ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา

โดย

นายสุเทพ นิยมญาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2553

ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา

โดย

นายสุเทพ นิยมญาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2553

THE EFFECT OF OZONE ON THE QUALITY CHANGES OF FRESH - CUT POMELO DURING STORAGE

By
Suthep Niyomyat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
MASTER OF SCIENCE
Department of Food Technology
Graduate School
SILPAKORN UNIVERSITY
2010

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา” เสนอโดย นายสุเทพ นิยมญาติ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรากรณ์ มหาโยธี
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ถิรธรรมถาวร)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรากรณ์ มหาโยธี)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร)

...../...../.....

52403212 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คำสำคัญ : ส้มโอ / ก๊าซโอโซน / คุณภาพ

สุเทพ นิยมญาติ : ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.บุศรากรณ์ มหาโยธี และ ผศ.ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร. 115 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการรมก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ กายภาพสรีรวิทยา เคมี และจุลินทรีย์ของส้มโอขาวน้ำผึ้งตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา โดยรมเนื้อส้มโอด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 2 ppm ที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10ºC เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นบรรจุในถาดพลาสติก PET ปิดด้วยฟิล์ม LLDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7±1ºC เป็นระยะเวลา 20 วัน ผลการทดลองพบว่า การรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ แต่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าสีซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ได้แก่ L*, b*, hº และ C* ส่วนค่า a* นั้นจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และการสร้างเอทานอล ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่พบว่าปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ ค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มสูงขึ้น และปริมาณนารินจินจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ก๊าซโอโซนไม่มีผลต่อความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณวิตามินซีและลิโมนินซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านจุลินทรีย์ พบว่า การรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4ºC จะสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ดีที่สุด โดยลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราจาก 3.12 และ 3.16 เป็น 0.86 และ 2.15 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานของผลไม้ตัดแต่งที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด เมื่อนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าส้มโอตัดแต่งชุดควบคุมจะมีคะแนนความเข้มสี โดยชุดที่รมด้วยก๊าซโอโซนยังมีกลิ่นและรสชาติแปลกปลอมน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในด้านการยอมรับพบว่าที่อุณหภูมิ 4ºC จะได้คะแนนการยอมรับสูงสุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ..... 2. .....

52403212 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD : POMELO / GASEOUS OZONE / QUALITY
SUTHEP NIYOMYAT : THE EFFECT OF OZONE ON THE QUALITY CHANGES OF FRESH-CUT POMELO DURING STORAGE. THESIS ADVISORS : ASST.PROF. BUSARAKORN MAHAYOTHEE, Ph.D., AND ASST.PROF.ARUNSRI LEEJEERAJUMNEAN, Ph.D. 115 pp.

This research aimed to study the effect of gaseous ozone on the physical, physiological, chemical and microbiological quality of fresh-cut pomelo during storage. Flesh of fruit was fumigated with gaseous ozone at the concentration of 2 ppm at 4, 7 and 10ºC for 30 min. Samples were kept on PET trays, sealed with LLDPE film and stored in refrigerator at 7±1ºC, 85±2% RH for 20 days. The results showed that gaseous ozone treatments had no effect on weight loss, respiration rate, ethylene production rate and gas composition in package. Changes in color L*, b*, Hº and C* of the ozone treated pomelo were increased, while the a* value was decreased during storage. Changes in the chemical quality showed that the amount of total phenolics content, total flavonoids content and ethanol build up were not significantly different throughout the storage period. The amount of titratable acidity and pH increased throughtout storage period whereas naringin content was decreased. Ozone did not affect the ability of DPPH free radical scavenging activity associated with substances that have health benefits, vitamin C and limonin contents. Changes in the microbiological quality showed that gaseous ozone treatment at 4ºC was highest efficiency in reducing the number of initial load of microorganism by reducing the total microbial, yeast and mold population from 3.16 and 3.12 to 0.86 and 2.15 log CFU/g, respectively, which were less than the standard of the Ministry of Public Health. Sensory analysis showed that the score of color intensity, off-ordor and off-flavor of the fresh-cut pomelo treated with gaseous ozone at all temperature was lower than those of the control, but not significanyly different. (p> 0.05) In pomelo treated with gaseous ozone at 4ºC had highest preference score throughtout 15 days of storage.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2010
Student's signature .....
Thesis Advisors' signature 1. ..... 2. .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้น ณ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งความสำเร็จในครั้งนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรากรณ์ มหาโยธี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาให้คำแนะนำ คำที่ปรึกษา ข้อเสนอแนะ และแนวทางที่ดีๆ ตลอดจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ถิรธรรมถาวร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยการใช้โอโซน ปีงบประมาณ 2552

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย ซึ่งเป็นรากฐานของในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณพี่เจ้าหน้าที่สำนักงาน และเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ทุกคน ที่อำนวยความสะดวก ให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่น และประสบความสำเร็จได้ในวันนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชาย ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและทุกสิ่งทุกอย่างมาโดยตลอด รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาโททุกคน ที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้า

สารบัญ

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ หน้า

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ หน้า

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค (fresh-cut fruits) คือผลไม้ที่ได้รับการปฏิบัติการใดๆ ก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด เช่น การทำความสะอาด การปอกเปลือก การตัดแต่ง และการบรรจุ เป็นต้น โดยที่ผลไม้ยังคงความสดใหม่อยู่ ซึ่งการแปรรูปผลไม้เป็นผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคนิยมใช้กับผลไม้ที่มีความบอบบาง ง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรค และเน่าเสียเร็วกว่าปกติ รวมถึงผลไม้ที่มีเปลือกหรือส่วนที่รับประทานไม่ได้เป็นจำนวนมากและผลมีขนาดใหญ่ เช่น ขนุน ส้มโอ มังคุด และทุเรียน เป็นต้น (จริงแท้, 2546) ปัจจุบันตลาดผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีการเติบโตอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยเฉพาะในสังคมเมืองใหญ่ซึ่งการดำรงชีวิตค่อนข้างเร่งรีบ จึงต้องการความสะดวกสบายและความรวดเร็วในการบริโภคอาหาร อย่างไรก็ตามการตัดแต่งหรือการหั่นผลไม้ทำให้เนื้อเยื่อพืชถูกทำลาย ง่ายต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเนื่องจากเอนไซม์ เช่น การเกิดสีน้ำตาล นอกจากนี้การเกิดบาดแผลทำให้ผลไม้ผลิตเอทิลีนและหายใจมากขึ้น เมตาบอลิซึมสูงขึ้นนำไปสู่การเน่าเสียได้ง่าย (จริงแท้, 2546) ดังนั้นอุปสรรคที่สำคัญต่อการขยายตลาดของผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค คือการที่ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาสั้น (Watada และ Ling, 1999) การลดปัญหาดังกล่าว จะต้องมีวิธีปฏิบัติต่อผลไม้ที่ถูกต้อง นับตั้งแต่การล้าง การตัดแต่ง จนกระทั่งถึงการบรรจุ การล้างนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผักและผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการล้างจะช่วยกำจัดดิน สิ่งปนเปื้อน ลดปริมาณจุลินทรีย์ ลดการเกิดสีน้ำตาล และลดอุณหภูมิของผลิตผลลง มีรายงานว่าการล้างจะเป็นการกำจัดน้ำในเซลล์ที่มีเอนไซม์ และสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล จึงช่วยชะลอการเสื่อมเสียของผักสลัดได้ (Bolin และคณะ, 1977; Bolin และ Huxsoll, 1991) โดยทั่วไป สามารถใช้น้ำล้างที่เป็นสารละลายคลอรีนเข้มข้น 50-200 ppm ที่เย็นในการลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ (Simons และ Sanguansri, 1997; Watada และ Ling, 1999) อย่างไรก็ตาม การใช้คลอรีนยังมีปัญหาด้านปริมาณคลอรีนตกค้างและความปลอดภัย (Day, 2001) จึงได้มีการคิดค้นหาวิธีและเทคโนโลยีใหม่ เช่น การใช้โอโซน การใช้น้ำอุ่นร่วมกับการใช้คลอรีนการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

โอโซน (O_3) มีประสิทธิภาพดีในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งในรูปน้ำโอโซนและก๊าซโอโซน สำหรับการใช้ก๊าซโอโซนเป็นกระบวนหนึ่งที่สามารถช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารได้ โดยจากการศึกษากลไกการทำงานของโอโซนในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และทำลายเซลล์แบคทีเรีย พบว่า โอโซนจะไปออกซิไดซ์ (oxidize) หมู่ซัลไฮดริล (sulfhydryl) ของกรดอะมิโนในสายโซ่เปปไทด์ (peptide) ของเอนไซม์ และโปรตีนของเซลล์แบคทีเรียทำให้ถูกตัดเป็นเปปไทด์สายสั้นๆ ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียสภาพในที่สุด หรือในบางกรณีโอโซนจะไปออกซิไดซ์กรดไขมันไม่อิ่มตัวให้เป็นกรดเพอร์ออกไซด์ (peroxides acid) ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์ จึงทำให้เซลล์ตาย (Guzel-Seydim และคณะ, 2004a) ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้โอโซนในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร และผิวหน้าของวัสดุที่ใช้ในการประกอบอาหาร Zhang และคณะ (2005) พบว่าการล้าง fresh-cut celery ด้วยโอโซน 0.18 ppm สามารถลดเชื้อจุลินทรีย์ได้ถึง 1.69 log CFU/g ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°C โดยที่ไม่ส่งผลต่อปริมาณวิตามินซีและปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์

ส้มโอ (pomelo) จัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย นิยมปลูกในเขตภาคกลางและทางภาคตะวันตกของประเทศ เช่น นนทบุรี และนครปฐม เป็นต้น ตลาดต่างประเทศของส้มโอได้แก่ ไต้หวัน ฮ่องกง สิงคโปร์ มาเลเซีย และในแถบยุโรป ได้แก่ ฝรั่งเศส อังกฤษ เยอรมนี พันธุ์ที่ส่งออกมากที่สุดคือ พันธุ์ขาวพวงและขาวทองดี จากการที่ส้มโอมีเปลือกหนา การปอกยุ่งยาก การแปรรูปเป็นส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค เป็นการเพิ่มความสะดวก เพิ่มช่องทางการส่งออก และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ปัจจุบันตามห้างสรรพสินค้ามีส้มโอปอกเปลือกและแกะเป็นกลีบวางบนถาดโฟมหรือถาดพลาสติกห่อหุ้มด้วยฟิลม์พลาสติกใสวางขายกันอยู่ทั่วไป ซึ่งเรียกว่า “ส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค” ส้มโอลักษณะนี้ต้องเก็บรักษาในที่เย็นเพราะเกิดแผลขึ้นมากระหว่างการเตรียมเพื่อการวางจำหน่าย การเก็บรักษาสามารถทำได้ที่อุณหภูมิ 0-2°C เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 2 สัปดาห์ (นันท์ชนก, 2545) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0-2°C ไม่ใช่อุณหภูมิตู้เย็นที่มีทั่วไป ซึ่งนิยมตั้งไว้ที่ 7°C นันท์ชนก (2545) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเนื้อส้มโอพร้อมบริโภคคือลักษณะปรากฏ คุณภาพภายใน สี และกลิ่น ซึ่งถ้าเก็บรักษาส้มโอในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะเกิดกลิ่นผิดปกติ

จากการวิจัยของธีรศาสตร์ และ อัศพงศ์ (2552) พบว่าการล้างส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งทั้งผลด้วยน้ำโอโซนความเข้มข้น 0.5 ppm และ 1.0 ppm พบว่า ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สามารถเก็บรักษาได้ 16 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2% ส่วนการรมเนื้อส้มโอด้วยก๊าซโอโซนที่มีอัตราการไหลของออกซิเจน 6 ลิตร/นาที นาน 30 นาที สามารถยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอขาวน้ำผึ้งตัดแต่งพร้อมบริโภคได้เป็นเวลา 20 วัน

อย่างไรก็ตามยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของการใช้ก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาที่จำกัด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยใช้ก๊าซโอโซนช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการใช้ก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

1.2.2 เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสารฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น นารินจิน และลิโมนิน ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การใช้โอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา โดยการรมเนื้อส้มโอด้วยก๊าซโอโซนจะสามารถช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่บริเวณผิวหน้า อีกทั้งยังช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีกายภาพอีกด้วย

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 วัตถุดิบที่เลือกศึกษาคือส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

1.4.2 ศึกษาผลของการใช้ก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10°C ต่อคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษา ที่ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2% ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่มักจะใช้ในการเก็บรักษาผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค

1.4.3 บรรจุเนื้อส้มโอ 250 กรัม (ประมาณ 2-3 กลีบ) บนถาดพลาสติก Polyethyleneterephthalate (PET) หุ้มด้วยฟิล์ม linear low density polyethylene (LLDPE)

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้มโอ

ส้มโอ มีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Citrus maxima* Merr. หรือ *Citrus grandis* (L.) Osbeck เป็นพืชวงศ์ Rutaceae มีชื่อสามัญว่า pummel หรือ pomelo (รวี, 2535) ส้มโอเป็นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทยที่มีศักยภาพส่งออกและนิยมบริโภคภายในประเทศ โดยในปี 2548 มีการส่งออกส้มโอไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศปริมาณ 6,293 เมตริกตัน มีมูลค่ามากกว่า 99.68 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2549)

ส้มโอเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric โดยส้มโอจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีอย่างช้าๆ (Ting และ Attaway, 1971) มีอัตราการหายใจคงที่ (ดนัยและนิธิยา, 2535) เมื่อแก่เต็มที่จะมีอัตราการหายใจอยู่ในช่วงระหว่าง 3 ถึง 5 mg CO_2/kg.hr ที่อุณหภูมิ 10°C และ 7 ถึง 12 mg CO_2/kg.hr ที่อุณหภูมิ 20°C มีการผลิตเอทิลีนน้อยมากประมาณ 0.1 µl C_2H_4/kg.hr ที่อุณหภูมิ 20°C (Kader, 2002) ส้มโอจัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางในตระกูลเดียวกับส้ม ช่วงที่ให้ผลผลิตมากอยู่ระหว่างเดือนสิงหาคม-ตุลาคม มีช่วงการเก็บเกี่ยวที่ยาวนานคือตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งผลแก่ใช้เวลา 8 เดือน แต่สามารถเก็บผลได้ตั้งแต่ผลมีอายุ 7 เดือนและยังยืดระยะเวลาเก็บเกี่ยวออกไปถึงอายุประมาณ 10 เดือน (นิภา, 2531) มีน้ำหนักต่อผลประมาณ 1100-2000 กรัม พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าหลักของประเทศไทยมี 5 พันธุ์ ได้แก่ ทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวใหญ่ และทับทิมสยาม แสดงดังตารางที่ 1 (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2541) ปัจจุบันพื้นที่ปลูกส้มโอได้กระจายอยู่ในจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศโดยมีแหล่งผลิตที่สำคัญ ได้แก่ นครปฐม สมุทรสาคร ราชบุรี ชัยนาท พิจิตร ปราจีนบุรี นครนายก ตราด ชุมพร สงขลา เป็นต้น

ส้มโอเป็นผลไม้เพื่อสุขภาพ มีเนื้อสีเหลืองใส ชมพู จนถึงแดง มีรสชาติดีคือ มีรสหวานอมเปรี้ยว (Kimball, 1999) ขึ้นอยู่กับพันธุ์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (ตารางที่ 2) โดยเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีวิตามินซีสูง และมีสรรพคุณเป็นยาละลายเสมหะ แก้ไอ บำรุงกระเพาะอาหาร ช่วยเจริญอาหาร ส้มโอเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนาทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสียคุณภาพ โดยในน้ำส้มโอมีน้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ซึ่งสัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ของส้มโอ (Cookes และ Gerison, 1983)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของส้มโอพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์	คุณลักษณะ
ทองดี	ผลมีขนาดโตปานกลางในเปลือกมีสีชมพูเรื่อๆ ผนังกลีบมีสีชมพูอ่อน กุ้งมีสีชมพูเบียดกันแน่น นิ่ม ฉ่ำน้ำ รสหวานอมเปรี้ยว เมล็ดมีขนาดเล็กเป็นพันธุ์ที่บริโภคโดยทั่วไปและส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ
ขาวน้ำผึ้ง	เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีขาวอมชมพู กุ้งมีสีเหลืองอมน้ำตาลหรือสีน้ำผึ้ง ขนาดกุ้งค่อนข้างใหญ่เบียดกันแน่น มีน้ำมากแต่ไม่แฉะ มีรสหวานอมเปรี้ยว แหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี
ขาวแตงกวา	เป็นพันธุ์ที่กำเนิดในจังหวัดชัยนาท มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ เปลือกชั้นในมีสีขาว กุ้งมีขนาดใหญ่ อยู่ในลักษณะเบียดกันไม่แตกจากกันง่าย รสหวานแหลม ไม่มีกลิ่นเหม็นเขียวและขมติดลิ้น
ขาวใหญ่	เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากในจังหวัดสมุทรสงคราม มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ กุ้งสีขาวอมเหลืองถึงน้ำตาลอ่อนออกชมพูเล็กน้อย กุ้งเกาะตัวกันแน่น ไม่หลุดร่วงง่าย รสชาติหวาน มีอมเปรี้ยวเล็กน้อย
ทับทิมสยาม	เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีผลขนาดใหญ่ หัวจีบ กุ้งสีแดงจัด กุ้งเกาะตัวกันแน่น รสชาติหวาน มีอมเปรี้ยวเล็กน้อย

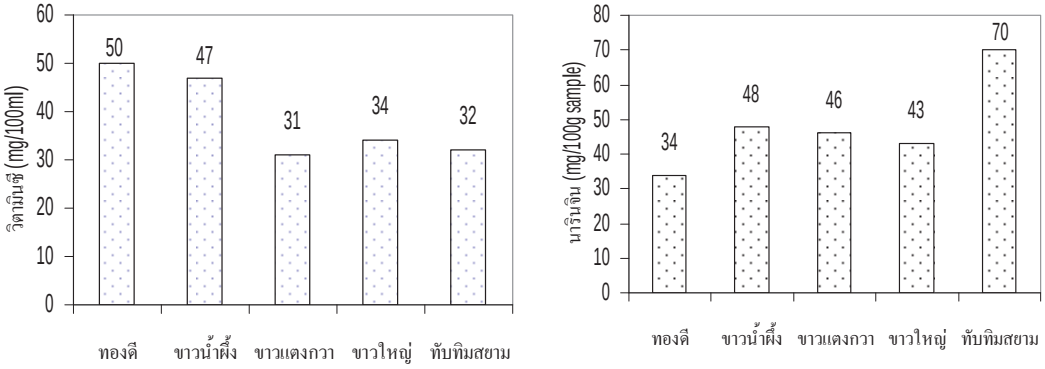
ที่มา : ดัดแปลงจาก เสาวภา (2553)

หลังจากเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณกรดในผลไม้ตระกูลส้มจะลดลงมากกว่าปริมาณน้ำตาล ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกับกรดเพิ่มขึ้นเมื่อนำมาบริโภคจึงมีรสชาติหวานขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าส้มโอมีกรดอะมิโนอิสระเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสารสำคัญกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่เรียกว่า สารนารินจิน (naringin) ซึ่งพบในปริมาณมากที่สุดถึง 40-60% ของสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด โดยพันธุ์ทับทิมสยามมีปริมาณสารนารินจินมากที่สุด (70 mg/100g FW) และวิตามินซี (ascorbic acid) ส่วนพันธุ์ทองดีมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด (50 mg/100ml) (เสาวภา, 2553) ซึ่งวิตามินซีมีคุณสมบัติพิเศษในการเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารนารินจินและปริมาณวิตามินซีในส้มโอพันธุ์ต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของส้มโอ

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณต่อ 100 กรัมตัวอย่างสด
ความชื้น (%)	89.10
พลังงาน (KJ)	159
โปรตีน (g)	0.76
ไขมัน (g)	0.04
เถ้า (g)	0.48
คาร์โบไฮเดรต (g)	9.62
ไฟเบอร์ (g)	1.0
แร่ธาตุ	
แคลเซียม (mg)	4
เหล็ก (mg)	0.11
แมกนีเซียม (mg)	6.00
ฟอสฟอรัส (mg)	17
โพแทสเซียม (mg)	216
โซเดียม (mg)	1
สังกะสี (mg)	0.08
ทองแดง (mg)	0.048
แมงกานีส (mg)	0.017
วิตามิน	
วิตามินซี (mg)	61.0
ไธอะมีน (mg)	0.034
ไนอะซิน (mg)	0.220
วิตามินบี 6 (mg)	0.036

ที่มา : http://www.all-creature.org (สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2553)



(ก) (ข)

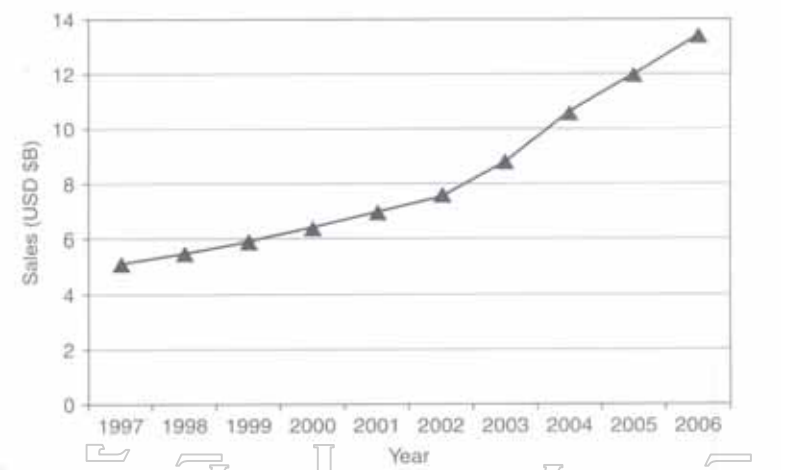
ภาพที่ 1 ปริมาณวิตามินซี (ก) และปริมาณสารนารินจิน (ข) ในส้มโอพันธุ์ต่างๆ
ที่มา : ดัดแปลงจาก เสาวภา (2553)

Theppakorn และ Chaiwong (2009) ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอพันธุ์ทองดีในประเทศไทยจากแหล่งเพาะปลูกต่างๆ ได้แก่ เชียงราย นครพนม นครนายก ปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช พบว่าส้มโอจากนครศรีธรรมราชมีปริมาณวิตามินซีและสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมากที่สุดคือ 71.37 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร และ 67.15 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ ชนิดของฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุด คือ นารินจิน การประเมินความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ส้มโอมีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ DPPH ในช่วง 148.44-231.98 μmolTE/100g

2.2 การแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

โดยทั่วไปอาหารสดตามธรรมชาติเป็นอาหารที่มีคุณภาพและคุณค่าทางอาหารที่ดีที่สุด แต่อาหารสดมักเกิดการเสื่อมเสียและเน่าเสียได้ง่าย จึงต้องมีการนำกระบวนการแปรรูปอาหารมาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บ เช่น กระบวนการใช้ความร้อน กระบวนการแช่แข็ง ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ด้านสี กลิ่น รส และ คุณค่าของอาหาร ปัจจุบันนอกจากผู้บริโภคจะหันมาให้ความสำคัญต่อคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังต้องการความสะดวกในการบริโภคหรือมีความต้องการอาหารพร้อมบริโภค (ready to eat food) มากขึ้น ประกอบกับกระแสของสารต้านออกซิเดชันธรรมชาติ (natural antioxidant) ในการป้องกันอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุของการเร่งการเสื่อมสภาพของเซลล์เนื้อเยื่อและการเกิดริ้วรอย ตลอดจนการเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง ดังนั้นแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันจึงหันมานิยมบริโภคผักและผลไม้สดมากขึ้น ผัก

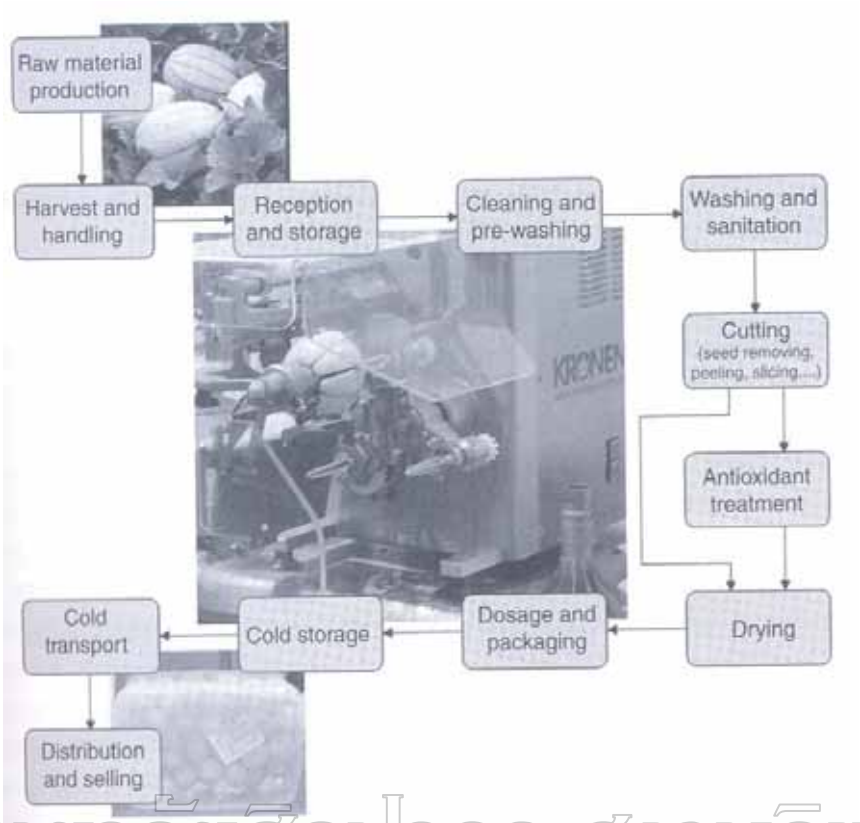
และผลไม้ตัดแต่ง (fresh–cut fruit and vegetable products) จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงผักและผลไม้สดมากที่สุด การบริโภคผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคในประเทศสหรัฐอเมริกาแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งแสดงถึงการขยายตัวของอุตสาหกรรมผักและผลไม้ในปัจจุบัน



ภาพที่ 2 ยอดขายผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคในประเทศสหรัฐอเมริการะหว่างปี 1997-2006

ที่มา : Nicola และคณะ (2009)

ผักและผลไม้ตัดแต่ง หมายถึง การนำผักหรือผลไม้สด ที่ผ่านการคัดเลือกคุณภาพมีความแก่-อ่อน ที่เหมาะสมในการบริโภค มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกเจาะแกนตัดแต่งตำหนิ ล้างทำความสะอาด หั่นให้เป็นชิ้นและบรรจุ (ดังภาพที่ 3) ซึ่งผักและผลไม้ตัดแต่งนั้นถือเป็นการแปรรูปขั้นต่ำ (minimal process) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่ง จึงเป็นผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดบรรจุพร้อมบริโภค อย่างไรก็ตามผักและผลไม้ตัดแต่งยังเป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิต ซึ่งยังคงกิจกรรมการมีชีวิตหรือมีปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์เหมือนกับผักและผลไม้สด เช่น มีการหายใจอยู่ตลอดเวลา จึงยังคงมีกระบวนการสุกตามธรรมชาติซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในทางเสื่อมคุณภาพ เช่น การนิ่มขึ้นของเนื้อผลไม้ สีของผักหรือเนื้อผลไม้ที่ซีดลง และมีการเปลี่ยนแปลงของรสชาติ เป็นต้น อย่างไรก็ตามขั้นตอนในกระบวนการตัดแต่ง เช่น การปอกเปลือก การเจาะแกนตัดแต่งและการหั่นเป็นชิ้น มีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดความเสียหาย ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ของเซลล์ส่งผลให้เนื้อผลไม้ตัดแต่งเน่าเสียเร็วขึ้น นอกจากนี้อัตราการหายใจที่สูงขึ้นของเนื้อเยื่อส่งผลให้เกิดการสูญเสียความกรอบอันเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญอันหนึ่งของผลไม้



ภาพที่ 3 ขั้นตอนทั่วไปในการผลิตผลไม้ตัดแต่ง
ที่มา : Nicola และคณะ (2009)

โดยปกติผักและผลไม้ตัดแต่งเกิดการเน่าเสียได้ง่ายกว่าผักและผลไม้ที่มีเปลือก เนื่องจากเปลือกเป็นโครงสร้างของพืชที่จะช่วยป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และความเสียหายของเนื้อเยื่อที่เกิดจากแรงกระแทกบริเวณส่วนที่เป็นรอยตัดที่เกิดจากการปอกเปลือก การตัดแต่งและการหั่นให้เป็นชิ้น จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการแปรรูปผักและผลไม้ตัดแต่งจึงต้องมีการจัดการแนวทางในการผลิตที่ดี (Good Manufacturing Practice) อย่างเคร่งครัด และมีการควบคุมอุณหภูมิในการผลิตเพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นขั้นตอนเหล่านี้ควรจะเป็นกรรมวิธีที่ทำให้เนื้อเยื่อผลไม้เกิดการเสียหายน้อยที่สุด ดังนั้นอุปกรณ์และเทคนิคในการตัดแต่งจึงจำเป็นที่ต้องใช้ใบมีดที่มีความคมมากเพื่อลดความเสียหายเนื่องจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะผิวหน้าของชิ้นผลไม้ตัดแต่งให้คงลักษณะปรากฏที่ดึงดูดผู้บริโภคให้สนใจในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นคุณลักษณะลำดับต้นๆ ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ใช้ตัดสินในการยอมรับหรือซื้อผลิตภัณฑ์นอกเหนือไปจากรสชาติ เนื้อสัมผัส และความสดกรอบของผลิตภัณฑ์ผลไม้ตัดแต่ง

เนื้อเยื่อของพืชที่เกิดการเสียหายหรือฉีกขาดจะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ มีผลทำให้ผักและผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะและคุณภาพไป โดยทั่วไปผลไม้ตัดแต่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดกว่าผักตัดแต่ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ผลไม้มีการตัดแต่งและรอยตัดมากกว่าผักและเนื้อเยื่อของผลไม้มักจะมีสีที่อ่อนกว่าจึงสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดมากกว่า การเปลี่ยนแปลงของผลไม้ตัดแต่งที่สำคัญ ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลที่ผิวและการสูญเสียความกรอบไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคในที่สุด (Soliva-Fortuny และ Martin – Bellose, 2003)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

