



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

.....
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

ปริญญา

.....
วิทยาศาสตรการอาหาร

.....
วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่น สารประกอบฟีนอลิก
ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค

Effects of Modified Atmosphere Packaging on Aroma Compounds, Phenolic
Compounds, Vitamin C Contents and Antioxidant Capacity of Fresh-cut Pomelo

นามผู้วิจัย นางสาวสุวลี ฟองอินทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิระภาคย์กุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนະบุญย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่น สารประกอบฟีนอลิก
ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคร

Effects of Modified Atmosphere Packaging on Aroma Compounds, Phenolic Compounds,
Vitamin C Contents and Antioxidant Capacity of Fresh-cut Pomelo

โดย

นางสาวสุวิทย์ ฟองอินทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2554

สุวดี ฟองอินทร์ 2554: ผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่น สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค ปรินญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณิ จิรภาคย์กุล, Ph.D. 162 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่น สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยบรรจุส้มโอตัดแต่งลงในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (PP) แล้วปิดผนึกด้วยแผ่นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มพอลิเอทิลีน (PE), ฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หรือฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Total phenols assay โดยใช้ Folin-Ciocalteu reagent วิเคราะห์ปริมาณสารนารินจินรวมถึงปริมาณวิตามินซีโดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ศึกษาความสามารถด้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) เมื่อเข้าสู่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุลภายในภาชนะบรรจุส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC, และ LDPE มีระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และแก๊ส CO_2 เป็น $11\%O_2 + 2\%CO_2$, $9\%O_2 + 3\%CO_2$ และ $7\%O_2 + 6\%CO_2$ ตามลำดับ และพบว่าสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งให้กลิ่นส้มโอ และกลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม ได้แก่ *l*-limonene, nonanal, decanal, α -terpinolene, δ -elemene, (*E*)- β -caryophyllene, α -terpinene, α -humulene, germacrene D, valencene, δ -cadinene และ nootkatone ในช่วงการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด PE สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งได้ดีกว่าฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด PVC และ LDPE คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีระดับความเข้มข้นของกลิ่นรสส้มโอต่ำกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE และ PVC โดยในระยะสุดท้ายของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีความเข้มข้นของกลิ่นรสหมักมากกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ลักษณะปรากฏภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE เกิดไอน้ำขึ้นบริเวณบนแผ่นฟิล์มของภาชนะบรรจุ อย่างไรก็ตามในช่วงการเก็บรักษาฟิล์มบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งได้ไม่แตกต่างกัน

Suwalee Fongin 2011: Effects of Modified Atmosphere Packaging on Aroma Compounds, Phenolic Compounds, Vitamin C Contents and Antioxidant Capacity of Fresh-cut Pomelo. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Wannee Jirapakkul, Ph.D. 162 pages.

Effects of modified atmosphere packaging on aroma compounds, phenolic compounds, vitamin C contents and antioxidant capacity of fresh-cut pomelo were investigated. Fresh-cut pomelo were packed into polypropylene (PP) tray sealed with one of these three plastic film i.e. polyethylene (PE), polyvinylchloride (PVC) or low density polyethylene (LDPE). They were stored at 5 °C. Aroma compounds were analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Total phenolic contents were tested by Total phenols assay using Folin-Ciocalteu reagent. Naringin and vitamin C contents were examined using high performance liquid chromatography (HPLC). The antioxidant capacity was measured by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) method. Sensory evaluation of flavor quality was evaluated by Quantitative Descriptive Analysis (QDA). The concentrations of O₂ and CO₂ in packages sealing with PE, PVC and LDPE film at equilibrium were 11%O₂ + 2%CO₂, 9%O₂ + 3%CO₂ and 7%O₂ + 6%CO₂, respectively. The major aroma compounds which related to odor description of citrus fruits and pomelo aroma were *l*-limonene, nonanal, decanal, α -terpinolene, δ -elemene, (*E*)- β -caryophyllene, α -terpipene, α -humulene, germacrene D, valencene, δ -cadinene and nootkatone. The results suggested that fresh-cut pomelo with PE film packed could preserve aroma compounds better than those of PVC and LDPE film packed during storage for 6 weeks. Sensory evaluation of fresh-cut pomelo packed with LDPE film had lower pomelo flavor intensity than those of other film types. At the end of storage, fresh-cut pomelo with LDPE film packed had the highest fermented flavor intensity. Moreover, haze was formed on LDPE film surface. However, phenolic compounds, vitamin C contents as well as antioxidant capacity of pomelo packed with 3 types of film during the storage were not significantly different.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณี จิรภาคย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร. ศศิธร ตรงจิตภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า และแนะนำในเรื่องการเรียน แนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สิริ ชัยเสรี ประธานการสอบ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ทนง ภัทร์พันธุ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโครงการพัฒนานักศึกษาศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ที่ให้ความช่วยเหลือทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณพลอย ชมพู่ แคมป์ มิน คอย กวาง และพี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการ 2411 ทุกคน โดยเฉพาะพี่เจิน พี่พลอย พี่จ๊อบ รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโทและเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกคน ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในเรื่องการเรียน เรื่องงานวิจัย รวมถึงกำลังใจและความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบคุณพี่สาว น้องชาย และด้า รวมถึงสมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้การสนับสนุน ส่งเสริม รวมถึงความรัก ความเข้าใจและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สุวลี พองอินทร์

มกราคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	47
อุปกรณ์	47
วิธีการ	49
ผลและวิจารณ์	57
สรุปและข้อเสนอแนะ	111
สรุป	111
ข้อเสนอแนะ	113
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	114
ภาคผนวก	141
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี	142
ภาคผนวก ข การประเมินทางประสาทสัมผัส	148
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก	151
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี	156
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชัน	159
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	162

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราการหายใจของส้มโอที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ	5
2	องค์ประกอบ และคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอจากส่วนที่บริโภคได้ใน 100 กรัม น้ำหนักสด	6
3	ปริมาณของสารระเหยในเปลือกส้มโอ	11
4	สภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้สดตัดแต่ง	28
5	โครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มต่างๆ	34
6	ปริมาณวิตามินซีในผลไม้สด	40
7	ผักและผลไม้ที่เป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชัน	42
8	กลไกการเกิดปฏิกิริยาและวิธีการตรวจสอบความสามารถต้านออกซิเดชัน	46
9	สารระเหยในเนื้อส้มโอสด	58
10	สภาพให้ซึมผ่านได้ ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA) ภายในภาชนะบรรจุส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	67
11	สารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอสด	76
12	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์	78
13	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์	79
14	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์	80
15	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์	81
16	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์	83
18	คะแนนความเข้มข้นลักษณะของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	97
19	ร้อยละการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และร้อยละการลดลงของนารินจินในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	101
20	ร้อยละการลดลงของปริมาณวิตามินซีทั้งหมดในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอสด	104
21	ร้อยละการลดลงของความสามารถต้านออกซิเดชันในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอสด	108
22	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบนารินจิน และวิตามินซีทั้งหมด ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	109
ตารางผนวกที่		
ข1	คุณลักษณะด้านกลิ่นและตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	149
ค1	สัดส่วนวิฤภาคเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์ naringin โดยเทคนิค HPLC	153

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลส้มโอ	7
2	โครงสร้างของสารระเหยที่พบในเปลือกส้มโอ	10
3	อัตราการหายใจของผลไม้ชนิดต่างๆ ในกลุ่ม (A) climacteric (B) non-climacteric	18
4	การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและด้านชีวเคมีที่อาจเกิดขึ้นในผักและผลไม้ตัดแต่งเนื่องจากผลของบาดแผล	24
5	โครงสร้างหลักและลำดับการนับจำนวนคาร์บอนของฟลาโวนอยด์	35
6	โครงสร้างทั่วไปของสารกลุ่มหลักในสารประกอบฟลาโวนอยด์	36
7	โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์บางชนิดที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม	37
8	โครงสร้างของวิตามินซี	38
9	การเปลี่ยนรูปของกรดแอสคอบิก	39
10	สารต้านออกซิเดชันที่พบในผักและผลไม้	43
11	ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารต้านออกซิเดชันในผักผลไม้	44
12	โครงสร้างทางเคมีของอนุมูลอิสระ DPPH	45
13	ลักษณะการบรรจุส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลง	51
14	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	66
15	ปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	68
16	ลักษณะปรากฏของส้มโอตัดแต่งภายในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	71
17	การสูญเสียน้ำหนักของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ acetaldehyde (A) และปริมาณ ethanol (B) ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	90
19	แผนภาพความเข้มของคุณลักษณะกลิ่นในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	94
20	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (A) และปริมาณ naringin (B) ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา	100
21	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (A) ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (B) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (C) ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	103
22	การเปลี่ยนแปลงความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	108
ภาพผนวกที่		
ก1	โครมาโทแกรมของส้มโอสด ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	144
ก2	โครมาโทแกรมของส้มโอสด ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	145
ค1	กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	152
ค2	ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน naringin ที่ความเข้มข้น 100 ppm	154
ค3	กราฟมาตรฐานของ naringin	154
ค4	ตัวอย่างโครมาโทแกรมของ naringin ในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE (A), PVC (B) และ LDPE (C) ซึ่งวิเคราะห์โดย HPLC ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร	155

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง1 กราฟมาตรฐานของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (A), กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) (B) และกราฟมาตรฐาน ของกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid) (C)	157
ง2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) ของส้มโอตัดแต่ง และกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid; internal standard) โดยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 261 นาโนเมตร	158
ง3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) ของส้มโอตัดแต่ง โดยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร	158
จ1 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	160
จ2 กราฟแสดงค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างสมบัติการต้าน อนุมูลอิสระ DPPH กับ (A) ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (B) naringin และ (C) วิตามินซีทั้งหมด	161

ผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่น สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคร

Effects of Modified Atmosphere Packaging on Aroma Compounds, Phenolic Compounds, Vitamin C Contents and Antioxidant Capacity of Fresh-cut Pomelo

คำนำ

ส้มโอ *Citrus maxima* (Burm.) Merrill. หรือ *C. grandis* (L.) Osbeck เป็นพืชในวงศ์ Rutace มีชื่อสามัญคือ pomelo (Kale and Adsule, 1995) ส้มโอเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีศักยภาพด้านการส่งออก เนื่องจากเป็นผลไม้ที่รสชาติดี มีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยวขึ้นอยู่กับพันธุ์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบไปด้วยสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกาย และยังอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำให้ส้มโอเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ จากข้อมูลการส่งออกในปี 2551 ประเทศไทยสามารถส่งออกส้มโอได้คิดเป็นมูลค่าถึง 109 ล้านบาท (กลุ่มสินค้าเกษตร, 2552)

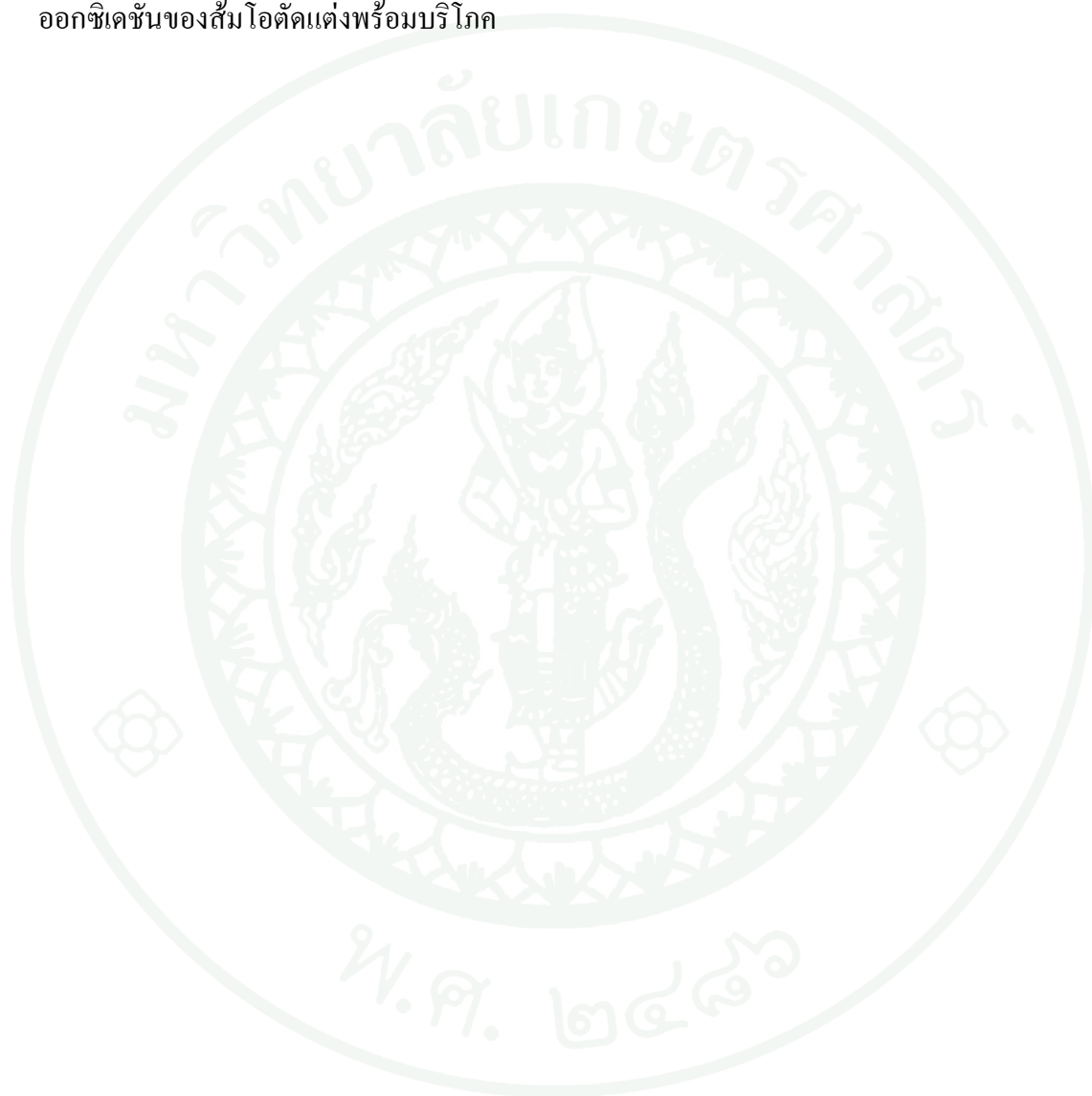
ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสะดวกในการรับประทาน สามารถบริโภคได้ทันที และประหยัดเวลาในการเตรียม (Schlimme, 1995) อีกทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงผักและผลไม้สดมากที่สุด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้น การแปรรูปส้มโอตัดแต่งเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่ง เพื่อช่วยในเรื่องความสะดวกของผู้บริโภค เนื่องจากส้มโอเป็นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่และมีความยุ่งยากในการปอก อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาของเนื้อที่ในการขนส่ง และเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับส้มโออีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามพบว่าผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่งยังมีปัญหาที่จะต้องได้รับการปรับปรุงและแก้ไขอีกหลายประการ เช่น การสูญเสียเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงสีและสารสำคัญ การสูญเสียรสชาติ การสูญเสียกลิ่นรส และมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น (Varoquaux and Wiley, 1994) แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมีเพื่อป้องกันการเกิดอาการสีน้ำตาลบริเวณบาดแผลที่ตัดแต่ง การใช้

สารเคมีเพื่อช่วยคงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส การเคลือบด้วยฟิล์มที่สามารถบริโภคได้ การควบคุมอุณหภูมิระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา และวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมคือ การบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified atmosphere packaging, MAP) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสามารถชะลอการเสื่อมเสียสภาพและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ตัดแต่งได้ (Agar *et al.*, 1999) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลไม้ตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลงนั้น หากเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ปัญหาอย่างหนึ่งที่พบคือ การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ ซึ่งคุณภาพทางด้านกลิ่นรสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคเกิดความประทับใจในผลิตภัณฑ์ กลับมาซื้อและบริโภคซ้ำอีกครั้ง นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากผู้บริโภคสามารถใช้คุณภาพทางด้านกลิ่นรสเป็นปัจจัยในการพิจารณาอายุของการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่งได้ (Sapers *et al.*, 1997) การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ มักเกิดจากสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาไม่เหมาะสม เช่น สภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำเกินไปหรือมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปสำหรับผลผลิตแต่ละชนิด ทำให้ผลไม้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดการสะสมปริมาณของ ethanol และ acetaldehyde จนเกิดกลิ่นรสผิดปกติขึ้น (Toivonen, 1997) Kader *et al.* (1989) และ Day (1993) รายงานว่าสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับผลผลิตส่วนใหญ่ คือ สภาพบรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 3-10 และแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1-5 นอกจากนี้การศึกษาค้นคว้าทางด้านกลิ่นรสและสารสำคัญของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลงยังมีค่อนข้างน้อย

ดังนั้นการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่น คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค เพื่อให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถช่วยปรับปรุงและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่น คุณภาพทาง
ประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้าน
ออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค



การตรวจเอกสาร

ส้มโอ

ส้มโอมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Citrus grandis* (L.) Osbeck หรือ *Citrus maxima* (Burm) Merr. ชื่อสามัญภาษาอังกฤษมีหลายชื่อ เช่น Pummelo, Pomelo, Pompelmoes, Shaddock หรือ Barbados (Kale and Adsule, 1995) และมีชื่อสามัญภาษาไทยตามท้องถิ่น คือ มะขุน มะโอ (ภาคเหนือ) ส้มอู (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) อิว (จีน) โก๋รือตะลอง (เขมร) ลิมาบาลี (มลายู-ยะลา) (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2541) ส้มโอจัดเป็นพืชในวงศ์ Rutaceae สกุลเดียวกับส้ม มะนาว หรือรวมเรียกว่า ผลไม้ตระกูลส้ม (citrus fruit) โดยส้มโอถือเป็นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในผลไม้ตระกูลส้ม (Kale and Adsule, 1995) ถิ่นกำเนิดของส้มโอพบในบริเวณคาบสมุทรมลายู รวมทั้งประเทศไทย และหมู่เกาะอินเดียตะวันออก แล้วแพร่กระจายไปสู่อินเดียและจีนตอนใต้ (รวิ, 2523) Singh (1980) รายงานว่าส้มโอมีถิ่นกำเนิดในประเทศไทยและมาเลเซีย แล้วจึงแพร่ไปยังอินเดีย จีน และเปอร์เซีย โดยประเทศไทยถือเป็นแหล่งที่มีพันธุ์ส้มโอที่ดีที่สุด (Jorgensen, 1984) สอดคล้องกับ ณรงค์ (2530) กล่าวว่าประเทศไทยเป็นถิ่นกำเนิดส้มโอ เนื่องจากมีพันธุ์ส้มโอมากที่สุดในโลกและพบความผันแปรในส้มโอพันธุ์ต่างๆ มากมาย

Hodgson (1967) กล่าวว่าผลไม้ตระกูลส้มสามารถจำแนกตามหลักพืชสวนได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มส้มติดเปลือก หรือกลุ่มส้มเกลี้ยง (oranges) กลุ่มส้มเปลือกกล่อน (mandarin) กลุ่มมะนาว หรือส้มที่มีรสเปรี้ยว (common acid member) และกลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุต (pummelo and grapefruit)

ส้มโอจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งมีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีน (ethylene) อยู่ในระดับต่ำ โดยมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่ำกว่า 0.1 $\mu\text{IC}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{hr}$ สำหรับอัตราการหายใจของส้มโอจะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิและรูปแบบที่ใช้ในการเก็บรักษา ดังตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวทางกายภาพและทางเคมีของผลไม้ประเภท non-climacteric จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (Ting and Attaway, 1971) จึงควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลผลิตมีความบิรูรณ์ (maturity) พร้อมทั้งจะบริโภค ไม่เก็บเกี่ยวผลผลิตเร็วเกินไป (early harvest) เพราะหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตส้มโอจะไม่มีการพัฒนาระดับความบิรูรณ์ให้เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 1 อัตราการหายใจของส้มโอที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ

ส้มโอ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการหายใจ (mlCO ₂ /kg.hr)
ทั้งผล	10	3-5
	20	7-12
ตัดแต่ง	5	13.49
	10	23.31
	15	36.18
	20	44.59
	25	54.38
	30	66.32
	35	77.91
	40	90.37

ที่มา: Arpaia and Kader (2002); Saowaros (2006)

สถานการณ์ทั่วไปของส้มโอมีแนวโน้มการส่งออกในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น เพราะส้มโอเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ จากข้อมูลการส่งออกในปี 2551 ประเทศไทยสามารถส่งออกส้มโอทั้งผลไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศปริมาณ 11,218 ตัน คิดเป็นมูลค่าถึง 109 ล้านบาท ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อเมริกา แคนาดา และในยุโรป รวมทั้งฮ่องกง และสิงคโปร์มีการนำเข้าส้มโอจากไทยมาก นอกจากนี้ตลาดต่างประเทศเริ่มขยายไปทางตะวันออกกลาง เช่น บาร์เรน ซาอุดีอาระเบีย คูเวต และโอมาน (กลุ่มสินค้าเกษตร, 2552) ผลผลิตส้มโอส่วนใหญ่ร้อยละ 95 ใช้บริโภคภายในประเทศและนิยมบริโภคในรูปผลสด อาจนำไปประกอบอาหาร เช่น ใส่ในข้าวต้ม หรือทำส้มโอสลวยแก้ว พันธุ์ที่ปลูกเชิงการค้าได้แก่ พันธุ์ทองดี พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวพวง พันธุ์ขาวแดงกวาง พันธุ์ขาวหอม พันธุ์ขาวใหญ่ เป็นต้น (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2541) ส้มโอจึงเป็นไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีศักยภาพด้านการส่งออก เนื่องจากเป็นผลไม้ที่รสชาติดี มีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยวขึ้นอยู่กับพันธุ์ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อีกทั้งยังเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย องค์ประกอบภายในของส้มโอพบว่ามากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักสด คือ น้ำ สำหรับองค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอจากส่วนที่บริโภคได้ใน 100 กรัมของน้ำหนักสด

แสดงในตารางที่ 2 ส้มโอควรมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ไม่น้อยกว่า 8 องศาบริกซ์ และมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่เกินร้อยละ 1 จึงจะมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Chin *et al.*, 2008) นอกจากนี้ส้มโอยังสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 1 เดือน โดยที่คุณภาพภายในและรสชาติยังคงเดิม และสามารถทนทานต่อการขนส่งระยะทางไกลได้ เนื่องจากมีเปลือกหนาป้องกันการกระทบกระเทือนได้ดี

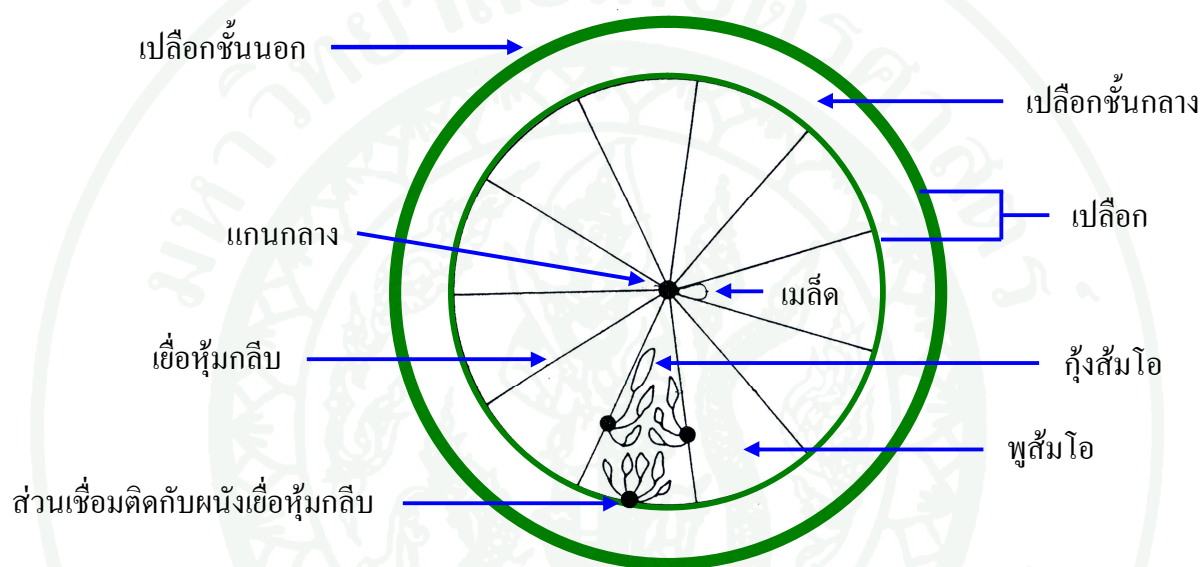
ตารางที่ 2 องค์ประกอบ และคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอจากส่วนที่บริโภคได้ใน 100 กรัม น้ำหนักสด

องค์ประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	57.0
โปรตีน (กรัม)	0.7
ไขมัน (กรัม)	0.6
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	12.2
น้ำ (เปอร์เซ็นต์)	84.8
เยื่อใย (กรัม)	0.8
ทองแดง (มิลลิกรัม)	0.048
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	0.017
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	0.12
โซเดียม (มิลลิกรัม)	0.07
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.02
กรดนิโคตินิก (มิลลิกรัม)	0.05
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม)	61.0

ที่มา: Chin *et al.* (2008); UDSA (2006)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลส้มโอ

ส้มโอเป็นพรรณไม้ยืนต้นขนาดกลาง ผลเป็นลูกกลมๆ โต มีเปลือกหนาและตรงหัวของผลจะนูนขึ้นมาเป็นกระจุก ขนาดของผลยาวประมาณ 5-7 นิ้ว ลักษณะของผลส้มโอเป็นแบบเบอร์รี่ (berry) ผลมีเนื้อหลายเมล็ด ชนิดพิเศษที่เรียกว่า แบบส้ม (hesperidium) ส่วนประกอบของผลส้มโอแสดงในภาพที่ 1 ประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่



ภาพที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลส้มโอ

ที่มา: Baldwin (1993)

1. เปลือกชั้นนอก (epicarp) หรือฟลาเวโด (flavedo) เป็นส่วนของเปลือกมีสีเขียว เนื่องจากเม็ดสีของเซลล์คลอโรฟิลล์ เมื่อแก่หรือสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองของเม็ดสีแซนโทฟิลล์ และแคโรทีน นอกจากนี้ยังมีต่อมน้ำมัน (oil gland) เล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นส่วนที่ผลิตน้ำมันหอมระเหย

2. เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) หรืออัลเบโด (albedo) เป็นส่วนที่ไม่มีสีหรืออาจมีสีชมพู ตามลักษณะประจำพันธุ์ของส้มโอ มีลักษณะเป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เนื้อเยื่อสีขาวประกอบด้วย

spongy tissue ของเซลล์พารენไคมาขนาดใหญ่ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยเพกติน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส

3. ผลชั้นใน (endocarp) เป็นเนื้อเยื่อของพูส้มโอ สามารถรับประทานได้ มีลักษณะเป็น กลีบ (carpels) อาจมีสีขาวอมเหลืองหรือสีชมพูอมแดงตามลักษณะประจำพันธุ์ของส้มโอ มีรสชาติ หวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย (Kimball, 1999) พูส้มโอเป็นพูของรังไข่ซึ่งปกติหนึ่งผลจะมีประมาณ 10-17 พู เชื่อมติดกันกับผนังเยื่อหุ้มกลีบรวมกันเป็นแกนกลาง ส่วนเนื้อที่ใช้รับประทานของผลไม้ ตระกูลส้มมักจะมีลักษณะเป็นถุงยาวคล้ายกระบอก หรือเป็นถุงน้ำภายในมีของเหลว ที่นิยมเรียกว่า กุ้ง (juice sac หรือ juice vesicle) ภายในหนึ่งพูหรือหนึ่งกลีบจะประกอบไปด้วยกุ้งเป็นจำนวนมาก เซลล์ของกุ้งเป็นเซลล์ที่มีความเปราะบางซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากเซลล์ผนังผลชั้นใน ข้างในมี น้ำหวานอยู่เต็มกุ้งและมีสีแตกต่างกันไปตามพันธุ์ (วิจิตร, 2526)

ลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาของส้มโอ

ลักษณะข้าวสารหรือฟ้าม (granulation หรือ ricing) เป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา อย่างหนึ่งในผลไม้ตระกูลส้มที่มักพบเมื่อเกิดการเก็บเกี่ยวช้าไป โดยอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาใน ส้มมีหลายอย่างด้วยกันซึ่งอาการเหล่านี้อาจมีผลมาจากสภาพภูมิอากาศ สภาพของดิน น้ำหรือแร่ ธาตุอาหาร โดยลักษณะอาการข้าวสารหรือฟ้าม คือ ลักษณะที่กุ้ง (juice sac) ของส้มโอทางด้านขั้ว ผลกลายเป็นสีขาวขุ่นและแห้งไม่มีน้ำ ผนังเซลล์ของกุ้งที่เป็นอาการนี้จะหนากว่าปกติและ ส่วนประกอบของเซลล์ก็แตกต่างกันออกไปปริมาณของ pectic substances เพิ่มขึ้นและอยู่ในรูป ของเจล ปริมาณน้ำตาล กรดอินทรีย์และแคโรทีนอยด์ลดลง ในขณะที่แร่ธาตุหลายชนิดเพิ่มปริมาณ สูงขึ้นโดยเฉพาะ แคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งมักจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะต่างๆ เช่น ชนิดของ ผล อายุของต้น ระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวผล ขนาดของผล และการใช้ปุ๋ย

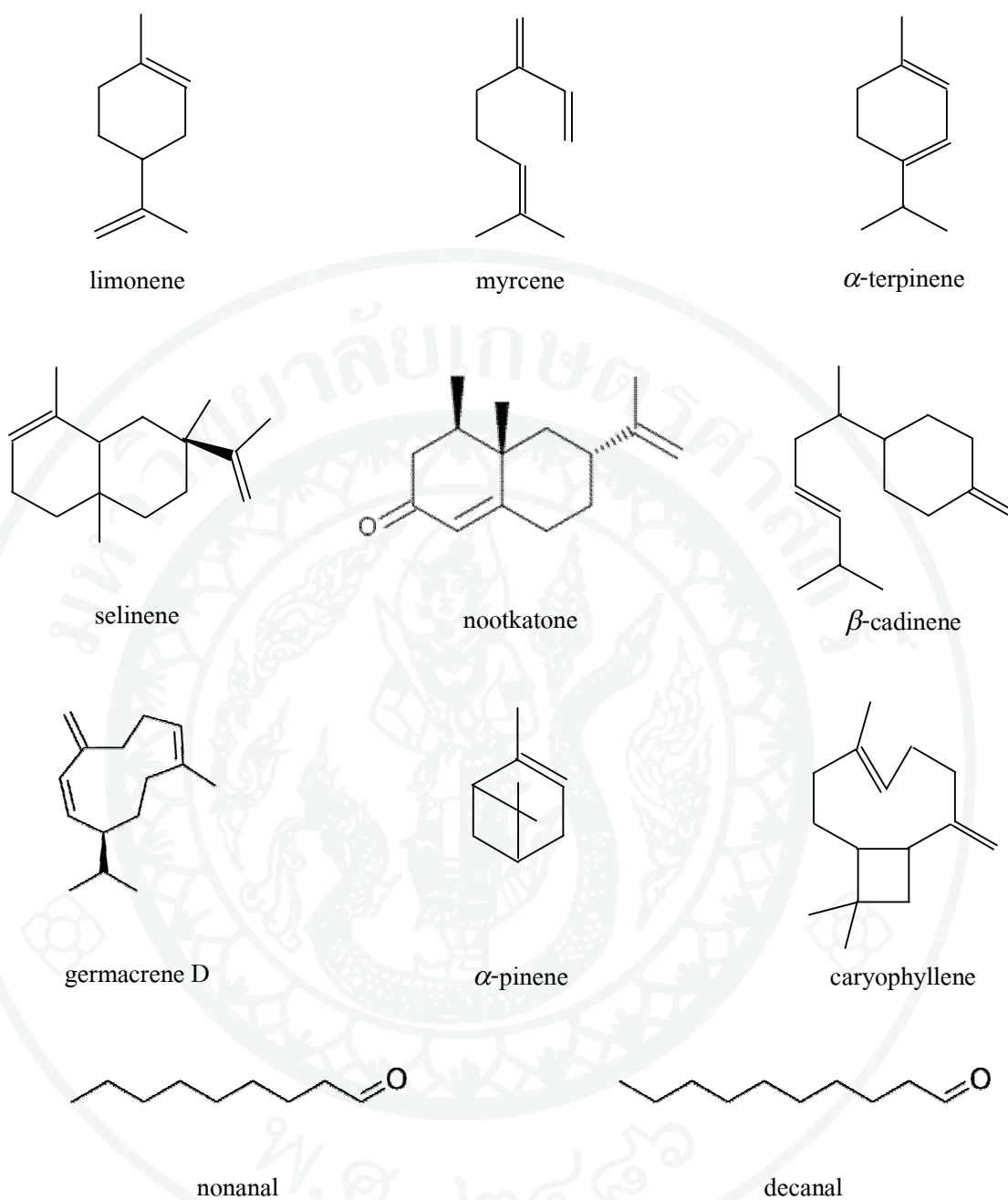
สารระเหยให้กลิ่นของส้มโอ

ในน้ำมันหอมระเหยของส้มโอจะมีสารระเหย (volatile) ซึ่งให้กลิ่นเฉพาะของส้มโอ ภายในตอม น้ำมันจะประกอบไปด้วยสารประกอบเทอร์พีน (terpenes), อัลดีไฮด์ (aldehydes) และแอลกอฮอล์ (alcohols) เมื่อผลโตเต็มที่สารประกอบพวกอัลดีไฮด์จะเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อผลแก่เกินไป ส่วน สารประกอบที่ให้กลิ่นรสที่พบในน้ำคั้นมักเป็นพวกแอลกอฮอล์อิ่มตัว (saturated alcohols)

แอลกอฮอล์ไม่อิ่มตัว (unsaturated alcohols) อัลดีไฮด์ และเอสเทอร์ (esters) ที่มีคาร์บอน 6 อะตอม โดยมี ethyl butyrate เป็นเอสเทอร์ที่สำคัญ ซึ่งจะมีปริมาณมากขึ้นตามอายุหรือความบริบูรณ์ของ ส้มโอ (Kefford and Chandler, 1970) ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลิตผลเร็วเกินไปจะมีผลกระทบต่อ การตั้งเเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยของผลไม้หลายชนิด โดยเฉพาะในผลไม้พวก non-climacteric ซึ่งจะไม่มีการสุกตามปกติถ้าเก็บเกี่ยวก่อนระยะของการสุก โดยจะเกิดผลกระทบอย่าง ชัดเจนและมากกว่าผลไม้พวก climacteric (Kays, 1991) สารระเหยที่สร้างโดยผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว อาจเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากหลายปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของสารระเหย ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกิด ขึ้นทั้งก่อน และหลังการเก็บเกี่ยว เช่น สายพันธุ์ ความบริบูรณ์ ฤดูกาล แหล่งเพาะปลูก การเก็บ รักษา และการบ่มสุก (Dugo *et al.*, 1996)

ในดอกส้มโอน้ำมันหอมระเหยประมาณร้อยละ 0.2-0.25 ส่วนผิวเปลือกของผลส้มโอเมื่อนำมากลั่นด้วยไอน้ำให้น้ำมันหอมระเหยประมาณร้อยละ 0.3-0.9 (Bordoloi *et al.*, 1999) โดยมี limonene เป็นสารระเหยหลัก (Sawamura *et al.*, 2001; Njoroge *et al.*, 2005; Bordoloi *et al.*, 1999) และยังพบสารระเหยชนิดอื่นในปริมาณรองลงมา เช่น α -terpinene, β -cubebene, α -pinene, trans- β -caryophyllene และ decanal ดังแสดงโครงสร้างของสารระเหยที่พบมากในเปลือกส้มโอ (ภาพที่ 2)

โดยทั่วไปผักผลไม้ชนิดเดียวกันถึงแม้จะมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันหรือมีลักษณะ ภายนอกเหมือนกัน แต่พบว่าเมื่อมีแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันจะทำให้สารระเหยที่พบแตกต่างกันไป ตามสถานที่เพาะปลูก ตามที่พบว่าส้มโอที่ปลูกในท้องถิ่นต่างกันมีผลทำให้องค์ประกอบของสาร ให้อกลิ่นในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกที่กลั่นด้วยการบีบอัดเย็น (cold-press) แตกต่างกัน โดยที่ น้ำมันของเปลือกส้มโอจากประเทศเคนยา (Njoroge *et al.*, 2005) และน้ำมันของเปลือกส้มโอจาก ประเทศญี่ปุ่น (Sawamura *et al.*, 2001) มี limonene เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ γ -terpinene แต่น้ำมันของเปลือกส้มโอจากประเทศเวียดนาม (Minh *et al.*, 2002) มี limonene เป็นองค์ประกอบ หลักเช่นเดียวกัน แต่รองลงมาคือ myrcene สำหรับสารระเหยอื่นๆ ของเปลือกส้มโอจากแต่ละ ประเทศก็พบได้ในชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3 อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าบางครั้ง ผลิตผลมาจากแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน แต่พบว่าสารประกอบหลักที่พบมากที่สุดในน้ำมันของ เปลือกส้มโอคือกลุ่ม monoterpenes hydrocarbons เหมือนกัน



ภาพที่ 2 โครงสร้างของสารระเหยที่พบในเปลือกส้มโอ

ที่มา: Minh *et al.* (2002)

ตารางที่ 3 ปริมาณของสารระเหยในเปลือกส้มโอ

สารระเหย	Sawamura and Kuriyama (1988) ¹		Sawamura <i>et al.</i> (2001) ¹	Minh <i>et al.</i> (2002) ¹	Njoroge <i>et al.</i> (2005) ¹
	ปีบอัดเย็น	การกลั่น			
(<i>E</i>)- <i>p</i> -mentha-2,8-dienol					0.10
(<i>E, Z</i>)-farnesol			0.01		
(<i>E,E</i>)- α -farnesene					0.10
(<i>E</i>)-nerolidol			0.01		
(<i>Z</i>)-carvone					0.10
(<i>Z</i>)- β -ocimene			0.22	0.30	0.22
1,8-cineole	trace	trace			
2-carene	0.18	0.19			
2-dodecenal			0.02		
carveol	0.04	0.04			
citronellal	0.18	0.17	0.06	trace	0.10
citronellol			0.09	trace	
copanene			0.05		
decanal	0.29	0.32	0.26	trace	0.30
dodecanal			0.07	trace	0.10
dodecanoic acid			0.03		
elemol			0.01		trace
geranial	0.08	0.02	0.11	0.20	0.10
geranyl acetate			0.01	trace	trace
germacrene D			0.12	0.20	
hexadecanol			0.01		
limonene	86.19	85.3	87.07	93.90	87.07
linalool	0.24	0.29	0.26	0.10	0.10
myrcene	3.53	4.44	1.81	1.9	1.81

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สารระเหย	Sawamura and Kuriyama (1988) ¹		Sawamura <i>et al.</i> (2001) ¹	Minh <i>et al.</i> (2002) ¹	Njoroge <i>et al.</i> (2005) ¹
	ปีบอัดเย็น	การกลั่น			
neral			0.07	0.10	trace
<i>n</i> -octyl acetate	0.08	0.07			
nonanal	0.05	0.06	0.02		0.02
nookatone	0.21	0.03	0.12	trace	0.10
octanal			0.26	trace	0.26
octyl acetate			0.08		
perillyl acetate			0.01		
sabinene			0.14	0.30	0.14
terpinen-4-ol	0.04	0.04		trace	
terpinolene	0.10	0.13	0.26	trace	0.26
valencene				0.30	0.25
α -cubebene					0.10
α -humullene			0.01	trace	
α -phellandrene				0.1	
α -pinene	1.22	1.47	1.13	0.50	1.13
α -terpineol	0.05	0.04	0.12	0.10	0.10
β -caryophyllene	0.01	0.03	0.04	trace	0.10
β -cubebene	0.04	0.03			
β -elemene			0.01	trace	
β -phellandrene				0.40	
β -pinene	0.91	1.24	0.50	1.10	0.50
β -terpineol	0.05	0.02			
γ -terpinene	5.78	5.96	6.04		6.04
δ -cadinene	0.03	0.02			

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สารระเหย	Sawamura and Kuriyama (1988) ¹		Sawamura <i>et al.</i> (2001) ¹	Minh <i>et al.</i> (2002) ¹	Njoroge <i>et al.</i> (2005) ¹
	บีบอัดเย็น	การกลั่น			
δ -elemene				0.10	trace
ρ -cymene	0.03	0.04			

หมายเหตุ ¹เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารระเหย

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sawamura and Kuriyama (1988); Sawamura *et al.* (2001); Minh *et al.* (2002); Njoroge *et al.* (2005)

สายพันธุ์เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของสารระเหย Sawamura *et al.* (1991) ทำการศึกษาน้ำมันหอมระเหยจากผิวเปลือกของส้มโอสายพันธุ์ต่างๆ 8 สายพันธุ์ในญี่ปุ่น พบว่าส้มโอทั้ง 8 สายพันธุ์มีสารประกอบส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม monoterpenic hydrocarbon และมีองค์ประกอบหลักเหมือนกันคือ limonene คิดเป็นจำนวน 66.52-83.11% ของสารระเหยทั้งหมด อย่างไรก็ตามส้มโอจำนวน 4 ใน 8 สายพันธุ์นี้ไม่สามารถตรวจพบ α -terpinene ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่ให้กลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม กลิ่นมะนาว และกลิ่นสดชื่น นอกจากนี้ปริมาณ nootkatone ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอทั้ง 8 สายพันธุ์มีปริมาณแตกต่างกันอยู่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 0.03-0.46 ทั้งนี้ยังพบว่าวิธีการสกัดสารระเหยมีผลต่อชนิดและปริมาณสารระเหยในส้มโอ Sawamura and Kuriyama (1988) ทดลองสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ (*Citrus grandis* Osbeck forma Tosa-buntan) ด้วยวิธีการบีบอัดเย็นเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายภายใต้การกลั่นด้วยไอน้ำร่วมกับการลดความดัน พบว่าทั้ง 2 วิธีได้ limonene เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกัน แต่วิธีการบีบอัดเย็นมี nootkatone ซึ่งเป็นสารที่ให้ลักษณะกลิ่นที่สำคัญ (character impact compound) ของเกรฟฟรุ๊ตและส้มโอ (Sawamura *et al.*, 1991; MacLeod and Buigues, 1964; Shaw and Wilson, 1981) ในปริมาณที่มากกว่าวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำประมาณ 7 เท่า ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเกรฟฟรุ๊ตและส้มโอเป็นผลไม้ในผลไม้ตระกูลส้มที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันทางสายพันธุ์มากที่สุด เนื่องจากสายพันธุ์ของเกรฟฟรุ๊ตนั้นพัฒนามาจากพันธุ์ผสมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติระหว่างสายพันธุ์

ของส้มโอและส้มสายพันธุ์ที่มีรสหวาน (*Citrus grandis* Osbeck x *Citrus sinensis*) (Hodgson, 1967) โดยปริมาณของ nootkatone ในส้มโอและเกรฟฟรุตจะแตกต่างจากพืชตระกูลส้มสายพันธุ์อื่นๆ คือในน้ำมันหอมระเหยของผลไม้ตระกูลส้มโดยทั่วไปจะมีปริมาณของ nootkatone น้อยกว่า 0.01 % (Sawamura *et al.*, 1989) ดังนั้นจึงสามารถใช้ nootkatone เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญสำหรับการระบุสายพันธุ์ของส้มโอและเกรฟฟรุตได้ (Sawamura *et al.*, 1991)

ในหลายการทดลองพบว่า nootkatone เป็นสารระเหยที่พบในส้มโอ จัดอยู่ในกลุ่ม sesquiterpene ให้ลักษณะกลิ่นที่สำคัญ (characteristic or key compound) ของเกรฟฟรุต (MecLeod and Buigues, 1964) และส้มโอ (Sawamura *et al.*, 1991) ในอุตสาหกรรมประเภทเครื่องสำอางค์ nootkatone เป็นสารสังเคราะห์ให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์กลิ่นเกรฟฟรุต (Shaw, 1991) Drawert *et al.* (1984) รายงานว่า nootkatone สามารถสังเคราะห์ทางชีวภาพได้โดยใช้ valencene เป็นสารตั้งต้น อย่างไรก็ตามยังมีสมมติฐานของผู้วิจัยบางรายเชื่อว่า การสังเคราะห์ nootkatone สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อีกหลายวิถีทาง (pathway) นอกเหนือจากการสังเคราะห์ผ่านทางการใช้ valencene เป็นสารตั้งต้น โดยปริมาณและสัดส่วนของ nootkatone จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาส้มโอและเกรฟฟรุต (Biolatto *et al.*, 2002) นอกจากนี้บางรายงานพบว่า การเก็บเกี่ยว (harvesting) การกำจัดสีเขียว (degreening) หรือการใช้สารเร่งที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโต (growth regulator) (Del-Río *et al.*, 1992; Ortuño-Tomás *et al.*, 1993) ขั้นตอนการปฏิบัติเหล่านี้ทำให้ปริมาณ nootkatone เพิ่มขึ้นได้

นอกจาก nootkatone จะเป็นสารให้ลักษณะกลิ่นที่สำคัญที่พบมากในเกรฟฟรุตและส้มโอแล้ว ยังมีรายงานว่า 1-*p*-menthene-8-thiol เป็นสารในกลุ่มของสารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งให้ลักษณะกลิ่นที่สำคัญของเกรฟฟรุตด้วยเช่นกัน (Demole *et al.* 1982) เนื่องจากค่าระดับกั้น (threshold) ของ 1-*p*-menthene-8-thiol อยู่ในระดับที่ต่ำมาก โดยเป็นสารที่มีค่าระดับกั้นต่ำที่สุดในสารให้กลิ่นทั้งหมดเท่าที่พบ คือมีค่าเท่ากับ 1 ppt (Taylor, 2002)

