ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสดระหว่างการเก็บรักษา

อรัญญา นิพนธ์ศักดิ์[1] ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์[2*] และ อรพิน เกิดชูชื่น[2]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ท่าข้าม บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหย และคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสดพันธุ์ขาวใหญ่ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส เพื่อระบุระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสด ด้วยเทคนิค principal component analysis (PCA) พบว่าส้มโอตัดแต่งสดมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารหอมระเหยหลัก α-terpinyl acetate ซึ่งลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ขณะที่ δ-cadinene และ β-caryophyllene เพิ่มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิ ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีของส้มโอ ทั้งค่าสีเหลือง (b^*) ค่า chroma และค่า hue พบว่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยส้มโอตัดแต่งสดยังคงมีสีเหลืองตลอดระยะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส แต่ค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) ลดลง เมื่อเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ และปริมาณซูโครสลดลง ในขณะที่ค่าพีเอช ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคสเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิ แต่ปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ส่วนคะแนนด้านกลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ รสหวาน รสชาติส้มโอ และการยอมรับโดยรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส นานมากกว่า 3 วัน และเก็บที่ 10 องศาเซลเซียส ได้นานมากกว่า 7 วัน

คำสำคัญ : ส้มโอ / สารหอมระเหย / คุณภาพทางกายภาพ-เคมี / การเก็บรักษา

* *Corresponding author: nutta.lao@kmutt.ac.th*

1 *นักศึกษาปริญญาเอก สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี*

2 *รองศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี*

Effect of Temperature on Volatile Compounds and Physico-Chemical Qualities Changes of Fresh Cut Pomelo During Storage

Aranya Niponsak[1] Natta Laohakunjit[2*] and Orapin Kerdchoechuen[2]

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thakham, Bangkuntien, Bangkok 10150

Abstract

This research evaluated the changes of volatile compounds and physico-chemical qualities of fresh cut pomelo cv. Khao Yai during storage under 29 °C and 10 °C for indicating the suitable stored period. The correlation between volatile compounds and physico-chemical qualities of fresh cut pomelo was monitored using the principal component analysis (PCA) technique. The main volatile compound, α-terpinyl acetate, decreased during storage at 29 °C for 3 days and 10 °C for 7 days, while δ-cadinene and β-caryophyllene increased during two storage temperatures. Yellowness (b^*), chroma, and hue value of fresh cut pomelo color were not significantly different ($p>0.05$). Fresh cut pomelo remained yellow color throughout storage period at 29 °C or 10 °C. The brightness (L^*) value of fresh cut pomelo increased, but redness (a^*) value decreased during storage at 29 °C for 3 days or 10 °C for 21 days. Although fruit firmness, titratable acidity and sucrose content decreased, pH, fructose and glucose contents increased during two storage conditions. Moreover, total soluble solids of fresh cut pomelo did not change. The sweet odor, fruity odor, sweet taste, pomelo flavor and overall acceptance scores decreased when fresh cut pomelo was kept at 29 °C for more than 3 days and 10 °C for more than 7 days.

Keywords : Pomelo / Volatile compounds / Physico-chemical qualities / Storage

* *Corresponding author: nutta.lao@kmutt.ac.th*

1 *Doctoral Student, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.*

2 *Associate Professor, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.*

1. บทนำ

ส้มโอ (*Citrus maxima* (Burm.) Merrill.) เป็นพืชในวงศ์ Rutaceae ขนาดผลใหญ่ มีรสหวานและมีกลิ่นเฉพาะตัว เป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั่วโลก [1] และเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย มีมูลค่าการส่งออกมากกว่า 137 ล้านบาทต่อปี [2] แต่เนื่องจากขนาดผลของส้มโอที่ใหญ่และมีเปลือกหนา ทำให้การปอกเปลือกผลส้มโอมีความยุ่งยาก จึงมีแนวโน้มในการทำส้มโอตัดแต่งสดเพิ่มมากขึ้น เพื่อสะดวกต่อการบริโภค และเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับส้มโอ อีกทั้งยังลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามส้มโอตัดแต่งสดมีการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมและชีวเคมีของเซลล์ในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะกระบวนการหายใจ ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารชีวโมเลกุล ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ด้วยปฏิกิริยา exothermic redox reaction โดยมีออกซิเจนเป็น oxidizing agent แล้วผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และพลังงานในรูปของ adenosine triphosphate (ATP) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและทางเคมีของส้มโอตัดแต่งสด เช่น สีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ชนิดและปริมาณของน้ำตาล ปริมาณกรด และสารหอมระเหย [3] โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพทางด้านกลิ่นของส้มโอตัดแต่งสดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา [4]

สารหอมระเหยเป็นสาร secondary metabolites สังเคราะห์จากโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและ/หรือไขมัน โดยปฏิกิริยา shikimic acid pathway หรือ mevalonic acid pathway เป็นต้น สารหอมระเหยของส้มโอมีมากกว่า 50 ชนิด สามารถแบ่งเป็นกลุ่มเทอร์พีน (terpenes) กลุ่มแอลดีไฮด์ (aldehydes) กลุ่มเอสเทอร์ (esters) กลุ่มแอลกอฮอล์ (alcohols) และกลุ่มคีโตน (ketones) [5] เช่น pinene, limonene, p-cymene, ethanol และ acetaldehyde [6, 7] ในระหว่างการเก็บรักษาผลส้มโอ พบว่าสารหอมระเหยกลุ่มแอลดีไฮด์และกลุ่มเทอร์พีน มีปริมาณลดลง สัมพันธ์กับกลิ่นส้มโอที่ลดลง [8] แต่สารหอมระเหยในกลุ่มแอลกอฮอล์ และกลุ่มเอสเทอร์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาผลส้มโอ [9] ซึ่งสารประกอบเอสเทอร์บางส่วนเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น (esterification) ของแอลกอฮอล์ [10] ส่วนส้มโอตัดแต่งสดนั้นยังมีการหายใจในระหว่างรอจำหน่าย มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพรวมทั้งสารหอมระเหยตลอดเวลา ซึ่งมีผลทำให้สูญเสียคุณภาพทางกลิ่นรสของส้มโอตัดแต่งสด และส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สุดต่อการเก็บรักษาคุณภาพของส้มโอตัดแต่งสด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลไม้ตัดแต่งสด ตลอดจนอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แปรผันตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์หรือการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์สูงขึ้น ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของส้มโอตัดแต่งสดลดลง การเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิต่ำเป็นแนวทางหนึ่งในการรักษาคุณภาพทางด้านกลิ่นและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสด ถึงแม้มีรายงานการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ (ความแน่นเนื้อและสีเนื้อ) ของส้มแมนดารินตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0-8 องศาเซลเซียส [11] รวมทั้งการเก็บรักษาส้มโอพันธุ์ทองดีตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส [12] แต่ยังไม่มีงานวิจัยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสารหอมระเหย ตลอดจนคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน ซึ่งคุณภาพกลิ่นรสและสารหอมระเหยสามารถระบุอายุการวางจำหน่ายและคุณภาพการรับประทานของผลไม้รวมทั้งส้มโอตัดแต่งสดได้ โดยสามารถใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค principal component analysis (PCA) ซึ่งเป็นเทคนิคการแปลงตัวแปรจากค่าสังเกตไปยังพิกัดใหม่หรือองค์ประกอบมุขสำคัญ (component) ที่เป็นอิสระต่อกัน และหาความสัมพันธ์ที่เป็นรูปแบบเฉพาะตัวของกลุ่มตัวแปร เพื่อใช้เป็นดัชนีระบุคุณภาพได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสดที่เก็บรักษาอุณหภูมิวางจำหน่าย 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติกายภาพ-เคมีและสารหอมระเหยที่เปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิค PCA

