ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร | วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ สารพฤกษเคมี และความสามารถต้านออกซิเดชันของมะยงชิด

Effect of Storage Temperature, Harvest Maturity and Modified Atmosphere Storage on Quality Changes, Phytochemicals and Antioxidant Capacity of Marian Plum

นามผู้วิจัย นางสาวสิริลดา สิทธิวิชชาพร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี, ปร.ด.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ สารพฤกษเคมี และความสามารถต้านออกซิเดชันของมะยงชิด

Effect of Storage Temperature, Harvest Maturity and Modified Atmosphere Storage on Quality Changes, Phytochemicals and Antioxidant Capacity of Marian Plum

โดย

นางสาวสิริลดา สิทธิวิชชาพร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิริลดา สิทธิวิชชาพร 2555: ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ สารพฤกษเคมี และความสามารถต้านออกซิเดชันของมะยงชิด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D. 139 หน้า

มะยงชิด เป็นหนึ่งในผลไม้ไทยที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะตัว ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาสั้น (3 – 5 วัน ณ อุณหภูมิห้อง) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น การอ่อนนุ่ม งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ สารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของผลมะยงชิด จากผลการศึกษาอุณหภูมิการเก็บรักษาของผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 75 วันหลังดอกบานเต็มที่ พบว่า อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อและคุณภาพอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของผลมะยงชิดได้ดี โดยยังคงรักษาคุณภาพให้มีความใกล้เคียงกับผลสด จากผลการศึกษาอายุการเก็บเกี่ยว พบว่า ผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 วันหลังดอกบานเต็มที่ มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ โดยมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 วันหลังดอกบานเต็มที่ จากผลการศึกษาสภาพบรรยากาศดัดแปลงของผลมะยงชิดซึ่งบรรจุในถาดโพลีพรอพิลีนแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดโพลีเอทิลีน (PE), ฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน-1 (BOPP-1), ฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน-2 (BOPP-2), ฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน-3 (BOPP-3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า สภาวะนี้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะยงชิดจาก 10 วันในชุดควบคุม เป็น 18 วัน โดยสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี การสูญเสียความแน่นเนื้อ ความเป็นกรด และการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เมื่อเข้าสู่บรรยากาศสมดุล (Equlibrium modified atmosphere ; EMA) ในภาชนะบรรจุผลมะยงชิดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, BOPP-1, BOPP-2, BOPP-3 มีปริมาณแก๊ส CO_2 5 % + O_2 9 % (12 วัน), CO_2 6 % + O_2 8% (14 วัน), CO_2 4 % + O_2 10 % (10 วัน) และ CO_2 3 % + O_2 12 % (8 วัน) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด BOPP-2 มีคุณลักษณะปรากฏคล้ายผลสดมากกว่าผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, BOPP-1 และ BOPP-3 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 18 วัน

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sirilada Sittiwitchaporn 2012: Effect of Storage Temperature, Harvest Maturity and Modified Atmosphere Storage on Quality Changes, Phytochemicals and Antioxidant Capacity of Marian Plum. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Adivisor: Mrs. Sasitorn Tongchitpakdee, Ph.D. 139 pages.

Marian Plum (*Boucaburmanica Griff.*) is one of an exotic fruit of Thailand. Quality changes due to physiological changes, such as softening, often result in short shelf life (3 - 5 days at room temperature). The objective of this study were to investigate effect of storage temperature, harvest maturity and modified atmosphere packaging (MAP) on quality changes, phytochemicals and antioxidant capacity of marian plum. The results showed that storage of marian plum fruits (75 day after full bloom (DAFB)) at 10°C could delay softening as well as other quality changes (Total Soluble Solids and pH) and can be used to maintain the quality of marian plum nearby the fresh. The results also showed that marian plums harvested at 65 DAFB had acceptable quality with higher firmness, when compared to those harvested at 75 DAFB. The effect of MAP on quality changes and antioxidant capacity were also studied. Marian plums were packed into polypropylene (PP) tray, sealed with one layer of polyethylene (PE), biaxially oriented polypropylene-1 (BOPP-1), biaxially oriented polypropylene-2 (BOPP-2) and biaxially oriented polypropylene-3 (BOPP-3) films. The samples were stored at 10°C from 10 days (control) to 18 days (MAP). The result showed that MAP extended shelf life of marian plum two times by delaying color change, firmness loss, acidity and biochemical change. Equlibrium Modified Atmosphere (EMA) in package which sealed by PE, BOPP-1, BOPP-2, BOPP-3 film were CO_2 5 % + O_2 9 % (12 days), CO_2 6 % + O_2 8% (14 days), CO_2 4 % + O_2 10 % (10 days) and CO_2 3 % + O_2 12 % (8 days), respectively. However, marian plums packed with BOPP-2 film had similar visual quality to fresh marian plums when compared to those packed with of PE, BOPP-1, and BOPP-3 film at the 18 days.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.ศศิธร ตรงจิตภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.ดร.วรรณี จิรภาคย์กุล และ ผศ.ดร.พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รอง เป็นอย่างสูงสำหรับคำปรึกษา คำแนะนำในการทำงานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วราภรณ์ บุญทรัพย์ทิพย์ ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และ ผศ. ดร.วาริช ศรีละออง ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ น.อ.(พิเศษ) สุบิน เจริญศักดิ์ และคุณจินตนา คงคารัตน์ ที่ให้ความสนับสนุนข้อมูลงานวิจัย และอำนวยความสะดวกในระหว่างการเก็บตัวอย่างผลมะยงชิด ขอขอบพระคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัย และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในการสนับสนุนตัวอย่างฟิล์มพลาสติก

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรม สั่งสอนให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์มากมาย อีกทั้งบุคลากรของภาควิชาที่คอยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานทั่วไป รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ และเจ้าหน้าที่ห้องสมุดที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำที่ดีเสมอมา ตลอดทั้งรุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนนิสิตระดับปริญญาโทและปริญญาเอกทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจ

ขอขอบพระคุณปาป๊า คุณแม่ พี่สาว และพี่ชาย สำหรับความรัก ความเข้าใจที่เป็นแรงหนุนสำคัญในการทำงานและสามารถก้าวข้ามความยากลำบากจนสำเร็จลุล่วง และคอยสนับสนุนโอกาสดีๆ ในชีวิตรวมถึงการให้โอกาสทางการศึกษา จนข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในวันนี้ ความสำเร็จทั้งหมดและประโยชน์อันใดที่พึงได้รับจากเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ครอบครัว ผู้สนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด และคณาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้ข้าพเจ้าทุกท่าน หากเกิดข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

สิริลดา สิทธิวิชชาพร

ตุลาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	48
สรุปและข้อเสนอแนะ	110
สรุป	110
ข้อเสนอแนะ	111
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	112
ภาพผนวก	134
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	139

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความแตกต่างระหว่าง มะยงชิดกับมะปรางหวาน	6
2	คุณค่าทางโภชนาการของผลมะปราง	7
3	อุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลาเก็บรักษาของผลไม้	14
4	อุณหภูมิและปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของผลไม้ที่เหมาะสมในการเก็บรักษา	16
5	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere; EMA) ภายในภาชนะบรรจุผลมะยงชิดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 วัน	84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปแบบการหายใจของผลไม้	11
2	สภาวะการดัดแปลงบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับผลไม้	18
3	โครงสร้างของฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทีลีน	19
4	โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบแคโรทีนอยด์	21
5	กระบวนการสังเคราะห์เบต้า-แคโรทีน	22
6	โครงสร้างวิตามินซี	23
7	การเปลี่ยนสภาวะของวิตามินซี	24
8	กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก	26
9	โครงสร้างของ 2,2-Diphenyl-1-picryhydrazyl radical (DPPH radical)	27
10	โครงสร้างของ 2'2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt	28
11	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ $ABTS^{2-}$ กับ โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต	28
12	เกณฑ์การให้คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิด	34
13	คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน	49
14	ลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน	50
15	การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ค่าความสว่าง) (ก), ค่า a* (ค่าสีแดง) (ข) และค่า b* (ค่าสีเหลือง) (ค) ของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน	52
16	การเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสี (ค่า $\triangle E^*$) ของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน	53
17	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน	54
18	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ก), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ข), ค่าความเป็นกรด – ด่าง (ค) และอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ง)ของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน	56

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน	58
20	คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เป็นเวลา 14 วัน	59
21	ลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อายุเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	60
22	การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	61
23	แผนภาพแสดงค่าสีของเปลือก (ก) และ เนื้อ (ข) ผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสวันที่ 14 ของการเก็บรักษา	63
24	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน	65
25	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ก), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ข), ค่าความเป็นกรด – ด่าง (ค) และอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ง) ของผลมะยงชิดที่อายุเก็บเกี่ยวต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	67
26	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้า - แคโรทีนของเปลือก (ก) และเนื้อ (ข) ของผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	69
27	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ก), กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก- (ข) และวิตามินซีทั้งหมด (ค) ของเปลือกผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน	72
28	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ก), กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก - (ข) และวิตามินซีทั้งหมด (ค) ของเนื้อผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำคั้นผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	75
30	การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ก) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (ข) ของน้ำคั้นผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างกันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	77
31	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	78
32	การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจของผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยว 65 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส	81
33	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของผลมะยงชิดแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 วัน	82
34	ปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	85
35	คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	87
36	ลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	88
37	ลักษณะปรากฏ (visual quality) ของผลมะยงชิดซึ่งเก็บภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	89

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	91
39	การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ค่าความสว่าง) (ก), ค่า a* (ค่าสีแดง) (ข) และค่า b* (ค่าสีเหลือง) (ค) ของเปลือกผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	93
40	การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ค่าความสว่าง) (ก), ค่า a* (ค่าสีแดง) (ข) และค่า b* (ค่าสีเหลือง) (ค) ของเนื้อผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	94
41	การเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* (ค่าความแตกต่างของสี) ของเปลือก (ก) และเนื้อ (ข) ของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	95
42	การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	97
43	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ก), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ข), ค่าความเป็นกรด – ด่าง (ค) และอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ง) ของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	99
44	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้า – แคโรทีนของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน	101

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

45 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ก), กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (ข) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (ค) ของเปลือกของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน 103

46 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ก), กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (ข) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (ค) ของเนื้อของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน 104

47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำคั้นผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึก ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน 106

48 การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ก) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของน้ำคั้นผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน 107

49 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน 108

ภาพผนวกที่

1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 135

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

2	กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	135
3	กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS	136
4	กราฟมาตรฐานของเอทานอลสำหรับการตรวจสอบปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น	136
5	กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid)	137
6	กราฟมาตรฐานของกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid)	137
7	กราฟมาตรฐานของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid)	138
8	กราฟมาตรฐานของเบต้า-แคโรทีน (β-carotene)	138

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

AA = กรดแอสคอร์บิก

β = เบต้า

BOPP-1 = พอลิพรอพิลีน-รหัส 1

BOPP-2 = พอลิพรอพิลีน-รหัส 2

BOPP-3 = พอลิพรอพิลีน-รหัส 3

CO_2 = แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

DAFB = จำนวนวันหลังดอกบานเต็มที่

DHA = กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก

GC = โครมาโตกราฟีแบบแก๊ส

HPLC = โครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง

MAP = สภาพบรรยากาศดัดแปลง

mL = มิลลิลิตร

N_2 = แก๊สไนโตรเจน

O_2 = แก๊สออกซิเจน

OTR = ค่าการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน

PE = พอลิเอทิลีน

PP = พอลิพรอพิลีน

ppm = ส่วนในล้านส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ สารพฤกษเคมี และความสามารถต้านออกซิเดชันของมะยงชิด

Effect of Storage Temperature, Harvest Maturity and Modified Atmosphere Storage on Quality Changes, Phytochemicals and Antioxidant Capacity of Marian Plum

คำนำ

มะยงชิด (*Boucaburmanica Griff*) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย และเป็นผลไม้ที่ให้ผลผลิตไม่ตรงกับผลไม้ชนิดอื่น ดังนั้นทำให้สามารถจำหน่ายได้ในราคาสูง มะยงชิดเป็นพืชที่มีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสั้น และมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเพียง 3 – 5 วัน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวอย่างรวดเร็ว ได้แก่ การสูญเสียความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ รวมไปถึงการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ล้วนทำให้ผลมะยงชิดไม่เป็นที่ต้องการของผู้ซื้อ ผู้ขาย ผู้ประกอบการ รวมไปถึงผู้บริโภค ก่อให้เกิดการสูญเสียผลผลิตจำนวนมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปัญหาหลักและเป็นปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพของผลไม้ ดังนั้นการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีความจำเป็น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

จากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การใช้อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และเป็นวิธีการที่มีการปฏิบัติทางการค้าในปัจจุบัน เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งหรือชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น ลดอัตราการหายใจ ชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เป็นต้น ทำให้การเสื่อมคุณภาพเกิดขึ้นได้ช้า ทั้งนี้ผลไม้แต่ละชนิดก็มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้อายุการเก็บเกี่ยวและการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้คุณภาพของผลไม้ให้มีความใกล้เคียงกับผลไม้สดมากยิ่งขึ้น เช่น การนำเทคโนโลยีทางด้านการบรรจุมาประยุกต์ใช้ โดยการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere Packaging; MAP) ซึ่งอาศัยคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของฟิล์มเป็นปัจจัยสำคัญ โดยฟิล์มที่เลือกใช้ต้องมีการซึมผ่านของแก๊สที่เหมาะสมกับอัตราการหายใจของผลไม้ที่ต้องการเก็บรักษา จึงจะสามารถสร้างสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจากข้อมูลการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะยงชิดยังมีไม่มากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคุณภาพของผลมะยงชิดหลังการเก็บเกี่ยว โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ อายุการเก็บเกี่ยวและสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะยงชิด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะยงชิดให้มีคุณภาพดีที่สุดก่อนถึงมือผู้บริโภค หรือยังคงคุณภาพใกล้เคียงกับผลสดมากที่สุด ซึ่งผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ในการเป็นเอกสารอ้างอิง และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาให้ผลมะยงชิดเป็นพืชเศรษฐกิจ เพื่อการค้าและทางอุตสาหกรรมต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์รวม

เพื่อใช้อุณหภูมิต่ำรวมกับการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในการยืดอายุการเก็บรักษามะยงชิด

วัตถุประสงค์หลัก

1. เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเก็บรักษาคุณภาพผลมะยงชิด
2. เพื่อศึกษาผลของอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและความสามารถต้านออกซิเดชันของผลมะยงชิด
3. เพื่อศึกษาอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทีลีนของผลมะยงชิด
4. เพื่อศึกษาผลของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ในการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและความสามารถต้านออกซิเดชันของผลมะยงชิด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

มะยงชิด

มะยง เป็นมะปรางชนิดหนึ่งที่มีรสชาติหวานและเปรี้ยวอยู่ในผลเดียวกัน หรือเรียกว่า หวานอมเปรี้ยว มีทั้งชนิดผลเล็กและชนิดผลใหญ่ ซึ่งจะมีรสชาติหวานมากกว่าเปรี้ยว หรือเปรี้ยวมากกว่าหวานแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ถ้าหวานมากกว่าเปรี้ยว เรียกว่า “มะยงชิด” ถ้าเปรี้ยวมากกว่าหวาน เรียกว่า “มะยงห่าง” มะยงชนิดผลใหญ่ที่นิยมปลูก เช่น มะยงสวนพูลศรีของจังหวัดสุโขทัย มะยงสวนนางอ้อนของจังหวัดพิษณุโลก มะยงสวนนางล้วนของจังหวัดอุตรดิตถ์ มะยงสวนลุงฉิมของเขตบางกอกน้อย จังหวัดกรุงเทพมหานคร มะยงสวนลุงเย็นของจังหวัดปราจีนบุรี เป็นต้น มะยงชิดจัดเป็นผลไม้เขตร้อนที่ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรได้ขยายพื้นที่ปลูกทั้งในภาคตะวันออกและภาคเหนือ โดยกรมส่งเสริมการเกษตรมีแผนระยะยาวที่จะสนับสนุนด้านการตลาดเพื่อที่จะส่งผลผลิตไปจำหน่ายยังต่างประเทศ เพราะสามารถทนสภาพอากาศแห้งแล้งและขาดแคลนน้ำได้ดี ขณะเดียวกันยังสามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมได้ดีอีกด้วย (สุรชัย, 2541) โดยสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย แต่ไม่นิยมปลูกในพื้นที่ที่มีอากาศหนาว และมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากในระยะผลอ่อนจะทนต่อสภาพอากาศหนาวไม่ได้ ทำให้ผลเหี่ยว เหลือง และร่วงในที่สุด (สุนทรียา, 2545) นอกจากนี้ยังสามารถปลูกได้ทุกสภาพดิน ทั้งดินเหนียว ดินทราย ดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย หรือแม้กระทั่งดินลูกรัง หรือดินอยู่ชายทะเลซึ่งมีรสเค็มเล็กน้อย มะยงชิดจะให้ผลผลิตออกสู่ตลาดเพียงปีละครั้ง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมีนาคม โดยแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดนครนายก อ่างทอง ปราจีนบุรี พิจิตร นครสวรรค์ สุโขทัย ชัยนาท กำแพงเพชร ลำพูน สิงห์บุรี เป็นต้น ส่วนใหญ่นิยมใช้บริโภคในประเทศ โดยจังหวัดนครนายกเป็นแหล่งที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดถึง 3,000 ไร่

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะยงชิด เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae (Cashew family) เช่นเดียวกับมะม่วงหิมพานต์ มะม่วง มะกอก (ชวนชม, 2550) มีชื่อสามัญอังกฤษว่า Marian plum และชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Boucaburmanica Griff.* (วิทยา, 2528; สุรชัย, 2535; ปรัชญา, 2551) โดยลักษณะของส่วนต่าง ๆ (ชวนชม, 2550) มีดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ลำต้น เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง – ใหญ่ เมื่อต้นเจริญเติบโตเต็มที่ สูงได้ถึง 15 – 30 เมตร มีรูปทรงตันค่อนข้างแหลมถึงทรงกระบอก มีกิ่งก้านสาขาค่อนข้างทึบ มีรากแก้วแข็งแรง

2. ใบ เป็นใบเดี่ยวออกจากกิ่งแบบตรงข้ามเรียงสลับกัน รูปใบเรียวแหลม หรือรูปใบหอกกว้าง 3.5 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร เป็นไม้ผลที่มีใบดกมาก ใบรอบ 1 ปี จะแตกใบอ่อน 1 – 3 ครั้ง

3. ดอก ออกเป็นช่อ แบบ panicle เกิดบริเวณปลายกิ่งแขนง ช่อดอกยาว 8 – 15 เซนติเมตร ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน) มีกลีบเลี้ยงสีเขียว 4 กลีบ กลีบดอกสีเหลือง 4 กลีบ

4. ผล เป็นแบบ Drupe มีลักษณะทรงกลม รูปไข่และกลม ปลายเรียวแหลม มีผล 1 – 15 ผลต่อช่อ เปลือกผลเรียบเกลี้ยงเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียวอ่อน – เขียวเข้มตามอายุของผล ผลสุกมีสีเหลืองหรือเหลืองอมส้ม เปลือกผลนิ่ม เนื้อสีเหลืองแดงส้มออกแดงแล้วแต่ชนิดพันธุ์ รสชาติหวาน ถึง หวานอมเปรี้ยว หรือเปรี้ยว ถึง เปรี้ยวมาก

5. เมล็ด ผลหนึ่งจะมีเพียงเมล็ดเดียวเท่านั้น ลักษณะเมล็ดคล้ายเมล็ดมะม่วง มีลักษณะเป็นเส้นใย เนื้อของเมล็ดมีทั้งสีขาวและสีชมพูอมม่วง รสขมฝาด โดย 1 เมล็ด สามารถเพาะกล้าได้ 1 ต้น

สุรชัย (2549) พบว่า มะยงชิดเป็นผลไม้ที่ออกดอกและติดผลง่าย โดยการออกดอกติดผลนั้นขึ้นอยู่กับความหนาวเย็นของอากาศ ซึ่งช่วงการออกผลิตผล มีฤดูกาลไม่ตรงกับผลไม้ชนิดอื่น ทำให้ผลไม้ชนิดนี้มีราคาสูง โดยมีราคา 100 – 200 บาทต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังเป็นผลไม้ที่ทนความแห้งแล้งได้ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นข้อดีของผลมะยงชิด แต่ผลมะยงชิดเป็นผลไม้ที่มีช่วงเก็บเกี่ยวสั้น โดยจะต้องเก็บเกี่ยวภายใน 1 เดือนหลังผลสุกเต็มที่ และเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีเปลือกบาง บอบช้าง่าย ดังนั้นในกระบวนการเก็บเกี่ยวจึงต้องทำด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างมาก

เนื่องจากมะยงชิดและมะปราง มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก ขนิษฐา (2551) ได้แสดงความแตกต่างให้เห็นชัดเจนโดยแยกแต่ละคุณสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ เคมี ราคาของกิ่งพันธุ์ การเก็บเกี่ยวผลผลิต อายุการเก็บรักษา และ ความเสี่ยงในการขนส่ง แสดงดังตารางที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ความแตกต่างระหว่าง มะยงชิดกับมะปรางหวาน

รายการ	มะยงชิด	มะปรางหวาน
1. ลักษณะทางกายภาพ	ไม่มีความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์	แตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น เพชรคลองสาน มีลักษณะหัวเล็กก้นมน, เพชรหวานกลมมีลักษณะกลม, เพชรหวานยาว มีลักษณะลูกยาวและนูนบริเวณกลางผล, เพชรนพเก้า มีรูปทรงแบบไข่เป็ด สีของผิวภายนอกแตกต่างกันมาก ขนาดของผลใกล้เคียงกับมะยงชิด
2.คุณสมบัติทางเคมี	ผลดิบมีรสชาติเปรี้ยว ผลสุกเต็มที่มีรสหวานอมเปรี้ยว	ผลดิบไม่เปรี้ยว ผลสุกเต็มที่มีรสชาติหวาน
3.ราคาของกิ่งพันธุ์	หาซื้อง่าย ราคาขึ้นกับเจ้าของสวนกำหนด	หาซื้อยาก ราคาสูงกว่ามะยงชิด
4.การเก็บเกี่ยวผลผลิต	ผลดิบเปรี้ยวมาก ผลกึ่งสุกมีรสเปรี้ยวอมหวาน แต่ยังไม่สามารถเก็บขายได้ ผลสุกต้องรอให้สุกเต็มที่ ขั้วไม่มีสีเขียว จึงจะเป็นมะยงชิด	ผลดิบไม่เปรี้ยว ผลกึ่งสุกมีรสหวาน สามารถเริ่มจำหน่ายได้บ้างแล้ว ผลสุกไม่ต้องสุกงอมก็เริ่มทยอยเก็บขายได้ เมื่อผลสุกเต็มที่จะมีรสหวานมาก
5. อายุการเก็บรักษา	ต้องปล่อยให้สุกเต็มที่จึงสามารถเก็บได้ อายุการเก็บรักษาจึงสั้น	ไม่จำเป็นต้องปล่อยให้สุกเต็มที่ จึงสามารถเก็บไว้ได้นาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายการ	มะยงชิด	มะปรางหวาน
6. ความเสี่ยงในการขนส่ง	ทนการกระแทกไม่ได้ บอบช้ำง่าย	ทนการกระแทกได้ดีกว่า จึงเหมาะแก่การขนส่งออกระยะทางไกล

ที่มา: ดัดแปลงจากขนิษฐา (2551)

คุณค่าทางโภชนาการของมะปราง

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาด้านคุณค่าทางโภชนาการของมะยงชิด แต่มีรายงานการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของมะปราง พบว่า ในส่วนของมะปรางที่บริโภคได้ 100 กรัม มีคุณค่าทางโภชนาการแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของผลมะปราง

ส่วนประกอบแร่ธาตุอาหาร	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม)	86.60
โปรตีน (มิลลิกรัม)	40.00
ไขมัน (มิลลิกรัม)	20.00
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	11.30
เส้นใย (มิลลิกรัม)	150.00
เถ้า (มิลลิกรัม)	20.00
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	9.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	4.00
แคโรทีน (มิลลิกรัม)	23.00
ไนอะซีน (มิลลิกรัม)	0.50
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม)	100.00

ที่มา: ชวนชม (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรให้มีคุณภาพดีจนกระทั่งถึงมือผู้บริโภคนั้น ได้มาจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เนื่องจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีอายุอ่อนเกินไปอาจได้ผลผลิตที่มีคุณภาพต่ำหรือเกิดอาการสุกที่ผิดปกติ ส่วนการเก็บผลผลิตที่แก่เกินไปอาจจะมีลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เช่น อาการฉ่ำน้ำ เนื้อสัมผัสนิ่ม เป็นต้น ดังนั้นดัชนีการเก็บเกี่ยวจึงเข้ามามีบทบาทต่อคุณภาพของผลิตผล เพราะ ดัชนีการเก็บเกี่ยวจะเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บเกี่ยวของผักหรือผลไม้ที่ดีที่สุด ดัชนีที่ดีควรเป็นดัชนีที่สามารถบอกค่าความสัมพันธ์กับคุณภาพผลิตผล สามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่ทำลายผลิตผล (non-destructive) ราคาไม่แพง และที่สำคัญควรวัดค่าได้ออกมาเป็นตัวเลข (objective) มากกว่าเป็นการประเมินทางประสาทสัมผัส (subjective) ซึ่งดัชนีที่ใช้มักเป็นดัชนีบอกความอ่อน-แก่ของผักและไม้สดกับคุณภาพ เนื่องจากความแก่-อ่อน เป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะทำให้ผักและผลไม้สดที่เก็บแล้วมีคุณภาพดีหรือไม่ดี และมีผลต่อความพึงพอใจของผู้ซื้อที่มีต่อการบริโภค (จริงแท้ และ ธีรนุช, 2543) ซึ่งวิธีการนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีการหลัก ดังนี้

1. การนับระยะเวลา

พืชแต่ละพันธุ์ใช้เวลาในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ซึ่งการนับแบบนี้อาจใช้ข้อมูลจากสภาพอุตุนิยมวิทยาร่วมด้วย ซึ่งการนับด้วยวิธีนี้จะได้ผลดี ในกรณีที่ผู้ใช้เป็นคนช่างสังเกต และมีประสบการณ์สำหรับการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวพืชชนิดนั้นๆ มากพอ อาจนับวันที่ตามปฏิทิน (Date of year) ซึ่งเป็นการคาดคะเนวันที่เคยเก็บเกี่ยวในปีก่อนหน้า และคาดว่าอาจจะเป็นวันที่เดียวกันในปีนี้ หรือนับจำนวนวันหลังดอกบาน (Day after full bloom) ซึ่งสามารถนับได้หลายลักษณะ เช่น นับวันหลังจากปลูก นับวันดอกติดช่อ หรือ นับวันหลังดอกบานเต็มที่ ซึ่งช่วงเวลาการพัฒนาเป็นผลที่มีความเหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวของผลผลิตนั้นมักใช้เวลาที่ใกล้เคียงกันทุกปี หากสภาพอากาศไม่ผิดปกติ (ธนะบูลย์, 2548) เช่น กล้วยไข่ เก็บเมื่อ 40 – 45 วันหลังตัดปลี ขนุนเก็บเมื่อ 9 - 10 เดือนหลังดอกบาน เงาะโรงเรียน เก็บเมื่อ 16 สัปดาห์หลังดอกบาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิก็ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก ทำให้แต่ละฤดูกาลหรือพื้นที่ปลูกที่มีความแตกต่างกันส่งผลต่ออายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ลักษณะทางกายภาพ

2.1 การเปลี่ยนแปลงของสี โดยทั่วไปสีผิวของผลไม้จะเปลี่ยนไปตามระยะจากการเจริญเติบโต เช่น สีของเปลือกมะเฟืองจะเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเหลืองเข้มเมื่อผลสุกเต็มที่ สีของเปลือกลิ้นจี่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดงหรือชมพูเมื่อผลสุกเต็มที่ เป็นต้น การพิจารณาสีผิวเป็นดัชนีที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะการพิจารณาด้วยสายตา แต่ควรมีมาตรฐานเปรียบเทียบ เช่น แผ่นเทียบสีมาตรฐานหรือแผ่นเทียบสีสำหรับผลไม้เฉพาะอย่าง เป็นต้น

2.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดของผล ผลผลิตหลายชนิดเมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมมักจะมีขนาดที่แน่นอนและสามารถใช้เป็นตัวกำหนดระยะในการเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งนิยมใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวพืชผักเป็นส่วนใหญ่ และมักจะเก็บเมื่อมีขนาดเหมาะสมกับความต้องการของตลาด เช่น ความยาว ความใหญ่ เป็นต้น

2.3 การเปลี่ยนรูปร่างของผลไม้ ผลผลิตหลายชนิดเมื่อแก่เต็มที่จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ต่างไปจากเมื่ออายุยังน้อย เช่น กล้วย เมื่อแก่จัดจะมีเหลี่ยมที่ผลน้อยลง และเมื่อผ่าตามขวางก็จะมีรูปร่างที่ค่อนข้างกลม เป็นต้น

2.4 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส เนื่องจากผลไม้จะอ่อนตัวลงจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบจำพวกเพคติน และทำให้ความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนไปเมื่อแก่จัด ส่วนในผักที่แก่มักจะมีลักษณะเหนียวหรือมีเส้นใยมาก โดยเฉพาะในผักที่ห่อหัว เช่น กะหล่ำปลี ผักกาดขาว เป็นต้น

2.5 ปริมาณน้ำคั้น ส่วนใหญ่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุของผลไม้ เช่น ผลส้ม เนื่องจากปริมาณน้ำสะสมในเซลล์เพิ่มมากขึ้นและผนังเซลล์ของเนื้อผลไม้อ่อนตัวลงทำให้คั้นน้ำได้มากขึ้น

มะยงชิดมีระยะใกล้ออกดอกประมาณเดือนกันยายน – ตุลาคม โดยใบของมะยงชิดเริ่มแก่จัด และเข้าสู้ระยะฟักตัวเพื่อสะสมอาหาร จากนั้นเริ่มแทงช่อดอกในเดือนพฤศจิกายน โดยในระยะนี้ต้องป้องกันและกำจัดแมลงประเภทเพลี้ยไฟ เพลี้ยหอย เพลี้ยจักจั่น แมลงค่อมทองที่จะเข้าทำลายผลมะยงชิดได้ในช่วงระยะนี้ เมื่อดอกเริ่มบานและติดผลขนาดเล็ก เป็นระยะที่ต้องให้การดูแลมากที่สุด เนื่องจากในระยะนี้หากให้ปริมาณน้ำที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการร่วงของผลอ่อนได้ จากนั้นเมื่อผลมะยงชิดเริ่มติดผลแล้ว ผลจะเริ่มเจริญเติบโตในช่วงเดือนมกราคม และจะเข้าสู่ระยะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เริ่มแก่จนถึงเก็บเกี่ยวได้ ในเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม หรือประมาณ 75 วันหลังดอกบาน โดยมะยงชิดจะนิยมบริโภคผลสุก เพราะมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ซึ่งในปัจจุบันการเก็บเกี่ยวผลมะยงชิดมักจะดูสีของผลที่สุกเต็มที่ โดยจะมีสีเหลืองทั่วทั้งผล (โกวิท, 2552) เมื่อผลสุกเต็มที่ ผลมะยงชิดมีความยาวประมาณ 4 – 5 เซนติเมตร และ จะมีลักษณะเรียว และยาวมากขึ้น

3. ส่วนประกอบทางเคมี

3.1 การวัดปริมาณน้ำตาล มักจะวัดในรูปของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Soluble Solid ; SS) โดยใช้เครื่องมือรีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer) นิยมใช้วัดพวกพืชตระกูลส้ม แตงมะยงชิดและองุ่น โดยทั่วไปปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มักเพิ่มขึ้นเมื่อผลิตผลเข้าสู่กระบวนการสุก

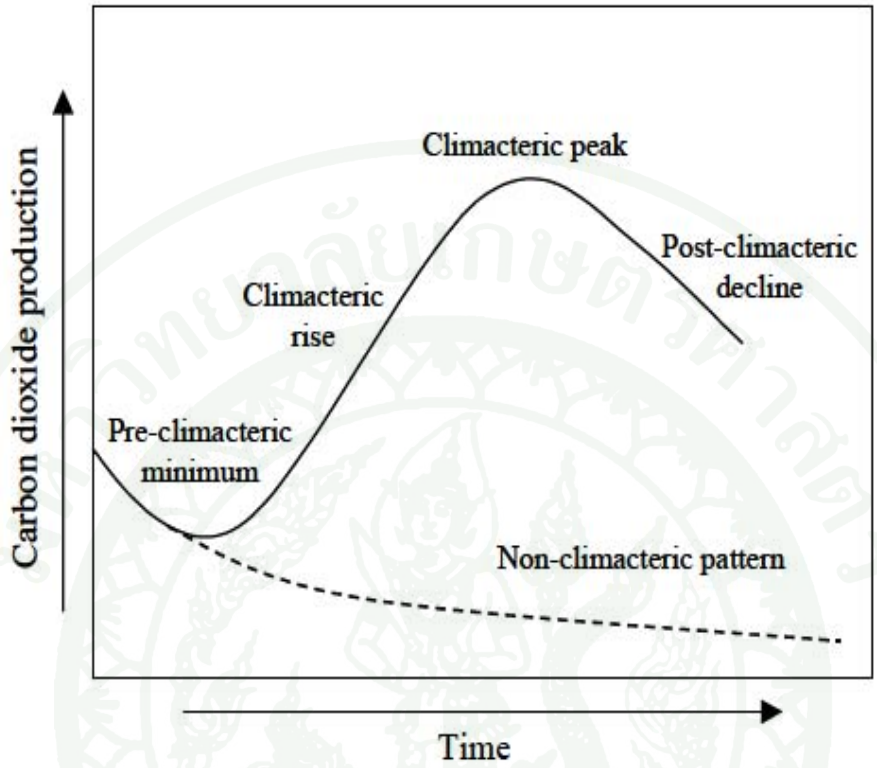
3.2 การวัดปริมาณกรด หรือความเปรี้ยวของผลผลิต ทำได้โดยการไทเทรตน้ำคั้นผลไม้กับสารละลายด่างมาตรฐาน กรดที่พบมากในผลไม้ คือ กรดซิตริก ซึ่งพบมากในผลไม้ ประเภทส้ม ฝรั่ง ทับทิม สับปะรด สตรอเบอรี่ มะยงชิด เป็นต้น ซึ่งกรดอินทรีย์ส่งผลให้ผลไม้มีรสเปรี้ยว โดยกรดจะลดลงเมื่อผลไม้สุก

4. ลักษณะทางสรีรวิทยา ได้แก่ การสังเคราะห์เอทีลีน การวัดอัตราการหายใจ ซึ่งในวิธีการนี้สามารถจำแนกกลุ่มของผลไม้ตามลักษณะการหายใจระหว่างการสุกได้ 2 ประเภท ดังนี้

4.1 Non - Climacteric fruit เป็นผลไม้ที่มีการหายใจลดต่ำลงหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งการหายใจที่ลดลงอาจเป็นไปอย่างสม่ำเสมอช้าๆ (ภาพที่ 1) หรือเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้นกับชนิดของพืช (ธนะบูลย์, 2548) ตัวอย่างผลไม้ประเภทนี้ ได้แก่ องุ่น ส้ม ส้มโอ พริก มะนาว มะกอก สตรอเบอรี่ เชอรี่ สับปะรด เป็นต้น

4.2 Climacteric fruit เป็นผลไม้ที่มีรูปแบบการหายใจเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดแล้วลดต่ำลง (ภาพที่ 1) ซึ่งมักจะพบในพืชมีการเปลี่ยนแปลงของการสุกที่ชัดเจน โดยจะมีอัตราหายใจที่สูงที่สุดเรียกว่า ช่วง “Climacteric peak” ซึ่งจะเป็นช่วงสั้นหรือยาว ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ตัวอย่างผลไม้ประเภทนี้ ได้แก่ แอปเปิ้ล มะม่วง มะละกอ แตงโม ฝรั่ง มะเดื่อ กล้วย น้อยหน่า เสาวรส กีวี อะโวกาโด เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 รูปแบบการหายใจของผลไม้

ที่มา: Saltveit (2004)

การเก็บรักษาผลไม้

ผักและผลไม้ในฤดูกาลจะมีปริมาณมากและทำให้ราคาถูก แต่ถ้าเป็นช่วงนอกฤดูกาล ราคาจะสูงขึ้นเนื่องจากมีปริมาณน้อย การหลีกเลี่ยงปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำ อาจทำได้โดยการผลิตนอกฤดูกาลและอีกวิธีหนึ่ง คือ การเก็บรักษาผลิตผลเพื่อรอการจำหน่าย ซึ่งหากสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานทำให้มีอำนาจในการต่อรองในการซื้อ หรือ ขายมากขึ้น และส่งผลให้ขยายตลาดได้กว้างขว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตลาดต่างประเทศ ซึ่งเป็นตลาดที่ยังมีโอกาสขยายออกไปได้อีกมาก การเก็บรักษาจึงมีจุดมุ่งหมาย เพื่อยืดอายุผลิตผลออกไปให้นานที่สุด โดยที่ผลิตผลยังมีคุณภาพใกล้เคียงกับเมื่อเก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ ซึ่งวิธีการเก็บรักษาผลไม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีการหลัก ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. การเก็บรักษาตามธรรมชาติ

1.1 การเก็บรักษาบนต้น

โดยผลไม้ส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวเมื่อถึงระยะแก่สมบูรณ์ (maturation) ถ้าปล่อยทิ้งไว้บนต้นก็สามารถจะสุกคาต้นได้ ซึ่งค่อนข้างยากต่อการเก็บเกี่ยวและขนส่ง เพราะผลิตผลจะมีความอ่อนแอ แต่มีผลไม้บางชนิดที่เมื่อแก่สมบูรณ์แล้วผลจะสุกก็เมื่อมีการเก็บเกี่ยวออกจากต้น เช่น อะโวกาโดบางพันธุ์ ทั้งนี้เนื่องจากมีสารเคมีบางอย่างซึ่งอาจเป็นฮอร์โมนออกซิน (auxin) ถูกส่งผ่านจากกิ่งเข้าไปยังผลอยู่ตลอดเวลา (สายชล, 2553) ฮอร์โมนออกซินนี้อาจมีผลยับยั้งการสร้างเอทีลีน ทำให้กระบวนการสุกอื่นๆ ไม่เกิดขึ้น ซึ่งในกรณีนี้เกษตรกรสามารถยืดเวลาการเก็บเกี่ยวออกไปได้ ส้มชนิดต่างรวมทั้งส้มเขียวหวานมีความบริบูรณ์ตั้งแต่อายุได้ 9 เดือนนับจากดอกบาน แต่อาจชะลอการเก็บเกี่ยวออกไปได้ถึง 2 เดือน ข้อดีของการเก็บรักษาบนต้น คือ ยืดฤดูกาลของผลิตผลออกไปได้โดยวิธีการที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา แต่มีข้อเสีย คือ คุณภาพของผลิตผลอาจด้อยลง เนื่องจากสัมผัสสภาพอากาศต่างๆ โรคและแมลง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวจะได้ผลิตผลที่มีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้ ยังพบว่า ขณะที่ยังมีผลอยู่บนต้น จะทำให้ต้นพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งอาจมีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นน้อยลงและกระทบต่อการออกดอกติดผลในฤดูกาลต่อไป

1.2 การเก็บรักษาโดยไม่ใช้เครื่องทำความเย็น

วิธีการรักษาโดยไม่ใช้เครื่องทำความเย็นนี้ เป็นการเก็บรักษาผลิตผลที่จะถูกส่งไปขายในเวลาอันสั้น หรือเก็บรักษาผลิตผลที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างช้า ได้แก่ พืชหัวชนิดต่างๆ การเก็บรักษาโดยไม่ใช้เครื่องทำความเย็นนี้ จำเป็นต้องปรับสภาพแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสมโดยสภาพการเก็บรักษาต้องมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ตามธรรมชาติ มีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างต่ำ และสามารถป้องกันศัตรูธรรมชาติโดยเฉพาะแมลงและสัตว์อื่นได้ดี การจัดสถานที่หรือโรงเรือนที่ใช้เป็นที่เก็บรักษา ต้องจัดสร้างให้มีการถ่ายเทและหมุนเวียนอากาศภายในดี เพื่อไม่ให้มีการสะสมความร้อนจากการหายใจ และไม่ให้มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไป ตลอดจนไม่ให้มีสภาพชื้นแฉะจนเหมาะกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา (จริงแท้, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีที่สำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ (Bolin *et al*., 1977) เพราะอุณหภูมิจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สุดต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงต่างๆทางเคมีภายในผลิตผล ตลอดจนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ มีอัตราของปฏิกิริยาแปรตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง อัตราปฏิกิริยาหรือการเจริญเติบโตก็จะสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นและส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาส่วนหนึ่ง เป็นผลมาจากการหายใจของผลิตผลเอง (vital heat) ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงก็จะเกิดความร้อนจากการหายใจมากด้วย การลดอุณหภูมิของผักและผลไม้หมายถึง การทำให้ผัก ผลไม้มีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด ไม่ใช่ลดเพียงเล็กน้อย การเก็บรักษาผลิตผลทุกชนิดควรเก็บรักษาไว้ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำที่สุดที่จะไม่เกิดอันตรายหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) หรือ การเสื่อมเสียจากอุณหภูมิเยือกแข็ง (Freezing injury) เป็นต้น (Wiley, 1994) โดยการลดระดับอุณหภูมิให้ต่ำลงนั้นจะส่งผลให้ผักและผลไม้มีอัตราการหายใจที่ต่ำลงส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น (Lee *et al*., 1995; Watada *et al*., 1997; Cocci *et al*., 2006) ความรวดเร็วในการลดอุณหภูมิลงก็เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะต้องใช้ระยะเวลาการลดอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาน้อยที่สุด โดยทั่วไปไม่ควรนานเกิน 24 ชั่วโมง สำหรับผักและผลไม้ที่เน่าเสียง่าย เช่น บรอคโคลี ข้าวโพดหวาน เห็ด หน่อไม้ฝรั่ง กระเจี๊ยบเขียว ผลิตผลเหล่านี้ควรใช้เวลาประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง จึงต้องมีวิธีการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วจึงเคลื่อนย้ายผลิตผลไปยังห้องเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสม นอกจากนี้ควรคำนึงถึงชนิดของผักและผลไม้ด้วย เนื่องจากผักและผลไม้แต่ละชนิดจะมีความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำไม่เท่ากัน (Anderson and Penney, 1975; Crisosto *et al*., 1996; Brovelli *et al*., 1998) ผลไม้แต่ละชนิด มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 อุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลาเก็บรักษาของผลไม้

