที่ 4.2.5 (3) ลักษณะภายนอกของเนื้อผลมะม่วงบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลดัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังจากนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 ในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 แล้วบ่มด้วยเอทิลฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4 วัน



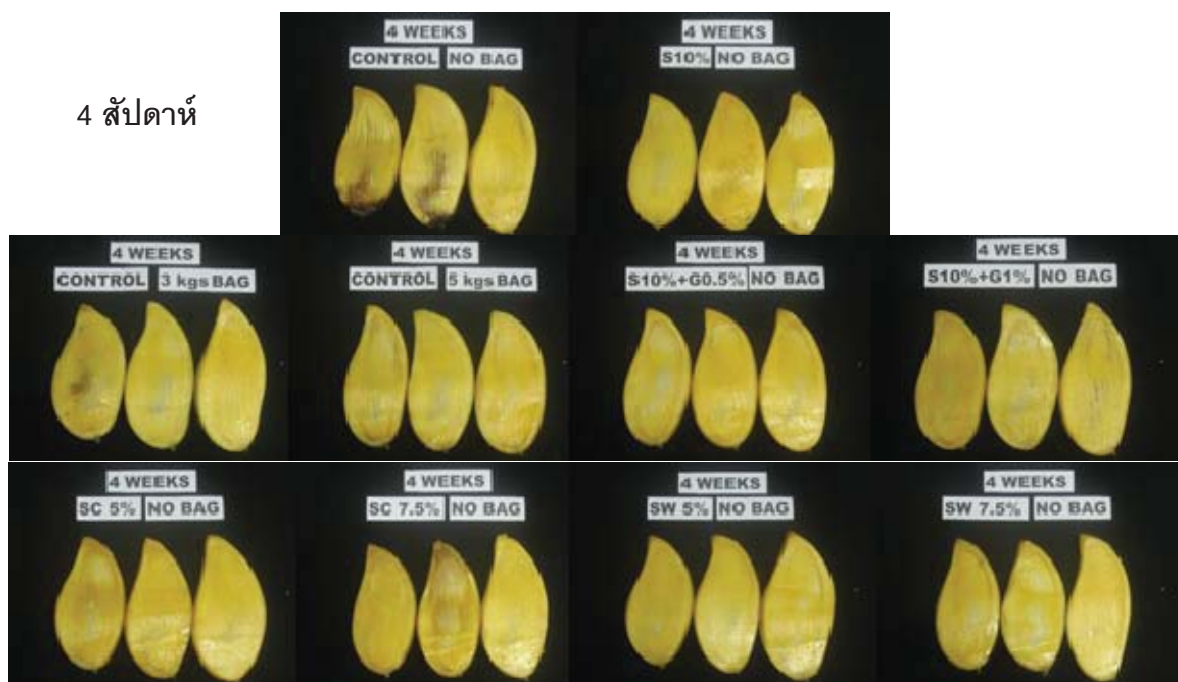
รูปที่ 4.2.6(1) ลักษณะเมล็ดของผลมะม่วงดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์เล็ก
 คัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ที่อุณหภูมิ 12 องศา
 เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5

3 สัปดาห์

ผลดิบ



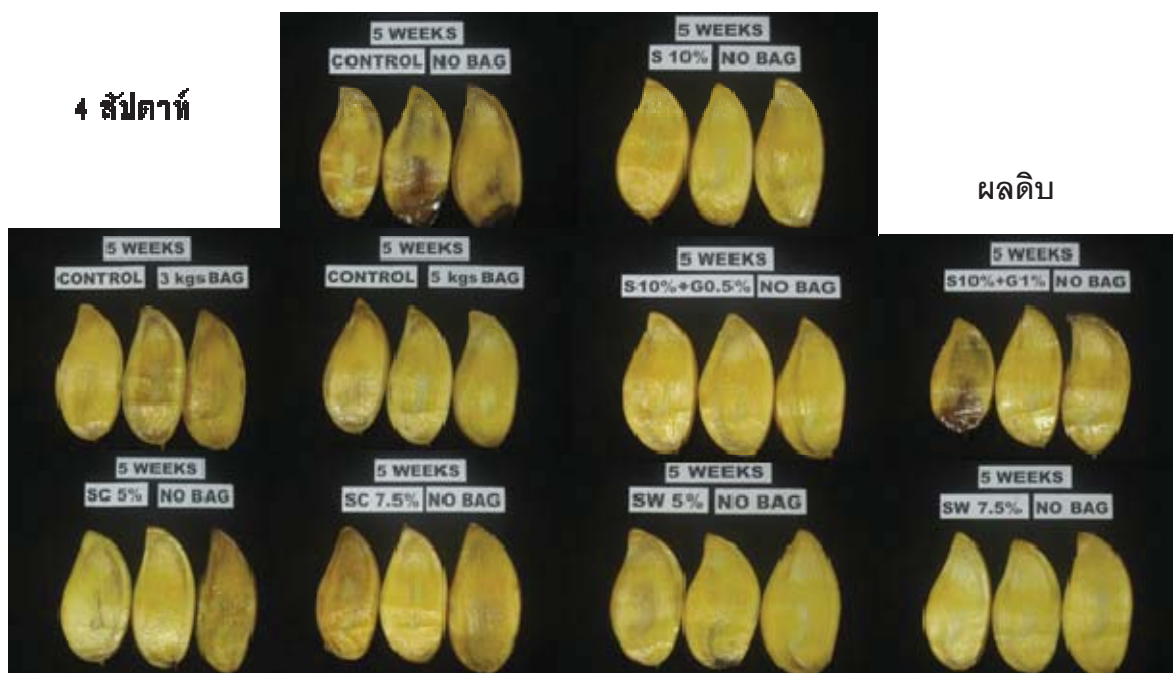
4 สัปดาห์



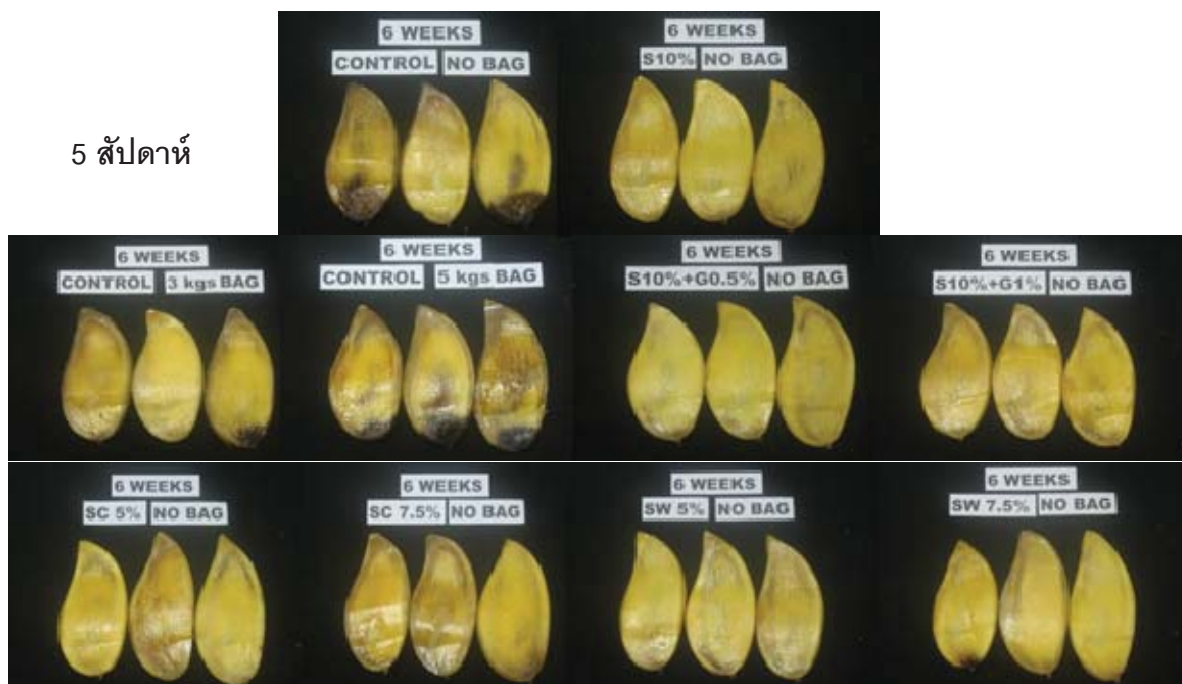
รูปที่ 4.2.6(2) ลักษณะเมล็ดของมะม่วงผลดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์
 คัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ 12 องศา
 เซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5

4 สัปดาห์

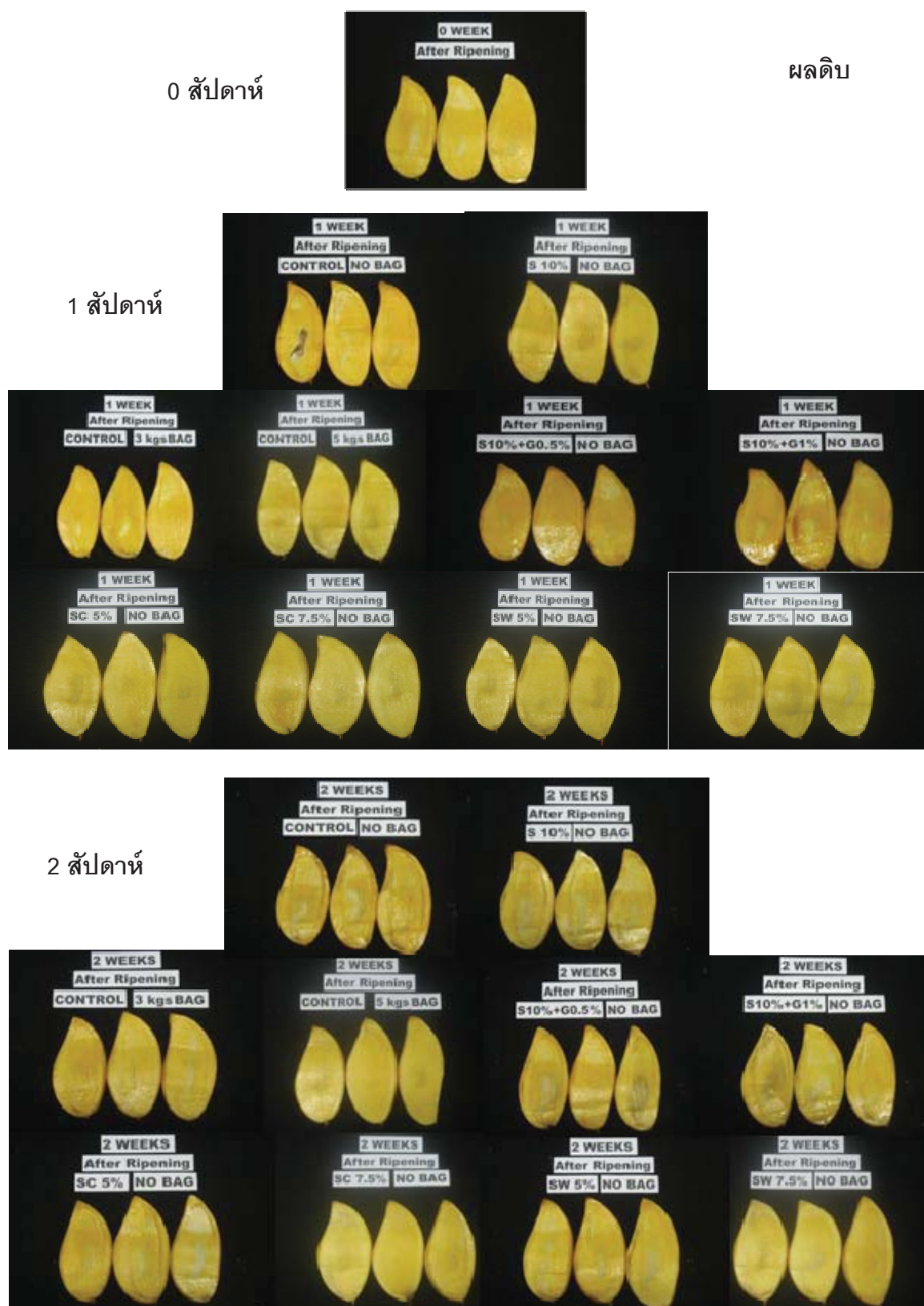
ผลดิบ



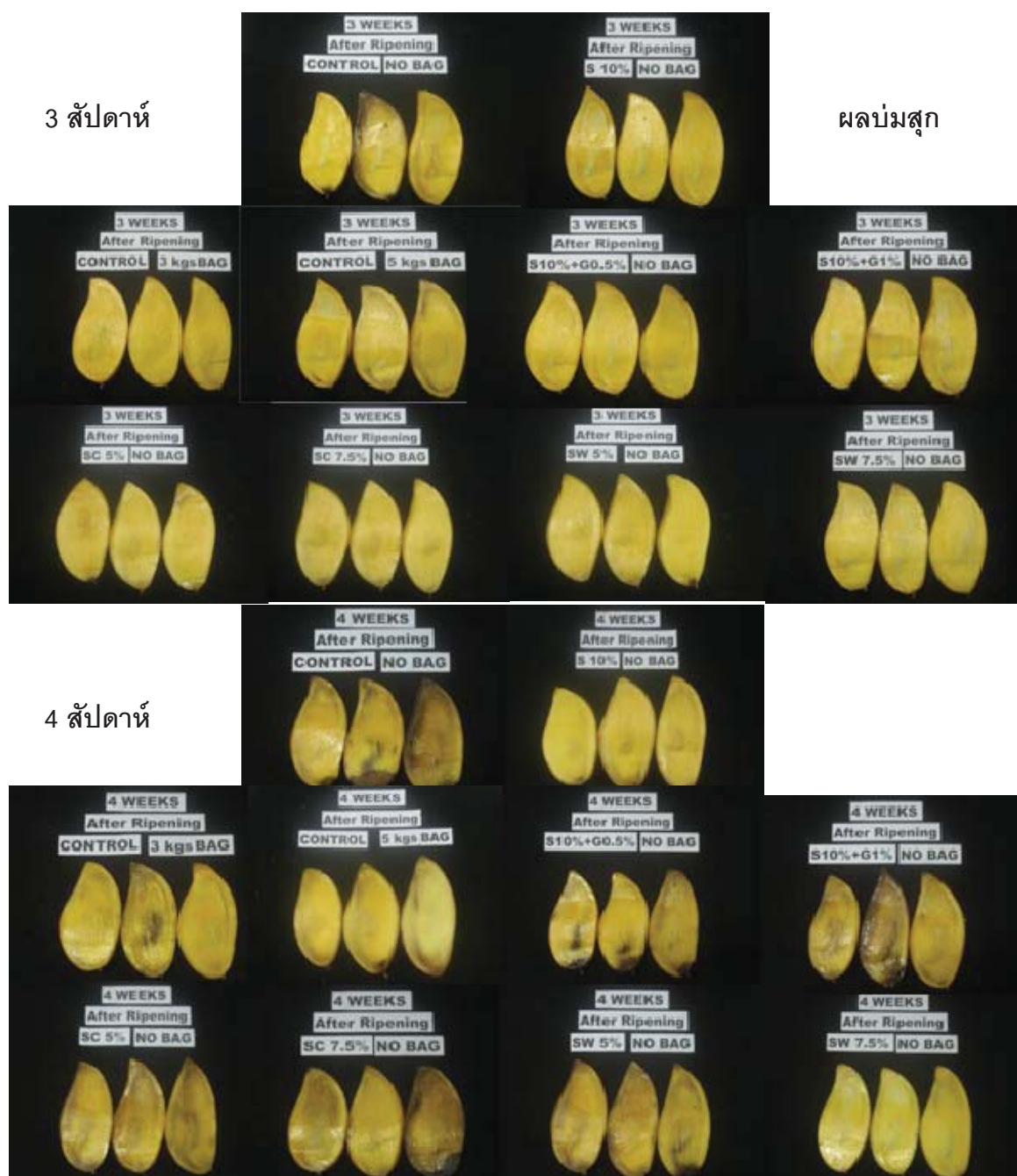
5 สัปดาห์



รูปที่ 4.2.6(3) ลักษณะเมล็ดของผลมะม่วงดิบที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรเคลือบเซลแล็ก
 คัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 12 องศา
 เซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5



รูปที่ 4.2.7 (1) ลักษณะภายนอกของเมล็ดมะม่วงผลบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 แล้วบ่มด้วยเอทิลฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4 วัน



รูปที่ 4.2.7 (2) ลักษณะภายนอกของเมล็ดมะม่วงผลบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลลูล์ซัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 แล้วบ่มด้วยเอทิลฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4 วัน



รูปที่ 4.2.7 (3) ลักษณะภายนอกของเมล็ดมะม่วงผลบ่มสุกที่ไม่ได้เคลือบ ที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์เล็กัดแปลงต่างๆ และการบรรจุถุงพลาสติก หลังนำออกมาจากอุณหภูมิเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 ในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 แล้วบ่มด้วยเอทิลฟอน 500 ppm เป็นเวลา 3-4 วัน