จากการศึกษาของ Biolatto *et al.* (2002) ซึ่งทดลองใช้ nootkatone เป็นครรชนบ่งชี้ (indicator) ในการตรวจวัดความชราภาพและความอ่อนแอของเกรฟฟรุตในอาร์เจนตินา พบว่าปริมาณการเพิ่มขึ้นของ nootkatone มีผลมาจากสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยทั้งระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของ nootkatone เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระดับอัตราการหายใจของเกรฟฟรุตที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลไม้มเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีขึ้นได้ เช่น อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสารระเหยหรือสารประกอบให้กลิ่นรสในผลไม้

เช่นเดียวกับกับการทดลองของ Sawamura *et al.* (1989) ที่พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อปริมาณของสารกลุ่มหลักที่พบในผลส้มโอพวก terpene hydrocarbon เช่น limonene, γ -terpinene, myrcene, α -pinene, β -pinene และ β -cubebene โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้นจะทำให้ปริมาณเทอร์พีนเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง nootkatone ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญของส้มโอจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารในกลุ่มอัลดีไฮด์ เช่น nonanal, decanal, neral และ citronellal รวมถึงสารในกลุ่มแอลกอฮอล์ เช่น linalool และ terpinen-4-ol ซึ่งการควบคุมคุณภาพของผลส้มโอในทางการค้า นั้น สามารถอาศัยการตรวจวัดระดับปริมาณของ nootkatone เพื่อช่วยในการพิจารณาและตัดสินใจถึงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือการขนส่งผลผลิตไปยังตลาดได้ เนื่องจาก nootkatone เป็นสารประกอบเดียวที่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนคงที่กับความสุก ความบริบูรณ์ หรือความสุกแก่ของผลส้มโอ (Sawamura *et al.*, 1989)

นอกจากจะมีลักษณะกลิ่นที่สำคัญของเกรฟรุ๊ตและส้มโอแล้ว ยังพบว่า nootkatone เป็นสารที่มีคุณสมบัติในยับยั้งจุลินทรีย์ (antimicrobial) มีการทดลองผสม nootkatone ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราพวก *Penicillium digitatum*, *P. italicum*, *P. verrucosum* และ *Fusarium oxysporum* พบว่าปริมาณของ nootkatone ที่ระดับ 250, 500 และ 1000 $\mu\text{g/ml}$ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ และจะยับยั้งได้ดีเมื่อใช้ nootkatone ร่วมกับกรดซิตริก (citric acid) ที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 20 mg/ml (Morozumi *et al.*, 1989)

ในงานวิจัยปี 2001 ของ Sawamura *et al.* ซึ่งศึกษาสารระเหยในน้ำมันของผิวเปลือกส้มโอจากญี่ปุ่นที่สกัดโดยใช้วิธีการบีบอัดเย็น พบว่าสารระเหยที่พบส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม monoterpenes และ sesquiterpenes โดยคิดเป็นจำนวน 98 % ของสารระเหยทั้งหมด แต่เมื่อทำการวิเคราะห์สารระเหยที่เป็นสารให้กลิ่นสำคัญด้วย GC-O โดยใช้วิธี Aroma Extraction Dilution Analysis (AEDA) พบว่า 2-dodecenal เป็นสารที่ให้ลักษณะกลิ่นที่สำคัญ (characteristic or key compound) ของส้มโอ นอกจากนี้ยังพบสารระเหยชนิดอื่นๆ ที่มีความแรงสัมพัทธ์ (relative flavor activity) ของสารระเหยในปริมาณสูง โดยพิจารณาจากค่าสารระเหยที่มีค่า $\log_3$ FD factor (flavor dilution value) สูง บ่งบอกได้ว่าสารชนิดนั้นเป็นสารที่มีบทบาทในการให้กลิ่นสำคัญในน้ำมันระเหยของผิวเปลือกส้มโอ ได้แก่ α -pinene, β -pinene, limonene, terpinolene, heptyl acetate, decanal, α -humulene, geranial, geranyl acetate, α -bisabolol, decanoic acid, *trans*-nerolidol, *cis*, *trans*-farnesol และ nootkatone

ผักผลไม้ตัดแต่ง

ผักผลไม้ตัดแต่ง (fresh cut fruits and vegetables) หมายถึงผักหรือผลไม้สดที่ได้รับการคัดเลือกคุณภาพ และมีความแก่อ่อนที่เหมาะสมในการบริโภค โดยผักและผลไม้เหล่านี้จะผ่านการแปรรูปด้วยกระบวนการหรือขั้นตอนการปฏิบัติใดๆ ก็ตามหลังการเก็บเกี่ยวเช่น การล้างทำความสะอาด (rinsing) การปอกเปลือก (peeling) การตัด (cutting) การคว้านไส้ออก (coring) การหั่น (slicing) การซอยเป็นชิ้นเล็กๆ (shredding) การตัดแต่ง (trimming) รวมถึงการบรรจุ (packaging) และเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิต่ำหรือการแช่เย็น (chilling) ทำให้ผลผลิตเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพไปจากรูปร่างลักษณะเดิม ในขณะที่เซลล์ของผลผลิตยังคงมีชีวิตอยู่และที่สำคัญผลผลิตยังคงรักษาความสดใหม่ รวมถึงสารอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการเหมือนก่อนการผ่านขั้นตอนกระบวนการตัดแต่ง โดยสามารถบริโภคได้อย่างสะดวกและปลอดภัย (Lamikanra, 2002; IFPA, 2002; USDA, 1998; FDA, 1998) ผักผลไม้ตัดแต่งสามารถเรียกได้หลายแบบ เช่น ผักผลไม้แปรรูปขั้นต่ำ (minimally processed fruits and vegetables), ผักผลไม้พร้อมบริโภค (ready to eat fruits and vegetables), ผักผลไม้แปรรูปสด (fresh-processed fruits and vegetables), ผักผลไม้แปรรูปเล็กน้อย (lightly processed fruits and vegetables) และผักผลไม้แปรรูปบางส่วน (partially processed fruits and vegetables) (Lamikanra, 2002)

ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสะดวกในการรับประทาน สามารถบริโภคได้ทันที ประหยัดเวลาในการเตรียม (Schlimme, 1995) ทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงผักและผลไม้สดมากที่สุด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้น อย่างไรก็ตามผักและผลไม้ทุกชนิดไม่ได้มีความเหมาะสมที่จะนำมาทำการตัดแต่งพร้อมบริโภคเสมอไป

จริงแท้ (2549) กล่าวว่าผลผลิตที่เหมาะสมต่อการแปรรูปเพื่อเป็นผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคควรมีลักษณะดังนี้คือ เป็นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ มีส่วนเปลือกหนาหรือส่วนที่รับประทานไม่ได้จำนวนมาก หรืออาจเป็นผลไม้ที่มีราคาสูง และผลไม้ที่มีความยากแก่การปอกเปลือกและตัดแต่ง เช่น ขนุน ทุเรียน และสับปะรด นอกจากนี้การนำผลผลิตมาผ่านกระบวนการตัดแต่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเสื่อมคุณภาพภายในที่ไม่สามารถตรวจสอบได้จากภายนอกหรือลักษณะ

ปรากฏ เช่น อาการข้าวสารในส้มโอ ลักษณะทุเรียนไส้ซึม และอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด อีกทั้งยังสามารถช่วยลดปัญหาด้านกฎหมายกักกันพืชหรือการกักกันโรคและแมลงของตลาดต่างประเทศได้ เนื่องจากผลไม้บางชนิดมีปัญหาเรื่องการเข้าทำลายของแมลง ในขณะที่เดียวกันการแปรรูปผลไม้สดแต่งพร้อมบริโภคยังเป็นการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ สามารถใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะด่างแทนที่จะทิ้งไป

การเปลี่ยนแปลงหลังกระบวนการตัดแต่ง

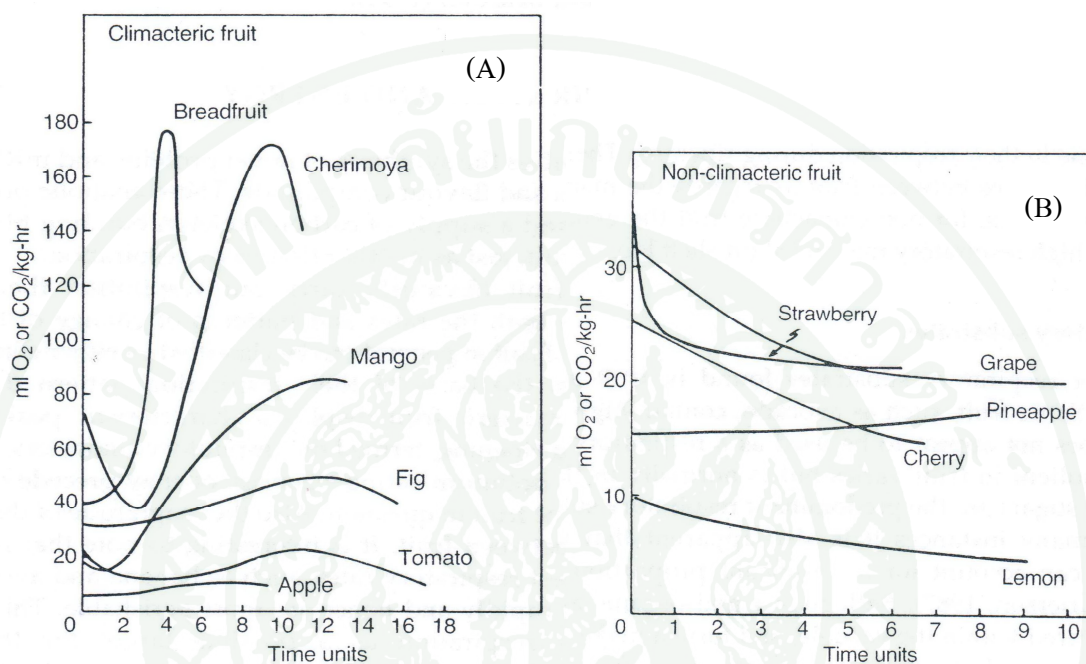
Rolle and Chism (1987) กล่าวว่า ในผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งจะทำให้ผักผลไม้เกิดเมตาบอลิซึม (metabolism) ขึ้น โดยผลจากกระบวนการตัดแต่งทำให้ผักและผลไม้สดแต่งมีการเสื่อมสภาพได้รวดเร็วกว่าผักผลไม้ที่ไม่ผ่านกระบวนการตัดแต่ง (Saltveit, 1997) เนื่องมาจากบาดแผลที่เกิดจากกระบวนการตัดแต่งจะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะและคุณภาพของผักผลไม้ เช่น มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น การเกิดอาการสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ (Varoquaux and Wiley, 1994; Brecht, 1995) การสูญเสียเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นรสของผักผลไม้ (Greve and Labavitch, 1991) ส่งผลให้ผักและผลไม้เกิดการเสื่อมเสียในที่สุด โดยการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้สดแต่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

1.1 อัตราการหายใจ

ในทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวสามารถจำแนกกลุ่มของผลไม้ตามลักษณะการหายใจระหว่างการสุกออกเป็น 2 ชนิด (ภาพที่ 3) ได้แก่ climacteric fruit เป็นผลไม้ในกลุ่มที่มีลักษณะในช่วงที่ผลไม้ยังไม่สุกมีอัตราการหายใจที่ค่อนข้างต่ำแต่เมื่อเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาแล้วเมื่อพัฒนาเข้าสู่ระยะสุก (ripening) จะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นอย่างชัดเจนและลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพ (senescence) จึงทำให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกได้ชัดเจน ตัวอย่างผลไม้ที่มีอัตราการหายใจในกลุ่ม climacteric fruit เช่น ถั่วลิสง ขนุน มังคุด ละมุด มะละกอ มะม่วง แอปเปิล แคนตาลูป ท้อ สาลี่ พลับ เป็นต้น และกลุ่ม non-climacteric fruit มีการหายใจระหว่างการสุกหรือระหว่างการเปลี่ยนแปลงในช่วงสุดท้ายของผลมีอัตราลดลงโดยตลอดจนเข้าสู่

ระยะเสื่อมสภาพ จึงทำให้ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกได้ไม่ชัดเจนเช่นเช่น ส้ม ชมพู ส้มโอ มะนาว ลำไย สละ สับปะรด และองุ่น หรือบางชนิดสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกได้ชัดเจน เช่น สตรอเบอร์รี่ เชอร์รี่ เป็นต้น (จริงแท้, 2549)



ภาพที่ 3 อัตราการหายใจของผลไม้ชนิดต่างๆ ในกลุ่ม (A) climacteric (B) non-climacteric

ที่มา: Seymour *et al.* (1993)

ในสภาวะปกติพืชใช้น้ำตาลและกรดอินทรีย์เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจ เมื่อผักและผลไม้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณของคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลและกรดอินทรีย์ลดลง ส่งผลให้รสชาติของผักและผลไม้ลดลง นอกจากนี้อัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้นยังมีผลต่อการเร่งกระบวนการสุกของผักและผลไม้ให้เกิดเร็วขึ้น และมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้นุ่มลง ในขณะเดียวกันผักและผลไม้ตัดแต่งอาจเหี่ยวได้ เนื่องจากการสูญเสียน้ำ (Rolle and Chism, 1987) สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคในที่สุด (Soliva-Fortuny and Martín-Belloso, 2003)

กระบวนการหายใจถือว่าได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ เนื่องจากกระบวนการหายใจมีการเปลี่ยนรูปของอาหารสะสมมาใช้ในการดำรงชีวิต ดังนั้นถ้าผักผลไม้มีอัตราการหายใจที่สูงก็จะส่งผลให้ผักผลไม้มีอายุการวางจำหน่ายที่สั้น (Rolle and Chism, 1987) ในขั้นตอนกระบวนการตัดแต่งผลผลิตสด เช่น การปอกเปลือก การหั่น การตัดแต่ง การตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ล้วนเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดบาดแผลขึ้น ซึ่งบาดแผลที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการหายใจของผลผลิตโดยตรงทำให้ผลผลิตมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อายุการเก็บรักษาหรืออายุการวางจำหน่ายสั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างผักผลไม้ที่ไม่ผ่านกระบวนการตัดแต่งที่มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่า

Mencarelli *et al.* (1989) รายงานว่าการตัดแต่งมะเขือเทศ มีผลทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นจากมะเขือเทศทั้งผลร้อยละ 40 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับ กิวี (Agar *et al.*, 1999) สตรอเบอร์รี่ สาลี่ (Rosen and Kader, 1989) และเลมอน (Ben-Yehoshua *et al.*, 1979) ตัดแต่งจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ยังไม่ผ่านกระบวนการตัดแต่ง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากกระบวนการตัดแต่งมีผลทำให้ผักและผลไม้สดมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับบรรยากาศเพิ่มขึ้น ออกซิเจนจึงสามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในเซลล์ได้มากขึ้น ผักและผลไม้สดดังกล่าวจึงมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักและผลไม้สดทั้งผล ผักผลไม้สดที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักผลไม้สด 1.2-7.0 เท่า (Ahvenainen, 1996) อย่างไรก็ตามอัตราการหายใจของผลผลิตสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ชนิดและสายพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต สารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการหายใจ ขนาดของผลผลิตและสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ สำหรับปัจจัยภายนอกที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผลผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศ ความเครียดทางกายภาพ การเกิดบาดแผล และสารยับยั้งที่ใช้ชะลอการเสื่อมสภาพ (Brencht, 1995)

1.2 อัตราการผลิตเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่มีอิทธิพลสำคัญต่อผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว และเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นแก๊สสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่าย ทำให้เอทิลีนมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาในด้านต่างๆ ของพืช โดยทั่วไปเอทิลีนจะไปเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืช ทั้งนี้เนื่องจากเอทิลีนสามารถไปกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจที่สูงขึ้นได้ซึ่งการที่พืชมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้นส่งผลให้เร่งให้การเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้นกว่าปกตินำไปสู่อายุการเก็บรักษาหรืออายุการวางจำหน่ายผลผลิตสั้นลงไปด้วย (จริงแท้, 2549)

อัตราการหายใจของผลไม้ในกลุ่ม climacteric fruit มีความสัมพันธ์กับการผลิตและปริมาณความเข้มข้นของเอทิลีน โดยการผลิตเอทิลีนภายในผลระหว่างการเจริญเติบโตจะอยู่ในระดับต่ำ จนกระทั่งเข้าสู่ระยะก่อนสุกพบว่ามีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทิลีนอาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังการเพิ่มของอัตราการหายใจก็ได้ แต่ในผลไม้กลุ่ม non-climacteric fruit พบว่าอัตราการผลิตและระดับความเข้มข้นของเอทิลีนจะอยู่ในระดับต่ำอยู่ตลอดการพัฒนาและการเจริญเติบโต ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์และการทำงานเอทิลีน ได้แก่ ชนิดหรือพันธุ์ อายุทางสรีรวิทยาเมื่อเก็บเกี่ยว อุณหภูมิ ความเครียดต่างๆ ฮอร์โมนพืชชนิดอื่นๆ สารยับยั้งการผลิตและการทำงานของเอทิลีน ปริมาณเอทิลีนในสภาพบรรยากาศ ปริมาณแก๊สออกซิเจน และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพบรรยากาศ เป็นต้น (Baldwin, 1994)

การทำให้เกิดบาดแผลหรือการกระทบกระเทือนบนผลผลิต ส่งผลให้อัตราการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น โดยเอทิลีนที่พืชสังเคราะห์ขึ้นจะเหนี่ยวนำให้ผักผลไม้ตัดแต่งมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้น เช่น เร่งอัตราการหายใจให้เพิ่มสูงขึ้น เร่งให้เข้าสู่ความชราภาพ เร่งกระบวนการสุก กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์และทำให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ ขั้นตอนกระบวนการตัดแต่งผักผลไม้มีผลทำให้ผักผลไม้เหล่านั้นได้รับความบอบช้ำหรือบาดแผลส่งผลให้เกิดความเครียด ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตและการทำงานของเอทิลีนให้สูงขึ้น นำไปสู่การเร่งความเสื่อมสภาพของผลผลิตที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งให้มีอายุการเก็บรักษาและอายุการวางจำหน่ายที่สั้นลงได้

2. การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมี

การแปรรูปผักผลไม้สดด้วยกระบวนการตัดแต่ง เช่น การปอกเปลือก การหั่น การตัดเป็นขั้นตอนที่ทำให้เซลล์ของผลผลิตถูกทำลายหรือได้รับความบอบช้ำเกิดขึ้นกับตัวผลผลิต ผลจากการผ่านกระบวนการตัดแต่ง ทำให้เนื้อเยื่อและเซลล์ถูกทำลาย ซึ่งเป็นสาเหตุให้เอนไซม์และซับสเตรตเกิดการซึมผ่านออกจากเซลล์และทำปฏิกิริยากัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆ เกิดขึ้นกับผักผลไม้ที่ผ่านกระบวนการตัดแต่ง การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีที่สำคัญในผักผลไม้ตัดแต่ง ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning) การสูญเสียความแน่นเนื้อ และการเกิดกลิ่นรสผิดปกติ เป็นต้น (Wiley, 1994)

2.1 การเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่สำคัญ

ผลิตภัณฑ์ผักผลไม้สดแต่งพร้อมบริโภคได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสะดวกและง่ายในการนำมาบริโภคได้ทันทีที่ต้องการ ที่สำคัญผักผลไม้สดแต่งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส รวมทั้งยังคงคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงกับผักผลไม้สดมากที่สุดอีกด้วย ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าผักผลไม้สดนั้นมีประโยชน์ต่อร่างกายเนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหาร วิตามินและแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกาย และยังเชื่อว่าการบริโภคผักผลไม้จะทำให้ร่างกายได้รับสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) แอนโทไซยานิน (anthocyanins) วิตามินเอและวิตามินซี เป็นต้น สารพฤกษเคมี คือสารประกอบที่พืชสร้างขึ้นมาโดยไม่จัดอยู่ในกลุ่มของสารอาหาร แต่เป็นสารประกอบในกลุ่ม secondary metabolite (Craig, 1996) สารพฤกษเคมีที่พบในผักและผลไม้มักมีสารที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antioxidant activity) (Wang *et al.*, 1996) ตัวอย่างเช่น วิตามินซี แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโทไซยานิน จะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ และโรคที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบต่างๆ (Connor *et al.*, 2002; Kang and Saltveit, 2002) ความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในผักผลไม้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางพันธุกรรม สายพันธุ์ ฤดูเก็บเกี่ยว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา (Prior *et al.*, 1998)

การสูญเสียสารอาหารที่สำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การสูญเสียวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก โดยสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อการสลายตัวของวิตามินซีอย่างมาก ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีสาเหตุจากการเกิดความเสียหายทางกายภาพของตัวผลผลิต การเก็บรักษาในระยะเวลาอันยาวนาน ระดับอุณหภูมิที่สูง ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำเกินไปและการเกิดอาการสะท้านหนาว (Lee and Kader, 2000; Hussein *et al.*, 2000) สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ในผักผลไม้สดแต่งจะมีความไวต่อการเสื่อมสภาพเมื่อพื้นผิวที่มีบาดแผลจากการตัดแต่งกับสัมผัสกับออกซิเจนหรือแสง (Klein, 1987; Huxsoll and Bolin, 1989; Bode *et al.*, 1990) ในระหว่างการเก็บรักษาแคโรทีนอยด์ถูกทำลายได้ประมาณร้อยละ 5 ถึง 40 ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและอุณหภูมิสูง แคโรทีนอยด์ถูกทำลายโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลติกและปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการแตกสลายโมเลกุล (fragmentation) แต่ในสภาวะที่มีออกซิเจนแคโรทีนอยด์ถูกทำลายได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation) (นิธิยา, 2545) จริงแท้ (2549) กล่าวว่าผลผลิตที่ได้รับเสียหายเนื่องจากการปอก หั่น ตัด หรือเกิดรอยขีด จะส่งผลให้แคโรทีนอยด์เกิดความไม่เสถียรและถูกทำลายได้ง่ายด้วยแสง ออกซิเจน และความร้อน นอกจากนี้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลยังสามารถชักนำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารที่สำคัญในผักผลไม้สดตัดแต่งด้วย (Vámos-Vigyázó, 1981) อีกทั้งการเกิดบาดแผลจากการตัดแต่งยังส่งผลให้เกิดการผลิตเอทิลีน ซึ่งเอทิลีนเป็นตัวการสำคัญที่เร่งให้ผลผลิตเกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้น

ในปี 2006 Gil *et al.* ศึกษาถึงผลของกระบวนการตัดแต่งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและสารอาหารที่สำคัญของสับปะรด มะม่วง แคนตาลูป แตงโม สตรอเบอร์รี่ และกีวี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการตัดแต่งเปรียบเทียบกับสับปะรดตัดแต่ง มะม่วงตัดแต่ง แคนตาลูปตัดแต่ง แตงโมตัดแต่ง สตรอเบอร์รี่ตัดแต่ง และกีวี่ตัดแต่ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าภายหลังการเก็บรักษาในวันที่ 6 เกิดการสูญเสียวิตามินซีในมะม่วงตัดแต่ง สตรอเบอร์รี่ตัดแต่ง และแตงโมตัดแต่งมากกว่าร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ที่ไม่ผ่านกระบวนการตัดแต่ง ส่วนในสับปะรดตัดแต่ง กีวี่ตัดแต่ง และแคนตาลูปตัดแต่งเกิดการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าร้อยละ 10, 12 และ 25 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ในสับปะรดตัดแต่งซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับสับปะรดที่ไม่ผ่านกระบวนการตัดแต่ง สำหรับแคนตาลูปตัดแต่ง มะม่วงตัดแต่ง และสตรอเบอร์รี่ตัดแต่งเกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ร้อยละ 10 ถึง 15 แต่ในกีวี่และแตงโมตัดแต่ง พบว่าไม่เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ ในขณะที่ไม่พบการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลไม้ตัดแต่งทุกชนิด

2.2 การสูญเสียกลิ่นรสและการเกิดกลิ่นรสผิดปกติ

ผักและผลไม้สดมีส่วนประกอบที่นำมาบริโภคได้ และสามารถนำมาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่ง ซึ่งส่วนที่นำมาบริโภคนั้นได้มาจากเนื้อเยื่อหรือลักษณะที่แตกต่างกันตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลิตผลแต่ละชนิด ประเภทหรือชนิดของสารระเหย เช่น เอสเทอร์ อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ และคีโตน เป็นต้น รวมถึงปริมาณสารระเหยที่พบในผักผลไม้แต่ละชนิดล้วนมีความสำคัญต่อกลิ่นรสของผักผลไม้ตัดแต่ง สารระเหยที่หักกลิ่นเฉพาะตัวของผักผลไม้จัดเป็นคุณภาพด้านหนึ่งของผู้บริโภคใช้ในการตัดสินคุณภาพของผักและผลไม้สดตัดแต่ง เช่น เมล่อนตัดแต่งจะมีกลิ่นเฉพาะที่ผู้บริโภคสามารถใช้ตัดสินความสดใหม่ได้ (Nussbaumer and Hostettler, 1996; Beaulieu and Grimm, 2001) คุณภาพทางด้านกลิ่นรสของผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากผู้บริโภคสามารถใช้คุณลักษณะทางด้านกลิ่นรสเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาอายุของการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่ง (Sapers *et al.*, 1997)

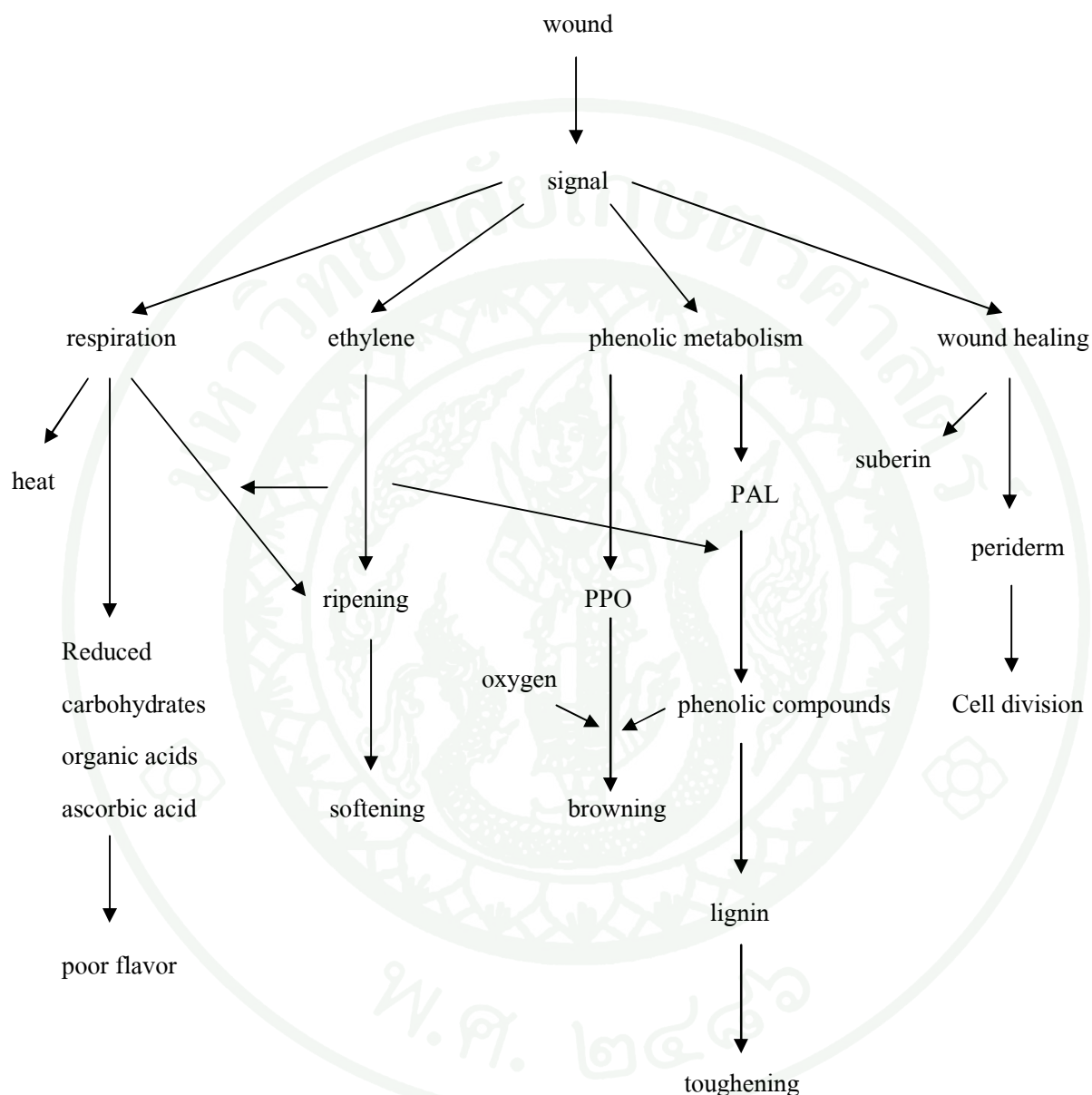
กระบวนการตัดแต่งมีผลทำให้เกิดการบอบช้ำ และเกิดบาดแผลขึ้นในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่ง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสตามธรรมชาติได้ (Watada and Qi, 1999) และหากเก็บรักษาผักผลไม้ตัดแต่งไว้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติขึ้น ซึ่งกลิ่นรสผิดปกติที่เกิดขึ้นในผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคเกิดมาจากสาเหตุการปฏิบัติทาง

ชีวเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยมีเอนไซม์ lipoxidase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสารระเหยพวกคีโตนและแอลดีไฮด์ (Ahvenainen, 1996) นอกจากนี้การเกิดกลิ่นรสผิดปกติในผักผลไม้ตัดแต่งอาจเกิดได้จากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจ การเกิดอาการสะท้อนหนาว สภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม การบรรจุที่ไม่เหมาะสม และอุณหภูมิที่เก็บรักษาไม่เหมาะสม รวมถึงการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด อาจทำให้เกิดการหมักและเกิดการสะสมของ ethanol และ acetaldehyde ในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ นอกจากนี้การตรวจพบ ethanol และ acetaldehyde สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ว่าเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนในผลไม้ได้ เช่น ส้ม Mandarin (Luengwilai *et al.*, 2007) ส้ม Valencia (Ke and Kader, 1990) หากการเพิ่มปริมาณของ ethanol และ acetaldehyde มีปริมาณความเข้มข้นสูงอาจส่งผลต่อคุณภาพทางด้านกลิ่นรสของผลไม้ได้ และทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและการไม่ยอมรับของผู้บริโภค

Rocha *et al.* (1995) ทำการศึกษาผลของการตัดแต่งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มตัดแต่งพร้อมบริโภคและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 14 วัน คะแนนทางด้านลักษณะปรากฏยังคงเป็นที่ยอมรับ อย่างไรก็ตามพบว่าคะแนนทางด้านคุณภาพของกลิ่นรสกลับไม่เป็นที่ยอมรับ ตั้งแต่ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกันกับสับปะรดตัดแต่งที่ผ่านการเก็บรักษามาแล้ว 7 ถึง 10 วัน เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก แต่ในขณะเดียวกันก็เกิดกลิ่นรสผิดปกติขึ้น (Spanier *et al.*, 1998) และ Abbey *et al.* (1988) พบว่าแดงโมสโลซ์เกิดกลิ่นรสผิดปกติขึ้นภายหลังจากวันที่ 8 ของการเก็บรักษา

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่งยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย ได้แก่ สายพันธุ์ (Kim *et al.*, 1993; Roming, 1995) การจัดการก่อนการเก็บเกี่ยว (Roimg, 1995) ระยะเก็บเกี่ยว (Toivonen and Brummell, 2008) สรีรวิทยาของชิ้นส่วนผักผลไม้ที่นำมาผ่านกระบวนการตัดแต่ง (Brecht, 1995) การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา (Watada *et al.*, 1996) กระบวนการและเทคนิคในการจัดแต่ง (Bolin *et al.*, 1977; Saltveit, 1997; Wright and Kader, 1997) ความคมของมีดที่ใช้ในการตัดแต่ง (Bolin *et al.*, 1977; Bolin and Huxsoll, 1991) ความสะอาด (Hurst, 1995) การบรรจุ (Cameron *et al.*, 1995; Solomos, 1994) และการจัดการอุณหภูมิระหว่างการขนส่ง (Brecht, 1999)

การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและด้านชีวเคมีที่อาจเกิดขึ้นในผักและผลไม้ที่ตัดแต่ง
เนื่องจากผลของบาดแผลสรุปได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและด้านชีวเคมีที่อาจเกิดขึ้นในผักและผลไม้ที่ตัดแต่ง
เนื่องจากผลของบาดแผล

ที่มา: Saltveit (1997)

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง

การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้สดภายหลังการเก็บเกี่ยวจากต้นมาแล้วยังคงมีความมีชีวิตและมีการหายใจโดยใช้แก๊สออกซิเจนและมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไป โดยเฉพาะผักและผลไม้สดที่นำมาทำการแปรรูปโดยการตัดแต่งอาจเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากสาเหตุต่างๆ มีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ปัญหาหลักที่พบในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ดัดแต่ง คือ การสูญเสียกลิ่นรส การสูญเสียรสชาติ การเปลี่ยนแปลงของสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ และอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น (Zagory and Kader, 1988; Watada and Qi, 1999) ดังนั้นจึงมีการนำวิธีการและเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพผักและผลไม้สดดัดแต่งให้มีความใกล้เคียงกับผักผลไม้สดหลายวิธี เช่น การใช้สารเคมีเพื่อป้องกันการเกิดอาการสีน้ำตาลบริเวณบาดแผลที่ดัดแต่ง การใช้สารเคมีเพื่อช่วยคงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส การป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียหรือก่อให้เกิดโรค การใช้ความร้อนขั้นต่ำ การควบคุมอุณหภูมิระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษาและการเลือกเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ดัดแต่ง ได้แก่ สายพันธุ์ ระดับความแก่ก่อนนำมาดัดแต่ง อุณหภูมิ และสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษา (Gorny *et al.*, 1998)

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เก็บรักษาผักและผลไม้ดัดแต่ง เทคนิคหรือวิธีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ คือการทำให้สภาพบรรยากาศรอบๆ ผลผลิตแตกต่างไปจากสภาพบรรยากาศปกติ การเก็บรักษาในสภาพปรับบรรยากาศสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การเก็บรักษาผลผลิตสดในสภาพบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere, CA) และสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere, MA) ซึ่งการเก็บรักษาโดยวิธีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศนั้นมีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพผลผลิตสดได้หลากหลายชนิด (Saltveit, 1993; Kader, 1993)

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere) หมายถึงการเก็บรักษาที่มีการทำให้สภาพแวดล้อมหรือสภาพบรรยากาศรอบๆ ผลผลิตมีอัตราส่วนของแก๊สที่เป็นส่วนประกอบของบรรยากาศแตกต่างไปจากสภาพบรรยากาศปกติ ซึ่งในอากาศปกติจะประกอบด้วยไนโตรเจนประมาณร้อยละ 78.08 ออกซิเจนร้อยละ 20.75 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03

โดยการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง ปริมาณแก๊สชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศนั้นไม่สามารถที่จะควบคุมให้อยู่คงที่ได้ และปริมาณแก๊สอาจเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแก๊สต่างๆ ในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจและกระบวนการต่างๆ ของผลผลิต อัตราการผลิตเอทิลีน อุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศ อายุการเก็บเกี่ยว อัตราการถ่ายเทอากาศระหว่างภาชนะบรรจุกับสภาพบรรยากาศ อายุการเก็บรักษา สภาพความเครียดของผลผลิต เป็นต้น (จริงแท้, 2549)

โดยทั่วไปผักและผลไม้สดตัดแต่งนิยมบรรจุลงภาชนะและทำการห่อหุ้มด้วยฟิล์มทำให้เกิดการสร้างสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ โดยอาจส่งผลทำให้แก๊สออกซิเจนมีปริมาณลดต่ำลง และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นจนทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ขึ้นได้ อาจกล่าวได้ว่าการดัดแปลงสภาพบรรยากาศเกิดขึ้น ดังนั้นการเก็บรักษาผักผลไม้สดตัดแต่งภายในภาชนะบรรจุจึงเป็นการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงรูปแบบหนึ่ง และหากสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่ถูกสร้างขึ้นมีความเหมาะสมกับชนิดผักผลไม้ที่บรรจุอยู่ภายในจะทำให้ช่วยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของผักผลไม้สดตัดแต่งได้ ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดตัดแต่งหลายชนิดที่นิยมนำมาทำการบรรจุหรือเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง ตัวอย่างเช่น แดงโม (Saftner *et al.*, 2007), มะม่วง (Beaulieu and Lea, 2003) แคนตาลูป (Bai *et al.*, 2001) สับปะรด (Marrero and Kader, 2006) กะหล่ำ (Plestenjak *et al.*, 2008) มะเขือเทศ (Aguayo *et al.*, 2004) และแครอท (Barry-Ryan and O'Beirne, 2000)

ประเภทของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลง

สภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุสามารถเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ active modified atmosphere packaging และ passive atmosphere packaging (Bolin and Huxsoll, 1991; King *et al.*, 1991; Kader, 2002)

1. การบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบแอคทีฟ (active modified atmosphere packaging) การสร้างสภาวะบรรยากาศที่ต้องการสำหรับผักและผลไม้สดที่ต้องการเก็บรักษาโดยการผ่านแก๊สที่ต้องการตามความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาผักผลไม้ชนิดนั้นลงไปหรือการบรรจุสารเคมีชนิดที่ให้แก๊สที่ต้องการหรือวัตถุที่มีความสามารถในการดูดแก๊สที่ไม่ต้องการให้มี

ภายในภาชนะบรรจุออกไปจากบรรยากาศที่ล้อมรอบผลิตภัณฑ์ แก๊สที่นิยมใช้ในการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุแบบ active modified atmosphere packaging เช่น O_2 , CO_2 และ N_2 เป็นต้น (Church, 1994) ตัวอย่างการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบแอคทีฟ เช่น การบรรจุสารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ สารดูดซับออกซิเจน ลงไปในภาชนะบรรจุ การบรรจุวัสดุที่สามารถปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์หรือสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

2. การบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบพาสซีฟ (passive modified atmosphere packaging) การสร้างสภาวะบรรยากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับผักและผลไม้สดที่ต้องการเก็บรักษา โดยอาศัยคุณสมบัติในการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมกับอัตราการหายใจของพืชที่ระดับอุณหภูมิที่เก็บรักษา ในการเก็บรักษาสภาพผลสดด้วยฟิล์มบรรจุภัณฑ์สามารถสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุได้ ทั้งนี้เนื่องจากภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตสดยังคงมีชีวิตอยู่จึงมีการใช้ปริมาณแก๊สภายในภาชนะบรรจุมาใช้ในการหายใจ ส่งผลให้ในช่วงแรกของการเก็บรักษาอัตราการหายใจของผลผลิตจะสูง เนื่องจากปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุยังคงมีปริมาณสูงอยู่ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีอยู่ในปริมาณที่น้อย หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลง ตามการลดลงของปริมาณแก๊สออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนที่อยู่ภายนอกเข้าสู่ภายในภาชนะบรรจุ และในขณะเดียวกันแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตผลสร้างที่และสะสมไว้ภายในภาชนะบรรจุก็จะเกิดการซึมผ่านออกจากภายในภาชนะบรรจุออกสู่บรรยากาศภายนอก การซึมผ่านของแก๊สจะเกิดจนกระทั่งเกิดสมดุลที่เรียกว่า equilibrium modified atmosphere (EMA) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดสภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมประกอบไปด้วย อัตราการหายใจของผลผลิต สภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มพลาสติก ปริมาณน้ำหนักรับบรรจุ ความชื้นและอุณหภูมิในการเก็บรักษา เป็นต้น (Day, 2000; Jacxsens *et al.*, 2001; Kader, 2002)

การบรรจุผักผลไม้สดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีความเหมาะสมกับชนิดผลผลิต จะสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ชะลออัตราการหายใจ ลดการเปลี่ยนแปลงสี และกลิ่นรสของผักผลไม้ ช่วยรักษาคงคุณภาพของผลผลิตผลให้ดูสดใหม่ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมมีความจำเป็นต่อการเก็บรักษาผักและผลไม้สดแต่งโดยทั่วไปสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับผลผลิตส่วนใหญ่ คือสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 1-5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3-10 (Kader *et*

al., 1989; Day, 1993) นอกจากนี้ในปี 2001 Gorny รายงานถึงสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับ
ผักและผลไม้สดตัดแต่งบางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้สดตัดแต่ง

ชนิดผลไม้และผักตัดแต่ง	อุณหภูมิ (°C)	สภาพบรรยากาศ	
		ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
ผลไม้ตัดแต่ง			
แอปเปิลสไลซ์	0-5	<1	4-12
แคนตาลูปหั่นลูกบาศก์	0-5	3-5	6-15
เกรฟรุ๊ฟสไลซ์	0-5	14-21	7-10
อันนี่คิวหั่นลูกบาศก์	0-5	2	10
กีวี่สไลซ์	0-5	2-4	5-10
มะม่วงหั่นลูกบาศก์	0-5	2-4	10
ส้มสไลซ์	0-5	14-21	7-10
พีทสไลซ์	0	1-2	5-12
แพร์สไลซ์	0-5	0.5	<10
พลัมสไลซ์	0-5	2	12
สตอเบอรี่สไลซ์	0-5	1-2	5-10
แตงโมหั่นลูกบาศก์	0-5	3-5	10
ผักตัดแต่ง			
มะเขือเทศสไลซ์	0-5	3	3
ฟักทองหั่นลูกบาศก์	0-5	2	15
ต้นหอมสไลซ์	0-5	5	5
แครอทแท่ง, ขึ้นฉ่าย, สไลซ์	0-5	2-5	15-20
มันฝรั่งปอกเปลือกสไลซ์	0-5	1-3	6-9
หัวหอมสไลซ์, หั่นลูกบาศก์	0-5	2-5	10-15

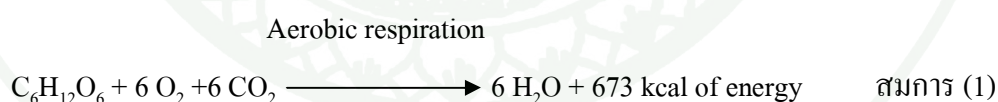
ที่มา: ดัดแปลงจาก Gorny (2001)

ประโยชน์ของการเก็บรักษาโดยการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับอุณหภูมิที่เหมาะสม

การเก็บรักษาผักผลไม้ตัดแต่งโดยการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับอุณหภูมิที่เหมาะสม นอกจากปัจจัยของกระบวนการตัดแต่งจะมีผลโดยตรงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักผลไม้ตัดแต่งแล้ว การดัดแปลงสภาพบรรยากาศให้มีอัตราส่วนหรือความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมกับผักผลไม้แต่ละชนิดก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักผลไม้ตัดแต่งเช่นกัน โดยจะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของผักและผลไม้ได้ดีกว่าการเก็บในสภาพบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่เหมาะสมรวมถึงสภาพบรรยากาศปกติ ประโยชน์ของการเก็บรักษาผักผลไม้ตัดแต่งโดยการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับอุณหภูมิที่เหมาะสม สรุปได้ดังนี้

1. ชะลออัตราการหายใจและลดอัตราการผลิตเอทิลีน

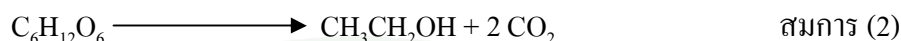
ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลผักและผลไม้จะยังคงมีชีวิตอยู่ ซึ่งเมทาบอลิซึมต่างๆ และกระบวนการหายใจยังคงดำเนินเป็นปกติ จึงนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น การแก่ (maturation) กระบวนการสุก (ripening) และการเน่าเสีย เป็นต้น การหายใจเป็นกระบวนการชีวเคมีในสิ่งมีชีวิตเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่อาหารถูกออกซิไดซ์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาทำให้ได้น้ำออกมา โดยใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นดังสมการ (1)



การปรับสภาพบรรยากาศทำได้โดยการลดระดับแก๊สออกซิเจนและเพิ่มระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงจะลดสภาพความไวของเนื้อเยื่อต่อแก๊สเอทิลีน (Kader *et al.*, 1989) เมื่อระดับแก๊สออกซิเจนต่ำอัตราการหายใจจะลดลง และถ้าออกซิเจนต่ำลงจนผลิตผลไม่เพียงพอใช้ในการหายใจก็จะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น (anaerobic respiration) แสดงดังสมการ (2) โดยผ่านทางกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งน้ำตาลเมื่อผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) จะได้กรดไพรูวิก (pyruvic) แล้วจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น acetaldehyde และ ethanol อย่างไรก็ตามหากเกิดการสะสม acetaldehyde และ ethanol มากเกินไปจะ

ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อผลผลิตและยังสามารถทำให้เกิดความผิดปกติของกลีนาที่ผิดปกติไปทำให้ผลผลิตไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

Anaerobic respiration



Zagory and Kader (1988) กล่าวว่าอัตราการหายใจของผลผลิตจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนลดลง สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งการหายใจของพืชได้ โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการยับยั้งของเอนไซม์ succinic dehydrogenase ใน Krebs cycle ทำให้กระบวนการหายใจปกติดำเนินต่อไปไม่ได้ ดังนั้นอัตราการหายใจของพืชจึงลดลง (จริงแท้, 2549) โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่งจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักผลไม้ที่ไม่ผ่านกระบวนการตัดแต่ง เนื่องจากผลของบาดแผลที่เกิดจากกระบวนการตัดแต่งจะมีผลเร่งให้ผักผลไม้ตัดแต่งมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้นได้ (Lee *et al.*, 1970; Agar *et al.*, 1999)