ผลิตผล	อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)
กล้วยไข่	13 -14	4 - 6
กล้วยน้ำว้า	13 -14	4 - 6
กล้วยหอม	13 -14	4 - 6
กีวี	0	16 - 20
เงาะโรงเรียน	13	2 - 3
เชอรี่	0	2 - 4
ทุเรียน	15	2 - 3
ฝรั่งกลมสาลี่	5 -10	2 - 3
พลับ	0 - 1	12 - 16
พลัม	0	2 - 6
พีช	0	2 - 4
มะพร้าวอ่อน	5	3 - 4
มะเฟือง	9 - 10	2 - 3
มะม่วงสุก	13	2 - 3
มะละกอแขกดำ	13 - 15	1 - 3
มังคุด	13	3 - 4
ลิ้นจี่	1.5	3 -5
ลองกอง	0 - 2	3
ลำไย	5	5 - 6
เลมอน	12 - 14	4 - 16
ลูกท้อ	0	2 - 3
ส้มเขียวหวาน	4	2 - 4
ส้มโอ	8 - 10	8 -12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ผลิตผล	อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)
สตรอเบอรี่	0	1
สับปะรดปัตตาเวีย	7 - 13	2 - 4
สับปะรดภูเก็ต	15 - 20	1 -2
อะโวกาโด	5 - 10	4 - 6
องุ่น	0	4 - 12
แอปเปิ้ล	0 - 3	16 - 20

ที่มา: จริงแท้ และ ธีรนุต (2548) ; Lurie (2002)

3. การเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศ

โดยปกติอากาศมีแก๊สออกซิเจน (O_2) ประมาณ 21 %, แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 0.03 % ที่เหลือเป็นแก๊สไนโตรเจน (N_2) ในการเก็บรักษาถ้ามีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ จะสามารถช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผลและชะลอการเสื่อมสลาย แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนน้อยเกินไป อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือมีการหมักเกิดขึ้น ก่อให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ เช่นเดียวกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจ ถ้ามีปริมาณมาก สามารถยับยั้งบางขั้นตอนของกระบวนการหายใจได้ (Serrano *et al*., 2003) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติขัดขวางการทำงานของเอทิลีนด้วย จึงช่วยยืดอายุของผลิตผล แต่ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปก็อาจทำให้เกิดการผิดปกติในการหายใจและทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตผลได้ อาการผิดปกติที่เกิดขึ้นนอกจากการเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติจากกระบวนการหมักแล้ว อาจเกิดการสุกที่ผิดปกติ เกิดการเน่าเสียเร็วขึ้น หรือ เกิดการผิดปกติทางสรีระ ผลไม้แต่ละชนิดสามารถเก็บภายใต้สภาพบรรยากาศที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 อุณหภูมิและปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของผลไม้ที่เหมาะสมในการเก็บรักษา

ผลิตผล	อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	$\%O_2$	$\%CO_2$
แอปเปิ้ล	0 - 1	1.5 - 2.0	1 - 2
กล้วย(ดิบ)	13 - 14	2 - 5	2 - 5
บรอคโคลี	0 - 5	2 - 3	6 - 7
กะหล่ำปลี (ทั้งหัว)	0	2.5 - 5	2.5 - 6
แคนตาลูป / เมลอน	2.2 - 5	3	10
ส้ม	3 - 8	5 - 10	0 - 5
มะเขือเทศ (ชิ้น)	0 - 5	3	3
มะเขือเทศ (ทั้งผล)	7 - 10	3	0 -3

ที่มา: Brody *et al*. (2011)

วิธีการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศ เป็นการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของบรรยากาศ ทำได้ 3 วิธี คือ

1. Controlled atmosphere storage (CA Storage) เป็นการควบคุมและติดตามความเข้มของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทีลีน ภายในห้องเก็บรักษาให้คงที่ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา อาจเรียกว่า การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม การควบคุมปริมาณก๊าซต่างๆ ภายในสถานที่เก็บรักษา ให้คงที่อยู่นี้อาจทำได้หลายวิธี เช่น โดยการระบายอากาศ ซึ่งจะมีการเติมก๊าซหรือดูดก๊าซออกจากที่เก็บรักษา โดยปกติจะรวมไปถึงการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามความต้องการของผลิตผลด้วย

2. Modified atmosphere storage (MA Storage) เป็นการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของบรรยากาศที่จุดเริ่มต้นภายในห้องเก็บรักษาที่ปิดสนิท และปล่อยให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

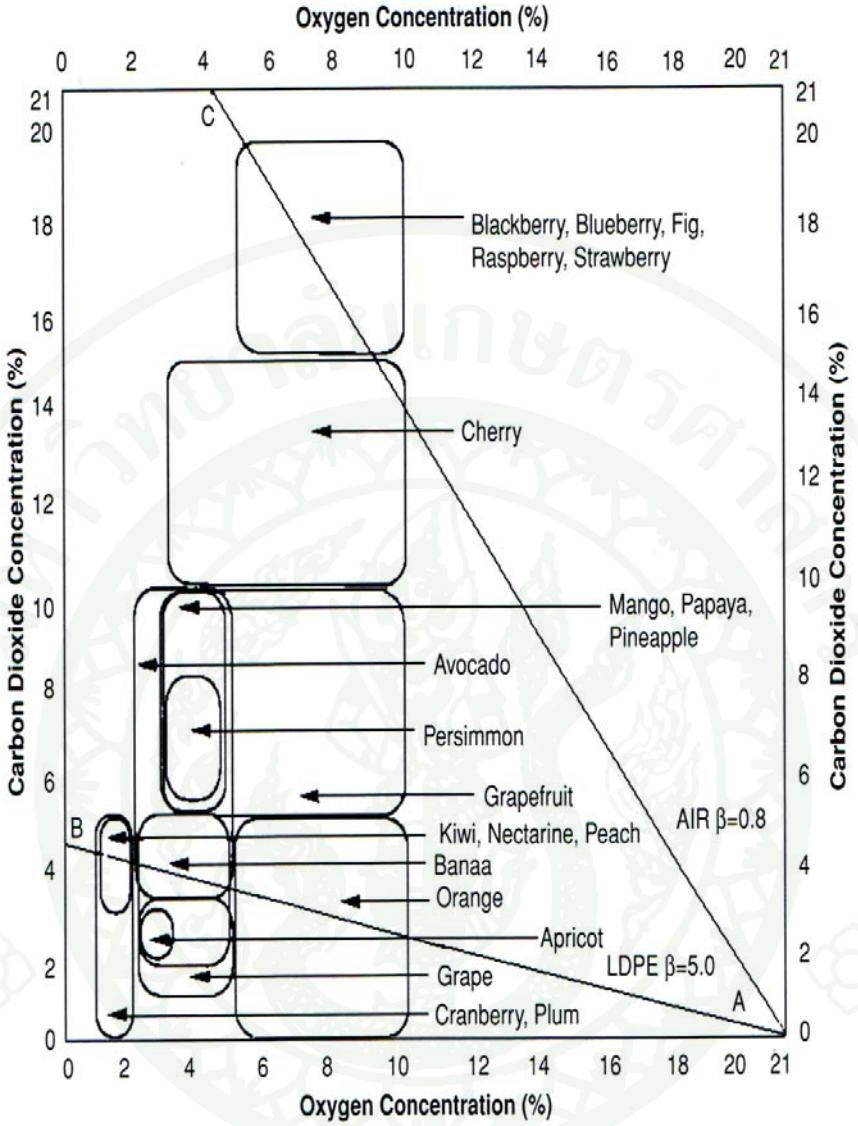
ส่วนประกอบของบรรยากาศตามอัตราการหายใจของผักผลไม้ที่อยู่ภายในห้องเก็บรักษา อาจเรียกว่า การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดยปริมาณก๊าซชนิดต่างๆในการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงนี้ ไม่สามารถควบคุมให้คงที่อยู่ได้ เพราะขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจและกระบวนการต่างๆ ภายในผลิตผลซึ่งผันแปรตามอุณหภูมิองค์ประกอบของบรรยากาศ อายุการเก็บเกี่ยวรักษา เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับอัตราการถ่ายเทอากาศระหว่างสถานที่เก็บรักษากับบรรยากาศข้างนอกด้วย

ความแตกต่างของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงกับบรรยากาศควบคุมนั้น อยู่ที่ระดับการควบคุมองค์ประกอบของอากาศเท่านั้น

3. Modified atmosphere packaging (MAP) การเก็บรักษาในภาชนะบรรจุ โดยดูดอากาศออกจากภาชนะบรรจุแล้วเติมก๊าซส่วนผสมลงไปตามความเหมาะสม ปิดภาชนะบรรจุให้สนิท ระหว่างการเก็บรักษา จะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของบรรยากาศไปตามอัตราการหายใจและอัตราการซึมผ่านเข้าออก (permeability) ของการผ่านฟิล์มของภาชนะบรรจุที่ใช้

การเก็บรักษาแบบ Modified atmosphere packaging (MAP) นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบ active modified atmosphere packaging เป็นการสร้างสภาวะโดยการเติมแก๊สที่กำหนดความเข้มข้นลงไป หรือ อาจมีการบรรจุสารเคมีชนิดที่ให้แก๊สหรือตัวดูดซับแก๊สที่ไม่ต้องการออกไปจากบรรยากาศที่อยู่รอบตัวผลิตภัณฑ์ และแบบ passive modified atmosphere packaging จะเป็นการสร้างสภาวะโดยการเลือกฟิล์มชนิดต่างๆที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีความเหมาะสมกับชนิดของพืช ณ อุณหภูมิในการเก็บรักษา ซึ่งการสร้างสภาวะแบบนี้จะทำให้พืชใช้ปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ส่งผลให้ความเข้มข้นลดลงในขณะที่ความเข้มข้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ถ้าอัตราการให้คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชสูงกว่าอัตราการซึมผ่านของฟิล์มของแก๊สออกไปภายนอกจะทำให้มีการสะสมของคาร์บอนไดอออกไซด์ภายในเกิดขึ้น จึงทำให้เกิดสภาพปรับบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (งามทิพย์, 2537) ผลไม้แต่ละชนิดล้วนมีสภาวะการดัดแปลงบรรยากาศที่เหมาะสมแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



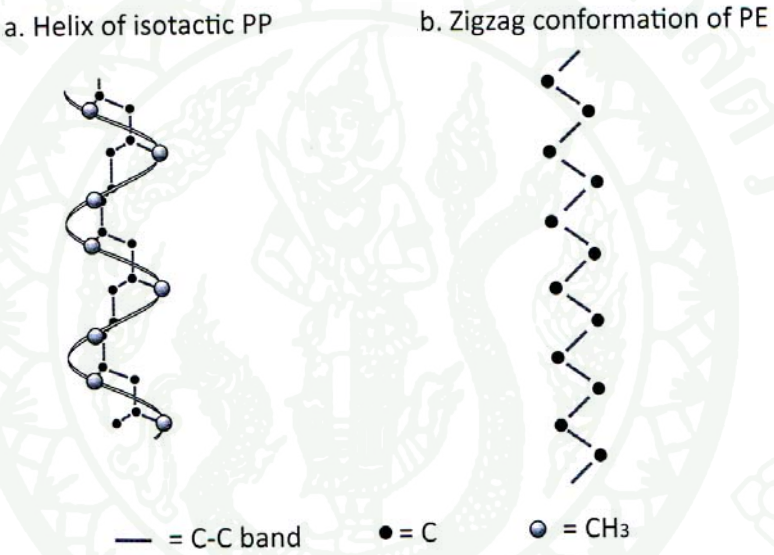
ภาพที่ 2 สภาวะการดัดแปลงบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับผลไม้

ที่มา: Zhang *et al*. (2011)

วัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลง คือ ฟิล์มพลาสติก ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีคุณสมบัติของการซึมผ่านไอน้ำหรือแก๊ส โดยอาศัยความแตกต่างของไอของแก๊ส เป็นตัวที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างภายนอกและภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งฟิล์มที่เหมาะสำหรับผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำ คือ พอลิเอทิลีน (Polyethylen; PE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chrolide; PVC) และพอลิพรอพิลีน (Polypropylene; PP) (Kadar and Watkins, 2002) นอกจากนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฟิล์มพลาสติกชนิด BOPP เป็นวัสดุทางการค้าที่มีอยู่ทั่วไป และมีความใสมาก เนื่องจากมีการเรียงตัวของโครงสร้างของผลึกที่มีความโปร่งแสง ซึ่งจะช่วยลดการหักเหแสงของฟิล์ม (Zhuang, 2011) โดยเป็นฟิล์มที่มีการพัฒนาขึ้นมาจากพลาสติกชนิด PP ด้วยการทำให้พลาสติกชนิด PP จัดเรียงโมเลกุลใหม่ให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการทนความร้อนได้สูงถึง 100 องศาเซลเซียส ด้วย โดยฟิล์มชนิดนี้สามารถลดความชื้นและคุณสมบัติในการซึมผ่านแก๊สได้ รวมทั้งลดผลกระทบของการอุณหภูมิต่ำที่เกิดขึ้นในฟิล์ม PP ได้อีกด้วย ซึ่งลักษณะโครงสร้างของฟิล์มชนิด PP และ PE แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีน

ที่มา: Zhuang (2011)

สารพฤกษเคมี

สารพฤกษเคมี (Phytochemical) เป็นสารที่สามารถพบได้ในผักและผลไม้ และการบริโภคผักและผลไม้จำนวนมากยังสามารถช่วยลดอัตราการเกิดโรคเรื่อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรคความดัน โรคหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น สารพฤกษเคมีเหล่านี้ ไม่จัดว่าเป็นสารอาหาร เนื่องจากเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นมา ซึ่งเป็นกลุ่มประเภทที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญ (secondary metabolite) ซึ่ง

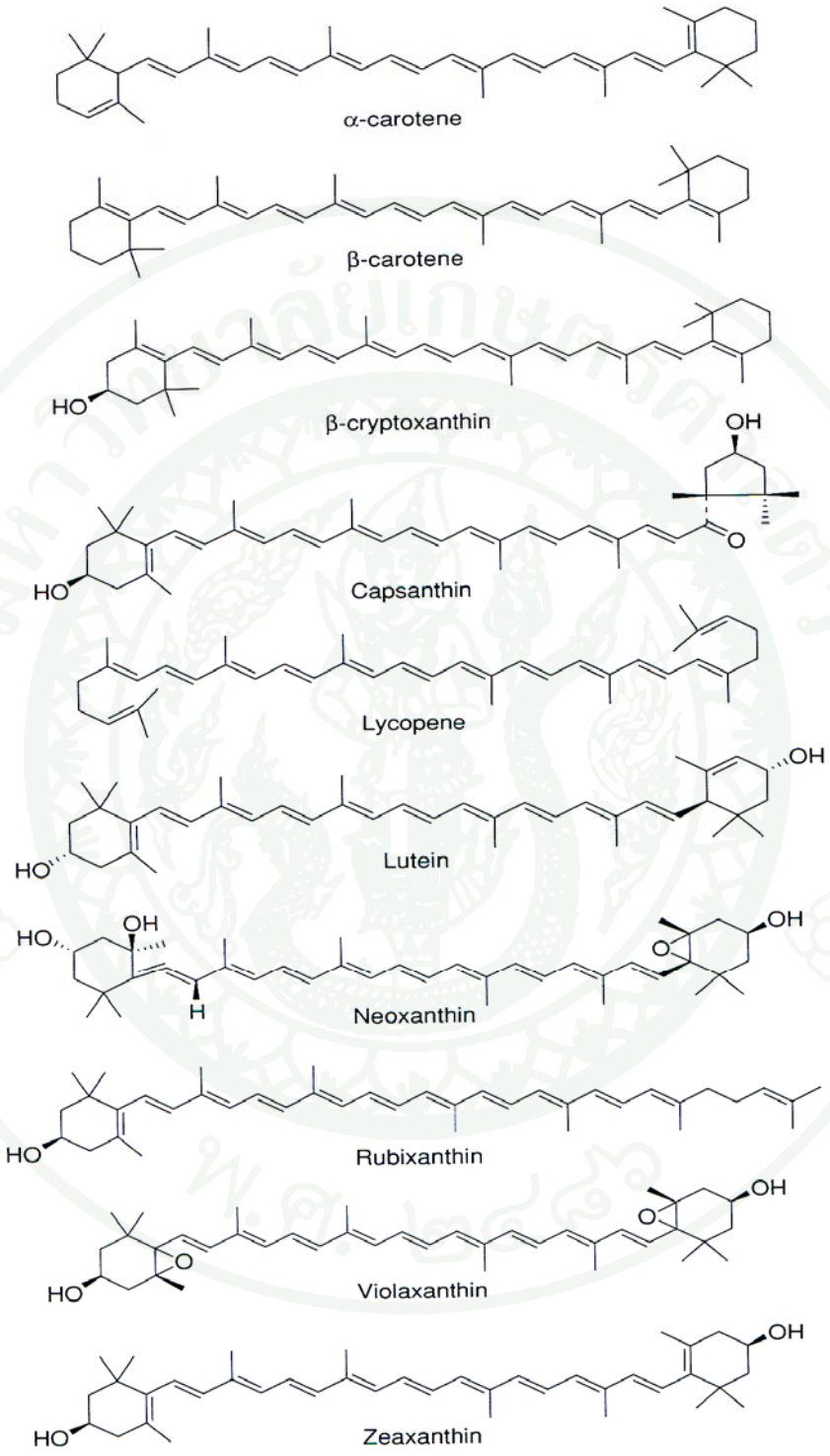
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากจะทำให้พืชเจริญเติบโตแล้ว ยังมีผลต่อการป้องกันเซลล์พืชที่บาดเจ็บ และก่อให้เกิด สี และกลิ่นรสเฉพาะของผักและผลไม้แต่ละชนิดด้วย (Johnson and Williamson, 2003)

เบต้า-แคโรทีน (β-carotene)

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่พบทั่วไปในธรรมชาติ จะถูกสังเคราะห์ขึ้นในคลอโรพลาสต์ของพืช เบต้า-แคโรทีน (β-carotene) เป็นสารประกอบแคโรทีนอยด์ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีน ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้โดยพืชและจุลินทรีย์ ลักษณะโครงสร้างของเบต้า-แคโรทีน ประกอบไปด้วยไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) แสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งร่างกายมนุษย์สามารถเปลี่ยนเบต้า-แคโรทีน ให้กลายเป็นวิตามินเอได้เมื่อต้องการ เนื่องจากเบต้า-แคโรทีนเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ เบต้า-แคโรทีนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นวิตามินเอโดยการแตกพันธะคู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของโมเลกุล โดยเอนไซม์ carotene deoxygenase ซึ่งปริมาณเบต้า – แคโรทีน 6 มิลลิกรัมของ จะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 1 RE (retinol equivalent) ซึ่งกลไกการสังเคราะห์เบต้า-แคโรทีนแสดงดังภาพที่ 5 นอกจากนี้เบต้า-แคโรทีนยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยจะเข้าจับอนุมูลอิสระพีรอกซิล (peroxyl) ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ (Burton and Ingold, 1984) เมื่อเบต้า-แคโรทีนสามารถดักจับอนุมูลอิสระเข้าไว้ในโมเลกุลแล้ว โมเลกุลของเบต้า-แคโรทีนจะอยู่ในลักษณะที่มีความเสถียร จากรายงานของกรมอนามัย (2544) ผลมะปรางหวานมีปริมาณเบต้า-แคโรทีนอยู่ 100 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมส่วนที่บริโภคได้

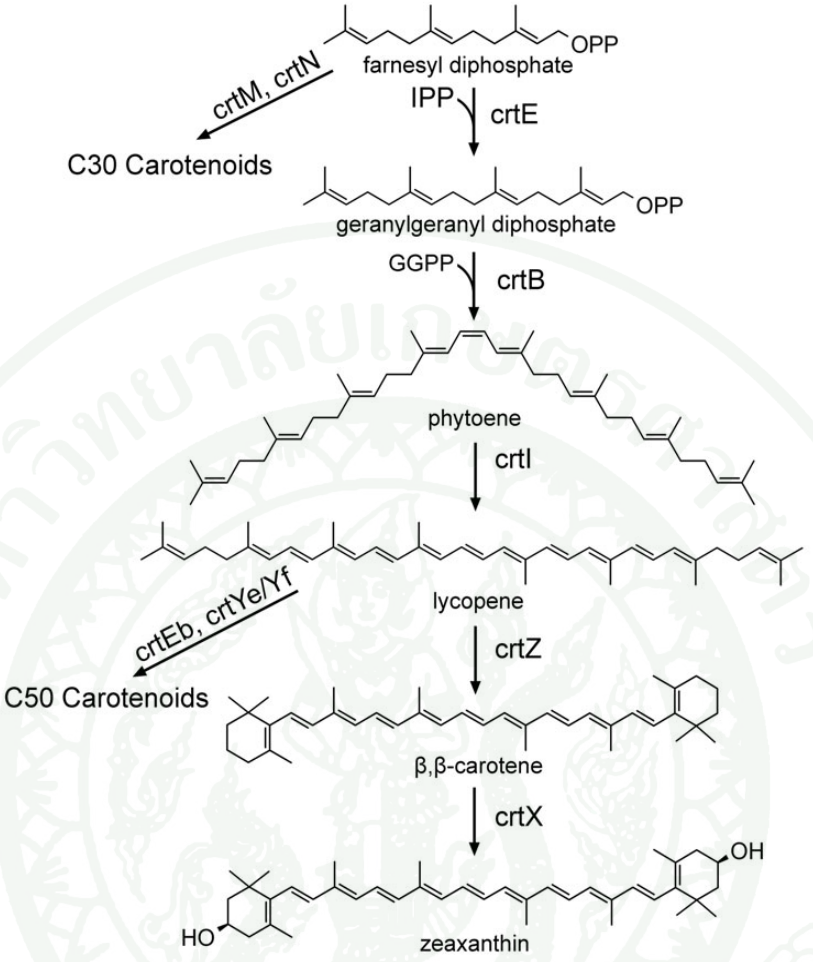
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบแคโรทีนอยด์

ที่มา: Yang (2011)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



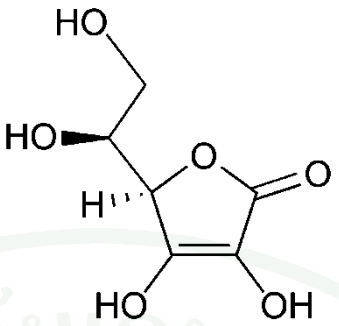
ภาพที่ 5 กระบวนการสังเคราะห์เบต้า-แคโรทีน

ที่มา: Chamler *et al*. (2006)

วิตามินซี (Vitamin C)

วิตามินซี มีชื่อทางเคมีว่า กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นวิตามินที่สามารถละลายในน้ำได้ ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และ ออกซิเจน (O) โดยมีสูตรโมเลกุล คือ $C_6H_8O_6$ แสดงดังภาพที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



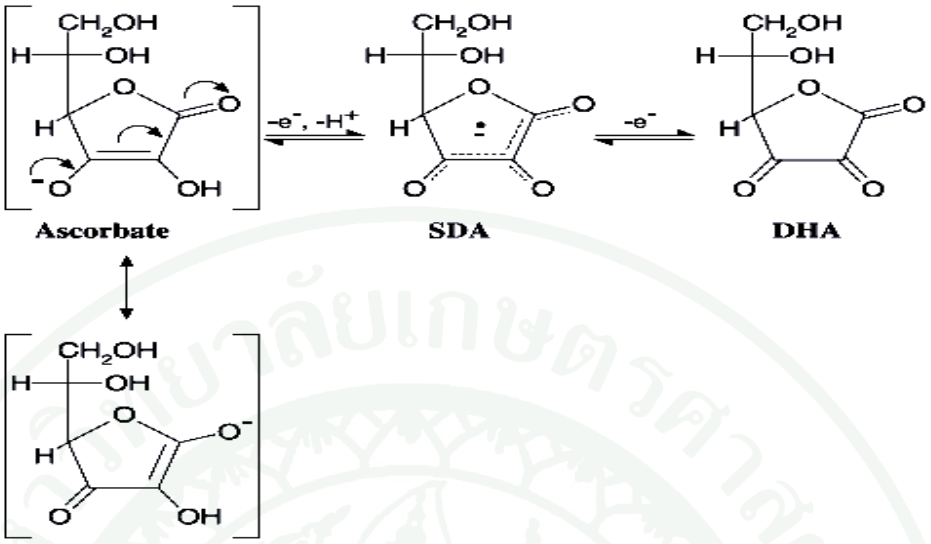
ภาพที่ 6 โครงสร้างวิตามินซี

ที่มา: Vicente *et al*. (2009)

วิตามินซีสังเคราะห์จากกลูโคสและต้องได้รับจากการบริโภคเท่านั้น เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้ และถูกสลายได้ง่ายเมื่อถูกแสง ความร้อน และอากาศ โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นด่างและมีไอออนของเหล็กหรือทองแดงเป็นตัวเร่ง และเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเสีย 2 อิเลกตรอน (electron) และ 2 ไฮโดรเจน (hydrogen) กลายเป็น กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (Linster and Schaftingen, 2006)

วิตามินซี หรือ กรดแอสคอร์บิกในผักและผลไม้ มี 3 รูป ได้แก่ รูป L-ascorbic acid หรือ AA ซึ่งอยู่ในรูปรีดิวซ์ เมื่อมีการสูญเสีย 1 อิเลคตรอน จะอยู่ในรูปอนุมูล Semidehydroascorbate (SDA), รูป Dehydroascorbic acid หรือ DHA และ รูป 2,3- diketogulonic acid ซึ่งขั้นตอนการเปลี่ยนสภาวะของกรดแอสคอร์บิก แสดงดังภาพที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนสภาวะของวิตามินซี

ที่มา: Linster and Schaftingen (2006)

วิตามินซี จัดได้ว่า เป็นสารอาหารที่สำคัญ และสามารถพบได้ในผักและผลไม้ เช่น ฝรั่ง มะขามป้อม สตรอเบอรี่ ผลไม้ตระกูลส้ม บรอคโคลี คะน้า เป็นต้น โดยปกติแล้วปริมาณวิตามินซีที่ร่างกายต้องการในแต่ละวัน คือ 100 - 200 มิลลิกรัมต่อวัน วิตามินซีเป็นสารอาหารที่ไม่ทนต่อแสง ความร้อน และออกซิเจน ซึ่งจะสลายได้ตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยวและเมื่อเก็บรักษาผักผลไม้เป็นเวลานาน (Murcia *et al*., 2000) ดังนั้น การแปรรูป หรือการเก็บรักษาผักผลไม้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม อาจจะเป็นสาเหตุของการสูญเสียวิตามินซีได้

Njoku *et al*. (2011) รายงานว่า อุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของปริมาณวิตามินซีมีผลไม้ตระกูลส้ม โดยการเก็บผลไม้ไว้ในอุณหภูมิต่ำจะช่วยรักษาปริมาณวิตามินซีของผลไม้ไว้ได้ดีกว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะการเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

นอกจากนี้วิตามินซียังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยจะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl) และอนุมูลพีรอกซิล (peroxyl) และสามารถเป็นตัวส่งเสริมประสิทธิภาพของการเป็นสารต้านออกซิเดชันของวิตามินอีอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระเกิดได้จากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของสารไปยังตัวออกซิไดส์ ทำให้กลายเป็นสารที่ไม่เสถียร และสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างว่องไวโดยอนุมูลอิสระจะไปแย่งจับหรือดึงเอาอิเล็กตรอนจากโมเลกุลหรืออะตอมสารที่อยู่ข้างเคียงเพื่อให้ตัวเองเสถียร สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลต่างๆของร่างกาย เช่น ไขมัน โปรตีน หรือสารพันธุกรรม เป็นต้น (Huang *et al*, 2005) ความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงตามความเป็นกรด – ด่าง (pH) อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น ซึ่งการที่อนุมูลอิสระเข้าทำลายเซลล์ในร่างกาย ส่งผลให้เกิดภาวะที่มีอนุมูลอิสระมากเกินไป และก่อให้เกิดอันตรายกับร่างกาย โดยเรียกสภาวะนี้ว่า “Oxidative Stress” ซึ่งเกี่ยวข้องกับโรคหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรืออะตอมมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากวงโคจรให้กับโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยปฏิกิริยานี้มักจะเกี่ยวข้องกับออกซิเจน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น มีความเกี่ยวข้องกับการก่อให้เกิดอนุมูลอิสระมากมาย และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอื่นเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป

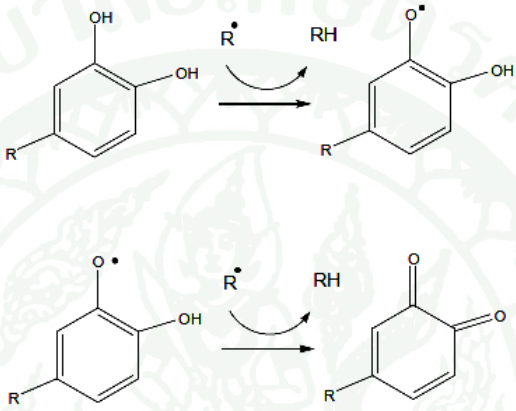
สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) คือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลของสารอื่นๆได้ หรือ สารที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระออกจากร่างกาย ในร่างกายมีสารต้านอนุมูลอิสระ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สารต้านอนุมูลอิสระประเภทเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ catalase, glutathione peroxidase, cytochrome C peroxidase เป็นต้น และประเภทสารต้านอนุมูลอิสระประเภทไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน วิตามินซี วิตามินอี, สังกะสี ทองแดง โคเอนไซม์ คิวเท็น สารประกอบฟีนอล เป็นต้น โดยสามารถแบ่งกลไกในการยับยั้งได้เป็น 3 ชนิด คือ กลไกการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant), กลไกการทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (Scavenging antioxidant) และ กลไกการทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง (Chain breaking antioxidant) (Benzie and Strain, 1999)

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่พบมากในพืช โดยสังเคราะห์จากกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น แต่ในพืชบางชนิดสามารถสังเคราะห์ได้จาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดอะมิโนไทโรซีน (tyrozine) (Shahidi and Naczk, 2004) ซึ่งโครงสร้างหลักประกอบด้วยวงเบนซีนที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 หมู่ เมื่อมีอนุมูลอิสระมาดึงอิเล็กตรอน แต่เนื่องจากภายในโครงสร้างมีอิเล็กตรอนอยู่กันหนาแน่นจึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายอนุมูลอิสระไปทั่วโครงสร้าง (delocalization) ทำให้โครงสร้างเกิดความเสถียร ซึ่งกลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: Pietta (2000)

วิธีการตรวจสอบความสามารถในการเป็นตัวต้านออกซิเดชัน และการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล มีดังนี้

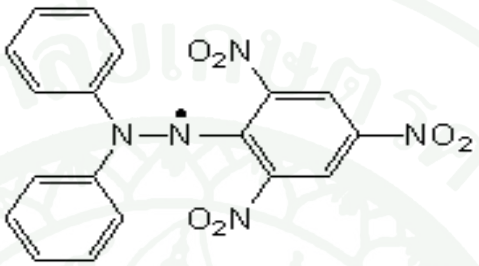
1. Folin – Ciocalteau reagent (FCR)

เป็นวิธีวัดความสามารถในการรีดิวซ์ของตัวอย่าง โดยในวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก ง่าย สามารถทำซ้ำได้ และช่วงค่าการดูดกลืนแสงเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ยาว ซึ่งสามารถช่วยลดการรบกวนจากลักษณะของตัวอย่างได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. 2,2-Diphenyl-1-picryhydrazyl radical scavenging capacity assay (DPPH assay)

เป็นวิธีที่ใช้ 2,2-Diphenyl-1-picryhydrazyl เป็นตัวรีเอเจนต์ (reagent) (ภาพที่ 9) ซึ่งสารละลายมีสีม่วงและมีช่วงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร



ภาพที่ 9 โครงสร้างของ 2,2-Diphenyl-1-picryhydrazyl radical (DPPH radical)

ที่มา: Grigelmo-Miguel *et al*. (2010)

อนุมูลอิสระ DPPH จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (AH) หรือ radical species (R•) แสดงดังสมการ

$$DPPH\bullet + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A\bullet$$

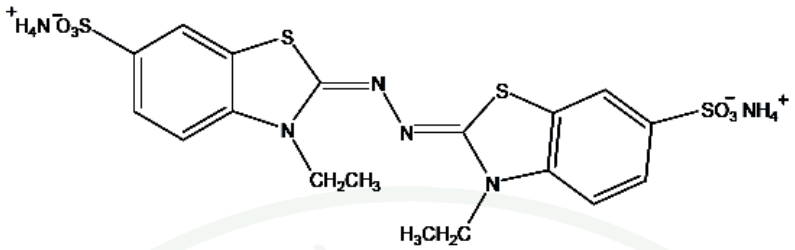
$$DPPH\bullet + R\bullet \longrightarrow DPPH\text{-}R$$

วิธีนี้เป็นวิธีการตรวจสอบที่สะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการวิเคราะห์และสามารถให้ค่าที่ถูกต้อง แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถวิเคราะห์หาความสามารถต้านออกซิเดชันของเลือดได้

3. 2’2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical scavenging assay (ABTS assay)

เป็นวิธีวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชันโดยใช้ 2’2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt เป็นตัวรีเอเจนต์ (reagent) (ภาพที่ 10) และมีช่วงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

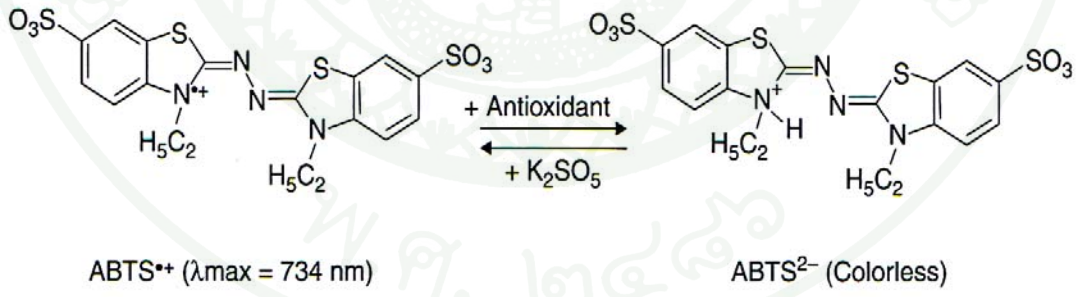
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 โครงสร้างของ 2'2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium Salt (ABTS radical)

ที่มา: Grigelmo-Miguel *et al*. (2010)

การทำให้เกิดอนุมูลอิสระสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน การใช้สารเคมี เช่น โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต (potassium persulfate) แมกกานีสไดออกไซด์ (manganese dioxide) เป็นต้น ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ $ABTS^{2-}$ กับ โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ $ABTS^{2-}$ กับ โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต

ที่มา: Grigelmo-Miguel *et al*. (2010)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 มะยงชิด (*Boucaburmanica Griff.*) พันธุ์ทูลเกล้า โดยผลมะยงชิดมีลักษณะปราศจากตำหนิ และแมลงกัดแทะ ซึ่งเก็บเกี่ยวจากสวนของเกษตรกรในอำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก

1.1.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิ นับอายุการเก็บเกี่ยว 75 วันหลังดอกบานเต็มที่ (day after full bloom: DAFB)

1.1.2 การศึกษาผลของอายุการเก็บเกี่ยว นับอายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB โดยมีการติดป้ายของดอกเพื่อความถูกต้องในการนับจำนวนวัน

1.1.3 การศึกษาผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลง นับอายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB

1.2. ฟิล์มพลาสติกซึ่งผลิตจากศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ คือ

1.2.1 ชนิดพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 9,200 cc/m^2/day

1.2.2 ฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน รหัส - 1 (Biaxially Oriented Polypropylene; BOPP-1) เจาะรูด้วยเลเซอร์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 7,600 cc/m^2/day

1.2.3 ฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน รหัส - 2 (Biaxially Oriented Polypropylene; BOPP-2) เจาะรูด้วยเลเซอร์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 11,700 cc/m^2/day

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.4 ฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน รหัส - 3 (Biaxially Oriented Polypropylene; BOPP-3) เจาะรูด้วยเลเซอร์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 16,800 cc/m^2/day

2. สารเคมี

2.1 เมทานอล (Methanol; CH_3OH: Analytical grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, NJ, U.S.A.)

2.2 เมทานอล (Methanol; CH_3OH: HPLC grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, NJ, U.S.A.)

2.3 โฟลิน-ซีโอเคาทู (Folin-Ciocalteu reagent; Analytical grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)

2.4 กรดแกลลิก (Gallic acid; $(HO)_3C_6H_2CO_2H$: Analytical grade, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)

2.5 โพแทสเซียม ได-ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Potassium di-hydogen phosphate; KH_2PO_4: Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)

2.6 ได-โพแทสเซียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Di-potassium hydrogen phosphate; K_2HPO_4: Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)

2.7 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH: Analytical grade, Merck, Germany)

2.8 อะซีโตรไนไตร (Acetronitrile; CH_3CN: HPLC grade, Mallinckrodt Baker Inc., Phillipsburg, NJ, U.S.A.)

2.9 2, 2'-อะโซบิส (2-อะมิดิโนโพรเพน) ไฮโดรคลอริก; (2, 2,'-azobis-(2-amidinopropane) HCl: AAPH, Aldrich, Steinheim, Germany)

2.10 2, 2'-อะซิโน-บิส (3-เอทิลเบนโซไทอะโซลิน-6-ซัลโฟนิก แอซิด) แอมโมเนียม; (2, 2,'-Azino-bis(3- ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt): ABTS, Aldrich, Steinheim,Germany)

2.11 2, 2-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮดราซิล; (2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) (DPPH, Aldrich, Steinheim, Germany)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.12 กรดไฮโดรคลอริก 37% (37% Hydrochloric acid; HCl: Analytical grade, Merck, Germany)

2.13 ฟีนอล์ฟทาลีน (phenopthalein, Merck, Germany)

2.14 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate; Na_2CO_3: Analytical grade, Ajax Finechem, Auckland, New Zealand)

2.15 เบต้า-แคโรทีน (β-carotene type II synthetic ≥ 95% crystalline; $C_{40}H_{56}$, HPLC, Sigma-Aldrich, St. Louise, U.S.A.)

2.16 อะซิโตน (Acetone; CH_3COCH_3: Analytical grade, Fisher Scientific, Leicestershire, UK)

2.17 เฮกเซน (Hexane; C_6H_{12}: Analytical grade, J.T. Baker, U.S.A.)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer: Model Spectronic Genesys 10 UV Scanning Thermo Electron Corporation, U.S.A.)

3.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath: Model WB 7/14/22/29/45, Memmert, Schwach, Germany)

3.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter: Orion 2 Star, Beverly, Massachusetts., USA.)

3.4 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) Model ATAGO N - α (0-32 %Brix)

3.5 เครื่องสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียง (Sonicator: Bandelin Sonorex,Model RK 52, Berlin, Germany)

3.6 เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge: Sorvall RC 5C Plus Superspeed Centrifuge, Minnesota, USA)

3.7 เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนแบบปรับอุณหภูมิ (Refrigerator centrifuge : RC 5C, Bandelin Sonorex, Germany)

3.8 เครื่องวัดสี (Ultrascan XE: Japan)

3.9 เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer: genie II, U.S.A.)

3.10 ตู้แช่เยือกแข็ง (- 40 องศาเซลเซียส) (Freezer: SF-C995 (GYN), Sanyo, Thailand)

3.11 ตู้แช่เยือกแข็ง (- 20 องศาเซลเซียส) (Freezer: SF-C995 (GYN), Sanyo, Thailand)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.12 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Balance 2 decimal: Model TP2KS, OHAUS, U.S.A)

3.13 เครื่องชัง 4 ตำแหน่ง (Balance 4 decimal Model ED2248, Series Extend, Satorius, Germany)

3.14 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography: Waters, Mailford, MA, U.S.A.)

3.15 เครื่องโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ (Gas Chromatograph: HP model 6890, Hewlet Packard, U.S.A.) ต่อกับ Mass selective setector (mass spectrometer; MS: HP 5973, Hewlet Packard, U.S.A.)

3.16 เครื่องโครมาโทกราฟีแบบแก๊ส (Gas Chromatograph: 6890N, Agilent Technology, U.S.A.) ต่อกับ Thermal conductivity detector (TCD) และ Flame ionization detector (FID) (6890N, Agilent Technology, U.S.A.)