ข. สี

การวัดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก สีเนื้อของผลมะม่วงดิบและผลมะม่วงบ่มสุกโดยใช้ระบบ C.I.E โดยอ่านค่าเป็น ค่าความสว่าง; L^* ความเป็นสีแดง; a^* ความเป็นสีเหลือง; b^* ค่าความเข้มของสี; c^* ค่ามุมของสี; $^{\circ}H$ ด้วยเครื่องวัดสี (CE Minolta, CR400, ญี่ปุ่น) พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกมะม่วง โดยเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระบวนการสลายตัวของ chlorophyll มีการใช้ออกซิเจนร่วมกระบวนการ โดยเอนไซม์ chlorophyllase ย่อยสลายโมเลกุลของ chlorophyll ได้สาร phytol และ chlorophyllide a ต่อมาเอนไซม์ Mg-dechelataze ดึงออกโมเลกุลแมกนีเซียมออกจาก chlorophyllide ทำให้ได้โมเลกุลของ pheophorbide a และเอนไซม์ pheophorbide a oxygenase (PaO) และ red colored chlorophyll catabolite ทำงานร่วมกับออกซิเจน ทำการย่อยสลายโมเลกุล pheophorbide a ซึ่งทำให้สารที่ได้ออกมาเกิดการสูญเสียสีเขียวไป (จริงแท้ ศรีพานิช, 2550) จากนั้นสีเหลืองและแดงของแคโรทีนอยด์ที่ถูกบดบังด้วยสีเขียวของ chlorophyll ปรากฏขึ้น ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้าไปในผลผลิต ทำให้สามารถชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกได้

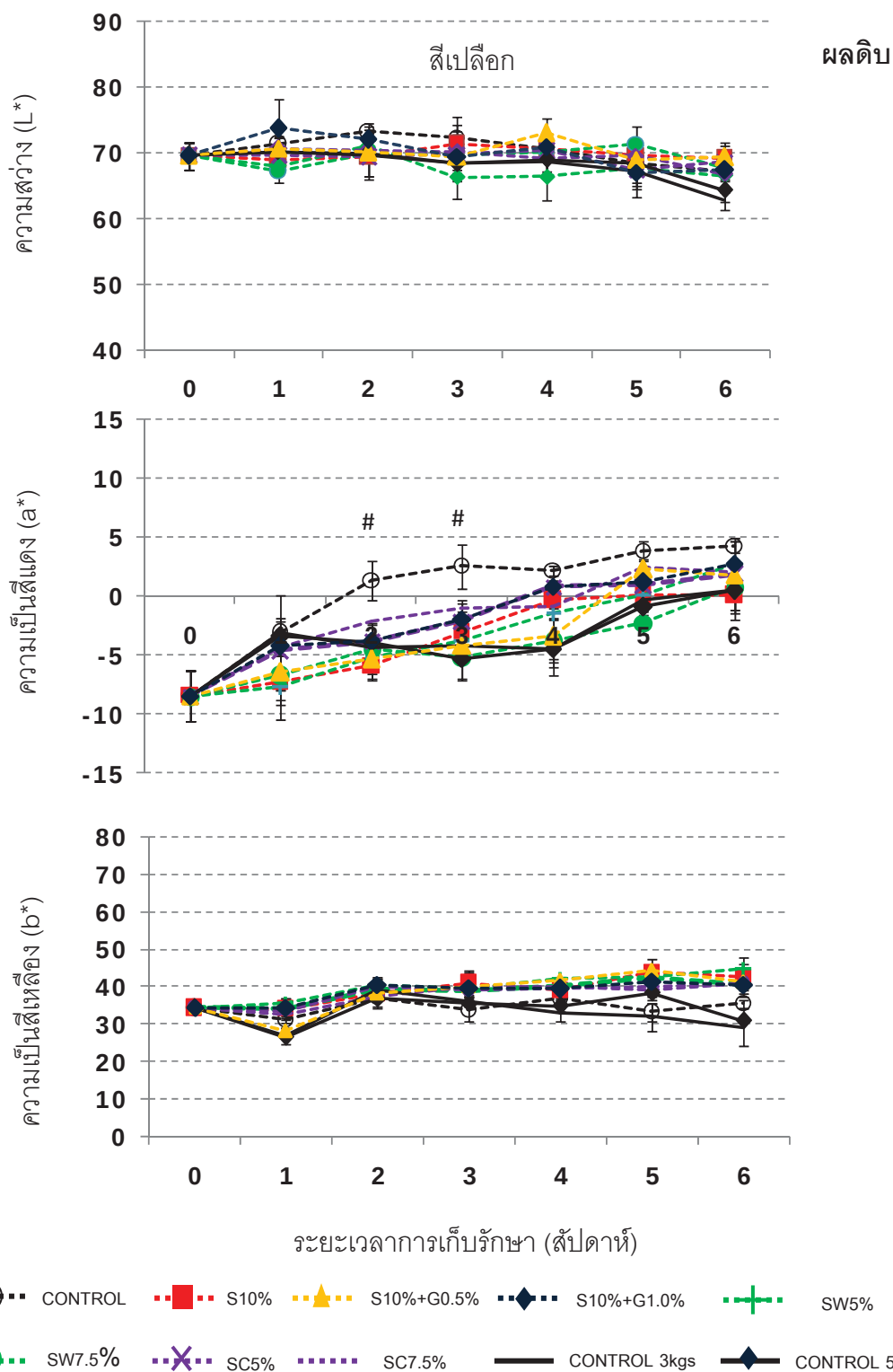
สีเปลือกของผลมะม่วงดิบดังรูปที่ 4.2.8-4.2.9 ค่า b^* chroma มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในทุกกลุ่มการทดลอง ค่า L^* ลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ค่า a^* มีค่าเพิ่มสูงขึ้นและค่า $^{\circ}H$ มีค่าลดลงในทุกกลุ่มการทดลอง การเปลี่ยนแปลงของค่า a^* และ $^{\circ}H$ แสดงให้เห็นถึงการสุกของผลมะม่วงที่เพิ่มมากขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง ทั้งนี้ชุดควบคุมเกิดการสุกมากกว่าทุกกลุ่มการทดลองที่เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติก ดังจะเห็นได้จากค่า a^* ที่สูงขึ้นและค่า $^{\circ}H$ ที่ลดลง ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ สำหรับสีเปลือกของผลมะม่วงบ่มสุก ค่า L^* ลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงความสว่างมากในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 เนื่องจากการเกิดโรคทำให้เปลือกผลเป็นสีดำคล้ำเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.2.10a ขณะที่ค่า b^* และ c^* มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดังรูป 4.2.10 c และ 4.2.11 a ตามลำดับ ค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าผลที่ไม่ได้รับการบ่มสุก 2-3 เท่าเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.2.10b ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจากค่าสีเขียว (-a) ไปเป็นค่าสีแดงเพิ่มสูงขึ้น (+a) และค่ามุมของสี ($^{\circ}H$) ของมะม่วงบ่มสุกลดลงมากกว่ามะม่วงที่ไม่ผ่านการบ่มสุก ดังรูปที่ 4.2.9 b แสดงให้เห็นว่าเป็นผลมะม่วงที่ผ่านการบ่มสุกโดยมะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสูตร SW7.5% มีแนวโน้มการสุกต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ เห็นได้จากค่า a^* ที่ต่ำกว่าและค่า $^{\circ}H$ ที่สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ (รูปที่ 4.2.15) เนื่องจากฟิล์มสารเคลือบสูตร SW7.5% มีค่าการยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านมาได้กว่าสูตรอื่นๆ ทำให้อัตราการหายใจต่ำลง เกิดกระบวนการสุกและเปลี่ยนสีเปลือกที่ช้าลง

สีเนื้อของผลมะม่วงดิบ ค่า L^* และ b^* ดังรูปที่ 4.2.12a, 4.2.12c มีค่าลดลงมากในสัปดาห์ที่ 4-6 เนื่องจากการเกิดโรคทำให้ความสว่างและสีเหลืองของสีเนื้อลดลง ค่า c^* มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่า a^* ที่เพิ่มขึ้นและ ค่า $^{\circ}H$ ที่ลดลง ดังรูปที่ 4.2.12 b และ 4.2.13 b ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงกระบวนการสุกที่เกิดขึ้น สำหรับสีเนื้อของผลมะม่วงบ่มสุกมีค่าสอดคล้องกับสีเนื้อของผล

มะม่วงดิบ โดยมีค่า a^* ดังรูปที่ 4.2.13 b ที่สูงกว่า 1-2 เท่าของค่า a^* ของสีเนื้อผลมะม่วงดิบดังรูป 4.2.14 a แสดงถึงมะม่วงที่ผ่านกระบวนการบ่มสุก

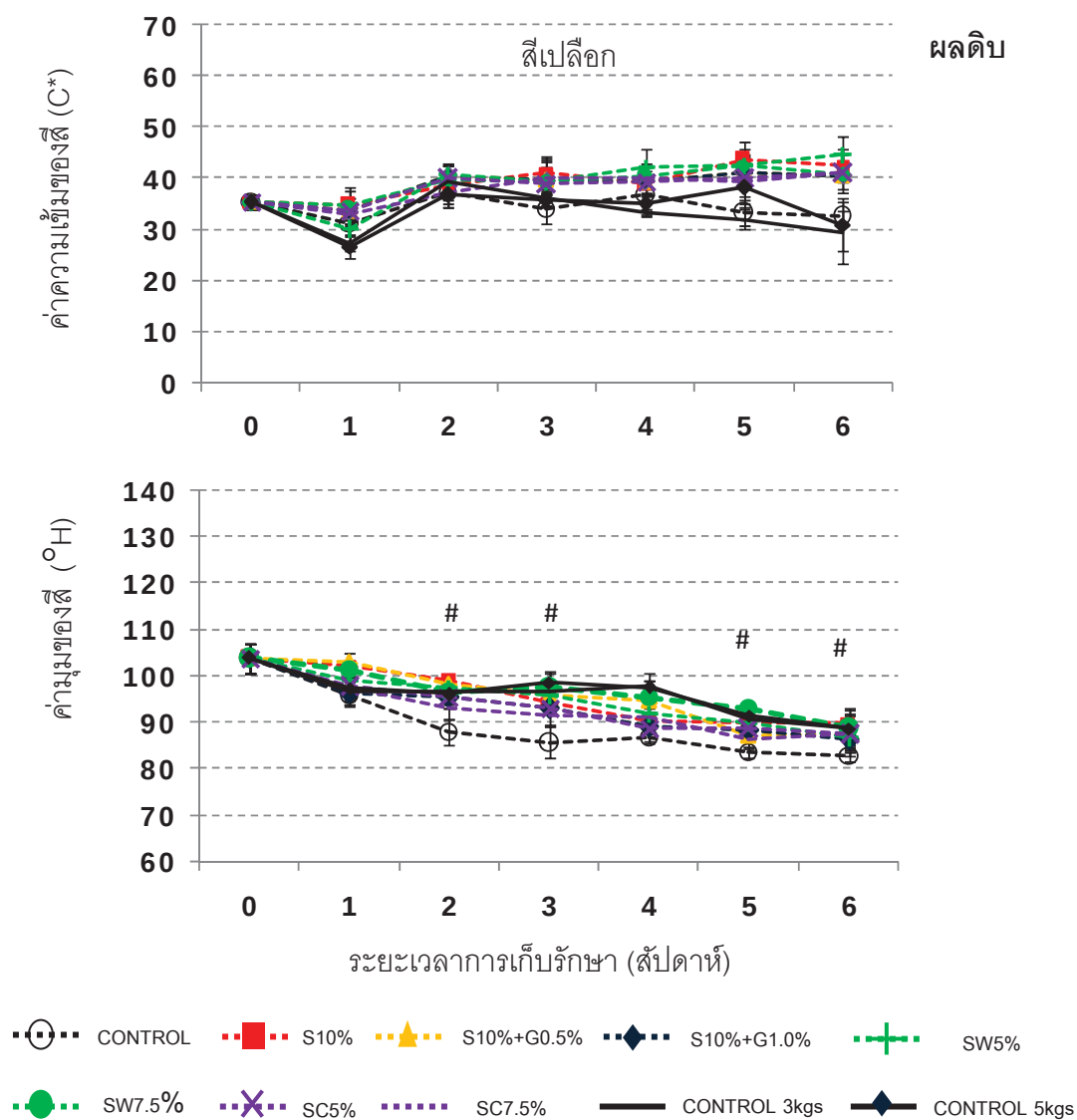
ค.พื้นที่การเน่าเสีย

เพื่อระบุให้แน่ชัดถึงปริมาณการคุกคามของการเกิดโรคบนผิวมะม่วงในแต่ละกลุ่มการทดลองและนำมาเปรียบเทียบกัน เราจึงทำการวัดขนาดพื้นที่ที่แสดงการเกิดโรค จากผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.2.16 พบว่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่การเน่าเสียของมะม่วงผลดิบมีค่าน้อยกว่าผลบ่มสุกอย่างชัดเจน เนื่องจากผลมะม่วงบ่มสุกนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผลมะม่วงดิบเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยหลักกระตุ้นให้เกิดอัตราการหายใจที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณกรดคลอโรฟิลล์และน้ำตาลมากขึ้น เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) โดยมะม่วงผลดิบเริ่มแสดงการเกิดโรคตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไป และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มะม่วงชุดควบคุมเกิดพื้นที่เน่าเสียมากกว่ามะม่วงในกลุ่มการทดลองอื่นๆ เนื่องจากการเคลือบผิวและบรรจุพลาสติกช่วยลดปริมาณออกซิเจนและทำให้อัตราการหายใจต่ำลง มีปริมาณกรดมาก น้ำตาลน้อย ทำให้ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการเคลือบผิวด้วยสูตร S10% ทำให้เกิดพื้นที่การเกิดโรคน้อยกว่าทุกกลุ่มการทดลองอื่นในสัปดาห์ที่ 6 ดังรูปที่ 4.2.15 มะม่วงผลบ่มสุกแสดงพื้นที่เน่าเสียตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มะม่วงชุดควบคุมมีพื้นที่การเกิดโรคมากกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ



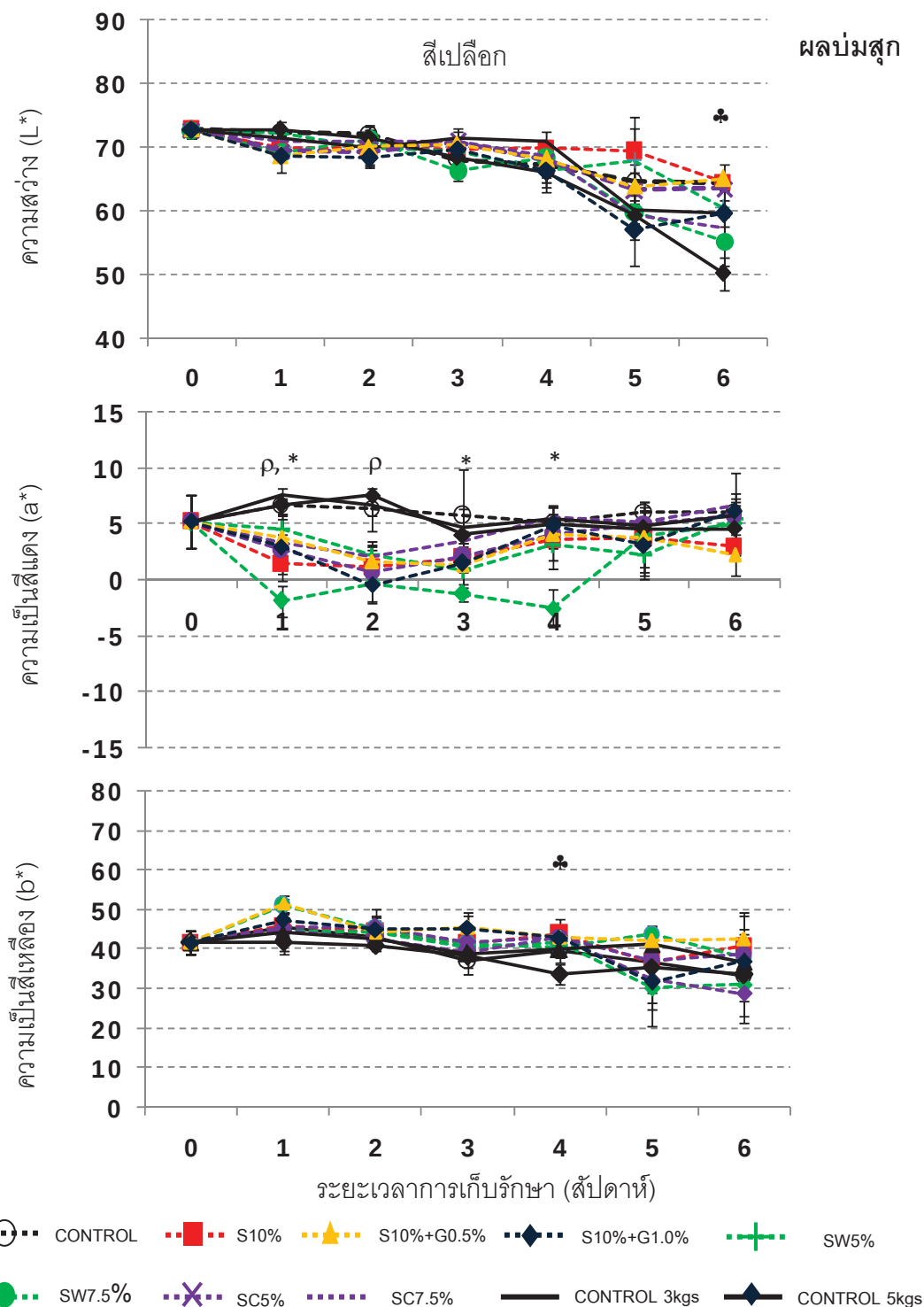
รูปที่ 4.2.8 การเปลี่ยนแปลงค่า L*, a*, b* c* ของเปลือกผลมะม่วงดิบที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก (CONTROL) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์