2.3.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลโดยตรงต่อขบวนการหายใจ ถ้าปล่อยให้อุณหภูมิของผลิตผลพืชสวนสูงขึ้น อัตราการหายใจก็สูงขึ้นด้วย และเมื่ออัตราการหายใจสูง ความร้อนจะสูงขึ้นอีกเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ดังนั้น การรักษาอุณหภูมิของผลิตผลให้อยู่ในระดับต่ำ ทำให้ขบวนการหายใจลดลง เป็นการช่วยยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลพืชสวนได้ทางหนึ่ง อุณหภูมินอกจากมีอิทธิพลต่อการหายใจแล้ว ยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลด้วย การเก็บผลิตผลพืชสวนไว้ที่อุณหภูมิเกิน 40°C จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อถ้าเก็บที่ 60°C ขบวนการเกี่ยวกับเอนไซม์ทุกชนิดจะหยุด และผลิตผลก็จะตาย ความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิสูงจะเห็นได้จากการเกิดกลิ่นแอลกอฮอล์และรสชาติเสียไปเพราะเป็นผลของปฏิกิริยาการหมัก (fermentation) และการสลายตัวของเนื้อเยื่อ ปกติมักเกิดขึ้นเมื่อเก็บผลิตผลพืชสวนปริมาณมากไว้ในอุณหภูมิสูง การเก็บไว้ในอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เนื้อเกิดช้ำหรือสุกไม่เท่ากัน เกิดเชื้อราและเน่าเร็ว

ผลิตผลที่เก็บในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าระดับที่ผลิตผลทนได้ เมื่อนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดการสลายตัวของเนื้อเยื่อ รสชาติผิดไปจากเดิมและผลิตผลนั้นมักไม่เป็นที่ต้องการของตลาด อย่างไรก็ตามผลไม้เมืองร้อนส่วนใหญ่จะเกิดอาการผิดปกติขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15°C (จริงแท้, 2546) เช่น มะละกอ กล้วย สับปะรด จะแสดงอาการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อ เกิดมีสีคล้ำ รสชาติผิดปกติ บ่มไม่สุกหรือสุกไม่สม่ำเสมอ ถ้าเก็บรักษาในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าระดับปลอดภัยดังกล่าว อาการสูญเสียของผลไม้และผัก เนื่องจากความเย็นจัดนี้เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคสามารถเก็บได้ดีที่อุณหภูมิ 0-2°C เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 2 สัปดาห์ (จริงแท้, 2546) ส่วนส้มแคลิฟอเนียร์สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2-4°C เป็นเวลา 1-2 เดือน (ดนัยและนิธิยา, 2535) จากการทดลองของจริงแท้

(2546) พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาส้มโอที่ปอกเปลือกแล้วเป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดและอุณหภูมิ 5°C สามารถช่วยรักษาคุณภาพส้มโอได้ดีที่สุด

2.3.2 การควบคุม/การดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

โดยปกติอากาศมีออกซิเจน (O_2) ประมาณ 21%, คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 0.03% ที่เหลือเป็นไนโตรเจน (N_2) ออกซิเจนมีความจำเป็นสำหรับการหายใจของผักผลไม้โดยเฉพาะที่กำลังเจริญเติบโต แต่ถ้าเป็นผลผลิตที่กำลังพักตัวไม่ต้องการออกซิเจนมากนัก การเก็บรักษาถ้ามีปริมาณออกซิเจนต่ำจะช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผลและส่งผลให้ชะลอการเสื่อมเสีย แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือมีการหมักเกิดขึ้น ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ เช่นเดียวกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจ ถ้ามีปริมาณมากสามารถยับยั้งบางขั้นตอนของกระบวนการหายใจได้ นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติขัดขวางการทำงานของเอทิลีนด้วยจึงช่วยยืดอายุของผลิตผล แต่ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปก็อาจทำให้การหายใจผิดปกติและทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตผลได้เช่นเดียวกับออกซิเจน เช่น เกิดกระบวนการหมักทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ อาจเกิดการสุกที่ผิดปกติ (บ่มไม่สุก) เกิดการเน่าเสียเร็วขึ้นหรือเกิดการผิดปกติทางสรีระได้ (ดนัยและนิธิยา, 2535)

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1) การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere, CA) คือการเก็บรักษาที่มีการทำให้สภาพแวดล้อมรอบๆ ผลิตผลแปลกไปจากสภาพบรรยากาศปกติ โดยการควบคุมสภาพบรรยากาศจะมีปริมาณก๊าซต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศที่อยู่รอบๆ ผลผลิตให้อยู่ในระดับที่คงที่ตลอดการเก็บรักษา การควบคุมสภาพบรรยากาศสามารถทำได้โดยการลดปริมาณก๊าซบางชนิดหรือโดยการเพิ่มปริมาณก๊าซบางชนิดเพื่อให้สภาพบรรยากาศแตกต่างไปจากปกติโดยการลดปริมาณก๊าซออกซิเจนและหรือเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุมสามารถใช้เสริมหรือร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการรักษาคุณภาพของผักและผลไม้ได้ โดยการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุมสามารถช่วยชะลออัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้และยังสามารถช่วยลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาบางชนิดได้ (Kader, 1993) สภาพบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา Lemon (*Citrus limon*) คือ ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ถึง 10 ร่วมกับก๊าซออกซิเจนร้อยละ 5 (SeaLand, 1991) หรือที่ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0 ถึง 10 ร่วมกับก๊าซออกซิเจนร้อยละ 5 ถึง 10 (Kader, 1992; Bisshop, 1996) และสภาพบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมในการเก็บรักษา Lime

(*Citrus aurantifolia*) คือที่ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0 ถึง 10 ร่วมกับก๊าซออกซิเจนร้อยละ 5 (SeaLand, 1991) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุมยังมีข้อจำกัดและใช้งานได้ดีในผลิตผลบางชนิด (Yahia, 1998)

2) การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere, MA) หมายถึง การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบของบรรยากาศที่แตกต่างไปจากอากาศปกติจะคล้ายคลึงกับการควบคุมสภาพบรรยากาศเพียงแต่การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศนั้นไม่สามารถที่จะควบคุมให้อยู่คงที่ได้เช่นเดียวกับการเก็บรักษาแบบสภาวะควบคุมบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจและกระบวนการต่างๆ ของผลผลิต อุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศ อายุเก็บเกี่ยว อายุการเก็บรักษา สภาพความเครียดของผลผลิต เป็นต้น (จริงแท้, 2546) โดยทั่วไปผักและผลไม้สดตัดแต่งนิยมบรรจุลงภาชนะและทำการห่อหุ้มด้วยฟิล์มทำให้เกิดการสร้างสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติหรือกล่าวได้ว่าเกิดการดัดแปลงสภาพบรรยากาศเกิดขึ้นถ้าสภาพบรรยากาศภายในที่ถูกสร้างขึ้นมีความหมาะสมกับชนิดผักผลไม้ที่บรรจุอยู่ภายในจะทำให้ช่วยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของผักผลไม้สดตัดแต่งได้ เช่น การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีระดับแก๊สออกซิเจนที่ต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าสภาพบรรยากาศปกติสามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวใน ไลม์ (lime) และเกรพฟรุ๊ทได้ (Wardoski และคณะ, 1973)

2.3.3 ความชื้นสัมพัทธ์

ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งส่วนใหญ่จะมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มการสูญเสียน้ำหนักโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งมีความดันไอมาก การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งในสภาพบรรยากาศดัดแปลงจึงมีส่วนช่วยในการรักษาความชื้นสัมพัทธ์ในบรรจุภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามการเก็บในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงมากเกินไป อาจทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำและเกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้และทำให้ผลิตผลเสื่อมเสียได้ง่ายขึ้น (Mathlouthi, 1994)

2.3.4 จุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่พบในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค ได้แก่ mesophilie microflora, lactic acid bacteria, coliform, fecal coliforms, yeast and molds และ pectinolytic microflara (Nicola และคณะ, 2009) โดยพบเชื้อจำพวก mesophilic microflora มากที่สุดรองลงมา

คือ lactic acid bacteria ทั้งนี้จะพบว่าจำนวนเชื้อจะมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของผลิตผลและสุขอนามัย เป็นต้น โดยปกติแล้ว fresh-cut จะผ่านการล้างด้วยสารละลายคลอรีน ความเข้มข้น 50-200 ppm เพื่อช่วยในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ก่อนเก็บรักษา

เชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่มักพบในผลไม้จะประกอบด้วยเชื้อราและยีสต์ เช่น *Botrytis cinerea* และ *Aspergillus niger* ซึ่งเป็นเชื้อรา ส่วนยีสต์ที่พบ เช่น *Canidia, Cryptococcus, Fabospora, Kluyveromyces, Pichia, Saccharomyces* และ *Zygosaccharomyces* ซึ่งจะพบมากในผลไม้สด แต่ก็ยังมีเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถก่อให้เกิดโรคซึ่งสามารถพบได้ที่ผิวของผลไม้โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง เช่น อะโวคาโด เลมอน มะละกอ และแตงโม เชื้อ *Escherichia coli* สามารถเจริญได้ที่ความเป็นกรด-ด่างปานกลาง และอยู่ในสินค้าสดที่ผ่านการตัดแต่ง และยังมีรายงานว่าพบเชื้อ *Campylobacter jejuni* ในแตง และสตรอเบอรี่สดพร้อมบริโภค (Olga และ Robert, 2006)

2.4 โอโซน (ozone)

2.4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของโอโซน

ก๊าซโอโซน (O_3) เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจน (O) 3 อะตอม รวมตัวกันเป็นโอโซน 1 โมเลกุล ในธรรมชาติก๊าซโอโซนอาจเกิดจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงในอากาศที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าแลบหรือฟ้าผ่า ทำให้ O_2 แตกตัวเป็น O แล้วรวมตัวใหม่กับกลายเป็น O_3 แต่เครื่องผลิตโอโซนที่ผลิตใช้กันโดยทั่วไปจะอาศัยสนามไฟฟ้าความเข้มสูงเพื่อให้เกิด Corona discharge ทำให้ O_2 แตกตัวที่กระแสไฟฟ้าต่ำๆ ในการใช้สนามไฟฟ้าอาจใช้สนามไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำ (50 หรือ 60 Hz) ความถี่ปานกลาง (60-1000 Hz) และความถี่สูง (มากกว่า 1000 Hz) (สุรพล และ พิเชษฐ, 2548) ในทางเคมีก๊าซโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีมาก และในขณะเดียวกันก็เป็นสารที่ไม่อยู่ตัว มักจะสลายเป็นก๊าซออกซิเจนได้ง่าย ดังสมการ

$$2\,O_3 + \text{heat \& light} \longrightarrow 3\,O_2$$

O_2 จะสามารถคงสภาพอยู่ได้หลายสภาวะหรือกล่าวได้ว่ามีความเสถียร (stable) แต่ก๊าซโอโซนจะไม่เสถียร (unstable) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความร้อน ความดันและการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) อย่างรวดเร็วซึ่ง O_3 มีปฏิกิริยาสูงถึง 2.07 โวลต์ (oxidation potential) หากเพิ่มอุณหภูมิและลดความดัน ปฏิกิริยาข้างต้นจะไปข้างหน้าได้เร็วมาก โดยปกติโอโซนมักออกซิไดซ์โลหะ (ยกเว้นทองคำ แพลทินัม และแพลเลเดียม) ให้มีเลข

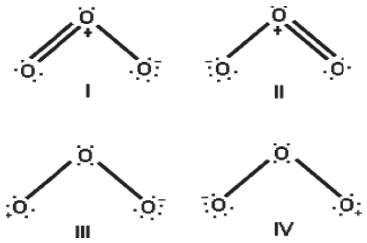
ออกซิเดชันสูงขึ้น คุณสมบัติทางกายภาพของโอโซนแสดงดังตารางที่ 3 จะเห็นว่าโอโซนมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของโอโซน

คุณสมบัติ	ค่า
Boling point	-111.9±0.3ºC
Melting point	-192.5±0.4ºC
Critical temperature	-12.1ºC
Critical pressure	54.6 atm

ที่มา : Gluzel-Seydim และคณะ (2004b)

การเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลโอโซนเป็นรูปสามเหลี่ยมได้ 4 แบบ (ภาพที่ 4) แต่ละอะตอมเกาะกันด้วยพันธะคู่ร่วมกับพันธะเดี่ยว โครงสร้างแต่ละแบบมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนกันไปมาอยู่ตลอดเวลา



ภาพที่ 4 โครงสร้างเรโซแนนซ์ของโมเลกุลโอโซน
ที่มา : Gluzel-Seydim และคณะ (2004b)

โอโซนมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งในน้ำ สารละลาย และในอากาศ มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนจากสารอื่นเข้ามาได้อีก ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) โดยตัวเองทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง ในบรรดาตัวออกซิไดซ์ทางเคมีที่มีอยู่มากนั้น โมเลกุลของโอโซนมีความสามารถสูงเป็นอันดับสองรองจากก๊าซฟลูออรีน (fluorine) โดยมีค่าศักดิ์ไฟฟ้า 2.07 โวลต์ ดังแสดงดังตารางที่ 4 (Manley และ Niegowski, 1967)

ตารางที่ 4 ความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดซ์ของสารต่างๆ

Oxidizing agent	Oxidation potential (V)
Fluorine	3.06
Ozone	2.07
Permanganate	1.67
Chlorine dioxide	1.50
Hypochlorus acid	1.49
Chlorine gas	1.36

ที่มา : Manley และ Niegowski (1967)

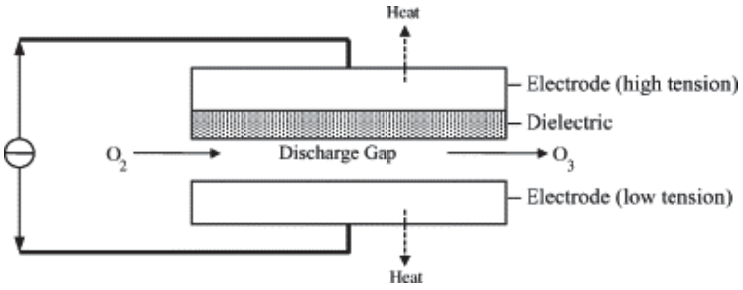
2.4.2 การผลิตโอโซน

โอโซนพบตามธรรมชาติที่ชั้นบรรยากาศของโลก อาจเกิดโดยฟ้าผ่า หรือรังสีอุลตราไวโอเลต (ultraviolet) จากดวงอาทิตย์ การผลิตโอโซนสามารถผลิตโดยเลียนแบบสภาวะจากธรรมชาติได้ 2 วิธีคือ การใช้ corona discharge และอุลตราไวโอเลต (Chawla, 2006)

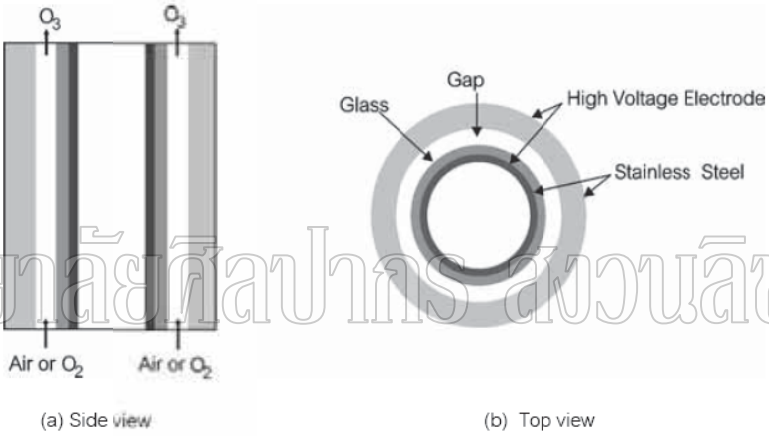
การใช้รังสีอุลตราไวโอเลตผลิตโอโซนสามารถผลิตได้โดยผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าไปในบริเวณหลอดรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร เพื่อแตกโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน เมื่อออกซิเจน 1 อะตอมมาเจอกับออกซิเจน 2 อะตอมจะจับกันเกิดเป็นออกซิเจน 3 อะตอม หรือโอโซนนั่นเอง (Whangchai และคณะ, 2006; Azarpazhooh และ Limeback, 2008; Somboonchai และคณะ, 2008) ก๊าซดังกล่าวสามารถพ่นเข้าไปในน้ำเพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อได้ ซึ่งวิธีการใช้รังสีอุลตราไวโอเลตนี้คล้ายกับการเกิดโอโซนในธรรมชาติจากแสงอาทิตย์ ส่วนการใช้ corona discharge (ภาพที่ 5) ทำได้โดยผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าไปในระหว่างสนามไฟฟ้าเข้มข้นที่ถูกผลิตมาจาก corona discharge ทำให้ออกซิเจน 2 อะตอมแตกตัวเป็นออกซิเจน 1 อะตอมที่ไม่เสถียร จึงจับกับออกซิเจนอีกโมเลกุลหนึ่งเพื่อให้เกิดความเสถียรมากยิ่งขึ้น ทำให้ได้เป็นก๊าซโอโซน และเนื่องจากการผลิตวิธีนี้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีระบบทำความเย็นเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ วิธีการนี้ใช้ผลิตโอโซนปริมาณมาก (Kim และคณะ,1993) และคล้ายกับการเกิดโอโซนด้วยฟ้าผ่าตามธรรมชาติ การเกิดโมเลกุลของโอโซนแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$O_2 + e\ (\text{high energy}) \rightarrow 2(O) + e\ (\text{low energy})$$

$$O + O_2 \rightarrow O_3$$



ภาพที่ 5 แผนผังการผลิตโอโซนโดย Corona discharge method
ที่มา : Rice และคณะ (1981)



ภาพที่ 6 ภาพตัดขวางของเครื่องกำเนิดโอโซนแบบ Corona discharge method
ที่มา : สุรพล และ พิเชษฐ (2548)

Corona discharge จะประกอบด้วย 2 อิเลคโทรด (electrode) โดยอิเลคโทรดอันหนึ่งจะมีแรงดึงสูง (high tension) ส่วนอีกอันจะมีแรงดึงต่ำ (low tension หรือ ground electrode) อิเลคโทรดทั้งสองอันจะแยกออกจากกันด้วยแผ่นเซรามิก ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวน ทำให้ช่องว่างที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าแคบลง ดังภาพที่ 5 และ 6 เมื่ออิเลคตรอนมีพลังงานจลน์เต็มที่แล้ว (ประมาณ 6-7 อิเลคตรอนโวลต์) โมเลกุลของออกซิเจนแตกออกจากกัน กลายเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว ซึ่งจะเกิดการชนและจับกันเป็นโมเลกุลของโอโซน การใช้อากาศธรรมดาเข้าสู่เครื่องจะได้ก๊าซโอโซนร้อยละ 1-3 และหากใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์เข้าไปจะได้ก๊าซโอโซนมากกว่าร้อยละ 6 (Rice และคณะ, 1981; Selma และคณะ, 2008) โดยก๊าซโอโซนไม่สามารถเก็บไว้ได้ เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะสลายตัวเป็นออกซิเจนได้เองตามธรรมชาติ (Nakagawa และคณะ, 2001; Park และคณะ, 2006; Gluzel-Seydim และคณะ, 2004a)

การผลิตโอโซนอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเกิดได้โดยผ่านกระบวนการอิเลคโทรไลซิส (electrolysis) (Benli และคณะ, 2008; Ping และคณะ, 2004) ซึ่งใช้น้ำเป็นแหล่งออกซิเจน เมื่อใส่กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบที่มีน้ำ จะเกิดกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีขึ้น กล่าวคือน้ำจะแตกตัวเป็นอะตอมไฮโดรเจน และอะตอมออกซิเจน โมเลกุลของไฮโดรเจนกลายเป็นก๊าซแล้วระเหยออกไป แล้วอะตอมของออกซิเจนก็รวมตัวกันเป็นโอโซน และออกซิเจนที่มี 2 อะตอม วิธีนี้สามารถผลิตโอโซนที่มีความเข้มข้นได้เป็น 3 - 4 เท่าของการใช้ corona discharge (Kim และคณะ, 1993)

2.4.3 การนำโอโซนไปใช้ประโยชน์

ในปี 1997 โอโซนได้รับการยอมรับจาก CODEX ว่าเป็น GRAS (Generally Regcognized As Safe) ว่ามีความปลอดภัยในการใช้และไม่มีสารเคมีตกค้าง โดยสถาบันการค้นคว้าทางพลังงานไฟฟ้า (Electric Power Research Institute; EPRI) ยอมให้มีการใช้โอโซนในอุตสาหกรรมได้ โอโซนใช้เป็นสารฆ่าเชื้อสำหรับผักและผลไม้สดอย่างแพร่หลาย เนื่องจากโอโซนเป็นสารที่มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) มีประสิทธิภาพสูงแม้ใช้ที่ความเข้มข้นต่ำและอุณหภูมิปกติ (Zambre และคณะ, 2010) ทำให้เป็นที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การผลิตน้ำดื่ม การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น โอโซนบริสุทธิ์ (Gaseous Ozone) เป็นสารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคที่ดีและเป็นสารที่ใช้ในการรม (fumigation) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารทำความสะอาดในสถานที่เก็บอาหารหรือในระหว่างการขนส่งเพื่อป้องกันแบคทีเรีย รา ยีสต์ที่ผิวของอาหาร และใช้ในการควบคุมแมลงที่ผิวของอาหารด้วย โอโซนสามารถกำจัดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์อันเกิดจากแบคทีเรีย และกำจัดก๊าซเอทีลีนเพื่อยืดอายุการสุกของผลไม้ได้โดยเปลี่ยนเอทิลีนเป็นน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2551; ณัฐพงษ์ และคณะ, 2547) ตามสมการ

$$H_2C{=}CH_2 + O_3 \leftrightarrow CO_2 + H_2O$$

Tiwari และคณะ (2009) พบว่าการใช้โอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอนโธไซยานิน วิตามินซี และสี ในน้ำสตอเบอรี่ ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ Akbas และ Ozdemir (2008) ที่พบว่าโอโซนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี pH ความหวาน และความชื้น ของผลมะเดื่อแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นจะเห็นว่าโอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันได้แตกต่างกัน

Najafi และ Khodaparast (2009) ได้ศึกษาผลการใช้ก๊าซโอโซนเพื่อลดเชื้อจุลินทรีย์ในผลอินทผลัมโดยใช้ก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 1, 3 และ 5 ppm ตามลำดับ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลอินทผลัมเริ่มต้น 4.06 log CFU/g ให้เหลือ 3.8, 3.6 และ 3.5 log CFU/g ตามลำดับ และสามารถลดปริมาณยีสต์/ราในผลอินทผลัมเริ่มต้น 3.93 log CFU/g ให้เหลือ 3.80, 3.63 และ 3.50 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของระดับความเข้มข้นสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์/รา ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ระยะเวลาในการใช้ก๊าซไม่มีอิทธิพลต่อการลดลงของปริมาณยีสต์/รา

Aguayo และคณะ (2005) ศึกษาผลของการใช้โอโซนในมะเขือเทศทั้งผล พบว่าสามารถลดอัตราการหายใจและคงความแน่นเนื้อของมะเขือเทศได้ และเมื่อใช้โอโซนในมะเขือเทศตัดแต่ง พบว่า ยังคงลักษณะปรากฏและความชอบรวมเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 15 วัน อีกทั้งโอโซนยังมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ด้วย

Warakul (2006) ศึกษาผลของการใช้โอโซนร่วมกับการดัดแปลงสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวทองดีตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่า การรมก๊าซโอโซนความเข้มข้น 0.4 ppm ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 20 นาที มีผลต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์/ราเริ่มต้นจาก 3.28 และ 2.34 log CFU/g เป็น 2.88 และ 2.15 log CFU/g ตามลำดับ และการใช้สภาพดัดแปลงบรรยากาศมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี การเจริญของจุลินทรีย์ รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการรมก๊าซโอโซนเบื้องต้น ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะออกซิเจนร้อยละ 20 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 13 สามารถลดการผลิตเอทานอล และคงความแน่นเนื้อได้เป็นอย่างดี และกระบวนการที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุดคือการรมก๊าซโอโซนร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะออกซิเจนร้อยละ 20 ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 13 โดยผลิตภัณฑ์มีการยอมรับได้จนถึงวันที่ 31

2.4.4 ความสามารถและกลไกในการทำลายจุลินทรีย์ของโอโซน

โอโซนสามารถทำลายจุลินทรีย์โดยการออกซิไดซ์องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ของเซลล์ จึงเป็นการขัดขวางการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้หลายชนิด โดยในอุตสาหกรรมมีการนำโอโซนมาใช้กันมากขึ้นทั้งในรูปแบบของก๊าซโอโซนและน้ำโอโซน (Parish และคณะ, 2003) โดยโมเลกุลของโอโซนสามารถแสดงความมีขั้วได้เนื่องจากมีคุณสมบัติในด้านอิเลคโตรฟิลิก (electrophilic) และนิวคลีโอฟิลิก (nuecleophilic) ส่งผลให้สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในสารละลายสามารถทำปฏิกิริยากับโอโซนได้

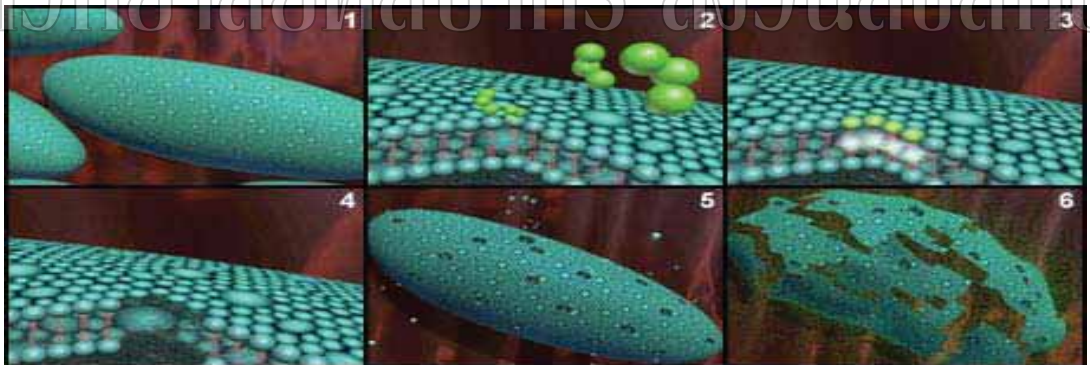
กลไกการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียโดยใช้โอโซนเป็นวิธีการที่ซับซ้อน เนื่องจากโอโซนจะเข้าจับกับส่วนต่างๆ ของเซลล์แบคทีเรีย การทำลายเชื้อจุลินทรีย์จะอาศัยหลักการเกิดออกซิเดชันภายในองค์ประกอบของเซลล์ที่ผิวหน้าของเซลล์แบคทีเรียหรือบริเวณเปลือกหุ้มเซลล์ (cell envelopes) Khadre และ Yousef (2001) พบว่า ที่ผิวหน้าของเซลล์แบคทีเรียจะเกิดปฏิกิริยากับโอโซน โดยเซลล์จะเกิดการรั่วไหลจากการเข้าจับของโอโซนที่บริเวณพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ในส่วนของเปลือกหุ้มเซลล์ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นชั้นของลิโพโปรตีน (lipoprotein) และชั้นพอลิเซคคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งมี 2 กลไกหลักที่โอโซนใช้ในการทำลายสิ่งมีชีวิต ขั้นตอนแรกนั้นโอโซนจะออกซิไดซ์หมู่ซัลไฮดริลของกรดอะมิโน (amino acid) ของเอนไซม์ ทำให้สายของโปรตีนสั้นลง ส่วนขั้นต่อไปโอโซนจะออกซิไดซ์กรดไขมันไม่อิ่มตัวให้กลายเป็นกรดเปอร์ออกไซด์ เนื่องด้วยบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย นำไปสู่การแตกออกของพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) และการเกิดกรดอะลิฟาติก (aliphatic acid) และแอลดีไฮด์ (aldehyde) การเกิดปฏิกิริยาของโอโซนกับอะลิฟาติก แอลกอฮอล์ (aliphatic alcohol) ขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 จะนำไปสู่การเกิดไฮดรอกซีลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroxyl-hydroperoxide) ก่อนจะกลายเป็นไฮดรอกซีลแรดิเคิล (hydroxyl radical) ซึ่งการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ในส่วนดังกล่าว จะทำให้เซลล์แตกส่งผลให้สารประกอบภายในเซลล์ไหลออกมา ซึ่งปฏิกิริยานี้จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยโอโซนจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับเบสพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต (nucleo base) โดยเฉพาะที่ไทมีน (thymine) กัวนีน (guanine) และยูราซิล (uracil) ปฏิกิริยาของโอโซนกับนิวคลีโอไทด์จะเกิดการปลดปล่อยสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต และไอออนของฟอสเฟตออกมา หรือโดยสรุปก็คือ กลไกในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. โมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่มีอยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์โดยอนุมูลของตัวกลางอิสระ (free radical-mediated) เป็นตัวเข้าทำลาย (กฤติยา และคณะ, 2546) โอโซนสามารถเข้าทำลายเซลล์เมมเบรน ไซโตพลาสซึม โปรตีน และชั้นของไขมันในเซลล์จุลินทรีย์ จึงเกิดการจับตัวเป็นก้อนของโปรตีน ทำให้เซลล์แตก หรือเข้าทำลายระบบหายใจ (respiration system) ของเซลล์จุลินทรีย์

2. โอโซนยังสามารถทำลายเอนไซม์ กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid, DNA) และกรดไรโบนิวคลีอิค (ribonucleic acid; RNA) ของเซลล์จุลินทรีย์ได้อีกด้วย ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของโอโซนกับคลอรีนจะพบว่า โอโซนเป็นสารฆ่าเชื้อที่ดีกว่าคลอรีน โดยสามารถทำลายแบคทีเรีย ไวรัส ยีสต์ และสปอร์ (Hudson และคณะ, 2007) ทั้งนี้โอโซนจะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีมากขึ้นเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง

อุณหภูมิต่ำ อยู่ในสภาวะที่เป็นกรด และความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ต้องสัมพันธ์กับปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย (Ketteringham และคณะ, 2006)

ในแบคทีเรียแกรมลบ พบว่า ชั้นของลิโพโปรตีนและลิโพพอลิเซคคาไรด์ (lipopolysaccharide) จะถูกทำลายเป็นชั้นแรก ส่งผลให้สารต่างๆ แพร่เข้ามาภายในเซลล์จนเซลล์แตกในที่สุด ซึ่งขั้นตอนในการทำลายแบคทีเรียของโอโซนนั้นแสดงดังภาพที่ 7 เมื่อโอโซนเข้าจับที่ผนังเซลล์แล้ว จะส่งผลทำให้เกิดการแพร่ผ่านขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ได้ จึงทำให้เซลล์แตกในที่สุด นอกจากนี้โอโซนยังสามารถทำลายหมู่ซัลไฮดริลของเอนไซม์ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการออกซิไดส์จาก -SH ไปเป็น S-S เป็นผลทำให้เซลล์ตายได้ โดยโอโซนจะไปลดกิจกรรมของเอนไซม์เบตา-กาแลคโตซิเดส (β -galactosidase) และแอลคาไลน์ ฟอสฟาเทส (alkaline phosphatase) ของของเหลวภายในเซลล์ (cytoplasm) ของ *E. coli* ประกอบกับโอโซนจะไปยังยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยการทำลายส่วนของยีน (genetic material) ในดีเอ็นเอของ *E. coli* (Hunt และ Marioas, 1997) ซึ่งในส่วนของเบสไพริมิดีน (pyrimidine) จะเกิดปฏิกิริยากับโอโซนก่อน จากการศึกษาพบว่า เบสไทมีนจะถูกทำลายได้ง่ายกว่า ไซโตซีน (cytosine) และยูราซิล ในระหว่างการเกิดโอโซเนชันนั้น อาร์เอ็นเอ จะถูกปล่อยออกจากเซลล์แบคทีเรีย



ภาพที่ 7 กลไกการทำลายเซลล์แบคทีเรียของโอโซน (1. ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย 2. การเคลื่อนที่ของโอโซนมายังผนังเซลล์ของแบคทีเรีย 3. การจู่โจมและการทำให้เกิดรู 4. การทำปฏิกิริยาอย่างใกล้ชิดของโอโซนต่อผนังเซลล์ 5. เซลล์แบคทีเรียหลังจากทำปฏิกิริยากับโอโซน 6. เซลล์ของแบคทีเรียที่แตก)

ที่มา : www.ozoneapplications.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2554)

นอกจากนี้โอโซนยังเข้าไปทำลายอาร์เอ็นเอได้โดยการดัดแปลงสายพอลิเปปไทด์ (polypeptide) ในสารประกอบโปรตีนของแบคทีเรีย จึงเป็นอีกทางหนึ่งที่ทำให้โอโซนสามารถลด

ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ลงได้ แต่อย่างไรก็ตามการลดปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์นั้นก็เป็นเพียงแต่การลดที่ผิวของอาหารเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Sarig และคณะ (1996) พบว่าการจัดเก็บองุ่นภายหลังการเก็บเกี่ยวภายใต้สภาวะที่มีโอโซนจะสามารถลดปริมาณของเชื้อรา *Rhizopus stolonifer* ลงได้ เช่นเดียวกับการทดลองของ Hunt และ Marioas (1997) ที่พบว่า การใช้โอโซนจะสามารถลดปริมาณของเชื้อ *E. coli* ได้เป็นอย่างดี

ในกรณีของแบคทีเรียแกรมบวก กลไกในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะแตกต่างจากแบคทีเรียแกรมลบตรงที่ระยะเวลาในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์อันเนื่องมาจากความแตกต่างในด้านของโครงสร้างของเซลล์ Thanomsub และคณะ (2002) พบว่า เมื่อผ่านก๊าซโอโซนความเข้มข้น 0.1 ppm เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที แก่เชื้อ *Bacillus subtilis* ผลทำให้โครงสร้างของเซลล์เปลี่ยนแปลงไป โดยที่ระยะเวลาเริ่มต้นเซลล์มีลักษณะที่สมบูรณ์ เมื่อผ่านโอโซนไปเป็นเวลา 30 นาที เซลล์เริ่มมีการแตก จนกระทั่งเวลา 60 นาที เซลล์มีการแตกและมีการรั่วไหลขององค์ประกอบบางส่วนออกมา และเมื่อให้โอโซนต่อไปเป็นเวลา 120 นาที พบว่ามีเซลล์จำนวนมากถูกทำลายและแตกออก ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ส้มโอที่เลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการวิจัยครั้งนี้คือส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง อายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือนนับจากดอกบานจากสวนของเกษตรกรใน อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม คัดเลือกตามมาตรฐานส้มโอไทย (องค์การตลาดเพื่อเกษตรกร, 2553) โดยปราศจากตำหนิ มีสี และขนาดที่เท่ากันโดยมีน้ำหนักต่อผล 1100-1300 กรัม

3.1.2 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองคือ ถาดพลาสติก Polyethyleneterephthalate (PET) และฟิล์มโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) จากบริษัท Amcor Flexibles จำกัด (สหราชอาณาจักร) ความหนา 26 μm และค่าการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 7300 cm^3/linear metre/day/atm ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่บริษัท ชัชวาล ออร์คิด จำกัด ใช้ในการผลิตผัก ผลไม้ และดอกไม้สดส่งออก

3.2 สารเคมี

3.2.1 Ethanol (Merck)
3.2.2 Sodium hydroxide (Merck)
3.2.3 Gallic acid(Fluka)
3.2.4 Folin-Ciocalteu phenol reagent (Fluka)
3.2.5 Distilled water
3.2.6 Aluminiumchloride hexahydrate (Ajax)
3.2.7 Potassium acetate (Ajax)
3.2.8 Quercetin (Sigma)
3.2.9 Sodium carbonate (Ajax)
3.2.10 Methanol (Merck)
3.2.11 Acetic acid (Mallinckrodt)

3.2.12 n-Propanol (Ajax)
3.2.13 Ethyl alcohol absolute (Mallinckrodt)
3.2.14 Sodium chloride (Merck)
3.2.15 Acetronitrile (Fisher Scientific)
3.2.16 2,2-Diphenyl-1-piracyldazyl (DPPH) (Sigma)
3.2.17 Ascorbic acid (Supelco)
3.2.18 Peptone water (Merck)
3.2.19 Plate count agar (Merck)
3.2.20 Potato dextrose agar (Merck)
3.3.21 Tartaic acid (Ajax)
3.3.22 Limonin (Sigma)
3.3.23 Naringin (Sigma)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.3.1 มาตรดัชนีหักเห (Pocket Refractometer PAL-1, บริษัท Atago, Japan)
3.3.2 มาตรเทียบสี (Miniscan รุ่น XE Plus บริษัท Hunter Lab, (USA)
3.3.3 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter รุ่น PHM 210 Metro Lab, France)
3.3.4 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น Genesys-20 Thermo Spectronic, USA)
3.3.5 เครื่องหมุนเหวี่ยง (รุ่น Universal 16 บริษัท Hettich, Germany)
3.3.6 เครื่องชั่งน้ำหนักหยาบ 2 ตำแหน่ง (รุ่น Sartorius, Germany)
3.3.7 เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง (รุ่น BP 221S บริษัท Sartorius, Germany)
3.3.8 ตู้บ่มเชื้อ 25 องศาเซลเซียส (Hotpack รุ่น 352601, PA, USA)
3.3.9 ตู้บ่มเชื้อ 35 องศาเซลเซียส (Memmert รุ่น 600, Schwabach, Germany)
3.3.10 เครื่องตีป่นอาหาร (Seward stomacher รุ่น 400, London, UK)
3.3.11 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Tomy Autoclave รุ่น SS-325, Tokyo, Japan)
3.3.12 เครื่องปั่นผสม (Labnet รุ่น VX100, Woodbridge, NJ, USA)

3.3.13 เพลทอาหารสำเร็จรูป (Compact Dry SL 240 plates, Nissui Pharmaceutical, Japan)

3.3.14 เครื่องกำเนิดโอโซนที่ต่อกับตู้เย็นซึ่งปรับอุณหภูมิได้ (Active science Co., Ltd, Thailand)

3.3.15 มิเตอร์วัดความเข้มข้นโอโซน (OS-4 Ozone Switch™, Eco Sensors®, INC, USA)

3.3.16 ตู้แช่เย็น (Sanden Intercool รุ่น SEC-1000SBD, Bangkok, Thailand)

3.3.17 เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟ (GC) รุ่น Shimadzu GC-8A โดยใช้คอลัมน์ porapak Q80/100 in Iron tube ความยาว 1.93 เมตร ตรวจจับก๊าซ CO_2 ด้วย Thermal conductivity detector (TCD) (Shimadzu, Japan)

3.3.18 เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟ (GC) รุ่น Shimadzu GC-8A โดยใช้คอลัมน์ porapak Q80/100 in Iron tube for long 1.93 meters ตรวจจับเอทิลีนด้วย Flame ionization detector (FID) (Shimadzu, Japan)

3.3.19 เครื่องโครมาโตกราฟชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Luna 5u C18(2) 100A ยี่ห้อ Phenomenex ตรวจจับด้วย UV detector (Shimadzu, Japan)

3.3.20 เครื่องวัดบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ (witt-gasetechnik รุ่น MFA-O_2/CO_2 ยี่ห้อ witt, Thailand)

3.3.21 แผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Flow board) ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มก.)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนทั่วไปของการผลิตส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค

เตรียมส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยล้างผลส้มโอด้วยน้ำ ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องที่ 25°C ประมาณ 20 นาที ปอกเปลือกโดยใช้มือตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิต (Good

Manufacturing Practice, GMP) นำเนื้อส้มโอที่ได้ไปรมก๊าซโอโซน จากนั้นนำเนื้อส้มโอบรรจุในถาดพลาสติก PET ถาดละ 250 กรัม ปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE ลักษณะการบรรจุแสดงดังภาพที่ 8 ตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการรมก๊าซโอโซนได้รับการบรรจุในลักษณะเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวอย่างควบคุม นำตัวอย่างทั้งหมดไปเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2% เป็นเวลา 20 วัน จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ

ภาพที่ 8 ลักษณะการบรรจุส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในการทดลอง

3.4.2 การรมก๊าซโอโซน

นำเนื้อส้มโอที่ผ่านการตัดแต่งบรรจุใส่ถาดยังไม่ได้ผนึกฟิล์มมาเรียงภายในตู้เย็น รมด้วยก๊าซโอโซนโดยใช้ตู้เย็นที่ติดตั้งเครื่องโอโซนระบบ Coronar discharge ozone generator (ภาพที่ 9 ก) การรมก๊าซโอโซนทำที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 ppm ที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10°C (เป็นอุณหภูมิที่ตู้เย็นสามารถปรับอุณหภูมิได้) ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2% เป็นเวลา 30 นาที (ตามวิธีของ ธีรศาสตร์และอัศพงศ์ (2552) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์) ติดตามความเข้มข้นโดยใช้มิเตอร์ (OS-4 Ozone Switch™) (ภาพที่ 9 ข) เมื่อครบเวลาจึงปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติก LLDPE ดังอธิบายในข้อ 3.4.1

(ก) (ข)

ภาพที่ 9 ตู้เย็นที่ติดตั้งเครื่องโอโซนระบบ Coronar discharge ozone generator (ก) และมิเตอร์ที่ใช้ในติดตามความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (ข)

3.4.3 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบเริ่มต้น

วิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของส้มโอโดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.4.3.1 สีเนื้อส้มโอ โดยทำการวัดค่าสี 2 ด้านต่อกลีบ ด้านละ 3 จุด วัดค่าสีในระบบ CIE LAB วัดค่า L* a* b* ด้วยมาตรเทียบสี L* แสดงค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่า 0 - 100 เมื่อ 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว, a* และ b* บอกทิศทางของสี โดย +a* หมายถึง อยู่ในทิศของสีแดง –a* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเขียว, +b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเหลือง และ –b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีน้ำเงิน (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก)

3.4.3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ด้วยมาตรดัชนีหักเห (A.O.A.C., 2000) รายงานหน่วยองศาบริกซ์ (^{0}Brix)

3.4.3.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำคั้นส้มโอ ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (A.O.A.C., 1995) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.3.4 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) โดยการไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่ง pH ถึง 8.1 (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.3.5 อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TSS/TA) ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่า TSS หารด้วย TA

3.4.4 การศึกษาผลของการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสรีรวิทยาของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ทำการเตรียมส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคตามขั้นตอนข้อที่ 3.4.1 โดยรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10°C ดังรายละเอียดในข้อ 3.4.2 โดยวางแผนการทดลองแบบ completly randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสรีรวิทยาดังนี้

3.4.4.1 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อส้มโอโดยการวัดค่าสีในระบบ CIE LAB วัดค่า L* a* b* ด้วยมาตรเทียบสี จากนั้นคำนวนค่ามุมสี hue angle (h^o) และค่าความอิ่มตัวของสี Chroma (C*) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก)

3.4.4.2 การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) ตัวอย่างในแต่ละหน่วยทดลองนำมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด นำมาคำนวณร้อยละการสูญเสียน้ำหนักคำนวณตามสมการ

$$\% \text{ weight loss} = \frac{\text{initial weight} - \text{final weight}}{\text{initial weight}} \times 100$$

3.4.4.3 การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทุกๆ 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด โดยใช้เครื่อง witt-gasetechnik รุ่น MFA-O_2/CO_2 ยี่ห้อ witt รายงานค่าในหน่วยร้อยละ

3.4.4.4 อัตราการหายใจ (respiration rate) และการสร้างเอทิลีน (ethylene production) โดยนำกลีบชิ้นเนื้อส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งตามวิธีการตัดแต่งและรมก๊าซโอโซนข้างต้นบรรจุในโหลพลาสติก ปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้าและออกของอากาศแล้วต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) ซึ่งได้ปรับระดับความแรงของปั๊มลมร่วมกับระดับน้ำในหลอด barostate ควบคุมให้มีอัตราการไหลของอากาศผ่านโหล 100 ml/min ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 7±1°C ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเอทิลีนทุกวันที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15 และ 20 (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก) จากนั้นคำนวณอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของชิ้นเนื้อส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคของเนื้อส้มโอ

- อัตราการหายใจ สุ่มเก็บก๊าซตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุชิ้นเนื้อส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค อย่างละ 10 มิลลิลิตร ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เครื่อง Gas chromatograph ใช้คอลัมน์ porapak Q80/100 in Iron tube ความยาว 1.93 เมตร ตรวจจับก๊าซ CO_2 ด้วย Thermal conductivity detector (TCD) ตั้งอุณหภูมิคอลัมน์ 70°C อุณหภูมิ injecter port 200°C ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพา (carrier gas) ความดัน 200 kPa เปรียบเทียบ retention time ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลา 0.9 min คำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นร้อยละและคำนวณอัตราการหายใจเป็นมิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม.ชั่วโมง (mg CO_2/kg.hr)

- การสร้างเอทิลีน สุ่มเก็บก๊าซตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุชิ้นเนื้อส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค อย่างละ 10 มิลลิลิตร ตรวจวัดปริมาณก๊าซเอทิลีนโดยใช้เครื่อง Gas chromatograph ใช้คอลัมน์ porapak Q80/100 in Iron tube ความยาว 1.93 เมตร ตรวจจับก๊าซเอทิลีนด้วย Flame ionization detector (FID) ตั้งอุณหภูมิคอลัมน์ 80°C อุณหภูมิ injecter port 200°C ใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพา (carrier gas) ความดัน 250 kPa ใช้ก๊าซออกซิเจนและไฮโดรรเจนในการจุดไฟ (flame gases) คำนวณความเข้มข้นของเอทิลีนเป็นร้อยละและคำนวณอัตราการผลิตเอทิลีนเป็นไมโครลิตรเอทิลีนต่อกิโลกรัม.ชั่วโมง (μl C_2H_4/kg.hr)

3.4.5 การศึกษาผลของการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ทำการเตรียมส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคตามขั้นตอนข้อที่ 3.4.1 โดยรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10°C ดังรายละเอียดในข้อ 3.4.2 โดยวางแผนการทดลองแบบ completly randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังนี้

3.4.5.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ด้วยมาตรดัชนีหักเห (AOAC, 2000) รายงานหน่วยองศาบริกซ์ (°Brix) โดยทำการติดตามทุกๆ 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด

3.4.5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำคั้นส้มโอ ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (A.O.A.C., 1995) โดยทำการติดตามทุกๆ 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด

3.4.5.3 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) โดยการไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่ง pH ถึง 8.1 โดยทำการติดตามทุกๆ 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.5.4 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TSS/TA) ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่า TSS หารด้วย TA โดยทำการติดตามทุกๆ 2 วัน

3.4.5.5 ปริมาณวิตามินซี โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีทุกๆ 4 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด ตามวิธีของ Wang และคณะ (2007) โดยใช้เครื่อง HPLC ใช้คอลัมน์ Luna 5u C18(2) 100A ยี่ห้อ Phenomenex ตรวจจับด้วย UV detector โดยใช้สารละลายผสม acetronitrile:acetic acid:water ในอัตราส่วน 75:2:25 เป็น mobile phase อัตราการไหล 1 ml/min อุณหภูมิ oven 25^{0}C ฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 µl ระบุชนิดวิตามินซีด้วยการเปรียบเทียบ retention time ของวิตามินซีมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 254 nm และคำนวณหาปริมาณวิตามินซีจากกราฟของวิตามินซีมาตรฐาน (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.5.6 การสร้างเอทานอล โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลทุกๆ 4 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด โดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph ใช้คอลัมน์ Gaskropack 54 80/100 in stainless tube ขนาด 3m x 0.5mm ตรวจจับด้วย Flame ionization detector (FID) ตั้งอุณหภูมิคอลัมน์ 180°C อุณหภูมิ injecter port 200°C ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพา (carrier gas) ความดัน 120 kPa ใช้ก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจนในการจุดไฟ (flame gases) ฉีดตัวอย่างปริมาตร 1 ml คำนวณความเข้มข้นของเอทานอลเทียบกับกราฟของเอทานอลมาตรฐาน (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.5.7 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ได้แก่ นารินจินและลิโมนิน โดยทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงทุก 4 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาดตามวิธีของ Pichaiyongvongdee และ Haruenkit (2009) โดยใช้เครื่อง HPLC

- ปริมาณนารินจิน โดยใช้เครื่อง HPLC คอลัมน์ Luna 5u C18(2) 100A ยี่ห้อ Phenomenex ตรวจจับด้วย UV detector โดยใช้ acetronitrile:deionised water ในอัตราส่วน 25:75 เป็น mobile phase อัตราการไหล 1 ml/min อุณหภูมิ oven 30^{0}C ฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 µl ระบุชนิดนารินจินด้วยการเปรียบเทียบ retention time ของนารินจินมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 280 nm และคำนวณหาปริมาณนารินจินจากกราฟของนารินจินมาตรฐาน (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

- ปริมาณลิโมนิน โดยใช้เครื่อง HPLC คอลัมน์ Luna 5u C18(2) 100A ยี่ห้อ Phenomenex ตรวจจับด้วย UV detector โดยใช้ acetronitrile:deionised water ในอัตราส่วน 35:65 เป็น mobile phase อัตราการไหล 1 ml/min อุณหภูมิ oven 30^{0}C ฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 µl ระบุชนิด

ลิโมนินด้วยการเปรียบเทียบ retention time ของลิโมนินมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 210 nm และคำนวณหาปริมาณลิโมนินจากกราฟของลิโมนินมาตรฐาน (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.5.8 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Aluminium chloride colorimetric method) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Lin และ Tang (2007) คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยเทียบกับสารมาตรฐานของ Quercetin โดยทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงทุก 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.5.9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ทำตามวิธี Folin-Ciocalteu โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Lin และ Tang (2007) โดยคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเทียบกับสารเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิค โดยทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงทุก 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.5.10 ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค ตามวิธีของ Xu และคณะ (2008) ด้วยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-piracyldazyl) แสดงผลเป็นค่ามิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตร (mg Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity, mg VCEAC/ml) โดยทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงทุก 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข)

3.4.6 การศึกษาผลของการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ทำการเตรียมส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคตามขั้นตอนข้อที่ 3.4.1 โดยรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10°C ดังรายละเอียดในข้อ 3.4.2 โดยวางแผนการทดลองแบบ completly randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และติดตามการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ โดยใช้ viable plate count ในการตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในส่วนเนื้อส้มโอทุกๆ 2 วัน ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000) และจำนวน *Salmonella* spp. โดยใช้เพลทอาหารสำเร็จรูป (Compact Dry SL 240 plates) ติดตามทุกๆ 4 วัน เตรียมตัวอย่างชิ้นเนื้อส้มโอด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ (aseptic technique) สุ่มตัวอย่างตรวจทุกๆ 2 วัน ชุดการทดลองละ 2 ถาด โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานผลไม้ตัดแต่งของกระทรวงสาธารณสุข (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^6$ CFU/g ยีสต์และราไม่เกิน $1x10^4$ CFU/g) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค)

3.4.7 การศึกษาผลของการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ทำการเตรียมส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคตามขั้นตอนข้อที่ 3.4.1 โดยรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10°C ดังรายละเอียดในข้อ 3.4.2 ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งด้านต่างๆ ได้แก่ สี รสชาติและกลิ่นแปลกปลอม และการยอมรับโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน ใช้การทดสอบวิธี generic descriptive analysis (GDA) รูปแบบสเกลเส้นตรงระดับความเข้ม 0-10 (แสดงรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) โดยทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงทุกวันที่ 0, 5, 10 และ 15 วางแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) โดย Block คือผู้ทดสอบชิม นำคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติ (analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.4.8 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ completly randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) แสดงข้อมูลด้วยค่า mean±S.D. และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบในแต่ละ lot แสดงดังตารางที่ 5 วัตถุดิบในแต่ละ lot มีค่าสีของเนื้อที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า L* อยู่ในช่วง 41.31-42.02 a* อยู่ในช่วง (-0.79)-(-0.76) และค่า b* อยู่ในช่วง 3.33-3.40 สำหรับคุณสมบัติทางเคมีของส้มโอพบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) อยู่ในช่วง 10.98-11.07 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ร้อยละ 0.71-0.74 อัตราส่วน TSS/TA 14.98-15.61 และค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.20-3.31

ตารางที่ 5 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ

พารามิเตอร์	lot 1	lot 2	lot 3
L*	41.87^{b}±0.13	41.31^{c}±0.13	42.02^{a}±0.18
a*	-0.76^{a}±0.02	-0.78^{b}±0.02	-0.79^{b}±0.02
b*	3.37^{b}±0.05	3.40^{a}±0.07	3.33^{c}±0.01
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) (องศาบริกซ์) ^{ns}	11.07±0.28	11.07±0.40	10.98±0.41
ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TA) (ร้อยละ) ^{ns}	0.74±0.02	0.72±0.04	0.71±0.05
TSS:TA ^{ns}	14.98±0.12	15.27±0.98	15.61±0.97
ค่าความเป็นกรด-ด่าง ^{ns}	3.28±0.10	3.31±0.11	3.20±0.12

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแถวเดียวกัน และ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (n=3)

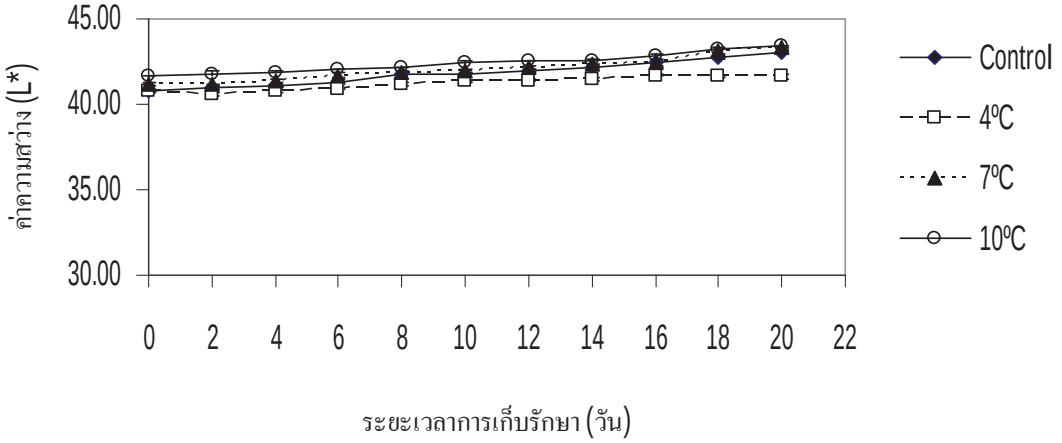
4.2 ผลของการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสรีรวิทยาของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วันที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนความเข้มข้น 2 ppm เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2% แสดงดังต่อไปนี้

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี

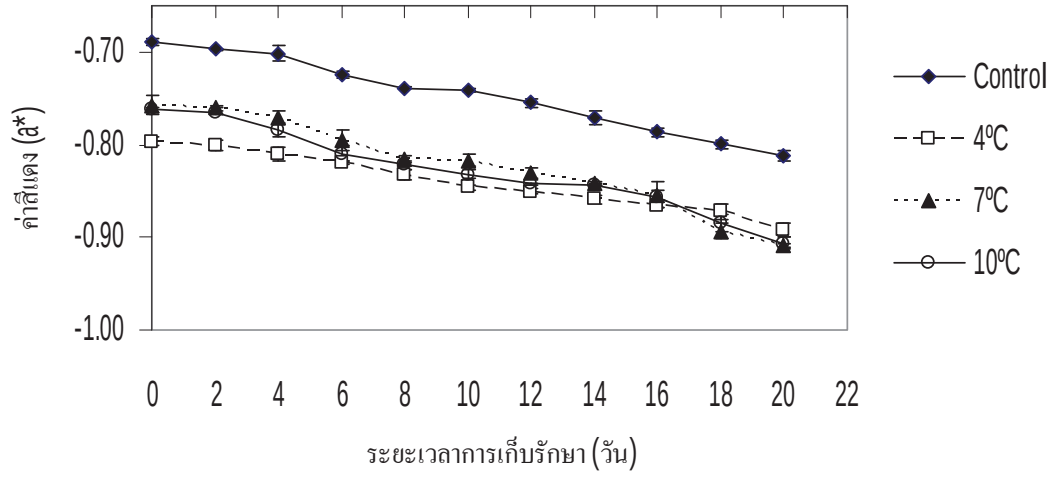
การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน แสดงดังภาพที่ 10 พบว่าค่า L* ของทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C จะมีค่า L* สูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7°C ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C มีค่า L* น้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดควบคุม (ตารางที่ 10, ภาคผนวก จ) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Artés-Hernández และคณะ (2007) พบว่า ค่า L* ของเลมอนพันธุ์ Lisbon ผ่าซีกที่เก็บรักษาที่ 0, 2, 5 และ 10°C มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่า L* เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการเสียสภาพของเนื้อเยื่อเลมอนที่ถูกทำลายจากบาดแผลเมื่อผ่าซีก นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของค่า L* ในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากตัวอย่างถูกก๊าซโอโซนฟอกสีในระหว่างการรมก๊าซร่วมกับค่า pH ของส้มโอนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ (pH~3.25) ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) จึงทำให้ส้มโอตัดแต่งไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาเหมือนกับผลไม้ตัดแต่งชนิดอื่นๆ (Rocha และคณะ, 1995)

สำหรับค่า Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่า L* แสดงดังตารางที่ 6 พบว่า ค่า L* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า a*, h°, C* และปริมาณฟลาโวนอยด์ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า b*



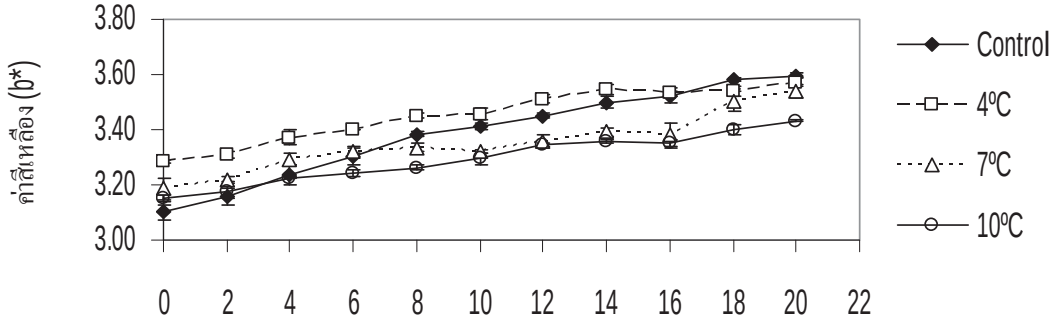
ภาพที่ 10 ค่าความสว่าง (L*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a* แสดงดังภาพที่ 11 พบว่าส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนทุกชุดการทดลองจะมีค่า a* ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 11, ภาคผนวก จ) ชุดตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4^{0}C จะมีค่า a* ต่ำที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา



ภาพที่ 11 ค่าสีแดง (a*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ส่วนค่า b* แสดงดังภาพที่ 12 พบว่าค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 12, ภาคผนวก จ) ตลอดอายุการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง และชุดตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C มีค่า b* สูงกว่าชุดตัวอย่างควบคุมและชุดตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7°C และ 10°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นในวันที่ 18 และ 20 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างชุดควบคุมมีค่า b* สูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับชุดตัวอย่างอื่นๆ

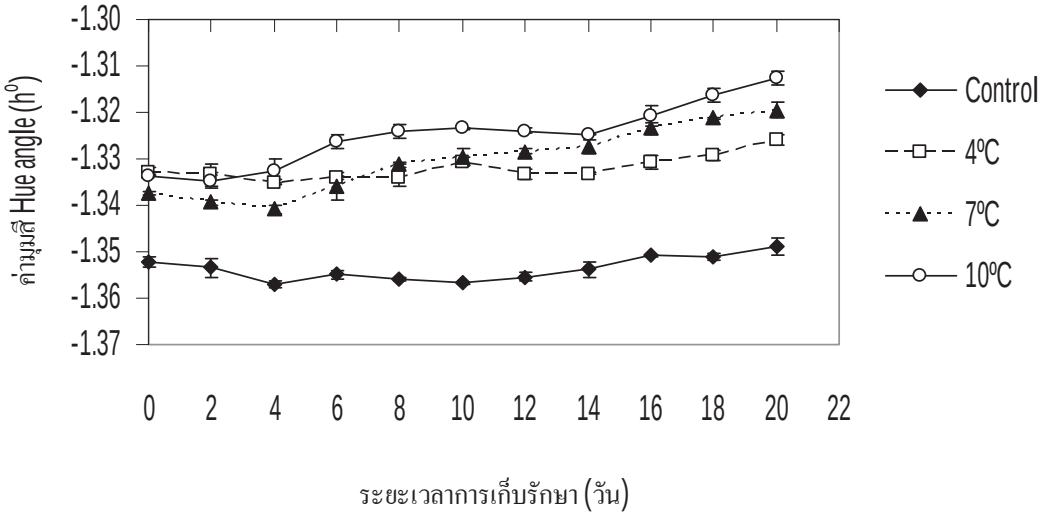


ภาพที่ 12 ค่าสีเหลือง (b*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

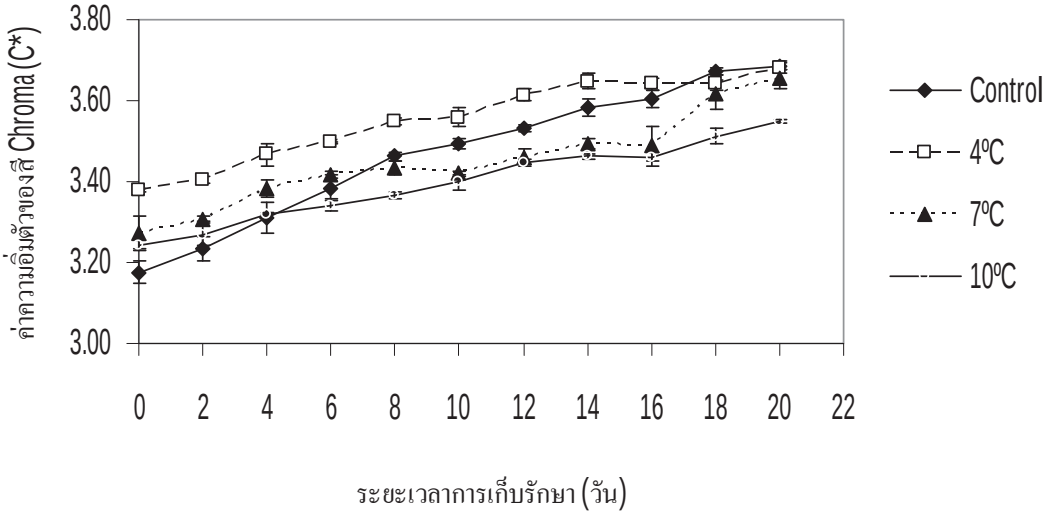
ภาพที่ 13-14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสี Hue angle (h^0) และค่าความอิ่มตัวของสี Chroma (C*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคทุกชุดการทดลองในระหว่างการเก็บรักษา โดยค่า h^0 เป็นค่าที่นิยมบ่งบอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะที่ค่า C* เป็นค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) ซึ่งจะแปรผันกับค่าความเข้มของสี อาจกล่าวได้ว่าค่า C* เป็นค่าความเข้มหรือความบริสุทธิ์ของ h^0 (Zuo และคณะ, 2008) จากผลการทดลองจะเห็นว่า การรมก๊าซโอโซนจะส่งผลให้ส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคมีค่า h^0 สูงกว่าตัวอย่างควบคุมและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 13, ภาคผนวก จ) ตลอดอายุการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง

สำหรับค่า C* ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ และเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 14) โดยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 14, ภาคผนวก จ)โดยการรมก๊าซโอโซนที่

อุณหภูมิ 4°C มีผลทำให้ค่า C* เพิ่มมากที่สุดในช่วง 16 วันแรกของการเก็บรักษา ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าเนื้อส้มโอไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลหรือสีคล้ำขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาดังแสดงในภาพที่ 42 (ภาคผนวก ฉ) เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเทียบกับผลไม้ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการตัดแต่งส้มโอซึ่งเป็นการทำให้เกิดบาดแผลต่อเซลล์ของชิ้นเนื้อส้มโอน้อยกว่ากระบวนการตัดแต่งผลไม้ชนิดอื่นๆ เนื่องจากกลีบชิ้นเนื้อของส้มโอซึ่งประกอบด้วยถุงน้ำปิดสนิท (juice sac หรือ juice vesicle) ซึ่งภายในเต็มไปด้วยน้ำหวานและอาหารสะสมไม่ได้ถูกทำลายและไม่ได้รับความเสียหายจากกระบวนการตัดแต่งทำให้ไม่มีการรั่วไหลของสารอาหารหรือสารเคมีต่างๆ ที่อาจชักนำเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีของสารต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากเอนไซม์ จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นเนื้อส้มโอตัดแต่งเกิดขึ้นน้อยมาก (ปิติรัตน์, 2551) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อส้มโออาจเกิดเนื่องจากการลดลงของปริมาณฟลาโวนอยด์ (ภาพที่ 27) ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ให้สีเหลืองของเนื้อส้มโอ โดยเมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients ของปริมาณฟลาโวนอยด์ (ตารางที่ 6) จะพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า a* และ C*



ภาพที่ 13 ค่ามุมสี Hue angle (h°) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%



ภาพที่ 14 ค่าความอิ่มตัวของสี Chroma (C*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ตารางที่ 6 Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1ºC ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

	L*	a*	b*	h°	C*	O_2	CO_2	Phe.	Fla.	TPC	Y&M
L*	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
a*	-0.553*	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
b*	0.424*	-0.617*	1	.	.	.	.	.	.	.	.
h°	-0.553*	1.000*	-0.617*	1	.	.	.	.	.	.	.
C*	-0.553*	1.000*	-0.617*	1.000*	1	.	.	.	.	.	.
O_2	-0.696*	0.124	-0.268*	0.124	0.124	1	.	.	.	.	.
CO_2	0.629*	-0.033	0.274*	-0.033	-0.033	-0.901*	1	.	.	.	.
Phe.	0.189*	-0.040	-0.312*	-0.040	-0.040	0.004	-0.075	1	.	.	.
Fla.	-0.646*	0.352*	-0.002	0.352	0.352*	0.432*	-0.364*	-0.165	1	.	.
TPC	0.749*	-0.154	0.278*	-0.154	-0.154	-0.637*	0.634*	-0.191*	-0.387*	1	.
Y&M	0.614*	0.187*	-0.058	0.187*	0.187*	-0.761*	0.738*	-0.025	-0.329*	0.764*	1

หมายเหตุ: * หมายถึง ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.2 การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss)

ค่าเฉลี่ยของร้อยละการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตารางที่ 7 พบว่าส้มที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ และชุดควบคุมมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงถึงว่าการรมก๊าซโอโซนไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นพบว่า ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้น โดยทุกชุดการทดลองมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาอยู่ระหว่างร้อยละ 0.23-0.33 ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Palou และคณะ (2001) ที่ศึกษาผลของการใช้โอโซนความเข้มข้น 0.3 ppm ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของท้อพันธุ์ Zee Lady ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5^{0}C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวอย่างควบคุม

การสูญเสียน้ำหนักที่เกิดขึ้นในส้มโอตัดแต่งอยู่ในระดับที่น้อยจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่ง ทั้งนี้สาเหตุของการสูญเสียน้ำหนักที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ คุณสมบัติของฟิล์มซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการซึมผ่านไอน้ำ การหายใจของส้มโอตัดแต่งในระหว่างการเก็บรักษาซึ่งเกิดขึ้นน้อย (ภาพที่ 16) เนื่องจากส้มโอเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric อีกทั้งส้มโอตัดแต่งที่ศึกษาในครั้งนี้เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (7 ± 1^{0}C) จึงมีการสูญเสียน้ำหนักที่น้อย

ตารางที่ 7 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

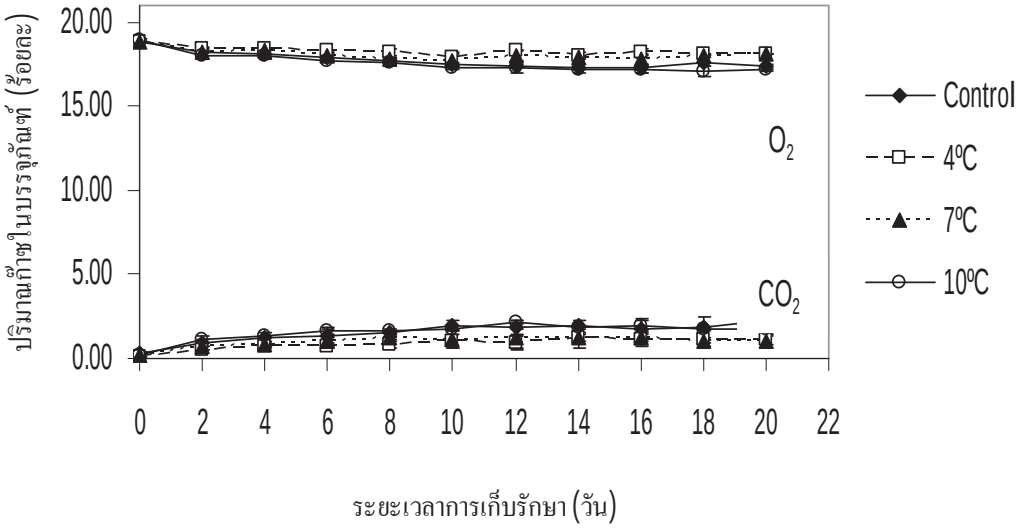
ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0^{ns}	0.00^{H}±0.00	0.00^{H}±0.00	0.00^{H}±0.00	0.00^{G}±0.00
2^{ns}	0.02^{GH}±0.00	0.03^{GH}±0.01	0.03^{GH}±0.01	0.04^{FG}±0.02
4^{ns}	0.03^{FG}±0.01	0.04^{FGH}±0.01	0.05^{FG}±0.01	0.07^{EFG}±0.03
6^{ns}	0.07^{F}±0.00	0.06^{EFG}±0.01	0.09^{EF}±0.01	0.10^{DEF}±0.03
8	0.11^{bcE}±0.01	0.09^{cDEF}±0.01	0.13^{abDE}±0.00	0.14^{aCDE}±0.01
10	0.13^{abE}±0.01	0.11^{bCDE}±0.02	0.15^{abCD}±0.00	0.16^{aBCD}±0.02
12^{ns}	0.17^{D}±0.02	0.13^{BCD}±0.03	0.18^{C}±0.01	0.18^{BC}±0.01
14	0.19^{abCD}±0.02	0.14^{bBCD}±0.02	0.24^{aB}±0.04	0.19^{abBC}±0.01
16	0.22^{abBC}±0.01	0.16^{bBC}±0.02	0.28^{aA}±0.02	0.22^{aAB}±0.03
18	0.24^{abAB}±0.01	0.18^{bBA}±0.02	0.32^{aA}±0.02	0.26^{abA}±0.05
20^{ns}	0.27^{A}±0.03	0.23^{A}±0.05	0.33^{A}±0.01	0.28^{A}±0.06

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ และ ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (n=3)

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงบรรยากาศติดตามโดยวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ภาพที่ 15) พบว่า การรมก๊าซโอโซนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ ในวันแรกของการเก็บรักษาปริมาณก๊าซออกซิเจนจะมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลองและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 15, ภาคผนวก จ) และจะลดลงจนกระทั่งหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วันจะเริ่มมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การลดลงของปริมาณก๊าซออกซิเจนนั้นเกิดจากการนำก๊าซออกซิเจนไปใช้ใน

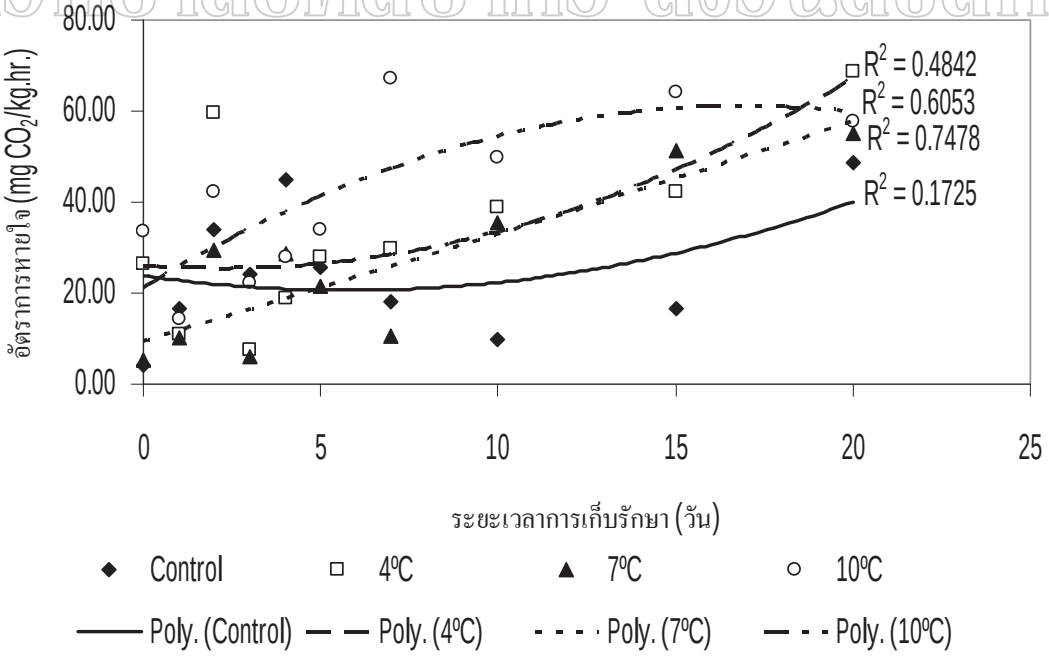
กระบวนการหายใจของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคและการเจริญของจุลินทรีย์ (Warakul, 2006) เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients ของการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ (ตารางที่ 6) พบว่าการเปลี่ยนแปลงก๊าซออกซิเจนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีความสัมพันธ์เชิงบวก เมื่อเก็บรักษาครบ 20 วัน พบว่าชุดการทดลองที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C จะมีปริมาณออกซิเจนสูงสุด เนื่องจากการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C มีประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น (ภาพที่ 29-30) ปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์จึงมีปริมาณที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ สำหรับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกันแต่จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยชุดการทดลองที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7 และ 10 °C คงที่ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน ส่วนชุดการทดลองที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C และตัวอย่างชุดควบคุม คงที่ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน จนกระทั่งวันสุดท้ายของการเก็บรักษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 16, ภาคผนวก จ) การเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์จะสัมพันธ์กับอัตราการหายใจ เนื่องจากส้มโอจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำ (Ting และ Attaway, 1971) โดยจากผลการทดลองพบว่าส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอัตราการหายใจน้อยกว่า 68.65 mg.CO_2/kg.hr. (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 15 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีน

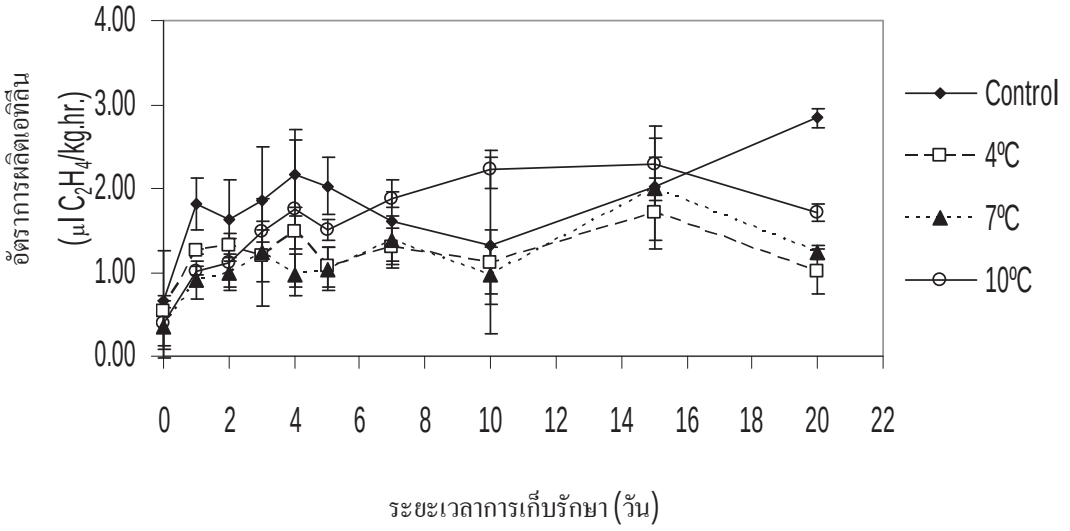
จากภาพที่ 16 แสดงอัตราการหายใจของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้เส้นแนวโน้มแบบ polynomial พบว่าการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่ออัตราการหายใจของส้มโอตัดแต่ง ($p>0.05$) (ตารางที่ 17, ภาคผนวก จ) โดยอัตราการหายใจต่ำสุด (4.25 mg CO_2/kg.hr) พบในตัวอย่างชุดควบคุมในวันแรกของการเก็บรักษา จากนั้นทุกชุดการทดลองจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ชุดตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเก็บรักษาจนครบ 20 วัน พบว่าชุดตัวอย่างที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C มีอัตราการหายใจสูงที่สุด (68.65 mg CO_2/kg.hr) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยชุดตัวอย่างที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7°C จะมีค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.7478 หมายความว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจะมีผลต่ออัตราการหายใจของส้มโอตัดแต่งมากที่สุด รองลงมาคือชุดตัวอย่างที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C, 4°C และชุดตัวอย่างควบคุม ตามลำดับ



ภาพที่ 16 อัตราการหายใจของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

สาเหตุที่ตัวอย่างที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนมีอัตราการหายใจที่สูงกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากเกิดความเครียดทางกายภาพ (stress response) ภายหลังจากการรมก๊าซโอโซน ซึ่งเปรียบเสมือนการให้ออกซิเจนความเข้มข้นสูงส่งผลให้เกิดการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้น ส่วนตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการรมก๊าซโอโซนซึ่งมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่สูงกว่า (ภาพที่ 29-30) จึงทำให้เกิดการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์โดยพบว่ามีปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงและมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (ภาพที่ 15)

การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตเอทิลีนของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังภาพที่ 17 พบว่าปริมาณเอทิลีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ตารางที่ 18, ภาคผนวก จ) ในวันแรกของการเก็บรักษา พบว่าทุกชุดการทดลองที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนจะมีอัตราการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าชุดควบคุมแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากก๊าซโอโซนเปลี่ยนเอทิลีนเริ่มต้นโดยเปลี่ยนเป็นไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ณัฐพงษ์ และคณะ, 2547) เมื่อเก็บรักษาครบ 20 วันจะพบว่าชุดควบคุมจะมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่ออัตราการการผลิตเอทิลีนของส้มโอตัดแต่ง ($p>0.05$) อาจเนื่องมาจากส้มโอเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งจะมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำตลอดอายุการเก็บรักษา (Kader, 2002) และจากลักษณะกลีบชิ้นเนื้อของส้มโอเกิดจากการรวมกันของถุงน้ำที่ปิดสนิทและกลีบชิ้นเนื้อทั้งหมดจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มกลีบอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งกระบวนการตัดแต่งส้มโอเป็นเพียงการลอกส่วนเยื่อหุ้มกลีบออกซึ่งกระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดบาดแผลบนกลีบชิ้นเนื้อส้มโอน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ตัดแต่งชนิดอื่นๆ ทำให้ไม่มีอิทธิพลจากบาดแผลไปกระตุ้นการสร้างเอทิลีน (Reyes, 1996) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อาจช่วยชะลอการสร้างเอทิลีนได้ (Lamikanra, 2002)



ภาพที่ 17 อัตราการผลิตเอทิลีนของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

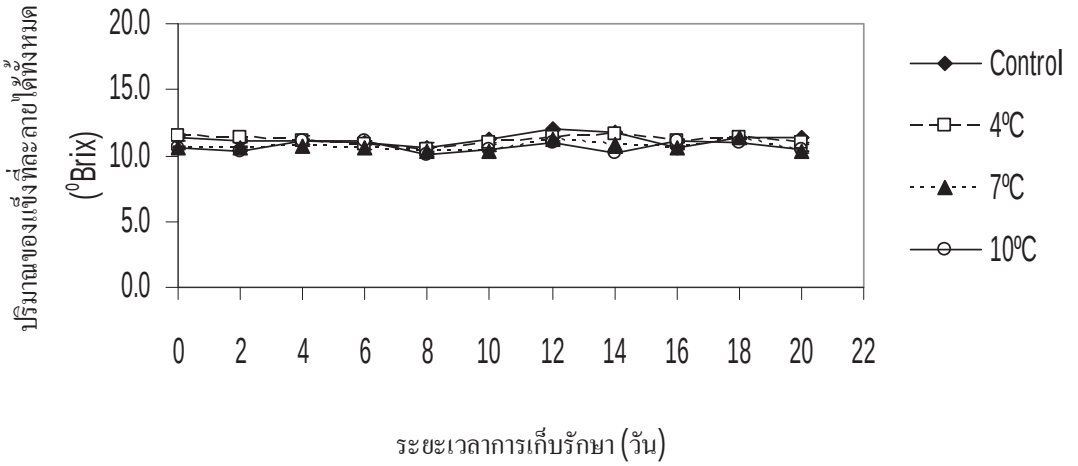
4.3 ผลของการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วันที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.3.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids,TSS)

การเปลี่ยนแปลง TSS ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังภาพที่ 18 พบว่า ชุดการทดลองที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C จะมี TSS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่19, ภาคผนวก จ) และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ส่วนชุดควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7 และ 10°C จะมี TSS คงที่ เมื่อเก็บรักษาครบ 20 วัน ชุดควบคุมจะมี TSS มากที่สุด ผลการทดลองสอดคล้องกับ Aguayo และคณะ (2005) ซึ่งรายงานว่าการใช้โอโซนไม่มีผลต่อการลด TSS ในมะเขือเทศตัดแต่ง

พืชตระกูลส้ม (citrus) จัดเป็นผลไม้ชนิด non-climacteric ซึ่งจะมีอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมีอย่างช้าๆ และใช้เวลานาน (Kader, 2002) โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวอย่างชัดเจนเมื่อมีการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือนขึ้นไป (Siriphanich และคณะ, 1987) ในเลมอนตัดแต่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ TSS ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เก็บรักษามากกว่าระดับอุณหภูมิที่เก็บรักษา (Artés-Hernández และคณะ,

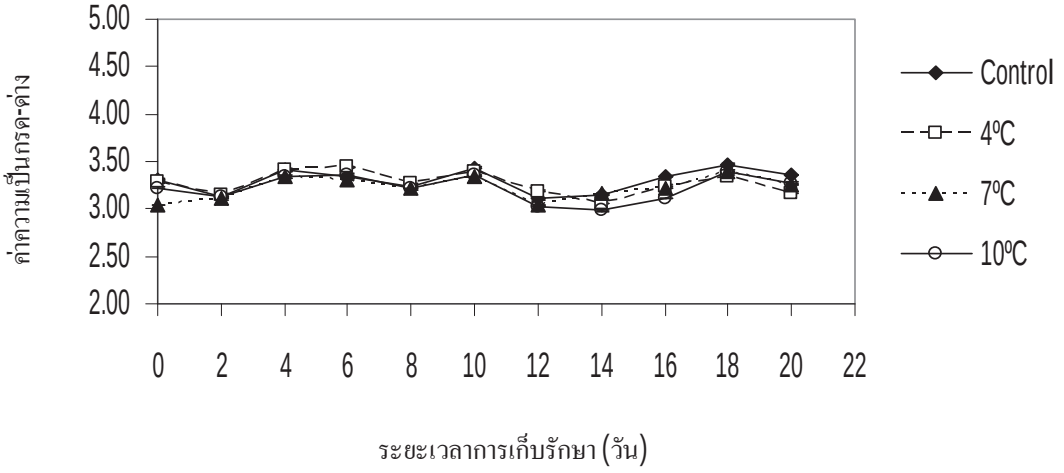
2007) ซึ่งจากการทดลองของ พรชัย (2530) สัณทนา (2530) และวรงกรณ์ (2530) พบว่า การเปลี่ยนแปลง TSS ของส้มโอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกันจะมีการเปลี่ยนที่น้อยและใช้เวลานาน



ภาพที่ 18 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่า pH ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในระหว่างการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 19 โดยมีแนวโน้มที่จะมีค่า pH สูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ทั้งนี้การรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 20, ภาคผนวก จ) อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาครบ 20 วัน พบว่าค่า pH ของทุกชุดการทดลองจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ที่มีค่าเพิ่มขึ้น

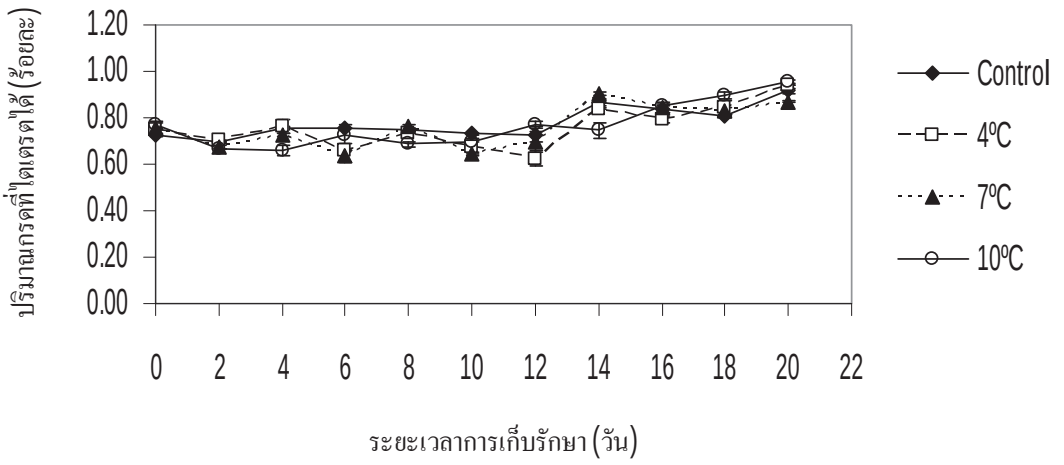


ภาพที่ 19 ค่าความเป็นกรด-ด่างของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.3.3 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA)

ส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ มีปริมาณ TA ระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเมื่อเก็บรักษาครบ 20 วัน (ภาพที่ 20) สอดคล้องกับการรายงานของจริงแท้ (2546) ซึ่งเป็นผลจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยในวันแรกของการเก็บรักษา ส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่า TA ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 21, ภาคผนวก จ) แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 20 วัน ทุกชุดการทดลองจะมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C จะมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ค่า TA นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น มีรายงานว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ทองดีและขาวแป้น เก็บรักษาผลส้มโอทั้งผลที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ กันมีการเปลี่ยนแปลงน้อยและใช้เวลานาน (พรชัย, 2530; สันทนา, 2530; วรงกรณ์, 2530) จากการทดลองของ Luengwilai และคณะ (2007) พบว่า ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของส้มแมนดารินพันธุ์ Clemenules Clementine และพันธุ์ W. Murcott หลังผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ลดลงโดยคิดเป็นร้อยละ 33 และร้อยละ 40 ของปริมาณ

กรดที่ไตเตรตได้ในวันแรกของการเก็บรักษาและการลดลงของปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ไม่ส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีการเปลี่ยนแปลง



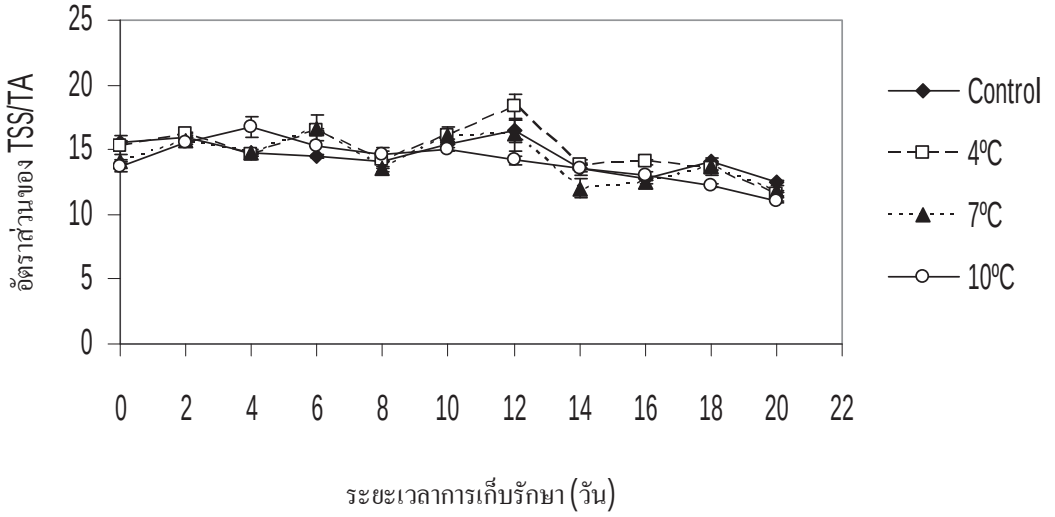
ภาพที่ 20 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.3.4 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TSS/TA)

จากข้อมูลของปริมาณกรดที่ไตเตรตได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เมื่อนำมาคำนวณอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TSS/TA) ของส้มโอตัดแต่ง แสดงดังภาพที่ 21 การรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TSS/TA เมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 22, ภาคผนวก จ) ส่วนการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7 และ 10°C จะมีค่า TSS/TA ที่ต่ำกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน พบว่าค่า TSS/TA มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของ TA เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยพบว่าส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีค่า TSS/TA น้อยกว่าชุดควบคุม

จากการทดลองของรมณีย์ (2532) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของ TSS/TA ของส้มโอพันธุ์ขาวทองดีและพันธุ์ขาวแป้นเพิ่มขึ้นหลังการเก็บรักษานาน 1 เดือน แต่ในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งกลับมี

TSS/TA ลดลงเล็กน้อยและจากการทดลอง Luengwilai และคณะ (2007) พบว่า ส้มแมนดารินพันธุ์ Clemenules Clementine และพันธุ์ W. Murcott หลังผ่านการเก็บรักษาในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ TSS/TA เพิ่มขึ้น

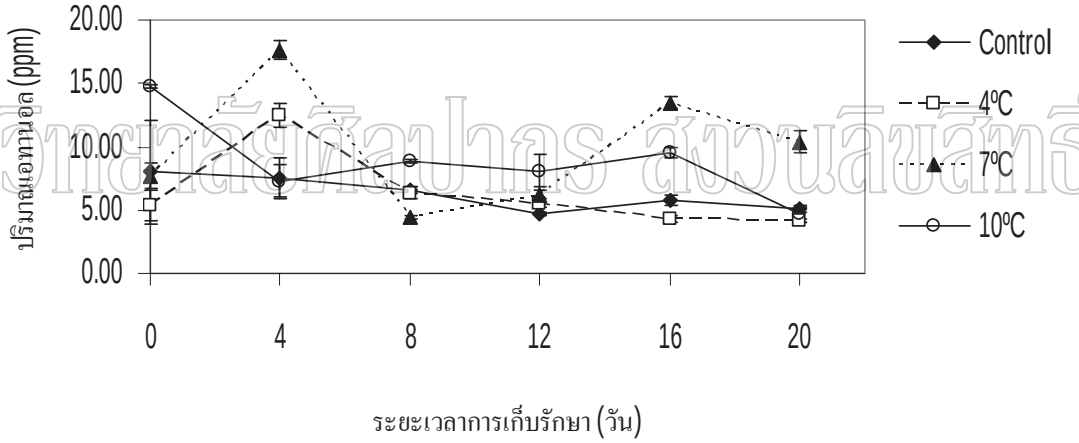


ภาพที่ 21 อัตราส่วนของ TSS/TAของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.3.5 ปริมาณเอทานอล

ปริมาณเอทาอลของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวันแรกของการเก็บรักษาส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C จะมีปริมาณเอทานอลสูงที่สุด (14.79 ppm) แสดงดังภาพที่ 22 และเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นจนกระทั่งวันที่ 16 ส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7°C จะมีการสร้างเอทานอลสูงขึ้นและแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 23, ภาคผนวก จ) จนกระทั่งวันสุดท้ายของการเก็บรักษาซึ่งมีปริมาณลดลงแต่ยังคงมีค่าสูง (10.40 ppm) ผลการทดลองขัดแย้งกับปิติรัตน์ (2551) ที่รายงานว่าปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของส้มโอตัดแต่งที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 และ 20°C จะเพิ่มสูงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 20°C มีการสะสมปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นมากกว่าส้มโอตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิอื่นๆ

อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผักและผลไม้ที่อุณหภูมิไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการหมักและเกิดการสะสมของเอทานอลในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ ส่งผลทำให้มีกลิ่นรสที่ผิดปกติซึ่งทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากการรายงานของ Pesis (2005) อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อการเกิดการสะสมอะเซทตัลดีไฮด์และเอทานอลของผักผลไม้ทั้งในผลไม้ชนิด climacteric และ non-climacteric สามารถเกิดการสะสมของปริมาณอะเซทตัล-ดีไฮด์และเอทานอลได้ ซึ่งพืชสกุล citrus จัดได้ว่าเป็นผลไม้ที่มีความไวต่อการเกิดกระบวนการหมักระหว่างการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิต่ำและเกิดความเครียดเป็นเวลานาน ในสภาพบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงจนเกินไปยังสามารถทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดการสะสมของเอทานอลในน้ำคั้นได้ ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมากเกินความต้องการของผลผลิตอาจจะชักนำให้เกิดกระบวนการหมัก (fermentation) ทำให้เกิดการสะสมเอทานอลได้ (Pesis, 2005)

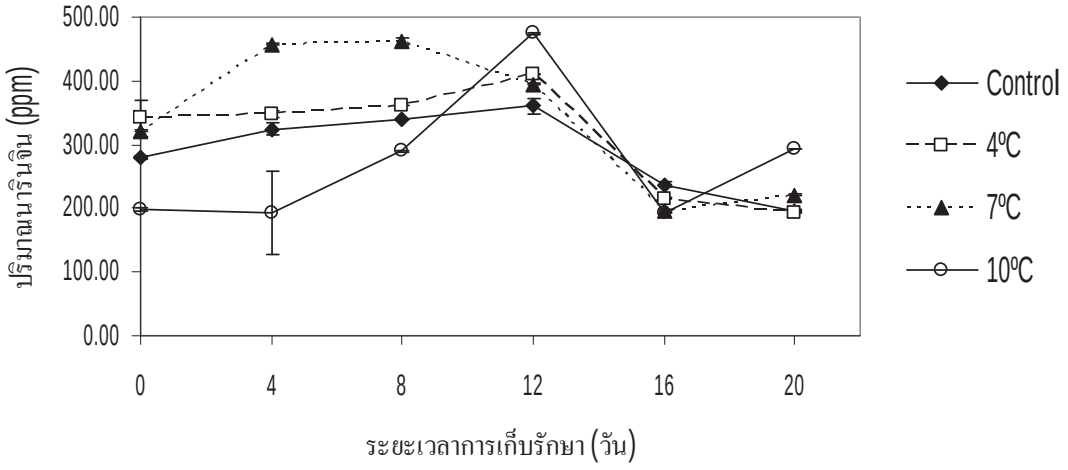


ภาพที่ 22 ปริมาณเอทานอลของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

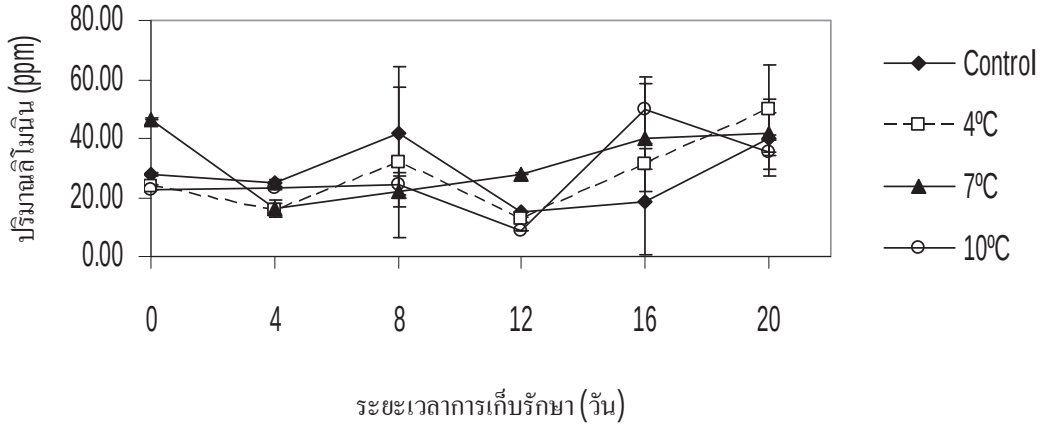
4.3.6 ปริมาณฟลาโวนอยด์

จากผลการทดลองพบว่าในเนื้อส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีปริมาณนารินจินมากกว่าปริมาณลิโมนิน (แสดงดังภาพที่ 23-24) โดยปริมาณนารินจินในแต่ละชุดการทดลองจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในระยะ 8-12 วันแรกก่อน และลดลงเมื่อเก็บระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น จนกระทั่งในวันที่ 20 ของการเก็บรักษาทุกชุดการทดลองจะมีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 24, ภาคผนวก จ) โดยส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่

อุณหภูมิ 10°C จะมีปริมาณนารินจินเท่ากับ 293.38 ppm ในวันที่ 20 ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Pichaiyongvongdee และ Haruenkit (2009) ที่พบว่าน้ำส้มโอมีปริมาณนารินจินอยู่ประมาณ 242.63-386.45 ppm



ภาพที่ 23 ปริมาณนารินจินของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%



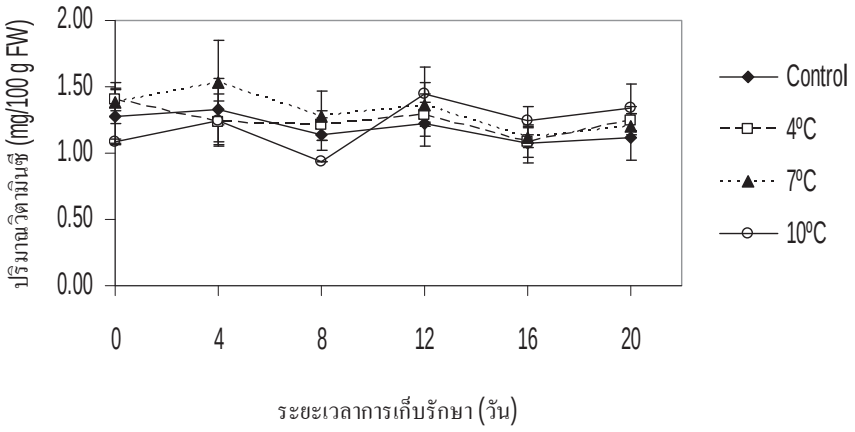
ภาพที่ 24 ปริมาณลิโมนินของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

สำหรับปริมาณลิโมนินพบว่ามีปริมาณน้อยกว่านารินจิน สอดคล้องกับรายงานของ Pichaiyongvongdee และ Haruenkit (2009) ซึ่งโดยปกติแล้วนารินจินจะพบมากที่สุดถึงร้อยละ 40-60 ของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (เสาวภา, 2553) จากผลการทดลองพบว่าการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7°C จะมีปริมาณลิโมนินในวันแรกมากที่สุดและมีความแตกต่างกับชุดควบคุม

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 25, ภาคผนวก จ) แสดงดังภาพที่ 24 แต่ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณลิโมนินในส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคซึ่งทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงคงที่ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วันจะพบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 8.69-49.68 ppm สอดคล้องกับ Pichaiyongvongdee และ Haruenkit (2009) ซึ่งพบว่าในน้ำส้มโอจะมีปริมาณลิโมนินอยู่ประมาณ 10.07-29.62 ppm อย่างไรก็ตามปริมาณลิโมนินจะเพิ่มปริมาณสูงขึ้นถ้าเตรียมน้ำส้มโอแล้วตั้งทิ้งไว้ 4-5 ชั่วโมง (Wattanasiritham และคณะ, 2005)

4.3.7 ปริมาณวิตามินซี

เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่าปริมาณวิตามินซีในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณค่อนข้างคงที่ ซึ่งส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีโดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 26, ภาคผนวก จ) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน จะพบว่าปริมาณวิตามินซีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคจะลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ $10^{o}C$ จะมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุดเท่ากับ 1.44 mg/100g FW แสดงดังภาพที่ 25 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากก๊าซออกซิเจน ซึ่งพบว่าเป็นสาเหตุหลักของการสลายตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) Brody (1994) รายงานว่าปริมาณวิตามินซีจะมีการสลายตัวได้อย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการเก็บรักษาเป็นเวลามากกว่า 9 วัน อย่างไรก็ตาม Tiwari และคณะ (2009) รายงานว่าวิตามินซีสามารถเกิดการสลายตัวได้เมื่อทำปฏิกิริยาโดยตรง (direct reaction) หรือปฏิกิริยาโดยอ้อม (indirect reaction) กับโอโซน



ภาพที่ 25 ปริมาณวิตามินซีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 89±2%

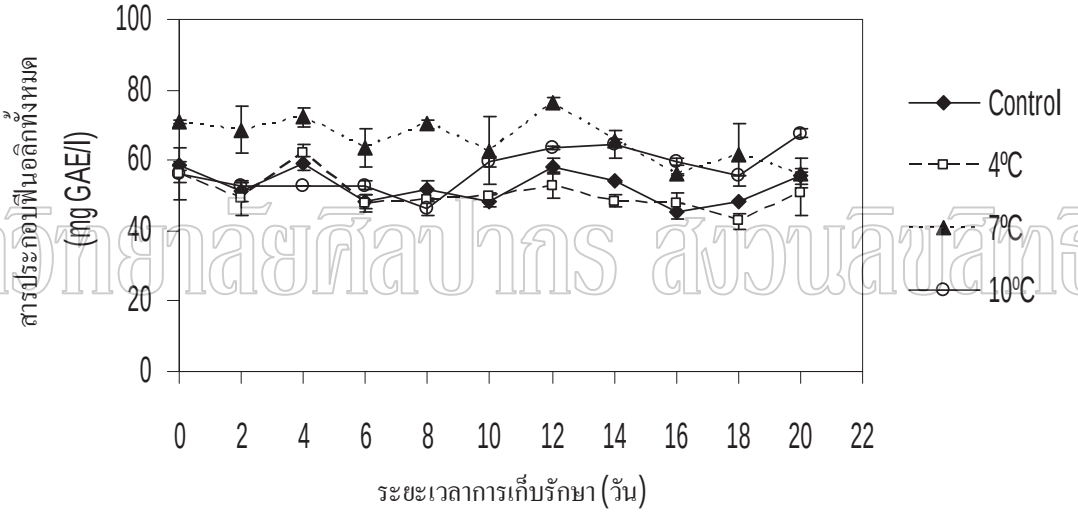
4.3.7 ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

การติดตามความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยติดตามปริมาณฟีนอลทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ (DPPH) ดังต่อไปนี้

4.3.7.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด

ผลการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4 และ 10°C มีปริมาณไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 27, ภาคผนวก จ) และพบว่าส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7°C จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงสุด (70.96 mg GAE/l) โดยจะเห็นว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสอดคล้องกับปริมาณนารินจิน (ภาพที่ 23) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วันจะพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของชุดควบคุมและส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4 และ 7°C ไม่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ยกเว้นส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C ซึ่งมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 67.73 mg GAE/l ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Artés-Hernández และคณะ (2007) ที่พบว่า เลมอนผ่าซีกและเลมอนตัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 2 และ 5°C มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิและกระบวนการตัดแต่งไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของเลมอนดังกล่าว สาเหตุของการลดลงของสารประกอบฟี

นอลอาจเนื่องจากการพัฒนาของผลไม้ในระยะบริบูรณ์และระยะสุกอาจส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงได้ (Kulkarni และ Aradhya, 2005) และผลจากการทดลองแสดงดังภาพที่ 26 พบว่าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7 และ 10°C มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมากกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากความเครียดทางกายภาพจากกระบวนการตัดแต่งและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเกินไป (Macheix และคณะ, 1990) Cordenunsi และคณะ (2005) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืช อย่างไรก็ตาม จริงแท้ (2546) รายงานว่าการลดลงของสารประกอบฟีนอลเกิดเนื่องจากถูกออกซิไดซ์ด้วยก๊าซออกซิเจนหลังจากการเกิด primary injury ขึ้นในเซลล์ ทำให้องค์ประกอบต่างๆ ที่เคยอยู่ใน compartment ไหลออกมา

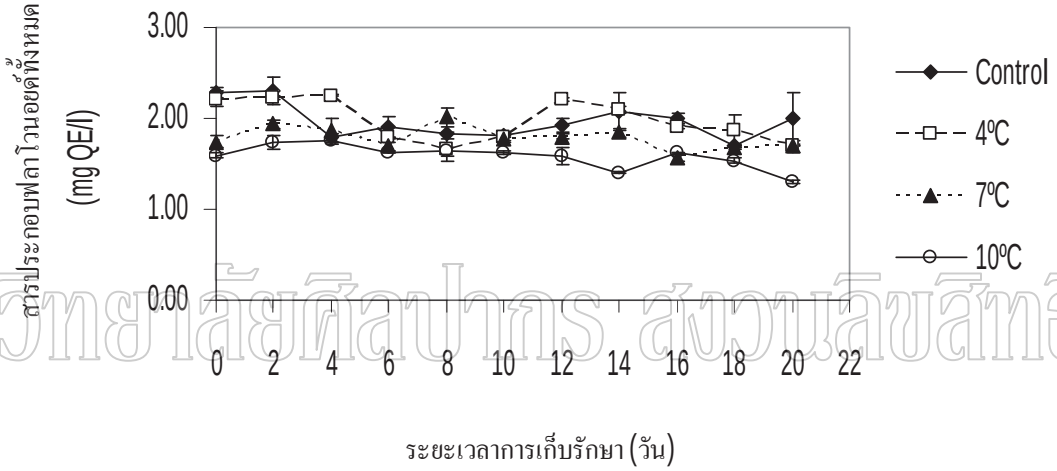


ภาพที่ 26 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.3.7.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ผลจากการทดลองพบว่า การรมก๊าซโอโซนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4 และ 7°C จะมีปริมาณฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 28, ภาคผนวก จ) เมื่อเปรียบเทียบกับชุด

ควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (แสดงดังภาพที่ 27) แต่พบว่าการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ โดยมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยที่สุด จะเห็นว่าปริมาณฟลาโวนอยด์มีปริมาณลดลงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา อาจเนื่องจากฟลาโวนอยด์มีการสลายตัวค่อนข้างช้าในการเก็บรักษาในช่วงอุณหภูมิ 0-10°C ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเก็บรักษาสตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิ 0, 5, 10 และ 20°C จะมีปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ไม่แตกต่างกัน (Shin และคณะ, 2008) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดยังขึ้นอยู่กับสภาพที่เก็บรักษาและสายพันธุ์ของพืชด้วย (Cordenunsi และคณะ, 2005)

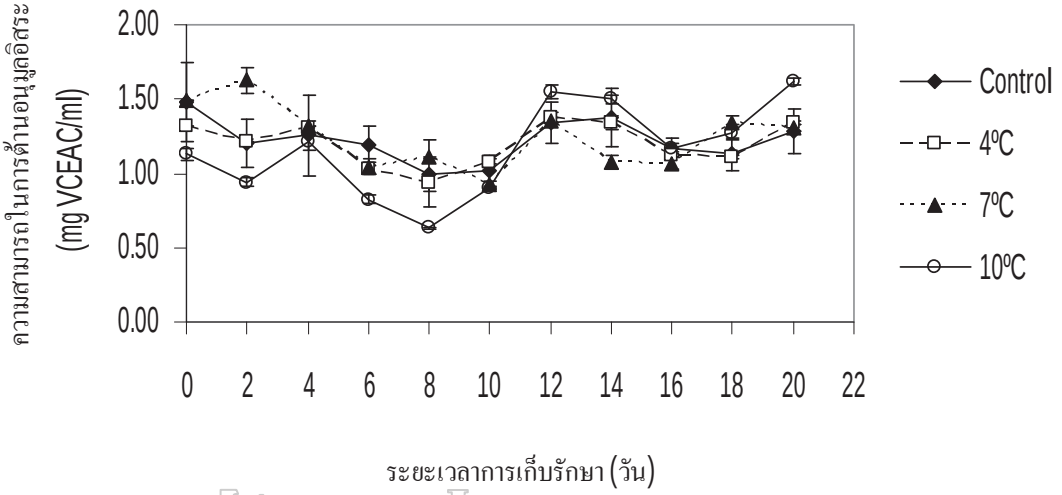


ภาพที่ 27 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.3.7.3 ความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ (DPPH-assay)

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH) ซึ่งรายงานเป็นค่าร้อยละของการยับยั้งเทียบกับสารมาตรฐานวิตามินซี ผลการทดลองพบว่า ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระมีความสอดคล้องกับปริมาณวิตามินซี (ภาพที่ 25) และสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ภาพที่ 26) โดยพบว่าเนื้อส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 29, ภาคผนวก จ) แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระจะ

ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C มีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากับ 1.62 mg VCEAC/ml ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ส่วนตัวอย่างควบคุมและส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10°C จะมีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ไม่แตกต่างกัน

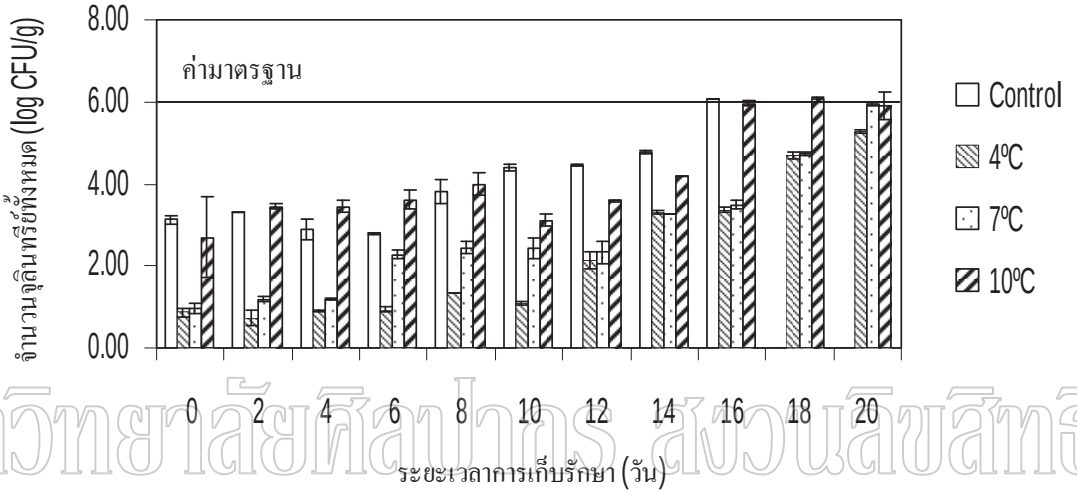


ภาพที่ 28 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

4.4 ผลของการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วันที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

จากการเก็บรักษาส้มโอขาวน้ำผึ้งตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 2 ppm เป็นเวลา 30 นาที เมื่อติดตามการเจริญของจุลินทรีย์ พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ไม่เกินมาตรฐาน 10^6 CFU/g และสำหรับยีสต์และรา (yeast and mold) ไม่เกินมาตรฐาน 10^4 CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2543) โดยพบว่าการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นลงได้เป็นอย่างดีดังภาพที่ 29-30 โดยที่อุณหภูมิ 4°C สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์ราได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 30-31, ภาคผนวก จ) โดยลดลงจาก 3.12 และ 3.16 เป็น 0.86 และ 2.15 log CFU/g ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละกุ้งของส้มโอมีคิวติเคิล (cuticle) เป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งจะ

ช่วยป้องกันต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (จริงแท้, 2546) เนื่องจากก๊าซโอโซนจะออกซิไดซ์องค์ประกอบของเซลล์ภายในจุลินทรีย์ เป็นผลให้เกิดการรั่วไหลขององค์ประกอบภายใน (Thanomsub และคณะ, 2002) อย่างไรก็ตามการรมด้วยก๊าซโอโซนเป็นระยะเวลานาน (20-60 นาที) จะพบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ที่สูงขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์ของพืชจะถูกทำลายหลังจากการรมก๊าซโอโซนเป็นระยะเวลานาน (Whangchai, 2006) จึงทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้สารอาหารที่ออกมาจากเนื้อเยื่อพืชในการเจริญทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบมีปริมาณสูงขึ้น



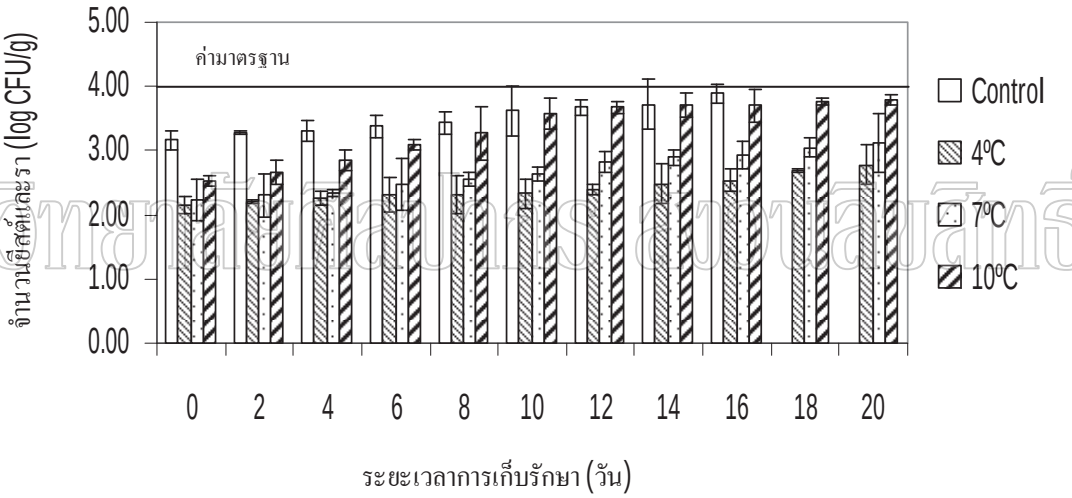
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซน ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

หมายเหตุ: ในวันที่18 และ 20 ของชุดควบคุมไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการเน่าเสีย

จากภาพที่ 29 จะพบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของทุกชุดการทดลองมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยวันที่ 16 ชุดควบคุมและส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่สูงและไม่แตกต่างกัน อีกทั้งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด ส่วนส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4 และ 7°C มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 20 วัน อีกทั้งจะพบว่าการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุด สำหรับจำนวนยีสต์และราพบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจะมีจำนวนยีสต์และรา

เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจากภาพที่ 30 เห็นได้ว่าส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C มีจำนวนยีสต์และราน้อยสุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 7 และ 10°C จึงเห็นได้ว่าการรมก๊าซโอโซนสามารถลดจำนวนยีสต์และราลงได้และชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ไม่ให้มีจำนวนเกินค่ามาตรฐานกำหนดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 20 วัน ส่วนในชุดควบคุมซึ่งมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 2 สัปดาห์

ในระหว่างการเก็บรักษาจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จะมีการเพิ่มจำนวนได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณบาดแผลที่เกิดขึ้นกับชิ้นส้มโอตัดแต่ง แต่อย่างไรก็ตามระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนยังไม่เกินมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ยกเว้นตัวอย่างควบคุมซึ่งพบว่าจะหมดอายุการเก็บหลังจาก 15 วัน โดยสามารถสังเกตเห็นจุดของราขึ้นบนผิวของเนื้อส้มโอ



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และราของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซน ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

หมายเหตุ: ในวันที่18 และ 20 ของชุดควบคุมไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการเน่าเสีย

ลักษณะชิ้นเนื้อของกลีบส้มโอเกิดจากการรวมกันของของถุงน้ำที่ปิดสนิทซึ่งภายในถุงน้ำนั้นเต็มไปด้วยของเหลวพวกน้ำหวาน ในกระบวนการตัดแต่งส้มโอเป็นเพียงการลอกเอาส่วนเยื่อหุ้มกลีบออกซึ่งทำให้เกิดบาดแผลกับเซลล์ชิ้นเนื้อส้มโอน้อยมากหรือแทบไม่เกิดเลยจึงทำให้ไม่มีการรั่วไหลของของน้ำหวานซึ่งจัดได้ว่าเป็นแหล่งอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโตจึงทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงน้อย อีกทั้งการบรรจุส้มโอตัดแต่งนี้เป็นการบรรจุใน

สภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified atmosphere packaging, MAP) ซึ่งการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทำให้ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพได้ (ดนัยและนิธิยา, 2535)

สำหรับจำนวน *Salmonella* spp. แสดงดังตารางที่ 8 พบว่าตรวจไม่พบในตัวอย่างงส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากในกระบวนการตัดแต่งส้มโอมีการควบคุมเรื่องความสะอาดของคุณภาพของส้มโอ ความสะอาดในบริเวณตัดแต่ง ผู้ที่ตัดแต่ง เทคนิคการตัดแต่ง การบรรจุ และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการตัดแต่งซึ่งทำด้วยวิธีปลอดเชื้อ (aseptic technique) มีผลช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ อีกทั้งการเก็บรักษาในอุณหภูมิที่หมาะสมจึงช่วยชะลอและยับยั้งการเข้าทำลายและการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่จะทำให้ส้มโอเกิดการเน่าเสียได้

ตารางที่ 8 จำนวน *Salmonella* spp. ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซน ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	จำนวน *Salmonella* spp. (log CFU/g)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	nd	nd	nd	nd
4	nd	nd	nd	nd
8	nd	nd	nd	nd
12	nd	nd	nd	nd
16	nd	nd	nd	nd
20	-	nd	nd	nd

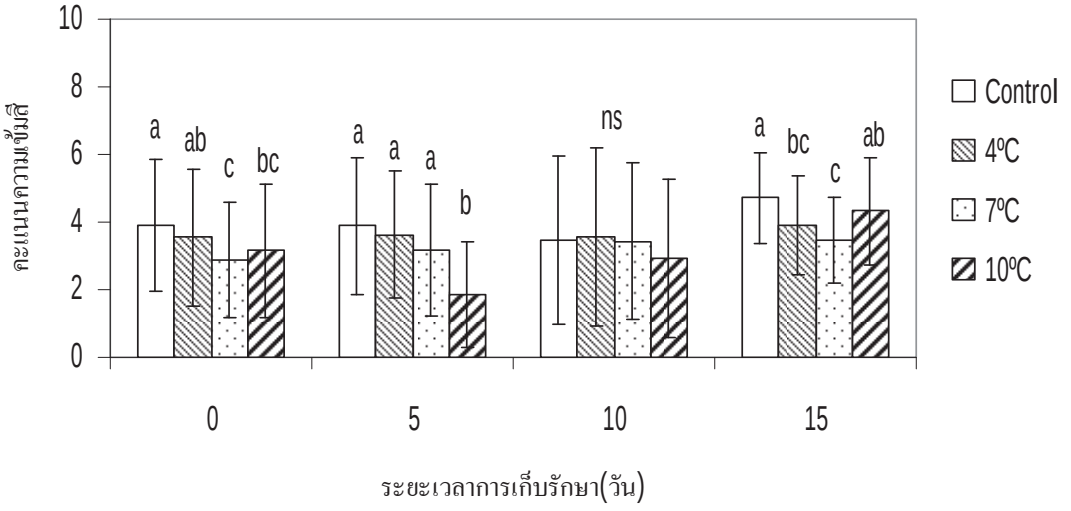
หมายเหตุ : nd หมายถึง ไม่ตรวจพบในตัวอย่าง 25 กรัม (n=3)

ในวันที่ 20 ของชุดควบคุมไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการเน่าเสีย

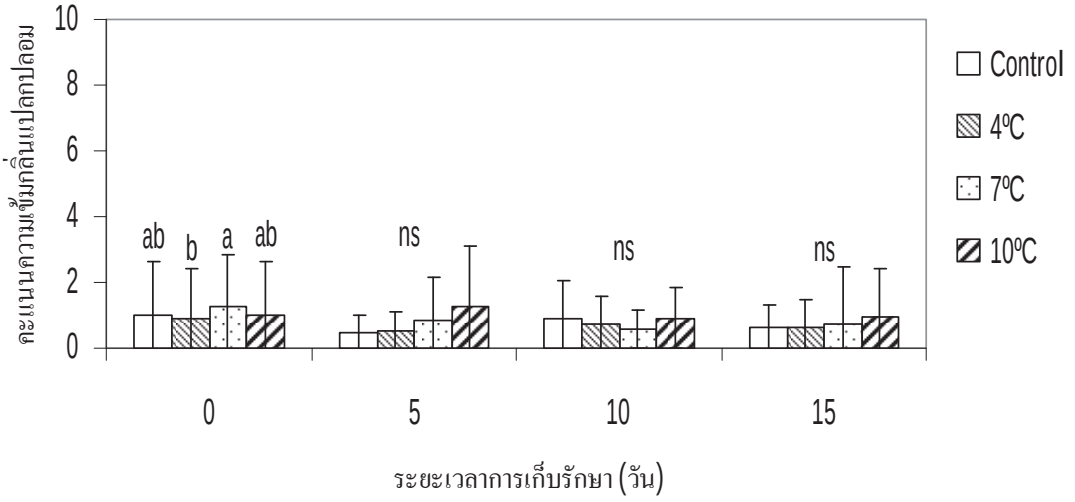
4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วันที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน ประเมินผลด้านสีเนื้อส้มโอ กลิ่นแปลกปลอม รสชาติแปลกปลอม และการยอมรับของผู้ทดสอบทุก 5 วัน ใช้แบบทดสอบเชิงพรรณนา รูปแบบสเกลเส้นตรงคะแนนความเข้ม 0-10 และคะแนนความชอบของผู้ทดสอบโดยใช้สเกลวัดคะแนนความชอบ 9 คะแนน ผลการประเมินแสดงดังภาพที่ 31-34

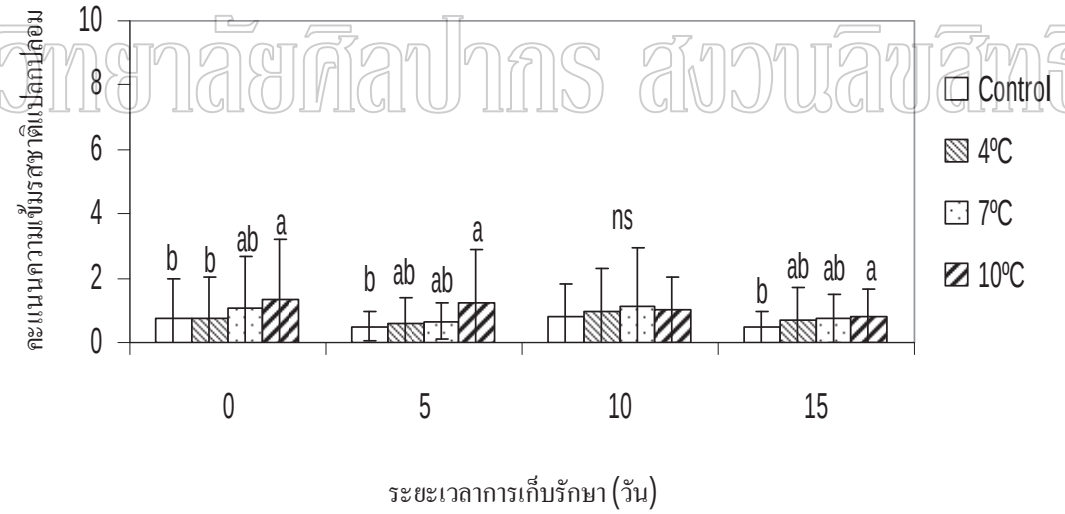
จากผลการประเมินพบว่า ส้มโอตัดแต่งชุดควบคุมจะมีคะแนนด้านความเข้มสีมากกว่าส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซน โดยที่อุณหภูมิ 7°C จะมีคะแนนความเข้มสีต่ำที่สุด เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นค่าคะแนนความเข้มจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จะกระทั่งวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ชุดควบคุมจะมีคะแนนความเข้มสีสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 32, ภาคผนวก จ) กับส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C ส่วนส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4 และ 7°C จะมีคะแนนความเข้มสีต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงสีโดยในช่วงแรกของการเก็บรักษา ส้มโอตัดแต่งจะมีสีเหลืองและใส แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้นจะทำให้สีเนื้อส้มโอเปลี่ยนเป็นสีเหลืองขุ่นเนื่องจากการสูญเสียความชื้น ซึ่งสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนักที่สูงขึ้นเรื่อยๆ (ตารางที่ 6) (Warakul, 2006) อย่างไรก็ตาม Aguayo และคณะ (2005) กล่าวว่า โอโซนไม่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ แต่จะขึ้นกับองค์ประกอบของก๊าซที่เป็นองค์ประกอบในบรรจุภัณฑ์



ภาพที่ 31 คะแนนความเข้มสีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซน ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%



ภาพที่ 32 คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

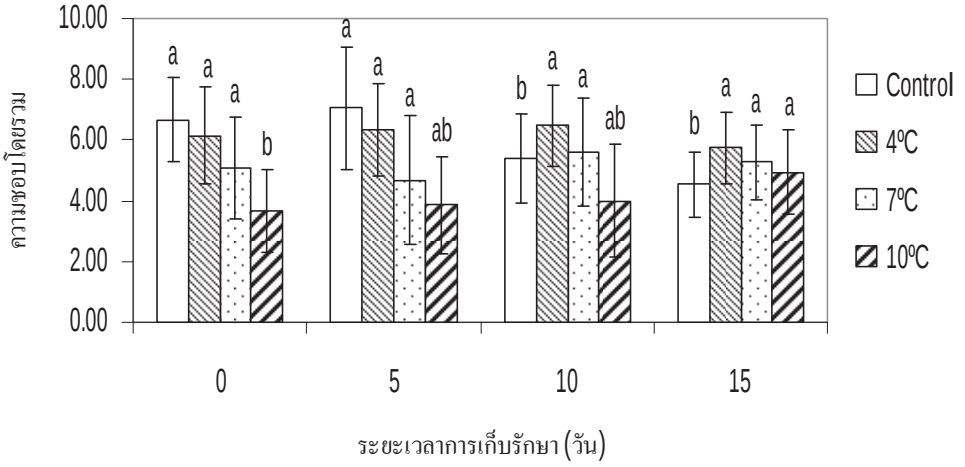


ภาพที่ 33 คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซน ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

สำหรับคะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค แสดงดังภาพที่ 32 พบว่าส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ มีคะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 33, ผาคผนวก จ) ผลการทดลอง

สอดคล้องกับปริมาณเอทานอลซึ่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนรสชาติแปลกปลอมแสดงดังภาพที่ 33 พบว่ามีคะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4 และ 7°C ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 10°C ในวันที่ 0, 5 และ 15 จะมีคะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมที่สูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากรสขมที่เกิดจากนารินจิน (ภาพที่ 23) ซึ่งพบว่ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนี้การเกิดบาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสตามธรรมชาติได้ (Watada และ Ling, 1999) โดยกลิ่นรสที่ผิดปกติที่เกิดขึ้นในผลไม้สดพร้อมบริโภคมีสาเหตุจากปฏิกิริยาทางชีวเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยมีเอนไซม์ lipoxidase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสารระเหยพวกคีโตนและแอลดีไฮด์ (Ahvenainen, 1996) หรือการเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติไปในผลไม้ตัดแต่งอาจเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือออกซิเจนไม่เพียงต่อการหายใจ การเกิดอาการสะท้านหนาว สภาพบรรยากาศที่เก็บรักษาไม่เหมาะสม การบรรจุที่ไม่เหมาะสม อุณหภูมิที่เก็บรักษาไม่เหมาะสม และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด อาจทำให้เกิดการหมักและเกิดการสะสมของเอทานอลในเนื้อเยื่อผักผลไม้จึงทำให้มีกลิ่นรสที่ผิดปกติไปได้ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและการไม่ยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 34 คะแนนความชอบโดยรวมของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซน ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ตารางที่ 9 การยอมรับของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซน ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	การยอมรับของผู้บริโภค (ร้อยละ)*			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	93.33	93.33	86.67	46.67
5	93.33	93.33	60.00	73.33
10	80.00	100.00	80.00	60.00
15	73.33	100.00	80.00	66.67

หมายเหตุ : * n=15

สำหรับคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบต่อส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่ามีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 34 ส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C ได้รับการยอมรับสูงกว่าชุดควบคุมและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 34, ภาคผนวก จ) เมื่อเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งไว้เป็นเวลา 15 วัน ส้มโอตัดแต่งชุดควบคุมได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบเพียงร้อยละ 73.33 (ตารางที่ 7) ส่วนส้มโอที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4, 7 และ 10°C ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบร้อยละ 100, 80 และ 66.67 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากการรมด้วยก๊าซโอโซนจะสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของส้มโอตัดแต่งได้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ส้มโอขาวน้ำผึ้งตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนความเข้มข้น 2 ppm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2% สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ได้ การรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L*, b*, h° และ C* โดยมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a* จะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และการสร้างเอทานอล ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่พบว่าปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น ส่วนปริมาณนารินจินจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ก๊าซโอโซนไม่มีผลต่อความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ DPPH โดยสอดคล้องกับปริมาณวิตามินซีและลิโมนินซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านจุลินทรีย์ พบว่าการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C จะสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ดีที่สุด และเมื่อนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าส้มโอตัดแต่งชุดควบคุมจะมีคะแนนความเข้มสีมากกว่าส้มโอตัดแต่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ แต่ส้มโอตัดแต่งที่ผ่านกการรมก๊าซโอโซนมีกลิ่นและรสชาติแปลกปลอมที่น้อยและไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ในด้านการยอมรับพบว่าชุดตัวอย่างที่รมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิ 4°C มีคะแนนการยอมรับสูงสุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาสำหรับอาหารทั่วไปที่มิใช่อาหารควบคุมเฉพาะ. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.dmsc.moph.go.th [เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2536]

กฤติยา เลี่ยวชวลิต เสริมสิริ วิจัยวรกิจ ฆรณี ตุ้ยเต็มวงศ์ และ ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์. 2546. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างผักด้วยสารไตรโซเดียมฟอสเฟต คลอรีนและการใช้โอโซน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 41. วันที่ 3-7 กุมภาพันธ์ 2546. สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: หน้า 230-235.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: หน้า 361-370.

ดนัย บุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2535. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 146 น.

ณัฐพงษ์ พิณเสนาะ วิทยา พุธเกิด ยอดชาย ดอนมูล และ สุรเชษ ชมพูมิ่ง. 2547. เครื่องล้างผักโอโซน. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตเชียงราย.

ธีรศาสตร์ ภู่เจริญ และ อัศพงศ์ อุประวรรณา. 2552. การยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วยการใช้น้ำโอโซน. จุลนิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยศิลปากร

นิภา คุณทรงเกียรติ. 2531. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ชลบุรี. 175น.

นันท์ชนก นันทะไชย. 2545. คุณภาพและอายุการเก็บของส้มโอปอกเปลือกและเนื้อส้มโอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิติรัตน์ กลิ่นธรรม. 2551. การบรรจุส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งตัดแต่งพร้อมบริโภคในสภาพบรรยากาศดัดแปลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

พรชัย เบ็ญจวิไลโกศล. 2530. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รมณีย์ เจริญทรัพย์. 2532. ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นกับโครงสร้าง ปริมาณแคลเซียม ความเข้มข้นของ CO_2 และ C_2H_4 และเอนไซม์ pectin methylesterase ของเนื้อผลส้มโอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รวี เสรฐภักดี. 2535. ไม้ผลทางอุตสาหกรรม II (ส้ม). เอกสารประกอบคำบรรยายวิชาพืชสวน 542. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

วรงกรณ์ ฤกษ์อร่าม. 2530. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาแป้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2551. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 [ออนไลน์] เข้าถึงวันที่ 1 พฤษภาคม 2554. http://www.phtnet.org

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2549. สถิติการค้าสินค้าเกษตรกรรมไทยกับต่างประเทศ ปี 2548. เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 404.

เสาวภา ไชยวงศ์. 2553. ส้มโอไทยผลไม้เพื่อสุขภาพ. สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, เชียงราย. 88 น.

สัณทนา วรรณกะลัศ. 2530. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวทองดีที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. 2541. เอกสารวิชาการที่ 21 เรื่องส้มโอ. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 88 น.

สุรพล บุญดวง และ พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ. 2548. เครื่องผลิตโอโซน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 43. สาขาสัตวแพทย์ศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: หน้า 570-575.

องค์การตลาดเพื่อเกษตรกร. 2553. มาตรฐานส้มโอของประเทศไทย (Thailand Standard for Pummelos). [ออนไลน์] เข้าถึงวันที่ 1 พฤษภาคม 2554. http://www.mof.or.th./food-standard/pummelos.pdf.

Aguayo, E., Escalona, V.H. and Artes, F. 2005. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial of whole and sliced tomatoes. Postharvest Biology and Technology. 39: 169-177.

Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. Food Science and Technology. 7: 179-187.

Akbas, M.Y. and Ozdemir, M. 2008. Application of gaseous ozone to control population of *Estericia coli*, *Bacillus cereus* spores in dried figs. Food Microbiology. 25: 386-391.

A.O.A.C. 1995. Official methods of analysis of AOAC International. Cunniff P. editor. Arlington. Va: OAC International.

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Vol. 1. Washington: Association of Official Analytical Chemists.

Artés-Hernández, Rivera-Cabrera, F.F. and Kader, A.A. 2007. Quality retention and potential shelf-life of fresh-cut lemons as affected by cut type and temperature. Postharvest Biology and Technology. 43: 245-254.

Azarpazhooh, A. and Limeback, H. 2008. The application of ozone in dentistry: A systematic review of literature. Journal of Dentistry. 36:104-116.

Benli, H., Hafley, B.S., Keeton, J.T., Lucia, L.M., Cabrera-Diaz, E. and Acuff, G.R. 2008. Biomechanical and microbiological changes in natural hog casings treated with ozone. Meat Science. 79: 155-162.

Bishop, D. 1996. Controlled atmosphere storage. In C.J.V. Dellino, ed. Cold and chilled storage technology. Blackie, London.

Bolin, H.R. and Huxsoll, C.C. 1991. Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of salad-cut lettuce. Journal of Food Science. 56: 60-62.

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

Brody, A.Y. 1994. Modified Atmosphere Food Packaging, Intetrated Products, p. 12.

Chawla, A.S. 2006. Application of Ozonated Water Technology for Improving Quality and Safety of Peeled Shrimp Meat. Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Gujarat Agricultural Univeristy, India.

Citrus grandis [Online]. Accessed 15 September 2010. Available from http://www.all-creatures.org/recipes/i-pummelored.html

Cookes, P.R. and Grierson, D. 1983. Ultrastructure of tomato fruit ripening and the role of polygalacturonase isoenzymes in cell wall degradation. Plant Physiology. 72: 1088-1093.

Cordenunsi, B.R., M.I. Genovese, J.R.O. Nescimento, N.M.A. Hassimotto, R.J. Santos and F.M.Lajolo. 2005. Effect of temperature on the chemical composition and antioxidantactivity of three strawberry cultivars. Food Chemistry. 91: 113-121.

Day, B.P.F. 2001. Fresh prepared produce: GMP for high oxygen MAP and non-sulphite dipping. Guideline No. 31, Campden and Chorleywood Food Research Association Group, Chipping Campden, Gloucestershire, UK.

Gluzel-Seydim, Z.B., Bever, P.I., and Greene, A.K. 2004a. Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in the presence of food components. Food Microbiology. 21: 475-479.

Gluzel-Seydim, Z.B., Greene, A.K. and Seydim, A.C. 2004b, Use of ozone in food industry. Lebensmittel-Wissenschaft and Technology. 37: 453-460.

Hudson, J.B., Sharma, M. and Petric, M. 2007. Inactivation of Norovirus by ozone gas in conditions relevant to healthcare. Journal of Hospital Infection. 66: 40-45.

Hunt, N.K. and Marioas, B.J. 1997. Kinetics of *Escherichia coli* inactivation with ozone. Water Research. 31:1355-1362.

Kader, A.A. 2002. Postharvest Biology Technology: an overview. pp. 39-48. In. A.A. Kader ed. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3311, Oakland, CA, USA. pp. 39-48.

Kader, A.A. 1992. Postharvest technology of horticulture crops. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, 2nd eds, Oakland, California, USA. ANR Publications 3311.

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, NY.

Ketteringham, L., Gausseres, R., James, S.J. and James, C. 2006. Application of aqueous ozone for treating pre-cut green peppers (Capsicum annuum L.). Journal of Food Engineering. 76: 104-111.

Khadre, M.A. and Yousef, A.E. 2001. Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study. International Journal of Food Microbiology. 71:131-138.

Kimball, D.A. 1999. Citrus processing. Aspen Publishers, Maryland. pp. 7.

Kim, D.M., N.L. Smith and C.Y. Lee. 1993. Quality of minimally processed apple slices from selected cultivars. Journal of Food Science. 58: 1115-1117.

Kulkarni, A.P. and S.M. Aradhya. 2005. Chemical change and antioxidant activity in pomegranate arils during fruit development. Food Chemistry. 93: 319-324.

Lamikanra, O. 2002. Preface. In: O. Lamikanra, ed. Fresh-cut fruits and vegetables Science technology and market. Boca Raton, FL: CRC Press.

Lin, J. and Tang, C. 2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. Food Chemistry. 101: 140-147.

Luengwilai, K., Sukjamsai, K. and Kader, A.A. 2007. Responses of "Clemenules" "Clementine" and *"W. Murcott*" mandarins to low oxygen atmospheres. Postharvest Biology and Technology. 44: 48-54.

Macheix, J.J., A. Fleuriet and J. Billot. 1990. Importance and role of phenolic compounds in fruits, pp. 239-278. In. Fruit Phenolics. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA

Manley, T.C. and Niegowski, S.J. 1967. Ozone. In Encyclopedia of chemical technology (2nd ed). Wiley: New York. pp. 410–432.

Mathlouthi, M. 1994. Food Packaging and Preservation, Champman & Hall. 152-155.

Najafi, M.B.N. and Khodaparast, M.H.H. 2009. Efficacy of ozone to reduce microbial populations in date fruits. Food Control. 20: 27–30.

Nakagawa, H., Okazaki, S., Asakura, S., Shimizu, H. and Iwamoto, I. 2001. A new ozone sensor for an ozone generator. Sensors and Actuators B: Chemical. 77: 543-547.

Nicola, S., Tibaldi, G. and Fontana, E. 2009. Fresh-cut produce quality: implications for a systems approach. In: Postharvest handling a system approach. 2nd ed. Edited by Shewfelt, R.L., Brueckner, B. and Prussia, S.E., Elsevier Inc. USA, 247-275.

Olga, M. and Robert, S. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the quality of fresh-cut fruits. Department of Food Technology. Stewart Postharvest Review. 2: 1-8.

Palou, L., Crisosto, C.H., Smilanick, J.L., Adaskaveg, J.E. and Zoffoli, J.P. 2001. Effect of continuos 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. Postharvest Biology and Technology. 24: 39-48.

Park, S.L., Moon, J.D., Lee, S.H. and Shin, S.Y. 2006. Effective ozone generation utilizing a meshed-plate electrode in a dielectric-barrier discharge type ozone generator. Journal of Electrostatics 64: 275-282.

Parish, M. E., Beuchat, L. R., Suslow, T. V., Harris, L. J., Garrett, E. H. and Farber, J. N. 2003. Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2: 161–173.

Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration: Review. Postharvest Biology and Technology. 37: 1-19.

Pichaiyongvongdee, S. and Haruenkit, R. 2009. Comparative studies of limonin and naringin distribution in different parts of pomelo [*Citrus grandis (L.)*] cultiars grown in Thailand. Kasetsart Journal. (Natural Science.) 43: 28-39.

Ping, L., Jie, L., Yan, W., Bin, L., Minghua, X., Sun, K. and Yu, G. 2004. Experimental Study On Optimum Of Low-Ozone Negative Ion Generator. Recent Developments in Applied Electrostatics. Oxford: Elsevier Science Ltd. 203-206.

Reyes, V.G. 1996. Improved preservation systems for minimally processed vegetables. Food Australia. 48: 87-90.

Rice, R.G., Robson, C.M., Miller, G.W. and Hill, A.G. 1981. Uses of ozone in drinking water treatment. Journal of the American Water Works Association. 73: 44-57.

Rocha, A.M.C.N., Brochado, C.M., Kirby, R. and Morais, A.M.M.B. 1995. Shelf-life of chilled cut orange determined by sensory quality. Food Control. 6: 317-322.

Sarig, P., Zahavi, T., Zutkhi, Y., Yannai, S., Lisker, N. and Ben-Arie, R. 1996. Ozone for control of post-harvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. Physiological and Molecular Plant Pathology. 48:403-415.

SeaLand. 1991. Shipping guide to perishables. SeaLand Services Inc., PO Box 800, Iselim, New Jersey 08830, USA.

Selma, M.V., Ibanez, A.M., Cantwell, M. and Suslow, T. 2008. Reduction by gaseous ozone of Salmonella and microbial flora associated with fresh-cut cantaloupe. Food Microbiology 25: 558-565.

Simons, L.K. and Sanguansri, P. 1997. Advanced in the washing of minimally processed vegetables. Food Australia. 49: 75-80.

Shin, Y., Ryu, J.A., Liu, R.H., Nock, J.F. and Watkins, C.B. 2008. Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant content and activity,

and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. Postharvest Biology and Technology. Article in press. Available Source: http://www.sciencedirect.com/science, April 8, 2008.

Siriphanich, J., Charoensub, R., and Chiraporn, U. 1987. Postharvest physiological and technological studies on pummelo. Cropping Programmes and Agricultural Topic Research. Technical Report. Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 329-359.

Soliva-Fortuny, R.C. and Martin-Belloso, O. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. Trends in Food Science & Technology 14: 341-353.

Soliva-Fortuny, R.C., Elez-Martínez, P. and Martín-Belloso, O. 2004. Microbiological and biochemical stability of fresh-cut apples preserved by modified atmosphere packaging. ISFET. 5: 215-224

Somboonchai, W., Nopharatana, M. and Songkasiri, W. 2008. Kinetics of cyanide oxidation by ozone in cassava starch production process. Journal of Food Engineering. 84: 563-568.

Thanomsub, B., Anupunpisit, V., Chanphetch, S., Watcharachaipong, T., Poonkhum, R. and Srisukonth, C. 2002. Effects of ozone treatment on cell growth and ultrastructural changes in bacteria. The Journal of General and Applied Microbiology. 48:193-199.

Theppakorn, T. and Chaiwong, S. 2009. Evaluation of bioactive compounds and antioxidant capacities of pomelo cv. "Thong Dee" in Thailand for export. 35th Congress on Science and Technology of Thailand. During : October 15-17. Burapha University, Thailand.

Ting, S.V. and Attaway, J.A.1971. Citrus Fruits.In A.C. Hulme (ed.). The Biochemistry of fruits and their products. Volume. II Academic Press, London. 107-161.

Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Patras, A. and Cullen, P.J. 2009. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. Food Chemistry. 113: 1119-1126.

Wardoski, W.F., Grierson, W. and Edwards, G.J. 1973. Chilling injury of stored lime and grapefruit as affected by differentially permeable films. Horticultural Science. 8: 173-175.

Wang, Y.-C., Chueh, Y.-C., and Ku, Y.-C. 2007. Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan. Food Chemistry. 102: 1163-1171.

Whangchai, K., Saengnil, K. and Uthaibutra, J. 2006. Effect of ozone in combination with some organic acids on the control of postharvest decay and pericarp browning of longan fruit. Crop Protection 25(8): 821-825

Warakul, S. 2006. Effect of gaseous ozone exposure and modified atmosphere packaging on qualities of minimally processed pomelo. A special research project submitted partial fulfillment of the requirement for the degree of master of engineering. King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Watada A.E. and Ling, Q. 1999. Quality of fresh-cut produce. Postharvest Biology and Technology. 15: 201–205.

Wattanasiritham, L., Taweesuk, K. and Ratanachaimakorn, B. 2005. Limonin and Naringin in Pummelos (*Citrus grandis* (L.) Osbeck). 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology, 18-20 October 2005.

Whangchai, K., Saengnil, K. and Uthaibutra, J. 2006. Effect of ozone in combination with some organic acids on the control of postharvest decay and pericarp browning of longan fruit. Crop Protection 25: 821-825.

Xu, G., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Ma, Y. and Shi, J. 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varities cultivated in China. Food Chemistry. 106: 545-551

Yahia, E.M. 1998. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. Horticultural Review. 22: 123-183.

Zambre, S.S., Venkatesh, K.V. and Shah, N.G. 2010. Tomato redness for assessing ozone treatment to extend the shelf life. Journal of Food Engineering. 96: 463-468.

Zhang, L., Lu, Z., Yu, Z. and Gao, X. 2005. Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water. Food Control 16: 279–283.

Zuo, L., Seog, E.J. and Lee, J. H. 2008 Effects of ascorbic and citeic acids on CIE color values of fresh-cut apple cubes. Food Technology. 6: 20-24

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. **การวัดค่าสี** (CIE-L*a*b*)

วัดค่าสีในระบบ CIE-L*a*b* โดยใช้เครื่อง Hunter Lab Colorimeter โดยน้ำชิ้นส้มโอไปวัดค่าสี รายงานผลเป็นค่า L* ซึ่งเป็นค่าความสว่าง (ถ้าค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีทึบแต่ถ้าค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีขาวสว่างมาก) ค่า a*แสดงสีแดงและเขียว (ถ้าค่า a* เป็นบวกวัตถุจะมีสีออกสีแดง แต่ถ้า a* เป็นลบ วัตถุจะมีสีออกสีเขียว) ค่า b* แสดงสีเหลืองและสีน้ำเงิน (ถ้าค่า b* เป็นบวกวัตถุจะมีสีออกสีเหลือง แต่ถ้าค่า b* เป็นลบ วัตถุจะมีสีออกสีน้ำเงิน) การวัด 3 จุด (หัว, กลาง และท้าย) จากนั้นคำนวนค่า h^0 (hue angle) ตามสมการที่ 1 และค่า C* (Chroma) ตามสมการที่ 2

$$h^0 = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (1)$$

$$C^* = [(a^*)^2+(b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

2. **การหาอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนโดยใช้แผงควบคุมการไหลอากาศ** (flow board)

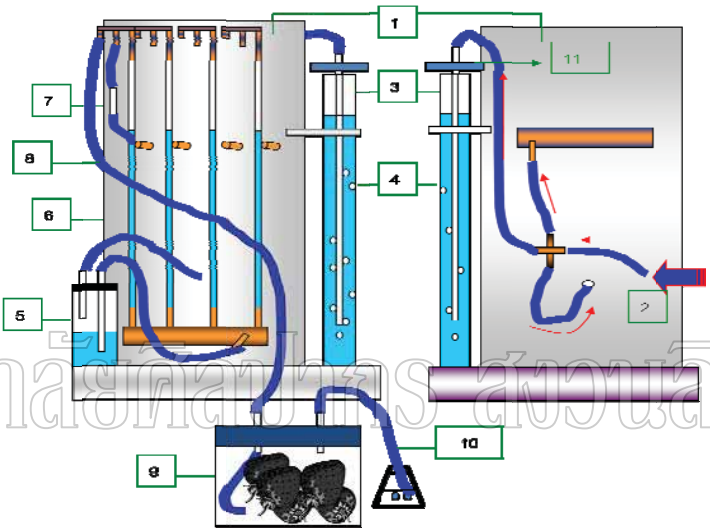
2.1 หลักการทำงานของแผงควบคุมการไหลอากาศ

แผงควบคุมการไหลอากาศภาพที่ 35 เมื่อผ่านอากาศเข้าช่องเปิด❷ อากาศจะแยกไปได้ 3 ทางด้วยกันคือ ผ่านหลอดแก้ว ❸ ลงไปในน้ำในซึ่งบรรจุกระบอกแก้ว ❹ และผ่านไปในขวดน้ำ ❺ และออกไปทาง Capillary ❼ แล้วออกไปสู่โหลบรรจุผลไม้ ❾ ต่อไป

เมื่อเพิ่มความดันของอากาศที่ผ่านเข้ามาให้มากขึ้นเรื่อยๆ อากาศออกไปทาง capillary ❼ ไม่ทันเพราะมีช่องขนาดเล็กมาก อากาศก็จะไปดันน้ำในขวดน้ำ ❺ ขึ้นไปตามหลอดแก้ว ❻ ระดับน้ำในหลอดแก้ว ❻ จะสูงเท่าไรขึ้นกับความดันของอากาศที่ผ่านเข้ามาและส่วนอากาศที่เหลือจะไหลออกในหลอดแก้ว ❸ จะเล็ดลอดเป็นฟองอากาศออกไปในขณะเดียวกันระดับน้ำในหลอดแก้ว ❻ จะสูงขึ้นถึงจุดสูงสุด ไม่สูงกว่านี้เพราะอากาศส่วนเกินจะเล็ดลอดออกไปทางปลายหลอดแก้ว ❸

เราสามารถปรับระดับความดันของอากาศที่ผ่านออกไปทาง Capillary ❼ ได้เช่น ถ้าต้องการให้มีความดันเท่ากับน้ำสูง 50 ซม. ก็ปรับปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าไปใน flow board ❷ และปรับหลอดแก้ว ❸ทำหน้าที่ขึ้นหรือลงจนกระทั่งระดับน้ำในหลอดแก้ว ❻ สูงเท่ากับ 50 ซม.(วัดจากระดับน้ำในขวดน้ำ ❺) และให้มีฟองอากาศเล็ดลอดออกมาทางปลายหลอดแก้ว ❸เล็กน้อย

แหล่ง (source) ของอากาศที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักได้จากเครื่องปั๊มลม ซึ่งความดันของอากาศจะขึ้นลงไม่คงที่อยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าต่อท่อลมเข้าสู่ flow board นี้ ลมหรืออากาศที่ผ่านออกมาทาง Capillary ❼ จะมีความดันค่อนข้างคงที่เนื่องจากมีหลอดแก้วบรรจุน้ำ ❹ และหลอดแก้วสำหรับระบายอากาศ ❸ ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความดัน (barostat) ถ้าความดันของอากาศจากปั๊มลมลดต่ำลงฟองอากาศก็จะออกมาน้อยลง แต่ถ้าความดันเพิ่มขึ้นฟองอากาศก็ออกมามากขึ้น ทำให้สามารถรักษาระดับความดันของอากาศที่ผ่านออกไปทาง Capillary ❼ ได้ค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามถ้าความดันของอากาศจากปั๊มลมลดลงหรือสูงขึ้นมากเกินไปก็ไม่สามารถรักษาความดันให้คงที่อยู่ได้



ภาพที่ 35 แผงควบคุมการไหลของอากาศและโหลแก้วบรรจุตัวอย่าง

2.2 **ส่วนประกอบของแผงควบคุมการไหลของอากาศ** (Flow board)

1. แผงและฐานไม้
2. ทางอากาศเข้า
3. หลอดแก้วระบายอากาศ
4. หลอดแก้วใหญ่
5. ขวดแก้วบรรจุน้ำ
6. หลอดแก้วแสดงระดับความดัน
7. capillary (หลอดแก้วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ)
8. สายยางนำอากาศ
9. โหลแก้วบรรจุผลไม้

10. ทางอากาศออก

11. ที่หนีบหลอดแก้ว

2.3 การคำนวณอัตราการหายใจ

สุ่มเก็บก๊าซตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุเนื้อส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคอย่างละ 10 มิลลิลิตร ตรวจวัดปริมาณก๊าซาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ คำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นร้อยละและคำนวณอัตราการหายใจเป็นมิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม.ชั่วโมง (mg CO_2/kg.hr) ดังสมการ

$$\text{อัตราการหายใจ} = \frac{\%CO_2 \times (\text{Flow rate (ml/min)} \times 60 \text{ min}) \times \text{Conversion figure} \times 1000g}{\text{Weight (g)} \times 100ml}$$

หมายเหตุ ค่า Conversion figure ที่อุณหภูมิ 7ºC มีค่าเท่ากับ 1.092

2.4 การหาคำนวณอัตราการผลิตเอทิลีน

สุ่มเก็บก๊าซตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุชิ้นเนื้อส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคอย่างละ 10 มิลลิลิตร ตรวจวัดปริมาณก๊าซเอทิลีนโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ คำนวณความเข้มข้นของเอทิลีนเป็นร้อยละและคำนวณอัตราการผลิตเอทิลีนเป็นไมโครลิตรเอทิลีนต่อกิโลกรัม. ชั่วโมง (μl C_2H_4/kg.hr) ตามสมการ

$$\text{อัตราการผลิตเอทิลีน} = \frac{C_2H_4 \times \text{Flow rate (ml/min)} \times 0.06 \times 1000}{\text{Weight (g)}}$$

โดยที่ $\%CO_2$ หมายถึง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ (หน่วยร้อยละ)

C_2H_4 หมายถึง ความเข้มข้นของเอทิลีนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโคมาโตกราฟ (หน่วย ppm)

Weight หมายถึง น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

Flow rate หมายถึง ความเร็วของอากาศที่ผ่าน capillary บนแผงควบคุมการไหลของอากาศ

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางเคมี

1. **การหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด** (Total Soluble Solids)

ทำการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Hand refractometer ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการวัดจากน้ำคั้นของส้มโอที่กรองด้วยผ้ากรอง และนำน้ำคั้นมาทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

2. **การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง** (pH)

ปรับมาตรฐานของเครื่อง pH ด้วย buffer pH 4 และ pH 7 ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำคั้นส้มโอ ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml บันทึกค่า pH ที่วัดได้

3. **การหาปริมาณกรดที่ไตเตรตได้**

นำตัวอย่างส้มโอมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม ชั่งน้ำหนักน้ำคั้นส้มโอ 5 g (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทำการไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยขณะไตเตรตใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารละลายตลอดเวลา จากนั้นไตเตรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสารละลายจะมี pH เท่ากับ 8.1 (วัด pH ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดเมื่อเทียบกับกรดซิตริกตามสมการด้านล่าง

$$\%TA = \frac{\text{ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)} \times \text{ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ml)} \times 0.064 \times 100}{\text{ปริมาณน้ำคั้นของส้มโอ (ml)}}$$

4. **ปริมาณวิตามินซี** (**ตามวิธีของ** Wang **และคณะ**, 2007)

4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก

4.1.1 ชั่งน้ำหนักกรดแอสคอร์บิก 0.0025 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน)

4.1.2 ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 25 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution ความเข้มข้น 100 ppm

4.1.3 เจือจางจนได้ความเข้มข้น 50, 25, 10 และ 5 ppm ตามลำดับ

4.2 การวิเคราะห์

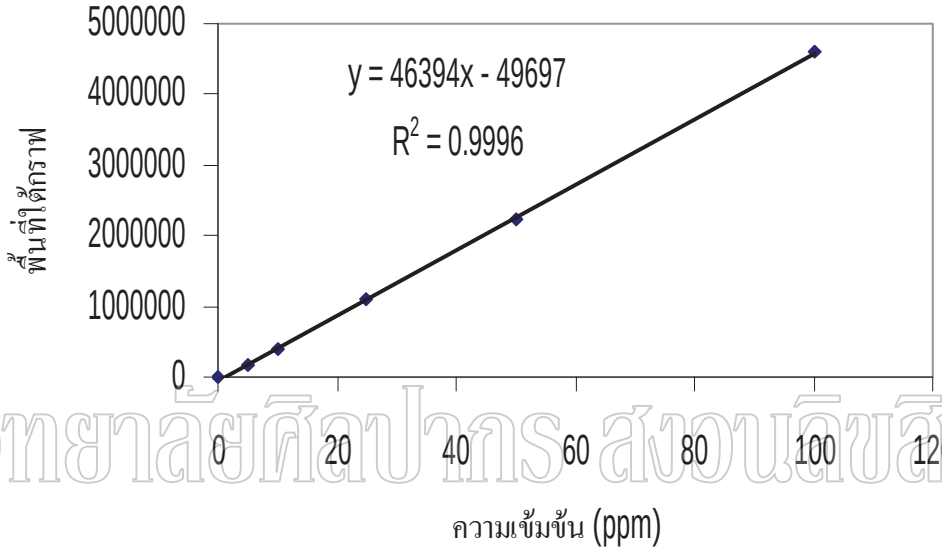
4.2.1 ปิเปตน้ำส้มโอปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายผสม acetronitrile: acetic acid: water ในอัตราส่วน 75:2:25 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

4.2.2 นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 9000xg เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิปกติ

4.2.3 กรองด้วย 0.45 μm membrane filter

4.2.4 ฉีดเข้าเครื่อง High Pressure Liquid Chromatograph ที่ติดตั้งกับ UV detector

4.2.5 คำนวณความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐาน (ภาพที่ 36) แล้วรายงานผลในหน่วย mg/100g FW



ภาพที่ 36 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก

5. ปริมาณเอทานอล

5.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอล

5.1.1 ปิเปตเอทานอลปริมาตร 0.127 มิลลิลิตร (บันทึกปริมาตรที่แน่นอน) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution ความเข้มข้น 2000 ppm

5.1.2 เจือจาง stock solution ที่เตรียมไว้ให้ได้ความเข้มข้น 1000, 500, 100 และ 50 ppm

5.2 การเตรียมสารละลาย n-propanol เพื่อใช้เป็น internal standard

5.2.1 ปิเปต n-propanol ปริมาตร 2.4907 มิลลิลิตร (บันทึกปริมาตรที่แน่นอน) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution ความเข้มข้น 10000 ppm

5.3 การวิเคราะห์

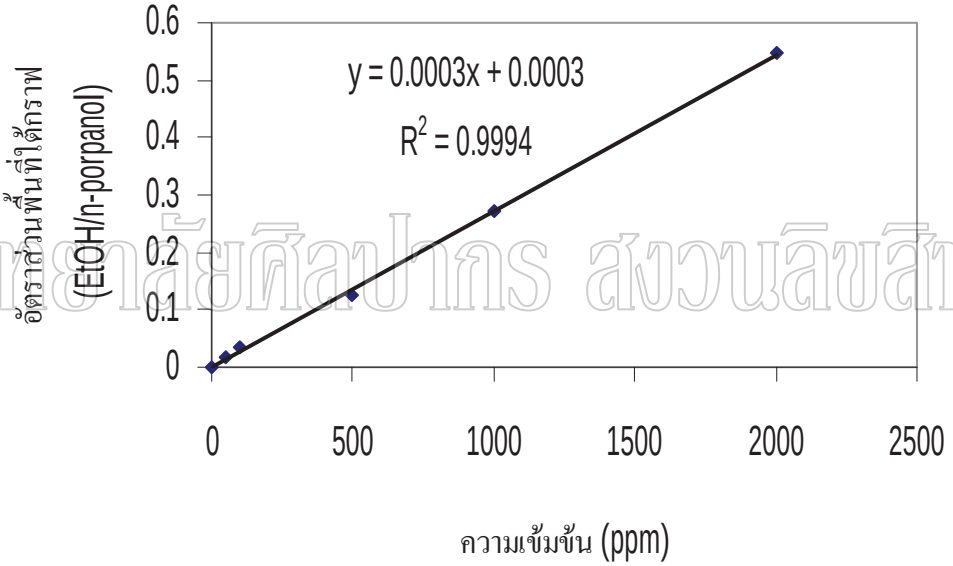
5.3.1 ชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3 กรัม ใส่ลงในขวด vial สำหรับเก็บก๊าซ

5.3.2 ปิเปตน้ำส้มโอหรือสารละลายมาตรฐานเอทานอลปริมาตร 9 มิลลิลิตรและ n-propanol ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

5.3.3 ปิดฝาขวด จากนั้นนำไปบ่มใน water bath ควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

5.3.4 ดูดก๊าซจาก head space ของขวดปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยใช้ gas-tight syringe จากนั้นฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatograph ที่ติดตั้งกับ Frame ionization detector (FID)

5.3.5 คำนวณความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐาน (ภาพที่ 37) แล้วรายงานผลในหน่วย ppm



ภาพที่ 37 กราฟมาตรฐานของสารละลายเอทานอล

6. **ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดด้วย** Folin-Ciocalteu method (**ตามวิธีของ** Lin **และ** Tang, 2007)

6.1 การเตรียมสารลายกรดมาตรฐานกรดแกลลิค

6.1.1 ชั่งน้ำหนักกรดแกลลิค 0.1±0.01 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน)

6.1.2 ละลายกรดแกลลิค ด้วยเมทานอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 50 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution

6.1.3 เจือจาง stock solution ที่เตรียมให้ได้สารละลายกรดแกลลิค มาตรฐาน ความเข้มข้น 0, 25, 50, 100, 120, 140, 160 และ 180 มิลลิกรัมกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

6.2 การวิเคราะห์

6.2.1 เจือจางตัวอย่างน้ำส้มโอ โดยปิเปตน้ำส้มโอ 0.1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร

6.2.2 ปิเปตสารละลายที่ได้ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 2.8 มิลลิลิตร

6.2.3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer

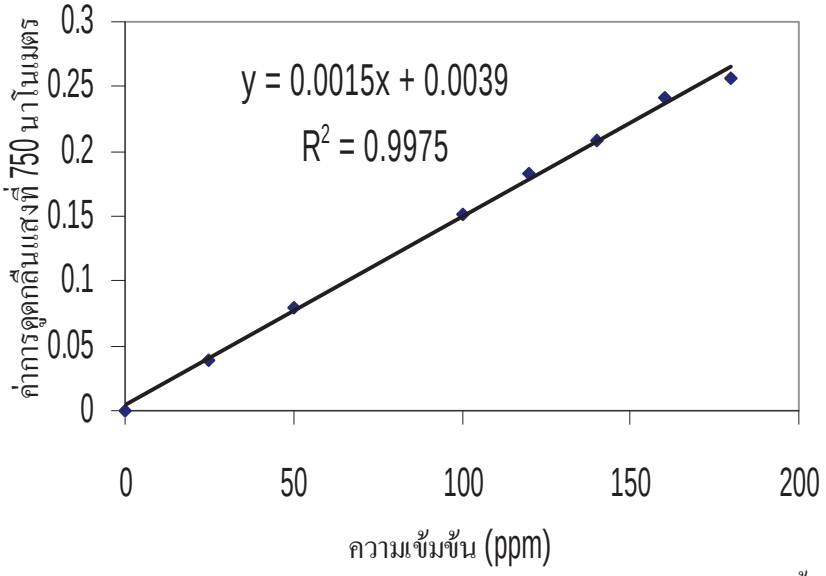
6.2.4 แล้วเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้นร้อยละ 50 (w/w) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร

6.2.5 ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที

6.2.6 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

6.2.7 ใช้กรดแกลลิค เป็นสารละลายมาตรฐานในการทำ calibration curve เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในตัวอย่างในข้อ 5.3.2-5.3.5 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิคแสดงดังภาพที่ 38

6.2.8 คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมเมื่อเทียบกับกรดแกลลิค (mg gallic acid equivalent; mg GAE) ต่อลิตร



ภาพที่ 38 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิค สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลทั้งหมด

7. **ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วย** aluminium chloride colorimetric method (ตามวิธีของ Lin และ Tang, 2007)

7.1 การเตรียมสารละลายกรดมาตรฐาน Quercertin

7.1.1 ชั่งน้ำหนัก Quercertin 0.005±0.01 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน)

7.1.2 ละลายด้วยเอทานอลร้อยละ 80 และปรับปริมาตรจนได้ 100 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution

7.1.3 เจือจาง stock solution ที่เตรียมไว้จนได้สารละลาย Quercertin ความเข้มข้น 0, 5, 10, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

7.2 การวิเคราะห์

7.2.1 โดยปิเปตน้ำส้มโอ 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 1.5 มิลลิลิตร

7.2.2 เติมสารละลาย aluminium chloride hexahydrate ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer

7.2.3 เติมสารละลาย Potassium acetate ความเข้มข้น 1โมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer

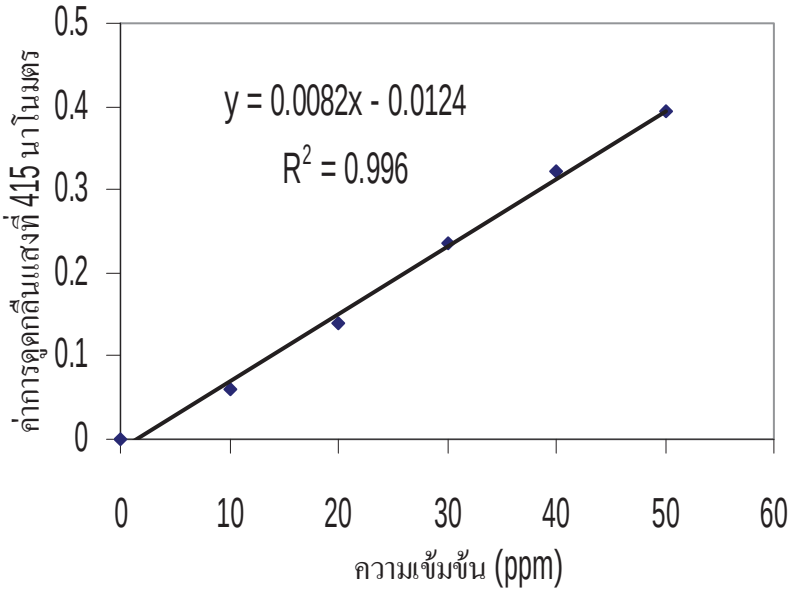
7.2.4 เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 2.8 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer

7.2.5 ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 40 นาที

7.2.6 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank

7.2.7 ใช้ Quercertin เป็นสารละลายมาตรฐานในการทำ standard curve เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในตัวอย่าง กราฟมาตรฐานของ Quercertin แสดงดังภาพที่ 39

7.2.8 คำนวณปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมเมื่อเทียบกับ Quercertin (mg Quercertin equivalent; mg GAE) ต่อลิตร



ภาพที่ 39 กราฟมาตรฐาน Quercertin สำหรับการวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

8. **ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี** DPPH radical scavenging **โดยดัดแปลงวิธีจาก** Jayaprakasha **และคณะ** (2007), Jang **และคณะ** (2007) **และ** Yang **และคณะ** (2007)

ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างโดยใช้วิธี DPPH radical scavenging โดยแสดงผลเป็นค่ามิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตร (mg Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC)/ml) โดยขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

8.1 การเตรียมสารละลาย DPPH

8.1.1 ชั่ง 2,2-Diphenyl-1-picrydazyl (DPPH) จำนวน 0.349 กรัม ละลายด้วยเมทานอล แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จะได้ stock solution เข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์

8.1.2 ปิเปต stock solution เข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอล และปรับให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์

8.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก

8.2.1 ชั่ง L-ascorbic จำนวน 0.025 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร จะได้ stock solution เข้มข้น 1000 ppm

8.2.2 เจือจาง stock solution เข้มข้น 1000 ppm ให้ได้ความเข้มข้น 900, 800,700, 600, 500, 400, 300, 200 และ 100 ppm

8.3 การวิเคราะห์

8.3.1 ปิเปตน้ำคั้นส้มโอหรือสารละลายมาตรฐานปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา

8.3.2 ปิเปตสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.8 มิลลิลิตร แล้วเก็บสารผสมที่ได้ไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิปกติ

8.3.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้เมทานอล เป็น blank

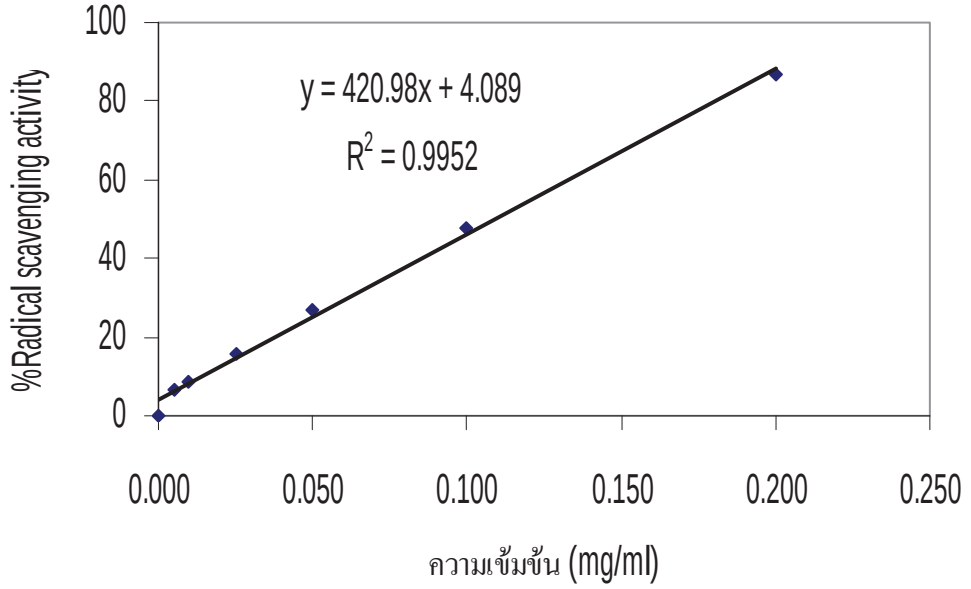
8.3.4 คำนวณ % radical scavenging activity โดยแสดงในรูปของ mg Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity/ml จากสูตร

$$\% \text{ Radical scavenging activity} = [(A_0-A_1)/ A_0] \times 100$$

เมื่อ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ 0 นาที (สารละลาย DPPH)

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่เวลา 30 นาที

8.3.5 เขียนกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้กับ % radical scavenging activity แล้วฟิตสมการแบบเส้นตรง (ตัวอย่างดังภาพที่ 40)



ภาพที่ 40 กราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

1. การเตรียม 0.1% peptone water สำหรับทำ serial dilution ตัวอย่าง

1.1 ชั่ง peptone 1 g ใส่ลงในน้ำกลั่น 1000 ml

1.2 ใช้แท่งแก้วคนสารให้ละลายจนหมด

1.3 ดูด peptone water 9 ml ใส่ลงในหลอดทดลอง

1.4 นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดอุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 lbs นาน 15 นาที

2. การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar สำหรับตรวจวิเคราะห์แบคทีเรียทั้งหมด

2.1 ชั่ง plate count agar 23.5 g ใส่ลงในน้ำกลั่น 1000 ml

2.2 ให้ความร้อนจนอาหารละลายจนหมด

2.3 นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดอุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 lbs นาน 15 นาที

3. การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar สำหรับตรวจวิเคราะห์ยีสต์และรา

3.1 ชั่ง potato dextrose agar 39 g ใส่ลงในน้ำกลั่น 1000 ml

3.2 ให้ความร้อนจนอาหารละลายจนหมด

3.3 นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดอุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 lbs นาน 15 นาที

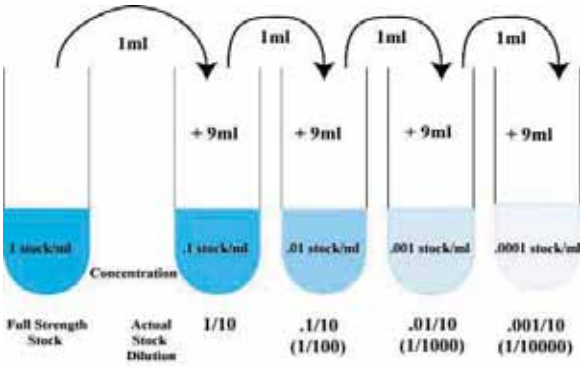
3.4 ปรับให้ได้ pH 3.5 หลังนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว โดยใช้ 10% tartaric acid 0.1 ml/100 g PDA

4. การเตรียมตัวอย่าง

4.1 ชั่งตัวอย่าง 25 g ละลายใน 0.1% Peptone Water 225 ml ได้เป็น dilution ที่ 10^{-1} แล้วผสมให้เข้ากัน

4.2 ปิเปตตัวอย่าง 1 ml ใส่ในหลอดที่มี 0.1% Peptone Water 9 ml จะได้ dilution ที่ 10^{-2}

4.3 เจือจางตัวอย่างอาหารลงไปครั้งละ 10 เท่า (ภาพที่ 41) ในลักษณะเดียวกัน จนได้ dilution ตามต้องการ (ภาพที่ 41)



ภาพที่ 41 การเจือจางอาหารตัวอย่าง

5. การวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดโดยวิธีการ pour plate

5.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เจือจางเป็น dilution ต่างๆ 1 ml ลงใน petri dish โดยแต่ละ dilution ให้ทำอย่างน้อย 2 plate

5.2 เทอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (PCA) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 45- 50°C (อุณหภูมิที่สามารถใช้มือสัมผัสได้) ลงใน petri dish ประมาณ 15-20 ml แล้วหมุนจานอาหารเบาๆ จนเชื้อตัวอย่างและอาหารผสมกันดี ทิ้งไว้ให้อาหารเลี้ยงเชื้อ แข็งตัว

5.3 กลับจานเลี้ยงเชื้อแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.4 นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบน PCA agar plate โดยเลือกนับ plate ที่มีโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนี

5.5 การแปรผล เลือก plate ที่มีเชื้อในช่วง 30-300 โคโลนี มาเพียง 1 dilution นำจำนวนที่นับได้คูณกลับด้วย dilution factor จะได้จำนวนเชื้อทั้งหมดในอาหาร 1 กรัม

6. การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราโดยวิธีการ pour plate

6.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เจือจางเป็น dilution ต่างๆ 1 ml ลงใน petri dish โดยแต่ละ dilution ให้ทำอย่างน้อย 2 plate

6.2 เทอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 45–50°C (อุณหภูมิที่สามารถใช้มือสัมผัสได้) ลงใน petri dish ประมาณ 15-20 ml แล้วหมุนจานอาหารเบาๆ จนเชื้อตัวอย่างและอาหารผสมกันดี ทิ้งไว้ให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว

6.3 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 22-25°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยกลับจานเพาะเชื้อ

6.4 นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบน PDA agar plate โดยเลือกนับ plate ที่มีโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนี

6.5 การแปรผล เลือก plate ที่มีเชื้อในช่วง 30-300 โคโลนี มาเพียง 1 dilution นำจำนวนที่นับได้คูณกลับด้วย dilution factor จะได้จำนวนเชื้อทั้งหมดในอาหาร 1 กรัม

ภาคผนวก ง

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

1. **แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งใช้การทดสอบวิธี** generic descriptive analysis

แบบสอบถาม

ชื่อผู้ทดสอบ.....ชุดที่.....

ผลิตภัณฑ์.....ส้มโอตัดแต่ง.....วันที่.....

คำแนะนำ

กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้ แล้วทำเครื่องหมายพร้อมกำกับรหัสตัวอย่างบนเส้นที่กำหนดให้ โดยทำเครื่องหมาย ณ จุดที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างทุกครั้ง

รหัสตัวอย่าง _____ _____ _____ _____

สีเนื้อส้มโอ

อ่อน เข้ม

กลิ่นแปลกปลอม

น้อย มาก

รสชาติแปลกปลอม

น้อย มาก

ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์

รหัสตัวอย่าง

_____ ☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ

_____ ☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ

_____ ☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ

_____ ☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ

ขอบคุณครับ

2. **แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งด้วยวิธี** Preference tests

แบบสอบถาม

ชื่อผู้ทดสอบ.....ชุดที่.....

ผลิตภัณฑ์.....ส้มโอตัดแต่ง.....วันที่.....

คำแนะนำ

กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้ แล้วเขียนรหัสตัวอย่างให้ตรงกับคำอธิบายความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์

กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างทุกครั้ง

	รหัสตัวอย่าง
ชอบมากที่สุด	_____
ชอบมาก	_____
ชอบปานกลาง	_____
ชอบเล็กน้อย	_____
เฉยๆ	_____
ไม่ชอบเล็กน้อย	_____
ไม่ชอบปานกลาง	_____
ไม่ชอบมาก	_____
ไม่ชอบมากที่สุด	_____

ขอบคุณครับ

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ตารางที่ 10 ค่าความสว่าง (L*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความสว่าง (L*)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	40.83^{cI}±0.09	40.76^{cFE}±0.02	41.16^{bE}±0.13	41.64^{aH}±0.02
2	40.99^{bH}±0.07	40.63^{cF}±0.09	41.13^{bE}±0.01	41.81^{aG}±0.12
4	41.11^{cH}±0.06	40.80^{dE}±0.14	41.35^{bE}±0.12	41.89^{aG}±0.03
6	41.32^{cG}±0.17	40.87^{dE}±0.02	41.70^{bD}±0.13	42.03^{aF}±0.07
8	41.77^{bF}±0.02	41.15^{cD}±0.10	41.90^{bD}±0.11	42.13^{aF}±0.07
10	41.78^{bF}±0.03	41.34^{cC}±0.06	41.92^{bD}±0.10	42.40^{aE}±0.11
12	41.96^{cE}±0.05	41.40^{dBC}±0.03	42.14^{bC}±0.08	42.54^{aD}±0.02
14	42.17^{cD}±0.03	41.49^{dB}±0.07	42.32^{bBC}±0.04	42.57^{aD}±0.06
16	42.44^{bC}±0.15	41.70^{cA}±0.07	42.44^{bB}±0.25	42.84^{aC}±0.09
18	42.74^{bB}±0.10	41.64^{cA}±0.06	43.09^{aA}±0.16	43.19^{aB}±0.12
20	43.04^{bA}±0.07	41.65^{cA}±0.14	43.29^{aA}±0.09	43.38^{aA}±0.05

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 11 ค่าสีแดง (a*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าสีแดง (a*)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	-0.69^{aA}±0.00	-0.80^{cA}±0.00	-0.76^{bA}±0.01	-0.76^{bA}±0.00
2	-0.70^{aB}±0.00	-0.80^{cAB}±0.01	-0.76^{bA}±0.00	-0.76^{bA}±0.00
4	-0.70^{aB}±0.01	-0.81^{cBC}±0.01	-0.77^{bA}±0.01	-0.78^{bB}±0.01
6	-0.72^{aC}±0.00	-0.82^{cC}±0.00	-0.80^{bB}±0.01	-0.81^{bcC}±0.01
8	-0.74^{aD}±0.00	-0.83^{cD}±0.01	-0.82^{bC}±0.00	-0.82^{bD}±0.00
10	-0.74^{aD}±0.00	-0.85^{dE}±0.00	-0.82^{bC}±0.01	-0.83^{cDE}±0.00
12	-0.75^{aE}±0.00	-0.85^{cE}±0.00	-0.83^{bD}±0.01	-0.8^{4bE}±0.00
14	-0.77^{aF}±0.01	-0.86^{cEF}±0.00	-0.84^{bDE}±0.00	-0.84^{bE}±0.00
16	-0.79^{aG}±0.01	-0.87^{bFG}±0.00	-0.85^{bE}±0.01	-0.86^{bF}±0.01
18	-0.80^{aH}±0.00	-0.87^{bG}±0.01	-0.89^{cF}±0.01	-0.88^{bcG}±0.01
20	-0.81^{aI}±0.01	-0.89^{bH}±0.01	-0.91^{cG}±0.00	-0.91^{cH}±0.01

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 12 ค่าสีเหลือง (b*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าสีเหลือง (b*)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	3.10^{cH}±0.03	3.28^{aF}±0.00	3.19^{bE}±0.04	3.15^{bH}±0.01
2	3.16^{cG}±0.03	3.31^{aF}±0.01	3.22^{bE}±0.01	3.18^{cG}±0.03
4	3.24^{cF}±0.04	3.37^{aE}±0.03	3.29^{bD}±0.02	3.23^{cF}±0.00
6	3.31^{bE}±0.03	3.40^{aE}±0.00	3.32^{bCD}±0.01	3.24^{cEF}±0.01
8	3.38^{bD}±0.01	3.45^{aD}±0.01	3.34^{cCD}±0.02	3.26^{dE}±0.01
10	3.41^{bCD}±0.01	3.46^{aD}±0.02	3.32^{cCD}±0.01	3.29^{cD}±0.02
12	3.45^{bC}±0.01	3.51^{aC}±0.02	3.36^{cBC}±0.02	3.34^{cC}±0.01
14	3.50^{bB}±0.02	3.55^{aAB}±0.02	3.39^{cB}±0.01	3.36^{dC}±0.01
16	3.52^{aB}±0.02	3.54^{aBC}±0.01	3.38^{bB}±0.05	3.35^{bC}±0.01
18	3.58^{aA}±0.01	3.54^{bBC}±0.02	3.50^{bA}±0.03	3.40^{cB}±0.02
20	3.60^{aA}±0.01	3.57^{aA}±0.01	3.54^{bA}±0.02	3.43^{cA}±0.00

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 13 ค่า Hue angle (h^o) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่า Hue angle (h^o)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	-1.35^{cA}±0.00	-1.33^{aAB}±0.00	-1.34^{bD}±0.00	-1.33^{aD}±0.00
2	-1.35^{bAB}±0.00	-1.33^{aAB}±0.00	-1.34^{aD}±0.00	-1.33^{aE}±0.00
4	-1.36^{cB}±0.00	-1.34^{bB}±0.00	-1.34^{bD}±0.00	-1.33^{aD}±0.00
6	-1.35^{bAB}±0.00	-1.33^{aAB}±0.00	-1.34^{aC}±0.00	-1.33^{aD}±0.00
8	-1.36^{cB}±0.00	-1.33^{bAB}±0.00	-1.33^{abB}±0.00	-1.32^{aC}±0.00
10	-1.36^{cB}±0.00	-1.33^{bAB}±0.00	-1.33^{bB}±0.00	-1.32^{aBC}±0.00
12	-1.36^{cAB}±0.00	-1.33^{bAB}±0.00	-1.33^{bB}±0.00	-1.32^{aBC}±0.00
14	-1.35^{cAB}±0.00	-1.33^{bAB}±0.00	-1.33^{abB}±0.00	-1.32^{aBC}±0.00
16	-1.35^{cA}±0.00	-1.33^{bAB}±0.00	-1.32^{aA}±0.00	-1.32^{aBC}±0.00
18	-1.35^{cA}±0.00	-1.33^{bAB}±0.00	-1.32^{aA}±0.00	-1.32^{aB}±0.00
20	-1.35^{dA}±0.00	-1.33^{cB}±0.00	-1.32^{bA}±0.00	-1.31^{aA}±0.00

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 14 ค่า Chroma (C*) ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่า Chroma (C*)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	3.18^{cH}±0.03	3.38^{aH}±0.00	3.27^{bE}±0.04	3.24^{bH}±0.01
2	3.23^{cG}±0.03	3.40^{aG}±0.01	3.31^{bED}±0.01	3.27^{abG}±0.03
4	3.31^{cF}±0.04	3.47^{aF}±0.03	3.38^{bCD}±0.02	3.32^{cF}±0.00
6	3.38^{bcE}±0.03	3.50^{aE}±0.00	3.42^{bC}±0.01	3.34^{cE}±0.02
8	3.46^{bD}±0.01	3.55^{aD}±0.01	3.43^{cCD}±0.02	3.37^{dE}±0.01
10	3.49^{bCD}±0.01	3.56^{aD}±0.02	3.42^{cBC}±0.01	3.40^{cD}±0.02
12	3.53^{bC}±0.01	3.61^{aC}±0.02	3.46^{cB}±0.02	3.45^{cC}±0.01
14	3.58^{bB}±0.02	3.65^{aB}±0.02	3.49^{cB}±0.01	3.46^{dC}±0.01
16	3.61^{aB}±0.02	3.64^{aBC}±0.01	3.49b^{B}±0.05	3.46^{bC}±0.01
18	3.67^{aA}±0.01	3.64^{abB}±0.02	3.62^{bA}±0.04	3.51^{cB}±0.02
20	3.69^{aA}±0.01	3.68^{aA}±0.01	3.65^{bA}±0.02	3.55^{cA}±0.00

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 15 ปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ (%)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0^{ns}	18.83^{A}±0.04	18.88^{A}±0.04	18.85^{A}±0.00	18.95^{A}±0.14
2	18.20^{abB}±0.14	18.48^{aB}±0.04	18.20^{abBC}±0.00	18.05^{bB}±0.21
4	18.08^{abBC}±0.25	18.43^{aBC}±0.04	18.35^{abB}±0.07	18.00^{bB}±0.14
6	17.95^{abBCD}±0.21	18.33^{aBCD}±0.04	18.05^{abBC}±0.21	17.68^{bBC}±0.04
8	17.68^{abCDE}±0.11	18.23^{aBCDE}±0.18	17.83^{abC}±0.04	17.60^{bBCD}±0.14
10^{ns}	17.48^{E}±0.11	17.90^{E}±0.35	17.75^{C}±0.35	17.30^{CD}±0.14
12	17.40^{cbE}±0.14	18.35^{aBCD}±0.00	17.98^{abBC}±0.32	17.28^{cCDE}±0.32
14	17.33^{bE}±0.18	18.05^{aDE}±0.14	17.90^{abBC}±0.07	17.23^{bCDE}±0.25
16	17.28^{bE}±0.25	18.20^{aBCE}±0.21	17.78^{abC}±0.32	17.15^{bDE}±0.21
18	17.65^{abDE}±0.28	18.08^{aCDE}±0.04	18.05^{aBC}±0.07	17.10^{bE}±0.28
20	17.38^{bE}±0.11	18.15^{aBCDE}±0.00	18.10^{aBC}±0.00	17.15^{cDE}±0.07

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ และ ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (n=3)

ตารางที่ 16 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4ºC	7ºC	10ºC
0^{ns}	0.33^{C}±0.04	0.15^{B}±0.14	0.20^{B}±0.07	0.23^{E}±0.11
2	0.93^{abBC}±0.18	0.53^{cAB}±0.04	0.73^{bcAB}±0.04	1.15^{aD}±0.21
4	1.25^{abABC}±0.28	0.70^{cAB}±0.07	0.85^{bcA}±0.14	1.35^{aCD}±0.00
6	1.38^{abAB}±0.46	0.68^{bAB}±0.04	1.03^{abA}±0.18	1.60^{aBC}±0.14
8	1.53^{abAB}±0.04	0.80^{cAB}±0.21	1.28^{bA}±0.11	1.65^{aBC}±0.07
10^{ns}	1.93^{AB}±0.32	1.05^{A}±0.42	1.15^{A}±0.49	1.80^{ABC}±0.00
12	1.83^{abAB}±0.39	0.95^{bAB}±0.42	1.20^{abA}±0.57	2.13^{aA}±0.11
14^{ns}	1.95^{A}±0.00	1.20^{A}±0.57	1.20^{A}±0.21	1.90^{AB}±0.35
16^{ns}	1.78^{AB}±0.60	1.15^{A}±0.42	1.25^{A}±0.21	1.93^{AB}±0.32
18^{ns}	1.83^{AB}±0.67	1.18^{A}±0.46	1.05^{A}±0.14	1.80^{ABC}±0.07
20^{ns}	2.23^{A}±0.67	1.10^{A}±0.49	1.08^{A}±0.25	1.7^{aABC}±0.28

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ และ ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (n=3)

ตารางที่ 17 อัตราการหายใจของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)^{ns}	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg.hr)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control^{ns}	4°C^{ns}	7°C	10°C
0	4.25±0.39	26.59±18.71	5.15^{C}±0.33	33.47^{AB}±42.11
1	16.74±6.47	11.04±1.44	10.06^{BC}±1.09	14.30^{B}±1.58
2	33.94±31.79	59.52±50.53	29.37^{ABC}±39.61	42.35^{AB}±24.40
3	24.31±20.83	7.56±0.53	6.22^{C}±0.58	22.22^{AB}±3.33
4	45.0±29.90	19.02±15.72	28.80^{ABC}±12.44	27.79^{AB}±2.99
5	25.63±14.13	28.02±12.90	21.50^{ABC}±18.90	34.11^{AB}±3.55
7	18.23±20.82	29.85±37.36	10.74^{BC}±1.40	67.00^{A} ±53.73
10	9.96±0.56	38.95±29.74	35.42^{ABC}±23.97	49.79^{AB}±16.27
15	16.69±9.32	42.25±31.69	51.50^{AB}±44.63	64.24^{A} ±17.79
20	48.81±50.20	68.65±75.00	55.09^{A} ±16.17	57.63^{AB}±17.58

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกันและ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (n=3)

ตารางที่ 18 อัตราการผลิตเอทิลีนของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	อัตราการผลิตเอทิลีน (μl C_2H_4/kg.hr)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0^{ns}	0.66^{C}±0.59	1.38^{C}±1.43	0.35^{C}±0.38	0.38^{E}±0.26
1	1.81^{aB}±0.31	1.25^{cAB}±0.04	0.91^{bBC}±0.22	1.02^{bD}±0.05
2	1.62^{aBC}±0.49	1.32^{cAB}±0.15	1.00^{bBC}±0.21	1.12^{abCD}±0.29
3	1.85^{aAB}±0.65	1.20^{bB}±0.31	1.23^{aB}±0.63	1.49^{aBCD}±0.13
4	2.17^{aAB}±0.40	1.48^{cAB}±0.20	0.97^{bcBC}±0.25	1.76^{abABC}±0.94
5	2.03^{aAB}±0.34	1.07^{dB}±0.24	1.04^{cBC}±0.26	1.51^{bBCD}±0.12
7	1.61^{aBC}±0.49	1.29^{bAB}±0.24	1.38^{aAB}±0.28	1.87^{aAB}±0.09
10	1.32^{abBC}±1.06	1.12^{cB}±0.38	0.96^{bcBC}±0.34	2.23^{aA}±0.23
15	2.03^{aAB}±0.34	1.71^{bA}±0.42	2.00^{aA}±0.60	2.30^{aA}±0.44
20	2.84^{aA}±0.11	1.01^{dB}±0.28	1.25^{cA}±0.08	1.71^{bABC}±0.10

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ และ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ($n=3$)

ตารางที่ 19 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	11.33^{aCDE}±0.18	11.50^{aAB}±0.07	10.63^{bCD}±0.04	10.55^{bB}±0.07
2	11.13^{bEF}±0.11	11.40^{aAB}±0.00	10.63^{cCD}±0.04	10.38^{dB}±0.04
4	11.18^{aDE}±0.04	11.15^{aBC}±0.35	10.75^{aBCD}±0.07	11.05^{aA}±0.14
6	10.95^{abF}±0.14	10.88^{abCD}±0.04	10.65^{bCD}±0.14	11.10^{aA}±0.07
8	10.60^{aG}±0.07	10.48^{aD}±0.46	10.30^{aCD}±0.07	10.05^{aC}±0.14
10	11.28^{aCDE}±0.04	10.93^{bC}±0.11	10.33^{cCD}±0.04	10.48^{cB}±0.04
12	11.98^{aA}±0.11	11.40^{bAB}±0.00	11.23^{bAB}±0.11	10.95^{cA}±0.07
14	11.75^{aB}±0.00	11.65^{aA}±0.00	10.88^{abABC}±0.74	10.15^{bC}±0.00
16	10.65^{bG}±0.07	11.13^{aBC}±0.11	10.55^{bCD}±0.14	11.08^{aA}±0.11
18	11.35^{aCD}±0.07	11.38^{aAB}±0.04	11.35^{aA}±0.00	11.00^{bA}±0.00
20	11.40^{aC}±0.04	10.93^{bC}±0.00	10.28^{dD}±0.00	10.50^{cB}±0.35

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 20 ค่าความเป็นกรด-ด่างของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	3.31^{aD}±0.01	3.30^{aD}±0.03	3.04^{cH}±0.01	3.22^{bE}±0.01
2	3.12^{bcG}±0.01	3.15^{aG}±0.01	3.11^{cG}±0.01	3.14^{abF}±0.00
4	3.41^{aB}±0.02	3.41^{aB}±0.01	3.35^{bB}±0.01	3.33bC±0.00
6	3.33^{cC}±0.00	3.44^{aA}±0.01	3.31^{cC}±0.00	3.37^{bB}±0.01
8	3.24^{abE}±0.02	3.26^{aE}±0.01	3.22^{bE}±0.01	3.22^{bE}±0.01
10	3.44^{aB}±0.01	3.40^{bB}±0.00	3.35^{cB}±0.01	3.35^{cB}±0.00
12	3.11^{bG}±0.01	3.19^{aF}±0.01	3.05^{cH}±0.00	3.02^{dH}±0.00
14	3.16^{aF}±0.01	3.07^{bH}±0.00	3.16^{aF}±0.00	2.98^{cI}±0.00
16	3.35^{aC}±0.00	3.24^{bE}±0.01	3.21^{cE}±0.00	3.11^{dG}±0.00
18	3.47^{aA}±0.01	3.35^{cC}±0.02	3.40^{bA}±0.00	3.39^{bA}±0.01
20	3.36^{aC}±0.00	3.17^{dFG}±0.01	3.25^{cD}±0.00	3.28^{bD}±0.00

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ ($n=3$)

ตารางที่ 21 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (%)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0^{ns}	0.73^{F}±0.01	0.75^{CD}±0.03	0.75^{C}±0.00	0.77^{D}±0.02
2	0.70^{aG}±0.00	0.70^{aEF}±0.01	0.68^{bEF}±0.01	0.66^{cG}±0.00
4	0.76^{aEF}±0.01	0.76^{aCD}±0.03	0.73^{aCD}±0.01	0.66^{bG}±0.02
6	0.76^{aE}±0.00	0.66^{bcFG}±0.00	0.64^{cF}±0.03	0.73^{abDEF}±0.04
8	0.75^{abEF}±0.01	0.74^{bDE}±0.00	0.76^{aC}±0.01	0.69^{cFG}±0.01
10	0.73^{aF}±0.01	0.68^{bcF}±0.04	0.64^{cF}±0.01	0.70^{abEFG}±0.00
12	0.73^{aF}±0.03	0.62^{bG}±0.03	0.70^{abDE}±0.05	0.77^{aD}±0.01
14	0.87^{abB}±0.02	0.84^{bB}±0.00	0.91^{aA}±0.01	0.75^{cDE}±0.03
16	0.84^{aC}±0.01	0.79^{bC}±0.02	0.84^{aA}±0.02	0.85^{aC}±0.01
18	0.81^{bD}±0.01	0.84^{bB}±0.03	0.83^{bB}±0.02	0.90^{aB}±0.01
20	0.92^{cA}±0.01	0.94^{bA}±0.00	0.87^{dD}±0.00	0.95^{aA}±0.01

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ และ ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ($n=3$)

ตารางที่ 22 อัตราส่วน TSS/TA ของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	อัตราส่วน TSS/TA			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	15.52^{aB}±0.12	15.33^{aCD}±0.70	14.08^{bC}±0.10	13.70^{bDE}±0.42
2	15.99^{abAB}±0.23	16.27^{aBC}±0.12	15.73^{abAB}±0.27	15.62^{aB}±0.04
4	14.73^{bC}±0.18	14.66^{bDE}±0.10	14.79^{bBC}±0.22	16.79^{aA}±0.79
6	14.50^{bC}±0.18	16.54^{aB}±0.04	16.67^{aA}±0.97	15.28^{abBC}±0.92
8^{ns}	14.16^{CD}±0.09	14.24^{DE}±0.66	13.53^{CD}±0.20	14.65^{BC}±0.45
10	15.45^{abB}±0.09	16.14^{aBC}±0.68	16.09^{aA}±0.27	14.98^{bBC}±0.12
12	16.47^{abA}±0.87	18.32^{aA}±0.99	16.17^{abA}±1.24	14.20^{bCD}±0.36
14	13.54^{aD}±0.25	13.86^{aE}±0.06	12.00^{bE}±0.72	13.60^{aDE}±0.59
16	12.74^{bE}±0.13	14.06^{aE}±0.17	12.49^{bDE}±0.18	13.05^{bE}±0.31
18	14.08^{aCD}±0.22	13.51^{aE}±0.50	13.66^{aCD}±0.27	12.25^{bF}±0.18
20	12.46^{aE}±0.19	11.61^{bF}±0.11	11.82^{bE}±0.07	11.00^{cG}±0.06

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ และ ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ($n=3$)

ตารางที่ 23 ปริมาณเอทานอลของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณเอทานอล (ppm)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	8.01^{bA}±4.06	5.40^{bA}±1.18	7.70^{bC}±1.02	14.79^{aA}±0.16
4	7.52^{cA}±1.65	12.46^{bA}±0.90	17.62^{aA}±0.77	7.30^{cC}±1.29
8	6.56^{bA}±0.23	6.37^{bA}±0.47	4.43^{cD}±0.11	8.90^{aBC}±0.14
12	4.71^{bA}±0.18	5.56^{bA}±0.37	6.22^{abC}±0.57	8.01^{aBC}±1.37
16	5.74^{cA}±0.39	4.26^{dA}±0.26	13.48^{aB}±0.52	9.56^{bB}±0.37
20	5.08^{bA}±0.20	4.16^{bA}±0.16	10.40^{aB}±0.84	4.64^{bD}±0.68

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 24 ปริมาณนารินจินของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณนารินจิน (ppm)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	279.63^{bC}±2.68	341.28^{aB}±28.19	321.85^{aC}±0.38	198.25^{cC}±1.83
4	324.73^{bB}±10.26	347.68^{bB}±6.54	457.73^{aA}±1.27	192.79^{cC}±65.08
8	339.68^{cB}±0.42	361.39^{bB}±0.57	461.81^{aA}±5.00	289.60^{dB}±1.43
12	360.90^{cA}±12.11	410.26^{bA}±1.04	394.75^{bB}±0.88	474.34^{aA}±0.27
16	237.58^{bD}±3.28	215.93^{aC}±1.74	195.32^{cE}±2.70	194.04^{dC}±1.86
20	195.32^{dE}±1.82	194.04^{bC}±1.30	221.40^{cD}±0.74	293.38^{aB}±0.82

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 25 ปริมาณลิโมนินของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณลิโมนิน (ppm)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control^{ns}	4°C^{ns}	7°C	10°C^{ns}
0	28.04^{b}±0.60	24.02^{c} ±0.25	46.63^{aA} ±0.15	22.71^{d}±0.11
4	24.93^{a}±1.00	15.57^{b}±2.29	16.32^{bC}±2.89	22.95^{a}±0.50
8	41.85^{a}±22.30	31.88^{a}±25.67	22.20^{aBC}±5.31	24.46^{a}±3.88
12	15.26^{b}±0.07	12.58^{c}±0.78	28.10^{aABC}±0.52	8.69^{d}±0.15
16^{ns}	18.71±17.85	31.11±1.43	40.29^{ABC}±18.35	49.68±11.25
20^{ns}	40.29±13.28	49.68±15.36	41.98^{AB}±6.75	35.48±5.91

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ และ ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ($n=3$)

ตารางที่ 26 ปริมาณวิตามินซีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณวิตามินซี (mg/100g FW)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control^{ns}	4°C^{ns}	7°C^{ns}	10°C
0^{ns}	1.28±0.20	1.41±0.08	1.38±0.16	1.08^{AB} ±0.02
4^{ns}	1.13±0.24	1.23±0.16	1.53±0.32	1.25^{AB} ±0.20
8^{ns}	1.14±0.12	1.21±0.12	1.28±0.18	0.93^{AB} ±0.00
12^{ns}	1.22±0.17	1.29± 0.16	1.36±0.16	1.44^{A} ±0.21
16^{ns}	1.07±0.14	1.08±0.11	1.12±0.08	1.24^{AB}±0.10
20^{ns}	1.12±0.18	1.24±0.11	1.20±0.09	1.34^{A} ±0.185

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ และ ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ($n=3$)

ตารางที่ 27 สารประกอบฟีนอลทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/l)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	58.51^{bAB}±1.26	56.18^{bAB}±7.39	70.96^{aAB}±0.63	56.18^{bBC}±2.67
2	51.29^{bCD}±2.99	49.07^{bBC}±4.87	68.62^{aAB}±6.76	52.51^{bC}±0.94
4	58.96^{bA}±1.89	61.84^{bA}±2.51	72.29^{aAB}±2.83	52.51^{cC}±0.00
6	48.29^{bDE}±1.89	47.62^{bBC}±2.51	63.62^{aBC}±5.34	52.84^{bC}±1.10
8	51.51^{bCD}±2.67	48.96^{bBC}±0.31	70.29^{aAB}±1.26	46.40^{bD}±2.04
10	48.40^{bDE}±1.73	49.51^{abBC}±1.10	62.62^{aBC}±9.59	59.51^{abB}±1.41
12	58.29^{bcAB}±2.20	52.96^{bB}±3.46	76.40^{aA}±1.41	63.73^{bA}±0.47
14	53.96^{bBC}±0.47	48.51^{bBC}±1.57	65.62^{aABC}±0.63	64.51^{aA}±4.09
16	45.51^{bE}±2.36	47.96^{bBC}±2.67	55.96^{aC}±0.16	59.51^{aB}±1.10
18	48.51^{bcDE}±0.31	42.73^{cC}±2.20	61.40^{aBC}±8.80	55.73^{abBC}±0.16
20	55.51^{bABC}±2.36	50.51^{bBC}±5.97	56.29^{bC}±4.09	67.73^{aA}±1.41

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 28 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/ml)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	2.28^{aAB}±0.06	2.22^{aA}±0.09	1.74^{bCDE}±0.07	1.59^{bBC}±0.03
2	2.30^{aA}±0.15	2.22^{aA}±0.02	1.94^{bAB}±0.05	1.74^{bA}±0.07
4	1.78^{bCD}±0.05	2.25^{aA}±0.01	1.87^{bBC}±0.13	1.75^{bA}±0.04
6	1.90^{aCD}±0.11	1.78^{abBC}±0.01	1.70^{bDEF}±0.05	1.62^{bBC}±0.00
8	1.84^{abCD}±0.01	1.65^{bC}±0.11	2.02^{aA}±0.11	1.64^{bB}±0.04
10	1.81^{aCD}±0.01	1.80^{aBC}±0.05	1.78^{aCDE}±0.05	1.63^{bBC}±0.02
12	1.93^{bCD}±0.08	2.21^{aA}±0.03	1.80^{bBCDE}±0.03	1.59^{cBC}±0.09
14	2.07^{aABC}±0.21	2.09^{aA}±0.04	1.84^{aBCD}±0.05	1.40^{bD}±0.01
16	2.00^{aBCD}±0.05	1.91^{aB}±0.02	1.56^{bF}±0.03	1.62^{bBC}±0.01
18	1.69^{abD}±0.01	1.88^{aB}±0.16	1.67^{abEF}±0.01	1.54^{bC}±0.03
20	2.00^{aBCD}±0.28	1.69^{abC}±0.07	1.70^{abDEF}±0.00	1.30^{bE}±0.01

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 29 การยับยั้งอนุมูลอิสระของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	DPPH (mg VCEAC/ml)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	1.48^{aA}±0.26	1.32^{aA}±0.00	1.49^{aB}±0.00	1.13^{aE}±0.04
2	1.20^{bA}±0.16	1.21^{bB}±0.01	1.63^{aA}±0.09	0.94^{cF}±0.03
4	1.26^{aAB}±0.27	1.31^{aA}±0.05	1.32^{aC}±0.00	1.21^{aCD}±0.05
6	1.20^{aAB}±0.12	1.02^{aD}±0.03	1.05^{aD}±0.05	0.82^{bG}±0.03
8	1.00^{aB}±0.22	0.93^{aE}±0.06	1.11^{aD}±0.01	0.63^{bH}±0.00
10	1.02^{abB}±0.10	1.08^{abCD}±0.02	0.93^{abE}±0.02	0.90^{aF}±0.01
12	1.34^{aAB}±0.14	1.37^{aA}±0.04	1.36^{aC}±0.02	1.55^{aAB}±0.04
14	1.37^{abAB}±0.20	1.34^{abA}±0.05	1.08^{bD}±0.04	1.50^{aB}±0.03
16	1.17^{aAB}±0.07	1.12^{aC}±0.01	1.07^{aD}±0.04	1.17^{aDE}±0.03
18	1.13^{bAB}±0.11	1.11^{bC}±0.01	1.35^{aC}±0.04	1.27^{abC}±0.05
20	1.29^{bAB}±0.15	1.34^{bA}±0.01	1.31^{bC}±0.02	1.62^{aA}±0.02

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ ($n=3$)

ตารางที่ 30 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	control	4°C	7°C	10°C
0	3.12^{aEF}±0.10	0.86^{bFG}±0.12	0.95^{bE}±0.14	2.69^{aD}±0.98
2	3.32^{aE}±0.01	0.73^{cG}±0.18	1.19^{bE}±0.06	3.45^{aBCD}±0.05
4	2.90^{bF}±0.26	0.91^{cFG}±0.01	1.19^{cE}±0.02	3.45^{aBCD}±0.13
6	2.79^{bF}±0.02	0.93^{cFG}±0.07	2.28^{dD}±0.12	3.62^{aBC}±0.22
8	3.81^{aD}±0.29	1.33^{cE}±0.01	2.45^{bD}±0.15	3.98^{aB}±0.27
10	4.41^{aC}±0.08	1.09^{dF}±0.03	2.43^{cD}±0.25	3.10^{bCD}±0.14
12	4.45^{aC}±0.02	2.15^{cD}±0.21	2.33^{cD}±0.26	3.60^{bCD}±0.02
14	4.76^{aB}±0.03	3.31^{cC}±0.05	3.27^{cC}±0.02	4.19^{bB}±0.01
16	6.06^{aA}±0.01	3.36^{bC}±0.06	3.49^{bC}±0.10	5.95^{aA}±0.06
18	-	4.68^{bB}±0.08	4.75^{bB}±0.04	6.05^{aA}±0.06
20	-	5.26^{bA}±0.04	5.95^{aA}±0.04	5.89^{aA}±0.33

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 31 จำนวนยีสต์ราของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	จำนวนยีสต์รา (log CFU/g)			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	control	4°C	7°C	10°C
0	3.16^{aB}±0.16	2.15^{bC}±0.13	2.24^{bE}±0.33	2.53^{bE}±0.08
2	3.29^{aB}±0.02	2.20^{bBC}±0.03	2.30^{bDE}±0.34	2.66^{bDE}±0.18
4	3.31^{aB}±0.16	2.26^{cBC}±0.11	2.34^{cCDE}±0.06	2.85^{bCDE}±0.17
6	3.38^{aAB}±0.17	2.31^{cABC}±0.27	2.47^{bcBCDE}±0.40	3.09^{abCD}±0.08
8	3.43^{aAB}±0.18	2.32^{cABC}±0.30	$2.55^{bcABCDE}$±0.11	3.27^{abBC}±0.41
10	3.62^{aAB}±0.40	2.33^{bABC}±0.23	2.63^{bABCDE}±0.10	3.57^{aAB}±0.24
12	3.67^{aAB}±0.13	2.39^{cABC}±0.07	2.83^{bABCDE}±0.16	3.67^{aAB}±0.08
14	3.72^{aAB}±0.40	2.48^{bABC}±0.31	2.89^{bABCD}±0.11	3.71^{aAB}±0.20
16	3.89^{aA}±0.16	2.54^{bABC}±0.17	2.93^{bABC}±0.21	3.70^{aAB}±0.25
18	-	2.68^{cAB}±0.03	3.05^{bAB}±0.14	3.76^{aA}±0.06
20	-	2.78^{aA}±0.31	3.11^{aA}±0.45	3.79^{aA}±0.07

หมายเหตุ : $^{A, B, C, D}$ และ $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์และแถวเดียวกัน ตามลำดับ (n=3)

ตารางที่ 32 คะแนนความเข้มสีของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	คะแนนความเข้มสี			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	3.89^{a}±1.95	3.55^{ab}±2.03	2.88^{c}±1.70	3.16^{bc}±1.98
5	3.89^{a}±2.02	3.62^{a}±1.88	3.17^{a}±1.97	1.86^{b}±1.58
10	3.47^{a}±2.46	3.57^{a}±2.63	3.43^{a}±2.32	2.93^{a}±2.32
15	4.76^{a}±1.34	3.99^{bc}±1.47	3.51^{c}±1.27	4.44^{ab}±1.59

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แถวเดียวกัน (n=15)

ตารางที่ 33 คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอม			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	1.01^{ab}±1.61	0.91^{b}±1.54	1.25^{a}±1.60	1.01^{ab}±1.60
5	0.49^{a}±0.51	5.33^{a}±0.58	0.86^{a}±1.28	1.24^{a}±1.87
10	0.89^{a}±1.15	0.73^{a}±0.86	0.59^{a}±0.58	0.92^{a}±0.90
15	0.65^{a}±0.67	0.67^{a}±0.87	0.81^{a}±1.71	1.00^{a}±1.50

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แถวเดียวกัน (n=15)

ตารางที่ 34 คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอม			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	0.77^{b}±1.22	0.77^{b}±1.25	1.08^{ab}±1.59	1.33^{a}±1.86
5	0.51^{b}±0.46	0.61^{ab}±0.80	0.65^{ab}±0.56	1.24^{a}±1.67
10	0.81^{a}±1.01	0.97^{a}±1.30	1.23^{a}±1.80	1.01^{a}±1.04
15	0.47^{b}±0.50	0.68^{ab}±1.01	0.76^{ab} ±0.75	0.83^{a}±0.80

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แถวเดียวกัน (n=15)

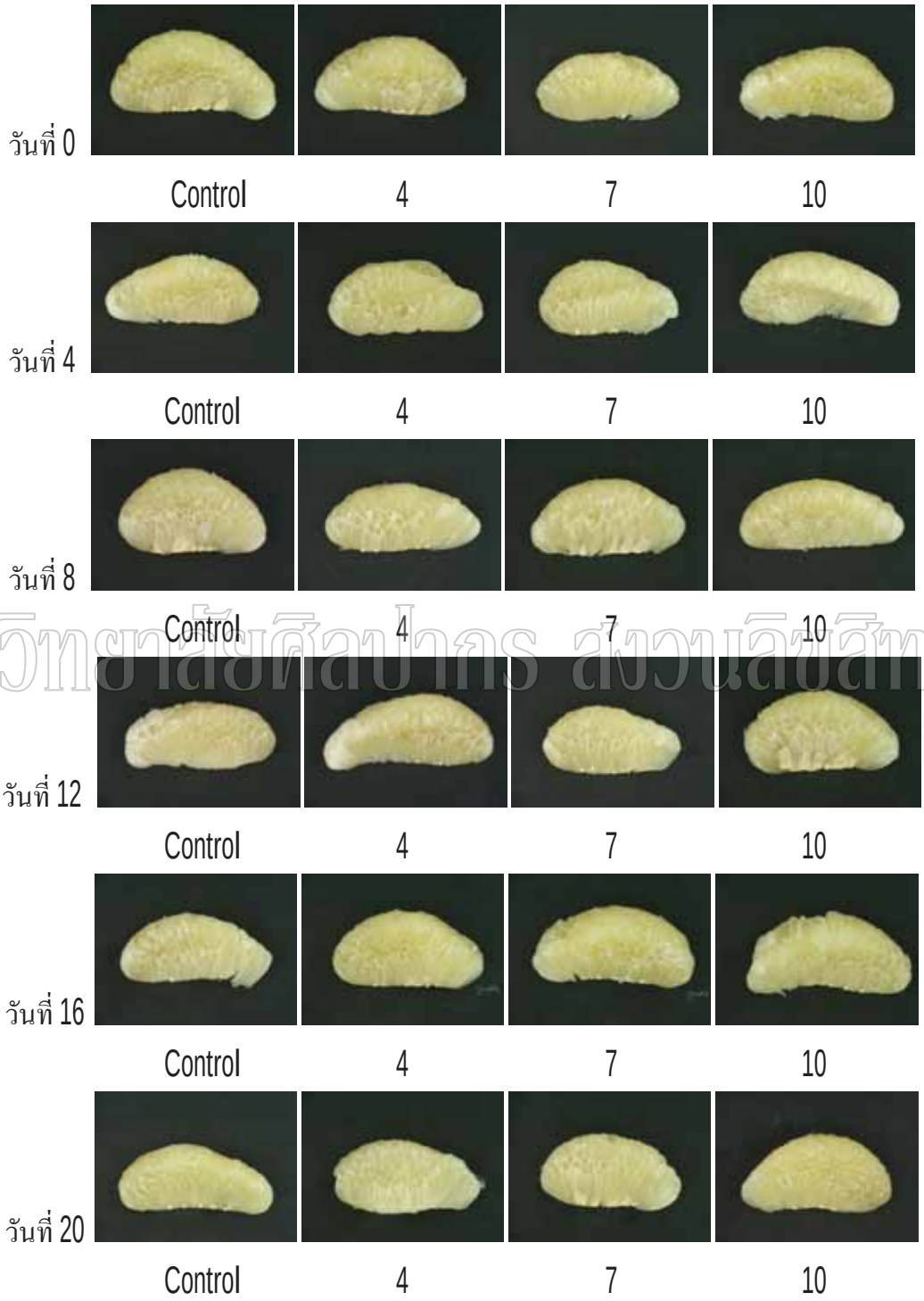
ตารางที่ 35 ความชอบรวมของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความชอบรวม			
	อุณหภูมิที่ใช้ในการรมก๊าซโอโซน			
	Control	4°C	7°C	10°C
0	6.67^{a}±1.40	7.07^{a}±2.02	5.40^{b}±1.45	4.53^{b}±1.06
5	6.13^{a}±1.60	6.33^{a}±1.50	6.47^{a}±1.36	5.73^{a}±1.16
10	5.07^{a}±1.67	4.67^{a}±2.13	5.60^{a}±1.76	5.27^{a}±1.22
15	3.67^{b}±1.35	3.87^{ab}±1.60	4.00^{ab}±1.85	4.93^{a}±1.39

หมายเหตุ : $^{a, b, c, d}$ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แถวเดียวกัน (n=15)

ภาคผนวก ฉ

ภาพผลิตภัณฑ์ส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค



ภาพที่ 42 ส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 7±1^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ 89±2%

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นายสุเทพ นิยมญาติ
(ภาษาอังกฤษ) MR SUTHEP NIYOMYAT

ที่อยู่ 20 หมู่ 6 ต.ทุ่งกระพังโหม อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

พ.ศ. 2552 ศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเสนอผลงาน

พฤษภาคม 2553 เสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์เรื่อง “การยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอ
ตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วยการใช้น้ำโอโซน” ในการประชุมวิชาการ
พืชสวนแห่งชาติครั้งที่ 9 กรุงศรีริเวอร์, พระนครศรีอยุธยา

พฤษภาคม 2554 เสนอผลงานวิจัยภาคบรรยายเรื่อง “อิทธิพลของโอโซนร่วมกับอุณหภูมิ
ต่ำต่อคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค” ในการประชุมวิชาการ
บัณฑิตศึกษาศิลปากรระดับชาติ ครั้งที่1, กรุงเทพฯ