3.17 เครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer: T10 basic, Australia)

3.18 เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Testometric Model 350, England)

3.19 แผงควบคุมอัตราการไหล (Flow board)

3.20 ห้องควบคุมอุณหภูมิ 5, 10 และ 13 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง $\pm$ 2 องศาเซลเซียส)

3.21 ถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene, PP) ขนาด 12.3 X 18.3 X 4.8 เซนติเมตร (กว้าง X ยาว X สูง)

3.22 ขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตรพร้อมยางกันรั่วและฝาปิดอะลูมิเนียม

3.23 นาฬิกาจับเวลา (Digital timer, Model TMR-71, Casio, China)

3.24 ชุดเครื่องแก้วมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างมะยงชิด

นำผลมะยงชิดที่ผ่านการคัดเลือกมาทำความสะอาด โดยใช้กรรไกรปลายแหลมผ่านการทำความสะอาดโดยใช้แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 ตัดก้านแต่ละผลให้เหลือความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ยางไหลเปื้อนบริเวณผิวของผล จากนั้นคว่ำขั้วผลลงทันที และวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อปล่อยให้น้ำยางไหลออกให้หมด จากนั้นใช้แปรงขนอ่อนปัดสิ่งสกปรกที่ติดมากับผลออก

2. การสร้างเกณฑ์การให้คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิด

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์การให้คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพจากลักษณะปรากฏ ดังนั้นเพื่อการให้คะแนนลักษณะปรากฏผลมะยงชิดของการทดลองทั้งหมดอยู่ในหลักเกณฑ์เดียวกัน จึงมีการสร้างมาตรฐานการให้คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดโดยการถ่ายภาพลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่มีลักษณะปรากฏแตกต่างกันและให้คะแนนลักษณะปรากฏจาก 1 – 5 (ภาพที่ 12)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5 คะแนน หมายความว่า ลักษณะปรากฏดีมาก (Very Good) ผลมะยงชิดมีลักษณะสดเหมือนเก็บเกี่ยวมาใหม่ มีความบริบูรณ์ของผลร้อยละ 90 - 100 สีผิวมีความสม่ำเสมอ ไม่มีลักษณะเหี่ยวบริเวณขั้ว ไม่มีรอยปริแตก และไม่เกิดโรค ปราศจากตำหนิ

4 คะแนน หมายความว่า ลักษณะปรากฏดี (Good) ผลมะยงชิดยังมีลักษณะใกล้เคียงกับผลสด มีความบริบูรณ์ของผลร้อยละ 70 - 90 สีผิวคล้ำขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงมีสีสม่ำเสมอ ไม่มีลักษณะเหี่ยวบริเวณขั้ว ไม่มีรอยปริแตก และไม่เกิดโรค ปราศจากตำหนิ

3 คะแนน หมายความว่า ลักษณะปรากฏพอใช้ (Fair) และยังเป็นที่ยอมรับได้ (Limit of acceptability) มีความบริบูรณ์ของผลร้อยละ 50 - 70 ผลมะยงชิดเริ่มมีสีเข้มขึ้นแต่ยังคงมีสีสม่ำเสมอทั้งผล ไม่มีรอยปริแตก และไม่เกิดโรค

2 คะแนน หมายความว่า ลักษณะปรากฏไม่ดี (Poor) มีความบริบูรณ์ของผลร้อยละ 30 - 50 ผลมะยงชิดมีสีส้มอมสีน้ำตาล บริเวณผลเริ่มหี่ยว หรือเริ่มมีรอยปริแตก แต่ไม่เกิดโรค

1 คะแนน หมายความว่า ลักษณะปรากฏไม่ดีมาก (Very Poor) มีความบริบูรณ์ของผลต่ำกว่าร้อยละ 30 ผลมะยงชิดมีสีส้มอมสีน้ำตาลมาก บริเวณผลเหี่ยวมาก หรือเห็นรอยปริแตกอย่างชัดเจน และเกิดโรค

ภาพที่ 12 เกณฑ์การให้คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะยงชิด

เตรียมผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยว 75 วันหลังดอกบานเต็มที่ (Day After Full Bloom; DAFB) ตามขั้นตอนในข้อ 1 จากนั้นบรรจุผลมะยงชิดน้ำหนักประมาณ 1,200 – 1,300 กรัม เรียงใส่โถแก้วขนาด 2 ลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 13 องศาเซลเซียส โดยการคัดเลือกอุณหภูมิที่นำมาใช้ในการวิจัย ใช้หลักการเลือก คือ อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ คือ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิตู้เย็น อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิของชั้นวางจำหน่ายผัก - ผลไม้ในห้างสรรพสินค้า และอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลไม้เขตร้อน ตรวจวัดคุณภาพของผลมะยงชิดในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 วันของการเก็บรักษา ตรวจวัดทั้งผลมะยงชิด ได้แก่ คะแนนลักษณะปรากฏ, สี และ ความแน่นเนื้อ ตรวจวัดโดยใช้น้ำคั้นมะยงชิด ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และ ค่าความเป็นกรด – เบส

3.1 ประเมินคุณภาพลักษณะปรากฏ โดยผู้ทดสอบ 5 คน สังเกตลักษณะปรากฏ แล้วให้คะแนนด้วยการเปรียบเทียบกับเกณฑ์การให้คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิด

3.2 สีของเปลือกและเนื้อของผลมะยงชิด โดยใช้เครื่อง Ultrascan XE รายงานค่าสีเปลือกและเนื้อในระบบ CIE L*a*b* โดยวัดสีผลมะยงชิด 10 ผล บริเวณขั้วผล, กลางผล และท้ายผล ตำแหน่งละ 3 ซ้ำ และนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเฉลี่ยเป็นค่าสีแต่ละผล และนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของสี ($\triangle E^*$) ดังสมการ

$$\triangle E^* = [(\triangle L^*)^2+(\triangle a^*)^2+(\triangle b^*)^2]^{1/2}$$

3.3 ความแน่นเนื้อของผลมะยงชิด โดยใช้วิธีดัดแปลงจาก Nunes *et al*. (2006) โดยการทดสอบค่าแรงกดของมะยงชิดทั้ง 10 ผล ด้วยเครื่อง TX-XT2 texture analyzer ใช้ Load cell ขนาด 50 กิโลกรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิลิตร กดลึก 0.5 เซนติเมตรด้วยความเร็ว 10 มิลลิลิตรต่อนาที วัดตำแหน่งผล 4 ตำแหน่งของผล ตำแหน่งละ 2 ครั้ง เฉลี่ยเป็นค่าความแน่นเนื้อแต่ละผล รายงานผลในหน่วยนิวตัน (N)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยการตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำคั้นมะยงชิด โดยใช้เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Hand refractometer) รายงานผลในหน่วยองศาบริกซ์ (^{0}Brix)

3.5 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2002) โดยคั้นน้ำจากผลมะยงชิดที่ปอกเปลือกแล้ว จากนั้นไทเทรตน้ำคั้นมะยงชิดปริมาตร 5 มิลลิลิตรด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน 1 เปอร์เซ็นต์เป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 1 – 2 หยด ไทเทรตจนถึงจุดยุติอย่างน้อย 5 วินาที จากนั้นคำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรต(กรดซิตริก)ได้ ดังสมการ

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (\%)} = \frac{\text{(mL NaOH) X (N NaOH) X (meq.wt. of citric acid) X 100}}{\text{mL of sample}}$$

โดยที่ mL NaOH = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต

N NaOH = normalirty ของ NaOH = 0.1 N

Milliequivalent weight of citric acid = น้ำหนักกรัมสมมูลของกรดซิตริก = 0.06404

mL of sample = จำนวนมิลลิลิตรของตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต

3.6 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากข้อที่ 3.4 กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จากข้อที่ 3.5

3.7 ค่าความเป็นกรด – เบส โดยวัดค่าความเป็นกรด – เบสของน้ำคั้นมะยงชิด ด้วยเครื่อง pH meter

4. การศึกษาผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและความสามารถต้านออกซิเดชันของมะยงชิด

เตรียมผลมะยงชิดที่มีอายุเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB ตามขั้นตอนในข้อ 1 ห่อผลมะยงชิดด้วยกระดาษ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ 3) ตรวจวัดคุณภาพของผลมะยงชิดในวันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 วันของการเก็บรักษา โดยตรวจวัดทั้งผลมะยงชิด ได้แก่ คะแนนลักษณะปรากฏ, สี และ ความแน่นเนื้อ ตรวจวัดโดยใช้น้ำคั้นมะยงชิด ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้, ค่าความเป็นกรด - เบส, ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถต้านออกซิเดชัน ทำการปอกเปลือกโดยแยกเปลือกและเนื้อ แช่ไนโตรเจนเหลว เก็บไว้ที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเบต้า-แคโรทีนและปริมาณวิตามินซี

4.1 ประเมินคุณภาพลักษณะปรากฏ ตามวิธีการในข้อ 3.1

4.2 ค่าสี ตามวิธีการในข้อ 3.2

4.3 ความแน่นเนื้อ ตามวิธีการในข้อ 3.3

4.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ตามวิธีการในข้อ 3.4

4.5 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ตามวิธีการในข้อ 3.5

4.6 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากข้อที่ 4.4 กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จากข้อที่ 4.5

4.7 ค่าความเป็นกรด – เบส ตามวิธีการในข้อ 3.7

4.8 การสูญเสียน้ำหนัก โดยวัดค่าน้ำหนักสดในวันเริ่มต้นและวันที่วัดผลโดยใช้เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ดังนี้

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.9 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Larsen and Watkins (1995) โดยนำน้ำคั้นมะยงชิดปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยยางซิลิโคนกันรั่วซึมและปิดทับด้วยฝาอะลูมิเนียม เก็บรักษาขวดทดสอบไว้ที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำมาวิเคราะห์ระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน เมื่อต้องการวิเคราะห์ นำขวดทดสอบมาละลายน้ำแข็งเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเก็บแก๊สด้วยกระบอกเก็บแก๊สบริเวณช่องว่างบรรยากาศจากขวดตัวอย่างปริมาตร 3 มิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี (Gas Chromatography; GC) (Chrompack CP9002) ซึ่งมีสภาวะสำหรับการวิเคราะห์ ดังนี้

Column : DB – Wax (30 m X 0.53 mm)
Volume inject : 100 µL
Mobile phase : He, Flow rate = 80 ml/min
Oven temperature : 50^0C
Detector temperature : Frame ionize detector (FID) 150^0C
Injection temperature : 100^0C

จากนั้นคำนวณปริมาณเอทานอลโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานเอทานอล รายงานผลในหน่วยร้อยละ

4.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Total phenols assay โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Lee (2002) ปิเปตน้ำคั้นมะยงชิดปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโฟลิน-ซีโอเคาทู (Folin-Ciocalteu) 0.1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 6 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 7 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ตั้งไว้ในอุณหภูมิห้องนาน 90 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกความเข้มข้น 20 – 100 ppm รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำคั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.11 ความสามารถต้านออกซิเดชัน (Antioxidant capacity)

4.11.1 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2 –Diphenly-1-picrylhydrazyl (DPPH) (DPPH Radical Scavenging Capacity) ตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al*. (2002) นำน้ำคั้นผลมะยงชิดปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร คำนวณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซีความเข้มข้น 20 – 100 ppm รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำคั้น

4.11.2 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2,2’ – azobis (3-ethylbenzthiazoline – 6 – sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) (ABTS Radical Scavenging Capacity) ตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al*. (2002) นำขวดของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer หรือ PBS) 100 มิลลิลิตร วางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม 0.1 มิลลิโมลาร์ 2, 2’ – azobis – (2- amidinopropane) HCl (AAPH) และ 2.5 มิลลิโมลาร์ ABTS (เตรียมสารละลายอนุมูลอิสระโดยใช้ AAPH 27.117 มิลลิกรัม และ ABTS 137.175 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร PBS) ลงไป ให้ความร้อน 20 นาที โดยกวนทุก 5 นาที และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นกรองสารละลายอนุมูลอิสระโดยใช้ GHP Acrodisc® 25 mm Syringe Filter with 0.45 μm GHP membrane เจือจางสารละลายที่ได้ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จนกระทั่งได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.650 ± 0.020 นาโนเมตร บ่มสารละลายอนุมูลอิสระที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการวิเคราะห์ ผสมกับน้ำคั้นผลมะยงชิดปริมาตร 20 ไมโครลิตร และสารละลายอนุมูลอิสระ 980 ไมโครลิตร และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร คำนวณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซีความเข้มข้น 20 – 100 ppm รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำคั้น

4.12 ปริมาณสารประกอบเบต้า-แคโรทีน (β-carotene)

4.12.1 การสกัดสารประกอบเบต้า-แคโรทีน โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Ferruzzi *et al*. (1998) นำตัวอย่างมะยงชิดที่แช่ไนโตรเจนเหลวมาบดในเครื่องปั่นจนละเอียด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากนั้นชั่งตัวอย่างหนัก 0.1 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง เติมเมทานอล 5 มิลลิลิตรและเฮกเซน 5 มิลลิลิตร โฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน โดยหล่อน้ำแข็งเป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงโดยเครื่องหมุนเหวี่ยงแยกตะกอนแบบปรับอุณหภูมิด้วยความเร็วรอบ 4,500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้น แยกเบต้า-แคโรทีนที่อยู่ในชั้นเฮกเซนใส่หลอดทดลองและระเหยด้วยแก๊สไนโตรเจน เติมเฮกเซน 5 มิลลิลิตร ลงในส่วนที่เหลือในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยงแล้วทำการสกัดซ้ำจนชั้นเฮกเซนไม่มีสี แล้วนำชั้นเฮกเซนที่ได้มารวมกัน จากนั้นระเหยด้วยแก๊สไนโตรเจนจนแห้ง แล้วเติมเฮกเซน 3 มิลลิลิตร ผสมสารละลายด้วยเครื่องผสมสารละลาย กรองตัวอย่างผ่านแผ่นกรอง 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในขวดใส่สารสีชา และฉีดเข้าเครื่อง HPLC (High Perfomance Liquid Chromatography)

4.12.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเบต้า-แคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Craft (2001) ฉีดสารสกัดจากข้อ 4.12.1 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยฉีดตัวอย่างละ 2 ครั้งเข้าสู่คอลัมน์ โดยมีวัฏภาคเคลื่อนที่เป็นเมทานอลและอะซิโตนไนไตร อัตราส่วน 90 : 10 ที่มีไตรเมทิลลามีน ร้อยละ 0.1 ด้วยอัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตร/นาที และใช้ UV diode-array detector ตรวจวัดเบต้า-แคโรทีนที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร คำนวณปริมาณเบต้า-แคโรทีน โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของเบต้า-แคโรทีน ความเข้มข้น 1 – 25 ppm รายงานผลเป็นไมโครกรัมเบต้า-แคโรทีนต่อกรัมน้ำหนักสด

4.13 การวิเคราะห์ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydro-L-ascorbic acid) กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) และปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมด

4.13.1 การสกัดปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกและกรดแอสคอร์บิก โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Zapata and Dupour (1992) นำตัวอย่างมะยงชิดที่แช่ไนโตรเจนเหลวมาบดในเครื่องปั่นจนละเอียด จากนั้นนำตัวอย่าง 10 กรัมใส่ในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง เติมสารละลายเมาทานอลร้อยละ 5 ที่มีกรดซิตริก 0.1 M และ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ร้อยละ 0.05 เป็นส่วนผสม 10 มิลลิลิตร โฮโมจิไนซ์นาน 2 นาที เติม กรดไฮโซแอสคอร์บิก (internal standard) 20 มิลลิกรัมต่อผลไม้ 100 กรัม แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงโดยเครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนแบบปรับอุณหภูมิด้วยความเร็วรอบ 10,000 rpm ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แยกส่วนใสออกมา แล้วปรับค่าความเป็นกรด – เบสเป็น 2.35 – 2.40 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก นำส่วนใสมาผ่าน VertiPak C_{18} Tubes ที่มีการ precondition ด้วยเมทานอล (HPLC grade) 10 มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามด้วยน้ำปราศจากอิออน (DI water) 10 มิลลิลิตร ไล่น้ำที่ค้างใน cartridge ด้วยอากาศก่อนนำมาใช้ โดยส่วนใส 5 มิลลิลิตรแรกทิ้งไปและเก็บ 3 มิลลิลิตรถัดมาไว้วิเคราะห์ เติม o-phenylenediamine (OPDA) ความเข้มข้น 3.33 มิลลิกรัม/มิลลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา วางไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างกรองผ่านตัวกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร (VertiClean NYLON Syringe Filters) ใส่ในขวดใส่สารสีชา และฉีดเข้าเครื่อง HPLC

4.13.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกและกรดแอสคอร์บิก โดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Zapata and Dupour (1992) ซึ่งใช้เครื่อง HPLC (Waters, Milford, MA, USA) ระบบประกอบด้วย Waters 600 pumps (Waters, Milford, MA, USA) Waters 996 UV diode-array detector และ Waters 717 plus autosampler โดยการฉีดสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยฉีดตัวอย่างละ 2 ครั้ง เข้าสู่คอลัมน์ชนิด C18 (Symmetry®, 4.6 mm x 250 mm) (Waters, Milford, MA, USA) โดยมีวัฏภาคเคลื่อนที่เป็นเมทานอลกับน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 5 : 95 ที่มี Hexadecyltrimethyl-ammonium bromide (CTAB) 5 mM และโพแทสเซียมไฮ-ไฮโดรเจนฟอสเฟต 50 mM เป็นส่วนผสมและมีค่าความเป็นกรด – เบส 4.59 ด้วยอัตราการไหล (flow rate) 0.6 มิลลิลิตร/นาที และใช้ UV diode-array detector ตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดไอโซแอสคอร์บิก ที่ความยาวคลื่น 261 นาโนเมตรและที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตรสำหรับกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก ประมวลผลที่ได้โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Empower 2 chromatography data software (Waters, Mailford, MA, U.S.A.) ปริมาณกรดแอสคอร์บิก กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และกรดไอโซแอสคอร์บิก เทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และกรดไอโซแอสคอร์บิกตามลำดับที่มีความเข้มข้น 20-100 ppm รายงานผลเป็น กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด) และปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)

5. การศึกษาผลของการบรรจุผลมะยงชิดในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (Modified Atmosphere Packaging; MAP)

เตรียมผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB (อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4) โดยเตรียมผลมะยงชิดตามขั้นตอนในข้อ 1 ทำการบรรจุผลมะยงชิดน้ำหนัก 240-260 กรัม (จำนวน 4 ผล) ลงในขวดแก้วขนาด 750 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และออกของอากาศแบบระบบปิด จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ทำการตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สเอทีลีน ทุกๆ 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 14 วัน เพื่อนำมาคำนวณอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทีลีน ของผลมะยงชิด จากนั้นนำค่าอัตราการหายใจของผลมะยงชิดที่ได้เข้าสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ โดยโมเดลทางคณิตศาสตร์มีการนำพื้นฐานทางจลน์ศาสตร์ของก๊าซรวมไปถึงเมตาโบลิซึมของผลิตผลมาใช้ เพื่อช่วยในการทำนายสัดส่วนของแก๊ส CO_2 และ O_2 ภายในภาชนะบรรจุ (อศิรา และคณะ, 2549) ดังนี้

$$\frac{\Delta [Gas]_{inside}}{\Delta t} = \frac{RT}{PV} (J_{film.Gas} X\ S_{film}) - R_{Gas} X\ W$$

โดยที่ $[Gas]_{inside}$ = ปริมาณแก๊สที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ

t = เวลาการเก็บรักษา

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์

V = ปริมาตรของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ หรือ head space

$J_{film.Gas}$ = อัตราการผ่านเข้าออกฟิล์มในรูปของฟลักซ์ของก๊าซ

S_{film} = พื้นที่ผิว

R_{Gas} = อัตราการใช้หรือผลิตก๊าซจากกระบวนการหายใจอยู่ในรูปของอัตราการหายใจ

W = น้ำหนักของผลิตผล

จากสมการจะได้ค่า $J_{film.Gas}$ นำมาคำนวณจำนวนรูที่เจาะด้วยเลเซอร์ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน โดยค่าที่ได้จะเป็นตัวกำหนดค่าอัตราการซึมผ่านของฟิล์ม ดังนั้น ฟิล์มที่นำมาใช้ในการศึกษาสภาพดัดแปลงบรรยากาศมี 4 ชนิด คือ PE, BOPP- 1, BOPP- 2 และ BOPP- 3 เตรียมผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB (อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4) โดยเตรียมผลมะยงชิดตามขั้นตอนในข้อ 1 บรรจุผลมะยงชิดน้ำหนักบรรจุ 380 - 420 กรัม (จำนวน 8 ผล) ลงในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (Polypropelene; PP) ขนาด 12.3 X 18.3 X 4.8 เซนติเมตร ปิดผนึกด้านบนถาดพลาสติกที่บรรจุผลมะยงชิดด้วยฟิล์ม 4 ชนิด เปรียบเทียบกับผลมะยงชิดชุดควบคุม (control) ซึ่งไม่ปิดฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตรวจวัดคุณภาพของผลมะยงชิดในวันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 วันของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเก็บรักษา โดยตรวจวัดทั้งผลมะยงชิด ได้แก่ คะแนนลักษณะปรากฏ, สี และ ความแน่นเนื้อ ตรวจวัดโดยใช้น้ำคั้นมะยงชิด ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้, ค่าความเป็นกรด - เบส, ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถต้านออกซิเดชัน ทำการปอกเปลือกโดยแยกเปลือกและเนื้อ แช่ไนโตรเจนเหลว เก็บไว้ที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเบต้า-แคโรทีนและปริมาณวิตามินซี และตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ ทุกวัน ตลอดระยะเวลา 18 วันของการเก็บรักษา

5.1 อัตราการหายใจ

เก็บแก๊สตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุผลมะยงชิด ผ่านทางสายยาง โดยใช้กระบอกเก็บแก๊ส (Syringe) ขนาด 5 มิลลิลิตร และปิดปลายกระบอกเก็บแก๊สด้วยเซปตัม (septum) ทันที เพื่อป้องกันการรั่วของแก๊ส โดยทำการปิดขวดโหลก่อนทำการสุ่มแก๊สตัวอย่าง 30 นาที จากนั้นฉีดแก๊สตัวอย่างเข้าเครื่อง Gas Chromatography (GC) (Agilent 6890, U.S.A.) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column : HAYESEP Q 100 / 200 (1.8 m X 1/8 in) และ MOLECULAR SIEVE 5A 80/100 (1.8 m X 1/8 in)

Volume inject : 3.0 mL

Moblie phase : He, Flow rate = 80 mL/min

Oven temperature : 100^0C; CO_2 (Method CO_2.M, 2 mins)

60^0C; CO_2 and O_2 (Method MIX.M, 4.5 mins)

Detector temperature : Thermal conductivity detector (TCD) 200^0C

Reference flow : 20 mL/min

Make-up flow : 5 mL/min

จากนั้นคำนวณอัตราการหายใจ ดังสมการ

$$\text{อัตราการหายใจ} = \frac{2 \text{ X (mL } CO_2\text{) X (vol.of jar – vol. of sample) X (conversion figure)}}{100 \text{ X (kg of sample)}}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ mL CO_2 = จำนวนมิลลิลิตรของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

vol. of jar = ปริมาตรขวดโหล = 750 มิลลิลิตร

vol. of sample = น้ำหนักตัวอย่าง

conversion figure = ค่าน้ำหนักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนจาก 1 มิลลิลิตร เป็นหน่วยมิลลิกรัมที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส = 1.89

kg of sample = จำนวนกิโลกรัมของตัวอย่าง

รายงานหน่วยเป็นมิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง

5.2 อัตราการผลิตเอทิลีน สุ่มเก็บตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุผลมะยงชิด ผ่านสายยาง โดยใช้กระบอกเก็บแก๊ส (Syringe) –ขนาด 20 มิลลิลิตร และปิดปลายกระบอกเก็บแก๊สด้วยเซปตัม (septum) ทันทีเพื่อป้องกันการรั่วของแก๊ส โดยทำการปิดขวดโหลก่อนทำการสุ่มแก๊สตัวอย่าง 1 ชั่วโมง จากนั้นฉีดแก๊สตัวอย่างเข้าเครื่อง Gas Chromatography (GC) (Agilent 6890, U.S.A.) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column :	HAYESEP – S 100/120 (2 m X 0.75 mm)
Volume inject :	5.0 ml
Moblie phase :	He, Flow rate = 80 ml/min
Oven temperature :	40^0C; C_2H_4 (Method C_2H_4.M, 2 min)
Detector temperature :	Frame ionize detector (FID) 250^0C
Reference flow :	20 ml/min
Make-up flow :	5 ml/min

รายงานปริมาณเอทีลีนเป็นหน่วย ppm

5.3 ประเมินคุณลักษณะปรากฏ ตามวิธีการในข้อ 3.1

5.4 ค่าสี ตามวิธีการในข้อ 3.2

5.5 ความแน่นเนื้อ ตามวิธีการในข้อ 3.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ตามวิธีการในข้อ 3.4

5.7 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ตามวิธีการในข้อ 3.5

5.8 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากข้อที่ 5.6 กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จากข้อที่ 5.7

5.9 ค่าความเป็นกรด – เบส ตามวิธีการในข้อ 3.7

5.10 การสูญเสียน้ำหนัก ตามวิธีการในข้อ 4.8

5.11 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น ตามวิธีการในข้อ 4.9

5.12 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีการในข้อ 4.10

5.13 ความสามารถต้านออกซิเดชัน (Antioxidant capacity)

5.13.1 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2 –Diphenly-1-picrylhydrazyl (DPPH) (DPPH Radical Scavenging Capacity) ตามวิธีการในข้อ 4.11.1

5.13.2 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2,2' – azobis (3-ethylbenzthiazoline – 6 – sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) (ABTS Radical Scavenging Capacity) ตามวิธีการในข้อ 4.11.2

5.14 ปริมาณสารประกอบเบต้า-แคโรทีน (β-carotene)

5.14.1 การสกัดสารประกอบเบต้า-แคโรทีน ตามวิธีการในข้อ 4.12.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.14.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเบต้า-แคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC ตามวิธีการในข้อ 4.12.2

5.15 การวิเคราะห์ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydro-L-ascorbic acid) กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) และปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมด

5.15.1 การสกัดปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกและกรดแอสคอร์บิก ตามวิธีการในข้อ 4.13.1

5.15.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกและกรดแอสคอร์บิก โดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตามวิธีการในข้อ 4.13.2

5.16 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ โดยสุ่มแก๊สตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุผลมะยงชิด อย่างละ 5 มิลลิลิตร ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี (Gas Chromatography; GC) คำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน โดยรายงานหน่วยค่าในหน่วยร้อยละ

6.การประเมินผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) สำหรับการศึกษาผลของอุณหภูมิ, การศึกษาผลของอายุการเก็บเกี่ยว และ การศึกษาผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลง วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

กุมภาพันธ์ 2553 ถึง มีนาคม 2555

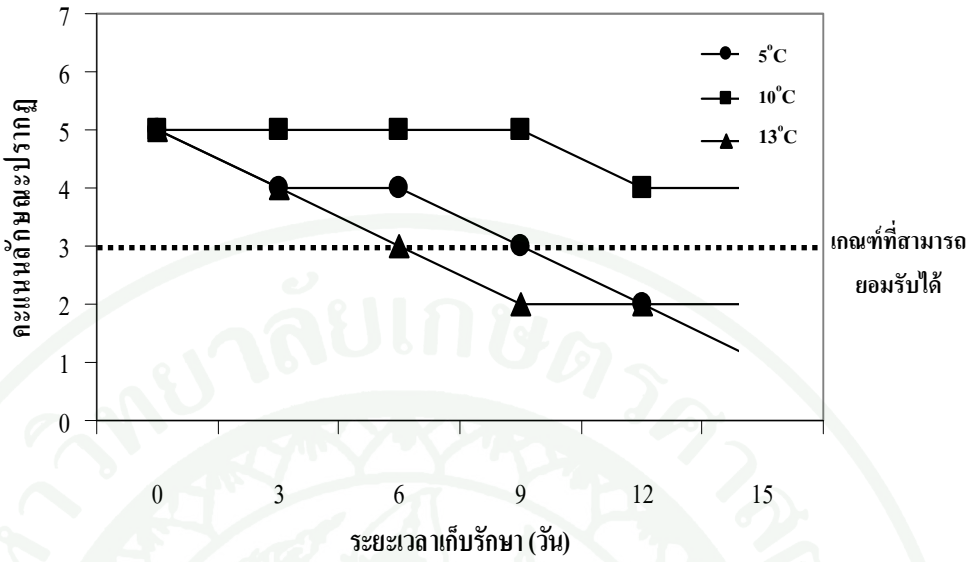
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะยงชิด

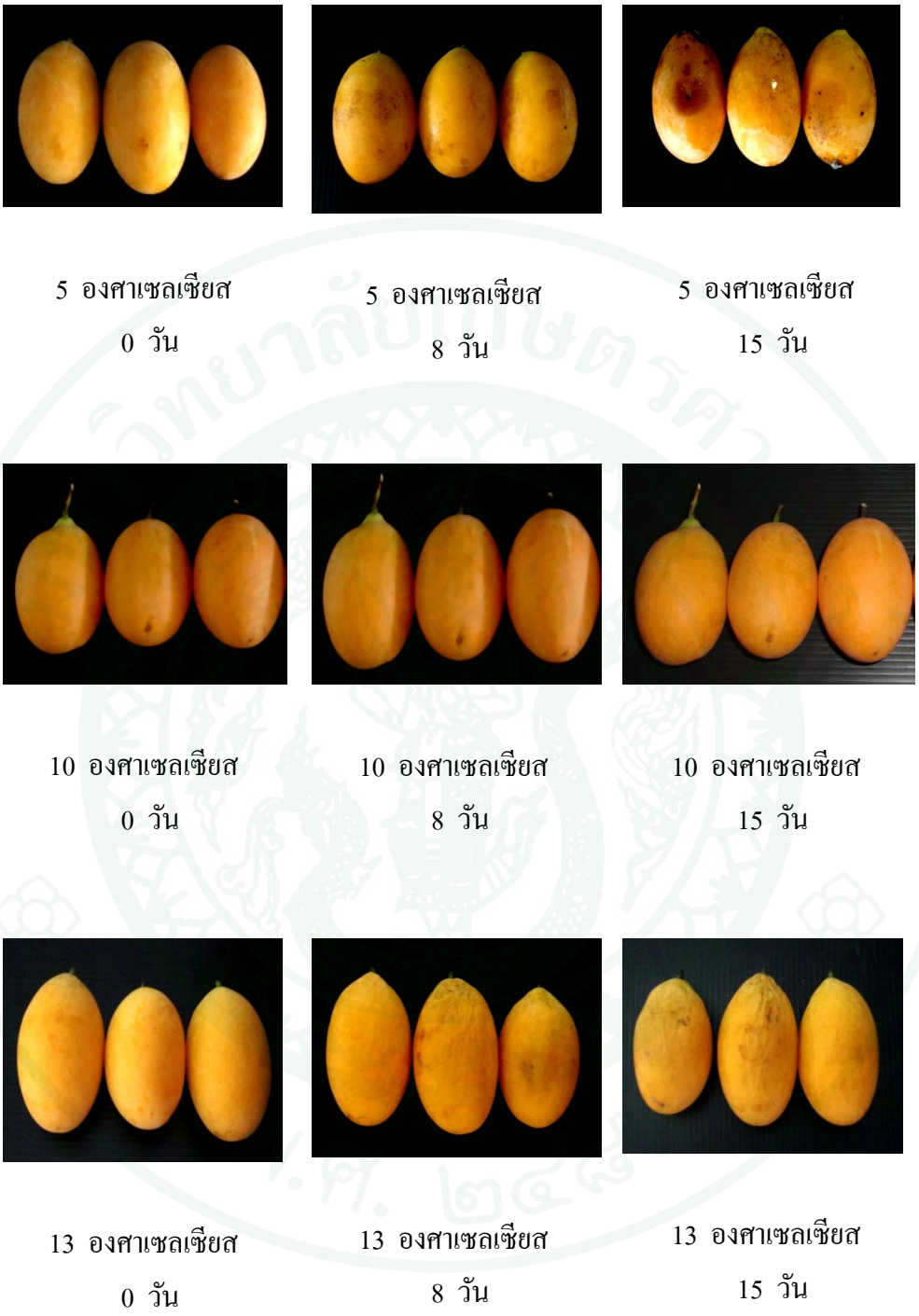
การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของผลมะยงชิด เป็นคุณภาพที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสแรกที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจ สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดอายุการเก็บรักษาผลมะยงชิดได้ปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากผลมะยงชิดเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างชัดเจน จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 วันหลังดอกบานเต็มที่ (Day After Full Bloom; DAFB) ซึ่งเป็นอายุการเก็บเกี่ยวทางการค้า ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดกับเกณฑ์การให้คะแนน (ภาพที่ 12) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ดี (Good) (ภาพที่ 13) ผลมะยงชิดยังมีลักษณะใกล้เคียงกับผลสด มีสีส้มเข้มขึ้นเล็กน้อยแต่สีผิวยังคงมีความสม่ำเสมอ ไม่มีลักษณะเหี่ยวบริเวณขั้วผล รอยปริแตก และการเกิดโรค (ภาพที่ 14) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ในขณะที่ผลมะยงชิดซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ลักษณะปรากฏเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในเกณฑ์ไม่ดีมาก (Very Poor) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับ โดยมีลักษณะของสีผิวเป็นสีส้มอมน้ำตาลมาก บริเวณกลางและก้นผล มีรอยปริแตก และมีการเกิดโรคขึ้นบริเวณก้นผล ลักษณะที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลมะยงชิดเกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) ขณะเดียวกันผลมะยงชิดซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เริ่มมีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี (Poor) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน คือ สีผิวคล้ำ บริเวณขั้วผลเริ่มเหี่ยว บริเวณกลางผลมีรอยปริแตก แต่ไม่แสดงอาการของโรค ลักษณะอาการที่เกิดขึ้นทั้งหมดนั้น เนื่องมาจากผลมะยงชิดเกิดอาการสูญเสียน้ำ และการเสื่อมสภาพ (senescence)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 13 คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



5 องศาเซลเซียส 0 วัน | 5 องศาเซลเซียส 8 วัน | 5 องศาเซลเซียส 15 วัน

10 องศาเซลเซียส 0 วัน | 10 องศาเซลเซียส 8 วัน | 10 องศาเซลเซียส 15 วัน

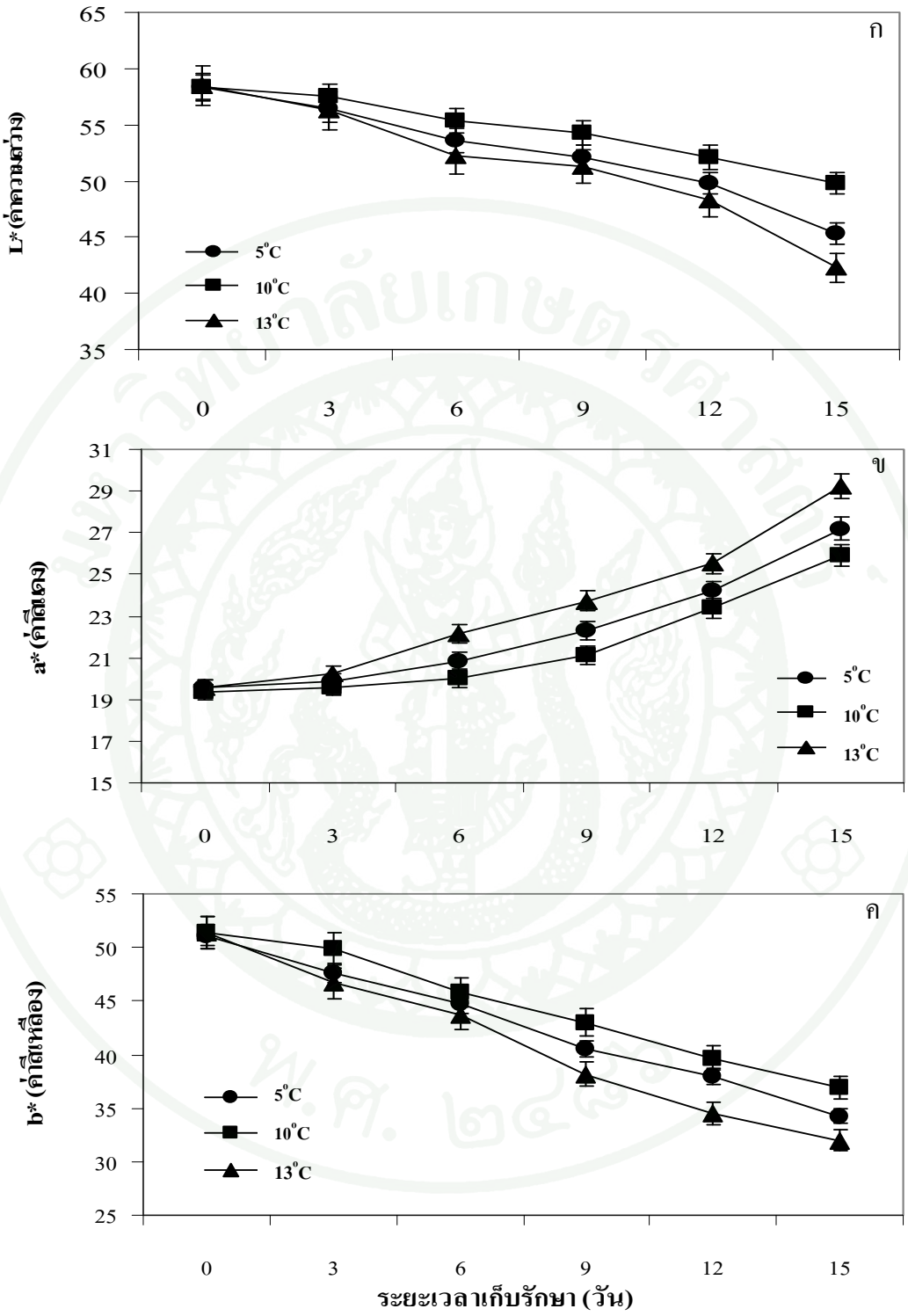
13 องศาเซลเซียส 0 วัน | 13 องศาเซลเซียส 8 วัน | 13 องศาเซลเซียส 15 วัน

ภาพที่ 14 ลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

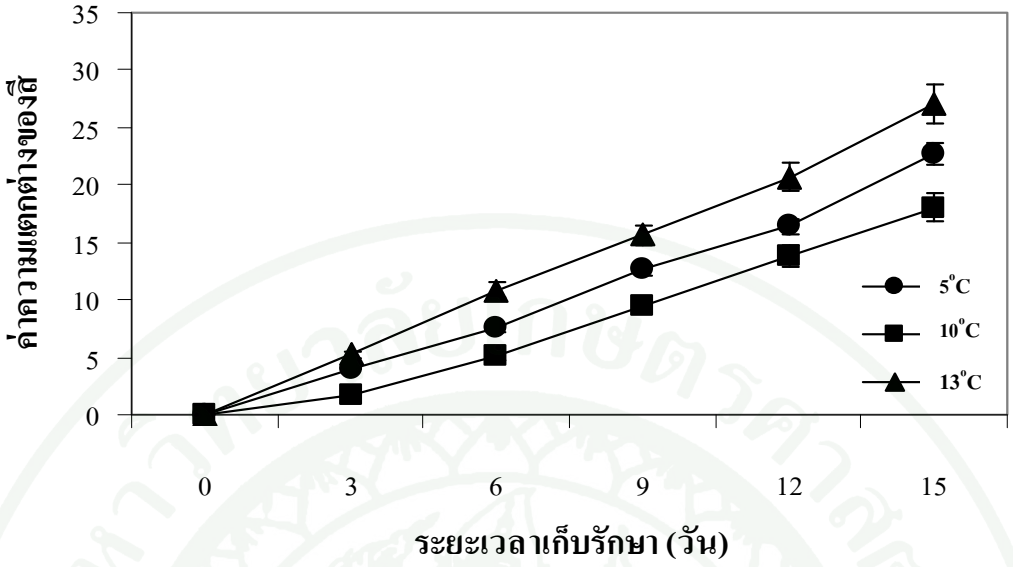
จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นอายุการเก็บเกี่ยวทางการค้า ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 15) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่า L* (ค่าความสว่าง) และค่า b* (ค่าสีเหลือง) มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า a* (ค่าสีแดง) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สีของผลมะยงชิดมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองแกมส้มเป็นสีส้มเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับผลคะแนนลักษณะปรากฏที่ลดลง อาจเนื่องมาจากเมื่อระยะเวลานานขึ้นปริมาณการสะสมของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ถูกสะสมเพิ่มมากขึ้น (Chaplin *et al*., 1991) นอกจากนี้ยังให้ผลสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างของสี (ค่า ΔE*) (ภาพที่ 16) การเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลมะยงชิดเกิดสีผิวคล้ำมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียส ผลมะยงชิดเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) บริเวณเนื้อมีน้ำแฉะ หรือลักษณะฉ่ำน้ำ (water soak area) ทำให้อาหารที่สะสมไว้ถูกทำลาย และได้รับความเสียหายจากการเก็บรักษาจากอุณหภูมิต่ำที่ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่เหนือจุดเยือกแข็งเล็กน้อย ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารอาหารหรือสารเคมีต่างๆออกจากเซลล์ (solute leakage) ซึ่งอาจชักนำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสีจากเอนไซม์ ทำให้เกิดความผิดปกติของสีบริเวณผิว (skin discoloration) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ผลมะยงชิดเกิดลักษณะสีคล้ำขึ้น อาจเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพ (senescence) โดยมีลักษณะอาการที่เรียกว่า surface pitting เนื่องจากเซลล์ของเนื้อเยื่อเกิดการยุบตัวลง การเปลี่ยนแปลงสีลักษณะอาการเช่นนี้เกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำและมีอาการจะรุนแรงมากขึ้นหากเก็บในอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในขณะที่การเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสไม่เกิดทั้งลักษณะของอาการสะท้านหนาวและอาการเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ ยังพบว่า การเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ซึ่งเป็นลักษณะอาการสีผิดปกติ (discoloration) เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และโพริเมอร์ไรเซชั่น (polymerization) ของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนิลลาลานีนแอมโมเนียไลเอส (Phenylalanine ammonia-lyase: PAL), โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase : PPO) และ พีร็อกซิเดส (Peroxidase: POD) (Underhill and Critchley, 1995; Innocenti *et al*., 2007) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ค่าความสว่าง) (ก), ค่า a* (ค่าสีแดง) (ข) และ ค่า b* (ค่าสีเหลือง) (ค) ของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