มะม่วงไม่เคลือบผิว CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ

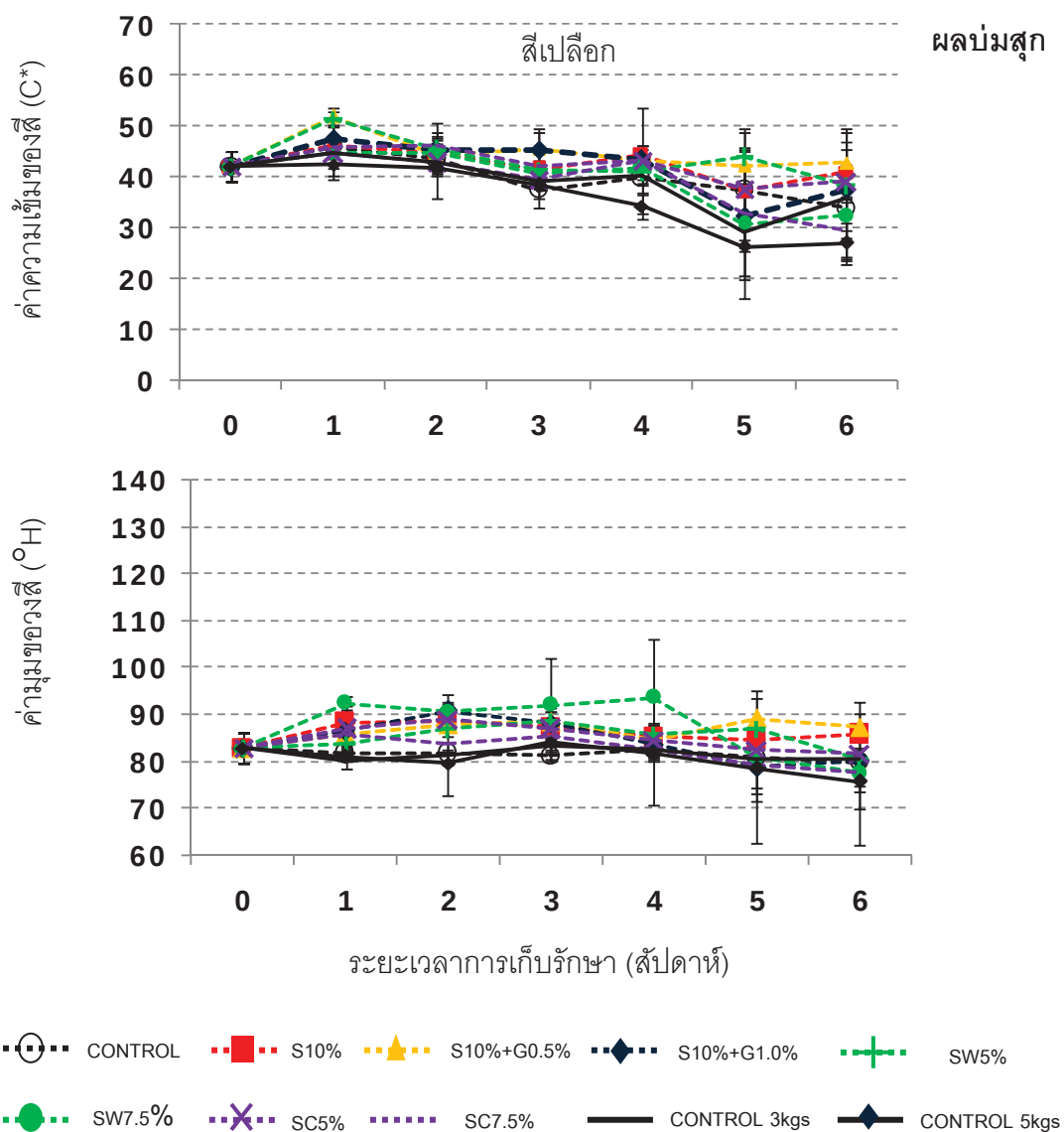


รูปที่ 4.2.9 การเปลี่ยนแปลงค่า c^* $^{\circ}H^*$ ของเปลือกผลมะม่วงดิบที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก (CONTROL)เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์

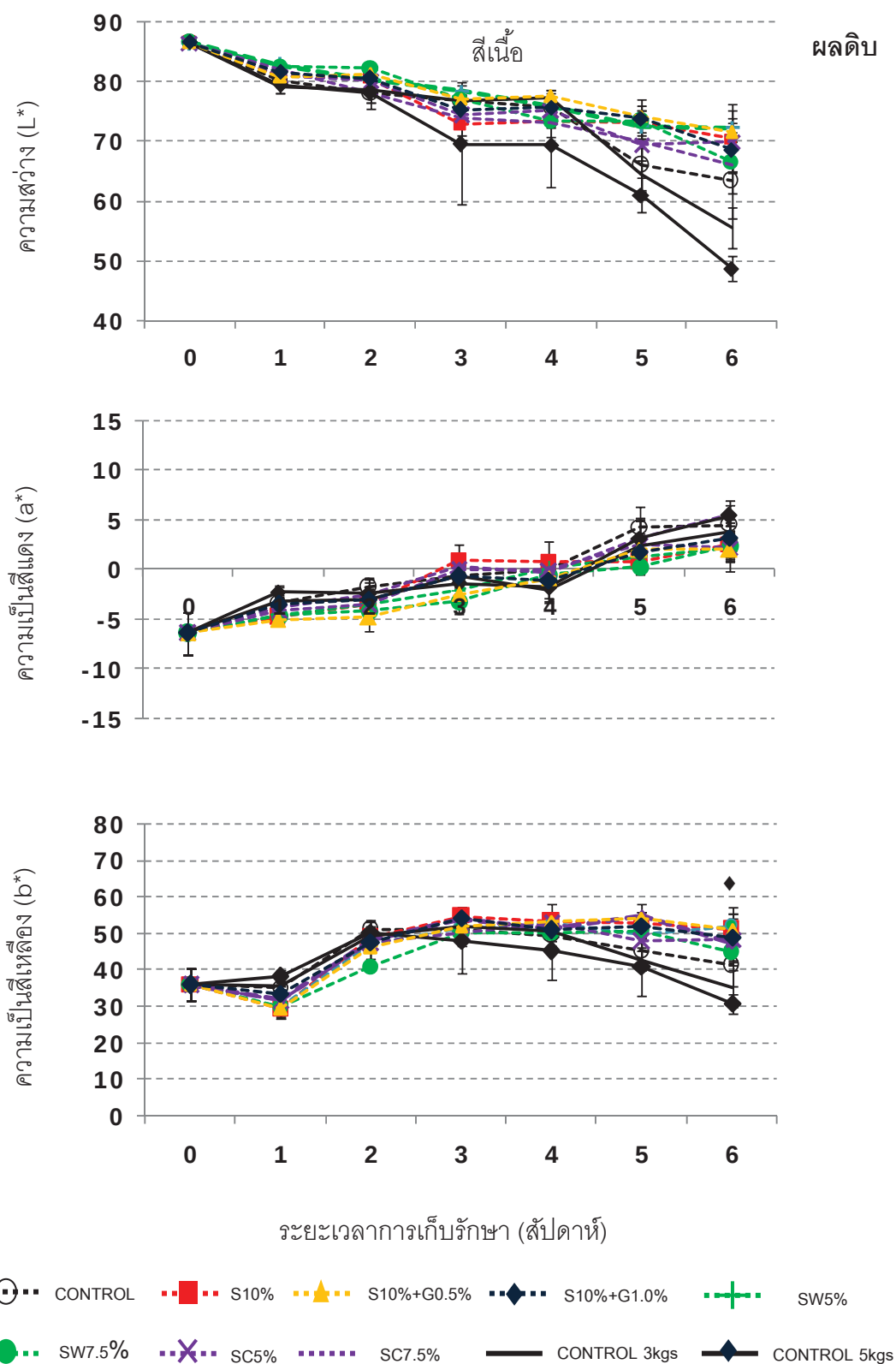
(# มะม่วงไม่เคลือบผิว CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)



รูปที่ 4.2.10 การเปลี่ยนแปลงค่า L*, a*, b* ของเปลือกผลมะม่วงบ่มสุกที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก (CONTROL) เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์ที่นำมาบ่มสุก ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (* มะม่วงสูตรเคลือบผิว SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ, ♣ มะม่วงสูตร CONTROL และ CONTROL 5kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ, ρ มะม่วงสูตร CONTROL และ CONTROL 5kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ ($P \leq 0.05$))

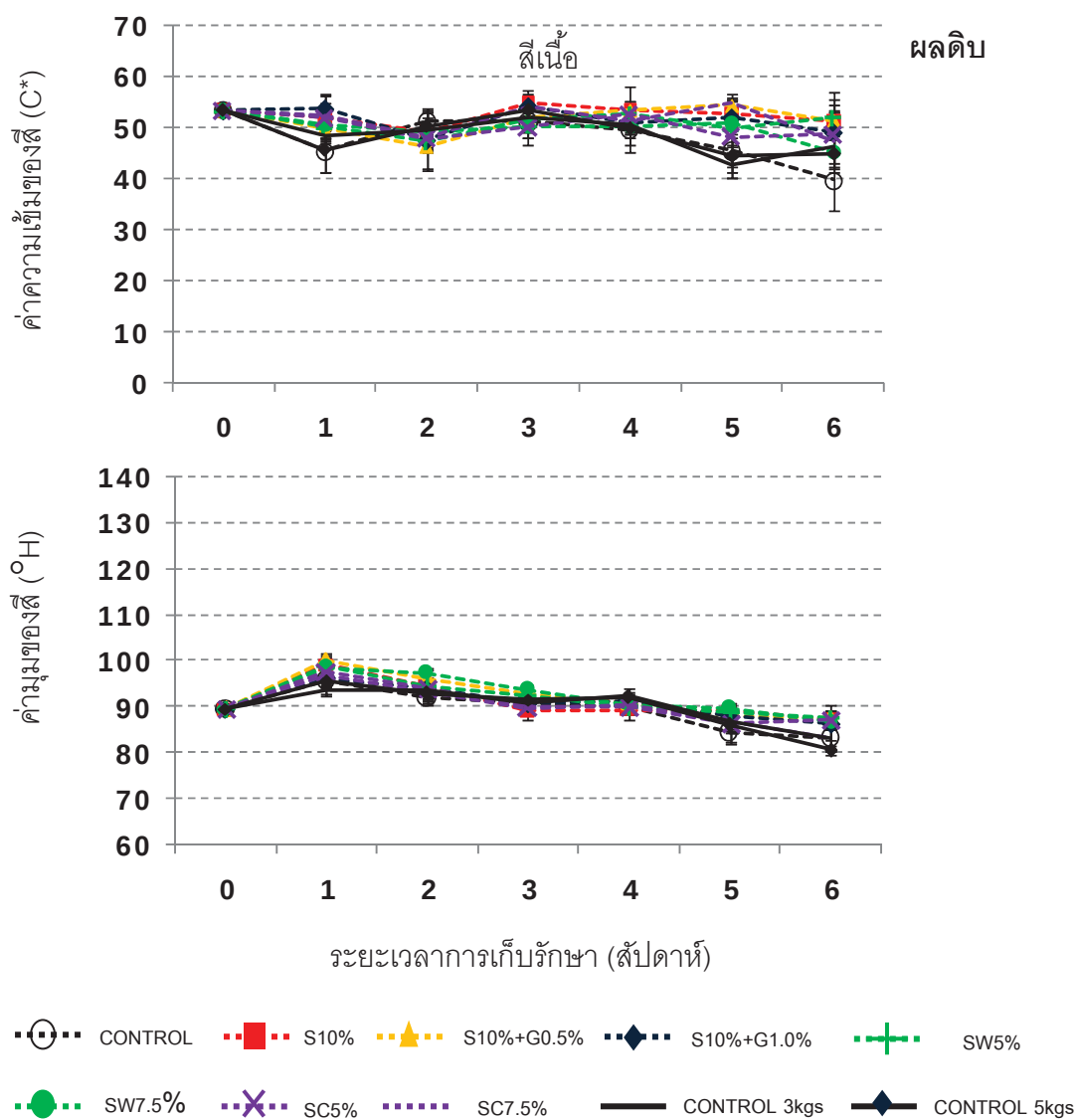


รูปที่ 4.2.11 การเปลี่ยนแปลงค่า c^* , $^{\circ}H$ ของเปลือกผลมะม่วงบ่มสุกที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก (CONTROL)เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์ที่นำมาบ่มสุก ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

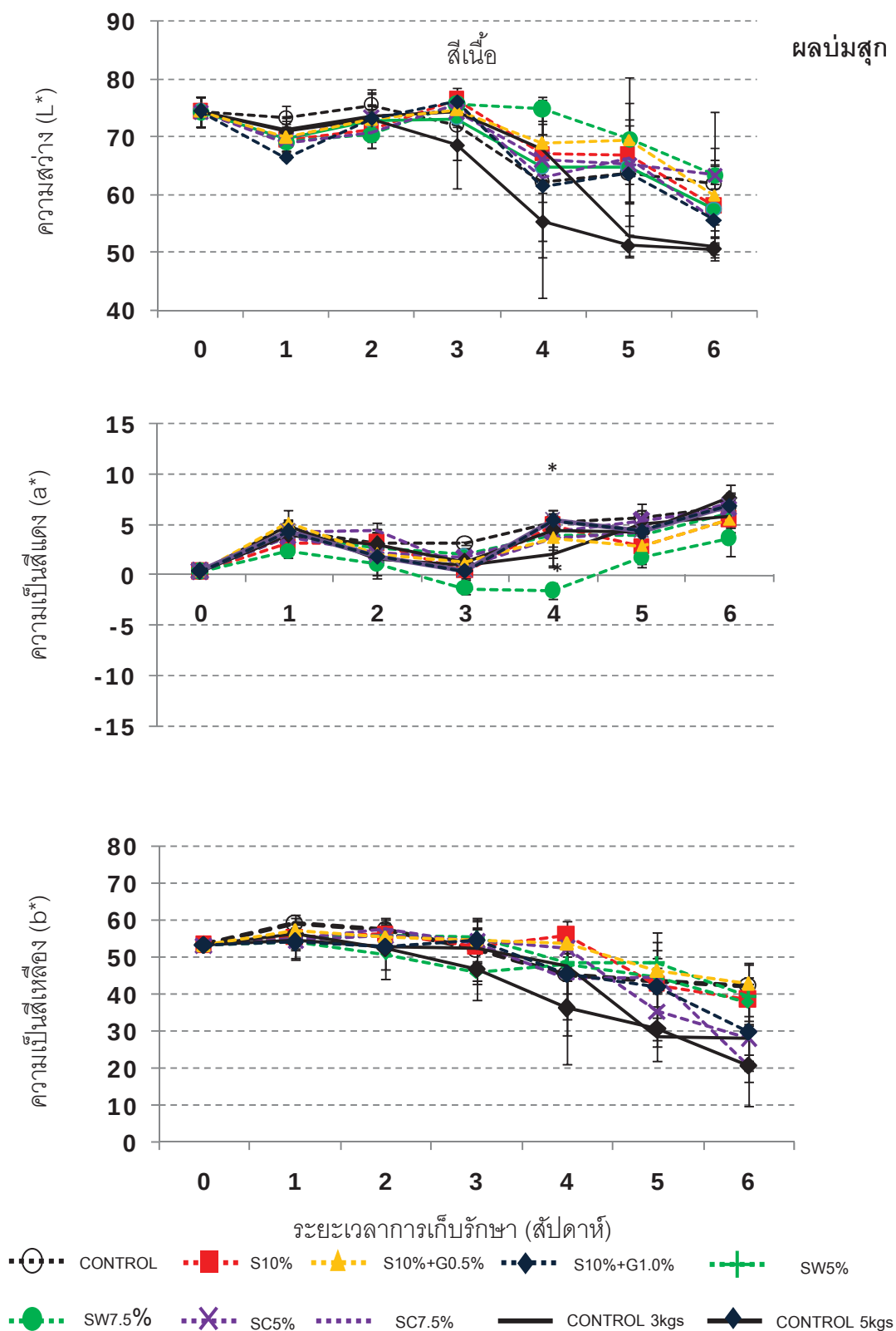


รูปที่ 4.2.12 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* ของเนื้อมะม่วงผลดิบ ไม่ได้เคลือบผิว เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์ที่แตกต่างกัน และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5