การเก็บรักษาผักผลไม้ตัดแต่งโดยการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยชะลออัตราการหายใจของผักผลไม้ตัดแต่งและยังช่วยชะลอหรือยับยั้งการผลิตเอทิลีนในผักผลไม้ตัดแต่งได้ (Li and Kader, 1989; Ke *et al.*, 1991b) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ระยะความสุกแก่ ปริมาณแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุ ระยะเวลา และอุณหภูมิที่ผลิตผลอยู่ในสภาพบรรยากาศ (Kader and Ben-Yehoshua, 2000) ดังนั้นผักผลไม้ตัดแต่งที่เก็บรักษาโดยการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงจึงมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนที่ต่ำและช่วยให้สามารถที่จะยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นได้ ยกตัวอย่างเช่น แครอทหั่นฝอย (Barry-Ryan and O'Beirne, 2000) มันฝรั่ง (Beltran *et al.*, 2005) มะม่วงตัดแต่ง (Poubol and Izumi, 2005) ขนุนตัดแต่ง (Saxena *et al.*, 2008) สับปะรดตัดแต่ง (Montero-Calderón *et al.*, 2008) และเมลอนตัดแต่ง (Oms-Oliu *et al.*, 2008)

2. ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและลดการเกิดสีน้ำตาล

ผักผลไม้สดบางชนิด เช่น กัลฉ่าย แอปเปิล พืช และสับปะรด จะเกิดสีคล้ำหรือสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะกระบวนการตัดแต่งผักผลไม้ มีผลทำให้เกิดบาดแผลขึ้นหากบาดแผลนั้นสัมผัสกับแก๊สออกซิเจนโดยตรงย่อมส่งผลให้เกิดอาการสีน้ำตาลอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลในผักผลไม้ที่เร่งโดยเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) ที่เมื่อ

สิ้นสุดปฏิกิริยาจะให้สารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ ดังนั้นการเก็บรักษาผักผลไม้ที่ตัดแต่งโดยการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงจึงช่วยป้องกันบาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งสัมผัสกับแก๊สออกซิเจนปริมาณมากโดยตรงทำให้สามารถช่วยลดอาการเกิดสีน้ำตาลบริเวณบาดแผลที่เกิดจากการตัดแต่งได้เนื่องจากการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ต้องใช้แก๊สออกซิเจนได้ (Leistner and Gould, 2002) โดย Tian *et al.* (2002) พบว่าการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถป้องกันและลดการเกิดอาการได้สีน้ำตาลของลองกองได้ นอกจากนี้สภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยรักษาคุณภาพของขนุนตัดแต่งได้โดยช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อขนุน (Saxena *et al.*, 2008)

3. ลดการสูญเสียน้ำ

ผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งจะมีการผ่านกระบวนการที่ทำให้สูญเสียเปลือกหรือเยื่อหุ้มที่เป็นสิ่งช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำออกไป จึงทำให้ผักผลไม้ที่ตัดแต่งเกิดการสูญเสียน้ำได้มากขึ้นผลจากการสูญเสียน้ำจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านต่างๆ การเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำได้ เนื่องมาจากการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงจะมีการควบคุมปริมาณความเข้มข้นของแก๊สและระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุ ทำให้สามารถช่วยชะลอและลดการสูญเสียน้ำได้ (Miller *et al.*, 1983; Rodov *et al.*, 1997)

4. ลดการเกิดอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาว (chilling injury) เป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่สำคัญ ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับพืชเขตร้อนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15 องศาเซลเซียส และเกิดในพืชเขตกึ่งหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0-2 องศาเซลเซียส (จริงแท้, 2549) ลักษณะความเสียหายต่อผลิตผลหรืออาการผิดปกติที่เกิดขึ้นมีหลายลักษณะเช่น ผิวหรือเนื้อของผลิตผลเกิดรอยแผลสีน้ำตาลหรือดำ หรืออาจพบรอยบวมร่วมด้วยเนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตายไป ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว ได้แก่ ชนิดพืช อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา Saltveit and Moris (1990) รายงานว่าการเก็บรักษาผักผลไม้ที่ตัดแต่งในสภาพปรับบรรยากาศสามารถลดหรือชะลออาการผิดปกติที่เกิดจาก chilling injury ในผลไม้ชนิด non-climacteric fruit และ climacteric fruit ได้ ตัวอย่างเช่น เกรพฟรุ๊ต (Wardoski *et al.*, 1973) อะโวคาโด (Meir *et al.*, 1997) แตงกวา (Wang and Qi, 1997) มะละกอ (Zagory and Kader, 1988) และฝรั่ง (Singh and Pal, 2008)

5. ลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

การบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์หรือแมลงจากสภาพแวดล้อมที่จะเข้าสู่ผักผลไม้สดตัดแต่งได้ (DeI Nobile *et al.*, 2006) การเก็บรักษาผักและผลไม้สดในสภาพบรรยากาศที่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่จะเข้าทำลายผักและผลไม้สดได้ (Li and Kader, 1989; Ke *et al.*, 1991a) และในสภาพบรรยากาศที่มีระดับแก๊สออกซิเจนสูงจะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิด aerobic และ anaerobic ได้ (Day, 1996) เนื่องมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นและปริมาณออกซิเจนที่ลดลงมีผลให้จุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการอากาศไม่สามารถเจริญได้ นอกจากนี้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะยืดระยะ lag phase ทำให้จุลินทรีย์เจริญช้าและเพิ่มจำนวนได้น้อยลง อาหารจึงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Lück and Jager, 1997)

6. ชะลอและลดการสูญเสียสารสำคัญ

การปรับสภาพบรรยากาศ หรือการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ทำได้โดยการลดระดับแก๊สออกซิเจนและหรือเพิ่มระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การลดระดับแก๊สออกซิเจนสามารถช่วยชะลอหรือลดการออกซิเดชันของสารสำคัญต่างๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี แคโรทีนอยด์ ไกลโคฟีน เนื่องมาจากโมเลกุลออกซิเจนที่อยู่ในสภาพบรรยากาศสามารถทำให้สารสำคัญในผักผลไม้เกิดการสลายตัวได้ง่าย (Rojas-Graü *et al.*, 2009) ผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ตัดแต่ง Wright and Kader (1997) พบว่าสภาพบรรยากาศควบคุมไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีทั้งหมดในสตรอเบอรี่ที่ตัดแต่งและถูกพลับตัดแต่ง ในขณะที่ Rosen and Kader (1989) และ Agar *et al.* (1999) พบว่าระดับออกซิเจนที่ต่ำช่วยรักษาปริมาณวิตามินซีในสตรอเบอรี่ที่ตัดแต่งและกวีตัดแต่งได้ตามลำดับ นอกจากนี้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีออกซิเจนต่ำยังสามารถช่วยชะลอการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในขนุนตัดแต่ง (Saxena *et al.*, 2008) Odriozola-Serrano *et al.* (2010) รายงานว่าการสูญเสียกรดฟีนอลิกพวก *p*-coumaric acid, hydroxybenzoic acid และ ellagic acid ในสตรอเบอรี่ที่ตัดแต่งลดลงเมื่อเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง อีกทั้งการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงยังช่วยรักษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไกลโคฟีนในแตงโมตัดแต่งได้ (Perkins-Weazie and Collins, 2004)

สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound หรือ phenolics) คือสารประกอบที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีการแทนที่ด้วยหมู่เคมีต่างๆ โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วยเป็นวงอะโรมาติก (aromatic ring) และมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อย่างน้อย 1 หมู่ ตัวอย่างสารประกอบฟีนอลิก เช่น นารินจิน (naringin) กรดซินนามิก (cinnamic acid) แทนนิน (tannin) กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นต้น (Mattila *et al.*, 2006)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารในกลุ่ม Secondary metabolite โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกมีตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ (polymer) เช่น แทนนิน (Bravo, 1998) ตัวอย่างโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกแสดงในตารางที่ 5 โดยส่วนใหญ่แล้วในพืชจะพบสารประกอบฟีนอลิกภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปอิสระนั้นน้อยมาก ส่วนใหญ่จะพบอยู่ในรูปที่เกาะอยู่กับน้ำตาล (glycosylated derivative) มากกว่าอยู่ในรูปเดี่ยวๆ (aglycone) (Banias *et al.*, 1992) การแบ่งชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มใหญ่ที่สำคัญคือ กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการก่อให้เกิดสี กลิ่น และรสชาติในผักและผลไม้ พืชจะสร้างสารประกอบฟีนอลิกขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และใช้เป็นกลไกในการป้องกันอันตรายต่างๆ ให้กับพืช สามารถป้องกันหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดได้ อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกยังมีบทบาทในการดึงดูดสัตว์และแมลงเพื่อช่วยในการผสมเกสรขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส และรสชาติของผักผลไม้สดอีกด้วย (Kim *et al.*, 2003)

ผลไม้ตระกูลส้มและผลัดกันเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญ Rapisarda *et al.* (1999) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำคั้นจากส้มสด อยู่ในช่วงตั้งแต่ 382 ถึง 1147 มิลลิกรัมสมมูลของกรดเฟอรูลิกต่อน้ำผลไม้หนึ่งลิตร Gardner *et al.* (2000) รายงานว่าน้ำส้มและน้ำเกรฟฟรุตที่พบในทางการค้านั้นสามารถตรวจพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 755 และ 535 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำผลไม้หนึ่งลิตร และ Xu *et al.* (2008) ตรวจพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในส้มโอสายพันธุ์ Miyou และ Sijiyu ปรากฏว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พบมีปริมาณเท่ากับ 863 และ 801 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก

ต่อน้ำผลไม้หนึ่งลิตร สารประกอบฟีนอลิกสำคัญที่พบได้ในผลไม้ตระกูลส้มมีอยู่ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิก Balasundram *et al.* (2006) ประเภทของสารประกอบฟีนอลิกที่พบได้จำนวนมากในผลไม้ตระกูลส้ม ได้แก่ สารประกอบในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ในกลุ่มย่อยฟลาโวนอน (flavanones) เช่น narirutin, hesperidin, naringin และ neohesperidin รวมถึงฟลาโวน (flavones) เช่น nobiletin, sinensetin และ tangeretin เป็นต้น นอกจากนี้ในผลไม้ตระกูลส้มยังสามารถพบกรดฟีนอลิกอีกหลายชนิด เช่น caffeic, *p*-coumaric, ferulic และ sinapic (Robbins, 2003)

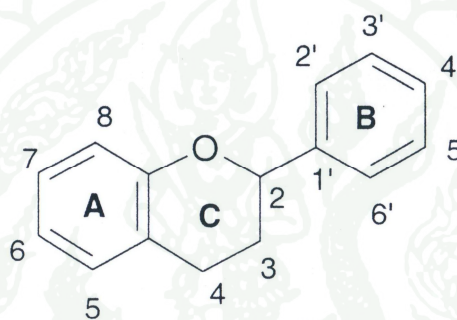
ตารางที่ 5 โครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มต่างๆ

กลุ่ม	โครงสร้างพื้นฐาน
Simple phenolics, benzoquinones	C_6
Hydroxybenzoic acids	C_6-C_1
Acetophenones, phenylacetic acids	C_6-C_2
Hydroxycinnamic acids, phenylpropanoids (coumarins, isocoumarins, chromones, chromenes)	C_6-C_3
Napthoquinones	C_6-C_4
Xanthones	$C_6-C_1-C_6$
Stilbenes, anthraquinones	$C_6-C_2-C_6$
Flavonoids, isoflavonoids	$C_6-C_3-C_6$
Lignans, neolignans	$(C_6-C_3)_2$
Biflavonoids	$(C_6-C_3-C_6)_2$
Lignins	$(C_6-C_3)_n$
Condensed tannins (proanthocyanidins or flavolans)	$(C_6-C_3-C_6)_n$

ที่มา: Balasundram *et al.* (2006)

ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากที่สุดในบรรดาสารประกอบฟีนอลิกจากพืชทั้งหมด พบได้ในทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ ราก เนื้อไม้ เปลือกต้น ดอก ผล หรือเมล็ด

ฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โครงสร้างหลักเป็น flavan หรือ 2-phenylbenzopyran ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอมเรียงกันเป็นระบบ $C_6C_3C_6$ โดยมีวงเบนซีน 2 วงจับกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอมซึ่งอาจจัดเรียงเกิดเป็นวงที่ 3 จากสูตร โครงสร้างหลักจะมีหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งต่างๆ โดยเฉพาะที่วง A และ B ส่วนใหญ่จะเป็นหมู่ hydroxyl, methoxyl และน้ำตาลต่างๆ ซึ่งมีระบบที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของฟลาโวนอยด์ ดังภาพที่ 5 การแทนที่ของหมู่ต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดเป็นฟลาโวนอยด์ในธรรมชาติที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก ฟลาโวนอยด์มักพบในลักษณะของอนุพันธ์ของไกลโคไซด์ (glycoside) โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยของฟลาโวนอยด์ได้เป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ flavonol flavone flavanone flavanol isoflavone และ anthocyanidin (Hollman and Katan, 1999) แสดงโครงสร้างดังภาพที่ 6

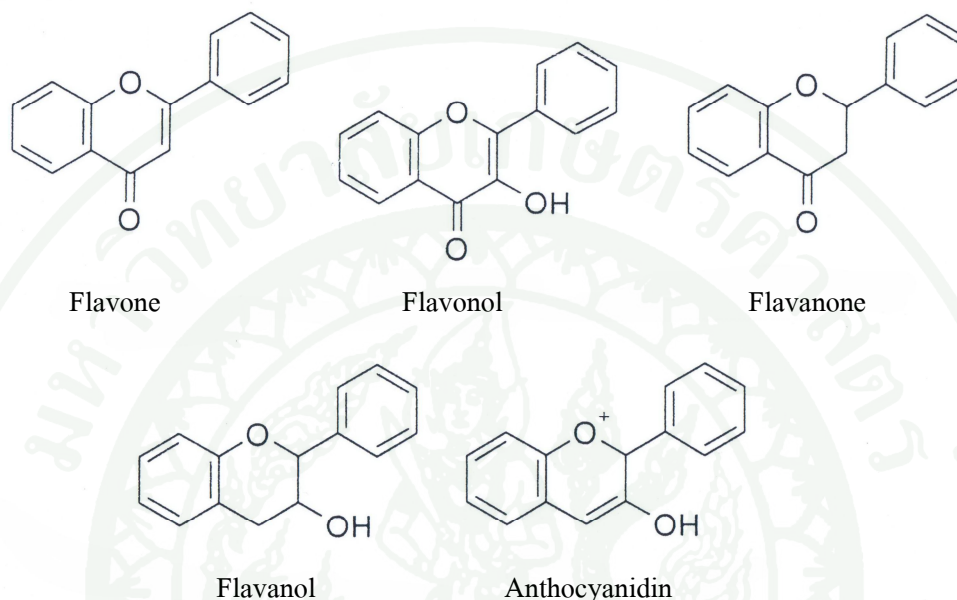


ภาพที่ 5 โครงสร้างหลักและลำดับการนับจำนวนคาร์บอนของฟลาโวนอยด์

ที่มา: Balasundram *et al.* (2006)

สารประกอบฟีนอลิกสำคัญที่ตรวจพบในส้มโอมีหลายชนิด ได้แก่ narirutin, naringin, hesperidin, neohesperidin, caffeic, *p*-coumaric, ferulic, sinapic, protocatechuic, *p*-hydroxybenzoic และ vanillic (Rouseff *et al.*, 1987; Ortuño-Tomás *et al.*, 1995; Xu *et al.*, 2008) โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกสำคัญบางชนิดในผลไม้ตระกูลส้ม แสดงดังภาพที่ 7 สารประกอบฟีนอลิกสำคัญที่พบ โดยเฉพาะ naringin จะมีรสขม และยังเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีความโดดเด่นพบเป็นสารหลักในส้มโอและเกรฟฟรุ้ท ส่วนในพวกส้มติดเปลือก (sweet orange) ส้มเปลือกอ่อน (mandarin) และมะนาว (lemon) จะพบสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญ คือ hesperidin ซึ่งไม่มีรสขมเป็นสารหลัก (Gorinstein *et al.*, 2006) ทั้งนี้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิดที่พบขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของส้มโอ โดย Rouseff *et al.* (1987) พบว่าส้มโอสายพันธุ์ Thong Dee มีปริมาณ naringin สูงที่สุด และสายพันธุ์ Siamese มีปริมาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกสายพันธุ์ที่ได้ทำการศึกษา

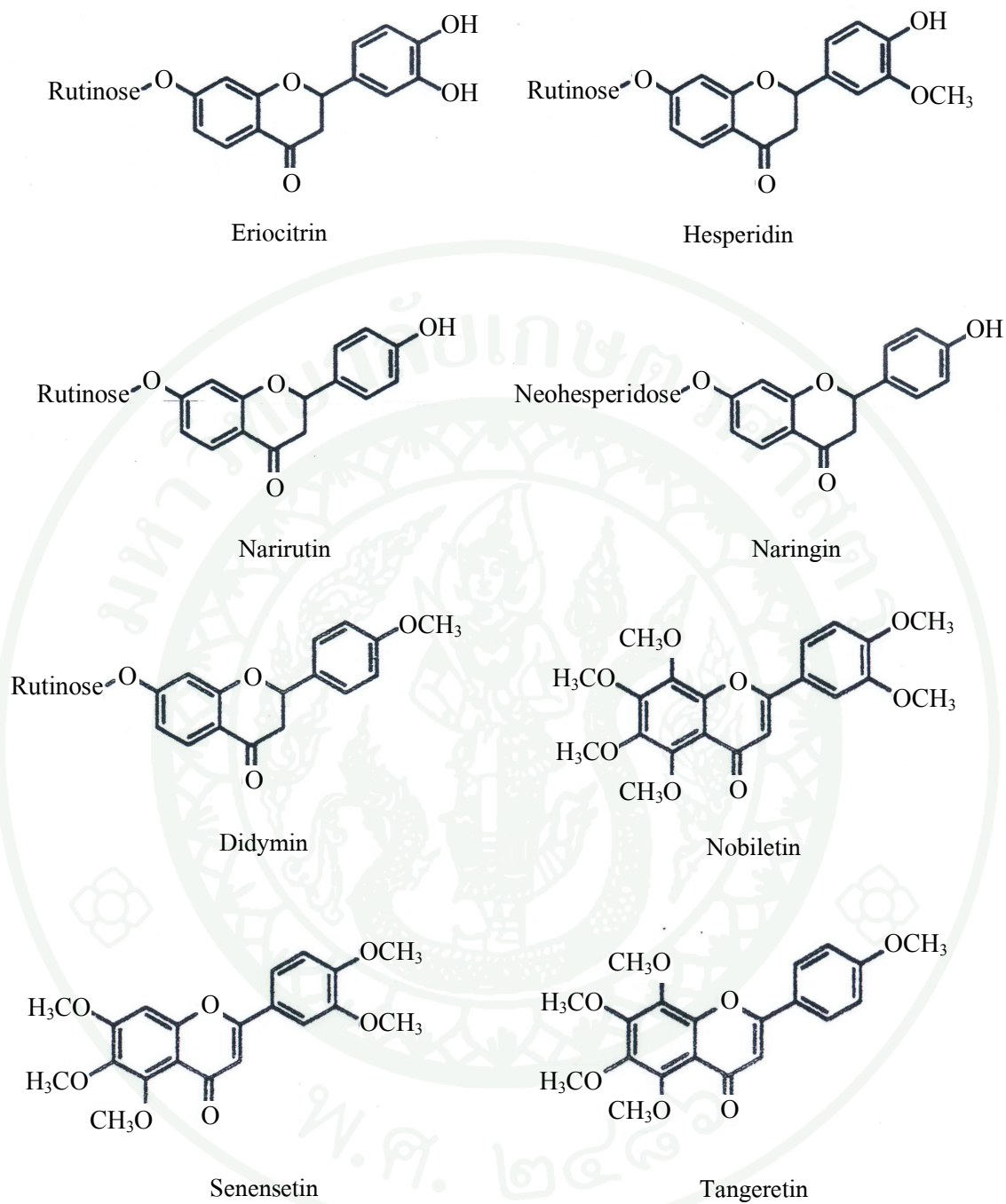
โดยมีปริมาณ naringin เท่ากับ 144 และ 38 ppm ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับ Xu *et al.* (2008) รายงานถึงความแตกต่างของปริมาณ naringin ในน้ำคั้นจากส้มโอสายพันธุ์ Miyou และ Sijiyu ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 108 และ 125 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 6 โครงสร้างทั่วไปของสารกลุ่มหลักในสารประกอบฟลาโวนอยด์

ที่มา: Balasundram *et al.* (2006)

นอกจากชนิดและสายพันธุ์จะส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกมากมาย เช่น ระยะเวลาเจริญเติบโตหรือความสมบูรณ์ของผลผลิต สภาพแวดล้อม ฤดูกาลเพาะปลูก แสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำฝน พื้นที่เพาะปลูก สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน ฤดูกาลการเก็บเกี่ยว และสถานะที่ในการเก็บรักษา (Albach *et al.*, 1981; Patil *et al.*, 2004; Lima *et al.*, 2005; Pawlowska *et al.*, 2008)

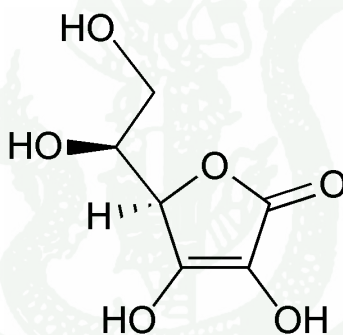


ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์บางชนิดที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม

ที่มา: Montanari *et al.* (1996)

วิตามินซี

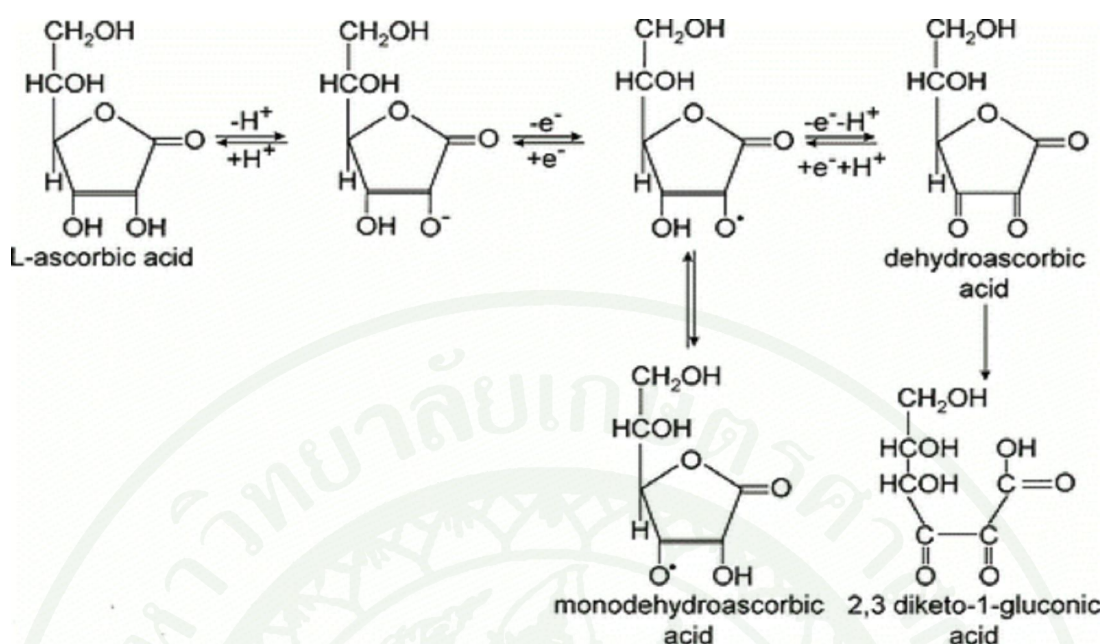
วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) สูตรทางเคมีคือ $C_6H_8O_6$ แสดงโครงสร้างดังภาพที่ 8 สามารถละลายได้ในน้ำ มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่พบได้ในผักและผลไม้ทั่วไป วิตามินซีเป็นวิตามินที่สลายและถูกทำลายได้ง่าย มีความคงตัวต่ำ ไม่เสถียรเมื่อได้รับความร้อน แสงสว่าง สภาพที่เป็นเบส และถูกออกซิไดส์ได้ง่ายในสภาวะที่มีอากาศหรือออกซิเจน (Salunkhe *et al.*, 1991) นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์อีกหลายชนิดที่เร่งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ เช่น ascorbate oxidase และ ascorbate peroxidase โลหะบางชนิดที่ช่วยเร่งให้วิตามินซีถูกทำลายได้ง่ายขึ้น เช่น ทองแดง และเหล็ก โดยทั่วไปมักพบรูปแบบของวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกในผักผลไม้ด้วยกัน 3 รูป ได้แก่ รูปรีดิวิซ์ (L-ascorbic acid หรือ AA) รูป dehydroascorbic acid (DHA) และรูป 2,3-diketogulonic acid ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี แสดงดังภาพที่ 9 (Valpuesta and Botella, 2004)



ภาพที่ 8 โครงสร้างของวิตามินซี

ที่มา: Vicente *et al.* (2009)

เป็นที่ทราบกันดีว่าคุณค่าทางโภชนาการของวิตามินซี มีประโยชน์ที่สำคัญต่อร่างกายของมนุษย์ และมีรายงานว่า การบริโภควิตามินซีจำนวนเพิ่มขึ้น จะสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ และความผิดปกติทางร่างกายได้ (Carr and Frei, 1999; Hancock and Viola, 2005) ปริมาณวิตามินซีที่แนะนำให้บริโภคสำหรับผู้ชายคือ 75 มิลลิกรัมต่อวัน และ 90 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับในผู้หญิง (Levine *et al.*, 2001)



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนรูปของกรดแอสคอร์บิก

ที่มา: Noctor and Foyer (1998)

วิตามินซีเป็นสารอาหารที่สำคัญและพบเป็นปริมาณมากในผักและผลไม้ รวมถึงน้ำผลไม้ โดยเฉพาะผลไม้ในเขตร้อนและผักมีใบ ถือเป็นแหล่งที่สำคัญและอุดมไปด้วยวิตามินซี เช่น ฝรั่ง พุทรา ลูกพลัม สตรอเบอร์รี่ กีวี ผลไม้ตระกูลส้ม ผักโขม บล็อกโคลี และกะหล่ำ ผักผลไม้สด รวมถึงน้ำผลไม้มีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 150 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด (Lee and Kader, 2000) ซึ่งปริมาณที่พบขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของผักผลไม้ (Noctor and Foyer, 1998) ตัวอย่างปริมาณวิตามินซีที่พบในผักผลไม้บางชนิด แสดงดังตารางที่ 6

ผลไม้ตระกูลส้มจัดได้ว่าเป็นแหล่งที่อุดมด้วยวิตามินซี (Gardner *et al.*, 2000) เมื่อความบริบูรณ์ของผลไม้ตระกูลส้มเพิ่มขึ้นปริมาณวิตามินซีที่พบจะมีปริมาณลดลง Lee and Coates (1999) กล่าวว่าปริมาณวิตามินซีที่พบในผลิตภัณฑ์จากผลไม้ตระกูลส้มสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดหรือบ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ในระหว่างการเก็บรักษาได้ ปริมาณวิตามินซีในน้ำคั้นของส้มติดเปลือกหรือส้มเกลี้ยง (oranges) มีอยู่ประมาณ 40 ถึง 70 มิลลิกรัมต่อน้ำคั้น 100 มิลลิลิตร (Nagy, 1980) และจากข้อมูลของ USDA (2006) รายงานว่าปริมาณวิตามินซีที่พบในส้มโอสดมีอยู่ 61 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด

วิตามินซีเป็นสารอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อน แสง และออกซิเจน ดังนั้นอาจเกิดการสูญเสียวิตามินซีในระหว่างกระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ทำให้วิตามินซีสูญเสียสภาพได้ง่าย Marks (1993) กล่าวว่าในผักและผลไม้สดที่เนื้อเยื่อเกิดการเสียหายเนื่องจากการปอก หั่น ตัด หรือเกิดรอยชำ จะมีเอนไซม์ที่สามารถเร่งการสลายตัวของวิตามินซีได้ เช่น ascorbic acid oxidase, phenolase, cytochrom oxidase และ peroxidase ซึ่งการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนร่วมด้วย (Erdman and Klein, 1982) ดังนั้นการตัดแต่งผลไม้ซึ่งทำให้เกิดบาดแผล อาจเป็นสาเหตุของการสูญเสียปริมาณวิตามินซีได้เช่นกัน โดยเพิ่มการสัมผัสแสงและอากาศของผลไม้มากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุการสูญเสียของวิตามินซี

นอกจากนี้ Rojas-Graü *et al.* (2009) รายงานว่าการลดลงของปริมาณวิตามินซีในผักผลไม้ตัดแต่งขณะเก็บรักษามีผลมาจากโมเลกุลออกซิเจนที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ ปริมาณวิตามินซีที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ (Soliva-Fortuny *et al.*, 2002) โดยปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ระดับสูงภายในภาชนะบรรจุแสดงให้เห็นถึงการลดลงของวิตามินซีในขณะเก็บรักษาได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาชนะบรรจุที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ (Odriozola-Serrano *et al.*, 2010)

ตารางที่ 6 ปริมาณวิตามินซีในผลไม้สด

ชนิดของผลไม้	วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)
ฝรั่ง	184
กีวี	118
ลิ้นจี่	72
สตอเบอรี่	57
ผลไม้ตระกูลส้ม	31-52
แคนตาลูป	42

ที่มา: ดัดแปลงจาก Salunkhe *et al.* (1991)

สารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หมายถึงสารที่สามารถลดหรือยับยั้งปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดออกซิเจนหรือสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) ซึ่งเป็นสารที่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น (substrate) หรือหมายถึงสารในอาหารที่มีผลต่อการลด reactive oxygen species (ROS) หรือ reactive nitrogen species (RNS) ในร่างกาย (Huang *et al.*, 2005) ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical, $O_2^{\cdot-}$) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, $\cdot OH$) อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกซิล (hydroperoxyl radical, $HO_2^{\cdot}$) อนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical, $ROO^{\cdot}$) อนุมูลอัลคอกซิล (alkoxyl radical, $RO^{\cdot}$) อนุมูลไนตริกออกไซด์ (nitric oxide radical, $NO^{\cdot}$) อนุมูลไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide, $NO_2^{\cdot}$) (Asada, 1999)

สารต้านออกซิเดชันมีความสำคัญต่อระบบของอาหารโดยสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบในอาหาร โดยเฉพาะไขมันเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา อีกทั้งยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ ช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นสารต้านการอักเสบ ด้านการแพ้ ด้านการก่อมะเร็ง และมีคุณสมบัติในการละลายลิ่มเลือด เพื่อป้องกันการอุดตันของเส้นเลือด

สารต้านออกซิเดชันในผักผลไม้

ปัจจุบันการใช้สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพร่างกายมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้บริโภคยังให้การยอมรับสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติได้ทันที เนื่องจากเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าปลอดภัยต่อการบริโภค อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบอาหารประเภท GRAS (Generally Recognized As Safe) ซึ่งไม่ใช่สารเคมี ในขณะที่สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์บางชนิดพบรายงานถึงความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในสัตว์ทดลองซึ่งทำให้เซลล์ทำงานผิดปกติ เกิดการกลายพันธุ์ ทำให้เกิดเป็นเนื้องอก และกลายเป็นมะเร็งในที่สุดหากได้รับสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์อย่างต่อเนื่องและในปริมาณที่มากเกินไป ผักและผลไม้ รวมถึงธัญพืชเป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งมีอยู่ตามส่วนต่างๆ ของพืช ตัวอย่างผักและผลไม้ที่เป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชัน แสดงดังตารางที่ 7 สารต้านออกซิเดชันที่พบได้มากในผักและผลไม้ (ภาพที่ 10) ได้แก่ วิตามินซี แลโรทีนอยด์ วิตามินอี และสารประกอบฟีนอลิก ส่วนใหญ่สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติจะเป็นสารประกอบประเภทพอลิฟีนอลิก

ตารางที่ 7 ผักและผลไม้ที่เป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชัน

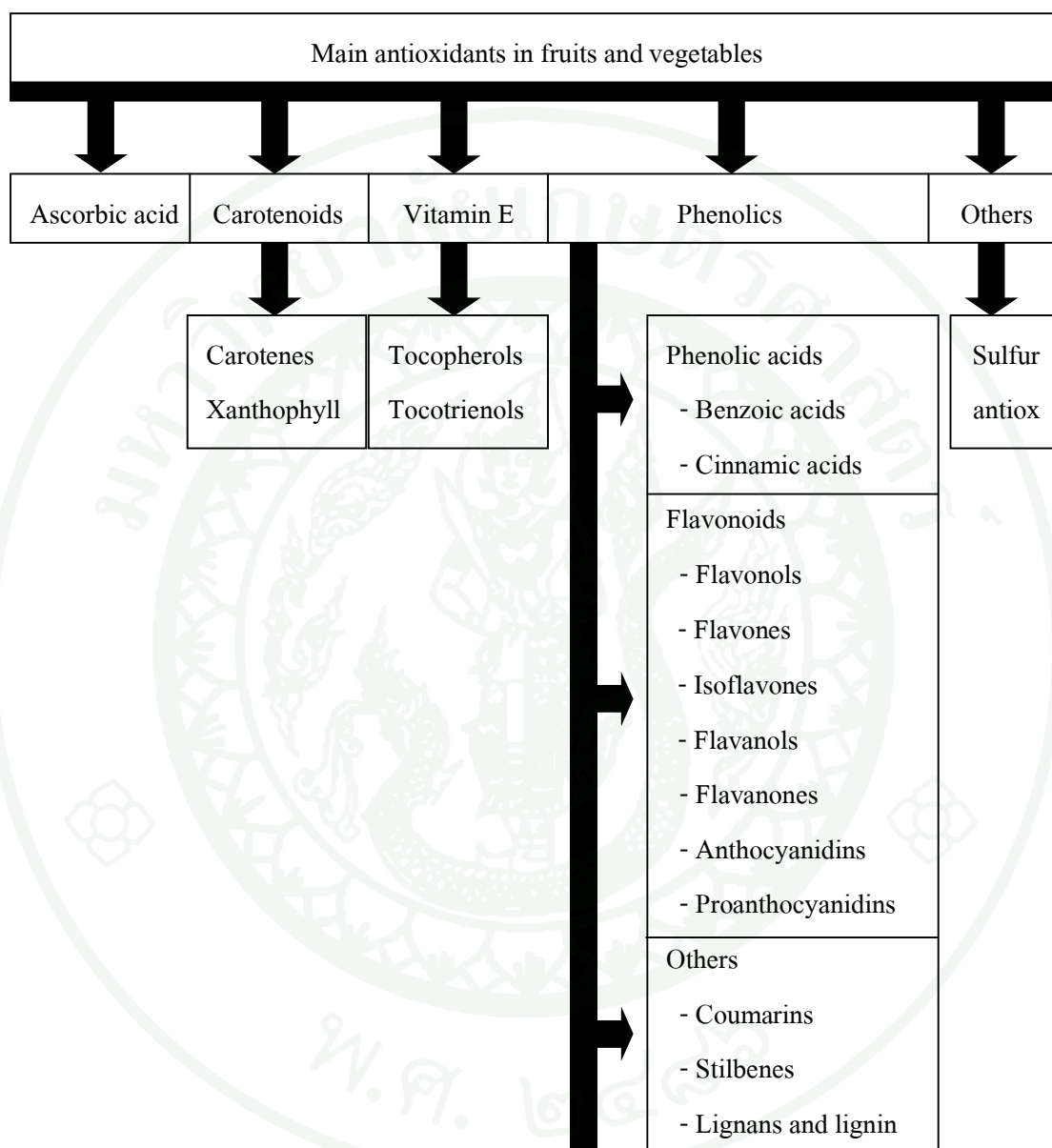
สารต้านออกซิเดชัน	ชนิดผักและผลไม้
วิตามินซี	สตอเบอรี่, กีวี, ผลไม้ตระกูลส้ม, ฝรั่ง, พลัม, พริกไทย, บล็อกโคลี
วิตามินอี	อัลมอนต์, ข้าวโพด, ถั่วลิสง, อโวคาโด, ผักโขม, บล็อกโคลี
แคโรทีนอยด์	สับปะรด, พลัม, พีช, มะม่วง, เมล่อน, แครอท, พริก, มะเขือเทศ
สารประกอบฟีนอลิก	บลูเบอรี่, แอปเปิ้ล, ราสเบอร์รี่, สตอเบอรี่, แบลคเบอร์รี่, พลัม

ที่มา: Vicente *et al.* (2009)

สารประกอบฟีนอลิกจากพืชเป็นสารประกอบที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ เป็นต้น โดยพืชสร้างสารประกอบฟีนอลิกขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และใช้เป็นกลไกในการป้องกันอันตรายต่างๆ ให้กับพืช Green (2007) กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งความสามารถต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาอยู่ 3 กลไก ได้แก่ กลไกการจับกับอนุมูลอิสระ (scavenging free radical) กลไกการจับกับโลหะซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (chelating transition-metals) และกลไกการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ

วิตามินมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดีทั้งในรูปเดี่ยวและผสม โดยวิตามินเหล่านี้จะจับกับออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาและอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นเริ่มต้นได้เป็นสารที่คงตัวและเป็นอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชันที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยา จึงสามารถยับยั้งต่อเนื่องของปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปได้ (Schuler, 1990) ตัวอย่างของวิตามินที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน อาทิเช่น วิตามินซี พบมากในผักสีเขียวและผลไม้รสเปรี้ยว เช่น คำลิ่ง ส้ม และสับปะรด วิตามินอี พบมากในน้ำมันพืชต่างๆ เช่น น้ำมันรำข้าว น้ำมันงา

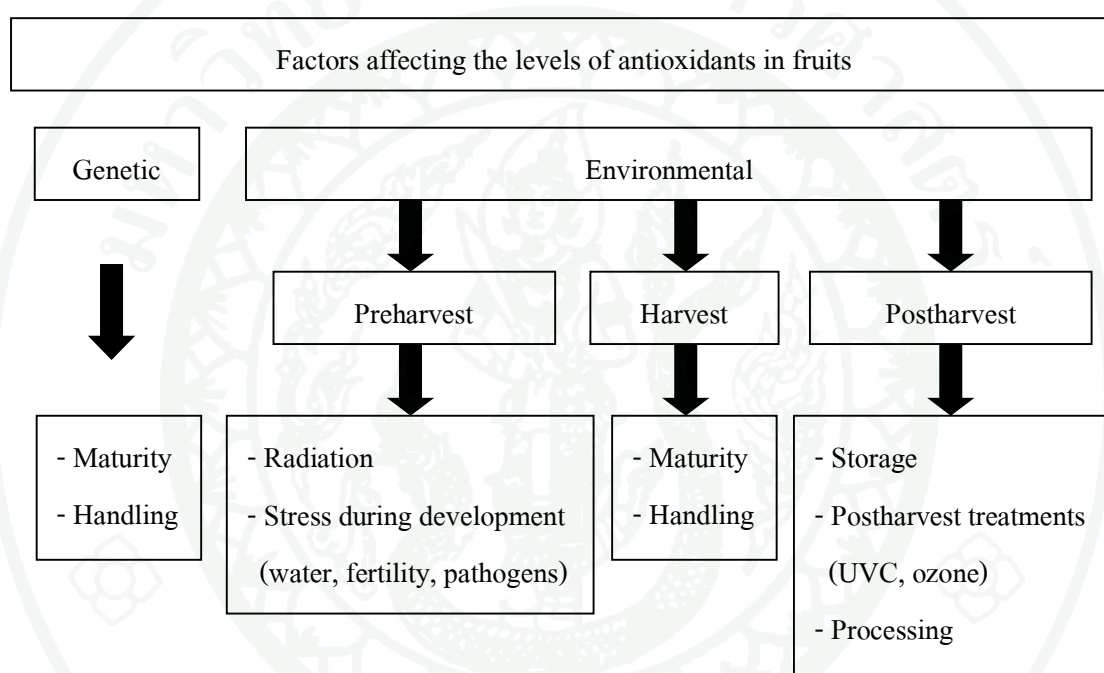
และน้ำมันถั่วเหลือง วิตามินเอ มีมากในผักผลไม้ที่มีสีส้มเหลืองและผักใบเขียว เช่น ผักบุ้ง มะละกอสุก และมะเขือเทศ



ภาพที่ 10 สารต้านออกซิเดชันที่พบได้ในผักและผลไม้

ที่มา: Larson (1988)

นอกจากสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติจะทำหน้าที่ในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระแล้ว ยังพบว่าประโยชน์ของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติสามารถป้องกันความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และยังแข็งแรงและเนื้อมาก รวมถึงสามารถยังยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้ อย่างไรก็ตามปริมาณสารต้านออกซิเดชันในผักผลไม้แต่ละชนิดย่อมมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต และฤดูกาล ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารต้านออกซิเดชันในผักผลไม้ สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารต้านออกซิเดชันในผักผลไม้

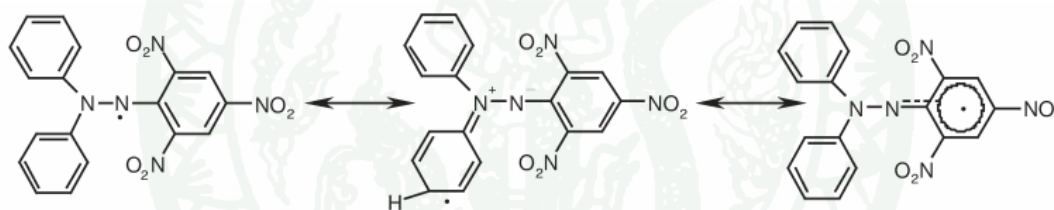
ที่มา: Vicente *et al.* (2009)

การตรวจสอบความสามารถต้านออกซิเดชัน

สามารถแบ่งการตรวจสอบความสามารถต้านออกซิเดชันตามลักษณะของกลไกการเกิดปฏิกิริยาได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ การแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (Hydrogen atom transfer, HAT) และการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (Single electron transfer, SET) Huang *et al.* (2005) รายงานว่าวิธีการตรวจสอบความสามารถต้านออกซิเดชันสามารถทดสอบได้หลายวิธี (ตารางที่ 8)

เช่น Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay นิยมใช้สำหรับการวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในพืชและระบบร่างกาย Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay หรือ ABTS assay เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารต้านออกซิเดชันทั่วไปในอาหาร และ DPPH assay เหมาะสำหรับการตรวจสอบสารสกัดจากผักและผลไม้ เป็นต้น

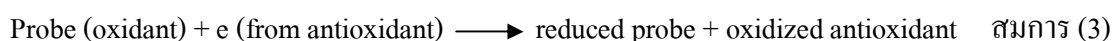
การตรวจสอบความสามารถต้านออกซิเดชันโดยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay วิธีนี้จะวัดความสามารถในการยับยั้ง 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) โดย DPPH เป็นสารอนุมูลไนโตรเจนที่ค่อนข้างคงตัวและมีความเสถียรสูง (ภาพที่ 12) โดยขณะเริ่มต้นการทดลองจะให้สารสีม่วงเข้ม เมื่อเกิดปฏิกิริยามากขึ้นสารสีม่วงเข้มจะมีสีซีดจางลง ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH จะลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต้านออกซิเดชันและอนุมูลอิสระ กลไกของการเกิดปฏิกิริยาแสดงในสมการ (3)



ภาพที่ 12 โครงสร้างทางเคมีของอนุมูลอิสระ DPPH

ที่มา: Ionita (2005)

หากในระบบมีปริมาณสารต้านออกซิเดชันมาก สีของสารละลายก็จะลดลงเร็ว ค่าที่ได้สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แสดงเป็นร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity), ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 จากปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มต้น (IC_{50}) หรือค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antiradical efficiency, AE)



วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย มีความแม่นยำ ใช้เวลาน้อย และใช้เครื่องมือแค่เครื่องวัดการดูดกลืนแสงเท่านั้น นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบความสามารถด้านออกซิเดชันของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ เหมาะสำหรับการวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในน้ำผักและน้ำผลไม้ หรือในสารสกัดผักและผลไม้ แต่ไม่เหมาะสำหรับการวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในพลาสมาเนื่องจากอนุมูลอิสระ DPPH ต้องละลายในเมทานอล จึงส่งผลให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (Sánchez-Moreno, 2002) อีกทั้ง DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างคงตัวจึงไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะหรือจัดอันดับอนุมูลอิสระที่ความไวสูงได้ นอกจากนี้อิเล็กตรอนเดี่ยวในโครงสร้างของอนุมูลอิสระ DPPH จะถูกดบังด้วยวงเบนซีน 3 วงและหมู่ไนโตร (ภาพที่ 12) ทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง ในขณะที่สารรีดิวซ์ยังสามารถทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH ชีดจางลงได้อีกด้วย (โอภา และคณะ, 2549)

ตารางที่ 8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาและวิธีการตรวจสอบความสามารถด้านออกซิเดชัน

กลไกการเกิดปฏิกิริยา	วิธีการตรวจสอบความสามารถด้านออกซิเดชัน
การแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (Hydrogen atom transfer, HAT)	ORAC (Oxygen radical absorbance capacity assay) TRAP (total radical trapping antioxidant parameter assay)
$ROO^\bullet + AH \longrightarrow ROOH + A^\bullet$	Crocin bleaching assay
$ROO^\bullet + LH \longrightarrow ROOH + L^\bullet$	IOU (inhibit oxygen uptake) Inhibition of linoleic acid oxidation
การแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (Single electron transfer, SET)	TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) FRAP (Ferric Ion Reducing Antioxidant Parameter)
$X + AH \longrightarrow X^\bullet + AH^{++}$	DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) Copper (II) reduction capacity Total phenols assay by FolineCiocalteu reagent
ปฏิกิริยาอื่นๆ	TOSC (Total Oxidant Scavenging Capacity) Inhibition of BriggsRauscher oscillation reaction Electrochemiluminescence

ที่มา: Huang *et al.* (2005)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