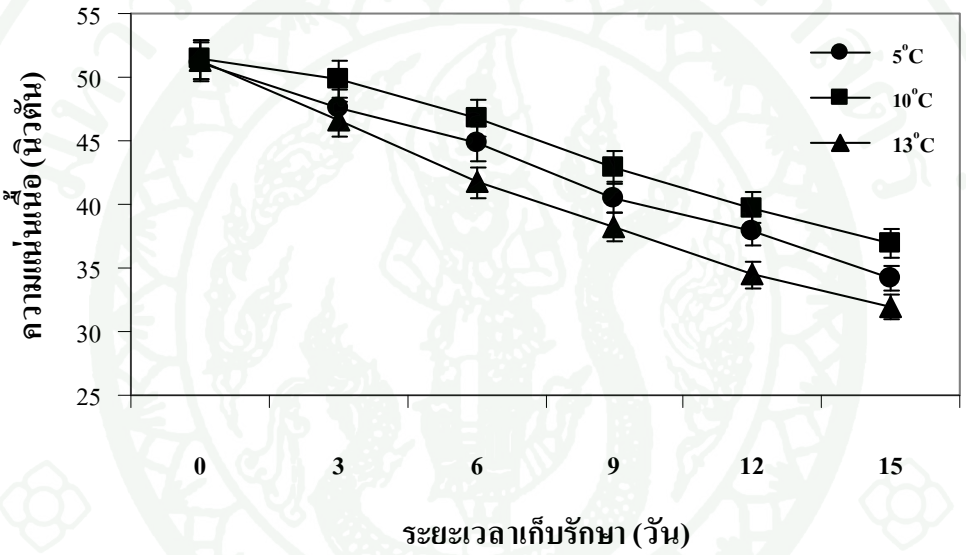


ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสี (ค่าΔE*) ของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน

อุณหภูมิในการเก็บรักษาจัดได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยเฉพาะด้านความแน่นเนื้อ และสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดการเสื่อมสภาพของผลไม้ได้ (Manolopoulou and Papadopoulou, 1998) จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นอายุการเก็บเกี่ยวทางการค้า ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อวันที่ 6 ของระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 17) และมีแนวโน้มลดลดอย่างต่อเนื่องทุกอุณหภูมิเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดลดลงคิดเป็นร้อยละ 45.4, 42.5 และ 49.2 เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 13 องศาเซลเซียสตามลำดับ การเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสมีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดลักษณะเหี่ยวบริเวณขั้วผล ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อบริเวณนั้นมีความบอบบางมากและมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าบริเวณกลางผลและก้นผล ทำให้เซลล์เกิดการสูญเสียน้ำออกสู่สภาพบรรยากาศและสูญเสียความเต่ง (turgidity) ส่งผลให้เนื้อเยื่อยุบตัว (สายชล, 2549) จึงทำให้ผลมะยงชิดเกิดการเสื่อมสภาพ (senescence) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อาจส่งผลให้ผลมะยงชิดเกิดสภาวะเครียดและชักนำให้มีการผลิตสารอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radical) มากขึ้น ซึ่งสารนี้มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสามารถสูงในการออกซิไดส์สารชีวโมเลกุลอื่น (Mittler, 2002) โดยเฉพาะฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ซึ่งเป็นสารชีวโมเลกุลที่เป็นสารประกอบสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่ออนุมูลอิสระไฮดรอกซิลออกซิไดส์ (oxidized)สารฟอสโฟลิปิด ทำให้โครงสร้างของสารฟอสโฟลิปิดเปลี่ยนแปลงผิดรูปไปจากเดิม ส่งผลให้คุณสมบัติในการเลือกผ่าน (cell permeability) รวมทั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เยื่อหุ้มเซลล์มีประสิทธิภาพลดลง และอาจส่งผลให้เซลล์ตายในที่สุด (Matsumoto, 2005) ในขณะที่การเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ผลมะยงชิดมีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด และเกิดความเสียหายน้อยที่สุด



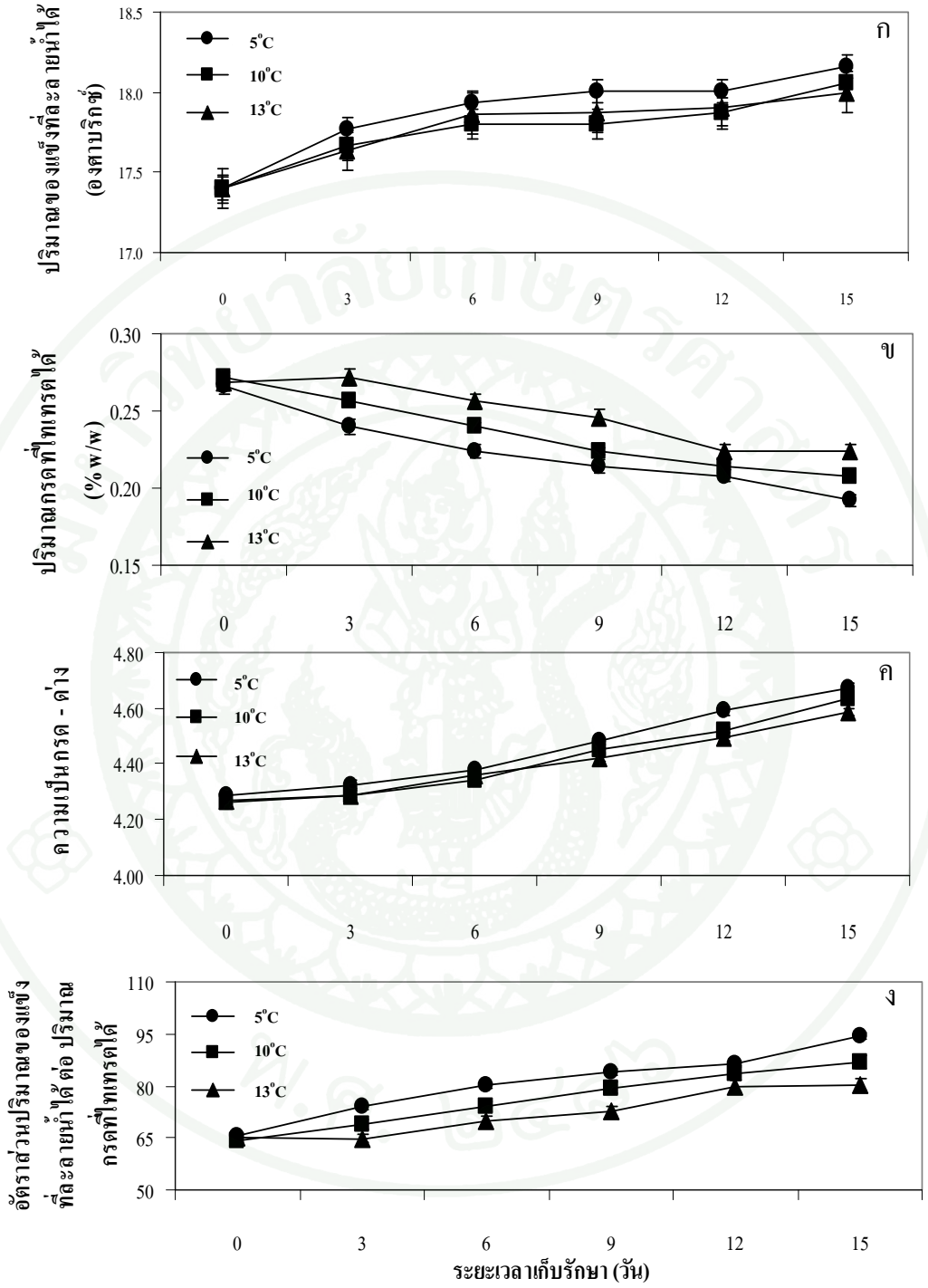
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นอายุการเก็บเกี่ยวทางการค้า ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ภาพที่ 18ก) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกอุณหภูมิ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ผลมะยงชิดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมินี้ส่งผลให้ผลมะยงชิดเกิดการเสื่อมสภาพ เกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลทำให้ความเข้มข้นภายในผลมีมาก โดยทั่วไปน้ำตาลที่พบในผลไม้ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส, กลูโคส และฟรุกโทส หากน้ำตาลซูโครสเกิดกระบวนการสังเคราะห์ (synthesis) สามารถเป็นตัวชี้วัดได้ว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น โดยใช้คาร์บอน 3 แหล่งสำหรับการสังเคราะห์น้ำตาลหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ แป้ง, กรดอินทรีย์ และการสลายของผนังเซลล์(cell wall disassembly) (Cordenunsi *et al*., 2005) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามระหว่างความแน่นเนื้อที่มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสลายของผนังเซลล์มีบทบาทสำคัญต่อการสะสมปริมาณน้ำตาลของผลไม้ นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นสามารถพบได้ในมะม่วง (Nair and Singh, 2009) ด้วย เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลง(ภาพที่ 18ข) และค่าความเป็นกรด – ด่าง มีแนโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 18ค) อย่างต่อเนื่องในทุกอุณหภูมิเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของผลมะยงชิดเกิดจากผลไม้นำกรดอินทรีย์ไปใช้เป็นสารตั้งต้น (substrate) ในกระบวนการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงาน (Wills *et al*., 2000) หรืออาจถูกนำไปใช้เป็นแหล่งในกระบวนการสังเคราะห์น้ำตาล (Cordenunsi *et al*., 2003) นอกจากนี้ยังพบว่ากรดอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ให้กลิ่นในผลไม้ (fruit flavor) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรสชาติของผลไม้ได้ด้วย (Cordenunsi *et al*., 2003) การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของผลไม้ขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ อุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลาในการเก็บรักษาผลไม้อีกด้วย เมื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 80 – 95 เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 14 วัน (ภาพที่ 18ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ก) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ข) ค่าความเป็นกรด-ด่าง(ค)และอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ง) ของผลมะยงชิดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 15 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการเก็บรักษาผลไม้ในอุณหภูมิต่ำ ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะค่อยๆพัฒนาเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่ง จึงจะแสดงอาการต่างๆออกมา ทำให้ผลิตผลนั้นสูญเสียคุณภาพ จากการศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะยงชิด พบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของผลมะยงชิด โดยการเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ เป็นต้น เนื่องจากการเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมินี้ยังคงรักษาผลมะยงชิดให้มีลักษณะคล้ายผลสดได้มากที่สุด ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลมะยงชิดเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) เนื่องจากพบลักษณะของอาการฉ่ำน้ำ (water soak area) สีผิวมีลักษณะคล้ำ ส่งผลให้ผลิตผลเกิดความอ่อนแอและง่ายต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ผลมะยงชิดเกิดอาการเสื่อมสภาพ (senescence) โดยพบลักษณะอาการเหี่ยวบริเวณขั้วผล เนื่องจากการสูญเสียน้ำ ประกอบกับบริเวณสีผิวเป็นสีส้มอมน้ำตาล ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลมะยงชิด เนื่องจากเป็นระดับอุณหภูมิที่สามารถช่วยชะลอการเสื่อมเสียของผลมะยงชิดได้มากที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ, ปริมาณสารพฤกษเคมีและความสามารถต้านออกซิเดชั่นของผลมะยงชิด

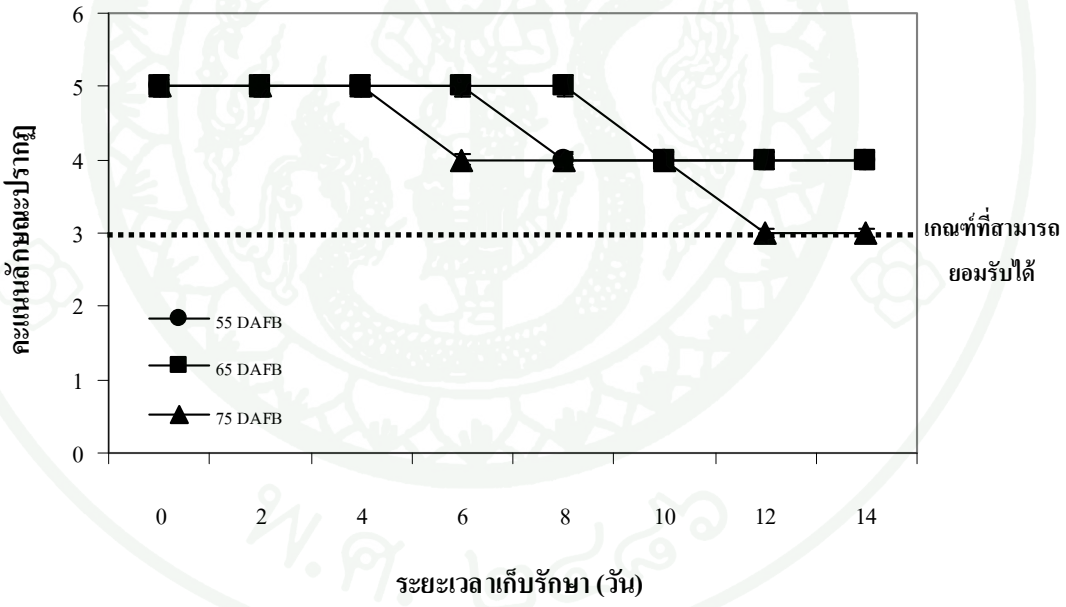
ผลมะยงชิดเป็นไม้ผลเมืองร้อน โดยใบจะมีสีเขียวตลอดปี ไม่มีการผลัดใบ มีลักษณะผลเป็นแบบผลเดี่ยวที่เกิดจากดอกช่อ ซึ่งจะเห็นผลอยู่รวมกันบนปลายช่อผล มักจะเก็บเกี่ยวโดยการนับจำนวนวันหลังดอกบานเต็มที่ (Days After Full Bloom; DAFB) ผลมะยงชิด 1 ช่อจะมีประมาณ 12 – 15 ผล ผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ก็ส่งผลให้ลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดแตกต่างกันด้วย โดยผลมะยงชิดดิบจะมีลักษณะผลเป็นสีเขียว และเมื่อเริ่มสุกจะมีสีเหลืองไล่จากบริเวณก้นผลขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงบริเวณขั้วเมื่อผลสุกเต็มที่ ซึ่งลักษณะทางกายภาพของผลมะยงชิดที่นำมาใช้ในการศึกษามี 3 ระยะ (ภาพที่ 19) คือ ผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 55 DAFB จะมีลักษณะสีผิวเป็นสีเหลืองประมาณร้อยละ 60 - 70 ของผล โดยจะเห็นสีเหลืองอ่อนเด่นชัดบริเวณก้นและกลางผล ส่วนบริเวณขั้วผลเห็นสีเขียวอย่างชัดเจน ในขณะที่ผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บรักษา 65 DAFB จะมีสีผิวเป็นสีเหลืองประมาณร้อยละ 80 – 90 ของผล ซึ่งบริเวณก้นผลและกลางผลจะเห็นสีเหลืองเข้มอย่างชัดเจน แต่บริเวณขั้วผลมองเห็นสีเขียวอ่อน ส่วนผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นวันเก็บเกี่ยวทางการค้า จะพบว่า มีลักษณะสีเหลืองแกมส้มสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งผล

อายุการเก็บเกี่ยว	อายุการเก็บเกี่ยว	อายุการเก็บเกี่ยว
55 DAFB	65 DAFB	75 DAFB

ภาพที่ 19 ภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

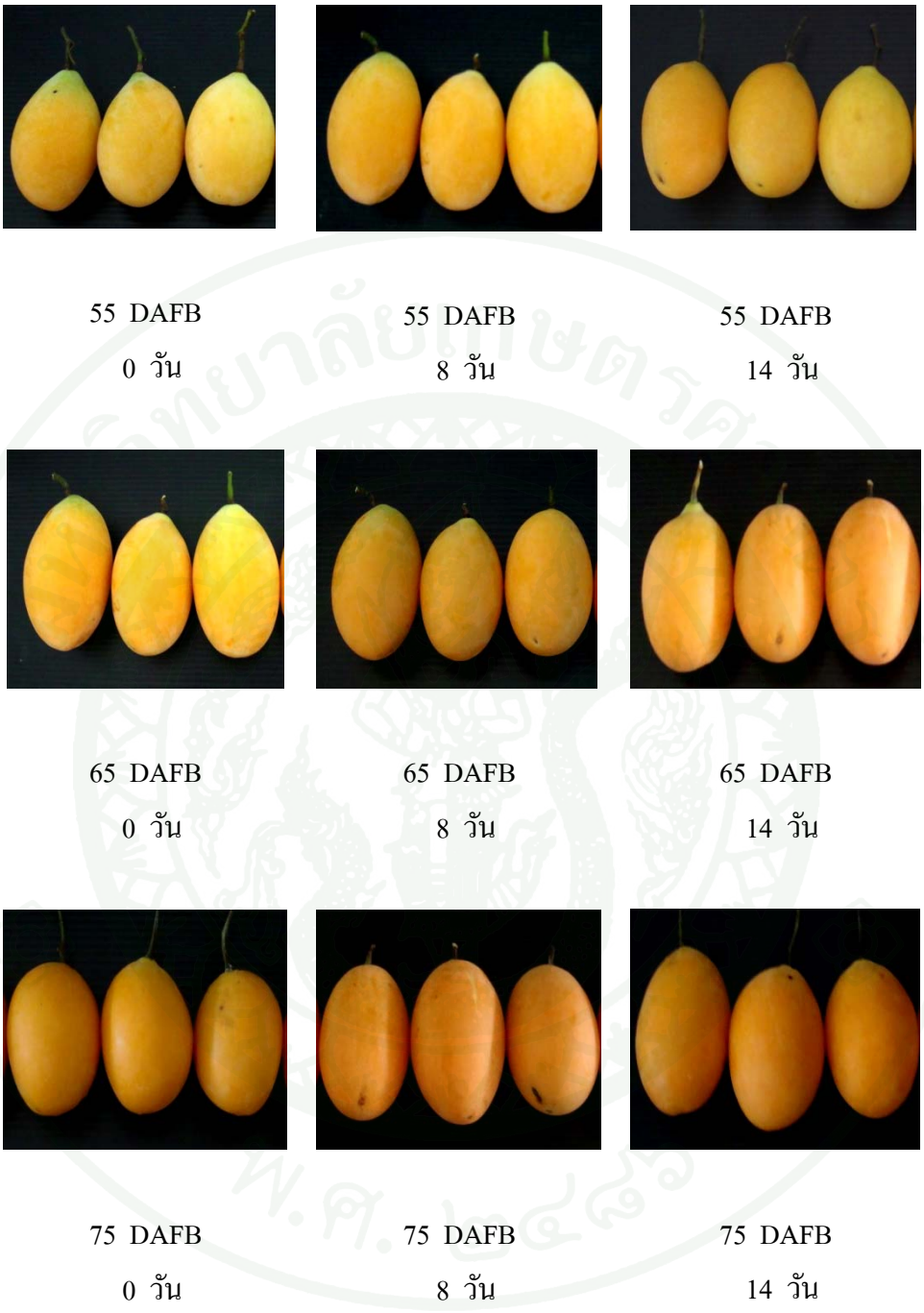
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน โดยเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดกับเกณฑ์การให้คะแนน (ภาพที่ 12) พบว่า ภาพที่ 20 และ 21 ผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55 และ 65 DAFB มีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ดี (Good) คือ ผลมะยงชิดยังมีลักษณะใกล้เคียงกับผลสด มีสีคล้ำขึ้นเล็กน้อยแต่มีสีผิวยังคงมีความสม่ำเสมอ ไม่มีลักษณะเหี่ยวบริเวณขั้วผล ไม่มีรอยปริแตก และไม่เกิดโรค ในขณะที่ผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB มีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (Fair) คือ ผลมะยงชิด มีสีผิวคล้ำขึ้นแต่ยังคงมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งผล ยังไม่พบรอยปริแตกและการเกิดโรค ซึ่งผลมะยงชิดทั้ง 3 อายุการเก็บเกี่ยวยังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (Limit of acceptability) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 14 วัน



ภาพที่ 20 คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เป็นเวลา 14 วัน

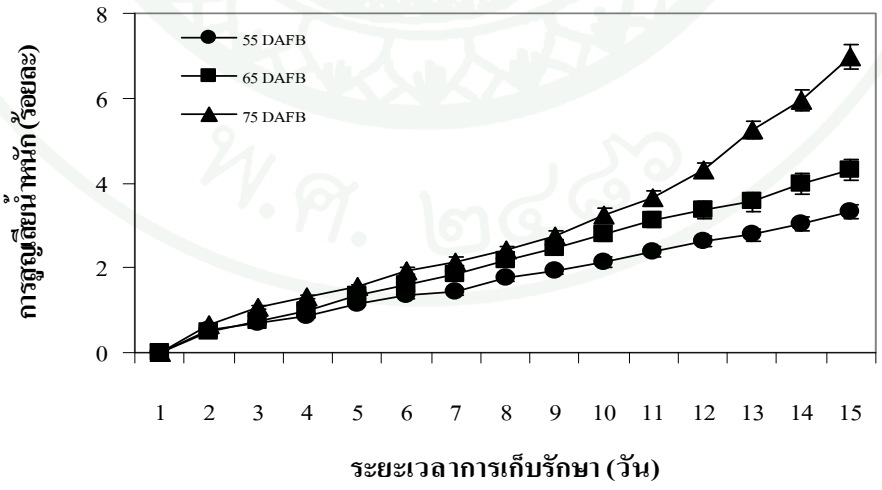
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 21 ลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสูญเสียน้ำหนักเป็นปัจจัยที่สำคัญมากซึ่งส่งผลต่อการอ่อนนุ่มของผลไม้ ทำให้ผลไม้เกิดการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษา จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 22) ค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดอายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 3.3, 4.3 และ 6.9 ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกอายุการเก็บเกี่ยวเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB เป็นผลมะยงชิดในระยะสุกเต็มที่ และเป็นระยะที่มีการเสื่อมสภาพของผลมากที่สุด ทำให้นวลไขธรรมชาติที่ทำหน้าที่ป้องกันผิวผลิตผลสูญเสียไป ทำให้ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้ นอกจากนี้ผลมะยงชิดเป็นผลไม้ที่มีผิวเปลือกบาง และมีความฉ่ำน้ำ โดยผลมะยงชิดมีปริมาณความชื้น 86.60 กรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม (ชวนชม, 2550) จึงส่งผลให้เกิดการอ่อนแอต่อการเก็บรักษา ทำให้การสูญเสียน้ำจากช่องต่างๆเปิดได้ง่ายกว่าผลไม้ที่มีปริมาณน้ำน้อยและเปลือกหนา ซึ่งสามารถพบได้ในผลไม้ชนิดอื่น เช่น มะม่วง (Abbasi *et al*., 2011) พลัม (Guerra and Casquero, 2008) พลับ (Ramin and Tabatabaie., 2003) พีช (Robertson *et al*., 1990) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าการสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้น เนื่องจากเซลล์ใช้ในรูปของการหายใจในกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism process) หรือเกิดการรั่วไหลของสาร (solute leakage) ออกจากเซลล์ (Abbasi *et al*., 2011)

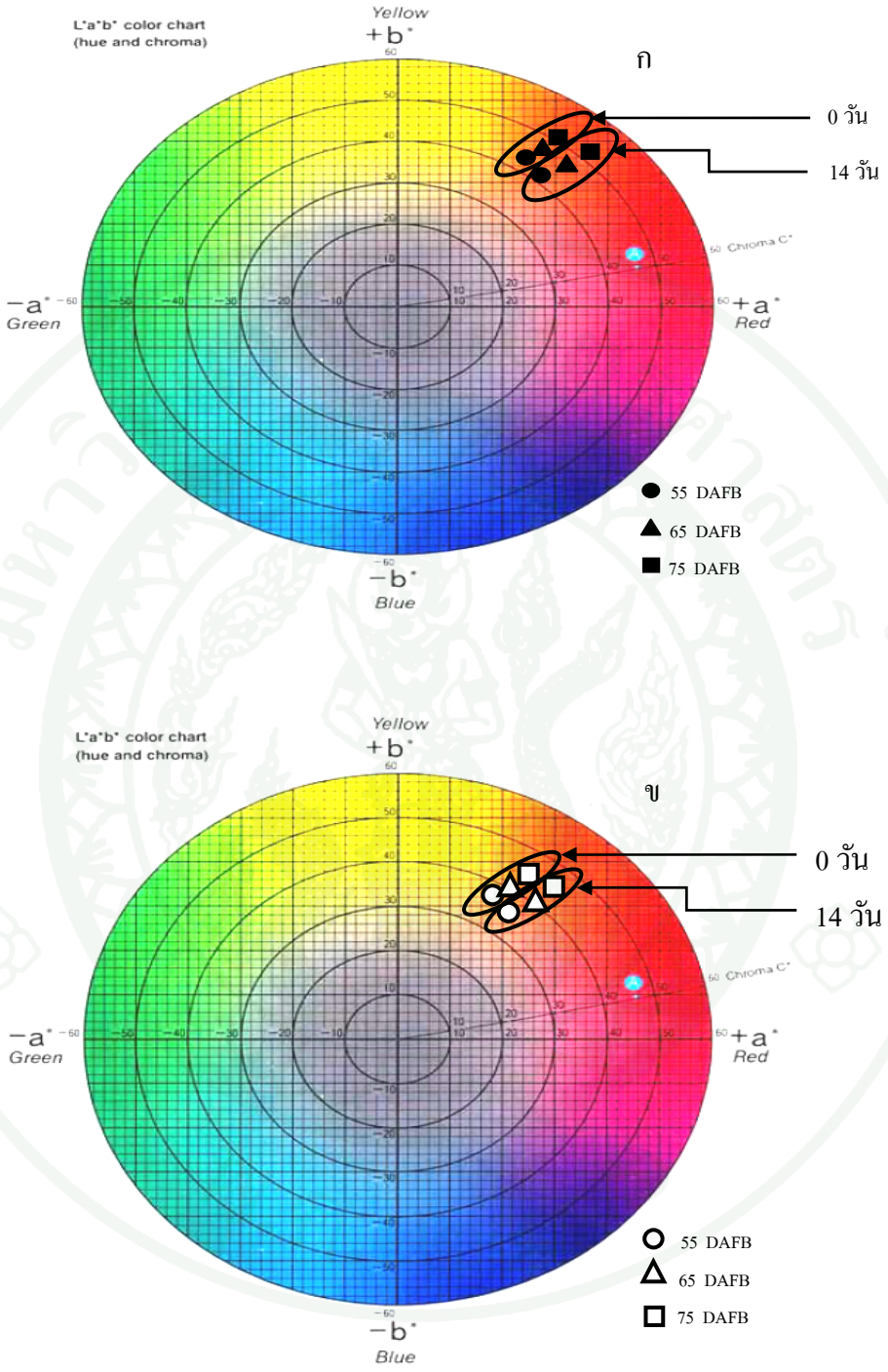


ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่า L* (ค่าความสว่าง) และค่า b* (ค่าสีเหลือง) มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า a* (ค่าสีแดง) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งสีของเปลือก (ภาพที่ 23ก) และสีของเนื้อ (ภาพที่ 23ข) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สีเปลือกของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55 DAFB มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองอ่อมแกมเขียวเป็นสีเหลืองเข้มแกมเขียว สีเปลือกของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเข้มเป็นสีเหลืองแกมส้ม และสีเปลือกของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองแกมส้มเป็นสีส้มเข้ม ในขณะที่สีเนื้อของทั้ง 3 อายุการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองเข้มจนถึงสีเหลืองส้ม ซึ่งสอดคล้องกับผลคะแนนลักษณะปรากฏที่ลดน้อยลง เนื่องจากผลมะยงชิดมีลักษณะสีคล้ำขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Rathore *et al*. (2007) ที่พบว่า สีเปลือกของผลมะม่วงพันธุ์ Dosehari จะมีสีเข้มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ Doreyappa-Gowda and Huddar (2001) รายงานว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เปลือกสีเขียวของผลมะม่วงพันธุ์ Alphanso จะเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนหรือเป็นสีเขียวหรือสีเขียวเข้มกลายเป็นสีเหลืองอ่อนหรือสีเหลืองจนถึงสีเหลืองส้ม เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) คลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในผลอ่อนจะเสื่อมสลายไปตามธรรมชาติโดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) หรืออาจเกิดการสูญเสียอนุมูลของแมกนีเซียม (Mg^{++}) เนื่องจากกรด ซึ่งการเสื่อมสลายของเม็ดสีคลอโรพลาส (chloroplast) ทำให้สีเขียวเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองหรือสีอื่นเมื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น (ธนะบูลย์, 2548) โดยการสลายไปของรงควัตถุสีเขียวของคลอโรฟิลล์นั้น จะทำให้รงควัตถุสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ปรากฏชัดเจนขึ้น (Montefiori *et al*., 2005) รงควัตถุสีเหลืองของแคโรทีนอยด์นั้น เป็นสารประกอบที่ค่อนข้างเสถียรและสามารถถูกสังเคราะห์ได้ระหว่างการเจริญเติบโตของผลไม้ (Abbasi *et al*., 2011) การเปลี่ยนแปลงของสีไม่ได้บ่งบอกแค่เพียงการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุบริเวณผิวภายนอกเท่านั้น แต่ยังแสดงให้เห็นว่าเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของผลไม้ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาด้วย (Kramer, 1973)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



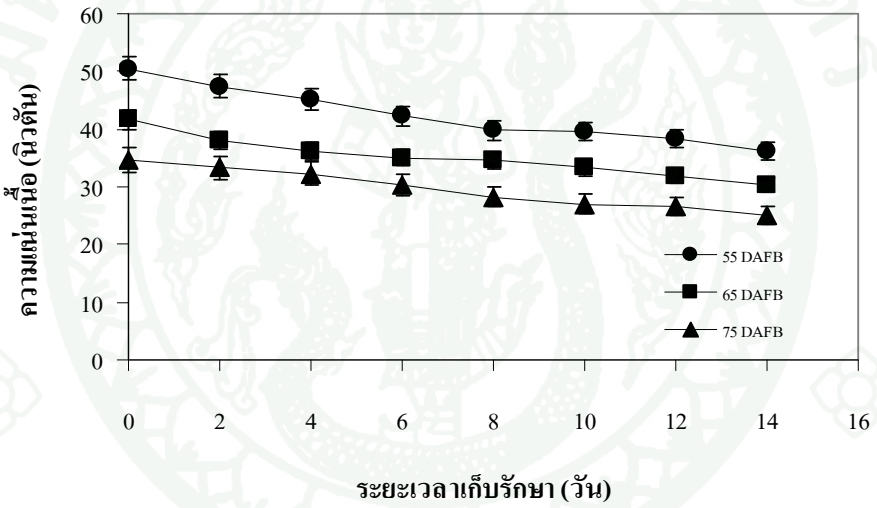
ภาพที่ 23 แผนภาพแสดงค่าสีของเปลือก (ก) และ เนื้อ (ข) ผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส วันที่ 14 ของการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อายุการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยด้านสรีรวิทยา (Physiological factor) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพด้านความแน่นเนื้อของผลไม้ (Sam, 1999) เนื่องจากสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดการเน่าเสียของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวได้ (Ramin and Tabatabaie, 2003) จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงทุกอายุการเก็บเกี่ยวเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 24)โดยผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB มีค่าลดลงจากวันเริ่มต้นร้อยละ 26.0, 33.3 และ 41.8 ตามลำดับ โดยทั่วไปค่าความแน่นเนื้อมักเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์นั้นอาจเกิดขึ้นในระหว่างที่ผลไม้เกิดการสุก ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall)จะประกอบไปด้วยไมโครไฟบริลเซลลูโลส(cellulose microfibrils) ที่แข็งแรง ซึ่งจะจับกับโครงสร้างของโปรตีนและฟีนอลิก (phonolics) ขนาดเล็กเข้าด้วยกันด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนของไกลเคน (glycan) และเพคติน (pectin) (Capita and Gibeaut, 1993) เพคตินเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญมากของของผนังเซลล์ปฐมภูมิและมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ซึ่งในผลไม้ดิบมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำโดยจะเกาะกันอยู่อย่างหนาแน่น (Eskin, 1979) สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ ซึ่งพบว่า ผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55 DAFB มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด เนื่องจากผลมะยงชิดอยู่ในระยะผลกึ่งสุก (semi-mature) จึงมีปริมาณของเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ (protopectin) ในปริมาณสูงกว่าผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ซึ่งเป็นระยะผลสุก (mature) และอายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นระยะผลสุกเต็มที่ (fully mature) ตามลำดับ ซึ่งการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของกวิศร์และศิริวรรณ (2552) ที่พบว่า ช่วงแรกของการเจริญของผลมะยงชิดพันธุ์ท่าอิฐมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นและเริ่มลดลงเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยว 44 DAFB และลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งผลมะยงชิดสุก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้สามารถพบได้ในผลไม้ชนิดอื่นด้วย เช่น กล้วย (Zhang *et al*., 2010) กีวี (Fisk *et al*., 2006; Tavarini *et al*., 2009 and Krupa *et al*., 2011) พลัม (Valero *et al*., 2007 and Guerra and Casquero, 2008) ลองกอง (Xu and Xu, 2001) สตรอเบอรี่ (Villarreal *et al*., 2008) เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อผลไม้สุกเต็มที่ เพคตินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดให้เล็กลงทำให้เซลล์ยึดเกาะกันอย่างหลวมๆและเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์เกิดการสูญเสียโครงสร้างและความแข็งแรง จึงสามารถเกิดการอ่อนนุ่มได้ในที่สุด (Toivonen and Brummell, 2008) นอกจากนี้ระยะการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของผนังเซลล์ เนื่องจากความไม่มีขั้ว(depolarization) และการละลาย (solubilization) ของเพคติน (Prasanna *et al*., 2007) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องค์ประกอบของผนังเซลล์และมิดเดิลลาเมลลาจะส่งผลให้ผนังเซลล์เกิดความอ่อนแอ และสูญเสียการยึดเกาะกันระหว่างเซลล์ หรืออาจจะเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 อย่าง (Perlaki and Kovács, 2005) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมักเกิดจากบทบาทการทำงานของเอนไซม์ซึ่งมีบทบาทสำคัญซึ่งนำไปสู่การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเมื่อผลไม้สุก (Ali *et al*., 2004) โดยจะทำหน้าที่ย่อยสลายพอลิแซกคาไรด์ (polysaccharide) ให้เป็นโมเลกุลต่างๆ โดยเฉพาะโปรโตเพคติน (protopectin) ซึ่งอยู่ในรูปไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปของกรดเพคตินและเพคตินซึ่งละลายน้ำได้ ได้แก่ เอนไซม์โพลีกาแลคตูโรเนส (Polygalacturonase; PG) เบต้ากาแลคโตซิเดส (β-galactosidases) เพคตินเมทิลเอสเตอเรส (Pectinmetylesterase; PE) เซลลูเลส (cellulase) เป็นต้น (Huber, 1984; Seymour and Knox, 2002; Krupa *et al*., 2011)



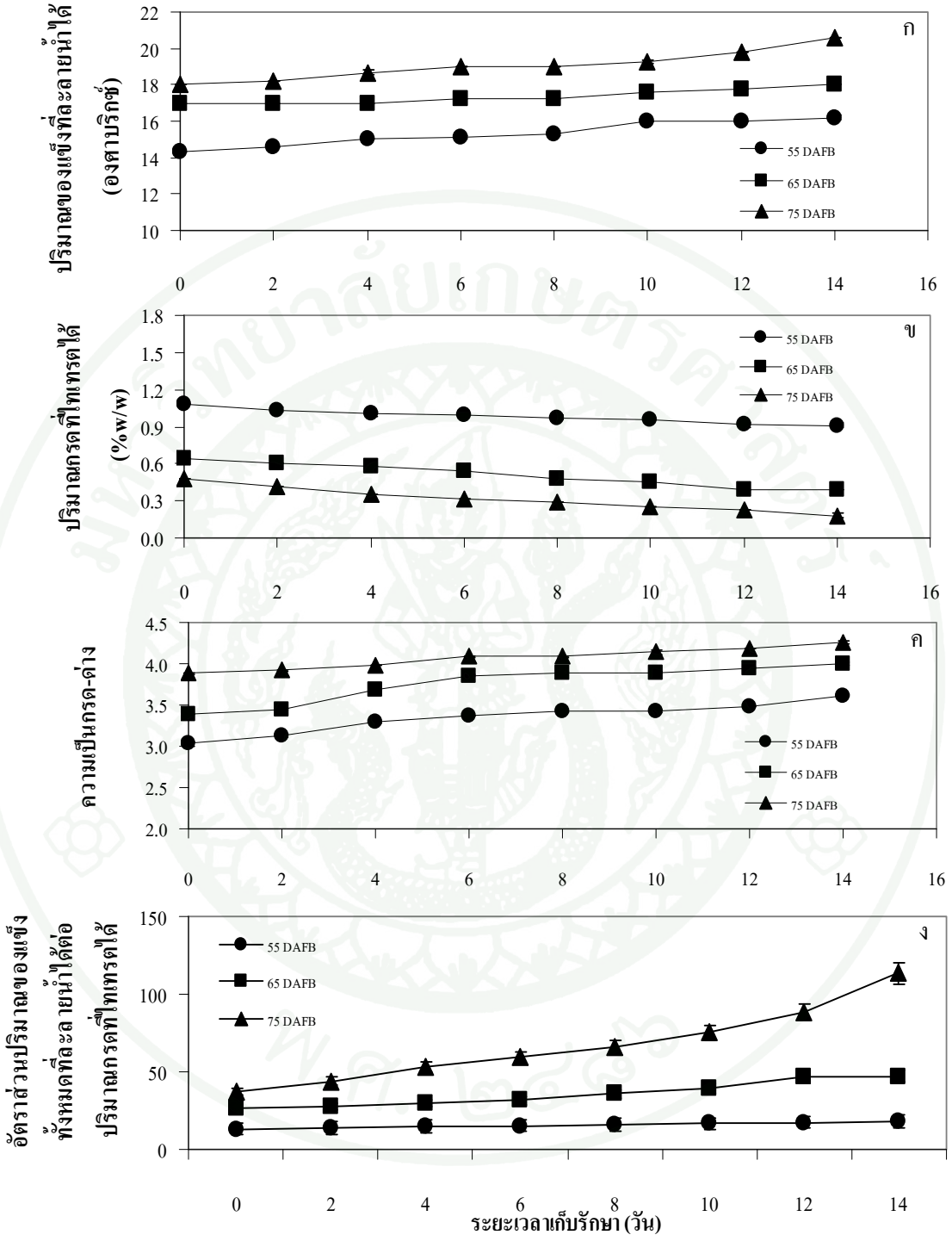
ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดอายุการเก็บเกี่ยวของผลไม้ (Tavarini *et al*., 2008) จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกอายุการเก็บเกี่ยว เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 25ก) โดยผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นระยะสุกเต็มที่มีปริมาณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 และ 55 DAFB ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของกวิศร์และศิริวรรณ (2552) ที่พบว่า ผลมะยงชิดพันธุ์ท่าอิฐมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น เมื่อระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และพบการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันนี้ได้ในผลไม้ชนิดอื่น เช่น กีวี (Tavarini *et al*., 2008) พีช (Prashant and Masoodi, 2009; Gupta and Jawandha, 2010) แพร์ (Sugar and Einhorn, 2011) อะซีโรล่า (Vendramini and Trugo, 2000) แอปเปิ้ล (Hussein *et al*., 2001) เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากผลไม้ที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากจะได้รับสารอาหารและผ่านกระบวนการสันดาปมากกว่าผลไม้ที่ถูกเก็บเกี่ยวก่อนระยะที่เหมาะสม และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แป้งให้กลายเป็นน้ำตาล และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาของกระบวนการมากกว่าการนำไปใช้ประโยชน์ ในขณะที่ผลไม้ในระยะสุกเต็มที่น้ำตาลจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการหายใจอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การสลายตัวของแป้งกลายเป็นน้ำตาลอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไกลโคไลติก (glycolytic enzymes) (MacRae *et al*., 1992) ซึ่งความสามารถของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยว (Langenkämper *et al*., 1998) และสายพันธุ์ของผลไม้ (Choudhury *et al*., 2009) เมื่อตรวจสอบความเป็นกรดของผลมะยงชิด พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และค่าความเป็นกรด – ด่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 25ข) ในขณะที่ค่าความเป็นกรด – ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกอายุการเก็บเกี่ยว(ภาพที่ 25ค) แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย เนื่องจากผลมะยงชิดมีการสะสมอาหารในรูปของกรดและน้ำตาลคล้ายกับผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งจะมีปริมาณของแป้งที่ถูกสะสมน้อยกว่าผลไม้ประเภท climacteic เมื่อเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณกรดลดลงเนื่องจากถูกนำไปในใช้ในกระบวนการหายใจ นอกจากนี้กรดยังสามารถเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารสะสมหรือใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นเมื่อผลไม้เกิดกระบวนการสุก (จริงแท้, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Guerra and Casquero (2008) ที่พบว่า พลัมพันธุ์ Green Gage เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 25ง) ซึ่งค่าอัตราส่วนมากชี้ให้เห็นว่าผลไม้มีกลิ่น (flavour) ที่ดี (Taylor *et al*., 1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