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

คัดเลือกส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่ (100% maturity) อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน มีขนาดและสีสม่ำเสมอ น้ำหนักอยู่ในช่วง 1.6-1.9 กิโลกรัม ปราศจากโรค ตำหนิ และบาดแผล นำมาปอกเปลือก วางส้มโอตัดแต่งสดบนถาดพอลิสไตรีน จำนวน 5 ชิ้น (300 กรัม/ถาด) แต่ละถาดปิดผนึกด้วยฟิล์มยืด นำมาเก็บที่อุณหภูมิ 29±2 องศาเซลเซียส (RH 90±2%) เป็นเวลา 4 วัน และอุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส (RH 85±2%) เป็นเวลา 30 วัน โดยที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุกวัน (จำนวนตัวอย่าง = 4×3 ถาด) แต่ที่ 10 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างในวันที่ 1, 2, 3, 4, 7, 14, 21 และ 30 วัน (จำนวนตัวอย่าง = 8×3 ถาด) และวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสด ได้แก่ คุณลักษณะทางกายภาพ (สีเนื้อ ความแน่นเนื้อ) องค์ประกอบทางเคมี (สารหอมระเหย ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ชนิดและปริมาณน้ำตาล) และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ดังต่อไปนี้

2.2 วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของส้มโอตัดแต่งสด

2.2.1 สีเนื้อ

วิเคราะห์สีเนื้อของส้มโอตัดแต่งสดด้วยเครื่อง colorimeter รุ่น Mini Scan EZ (Hunter Lab, USA) วัดสีบริเวณกลีบเนื้อส้มโอตัดแต่งสดทั้ง 2 ด้าน ในบริเวณที่ไม่มีรอยช้ำและรอยแยกระหว่างเนื้อส้มโอ บันทึกผลในระบบ CIE-Lab ได้แก่ L^* (ค่าความสว่าง), a^* ($+a^*$ = ค่าความเป็นสีแดง, $-a^*$ = ค่าความเป็นสีเขียว), b^* ($+b^*$ = ค่าความเป็นสีเหลือง, $-b^*$ = ค่าความเป็นสีน้ำเงิน), chroma = $(a^2 + b^2)^{1/2}$ และ hue angle (θ) = $\tan^{-1}$ (b/a)

2.2.2 ความแน่นเนื้อ

วิเคราะห์ความแน่นเนื้อของกลีบเนื้อส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Instron texture analyzer (Model TA-XT2 Stable Micro Systems Ltd., UK) วัดกลีบเนื้อส้มโอจำนวน 3 ชิ้น ที่บริเวณส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนปลายของกลีบเนื้อส้มโอ โดยใช้หัววัดแบบ cylindrical probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความเร็วในการทดสอบของหัววัดคือ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที กดกลีบเนื้อส้มโอลึกเป็นระยะทาง 3 มิลลิเมตร ใช้ load cell 250 นิวตัน บันทึกค่าแรงในการใช้เป็น kilogramforce (kgf) ตามวิธีของ Singh และคณะ [13]

2.3 วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของส้มโอตัดแต่งสด

2.3.1 วิเคราะห์สารหอมระเหยของส้มโอตัดแต่งสดด้วย Headspace-Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography Masspectrometry (HS-SPME-GC-MS)

วิเคราะห์สารหอมระเหยด้วยเครื่อง GC-MS รุ่น 7890A บริษัท Agilent Technology โดยใช้ capillary column ชนิด DB-WAX (ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร หนา 0.5 ไมโครเมตร บริษัท J&W Scientific, USA) ไฟเบอร์ที่ใช้คือ 2 cm-50/30 μm DVB/Carboxen™/PDMS StableFlex™ (Supelco, Bellefonte, Pennsylvania, USA) ใช้เครื่องฉีดตัวอย่างอัตโนมัติ รุ่น CTC CombiPAL 1200 series บรรจุน้ำส้มโอปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใน vial ขนาด 20 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นดูดซับ (absorb) ไอสารหอมระเหยด้วยไฟเบอร์เป็นเวลา 20 นาที ไอระเหยของตัวอย่างถูกนำเข้าเครื่อง (desorb) GC ที่อุณหภูมิ injector 220 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ด้วยวิธี splitless ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิเริ่มต้นของคอลัมน์ที่ 40 องศาเซลเซียส และเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 240 องศาเซลเซียส และคงที่ไว้ 5 นาที ใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา มีอัตราการไหล 3 psi วิเคราะห์สารหอมระเหยด้วยเครื่อง mass spectrometric detector (scan mass range 33-400 amu) โดยใช้ electron impact mode (EI mode) ที่ภาวะเครื่อง 70 eV และ auxillary temperature 250 องศาเซลเซียส โดยบ่งชี้คุณลักษณะของสารเทียบกับ Wiley 275 และ NIST library ที่ quality match ร้อยละ 80 คำนวณ %relative peak area และคำนวณ Kovats index (RI) เทียบกับสารอัลเคนมาตรฐาน (C_8-C_{20} alkanes) ดังสมการ ตามลำดับ

$$\%\text{relative peak area} = \frac{\text{area(x)}}{\text{total area}} \times 100 \quad \textbf{(1)}$$

โดย area (x) คือ พื้นที่ของ peak สารตัวอย่างที่สนใจ
total area คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของสารที่สนใจทั้งหมด

$$\text{Kovats index (RI)} = \frac{100 \times (RT_{(x)} - RT_{(z)})}{(RT_{(z+1)} - RT_{(z)})} + 100Z \quad \textbf{(2)}$$

เมื่อ $RT_{(x)}$ คือ เวลาที่สารตัวอย่างออกจากคอลัมน์ (นาที)
$RT_{(z)}$ คือ เวลาที่สารมาตรฐานที่ออกมาก่อนสารตัวอย่าง (นาที)
$RT_{(z+1)}$ คือ เวลาที่สารมาตรฐานที่ออกมาหลังสารตัวอย่าง (นาที)
Z คือ จำนวนอะตอมคาร์บอนของสารมาตรฐานที่ออกมาก่อนสารตัวอย่าง

2.3.2 ความเป็นกรดด่าง (pH) และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity) ของส้มโอตัดแต่งสด

นำน้ำส้มโอ 30 มิลลิลิตร วัดค่าความเป็นกรดด่างด้วย electrode pH meter (CyberScan pH 11/110, USA) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ โดยนำน้ำส้มโอปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาไตเตรตกับสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งได้ pH 8.1 ใช้ phenolphtaleine เป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ จากปริมาณสารละลาย NaOH ที่ใช้ แสดงผลในหน่วยของปริมาณกรดซิตริก (กรัม) ต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม โดยดัดแปลงตามวิธีของ Igual และคณะ [14] Moufida และ Marzouk [15] Obenlanda และคณะ [16] ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (กรัม/กรัมตัวอย่าง)} = \frac{n_b \times v_b \times M_r \times 0.3836}{(va \times P)} \quad \textbf{(3)}$$

เมื่อ n_b คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (Normality)
v_a คือ ปริมาตรของน้ำส้มโอคั้นที่ใช้ในการไตเตรต (5 มิลลิลิตร)
v_b คือ ปริมาตรของ NaOH (0.1 N) ที่ใช้ในการไตเตรต (มิลลิลิตร)
0.3836 คือ ปริมาตรของน้ำส้มโอของเนื้อส้มโอ 1 กรัม
M_r คือ น้ำหนักโมเลกุลของกรดซิตริก (192 g)
P คือ จำนวนโปรตอนของกรดซิตริก (3)

2.3.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid, TSS)

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง hand refractometer (0-32 °Brix) (Atago MASTER-M, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan) ตามวิธีของ Bai และคณะ [17] โดยคั้นน้ำส้มโอด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ จากนั้นหยดสารละลายส่วนใสลงบนแผ่นปริซึมและส่องดูกับที่ที่มีแสงสว่าง บันทึกปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในหน่วย °Brix ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.3.4 ชนิดและปริมาณน้ำตาล

ชนิดและปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส กาแลกโทส แรมโนส แลกโทส และมอลโทส ของส้มโอตัดแต่งสดเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ตามวิธีของ Kelebek [18] โดยคั้นน้ำส้มโอ 7 มิลลิลิตร นำมากรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000×g เป็นเวลา 20 นาที และกรองสารละลายส่วนใสด้วย 0.45 ไมโครเมตร nylon millipore filter เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (SHIMADZU UFLC version LC-20AD, Japan) ใช้คอลัมน์ LiChrospher® 100 NH_2

(ความยาว 250 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์ภายใน 4.0 มิลลิเมตร) (Agilent Technologies, USA) และใช้ RI detector สารตัวพา (mobile phase) คือ 86% acetronitrile/ de-ionized water ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีอัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ฉีดตัวอย่างและสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน (กลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส กาแลกโทส แรมโนส แลกโทส และมอลโทส จาก Sigma, St. Louis, MO, USA) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร คำนวณปริมาณน้ำตาลโดยเทียบกับปริมาณสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน

2.4 การยอมรับทางประสาทสัมผัส (sensory test)

นำส้มโอตัดแต่งสดที่เก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับส้มโอสดแกะจากผล ที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกลิ่น (กลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ และกลิ่นอับ) รสชาติ (รสหวาน และรสชาติส้มโอ) และการยอมรับโดยรวม [19] ใช้การทดสอบวิธี quantitative descriptive analysis (QDA) ให้คะแนนแบบ 5-point scoring test โดยผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน ทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติและการวิเคราะห์ดัชนีระบุคุณภาพด้วยเทคนิค PCA

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance: ANOVA) และความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SAS (1997) วิเคราะห์ดัชนีระบุคุณภาพจากความสัมพันธ์ระหว่างสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีที่เปลี่ยนแปลงของส้มโอตัดแต่งสดที่เก็บอุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน และที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ด้วยเทคนิค principal component analysis (PCA) ด้วยโปรแกรม SPSS 7.5 โดยใช้ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ดังนี้ สารหอมระเหย และคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลของส้มโอตัดแต่งสด

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 สีเนื้อและความแน่นเนื้อของส้มโอตัดแต่งสด

เนื้อส้มโออายุเก็บเกี่ยว 225 วัน มีสีเหลืองใส (L^* อยู่ในช่วง 65.19 - 66.99, a^* อยู่ในช่วง 0.63-0.94, b^* อยู่ในช่วง 17.82 - 17.99, C* อยู่ในช่วง 17.53 - 17.99 และ h° อยู่ในช่วง 87.00 - 87.91) การพัฒนาสีเนื้อของส้มโอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองชัดมากขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น แต่ค่า a^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) หลังการเก็บรักษาในวันที่ 3 ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ ในวันที่ 21 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากการสูญเสียความชื้น [20] แต่ค่า b^*, C^* และ h° ไม่เปลี่ยนแปลง ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ (ตารางที่ 1) ซึ่งสีเนื้อของส้มโอเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อช้ากว่าส้มโอตัดแต่งสดเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ ชะลอการหายใจและอัตราการเกิดกิจกรรมทางเมตาบอลิซึม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Niyomyat [12] พบว่าสีเนื้อของส้มโอตัดแต่งสดพันธุ์ทองดีที่เก็บอุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อส้มโอช้ากว่าส้มโอตัดแต่งสดเก็บที่อุณหภูมิห้อง อีกทั้งกระบวนการตัดแต่งส้มโอยังทำให้เกิดบาดแผลต่อเซลล์ของเนื้อส้มโอน้อยกว่ากระบวนการตัดแต่งผลไม้ชนิดอื่น เนื่องจากกลีบเนื้อของส้มโอประกอบด้วยถุงน้ำปิดสนิท (juice sac หรือ juice vesicle) ซึ่งภายในบรรจุน้ำหวานและอาหารสะสมไม่ได้ถูกทำลายและไม่ได้รับความเสียหายจากกระบวนการตัดแต่ง ทำให้ไม่มีการรั่วไหลของสารอาหารหรือสารเคมีที่อาจชักนำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีของสารต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสี เนื่องจากเอนไซม์ จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของส้มโอตัดแต่งสดเกิดขึ้นน้อยมาก [21] ส่วนค่าความแน่นเนื้อของส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จาก 0.87 kgf เป็น 0.79 kgf ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 1) ขณะที่การเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

มีค่าความแน่นเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จาก 0.88 kgf เป็น 0.79 kgf เมื่อเก็บเป็นเวลา 7 วัน แสดงว่าการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้นานกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เนื่องจากอัตราการหายใจของส้มโอตัดแต่งสดลดลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อัตราการคายน้ำและความร้อนภายในเนื้อส้มโอลดลง จึงสามารถรักษาความดันเต่ง (turgor pressure หรือ osmotic pressure) ของส้มโอตัดแต่งสดได้เป็นเวลานาน [15]

ตารางที่ 1 ค่าสีเนื้อและความแน่นเนื้อของส้มโอตัดแต่งสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 °C เป็นเวลา 4 วัน และ 10 °C เป็นเวลา 30 วัน

เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 °C เป็นเวลา 4 วัน						
ระยะเวลาเก็บรักษา	**สีเนื้อ[x]**					**ความแน่นเนื้อ[y]**
(วัน)	***L****	***a****	***b****	***C****	***h*°**	**(kgf)**
เริ่มต้น	65.19[b]±2.49	0.94[a]±0.03	17.97±0.65	17.99±0.65	87.00±0.94	0.87[a]±0.10
2	64.83[b]±2.76	0.74[ab]±0.03	18.18±1.77	18.21±1.77	87.41±1.29	0.85[a]±0.04
3	67.15[a]±1.53	0.67[ab]±0.02	17.92±1.78	17.96±0.80	87.87±0.40	0.79[b]±0.05
4	67.38[a]±1.3	0.58[b]±0.08	17.76±0.75	17.77±0.75	88.35±0.89	0.74[b]±0.01
F-test	*	*	ns	ns	ns	*
LSD	0.21	0.04	0.49	0.34	0.24	0.06
C.V. (%)	0.53	0.72	1.40	0.27	0.18	0.31
เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 30 วัน						
ระยะเวลาเก็บรักษา	**สีเนื้อ[x]**					**ความแน่นเนื้อ[y]**
(วัน)	***L****	***a****	***b****	***C****	***h*°**	**(kgf)**
เริ่มต้น	66.99[b]±1.48	0.63[a]±0.01	17.82±0.84	17.53±0.84	87.91±0.39	0.88[a]±0.02
2	66.94[b]±1.75	0.43[b]±0.01	17.82±0.24	17.82±0.23	88.36±0.34	0.84[a]±0.02
3	66.93[b]±2.22	0.66[a]±0.03	17.86±0.72	17.37±0.72	87.80±0.50	0.87[a]±0.10
4	66.96[b]±1.73	0.47[b]±0.03	17.91±0.20	17.37±0.21	88.27±0.85	0.87[a]±0.20
7	66.91[b]±1.58	0.40[b]±0.01	17.96±0.20	17.11±0.20	87.98±0.71	0.79[b]±0.06
14	66.94[b]±1.54	0.11[c]±0.05	17.93±0.94	17.93±0.94	89.95±0.15	0.77[b]±0.05
21	67.29[a]±1.04	0.09[c]±0.01	17.83±1.24	17.83±1.25	90.00±0.53	0.69[b]±0.04
30	67.60[a]±0.41	0.05[c]±0.01	17.99±0.20	17.99±0.21	91.13±0.60	0.57[b]±0.01
F-test	*	*	ns	ns	ns	*
LSD	0.18	0.28	0.30	0.25	0.13	0.05
C.V. (%)	0.35	0.01	0.12	0.11	0.15	0.93

หมายเหตุ [x, y] แสดงผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย LSD ตามวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2 สารหอมระเหยของส้มโอตัดแต่งสด

สารหอมระเหยของส้มโอตัดแต่งสดอายุเก็บเกี่ยว 225 วัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส สามารถแยกสารหอมระเหยที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นส้มโอได้ 33 ชนิด ดังนี้ สารประเภทแอลกอฮอล์ ได้แก่ 3-methyl-2-buten-1-ol, 3-methylpentanol, 3-hexen-1-ol, 1-octen-3-ol, heptanol และ 2-ethyl-1-hexanol สารประกอบเอสเทอร์ ได้แก่ α-terpinyl acetate สารประกอบคีโตน ได้แก่ 6-methyl-5-hepten-2-one สารประกอบคาร์บอซิลิก ได้แก่ acetic acid แต่สารหอมระเหยหลักที่ให้กลิ่นส้มโอ คือ เทอร์พีน ได้แก่ α-phellandrene, α-limonene, β-terpinene, p-cymene, δ-elemene, α-ylangene, α-copaene, β-bourbonene, valencene, β-elemene, β-caryophyllene, α-elemene, α-gurjunene, α-humulene, isoledene, α-amorphene, δ-selinene, germacrene D, aromadendrene, α-selinene, δ-cadinene, γ-selinene, α-muurolene และ calamenene ซึ่งให้ลักษณะกลิ่น (odor description) แบบ citrus, spicy, woody, mint และ floral (ตารางที่ 2 และ 3) การเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหยของส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส พบว่า สารเทอร์พีนชนิดมวลโมเลกุลต่ำ ได้แก่ α-terpinyl acetate, α-phellandrene, α-limonene และ β-terpinene ให้แนวกลิ่น wood, citrus, herb, green และ floral มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 3-4 ของการเก็บรักษา เนื่องจากสารเทอร์พีนชนิดมวลโมเลกุลต่ำ ระเหยได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยา degradation pathway ที่อุณหภูมิสูง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Obenland และคณะ [22] ขณะที่สารเทอร์พีนชนิดมวลโมเลกุลสูง ได้แก่ δ-cadinene, β-caryophyllene, α-ylangene, α-copaene, β-bourbonene และ α-humulene ซึ่งให้กลิ่น wood มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับสารหอมระเหยที่ให้กลิ่น musty, green, earthy และ off odor ได้แก่ 3-methyl-2-buten-1-ol, 6-methyl-5-hepten-2-one, 1-octen-3-ol และ heptanol มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเก็บส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิสูง อัตราการหายใจสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนภายในเซลล์ลดลง และเกิดความร้อนภายในเซลล์ ความร้อนที่เกิดขึ้นจึงเร่งการสังเคราะห์สารหอมระเหยประเภท terpenoid โดยผ่าน mevalonic acid pathway อีกทั้งยังเร่งการผลิตสารหอมระเหยประเภทแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยา oxidation reduction pathway [14] จึงทำให้ส้มโอตัดแต่งสดเข้าสู่ระยะเสื่อมสลาย (senescence) อย่างรวดเร็ว [23, 24] การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารหอมระเหยของส้มโอตัดแต่งสดตลอดระยะการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Obenland และคณะ [22] พบสารหอมระเหยที่เป็นองค์ประกอบหลักของกลิ่นผลส้มแมนดาริน 21 ชนิด เก็บที่อุณหภูมิแตกต่างกัน มีเทอร์พีนและแอลกอฮอล์ เป็นสารหอมระเหยหลัก ซึ่งสารประกอบแอลกอฮอล์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้นาน 1 สัปดาห์ เช่น 3-methylbutanol, ethanol และ 1-octen-3-ol ส่วนเทอร์พีนมีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่น β-caryophyllene และ α-humulene ยกเว้น α-limonene และ β-terpinene ที่มีปริมาณลดลงเมื่อเก็บไว้นาน 7 วัน อย่างไรก็ตามส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารหอมระเหย เช่นเดียวกับส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส แต่ส้มโอตัดแต่งสดเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารเทอร์พีนชนิดมวลโมเลกุลต่ำลดลง สารเทอร์พีนชนิดมวลโมเลกุลสูงและสารที่ไม่ใช่เทอร์พีน (non-terpene) เพิ่มขึ้น ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา เพราะการเก็บส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการหายใจ ยับยั้งการเกิด off-flavor และการสูญเสียสารหอมระเหยของส้มโอตัดแต่งสด จากการทดลองพบว่าส้มโอตัดแต่งสดเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหยเร็วกว่าส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการหายใจและเมตาบอลิซึมของส้มโอตัดแต่งสด อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ และการหายใจสูงขึ้น ส่งผลให้ส้มโอตัดแต่งสดเข้าสู่ระยะเสื่อมเร็วขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีเร็วขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อเป็นสีเหลืองซีดจาง เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มลง ตลอดจนมีการสร้างสารหอมระเหยที่ไม่พึงประสงค์ เป็นต้น [25]

ตารางที่ 2 สารหอมระเหยของส้มโอตัดแต่งสด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 °C เป็นเวลา 4 วัน

RI	สารหอมระเหย	% Relative peak area				Odor description*
		เริ่มต้น	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
1210	α-phellandrene	1.22[a]	0.46[a]	0.37[b]	0.21[b]	citrus, green
1244	α-limonene	7.18[a]	1.40[b]	1.39[b]	0.53[c]	citrus, mint
1248	α-terpinyl acetate	17.99[a]	17.34[a]	16.96[b]	16.75[b]	citrus, spicy
1254	β-terpinene	4.34[a]	3.19[a]	0.64[b]	0.11[b]	refreshing
1322	p-cymene	2.70[a]	0.55[b]	0.57[b]	0.37[c]	solvent, citrus
1378	3-methyl- 2-buten-1-ol	n.d.	0.25[a]	0.22[a]	0.38[b]	nuances
1390	6-methyl -5-hepten-2-one	n.d.	n.d.	0.20[b]	0.56[a]	musty
1412	3-methylpentanol	n.d.	0.78[b]	1.01[a]	1.10[a]	roasty
1444	3-hexen-1-ol	n.d.	0.84[b]	0.81[b]	1.04[a]	green, grassy
1509	1-octen-3-ol	n.d.	n.d.	1.42[a]	1.57[a]	earthy, green
1511	acetic acid	4.74[a]	2.58[ab]	2.28[ab]	1.36[b]	sour
1516	heptanol	n.d.	n.d.	1.42[a]	1.72[a]	musty
1523	δ-elemene	4.39[a]	3.89[ab]	3.43[b]	3.00[b]	wood
1538	α-ylangene	0.58[b]	0.91[a]	0.92[a]	0.93[a]	fruity
1547	α-copaene	0.80[b]	1.26[ab]	1.56[a]	1.66[a]	woody, spice
1552	2-ethyl-1-hexanol	1.95[a]	1.19[ab]	1.06[b]	1.03[b]	citrus, fresh
1574	β-bourbonene	0.44[b]	0.75[b]	1.09[a]	1.24[a]	herb
1633	valencene	1.68[a]	1.55[a]	0.91[b]	1.11[b]	green, oil
1649	β-elemene	1.88[a]	1.82[a]	1.57[ab]	1.39[ab]	wood
1655	β-caryophyllene	8.23[b]	8.62[b]	9.53[a]	9.45[a]	wood, spice
1698	α-elemene	1.61[a]	1.35[a]	1.33[a]	1.22[a]	wood
1725	α-gurjunene	3.15[a]	3.13[a]	2.55[b]	2.26[b]	wood
1730	α-humulene	2.07[ab]	2.08[b]	2.15[b]	2.18[b]	wood
1736	isoledene	3.00[a]	2.94[a]	2.87[a]	2.58[b]	-
1751	α-amorphene	5.44[a]	5.37[a]	5.48[a]	4.74[b]	wood
1755	δ-selinene	4.94[a]	4.82[a]	4.57[a]	3.83[b]	-
1771	germacrene D	0.17[b]	1.96[ab]	2.24[a]	2.54[a]	wood, spice
1781	aromadendrene	n.d.	5.30[a]	5.09[ab]	4.47[b]	wood
1787	α-selinene	4.31[a]	4.23[a]	4.14[ab]	3.60[b]	pepper-like
1823	δ-cadinene	15.08[b]	15.15[b]	15.91[a]	15.95[a]	thyme, wood
1844	γ-selinene	2.86[b]	2.96[b]	3.20[ab]	3.82[a]	wood
1858	α-muurolene	2.14[a]	2.02[a]	1.97[ab]	1.82[b]	wood
1899	calamenene	n.d.	2.70[a]	2.25[ab]	2.05[b]	herb, spice

หมายเหตุ *มาจาก http://www.odour.org.uk/ และ http://www.flavornet.org/flavornet.html

อักษรยกกำลังที่ต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

n.d. คือ not detected

RI คือ kovats index

ตารางที่ 3 สารหอมระเหยของส้มโอตัดแต่งสด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 30 วัน

RI	สารหอมระเหย	% Relative peak area								Odor
		เริ่มต้น	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 30	description*
1210	α-phellandrene	1.71^{a}	1.68^{a}	1.52^{a}	1.45^{a}	1.84^{a}	0.51^{b}	n.d.	n.d.	citrus, green
1244	α-limonene	7.83^{a}	7.21^{a}	2.28^{b}	1.68^{ab}	0.88^{b}	0.92^{b}	n.d.	n.d.	citrus, mint
1248	α-terpinyl acetate	16.00^{a}	16.2^{a}	6.20^{b}	2.52^{bc}	0.99^{c}	0.90^{c}	n.d.	n.d.	citrus, spicy
1254	β-terpinene	6.50^{a}	6.40^{a}	6.20^{a}	3.03^{b}	3.57^{b}	1.73^{c}	n.d.	n.d.	refreshing
1322	p-cymene	2.23^{a}	2.76^{a}	1.15^{ab}	0.95^{b}	0.92^{b}	0.91^{b}	n.d.	n.d.	solvent, citrus
1378	3-methyl-2-buten-1-ol	n.d.	0.29^{b}	0.52^{ab}	0.69^{ab}	0.68^{ab}	0.74^{a}	0.84^{a}	0.88^{a}	nuances
1390	6-methyl-5-hepten-2-one	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.04	0.10	musty
1412	3-methylpentanol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.65^{b}	0.85^{a}	0.90^{a}	roasty
1444	3-hexen-1-ol	n.d.	0.43^{b}	0.72^{b}	0.78^{b}	0.85^{b}	1.02^{a}	1.06^{a}	1.15^{a}	green, grassy
1509	1-octen-3-ol	n.d.	n.d.	1.16^{b}	1.18^{b}	1.24^{ab}	1.44^{a}	1.65^{a}	1.72^{a}	earthy, green
1511	acetic acid	5.40^{a}	1.46^{b}	1.97^{b}	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	sour
1516	heptanol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.82^{b}	2.28^{a}	musty
1523	δ-elemene	4.63^{a}	4.87^{a}	4.10^{a}	3.60^{ab}	3.74^{ab}	3.89^{ab}	3.30^{b}	3.03^{b}	wood
1538	α-ylangene	0.20^{b}	0.73^{b}	0.95^{b}	1.04^{b}	1.08^{b}	1.55^{a}	1.98^{a}	1.91^{a}	fruity
1547	α-copaene	1.45^{b}	1.18^{b}	1.61^{b}	1.98^{b}	1.50^{b}	2.31^{a}	2.17^{a}	2.39^{a}	woody, spice
1552	2-ethyl-1-hexanol	1.68^{a}	1.64^{a}	1.70^{a}	1.76^{a}	1.71^{a}	0.65^{a}	0.63^{b}	0.11^{b}	citrus, fresh
1574	β-bourbonene	1.55^{b}	0.87^{b}	1.10^{b}	1.42^{b}	2.16^{a}	n.d.	n.d.	n.d.	herb
1633	valencene	1.93^{a}	1.47^{a}	1.47^{a}	1.49^{a}	1.26^{a}	n.d.	n.d.	n.d.	green, oil
1649	β-elemene	4.97^{a}	1.35^{b}	1.74^{b}	1.85^{b}	1.55^{b}	2.09^{ab}	2.74^{ab}	2.34^{ab}	wood
1655	β-caryophyllene	11.52^{b}	11.5^{b}	11.95^{b}	13.6^{b}	11.5^{b}	16.17^{a}	16.35^{a}	17.21^{a}	wood, spice
1698	α-elemene	0.60^{ab}	0.98^{ab}	1.26^{a}	1.25^{a}	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	wood
1725	α-gurjunene	2.00^{b}	2.24^{b}	2.08^{b}	3.88^{a}	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	wood
1730	α-humulene	2.01^{a}	2.16^{a}	2.46^{a}	2.62^{a}	2.71^{a}	2.46^{a}	2.30^{a}	2.93^{a}	wood
1736	isoledene	2.30^{a}	2.45^{a}	2.71^{a}	2.90^{a}	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-
1751	α-amorphene	4.14^{b}	4.08^{b}	5.32^{b}	6.06^{b}	5.39^{b}	8.75^{a}	8.21^{a}	8.08^{a}	wood
1755	δ-selinene	2.17^{b}	3.72^{b}	3.84^{b}	3.77^{b}	6.29^{a}	5.78^{a}	5.11^{a}	5.21^{a}	-
1771	germacrene D	1.52^{b}	1.28^{b}	1.38^{b}	1.71^{b}	1.75^{b}	3.55^{a}	n.d.	n.d.	wood, spice
1781	aromadendrene	n.d.	4.15^{b}	4.18^{b}	4.80^{b}	4.81^{b}	5.63^{a}	5.96^{a}	6.49^{a}	wood
1787	α-selinene	3.40^{b}	3.37^{b}	4.25^{ab}	4.41^{ab}	5.40^{a}	n.d.	n.d.	n.d.	pepper-like
1823	δ-cadinene	12.59^{c}	12.72^{c}	16.61^{bc}	18.8^{b}	19.4^{b}	20.14^{ab}	22.04^{ab}	24.58^{a}	thyme, wood
1844	γ-selinene	1.07^{c}	1.93^{c}	2.86^{b}	2.29^{b}	4.85^{a}	n.d.	n.d.	n.d.	wood
1858	α-muurolene	1.27^{d}	1.52^{d}	2.06^{c}	2.29^{c}	2.59^{c}	2.83^{b}	2.85^{b}	3.38^{a}	wood
1899	calamenene	n.d.	1.93^{b}	2.47^{b}	2.31^{b}	3.40^{b}	4.88^{a}	4.99^{a}	5.18^{a}	herb, spice

หมายเหตุ *มาจาก http://www.odour.org.uk/ และ http://www.flavornet.org/flavornet.html

อักษรยกกำลังที่ต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

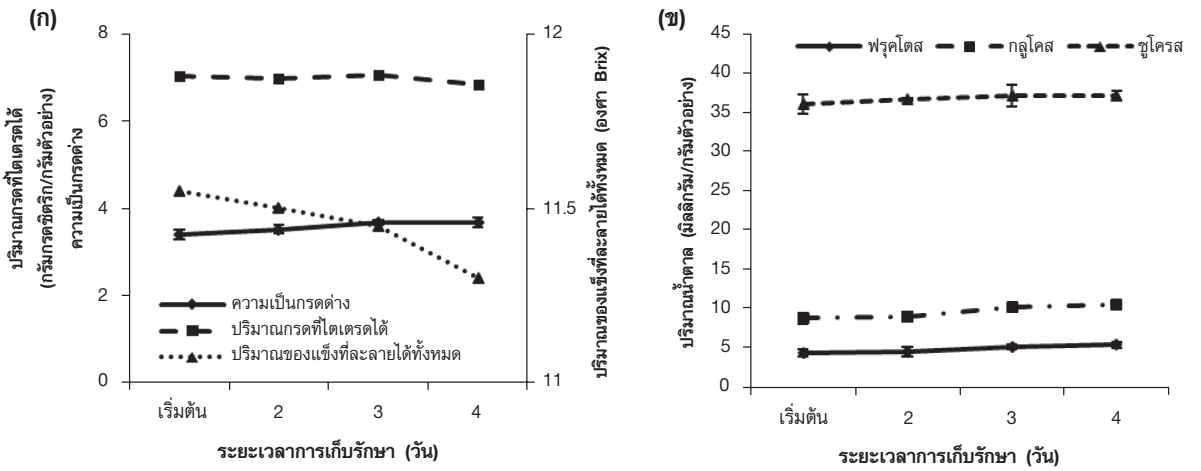
n.d. คือ not detected

RI คือ kovats index

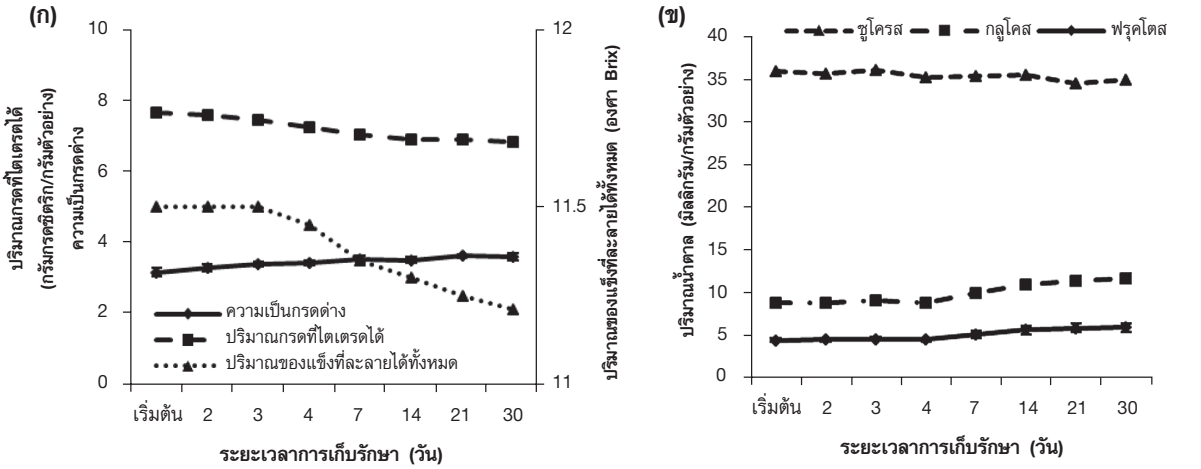
3.3 ความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลของส้มโอตัดแต่งสด

ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของส้มโอตัดแต่งสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส (รูปที่ 1ก และ 2ก) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของส้มโอตัดแต่งสด มีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เช่นเดียวกับการทดลองของ Luengwilai และคณะ [26] พบว่าปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของส้มแมนดารินพันธุ์ Clemenules และพันธุ์ *W. Murcott* หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน มีปริมาณลดลง นอกจากนี้ Phaungsombut และคณะ [27] ยังพบว่าผลส้มโอพันธุ์ขาวทองดีมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ลดลงเมื่อระยะการเก็บรักษามากขึ้น เนื่องจากกรดซิตริกถูกใช้เป็นสารประกอบของ Krebs' cycle เพื่อใช้สร้างพลังงานของกระบวนการหายใจ [28] ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งสดลดลงเล็กน้อย ($p>0.05$) ในระหว่างเก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิ เนื่องจากส้มโอเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างช้าๆ และใช้เวลานาน สอดคล้องกับการทดลองของ Klintham [21] ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยและใช้เวลานาน

ปริมาณและชนิดน้ำตาลของส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณซูโครสมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ฟรุคโตสและกลูโคส ตามลำดับ (รูปที่ 1ข และ 2ข) ซึ่งเป็น primary soluble sugars ที่พบในพืชวงศ์ส้ม ทั้งนี้ไม่พบน้ำตาลกาแลคโทส แรมโนส แลกโทส และมอลโทส ส้มโอตัดแต่งสดเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน มีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลง 3.0% เมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา ขณะที่ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสและกลูโคสเพิ่มขึ้น 23.8% และ 18.0% ตามลำดับ ส่วนการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ให้ผลในทำนองเดียวกันคือ ปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลง 14.21% เมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสและกลูโคสเพิ่มขึ้น 34.17% และ 30.64% ตามลำดับ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ของส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา แต่การเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำตาลเปลี่ยนแปลงในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา เนื่องจากการเก็บส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการหายใจสูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยซูโครสถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (กลูโคส และฟรุกโตส) แล้วเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ ก่อนเข้าสู่ Kreb's cycle และกระบวนการไกลโคไลซิสในกระบวนการหายใจ จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลของส้มโอตัดแต่งสดเร็วกว่าการเก็บที่ 10 องศาเซลเซียส แสดงว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถลดอัตราการหายใจได้ [28]



รูปที่ 1 ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ก) ปริมาณน้ำตาล (ข) ของส้มโอตัดแต่งสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

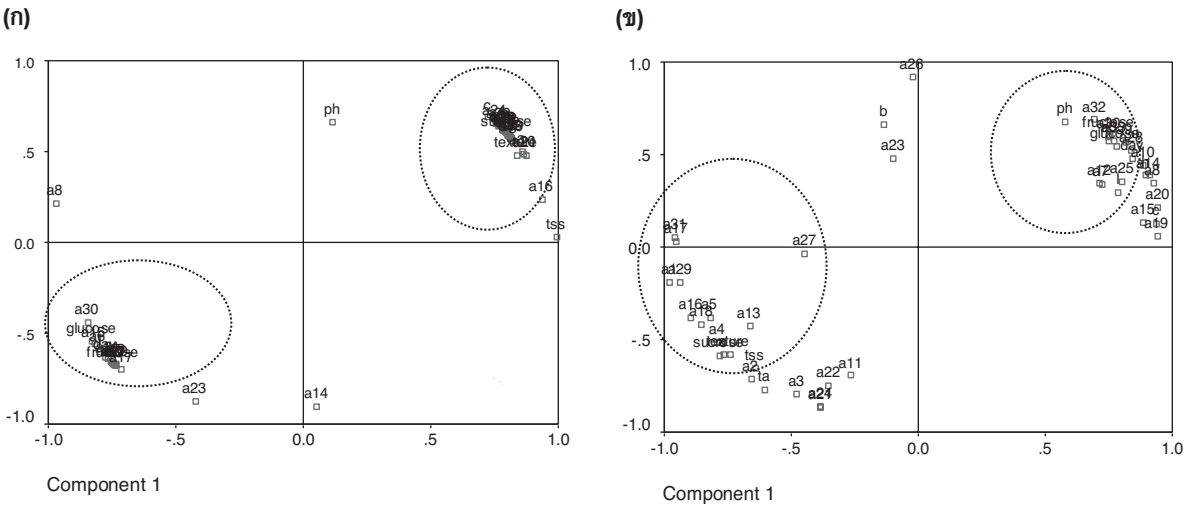


รูปที่ 2 ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ก) ปริมาณน้ำตาล (ข) ของส้มโอตัดแต่งสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน

3.4 ดัชนีระบุคุณภาพจากความสัมพันธ์ระหว่างสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมี

ความสัมพันธ์ของปริมาณสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3) โดยการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค PCA โดยกำกับชนิดของสารหอมระเหยด้วยตัวอักษร ai โดย ai หมายถึง สารหอมระเหยลำดับที่ i ผลการวิเคราะห์การเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3ก โดยใช้องค์ประกอบมุขสำคัญที่ 1 และ 2 (Component 1 และ 2) ซึ่งครอบคลุมค่าความแปรปรวน 92.597% และ 4.841% ตามลำดับ และมีสารหอมระเหยหลัก (aroma active compound) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้แก่ α-terpinyl acetate, 3-methylpentanol, 2-ethyl-1-hexanol และ δ-cadinene ซึ่งค่าความแปรปรวนมีค่ามากกว่า 80% แสดงว่าข้อมูลสารหอมระเหยและข้อมูลคุณภาพทางกายภาพ-เคมี เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งสดในระหว่างการ

เก็บรักษา โดยที่ข้อมูลสารหอมระเหยและข้อมูลคุณภาพทางกายภาพ-เคมี มีการเกาะกลุ่มกัน แสดงว่าสารหอมระเหยมีความสัมพันธ์กับคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสดในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบความสัมพันธ์ของปริมาณสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมี มีลักษณะเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบมุขสำคัญที่ 1 และ 2 เท่ากับ 73.909% และ 9.627% ตามลำดับ (รูปที่ 3ข) แต่ที่ค่าความแปรปรวนของการเก็บที่ 10 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยกว่าค่าความแปรปรวนเมื่อเก็บที่ 29 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีน้อยกว่าที่ 29 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหยมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสดทั้งในระหว่างการเก็บที่ 29 องศาเซลเซียสและ 10 องศาเซลเซียส โดยสารหอมระเหยที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาสามารถระบุการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งสดได้ว่าที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดได้เป็นเวลา 3 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 7 วัน โดยมีสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีไม่ต่างจากวันแรกของการเก็บรักษา



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค PCA ระหว่างสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ (ก) 29 องศาเซลเซียส และ (ข) 10 องศาเซลเซียส

3.5 การยอมรับทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งสด

อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งสด โดยส้มโอตัดแต่งสดที่เก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากที่สุด (4.85±0.05) ในวันแรกของการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังได้คะแนนด้านกลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ รสหวาน และรสชาติส้มโอมากที่สุด เท่ากับ 4.80±0.10, 4.96±0.07, 4.85±0.03 และ 5.0±0.06 ตามลำดับ อีกทั้งมีคะแนนด้านกลิ่นอับน้อยที่สุด (1.25±0.01) เช่นเดียวกับส้มโอสดแกะจากผล (ไม่แสดงข้อมูล) แต่การเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดนานมากกว่า 3 วัน ทำให้ส้มโอตัดแต่งสดมีคะแนนกลิ่นอับสูงขึ้น (4.82±0.04) สอดคล้องกับสารหอมระเหยที่ให้กลิ่น musty และ off odor เช่น 6-methyl-5-hepten-2-one และ heptanol มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่กลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ รสหวาน รสชาติส้มโอ และการยอมรับโดยรวมมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับสารเทอร์พีน เช่น α-terpinyl acetate และ α-limonene ซึ่ง