ส้มโอ (*Citrus maxima*) พันธุ์ขาวใหญ่ อายุ 7 เดือนนับจากดอกบานและมีความบิบูรณ์ ร้อยละ 80 จากสวนในอำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม คัดเลือกผลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลในช่วง 16-18 นิ้ว

2. สารเคมี

- 2.1 โซเดียมคลอไรด์ (Merck, เยอรมันนี)
- 2.2 เมทานอล, HPLC grade (Mallinckrodt, สหรัฐอเมริกา)
- 2.3 สารมาตรฐาน internal standard
 - *tert*-butyl benzene (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.4 สารมาตรฐาน n-Alkanes (C_6 - C_{30}) (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.5 เมทานอล, AR grade (Mallinckrodt, สหรัฐอเมริกา)
- 2.6 กรดแกลลิก (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.7 โพลีน-ซีโอคาพู (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.8 โซเดียมคาร์บอเนต (Ajax, นิวซีแลนด์)
- 2.9 อะซีโตรไนไตรล์ (Mallinckrodt, สหรัฐอเมริกา)
- 2.10 2, 2-ไดฟีนิล-1-ไพคริล-ไฮดราซิล: DPPH (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.11 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Ajax, นิวซีแลนด์)
- 2.12 กรดไฮโดรคลอริก (Merck, เยอรมันนี)
- 2.13 กรดไอโซแอสคอร์บิก, HPLC grade (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.14 กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก, HPLC grade (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.15 กรดแอสคอร์บิก, HPLC grade (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.16 ออโต-ฟีนิลลีนไดเอมีน (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.17 เฮกซะเดซิลไตรเมทิล-แอมโมเนียมโบรไมด์ (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

- 2.18 กรดซิตริก (Ajax, นิวซีแลนด์)
- 2.19 โพแทสเซียม ไค-ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Ajax, นิวซีแลนด์)
- 2.20 ฟีนอล์ฟทาลีน (Merck, เยอรมันนี)
- 2.21 เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีติกเอซิด (Merck, เยอรมันนี)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.1 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 3.2 Solid-phase microextraction (SPME) ไฟเบอร์ชนิด 50/30 DVB/CAR/PDMS (Supelco, สหรัฐอเมริกา)
- 3.3 เครื่องบดผสม (blender) รุ่น 32BL80 (8011) (Waring, สหรัฐอเมริกา)
- 3.4 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (balance 2 decimal) รุ่น BP 3100S (Sartorius, เยอรมันนี)
- 3.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (balance 4 decimal) รุ่น AC 211S (Sartorius, เยอรมันนี)
- 3.6 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter) รุ่น 2-Star Benchtop (Thermo Orion, สหรัฐอเมริกา)
- 3.7 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer) รุ่น ATAGO N-1α (0-32 %Brix) (Atago, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.8 เครื่องเหวี่ยงแยกแบบอุณหภูมิต่ำ (refrigerator centrifuge) รุ่น RC-5C Plus (Sorvall, สหรัฐอเมริกา)
- 3.9 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer) พร้อมหัวปั่นขนาดเล็ก รุ่น T10 basic (Ika, เยอรมันนี)
- 3.10 เครื่องสั่นสะเทือนด้วยระบบคลื่นเสียง (sonicator) รุ่น RK 52 (Bandelin Sonorex, เยอรมันนี)
- 3.11 เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) (Genie II, สหรัฐอเมริกา)
- 3.12 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) รุ่น RCT Basic (Ika Werke, มาเลเซีย)
- 3.13 ตู้แช่แข็ง (freezer -40°C) รุ่น MDF-435 (Sanyo, ญี่ปุ่น)
- 3.14 ตู้แช่แข็ง (freezer -20°C) รุ่น SF-C1497 (Sanyo, ญี่ปุ่น)
- 3.15 ห้องปลอดเชื้อ (clean room)
- 3.16 ถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene, PP) ขนาด 12 x 18 x 5 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)

3.17 พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene; LDPE), พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride; PVC), พอลิเอทิลีน (polyethylene; PE, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ)

3.18 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน

3.19 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) รุ่น Spectronic Genesys 10 UV Scanning (Thermo Electron Corporation, สหรัฐอเมริกา)

3.20 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) รุ่น Waters 600 (Waters, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับ UV diode-array detector รุ่น Waters 2998 (Waters, สหรัฐอเมริกา)

3.21 Gas Chromatography (GC) รุ่น HP model 6890 (Hewlet Packard, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับ Mass selective detector (mass spectrometer; MS) รุ่น HP 5973 (Hewlet Packard, สหรัฐอเมริกา)

3.22 Gas Chromatography (GC) รุ่น 6890N (Agilent technology, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับ Thermal conductivity detector (TCD) และ Flame ionization detector (FID) รุ่น 6890N (Agilent technology, สหรัฐอเมริกา)

วิธีการ

1. การวิเคราะห์สารระเหยในส้มโอสด

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำผลส้มโอมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและนำส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อหุ้มกลีบและเมล็ดออกจากนั้นชั่งตัวอย่างส้มโอจำนวน 40 กรัม และเทในโครเจนเหลวลงบนตัวอย่าง ผสมตัวอย่างกับโซเดียมคลอไรด์จำนวน 20 กรัม นำมาบดในเครื่องบดผสมจนละเอียด และนำไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่อไป

1.2 การวิเคราะห์สารระเหยด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

1.2.1 การสกัดสารระเหย

นำตัวอย่างที่บดผสมแล้วจำนวน 5 กรัม ใส่ในขวด head space ขนาด 27 มิลลิลิตร และเติม internal standard (*tert*-butylbenzene) ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 1 ไมโครลิตร และใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร ขนาด 1 เซนติเมตร ลงไปจากนั้นจึงทำการปิดผนึกด้วยฝาชนิด PTFE/silicone septa สภาวะที่ใช้คือ ใช้เวลาในการสกัด 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปั่นด้วยความเร็ว 630 รอบ/นาที จากนั้นทำการ adsorption สารระเหยเหนือตัวอย่าง สัมไอด้วยไฟเบอร์ชนิด DVB/CAR/PDMS ขนาด 50/30 μm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปทำการ desorption ด้วยความร้อนที่ injection port ของเครื่อง GC อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

1.2.2 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยด้วย GC-MS

วิเคราะห์ตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) โดยใช้สภาวะเครื่อง GC แบบ splitless มีก๊าซฮีเลียมเป็น carrier gas ด้วยอัตราไหล 1.5 มิลลิลิตร/นาที แยกสารระเหยด้วยแคปิลารีคอลัมน์ 2 ชนิด คือ คอลัมน์ HP-5 ขนาด 60 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร และคอลัมน์ FFAP ขนาด 60 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 10 นาที ก่อนจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 6 องศาเซลเซียส/นาที จนถึงอุณหภูมิสุดท้าย 200 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 20 นาที บ่งชี้ชนิดของสารด้วยเครื่อง MS ที่ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพ็ค (Electron-Impact Ionization, EI) และมีค่าพลังงานไอออนไนเซชัน 70 อิเล็กตรอนโวลต์ ช่วงในการสแกน 30-300 m/z ที่ความเร็ว 2.74 scan/sec

การระบุชนิดของสารระเหยโดยการเปรียบเทียบข้อมูล mass spectrum ของสารแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล NIST 02 และ Wiley 275 library ร่วมกับการเปรียบเทียบค่า retention index (RI) ของสารแต่ละชนิดกับงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งค่า RI นี้คำนวณได้จากค่า retention time (RT) ของสารมาตรฐาน *n*-alkanes (C_6 - C_{30}) วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสภาวะของเครื่อง GC-MS เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง ตามสมการข้อ 1 ในภาคผนวก ก เรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี

การคำนวณปริมาณความเข้มข้นของสารระเหย โดยการหาพื้นที่ใต้พีคของสารด้วยโปรแกรม Chemstation Software B.02.05 (Copyright 1987-1997, Agilent Technologies) แล้วคำนวณหาปริมาณสาร จากการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสารแต่ละชนิดกับพื้นที่ใต้พีคของ

internal standard (*tert*-butyl benzene) ดังสมการข้อ 2 ในภาคผนวก ก แล้วรายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารชนิดนั้นๆ (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)

การคำนวณ odor active value (OAV) ของสารระเหยที่ได้ OAV เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยในตัวอย่างกับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารให้กลิ่นชนิดนั้นๆ โดยคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$OAV = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นในตัวอย่าง}}{\text{threshold ของสารให้กลิ่นนั้น}} \quad \text{สมการ (4)}$$

2. การศึกษาผลของสภาพบรรยากาศต่อการเปลี่ยนแปลงสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี ความสามารถต้านออกซิเดชัน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผลส้มโอที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาล้างทำความสะอาดและเช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาด จากนั้นนำเข้าไปตัดแต่งในห้องปลอดเชื้อ (clean room) โดยทำการปอกเปลือกนอกออกและตัดแต่งนำส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อหุ้มกลีบออก หลังจากนั้นบรรจุกลีบขึ้นเนื้อส้มโอตัดแต่งจำนวน 3 กลีบ โดยให้มีขนาดน้ำหนักบรรจุรวมประมาณ 180-200 กรัม ลงในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนขนาด 12 x 18 x 5 เซนติเมตร (ภาพที่ 13) ปิดผนึกด้านบนถาดพลาสติกที่บรรจุส้มโอตัดแต่งแล้วด้วยแผ่นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด จากฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ศึกษา 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ และฟิล์มพอลิเอทิลีน เก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และตรวจวัดคุณภาพด้านต่างๆ ของส้มโอตัดแต่งในวันแรกของการเก็บรักษา และลำดับที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ของการเก็บรักษา ดังนี้



ภาพที่ 13 ลักษณะการบรรจุส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศตัดแต่ง

2.1 การเปลี่ยนแปลงของแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิด โดยสุ่มเก็บแก๊สจากช่องว่างบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุส้มโอตัดแต่ง 5 มิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สเอทิลีน โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 3 และข้อ 4 คำนวณปริมาณแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สเอทิลีน โดยเทียบกับแก๊สมาตรฐานชนิดนั้นๆ แล้วรายงานค่าในหน่วยร้อยละ

2.2 ลักษณะปรากฏ โดยการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของส้มโอตัดแต่งภายในภาชนะบรรจุกับภาพถ่ายของส้มโอตัดแต่ง

2.3 การสูญเสียน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุในสภาพบรรยากาศตัดแปลงระหว่างการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นคำนวณการสูญเสียน้ำหนักแล้วรายงานค่าในหน่วยร้อยละ

2.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยตรวจวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในน้ำคั้นส้มโอ โดยใช้เครื่อง hand refractometer รายงานหน่วยของศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$)

2.5 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยตรวจวัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ตามวิธีของ AOAC (2000) นำน้ำคั้นส้มโอ 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนอย่างน้อย 5 วินาที จากนั้นคำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้รายงานค่าในหน่วยร้อยละของปริมาณกรดซิตริก

2.6 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้จากข้อที่ 2.4 กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จากข้อที่ 2.5

2.7 ค่าความเป็นกรด-เบส วัดค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำคั้นส้มโอ โดยเครื่อง pH-meter

2.8 การวิเคราะห์สารระเหยให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่ง โดยมีขั้นตอนในการสกัด และการวิเคราะห์สารระเหย เช่นเดียวกันกับข้อ 1.2.1 และ 1.2.2

2.9 การทดสอบคุณภาพกลิ่นโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ด้วยวิธี QDA (Quantitative Descriptive Analysis) ดัดแปลงจากวิธีของ Lotong *et al.* (2003) โดยคัดเลือกผู้ทดสอบกึ่งชำนาญ (semi-trained panel) จำนวน 16 คน (นิสิตปริญญาโท กลุ่มวิจัยและทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์) กำหนดวิธีการในการทดสอบกลิ่นรสส้มโอตัดแต่งและให้ผู้ทดสอบกำหนดคุณลักษณะด้านกลิ่นรส แล้วพัฒนาเป็นคำศัพท์ร่วมกัน คัดเลือกและกำหนดลักษณะตัวอย่างที่ใช้อ้างอิงคุณลักษณะด้านกลิ่นรสของส้มโอ ตามวิธีในภาคผนวก ข ข้อ 1 เตรียมตัวอย่างส้มโอตัดแต่ง โดยคัดเลือกเฉพาะกลีบส้มโอที่ไม่มีบาดแผล ทำการแยกกลีบส้มโอออกเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้เกิดความเป็นเนื้อเดียวกันในตัวอย่าง และลดความแปรปรวนหรือความคลาดเคลื่อนจากชิ้นตัวอย่างของส้มโอตัดแต่ง และทดสอบตัวอย่างส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ภายใน 30 นาที หลังจากการนำออกมาจากตู้แช่เย็น เนื่องจากต้องใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างส้มโอที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปไม่เหมือนกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา อาจส่งผลกระทบต่อกลิ่นรสของส้มโอตัดแต่งได้เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากเดิม จากนั้นนำตัวอย่างปริมาณ 20 กรัม ลงในถ้วยพลาสติกโดยแต่ละถ้วยติดรหัสสุ่ม 3 หลัก นำเสนอตัวอย่างให้กับผู้ทดสอบ ได้แก่ ส้มโอสด (ส้มโอที่แก่ใหม่) ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เพื่อให้ผู้ทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่นรสของตัวอย่างส้มโอตัดแต่ง คุณลักษณะที่ทำการศึกษาได้แก่ กลิ่นรสส้มโอ กลิ่นรสเปรี้ยว กลิ่นรสหวาน กลิ่นรสเขียว และกลิ่นรสหมัก โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงในภาคผนวก ข

2.10 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

2.10.1 การสกัดสารประกอบฟีนอลิก

การสกัดสารประกอบฟีนอลิกดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2002) โดยนำตัวอย่างส้มโอตัดแต่งที่แช่ในโครเจนเหลวมาบดในเครื่องปั่นจนละเอียด จากนั้นนำตัวอย่าง 8 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง เติมน้ำละลายเมทานอลร้อยละ 80 ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ปั่นให้เข้า

กันด้วยเครื่อง homogenizer นาน 2 นาที แล้วนำไปปั่นสะท้อนด้วยคลื่นเสียง (sonicate) ควบคู่กับอุณหภูมิในการสกัดด้วยน้ำแข็งเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงโดยเครื่องเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วรอบ 14,500 xg ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาทีแยกส่วนใส่ออกมาใส่ขวดปรับปริมาตร นำส่วนกากไปสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างในขวดแก้วสีชาที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.10.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Total phenols assay ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Lee (2002) โดยดูดสารสกัดจากข้อ 2.10.1 จำนวน 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu reagent 0.1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ นาน 6 นาที เติม 7% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร ทำการสกัดและวัดค่าเช่นเดียวกันนี้จำนวน 3 ครั้ง นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกความเข้มข้น 20-100 ppm รายงานผลเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)

2.10.3 การวิเคราะห์ปริมาณสาร naringin โดยเทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC)

นำตัวอย่างสารสกัดส้มโอตัดแต่งจากข้อ 2.10.1 มาวิเคราะห์ปริมาณของสาร naringin ดัดแปลงจากวิธีของ Gorinstein *et al.* (2006) โดยใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตามสภาวะในการวิเคราะห์ แสดงดังภาคผนวก ค ข้อ 1 วิเคราะห์ปริมาณสารโดยนำพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับกราฟมาตรฐานของ naringin รายงานค่าเป็นมิลลิกรัมของ naringin ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

2.11 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ดัดแปลงจากวิธีของ Zapata and Dufour (1992)

2.11.1 การสกัดวิตามินซี

นำตัวอย่างส้มโอตัดแต่งที่แช่ในโตรเจนเหลวมาบดในเครื่องบดผสมจนละเอียด จากนั้นนำตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง เติมสารละลายเมทานอลร้อยละ 5 ที่มีส่วนผสมของ 0.1 โมลาร์ กรดซิตริก และ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ร้อยละ 0.05 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่อง homogenizer นาน 2 นาที เติมกรดไอโซแอสคอร์บิก (internal standard) 20 มิลลิกรัมต่อผลไม้ 100 กรัม แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงโดยเครื่องเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วรอบ 13,500 xg ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แยกส่วนใสออกมาแล้วปรับค่าความเป็นกรดเบสเป็น 2.20-2.45 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก นำส่วนใสมาผ่าน SepPak C₁₈ Tubes ที่มีการ precondition ด้วยเมทานอล 10 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI water) 10 มิลลิลิตร ใส่น้ำที่ค้างใน cartridge ด้วยอากาศก่อนนำมาใช้ โดยส่วนใส 5 มิลลิลิตรแรกทิ้งไป และเก็บ 3 มิลลิลิตรถัดมาไว้วิเคราะห์ เติม *o*-phenylenediamine ความเข้มข้น 3.33 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชาและวางในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 37 นาที แล้วนำตัวอย่างผ่านตัวกรองชนิด Nylon (Waters, Milford, MA, USA) ขนาด 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในขวดสีชาและฉีดเข้าเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph

2.11.2 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

โดยการฉีดสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2.11.1 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ฉีดตัวอย่างละ 2 ครั้ง เข้าสู่คอลัมน์ชนิด C18 (Symmetry®, 4.6 mm x 250 mm) โดยมีเมทานอลต่อน้ำปราศจากไอออน (5:95) ที่มีส่วนผสมของ 5 mM hexadecyltrimethyl-ammonium bromide (CTAB) และ 50 mM โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และมีค่าความเป็นกรด-เบส 4.59 เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ detector ชนิด UV diode-array ที่ความยาวคลื่น 261 นาโนเมตร สำหรับตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดไอโซแอสคอร์บิก และที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร สำหรับตรวจวัดกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก ประมวลผลที่ได้โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Empower 2 chromatography data software และคำนวณหาความเข้มข้นโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารชนิดนั้นๆ ที่มีความเข้มข้นในช่วง 20-100 ppm รายงานผลเป็น มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด มิลลิกรัมกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด และมิลลิกรัมของปริมาณวิตามินซีทั้งหมดซึ่งเป็นผลรวมของกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด

2.12 การวิเคราะห์ความสามารถด้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

วิเคราะห์ความสามารถด้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Radical Scavenging Capacity Assay (DPPH) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al.* (2002) โดยนำสารสกัด (ข้อ 2.10.1) 0.1 มิลลิลิตร (หากต้องเจือจางตัวอย่างให้ใช้สารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80) จากนั้นเติมสารละลาย DPPH 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซีความเข้มข้น 20-100 ppm รายงานผลเป็นความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH (มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)

7. การประเมินผลทางสถิติ

ทุกการทดลองทำ 2 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science, version 12) ถ้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

8. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ 2411 ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ห้องปฏิบัติการ 2217 ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ และห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

9. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 สิ้นสุดเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553

ผลและวิจารณ์

1. สารระเหยในส้มโอสด

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในส้มโอสด จากการสกัดด้วยวิธี Solid-phase microextraction (SPME) ซึ่งใช้ไฟเบอร์ชนิด Stableflex divinylbenzene/ carboxen / polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS) 50/30 μm สามารถสกัดสารระเหยได้ทั้งหมด 44 ชนิด ดังแสดงผลในตารางที่ 9 ประกอบด้วยสารกลุ่มหลัก ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน (93.47%) อัลดีไฮด์ (2.47%) แอลกอฮอล์ (2.09%) คีโตน (1.70%) และเอสเทอร์ (0.26%) สอดคล้องกับการทดลองของ Minh *et al.* (2002) ที่ศึกษาสารระเหยในเปลือกส้มโอจากประเทศเวียดนาม ซึ่งใช้วิธีสกัดจากการบีบอัดเย็น โดยรายงานว่าสารกลุ่มหลักที่พบในเปลือกส้มโอ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ คีโตน และเอสเทอร์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ ฐริสา (2005) พบว่าสารระเหยกลุ่มหลักที่พบในผลิตภัณฑ์ส้มโอคัดแต่งเคลือบฟิล์มที่บริโภคได้ เป็นสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ และคีโตน

สารระเหยส่วนใหญ่ในส้มโอเป็นสารประกอบเทอร์พีน แบ่งเป็น monoterpene จำนวน 8 ชนิด sesquiterpene จำนวน 25 ชนิด โดยเฉพาะ cyclic sesquiterpenes มีปริมาณมากที่สุดถึงร้อยละ 62.94 รองลงมาคือ cyclic monoterpene ร้อยละ 30.88 ในขณะที่ Njoroge *et al.* (2005) ศึกษาวิเคราะห์สารประกอบในน้ำมันหอมระเหยของเปลือกส้มโอจากประเทศเคนยาโดยวิธีบีบอัดเย็น พบว่าสารระเหยส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของ monoterpene hydrocarbons ถึงร้อยละ 97.5 และพบสารระเหยในกลุ่ม sesquiterpene hydrocarbon เพียงร้อยละ 0.4 เท่านั้น

สารระเหยในส้มโอสดที่มีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์มากที่สุดคือ *l*-limonene (21.58%) เช่นเดียวกับในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่สกัดด้วยการบีบอัดเย็น (Sawamura *et al.*, 2001; Njoroge *et al.*, 2005) ส่วนสารระเหยที่พบในปริมาณรองลงมา ได้แก่ germacrene D (10.67%), *trans*- β -caryophyllene (9.15%), δ -elemene (8.26%) และ δ -cadinene (4.41%) เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะกลิ่นของสารเหล่านี้จากฐานข้อมูล Flavor base' 04 (Liffingwell, 2004) พบว่าโดยรวมแล้วสารในกลุ่มนี้ให้กลิ่นหวาน กลิ่นสมุนไพร กลิ่นคล้ายมินท์ กลิ่นเขียว กลิ่นดอกไม้ กลิ่นเลมอน และกลิ่นซิตรัส ซึ่งเป็นลักษณะกลิ่นที่สอดคล้องและมีความสัมพันธ์กับกลิ่นของส้มโอ

ตารางที่ 9 สารระเหยในเนื้อส้มโอด

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		threshold ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์		OAV ⁵
			HP-5	FFAP		ng/g ⁴	%	
ACYCLIC MONOTERPENES and derivatives								
<u>Hydrocarbons</u>								
5	β -myrcene	metallic, flower, resious terpene	927	n.a.	0.046 ^a	35.39	0.59	769
	subtotal					35.39	0.59	
CYCLIC MONOTERPENES and derivatives								
<u>Hydrocarbons</u>								
6	α -pinene	resinous, pine, terpeny, nutty, dry, flower	982	n.a.	0.19 ^b	6.10	0.10	32
7	β -pinene	dry, woody, resinous-piney, sweet drops, dirty	983	n.a.	0.062 ^a	19.99	0.33	322
8	α -phellandrene	fresh, spicy, peppery, woody-minty, dill-like, terpeny	998	n.a.	0.16 ^{b,g}	213.36	3.56	1334
10	<i>l</i> -limonene	fresh, sweet, hydrocarbon and orange citrus odor	1023	1183	0.229 ^a	1316.92	21.98	5751
16	α -terpinolene	sweet, piney citrus, slightly-anisic, somewhat pleasant odor	1333	n.a.	0.041 ^{b, c}	74.58	1.24	1819
23	α -terpinene	refreshing, lemony-citrusy terpene, pleasant odor of lemons	1425	1443	0.085 ^b	194.17	3.24	2284
37	naphthalene	characteristic dry tarry hydrocarbon odor, camphoraceous	1527	1825	0.005 ⁱ	25.00	0.42	4999

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		threshold ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์		OAV ⁵
			HP-5	FFAP		ng/g ⁴	%	
subtotal						1850.13	30.88	
CYCLIC SESQUITERPENES and derivatives								
Hydrocarbons								
17	δ -elemene	mild woody, citrus, balsamic spicy	1334	1448	n.a.	504.43	8.42	n.a.
18	α -cubebene	-	1345	1701	n.a.	23.70	0.40	n.a.
19	α -copaene	floral, woody	1372	1435	n.a.	26.90	0.45	n.a.
20	β -elemene	-	1385	1576	n.a.	168.87	2.82	n.a.
21	β -patchoulene	-	1413	1705	n.a.	66.65	1.11	n.a.
22	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	woody, dry, spicy, citrus, terpene	1416	1583	0.15 ^c	558.26	9.32	3722
24	α -Muurolene	-	1437	1711	n.a.	46.40	0.77	n.a.
25	α -humulene	woody, citrus	1451	1658	0.39 ^{b, c}	106.60	1.78	273
26	calarene	-	1455	n.a.	n.a.	25.50	0.43	n.a.
27	(+)-aromadendrene	-	1471	1821	n.a.	130.21	2.17	n.a.

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		threshold ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์		OAV ⁵
			HP-5	FFAP		ng/g ⁴	%	
28	β -cubebene	-	1473	1646	n.a.	135.05	2.25	n.a.
29	isodene	-	1475	1592	n.a.	63.83	1.07	n.a.
30	germacrene D	woody, minty, citrus, hay, tea, tobacco note	1479	1696	n.a.	651.50	10.87	n.a.
31	β -maaliene	-	1486	n.a.	n.a.	157.29	2.62	n.a.
32	α -guaiene	sweet, woody, fruity, balsamic	1490	1650	n.a.	67.22	1.12	n.a.
33	valencene	citrus hydrocarbon	1493	n.a.	n.a.	128.44	2.14	n.a.
34	α -gurjunene	-	1502	n.a.	n.a.	58.00	0.97	n.a.
35	α -amorphene	-	1509	1674	n.a.	117.15	1.96	n.a.
36	δ -cadinene	dry, woody, slight burnt, citrus, spice character	1516	1744	n.a.	269.09	4.49	n.a.
38	γ -cadinene	dry, woody, slight burnt, spice character	1532	1781	n.a.	85.26	1.42	n.a.
39	γ -selinene	-	1539	1768	1 ^h	104.16	1.74	104
40	germacrene B	-	1555	1625	n.a.	122.63	2.05	n.a.
41	δ -selinene	-	1558	1678	n.a.	41.00	0.68	n.a.

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		threshold ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์		OAV ⁵
			HP-5	FFAP		ng/g ⁴	%	
42	γ -gurjunene	-	1654	1747	1 ^h	11.44	0.19	11
	subtotal					3669.58	61.24	
<u>Ketones</u>								
44	nootkatone	very strong, citrus, grapefruit aroma and taste	1803	2518	0.28 ^{d,e,f}	102.15	1.70	365
	subtotal					102.15	1.70	
OTHERS								
<u>Alcohols</u>								
2	ethanol	sweet, ethereal, alcoholic odor	<600	843	1,150 ^a	63.86	1.07	<1
3	2-methyl-3-buten-2-ol	sweet, oily-fruity, herbaceous-earthly	602	n.a.	1.14 ^d	26.58	0.44	23
9	1-hexanol	chemical, winey, slight fatty-fruity odor	1010	1471	3.125 ^{d,e,f}	35.06	0.59	11
	subtotal					125.50	2.09	
<u>Aldehydes</u>								
1	acetaldehyde	ethereal, green, alcoholic, cognac, somewhat vegetable	<600	816	0.0087 ^a	57.92	0.97	6658

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ที่ ¹	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น ²	RI		threshold ³	ความเข้มข้นสัมพัทธ์		OAV ⁵
			HP-5	FFAP		ng/g ⁴	%	
4	hexanal	strong, penetrating, fatty-green, grassy unripefruit odor	794	n.a.	0.064 ^{d,e,f}	52.09	0.87	814
12	nonanal	fatty-floral-rose, waxy, green, orange, citrus, fruity	1093	n.a.	0.0044 ^a	25.28	0.42	5747
14	decanal	strong, penetrating, sweet, orange peel, green, flowery	1198	1484	0.245 ^c	12.92	0.22	53
	subtotal					148.21	2.47	
Ester								
43	isopropyl myristate	faint, oily, fatty	1800	n.a.	n.a.	15.56	0.26	n.a.
	subtotal					15.56	0.26	
Hydrocarbons								
11	undecane	-	1088	n.a.	10 ⁱ	4.75	0.08	<1
13	dodecane	-	1191	n.a.	10 ⁱ	17.97	0.30	2
15	tridecane	-	1331	n.a.	n.a.	22.74	0.38	n.a.
	subtotal					45.46	0.76	
	TOTAL					5991.99	100.00	

ตารางที่ 9 (ต่อ)

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ก1

² ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

³ ค่า threshold ในน้ำ (µg/g) จาก ^a Pino *et al.* (1986), ^b Boonbumrung *et al.* (2001), ^c Tamura *et al.* (2001), ^d Sugisawa *et al.* (1991), ^e Yang *et al.* (1992), ^f Tamura *et al.* (1993), ^g Padrayuttawat *et al.* (1997), ^h Koppe (1965) และ ⁱ Zoeteman *et al.* (1971)

⁴ ความเข้มข้นของสาร (ng/g; นาโนกรัม/กรัมของตัวอย่างสด)

⁵ OAV (odor activity value) = ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นในตัวอย่างค่า odor threshold ของสารให้กลิ่นนั้น

n.a. = not available และ – หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

การพิจารณาว่าสารระเหยใดเป็นสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแตงนั้น ผู้ทดลองได้พิจารณาจากคำบรรยายคุณลักษณะกลิ่นที่ได้จากฐานข้อมูลด้านกลิ่นรส ร่วมกับค่า odor activity value (OAV) ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณของสารให้กลิ่นและค่า threshold ของสารนั้นๆ โดยสารระเหยที่มีค่า OAV สูง (OAV มากกว่า 1) มีแนวโน้มว่าสารนั้นจะเป็นสารให้กลิ่นสำคัญและมีผลต่อกลิ่นโดยรวม (Abbott *et al.*, 1993) ซึ่งจากการพิจารณาตามข้อมูลข้างต้น พบว่าสารระเหยให้กลิ่นสำคัญที่มีคุณลักษณะกลิ่นสัมพันธ์กับกลิ่นส้มโอ กลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม และมีค่า OAV มากกว่า 1 คือ *l*-limonene, α -terpinolene, α -terpinene, trans- β -caryophyllene, α -humulene, nootkatone, nonanal และ decanal นอกจากนี้ยังได้พิจารณาจากข้อมูลรายงานการวิจัยอื่นๆ ก่อนหน้านี้ พบว่ายังมีสารระเหยชนิดอื่นๆ อีกที่มีคุณลักษณะกลิ่นสัมพันธ์กับกลิ่นส้มโอและกลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม ได้แก่ δ -elemene, germacrene D, valencene และ δ -cadinene สารระเหยให้กลิ่นสำคัญในส้มโอจากการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sawamura *et al.* (2001) ซึ่งทำการศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญในผิวเปลือกส้มโอโดยวิธี Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) รายงานว่าสารที่ให้คุณลักษณะกลิ่นที่สำคัญ (characteristic or key compound) ของส้มโอคือ 2-dodecenal นอกจากนี้ยังพบสารระเหยชนิดอื่นๆ ที่มีความสามารถในการให้กลิ่น (relative flavor activity) ในปริมาณสูง โดยพิจารณาจากสารระเหยที่มีค่า log₃ FD factor (flavor dilution value) สูง บ่งบอกได้ว่าสารชนิดนั้นเป็นสารให้กลิ่นสำคัญ ได้แก่ limonene, terpinolene, decanal, α -humulene, geranial, geranyl acetate, heptyl acetate และ nootkatone

จากผลการวิเคราะห์สารระเหยในส้มโอสดและข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย ทำให้คัดเลือกสารให้กลิ่นสำคัญซึ่งพิจารณาจากคุณลักษณะของกลิ่นร่วมกับค่า OAV สำหรับใช้ในการศึกษาผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศตัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแตงได้จำนวนทั้งสิ้น 12 ชนิด ได้แก่ *l*-limonene, α -terpinolene, α -terpinene, δ -elemene, trans- β -caryophyllene, α -humulene, germacrene D, valencene, δ -cadinene, nootkatone, nonanal และ decanal

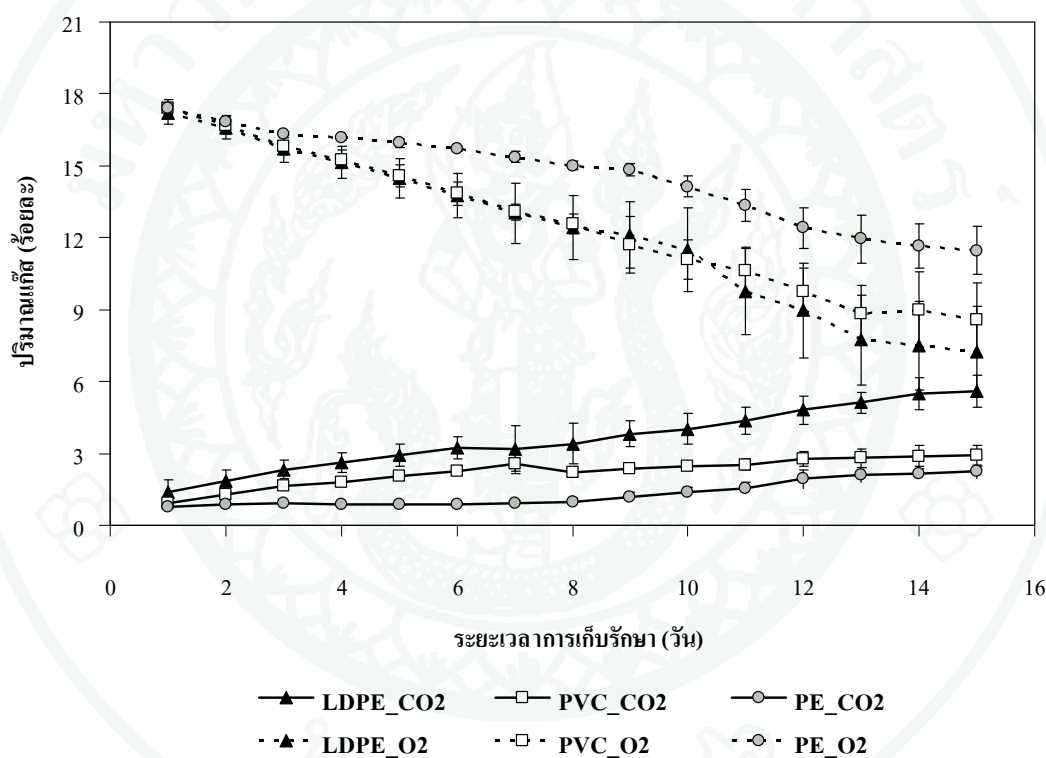
2. ผลของสภาพบรรยากาศต่อการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่น คุณภาพทางประสาทสัมผัส ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค

2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สเอทิลีน ภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

จากการศึกษาผลของการบรรจุส้มโอตัดแต่งในฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ โดยการบรรจุกลีบส้มโอตัดแต่ง จำนวน 3 กลีบ ลงในถาดพลาสติกชนิด PP และทำการปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกชนิดมีแนวโน้มลดลง และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 14) โดยในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE จะมีปริมาณแก๊สออกซิเจนน้อยกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ รองลงมาได้แก่ ฟิล์ม PVC และ PE สำหรับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE จะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงมากกว่าในฟิล์มชนิดอื่นๆ ซึ่งฟิล์มชนิด PVC และ PE พบปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 10) ทั้งนี้เนื่องมาจากฟิล์มชนิด LDPE มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate; OTR) น้อยกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 10) ทำให้ส้มโอตัดแต่งที่ถูกปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE มีปริมาณของแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุต่ำที่สุด ส่งผลให้ส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE มีการสะสมของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะเกิดขึ้นจนปริมาณแก๊สทั้งสองภายในภาชนะบรรจุจนเข้าสู่สมดุลของสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA หรือ Steady state) สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล คือ ที่ระดับแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลผลิตปลดปล่อยออกมาเท่ากับแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ซึมผ่านเข้าไป (Al-Ati and Hotchkiss, 2002) จากการทดลองพบว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE, PVC และ LDPE เริ่มเข้าสู่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุลในวันที่ 9, 10 และ 13 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 10) จะเห็นได้ว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีระยะเวลาเข้าสู่บรรยากาศดัดแปลงสมดุล

ช้ากว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากฟิล์มชนิด LDPE มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ และฟิล์ม PE จะมีระยะเวลาเข้าสู่บรรยากาศ สมดุลได้เร็วที่สุด ในช่วงการเก็บรักษาสัมไอศดัดแต่งโดยประมาณวันที่ 14 ของการเก็บรักษาที่สภาพ บรรยากาศดัดแปลงสมดุลภายในภาชนะบรรจุ (EMA) พบว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะ บรรจุของสั้มไอศดัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับร้อยละ 11, 9 และ 7 ตามลำดับ และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในภาชนะบรรจุของสั้มไอศดัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE, PVC และ LDPE มีค่าเท่ากับร้อยละ 2, 3 และ 6 ตามลำดับ (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 14 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของสั้มไอศดัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

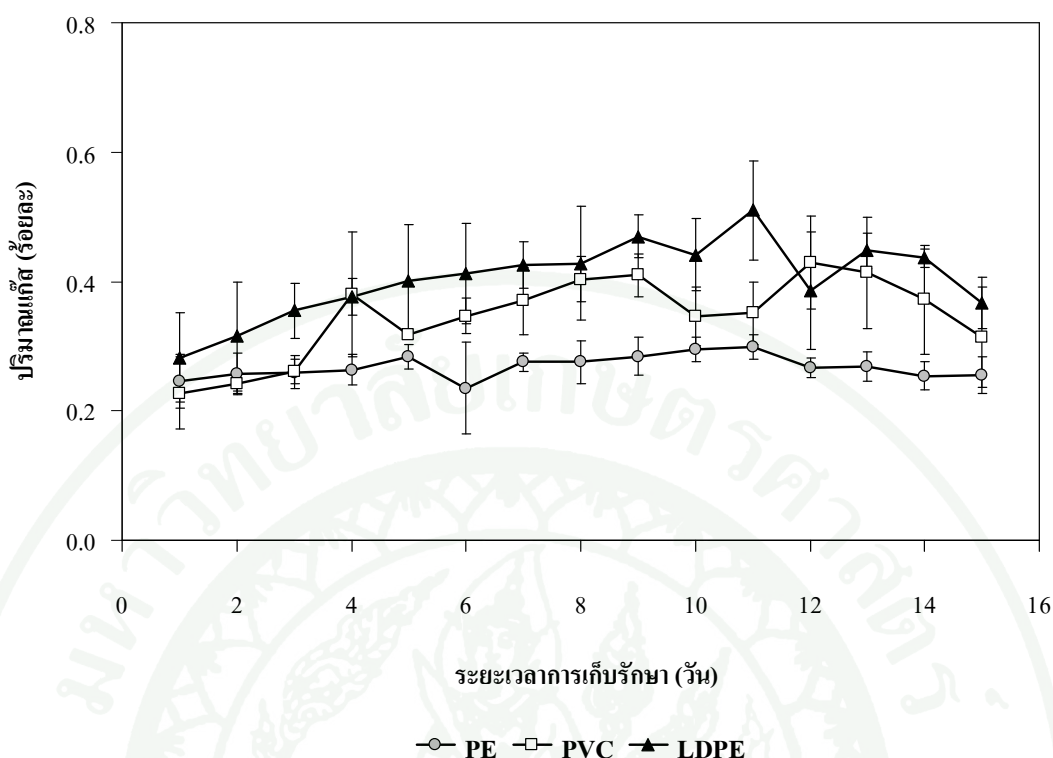
ตารางที่ 10 สภาพให้ซึมผ่านได้ ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาพ
บรรยากาศดัดแปลงสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA) ภายในภาชนะ
บรรจุส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ฟิล์ม	ระดับปริมาณ ของแก๊ส (ร้อยละ)		OTR ^a	CO ₂ TR ^b	WVTR ^c	สภาพให้ซึม ผ่านได้ของ O ₂ และ CO ₂ ^d	ระยะเวลา ที่เริ่มเข้าสู่ EMA (วัน)
	O ₂	CO ₂	cc/m ² /day (x10 ²)	cc/m ² /day (x10 ²)	kg/m ² /day (x10 ⁻³)		
PE	11	2	160±7.8	370±10.0	40±1	2.29	9
PVC	9	3	103±34.76	380±10.0	136±6	2.69	10
LDPE	7	6	41±6.32	180±3.5	16±1	1.90	13

หมายเหตุ ^a อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน; OTR

^{b, c, d} อัตราการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์; CO₂TR, อัตราการซึมผ่าน
ของไอน้ำ; WVTR และสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊ส
ออกซิเจนจาก ปีติรัตน์ (2551)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สภายในภาชนะบรรจุส้มโอตัดแต่งเกิดจากการแลกเปลี่ยน
ของแก๊สภายในภาชนะบรรจุกับสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยคุณสมบัติในการซึมผ่านของฟิล์มหรือที่
เรียกว่าสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบ passive (Kader and Watkins, 2002) โดยการเปลี่ยนแปลง
ของปริมาณแก๊สภายในภาชนะบรรจุเกิดจากส้มโอตัดแต่งมีการหายใจโดยการนำแก๊สออกซิเจน
ภายในภาชนะบรรจุไปใช้จึงทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุลดลงและผลจากการ
หายใจมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ภายในภาชนะบรรจุสูงขึ้น หลักของการเกิดสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบ passive มักจะเกิดการ
แพร่ผ่านของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างภายในกับภายนอกภาชนะบรรจุ
โดยอาศัยสภาพให้ซึมผ่านแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ของฟิล์มเป็นสำคัญ
(Chau and Talasila, 1994) นอกจากนี้ Al-Ati and Hotchkiss (2002) รายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อการ
เปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศ
แบบ passive ยังขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจของผลิต ขนาดภาชนะบรรจุ น้ำหนักที่บรรจุ อุณหภูมิที่
ใช้ในการเก็บรักษา พื้นที่ในการแพร่ผ่านของแก๊ส ความหนาของฟิล์ม และสภาพให้ซึมผ่านได้ และ
คุณสมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น



ภาพที่ 15 ปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

เมื่อตรวจวัดปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE ($11\%O_2 + 2\%CO_2$), PVC ($9\%O_2 + 3\%CO_2$) และ LDPE ($7\%O_2 + 6\%CO_2$) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และพบปริมาณแก๊สเอทิลีนได้ในระดับต่ำมาก (ต่ำกว่าร้อยละ 1) แก๊สเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.23-0.29, 0.22-0.42 และ 0.28-0.51 ตามลำดับ (ภาพที่ 15) จากผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองของ Luengwilai *et al.* (2007) ซึ่งพบว่าอัตราการผลิตเอทิลีนของส้ม Mandarin พันธุ์ Clemenules Clementine และ W. Murcott มีระดับต่ำมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ อาจเนื่องมาจากส้มโอเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric fruit ซึ่งจะมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำตลอดอายุการเก็บรักษา (Kader, 2002) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส้มโอทั้งผลมีอัตราการผลิตเอทิลีนได้น้อยกว่า $0.1 \mu l C_2H_4/kg.hr$ (Arpaia and Kader, 2002) นอกจากนี้ในช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจวัดปริมาณแก๊สเอทิลีน พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในภาชนะ

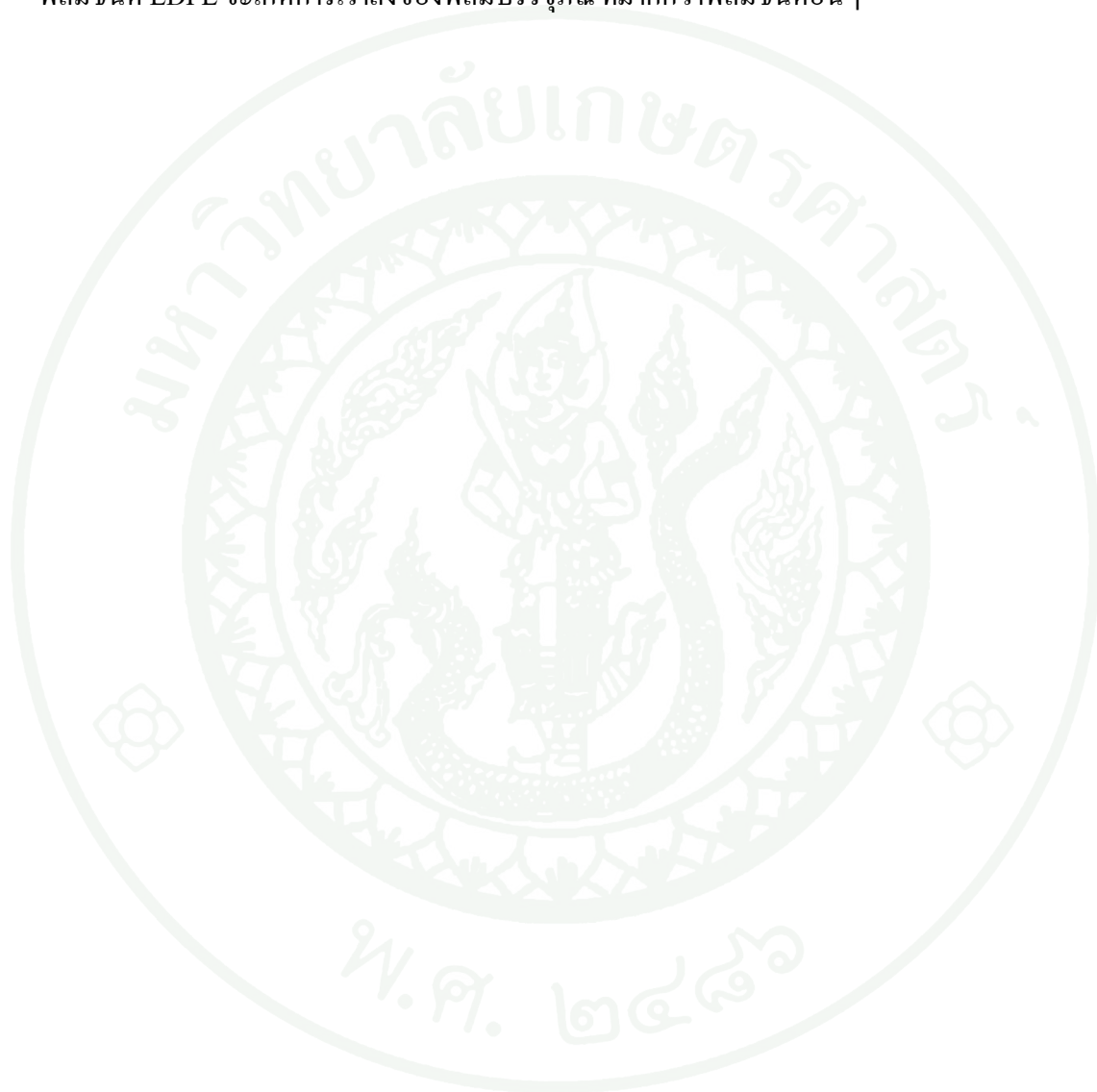
บรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีปริมาณแก๊สเอทิลีนมากกว่า ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC และ PE