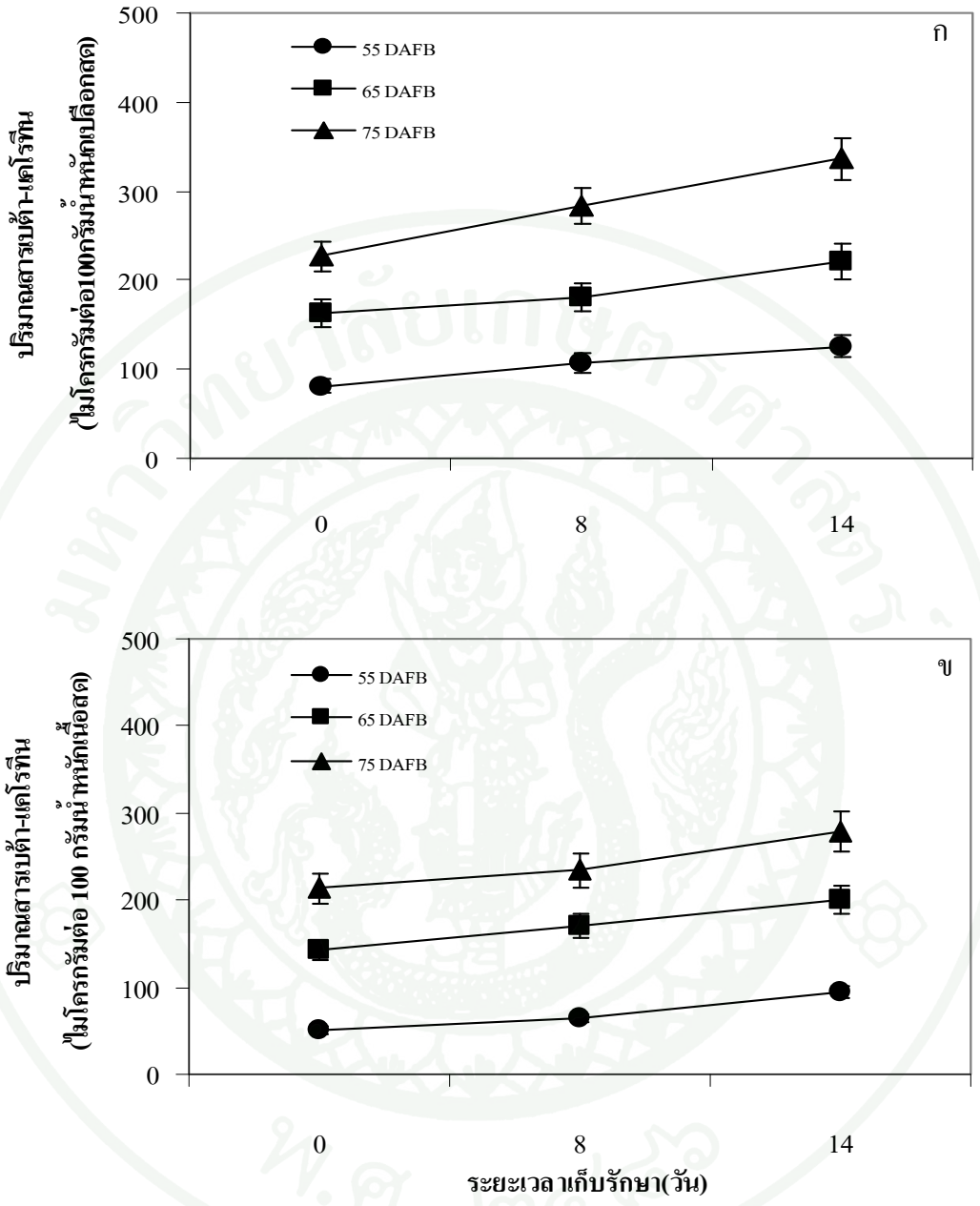


ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ก) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ข) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค) และอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ง) ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เบต้า-แคโรทีนจัดได้ว่าเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Vitamin A) โดยจะอยู่รวมกับสารประกอบแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ(Rosati *et al*., 2000) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีน สามารถสังเคราะห์ได้โดยพืชและจุลินทรีย์ จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกอายุการเก็บเกี่ยวเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งในส่วนของเปลือกและเนื้อของผลมะยงชิด (ภาพที่ 26ก และ 26ข) โดยในส่วนของเปลือกผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB มีปริมาณเบต้า-แคโรทีนเพิ่มขึ้นจาก 81, 163 และ 227 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปลือกสดในวันเริ่มต้น เป็น 126, 221 และ 337 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปลือกสดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตามลำดับ และในส่วนของเนื้อผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB มีปริมาณเบต้า-แคโรทีนเพิ่มขึ้นจาก 51, 142 และ 213 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อผลสดในวันเริ่มต้น เป็น 94, 200 และ 279 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อผลสดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของกรมอนามัย (2544) ซึ่งรายงานว่ามะปรางสุกมีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีน 230 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสด ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่ากล้วยไข่ ทุเรียนชะนีซึ่งมีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีน 492 และ 244 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสด แต่มีปริมาณมากกว่ากล้วยน้ำว้า กล้วยหอม ทุเรียนก้านยาว ทุเรียนหมอนทอง มะม่วงอกร่องสุก ส้มเขียวหวาน ซึ่งมีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีน 54 99 134 46 59 และ 82 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสดตามลำดับ จากผลการทดลองยังพบว่า ผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนมากที่สุด เนื่องจากเป็นระยะสุกเต็มที่ของผลมะยงชิด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Gomez-lim (1997) ซึ่งพบว่า เมื่อมะม่วงพันธุ์ Alphonso สุก จะมีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนเพิ่มขึ้น 20 เท่า เกิดจากการสะสมของกรดมีวาโลนิก (mevalonic acid) และ จีโรนิออล (geroniol) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ นอกจากนี้จากผลการทดลองยังพบว่าปริมาณเบต้า-แคโรทีนพบในเปลือกมากกว่าในเนื้อทุกอายุการเก็บเกี่ยว ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าสีของผลมะยงชิดโดยแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนสีเข้มขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นลักษณะเด่นของผลมะยงชิดที่มีสีเหลืองส้มเมื่อผลแก่ จึงอาจใช้เป็นตัวชี้วัดความแก่-อ่อนของผลไม้ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนของเปลือก (ก) และเนื้อ (ข) ผลมะยงชิด ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

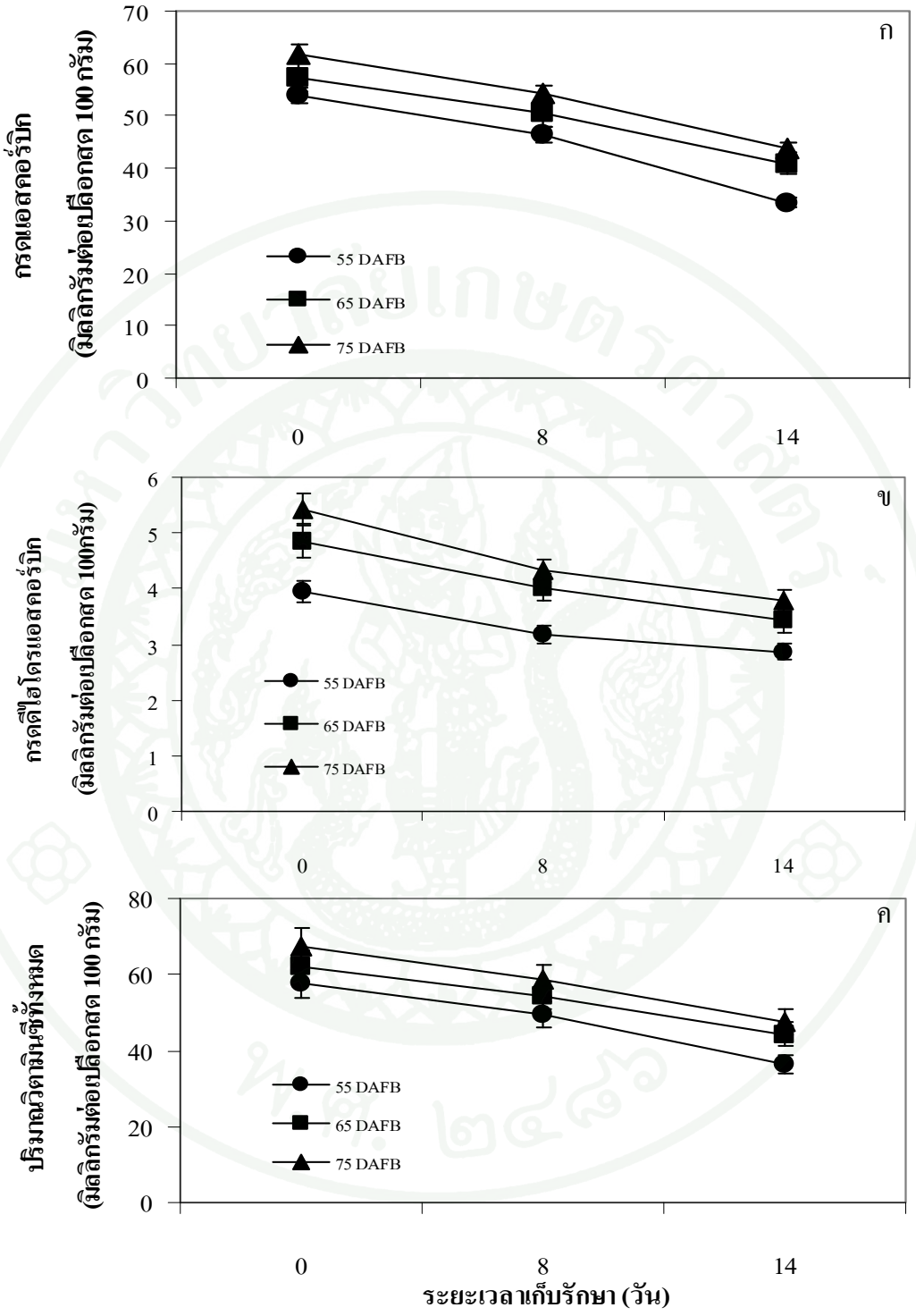
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณวิตามินซีที่ยังคงอยู่มักใช้เป็นตัวประเมินคุณค่าทางโภชนาการที่เหลืออยู่ จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid, LAA) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid, DHA) และปริมาณวิตามินซี (total ascorbic acid, TAA) ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณปริมาณ LAA, DHA และ TAA ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงทุกอายุการเก็บเกี่ยวเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งในส่วนของเปลือกและเนื้อผลมะยงชิด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ LAA ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เปลือกผลมะยงชิดลดลงจาก 61.9 57.4 และ 53.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสดในวันเริ่มต้น เป็น 43.7 40.9 และ 33.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 27ก) และในเนื้อลดลง จาก 41.3 36.4 และ 32.8 มิลลิกรัมกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสดในวันเริ่มต้น เป็น 32.1 25.5 และ 23.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลไม้สดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตามลำดับ (ภาพที่ 28ก) ปริมาณ DHA ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เปลือกผลมะยงชิดลดลงจาก 5.43 4.83 และ 3.95 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสดในวันเริ่มต้น เป็น 3.8 3.4 และ 2.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลไม้สดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 27ข) และในเนื้อลดลง จาก 5.0 4.4 และ 2.9 มิลลิกรัมกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลไม้สดในวันเริ่มต้น เป็น 3.5 3.2 และ 1.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลไม้สดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตามลำดับ (ภาพที่ 28ข) เมื่อคำนวณปริมาณ TAA ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เปลือกผลมะยงชิดลดลงจาก 67.4 62.2 และ 57.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสดในวันเริ่มต้น เป็น 47.4 44.3 และ 36.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลไม้สดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 27ค) และในเนื้อลดลง จาก 46.3 40.8 และ 35.6 มิลลิกรัมกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลไม้สดในวันเริ่มต้น เป็น 35.6 28.8 และ 24.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลไม้สดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตามลำดับ (ภาพที่ 28ค) โดยทั่วไปปริมาณ ascorbic acid มักจะพบมากในระยะผลสุกมากกว่าผลดิบ (Cordenunsi *et al*., 2002; Olsson *et al*., 2004; Kafkas *et al*., 2007) แต่การสะสมปริมาณวิตามินซีระหว่างกระบวนการสุก ก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ด้วย เช่น ในท้อ มะละกอ สตรอเบอรี่มีปริมาณการสะสมของปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นเมื่อระยะการสุกเพิ่มขึ้น ในขณะที่แอปเปิ้ล มะม่วงมีปริมาณลดลง (Lee and Kadar, 2000) และพบว่าปริมาณวิตามินซีในเปลือกมีมากกว่าในเนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Remorini *et al*.(2008) ที่พบว่า อายุการเก็บมีผลต่อปริมาณวิตามินซีในผลพีช เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณวิตามินซีจะมีปริมาณลดลง โดยเปลือกผลพีชมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าเนื้อ นอกจากนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

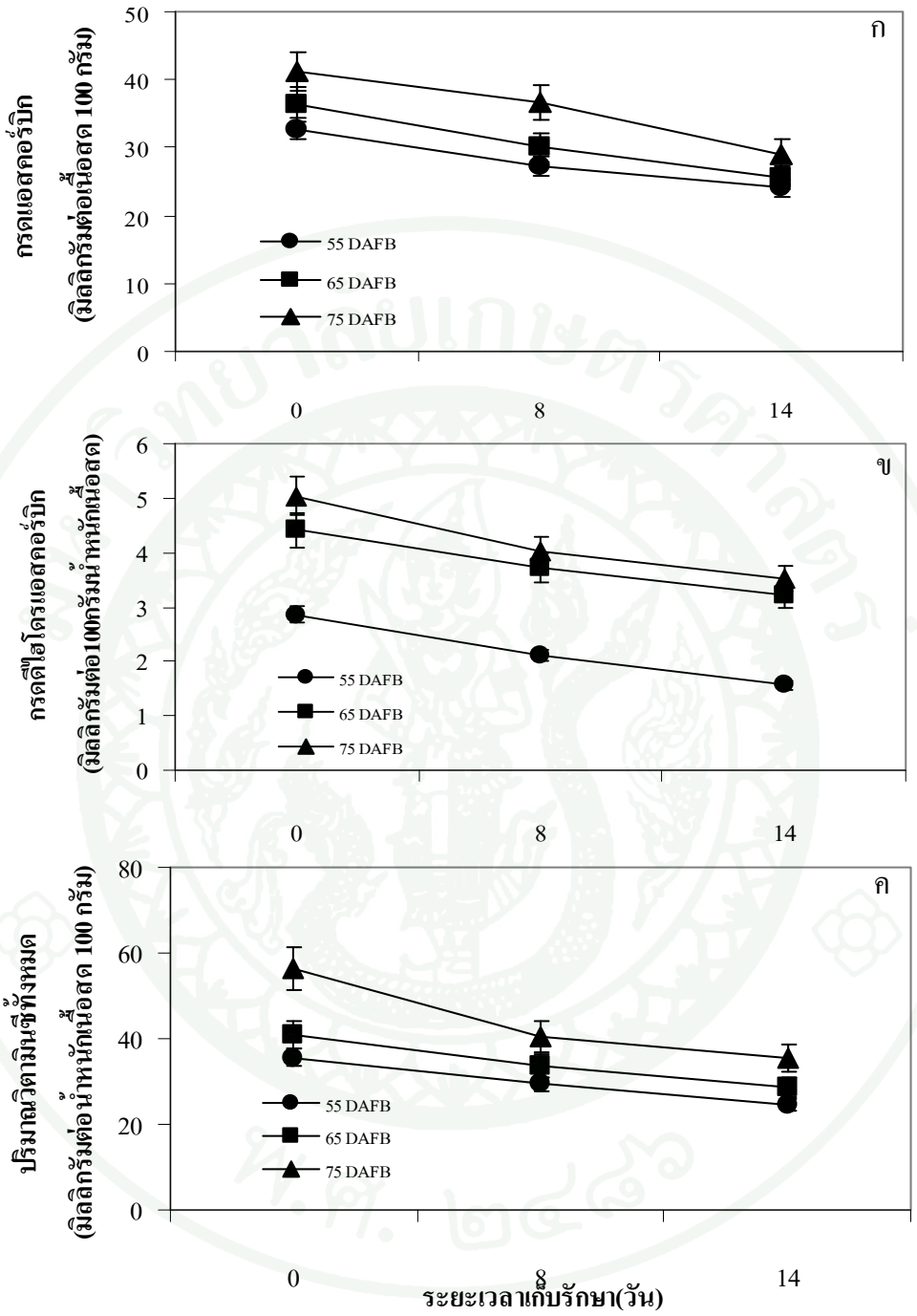
รายงานการวิจัยของกรมอนามัย (2544) พบว่า มะปรางสุกมีปริมาณวิตามินซี 100 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสด โดยมีปริมาณน้อยกว่า ฝรั่งและมะขามป้อม ซึ่งมีปริมาณ 187 และ 111 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสดตามลำดับ แต่มีปริมาณมากกว่า ขนุน มะละกอสุก ส้มโอ ส้มเขียวหวาน ลิ้นจี่ ซึ่งมีปริมาณ 88, 78, 45 และ 41 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักผลสด ผลมะยงชิดจัดได้ว่าเป็นแหล่งวิตามินซีที่สำคัญและมีปริมาณค่อนข้างสูง แต่วิตามินซีอาจเกิดการเสื่อมสลายได้ในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากวิตามินซีมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation) และเปลี่ยนเป็นสารที่ละลายน้ำได้ระหว่างการเก็บรักษา (Davey *et al*., 2000) โดยจะสลายตัวทันทีหลังถูกเก็บเกี่ยวและจะเสื่อมสลายมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (Murcia *et al*., 2000) ทำให้ L-ascorbic acid ถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูป dehydroascorbic acid ได้ โดยทั่วไปเมื่อผลไม้สุกเต็มที่ ปริมาณวิตามินซีจะเสื่อมสลายลงพร้อมกับการสลายตัวของเนื้อเยื่อผลไม้ (Kalt, 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ก) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (ข) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (ค) ของเปลือกผลมะยงชิด ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



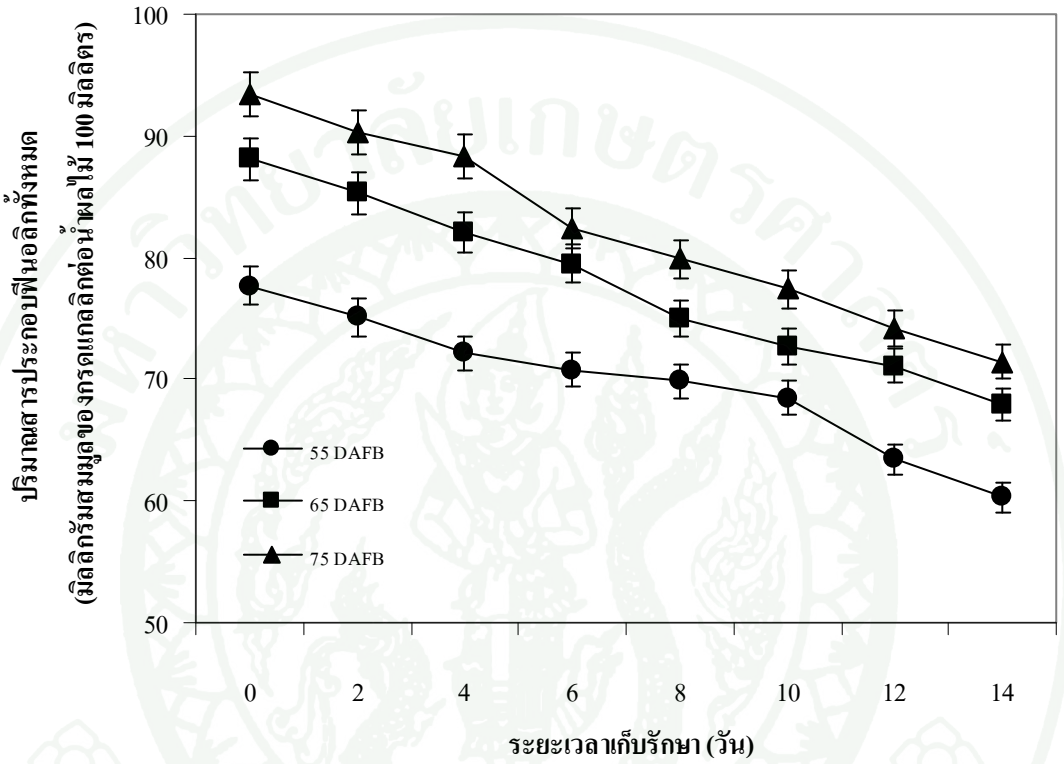
ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ก) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (ข) และวิตามินซีทั้งหมด (ค) ของเนื้อผลมะยงชิด ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายนอก พบได้ตามธรรมชาติในอาหาร และเครื่องดื่มที่ได้จากพืช ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกมีอยู่มากกว่า 8,000 ชนิด โดยสารที่อยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ flavonoids, flavones, gallic acid, ellagic acid, ligin, tannin, anthocyanins, carotenoids และอนุพันธ์ของ cinnamic acid (Cowan, 1999; Helmja *et al*., 2007) จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงทุกอายุการเก็บเกี่ยวเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 29) โดยผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นระยะผลสุกเต็มที่ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Remorini *et al*. (2008) ซึ่งพบว่า ผลพีชที่อายุการเก็บเกี่ยวมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด เนื่องจากอายุการเก็บเกี่ยวเกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในพืช โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกระหว่างผลไม้เจริญเติบโต คือ การลดลงอย่างสม่ำเสมอ (Wang and Zheng, 2001; Ayala-Zavala *et al*., 2004) หรือ เพิ่มขึ้นสูงสุดจนกระทั่งผลไม้เจริญเติบโตเต็มที่ (Serrano *et al*., 2005; Patel *et al*., 2011; Pineli *et al*., 2011;Yang *et al*., 2011) ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลไม้จะได้รับผลกระทบจากระยะการเจริญเติบโต ความแตกต่างทางพันธุกรรมหรือสายพันธุ์ สภาวะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (Shahidi and Naczk, 2004) ส่งผลให้มีปริมาณไม่เท่ากัน (Justesen and Knethsen, 2001; Dinelli *et al*., 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะยงชิดมีแนวโน้มลดลงทุกอายุการเก็บเกี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Krupa *et al*. (2011) ซึ่งพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลกีวีมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก คือ การเพิ่มขึ้นกรดไฮดรอกซีซินามิก (Hydroxycinamic acid) และ flavan-3-ols ในระหว่างสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า การทำงานของเอนไซม์ต่างๆมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยเช่นกัน ได้แก่ เอนไซม์ PAL (Phenylalanine ammonia) เป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารประกอบฟีนอลิก (phenolic metabolism) (Vámos-Vigyázó, 1981) โดยเป็นเอนไซม์ตัวแรกที่ผลิต *tran*-cinnamate และ tran-4-hydroxycinnamate ซึ่งสารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นสารประกอบฟีนอลิก (Nguyen *et al*., 2003) เอนไซม์ PPO (Polyphenol oxidase) เกี่ยวข้องกับพลาสติด (plastids) และสารตั้งต้นของสารประกอบฟีนิลิกในส่วนของแวคคิวโอล (vacuoles) ซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้เกิดสีน้ำตาล (browning) เมื่อเซลล์ถูกทำลายและช่องว่างระหว่างเซลล์แตกออก (Landrigen *et al*., 1996) เอนไซม์ POD (Peroxidase) สามารถ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ออกซิไดส์สารฟีนอลให้กลายเป็นควิโนน (quinone) และสาเหตุของการเกิดอาการบาดเจ็บของผลไม้อาจเนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ POD ที่เกิดขึ้นมากก็เป็นได้



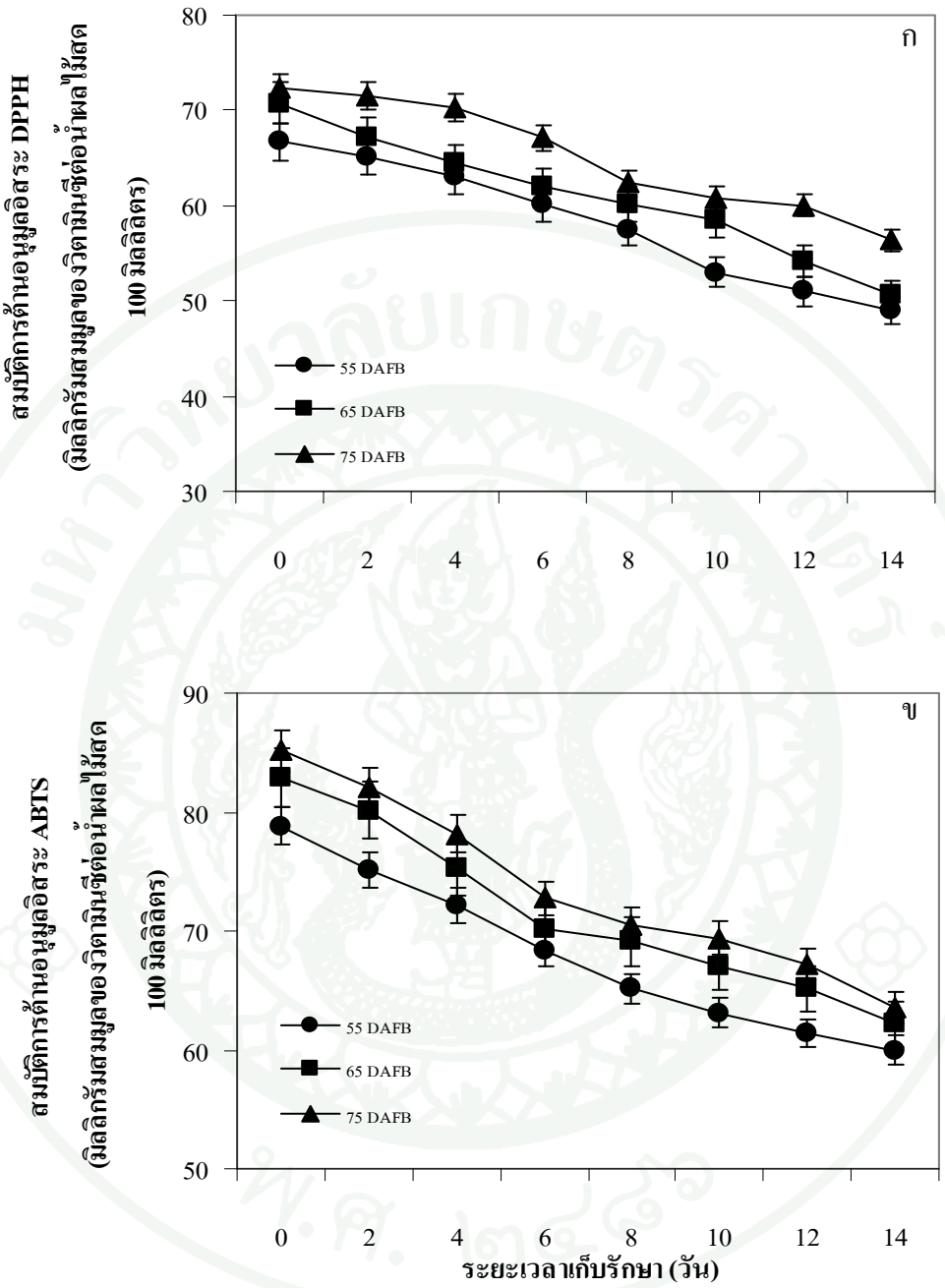
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำคั้นผลมะยงชิด ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

เมื่อศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2, 2-Diphenly-1-picrylhydrazyl) ของผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 30ก) โดยผลมะยงชิดที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุ 55, 65 และ 75 DAFB มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงจาก 66.72, 70.78 และ 72.30 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อน้ำผลไม้สด 100 มิลลิลิตรในวันเริ่มต้น เป็น 49.04, 48.61 และ 56.43 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อน้ำผลไม้สด 100 มิลลิลิตรในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตามลำดับ โดยผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นระยะผลสุกเต็มที่ มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 65 และ 55 DAFB ตามลำดับ และเมื่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2, 2'-azobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) ของผลมะยงชิดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 55, 65 และ 75 DAFB พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 30ข) โดยผลมะยงชิดที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุ 55, 65 และ 75 DAFB มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ ABTS ลดลงจาก 85.16, 82.90 และ 78.82 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อน้ำผลไม้สด 100 มิลลิลิตรในวันเริ่มต้น เป็น 60.00, 63.55 และ 62.15 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อน้ำผลไม้สด 100 มิลลิลิตรในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณวิตามินซีของผลมะยงชิดทุกอายุการเก็บเกี่ยว เป็นไปในทิศทางเดียวกับความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและวิตามินซี ความสัมพันธ์ต่อความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ทั้งนี้อาจเนื่องจากกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นกลไกการแลกเปลี่ยนอิเลคตรอนเดี่ยว (single electron transfer (SET) reaction) (Huang *et al*, 2005)

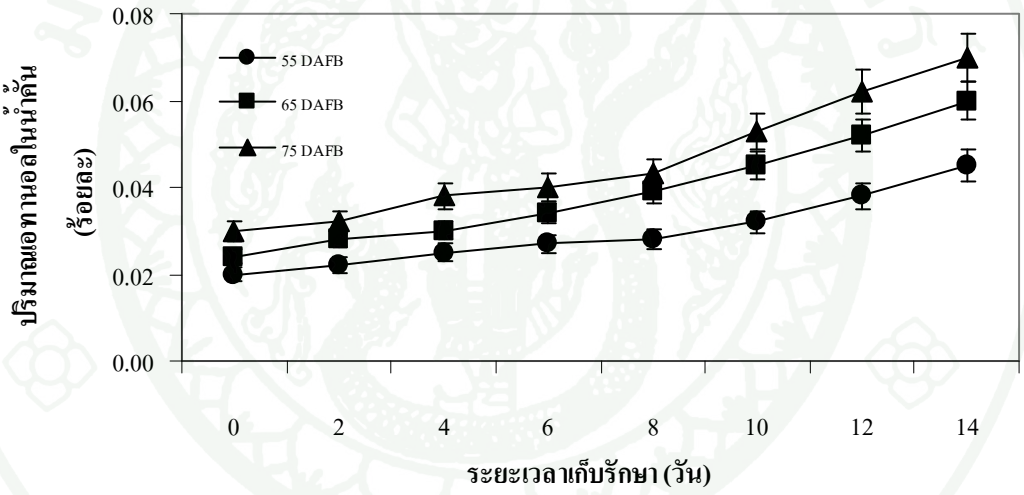
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ก) และ ABTS (ข) ของน้ำคั้นผลมะยงชิด ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อตรวจสอบปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลมะยงชิด พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณเอทานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลมะยงชิดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 31) ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น อาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรสชาติ ซึ่งความผิดปกติของรสชาติ เนื่องจากเกิดการสะสมของอะซิตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และ เอทานอล (ethanol) ในเนื้อเยื่อของผลไม้ขึ้น โดยส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาผลไม้ให้สั้นลง รวมไปถึงการไม่ยอมรับของผู้บริโภคด้วย (Homatidou *et al*., 1992; Beaulieu and Grimm, 2001) จากการศึกษาของ Ke and Kader (1990) พบว่า ปริมาณเอทานอลสูงกว่า 1,000 ไมโครลิตร/ลิตร หรือร้อยละ 0.1 สามารถก่อให้เกิดกลิ่นผิดปกติในส้มพันธุ์ Valencia ได้



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงเอทานอลในน้ำคั้นผลมะยงชิด ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อายุการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผักและผลไม้ รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมี จากการศึกษาผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ สารพฤกษเคมี และความสามารถต้านออกซิเดชั่นของผลมะยงชิด พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อคุณภาพของผลมะยงชิด โดยผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 10 วันของการเก็บรักษา พบว่า คุณภาพ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาตรกรดที่ไทเทรตได้ ไม่แตกต่างกับผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB ซึ่งเป็นวันเก็บเกี่ยวทางการค้าในวันเริ่มต้น และเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 14 วันยังคงรักษาผลมะยงชิดให้มีลักษณะคล้ายผลสดได้มากที่สุด ในขณะที่อายุการเก็บเกี่ยว 55 DAFB เป็นระยะผลกึ่งสุก และไม่เกิดการพัฒนาผลให้สุกเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลมะยงชิดอาจมีลักษณะที่ไม่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคได้ นอกจากนี้ผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 75 DAFB เมื่อเก็บรักษานานขึ้นผลมะยงชิดมีลักษณะอาการเสื่อมสภาพ (senescence) ซึ่งเกิดการอ่อนนุ่มของผลมากและเป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ทำให้ผลิตผลนั้นสูญเสียคุณภาพ ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้อายุการเก็บเกี่ยวที่ 65 DAFB เป็นอายุการเก็บเกี่ยวที่ของผลมะยงชิด

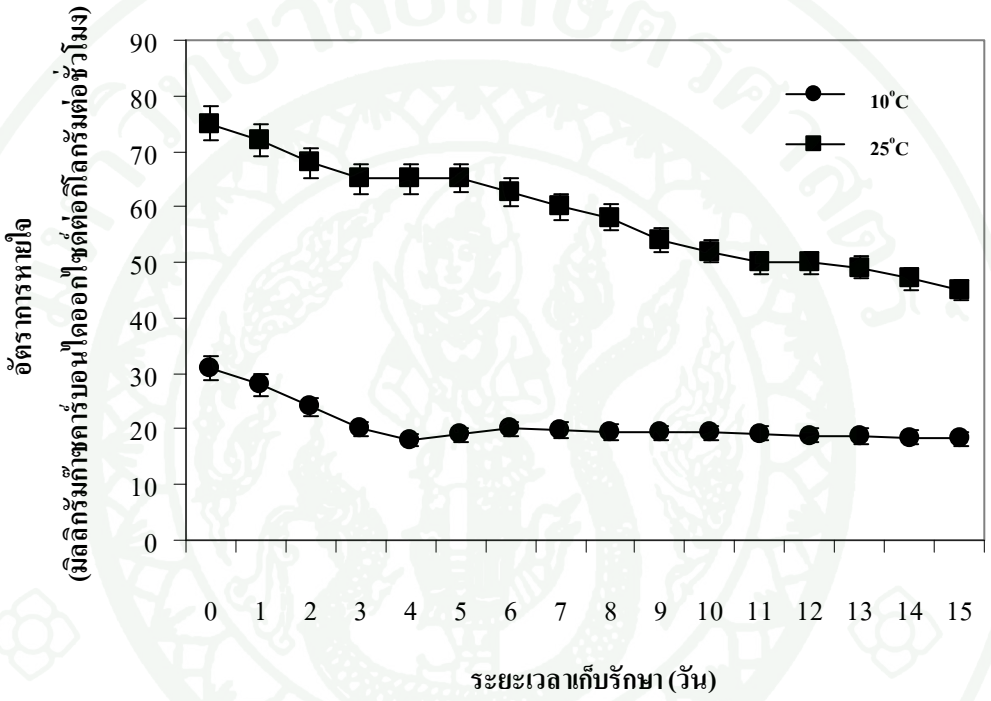
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ผลของการบรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere packaging) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ, สารพฤกษเคมี และความสามารถต้านออกซิเดชั่นของผลมะยงชิด

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีที่สำคัญในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ (Bolin *et al*., 1977) กระบวนการหายใจจัดได้ว่าเป็นกระบวนการชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต โดยเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และรีดักชัน (reduction) เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปของอาหารที่สะสมมาใช้ในการดำรงชีวิต โดยอาหารจะถูกออกซิไดส์ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในขณะที่แก๊สออกซิเจน (O_2) ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาทำให้ได้นำออกมา โดยใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้น (จริงแท้, 2546) ดังนั้นถ้าผลไม้มีอัตราการหายใจสูงจะส่งผลให้ผักและผลไม้นั้นมีอายุการวางจำหน่ายที่สั้น (Rolle and Chism, 1987) จากผลการศึกษาอัตราการหายใจของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเก็บรักษาผลมะยงชิดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจ 10 – 30 mg CO_2/kg.hr ซึ่งมีอัตราการหายใจต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งผลมะยงชิดมีอัตราการหายใจ 50 – 80 mg CO_2/kg.hr (ภาพที่ 32) เนื่องจากการเก็บรักษาผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลออัตราการหายใจของผลไม้ โดยทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์ลดลง 2 – 3 เท่า (Wiley, 1994) นอกจากนี้จากผลการทดลองยังพบว่า อัตราการหายใจของผลมะยงชิดมีลักษณะแนวโน้มลดลงเรื่อยๆและค่อนข้างคงที่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสมโภชน์และจิรายุ (2554) ที่พบว่า ผลมะยงชิดมีลักษณะการหายใจแบบผลไม้ประเภท non-climacteric โดยผลไม้ประเภทนี้จะมีการหายใจระหว่างการสุกหรือระหว่างเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงสุดท้าย หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลงเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะการเสื่อมสภาพ (senescence) การเปลี่ยนแปลงลักษณะการหายใจแบบนี้สามารถพบได้ในผลไม้ชนิดอื่น เช่น ส้มชมพู่ ส้มโอ ลำไย สละ สับปะรด องุ่น เป็นต้น (จริงแท้, 2546) และเมื่อตรวจสอบปริมาณแก๊สเอทิลีนของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ผลมะยงชิดไม่มีการผลิตเอทิลีนเกิดขึ้น เนื่องจากการเก็บรักษาผลมะยงชิดเพื่อวัดอัตราการผลิตเอทิลีนนั้น เป็นการเก็บรักษาผลมะยงชิดทั้งผล ซึ่งไม่มีการทำให้เกิดบาดแผลจากการตัดแต่ง ซึ่งเป็นสาเหตุในการกระตุ้นการสร้างเอทิลีนได้ จากนั้นนำค่าอัตราการหายใจของผลมะยงชิดเข้าสู่สมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ซึ่งคิดค้นโดยกลุ่มนักวิจัยของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (National Metal and Materials Technology Center; MTEC) เพื่อคัดเลือกชนิดของฟิล์มมาใช้ในการทดลอง ซึ่งได้จำนวนฟิล์มทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene;

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PE) ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 9,200 cc/m^2/day ฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน - 1 (Biaxially Oriented Polypropylene; BOPP-1) ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 7,600 cc/m^2/day ฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน - 2 (Biaxially Oriented Polypropylene; BOPP-2) ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 11,700 cc/m^2/day และฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีน – 3 (Biaxially Oriented Polypropylene; BOPP-3) ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 16,800 cc/m^2/day

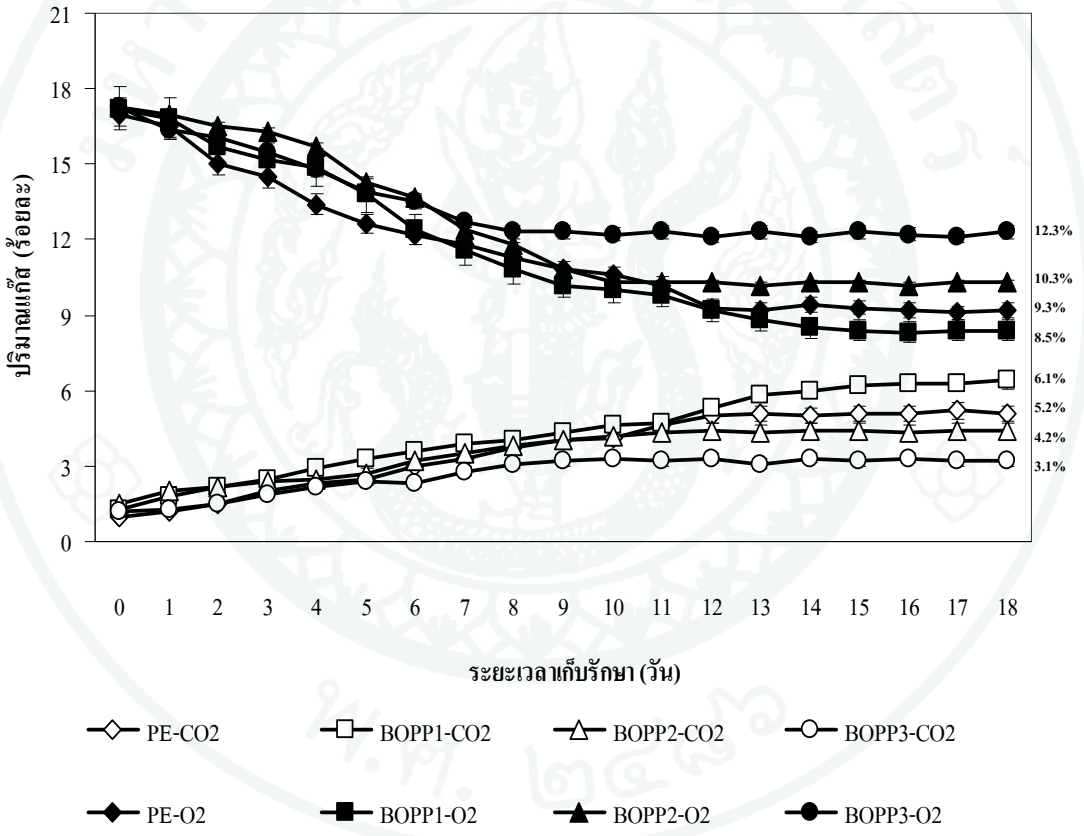


ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแก๊สภายในภาชนะบรรจุเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 18 วัน โดยเฉพาะปริมาณแก๊สออกซิเจน (O_2) และแก๊สคาร์บอนออกไซด์ (CO_2) เนื่องจากปริมาณแก๊สสามารถส่งผลต่อคุณภาพของผลมะยงชิดได้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สภายในภาชนะบรรจุนั้น เกิดจากการแลกเปลี่ยนของแก๊สภายในภาชนะบรรจุกับสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยคุณสมบัติการซึมผ่านของฟิล์ม เรียกว่า สภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบพาสซีฟ (passive modified atmosphere packaging) (Kader and Watkins, 2002) จากการศึกษาผลการบรรจุผลมะยงชิดในฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ โดยบรรจุผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB จำนวน 8 ลูก (น้ำหนัก 380 – 400 กรัม) ลงในถาดพลาสติกชนิดโพลีพรอพิลีน (Polypropylene, PP) แล้วทำการปิดผนึก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ด้วยฟิล์มพลาสติก 4 ชนิดที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว โดยมีค่าการซึมผ่านของแก๊สต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 วัน พบว่า ปริมาณแก๊ส O_2 ภายในภาชนะบรรจุของมะยงชิดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกชนิดมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณแก๊ส CO_2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 33 เนื่องจากผลมะยงชิดใช้แก๊ส O_2 ในการหายใจทำให้ความเข้มข้นลดลงและปล่อยแก๊ส CO_2 ออกมา เมื่ออัตราการให้แก๊ส CO_2 สูงกว่าอัตราการซึมผ่านของฟิล์มของแก๊สออกไปภายนอกจะทำให้เกิดการสะสมของแก๊ส CO_2 ภายในภาชนะบรรจุจึงทำให้เกิดการปรับสภาพบรรยากาศขึ้น (งามทิพย์, 2537)



ภาพที่ 33 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของผลมะยงชิดแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแก๊สออกซิเจน (O_2) ภายในภาชนะบรรจุนั้นจะเกิดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างอัตราการหายใจของผลไม้ในภาชนะบรรจุกับอัตราการซึมผ่านของฟิล์ม (Schlimme, 1995; Makino, 2001) และเกิดขึ้นจนกระทั่งปริมาณแก๊สภายในภาชนะเข้าสู่สมดุลของสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA หรือ Steady state) ซึ่งเป็นการเกิดการแพร่ผ่านของแก๊ส CO_2และแก๊ส O_2ระหว่างภายในกับภายนอกของภาชนะบรรจุจนเกิดสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับผลิตผล (Chau and Talasila, 1994; Al-Ati and Hoctckiss, 2002) ฟิล์ม BOPP-3 เข้าสู่บรรยากาศสมดุลในวันที่ 8 ในขณะที่ฟิล์ม BOPP-2, PE และ BOPP-1 ซึ่งเข้าสู่บรรยากาศสมดุลในวันที่ 10, 12 และ 14 วันของการเก็บรักษาตามลำดับ (ตารางที่ 5) โดยปริมาณแก๊สในภาชนะบรรจุผลมะยงชิดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE, BOPP-1, BOPP-2, BOPP-3 มีการสะสมของปริมาณแก๊ส CO_2 5 %+ O_2 9 %, CO_2 6 %+ O_2 8%, CO_2 4 % + O_2 10 % และ $CO_2$3 %+ O_2 12 % ซึ่งฟิล์มแต่ละชนิดมีระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate; OTR) โดยฟิล์ม BOPP- 1 ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีค่า OTR น้อยที่สุด มีการสะสมปริมาณแก๊ส CO_2 มากที่สุด และเหลือปริมาณแก๊ส O_2 น้อยที่สุด ทำให้ระยะเวลาเข้าสู่บรรยากาศสมดุลเกิดขึ้นช้าที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Heimdal (1995) ซึ่งพบว่าการเก็บรักษาผักกาดหอมในภาชนะบรรจุที่มีค่า OTR น้อยจะทำให้เกิดการสะสมของแก๊ส CO_2 ในปริมาณมากส่งผลให้เข้าสู่สภาวะสมดุลได้ช้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere; EMA) ภายในภาชนะบรรจุผลมะยงชิดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเข้าสู่ EMA (วัน)	ระดับความเข้มข้นของแก๊ส (ร้อยละ)		OTR[1] ($cc/m^2/day$)
		คาร์บอนไดออกไซด์	ออกซิเจน	
PE	12	5	9	9,200
BOPP-1	14	6	8	7,600
BOPP-2	10	4	10	11,700
BOPP-3	8	3	12	16,800

หมายเหตุ PE คือ พอลีเอทิลีน

BOPP-1 คือ พอลีพรอพิลีนรหัส 1

BOPP-2 คือ พอลีพรอพิลีนรหัส 2

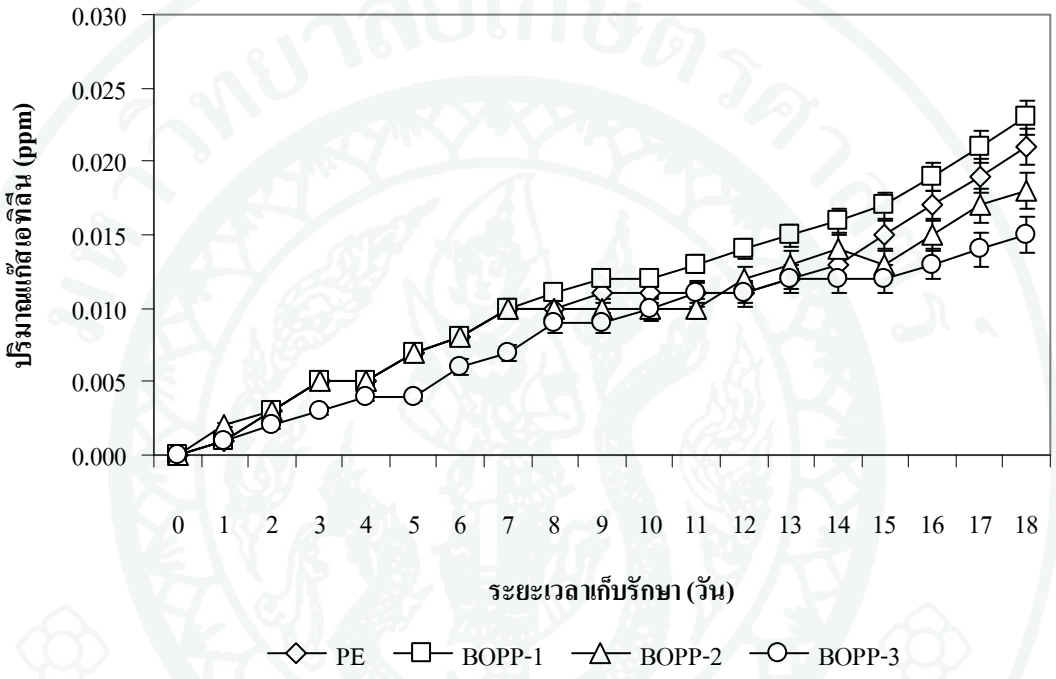
BOPP-3 คือ พอลีพรอพิลีนรหัส 3

[1]อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนซึ่งได้จากการวัดโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สเอทิลีนที่สะสมในภาชนะบรรจุผลมะยงชิดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 4 ชนิดของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สเอทิลีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 34) ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่พบนั้นมีปริมาณค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 0.1) ซึ่งปริมาณการสะสมแก๊สเอทิลีนในภาชนะบรรจุผลมะยงชิดมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับค่า OTR โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อฟิล์มมีการสะสมปริมาณแก๊ส CO_2 เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณแก๊ส O_2 มีปริมาณลดลง โดยพบปริมาณแก๊สเอทิลีนมากที่สุดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-1 เท่ากับ ร้อยละ 0.024 เนื่องจากฟิล์มชนิดนี้มีค่า OTR น้อยที่สุดส่งผลให้ปริมาณแก๊ส O_2 ภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณน้อย ทำให้ผลไม้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถเหนี่ยวนำและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำให้เกิดการสะสมของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหมัก โดยเฉพาะ เอทานอล (ethanol) และอะซิตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kim *et al*. (2005) ที่พบว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสในภาชนะบรรจุที่มีค่า OTR 8.0 $pmols^{-1}m^{-2}Pa^{-1}$ จะทำให้เกิดกลิ่นหมัก เนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำสารประกอบอะซิตัลดีไฮด์และเอทานอลในภาชนะบรรจุมากกว่าการเก็บในภาชนะบรรจุที่มีค่า OTR 16.0 $pmols^{-1}m^{-2}Pa^{-1}$



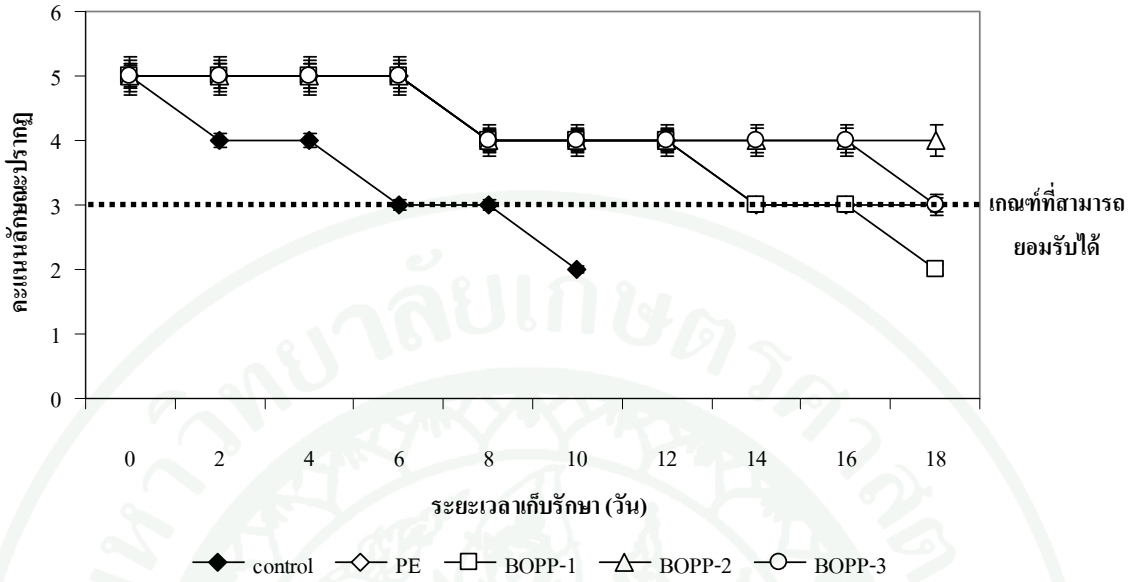
ภาพที่ 34 ปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏจัดเป็นปัจจัยสำคัญในการยอมรับของผู้บริโภค จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 35) และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 18 วันในสภาพบรรยากาศดัดแปลง พบว่า ฟิล์มชนิด PE, BOPP – 1, BOPP – 3 มีไอน้ำเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของฟิล์ม (ภาพที่ 36) โดยการที่ไอน้ำปรากฏขึ้นในภาชนะบรรจุนั้น เนื่องมาจากคุณสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม โดยฟิล์มที่มีค่า OTR มาก จะส่งผลให้เกิดการรวมตัวของไอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

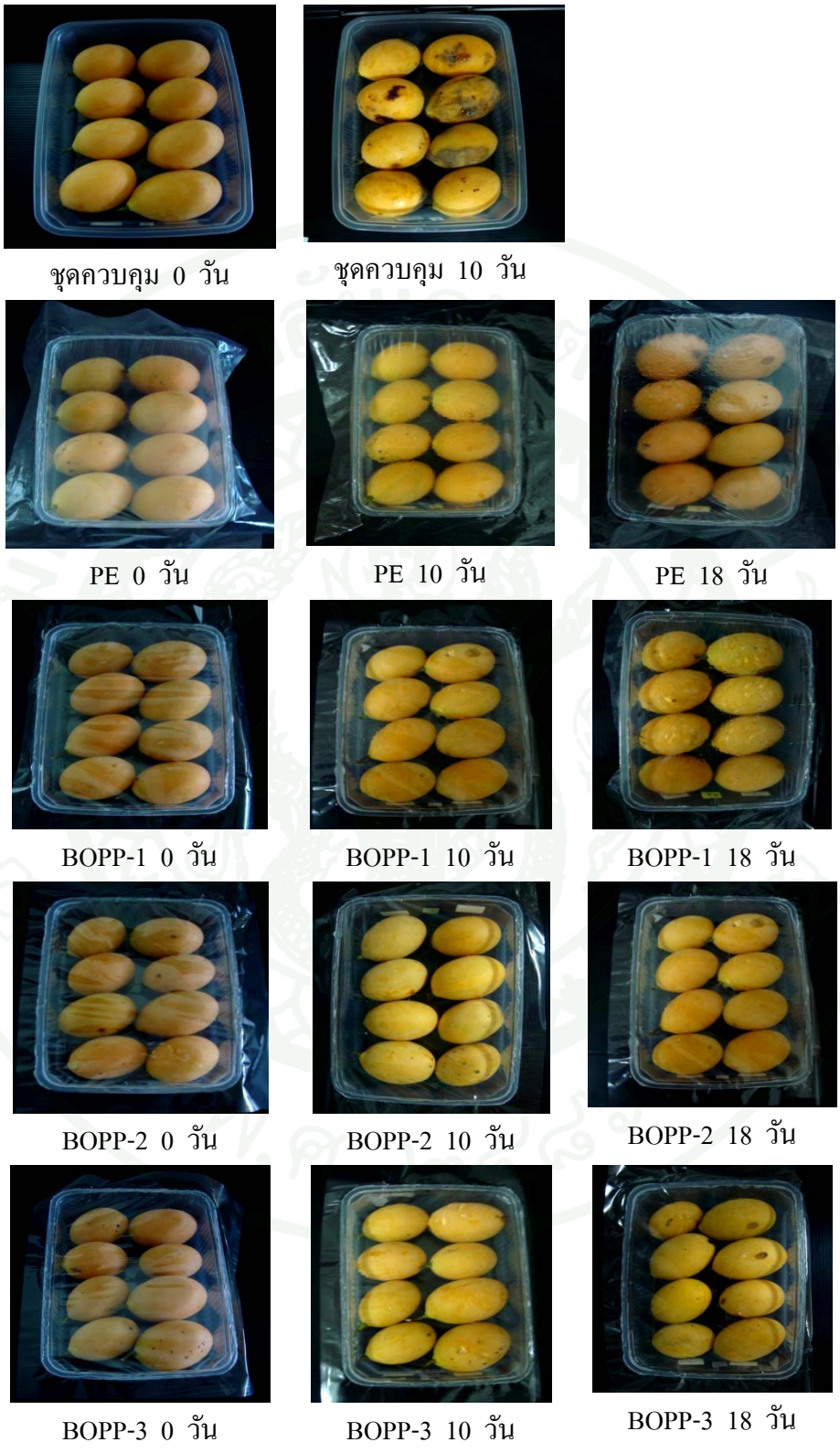
น้ำน้อยกว่าฟิล์มที่มีค่า OTR น้อย นอกจากนี้ปริมาณไอน้ำที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของแก๊สลดลงและเพิ่มปริมาณความชื้นในภาชนะบรรจุ ซึ่งเมื่อปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้มีมากเกินไปจะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ เกาะขังอยู่ภายภาชนะบรรจุแสดงดังภาพที่ 37 ทำให้การมองเห็นผลมะยงชิดที่ถูกบรรจุอยู่ลดลงและอาจส่งผลให้เกิดการเน่าเสียของผลมะยงชิดตามมา นอกจากนี้ยังพบว่า ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 37) ผลมะยงชิดซึ่งบรรจุในภาชนะที่ไม่ปิดผนึกฟิล์มอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี (Poor) และมีลักษณะของผลมะยงชิดที่มีไม่พึงประสงค์ ได้แก่ อาการเหี่ยวบริเวณขั้วผล เกิดจุดฉ่ำน้ำ มีสีผิวคล้ำ ซึ่งลักษณะเหล่านี้ล้วนเป็นลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ในขณะที่ผลมะยงชิดที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 4 ชนิดยังมีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ดี (Good) ผลมะยงชิดยังมีลักษณะใกล้เคียงกับผลสด มีสีคล้ำขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงมีความสม่ำเสมอ ไม่มีลักษณะเหี่ยวบริเวณขั้วผล ไม่มีรอยปริแตก และไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เกิดขึ้น และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 18 วัน พบว่า ผลมะยงชิดที่ถูกบรรจุในภาชนะที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-2 ยังคงมีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ดี (Good) ยังคงมีลักษณะคล้ายผลมะยงชิดสดในขณะที่ผลมะยงชิดมี่ถูกบรรจุในภาชนะที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE และ BOPP-2 มีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (Fair) สามารถยอมรับได้ ผลมะยงชิดมีสีคล้ำขึ้นแต่ยังคงมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งผล ไม่มีรอยปริแตก และไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เกิดขึ้น แต่ผลมะยงชิดที่ถูกบรรจุในภาชนะที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-1 มีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี (Poor) ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากผลมะยงชิดมีลักษณะสีคล้ำ มีอาการฉ่ำน้ำเป็นบริเวณกว้าง ขั้วผลเริ่มเหี่ยว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



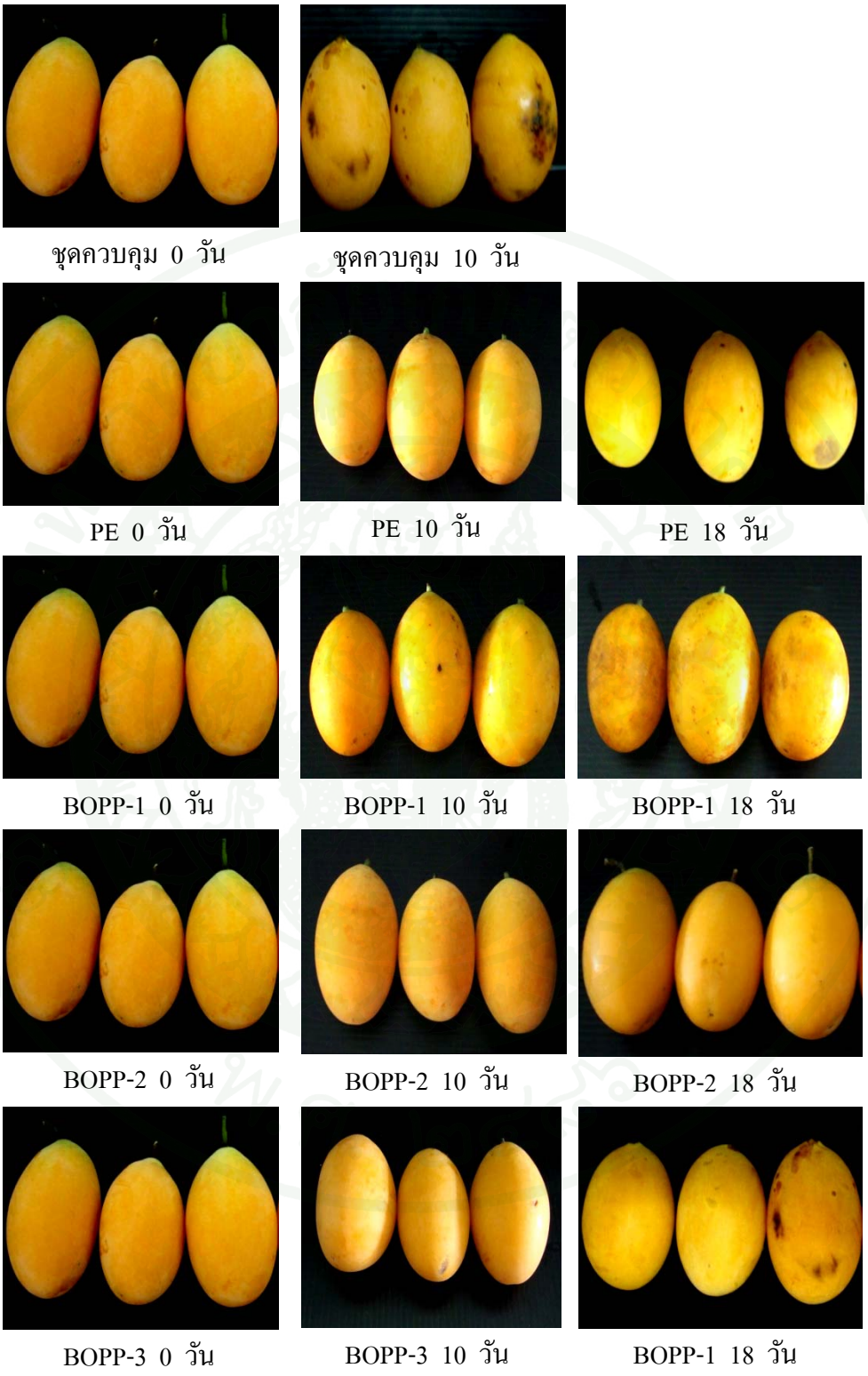
ภาพที่ 35 คะแนนลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 36 ลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

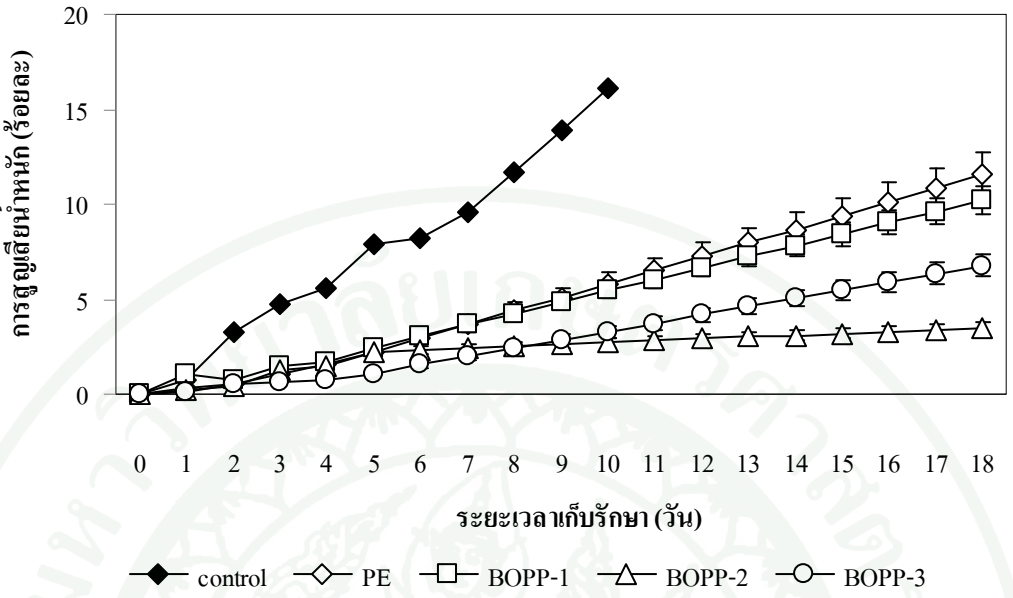


ภาพที่ 37 ลักษณะปรากฏของผลมะยงชิดซึ่งเก็บภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสูญเสียน้ำหนักเป็นสาเหตุที่สำคัญ เนื่องจากส่งผลให้น้ำหนักของผลิตผลลดลง ทำให้เกิดลักษณะไม่พึงประสงค์ที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค เช่น ลักษณะอาการเหี่ยว ไม่สด ไม่น่ารับประทาน เป็นต้น จากผลการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม (ชุดควบคุม) ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 38) ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ผลมะยงชิดที่ถูกบรรจุในภาชนะที่ไม่ปิดผนึกฟิล์มสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 16.1 จากวันแรกของการเก็บรักษา ในขณะที่ผลมะยงชิดที่ถูกบรรจุในภาชนะที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม 4 ชนิด เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 3.5 – 11.5 เท่านั้น ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดได้ประมาณ 1.4 – 4.6 เท่า และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 18 วัน ผลมะยงชิดที่ถูกบรรจุในภาชนะที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-2 เกิดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดน้อยที่สุด ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักเกิดจากกระบวนการหายใจ รวมไปถึงความแตกต่างของความดันไอน้ำที่มีน้อยระหว่างบรรยากาศกับผลิตผล ดังนั้นการเก็บรักษาผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติกในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลได้ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับชุดควบคุมซึ่งไม่มีการปิดผนึกฟิล์มของผลมะยงชิด ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ยังสามารถพบได้ในผลไม้ชนิดอื่น เช่น บรอคโคลี (Jia *et al*., 2009) ลิ้นจี่ (Sivakumar and Kosten, 2006; Somboonkaew and Terry, 2010) สตรอเบอรี่ (Ozakaya *et al*., 2009) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



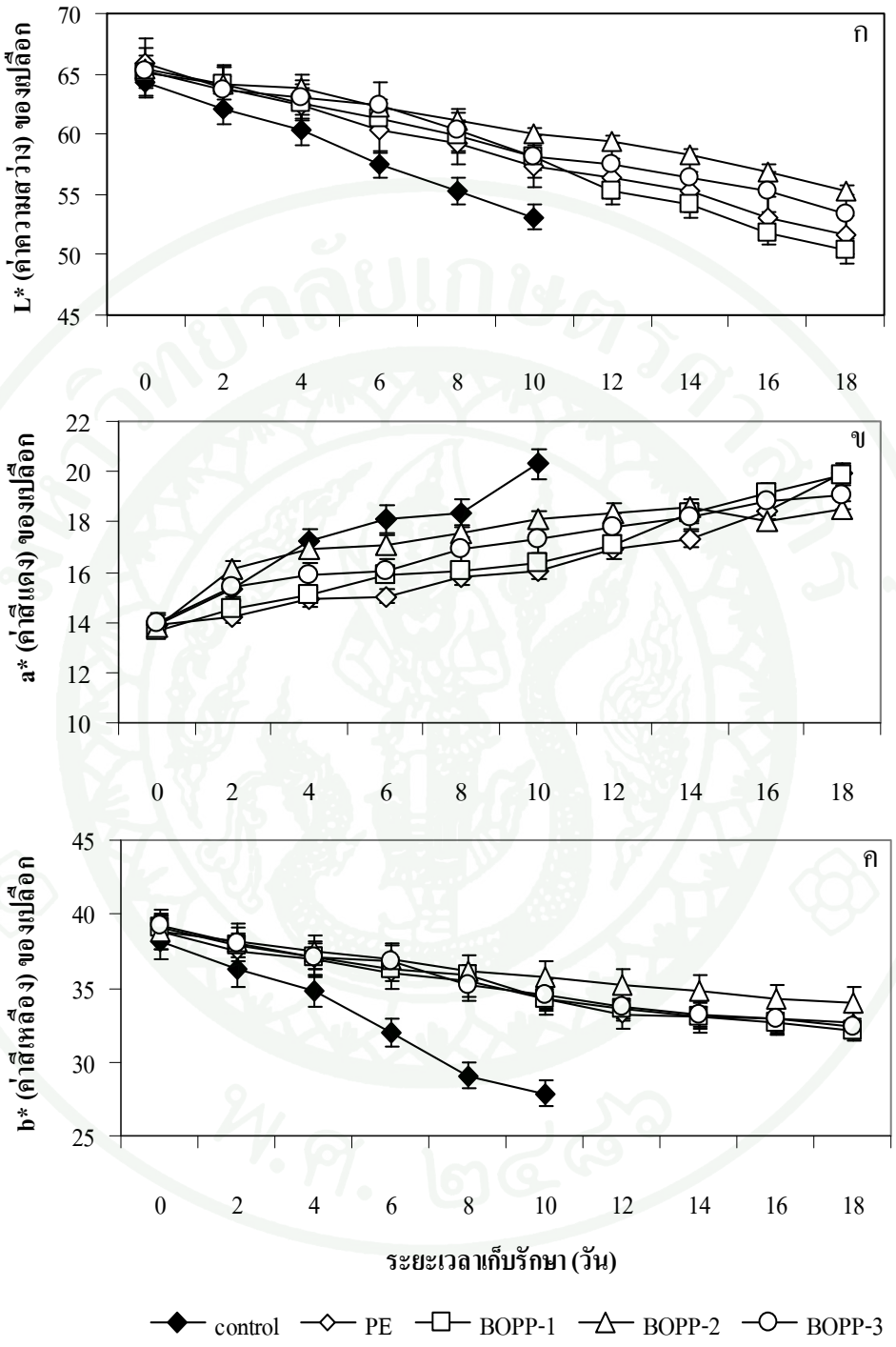
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ค่าสีนิยมใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพเพราะเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อการยอมรับของผู้บริโภค จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม (ชุดควบคุม) ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 39 และ 40) การลดลงของค่า L* (ความสว่าง) ค่า b* (ค่าสีเหลือง) และการเพิ่มขึ้นของค่า a* (ค่าสีแดง) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของผลมะยงชิดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างของสี ($\triangle$E*)ทั้งในเปลือกและเนื้อ (ภาพที่ 41) โดยผลมะยงชิดเปลี่ยนสีผิวและสีเนื้อ จากสีเหลือง เป็นสีเหลืองแกมส้ม และสีส้มเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การลดลงของค่าสี สอดคล้องกับคะแนนลักษณะปรากฏที่มีแนวโน้มลดลง การเก็บรักษาผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มต่างๆ จะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลมะยงชิดได้ทั้งในเปลือกและเนื้อ ซึ่งการเก็บรักษาแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศนี้ สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของผลิตผล เนื่องจากการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโธไซยานิน (anthocyanin) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีอยู่ในผลไม้ถูกชะลอ (Artés *et al*., 2000) และเป็นไปในทิศทาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

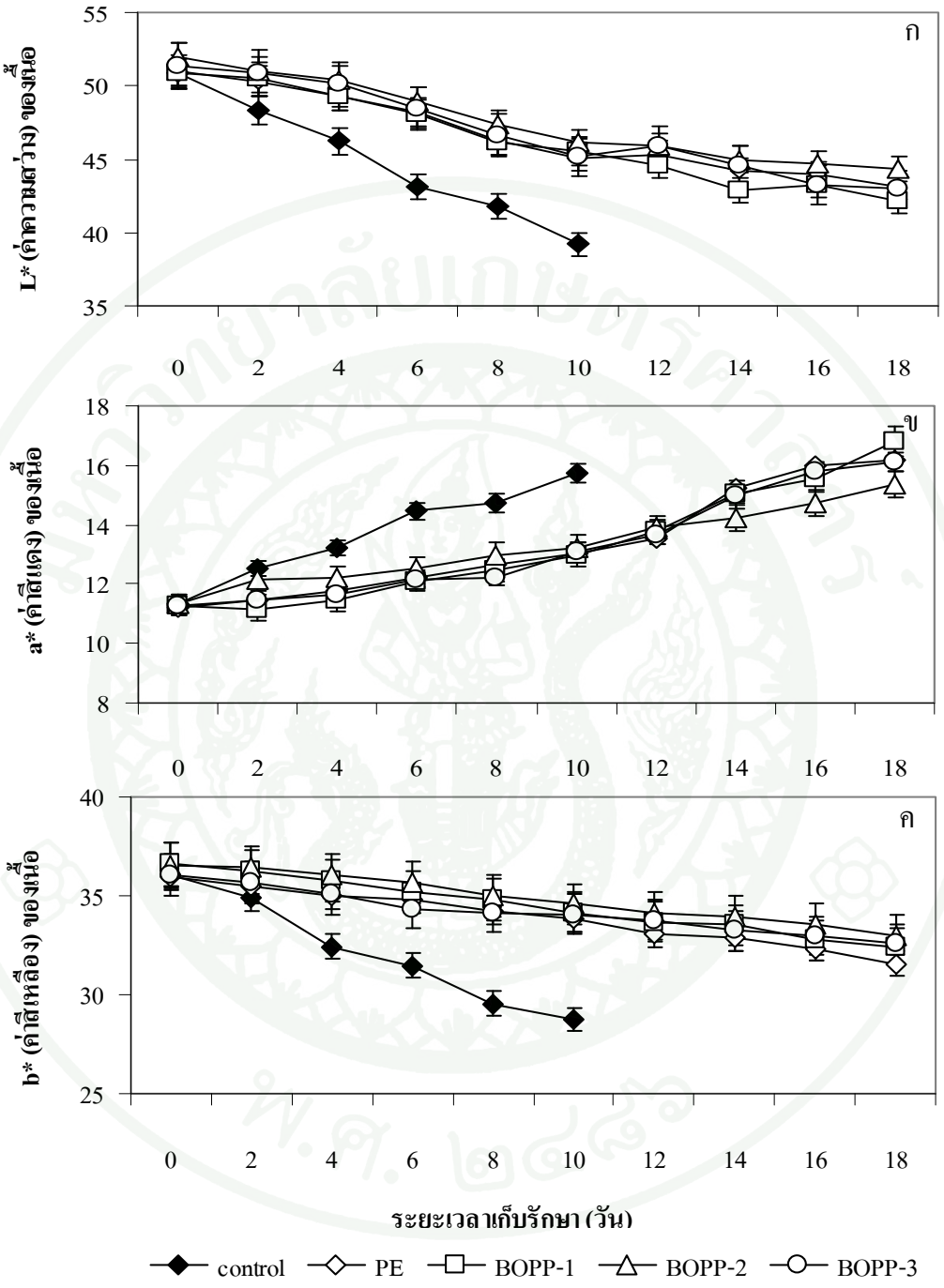
เดียวกับการทดลองของ Moura *et al*. (1997) ซึ่งพบว่าการเก็บรักษาพลับพันธุ์ Taubate ในภาชนะที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC (Polyvinyl chloride) มีปริมาณสารคลอโรฟิลล์สูงกว่าพลับที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์มหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 72 วัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากการสังเคราะห์ทางชีวเคมีของสารแคโรทีนอยด์ถูกชะลอภายใต้การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ผลไม้ชนิดอื่นๆด้วย เช่น พลัม (Díaz-Mula *et al*., 2011) มะม่วง (Pesis *et al*., 2000) ลองกอง (Amorós *et al*., 2008) ลิ้นจี่ (Somboonkaew and Terry, 2010) องุ่น (Martínez-Romero *et al*., 2003) เป็นต้น นอกจากนี้จากผลการทดลอง ยังพบว่า ผลมะยงชิดที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-2 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีของผลมะยงชิดได้มากที่สุดเนื่องจากเป็นฟิล์มที่มีค่า OTR น้อยกว่าฟิล์ม BOPP-3 แต่ไม่เกิดอาการจุดช่ำน้ำ ซึ่งทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลเหมือนผลมะยงชิดที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-3 ในขณะที่ผลมะยงชิดที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-1 มีค่า OTR น้อยที่สุด ทำให้เกิดการสะสมปริมาณแก๊ส CO_2 ที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เกิด CO_2 injury ได้ เนื่องจากแก๊ส CO_2 สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ succinic dehydrogenase ทำให้เกิดการสะสมของกรด succinic เพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อพืชได้ (Jayas and Jeyamkondan, 2002) จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Nunes *et al*. (2006) ที่พบว่า ผลเบอร์รี่ที่ถูกบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มที่มีค่าความสามารถการซึมผ่านต่ำ (low permiability) จะมีค่าสีที่เข้มกว่าผลเบอร์รี่ที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์มที่มีค่าความสามารถการซึมผ่านมากกว่า เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kim *et al*. (2004) ที่พบว่า การเกิดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดสีผิดปกตินั้น จะเกิดขึ้นในกะหล่ำปลีที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์มมีค่า OTR น้อยมากกว่ากะหล่ำปลีที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์มที่มีค่า OTR มาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



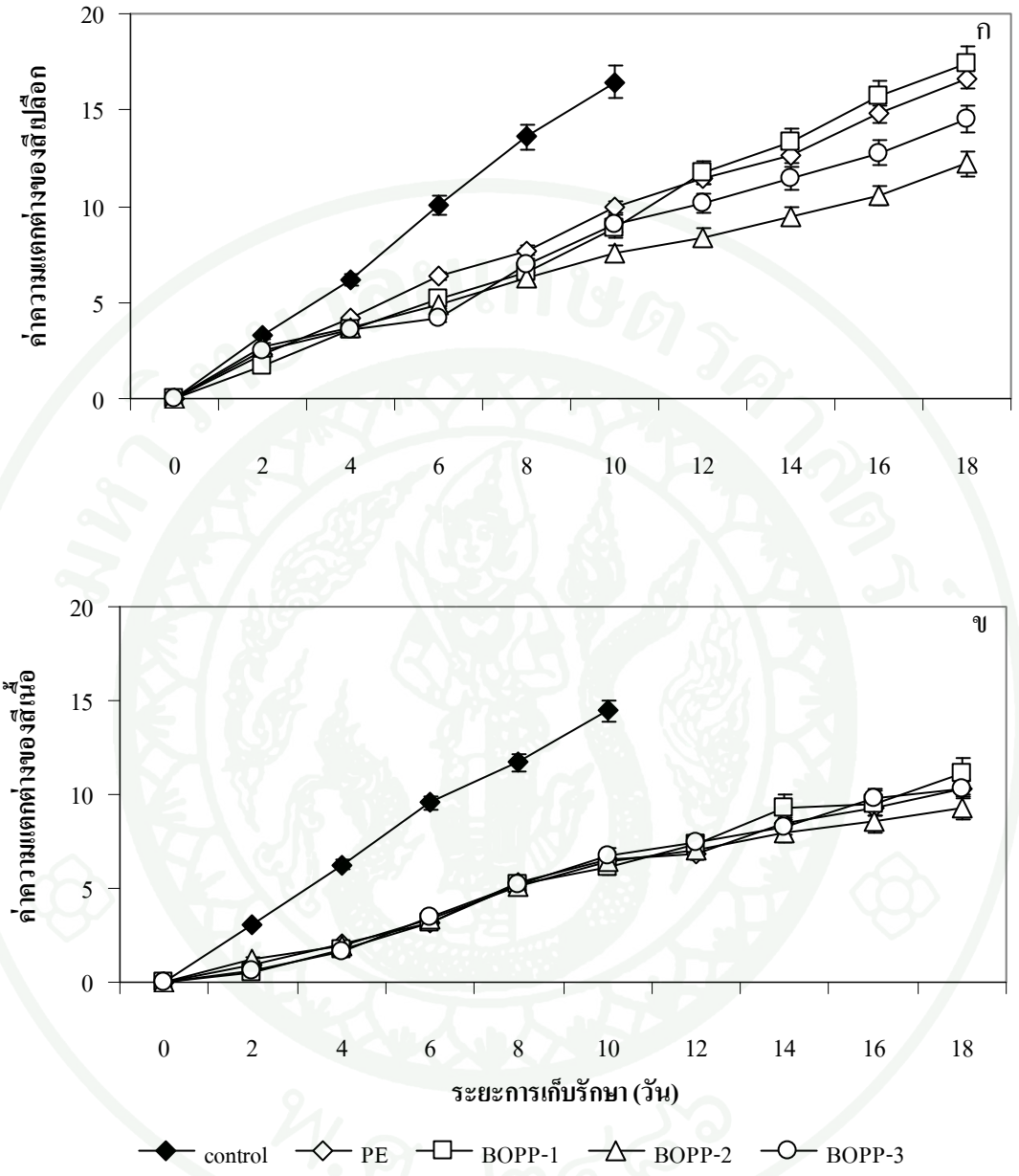
ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ค่าความสว่าง) (ก), ค่า a* (ค่าสีแดง) (ข) และค่า b* (ค่าสีเหลือง) (ค) ของเปลือกผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงค่า L* (ค่าความสว่าง)(ก), ค่า a* (ค่าสีแดง)(ข) และค่า b* (ค่าสีเหลือง)(ค) ของเนื้อผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

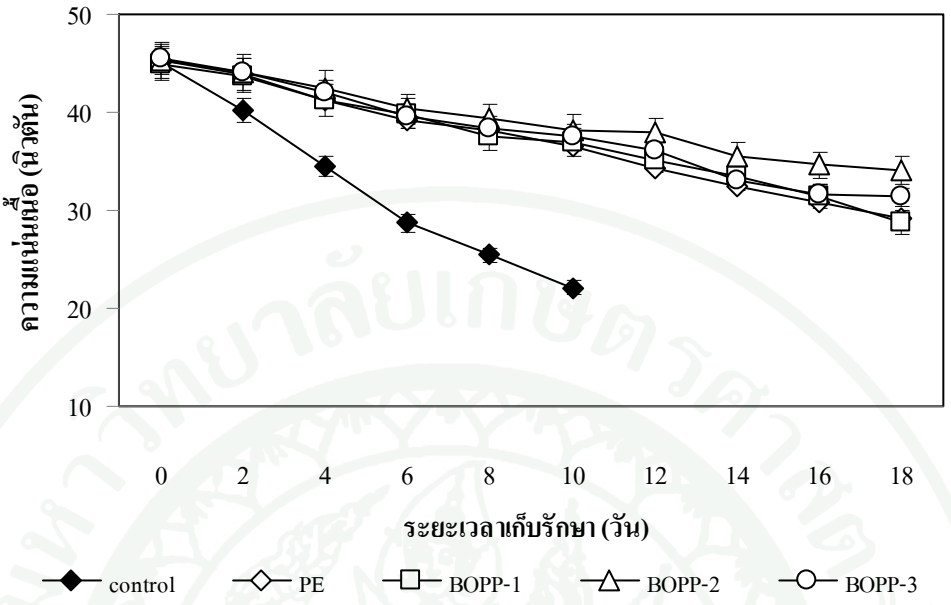


ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงค่าค่าความแตกต่างของสี (△ E*) ของเปลือก (ก) และเนื้อ (ข) ผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแน่นเนื้อ เป็นปัจจัยซึ่งใช้ประเมินคุณภาพของผลิตผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะในผักและผลไม้ (Konopacka and Plocharski, 2004) โดยค่าความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล กล่าวคือ เมื่อมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อของผลิตผลก็จะลดลง ซึ่งการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงจะสามารถลดการสูญเสียความแน่นเนื้อของผลไม้ได้ (Ramin *et al*., 2004; Zhenfeng *et al*., 2007) จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม (ชุดควบคุม) ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 42) ผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์มมีค่าความแน่นเนื้อลดลงคิดเป็นร้อยละ 51.1 จากวันแรกของการเก็บรักษา และไม่สามารถวัดค่าได้อีกเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากผลิตผลเริ่มเกิดการเสื่อมเสียและมีลักษณะไม่พึงประสงค์ ในขณะที่ผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE, BOPP-1, BOPP-2 และ BOPP-3 พบว่า มีค่าความแน่นเนื้อลดลงคิดเป็นเพียงร้อยละ 19.6, 18.0, 15.7 และ 17.5 ตามลำดับ ค่าความแน่นเนื้อที่ลดลงในผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เกิดจากเอนไซม์ที่เร่งการสลายของผนังเซลล์ เช่น เอนไซม์ Polygalactoronase, pectinase, β-galactosidase , β-(1,4)-glucanase เป็นต้น ซึ่งอาจมีปริมาณของเอนไซม์เหล่านี้มากกว่าผลมะยงชิดที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม แสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาผลมะยงชิดในสภาพบรรยากาศดัดแปลงนั้นสามารถช่วยชะลอการอ่อนนุ่มของผลไม้ได้ เนื่องจากการเก็บรักษาแบบนี้สามารถลดกระบวนการของการเสื่อมสลายลักษณะทางกายภาพ โดยการป้องกันการสูญเสียน้ำของผลไม้ (Caner and Aday, 2008) พบได้ในผลไม้ชนิดอื่น เช่น เชอร์รี่ (Serrano *et al*., 2005) พลัม (Khan and Sing, 2008) พีช (Akbudak and Eris, 2004) เป็นต้น และเมื่อเก็บรักษาผลมะยงชิดเป็นระยะเวลา 18 วัน ค่าความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE, BOPP-1, BOPP-2 และ BOPP-3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 35.9, 36.0, 24.7 และ 31.1 จากวันแรกของการเก็บรักษา ตามลำดับ จากผลการทดลองยังพบว่า ผลมะยงชิดที่ในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-1 มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด เนื่องจากฟิล์ม BOPP-1 มีค่า OTR ต่ำกว่าฟิล์มชนิดอื่น ทำให้มีการสะสมของแก๊ส CO_2 มาก ซึ่งหากปริมาณแก๊ส CO_2 มีมากเกินไปจะเป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตผลเพิ่มมากขึ้น อัตราการหายใจของผลไม้ก็จะสูงกว่าในสภาพอากาศปกติ (Poubol and Isumi, 2005) เนื่องจากปริมาณแก๊ส CO_2 ที่สูงนั้นจะไปชักนำการการสลายตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารสำคัญออกมา (Rojas-Graü *et al*. 2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

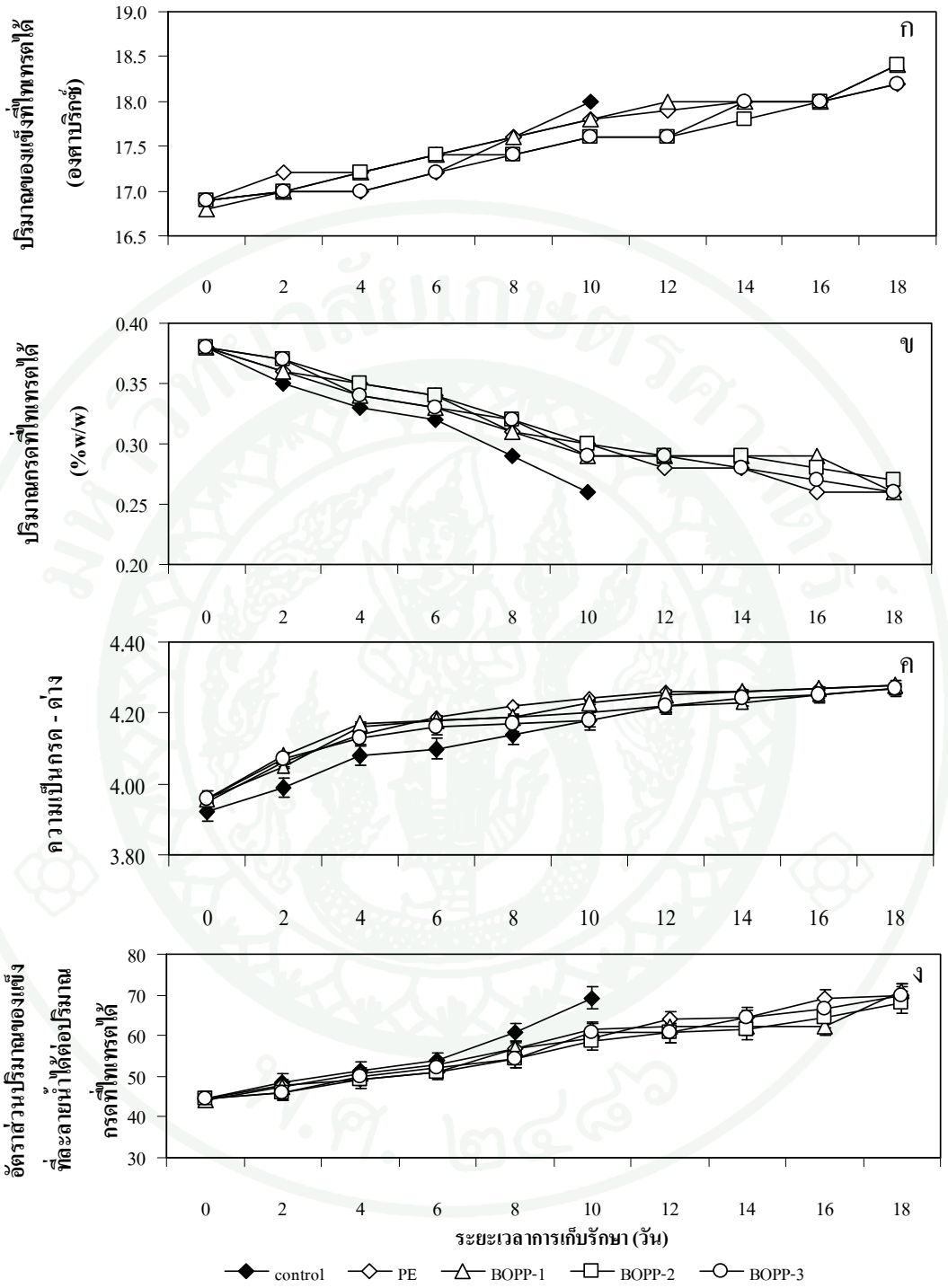
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p >0.05) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 43 ก) การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะยงชิดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้ามีปริมาณสูงสามารถเร่งการเสื่อมสภาพของผลไม้ได้ นอกจากนี้การสูญเสียน้ำของผลไม้ ทำให้ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมะยงชิดมีเพิ่มขึ้น

เมื่อตรวจสอบความเป็นกรดของผลมะยงชิด พบว่า ชนิดของฟิล์มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และค่าความเป็นกรด – ด่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05) และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 43ข) ในขณะที่ค่าความเป็นกรด – ด่าง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 43ค) เนื่องจากน้ำตาลและกรดถูกนำไปใช้ประโยชน์เป็นสารตั้งต้นหลักของกระบวนการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หายใจซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และค่าความเป็นกรด – ด่าง เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษา ซึ่งผักและผลไม้จะส่งผลต่อปริมาณแก๊ส O_2 ที่แตกต่างกัน ขึ้นกับ อายุการเก็บเกี่ยว เวลา อุณหภูมิของการเก็บรักษา และปริมาณความเข้มข้นของแก๊ส O_2 แก๊ส CO_2 และเอทิลีน (Kader and Ben-Yohoshua, 2000) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจมาจากผลของแก๊ส O_2 ที่เพิ่มสูงขึ้นภายในภาชนะบรรจุ เนื่องจากผลิตผลเกิดการหายใจได้อีกด้วย และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ พบว่า ชนิดของฟิล์มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 43ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

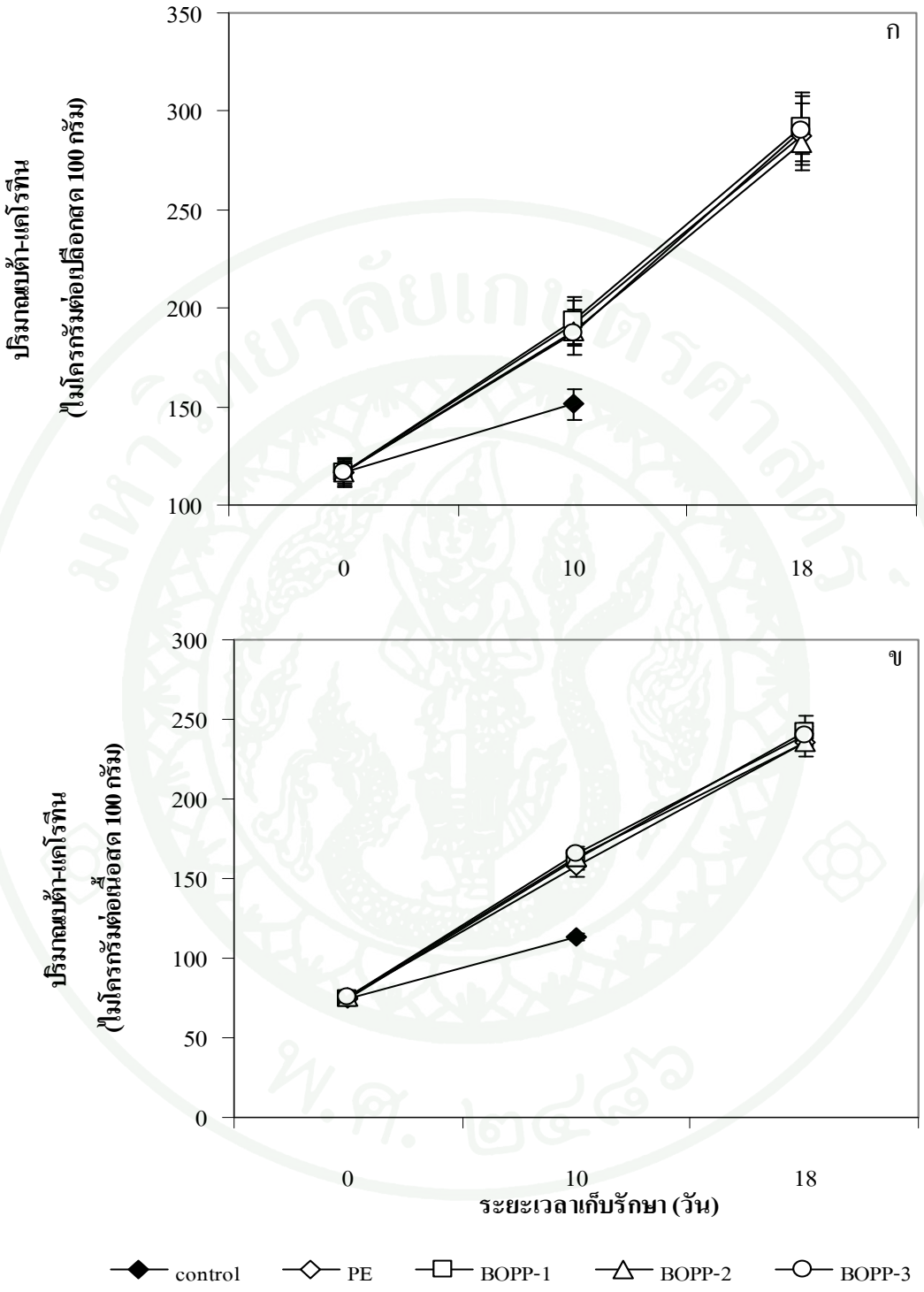


ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ก) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ข) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค) และอัตราส่วนของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ง) ของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แคโรทีนอยด์เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในพืชซึ่งประกอบด้วยระบบที่แสดงความเป็นฮอร์โมนพืช (Schwartz *et al*., 2003) กระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพของสิ่งแวดล้อม (Demming-Adams and Adams, 2002) ซึ่งสารเบต้า-แคโรทีนจัดได้ว่าเป็นหนึ่งในกลุ่มสารประเภทนี้ เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารเบต้า-แคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม (ชุดควบคุม) ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา เนื่องจากผลมะยงชิดที่บรรจุในภาชนะปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เป็นการเก็บรักษาแบบสภาพบรรยากาศดัดแปลง ดังนั้น การเก็บรักษาในสภาวะนี้จะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารเบต้า – แคโรทีน รวมไปถึงยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์รงควัตถุ ทำให้ผลมะยงชิดที่เก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลงมีปริมาณสารเบต้า - แคโรทีนมากกว่าผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม นอกจากนี้จากผลการทดลอง ยังพบว่า ปริมาณสารเบต้า – แคโรทีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้งในเปลือก (ภาพที่ 44ก) และเนื้อ (ภาพที่ 44ข) โดยพบปริมาณเบต้า-แคโรทีนในเปลือกมากกว่าในเนื้อ ซึ่งให้ผลสอดคล้องเช่นเดียวกับองุ่น (Martínez-Romero *et al*., 2003; Artés-Hernándwz *et al*., 2004) โดยปริมาณสารเบต้า – แคโรทีนที่มีในผลไม้นั้น ขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว ฤดูกาล การดูแลก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว และสภาวะการเก็บรักษา (Rodriguez-Amaya *et al*., 2008)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

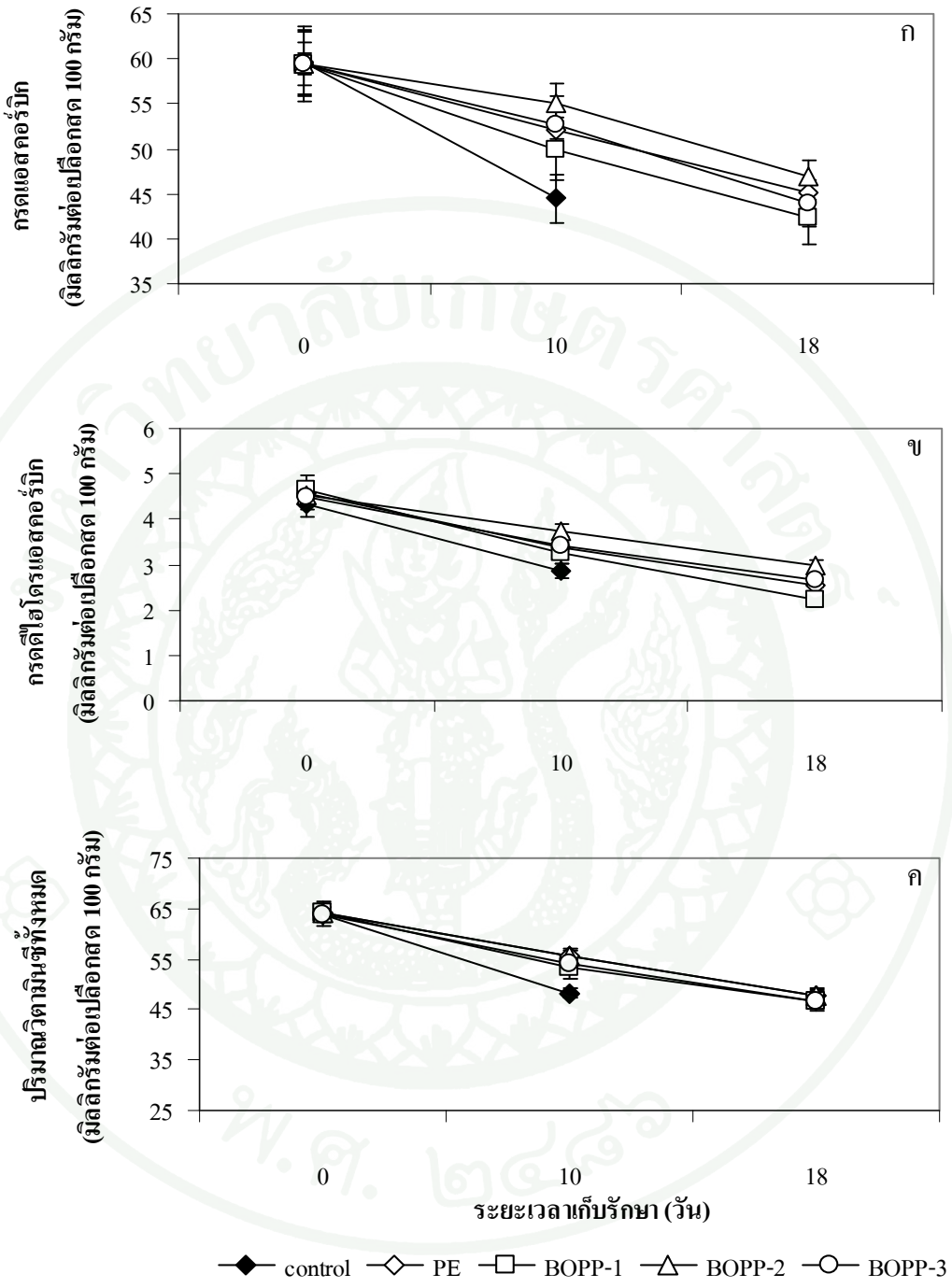


ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเบต้า-แคโรทีนของเปลือก (ก) และเนื้อ (ข) ของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

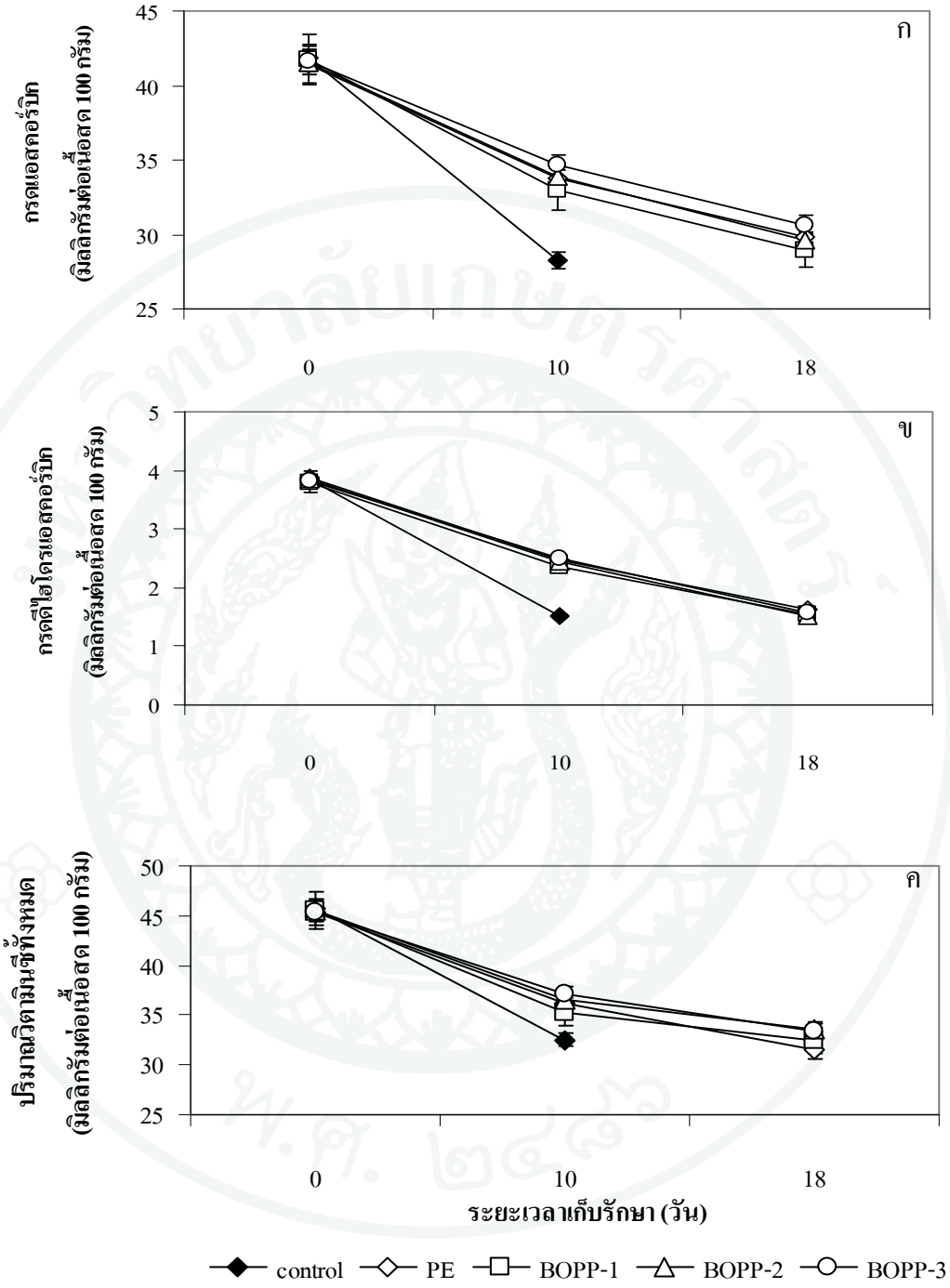
วิตามินซีมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่สามารถละลายน้ำได้จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการช่วยขจัด superoxide radical, singlet oxygen, hydrogen peroxide และ hydroxyl radical ภายในเซลล์ (Klimczak *et al*., 2007) เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid, LAA) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid, DHA) และปริมาณวิตามินซี (total ascorbic acid, TAA) ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์มเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง LAA, DHA และ TAA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม (ชุดควบคุม) ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา สอดคล้องกับการศึกษาของ Barth *et al*. (1993) ซึ่งพบว่าการเก็บรักษาบรอคโคลีในสภาพบรรยากาศดัดแปลงมีปริมาณ LAA มากกว่าเก็บในสภาพปกติที่ไม่ได้มีการบรรจุ เนื่องจากการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุผลมะยงชิดสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LAA เป็น DHA ได้ แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่า ปริมาณ LAA, DHA และ TAA มีแนวโน้มลดลงทั้งในเปลือก (ภาพที่ 45) และเนื้อ (ภาพที่ 46) โดยมีปริมาณวิตามินซีในเปลือกมากกว่าในเนื้อ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ahmed *et al*. (2011) ซึ่งพบว่า ปริมาณ LAA ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณแก๊ส O_2 ซึ่งอยู่ภายในช่องว่างของภาชนะบรรจุส่งผลกระทบให้เกิดการสลายตัวของกรด LAA ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการสลายตัวของ LAA นั้น เนื่องจาก DHA ถูกออกซิไดส์เป็น 2,3 – diketogulonic acid หลังจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ทำให้ปฏิกิริยาผันกลับของกรดแอสคอร์บิกเกิดได้ต่ำ (Klein, 1987) นอกจากนี้ Agar *et al*. (1999) ยังกล่าวว่า ปริมาณแก๊ส CO_2 สูงสามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LAA และยับยั้งการลดลงของ DHA ให้กลายเป็น LAA ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ก) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (ข) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (ค) ของเปลือกผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



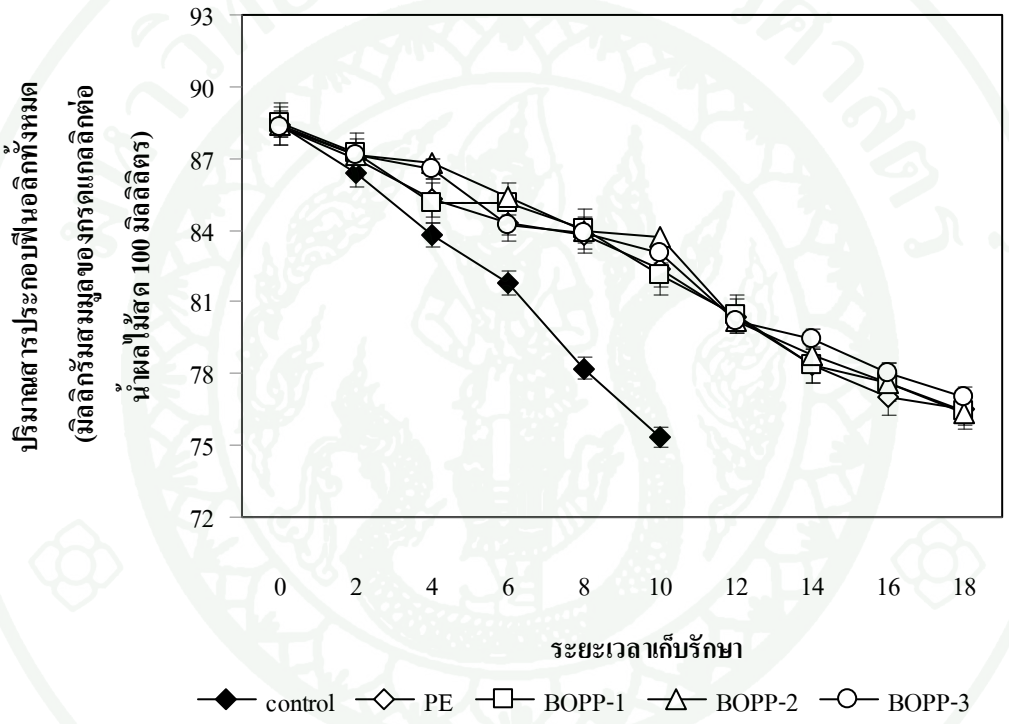
ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ก) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (ข) และกรดแอสคอร์บิกทั้งหมด (ค) ของเนื้อผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม (ชุดควบคุม) ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในวันที่ 10 ของการเก็บรักษาโดยการเก็บรักษาผลมะยงชิดในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกได้ร้อยละ 2 – 3 เท่า (ภาพที่ 47) เนื่องจากการเก็บรักษาผลไม้ในสภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (Phenylalanina ammonialyase; PAL) หรือ chalcone synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก (Desjardin, 2008) ตลอดจนการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) (Pourcel *et al*., 2007) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายสารประกอบฟีนอลิกได้ จากผลการทดลอง ยังพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณแก๊ส O_2 ที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุสูงสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกได้ (Day, 2001; Cocci *et al*., 2006) เนื่องจากปริมาณแก๊ส O_2 ที่สูงมีผลโดยตรงต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชในสภาวะที่พืชเกิดความเครียด (Rojas-Graü *et al*., 2009) สภาวะความเครียดนี้จะทำให้กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PAL (Cantos *et al*., 2002) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของผลไม้ด้วย เมื่อศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2, 2 – Diphenyl-1-picrylhydrazyl) (ภาพที่ 48ก) และ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2,2'- azobis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) (ภาพที่ 48ข) ของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม (ชุดควบคุม) ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Serrano *et al*.(2006) ซึ่งพบว่าการเก็บรักษาบรอคโคลีในภาชนะที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์มโพลีโพพิลีน (polypropylene, PP) จะมีการสูญเสียความสามารถต้านออกซิเดชันน้อยกว่าเก็บรักษาในสภาพปกติ และการศึกษาของ Odriozalo-Serrano *et al.* (2010) ซึ่งตรวจสอบสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลสตรอเบอรี่ พบว่าการเก็บในสภาพที่มีการควบคุมบรรยากาศโดยมีปริมาณแก๊ส O_2 ต่ำ (2.5 kPa) ร่วมกับปริมาณแก๊ส CO_2 สูง (7 kPa) ช่วยรักษาสมบัติในการ

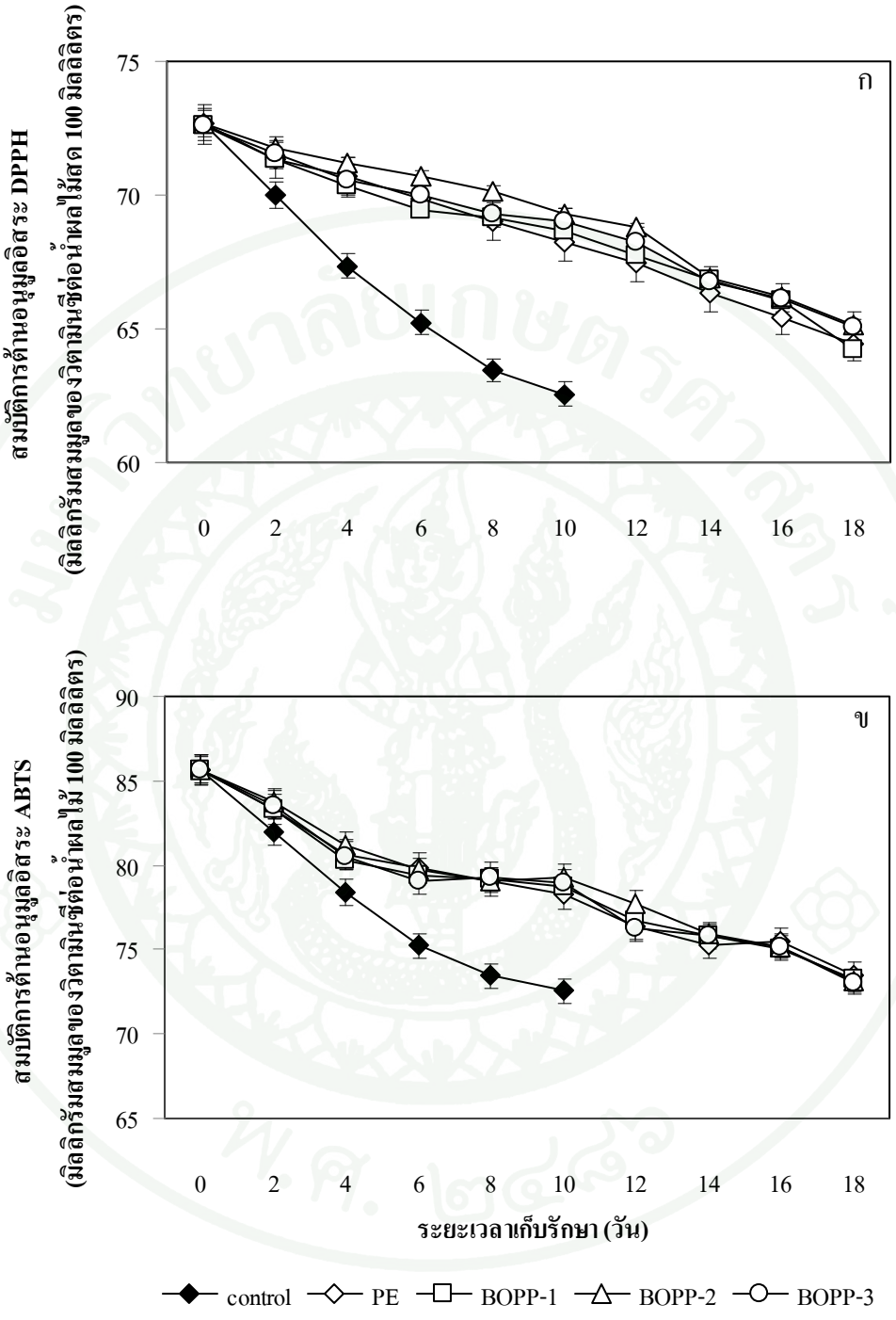
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าทั้งการเก็บในสภาพบรรยากาศปกติและในสภาวะที่มีปริมาณแก๊ส O_2 สูง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแอสคอร์บิกของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB เป็นไปในทิศทางเดียวกับความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและวิตามินซี เป็นสารที่มีผลและมีความสัมพันธ์ต่อความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกและวิตามินซีเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้



ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำคั้นผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึก ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

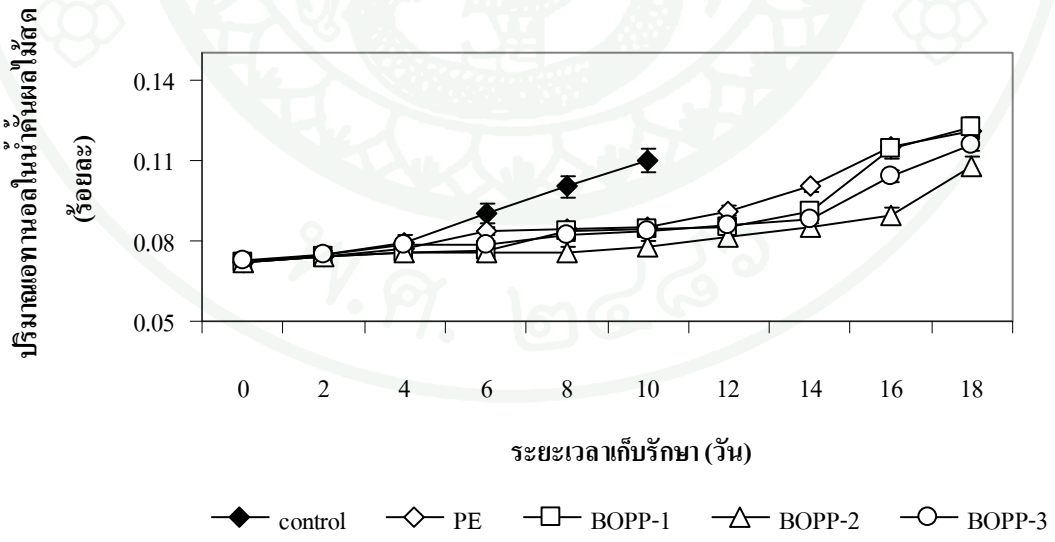
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ก) และ ABTS (ข) ของน้ำคั้นผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึก ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณเอทานอลสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการสูญเสียคุณภาพด้านกลิ่นของผลไม้ได้ (Matthesis and Fellman, 2000) เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลมะยงชิดที่อายุการเก็บเกี่ยว 65 DAFB ในภาชนะบรรจุที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่า ชนิดของฟิล์มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 49) โดยผลมะยงชิดภายในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP-1 จะมีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นมากกว่าผลมะยงชิดภายในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่น เนื่องจากฟิล์มชนิดนี้มีปริมาณแก๊ส CO_2 มากที่สุด และมีปริมาณแก๊ส O_2 น้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้ผลมะยงชิดอาจเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดสารประกอบอะซีตัลดีไฮด์ และเอทานอลได้ เนื่องจากสภาพที่ขาดแก๊ส O_2 ผลิตผลจะมีการเปลี่ยนแปลงการหายใจแบบใช้ออกซิเจนไปเป็นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้กระบวนการหมักแทน เมื่อผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสทำให้น้ำตาลถูกเปลี่ยนจนได้กรดไพรูวิก (pyruvic acid) แล้วเกิดการออกซิไดส์ต่อไปได้สารประกอบอะซีตัลดีไฮด์ และเอทานอลในที่สุด (จริงแท้, 2546) สอดคล้องกับการศึกษาของ Pesis *et al*. (2002) ที่พบว่า เมื่อเก็บรักษาลิ้นจี่ในสภาพ MAP จะมีการสะสมของปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาของ Ke *et al*. (1991) พบว่า ปริมาณเอทานอลในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่สามารถรับได้ คือ ไม่เกิน 23 ไมโครลิตร/ลิตร



ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาผลของคุณภาพผลมะยงชิดที่บรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดยใช้ฟิล์ม 4 ชนิด ได้แก่ PE, BOPP-1, BOPP-2 และ BOPP-3 เป็นตัวกำหนดสัดส่วนของปริมาณแก๊สภายในภาชนะบรรจุ เปรียบเทียบกับผลมะยงชิดที่ไม่ถูกปิดผนึกด้วยชนิดฟิล์ม แสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาผลมะยงชิดภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงสามารถ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงสี การสูญเสียความแน่นเนื้อ และความเป็นกรดได้ ทั้งนี้ยังมีผลต่อการลดลงของกระบวนการเมตาบอลิซึมของผลไม้ (Díaz-Mula, 2011) ได้แก่ ความสามารถของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นในการเกิดกลิ่นของผลไม้ การชะลอกระบวนการสุกหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ เป็นต้น การเก็บรักษาผลมะยงชิดภายใต้สภาวะสภาพดัดแปลงบรรยากาศโดยใช้ฟิล์มพลาสติก สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาจากชุดควบคุม 10 วัน เป็น 18 วัน หรือประมาณ 2 เท่า และการบรรจุผลมะยงชิดในภาชนะบรรจุในถาดพลาสติก PP แล้วปิดผนึกด้วยฟิล์ม ได้แก่ ฟิล์ม PE, BOPP-1, BOPP-2 และ BOPP-3 สามารถทำให้เกิดบรรยากาศสมดุลที่เหมาะสม ในการเก็บรักษาผลิตผล และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะชนิดฟิล์ม โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านของลักษณะปรากฏ การเปลี่ยนแปลงสี และค่าความแน่นเนื้อ พบว่า ฟิล์ม BOPP-2 ซึ่งมีค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน 11,700 $cc/m^2/day$ คือ ฟิล์มที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบรรจุผลมะยงชิด เนื่องจากผลมะยงชิดยังคงมีลักษณะคล้ายผลสด นอกจากนี้อายุการเก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลงของผลมะยงชิดยังขึ้นกับสายพันธุ์, ฤดูกาล, สภาพภูมิอากาศในการเพาะปลูก และช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลมะยงชิดได้ด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในการยืดอายุการเก็บรักษามะยงชิด ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดลองอุณหภูมิการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษามะยงชิดในสภาพบรรยากาศดัดแปลง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1.การคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลมะยงชิด โดยเปรียบเทียบ 3 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิ 5, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เมื่อพิจาณาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาผลมะยงชิด เนื่องจากสามารถช่วยชะลอการอ่อนนุ่มของเนื้อผลไม้ และทำให้ผลมะยงชิดมีคุณลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับผลสดมากที่สุด

2. การคัดเลือกอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลมะยงชิด โดยเปรียบเทียบ 3 อายุการเก็บเกี่ยว คือ 55, 65 และ 75 วันหลังดอกบานเต็มที่ เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ , สารพฤกษเคมีและความสามารถต้านออกซิเดชัน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยว 65 วันหลังดอกบาน เป็นอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่สุด และอาจเป็นแนวทางใหม่ให้กับเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลมะยงชิดได้เร็วขึ้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มโอกาสในการขยายตลาดการจำหน่ายผลมะยงชิดได้

3. การคัดเลือกสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลมะยงชิด พบว่า ลักษณะของอัตราการหายใจของผลมะยงชิดมีค่า 10 - 30 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อทำการปิดผนึกภาชนะบรรจุผลมะยงชิดด้วยฟิล์มพลาสติกสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลมะยงชิดได้ 2 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาชนะที่ไม่มีการปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติก นอกจากการเก็บภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงจะยืดอายุการเก็บรักษาแล้ว ยังช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของผลมะยงชิดได้อีกด้วยโดยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการบรรจุผลมะยงชิดในสภาพบรรยากาศดัดแปลงเป็นฟิล์มเจาะรูด้วยเลเซอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอนและมีค่าการซึมผ่านของออกซิเจน 11,700 $cc/m^2/day$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

ผลมะยงชิดเป็นผลไม้ที่ยังมีข้อมูลพื้นฐานน้อยมากเมื่อเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น ดังนั้น ควรจะมีการศึกษาเรื่องสารระเหยที่มีอยู่ในผลมะยงชิด ซึ่งเป็นกลิ่นเฉพาะตัวของผลไม้ชนิดนี้รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงในงานวิจัยนี้ พบว่า เกิดไอน้ำเกาะอยู่บริเวณฟิล์ม ดังนั้นอาจส่งผลให้เกิดเชื้อจุลชีพก่อโรคได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาฟิล์มที่มีสารต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial Agent) หรือฟิล์มที่ที่มีการเติมสารป้องกันการเกิดหยดน้ำ (Antifogging Agent) ร่วมกับการเก็บรักษาแบบสภาพบรรยากาศดัดแปลง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลมะยงชิดให้นานมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้อาจทำการศึกษาความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่ำสุด (O_2 tolerance) และความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ผลมะยงชิดสามารถทนได้ (CO_2 tolerance) เพื่อหาระดับความเข้มข้นของแก๊สที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะยงชิด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมอนามัย. 2544. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**. น. 38-42.

กวิศร์ วานิชกุล และ ศิริวรรณ พรรณศรี. 2552. การเจริญของผลมะยงชิดพันธุ์ท่าอิฐ. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 40(3)(พิเศษ): 173-176.

โกวิท บริสุทธิ์. 2552. สวนสมถวิล สวนมะปราง – มะยงชิดพันธุ์ดีของอำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย. **วารสารเมืองไม้ผล**. 96(245): 65-68.

ขนิษฐา เอกจิตต์. 2551. ความยิ่งใหญ่อลังการของศูนย์รวมมะยงชิด – มะปรางหวานใหญ่. **วารสารเมืองไม้ผลและพืชผัก**. 8(92): 134–137.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. **แก๊สกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร.** ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์. 2543. **การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชวนชม (นามแฝง). 2550. **มะยงชิด มะปรางหวาน ของดีเมืองนครนายก**. แหล่งที่มา : http://www.siamsouth.com/smf/index.php วันสืบค้น 6 ธันวาคม 2552.

ธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล. 2548. **เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดเกษตร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. 2551. **การปลูกและขยายพันธุ์ มะปรางหวาน – มะยงชิด ผลไม้ เศรษฐกิจ เงินล้านที่ตลาดต้องการ**. สำนักพิมพ์เพชรกะรัต, กรุงเทพฯ.

วิทยา สุริยาภนานนท์. 2528. **การขยายพันธุ์มะปราง**. ฐานเกษตรกรรม 3(27) : 9 – 16.

สมโภชน์ โกมลมณี และจิรายุ พุทธทง. 2554. ผลของความบริบูรณ์และวัสดุบรรจุภัณฑ์ต่ออายุการเก็บรักษาของผลมะยงชิด. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร(พิเศษ)**. 42(1): 619-622.

สายชล เกตุษา. 2549. ความเสียหายของผักและผลไม้เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. **วารสารราชบัณฑิตยสถาน**. 32(2) : 473 – 485.

_____. 2553. **เอกสารประกอบการสอน วิชา 01007582 สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ ผัก และดอกไม้**. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนทรียา เกษตรสุนทร. 2545. การศึกษาลักษณะทางกิ่ง ใบ ดอก และผลของมะยงชิดพันธุ์ท่าอิฐ. **ปัญหาพิเศษปริญญาโท**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สุรชัย มัจฉาชีพ. 2535. **พืชเศรษฐกิจในประเทศไทย**. สำนักพิมพ์แพร่พิทยา, กรุงเทพฯ

_____. 2541. **เอกสารประกอบคำสอน เรื่องมะปราง.** สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก, พิษณุโลก. (อัดสำเนา)

สุรชาติ เทียนกล่ำ. 2549. มารู้จักมะปรางกับมะยงชิด. **วารสารหนองหญ้าไซ**. 5(24) : 40 – 41.

อศิรา เฟื่องฟูชาติ, วรรณี ฉิมศิริกุล, นภดล เกิดดอนแฝก, ตติยา ตรงสถิตกุล, สรญา พิบูลกุล สัมฤทธิ์, เสาวภา ไชยวงศ์ และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2549. การสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดโดยอาศัยการคำนวณจากโมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่าย. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 37 (5)(พิเศษ): 62 -65.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Abbasi, K. S., N. Anjum, S, Sammi, T. Masud and S. Ali. 2011. Effect of coating and packaging material on the keeping quality of mangoes (*Mangifera indica* L.) stored at low temperature. **Pakistan Journal of Nutrition**. 10(2): 129-138.

Agar, I.T., R. Massantini, B. Hess-Pierce and A.A Kader. 1999. Postharvest CO2 and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. **Journal of Food Science**. 64: 433-440.

Ahmed D.M., A.R.M. Yousef and S.M.A. Sarrwy. 2011. Modified atmosphere packaging for maintaining quality and shelf life extension of persimmon fruits. **Asian Journal of Agricultural Science**. 3(4): 308-316.

Akbudak, B. and A. Eris. 2004. Physical and chemical changes in peaches and nectarines during the modified atmosphere packaging. **Food Control**. 15: 307-313.

Al-Ati, T. and J.H. Hotchkiss. 2002. Application of packaging and modified atmosphere to fresh-cut fruits, pp. 305-338. *In* O. Lamikanra, eds. **Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market.** CRC Press. Washington, D.C.

Ali, Z.M., L.H. Chin and H.A. Lazan. 2004. Comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. **Journal of Plant Science**. 167(2): 317-327.

Amorós, A., M. T. Pretel, P. J. Zapata, M. A. Botella, F. Romojaro and M. Serrano. 2008. Use of modified atmosphere packaging with microperforated polypropylene films to maintain postharvest loquat quality. **International Journal of Food Science and Technology**. 14: 95-103

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Anderson, R.E. and R.W. Penney. 1975. Intermittent warming of peaches and nectarines stored in a controlled atmosphere or air. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 100: 151-153.

AOAC. 2002. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th ed. Horwitz, Willium: Association of Offcial Analytical Chemistrs. Inc.