ให้กลิ่น sweet และ floral ที่มีปริมาณลดลง เนื่องจากสูญเสียกลิ่นจากกระบวนการหายใจที่อุณหภูมิสูง ส่วนการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากที่สุด (4.90±0.11) ในวันแรกของการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังได้คะแนนด้านกลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ รสหวาน และรสชาติส้มโอมากที่สุด เท่ากับ 4.85±0.02, 4.95±0.04, 4.87±0.12 และ 5.0±0.03 ตามลำดับ อีกทั้งมีคะแนนด้านกลิ่นอับน้อยที่สุด (1.20±0.02) เมื่อเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดนานมากกว่า 7 วัน พบว่าคะแนนกลิ่นอับสูงขึ้น (4.64±0.02) แต่กลิ่นหวาน (2.11±0.03) กลิ่นผลไม้ (2.82±0.04) รสหวาน (2.71±0.01) รสชาติส้มโอ (2.90±0.05) และการยอมรับโดยรวมมีแนวโน้มลดลง (2.28±0.01) แสดงว่าการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถรักษาคุณลักษณะทางด้านกลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ รสหวาน รสชาติส้มโอ และการยอมรับโดยรวมได้นานกว่าส้มโอตัดแต่งสดที่เก็บที่ 29 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของส้มโอตัดแต่งสดและที่แกะออกจากผล พบว่าส้มโอตัดแต่งสดเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 10 องศาเซลเซียส 7 วัน ได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ไม่ต่างจากส้มโอสดแกะจากผลเมื่อเก็บที่สภาวะและเวลาเดียวกัน นอกจากนี้สีเนื้อส้มโอตัดแต่งสดยังคงมีสีเหลืองใสและมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างจากส้มโอสดแกะจากผล

4. สรุปผลการทดลอง

ส้มโอตัดแต่งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมีที่สัมพันธ์กัน จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ซึ่งสามารถระบุได้ว่าคุณภาพส้มโอตัดแต่งสดเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 3 วัน ขณะที่การเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งสดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เก็บรักษาได้นาน 7 วัน โดยมีกลิ่นส้มโอ กลิ่นหวาน กลิ่นผลไม้ รสหวาน รสชาติส้มโอไม่เปลี่ยนแปลง และคุณภาพการรับประทานไม่แตกต่างจากส้มโอสดแกะจากผล

5. เอกสารอ้างอิง

1. Kale, P. N., and Adsule, P. G., 1995, “Citrus”, *Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing*, Marcel Dekker, New York, pp. 39-65.

2. Office of Agicultural Economics, pomelo price [Online], Available: http://www.oae.go.th/ download/ download__journal/ commodity55.pdf [2013, 9 August].

3. Varoquaux, P., and Wiley, R., 1994, “Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables”, *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*, New York, pp. 226-268.

4. Tietel, Z., Lewinsohn, E., Fallik, E., and Porat, R., 2011a, “Importance of storage temperatures in maintaining flavor and quality of mandarins”, *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 64, pp. 175-182.

5. Tietel, Z., Plotto, A., Fallik, E., Lewinsohn, E., and Porat, R., 2010b, “Taste and aroma of fresh and stored mandarins”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 91, pp. 14-23.

6. Perez, A. G., Luaces, P., Oliva, J., Ríos, J. J., and Sanz, C., 2005, “Changes in vitamin C and flavour components of mandarin juice due to curing of fruits”, *Food Chemistry*, Vol. 91, pp. 19-24.

7. Hinterholze, A., and Schieberle, P., 1998, “Identification of the most odour-active volatiles in fresh hand-extracted juice of Valencia Late oranges by odour dilution techniques”, *Flavour and Fragance Journal*, Vol. 13, pp. 49-55.

8. Cheong, M. W., Liu, S. Q., Yeo, J., Chionh, H. K., Pramudya, K., and Curran, P., 2011, “Identification of aroma-active compounds in Malaysian pomelo (*Citrus grandis (L.) Osbeck*) peel by gas

chromatography-olfactometry", *Journal of Essential Oil Research*, Vol. 23, No. 6, pp. 34-42.

9. Obenland, D., Collin, S., Mackey, B., Sievert, J., and Arpaia, M. L., 2011, "Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids acidity and aroma volatile composition", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 59, pp. 187-193.

10. Tietel, Z., Lewinsohn, E., Fallik, E., and Porat, R., 2011b, "Elucidating the roles of ethanol fermentation in causing off-flavors in mandarins", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 59, pp. 11779-11785.

11. Kader, A. A., and Arpaia, M. L., 2002, "Postharvest handling systems: subtropical fruits", *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, University of California, Agriculture and Natural Resources, Oakland, CA, pp. 375-383.

12. Niyomyat, S., 2010, "The effect of ozone on the quality changes of fresh-cut pomelo during storage", *A thesis submitted of Master of Science, Department of Food Technology. Silpakorn University*, 133 p. (In Thai)

13. Singh, K. K., and Reddy, B. S., 2006, "Postharvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit", *Journal of Food Engineering*, Vol. 73, pp. 112-120.

14. Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M. M., and Martínez-Navarrete, N., 2010, "Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice", *Food Chemistry*, Vol. 118, pp. 291-299.

15. Moufida, S., and Marzouk, B., 2003, "Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange", *Phytochemistry*, Vol. 62, pp.1283-1289.

16. Obenlanda, D., Collin, S., Sievert, J., and Arpaia, M. L., 2010, "Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids, acidity and aroma volatile composition", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 59, pp. 187-193.

17. Bai, J., Baldwin, E., Plotto, A., Manthey, J. A., Mccollum, G., Irey, M., and Luzio, G., 2009, "Influence of harvest time on quality of 'Valencia' oranges and juice", *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, Vol. 122, pp. 308-315.

18. Kelebek, H., 2010, "Sugars, organic acids, phenolic compositions and antioxidant activity of grapefruit (Citrus paradisi) cultivars grown in Turkey", *Industrial Crops and Products*, Vol. 32, pp. 269-274.

19. Niu, L. Y., Wu, J. H., Liao, X. J., Chen, F., Wang, Z. F., Zhao, G. H., and Hu, X., 2008, "Physicochemical characteristics of orange juice samples from seven cultivars", *Agricultural Sciences in China*, Vol. 7, No. 1, pp. 41-47.

20. Warakul, S., 2006, "Effect of gaseous ozone exposure and modified atmosphere packaging on qualities of minimally processed pomelo", *A thesis submitted Master of Engineering, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering. King Mongkut's University of Technology Thonburi*, 163 p.

21. Klintham, P., 2008, "Modified atmosphere packaging of fresh-cut pomelo cv. Khao Nam Phung", *A thesis submitted of Master of Science, Department of Pakaging Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University*, 188 p. (In Thai)

22. Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Fjeld, K., Doctor, J., and Arpaia, M. L., 2008, "Commercial packing and storage of navel oranges alters aroma volatiles and reduces flavor quality", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 47, pp. 159-167.

23. Baldwin, E. A., Shaw, P. E., and Burns, J. K., 1995, "Effect of coatings and prolonged

storage conditions on fresh orange flavor volatiles, degrees brix, and ascorbic acid levels", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 43, pp. 1321-1331.

24. Tietel, Z., Porat, R., Weiss, K., and Ulrich, D., 2011d, "Identification of aroma-active compounds in fresh and stored 'Mor' mandarins", *Journal of Food Science and Technology*, Vol. 46, pp. 2225-2231.

25. Tietel, Z., Lewinsohn, E., Fallik, E., and Porat, R., 2011c, "Importance of storage temperatures in maintaining flavor and quality of mandarins", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 64, pp. 175-182.

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

27. Phaungsombut, A., Pathaveerat, S., and Terdwongworakul, A., 2008. "Maturity assessment of pomelo based on impact method", *Agricultural Science Research Journal*, Vol. 39, No. 3, pp. 27-30.

28. Rouseff, R. L., Perez-Cacho, P. R., and Jabalpurwala, F., 2009, "Historical review of citrus flavor research during the past 100 years", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 57, No. 18, pp. 8115-8124.