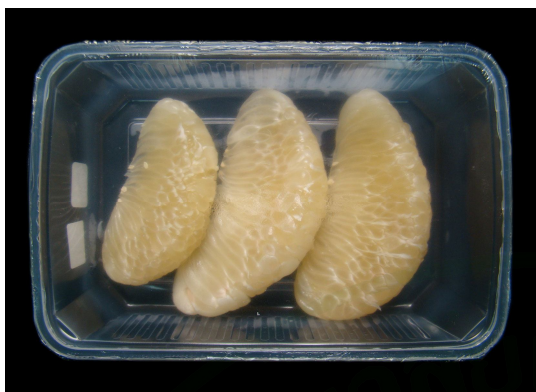
Qi *et al.* (1999) และ Oms-Oliu *et al.* (2008) รายงานว่าการลดปริมาณแก๊สออกซิเจนใน สภาพบรรยากาศสามารถช่วยยับยั้งหรือลดการผลิตเอทิลีนในผลไม้ตัดแต่งได้ เช่น กีวีตัดแต่ง (Agar *et al.*, 1999) และแอปเปิลสไลซ์ (Gunes *et al.*, 2000) ทั้งนี้อัตราการหายใจและอัตราการผลิต เอทิลีนยังขึ้นอยู่กับระยะความบริบูรณ์ของผลผลิต สภาพแวดล้อมที่ใช้เก็บรักษา ปริมาณแก๊ส ออกซิเจนและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพบรรยากาศ ระยะเวลาและอุณหภูมิในการ เก็บรักษา และความเข้มข้นของเอทิลีนในสภาพบรรยากาศ (Kader and Ben-Yehoshua, 2000)

2.2 ผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อลักษณะปรากฏและการสูญเสีย น้ำหนักของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

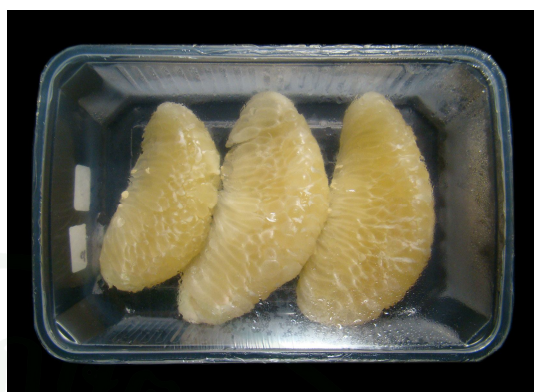
การศึกษาผลของการบรรจุส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดยใช้ฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE ในการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลง เมื่อเข้าสู่สมดุลพบว่าปริมาณแก๊ส ออกซิเจนและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุมีค่าเท่ากับ $11\%O_2 + 2\%CO_2$, $9\%O_2 + 3\%CO_2$ และ $7\%O_2 + 6\%CO_2$ ตามลำดับ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากการ ทดลองพบว่าบรรจุส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถเก็บรักษาได้ถึงสัปดาห์ที่ 6 เนื่องจากในระหว่างช่วงสัปดาห์ที่ 7 มีเชื้อราเกิดขึ้นบนตัวอย่างส้มโอตัดแต่ง ในการทดลองนี้จึง นำเสนอผลการวิเคราะห์ถึงสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษาและจากการศึกษาลักษณะปรากฏของ ส้มโอตัดแต่งภายในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE พบว่าส้มโอตัดแต่ง ที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 6 สัปดาห์ ยังคงมี ลักษณะปรากฏใกล้เคียงกันกับวันแรกของการเก็บรักษา แต่ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วย ฟิล์มชนิด LDPE มีไอน้ำปรากฏอยู่บนผิวฟิล์มภายในภาชนะบรรจุตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา (ภาพที่ 16) ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด LDPE จะมีอัตราการซึมผ่านของ ไอน้ำได้น้อยกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 10) ทำให้เกิดการสะสมของไอน้ำที่บริเวณบนแผ่นฟิล์ม บรรจุภัณฑ์ และส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของฟิล์มลดลง อีกทั้งอาจทำให้ความชื้น ภายในภาชนะบรรจุสูงขึ้น (Robertson, 1993) การเกิดไอน้ำบริเวณบนแผ่นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ปิด ผนึกภาชนะบรรจุ ถือเป็นข้อเสียของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่ง และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อีกทั้งยังทำให้การมองเห็นส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE ลดลงเมื่อ เปรียบเทียบกับฟิล์มชนิด PVC และ PE ซึ่งสามารถมองเห็นส้มโอตัดแต่งได้ชัดเจนกว่า (ภาพที่ 16)

นอกจากนี้ยังปรากฏลักษณะอาการเฝ้าของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ปิดผนึกสั้มไอ้ดัดแต่ง ซึ่งพบได้ ในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ทุกชนิด โดยเริ่มเกิดลักษณะการเฝ้าของฟิล์มในช่วงสั้ปดาห์ที่ 2 ของการเก็บ รักษาสั้มไอ้ดัดแต่ง และพบว่าลักษณะอาการเฝ้าของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่พบจะเกิดมากขึ้น เมื่ออายุ การเก็บรักษาของสั้มไอ้ดัดแต่งเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในตัวอย่างสั้มไอ้ดัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วย ฟิล์มชนิด LDPE จะเกิดการเฝ้าของฟิล์มบรรจุภัณฑ์มากกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ





ฟิล์ม PE วันแรกของการเก็บรักษา



ฟิล์ม PE สัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษา



ฟิล์ม PVC วันแรกของการเก็บรักษา



ฟิล์ม PVC สัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษา

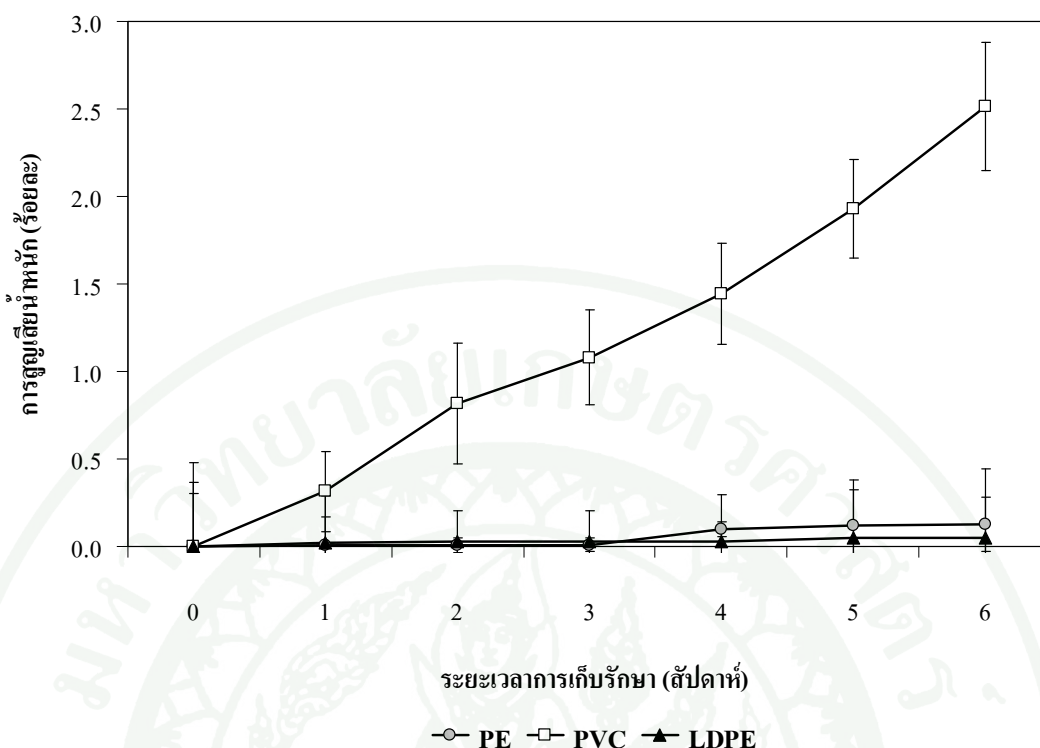


ฟิล์ม LDPE วันแรกของการเก็บรักษา



ฟิล์ม LDPE สัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษา

ภาพที่ 16 ลักษณะปรากฏของส้มโอตัดแต่งภายในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 17 การสูญเสียน้ำหนักของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 17 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE ($11\%O_2 + 2\%CO_2$), PVC ($9\%O_2 + 3\%CO_2$) และ LDPE ($7\%O_2 + 6\%CO_2$) พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด และไม่พบการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ การสูญเสียน้ำหนักของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC เริ่มเกิดขึ้นเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาและเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ในช่วง 6 สัปดาห์ ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC, PE และ LDPE มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 2.51, 0.12 และ 0.05 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการสูญเสียน้ำหนักที่เกิดขึ้นในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC ยังคงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 3 โดยทั่วไปผักและผลไม้สดมักจะพบการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 3-10 (Ben-Yehoshua, 1987) Ohta *et al.* (2002) กล่าวว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มากกว่าร้อยละ 5 จะเป็นสาเหตุทำให้มูลค่าหรือราคาขายของผักและผลไม้ลดลงได้ ทั้งนี้สาเหตุของการสูญเสียน้ำหนักที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากฟิล์ม PVC มีคุณสมบัติในการซึมผ่านไอน้ำที่สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 10) จึงทำให้เกิดการสูญเสีย

น้ำได้ง่ายกว่าฟิล์มชนิด PE และ LDPE จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Soares *et al.* (2002) ซึ่งศึกษาถึงคุณภาพของกระเทียมพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาโดยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด PVC และ LDPE พบว่ากระเทียมพร้อมบริโภคที่บรรจุโดยใช้ฟิล์ม PVC จะเกิดการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ากระเทียมพร้อมบริโภคที่บรรจุโดยใช้ฟิล์ม LDPE เช่นเดียวกันกับ Artés *et al.* (2001) และ Gaspar *et al.* (1997) รายงานว่าการเก็บรักษาโดยใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด PVC ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของสตรอเบอรี่และฝรั่งเพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาโดยใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด LDPE

2.3 ผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อค่าความเป็นกรดเบส ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเบส ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE ($11\%O_2 + 2\%CO_2$), PVC ($9\%O_2 + 3\%CO_2$) และ LDPE ($7\%O_2 + 6\%CO_2$) จากการทดลองพบว่า ภายหลังการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแตกต่างกัน มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเบสค่อนข้างคงที่และลดลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาเก็บรักษาซึ่งพบการเปลี่ยนแปลงในช่วง 4.03-3.92 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีปริมาณลดลงเล็กน้อย โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 11.78-10.00 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (1.82-1.52 ร้อยละกรดซิตริก) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และตลอดระยะเวลาเก็บรักษาอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.48-6.14

จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saowaros (2006) ซึ่งศึกษาผลของการใช้สภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับแก๊สโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่ง พบว่าการใช้สภาวะดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และค่าความเป็นกรดเบสของส้มโอตัดแต่ง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากส้มโอจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลินต่ำ (Kader, 2002) ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ เกิดขึ้นอย่างช้าๆ และใช้เวลานาน Brody (1996) กล่าวว่าการใช้สภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำ หรือสภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนสูงจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า

ความเป็นกรดเบส ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในผลไม้ประเภท non-climacteric ในปี 1998 Pretel *et al.* รายงานว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเบส และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในส้มคัดแต่งพร้อมบริโกลที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอคัดแต่งยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษา จากการทดลองของ Artés-Hernández *et al.* (2007) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ค่าความเป็นกรดเบส และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเลมอนผ่าซีกขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เก็บรักษา และงานวิจัยของ Luengwilai *et al.* (2007) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของส้ม Mandarin พันธุ์ Clemenules Clementine และ W. Murcott ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน

2.4 ผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอคัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

การวิเคราะห์สารระเหยของส้มโอคัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ โดยทำการทดลองทำการวิเคราะห์สารระเหยในส้มโอคัดแต่งด้วยวิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์สารระเหยในส้มโอสด และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอที่คัดเลือกได้จากผลการทดลองข้อ 1 จำนวน 12 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 11 โดยพิจารณาจากลักษณะกลิ่นสารจากฐานข้อมูล Flavor base' 04 ซึ่งเป็นกลิ่นที่สัมพันธ์กับกลิ่นของส้มโอและกลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม และเป็นสารที่มีค่า OAV มากกว่า 1

จากการศึกษาผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอคัดแต่งโดยใช้ฟิล์มพลาสติกที่มีคุณสมบัติในการซึมผ่านที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ PE, PVC และ LDPE เป็นตัวกำหนดสัดส่วนของปริมาณแก๊สที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ ทำให้เกิดสภาพบรรยากาศดัดแปลงขึ้น เมื่อเข้าสู่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของส้มโอคัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE, PVC และ LDPE มีค่าเท่ากับ $11\%O_2 + 2\%CO_2$, $9\%O_2 + 3\%CO_2$ และ $7\%O_2 + 6\%CO_2$ ตามลำดับ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการตรวจวัดสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอคัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิดในสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ของการเก็บรักษา พบว่าชนิดและปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอคัดแต่งที่

บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานวิจัยในกลุ่มของผลไม้ตัดแต่งที่ทำการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดย Bai *et al.* (2003) พบว่าการใช้สภาพบรรยากาศดัดแปลงกับเมลอนตัดแต่งโดยใช้แก๊ส O₂ 5 kPa ร่วมกับแก๊ส CO₂ 5 kPa ทำให้สารระเหยที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับกลิ่นของแตงเมลอนพันธุ์ honeydew และกลิ่นของผลไม้สดลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกันกับการทดลองของ Beaulieu and Lea (2003) ที่ศึกษาผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและสารระเหยของมะม่วงตัดแต่ง พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นสารกลุ่มหลักที่เป็นสารประกอบเทอร์พีน ได้แก่ α -pinene, β -myrcene, δ -3-carene, α -terpinene, limonene, α -terpinolene และ α -humulene มีปริมาณลดลงจากตัวอย่างสด โดยเฉพาะ δ -3-carene ซึ่งเป็นสารระเหยที่มีปริมาณมากในมะม่วงตัดแต่ง มีปริมาณลดลงมากที่สุด อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยในปี 1989 ของ Sawamura *et al.* ที่ศึกษาถึงผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณสารกลุ่มหลักที่พบในผิวเปลือกของส้มโอทั้งผล เช่น limonene, γ -terpinene, myrcene, α -pinene, β -pinene และ β -cubebene พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณเทอร์พีนเหล่านี้ในส้มโอทั้งผลมีปริมาณเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 12-17 แสดงความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสารให้กลิ่นสำคัญมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอสด และในทุกสัปดาห์ของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีสัดส่วนการลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาซึ่งถือเป็นช่วงอายุการวางจำหน่ายของผลิตภัณฑ์ส้มโอตัดแต่งที่พบตามซูเปอร์มาร์เก็ตทั่วไป ซึ่งผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ตัดแต่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น โดยทั่วไปเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผลไม้ตัดแต่งจะอยู่ที่ประมาณ 1 สัปดาห์ และผลิตภัณฑ์ผักตัดแต่งจะอยู่ในช่วง 2-3 สัปดาห์ (Verlinden and Nicolai, 2000) จากผลการทดลอง พบว่าในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีสัดส่วนของสารให้กลิ่นสำคัญลดลงถึง 83.52% ส่วนส้มโอตัดแต่งที่มีสัดส่วนการลดลงรองลงมา คือ ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC และ PE ซึ่งมีสัดส่วนการลดลง 60.75% และ 38.15% ตามลำดับ (ตารางที่ 12) นอกจากนี้ยังพบว่า การวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC-MS ในสัปดาห์ที่ 1 ของเก็บรักษา ไม่สามารถตรวจพบ α -humulene และ germacrene D ในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE ได้ (ตารางที่ 12) และไม่สามารถตรวจพบ α -terpinene ได้เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 2 สัปดาห์ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 11 สารให้กลิ่นสำคัญในส้มโสด

ที่ ¹	สารระเหย	RI		ลักษณะกลิ่น ²	Threshold ³	ความเข้มข้น (ng/g) ⁴	OAV ⁵
		HP-5	FFAP				
10	<i>l</i> -limonene	1023	1183	fresh, sweet, hydrocarbon and orange citrus odor	0.229 ^a	1316.92	5751
12	nonanal	1093	n.a.	fatty-floral-rose, waxy, green, orange, citrus, fruity	0.0044 ^a	25.28	5747
14	decanal	1198	1484	strong, penetrating, sweet, orange peel, green, flowery	0.245 ^c	12.92	53
16	α -terpinolene	1333	n.a.	sweet, piney citrus, slightly-anisic, somewhat pleasant odor	0.041 ^{b,c}	74.58	1819
17	δ -elemene	1334	1448	mild woody, citrus, balsamic spicy	n.a.	504.43	n.a.
22	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	1416	1583	woody, dry, spicy, citrus, terpene	0.15 ^c	558.26	3722
23	α -terpinene	1425	1443	refreshing, lemony-citrusy terpene, pleasant odor of lemons	0.085 ^b	194.17	2284
25	α -humulene	1451	1658	woody, citrus	0.39 ^{b,c}	106.60	273
30	germacrene D	1479	1696	woody, minty, citrus, hay, tea, tobacco note	n.a.	651.50	n.a.
33	valencene	1493	n.a.	citrus hydrocarbon	n.a.	128.44	n.a.
36	δ -cadinene	1516	1744	dry, woody, slight burnt, citrus, spice character	n.a.	269.09	n.a.
44	nootkatone	1803	2518	very strong, citrus, grapefruit aroma and taste	0.28 ^{d,e,f}	102.15	365

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ก1

² ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

ตารางที่ 11 (ต่อ)

³ ค่า threshold ในน้ำ ($\mu\text{g/g}$) จาก ^a Pino *et al.* (1986), ^b Boonbumrung *et al.* (2001), ^c Tamura *et al.* (2001), ^d Sugisawa *et al.* (1991), ^e Yang *et al.* (1992), ^f Tamura *et al.* (1993)

⁴ ความเข้มข้นของสาร (ng/g ; นาโนกรัม/กรัมของตัวอย่างสด)

⁵ OAV (odor activity value) = ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นในตัวอย่างค่า odor threshold ของสารให้กลิ่นนั้น

n.a. = not available และ – หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

ตารางที่ 12 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์

ที่ ¹	สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ² (ng/g)			
		F	PE	PVC	LDPE
10	<i>l</i> -limonene	1316.92 ^a	60.32 ^b	44.61 ^b	43.26 ^b
12	nonanal	25.28 ^b	123.30 ^a	110.87 ^a	110.21 ^a
14	decanal	12.92 ^b	71.20 ^a	70.87 ^a	68.99 ^a
16	α -terpinolene	74.58 ^a	57.16 ^b	55.36 ^b	52.61 ^b
17	δ -elemene	504.43 ^a	475.50 ^b	168.16 ^c	74.17 ^d
22	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	558.26 ^a	486.54 ^b	212.85 ^c	70.02 ^d
23	α -terpinene	194.17 ^a	173.85 ^a	95.84 ^b	82.32 ^c
25	α -humulene	106.60 ^a	103.85 ^a	17.37 ^b	- ^c
30	germacrene D	651.50 ^a	601.03 ^a	570.89 ^b	- ^c
33	valencene	128.44 ^a	48.33 ^b	35.38 ^b	30.86 ^b
36	δ -cadinene	269.09 ^a	147.95 ^b	79.28 ^c	40.47 ^d
44	nootkatone	102.15 ^a	90.48 ^b	86.77 ^b	77.26 ^b
% การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญ ³			38.15	60.75	83.52

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ก1

² ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) และ - หมายถึง ไม่พบสารนั้น

³ % การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เทียบจากตัวอย่างส้มโอสด

F, PE, PVC และ LDPE หมายถึงส้มโอสด ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีน ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ และส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์

ที่ ¹	สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ² (ng/g)			
		F	PE	PVC	LDPE
10	<i>l</i> -limonene	1316.92 ^a	47.61 ^b	45.90 ^b	40.74 ^b
12	nonanal	25.28 ^b	85.57 ^a	74.34 ^a	76.13 ^a
14	decanal	12.92 ^b	61.51 ^a	58.55 ^a	56.78 ^a
16	α -terpinolene	74.58 ^a	52.22 ^b	48.58 ^b	48.87 ^b
17	δ -elemene	504.43 ^a	113.68 ^b	67.96 ^c	69.36 ^c
22	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	558.26 ^a	69.30 ^b	44.06 ^b	38.80 ^c
23	α -terpinene	194.17 ^a	36.08 ^b	21.85 ^b	- ^c
25	α -humulene	106.60 ^a	30.15 ^b	16.76 ^c	- ^d
30	germacrene D	651.50 ^a	372.34 ^b	219.00 ^c	- ^d
33	valencene	128.44 ^a	35.60 ^b	37.24 ^b	29.07 ^b
36	δ -cadinene	269.09 ^a	92.04 ^b	46.14 ^c	45.09 ^c
44	nootkatone	102.15 ^a	73.58 ^b	50.16 ^b	64.29 ^b
% การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญ ³			72.88	81.48	88.11

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ก1

² ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) และ - หมายถึง ไม่พบสารนั้น

³ % การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เทียบจากตัวอย่างส้มโอสด

F, PE, PVC และ LDPE หมายถึงส้มโอสด ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีน ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ และส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์

ที่ ¹	สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ² (ng/g)			
		F	PE	PVC	LDPE
10	<i>l</i> -limonene	1316.92 ^a	41.84 ^b	38.46 ^b	41.30 ^b
12	nonanal	25.28 ^b	76.16 ^a	77.85 ^a	72.17 ^a
14	decanal	12.92 ^c	43.23 ^a	29.41 ^b	34.26 ^{ab}
16	α -terpinolene	74.58 ^a	49.87 ^b	36.69 ^b	35.62 ^b
17	δ -elemene	504.43 ^a	83.67 ^b	26.88 ^c	31.73 ^c
22	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	558.26 ^a	69.90 ^b	40.70 ^c	40.67 ^c
23	α -terpinene	194.17 ^a	17.20 ^b	- ^c	- ^c
25	α -humulene	106.60 ^a	23.13 ^b	- ^c	- ^c
30	germacrene D	651.50 ^a	9.35 ^b	- ^c	- ^c
33	valencene	128.44 ^a	37.66 ^b	19.52 ^b	27.80 ^b
36	δ -cadinene	269.09 ^a	61.26 ^b	33.01 ^b	39.65 ^b
44	nootkatone	102.15 ^a	60.44 ^b	42.22 ^b	43.48 ^b
% การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญ ³			85.45	90.06	90.70

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ก1

² ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) และ - หมายถึง ไม่พบสารนั้น

³ % การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เทียบจากตัวอย่างส้มโอสด

F, PE, PVC และ LDPE หมายถึงส้มโอสด ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีน ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ และส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ที่ ¹	สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ² (ng/g)			
		F	PE	PVC	LDPE
10	<i>l</i> -limonene	1316.92 ^a	28.82 ^b	30.40 ^b	28.28 ^b
12	nonanal	25.28 ^b	42.01 ^a	44.13 ^a	41.52 ^a
14	decanal	12.92 ^b	26.80 ^a	26.62 ^a	23.08 ^{ab}
16	α -terpinolene	74.58 ^a	40.95 ^b	38.77 ^b	31.95 ^b
17	δ -elemene	504.43 ^a	36.30 ^b	21.76 ^b	27.01 ^b
22	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	558.26 ^a	44.06 ^b	39.38 ^b	43.02 ^b
23	α -terpinene	194.17 ^a	17.29 ^b	- ^c	- ^c
25	α -humulene	106.60 ^a	24.37 ^b	- ^c	- ^c
30	germacrene D	651.50 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
33	valencene	128.44 ^a	22.68 ^b	20.75 ^b	26.43 ^b
36	δ -cadinene	269.09 ^a	60.12 ^b	22.04 ^c	28.81 ^c
44	nootkatone	102.15 ^a	34.49 ^b	26.65 ^b	10.19 ^b
% การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญ ³			90.42	93.14	93.40

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ก1

² ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) และ - หมายถึง ไม่พบสารนั้น

³ % การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เทียบจากตัวอย่างส้มโอสด

F, PE, PVC และ LDPE หมายถึงส้มโอสด ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีน ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ และส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 16 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ที่ ¹	สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ² (ng/g)			
		F	PE	PVC	LDPE
10	<i>l</i> -limonene	1316.92 ^a	15.16 ^b	18.36 ^b	17.39 ^b
12	nonanal	25.28 ^b	47.68 ^a	49.17 ^a	46.06 ^a
14	decanal	12.92 ^b	23.79 ^a	25.15 ^a	21.80 ^a
16	α -terpinolene	74.58 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
17	δ -elemene	504.43 ^a	28.79 ^b	23.79 ^b	29.88 ^b
22	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	558.26 ^a	46.40 ^b	37.66 ^b	39.47 ^b
23	α -terpinene	194.17 ^a	19.47 ^b	- ^c	- ^c
25	α -humulene	106.60 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
30	germacrene D	651.50 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
33	valencene	128.44 ^a	17.42 ^b	19.11 ^b	20.49 ^b
36	δ -cadinene	269.09 ^a	24.67 ^b	30.99 ^b	- ^c
44	nootkatone	102.15 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
% การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญ ³			94.34	94.82	95.56

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ก1

² ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ - หมายถึง ไม่พบสารนั้น

³ % การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เทียบจากตัวอย่างส้มโอสด

F, PE, PVC และ LDPE หมายถึงส้มโอสด ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีน ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ และส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์

ที่ ¹	สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ ² (ng/g)			
		F	PE	PVC	LDPE
10	<i>l</i> -limonene	1316.92 ^a	15.36 ^b	17.74 ^b	16.64 ^b
12	nonanal	25.28 ^b	45.27 ^a	42.47 ^a	46.43 ^a
14	decanal	12.92 ^b	28.39 ^a	27.89 ^a	23.33 ^a
16	α -terpinolene	74.58 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
17	δ -elemene	504.43 ^a	13.32 ^b	15.13 ^b	15.01 ^b
22	(<i>E</i>)- β -caryophyllene	558.26 ^a	43.55 ^b	26.57 ^b	24.79 ^b
23	α -terpinene	194.17 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
25	α -humulene	106.60 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
30	germacrene D	651.50 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
33	valencene	128.44 ^a	18.84 ^b	17.22 ^b	14.79 ^b
36	δ -cadinene	269.09 ^a	21.37 ^b	28.58 ^b	- ^c
44	nootkatone	102.15 ^a	- ^b	- ^b	- ^b
% การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญ ³			95.28	95.55	96.43

หมายเหตุ ¹ ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรมในภาพผนวกที่ ก1

² ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) และ - หมายถึง ไม่พบสารนั้น

³ % การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ เทียบจากตัวอย่างส้มโอสด

F, PE, PVC และ LDPE หมายถึงส้มโอสด ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีน ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ และส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ

นอกจากนี้ germacrene D ยังเป็นสารระเหยที่ตรวจไม่พบในสั้มโอดัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิดเมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 15) และในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษาสั้มโอดัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิด พบสารให้กลิ่นสำคัญเพียง 7 ชนิดจากทั้งหมด 12 ชนิด ซึ่งได้แก่ *l*-limonene, nonanal, decanal, δ -elemene, *trans*- β -caryophyllene, valencene และ δ -cadinene โดยสั้มโอดัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PVC และ PE มีสัดส่วนของสารให้กลิ่นสำคัญลดลงถึง 96.43%, 95.55% และ 95.28% ตามลำดับ (ตารางที่ 17) การลดลงของสารให้กลิ่นสำคัญดังกล่าวมีสาเหตุมาจากการเก็บรักษาสั้มโอดัดแต่งเป็นระยะเวลาาน และผลจากกระบวนการตัดแต่งทำให้สูญเสียเปลือกหรือนำส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อหุ้มกลีบออก ทำให้สารให้กลิ่นสำคัญมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสั้มโอด

จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Harb *et al.* (2008) ที่ศึกษาถึงผลของการใช้สภาพบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere, CA) ต่อการเปลี่ยนแปลงสารระเหยของแบลคเคอร์แรนท์ในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้สภาพบรรยากาศควบคุมที่สภาวะ 12:18; 18:18; 6:2; 12:2 และ 18:2 (kPa CO₂:kPa O₂) เปรียบเทียบกับสภาวะบรรยากาศปกติ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าปริมาณเทอร์พีนทั้งหมดที่พบในสภาพบรรยากาศควบคุมมีปริมาณต่ำกว่าสภาวะบรรยากาศปกติ โดยสภาพบรรยากาศควบคุมที่ระดับ 12:2 (kPa CO₂:kPa O₂) พบปริมาณเทอร์พีนทั้งหมดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบลคเคอร์แรนท์สด Harb *et al.* (2008) เสนอว่าเมื่อทำการเก็บรักษาโดยลดปริมาณแก๊สออกซิเจนลงต่ำและเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น จะส่งผลทำให้เกิดการชะลอความสามารถในการสังเคราะห์เทอร์พีนได้ เช่นเดียวกันกับ Hanekom *et al.* (2010) รายงานว่าการใช้สภาพบรรยากาศควบคุม (CA) และสภาพบรรยากาศดัดแปลง (MAP) มีผลทำให้ปริมาณเทอร์พีนของลิ้นจี่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ในสภาวะ CA (3% O₂+7% CO₂) ยังพบชนิดและปริมาณ monoterpenes และ sesquiterpenes ได้น้อยกว่าที่สภาวะ MAP (17% O₂+6% CO₂) เป็นไปได้ว่าการเก็บรักษาผลไม้ภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำ จะส่งผลให้ผลไม้เกิดการสังเคราะห์สารประกอบเทอร์พีนได้น้อยลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลไม้เกิดความเครียดขึ้นเมื่อเก็บในสภาพบรรยากาศที่ไม่เหมาะสม (Singh *et al.*, 2004)

การตรวจไม่พบสารบางชนิดและปริมาณสัดส่วนของสารให้กลิ่นสำคัญในสั้มโอดัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE ลดลงมากกว่าฟิล์มชนิด PE และ PVC ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ของการเก็บรักษานั้น เป็นผลเนื่องมาจากฟิล์ม LDPE มีค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าฟิล์มชนิด PE และ PVC ทำให้สั้มโอดัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE มีปริมาณของแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุต่ำกว่าฟิล์ม PVC และ PE ส่งผลให้สั้มโ

ตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE มีการสะสมของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ อาจมีผลต่อเอนไซม์ที่ใช้ในการสร้างหรือสังเคราะห์ monoterpenes ลดลง (Harb *et al.*, 2008) การเกิดกลืนสารให้กลิ่นของผลไม้ตระกูลส้มจะเกิดจากเมทาบอลิซึมของเทอร์พีน โดยมีสารตั้งต้นที่สำคัญคือ isopentenyl diphosphate (IPP) สามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 วิธีทางใหญ่ๆ คือ acetate/mevalonate pathway และ pyruvate/glyceraldehyde-3-phosphate pathway โดย IPP สามารถเปลี่ยนไปเป็น dimethylallyl diphosphate และเกิดการรวมตัวกันกับ IPP อีกโมเลกุลหนึ่งได้เป็น geranyl diphosphate และโมเลกุลนี้จะเปลี่ยนไปเป็น monoterpenes ที่ให้กลิ่นผลไม้ตระกูลส้มหลายชนิด เช่น limonene และ pinene เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ isomerase, terpenoid reductase และ NADPH dehydrogenase ที่ทำให้เกิดอนุพันธ์ของเทอร์พีนชนิดต่างๆ ขึ้น เช่น geraneol และ citronellol โดยสรุปอาจกล่าวได้ว่าขั้นตอนการเริ่มต้นสังเคราะห์ monoterpene มาจาก pyruvate/glyceraldehyde-3-phosphate pathway ส่วน acetate/mevalonate pathway เป็นการวิถีทางการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ sesquiterpene ในผลไม้ตระกูลส้ม (Pérez and Sanz, 2008)

โดยทั่วไปในเซลล์เนื้อเยื่อพืชจะมีค่า pH ในไซโตพลาสซึมอยู่ที่ประมาณ 7 (Harb *et al.*, 2008) การเก็บรักษาผลไม้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะไปเหนี่ยวนำทำให้ค่า pH ของไซโตพลาสซึมมีค่าลดลงจากเดิม 0.2-0.8 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในไซโตพลาสซึมที่เกิดขึ้น อาจเป็นสาเหตุให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารเทอร์พีนลดลง และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถของซีสเทอเรทที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการเกิดกลืนรสในผลไม้ Bohlmann *et al.* (1998) กล่าวว่า การสังเคราะห์เทอร์พีนเกิดจากเอนไซม์ monoterpene, sesquiterpene และ diterpene synthase โดยเอนไซม์เหล่านี้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา cyclization ที่เป็นลักษณะเฉพาะของการสังเคราะห์เทอร์พีน การสังเคราะห์ทางชีวภาพของเทอร์พีนที่มีโครงสร้างเป็นวงนั้น จะต้องมีการเคลื่อนที่ของประจุบวกเข้าไปในวง แล้วเกิดการจัดเรียงโครงร่างใหม่แบบเฉพาะเจาะจงเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีสองวงก่อนจะเกิดการทำให้ carbocations มีเสถียรภาพสูง โดยการ deprotonation หรือ nucleophile capture ทั้งนี้จากการลดลงของค่า pH ใน cytoplasmic ซึ่งเป็นผลมาจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE มีปริมาณสูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ โดยปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้กระบวนการ deprotonation ในการสังเคราะห์เทอร์พีนเกิดปฏิกิริยาได้ยากขึ้น โดยปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีค่ามากกว่า 5 kPa จะส่งผลทำให้ค่า pH ใน intracellular มีค่าลดลง (Bown, 1985) ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE ซึ่งเป็นฟิล์มที่ทำให้ภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำที่สุดและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด จะมีการสังเคราะห์สารกลุ่ม

เทอร์พีนของส้มโอตัดแต่งลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มชนิดอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสามารถในการส่งสารของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เทอร์พีนมีค่าลดลงดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้โมเลกุลของออกซิเจนยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึมในการสังเคราะห์สารต่างๆ จึงเป็นไปได้ว่าในการเก็บรักษาเมื่อออกซิเจนมีปริมาณลดต่ำลง และคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณสูงเกินไปไม่เหมาะสมกับผลไม้จะส่งผลต่อการสังเคราะห์สารในกลุ่มเหล่านี้ได้ (Beaulieu and Lea, 2003)

สารระเหยให้กลิ่นสำคัญในส้มโอส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเทอร์พีน โดยส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ลดลงจากส้มโอสด (วันที่ 0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้น nonanal และ decanal ที่มีความเข้มข้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจากส้มโอสด อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของ limonene ซึ่งเป็นเทอร์พีนที่มีปริมาณมากที่สุดในส้มโอสด มีลักษณะกลิ่นสดชื่น กลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิดมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในกลุ่มเทอร์พีนชนิดอื่นๆ โดยมีปริมาณลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และลดลงจากส้มโอสด (วันที่ 0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาปริมาณ limonene ที่พบในส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของ nonanal และ decanal ในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีการเพิ่มปริมาณขึ้นสูงสุดในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และจะมีการลดลงต่อเนื่องในสัปดาห์ต่อมา หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษาไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก สอดคล้องกับการทดลองของ Saftner *et al.* (2007) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารระเหยให้กลิ่นของแตงโมสไลซ์ตัดแต่งจากการเก็บรักษาโดยวิธีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (MAP) พบว่าแตงโมสไลซ์ตัดแต่งมีปริมาณสารระเหยทั้งหมดลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยอัลดีไฮด์เป็นสารกลุ่มหลักที่พบในแตงโมตัดแต่ง เช่น nonanal, hexanal, heptanal, (Z)-6-nonenal และ (E)-2-nonenal มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา นอกจากนี้งานวิจัยในปี 1990 ของ Shaw *et al.* พบว่าสารกลุ่มอัลดีไฮด์ที่พบในส้มสายพันธุ์ Valencia เมื่อผ่านการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม เช่น octanal, nonanal, decanal, neral, citronellal และ (E)-2-hexanal มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับสภาพบรรยากาศปกติ ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณของสารอัลดีไฮด์เหล่านี้ในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาอาจเนื่องมาจากส้มโอตัดแต่ง

เป็นผลไม้ที่ผ่านกระบวนการปอกเปลือก และแกะเยื่อหุ้มกลีบออกขึ้นเนื้อส้มโอ ซึ่งกระบวนการตัดแต่งส้มโอ อาจทำให้เกิดการบอบช้ำหรือเกิดบาดแผลขึ้น เป็นผลให้ส้มโอเกิดความเครียดจากบาดแผลบางส่วนได้ นอกจากนี้ในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังไม่เข้าสู่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล ทำให้ส้มโออาจเกิดความเครียดจากการปรับสภาวะในสภาพบรรยากาศดัดแปลง และเกิดการผลิตสารเหล่านี้เพิ่มขึ้นได้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของ nootkatone ซึ่งเป็นสารระเหยที่ให้กลิ่นลักษณะกลิ่นเกรฟฟรุต (grapefruit aroma) กลิ่นพืชตระกูลส้ม (citrus) โดยปริมาณ nootkatone ที่พบในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกชนิดเมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ไม่สามารถตรวจพบ nootkatone ได้ด้วย GC-MS สำหรับปริมาณ nootkatone ในส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิด พบว่าส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE มีปริมาณ nootkatone มากกว่าส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC และ LDPE แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Meheriuk *et al.* (1995) ซึ่งศึกษาผลการบรรจุเชอร์รี่สายพันธุ์ Lapins ในสภาพบรรยากาศดัดแปลง พบว่าสารกลุ่มคีโตนที่พบในผลเชอร์รี่ เช่น 2-octanone 2-nonanone และ 6-methyl-5-hepten-2-one มีปริมาณลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น และในปี 1997 Mattheis *et al.* ทดลองศึกษาเกี่ยวกับสารระเหยของเชอร์รี่สายพันธุ์ Bing จากการเก็บรักษาโดยสภาพบรรยากาศควบคุมที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.1, 10, 15, หรือ 20 เปรียบเทียบกับสภาพบรรยากาศปกติ พบว่าเชอร์รี่ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีปริมาณสารกลุ่มคีโตนมากกว่าในเชอร์รี่ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศอื่นๆ

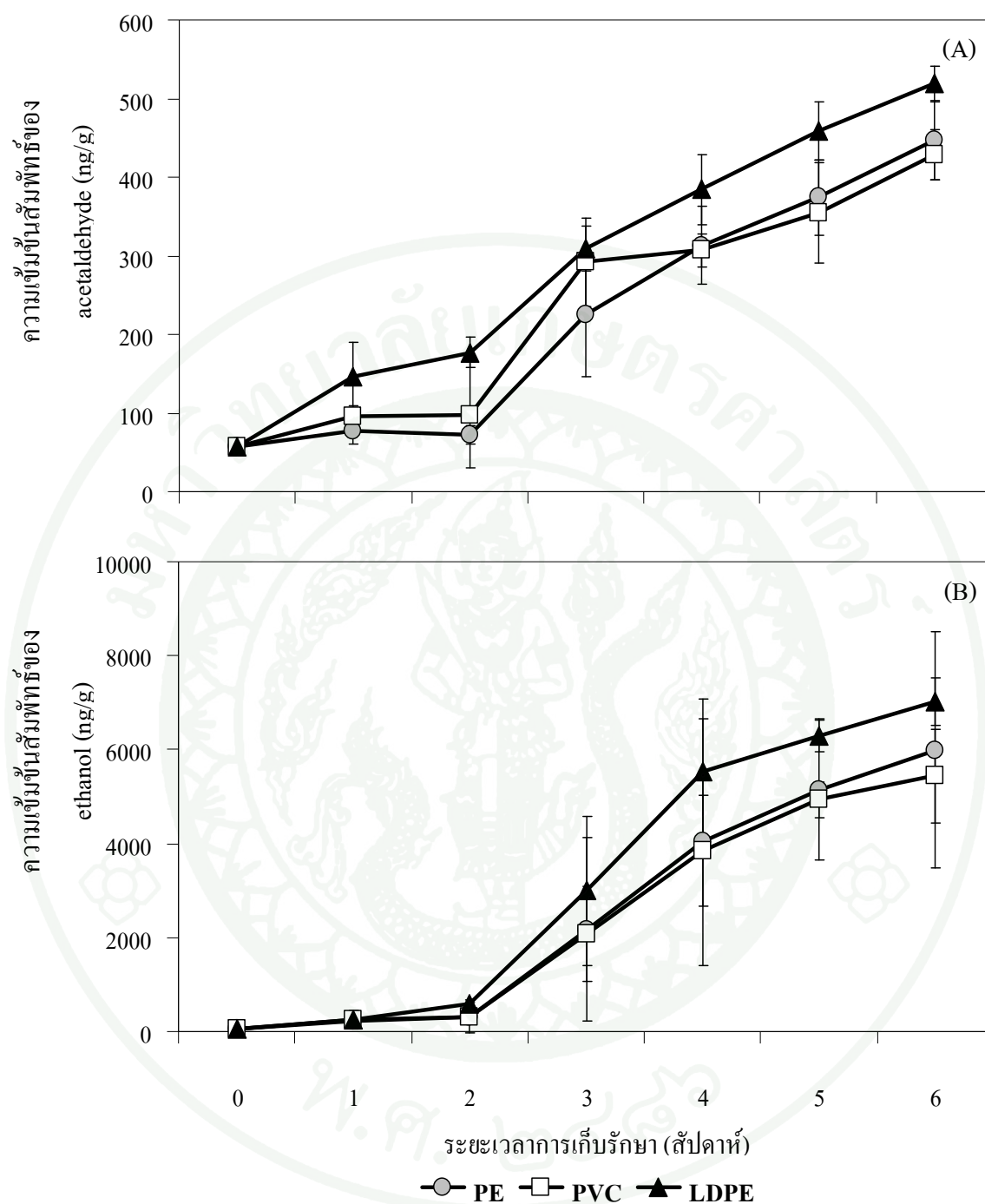
สำหรับ nootkatone ที่ตรวจไม่พบในสัปดาห์ที่ 5 ของการเก็บรักษา คาดว่าเป็นเพราะปริมาณ nootkatone ที่พบในส้มโอสดนั้นมีความเข้มข้นน้อย นอกจากนี้เป็นไปได้ว่าปริมาณ valencene ในส้มโอตัดแต่งที่ลดลงอาจส่งผลต่อการลดลงของ nootkatone เนื่องจากมีรายงานว่า nootkatone สามารถสังเคราะห์ทางชีวภาพได้โดยใช้ valencene เป็นสารตั้งต้น (Drawert *et al.*, 1984) อย่างไรก็ตามจากการทดลองของ Sawamura *et al.* (1989) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณสารกลุ่มหลักที่พบในส้มโอทั้งผล พบว่าระยะเวลามีผลต่อปริมาณของ nootkatone โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น nootkatone จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเป็นสัดส่วนคงที่กับระยะเวลา

การเก็บรักษา เช่นเดียวกันกับ Biolatto *et al.* (2002) รายงานว่าปริมาณและสัดส่วนของ nootkatone จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลส้มโอ

การเก็บรักษาผักผลไม้ตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลงนั้น หากมีสภาวะการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม เช่น ในสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำหรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปไม่เหมาะสมกับผลผลิตแต่ละชนิด จะทำให้เกิดการสะสมสารจำพวก ethanol และ acetaldehyde ขึ้น ซึ่งสารเหล่านี้ถือเป็นผลิตภัณฑ์จากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณ ethanol และ acetaldehyde จึงสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงกระบวนการเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนในผักผลไม้ขึ้นได้ ผลไม้ตัดแต่งที่เกิดการสะสมปริมาณ ethanol และ acetaldehyde เนื่องจากการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง เช่น กีวีสไลซ์ (Agar *et al.*, 1999) พืชสไลซ์ (Gorny *et al.*, 1999) มะม่วงตัดแต่ง (Beaulieu and Lea, 2003) เลมอนตัดแต่ง (Artés-Hernández *et al.*, 2007) และสับปะรดตัดแต่ง (Montero-Calderón *et al.*, 2010) ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณของ ethanol และ acetaldehyde เมื่อมีความเข้มข้นสูง อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านกลิ่นรสของผลไม้ได้

จากผลการทดลอง พบว่าในระยะเริ่มต้นของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งมีปริมาณความเข้มข้นของ acetaldehyde ซึ่งมีลักษณะกลิ่นแอลกอฮอล์ (alcoholic) และกลิ่นคล้ายผัก (vegetable) ก่อนข้างต่ำ หลังจากผ่านไป 2 สัปดาห์ acetaldehyde มีการเพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเพิ่มขึ้นถึง 7-9 เท่าในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของ acetaldehyde ในส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกชนิด พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษา ภาพที่ 18 (A) โดยเฉพาะในส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE จะมีปริมาณ acetaldehyde เพิ่มขึ้นมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของ ethanol ซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะกลิ่นแอลกอฮอล์ (alcoholic) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ acetaldehyde ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา โดยปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา และเพิ่มสูงถึง 85-110 เท่าในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 18 (B) โดยส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE มีการสะสมปริมาณ ethanol มากกว่าส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นในช่วง 3 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา ส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มต่างๆ มีปริมาณ ethanol ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE, PVC และ LDPE ยังคงไม่เกิดรสชาติที่ผิดปกติไป โดยปริมาณ ethanol ที่มากกว่าร้อยละ 0.1 จะทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสในส้ม Valencia (Ke and Kader, 1990)