Artéz-Hernández, F., E. Aguayo and F. Artéz. 2004. Alternative atmosphere treatments for keeping quality of "Autumn Seedless" table grapes during long-term cold storage. **Postharvest Biology and Technology**. 31: 59-67.

Ayala-Zavala, J.F., S.Y. Wang, C.Y. Wang and G.A. Gonzalez-Aguilar. 2004. Effect of storage temperature on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. **LWT Food Science and Technology**. 37: 687-695.

Barth, M.M., E.L. Kerbel, A.K. Perry and S.J. Schmidt. 1993. Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid,enzyme activity and market quality of broccoli. **Journal of Food Science**. 58: 140-143.

Beaulieu, J.C. and C.C. Grimm. 2001. Identification of volatile compounds in cantaloupe at various development stages using solid phase microextration. **Journal of Agricultural and Food Chemistr**y. 49(3): 1345-1352.

Benzie, I.F.F. and J.J. Strain. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. **Methods in Enzymology**. 299: 15-27.

Bolin, H.R., A.E. Stafford, A.D. Jr. King and C.C. Huxsoll. 1977. Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. **Journal of Food Science**. 42: 1319-1321.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Brody, A.L., H. Zhuang and J.H. Han. 2011. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables**. Hoboken, Wiley-Blackwell. 320 p.

Brovelli, E.A.,J.K. Becht, W.B. Sherman and C.A. Sims. 1998. Quality of fresh market melting and nonmelting flesh peach genotypes as affected by postharvest chilling. **Journal of Food Science**. 63(4): 730-733.

Burton, G.W. and K.U. Ingold. 1984. β-carotene: An unusual type of lipid antioxidant. **Journal of Science**. 224: 569-573.

Caner, C. and M.S, Aday. 2008. Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. **Europe Food Research and Technology**. 227: 1575-1583.

Cantos, E., J.A. Tudela, M.I. Gil and J.C. Espín. 2002. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistr**y. 50: 3015-3023.

Capita, N.C. and D.M. Gibeaut. 1993. Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical propoties of the walls during growth. **Journal of Plants**. 3: 1-30.

Chau, K. and P. Talasila. 1994. Design of modified atmosphere packages for fresh fruit and vegetables, pp. 407-416. *In* R. Singh and F. Oliveria, eds. **Minimal Processing of Foods and Process Optimization**. CRC Press: Boca Raton, FL.

Chamler, J. A., Y. Yan and M. AG Koffas. 2006. Biosynthesis of isoprenoids, poysaturated fatty acids and flavonoids in Saccharomyces cerevisiae. **Microbial Cell Factories**. 5(20): 1-9.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Choudhury, S.R.,S. Roy and D.N. Sengupta. 2009. A Comparative study of cultivar differences in sucrose phosphate synthase gene expression and sucrose formation during banana fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**. 92: 29-39.

Clarke, R. 2011. Breathway membrane technology and modified atmosphere packaging, pp. 185-208. *In* Brody, A. L., H. Zhuang and J. H. Han., eds. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables**. Blackwell Publishing Ltd., UK.

Cocci, E., P. Rocculi, S. Romani and M. Dalla Rosa. 2006. Changes in nutritional propoties of minimally processed apples during storage. **Postharvest Biology and Technology**. 39: 265-271.

Cordenunsi, B.R., J.R.O do Nascimento, M.I. Genovese and F.M. Lajolo. 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 2581-2586.

Cordenunsi, B.R., J. R. O. Nascimento and F. M. Lajolo. 2003. Physico-chemical related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. **Food Chemistry**. 83: 167-173.

_____, M.I. Genoves, J. R. O.D. Nascimento, N. M. A. Hassimotto, R. J. D. Santos and F.M. Lajolo. 2005. Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. **Food Chemistry**. 91: 113-121.

Cowan, M.M. 1999. Plant products as Antimicrobial agents. **Clinical microbiology.** 12: 564-582.

Craft, N.E. 2001. Chromatographic techniques for carotenoid separation. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. R.E. Wrolstad. New York, Wiley: F2.3.1-I2.3.15.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Crisosto, C.H., E.J. Mitcham and A.A. Kadar. 1996. Peaches and nectarines. Recommendations for maintaining postharvest quality. **Perishables Handling Newsletter**. 86: 17-18.

Day, B. 2001. Modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables-an review. **Acta Horticulturae**. 553: 585-590.

Davey, M.W., C. Franck and J. Keulemans. 2004. Distribution, developmental and stress response of antioxidant metabolism in Malus. **Plant Cell and Environment**. 27: 1309-1320.

Demming-Adam. B, and W.W. Adams. 2002. Antioxidant in photosynthesis and human nutrition. **Journal of Science**. 298: 2149-2153.

Desjardins, Y. 2008. Physiological and ecological functions and biosynthesis of health-promoting compounds in fruit and vegetables, pp. 201-247. In Tomás-Barberan, F. A., M. I. Gil, eds. **Improving the Health- Promoting Properties of Friuit and Vegetable Products**. CRC Press-Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, USA.

Díaz-Mula, H. M., D. Martínez-Romero, S. Castillo, M. Serrano and D. Valero. 2011. Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cutivars. 1. Effect on organoleptic quality. **Postharvest Biology and Technology**. 61: 103-109.

Dinelli, G., A. Bonetti M. Minelli, I. Marotti, P. Catizone and A. Mazzanti. 2006. Content of flavonols in Italian bean (*Phaseoulus vulgaris* L.) ecotypes. **Food Chemistry**. 90: 105-114.

Doreyappy-Gowda, I.N.D. and A.G. Hudder. 2001. Studies on ripening changes in mango (*Mangifera indica* L.) fruits. **Journal of Food Science**. 38: 135-137.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Eskin, N.A.M. 1979. **Plant pigments, flavors and textures**. Academic Press, New York.

Ferruzzi, M. G., L. C. Sander, C. L. Rock and S. J. Schwartz. 1998. Carotenoid determination in biological microsample using liquid chromatography with a coulometric electrochemical array detector. **Analytical Biochemistry**. 256(1): 74-81.

Fisk, C.L., M.R. McDaniel, B.C. Strik and Y. Zhao. 2006. Phytochemical, sensory and nutritive qualities of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* 'Ananasnaya') as affected by harvest maturity and storage. **Journal of Food Science**. 71: 204-210.

Gomez-Lim, M. A.. 1997. Postharvest physiology, pp. 428-433. *In* E. L. Richard., eds. **The Mango** : Botany, Production and Uses. Unniversity Press. Cambridge

Grigelmo-Miiguel, N., M. A. Rojas-Graü, R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2010. Methods of analysis of antioxidant capacity of phytochemical, pp 271-307. In Laura, A. de la R., E. Alvarez-Parrilla and G. A. González-Aguilar, eds. **Fruit and Vegetable Phytochemicals**. Aptara Inc., New Delhi, India.

Guerra, M. and P.A. Casquero. 2008. Effect of harvest date on cold storage and postharvest quality of plum cv. Green Gage. **Postharvest Biology and Technology**. 47: 325-332.

Gupta, N. and Jawandha, S.K. 2010. Influence of maturity stage on fruit quality during storage of 'Earli Grande' peaches. **Notulae Scientia Biologicae**. 2(3): 96-99.

Heimdal, H., B. Kuhn, L. Poll and L. Larsen. 1995. Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA-packaged iceberg lettuce. **Journal of Food Science**. 60: 1265-1268.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Helmja, K., Vaher, M., Gorbatsova, J., and Kaljurand, M. 2007. Characterization of bioactive compounds contained in vegetables of the Solanaceae family by capillary electrophoresis. **Proceegings of the Estonian Academy of Science Chemistry.** 56: 172-186.

Homatidou, V.I., S.S. Karvouni, V.G. Dourtoglou and C.N. Pouls. 1992. Determination of total volatile components of Cucumis melo L. variety Cantaloupensis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 40(8): 1385-1388.

Huber, D. J. 1984. Strawberry fruit softening: the potential roles of polyuronides and hemicelluloses. **Journal of Food Science**. 49: 1310-1315.

Huang, D., B. Ou and R. L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 1841-1856.

Hussein, M. A., T. K. E. Mahdu and A. A. Ibrahim. 2001. Effect of calcium choride related storage injury of 'Braeburn' apple. **HortScience**. 34(20): 305-309.

Innocenti, E.D., A. Pardossi, F. Tognoni and L. Guidi. 2007. Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in lettuce, escarone and rocket salad when stored as fresh cut producrs. **Food chemistry**. 104: 209-215.

Jayas, D.S. and S. Jeyamkondan. 2002. Modified atmosphere storage of grains meat fruits and vegetables. **Journal of Biosystems Engineering**. 82(3): 235-251.

Jia, C. C., C. J. Xu, J. Wei, J. Yuan, G. F. Yuan, B. L. Wang and Q. M. Wang. 2009. Effect of modifie atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets. **Food Chemistry**. 114: 28-37.

Johnson, I. and G.Williamson. 2003. **Phytochemical functional foods**. CRC press, New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Justesen, U. and P. Knetsen. 2001. Composition of flavonoids in fresh herbs and calculation of flavonoids intake by use of herbs in traditional Danish dishes. **Food Chemistry**. 73: 245-250.

Kadar, A.A. and S. Ben-Yehoshua. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**. 20: 1-13.

_____and C.B. Watkins. 2002. Modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond. **HortTechnology**. 10(3): 483-486.

Kafkas, E., M. Kosar, S. Paydas, S. Kafkas, K.H.C. Baser. 2007. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. **Food Chemistry**. 100: 1229-1236.

Kalt, W. 2005. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. **Journal of Food Science**. 70: 11-19.

Ke, D. and A.A Kader. 1990. Tolerance of 'Valencia' oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 115: 779-783.

____, L. Goldstein, M. O'Mahony and A.A. Kader. 1991. Effects of short-term exposure to low O_2 and high CO_2 atmosphere on quality attributes of strawberries. **Journal of Food Science**. 56: 50 – 54.

Khan, A. S. and Z. Sing. 2008. 1-Methylcyclopropane application and modified atmosphere packaging affect ethylene biosynthesis, fruit softening and quality of 'Tegan Blue' Japanese plum during cold storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 133: 290-299.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kim, D.O. and C.Y. Lee. 2002. Extraction and isolation of polyphenolics. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. R.E. Wrolstad, New York.

_____, K.W. Lee, H.J. Lee and C.Y. Lee. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 3713-3717.

Kim J.G., Y. Lu and K.C. Gross. 2004. Effect of package film on the quality of fresh-cut salad savoy. **Postharvest Biolohy and Technology**. 32: 99-107.

_____, Y. Luo, Y. Tao. R. A Saftner and K. C Gross. 2005. Effect of initial oxygen concentration and film oxygen transmission rate on the quality of fresh-cut romaine lettuce. **Journal of Sci Food Agric**. 85: 1622-1630.

Klein, B.P. 1987. Nutritional consequence of minimal processing of fruits and vegetables. **Journal of Food Quality.** 10(3): 179-193.

Klimczak, I., M. Maria, S. Miroslawa, G.S. Anna. 2007. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. **Journal of Food Composition and Analysis**. 20: 313–322.

Konopacka, D and W. J. Plocharski. 2004. Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. **Postharvest Biology and technology**. 32: 205-211.

Kramer, A. 1973. Fruits and vegetables, pp. 157-227. In A. Kramer and B.A. Twigg., eds. **Quality control for the food industry**. Westport.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Krupa, T., P. Latocha and A. Liwiska. 2011. Changes of physicochemical quality, phenolics and vitamin C content in hardy kiwifruit (Actinidia arguta and its hybrid) during storage. **Journal of Scientia Horiculturae**. 130: 410-417.

Landrigan, M., S.C. Morris, K.S. Gibb. 1996. Relative humidity influences postharvest browning in rambutan (*Neohelium Lappaceum* L.). **HortScience**. 121: 417-418.

Langenkämper, G., R. McHale, R.C. Gardner and E. MacRae. 1998. Sucrose-phosphate synthase steady-state mRNA increases in ripening kiwifruit. **Plant Molecular. Biology**. 36: 857-869.

Larsen, M. and C. B. Watkins. 1995. Firmness and aroma composition following short-term high carbon dioxide treatments. **HortScience**. 30: 303-305.

Lee, S. K. and A. A. Kadar. 2000. Pre-harvest and post-harvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and technology**. 20: 207-220.

Lee, L., J. Arul, R. Lencki and F. Castaigne. 1995. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh and vegetables: physiological basis and practical aspects part 1. **Packaging Technology Science**. 8: 15-31.

Linster, C. L. and E. V. Schaftingen. 2006. Vitamin C biosynthesis, recycling and degradation in mammals. **FEBS Journal**. 274: 1-22.

Lurie, S. 2002. Temperature management, pp.107-121. In Knee, M., eds. **Fruit quality and its biological basis**. Sheffield Academic Press, UK.

MacRae, E., W.P. Quick, C. Benker and M. Stitt. 1992. Carbohydrate metabolism during postharvest ripening in kiwifruit. **Planta Journal**. 188: 314-323.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Makino, Y. 2001. Selection of packaging conditions for shredded cabbage by genetic algorithms. **Journal of Agricultural Engineering Research**. 78: 261-271.

Manoloupou. M. and P. Papadopoulou. 1998. A study of respiration and physio-chemical changes of four kiwi fruit cultivars during cool-storage. **Food chemistry**. 63(4): 529–534.

Martínez-Remoro, D., Guillén, F., Castillo, S. Valero and M. Serrano. 2003. Modified atmosphere packaging maintains quality of table grapes. **Journal of Food Science**. 68: 1838-1843.

Matsumoto, H.. 2005. **Mechanism of oxidative damage in plants caused by physiological stresses**. University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, Japan.

Matthesis, J.P. and J.P. Fellman. 2000. Impact of modified atmosphere packaging and controlled atmosphere on aroma, flavor and quality of horticultural produce. **Horticulturae Technology**. 10: 507 – 510.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. **Trends in Plant Science**. 7: 405-410.

Montefiori, M, T.K. McGhie, G. Costa and A.R. Ferguson. 2005. Pigments in the fruit of red-fleshed kiwifruit (*Actinidia chinensis* and *Actinidia deliciosa*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 9526-9530.

Moura, M.A., L.C. Lopes, A.A. Cardoso and L.C.G. Miranda. 1997. Effect of packaging and storage in the ripening persimmon. **Pesquisa Agropecúaria Brasileira**. 32: 1105-1109.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Murcia M. A., B. L. A. Opez-Ayerra, M. Martinez-TomA and A. M. Vera. 2000. Industrial processing of broccoli in fruits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 80: 1882-1886.

Nair, S. and Z. Singh. 2009. Chilling injury during storage affects respiration rate and fruit quality in Kensington Pride mango fruit. **Acta Horticulturae**. (ISHS). 820: 737-743.

Nguyen, T.B.T, S. Ketsa, W.G. van Doorn. 2003. Relationship between browning and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. **Postharvest Biology and Technology**. 30: 187-193.

Njoku. P. C., A. A. Ayuk and C. V. Okoye. 2011. Temperature effects on vitamin C content in citrus fruits. **Pakistan Journal of Nutrition**. 10(12): 1168-1169.

Nunes, M.C.N., J.K. Brecht. A.M.M.B. Morais and S.A. Sargent. 2006. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvested fruit during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 86(2): 180-190.

Olsson, M.E., J. Ekvall, K.E. Gustavsson, J. Nilsson, D. Pillai, I. Sjoholm, U. Svensson, B. Akesson and M.G.L. Nyman. 2004. Antioxidant, low molecular weight carbohydrates and total antioxidant capacity in strawberries (Fragaria x ananassa) : effects of cultivar, ripening and storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 52: 2490-2498.

Odriozola-Serrano, I. R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2010. Changes in bioactive composition of fresh-cut strawberries stored under superatmospheric oxygen, low-oxygen or passive atmosphere. **Journal of Food Composition and Analysis**. 23: 37–43.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ozkaya, O., O. Dündar, G. C. Scovazzo and G. Volpe. 2009. Evaluation of quality parameters of strawberry fruits in modified atmosphere packaging during storage. **Journal of Biotechnolgy**. 8(5): 789-793.

Parkin, K.L., A. Marangoni, R.L. Jackman, R.Y. Yada and D.W. Stanley. 1989. Chilling injury. A review of possible mechanisms. **Journal of Food Biochemistry**. 13: 127-153.

Patel, P.R. and T.V.R. Rao. 2009. Physiological changes in relation to growth and ripening of khirni [*Manikara hexandra* (Roxb.) Dubard] fruit. **Journal of Fruit**. 64: 139-146.

Patel, C.A., N.L. Pathak, N. Bhatt, M. Gavania and H. Trivedi. 2011. Cardiovascular complication of diabetes mellitus. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**. 1: 1-6.

Perlaki, R. and E. Kovács. 2005. Ripening and senescence of two sour cherry (*Prunus cerasus* L.) cultivars. **Acta Horticulturae**. (ISHS). 682: 199-204.

Peris, E., D., Aharon, R. Ben-Arie, N. Aharoni and Y. Fuchs. 2000. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**. 19: 93-101.

Pesis, E., O. Dvir, O. Feygenberg, R.B. Arie, M. Ackerman and A. Lichter. 2002. Production of acetaldehyde and ethanol during maturation and modified atmosphere storage of litchi fruit. **Postharvest Biology and Technology**. 26: 157 – 165.

Pietta, P. G. 2000. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Prod**ucts. 63: 1035-1042.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pineli, L.L.O., C.L. Moretti, M.S. Campos, A.B. Brasileiro, A.C. Cordova and M.D. Chiarello. 2011. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. **Journal of Food Composition and Analysis**. 92: 831-838.

Poubol, J. and H. Izumi. 2005. Shelf life and Microbial quality of fresh-cut mango cubes stored in high CO_2 atmosphere. **Journal of Food Microbiology and Safety**. 70(1): 69-74

Pourcel, L. J. M. Routaboul, V. Cheynier, L. Lepiniec and I. Debeaujon. 2007. Flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions. **Trends in Plant Science**. 12: 29-36.

Prasana, V, T.N. Prabha and R.N. Tharanathan. 2007. Fruit ripening phenomena-an overview. Cri. Rev. **Journal of Food Science**. 47: 1-19.

Prashant, B. and F.A. Masoodi. 2009. Effect of various storage conditions on chemical characteristics and processing of peach cv. 'Flordasun'. **Journal of Food Science and Technology**. 46: 271-274.

Ramin, A. A. and F. Tabatabaie. 2003. Effect of various maturity stages at harvest on storability of persimmon fruits (*Diospyros kaki* L.). **Journal of Agriculture Science and Technology**. 5: 113-123.

Ramin, A, C. Darbellay, J.L. Luisier, J.C. Villettaz and R. Amadò. 2004. Changes in flavor and texture during the ripening of strawberries. **European Food Science and Technology**. 218: 167-172.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Rathore, H.A., T. Masud, S. Sammi and A.H. Soomro. 2007. Effect of storage on physic-chemical composition and sensory propoties of mango (*Mangifera indica* L.) variety Dosehari. **Journal of Nutrition**. 6(2): 143-148.

Remorini, D., S. Tavarini, E. Degl'Innocenti, F. Loreti, R. Massai and L. Guidi. 2008. Effect of rootstocks and harvesting time on the nutritional quality of peel and flesh of peach fruits. **Food Chemistry**. 110: 361-367.

Robertson, J.A., F.I. Meredith, R.J. Horvat and S.D. Senter. Effect of cold storage and maturity on the physical and chemical characteristics and volatile constituents of peaches (cv. Cresthaven). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. 38: 620-624.

Rodrigus-Amiya, D. B., J. Amaya-Farfan and E. B. Rodriguz. 2008. Carotenoid in fruits: Biology, chemistry, technology and health benefits, pp167-188. *In* Epifanoi, F, eds. **Current Trends in Phytochemistry**. Kerala, India.

Rojas-Graü, M.A., G. Oms-Oliu, R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2009. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. **International Journal of Food Science and Technology**. 44: 875-889.

Rolle, R.S. and G.W. Chism. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. **Journal of Food Quality.** 10: 157-177.

Rosati. C., R. Aquilani, S. Dharmpuri, P. Pallara, C. Marusic, R. Tavazza, F. Bouvier, B. Camara and G. Giuliano. 2000. Metabolic engineering of beta-carotene and lycopene content in tomato fruit. **Journal of Plant**. 24: 413-419.

Saltveit, M.E. 2004. **The commercial storage of fruits, vegetable and florist and nursery stocks**. University of California, Davis, CA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sams, C. E. 1999. Postharvest factors affecting postharvest texture. **Postharvest Biology and Technology**. 15: 249-254.

Schlimme, D. 1995. Marketing lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**. 30: 15-17.

Schwartz, S.H., X. Quin and J.D. Zeevaart. 2003. Elucidation of the indirect pathway of abscisic acid biosynthesis by mutants, genes and enzymes. **Plant Physiology**. 131: 1591-1601.

Serrano, M., D. Martínez-Romero, S. Castillo, F. Guilén and D. Valero. 2003. The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 6: 115-123.

_____, F. Guilén, D. Martínez-Romero, S. Castillo and D. Valero. 2005. Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 2741-2745.

_____, D. Martínez-Romero, F. Guilén, S. Castillo and D. Valero. 2006. Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology**. 39: 61-68.

Seymour, J.C. and J.P. Knox. 2002. **Pectins and their manipulation**. CRC Press, Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Shahidi, F. and M. Naczk. 2004. **Phenolics in Food and Nutraceuticals.** CRC press, Tulsa, OK, U.S.A.

Singh, R. P., M. Chaidamdara, and G. K. Jayaprakasha. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50:81-86.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sivakumar, D. and L. Korsten. 2006. Influence of modified atmosphere packaging and postharvest treatments on quality retention of litchi cv. Mauritius. **Postharvest Biology and Technology**. 41: 135-142.

Somboonkaew, N. and L. A. Terry. 2010. Physiological and biochemical profiles of imported litchi fruit under modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology**. 56: 246-253.

Sugar, D. and T.D. Einhorn. 2011. Conditiong temperature and harvest maturity influence induction of ripening capacity in 'd'Anjou' pear fruit. **Postharvest Biology and Technology**. 60: 121-124.

Taylor, M.A., E. Rabe, G. Jacobs and M.C. Dodd. 1993. Physiological and anatomical changes associated with ripening in the inner and outer mesocarp of cold stored 'Songold' plums and concomitant development of internal disorders. **Hort Science**. 68: 911-918.

Tavarini, S. E. Degl'Innocenti, D. Remorini, R. Massai and L. Guidi. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. **Journal of Food Chemistry**. 107: 282-288.

Toivonen, P.M.A. and D.A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**. 48: 1-14.

Underhill, S.J.R. and C. Critchley. 1995. Cellular localization of polyphenol oxidase and peroxide activity in *Litchi chinensis* S. Pericarp. **Australian Journal of Plant Physiology**. 22: 627-632.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Vámos-Vigyázó, L. 1981. Polyphenoloxidase and peroxide in fruit and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 15: 49-127

Valero, C., C.H. Crisosto and D. Slaughter. 2007. Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarins and plums. **Postharvest Biology and Technology**. 44: 248-253.

Vendramini, A.L. and L.C. Trugo. 2000. Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia puniciforia* L.) at three stages of maturity. **Journal of Food Chemistry**. 71: 195-198.

Vicente, A.R., G.A. Manganaris, G.O. Sozzi and C.H. Crisosto. 2009. Nutritional quality of fruits and vegetables, pp. 57-106. *In* W.J. Florkowski, R.L. Shewfelt, B. Brueckner and S.E. Prussia, eds. **Postharvest Handling: A Systems Approach**. 2nd ed. Academic Press, Elsevier, Oxford.

Villarealm, N.M., H.G. Rosli, G.A. Martínez and P.M. Civello. 2008. Polygalacturonase activity and expression of related genes during ripening of strawberry cultivars with contrasting fruit firmness. **Postharvest Biology and Technology**. 47: 141-150.

Wang, S.Y. and W. Zheng. 2001. Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 49: 4977-4982.

Watada, A.E., N.P. Ko and D.A. Minott. 1996. Factors affecting quality of fresh – cut horticultural products. **Postharvest Biological Technology**. 9:115-125.

Wiley, R.C. 1994. **Minimally Processed Refrigerated Fruit and Vegetables**. Chapman & Hall, Inc., New York. 368 p.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Will, R. B. H., V. V. V. Ku and Y. Y. Leshem. 2000. Fumigation with nitric oxide to extend the postharvest life of strawberries. **Postharvest Biology and Technology**. 18: 75-79.

Xu, Y. and C. Xu. 2001. Effect of cold shock on PG activity of harvest loquat. **Jiansu Journal Agriculture Science**. 17: 127-128.

Yang, J. 2011. Breathway membrane technology and modified atmosphere packaging, pp. 101-140. *In* Brody, A. L., H. Zhuang and J. H. Han., eds. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables**. Blackwell Publishing Ltd., UK.

Yang, J., R. Gadi and T. Thomson. 2011. Antioxidant capacity, total phenols and ascorbic acid content of noni (Morinda citrifolia) fruits and leaves at various stages of maturity. **Journal of Micronesica**. 41: 167-176.

Zapata, S. and J.P. Dufour. 1992. Ascorbic, dehydroascorbic and isoascorbic acid simultaneous determinations by reverse phase ion interaction HPLC. **Journal of Food Science.** 57 (1): 506-511.

Zhang, H., S. Yang, D.C. Joyce, Y. Jiang, H. Qu and X. Duan. 2010. Physiology and quality response og harvest banana fruit to cold shock. **Postharvest Biology and Technology**. 55(10): 154-159.

_____. 2011. Polymeric films used for modified atmosphere packaging of fresh-cut produce, pp. 149-183. *In* Brody, A. L., H. Zhuang and J. H. Han., eds. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables**. Blackwell Publishing Ltd., UK.

Zhang, Y., Q. Liu and C. Rempel. 2011. Breathway membrane technology and modified atmosphere packaging, pp. 101-140. *In* Brody, A. L., H. Zhuang and J. H. Han., eds. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables**. Blackwell Publishing Ltd., UK.

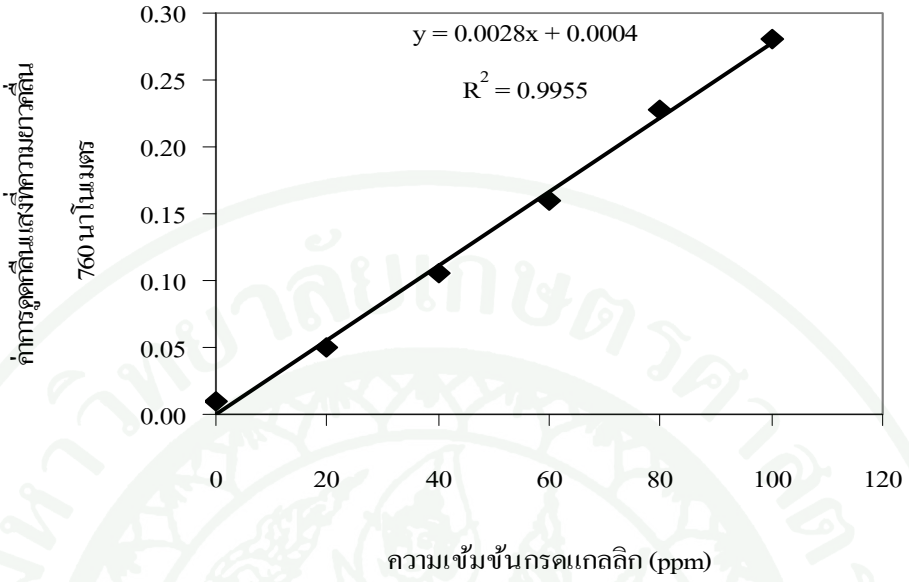
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

_____, Y Zheng, S Cao, S Tang, S. Ma and N. Li. 2007. Effect of storage temperature on textural properties of Chinese barberry fruit. **Journal of Texture Studies**. 38(1): 166-177.

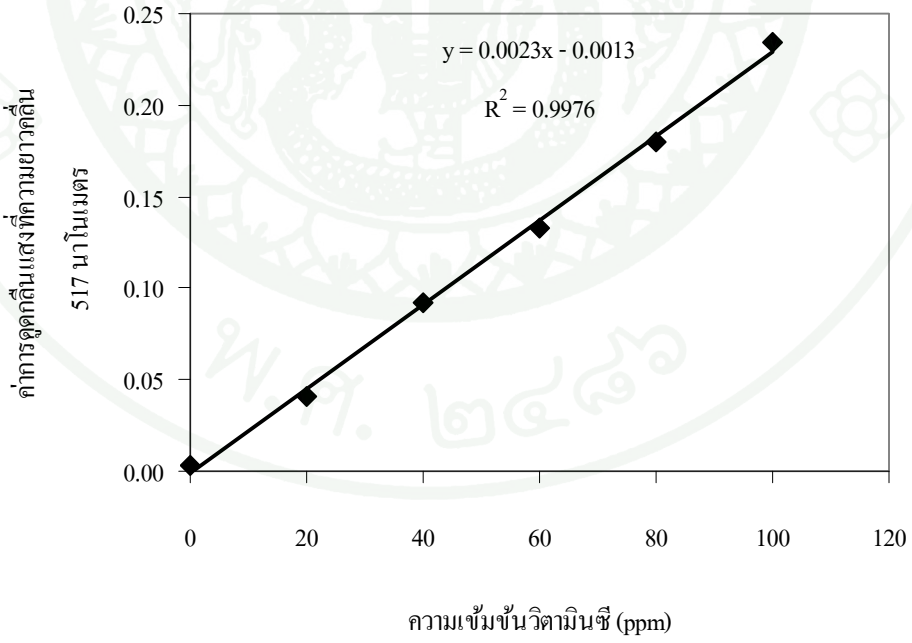
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

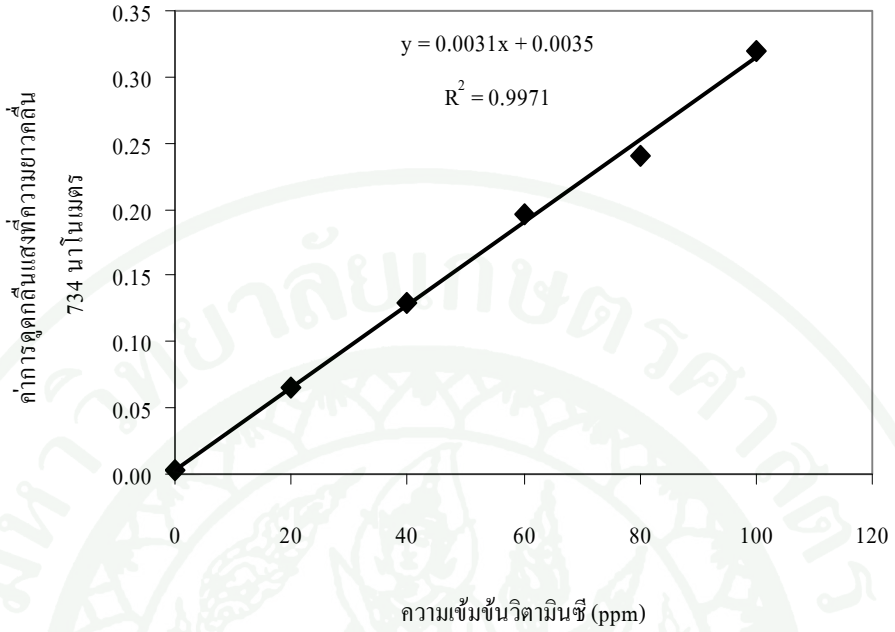


ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

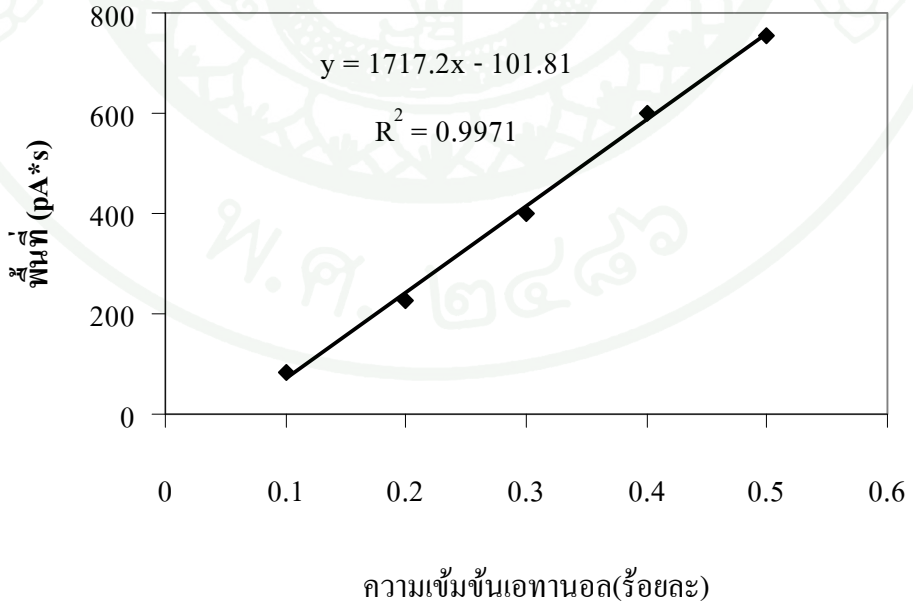


ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

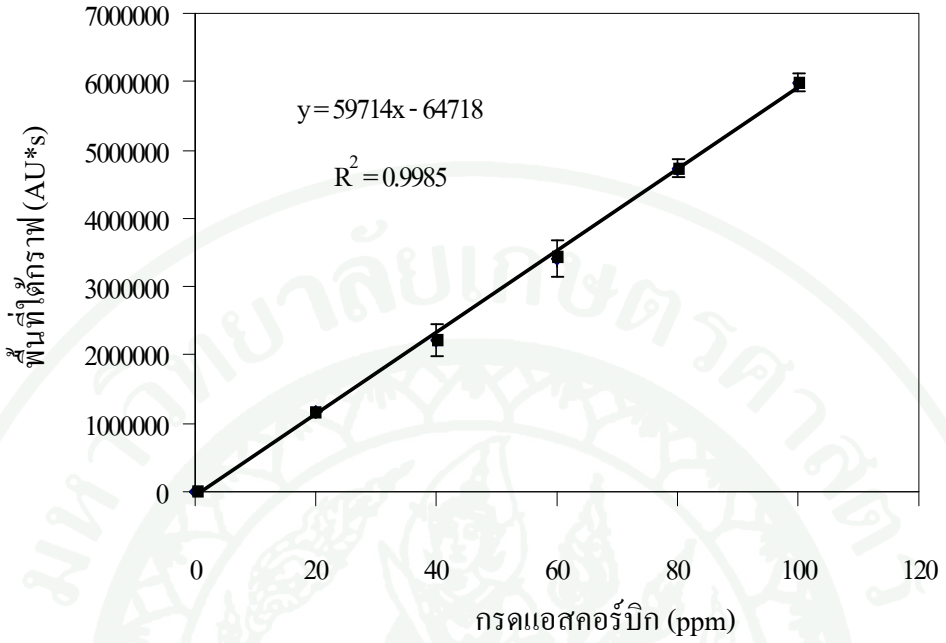


ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS

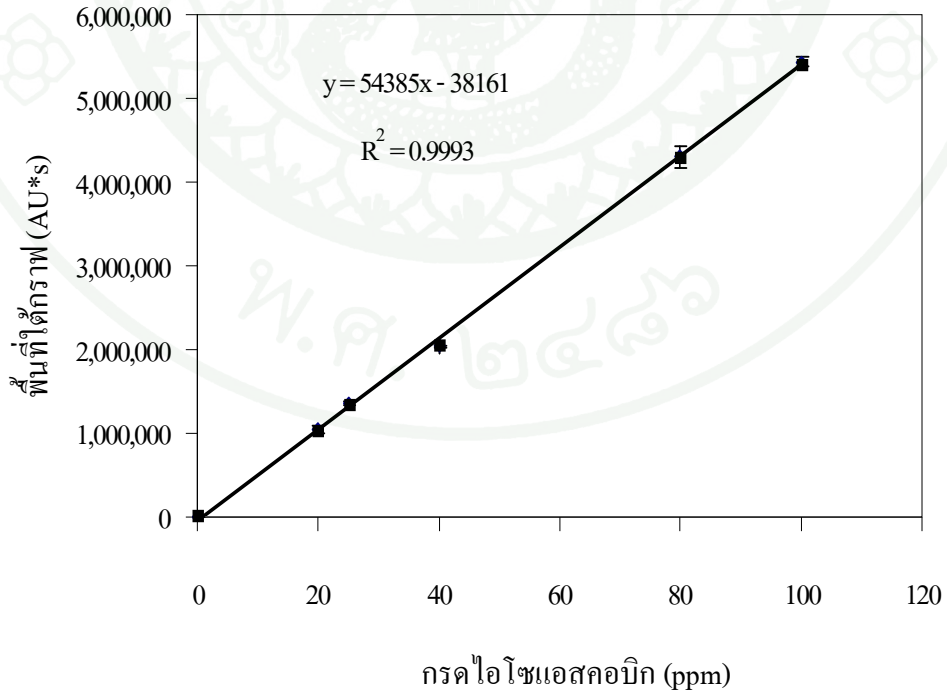


ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานของเอทานอลสำหรับการตรวจสอบปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

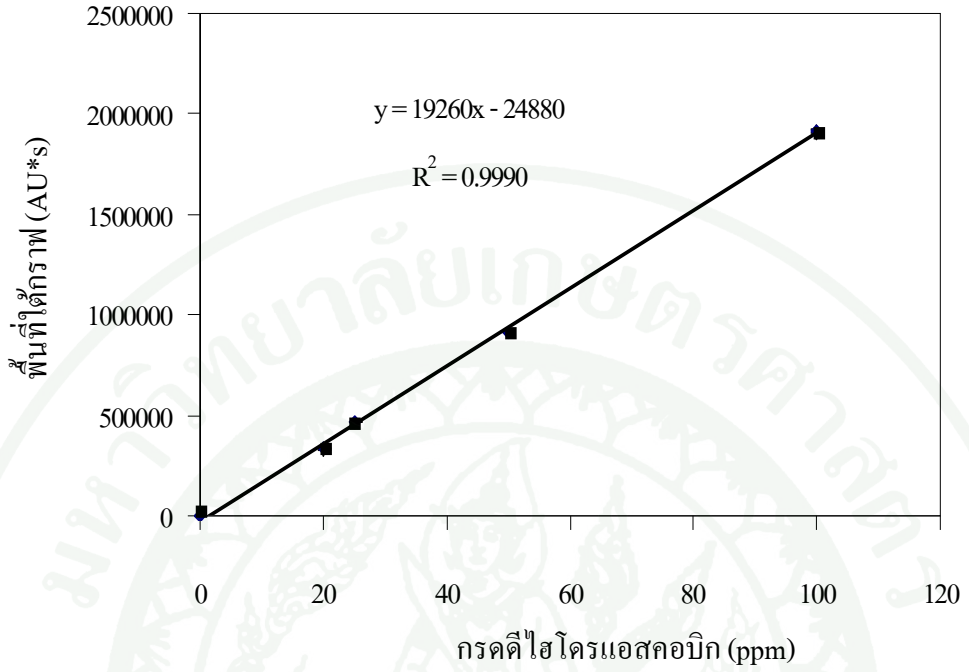


ภาพผนวกที่ 5 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid)

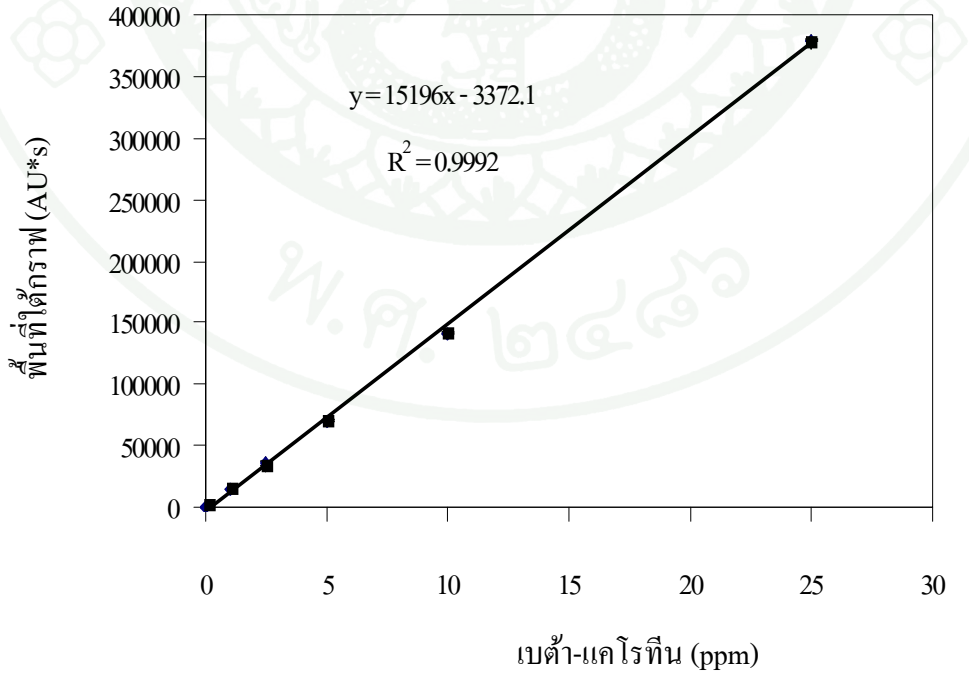


ภาพผนวกที่ 6 กราฟมาตรฐานของกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 7 กราฟมาตรฐานของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid)



ภาพผนวกที่ 8 กราฟมาตรฐานของเบต้า-แคโรทีน (β-carotene)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสิริลดา สิทธิวิชชาพร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	10 มกราคม 2530
สถานที่เกิด	ตรัง
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) เกียรตินิยมอันดับ 2 ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2551)
ผลงานวิจัย	เรื่อง ผลของอายุการเก็บเกี่ยวและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะยงชิด ในวารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) 2554 หน้า 291-294 เรื่อง Effect of Modified Atmosphere Packaging on Shelf Life of Marian Plum (*Boucaburmanica Griff.*) ภาคนิธิทัศน์ ในงาน Shelf Life International Meeting ครั้งที่ 5 ณ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนเกาหลีใต้
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผลิตบัณฑิตศึกษาโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์