(◆ มะม่วงสูตร CONTROL 3kgs และ CONTROL 5kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

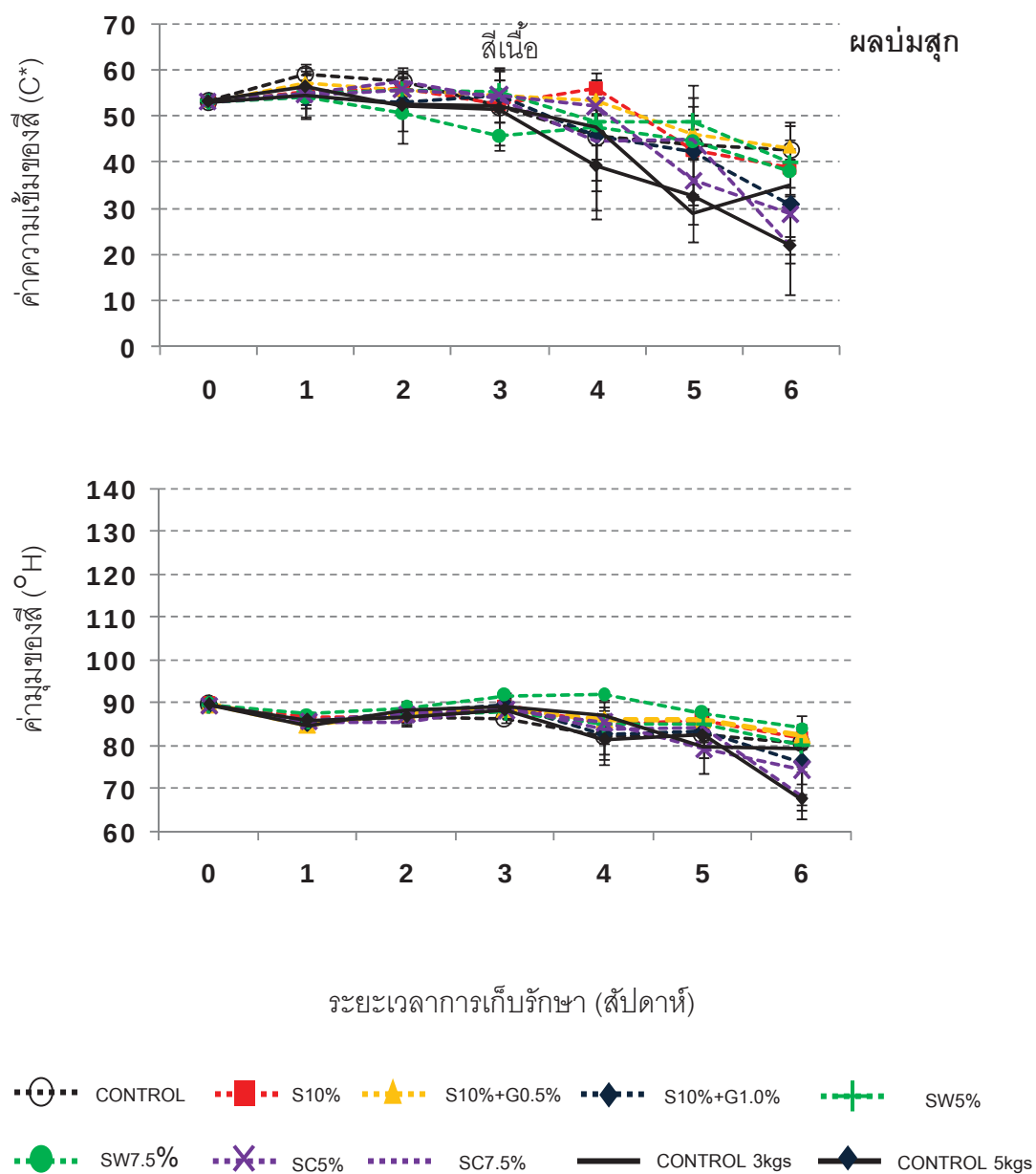


รูปที่ 4.2.13 การเปลี่ยนแปลงค่า c^* H^o ของเนื้อมะม่วงผลดิบ ไม่ได้เคลือบผิว เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5

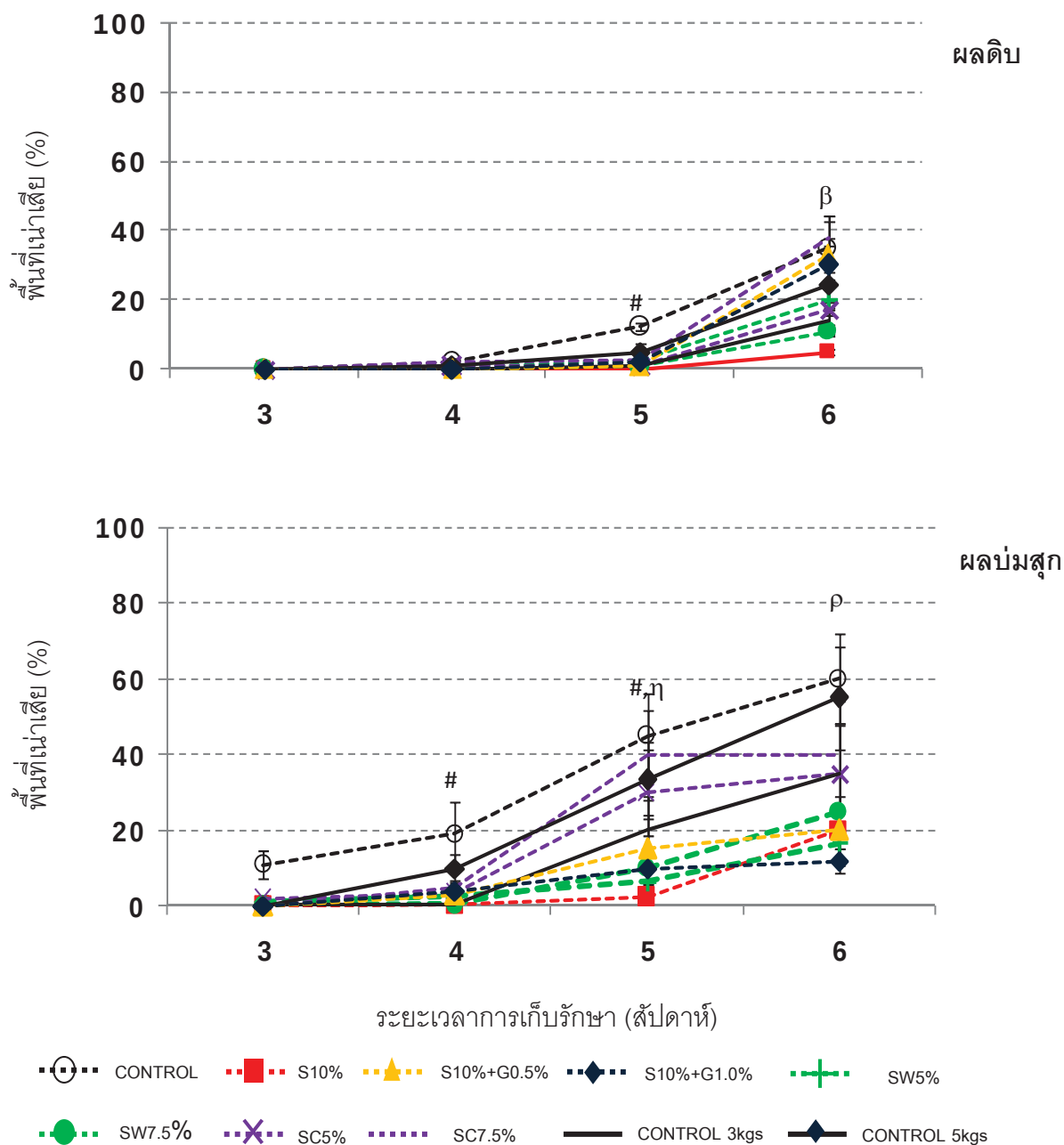


รูปที่ 4.2.14 การเปลี่ยนแปลงค่า L*, a* และ b* ของเนื้อมะม่วงผลบ่มสุก ไม่ได้เคลือบผิว เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลดัดแปลงต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5 และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์ที่นำมาบ่มสุก ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

(* มะม่วงสูตร SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)



รูปที่ 4.2.15 การเปลี่ยนแปลงค่า c^* H^o ของเนื้อมะม่วงผลบ่มสุก ไม่ได้เคลือบผิว เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติก เก็บรักษา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5 และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์ที่นำมาบ่มสุก ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2.16 พื้นที่ใบเสียหายของผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์มาป่มสุกด้วยสารละลายเอทีฟอน 500 ppm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน

(# มะม่วงไม่เคลือบผิว CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

η มะม่วงสูตร CONTROL 5 kgs, SC5%, SC7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ, ρ มะม่วงสูตร CONTROL และ CONTROL 5 kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ, β มะม่วงสูตร S10% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

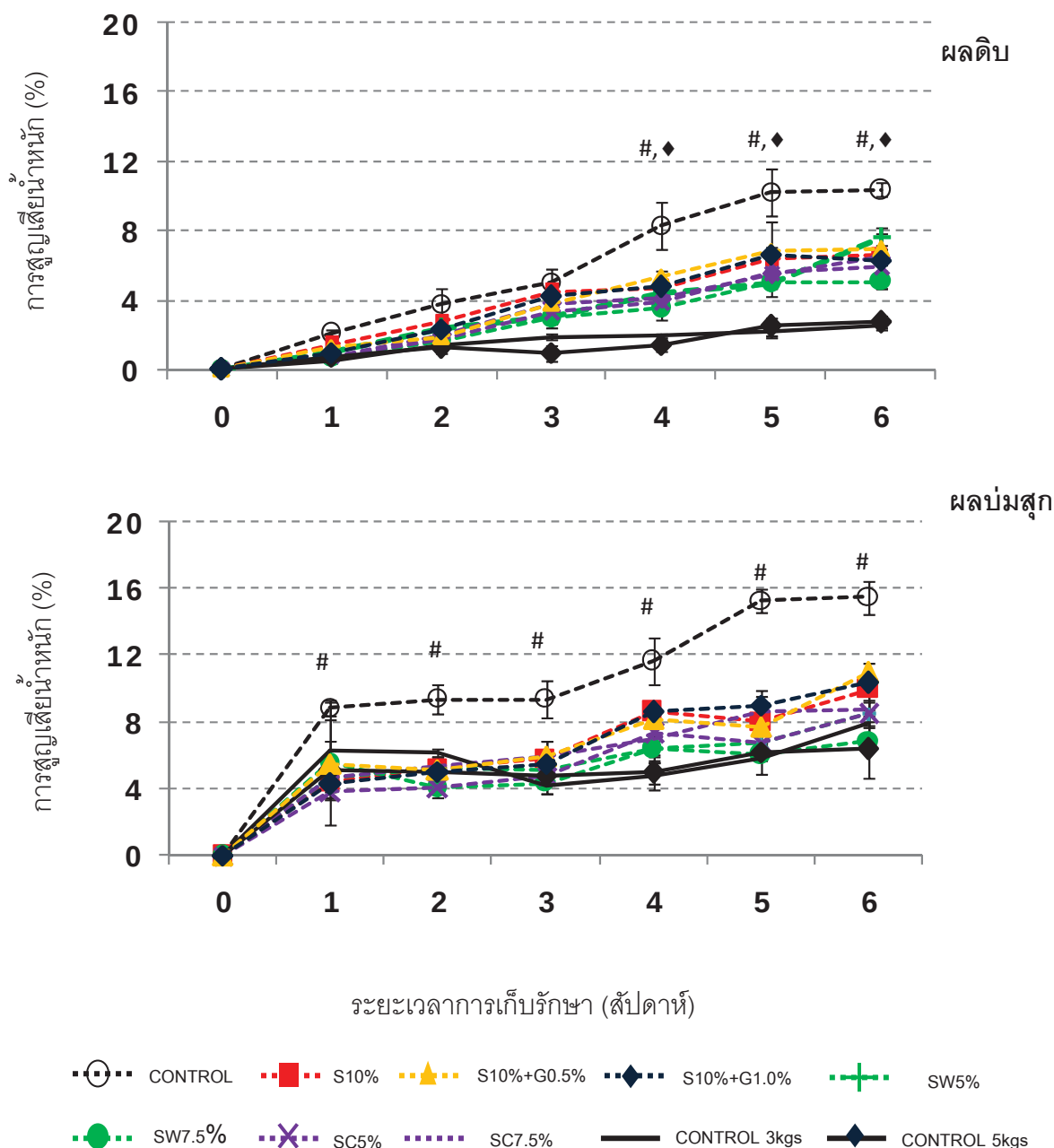
ง. การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงเกิดจากการซึมของไอน้ำออกจากช่องเปิดบนผิวผล และการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ลดน้อยลง ทั้งนี้การสูญเสียเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น มะม่วงสุตรสารเคลือบเซลลูล์โลสทุกสูตรและมะม่วงที่บรรจุถุงพลาสติกมีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วงชุดควบคุม เนื่องจากไม่มีการเคลือบผิวปิดกั้นช่องเปิดต่างๆหรือไม่มีการบรรจุถุงพลาสติก ทำให้การซึมผ่านของน้ำและการแลกเปลี่ยนของก๊าซเกิดได้มากกว่าเมื่อเทียบเปรียบกับมะม่วงที่เคลือบผิวหรือบรรจุถุงพลาสติก การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงผลดิบ ดังรูปที่ 4.2.17 ในสัปดาห์ที่ 6 มะม่วงกลุ่มบรรจุถุงพลาสติก CONTROL 3kgs, CONTROL 5kgs มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 2.70%, 2.56% ตามลำดับเนื่องจากถุงมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่า กลุ่มมะม่วงที่เคลือบผิวซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 5.07-7.62% และมะม่วงชุดควบคุม มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด 10.39% สำหรับผลการทดลองในมะม่วงผลบ่มสุก ดังรูปที่ 4.2.17 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละกลุ่มการทดลองใกล้เคียงกันประมาณ 6.85-10.93% มะม่วงชุดควบคุม มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 15.5% โดยมะม่วงสุตรชุดควบคุมมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าสูตรอื่นๆ ตลอดการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ การสูญเสียน้ำหนักของผลมะม่วงบ่มสุกมีค่าสูงกว่าผลมะม่วงดิบเนื่องจากการบ่มสุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส การสูญเสียน้ำของผลผลิตขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบๆกับภายในผลผลิตซึ่งคิดเป็น 100% ซึ่งถือเป็นความดันไอน้ำอิ่มตัว หากมีความแตกต่างของความดันไอน้ำมากทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลผลิตมากกว่าความแตกต่างของความดันไอน้ำที่ต่ำ ดังนั้นที่อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (จิ่งแท้ ศิริพานิช, 2549)

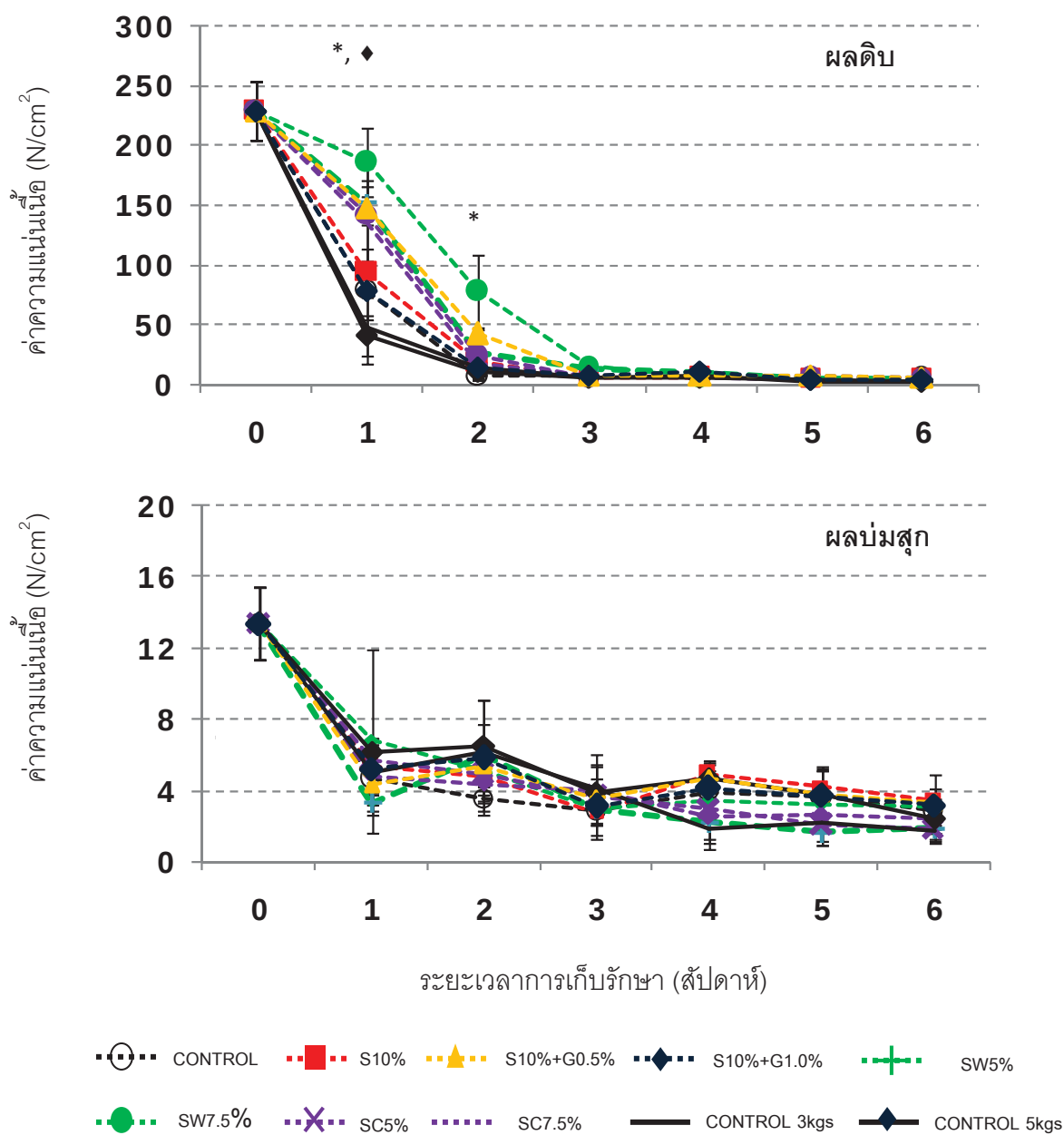
จ.ความแน่นเนื้อ

การลดลงของค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลต่างๆภายในผนังเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพกตินซึ่งเปลี่ยนรูปจากที่ไม่ละลายน้ำไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ อันเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ เพกตินเอสเทอเรส (pectinesterase) และพอลิกลาแลคตูโรเนส (polygalacturonase) (จิ่งแท้ ศิริพานิช, 2549) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อยังเป็นผลเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำภายในผลผลิต และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดเล็กซึ่งทั้งหมดนี้ทำให้ความแน่นเนื้อลดลง (จิ่งแท้ ศิริพานิช, 2550) ผลการทดลอง รูปที่ 4.2.18 สำหรับมะม่วงผลดิบพบว่าค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงทุกกลุ่มการทดลอง เมื่อมีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจาก 230 นิวตัน เหลือเพียง 10 นิวตัน ในระยะเวลาเพียง 3 สัปดาห์ โดยค่าความแน่นเนื้อของกลุ่มมะม่วงบรรจุถุงพลาสติก CONTROL 3 kgs และ CONTROL 5 kgs มีอัตราการลดลงเร็วกว่าในกลุ่มการ

ทดลองอื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสัดส่วนของแก๊สและความชื้นสัมพัทธ์ภายในถุงพลาสติกไม่เหมาะสมทำให้กระตุ้นกระบวนการอ่อนตัวซึ่งเป็นการเสื่อมสลายของพีซี งานวิจัยที่ผ่านมการใช้ถุงพลาสติกพอลิเอธิลีนเก็บรักษาพริกหวานที่ 7 องศาเซลเซียส การวัดความแน่นเนื้อในการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 2 พริกหวานชุดควบคุมมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าการเก็บรักษาด้วยถุงพลาสติกพอลิเอธิลีน เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดอาการสะพานหนวทำให้ความแน่นเนื้อลดต่ำลง (Meir et al., 1995) มะม่วงเคลือบผิวด้วย SW7.5% มีอัตราการลดลงของความแน่นเนื้อน้อยที่สุด เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ซึมผ่านผลน้อยทำให้อัตราการหายใจต่ำ ทำให้กระบวนการอ่อนตัวเกิดลดลงช้า แต่อย่างไรก็ตามค่าความแน่นเนื้อของทุกกลุ่มการทดลองจะลดลงสู่ค่าที่เท่ากันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป มะม่วงผลบ่มสุกทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกันตลอดการเก็บรักษา และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 1 สัปดาห์ แต่หลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เท่ากับ 2-4 นิวตัน



รูปที่ 4.2.17 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติก ขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์มาบ่มสุกด้วยสารละลายเอทิลฟอน 500 ppm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน (# มะม่วงไม่เคลือบผิว CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ ◆ มะม่วงสูตร CONTROL 5 kgs และ CONTROL 3kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)



รูปที่ 4.2.18 ค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์มาบ่มสุกด้วยสารละลายเอทิลฟอน 500 ppm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน

(# มะม่วงไม่เคลือบผิว CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

◆ มะม่วงสูตร CONTROL 5 kgs และ CONTROL 3kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

4.2.2 ลักษณะทางเคมี

ก.ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid; TSS) เกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งย่อยสลายได้เป็นน้ำตาลซูโครส ฟรุกโตสและ กลูโคส สำหรับผลมะม่วงจะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะสลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสในเวลาต่อมา ซึ่งน้ำตาลฟรุกโตสจะให้ความหวานมากที่สุด ในขณะที่ซูโครสและกลูโคสมีความหวานน้อยลงตามลำดับ (อภิตา บุญศิริ และจรัสแท้ ศิริพานิช, 2549) น้ำตาลทั้ง 3 ชนิดอาจเปลี่ยนรูปกันได้ด้วยเอนไซม์หลายชนิด เช่น invertase ซึ่งจะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นกลูโคสและฟรุกโตส (จรัสแท้ ศิริพานิช, 2549) การวัดปริมาณน้ำตาลสามารถบ่งชี้ระยะความแก่สุกของผลไม้ได้ ซึ่งนิยมวัดปริมาณน้ำตาลในรูปของของแข็งที่ละลายน้ำได้ และระยะความแก่ของผลไม้และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาจะเป็นตัวกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง (दनัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนานนท์, 2548)จากการทดลอง ดังรูปที่ 4.2.18 พบว่ามะม่วงทุกกลุ่มการทดลองมีค่า TSS ใกล้เคียงกัน มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน สำหรับผลดิบค่า TSS ในทุกกลุ่มการทดลอง จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 12 - 21.8 % และมีค่า TSS ใกล้เคียงตลอดการเก็บรักษาเท่ากับ 16-22 % สำหรับผลบ่มสุกมีค่า TSS ใกล้เคียงตลอดการเก็บรักษาเท่ากับ 17-21.2 % งานวิจัยที่ผ่านมาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เก็บรักษาไว้ที่ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน มะม่วงชุดควบคุม และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบเซลล์ได้ค่าเท่ากับ 17.10-18.70 % (ผ่องเพ็ญ อรรคสิริ, 2548)

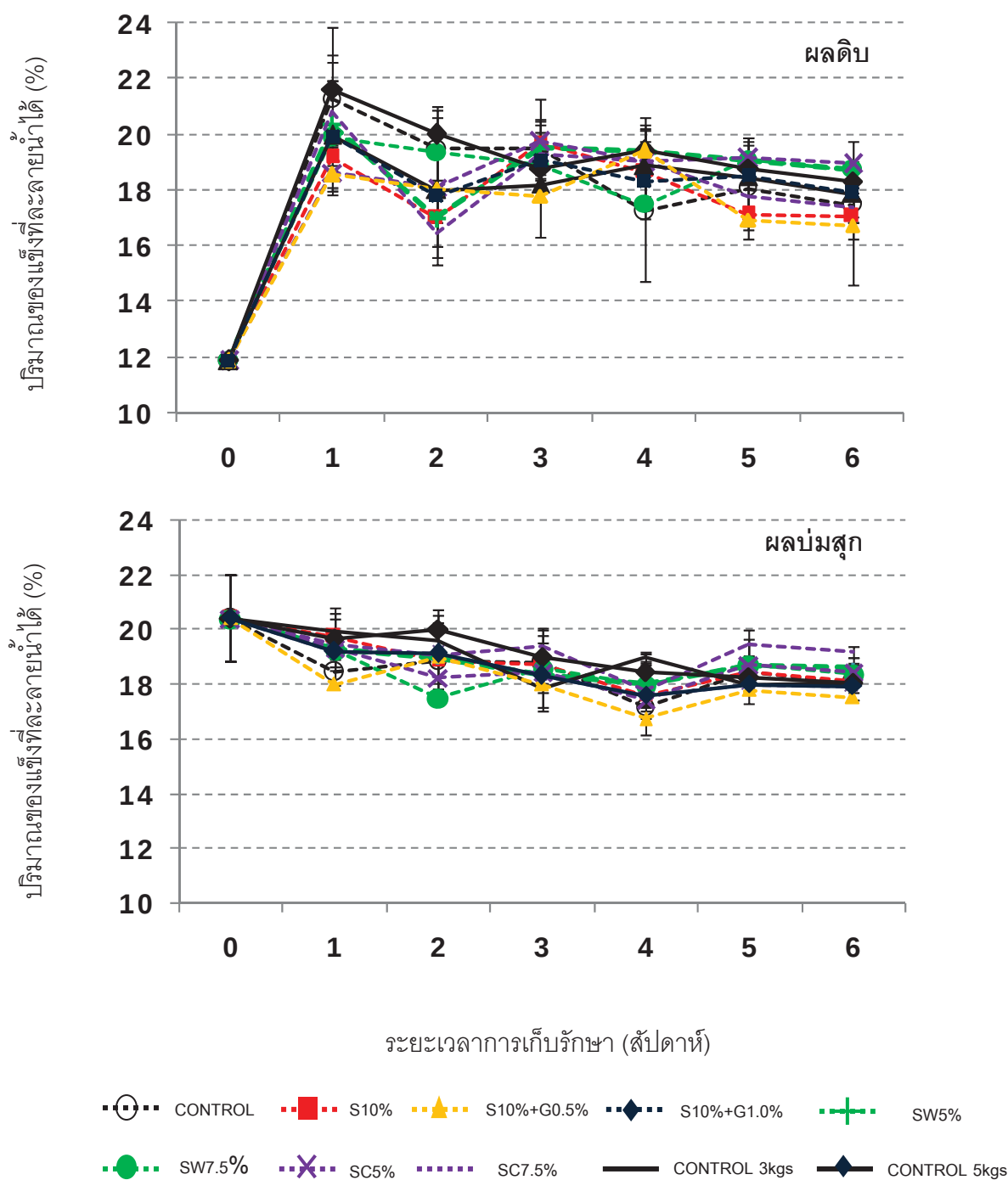
ข.เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้

การวัดเปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้แสดงถึงการสุกของผลมะม่วงได้ทางหนึ่ง เนื่องจากกรดจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในสำหรับกระบวนการหายใจ และการสร้างน้ำตาล (Wills et al., 1981) ในระหว่างการเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงจะแปรผันตามความอ่อนแก่และอุณหภูมิในการเก็บรักษา สำหรับกรดในมะม่วงประกอบไปด้วยกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆที่สำคัญ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดซัคซินิกและกรดออกซาลิก กรดจะมีปริมาณมากขณะที่ผลมะม่วงดิบจะมีรสเปรี้ยว แต่เมื่อผลมะม่วงสุกปริมาณกรดลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้มีรสหวานมากขึ้น (อภิตา บุญศิริ และจรัสแท้ ศิริพานิช, 2550) จากการทดลอง ดังรูปที่ 4.2.20 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มลดลงทั้งในผลมะม่วงดิบและบ่มสุก และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ประมาณ 0.3 - 3.0% สำหรับผลดิบ และผลบ่มสุกมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ประมาณ 0.1 - 0.3% ปริมาณกรดที่น้อยกว่า 3-10 เท่าแสดงให้เห็นว่าผลมะม่วงได้ผ่าน

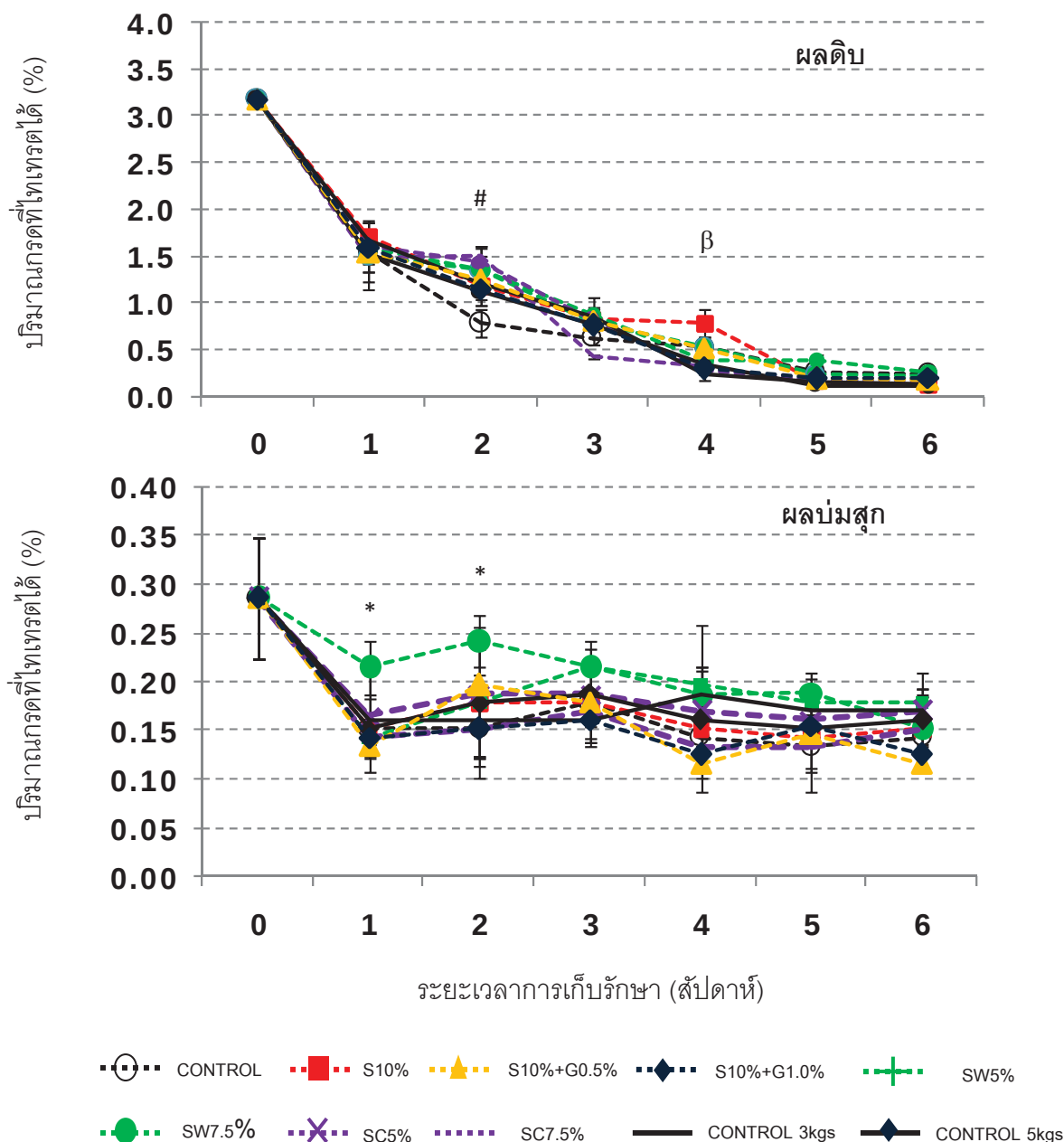
การบ่มสุก สำหรับผลมะม่วงดิบมะม่วงชุดควบคุมมีปริมาณกรดน้อยกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ และมะม่วงเคลือบผิวด้วยสูตร S10% มีปริมาณกรดมากกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ แสดงให้เห็นว่ามะม่วงชุดควบคุมและมะม่วงเคลือบผิวด้วย S10% แสดงถึงการสุกมากกว่าและน้อยกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ สำหรับผลมะม่วงบ่มสุกเคลือบด้วยสูตร SW7.5% มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก สารเคลือบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์เปลี่ยนแปลงช้าลง จะลดกระบวนการสุกของมะม่วง

ค.ปริมาณแอลกอฮอล์

การเก็บรักษาผลผลิตในสภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถช่วยลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลผลิต ทำให้ชะลอกระบวนการสุกออกไปได้ แต่หากมีการสะสมแก๊สออกซิเจนในปริมาณที่ต่ำเกินไปจะสามารถกระตุ้นให้ผลผลิตมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นเหตุให้เกิดการสะสมแอลกอฮอล์ เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติได้ โดยกลูโคสเกิดการสลายตัวเป็นกรดไพรูวิก ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น acetaldehyde และ ethanol และมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (จริงแท้ ศิริพานิช , 2549) จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ของผลมะม่วงดิบตลอดการเก็บรักษามีค่าประมาณ 0.01-0.06 % ดังรูปที่ 4.2.21 โดยทุกกลุ่มการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน น้ำคั้นของมะม่วงเคลือบผิวด้วยสูตร SW7.5% มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น ทั้งผลมะม่วงดิบและบ่มสุก อาจเนื่องมาจากฟิล์มเคลือบสูตรนี้มีอัตราการซึมของก๊าซออกซิเจนต่ำ ดังตารางที่ 4.1-3 ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ของผลบ่มสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษามีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.16 % ปริมาณแอลกอฮอล์ของมะม่วงกลุ่มบรรจุถุงพลาสติก CONTROL 3kgs และ CONTROL 5kgs มีปริมาณมากกว่ากลุ่มของผลมะม่วงบ่มสุก เนื่องจากถุงพลาสติกมีการจำกัดปริมาณแก๊สออกซิเจนที่เข้าไปในผล ทำให้เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์เนื่องจากเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน



รูปที่ 4.2.19 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์ที่แตกต่างกัน และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติก ขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์มาบ่มสุกด้วยสารละลายเอทิลฟอน 500 ppm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน (# มะม่วงไม่เคลือบผิว CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)
 ♦ มะม่วงสูตร CONTROL 5 kgs และ CONTROL 3kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

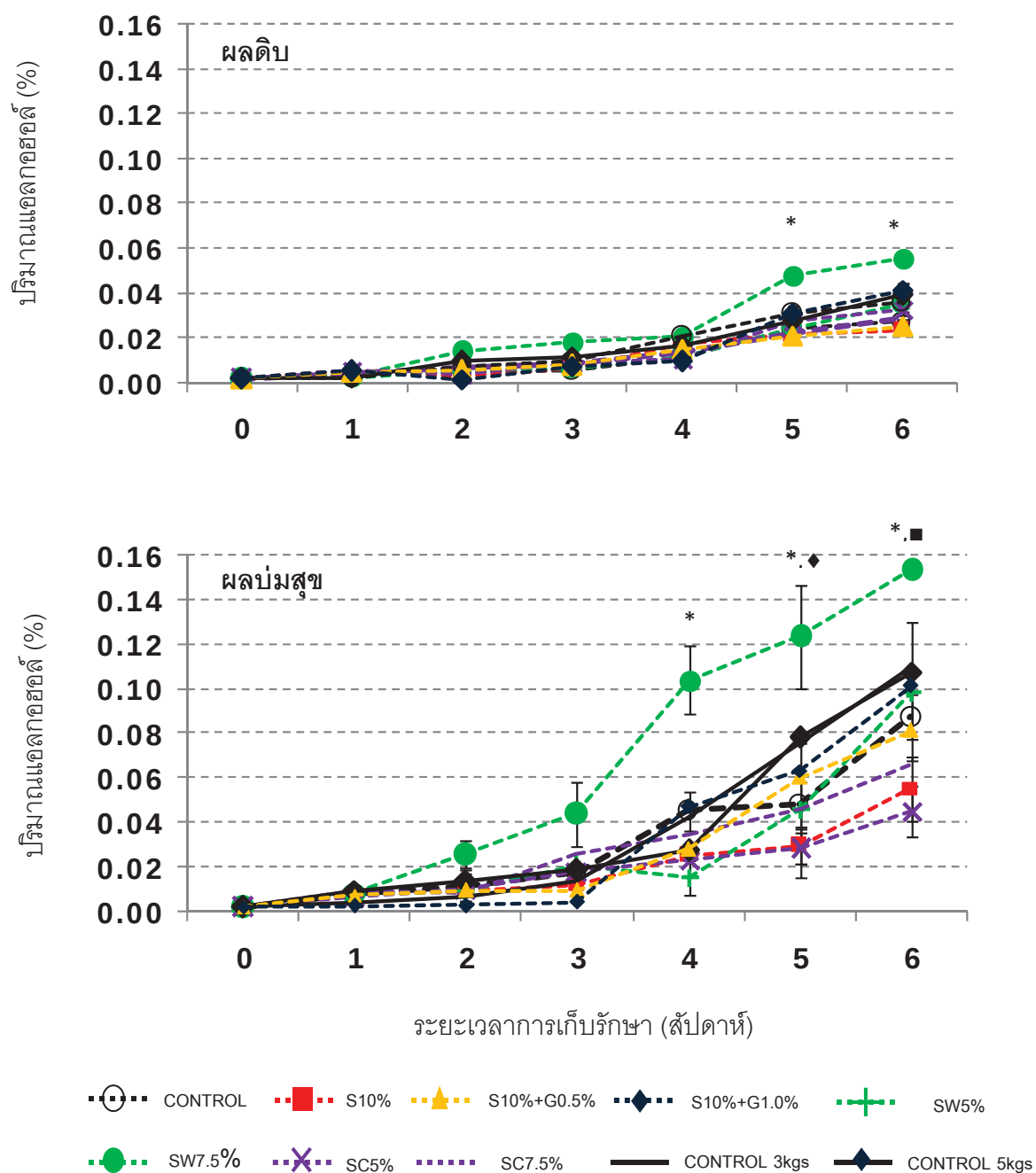


รูปที่ 4.2.20 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติก ขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์มาบ่มสุกด้วยสารละลายเอทีฟอน 500 ppm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน

(# มะม่วงไม่เคลือบผิว CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

*มะม่วงสูตร SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ

βมะม่วงสูตร S10% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)



รูปที่ 4.2.21 ปริมาณเอทิลกอสของผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และมะม่วงผลดิบในแต่ละสัปดาห์มาปมสุกด้วยสารละลายเอทีฟอน 500 ppm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน

(* มะม่วงสูตร SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ

■มะม่วงสูตร SC5%, S10% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะม่วงสูตรอื่นๆ

◆มะม่วงสูตร CONTROL 3kgs และ CONTROL 5 kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

ง.อัตราการหายใจ

อัตราการหายใจของผลไม้ระหว่างเกิดการสุกสามารถแบ่งผลไม้ออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรก อัตราการหายใจของผลไม้ไม่ได้ขึ้นกับกระบวนการสุก เรียกว่า non-climacteric ขณะเกิดการสุกหรือการเปลี่ยนแปลงช่วงสุดท้าย อัตราการหายใจมีค่าลดลงโดยตลอด ประเภทที่สอง ขณะที่ยังไม่เกิดกระบวนการสุกมีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำ เมื่อเกิดการสุกแล้ว อัตราการหายใจสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วลดลง เรียกว่า climacteric (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) ซึ่งมะม่วงเป็นผลไม้ประเภทนี้ อัตราการหายใจของมะม่วงวัดในรูปของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.2.22 แสดงออกถึงปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ในถังเก็บแก๊สจากการใช้ไปในกระบวนการหายใจ และอัตราการหายใจของมะม่วงซึ่งวัดได้จากปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมา มีแนวโน้มค่อยๆ สูงขึ้น มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดอยู่ในช่วง 103-352 มิลลิกรัม/กิโลกรัม-ชั่วโมง งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำสารเคลือบเซลล์มาเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 6 มะม่วงที่ไม่ได้เคลือบและมะม่วงที่เคลือบด้วยสูตรเซลล์เล็กมีค่าเท่ากับ 271.85 และ 180.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม-ชั่วโมง ตามลำดับ (ผ่องเพ็ญ อรรคสิ่ว, 2548) ในสัปดาห์ที่ 3 มะม่วงชุดควบคุมมีอัตราการหายใจมากกว่ามะม่วงสูตรอื่นๆ เนื่องจากมะม่วงชุดควบคุม ไม่ได้รับการเคลือบผิว ทำให้มีปริมาณออกซิเจนที่ผ่านเข้าไปในผลมะม่วงมากกว่าสูตรอื่นๆ ออกซิเจนจึงถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจมากกว่ามะม่วงเคลือบผิวสูตรอื่นๆ นอกจากนี้สูตร S10%, S10%+G0.5%, S10%+G1% มีอัตราการหายใจที่สูงกว่าสูตรอื่นๆ แต่มีอัตราการหายใจน้อยกว่าชุดควบคุม เนื่องจากการเคลือบผิวด้วยฟิล์มเซลล์เล็กและเซลล์ผสมสารสกัดชา ทำให้มีปริมาณออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้าไปในผลมะม่วงน้อยกว่ามะม่วงสูตร CONTROL สำหรับฟิล์มเซลล์ผสมไขคาร์บูบาร์และไขเซลล์เล็กอาจมีปริมาณออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้าไปในผลน้อยกว่าทำให้มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งเป็นผลทำให้ในสัปดาห์ที่ 4 มะม่วงสูตร SW7.5% มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่ามะม่วงสูตรอื่นๆ มะม่วงทุกกลุ่มการทดลองมีปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ใกล้เคียงกัน มีปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ระหว่าง 3.21×10^3 - 6.89×10^3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม-ชั่วโมง

จ.การผลิตเอธิลีน

เอธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทหลักในการกระตุ้นให้ผลไม้สุก ทั้งนี้การใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอธิลีน ทำให้ไม่เกิดกระบวนการสุก เอธิลีนนั้นเป็นฮอร์โมนที่มีอิทธิพลมากต่อผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยทั่วไปแล้วเอธิลีนมักเร่งให้เกิดการชราภาพเร็วขึ้น ซึ่ง

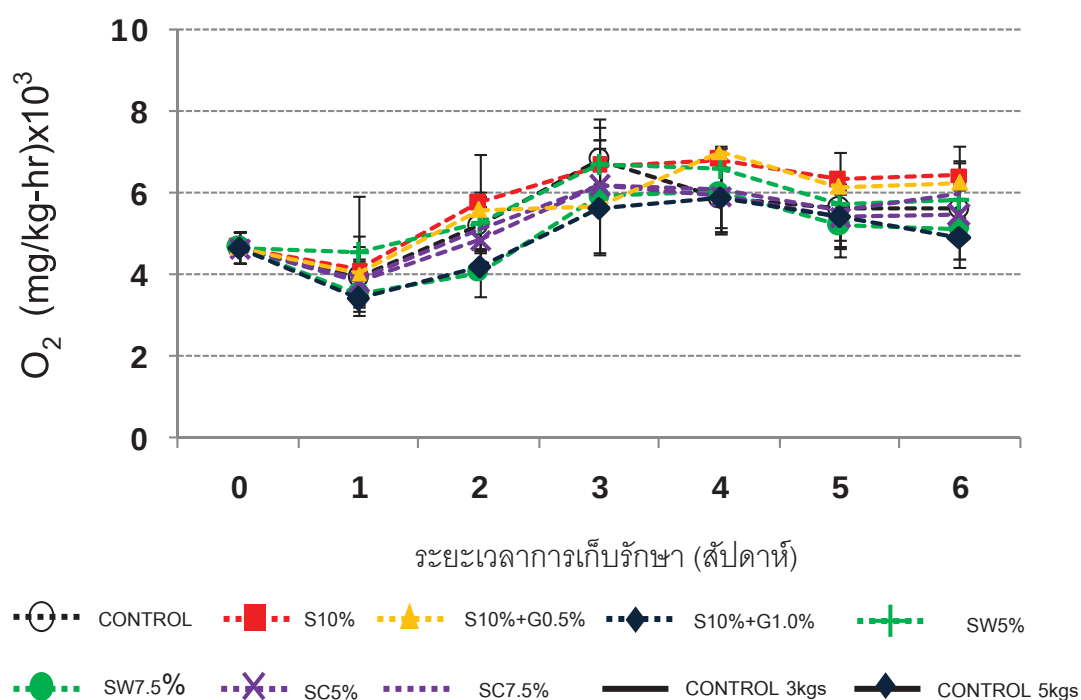
กระบวนการสังเคราะห์เอธิลีน เกิดจาก กรดอะมิโนชื่อว่า methionine ซึ่งพืชสังเคราะห์ขึ้นเองได้ ซึ่ง methionine ถูกเปลี่ยนไปเป็น s-adenosyl methionine (SAM) จากนั้นเปลี่ยนเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid ด้วย ACC synthase สุดท้ายถูกเปลี่ยนเป็นเอธิลีน โดย เอนไซม์ ที่เรียกว่า ACC oxidase ร่วมกับแก๊สออกซิเจน หากต้องการให้การผลิตเอธิลีนน้อยลง สามารถทำได้ลดความเข้มข้นของออกซิเจนให้ต่ำลง การผลิตเอธิลีนของมะม่วงทุกกลุ่มการทดลองในการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ดังรูป 4.2.23 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มีการผลิตเอธิลีน ในช่วง 4.28×10^{-4} - 9.98×10^{-4} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมชั่วโมง โดยมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 มะม่วงสูตร S10%+G0.5% และ SW7.5% มีการผลิตเอธิลีนน้อยกว่ามะม่วงสูตรอื่นๆ เนื่องจากการเคลือบผิวทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้าไปในผลน้อยลง ทำให้ปริมาณเอธิลีนที่สังเคราะห์ขึ้นน้อยลงด้วย

การเคลือบผิวและการบรรจุถุงพลาสติกซึ่งเป็นการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศคัดแปลงมีผลทำให้การสะสมของแก๊สภายในผลมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป โดยทำให้ปริมาณของแก๊สออกซิเจนลดต่ำลง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทำให้ผลไม่ประเภท climacteric ชะลอการสุกลงได้ (Du, Gemma and Iwahori, 1997) ปริมาณของแก๊สออกซิเจนภายในผลมะม่วง ดังรูปที่ 4.2.24 มะม่วงสูตรเคลือบผิวทุกสูตรและบรรจุถุงพลาสติก มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าชุดควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มะม่วงชุดควบคุมมีการเคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติก ทำให้มีปริมาณออกซิเจนเข้าไปในผลมะม่วงมากกว่าสูตรอื่นๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 17-22 เปอร์เซ็นต์/กิโลกรัม ในสัปดาห์ที่ 5 มะม่วงสูตร CONTROL 3kgs, CONTROL 5kgs มีปริมาณออกซิเจนภายในผลต่ำกว่าสูตรอื่นๆ เนื่องจากเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณออกซิเจนภายในถุงลดลง ทำให้การซึมผ่านออกซิเจนเข้าไปในผลมะม่วงลดลงด้วย และมะม่วงสูตร SW7.5% มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าสูตรอื่นๆแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกสัปดาห์ เนื่องจากสูตร SW7.5% มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูง ทำให้ออกซิเจนซึมผ่านได้น้อย มีค่าอยู่ระหว่าง 4-22 เปอร์เซ็นต์/กิโลกรัม ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่อยู่ภายในผลของทุกสูตรมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ

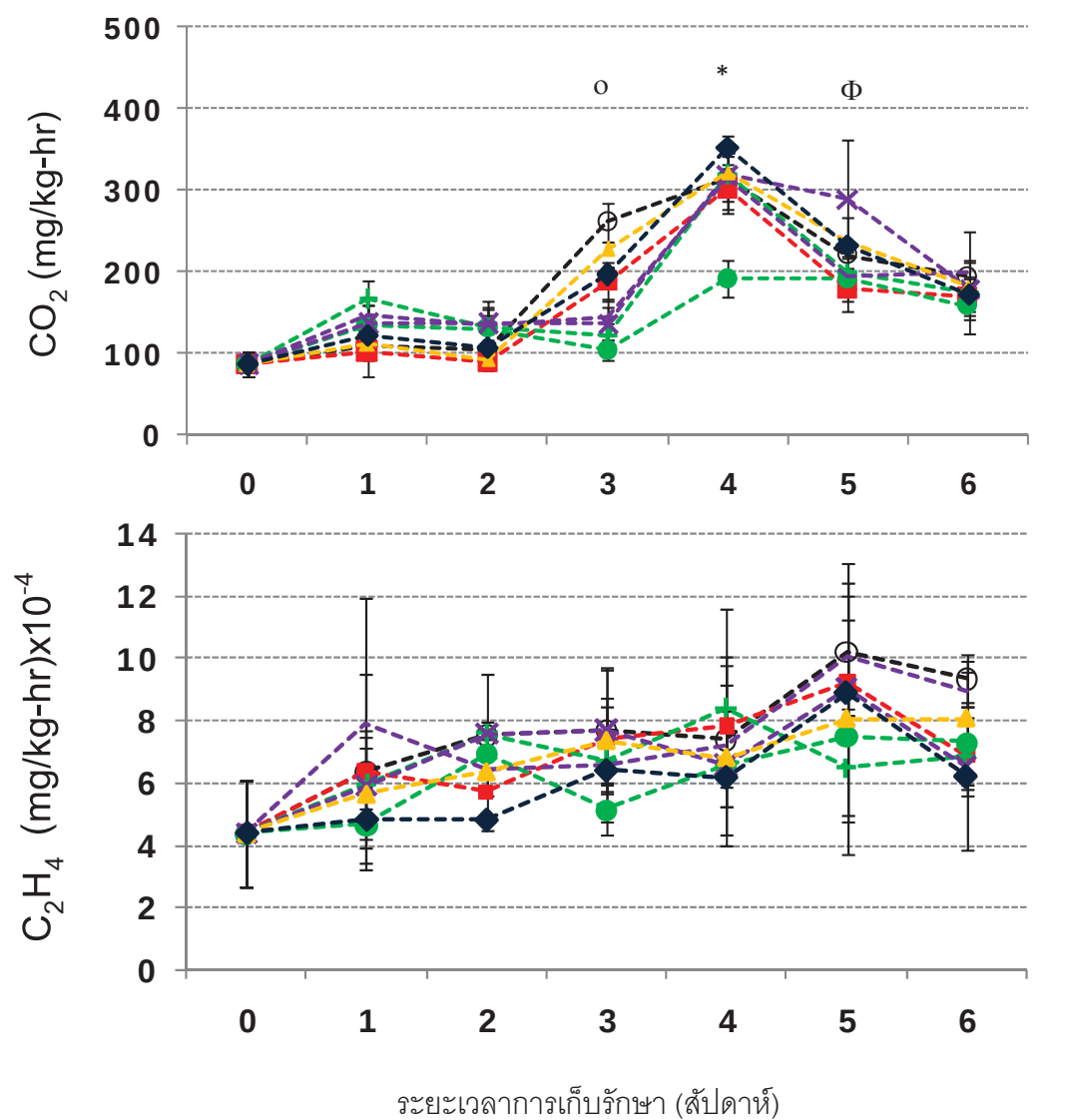
ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดังรูปที่ 4.2.24 มะม่วงสูตร SW7.5% มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าสูตรอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์/กิโลกรัม เนื่องจาก มะม่วงสูตร SW7.5% มีปริมาณออกซิเจนสะสมอยู่ในผลน้อย ทำให้ปริมาณไม่เพียงพอต่อการหายใจ จึงเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น โดยกลูโคสเกิดการสลายตัวเป็นกรดไพรูวิก ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น acetaldehyde และ ethanol และมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ภายในผลจึงมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง สอดคล้องกับผลการหาปริมาณแอลกอฮอล์ในน้ำคั้นของมะม่วงสูตร SW7.5% ดังรูปที่ 4.2.21 ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่ามะม่วงสูตรอื่นๆ นอกจากนี้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงกลุ่ม CONTROL 3kgs

และ CONTROL 5kgs มีค่าสูงกว่าสูตรอื่นๆ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์แรก เนื่องจากภายในถุงมีการสะสมของปริมาณแก๊สออกซิเจนเริ่มแรกปริมาณมาก ทำให้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าสูตรอื่นๆ และมะม่วงสูตร CONTROL มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าสูตรอื่นๆ เนื่องจากภายในผลมีปริมาณออกซิเจนสูง ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจถูกปลดปล่อยออกซึ่งสามารถวัดได้จากอัตราการหายใจ

การสะสมของแก๊สเอธิลีนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดหรือพันธุ์ของผลิตผล อายุทางสรีรเมื่อเก็บเกี่ยว อุณหภูมิในการเก็บรักษา ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอธิลีน ความเครียดต่างๆ เช่น การเกิดบาดแผล การเกิดโรค (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) จากรูปที่ 4.2.25 มะม่วงชุดควบคุมมีปริมาณเอธิลีนสูงกว่าสูตรอื่นๆ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าเท่ากับ 7 ppm/กิโลกรัม เนื่องจากการมีปริมาณออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปในผลมากกว่าสูตรอื่นๆ สำหรับการเคลือบผิวและบรรจุถุงทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ซึมผ่านผลมะม่วงลดน้อยลง



รูปที่ 4.2.22 ปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากกระบวนการหายใจของผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว และไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์

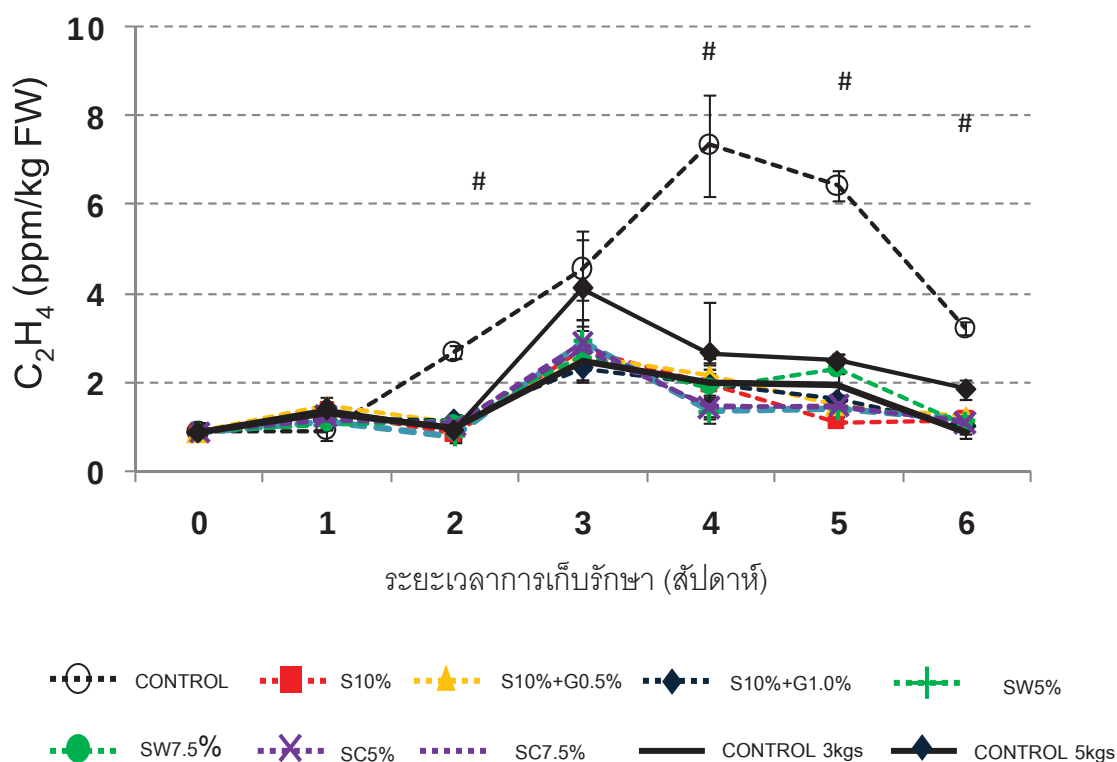


รูปที่ 4.2.23 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนของผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์ที่แตกต่างกัน และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์

(*มะม่วงสูตร SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ

O มะม่วงสูตร S10%, S10%+G0.5%, S10%+G1.0% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ

Φ มะม่วงสูตร SC5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)



รูปที่ 4.2.25 แก๊สเอทิลีนที่สะสมภายในผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่บรรจุถุงพลาสติก เคลือบผิวด้วยสูตรสารเคลือบเซลล์ที่ดัดแปลงต่างๆ และผลมะม่วงบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 5 เป็นเวลา 6 สัปดาห์

(# มะม่วงไม่เคลือบผิว CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

4.2.3 คุณภาพในการบริโภค

การประเมินคุณภาพในการบริโภคเป็นการประเมินโดยใช้ผู้ชิม 10 คน ที่ผ่านการฝึกฝนในห้องปฏิบัติการมาอย่างดี โดยใช้แบบสอบถาม การใช้ผู้ชิมสามารถรับรู้ลักษณะภายนอก กลิ่น-รส และเนื้อสัมผัสได้ในเวลาเดียวกัน โดยเป็นการทดสอบจากคุณลักษณะของ สีเนื้อ กลิ่นหอม ความหวาน ความเปรี้ยว เฝื่อน กลิ่นและรสชาติผิดปกติ และความชอบของผู้ทดสอบชิมโดยมะม่วงที่ใช้วัดความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมเป็นมะม่วงสุก เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงพันธุ์สำหรับบริโภคสุก เมื่อมีรสเปรี้ยวจัดไม่เหมาะต่อการบริโภค ทำการประเมินคุณภาพทุกสัปดาห์เป็นเวลา 5 สัปดาห์

สีเนื้อ คะแนนสีเนื้อของมะม่วงจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม ดังรูปที่ 4.2.26 จากกราฟพบว่า ผู้ทดสอบชิมรู้สึกว่าการสีเนื้อไม่สวยในสัปดาห์ที่ 5 ในสูตร SC5%, SC7.5%, CONTROL , CONTROL 3kgs และCONTROL 5kgs โดยกลุ่มการทดลองที่ได้รับคะแนนสูง คือ S10%, SW5% และ SW7.5%

กลิ่น เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนการทดสอบของผู้ทดสอบชิมในด้านกลิ่นหอม น้อยลงโดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ดังรูปที่ 4.2.26 สำหรับมะม่วงทุกกลุ่มการทดลองได้คะแนนใกล้เคียงกันและคะแนนลดลงในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 มะม่วงเคลือบผิวสูตร SW7.5% มีคะแนนน้อยอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ แสดงว่าการเคลือบด้วยสูตร SW7.5% อาจทำให้กลิ่นหอมในการบริโภคลดลง

เฝื่อน คะแนนเฝื่อนของมะม่วง ดังรูปที่ 4.2.27 พบว่า มีคะแนนน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (คะแนนน้อยหมายความว่าเฝื่อนน้อย คะแนนมากหมายความว่าเฝื่อนมาก) โดยคะแนนมีแนวโน้มคงที่ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนในทุกกลุ่มการทดลอง อาจเนื่องมาจากมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงพันธุ์ที่มีเฝื่อนน้อย แสดงว่าผู้ทดสอบชิมเห็นว่าการเคลือบผิวและการบรรจุถุงพลาสติกไม่มีผลต่อการเกิดเฝื่อน

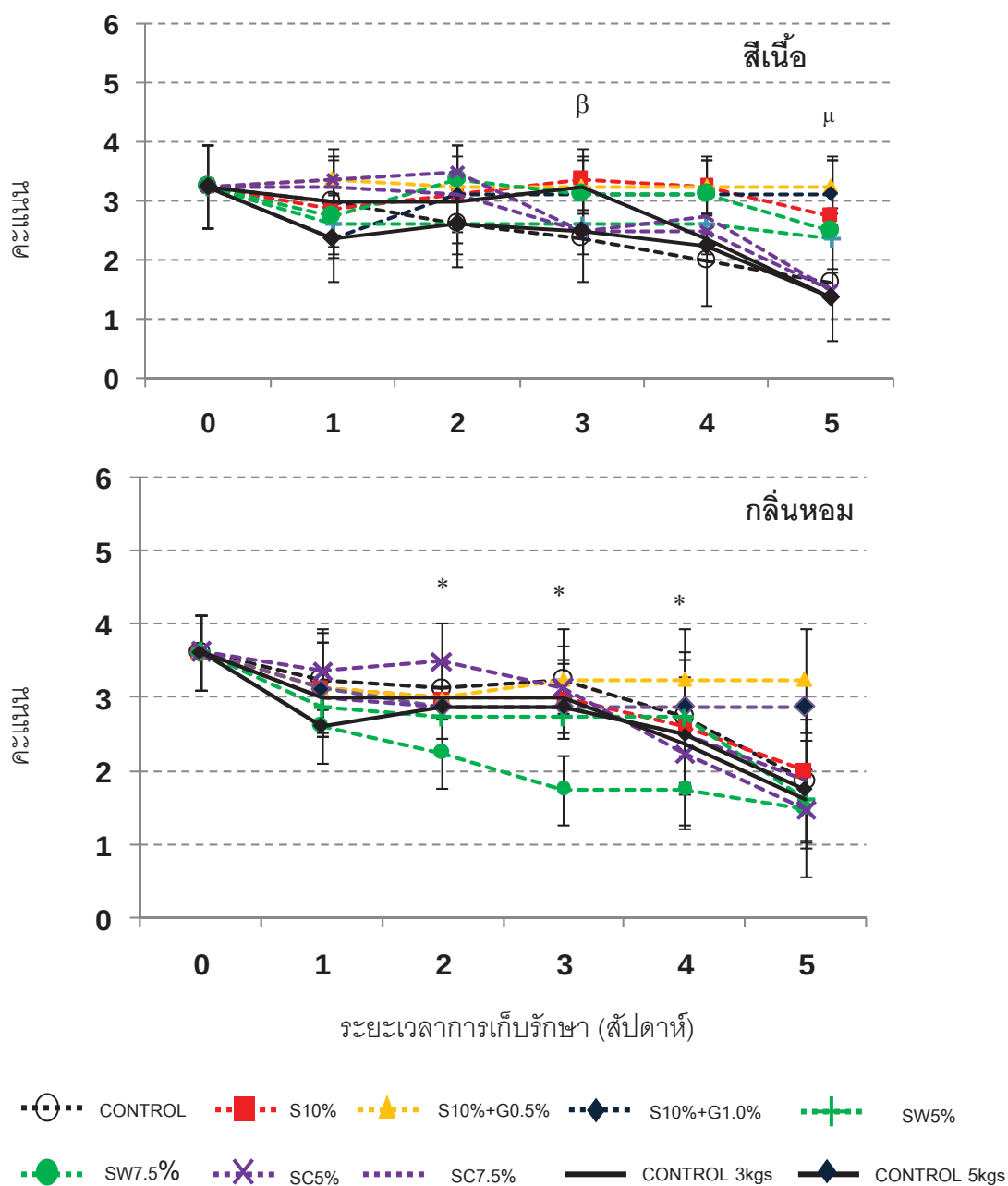
ความหวาน คะแนนความหวานจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม ดังรูปที่ 4.2.28 คะแนนสูง แสดงว่ามีความหวานมาก ผลสอดคล้องกับความเปรี้ยว ดังรูปที่ 4.2.27 โดยในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ผู้ทดสอบชิมรู้สึกว่าการหวานลดลงในมะม่วงทุกกลุ่มการทดลอง และในสูตร SW7.5% ที่ทดลองอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ แสดงว่าการเคลือบด้วยสูตร SW7.5% ผู้ทดสอบชิมเห็นว่า ความหวานลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1

ความเปรี้ยว คะแนนสูงบ่งบอกว่ามีรสเปรี้ยวมาก พบว่าคะแนนความเปรี้ยวของมะม่วงทุกกลุ่มการทดลองมีค่าต่ำมาก เนื่องจากมะม่วงที่ใช้ในการชิมเป็นมะม่วงสุกและมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงที่มีรสหวานจัดเมื่อสุก ดังนั้นคะแนนความเปรี้ยวจากผู้ทดสอบชิมจึงมีค่าน้อยมาก ในสูตร SW7.5% ดังรูปที่ 4.2.27 มีคะแนนสูงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่นๆ แสดงว่ามะม่วงเคลือบด้วยสูตร SW7.5% ผู้ทดสอบชิมเห็นว่า เกิดความเปรี้ยวมากขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 สอดคล้องกับความหวาน

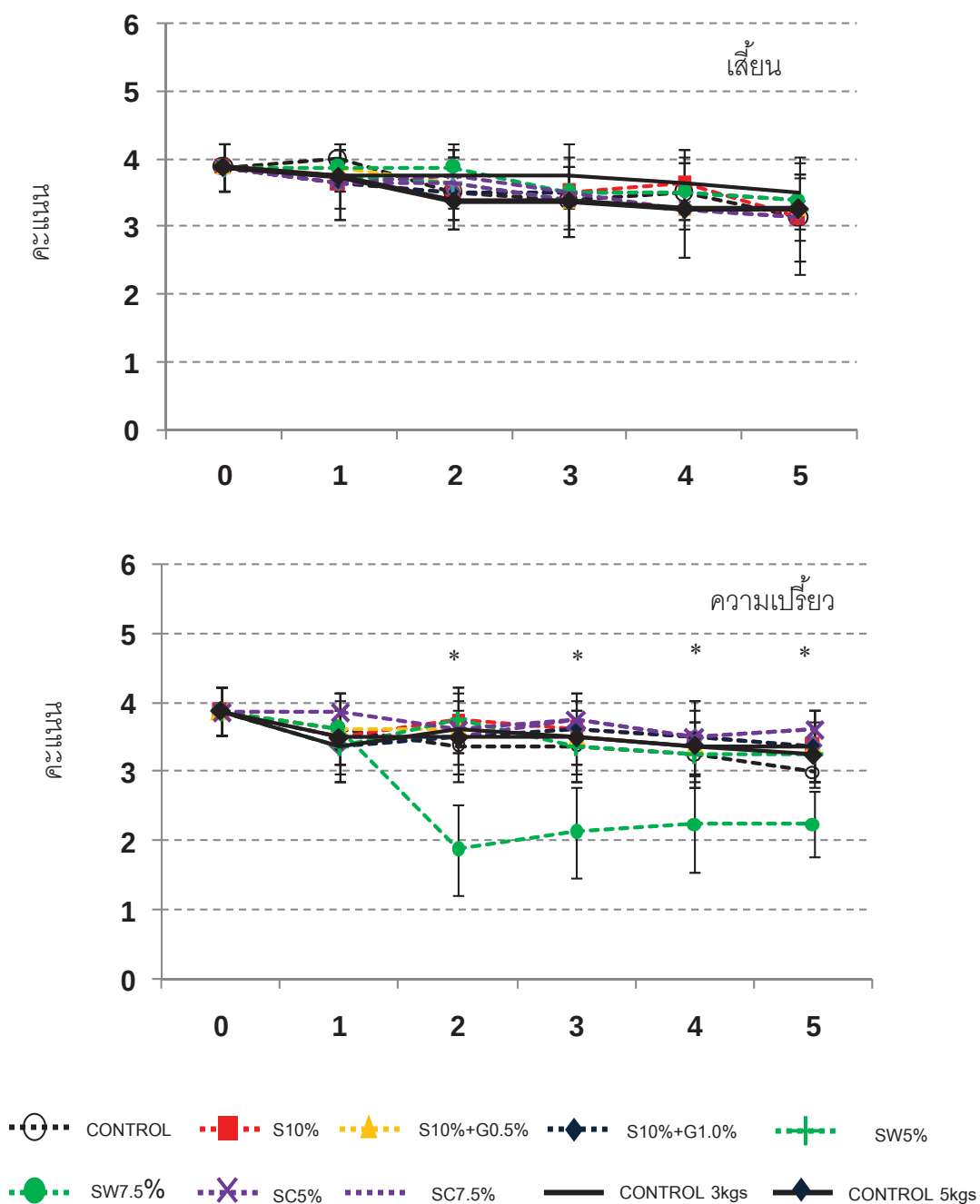
กลิ่นและรสชาติผิดปกติ คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติดังรูปที่ 4.2.28 การทดลองพบว่าผลมะม่วงเคลือบผิวด้วย SW 7.5% มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติเกิดขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของเซลล์ที่มากเกินไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าสูตรฟิล์มดังกล่าวมี solid weight มากกว่าสูตรฟิล์มอื่นๆ การเคลือบฟิล์มที่หนาเกินไปมีผลต่อการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นผลให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนส่งผลให้เกิดการสะสม acetaldehyde และแอลกอฮอล์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติเกิดขึ้น (จริงแท้ สิริพานิช, 2549)

ความชอบ คะแนนความชอบในการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้านแสดง ดังรูปที่ 4.2.29 โดยคะแนนสูงหมายถึง ชอบมาก มะม่วงสูตรเคลือบที่ได้คะแนนน้อยคือ SW7.5% ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับ กลิ่นและรสชาติผิดปกติ ความเปรี้ยวและความหวาน มะม่วงสูตร CONTROL และ CONTROL 5kgs ในสัปดาห์ที่ 5 ที่ได้รับคะแนนน้อยซึ่งสอดคล้องกับสีเนื้อและกลิ่นหอม มะม่วงสูตรเคลือบที่ได้คะแนนสูง คือ S10%, SW5%, SC5%, SC7.5%

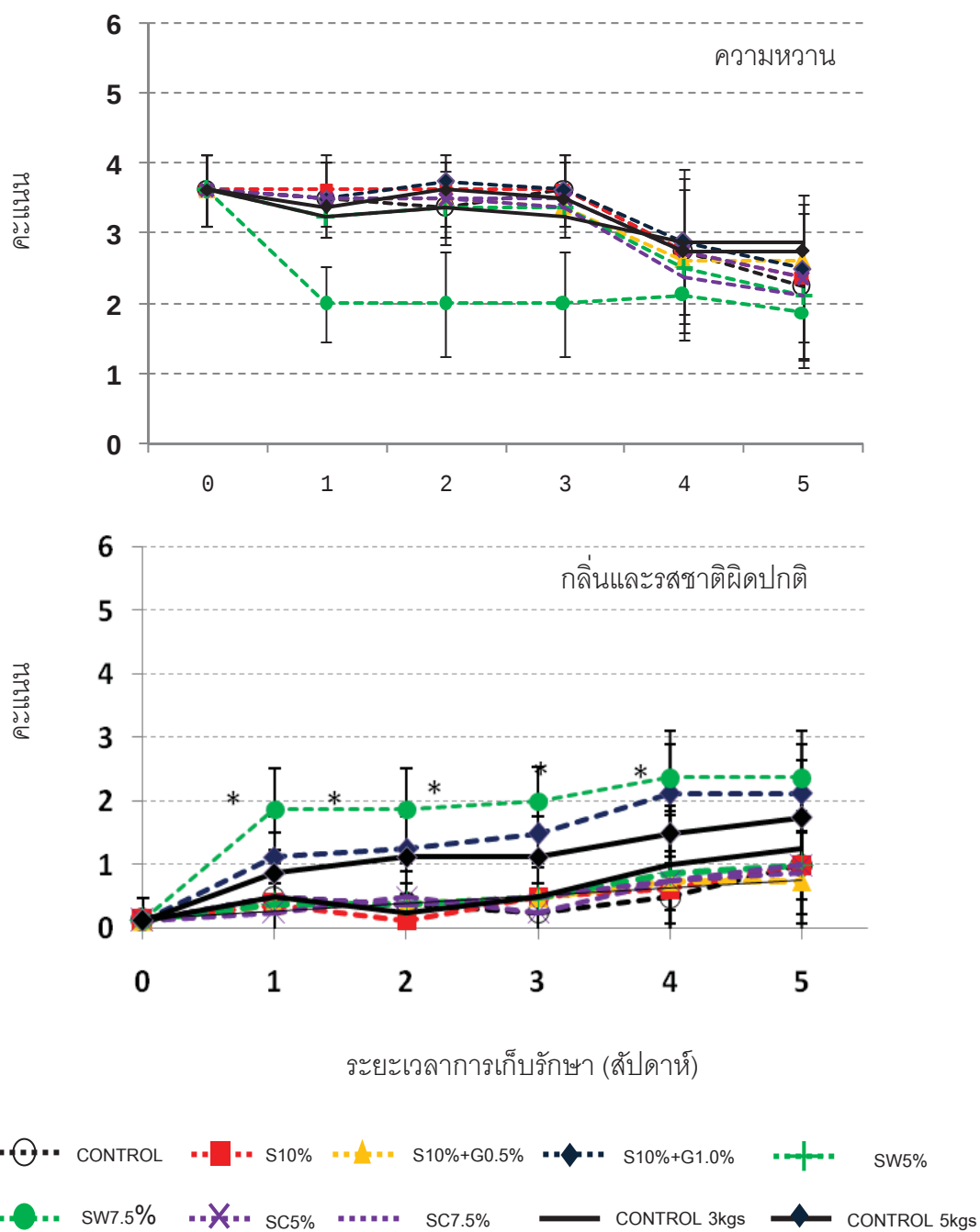
คะแนนความพอใจของผู้ทดสอบชิมได้จากผู้ประเมิน 10 คน ซึ่งถือว่าค่อนข้างน้อย เนื่องจากบุคคลมีความชอบในรสชาติที่หลากหลาย อีกประการหนึ่งการความสามารถในการตัดสินใจ รส กลิ่น สัมผัส ของแต่ละคนจะแตกต่างกัน ไม่อาจจะชี้ชัดถึงความแตกต่างของคุณภาพหลายๆ กลุ่มกันทดลองออกจากกันได้ อาจจะใช้คะแนนกลิ่นและรสชาติผิดปกติเป็นตัวชี้ในเบื้องต้น ซึ่งผู้ทดสอบเห็นว่า กลุ่มที่เคลือบด้วย SW 7.5% กลุ่มที่เคลือบด้วยเซลล์ผสมสารสกัดชา(S10% + G0.5%) และกลุ่มที่ใส่ถุง 5 kgs มีกลิ่นรสผิดปกติ (รูปที่ 4.2.28) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่เหลือในสัปดาห์ที่ 1-4 ของการเก็บรักษา แต่ในสัปดาห์ที่ 5 ผู้ทดสอบชิมเห็นว่าทุกกลุ่มมีกลิ่นรสผิดปกติโดยไม่แตกต่างกัน แสดงถึงช่วงเวลาที่ควรเก็บรักษามะม่วงเพื่อป่มสุกที่ไม่ควรเกิน 4 สัปดาห์ในสภาวะการเก็บนี้



รูปที่ 4.2.26 การวัดคุณภาพในการรับประทานสีเนื้อและกลิ่นหอมของผลมะม่วงบ่มสุกไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุ ถุงพลาสติก เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆเก็บรักษา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5
 (μ มะม่วงสูตร CONTROL, SC5%, SC7.5%, CONTROL 3kgs และ CONTROL 5kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)
 (β มะม่วงสูตร S10% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)
 * มะม่วงสูตร SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ



รูปที่ 4.2.27 การวัดคุณภาพในการรับประทานเส้นและความเปรี้ยวของผลมะม่วงบ่มสุกไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติก เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์คัดแปลงต่างๆ เก็บรักษา 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5 (* มะม่วงสุตร SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสุตรอื่นๆ)

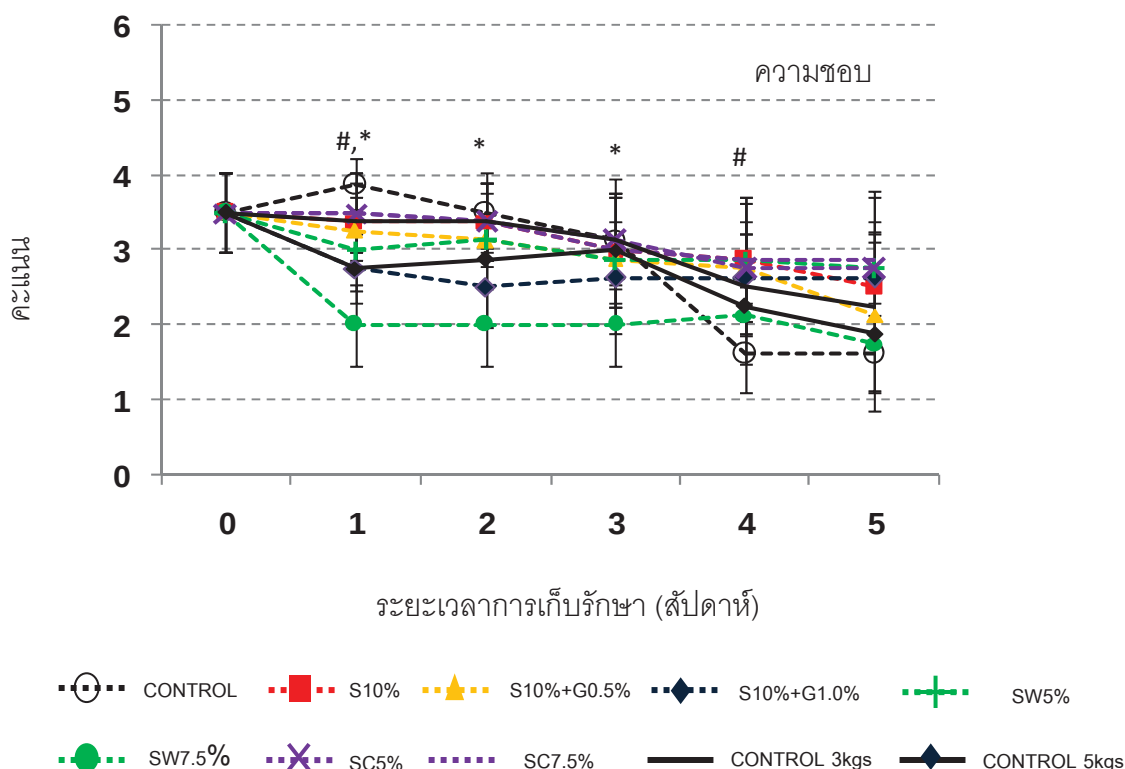


รูปที่ 4.2.28 การวัดคุณภาพในการรับประทานด้านความหวานและกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลมะม่วงบ่มสุกไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุถุงพลาสติก เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ที่แตกต่างกัน เก็บรักษา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5

(μ มะม่วงสุก CONTROL, SC5%, SC7.5%, CONTROL 3kgs และ CONTROL 5kgs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสุกอื่นๆ)

β มะม่วงสุก S10% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสุกอื่นๆ)

* มะม่วงสุก SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสุกอื่นๆ)



รูปที่ 4.2.29 การวัดคุณภาพในการรับประทานด้านความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อมะม่วงบ่มสุก ไม่ได้เคลือบผิวและบรรจุ ถุงพลาสติก เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์คัดแปลงต่างๆ เก็บรักษา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5

(# มะม่วงสูตร CONTROL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ

* มะม่วงสูตร SW7.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับมะม่วงสูตรอื่นๆ)

สรุปการเปรียบเทียบคุณภาพของผลมะม่วงดิบและบ่มสุกดังตารางที่ 4.2-1, 4.2-2 ที่เคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูล์คัดแปลงต่างๆ และบรรจุถุงพลาสติกขนาด 3 กก. และ 5 กก. มะม่วงชุดควบคุม (CONTROL) มีการเกิดโรคก่อนสูตรอื่นๆ ในสัปดาห์ที่ 3 มะม่วงกลุ่มบรรจุถุงพลาสติกสูตร CONTROL 3kgs และ CONTROL 5kgs มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ในขณะที่มะม่วงเคลือบผิวด้วย S10% มีปริมาณกรดมากที่สุดแสดงถึงสามารถชะลอการสุกได้มากที่สุด และเมื่อพิจารณาลักษณะภายนอก สามารถเก็บได้ 5 สัปดาห์นานกว่าสูตรอื่นๆ มะม่วงผลบ่มสุก ชุดควบคุมมีการเกิดโรคในสัปดาห์ที่ 3 มะม่วงเคลือบผิวด้วย SW7.5% มีปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่าสูตรอื่นๆ ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ ซึ่งสอดคล้องกับความหวานและเปรี้ยวและการประเมินทางประสาทสัมผัส ขณะที่มะม่วงเคลือบผิวสูตร S10%, SC5%, SW7.5% และ CONTROL 3 kgs สามารถเก็บรักษาได้ 4 สัปดาห์ และ มะม่วงเคลือบผิวด้วยสูตร S10% มีพื้นที่การเกิดโรคน้อยกว่าสูตรอื่นๆ ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมกับการเคลือบผิวมะม่วงคือ S10% เนื่องจากเก็บรักษาได้นานกว่า และพื้นที่การเกิดโรคน้อยกว่าสูตรอื่นๆ

ตารางที่ 4.2-1: ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะม่วงผลดิบ "แม่ได้เลือบผิวและบรรจุพลาสติก (CONTROL), เลือบผิวด้วยเซลลูล์ค สูดร ฟันฐาน (S10%) และสารเคลือบดัดแปลงด้วยโซคาร์บูนา(SC5%, SC7.5%) และ "โซเซลลูล์ค (SW5%, SW7.5%) และมะม่วงบรรจุพลาสติกกานาน 3 กก. (CONTROL 3kgs) และ 5 กก. (CONTROL 5kgs) เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5 ในสัปดาห์ที่ 4

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	ลำดับที่ 5	ลำดับที่ 6	ลำดับที่ 7	ลำดับที่ 8	ลำดับที่ 9	ลำดับที่ 10
สีที่นำเสีย		S10%, S10%+G0.5%, S10%+G1%, SW5%, SC7.5%, S10%+G0.5%, SW7.5%, SC5%, CONTROL 3kgs และ CONTROL 5kgs								
การสูญเสียน้ำหนัก	CONTROL 3kgs, CONTROL 5kgs			S10%, S10%+G0.5%, S10%+G1%, SW5%, SW7.5%, SC5%, SC7.5%						CONTROL
ความแน่นเนื้อ					*					
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้					*					
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้	S10%		S10%+G0.5%, S10%+G1%, SW5%, SW7.5%, SC5%, SC7.5%, CONTROL, CONTROL 3kgs และ CONTROL 5kgs							
ปริมาณแอลกอฮอล์					*					
ออกซิเจน					*					
คาร์บอนไดออกไซด์	SW7.5%		S10%+G0.5%, S10%+G1%, SW5%, SW7.5%, SC5%, SC7.5%, CONTROL, CONTROL 3kgs และ CONTROL 5kgs							
เอริติน					*					