การเปลี่ยนแปลงของ acetaldehyde และ ethanol ในส้มโอตัดแต่งสอคล้องกับงานวิจัยของ Del-Valle *et al.* (2009) ซึ่งทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารระเหยในส้ม Mandarin ตัดแต่งจากการใช้สภาพบรรยากาศดัดแปลง (MAP) ในสภาวะ $18\%O_2+3\%CO_2$, $15\%O_2+6\%CO_2$ และ $11\%O_2+10\%CO_2$ เปรียบเทียบกับสภาพบรรยากาศปกติ พบว่าที่ระดับ $11\%O_2+10\%CO_2$ ส้ม Mandarin ตัดแต่งมีปริมาณของ ethanol และ acetaldehyde มากกว่าในสภาวะอื่นๆ ทั้งนี้ในสภาวะที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงยังส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของ ethanol และ acetaldehyde ที่พบในกีวีตัดแต่งและพีชสไลซ์ (Agar *et al.*, 1999; Gorny *et al.*, 1999) นอกจากนี้ Montero-Calderón *et al.* (2010) ทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการบรรจุสับปะรดตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยใช้สภาวะที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ ($12\%O_2$, $1\%CO_2$), ปริมาณแก๊สออกซิเจนสูง ($38\%O_2$) และสภาพบรรยากาศปกติ พบว่าสับปะรดตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนสูงเกิดการสะสมของ ethanol และ acetaldehyde มากกว่าในสับปะรดตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและสภาพบรรยากาศปกติ เช่นเดียวกับ Luengwilai *et al.* (2007) ศึกษาผลของสภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงของส้ม Mandarin พันธุ์ Clemenules Clementine และพันธุ์ W. Murcott พบว่าส้ม Mandarin พันธุ์ Clemenules Clementine และพันธุ์ W. Murcott ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจน 1, 3 และ 5 kPa เกิดการสะสมของปริมาณ ethanol และ acetaldehyde มากกว่าในส้มที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ acetaldehyde (A) และปริมาณ ethanol (B) ของส้อมไอต์ดัดแปลงที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ทั้งนี้การที่ส้มโอตัดแต่งปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีปริมาณ acetaldehyde และ ethanol สูงที่สุด เนื่องมาจากภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE เกิดการสะสมปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าภาชนะบรรจุส้มโอตัดแต่งที่ปิดด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ ทำให้ส้มโอตัดแต่งเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการหายใจจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic) ไปเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) (จริงแท้, 2549) ส่งผลให้ค่า pH ของไซโตพลาสซึม (cytoplasmic) ในพืชลดลง จนไปเหนี่ยวนำกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไพรูเวตคาร์บอกซิเลส (pyruvate decarboxylase) และแอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase) ทำให้เกิดการสะสมปริมาณ ethanol และ acetaldehyde เพิ่มขึ้นจนเกิดเป็นกระบวนการหมัก (fermentation) ในเนื้อเยื่อได้ (Ke *et al.*, 1991b; Shi *et al.*, 2005) ซึ่งการเกิดการสะสมปริมาณ ethanol และ acetaldehyde ในเนื้อเยื่อจะส่งผลต่อการเกิดการสูญเสียกลิ่นรสของผักผลไม้ (Thompon, 1998) เช่น ในแอปเปิ้ลที่มีความเข้มข้น ethanol มากกว่า $6.5 \mu\text{L L}^{-1}$ จะทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติขึ้น (Folchi *et al.*, 1995) สตรอเบอรี่สายพันธุ์ Selva มีระดับความเข้มข้น ethanol และ acetaldehyde สูงสุดที่ยอมรับได้ คือ $63 \mu\text{L L}^{-1}$ และ $8.1 \mu\text{L L}^{-1}$ ตามลำดับ (Ke *et al.*, 1991a) คุณภาพทางด้านกลิ่นรสของส้ม Mandarin จะลดลงเมื่อมี ethanol มากกว่า $1500 \mu\text{L L}^{-1}$ (Hagenmaier and Shaw, 2002) และพบเกิดกลิ่นรสผิดปกติในส้มสายพันธุ์ Valencia เมื่อระดับความเข้มข้น ethanol และ acetaldehyde มีค่ามากกว่า $1000 \mu\text{L L}^{-1}$ และ $20 \mu\text{L L}^{-1}$ ตามลำดับ (Ke and Kader, 1990) นอกจากนี้การเกิดกระบวนการหมักยังขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ ระยะเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลผลิต (Pesis, 2005; Luengwilai *et al.*, 2007)

จากการศึกษาผลของสภาพบรรยากาศตัดแปลง โดยใช้ฟิล์มชนิด PE ($11\%\text{O}_2 + 2\%\text{CO}_2$), PVC ($9\%\text{O}_2 + 3\%\text{CO}_2$) และ LDPE ($7\%\text{O}_2 + 6\%\text{CO}_2$) ในการปิดผนึกภาชนะบรรจุส้มโอตัดแต่ง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่ง อาจกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศตัดแปลงจากการปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งได้เป็นระยะเวลานานถึง 6 สัปดาห์ โดยส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE ช่วยชะลอการเปลี่ยนสารให้กลิ่นสำคัญได้ดีที่สุด รองลงมาคือส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC และ LDPE ตามลำดับ นอกจากนี้สารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศตัดแปลงมีปริมาณลดลงตามอายุการเก็บรักษา

2.5 ผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ด้วยวิธี QDA (Quantitative Descriptive Analysis) โดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 16 คน (นิสิตปริญญาโท กลุ่มวิจัย และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์) ทำการทดสอบชิมตัวอย่าง เพื่อบอกคุณลักษณะกลิ่นรสและให้คะแนนความเข้มของส้มโอตัดแต่ง โดยกำหนดให้ค่าคะแนนความเข้มตั้งแต่ 0 (ไม่มีกลิ่นรส) จนถึง 10 (กลิ่นรสมาก) ซึ่งในแต่ละตัวอย่างประกอบด้วยส้มโอสด และส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC หรือ LDPE

ในการทดลองนี้ใช้ส้มโอสด หรือส้มโอที่แกะเปลือกใหม่ทุกครั้งที่มีการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกๆ 1 สัปดาห์ของการเก็บรักษาเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบกับส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC หรือ LDPE โดยส้มโสดนั้นจะเป็นตัวอย่างในรุ่นเดียวกันกับส้มโอที่นำมาตัดแต่งแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ และทำการเก็บรักษาตัวอย่างส้มโอสด (ส้มโอทั้งผล) ไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

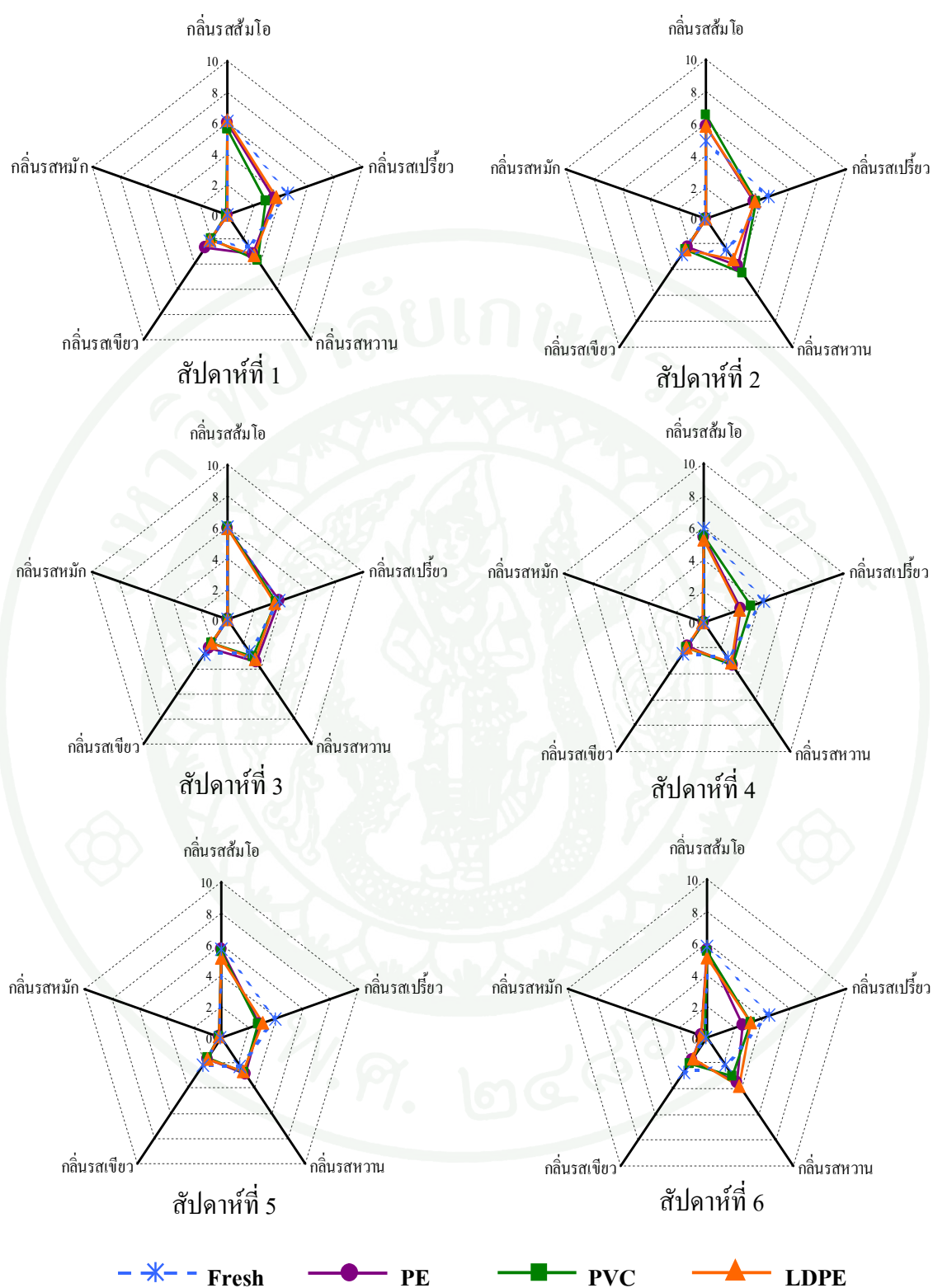
จากการอภิปรายกลุ่มผู้ทดสอบพบว่าคุณลักษณะกลิ่นรสในส้มโอตัดแต่งประกอบด้วย 5 คุณลักษณะ ได้แก่ กลิ่นรสส้มโอ กลิ่นรสเปรี้ยว กลิ่นรสหวาน กลิ่นรสเขียว และกลิ่นรสหมัก และจากการประเมินคุณลักษณะกลิ่นทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะกลิ่นรสของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE ซึ่งมีปริมาณแก๊สออกซิเจนและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุเท่ากับ $11\%O_2 + 2\%CO_2$, $9\%O_2 + 3\%CO_2$ และ $7\%O_2 + 6\%CO_2$ ตามลำดับ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าตัวอย่างส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดมีโครงสร้างองค์ประกอบกลิ่นรสและคะแนนความเข้มของกลิ่นรสใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 19 ซึ่งมีกลิ่นรสส้มโอเป็นหลัก กลิ่นรสเปรี้ยว กลิ่นรสหวาน และกลิ่นรสเขียว เป็นกลิ่นรสที่มีความสำคัญรองลงมาตามลำดับ อย่างไรก็ตามในระหว่างการเก็บรักษาค่าคะแนนความเข้มของกลิ่นรสหมักในส้มโอตัดแต่งพบได้น้อยมาก

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มของกลิ่นรสในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นระดับคะแนนความเข้มของกลิ่นรสส้มโอ กลิ่นรสเปรี้ยว และกลิ่นรสเขียวจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่กลิ่นรส

หมักมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และคะแนนความเข้มของกลิ่นรสหวานมีระดับค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ดังตารางที่ 18

กลิ่นรสส้มโอเป็นกลิ่นรสหลักในส้มโอตัดแต่ง โดยมีระดับคะแนนความเข้มอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 คะแนน ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญที่พบในส้มโอตัดแต่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ซึ่งพบว่าสารให้กลิ่นสำคัญที่มีลักษณะกลิ่นสัมพันธ์กับกลิ่นส้มโอและกลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม เช่น *l*-limonene (กลิ่นมินท์ กลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม), valencene (กลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม), *trans*- β -caryophyllene (กลิ่นสมุนไพร กลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม), α -terpinene (กลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม กลิ่นเลมอน กลิ่นสดชื่น) และ nootkatone (กลิ่นเกรฟฟรุต กลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม) ในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์ลดลงจากส้มโอสด โดยในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3, 5 และ สัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE และ PVC มีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสส้มโอไม่แตกต่างจากส้มโอสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีคะแนนความเข้มกลิ่นรสส้มโอต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ในส่วนกลิ่นรสเปรี้ยวมีระดับคะแนนความเข้มอยู่ในช่วง 3 ถึง 5 คะแนน โดยส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีคะแนนความเข้มกลิ่นรสเปรี้ยวน้อยกว่าส้มโอสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) สอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ซึ่งมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา ซึ่งคะแนนความเข้มของกลิ่นรสเปรี้ยวในส้มโอสดและส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งนาน 6 สัปดาห์ พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE มีคะแนนความเข้มกลิ่นรสเปรี้ยวน้อยกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC, LDPE และส้มโอสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)



ภาพที่ 19 แผนภาพความเข้มของคุณลักษณะกลิ่นรสในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสหวาน อยู่ในช่วง 2 ถึง 4 คะแนน และมีระดับก่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ตลอดอายุการเก็บรักษา พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสหวานมากกว่าส้มโอสด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งในสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษาความเข้มข้นของกลิ่นรสหวานในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

กลิ่นรสเขียวในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกชนิดมีคะแนนความเข้มลดลง เมื่ออายุเก็บรักษามากขึ้น ซึ่งกลิ่นรสเขียวเป็นกลิ่นรสที่สามารถบ่งบอกถึงความสดของส้มโอตัดแต่งได้ โดยมีระดับคะแนนความเข้มอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 คะแนน สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ nonanal และ decanal จากผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS โดยพบว่าภายหลังการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งเป็นเวลา 1 สัปดาห์ nonanal และ decanal จะมีปริมาณลดลงและค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนความเข้มของกลิ่นรสเขียวในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ กับส้มโอสด พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสเขียวน้อยกว่าส้มโอสด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา โดยในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสเขียวต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับกลิ่นรสหมักถึงแม้ว่าจะไม่ได้เป็นกลิ่นรสที่แสดงความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวหรือคุณลักษณะกลิ่นของส้มโอ แต่เป็นกลิ่นรสที่สามารถบ่งบอกหรือใช้ในการประเมินการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของส้มโอตัดแต่งได้ เพราะเมื่อเกิดกลิ่นรสหมักขึ้นในระดับสูง อาจทำให้ส้มโอตัดแต่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ จึงถือได้ว่ากลิ่นรสหมัก เป็นกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์หรือไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในส้มโอตัดแต่ง จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ากลิ่นรสหมักในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในช่วง 4 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษามีคะแนนความเข้มไม่แตกต่างกับส้มโอสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสหมักมากกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC, PE และส้มโอสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ ethanol และ acetaldehyde ในสัปดาห์ที่ 5 ของการเก็บรักษาซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่กลุ่มผู้ทดสอบสามารถรับรู้ถึงกลิ่นรสหมักในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE ได้

อยู่ที่ 6301 ng/g และ 459 ng/g ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของ ethanol และ acetaldehyde ที่พบในตัวอย่อก็ยังไม่ส่งผลต่อคุณภาพด้านกลิ่นรสของส้มโอตัดแต่ง ทั้งนี้ค่าคะแนนความเข้มของกลิ่นรสหลักที่เพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษายังคงมีค่าน้อยมาก ซึ่งมีระดับคะแนนความเข้มต่ำกว่า 0.5 คะแนน

จากการทดลองสอดคล้องกับปริมาณ ethanol และ acetaldehyde ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ซึ่งพบว่าปริมาณ ethanol และ acetaldehyde จะมีปริมาณสูงขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และในระยะสุดท้ายของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE จะมีปริมาณ ethanol และ acetaldehyde มากกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วย GC-MS ยังพบว่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ ethanol และ acetaldehyde พบในระดับต่ำ (ต่ำกว่า 10 $\mu\text{g/g}$ และ 0.6 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ) และมีความเข้มข้นต่ำกว่ารายงานของ Ke and Kader (1990) ซึ่งกล่าวว่าความเข้มข้นของ ethanol และ acetaldehyde ที่มีปริมาณมากกว่า 1000 $\mu\text{l/l}$ และ 20 $\mu\text{l/l}$ ตามลำดับ จะส่งผลต่อคุณภาพทางด้านกลิ่นรสของส้ม Valencia โดยอาจทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสและเกิดกลิ่นรสผิดปกติได้

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าสภาพบรรยากาศดัดแปลงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของส้มโอที่ผ่านการตัดแต่งในช่วงการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ ซึ่งกลิ่นรสส้มโอ กลิ่นรสเปรี้ยว และกลิ่นรสเขียว มีคะแนนความเข้มลดลงเพียงเล็กน้อย และกลิ่นรสหวานมีคะแนนความเข้มค่อนข้างคงที่ ในขณะที่กลิ่นรสหลักมีคะแนนความเข้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงท้ายของการเก็บรักษา โดยส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสส้มโอต่ำกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE และ PVC นอกจากนี้ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสหลักมากกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 18 คะแนนความเข้มคุณลักษณะของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ
ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

คุณลักษณะ กลิ่นรส	ฟิล์ม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
		1	2	3	4	5	6
กลิ่นรสส้มโอ	Fresh	6.03 a	6.90 a	5.96 a	5.88 a	5.77 a	5.75 a
	PE	5.98 a	6.50 a	5.88 a	5.39 b	5.72 a	5.50 a
	PVC	6.03 a	6.03 a	5.66 a	5.42 b	5.50 a	5.47 a
	LDPE	5.55 b	5.84 b	5.58 b	5.17 b	5.11 b	5.06 b
กลิ่นรสเปรี้ยว	Fresh	4.47 a	4.53 a	3.75 a	4.33 a	3.94 a	4.48 a
	PE	3.41 b	3.41 b	3.80 a	2.69 c	2.81 b	2.63 c
	PVC	2.83 c	3.55 b	3.53 a	3.38 b	2.75 b	3.14 b
	LDPE	3.64 b	3.52 b	3.50 a	2.58 c	3.05 b	3.19 b
กลิ่นรสหวาน	Fresh	2.56 c	2.38 d	2.59 b	2.77 b	2.23 b	2.09 b
	PE	3.13 b	3.64 b	3.41 a	3.28 a	2.91 a	3.56 a
	PVC	3.61 a	4.27 a	3.34 a	3.28 a	2.72 a	3.02 ab
	LDPE	3.16 b	3.14 c	3.27 a	3.19 a	2.64 a	3.75 a
กลิ่นรสเขียว	Fresh	2.11 b	2.81 a	2.78 a	2.41 a	2.13 a	2.70 a
	PE	2.59 a	2.16 b	2.22 b	1.80 b	1.67 b	1.75 b
	PVC	2.89 a	2.42 b	1.94 b	1.94 b	1.63 b	1.75 b
	LDPE	2.63 a	2.39 b	1.97 b	1.95 b	1.67 b	1.67 c
กลิ่นรสหมัก	Fresh	0.02 a	0.06 a	0.00 a	0.03 a	0.05 c	0.09 c
	PE	0.00 a	0.02 a	0.00 a	0.00 a	0.16 b	0.36 b
	PVC	0.06 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.16 b	0.14 c
	LDPE	0.03 a	0.03 a	0.02 a	0.10 a	0.25 a	0.41 a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละช่วงระหว่างชนิดฟิล์มที่ใช้ปิดผนึกส้มโอตัดแต่งในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

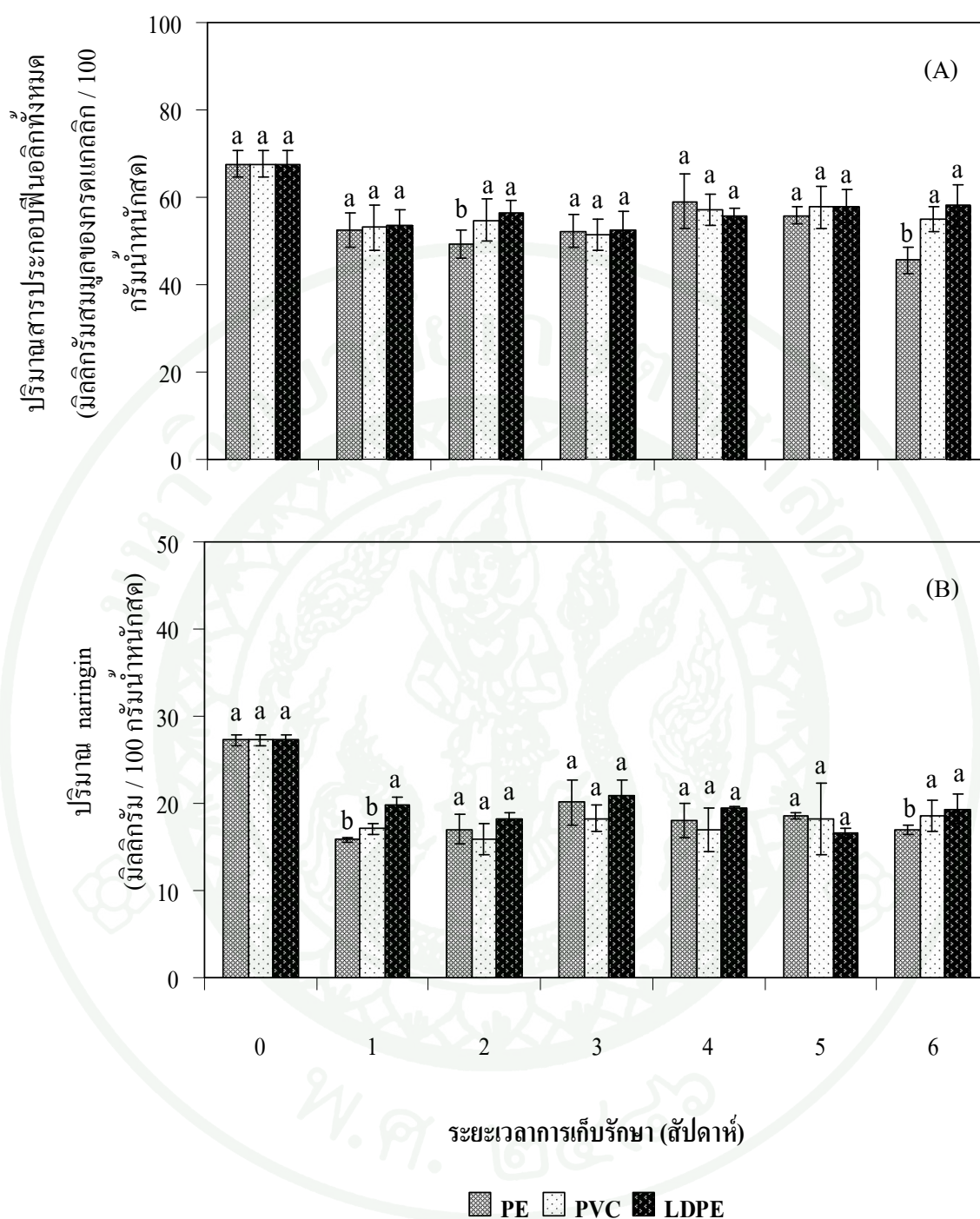
2.6 ผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

การศึกษาผลของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ชนิดฟิล์มปิดผนึกแตกต่างกัน ได้แก่ PE ($11\%O_2 + 2\%CO_2$), PVC ($9\%O_2 + 3\%CO_2$) และ LDPE ($7\%O_2 + 6\%CO_2$) ต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกของส้มโอตัดแต่ง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 45.67 ± 3.06 ถึง 59.02 ± 6.28 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งทุกชนิดฟิล์มที่ใช้ปิดผนึกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับส้มโอสด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 67.67 ± 2.90 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพียงเล็กน้อย และคงที่จนถึงช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา (ภาพที่ 20A) และพบว่าในช่วงการเก็บรักษา 5 สัปดาห์แรกของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Artés-Hernández *et al.* (2007) ที่รายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเลมอนสไลซ์มีปริมาณลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการตัดแต่งส้มโอเป็นเพียงการลอกเอาเยื่อหุ้มกลีบออก จึงเกิดความเสียหายหรือบาดเจ็บแก่ชั้นส้มโอตัดแต่งน้อยมาก ซึ่งแตกต่างจากผลไม้ตัดแต่งทั่วไป ทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

การวิเคราะห์ปริมาณ naringin ในส้มโอตัดแต่ง โดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่า naringin เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีความโดดเด่นในส้มโอสด สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Rouseff *et al.* (1987) และ Gorinstein *et al.* (2006) ซึ่งรายงานว่า naringin เป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักที่สำคัญในส้มโอ ส่วน hesperidin และ neohesperidin พบได้ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับ naringin สำหรับส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีปริมาณ naringin ในช่วง 15.87 ± 0.27 ถึง 20.97 ± 1.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าสารประกอบ naringin ในส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิดเมื่อเทียบกับส้มโอสด (27.24 ± 0.63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) มีปริมาณลดลง หลังจากนั้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบ naringin ในส้มโอตัดแต่งมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (ภาพที่ 20B) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในส้มโอตัดแต่ง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม

ที่ใช้ปิดผนึกต่อปริมาณสารประกอบ naringin ในส้มโอตัดแต่ง พบว่าในช่วง 5 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาปริมาณสารประกอบ naringin ในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC และ PE มีแนวโน้มปริมาณสารประกอบ naringin ลดลงในช่วงการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตาม Montero-Calderón *et al.* (2010) รายงานว่าสับปะรดตัดแต่งที่เก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีออกซิเจนต่ำ จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่า สับปะรดตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีออกซิเจนสูง และและสภาพบรรยากาศปกติ นอกจากนี้ในปี 2010 Odriozola-Serrano *et al.* ศึกษาผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุ ($2.5 \text{ kPa O}_2 + 7 \text{ kPa CO}_2$, $10 \text{ kPa O}_2 + 5 \text{ kPa CO}_2$, 21 kPa O_2 , 60 kPa O_2 และ 80 kPa O_2) ต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกพบว่าสตรอ-เบอร์รี่ตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุสูงเกิดการสูญเสียกรดฟีนอลิกพวก *p*-coumaric acid, hydroxybenzoic acid และ ellagic acid มากกว่าสตรอเบอร์รี่ตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุปริมาณต่ำ



ภาพที่ 20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (A) และปริมาณ naringin (B) ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันระหว่างชนิดฟิล์มที่ใช้ปิดผนึกส้มโอตัดแต่งในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 19 ร้อยละการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และร้อยละการลดลงของนารินจิน ในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดฟิล์ม	ร้อยละการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด					
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6
PE	22.50 ^a	27.19 ^a	22.70 ^a	12.78 ^a	17.57 ^a	32.52 ^a
PVC	21.56 ^a	19.10 ^b	23.88 ^a	15.54 ^a	14.71 ^a	18.75 ^b
LDPE	20.77 ^a	16.48 ^b	22.45 ^a	17.77 ^a	14.26 ^a	14.16 ^b

ชนิดฟิล์ม	ร้อยละการลดลงของนารินจิน					
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6
PE	41.76 ^a	37.57 ^a	26.23 ^a	33.92 ^a	31.90 ^a	37.46 ^a
PVC	37.22 ^a	41.72 ^a	32.97 ^a	37.56 ^a	33.17 ^a	31.74 ^b
LDPE	26.91 ^b	33.02 ^a	23.02 ^a	28.69 ^a	38.73 ^a	28.93 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งระหว่างชนิดฟิล์มที่ใช้ปิดผนึกส้มโอตัดแต่งในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ร้อยละการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และ naringin ในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 19 การลดลงของนารินจินสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ลดลง ในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE มีร้อยละการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และ naringin มากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.52 และ 37.46 ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PVC และ LDPE ตามลำดับ

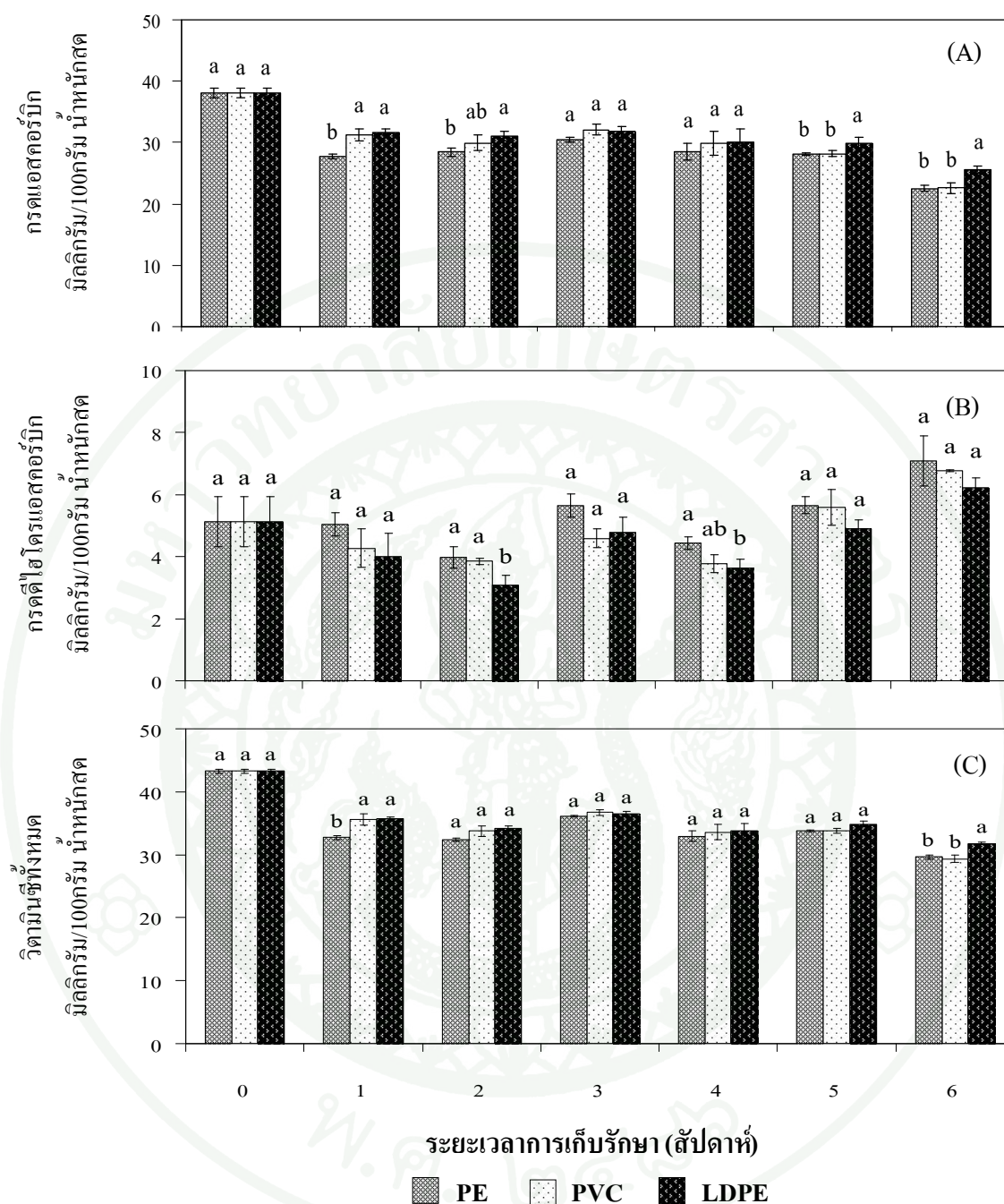
นอกจากนี้พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีร้อยละการลดลงของ naringin (อยู่ในช่วงร้อยละ 23.02 ถึง 41.76) มากกว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (อยู่ในช่วงร้อยละ 12.78 ถึง 32.52) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เป็นการหาค่าของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พบได้ในตัวอย่าง ไม่ได้เจาะจงเฉพาะสารใดสารหนึ่ง ทำให้ค่าของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีอิทธิพลมาจากสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดส่งผล

ร่วมกัน ทำให้ร้อยละการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าร้อยละการลดลงของ naringin

2.7 ผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อปริมาณวิตามินซีของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

จากการศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดคลอโรแอสคอร์บิก และปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE ซึ่งมีปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดังนี้ $11\%O_2 + 2\%CO_2$, $9\%O_2 + 3\%CO_2$ และ $7\%O_2 + 6\%CO_2$ ตามลำดับ โดยพบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกชนิดมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่ากรดคลอโรแอสคอร์บิก (ภาพที่ 21A และ 21B) และมีแนวโน้มว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกชนิดลดลงจากส้มโอสด (วันที่ 0) ในช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มทุกชนิดมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงเล็กน้อย หลังจากนั้นปริมาณของกรดแอสคอร์บิกจะค่อนข้างคงที่จนลดลงอีกครั้งในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา (ภาพที่ 21A)

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดคลอโรแอสคอร์บิก พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิดจะมีปริมาณกรดคลอโรแอสคอร์บิกลดลงในช่วง 2 สัปดาห์แรกภายหลังการตัดแต่ง และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงช่วงท้ายของการเก็บรักษา (ภาพที่ 21B) กล่าวคือการดัดแปลงสภาพบรรยากาศให้มีแก๊สออกซิเจนในปริมาณต่ำ สามารถช่วยป้องกันการเพิ่มขึ้นของกรดคลอโรแอสคอร์บิกได้ถึง 4 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของชนิดฟิล์มต่อปริมาณกรดคลอโรแอสคอร์บิกในส้มโอตัดแต่ง พบว่าชนิดฟิล์มที่ใช้ในการปิดผนึกส้มโอตัดแต่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) การเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดในส้มโอตัดแต่ง พบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิดมีแนวโน้มลดลงจากส้มโอสด (วันที่ 0) กรดแอสคอร์บิกทั้งหมดจะมีปริมาณลดลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจะมีปริมาณคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดส่วนใหญ่ของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกและบรรจุด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ภาพที่ 21C)



ภาพที่ 21 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (A) ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (B) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (C) ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันระหว่างชนิดฟิล์มที่ใช้ปิดผนึกส้มโอตัดแต่งในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 20 ร้อยละการลดลงของปริมาณวิตามินซีทั้งหมดในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอสด

ชนิดฟิล์ม	ร้อยละการลดลงของปริมาณวิตามินซีทั้งหมด					
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6
PE	24.38 ^a	25.08 ^a	16.67 ^a	23.91 ^a	21.87 ^a	31.49 ^a
PVC	17.84 ^b	22.02 ^a	15.19 ^a	22.40 ^a	21.93 ^a	32.15 ^a
LDPE	17.49 ^b	21.08 ^a	15.53 ^a	21.98 ^a	19.47 ^a	26.51 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 20 แสดงร้อยละการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิด พบว่าภายหลังการตัดแต่งเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ร้อยละการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดในส้มโอตัดแต่งทุกชนิดฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากส้มโอสด (วันที่ 0) และในช่วง 5 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีร้อยละการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งนานเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE, PVC และ PE มีร้อยละการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดลดลงเท่ากับ 26.51, 32.15 และ 31.49 ตามลำดับ

Rojas-Graü *et al.* (2009) กล่าวว่า การสูญเสียกรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบภายในภาชนะบรรจุที่ใช้ในการเก็บรักษาและการลดลงของปริมาณวิตามินซีในผักผลไม้ตัดแต่งขณะเก็บรักษามีผลมาจากโมเลกุลออกซิเจนที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งปริมาณวิตามินซีที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ (Soliva-Fortuny *et al.*, 2002) โดยปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ระดับสูงภายในภาชนะบรรจุมีการลดลงของวิตามินซีในขณะเก็บรักษาได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาชนะบรรจุที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ (Odriozola-Serrano *et al.*, 2010) กล่าวคือในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกไปเป็นกรดไฮโดรแอสคอร์บิก ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้แต่ไม่ค่อยเสถียร (Erdman and Klein, 1982) แต่ยังคงคุณสมบัติของการเป็นวิตามินซี จากนั้นกรด

ดีไฮโดรแอสคอบิกถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น 2, 3-diketogulonic acid ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี (Katherine *et al.*, 2003)

ดังนั้นปริมาณออกซิเจนจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคงตัวของกรดแอสคอร์บิก ทั้งนี้ในกรณีที่เก็บในสภาวะบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนสูงอาจเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดดีไฮโดรแอสคอบิกไปเป็น 2, 3-diketogulonic acid มากขึ้นและสามารถเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลต่อไปได้ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับไปเป็นกรดแอสคอร์บิกได้ต่ำ วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกมีความคงตัวต่ำสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความคงตัวของวิตามินซี เช่น ความเป็นกรด-เบส ความเข้มข้นของอนุมูลโลหะ อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา เป็นต้น ส่วนโลหะหนักจะเร่งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกให้เร็วขึ้น รวมถึงเอนไซม์อีกหลายชนิดที่เร่งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ เช่น กรดแอสคอร์บิกออกซิเดส (ascorbic acid oxidase) ฟีนอลเลส (phenolase) ไซโทโครมออกซิเดส (cytochrom oxidase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) โดยการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนร่วมด้วย (Erdman and Klein, 1982) ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งเป็นเวลานาน ออกซิเจนสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ ทำให้วิตามินซีสูญเสียสภาพได้ เอนไซม์เหล่านี้พบมากในผักและผลไม้สดซึ่งจะเร่งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกในผักและผลไม้สดได้เมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้สดเกิดการเสียหายเนื่องจากการปอก หั่น หรือเกิดรอยชำ (Marks, 1993) ดังนั้นการตัดแต่งผลไม้ซึ่งทำให้เกิดบาดแผล อาจเป็นสาเหตุของการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอร์บิกได้เช่นกัน โดยเพิ่มการโดนแสงและอากาศของผลไม้มากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุการสูญเสียของกรดแอสคอร์บิก

จากงานวิจัยของ Odriozola-Serrano *et al.* (2010) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของสตรอเบอร์รี่ตัดแต่งเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศ 2.5 kPa O₂ + 7 kPa CO₂, 10 kPa O₂ + 5 kPa CO₂, 21 kPa O₂, 60 kPa O₂ และ 80 kPa O₂ พบว่าปริมาณวิตามินซีของสตรอเบอร์รี่ตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศ 80 kPa O₂ มีระดับต่ำกว่าสตรอเบอร์รี่ตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศอื่นๆ และ Agar *et al.* (1999) กล่าวว่าก๊วยตัดแต่งเก็บในสภาพบรรยากาศที่ระดับแก๊สออกซิเจนต่ำสามารถรักษาระดับปริมาณกรดแอสคอร์บิก กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และวิตามินซีทั้งหมดได้ดีกว่าการเก็บก๊วยตัดแต่งที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูง (อากาศร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ 10 kPa และอากาศร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 kPa) โดยสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 0.5, 2 หรือ 4 kPa เมื่อเก็บรักษานาน 12 วัน พบว่าก๊วยตัดแต่งที่เก็บในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 4 kPa มีร้อยละการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอร์บิกเมื่อเทียบระยะเริ่มต้นมากที่สุด นอกจากนี้งานวิจัยของ Montero-Calderón *et al.* (2010) ศึกษาถึงอิทธิพลของการบรรจุสับปะรดตัดแต่งในสภาพบรรยากาศ

ดัดแปลงโดยใช้สภาวะที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ ($12\% \text{O}_2$, $1\% \text{CO}_2$), ปริมาณแก๊สออกซิเจนสูง ($38\% \text{O}_2$) และสภาพบรรยากาศปกติ พบว่าสับปะรดตัดแต่งเก็บรักษาในสภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนสูง ($38\% \text{O}_2$) มีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าในสับปะรดตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำ ($12\% \text{O}_2$, $1\% \text{CO}_2$) และสภาพบรรยากาศปกติ

อย่างไรก็ตามในปี 2009 Del-Valle *et al.* ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในส้ม Mandarin ตัดแต่งจากการใช้สภาพบรรยากาศดัดแปลง (MAP) ในสภาวะ $18\% \text{O}_2 + 3\% \text{CO}_2$, $15\% \text{O}_2 + 6\% \text{CO}_2$ และ $11\% \text{O}_2 + 10\% \text{CO}_2$ เปรียบเทียบกับสภาพบรรยากาศปกติ พบว่าสภาพบรรยากาศดัดแปลงแต่ละสภาวะมีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกัน แต่ทว่าในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษาส้ม Mandarin ตัดแต่งในสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนสูงเกิดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีมากที่สุด เช่นเดียวกันกับ Wright and Kader (1997) พบว่าสภาพบรรยากาศควบคุมไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีทั้งหมดในสตรอเบอรี่ตัดแต่งและลูกพลับตัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญ และ Izumi *et al.* (2003) รายงานว่ามะม่วงตัดแต่งพันธุ์ Carabao (ระยะผลถึงสุกมีผิวสีเหลืองร้อยละ 20-30) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 6 วัน มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำที่ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 ไม่แตกต่างกับสภาพบรรยากาศปกติ

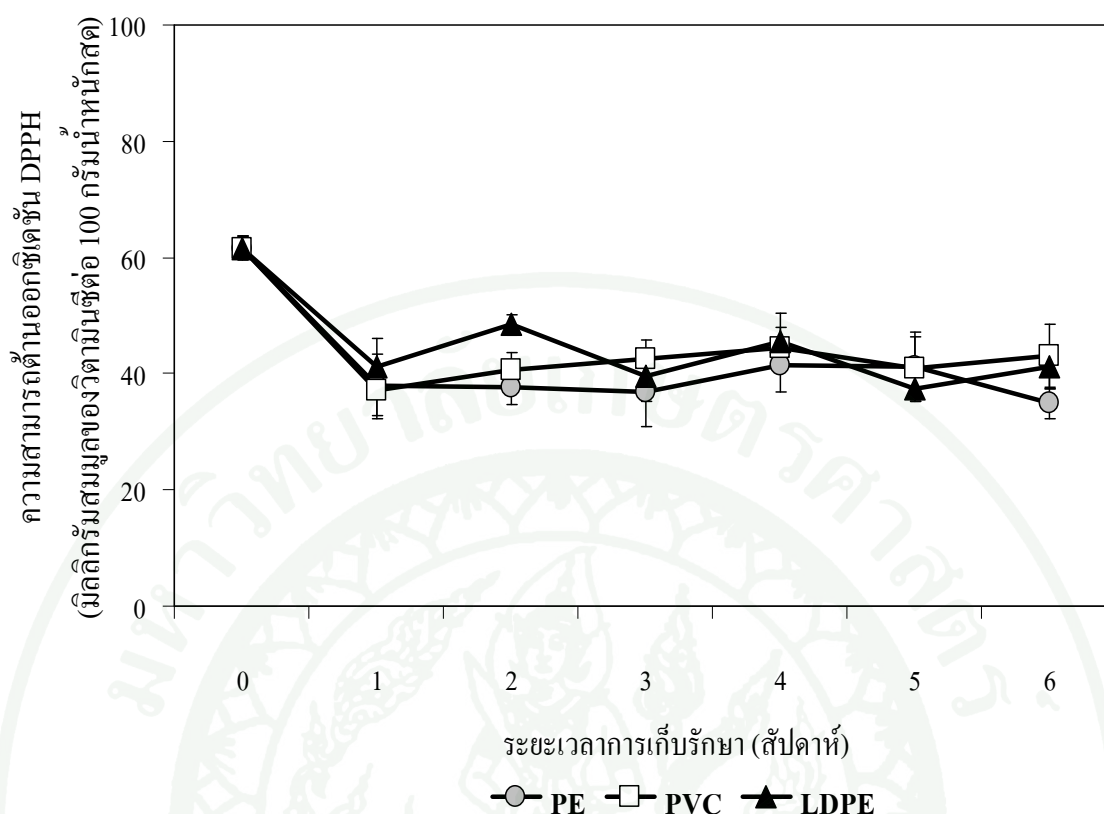
จากผลการทดลอง อาจกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มชนิด PE ($11\% \text{O}_2 + 2\% \text{CO}_2$), PVC ($9\% \text{O}_2 + 3\% \text{CO}_2$) และ LDPE ($7\% \text{O}_2 + 6\% \text{CO}_2$) ในการปิดผนึกภาชนะบรรจุ สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงและรักษาปริมาณของวิตามินซีในส้มโอตัดแต่งได้เป็นระยะเวลานาน Thompson (1998) กล่าวว่า การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยชะลอการสูญเสียวิตามินซี สอดคล้องกับการรายงานของ Piga *et al.* (2002) พบว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงช่วยรักษาปริมาณวิตามินซีในส้ม Mandarin ตัดแต่งพันธุ์ Avana และส้ม Satsuma พันธุ์ Okitsu ได้

2.8 ผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถด้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

การศึกษาความสามารถด้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE ($11\% \text{O}_2 + 2\% \text{CO}_2$), PVC ($9\% \text{O}_2 + 3\% \text{CO}_2$) และ LDPE ($7\% \text{O}_2 + 6\% \text{CO}_2$) ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยตรวจวัดความสามารถด้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH จากการทดลองพบว่าความสามารถด้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด

ต่างๆ มีค่าตั้งแต่ 34.90 ถึง 48.42 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความสามารถด้านออกซิเดชันในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิด มีปริมาณลดลงจากตัวอย่างส้มโอสด (วันที่ 0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 61.63 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) สำหรับร้อยละการลดลงของความสามารถด้านออกซิเดชันในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มต่างๆ ที่เก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 21 ถึง ร้อยละ 43 (ตารางที่ 21) การเปลี่ยนแปลงของความสามารถด้านออกซิเดชันในส้มโอตัดแต่งเห็นได้ชัดเจนในช่วงสัปดาห์แรกภายหลังการเก็บรักษา หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษาจนถึงสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษาความสามารถด้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งในทุกชนิดฟิล์มจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษาดังภาพที่ 22 โดยในช่วงการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มแต่ละชนิดมีค่าความสามารถด้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ในขณะทำงานวิจัยของ Odriozola-Serrano *et al.* (2010) ซึ่งศึกษาผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อความสามารถด้านออกซิเดชันของสตอเบอรี่ที่ตัดแต่งที่สภาพบรรยากาศ 2.5 kPa O₂+7 kPa CO₂, 10 kPa O₂+5 kPa CO₂, 21 kPa O₂, 60 kPa O₂ และ 80 kPa O₂ พบว่าสตอเบอรี่ที่ตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำ (2.5 kPa O₂+7 kPa CO₂) มีความสามารถด้านออกซิเดชันมากกว่าสตอเบอรี่ที่ตัดแต่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูง เช่นเดียวกันกับ Montero-Calderón *et al.* (2010) และ Oms-Oliu *et al.* (2008) รายงานว่าความสามารถด้านออกซิเดชันของสับปะรดตัดแต่งและเมลอนตัดแต่งมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูง



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 21 ร้อยละการลดลงของความสามารถด้านออกซิเดชันในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอสด

ชนิดฟิล์ม	ร้อยละการลดลงของความสามารถด้านออกซิเดชัน					
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6
PE	38.50 ^a	38.71 ^a	40.03 ^a	32.70 ^a	33.29 ^a	43.37 ^a
PVC	39.75 ^a	34.09 ^a	31.13 ^b	27.82 ^a	33.66 ^a	30.03 ^b
LDPE	33.02 ^a	21.43 ^b	35.98 ^{ab}	25.96 ^a	39.29 ^a	33.34 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 22 ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบนารินจิน และวิตามินซี ทั้งหมด ของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

	ค่าสหสัมพันธ์ (R^2)		
	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	สารประกอบนารินจิน	วิตามินซีทั้งหมด
ความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH	0.9281	0.9798	0.9314

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบนารินจิน และวิตามินซีของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบนารินจิน และวิตามินซีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH พิจารณาได้จากค่าสหสัมพันธ์ ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์สูงเท่ากับ 0.9281, 0.9798 และ 0.9314 ตามลำดับ (ตารางที่ 22) แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบนารินจิน และวิตามินซี เป็นสารประกอบที่มีอิทธิพลและมีความสัมพันธ์ต่อความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH หรือสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอตัดแต่ง ทั้งนี้เนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบนารินจิน และวิตามินซีมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ดีในผลไม้ตระกูลส้ม (Del Caro *et al.*, 2004; Gardner *et al.*, 2000; Piga *et al.*, 2002)

การศึกษาผลของการบรรจุส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดยใช้ฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE เป็นตัวกำหนดสัดส่วนปริมาณของแก๊สที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ และเมื่อเข้าสู่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE มีค่าเท่ากับ $11\%O_2 + 2\%CO_2$, $9\%O_2 + 3\%CO_2$ และ $7\%O_2 + 6\%CO_2$ ตามลำดับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่น คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซีและความสามารถในการออกซิเดชัน อาจกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลง สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นสำคัญ คุณภาพทาง

ประสิทธิภาพด้านกลืนรส สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชัน ของส้มโอตัดแต่งได้เป็นระยะเวลานานถึง 6 สัปดาห์ โดยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด PE สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารให้กลืนสำคัญในส้มโอตัดแต่งได้ดีที่สุด รองลงมาคือ PVC และ LDPE ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงการเก็บรักษา 6 สัปดาห์คุณภาพทางประสิทธิภาพด้านกลืนรสของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีระดับความเข้มของกลืนรสส้มโอต่ำกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE และ PVC และในช่วงท้ายของการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีความเข้มของกลืนรสหมักมากกว่าส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ อีกทั้งลักษณะปรากฏภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE ยังเกิดไอน้ำที่เห็นได้อย่างชัดเจนบริเวณบนแผ่นฟิล์มของภาชนะบรรจุ ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามฟิล์มบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งได้ไม่แตกต่างกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การคัดเลือกสารระเหยที่มีบทบาทในการเป็นสารให้กลิ่น โดยพิจารณาจากคุณลักษณะของกลิ่นซึ่งเป็นกลิ่นที่สัมพันธ์กับกลิ่นส้มโอ และกลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม ร่วมกับค่า OAV ที่มีค่ามากกว่า 1 ได้จำนวนทั้งสิ้น 12 ชนิด ได้แก่ *l*-limonene, α -terpinolene, α -terpinene, δ -elemene, *trans*- β -caryophyllene, α -humulene, germacrene D, valencene, δ -cadinene, nootkatone, nonanal และ decanal
2. จากการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดยใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด PE, PVC และ LDPE เป็นตัวกำหนดสัดส่วนปริมาณของแก๊สที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ พบว่าเมื่อเข้าสู่สภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของส้มโอตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PVC และ LDPE มีค่าเท่ากับ $11\%O_2 + 2\%CO_2$, $9\%O_2 + 3\%CO_2$ และ $7\%O_2 + 6\%CO_2$ ตามลำดับ
3. ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ยังคงมีลักษณะปรากฏใกล้เคียงกันกับวันแรกของการเก็บรักษา แต่ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีไอน้ำปรากฏอยู่บนผิวฟิล์มภายในภาชนะบรรจุ นอกจากนี้ยังปรากฏลักษณะอาการเว้าลงของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ปิดผนึกส้มโอตัดแต่ง ซึ่งพบได้ในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ทุกชนิด และส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PVC เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด โดยไม่พบการสูญเสียน้ำหนักในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ
4. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงชนิด และปริมาณสารให้กลิ่นสำคัญของส้มโอตัดแต่งมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้น ethanol และ acetaldehyde ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น โดยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ปิดผนึกชนิด PE สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นสำคัญในส้มโอตัดแต่งได้ดีที่สุด รองลงมาคือ PVC และ LDPE ตามลำดับ
5. การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของส้มโอตัดแต่งสามารถแบ่งคุณลักษณะกลิ่นรสในส้มโอตัดแต่งเป็น 5 คุณลักษณะ ได้แก่ กลิ่นรสส้มโอ กลิ่นรสเปรี้ยว กลิ่นรส

หวาน และกลิ่นรสเขียว นอกจากนี้ยังมีกลิ่นรสหมัก ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ให้เกิดขึ้นใน ส้มโอตัดแต่ง หากมีความเข้มข้นสูง อาจทำให้ส้มโอตัดแต่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงใช้เป็น คุณลักษณะในการประเมินการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของส้มโอตัดแต่ง

6. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มของกลิ่นรสในส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึก ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ พบว่าระดับความเข้มของกลิ่นรสส้มโอ กลิ่นรสเปรี้ยว และกลิ่นรสเขียวมีค่า ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่กลิ่นรสหมักมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และความ เข้มของกลิ่นรสหวานมีระดับค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษา ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีระดับความเข้มของกลิ่นรสส้มโอต่ำกว่า ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE และ PVC นอกจากนี้ในช่วงท้ายของการเก็บ รักษาส้มโอตัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE มีความเข้มของกลิ่นรสหมักมากกว่า ส้มโอตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

7. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณนารินจิน ปริมาณวิตามิน ซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและ ค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ปิดผนึกส้มโอตัดแต่งทั้ง 3 ชนิด ช่วย รักษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณนารินจิน ปริมาณวิตามินซี และ ความสามารถต้านออกซิเดชันของส้มโอตัดแต่งได้ไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านความหลากหลายของชนิดฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการปิดผนึกส้อมโอ๊คตัดแต่งที่เหมาะสมต่อการรักษาคุณภาพด้านต่างๆ ของส้อมโอ๊คตัดแต่งมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้ผลิตในระดับต่างๆ

นอกจากนี้ปัจจัยด้านฤดูกาลของการเก็บเกี่ยวผลผลิตมีอิทธิพลต่อคุณภาพทางด้านกลิ่นรสและปริมาณสารสำคัญต่างๆ ในส้อมโอ๊คตัดแต่ง เช่น ในฤดูฝน อาจส่งผลทำให้คุณภาพทางด้านต่างๆ ของส้อมโอ๊คตัดแต่งลดลง ดังนั้นควรมีการศึกษาผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิตต่อคุณภาพของผลไม้ที่จะนำมาทำเป็นผลไม้ตัดแต่งด้วย

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ส้อมโอ๊คตัดแต่งพร้อมบริโภคทางด้านการยอมรับของผู้บริโภคในด้านต่างๆ เช่น ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และกลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์ส้อมโอ๊คตัดแต่ง เพื่อให้ทราบช่วงอายุการเก็บรักษาและสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมของส้อมโอ๊คตัดแต่งกับการยอมรับของผู้บริโภค โดยสามารถใช้เป็นข้อมูลสำคัญก่อนการนำไปใช้จริงกับอุตสาหกรรมอาหารได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กลุ่มสินค้าเกษตร. 2552. **ผลไม้ประเภทส้ม**. สถานการณ์ผลไม้และผลิตภัณฑ์. แหล่งที่มา:

<http://www.dft.moc.go.th>, 21 กรกฎาคม 2552.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 6.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ โฉมเฉลา. 2530. ส้มโอไม้เจ้าปัญหา. **วารสารสมาคมพืชสวน** 2: 86-49.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. **เคมีอาหาร**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ปิตรีตน์ กลิ่นธรรม. 2551. **การบรรจุส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งตัดแต่งพร้อมบริโภคในสภาพบรรยากาศ
ดัดแปลง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภุริสา ทศวิล. 2547. **ฟิล์มที่บริโภคได้สำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์ผลไม้สด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รวี เสฐฐักดี. 2523. **ไม้ผลทางอุตสาหกรรม II (ส้ม)**. เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาพืชสวน
542. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิจิตร วังใน. 2526. **ชนิดและพันธุ์ไม้ผลเมืองไทย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. 2541. **เอกสารวิชาการที่ 21 เรื่องส้มโอ**. โรงพิมพ์ชุมนุม
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2549. **สารต้าน
อนุมูลอิสระ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์พี. เอส. พรินท์, นนทบุรี.

- Abbey, S.D., E.K. Heaton, D.A. Golden and L.A. Beuchat. 1988. Microbiological and sensory quality changes in unwrapped and wrapped sliced watermelon. **J. Food Prot.** 51: 531-533.
- Abbott, N., P. Etievant, S. Issanchou and D. Langlois. 1993. Critical evaluation of two commonly used techniques for the treatment of data from extract dilution sniffing analysis. **J. Agric. Food Chem.** 41(10): 1698-1703.
- 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. **J. Food Sci.** 64: 433-440.
- Aguayo, E., V. Escalona and F. Artés. 2004. Quality of fresh-cut tomato as affected by type of cut, packaging, temperature and storage time. **Eur. Food Res. Technol.** 219(5): 492-499.
- Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. **Trends Food Sci. Technol.** 7: 179-187.
- Al-Ati, T. and J.H. Hotchkiss. 2002. Application of packaging and modified atmosphere to fresh-cut fruits, pp. 305-338. *In* O. Lamikanra, ed. **Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market**. CRC Press, Washington, D.C.
- Albach, R.F., G.H. Redman and R.R. Cruse. 1981. Annual and seasonal changes in naringin concentration of Ruby Red grapefruit. **J. Agric. Food Chem.** 29: 808-811.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC international**. 17th ed. Arlington, Va: Association of Official Analytical Chemists. Inc.

- Arpaia, M.L. and A.A. Kader. 2002. **Mandarin/Tangerine: recommendations for Maintaining postharvest quality.** Postharvest Technology: Research and Information Center. Available Source: <http://rics.ucdavis.edu/postharvest2/Produce/ProduceFacts/Fruit/mandarin.html>, October 2, 2009.
- Artés, F., J.A. Tudela, J.G. Marín, R. Villaescusa and F.H. Artés. 2001. Modified atmosphere packaging of strawberry under self-adhesive films. **Acta Hort.** 559: 805-809.
- Artés-Hernández, F., F. Rivera-Cabrera and A.A. Kader. 2007. Quality retention and potential shelf-life of fresh-cut lemons as affected by cut type and temperature. **Postharvest Biol. Technol.** 43: 245-254.
- Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 50: 601-639.
- Bai, J., R.A. Saffner and A.E. Watada. 2003. Characteristics of fresh-cut honeydew (*Cucumis x melo* L.) available to processors in winter and summer and its quality maintenance by modified atmosphere packaging. **Postharvest Biol. Technol.** 28: 349-359.
- _____, _____, _____ and Y.S. Lee. 2001. Modified atmosphere maintains quality of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.). **J. Food Sci.** 66: 1207-1211.
- Balasundram, N., K. Sundram and S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chem.** 99: 191-203.
- Baldwin, E.A. 1993. Citrus fruit, pp. 108-138. In G.B. Seymour, J.E. Taylor and G.A. Tucker, eds. **Biochemistry of Fruit Ripening.** Chapman & Hall, London, UK.

- Baldwin, E.A. 1994. Edible coatings for fresh fruits and vegetables: past, present, and future, pp. 25-64. *In* J.M. Krochta, E.A. Baldwin and M.O. Nisperos-Carriedo, eds. **Edible Coatings and Films to Improve Food Quality**. PA Technomic, Lancaster, UK.
- Banias, C., V. Oreopoulou and C.D. Thomopoulos. 1992. The effect of primary antioxidants and synergists on the activity of plant extracts in lard. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 69: 520-524.
- Barry-Ryan, C. and D. O'Beirne. 2000. Effects of peeling methods on the quality of ready-to-use carrot slices. **Int. J. Food Sci. Technol.** 35(2): 243-249.
- Beaulieu, J.C. and C.C. Grimm. 2001. Identification of volatile compounds in cantaloupe at various developmental stages using solid phase microextraction. **J. Agric. Food Chem.** 49: 1345-1352.
- _____ and J.M. Lea. 2003. Volatile and quality changes in fresh-cut mangos prepared from firm-ripe and soft-ripe fruit, stored in clamshell containers and passive MAP. **Postharvest Biol. Technol.** 30: 15-28.
- Beltran, D., M.V. Selma, J.A. Tudela and M.I. Gil. 2005. Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. **Postharvest Biol. Technol.** 37(1): 37-46.
- Ben-Yehoshua, S. 1987. Transpiration, water stress, and gas exchange, pp. 113. *In* J. Weichmann, ed. **Postharvest Physiology of Vegetables**. Marcel Dekker, New York.
- _____, H. Kobiler and B. Shapiro. 1979. Some physiological effects of delaying deterioration of citrus fruit by individual seal packaging in high density polyethylene film. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 104(6): 868-872.

- Biolatto, A., A.M. Sancho, R.J.C. Cantel, D.R. Güemes and N.A. Pensel. 2002. Use of nootkatone as asenescence indicator for Rouge La Toma Cv. Grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.). **J. Agric. Food Chem.** 50: 4816-4819.
- Bode, A.M., L. Cunningham and R.C. Rose. 1990. Spontaneous decay of oxidized ascorbic acid (dehydro-L-ascorbic acid) evaluated by high-pressure liquid chromatography. **Clin. Chem.** 36: 1807-1809.
- Bohlmann, J., G. Meyer and R. Croteau. 1998. Plant terpenoid synthases: molecular biology and phylogenetic analysis. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 95: 4126-4133.
- Bolin, H.R. and C.C. Huxsoll. 1991. Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of salad-cut lettuce. **J. Food Sci.** 56: 60-67.
- _____, A.E. Stafford, A.D. Jr. King and C.C. Huxsoll. 1977. Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. **J. Food Sci.** 42: 1319-1321.
- Boonbumrung, S., H. Tamura, J. Mookdasanit, H. Nakamoto, M. Ishihara, T. Yoshizawa and W. Varayanond. 2001. Characteristic aroma components of the volatile oil of yellow keaw mango fruits determined by limited odor unit method. **Food Sci. Technol. Res.** 7(3): 200-206.
- Bordoloi, A.K., M.G. Pathak, J. Sperkova and P.A. Leclercq. 1999. Volatile constituents of the fruit peel oil of *Citrus maxima* (J. Burman) Merrill. from Northeast India. **J. Essent Oil Res.** 11: 629-632.
- Bown, A., 1985. CO₂ and intracellular pH. **Plant Cell Environ.** 8: 459-465.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. **Nutr. Rev.** 56: 317-333.

Brecht, J.K. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortSci.** 30: 18-22.

_____. 1999. Postharvest quality and safety in fresh-cut vegetables and fruits. **Coop. Reg. Res. Proj.** S-294

Brody, A.L. 1996. Integrating aseptic and modified atmosphere packaging to fulfil a vision of tomorrow. **Food Technol.** 50: 56-66.

Cameron, A.C., P.C. Talasila and D.W. Joles. 1995. Predicting film permeability needs for modified atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. **HortSci.** 30: 25-34.

Carr, A.C. and B. Frei. 1999. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. **Am. J. Clin. Nutr.** 69: 1086-1107.

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, Florida.

Chin, N.L., S.M. Chan, Y.A. Yusof, T.G. Chuah and R.A. Talib. 2008. Prediction of physiochemical properties of pummelo juice concentrations as a function of temperature and concentration. **Int. J. Food Eng.** 4: 1-13.

Church, N. 1994. Development in modified atmosphere packaging and related technologies. **Trends Food Sci. Tech.** 5: 345-352.

Connor, A.M., J.J. Luby, J.F. Hancock, S. Berkheimer and E.J. Hanson. 2002. Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold-temperature storage. **J. Agric. Food Chem.** 50: 893-898.

Craig, W.J. 1996. Phytochemicals: guardians of our health. **J. Amer. Diet. Assoc.** 5: 6-8.

Day, B. 1993. Fruit and vegetables, pp. 114-133. In R.T. Parry, ed. **Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food.** Blackie Academic and Professional, Glasgow, UK.

_____. 1996. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. **Postharvest News Inf.** 7(3): 31-34.

_____. 2000. Novel MAP for freshly prepared fruit and vegetable products. **Postharv. News Inform.** 11: 27-31.

Del Caro, A., A. Piga, V. Vacca and M. Agabbio. 2004. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. **Food Chem.** 84: 99-105.

Del Nobile, M.A., A. Baiano, A. Benedetto and L. Weightnigan. 2006. Respiration rate of minimally processed lettuce as affected by packaging. **J. Food Eng.** 74: 60-69.

Del-Río, J.A., A. Ortuño-Tomás, P.D. García, I. Porras, L.A. García and F. Sabater. 1992. Variations of nootkatone and valencene levels during development of grapefruit. **J. Agric. Food Chem.** 40: 1488-1490.

Del-Valle V., P. Hernández-Muñoz, R. Catalá and R. Gavara. 2009. Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for minimally processed mandarin segments. **J. Food Eng.** 91: 474-481.

Demole, E., P. Enggist and G. Ohloff. 1982. 1-*p*-menthene-8-thiol: a powerful flavor impact constituent of grapefruits juice (*Citrus paradise* Macfayden). **Helv. Chem. Acta.** 65: 1785-1794.

- Drawert, F., R.G. Berger and R. Godelmann. 1984. Regioselective biotransformation of valencene in cell suspension cultures of *Citrus* sp. **Plant cell reports** 3(1): 37-40.
- Dugo, G., L. Mondello, A. cotroneo, I.S. d'Alcontres, A. Basile, P. Previti, P. Dugo and K.D. Bartle. 1996. Characterization of Italian citrus petit grain oils. **Perfumer & Flavorist** 21: 17-28.
- Erdman, J.W. and B.P. Klein. 1982. Harvesting, processing, and cooking influence on vitamin C in food, pp. 499-532. In P.A. Seib and B.M. Tolbelt, eds. **Ascorbic acid: Chemistry, Metabolism and Uses**. American Chemical Society, Washington, D.C.
- FDA. 1998. **Fresh-cut fruits and vegetables draft final guidance**. FDA press office. Available Source: <http://www.fda.gov/Food/GuidanceComplianceRegulatoryInformation/Guidance Documents/ProduceandPlanProducts/ucm064458.htm#ch3>, September 12, 2009.
- Folchi, E., G.C. Pratella, S.P. Tian and P. Bertolini. 1995. Effect of low oxygen stress in apricots at different temperatures. **Ital. J. Food Sci.** 7: 245-253.
- Gardner, P.T., T.A.C. White, D.B. McPhail and G.G. Duthie. 2000. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. **Food Chem.** 68: 471-474.
- Gaspar, J.W., F.A.A. Couto, L.C.C. Salomão, F.L. Finger and A.A. Cardoso. 1997. Effect of low temperature and plastic films on postharvest life of guava (*Psidium guajava* L.). **Acta Hort.** 452: 107-114.
- Gil, M.I., E. Aguayo and A.A. Kader. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. **J. Agric. Food Chem.** 54: 4284-4296.

- Gorinstein, S., D. Huang, H. Leontowicz, M. Leontowicz, K. Yamamoto, R. S. Fortuny, O. Martin-Belloso, A.L. Martinez-Ayala and S. Trakhtenberg. 2006. Determination of naringin and hesperidin in citrus fruit by high performance liquid chromatography the antioxidant potential of citrus fruit. **Acta Chromatogr.** 17: 108-124.
- Gorny, J.R. 2001. A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetable, pp. 95-145. *In* **Postharvest Horticulture No. 22A**, University of Californai, Davis.
- _____, B. Hess-Pierce and A.A. Kader. 1998. Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peach and nectarine slices. **HortSci.** 33:110-113.
- _____, _____, and _____. 1999. Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments. **J. Food Sci.** 64(3): 429-432.
- Green, R.C. 2007. **Physicochemical Properties and Phenolic Composition of Selected Saskatchewan Fruits: Buffaloberry, Chokecherry and Sea Buckthorn.** Ph.D. Thesis, Saskatchewan University.
- Greve, L.C. and J.M. Labavitch. 1991. Cell wall metabolism in ripening fruit. V. analysis of cell wall synthesis in ripening tomato pericarp tissue using a D-[U-¹³C]-glucose tracer and gas chromatography-mass spectrometry. **Plant Physiol.** 97: 1456-1461.
- Gunes, G., C.B. Watkins and J.H. Hotchkiss. 2000. Effects of irradiation on respiration and ethylene production of apple slices. **J. Sci. Food Agric.** 80: 1169-1175.
- Hagenmaier, R.D. and P.E. Shaw. 2002. Changes in volatile components of stored tangerines and other specialty citrus fruits with different coatings. **J. Food Sci.** 67(5): 1742-1745.

- Hancock, R.D. and R. Viola. 2005. Improving the nutritional value of crops through enhancement of L-ascorbic acid (vitamin C) content: rationale and biotechnological opportunities. **J. Agric. Food Chem.** 53: 5248-5257.
- Hanekom, E., D. Sivakumarb, Y. Naudéa, E.R. Rohwera and L. Korstenb. 2010. Influence of postharvest treatments on visual appearance, sensory analysis and aroma volatile compounds of 'Mauritius' litchi fruit during storage. **Postharvest Biol. Technol.** 57: 155-161.
- Harb, J., R. Bisharat and J. Streif. 2008. Changes in volatile constituents of blackcurrants (*Ribes nigrum* L. cv. 'Titania') following controlled atmosphere storage. **Postharvest Biol. Technol.** 47: 271-279.
- Hodgson, R.W. 1967. Horticultural varieties of citrus, pp. 431-531. In W. Reuther, L.D. Batchelor and H.J. Webber, eds. **The Citrus Industry**. University of California Press, Berkeley, CA.
- Hollman, P.C.H. and M.B. Katan. 1999. Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. **Food Chem. Toxicol.** 37: 937-942.
- Huang, D., B. Ou and R.L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **J. Agric. Food Chem.** 53: 1841-1856.
- Hurst, W.C. 1995. Sanitation of lightly processed fruits and vegetables. **HortSci.** 30: 22-24.
- Hussein, A., J.A. Odumeru, T. Ayanbadejo, H. Faulkner, W.B. McNab, H. Hager and L. Szijarto. 2000. Effects of processing and packaging on vitamin C and β -carotene content of ready-to-use (RTU) vegetables. **Food Res. Int.** 33: 131-136.

Huxsoll, C.C. and H.R. Bolin. 1989. Processing and distribution alternatives of minimally processed fruits and vegetables. **Food Tech.** 43(2): 124-128.

IFPA. 2002. **International Fresh-Cut Produce Association**. Available source: <http://www.fresh-cuts.org>, October 10, 2009.

Ionita, P. 2005. Is DPPH stable free radical a good scavenger for oxygen active species?. **Chem. Pap.** 59(1): 11-16.

Izumi, H., T. Nagatomo and C. Tanaka and S. Kanlayanarat. 2003. Physiology and quality of fresh-cut mango is affected by low O₂ controlled atmosphere storage, maturity and storage temperature. **Acta Hort.** 600: 833-838.

Jacxsens, L., F. Devlieghere, C. Van der Steen and J. Debevere. 2001. Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh-cut produce. **Int J. Food Microbiol.** 71: 197-210.

Jorgenson, K.R. 1984. **Tropical Tree Fruits for Australia**. Poly-Graphics Pty. Ltd., Brisbane

Kader, A.A. 1993. A Summary of CA requirements and recommendations for fruits other than pome fruits, pp. 859-887. *In Proc. Sixth Int. Controlled Atmosphere Research Conference*, Ithaca, New York.

_____. 2002. Postharvest biology and technology: an overview, pp. 39-47. *In* A.A. Kader, ed. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. 3rd ed. ANR Publ. 3311. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Oakland, CA, USA.

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

- Kader, A.A., D. Zagory and E.L. Kerbell. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 28: 1-30.
- _____ and S. Ben-Yehoshua. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biol. Technol.** 20: 1-13.
- Kale, P.N. and P.G. Adsule. 1995. Citrus, pp. 39-65. *In* D.K. Salunkhe and S.S. Kadam, eds. **Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing.** Marcel Dekker, New York.
- Kang, H.M. and M.E. Saltveit. 2002. Antioxidant capacity of lettuce leaf tissue increases after wounding. **J. Agric. Food Chem.** 50: 7536-7541.
- Katherine, Z., L.R. Michael and V. Joost. 2003. The vitamin C content of orange juice packed in an oxygen scavenger material. **Food Chem.** 82: 387-395.
- Kays, S.J. 1991. Metabolic processes in harvested products-respiration, pp. 75-79. *In* S.J. Kays ed. **Post Harvest Physiology of Perishable Plant Products.** Van Nostrand Reinhold Publ., New York.
- Ke, D. and A.A. Kader. 1990. Tolerance of 'Valencia' oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 115: 779-783.
- _____, L. Goldstein, M. O'Mahony and A.A. Kader. 1991a. Effects of short-term exposure to low O₂ and high CO₂ atmospheres on quality attributes of strawberries. **J. Food Sci.** 56: 50-54.

- Ke, D., L. Rodriguez-Sinobas and A.A. Kader. 1991b. Physiology and prediction of fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 116: 253-260.
- Kefford, J.F. and B.V. Chandler. 1970. **The Chemical Constituents of Citrus Fruits.** Academic Press, New York.
- Kim, D.M., N.L. Smith and C.Y. Lee. 1993. Quality of minimally processed apple slices from selected cultivars. **J. Food Sci.** 58(5): 1115-1117.
- Kim, D.O. and C.Y. Lee. 2002. Extraction and isolation of polyphenolics. **Current Protocol in Food Analytical Chemistry.** R.E. Wrolstad. New York, Wiley: 11.2.1e11.2.12.
- _____, K.W. Lee, H.J. Lee and C.Y. Lee. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. **J. Agric. Food Chem.** 50: 3713-3717.
- _____, S.W. Jeong and C.Y. Lee. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chem.** 81: 321-326.
- Kimball, D.A. 1999. **Citrus Processing.** 2nd ed. Aspen Publishers Inc., Maryland, USA.
- King, A.D., J.A. Magnuson, T. Török and N. Goodman. 1991. Microbial flora and storage quality of partially processed lettuce. **J. Food Sci.** 56(2): 459-461.
- Klein, B.P. 1987. Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetable. **J. Food Qual.** 10: 179-193.
- Koppe, P. 1965. Identifizierung der hauptgeruchsstoffe im uferfiltrat des mittel-und niederrheins. **Vom Wasser** 32: 33-68.

Lamikanra, O. 2002. Preface. *In* O. Lamikanra, ed. **Fresh-cut Fruits and Vegetables Science Technology and Market**. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Larson, R.A. 1988. The antioxidants of higher plants. **Phytochemistry** 27: 969-972.

Lee, H.S. and G.A. Coates. 1999. Vitamin C content in frozen, fresh squeezed, unpasteurized polyethylene-bottle orange juice: a storage study. **Food Chem.** 65: 165-168.

Lee, S.K. and A.A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biol. Technol.** 20: 207-220.

Lee, T.H., W.B. McGlasson and R.A. Edwards. 1970. Physiology of disks of irradiated tomato fruit, Influences of cutting and infiltration on respiration ethylene production and ripening. **J. Jap. Soc. Food Sci.Tech.** 12: 163-174.

Leffingwell and Associates. 2004. **Flavor-Base 2004**. Canton, GA, USA.

Leistner, L. and G.W. Gould. 2002. **Hurdle Technologies: Combination Treatments for Food Stability, Safety and Quality**. Plenum Publishers, New York

Levine, M., Y.H. Wang, S.J. Padayatty and J. Morrow. 2001. A new recommended dietary allowance of vitamin C for healthy young women. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 98: 9842-9846.

Li, C. and A.A. Kader. 1989. Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 114: 629-634.

Lima, V.L.A.G., E.A. Melo, M.I.S. Maciel, F.G. Prazeres, R.S. Musser and D.E.S. Lima. 2005. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. **Food Chem.** 90: 565-568.

- Lotong, V., E. Chambers and D.H. Chambers. 2003. Categorization of commercial orange juices based on flavor characteristics. **J. Food Sci.** 68: 722-725.
- Lück, E. and M. Jager. 1997. **Antimicrobial Food Additives: Characteristics, Uses, Effects.** 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Luengwilai, K., K. Sukjamsai and A.A. Kader. 2007. Responses of 'Clemenules Clementine' and 'W. Murcott' mandarins to low oxygen atmospheres. **Postharvest Biol. Technol.** 44: 48-54.
- MacLeod, W.D. and N.M. Buigues. 1964. Sesquiterpenes. I. Nootkatone, A new grapefruit flavor constituent. **J. Food Sci.** 29: 565-568.
- Marks, J. 1993. Biological functions of vitamins, pp. 1-18. *In* **The Technology of Vitamins in Food.** Chapman and Hall, London.
- Marrero, A. and A.A. Kader. 2006. Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. **Postharvest Biol. Technol.** 39(2): 163-168.
- Mattheis, J.P., D.A. Buchanan and J.K. Fellman. 1997. Volatile constituents of Bing sweet cherry fruit following controlled atmosphere storage. **J. Agric. Food Chem.** 45: 212-216.
- Mattila, P., J. Hellstrom and R. Torronen. 2006. Phenolic acids in berries, fruits, and beverages. **J. Agric. Food Chem.** 54: 7193-7199.
- Meheriuk, M., B. Girard, L. Moyls, H. J. T. Beveridge, D.L. McKenzie, J. Harrison, S. Weintraub and R. Hocking. 1995. Modified atmosphere packaging of Lapins sweet cherry. **Food Res. Int.** 28 (3): 239-244.

- Meir, S., D. Naiman, M. Akerman, J.Y. Hyman, G. Zauberman and Y. Fuchs. 1997. Prolonged storage of 'Hass' avocado fruit using modified atmosphere packaging. **Postharvest Biol. Technol.** 12: 51-60.
- Mencarelli, F., M.E. Salveit and R. Massantini. 1989. Lightly processed foods: ripening of tomato slices. **Acta Hort.** 244: 193-200.
- Miller, W.R., P.W. Hale, D.H. Spalding and P. Davis. 1983. Quality and decay of mango fruit wrapped in heat-shrinkable film. **HortSci.** 18: 957-958.
- Minh Tu N.T., L.X. Thanh, A. Une, H. Ukeda and M. Sawamura. 2002. Volatile constituents of Vietnamese pummelo, orange, tangerine and lime peel oils. **Flavour Fragr. J.** 17: 169-174.
- Montanari, A., W. Widmer and S. Nagy. 1996. Health promoting phytochemicals in citrus fruit and juice products, pp. 31-51. In T. Johns and J. T. Romeo, eds. **Functionality of Food Phytochemicals**. Vol. 31. Plenum Press, New York.
- Montero-Calderón, M., M.A. Rojas-Graü, I. Aguilo-Aguayo, R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2010. Influence of modified atmosphere packaging on volatile compounds and physicochemical and antioxidant attributes of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). **J. Agric. Food Chem.** 58: 5042-5049.
- Montero-Calderón, M. M. A. Rojas-Graü and O. Martín-Bellosob. 2008. Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). **Postharvest Biol. Technol.** 50: 182-189.

- Morozumi S., T. Wauke, Y. Kudoh and H. Hitokoto. 1989. Antifungal effects of commercial foods and spices, and their components, pp. 155-160. *In Mycotoxins and Phycotoxins* **88. A collection of papers presented at the 7th International IUPAC Symposium**, August 16-19, 1988, Tokyo, Japan.
- Nagy, S. 1980. Vitamin C contents of citrus fruit and their products: a review. **J. Agric. Food Chem.** 28: 8-18.
- Njoroge, S. M., H. Koaze, P. N. Karanja and M. Sawamura. 2005. Volatile constituents of redblush grapefruit (*Citrus paradisi*) and Pummelo (*Citrus grandis*) peel essential oils from Kenya. **J. Agric. Food Chem.** 53: 9790-9794.
- Noctor, G. and C.H. Foyer. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molecular Biol.** 49: 249-279.
- Nussbaumer, C. and B. Hostettler. 1996. New flavour compounds of *Cucumis melo* L. *In* A.J. Taylor and D.S. Mottram, eds. **Flavour Science: Recent Developments**. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- 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 atmospheres. **J. Food Compos. Anal.** 23: 37-43.
- Ohta, H., T. Shiina and K. Sasaki. 2002. **Dictionary of Freshness and Shelf-life of Fruit**. Science Forum Co. Ltd., Tokyo.
- Oms-Oliu, G., I. Odriozola-Serrano, R. Soliva-Fortuny and R. Martín-Belloso. 2008. Antioxidant content of fresh-cut pears stored in high O₂ active packages compared with conventional low O₂ active and passive modified atmosphere packaging. **J. Agric. Food Chem.** 56: 932-940.

Ortuño-Tomás, A., D. García-Puig, F. Sabater, I. Porras, A. García-Lidón and J. A. Del-Río.

1993. Influence of ethylene and ethephon on the sesquiterpene notkatone production in *Citrus paradisi*. **J. Agric. Food Chem.** 41: 1566-1569.

_____, _____, M.D. Fuster, M.L. Pérez, F. Sabater, I. Porras, A. García-Lidón and J.A. Del Río. 1995. Flavanone and nootkatone levels in different varieties of grapefruit and pummelo. **J. Agric. Food Chem.** 43: 1-5.

Padrayuttawat, A., T. Yoshizawa, H. Tamura and T. Tokunaga. 1997. Optical isomers and odor thresholds of volatile constituents in citrus ssudachi. **Food Sci. Technol. Int. Tokyo** 3: 402-408.

Patil, B.S., J. Vanamala and G. Hallman. 2004. Irradiation and storage influence on bioactive components and quality of early and late season 'Rio Red' grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.). **Postharvest Biol Technol.** 34(1): 53-64.

Pawlowska, A.M., W. Oleszek and A. Braca. 2008. Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. (Moraceae) fruits. **J. Agric. Food Chem.** 56: 3377-3380.

Peréz, A.G. and C. Sanz. 2008. Formation of fruit flavour, pp. 41-51. In B. Brückner and S. G. Wyllie, eds. **Fruit and Vegetable Flavour: Recent Advances and Future Prospects**. Woodhead Publ., Cambridge.

Perkins-Veazie, P.M. and J.K. Collins. 2004. Carotenoid changes in stored watermelon fruit. **Hort Sci.** 39: 667.

Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration: review. **Postharvest Biol. Technol.** 37: 1-19.

- Piga, A., M. Agabbio, F. Gambella and M.C. Nicoli. 2002. Retention of antioxidant activity in minimally processed Mandarin and Satsuma fruits. **LWT**. 35: 344-347.
- Pino, J., R. Torricella and F. örsi. 1986. Correlation between sensory and gas-chromatographic measurement on grapefruit juice volatiles. **Acta Aliment**. 15: 237-246.
- Plestenjak, A., T. Pozrl, J. Hribar, T. Unuk and R. Vidrih. 2008. Regulation of metabolic changes in shredded cabbage by modified atmosphere packaging. **Food Technol. Biotechnol**. 46(4): 427-433.
- Poubol, J. and H. Izumi. 2005. Physiology and microbiological quality of fresh-cut mango cubes as affected by high-O₂ controlled atmospheres. **J. Food Sci**. 70: 286-291.
- Pretel, M.T., P.S. Fernández, F. Romojaro and A. Martínez. 1998. The effect of modified atmosphere packaging on 'Ready-to-Eat' oranges. **LWT**. 31(4): 32-328.
- Prior, R.L., G. Cao, A. Martin, E. Sofic, J. McEwan, C. O'Brien, N. Lischner, M. Ehlenfeldt, W. Kalt, G. Krewer and C.M. Mainland. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity and variety of *Vaccinium* species. **J. Agric. Food Chem**. 46: 2686-2693.
- Qi, L., T. Wu and A.E. Watada. 1999. Quality changes of fresh-cut honeydew melons during controlled atmosphere storage. **J. Food Qual**. 22: 513-521.
- Rapisarda, P., A. Tomaino, R.L. Cascio, F. Bonina, A.D. Pasquale and A. Saija. 1999. Antioxidant effectiveness as influenced by phenolic content of fresh orange juices. **J. Agric. Food Chem**. 47: 4718-4723.
- Robbins, R. J. 2003. Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology. **J. Agric. Food Chem**. 51: 2866-2887.

- Robertson, G.L. 1993. **Food Packaging Principles and Practice**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Rocha, A.M.C.N., C.M. Brochado, R. Kirby and A.M.M.B. Morais. 1995. Shelf-life of chilled cut orange determined by sensory quality. **Food Control**. 6: 317-322.
- Rodov, V., S. Fishman, R. De la Asuncion, J. Peretz and S. Ben Yehoshua. 1997. Modified atmosphere packaging (MAP) of 'Tommy Atkins' mango in perforated films. **Acta Hort.** 455: 654-661.
- 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. **Int. J. Food Sci. Technol.** 44: 875-889.
- Rolle, R.S. and G.W. Chism III. 1987. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. **J. Food Sci.** 54: 656-659.
- Romig, W.R. 1995. Selection of cultivars for lightly processed fruits and vegetables. **HortSci.** 30: 38-40.
- Rosen, J.C. and A.A. Kader. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. **J. Food Sci.** 54(3): 656-659.
- Rouseff, R.L., S.F. Martin and C.O. Youtsey. 1987. Quantitative survey of narirutin, naringin, hesperidin, and neohesperidin in *Citrus*. **J. Agric. Food Chem.** 35: 1027-1030.
- Saftner, R., Y. Luo, J. McEvoy, J.A. Abbott and B. Vinyard. 2007. Quality characteristics of fresh-cut watermelon slices from non-treated and 1-methylcyclopropene- and/or ethylene-treated whole fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 44: 71-79.

Saltveit, M.E. 1993. A Summary of CA and MA requirements and recommendations for the storage of harvested vegetables, pp. 800-818. *In Proc. 6th Natl. CA Conf., Cornell Univ.*, Ithaca, New York.

_____. 1997. Physical and Physiological changes in minimally processed fruit and vegetables, pp. 95-136. *In* F.A. Tomas-Bar Beran and R.J. Robins, eds. **Phytochemistry of Fruit and Vegetables**. Oxford University Press Inc., New York.

_____ and L.L. Morris. 1990. Overview of chilling injury of horticultural crop, pp. 3-15. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops**. CRC Press, Florida.

Salunkhe, D.K., H.R. Bolin and N.R. Reddy. 1991. **Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables: Vol. I. Fresh Fruits and Vegetables**. 2nd ed. CRC Press, Boston, MA, U.S.A.

Sánchez-Moreno, C. 2002. Review: methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological system. **Food Sci. Tech. Int.** 8: 121-137.

Saowaros, W. 2006. **Effect of Gaseous Ozone Exposure and Modified Atmosphere Packaging on Quality of Minimally Processed Pomelo**. M.S. thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Sapers, G.M., P.H. Cooke, A.E. Heidel, S.T. Martin and R.L. Miller. 1997. Structural changes related to texture of pre-peeled potatoes. **J. Food Sci.** 62: 797-803.

Sawamura, M., H.S. Song, H.S. Choi, K. Sagawa and H. Ukeda. 2001. Characteristic aroma components of Tosa-buntan (*Citrus grandis* Osbeck forma Tosa) fruit. **Food Sci. Technol. Res.** 7: 45-49.

- Sawamura, M., K. Shichiri, Y. Ootani and X.H. Zheng. 1991. Volatile constituents of several varieties of pummelos and characteristics among citrus species. **Agric. Biol. Chem.** 55: 2571-2578.
- _____ and T. Kuriyama. 1988. Quantitative determination of volatile constituents in the pummelo (*Citrus grandis* Osbeck forma Tosa-buntan). **J. Agric. Food Chem.** 36: 567-569.
- _____, T. Tsuji and S. Kuwahara. 1989. Changes in the volatile constituents of pummelo (*Citrus grandis* Osbeck forma Tosa-buntan) during storage. **J. Agric. Biol. Chem.** 53: 243-246.
- Saxena, A., A.S. Bawa and P.S. Raju. 2008. Use of modified atmosphere packaging to extend shelf-life of minimally processed jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) bulbs. **J. Food Eng.** 87: 455-466.
- Schlimme, D.V. 1995. Marketing lightly processed fruits and vegetables. **HortSci.** 30(1):15-17.
- Schuler, P. 1990. Natural antioxidants exploited commercially, pp. 99-100. In B.J.F. Hudson, ed. **Food Antioxidants**. Elsevier Science Pub. Ltd., New York.
- Seymour, G.B., J.E. Taylor and G.A. Tucker. 1993. **Biochemistry of Fruit Ripening**. Chapman and Hall, London.
- Shaw, P.E. 1991. Fruits II, pp. 305-327. In H. Maarse, ed. **Volatile Compounds in Food and Beverages**. Marcel Dekker, New York.
- _____ and C.W. Wilson. 1981. III. Importance of nootkatone to the aroma of grapefruit oil and the flavour of grapefruit juice. **J. Agric. Food Chem.** 29: 677-679.

- Shaw, P.E., R.D. Carter, M.G. Moshonas and G. Sadler. 1990. Controlled atmosphere storage of orange to enhance aqueous essence and essence oil. **J. Food Sci.** 55(6): 1617-1619.
- Shi, J.X., R. Porat, R. Goren and E.E. Goldschmidt. 2005. Physiological responses of 'Murcott' mandarins and 'Star Ruby' grapefruit to anaerobic stress conditions and their relation to fruit taste, quality and emission of off-flavor volatiles. **Postharvest Biol. Technol.** 38: 99-105.
- Singh, A. 1980. **Fruit Physiology and Production.** Kalyani Publisher, New Delhi.
- Singh, R.P., K.N. Chidambara and G.K. Jayaprakasha. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro model. **J. Agric. Food Chem.** 50: 81-86.
- Singh, S.P. and R.K. Pal. 2008. Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 47: 296-306.
- Singh, Z., H.J.D. Lalel and S. Nair. 2004. A review of mango fruit aroma volatile compounds state of the art research. **Acta Hort.** 645: 519-527.
- Soares, N.F.F., M. Robson and R. Pushmann. 2002. PVC and LDPE for packaging minimally processed garlic. **Packag. Technol. Sci.** 15: 109-114.
- Soliva-Fortuny, R.C., M. Biosca-Biosca, N. Grigelmo-Miguel and O. Martín-Belloso. 2002. Browning, polyphenol oxidase activity and headspace gas composition during storage of minimally processed pears using modified atmosphere packaging. **J. Sci. Food Agric.** 82: 1490-1496.
- _____ and O. Martín-Belloso. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: A review. **Trends Food Sci. and Technol.** 14: 341-353.

- Solomos, T. 1994. Some biological and physical principles underlying modified atmosphere packaging. In R.C. Wiley, ed. **Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables**. Chapman and Hall, U.K.
- Spanier, A.M., M. Flores, C. James, J. Lasater, S. Lloyd and J.A. Miller. 1998. Fresh-cut pineapple (*Ananas* sp.) flavor. Effect of storage, pp. 331-343. In E.T. Contis, C.T. Ho, C.J. Mussinan, T.H. Parliment, F. Shahidi and A.M. Spanier, eds. **Developments in Food Science. Food Flavors: Formation, Analysis, and Packaging Influences**. Elsevier, Netherlands.
- Sugisawa, H., M. Takwda, R.H. Yang and N. Takagi. 1991. The comparison of odor quality of volatiles in peel oils of five kinds of novel oranges. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi** 38: 668-674.
- Tamura, H., R.H. Yang, and H. Sugisawa. 1993. Aroma profiles of peel oils of acid citrus, pp. 121-136. In R. Teranishi and H. Sugisawa, eds. **Bioactive Volatile Compounds from Plants**. Merican Chemistry Society, Washington D.C.
- _____, S. Boonbumrung, T. Yoshizawa and W. Varanyanond. 2001. The volatile constituents in the peel and pulp of green Thai mango, Khieo Sawoei cultiva (*Mangifera indica* L.). **Food Sci. Technol. Res.** 7(1): 72-77.
- Taylor, A.J. 2002. **Food Flavour Technology**. Sheffield Academic Press Ltd., Sheffield, UK.
- Thompson, A.K. 1998. **Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables**. CAB International, New York.
- Tian, S., Y. Xu, A. Jiang and Q. Gong. 2002. Physiological and quality responses of longan fruit to high O₂ or high CO₂ atmospheres in storage. **Postharvest Biol. Technol.** 24: 335-40.

Ting, S.V. and J.A. Attaway. 1971. Citrus Fruits, pp. 107-161. In A.C. Hulme, ed. **The Biochemistry of fruits and their Products**. Vol. II. Academic Press, London.

Toivonen, P.M.A. 1997. Non-ethylene, non-respiratory volatiles in harvested fruits and vegetables: their occurrence, biological activity and control. **Postharvest Biol. Technol.** 12: 109-125

_____ and D.A. Brummell. 2008. Biochemical base of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables: review. **Postharvest Biol. Technol.** 48: 1-14.

USDA. 1998. **Agricultural Marketing Service**. Quality through verification program for the fresh-cut produce industry. Available Source: <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfiledDocName=STELPRDC5059800>, September 18, 2009.

USDA. 2006. **National Nutrient Database for Standard Reference**, release 19. Available Source: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl, August 20, 2009.

Valpuesta, V. and M.A. Botella. 2004. Biosynthesis of L-ascorbic acid in plants, new pathways for an old antioxidant. **Trends Plant Sci.** 9: 573-577.

Vámos-Vigyázó, L. 1981. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. **Food Sci. Nutr.** 1: 49-127.

Varoquaux, P. and R. Wiley. 1994. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables, pp. 226-268. In R.C. Wiley, ed. **Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables**. Chapman and Hall, New York.

Verlinden, B.E. and B.M. Nicolai. 2000. Fresh-cut fruits and vegetables. **Acta Hort.** 518: 223-230.

- 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.
- Wang, C.Y. and L. Qi. 1997. Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers. **Postharvest Biol. Technol.** 10: 195-200.
- Wang, H., G.H. Cao and R.L. Prior. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. **J. Agric. Food Chem.** 44: 701-705.
- Wardoski, W.F., W. Grierson and G.J. Edwards. 1973. Chilling injury of stored lime and grapefruit as affected by differentially permeable films. **HortSci.** 8: 173-175.
- Watada, A.E. and L. Qi. 1999. Quality of fresh-cut produce. **Postharvest Biol. Technol.** 15: 201-205.
- Watada, A.E., N.P. Ko and D.A. Minott. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. **Postharvest Biol. Technol.** 9: 115-125.
- Wiley, R.C. 1994. **Minimally Processed Refrigerated Fruits & Vegetables**. Chapman and Hall, U.S.A.
- Wright, K.P. and A.A. Kader. 1997. Effect of slicing and controlled-atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. **Postharvest Biol. Technol.** 10: 39-48.
- Xu, G., D. Liu, J. Chen, X. Ye, Y. Ma and J. Shi. 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. **Food Chem.** 106: 545-551.

Yang, R., H. Sugisawa, H. Nakatani, H. Tamura and N. Takagi. 1992. Comparison of odor quality in peel oils of acid citrus. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi** 39: 16-24.

Zagory, D. and A.A. Kader. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. **Food Tech.** 42: 70-77.

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

Zoeteman, B.C.J., A.J.A. Kraayeveld and G.J. Piet. 1971. Oli pollution and drinking water odour. **H₂O** 4: 367-371.





การวิเคราะห์ทางเคมี

1. การคำนวณค่า Retention Index (RI)

$$RI = 100 N + 100n \frac{t_{Ra} - t_{RN}}{t_{R(N+n)} - t_{RN}}$$

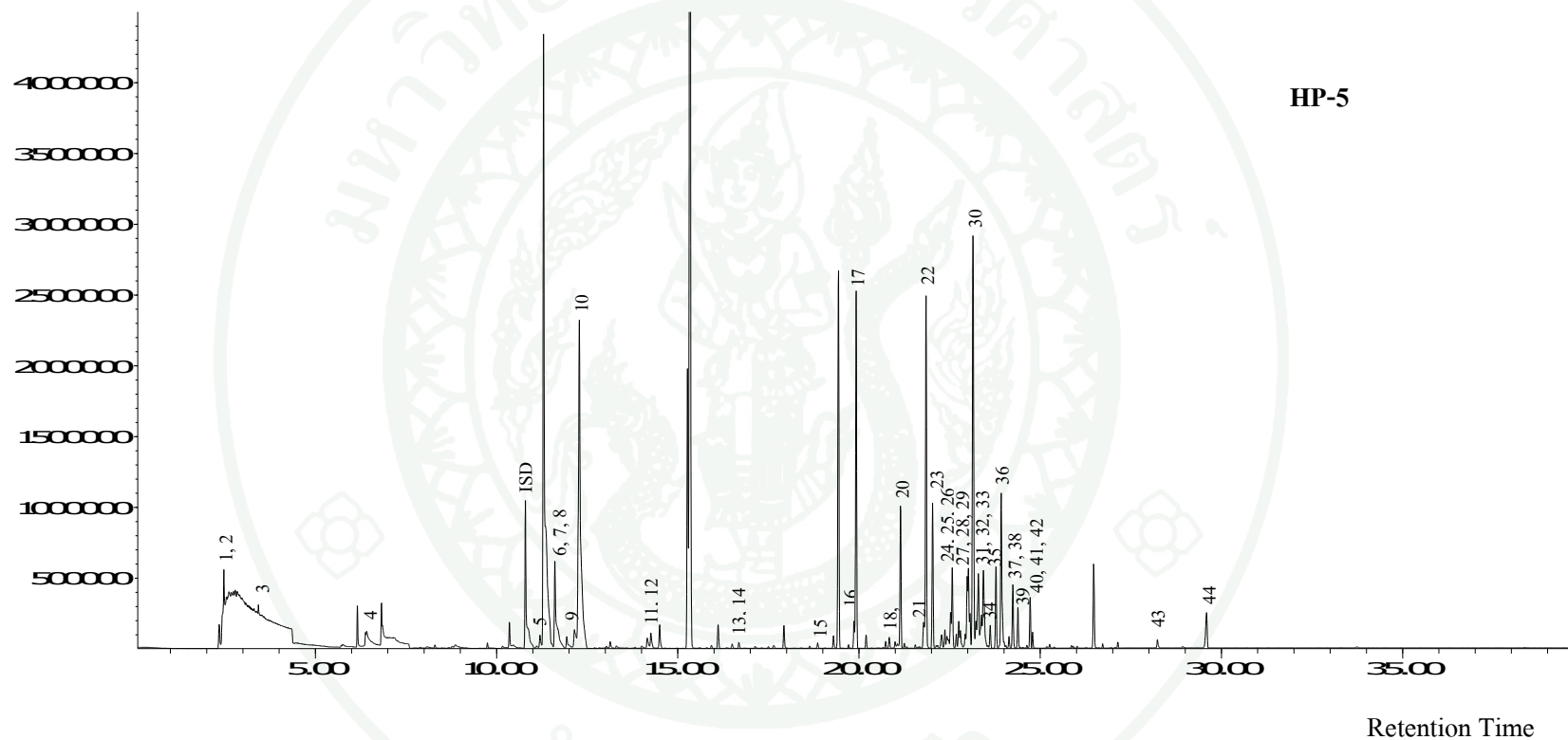
- เมื่อ N = จำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า
 n = ความแตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัว
 ที่ค่า retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง
 t_{Ra} = RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI
 t_{RN} = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า
 $t_{R(N+n)}$ = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนมากกว่า

2. การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

$$C_s = \frac{C_i \times A_s \times V_i \times r}{A_i \times W_s}$$

- เมื่อ C_s = ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (นาโนกรัม/กรัม)
 C_i = ความเข้มข้นของ internal standard (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเมทานอล)
 A_s = พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง
 A_i = พื้นที่ใต้พีคของ internal standard
 V_i = ปริมาตรของ internal standard ที่ใช้ (ไมโครลิตร)
 W_s = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (กรัม)
 r = response factor ของสารระเหยเท่ากับ 1.0

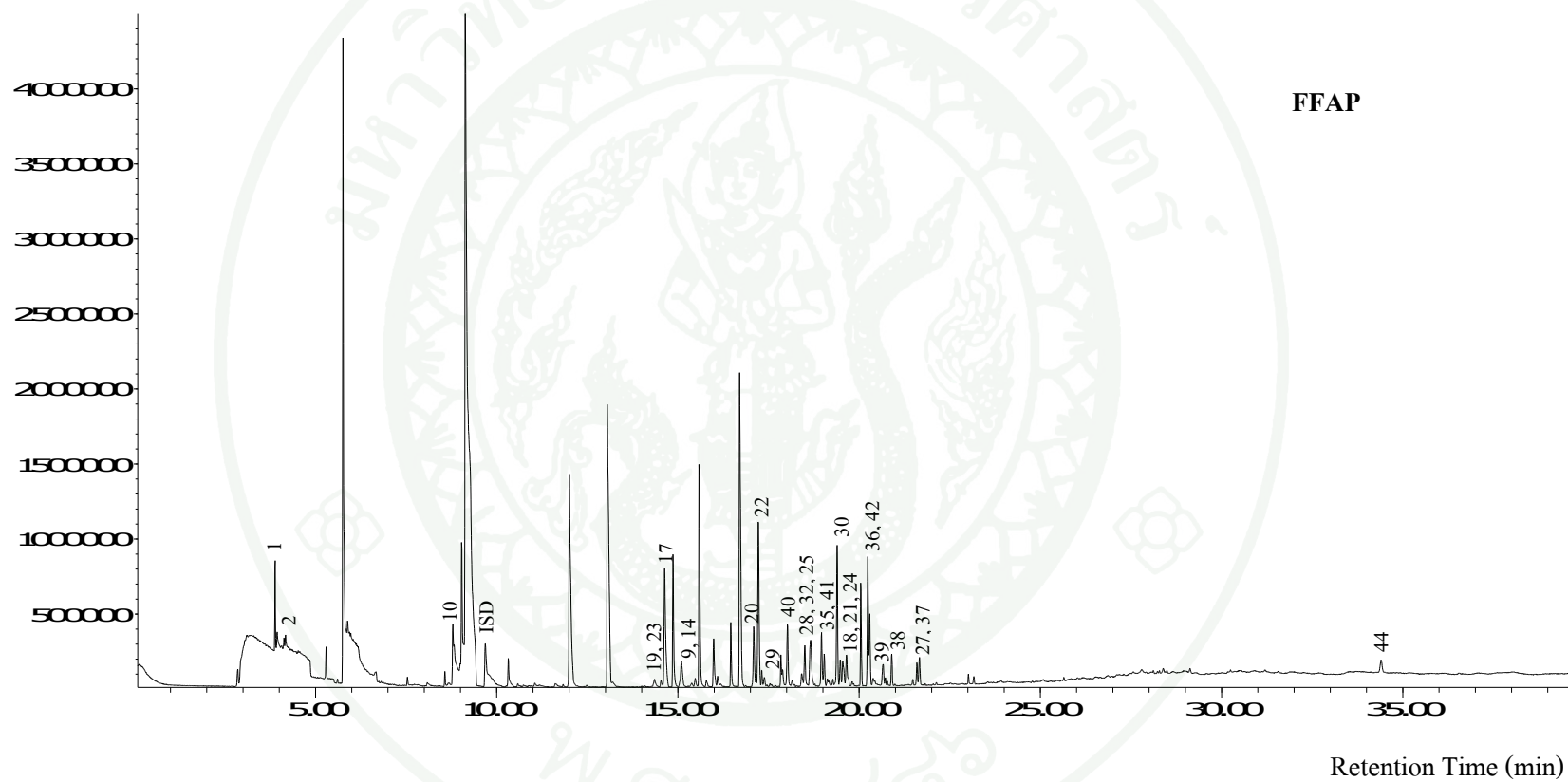
Abundance



ภาพผนวกที่ ก1 โครมาโทแกรมของส้มโอสด ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ ISD คือ tert-butylbenzene

Abundance



ภาพผนวกที่ ก2 โครมาโทแกรมของส้มโอสด ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ ISD คือ tert-butylbenzene

3. การสุ่มตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

เก็บตัวอย่างแก๊สในภาชนะบรรจุสุ่มโอดัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ผ่านทางเซปตัม (septum) ที่ติดอยู่ด้านข้างของภาชนะบรรจุสุ่มโอดัดแต่ง โดยใช้กระบอกเก็บแก๊ส (syringe) ขนาด 5 มิลลิลิตร และปิดปลายกระบอกเก็บแก๊สด้วยเซปตัมทันทีเพื่อป้องกันการรั่วของแก๊ส จากนั้นฉีดแก๊สตัวอย่างเข้าเครื่อง Gas Chromatography (Agilent 6890N) 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
Mobile phase:	He, Flow rate = 80 ml/min
Oven temperature:	100°C ; CO ₂ (Method CO ₂ .M, 2 min) 60°C ; CO ₂ and O ₂ (Method MIX.M, 4.5 min)
Detector temperature:	Thermal conductivity detector (TCD) 200 °C
Reference flow:	20 ml/min
Make up flow:	5 ml/min

หลังจากทราบปริมาณของแก๊สออกซิเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ นำมาเทียบกับแก๊สมาตรฐานชนิดนั้นๆ แล้วรายงานค่าในหน่วยร้อยละ

4. การสุ่มตัวอย่างและการวิเคราะห์แก๊สเอทิลีน

เก็บตัวอย่างแก๊สในภาชนะบรรจุสั้มน้ำแข็งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ผ่านทางเซปตัม (septum) ที่ติดอยู่ด้านข้างของภาชนะบรรจุสั้มน้ำแข็ง โดยใช้กระบอกเก็บแก๊ส (syringe) ขนาด 5 มิลลิลิตร และปิดปลายกระบอกเก็บแก๊สด้วยเซปตัมทันทีเพื่อป้องกันการรั่วของแก๊ส จากนั้นฉีดแก๊สตัวอย่างเข้าเครื่อง Gas Chromatography (Agilent 6890N) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column : HAYESEP-S 100/120 (2 m. x 0.75 mm.)

Volume inject : 5.0 ml

Mobile phase : He, Flow rate = 80 ml/min

Oven temperature : 40°C ; C₂H₄ (Method C₂H₄.M, 2 min)

Detector temperature : Flame ionization detector (FID) 250 °C

Reference flow : 20 ml/min

Make up flow : 5 ml/min

หลังจากทราบปริมาณของแก๊สเอทิลีนที่เกิดจากการผลิตเอทิลีนของสั้มน้ำแข็ง นำมาเทียบกับแก๊สมาตรฐานเอทิลีนแล้วรายงานค่าในหน่วยร้อยละ



1. การทดสอบคุณภาพกลิ่นรสโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

1.1 การกำหนดคุณลักษณะกลิ่นและตัวอย่างที่ใช้อ้างอิง

ทำการกำหนดคำศัพท์ของคุณลักษณะกลิ่นที่ประเมินได้จากตัวอย่างโดยการอภิปรายในกลุ่มผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทั้ง 16 คน กำหนดตัวอย่างอ้างอิงของแต่ละคุณลักษณะและสร้างสเกลสำหรับการทดสอบ โดยมีสเกลตั้งแต่ 0 ถึง 10 (0 คือ ไม่มีกลิ่นรส และ 10 คือ กลิ่นรสมาก) ทำการฝึกฝนการใช้สเกล 2 ครั้ง เพื่อปรับสเกลของผู้ทดสอบทั้งหมดให้ใกล้เคียงกัน คุณลักษณะที่ทำการศึกษา ได้แก่ กลิ่นรสส้มโอ กลิ่นรสเปรี้ยว กลิ่นรสหวาน กลิ่นรสเขียว และกลิ่นรสหมัก โดยใช้ตัวอย่างอ้างอิง ดังตารางภาคผนวกที่ ข1

ตารางผนวกที่ ข1 คุณลักษณะด้านกลิ่นและตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

คุณลักษณะ			ตัวอย่างอ้างอิง
คำศัพท์	ความหมาย		
กลิ่นรสส้มโอ	กลิ่นรสเปรี้ยวและหวานที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของส้มโอ รวมทั้งส่วนที่เป็นเนื้อ และเปลือก	R	ส้มโอแกะใหม่จากผล จำนวน 10 กรัม
กลิ่นรสเปรี้ยว	กลิ่นรสเปรี้ยวของกรดซิตริก ในผลไม้ตระกูลส้ม	R	ส้มโอแกะใหม่จากผล จำนวน 20 กรัม
กลิ่นรสหวาน	กลิ่นรสหอมหวานของผลไม้	R	ส้มโอแกะใหม่จากผล จำนวน 10 กรัม จากผลส้มโอที่ผ่านการเก็บที่ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 อาทิตย์
กลิ่นรสเขียว	กลิ่นเขียวของเปลือกส้มโอ ส่วนสีขาว	R	เปลือกชั้นกลางที่เป็นส่วนสีขาวของ ส้มโอ จำนวน 15 กรัม
กลิ่นรสหมัก	กลิ่นรสของผลไม้ที่สุกใกล้เน่า	R	ส้มโอดอกเชื้อหุ้มกลีบออก เก็บที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 อาทิตย์

ตัวอย่าง แบบทดสอบการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่นรส

ตัวอย่าง ส้มโอตัดแต่ง

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

คำแนะนำ: 1. กรุณาล้างปากด้วยขนมปังและน้ำก่อนชิมตัวอย่างและระหว่างที่ท่านจะชิมตัวอย่างต่อไป

2. ทดสอบชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนทางด้านกลิ่นรสของส้มโอตัดแต่ง โดยกำหนดให้

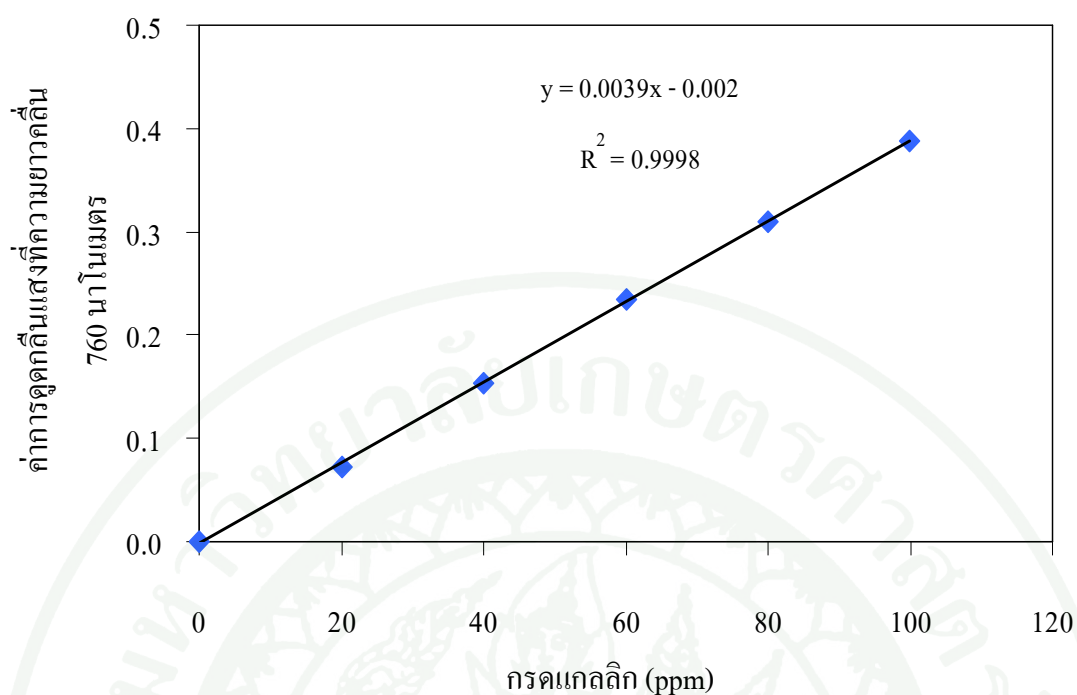
0 คือ ไม่มีกลิ่นรส

10 คือ กลิ่นรสมาก

การประเมินตัวอย่าง/ปริมาณตัวอย่างในการประเมิน: จำนวน 1 ซ้อนชา

กลิ่นรส (Flavour)	รหัสตัวอย่าง						
	--	--	--	--	--	--	--
กลิ่นรสส้มโอ (Pomelo ID) : กลิ่นรสเปรี้ยวและหวานที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของส้มโอ รวมทั้งส่วนที่เป็นเนื้อ และเปลือก วิธีประเมิน : เคี้ยวเนื้อส้มโอให้แตกออกจำนวน 3 ครั้ง ประเมินความเข้มของกลิ่นรสในระหว่างที่น้ำส้มโออยู่ภายในปาก							
กลิ่นรสเปรี้ยว (Sour Aromatics) : กลิ่นรสเปรี้ยวของกรดซิตริกในผลไม้ตระกูลส้ม วิธีประเมิน : เคี้ยวเนื้อส้มโอให้แตกออกจำนวน 3 ครั้ง ประเมินความเข้มของกลิ่นรสในระหว่างที่น้ำส้มโออยู่ภายในปาก							
กลิ่นรสหวาน (Sweet Aromatics) : กลิ่นรสหอมหวานของผลไม้ วิธีประเมิน : เคี้ยวเนื้อส้มโอให้แตกออกจำนวน 3 ครั้ง ประเมินความเข้มของกลิ่นรสในระหว่างที่น้ำส้มโออยู่ภายในปาก							
กลิ่นรสเขียว (Greeny) : กลิ่นเขียวของเปลือกส้มโอส่วนสีขาว วิธีประเมิน : ประเมินกลิ่นรสเขียวภายหลังจากการกลืนน้ำส้มโอแล้ว ประเมินความเข้มเมื่อลมหายใจออก							
กลิ่นรสหมัก (Fermented) : กลิ่นรสของผลไม้ที่สุกเกินไป วิธีประเมิน : เคี้ยวเนื้อส้มโอให้แตกออกจำนวน 3 ครั้ง ประเมินความเข้มของกลิ่นรสในระหว่างที่น้ำส้มโออยู่ภายในปาก							





ภาพผนวกที่ ค1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

1. สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ naringin ด้วย HPLC

1.1 สภาวะในการวิเคราะห์

เครื่อง HPLC (Water™)

Column : RP-C18 (Symmetry®, 4.6 mm. x 250 mm.)

ระบบ Mobile phase : Gradient

Mobile phase : 0.1% Phosphoric acid in DI water (A)
0.1% Phosphoric acid in Acetonitrile (B)

Flow rate : 1 ml/min

Volume inject : 20 µl

Detector : Photodiode Array Detector

Wavelength : 280 nm.

ตารางผนวกที่ ค1 สัดส่วนวัฏภาคเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์ naringin โดยเทคนิค HPLC

เวลา (นาที)	วัฏภาคเคลื่อนที่ A (ร้อยละ)	วัฏภาคเคลื่อนที่ B (ร้อยละ)
1	92	8
4	89	11
10	87	13
50	40	60
53	92	8
60	92	8

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 นำตัวอย่างสารสกัดส้มโอตัดแต่งและสารมาตรฐาน naringin ผ่านตัวกรองชนิด Nylon (Waters, Milford, MA, USA) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิด 0.45 ไมโครเมตร

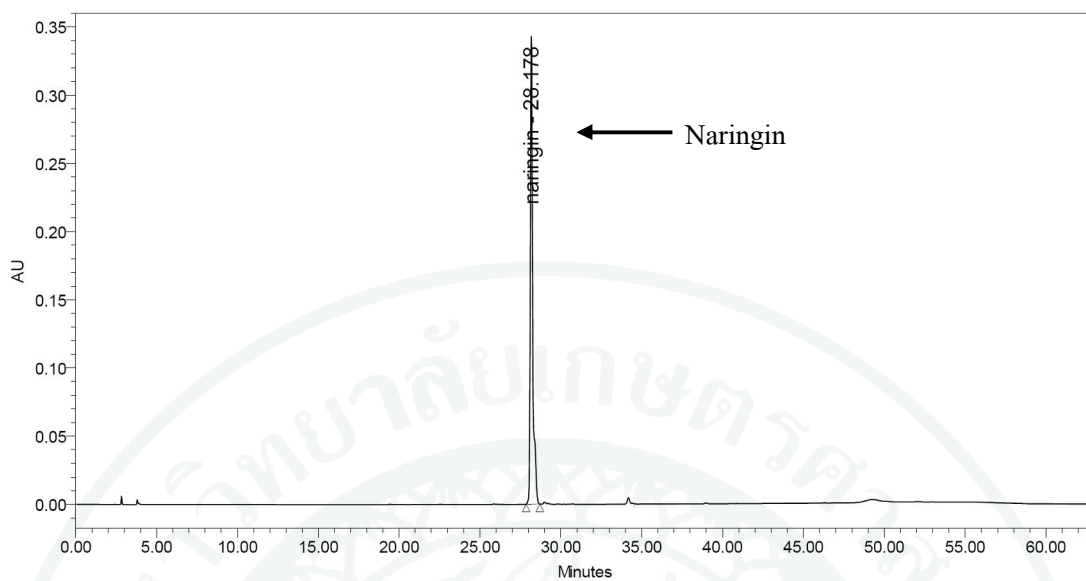
1.2.2 ฉีดสารสกัดส้มโอตัดแต่งและสารมาตรฐานเข้าสู่เครื่อง HPLC ตามสภาวะข้างต้น เพื่อทำการวิเคราะห์

1.2.3 นำพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานมาสร้างกราฟมาตรฐาน naringin ดังแสดงในภาคผนวกที่ ค3 และตัวอย่างของสารมาตรฐาน naringin แสดงดังภาคผนวกที่ ค2

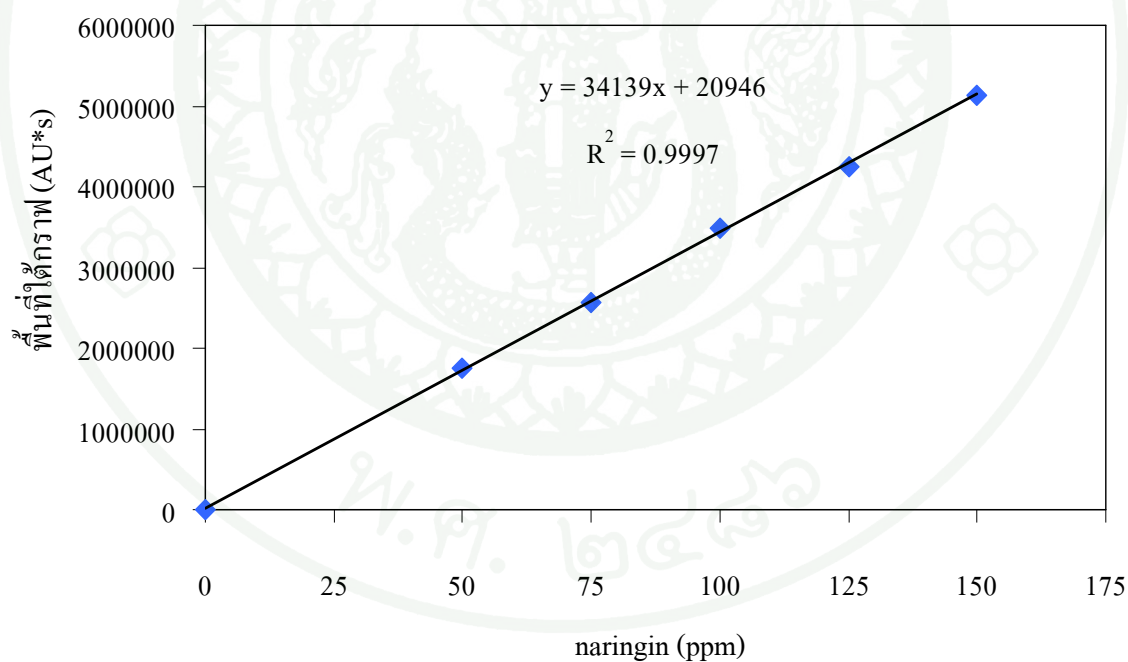
1.3 วิธีการคำนวณ

1.3.1 หาค่าพื้นที่ใต้พีคของสารที่ retention time ตรงกับเวลาของสารมาตรฐาน naringin โดยตรวจสอบที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

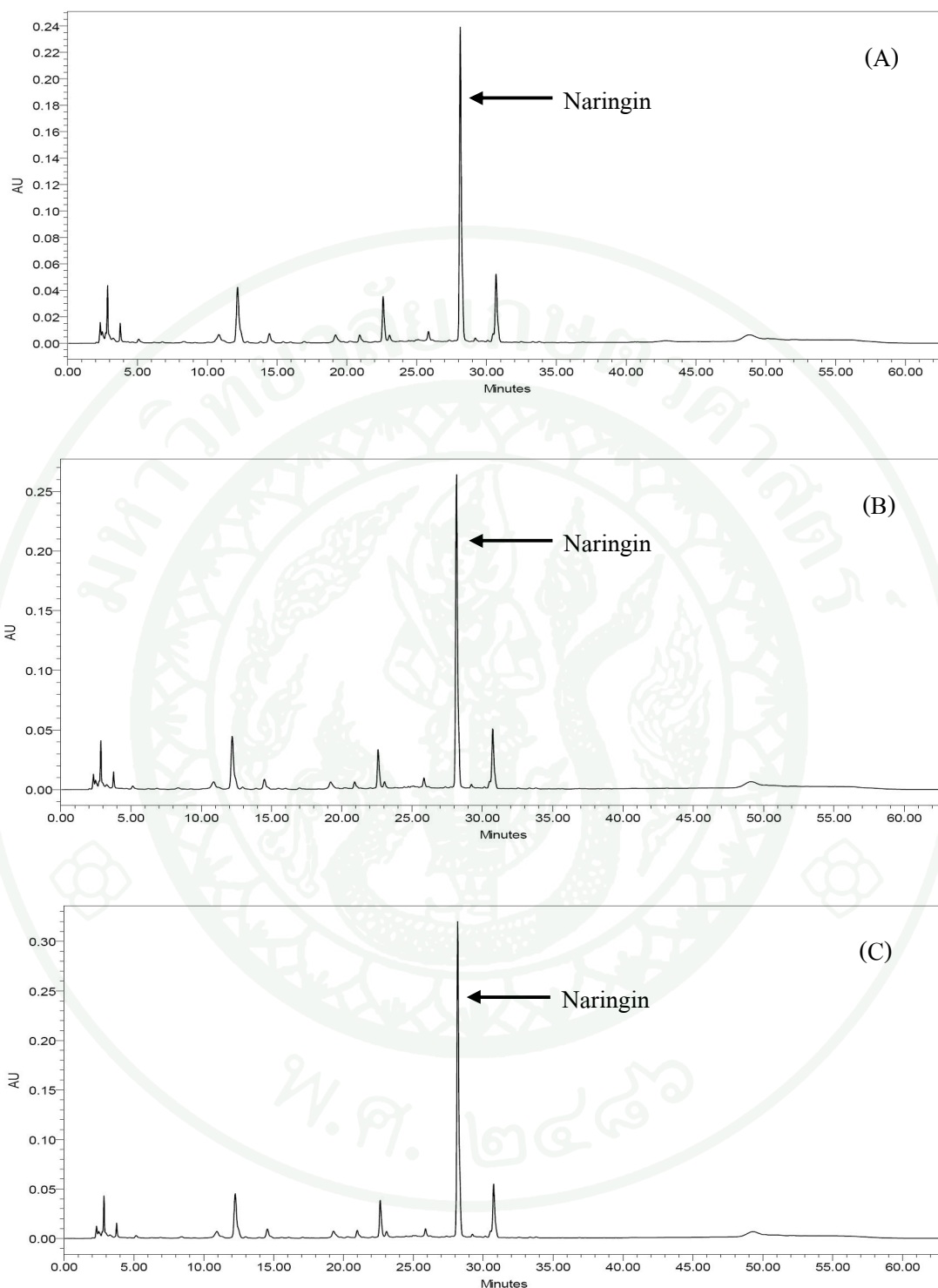
1.3.2 ปริมาณสารที่พบในตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณสารได้โดยการแทนพื้นที่ใต้พีคที่ได้ลงในสมการจากกราฟมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ ค2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน naringin ที่ความเข้มข้น 100 ppm

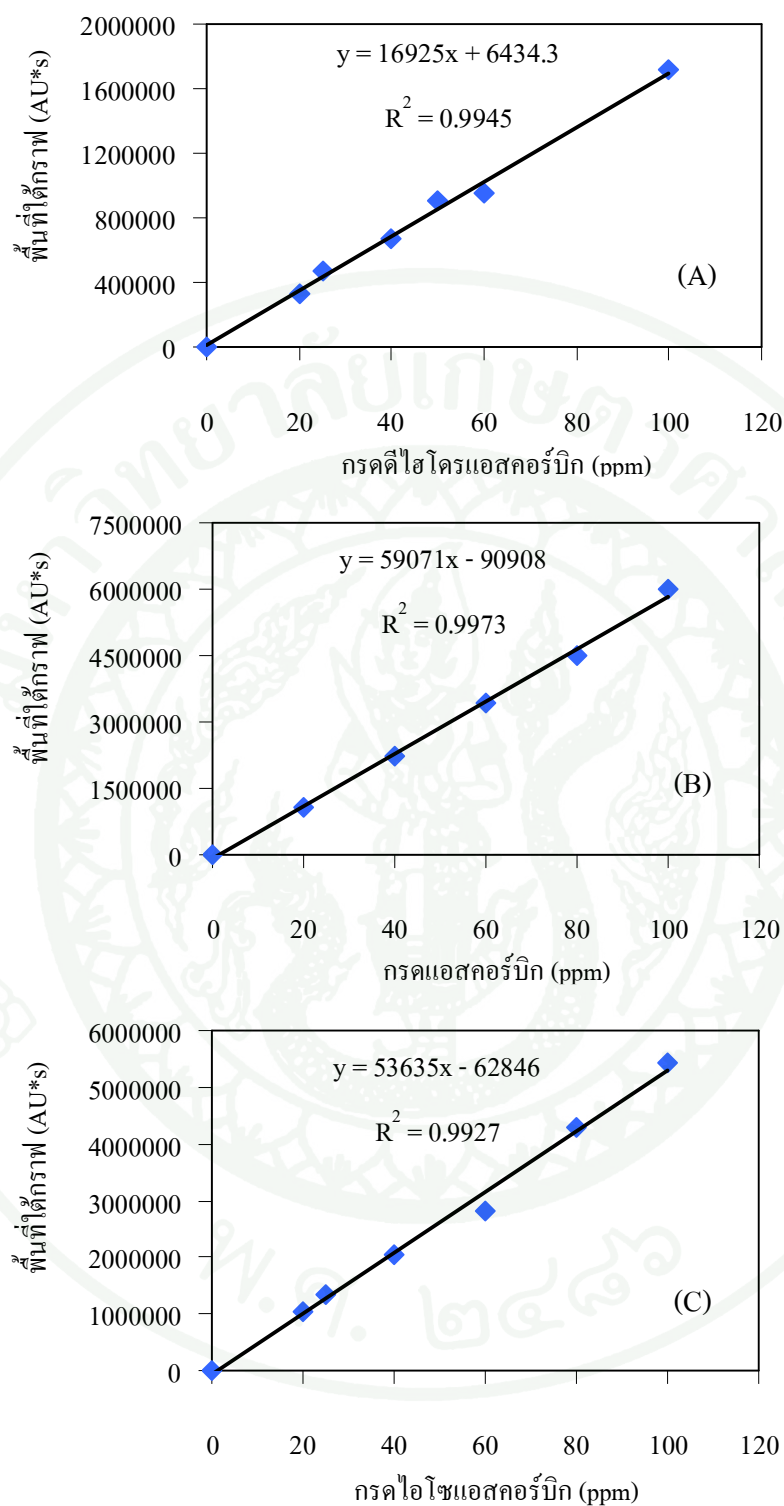


ภาพผนวกที่ ค3 กราฟมาตรฐานของ naringin

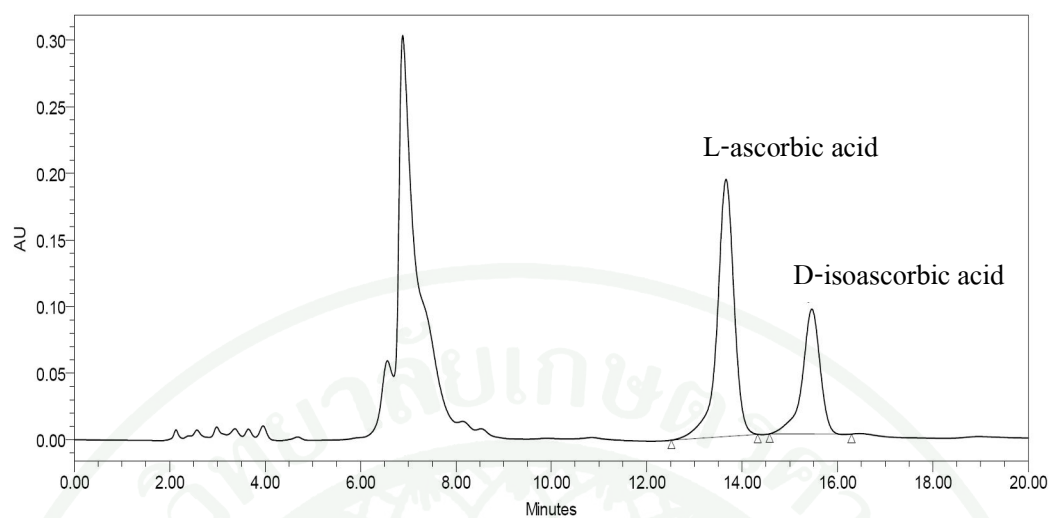


ภาพผนวกที่ ค4 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของ naringin ในส้อมโอดัดแต่งที่บรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE (A), PVC (B) และ LDPE (C) ซึ่งวิเคราะห์โดย HPLC ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

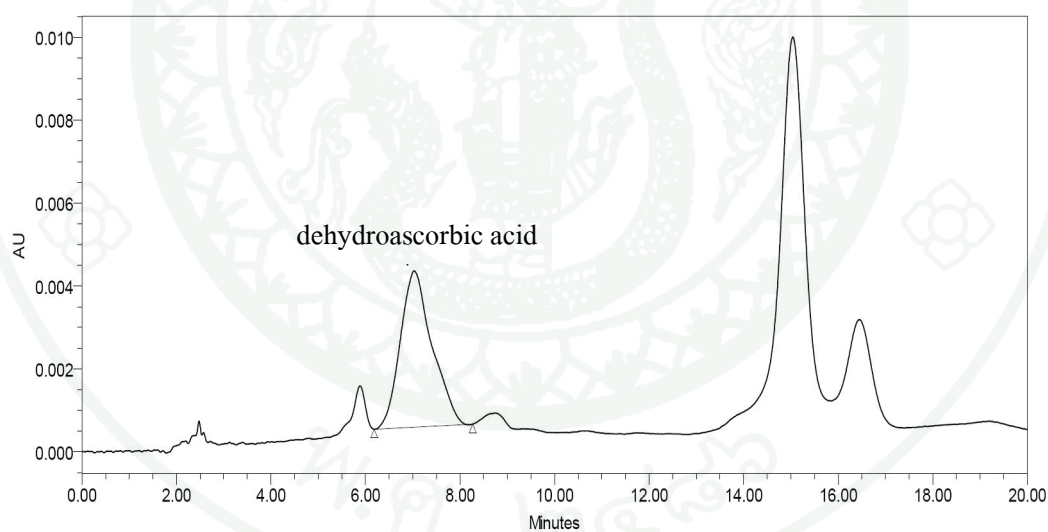




ภาพผนวกที่ ๑-1 กราฟมาตรฐานของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (A), กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) (B) และกราฟมาตรฐานของกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid) (C)

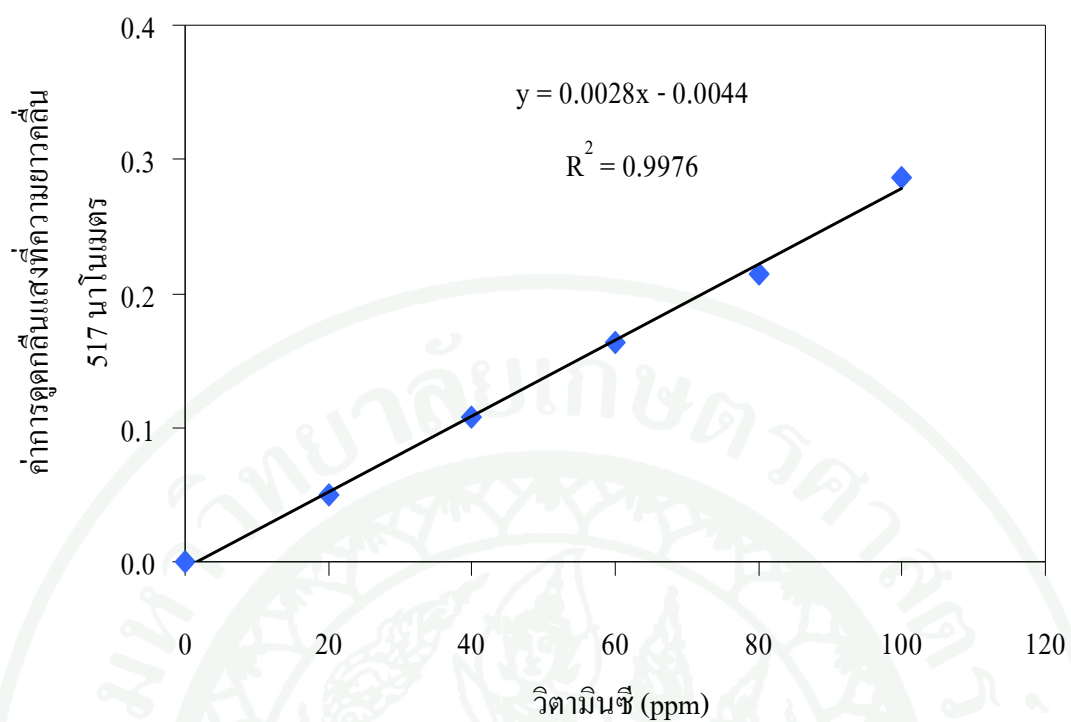


ภาพผนวกที่ ๓2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) ของส้มโอตัดแต่ง และกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid; internal standard) โดยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 261 นาโนเมตร

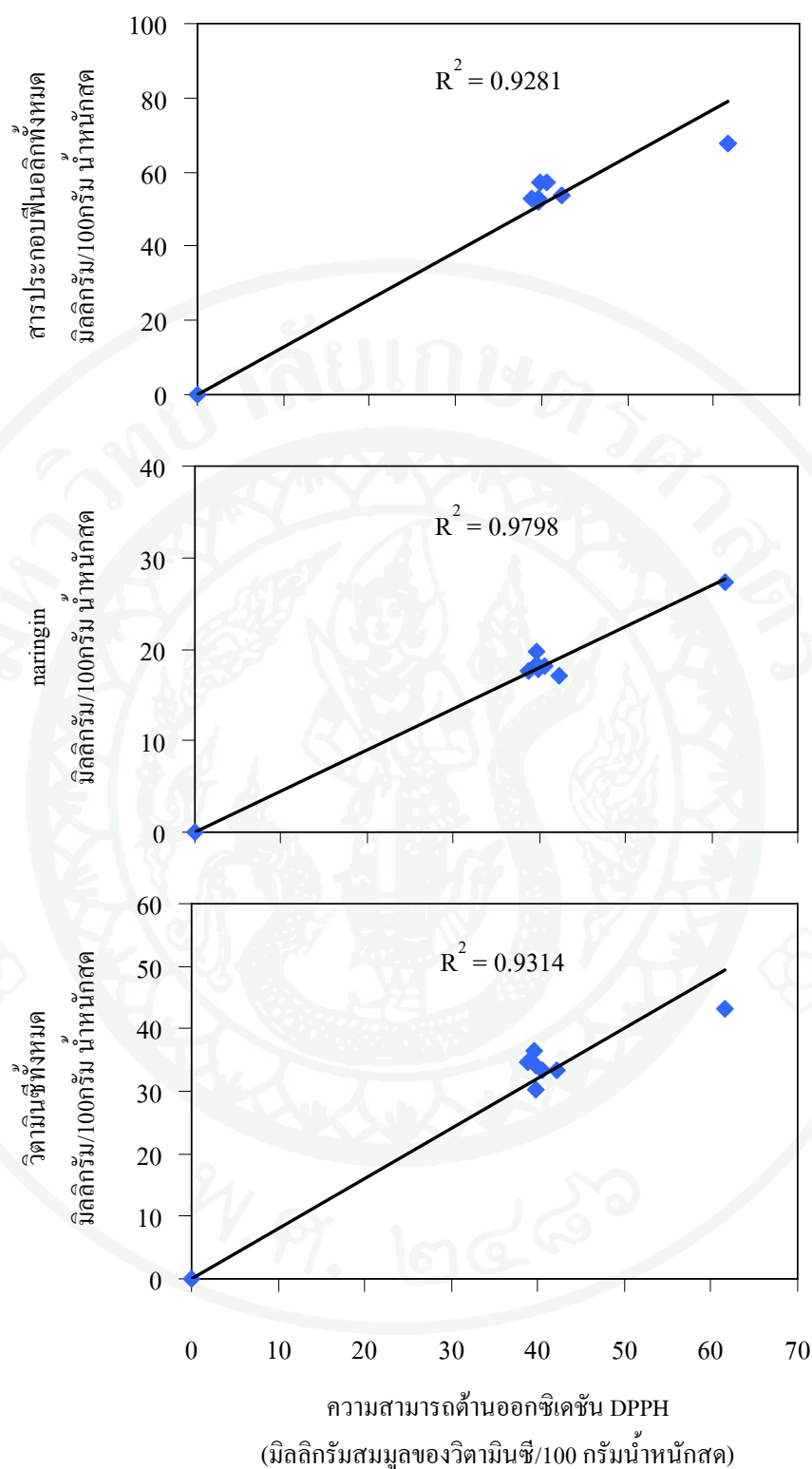


ภาพผนวกที่ ๓3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) ของส้มโอตัดแต่ง โดยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร





ภาพผนวกที่ จ1 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH



ภาพผนวกที่ จ2 กราฟแสดงค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH กับ (A) ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (B) naringin และ (C) วิตามินซีทั้งหมด

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวสุวดี ฟองอินทร์
เกิดวันที่	10 ตุลาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงราย
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยนเรศวร
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานวิจัย	เรื่องผลของฟิล์มพลาสติกต่อสารระเหยของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งคัด แต่งพร้อมบริโภค ในวารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) 2553 หน้า 428-431
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผลิตบัณฑิตจากโครงการพัฒนาศักยภาพและวิจัยเทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน