

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโชงหลือที่
อายุแตกต่างกันเกี่ยวของตามฤดูกาลเก็บเกี่ยวและระยะเวลา
การเก็บรักษา

STUDY ON THE COMPOSITIONS OF THE PEEL ESSENTIAL OIL OF KAO
NAM FUENG POMELOES AT DIFFERENT HARVESTING DATE AND
STORAGE DURATION USING NEAR-INFRARED SPECTROSCOPIC
TECHNIQUE

จิตรรา ด้วงช้าง

JITRA DUANGCHANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สาขาวิชาเภสัชกรรมเกษตร

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. ๒๕๕๒

KMITL - 2009 - BN - M - 100 - 043

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขนาน้ำผึ้งที่
อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรด
สเปกโตรสโกปี

STUDY ON THE COMPOSITIONS OF THE PEEL ESSENTIAL OIL OF KAO
NAM PUENG POMELOES AT DIFFERENT HARVESTING DATE AND
STORAGE DURATION USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPIC
TECHNIQUE

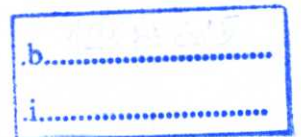


T105112

จิตตรา ดั่งช้าง

JITTRA DUANGCHANG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105112 1
รับเดือนปี 16 พ.ย. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-100-043

**STUDY ON THE COMPOSITIONS OF THE PEEL ESSENTIAL OIL OF KAO
NAM PUENG POMELOES AT DIFFERENT HARVESTING DATE AND
STORAGE DURATION USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPIC
TECHNIQUE**

JITTRA DUANGCHANG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2009
KMITL-2009-EN-M-100-043**

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ชวบน้ำฝิ่งที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี

Thesis Title Study on the Compositions of the Peel Essential Oil of Kao Nam Pueng Pomeelos at Different Harvesting date and Storage Duration Using near infrared Spectroscopic Technique

นักศึกษา นางสาวจิตตรา ค้วงช้าง

รหัสประจำตัว 50061202

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.สุมาพร เกษมสำราญ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-100-043

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|---------------|--|
| ดร.สุตาภัทร | แก้วนเขาเม็ง |  |
| รศ.ดร.อนุพันธ์ | เทอดวงศ์วรกุล | |
| ดร.ประสันต์ | ชุ่มใจหาญ | |
| รศ.ดร.ปานมนัส | ศิริสมบูรณ์ | |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

| | |
|------------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี |
| นักศึกษา | นางสาวจิตตรา ดั่งช้าง |
| รหัสประจำตัว | 50061202 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเกษตร |
| พ.ศ. | 2552 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญรณ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) | ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ |

บทคัดย่อ

เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญในการประเมินคุณภาพของผักผลไม้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือศึกษาการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ช่วงความยาวคลื่นสั้น 600-1,100 nm ในการทำนายองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยว 190, 200, 210 และ 220 วันหลังดอกบาน และอายุการเก็บรักษาที่ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน (10 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 70%) วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) หลังจากสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมและค่าองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหย เช่น limonene (ซึ่งมีปริมาณ %w/w มากที่สุด) beta-phellandrene และ nootkatone เป็นต้น ก่อนการทำชุดข้อมูล calibration เทคนิค Principle Component Analysis (PCA) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบข้อมูลที่ผิดปกติจากกลุ่ม สร้างโมเดลด้วยวิธี Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้สเปกตรัมเดิม หรือ ปรับแต่งสเปกตรัมด้วย Full Multiplicative Scatter Correction (MSC) หรือ Second Derivative (Savitzky-Golay algorithm, second order polynomial) ในหมู่ขององค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ beta-phellandrene ที่สเปกตรัมเดิม และ nootkatone ที่การปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี Full MSC มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) สูงที่สุด เท่ากับ 0.89 และ 0.82 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.39 และ 0.11% w/w และค่า bias เท่ากับ 0.39 และ 0.01 %w/w ตามลำดับ

| | |
|-----------------------------|---|
| Thesis Title | Study on the compositions of the peel essential oil of Kao Nam Pueng pomeloes at different harvesting date and storage duration using near infrared spectroscopic technique |
| Student | Miss Jittra Duangchang |
| Student ID. | 50061202 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Agricultural Engineering |
| Year | 2009 |
| Thesis Advisor | Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon |
| Thesis Advisor (Co.) | Dr. Sumaporn Kasemsamran |

ABSTRACT

The near infrared spectroscopy (NIRS) appears as a prominent technique for fruit quality assessment. The objective of this study was to evaluate the use of NIR short wavelength 600-1,100 nm to predict composition of the peel essential oil of pomeloes (*Citrus maxima* (J. Burm.) Merr. cv. Kao Num Peung) at different harvesting date at 190, 200, 210 and 220 days after blooming and storage duration at 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days (10°C and 70% relative humidity). The composition of the oil was analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) after it was extracted by a cold-press method. To establish the relationship between NIR spectral measurements and the major component peel essential oils (e.g. limonene, the highest composition in %w/w, beta-phellandrene and nootkatone). The partial least square regression (PLSR) was used. Before calibration, a principal component analysis (PCA) technique was applied to check outliers. NIR models were developed based on PLSR using raw spectra, and full multiplicative scatter correction (MSC) or second derivative (Savitzky-Golay algorithm, second order polynomial) pre-processing spectra. Among the component of oil at different harvesting date and storage duration, beta-phellandrene with the raw spectra and nootkatone with full MSC had the highest correlation coefficient between predicting and reference values (r) of 0.89 and 0.82, standard error of prediction (SEP) of 0.39 and 0.11 %w/w and bias of 0.39 and 0.01 %w/w, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างเรียบร้อย เนื่องจากการสนับสนุนจากท่านผู้มีพระคุณหลายท่าน โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ ที่ให้คำแนะนำ สั่งสอน ตลอดจนช่วยเหลือด้านทุนวิจัย ดร. สุมาพร เกษมสำราญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การอุปการะด้านเครื่อง NIR อาจารย์วรุณี ชนะแพสย์ สำหรับคำแนะนำและการใช้เครื่องมือ ขอขอบคุณพี่แป้น เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล. ที่ให้คำแนะนำและการช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์อย่างมาก ขอขอบคุณอาจารย์ท่านอื่นๆ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ ขอขอบคุณเจ้าของสวนส้ม ไอส่งออกที่ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม ที่กรุณาให้ความรู้เกี่ยวกับส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ คุณกัมปนาทที่ช่วยเหลือด้านการขนส่งและการเดินทาง

I would like to express my deeply many thanks to Dr. Masayoshi Sawamura, Kochi University, Japan, for his advise about cold-pressing method for peel essential oil extraction.

ขอขอบคุณน้องทุกคน ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ทั้ง ป.ตรี และ ป.โท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ หนึ่งคหนึ่งย และเป็นที่กำลังใจให้ดิฉันทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ขอขอบคุณมากค่ะ

และสุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนๆทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

จิตตรา ค้วงช้าง

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VI |
| สารบัญภาพ..... | VII |
| รายการคำย่อและสัญลักษณ์..... | XI |
| รายการความหมายศัพท์ภาษาอังกฤษที่เกี่ยวข้อง..... | XII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 3 |
| 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา..... | 3 |
| 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 4 |
| 1.5 ขั้นตอนการศึกษา..... | 4 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... | 4 |
| บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 6 |
| 2.1 สัมไอ..... | 6 |
| 2.2 น้ำมันหอมระเหย..... | 10 |
| 2.3 การวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่อง GC-MS..... | 15 |
| 2.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง..... | 18 |
| 2.5 หลักการพื้นฐานของ NIR..... | 21 |
| 2.6 ส่วนประกอบของเครื่อง NIR..... | 22 |
| 2.7 การปรับแต่ง NIR Spectra ก่อนการวิเคราะห์ (Pretreatment of spectral data)..... | 23 |
| 2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR..... | 28 |
| 2.9 เทอมที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของโมเดล..... | 32 |
| 2.10 ประโยชน์ของการใช้เทคนิค NIR..... | 41 |
| 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 41 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 43 |
| 3.1 การเตรียมผลส้มโอสำหรับการทดลอง..... | 43 |
| 3.2 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายผลส้มโอ..... | 45 |
| 3.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น..... | 46 |
| 3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ..... | 52 |
| 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR กับข้อมูลอ้างอิงจาก GC-MS..... | 54 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย..... | 57 |
| 4.1 ผลการทดลองส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 57 |
| 4.2 ผลการทดลองส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 76 |
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... | 101 |
| 5.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่ผิวเปลือกส้มโอที่ อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ กัน โดยใช้เทคนิค NIRS โดยตรวจสอบที่ผลโดยตรงโดยเป็นวิธีไม่ทำลาย..... | 101 |
| 5.2 เพื่อวิเคราะห์ให้ทราบถึงชนิดของน้ำมันในเปลือกส้มโอที่มีประโยชน์ ทางการแพทย์ ด้านธุรกิจความงามและด้านสุขภาพ..... | 102 |
| 5.3 เพื่อสามารถบอกอายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาที่ให้ปริมาณ องค์ประกอบที่มีค่าสูงสุดได้..... | 102 |
| 5.4 ข้อเสนอแนะ..... | 103 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 104 |
| ภาคผนวก..... | 109 |
| ภาคผนวก ก ตารางแผนการดำเนินงานวิจัย..... | 110 |
| ภาคผนวก ข โครงสร้างขององค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยที่สำคัญ..... | 111 |
| ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยด้วย GC-MS..... | 113 |
| ภาคผนวก ง ผลงานวิจัยที่ได้เผยแพร่..... | 142 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 146 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 สถิติการส่งออกส้มโอของประเทศไทย..... | 1 |
| 2.1 คุณค่าทางอาหารของส้มโอ ต่อปริมาณ 100 กรัม..... | 7 |
| 2.2 ปฏิทินการปฏิบัติดูแลและรักษาสวนส้มโอ..... | 8 |
| 2.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้บางชนิด..... | 10 |
| 2.4 ช่วงคลื่นแม่เหล็กย่านอินฟราเรด..... | 21 |
| 2.5 ตัวอย่างการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %)...... | 33 |
| 2.6 การแปลความหมายของค่า r และ r ² | 35 |
| 2.7 รูปแบบของความชื้น..... | 36 |
| 2.8 การกำหนด True Test Error..... | 39 |
| 4.1 ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขนาน้ำผึ้ง ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ | 59 |
| 4.2 กลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ พันธุ์ขนาน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ | 60 |
| 4.3 ค่าทางสถิติของชุด Calibration และชุด Prediction ขององค์ประกอบ น้ำมันหอมระเหยที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 62 |
| 4.4 ผลของ PLS regression ของแต่ละองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย จากเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 62 |
| 4.5 ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขนาน้ำผึ้ง ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 81 |
| 4.6 กลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ ขนาน้ำผึ้งที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 83 |
| 4.7 ค่าทางสถิติของชุด Calibration และชุด Prediction ขององค์ประกอบ น้ำมันหอมระเหยที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 84 |
| 4.8 ผลของ PLS regression ของแต่ละองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย จากเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 85 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 เปลือกส้มโอที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์..... | 3 |
| 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่อง GC..... | 16 |
| 2.2 คอลัมน์ชนิดต่างๆ..... | 16 |
| 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่อง MS..... | 17 |
| 2.4 จำนวนจุดทั้งสองด้าน ($m = 2, n = 5$) ของการเฉลี่ย..... | 24 |
| 2.5 Segment size และ Gap size ที่กำหนดในสเปคตรัมเพื่อคำนวณ Derivative..... | 26 |
| 2.6 First Derivative และ Second Derivative เปรียบเทียบกับสเปคตรัมเดิม..... | 27 |
| 2.7 การปรับแต่งสเปคตรัมโดยใช้ MSC..... | 28 |
| 2.8 ตัวอย่างของประเภทความชัน..... | 36 |
| 3.1 ส้มโอที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย wax..... | 44 |
| 3.2 แผนผังแสดงการดำเนินการทดลอง..... | 44 |
| 3.3 FQA-NIR Gun..... | 45 |
| 3.4 สแกนผลส้มโอด้วย FQA NIR Gun..... | 46 |
| 3.5 เปลือกส้มโอ..... | 47 |
| 3.6 อุปกรณ์บีบน้ำมันจากเปลือกส้มโอ..... | 47 |
| 3.7 เครื่อง Micro centrifuge..... | 47 |
| 3.8 Micro centrifuge tube..... | 48 |
| 3.9 Micropipette และ Tip..... | 48 |
| 3.10 ตู้อบ Hot Air Oven..... | 48 |
| 3.11 โถดูดความชื้น..... | 49 |
| 3.12 อุปกรณ์การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น..... | 49 |
| 3.13 ผังการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น..... | 50 |
| 3.14 อิมัลชัน..... | 51 |
| 3.15 เครื่องเหวี่ยงแยกชั้น Micro centrifuge..... | 51 |
| 3.16 น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่แยกชั้น..... | 51 |
| 3.17 ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยในขวด vial..... | 52 |
| 3.18 เครื่อง GC..... | 52 |
| 3.19 เครื่อง MS..... | 53 |

สารบัญภาพ(ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.20 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง GC-MS..... | 54 |
| 4.1 ปริมาณองค์ประกอบของ Limonene ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 58 |
| 4.2 ปริมาณองค์ประกอบของ Alpha-pinene, Beta-pinene, Myrcene, beta-phellandrene และ Germacrene ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 58 |
| 4.3 กลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 60 |
| 4.4 สเปกตรัม NIR เดิมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 63 |
| 4.5 สเปกตรัม NIR (2 nd derivative) ของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 64 |
| 4.6 ผลการทำนาย Beta-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 64 |
| 4.7 Regression coefficient ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 65 |
| 4.8 X-loading weight plot ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 66 |
| 4.9 ผลการทำนาย Limonene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 66 |
| 4.10 Regression coefficient ของ Limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 67 |
| 4.11 X-loading weight plot ของ Limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 68 |
| 4.12 ผลการทำนาย Alpha-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 69 |
| 4.13 Regression coefficient ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 69 |
| 4.14 X-loading weight plot ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 70 |
| 4.15 ผลการทำนาย Beta-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 70 |
| 4.16 Regression coefficient ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 71 |
| 4.17 X-loading weight plot ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 72 |
| 4.18 ผลการทำนาย Alpha-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 72 |
| 4.19 Regression coefficient ของ Alpha-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 73 |

สารบัญญภาพ(ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.20 X-loading weight plot ของ Alpha-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 73 |
| 4.21 ผลการทำนาย Myrcene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของ เปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 75 |
| 4.22 Regression coefficient ของ Myrcene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 75 |
| 4.23 X-loading weight plot ของ Myrcene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ..... | 76 |
| 4.24 ปริมาณองค์ประกอบ Nootkatone ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 77 |
| 4.25 ปริมาณองค์ประกอบ Limonene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 78 |
| 4.26 ปริมาณองค์ประกอบ Geranial ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 78 |
| 4.27 ปริมาณองค์ประกอบ Alpha-pinene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 79 |
| 4.28 ปริมาณองค์ประกอบ Beta-pinene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 79 |
| 4.29 ปริมาณองค์ประกอบ Beta-phellandrene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 80 |
| 4.30 ปริมาณองค์ประกอบ Alpha-phellandrene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 80 |
| 4.31 กลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 83 |
| 4.32 สเปกตรัม NIR เดิมของผลส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 86 |
| 4.33 สเปกตรัม NIR (2 nd derivative) ของผลส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 86 |
| 4.34 ผลการทำนาย Nootkatone เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือก ส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 87 |
| 4.35 Regression coefficient ของ Nootkatone ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 88 |
| 4.36 X-loading weight plot ของ Nootkatone ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 88 |
| 4.37 ผลการทำนาย Geranial เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือก ส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 89 |
| 4.38 Regression coefficient ของ Geranial ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 90 |
| 4.39 X-loading weight plot ของ Geranial ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 90 |
| 4.40 ผลการทำนาย Beta-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือก ส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 91 |
| 4.41 Regression coefficient ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 92 |

สารบัญญภาพ(ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.42 X-loading weight plot ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 92 |
| 4.43 ผลการทำนาย Germacrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือก ส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 93 |
| 4.44 Regression coefficient ของ Germacrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 94 |
| 4.45 X-loading weight plot ของ Germacrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 94 |
| 4.46 ผลการทำนาย limonene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือก ส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 95 |
| 4.47 Regression coefficient ของ limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 96 |
| 4.48 X-loading weight plot ของ limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 96 |
| 4.49 ผลการทำนาย Alpha-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือก ส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 97 |
| 4.50 Regression coefficient ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 98 |
| 4.51 X-loading weight plot ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 98 |
| 4.52 ผลการทำนาย Beta-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือก ส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 99 |
| 4.53 Regression coefficient ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 100 |
| 4.54 X-loading weight plot ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ..... | 100 |

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

| | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|-------------------------------|
| FQA | Fruit Quality Analysis | r | Coefficient of correlation |
| g | gram | RPD | Ratio of SEP to the SD |
| GC | Gas Chromatography | R.T. | Retention Time |
| IU | International Unit | RER | Ratio of the SEP to the range |
| kcal | kilocalorie | SD | Standard Deviation |
| LED | Light-Emitting Diode | SEP | Standard error of prediction |
| MS | Mass spectrometry | SEC | Standard error of calibration |
| mg | Milligram | S.Golay | Savitzky-Golay |
| ml | Milliliter | μ l | Microlitre |
| MSC | Multiplicative Scatter Correction | μ m | Micrometer |
| n | Number | % w/w | Percent weight by weight |
| nm | Nanometer | $^{\circ}$ C | Degree Celsius |
| NIRS | Near Infrared Spectroscopy | α - | Alpha- |
| NaCl | Sodium Chloride | β - | Beta- |
| Na ₂ SO ₄ | Sodium Sulfate | γ - | Gamma- |
| PCA | Principal Components Analysis | | |
| PCR | Principal Components Regression | | |
| PLS | Partial Least Square | | |

รายการความหมายศัพท์ภาษาอังกฤษที่เกี่ยวข้อง

| | | |
|-----------------------------|---------|---|
| Calibration | หมายถึง | การเทียบมาตรฐาน เช่น การสร้างแบบจำลอง |
| Combination | หมายถึง | การเกิดการสั่นของพันธะโมเลกุลอย่างน้อย 2 ชนิดพร้อมๆกัน |
| Diffuse reflectance | หมายถึง | การสะท้อนหลังจากที่คลื่นผ่านลงไปใ้ในเนื้อวัสดุบางส่วน |
| Interactance | หมายถึง | การส่งคลื่นไปยังตัวอย่างโดยมีตัวตรวจรับอยู่ภายในหัวเดียวกัน เช่น fiber optic |
| Reference Laboratory Method | หมายถึง | วิธีหาค่าอ้างอิงทางห้องปฏิบัติการ |
| Microcentrifuge | หมายถึง | เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารขนาดเล็ก |
| Micropipette | หมายถึง | เครื่องดูดสารที่เป็นของเหลวขนาดเล็ก |
| Overtone | หมายถึง | การกระโดดข้ามระดับพลังงานมากกว่าระดับพื้นฐานอย่างน้อย 1 ระดับ |
| Spectrometer | หมายถึง | เครื่องมือแยกคลื่นเป็นความยาวคลื่นต่างๆ |
| Transmission | หมายถึง | การส่งผ่านคลื่น |
| Validation | หมายถึง | การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้น |
| Vial | หมายถึง | ขวดขนาดเล็ก |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

ส้มโอเป็น ไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้นๆ ของประเทศ นิยมบริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยวขึ้นอยู่กับพันธุ์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นไม้ผลที่มีศักยภาพในการส่งออก เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ อีกทั้งส้มโอเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนา ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสียคุณภาพ ทนทานต่อการกระทบกระเทือนระหว่างขนส่งได้ในระยะทางไกล โดยเฉพาะการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ ดังนั้นจึงเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตเพื่อการส่งออก ประเทศไทยส่งออกส้มโอปีละประมาณ 6,500-11,000 ตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าถึง 100-130 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2544-2551 [1] ตลาดภายในประเทศ ได้แก่ ตลาดท้องถิ่นในจังหวัดต่าง ๆ และตลาดชายฝั่งสี่มุมเมือง ตลาดต่างประเทศมีความต้องการส้มโอในปริมาณที่มากเนื่องจากส้มโอไทยมีรสชาติดีได้แก่ ประเทศยุโรป เช่น อังกฤษ เนเธอร์แลนด์ เยอรมัน ฝรั่งเศส สวิสเซอร์แลนด์ เบลเยียม สาธารณรัฐเชค ประเทศเอเชีย เช่น อินโดนีเซีย จีนฮ่องกง สิงคโปร์ อินเดีย ลาว พม่า เวียดนาม ประเทศในทวีปอเมริกา เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ปัจจุบันตลาดต่างประเทศเริ่มขยายไปทางตะวันออกกลาง เช่น สาธารณรัฐอาหรับ การส่งออกส่วนใหญ่จะส่งออกในระหว่างเดือนกันยายน – ตุลาคม ส้มโอที่ส่งออกและเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศคือพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ตารางที่ 1.1 สถิติการส่งออกส้มโอของประเทศไทย [1]

| ปี พ.ศ. | ปริมาณ (ตัน) | มูลค่า (ล้านบาท) |
|---------|--------------|------------------|
| 2544 | 6,573 | 101.531 |
| 2545 | 7,517 | 101.387 |
| 2546 | 7,609 | 108.253 |
| 2547 | 7,313 | 102.039 |
| 2548 | 6,255 | 99.455 |
| 2549 | 9,387 | 132.905 |
| 2550 | 11,217 | 109.218 |
| 2551 | 10,051 | 119.209 |

ปัจจุบันในการเก็บเกี่ยวผลส้มโอเกษตรกรต้องอาศัยความชำนาญในการสังเกตสีผิว ต่อมาน้ำมันขนาด และการนับวันหลังจากดอกบาน ซึ่งยังไม่มีความแน่นอนมากนัก หรือบางครั้งเก็บเกี่ยวตามความต้องการของตลาดเพื่อให้ได้ราคาสูง แต่ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวอาจยังไม่สุกแก่หรืออาจจะสุกแก่มากเกินไป จนทำให้คุณภาพของส้มโอในการส่งออกไม่ดีเท่าที่ควร และส่วนใหญ่มักมีปัญหาขาดแคลนเทคโนโลยีในการผลิตและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่ตรงกับมาตรฐานการส่งออก [2] เนื่องจากส้มโอเป็นผลไม้ตระกูลส้มที่มีคุณสมบัติเฉพาะคือบ่มไม่สุก [3]

งานวิจัยนี้เห็นความสำคัญของปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันที่ผิวเปลือกของผลส้มโอ ซึ่งตามรายงานวิจัยของส้มชนิดอื่น ปริมาณและคุณภาพของน้ำมันที่ผิวเปลือกของผลส้ม มีความสัมพันธ์กับความสุกแก่ของผลส้ม [4][5][6] นอกจากนี้ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทยได้ทำการสำรวจการใช้ น้ำมันหอมระเหยในปี พ.ศ. 2547 พบว่ามีมูลค่าสูงถึง 3.3 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งในช่วงเวลานั้นสพายังไม่ได้รับความนิยมนักเท่าปัจจุบัน ถ้าเป็นในวันนี้ตัวเลขการซื้อน้ำมันหอมระเหยจากต่างประเทศคาดว่าจะสูงถึงหลัก 5 ล้านดอลลาร์ เพราะเวลานี้ธุรกิจสปาเติบโตสูงมาก ซึ่งน้ำมันจากเปลือกส้มจะออกฤทธิ์ต่อสุขภาพ ช่วยลดการซึมเศร้า ระวังเชื้อ คลายการเกร็งของกล้ามเนื้อ ขับลม ช่วยย่อย ลดไข้ ทำให้สงบ ปรับธาตุบำรุงร่างกาย ทั้งนี้ น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มยังมีประโยชน์ทางการแพทย์คือ เรื่องของผิวพรรณช่วยในการสร้างคอลลาเจนและเนื้อเยื่อรักษาแผลต่างๆ ลดริ้วรอยความเหี่ยวย่น น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอยังใช้ดมแก้อาการเป็นลม วิงเวียนได้ [7] น้ำมันจากเปลือกส้มโอปริมาณมากมีความต้องการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมปรุงแต่งรสชาติอาหาร เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์ยา น้ำหอมและเครื่องสำอาง [8] ส้มโอเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยวิตามิน C และโปแตสเซียม และยังมีน้ำมันจากเปลือกส้มโอจำนวนมากอยู่ด้วย โดยเปลือกส้มโอถูกสกัดเพื่อใช้สำหรับทำยา บรรเทาอาการไอ แผลพุพอง ลดการบวมและโรคลมชัก เพราะคุณสมบัติของสารหอมระเหยจากส้มโอได้ถูกรายงานว่ากระตุ้นกระบวนการเผาผลาญไขมันในร่างกาย เป็นหนึ่งในการต่อต้านโรคร้าย [9] เปลือกส้มโอยังพบว่าสารLimonene ในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้ม ช่วยต่อต้านมะเร็ง หรือเนื้อร้าย [10] และยังสามารถสกัดนำมาใช้เป็นสารให้รสชาติของของหวานและน้ำผลไม้ ทำเป็นส่วนประกอบของน้ำหอม [11] และใช้เป็นสารยับยั้งการรวมตัวของออกซิเจน (Antioxidant) ธรรมชาติ ลดการเหม็นหืนของน้ำมันที่ใช้เป็นอาหาร [12] แทนสารยับยั้งการรวมตัวของออกซิเจน ที่สังเคราะห์ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ [13] น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มร่วมกับสารสกัดจากขมิ้นและโคโคแซนใช้ในการควบคุมโรคเน่าราสีเขียวของส้ม เชื้อรา *Penicillium digitatum* [14]

การวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS ในการตรวจสอบปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันที่ผิวเปลือกของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งโดยไม่ทำลาย ซึ่งคาดว่าจะสามารถประมาณอายุการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาที่ให้ปริมาณของน้ำมันที่ผิวเปลือกส้มโอสูงและมีคุณภาพดี ซึ่งผลที่เกิดขึ้นจะทำให้สามารถนำเปลือกส้มโอซึ่งเป็นของเหลือทิ้งมาใช้ได้อย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์อย่างสูง เป็นทาง

หนึ่งที่จะทำให้เกิดการผลิตน้ำมันตราของประเทศไทยที่มีคุณภาพสูงจากเปลือกส้มโอเพื่อใช้ในการแพทย์ ธุรกิจสปา ความงามและสุขภาพ ซึ่งนอกจากจะนำประโยชน์สู่เกษตรกรซึ่งเป็นระดับฐานรากของประเทศและทำให้เศรษฐกิจของประเทศโดยรวมดีขึ้นแล้วยังเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ (ซึ่งนับวันจะมีราคาถูกลง รวดเร็ว ใช้แรงงานคนน้อยและไม่ต้องการความชำนาญพิเศษ) กับการเกษตรซึ่งส่งผลต่อวงการแพทย์ ธุรกิจสปา ความงามและสุขภาพ และการส่งออกของประเทศ



ภาพที่ 1.1 เปลือกส้มโอที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่ผิวเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ กัน โดยใช้เทคนิค NIRS โดยตรวจสอบที่ผลโดยตรงโดยเป็นวิธีไม่ทำลาย

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ให้ทราบถึงชนิดของน้ำมันในเปลือกส้มโอที่มีประโยชน์ทางการแพทย์ ด้านธุรกิจความงามและด้านสุขภาพ เพื่อการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2.3 เพื่อสามารถบอกอายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาที่ให้ปริมาณองค์ประกอบที่มีค่าสูงสุดได้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เปลือกส้มโอ ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ กับสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่น NIR ของผลส้มโอที่ได้จากการวัด

ด้วยเครื่อง FQA NIR GUN สามารถนำมาทำนายปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เปลือกส้มโอได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 การศึกษาปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่ระยะการเก็บเกี่ยว 4 ช่วงอายุ คือ 190, 200, 210 และ 220 วันหลังดอกบาน

1.4.2 การศึกษาปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่เปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่ระยะการเก็บรักษาที่ 9 อายุการเก็บรักษา คือ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน

1.4.3 ตรวจสอบปริมาณน้ำมันที่ผิวเปลือกของผลส้มโอโดยใช้คุณสมบัติเชิงแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยเครื่อง NIR Spectrophotometer การทำงานแบบ interactance ของคลื่นที่มีช่วงคลื่น 600-1,100 nm

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 การสุ่มตัวอย่างส้มโอ 4 อายุการเก็บเกี่ยว 190, 200, 210 และ 220 วันหลังดอกบานและผลส้มโอที่เตรียมส่งออกที่เก็บเกี่ยวผลที่ 210 วันหลังดอกบาน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ที่อายุการเก็บรักษา 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน

1.5.2 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible) และช่วง NIRS ที่ผิวเปลือกส้มโอระหว่าง 600-1,100 nm

1.5.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น (Cold-press) แล้ววิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่อง GC-MS

1.5.4 การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงแสงที่มองเห็นได้ และช่วง NIRS ของผลส้มโอกับปริมาณองค์ประกอบต่างๆของน้ำมันหอมระเหย ที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

1.5.5 ทำนายองค์ประกอบต่างๆ ของน้ำมันหอมระเหย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.6.1 ได้แบบจำลองและเทคนิคทาง NIRS ที่สามารถใช้ในการประเมินปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันที่ผิวเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ กัน ของส้มโอพันธุ์ส่งออก ได้แก่ พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีโดยตรวจสอบที่ผลโดยตรงโดยไม่ทำลายตัวอย่าง

1.6.2 ทำให้บริษัทผู้ส่งออกน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอสามารถมั่นใจในคุณภาพของวัตถุดิบ (เปลือกส้มโอ) ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของ น้ำมันหอมระเหยตราของประเทศไทยมีคุณค่าสูง

1.6.3 ได้นำเทคนิควิธีในข้อ 1.6.1 ที่สามารถถ่ายทอดให้เกษตรกร (โดยผ่านทางกรมส่งเสริมการเกษตร) หรือ บริษัทผู้ส่งออกส้มโอ ทำให้เพิ่มความสามารถในการคัดคุณภาพผลผลิตที่มีน้ำมันในปริมาณมากและคุณภาพสูง ทำให้เกษตรกรมีรายได้จากการจำหน่ายส้มโอหรือเปลือกส้มโอสูงขึ้น

บทที่ 2

วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้มโอ

ส้มโอ เป็นชื่อภาษาไทยที่ใช้เรียกกัน โดยทั่วไป แต่ในบางท้องถิ่นจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไป เช่น ภาคเหนือเรียกส้มโอว่า มะขุน หรือ มะโอ ส่วนภาคใต้โดยเฉพาะในจังหวัดที่มีชาวมุสลิมอาศัยอยู่มากเรียกส้มโอว่า ลิมาบาหลิ ซึ่งเป็นภาษามลายู มาจากคำว่า Limau Bali แปลว่า ส้มโอ ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ pummelo หรือ pomelo แผลงมาจากภาษาดัตช์ว่า pummelose ชื่อทางพฤกษศาสตร์ *Citrus maxima* (J.Burm) Merr. อยู่ในวงศ์ Rutaceae [15]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ [16]

ลำต้น ส้มโอเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง มีความสูงประมาณ 6-10 เมตร แต่ถ้าปลูกในที่เหมาะสมจะมีอายุมาก อาจสูงถึง 15 เมตร ทรงต้นโปร่ง ลำต้นใหญ่ กิ่งใหญ่ กิ่งก้านสาขาที่แตกจะห้อยลงเป็นทรงพุ่มสวยงาม บางครั้งมีหนามตามลำต้น ยิ่งถ้าปลูกด้วยเมล็ดจะมีหนามแข็งยาว 1-5 เซนติเมตร

ใบ มีใบเป็นรูปไข่ หรือรูปไข่ ยาว 4-5 เซนติเมตร กว้าง 2-12 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนแรกเรียกว่า ตัวใบ ตอนก้านใบเรียกหูใบ สีของใบด้านบนเขียวเข้ม เป็นมัน ด้านล่างเป็นสีเขียวอ่อนมีขนอ่อนนุ่มปกคลุม ริมใบเรียบหรือหยักเล็กน้อย เส้นใบนูนเด่นชัด

ดอก ออกตอนปลายของกิ่ง เกิดบริเวณซอกใบ ลักษณะเป็นช่อจัดเป็นชนิดดอกเดี่ยว แต่ละช่อดอกมีจำนวน 2-10 ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-7 เซนติเมตร ส่วนประกอบของดอกมีชั้นกลีบเรียงอยู่นอกสุดจำนวน 4-5 กลีบ ในลักษณะเชื่อมติดกัน ถัดเข้าไปเป็นชั้นของกลีบดอก ต่อเข้าไปเป็นชั้นเกสรตัวผู้ เชื่อมติดกันเป็นกลุ่มๆ ประมาณ 4-5 กลุ่ม รวมจำนวนเกสรตัวผู้ประมาณ 20-25 อัน และชั้นในสุดเป็นเกสรตัวเมีย เป็นที่อยู่ของรังไข่ซึ่งมี 11-16 ช่อง เมื่อดอกบานมีกลิ่นหอม

ผล ผลส้มจัดเป็นผลแบบเบอร์รี่ (berry) ชนิดมีเปลือกอ่อนหุ้มภายในผล (hesperidium) ซึ่งเจริญมาจากส่วนของไข่โดยตรง มีจำนวนประมาณ 10 กลีบ เชื่อมติดกันเป็นวงกลมล้อมอยู่รอบแกนกลาง (central axis) ส่วนของผนังรังไข่จะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อหุ้มเมล็ด (pericarp) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ชั้น คือ เนื้อชั้นนอก (exocarp) มีชื่อเรียกพิเศษว่า flavedo มีต่อมน้ำมัน (oil gland) อยู่เป็นจำนวนมาก เนื้อเยื่อส่วนกลาง (mesocarp) มีชื่อเรียกพิเศษว่า albedo และเนื้อชั้นในของผลไม้ (endocarp) จัดเป็นชั้นในสุดของ pericarp คือเยื่อของเกสรตัวเมีย (carpel membrane) ของกลีบผล เซลล์ผนัง

ด้านในของชั้นนี้เมื่อมีการพัฒนาของผล จะมีการแบ่งเซลล์และขยายตัวออกกลายเป็นเนื้อกึ่ง (juice sac) ทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำตาล กรด และสารอาหารต่างๆ [17]

เมล็ด มีเมล็ดค่อนข้างใหญ่ แบน เปลือกย่น ร่องเมล็ดลึก มีสีขาวอมเหลือง อยู่รวมกันตรงกลางผลรอบๆแกน หนึ่งเมล็ดสามารถเพาะได้ต้นกล้า 1 ต้น [16]

2.1.2 พันธุ์ส้มโอ

การแบ่งอาจแบ่งกลุ่มพันธุ์ตามลักษณะการค้า ได้แก่ พันธุ์การค้าหลัก มี 6 พันธุ์ คือ ขาวพวง ขาวแป้น ขาวทองดี ขาวน้ำผึ้ง ขาวใหญ่ และขาวหอม ส่วนพันธุ์การค้าเฉพาะแห่ง มี 6 พันธุ์ คือ บัตตาเวีย ขาวแดงกวา ขาวแก้ว กรุ่น ท่าข่อย และบางขุนนนท์ [18] ส่วนส้มโอที่ส่งออกและเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศมีอยู่ 3 พันธุ์คือ พันธุ์ขาวหอม ขาวน้ำผึ้ง และขาวใหญ่ [19] โดยเฉพาะส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่มีลักษณะผลใหญ่ ทรงผลกลมไม่มีจุก ก้นผลเรียบถึงเว้าเล็กน้อย ผิวมีสีเขียวเข้ม ต่อม้ำมันที่ผิวมีขนาดใหญ่ขึ้นเวลาจับที่ผิวจะรู้สึกแข็ง ส่วนเปลือกค่อนข้างหนา กุ้งลอกผนังกลีบออกได้ง่าย กุ้งมีสีเหลืองอ่อนถึงชมพูอ่อน ขนาดใหญ่เบียดกันแน่น เนื้อมีลักษณะแห้ง กรอบ รสออกหวานอมเปรี้ยว เมล็ดจำนวนน้อย ถ้าเป็นช่วงนอกฤดูจะไม่มีเมล็ด เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตทั้งปี ปลูกมากในเขตอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยกำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคในปัจจุบัน แต่พื้นที่ปลูกยังมีน้อย ราคาจึงค่อนข้างสูง [20]

2.1.3 ประโยชน์ของส้มโอ

ส้มโอเป็นผลไม้ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ส่วนเปลือกสามารถนำเอาเชื่อมเป็นขนมหวานจนทำให้เป็นของฝากขึ้นชื่อของจังหวัดเพชรบุรีแล้ว ใบและผิวเปลือกยังมีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพรอีกด้วย [21] ผลมีสรรพคุณ ละลายเสมหะ แก้ไอ บำรุงกระเพาะ ช่วยย่อยอาหาร

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของส้มโอ ต่อปริมาณ 100 กรัม [22]

| คุณค่าทางอาหาร ต่อปริมาณ 100 กรัม | | | |
|-----------------------------------|---------|--------------|---------|
| พลังงาน | 39 kcal | โปรตีน | 0.7 g |
| ไขมัน | 0.3 g | คาร์โบไฮเดรต | 9.5 g |
| ใยอาหาร | 9.9 g | แคลเซียม | 27.0 mg |
| ฟอสฟอรัส | 22.0 g | ธาตุเหล็ก | 0.5 mg |
| วิตามินเอ | 50.0 IU | วิตามินซี | 53.0 mg |

2.1.4 การปลูกส้มโอ

สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมคือ ในดินที่ระบายน้ำได้ดี มีค่า pH ประมาณ 5.5-6.6 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1500-2000 มิลลิเมตร/ปี อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส โดยนิยมปลูกที่ระยะปลูก 6X6 เมตร ในช่วงต้นฤดูฝน เพื่อให้ต้นส้มโอตั้งตัวได้เร็ว จากนั้นดูแลรักษาด้วยการให้น้ำ 3-5 วัน/ครั้ง กำจัดวัชพืช และบำรุงด้วยปุ๋ยอินทรีย์ กับปุ๋ยวิทยาศาสตร์ 3-4 ครั้ง/ปี แล้วแต่ช่วงของการเจริญเติบโต ควรมีการตัดแต่งกิ่งกระโดง และกิ่งที่มีการทำลายของโรคแมลงออก หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว จะทำให้มีทรงพุ่มที่ดี ออกดอกกระจายสม่ำเสมอ และยังช่วยลดการระบาดของศัตรูพืช เนื่องจากทำลายกิ่งที่มีโรค [23] สามารถปลูกได้ดีในดินเกือบทุกชนิดที่ระบายน้ำได้ดี ซึ่งปัจจุบันสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ โดยจะเริ่มให้ผลผลิตหลังจากการปลูกด้วยกิ่งตอนประมาณในปีที่ 4 ซึ่งจะให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 15 ปี สามารถเก็บเกี่ยวผลแก่ได้ระหว่าง 240-250 วัน หลังจากดอกบาน ซึ่งจะอยู่ในช่วงปลายเดือนสิงหาคม-ตุลาคม [24]

ตารางที่ 2.2 ปฏิทินการปฏิบัติดูแลและรักษาสวนส้มโอ [24]

| ช่วงเดือน | กิจกรรมในการปฏิบัติ |
|------------------|--|
| มกราคม-มีนาคม | ดูแลช่อดอกที่เริ่มบานติดผลต้องให้น้ำสม่ำเสมอและฉีดยาป้องกันแมลง |
| เมษายน | เริ่มตัดแต่งผลอ่อนกำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยสูตร 15-15-15 |
| พฤษภาคม-มิถุนายน | ดูแลผลหลังจากตัดแต่ง โดยฉีดยาป้องกันและกำจัดแมลง |
| กรกฎาคม | ดูแลบำรุงผลโดยการใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 |
| สิงหาคม-ตุลาคม | งดให้น้ำ 1 สัปดาห์ ก่อนเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิต และใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 |
| พฤศจิกายน | ตัดแต่งกิ่ง ดูแลโดยการฉีดยาป้องกันโรคและกำจัดแมลง |
| ธันวาคม | เริ่มสร้างตาออก ดูแลโดยให้น้ำปกติ และใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 |

2.1.5 การเก็บเกี่ยวผล [24]

ส้มโอจะให้ผลเมื่ออายุ 3-4 ปี ช่วงออกดอกและติดผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8-9 เดือน การเก็บเกี่ยวให้พิจารณาจากขนาด สีผล โดยสีจะจางลงจากสีเขียวเป็นสีเขียวอมเหลือง ต่อมาน้ำมันจะห่างและจางลง บริเวณปลายผลจะแบน และนิ่มเมื่อใช้มีดกด การเก็บเกี่ยวในกรณีที่ผลยังไม่สูงนักก็ใช้มือปลิด ใช้จ่าปาสอย ใช้ขอติดแบบเชือกกระตุกต่อด้ามหรือใช้เครื่องเก็บแบบกวศ.1 ซึ่งสามารถตัดผลตามซอกมุมต่าง ๆ ของต้นได้ดี และจำนวนผลร่วงหล่น บอบขำมีน้อย จากนั้นก็ขนส่งมายังโรงเรือนเพื่อตัดขนาด รอการจำหน่ายต่อไป

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว [24]

1. คัดผลที่มีตำหนิ เช่น ผลขำมีบาดแผลจากการเก็บเกี่ยว มีร่องรอยการทำลายของโรคแมลง ทำความสะอาดโดยใช้ผ้าสะอาดชุบน้ำเช็ดให้ทั่วผล เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและคราบสารเคมี

ออกให้หมด หลังจากนั้น ผึ่งให้แห้ง และถ้ามีการเคลือบผิวส้มโอด้วยไข ก็จะทำให้ผิวสวยยิ่งขึ้น ซึ่งยังช่วยยืดอายุการวางขายได้นานขึ้น พร้อมทั้งมีการคัดขนาดหรือคัดเกรดของผลส้มโอด้วย

2. การเก็บรักษา ในสภาพที่เหมาะสมคือ ใช้อุณหภูมิประมาณ 13-15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ทำให้ส้มโอคงสภาพอยู่ได้ประมาณ 2 เดือน ในกรณีที่เป็นส้มที่ผ่านการเคลือบไขมาแล้ว สามารถเก็บไว้ในอุณหภูมิปกติได้ประมาณ 1 เดือน

2.1.6 ตลาดส้มโอ [24]

ตลาดภายในประเทศ ได้แก่ ตลาดท้องถิ่นในจังหวัดต่าง ๆ และตลาดขายส่งสี่มุมเมือง ตลาดต่างประเทศ ได้แก่ ประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อเมริกา แคนาดา และในยุโรปฮ่องกง สิงคโปร์ก็มีการนำเข้าส้มโอจากไทยมาก ปัจจุบันตลาดต่างประเทศเริ่มขยายไปทางตะวันออกกลาง เช่น บาร์เรน ซาอุดีอาระเบีย คูเวต โอมาน สำหรับตลาดฮ่องกงยังมีความต้องการส้มโอในปริมาณที่มากเนื่องจากส้มโอไทยมีรสชาติดี การส่งออกส่วนใหญ่จะส่งออกในระหว่างเดือนกันยายน - ตุลาคม ส้มโอที่ส่งออกและเป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศมีอยู่ 3 พันธุ์คือ พันธุ์ขาวหอม ขาวน้ำผึ้ง และขาวทองดี

2.1.7 ปัญหาในการผลิตส้มโอ

ปัจจุบันการผลิตส้มโอส่งออกมักประสบปัญหาการทำลายของแมลงศัตรูพืชจำพวก ผีเสื้อมวนหวาน แมลงวันทองและหนอนเจาะผลที่เข้าดูดกินน้ำหวานผลสุก หรือที่ความสุกแก่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ จนก่อให้เกิดความเสียหายมากทั้งด้านปริมาณและคุณภาพแล้ว ปัญหาสำคัญคือการเก็บเกี่ยวผลส้มโอตามความต้องการของตลาดกำหนดให้ต้องมีความสุกแก่ 70 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และความหวานต้องมากกว่า 8 องศาบริกซ์ [3] ซึ่งในสภาพจริงการประมาณอายุในการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ความสุกแก่ที่ต้องการนั้นค่อนข้างลำบาก และส้มโอเป็นผลไม้ตระกูลส้มที่มีคุณสมบัติเฉพาะคือบ่มไม่สุก โดยปัจจุบันในการเก็บเกี่ยวผลส้มโอเกษตรกรต้องอาศัยความชำนาญในการสังเกตสีผิว ต่อม้ำมัน ขนาด และการนับวันหลังจากดอกบาน ซึ่งยังไม่มีความแน่นอนมากนัก หรือบางครั้งเก็บเกี่ยวตามความต้องการของตลาดเพื่อให้ได้ราคาสูง แต่ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวอาจยังไม่สุกแก่หรืออาจจะสุกแก่มากเกินไป จนทำให้คุณภาพของส้มโอในการส่งออกไม่ดีเท่าที่ควร และส่วนใหญ่ มักมีปัญหาขาดแคลนเทคโนโลยีในการผลิตและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่ตรงกับมาตรฐานการส่งออก [23]

ตารางที่ 2.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้บางชนิด [25]

| ชนิดพืช (ตระกูลส้ม) | ดัชนีการเก็บเกี่ยว | |
|---------------------|------------------------|--|
| | ระยะเวลา หลังดอกบาน | ดัชนีอื่นๆ |
| ส้มเขียวหวาน | 9.5-10.5 เดือน | เริ่มมีสีเหลือง, 8.0-8.8% ปริกซ์ |
| ส้มตรา | 7.5-8.5 เดือน | ผิวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลืองไม่เกิน 30% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด, 9.5-10.0% ปริกซ์ |
| ส้มโอ “ขาวแป้น” | 7-7.5 เดือน | ค่อนน้ำมันบริเวณก้นผลจะขยายใหญ่และห่างกัน มากขึ้น, ผิวเปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวเข้มเป็น สีเขียวมเหลือง, น้ำหนักผลจะเพิ่มมากขึ้น, (โดย ใช้มือรองก้นผลยกขึ้น) และถ้าใช้มือกดที่ก้นผล จะยุบตัวเข้าไปได้มาก |
| ส้มโอ “ขาวน้ำผึ้ง” | 7-7.5 เดือน | |
| ส้มโอ “ทองดี” | 8 เดือน | |

2.2 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่พืชผลิตขึ้นตามธรรมชาติ เก็บไว้ตามส่วนต่างๆ เช่น เมล็ดกลีบดอก ผิวของผล เปลือก เกสร ราก หรือเปลือกของลำต้น มักมีกลิ่นหอมระเหยง่าย เวลาที่ได้รับความร้อนจากอนุภาคเล็กๆ ของน้ำมันหอมระเหยจะระเหยออกมาเป็นไอ ทำให้เราได้กลิ่นหอม

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย [26]

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารประกอบที่ระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน (Aromatic compounds) ซึ่งแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามองค์ประกอบที่เป็นโครงสร้างในโมเลกุล ดังนี้

2.2.1.1 Hydrocarbons ได้แก่ Terpenes และ Sesquiterpenes ซึ่งอาจเรียกว่า Terpenoid essential oil ซึ่งอาจเป็นสารประกอบประเภท ketones, aldehydes, alcohols, phenols, terpene (monoterpene, diterpene), ester

Terpenoid essential oil แบ่งได้เป็น

1. Ketonic volatile oils มีสารคีโตนเป็นองค์ประกอบหลัก สารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติเสริมสร้างเนื้อเยื่อ ลดการอักเสบ แต่อาจเป็นพิษต่อระบบประสาท ควรระวังและห้ามใช้ในสตรีมีครรภ์

2. Aldehyde volatile oils มีสารแอลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ citral, citronellal, neral และ geranial สารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อโรค (antiseptic) ลดการอักเสบ ลดความดัน ขยายหลอดเลือด สารกลุ่มนี้อาจทำให้แพ้หรือระคายเคืองได้ จึงควรระวัง

3. Alcoholic volatile oils (Terpene alcohol) มีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ Linalol, borneol, citronellol, geraniol, santalol, estragol สารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อโรค ด้านไวรัส กระจุน และสมานผิว สารกลุ่มนี้มักไม่มีพิษและไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง

4. Ester volatile oils มีสารพวกเอสเตอร์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ linalyl acetate, geranyl acetate, bornyl acetate, methyl salicylate สารกลุ่มนี้มักพบในกลิ่นผลไม้และดอกไม้ทั้งหลาย มีคุณสมบัติลดการเกร็งของกล้ามเนื้อเรียบ สงบระงับ ลดการอักเสบและต้านเชื้อรา

5. Oxides and peroxides มีสารออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ cineol, linalol oxide สารกลุ่มนี้ระคายเคืองต่อผิวหนังโดยเฉพาะในเด็ก

6. phenolic volatile oils มีสารฟีนอล เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ thymol, carvacrol และ eugenol มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เสริมภูมิคุ้มกันต้านทานและกระตุ้นต่อระบบประสาทและระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย สารกลุ่มนี้อาจระคายเคืองต่อผิวหนัง

7. สารกลุ่ม Sesquiterpene ได้แก่ chamazulene, bisabolol, santalol zingiberol, carotol, caryophyllen และ farnesol มีคุณสมบัติคลายอาการปวดเกร็ง ฆ่าเชื้อโรค ลดอักเสบ

8. สารกลุ่ม monoterpene ได้แก่ camphene, limonene, myrcene, β และ α -pinene, α -terpinene และ sabinene เป็นต้น มีคุณสมบัติกระตุ้นและบำรุง ฆ่าเชื้อโรค

2.2.1.2 Phenylpropanes อาจเรียกว่า Phenylpropane Derived Essential oil เช่น eugenol, anethol, safrol, cinnamic aldehydes, methylchavicol เป็นต้น

Phenylpropane Derived Essential oil แบ่งตามโครงสร้างของอนุพันธ์ได้ ดังนี้

1. eugenol และ cinnamic aldehydes พบในกานพลูและอบเชย มีฤทธิ์ฆ่าเชื้ออย่างแรง และทำให้ชาเฉพาะที่ มีรายงานว่าต้านมะเร็งบางชนิดได้

2. anethol และ methylchavicol มีคุณสมบัติคลายการปวดเกร็งของกล้ามเนื้อเรียบ ขับเสมหะ

3. safrol, myristicin และ apiol มีคุณสมบัติคลายการปวดเกร็ง กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง

2.2.2 วิธีสกัดน้ำมันหอมระเหย

การสกัดกลิ่นหอมออกจากพืชหอม ได้มีการทำมาเป็นเวลานานแล้ว โดยในสมัยโบราณ จะนิยมนำดอกไม้หอมมาแช่น้ำทิ้งไว้ และนำน้ำที่มีกลิ่นหอมนั้น ไปใช้ดื่มหรืออาบ ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีการสกัดกลิ่นหอม เพื่อให้ได้กลิ่นหอม หรือน้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพ และปริมาณสูงสุด วิธีการดังกล่าวนี้มีหลายวิธี การที่จะเลือกใช้วิธีใดนั้น ต้องพิจารณาลักษณะของพืชที่จะนำมาสกัดด้วย

วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหย สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ [27]

2.2.2.1 การกลั่นโดยใช้น้ำ

วิธีนี้สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์สำหรับการกลั่น เช่น หม้อกลั่น, เครื่องควบแน่น และภาชนะรองรับน้ำมัน วิธีการก็คือ บรรจุพืชที่ต้องการสกัดน้ำมันหอมระเหยลงในหม้อกลั่น เติมน้ำพอท่วม แล้วต้มจนน้ำเดือด เมื่อน้ำเดือดระเหยเป็นไอ ไอน้ำจะช่วยพาน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในเนื้อเยื่อของพืชออกมาพร้อมกัน เมื่อผ่านเครื่องควบแน่น ไอน้ำและไอของน้ำมันหอมระเหยจะควบแน่นเป็นของเหลว ได้น้ำมันหอมระเหย และน้ำ แยกชั้นจากกัน สำหรับการกลั่นพืชปริมาณน้อยๆ ในห้องปฏิบัติการ เราสามารถทำได้ โดยใช้ชุดกลั่นที่ทำจากเครื่องแก้ว เรียกว่า ชุดกลั่นชนิด Clevenger ส่วนการกลั่นพืชปริมาณมาก ควรใช้เครื่องกลั่นที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อาจทำด้วยเหล็กสแตนเลส หรือทองแดง โดยอาศัยหลักการเดียวกัน

การกลั่นโดยใช้น้ำนี้ มีข้อดี คือ เป็นวิธีที่ง่าย อุปกรณ์ในการกลั่น ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ในกรณีที่ต้องกลั่นพืชปริมาณๆ ความร้อนที่ใส่สู่ม้อกลั่นจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งหม้อกลั่น พืชที่อยู่ด้านล่างใกล้กับเตา อาจเกิดการไหม้ได้ ทำให้น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ มีกลิ่นเหม็นไหม้ติดปนมา อีกทั้งการกลั่นโดยวิธีนี้ พืชจะต้องสัมผัสกับน้ำเดือดโดยตรงเป็นเวลานาน ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย เกิดการเปลี่ยนแปลงไปบ้างบางส่วน

2.2.2.2 การกลั่นโดยใช้น้ำและไอน้ำ

วิธีนี้มีหลักการคล้ายกับการกลั่น โดยใช้น้ำ แต่แตกต่างตรงที่ ภายในหม้อกลั่นจะมีตะแกรงสำหรับวางพืชไว้เหนือระดับน้ำ เมื่อให้ความร้อน โดยเปลวไฟ หรือไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) น้ำภายในหม้อกลั่น จะเดือดกลายเป็นไอ การกลั่นโดยวิธีนี้ พืชที่ใช้กลั่นจะไม่สัมผัสกับความร้อนโดยตรง ทำให้คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยดีกว่าวิธีแรก

2.2.2.3 การกลั่นโดยใช้ไอน้ำ

การกลั่นโดยวิธีนี้ ก็คล้ายกับวิธีที่ 2 แต่ไม่ต้องเติมน้ำลงในหม้อกลั่น เมื่อบรรจุพืชลงบนตะแกรงแล้ว ผ่านความร้อนจากไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำ ไอน้ำจะช่วยพาน้ำมันหอมระเหยในพืช ระบายออกมาอย่างรวดเร็ววิธีนี้มีข้อดี คือ เวลาที่ใช้ในการกลั่นจะสั้นกว่า ปริมาณน้ำมันมีคุณภาพ และปริมาณดีกว่า แต่ไม่เหมาะกับพืชที่มีลักษณะบาง เช่น กลิบบกุหลาบ เพราะไอน้ำจะทำให้กลีบกุหลาบรวมตัวกันเป็นก้อน น้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในกลีบกุหลาบไม่สามารถออกมา พร้อมไอน้ำได้ทั้งหมด ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยน้อยลง หรือไม่ได้เลย การกลั่นน้ำมันกุหลาบจึงควรใช้วิธีการกลั่นด้วยน้ำจะเหมาะสมกว่า

2.2.2.4 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ที่ไม่สามารถใช้วิธีกลั่น โดยใช้ไอน้ำได้เนื่องจากองค์ประกอบของสารหอมระเหยในดอกไม้จะสลายตัวเมื่อ ถูกความร้อนสูง ดังนั้นจึงใช้ตัวทำ

ละลาย เช่น เฮกเซน สกัดน้ำมันหอมระเหยออกมา หลังจากนั้นจะระเหยไล่ตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิและความกดดันต่ำ ก็จะได้หัวน้ำหอม ชนิด Concrete

2.2.2.5 การสกัดโดยใช้ไขมัน (enfleurage)

การสกัดโดยใช้ไขมันเป็นวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม มักใช้กับดอกไม้ที่บาง เช่น มะลิ ช่อนกลิ่น โดยจะใช้ไขมันประเภทน้ำมันหมูเคลือบลงบนถาดไม้ แล้วนำ ดอกไม้มาเคลือบเป็นชั้นบางๆ จนเต็มถาด ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนดอกไม้ ชุดใหม่ ทำซ้ำประมาณ 7-10 ครั้ง ไขมันจะดูดซับสารหอมไว้เรียกไขมันที่ดูดซับ สารหอมนี้ว่า pomade หลังจากนั้นใช้เอทานอลละลายสารหอมออกจากไขมัน นำไประเหยไล่ตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิและความกดดันต่ำ จะได้หัวน้ำหอมชนิด concrete เมื่อแยกส่วนที่เป็นไขมันออกโดยการนำมาละลายเอทานอลแล้ว แห้งเย็นเพื่อแยกส่วนที่เป็นไขออก หลังจากระเหยไล่ตัวทำละลายออกจะได้หัวน้ำหอมชนิด absolute ซึ่งจัดเป็นหัวน้ำหอมชนิดดีและราคาแพงที่สุด

2.2.2.6 การสกัดโดยการบีบเย็นหรืออัด (cold-press)

วิธีนี้เหมาะกับการผลิตน้ำมันหอมระเหยมากๆ มักใช้กับเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม มะนาว มะกรูด วิธีการไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยนำตัวอย่างพืชที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆเข้าเครื่องบีบหรืออัดโดยใช้สกรูบีบอัด น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันดิบ (crude oil) น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีกลิ่นและคุณภาพดี

นอกจากนี้ ยังมีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้โดยใช้ คาร์บอนไดออกไซด์เหลว โดยเรียกวิธีนี้ว่า Supercritical carbon dioxide fluid extraction ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ เหมาะสำหรับการสกัดสารที่สลายตัวง่ายเมื่อ ถูกความร้อน แต่สูญเสียค่าใช้จ่ายมาก

2.2.3 ความสำคัญของน้ำมันหอมระเหย [27]

น้ำมันหอมระเหยเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอยู่เสมอ มีประโยชน์ใช้แต่งกลิ่นอาหารในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เช่น ชุป ลูกกวาด เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ นำไปใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม เช่น น้ำมันกุหลาบ น้ำมันกระดังงา น้ำมันมะลิ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำน้ำมันหอมระเหยไปใช้ในอุตสาหกรรมยา เช่น น้ำมันกานพลูสามารถฆ่าเชื้อโรคจึงนำมา ใช้ผสมในน้ำยาบ้วนปาก น้ำมันยูคาลิปตัส แก้หวัด น้ำมันไพลแก้อาการปวดบวม ฟกช้ำ น้ำมันเปปเปอร์มินต์ ใช้ขับลม และแต่งกลิ่นยา

น้ำมันหอมระเหยยังใช้ในสวนคนบำบัด ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจของนักธรรมชาติบำบัดอย่างมากในทุกวันนี้ ตัวอย่างของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ได้แก่ น้ำมันกระดังงา น้ำมันลาเวนเดอร์ น้ำมันคาโมมายล์ น้ำมันโรสชา น้ำมันแฝกหอมซึ่งช่วยให้สงบและผ่อนคลาย น้ำมันมะนาว น้ำมันยูคาลิปตัส น้ำมันเปปเปอร์มินต์ ทำให้รู้สึกสดชื่นกระปรี้กระเปร่า น้ำมันตะไคร้หอมใช้ไล่แมลง ตาม

ห้องตลาดจะมีผลิตภัณฑ์กันบูจจากน้ำมันตะไคร้หอมทั้งในรูปแบบครีม โลชัน น้ำมันตะไคร้ ประกอบด้วยสารเบต้าไอโอโนนสูง ใช้เป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอได้

2.2.4 การตรวจคุณภาพน้ำมันหอมระเหย [27]

ในการผลิตน้ำมันหอมระเหยแต่ละครั้งนั้น อาจได้ผลผลิตที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น แหล่งที่มาของพืช, อายุของพืช, เทคนิคและวิธีการกลั่น, เวลาที่ใช้ในการกลั่น เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องตรวจคุณภาพของน้ำมันหอมระเหย โดยตรวจคุณสมบัติทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ ดังนี้

2.2.4.1 การตรวจคุณลักษณะทั่วไป เช่น สี, ความใส-ขุ่น, กลิ่น, ตะกอนแขวนลอย เป็นต้น

2.2.4.2 การตรวจคุณลักษณะทางฟิสิกส์ ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด ดังนี้

การละลายในเอทานอล เพื่อดูว่าน้ำมันหอมระเหยสามารถละลายได้ในเอทานอลที่ความเข้มข้นเท่าใด เป็นปริมาณเท่าใด วิธีทดสอบ ปฏิบัติตาม ISO 875-1981 Essential oils - Evaluation of miscibility in ethanol ในเรื่องวิธีการทดสอบการละลายในเอทานอล

การหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ เพื่อตรวจสอบความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหย เปรียบเทียบกับความหนาแน่นของน้ำ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยปฏิบัติตาม ISO 279-1981 Essential oils - Determination of relative density at 20 องศาเซลเซียส (Reference Method) ในเรื่องวิธีทดสอบความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

การหาค่า ออปติคัลโรเทชัน ของน้ำมันหอมระเหย โดยวัดค่ามุมที่เบี่ยงเบนไปของแสงโพลาไรซ์ ที่ส่องผ่านน้ำมันหอมระเหย วิธีทดสอบให้ปฏิบัติตาม ISO 592-1981 - Determination of optical rotation ในเรื่องวิธีทดสอบออปติคัลโรเทชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

การหาค่าดัชนีหักเหของน้ำมันหอมระเหย โดยวัดค่ามุมของแสงที่หักเหไป เมื่อให้แสงส่องกระทบน้ำมันหอมระเหย โดยทดสอบตาม ISO 280-1976 - Determination of refractive index ในเรื่องวิธีทดสอบดัชนีหักเหที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

2.2.4.3 การตรวจคุณลักษณะทางเคมีเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด โดยใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas chromatography) โดยฉีดน้ำมันหอมระเหยปริมาณเพียงเล็กน้อย (~0.1 ml) เข้าไปยังเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้ ส่วนฉีดสาร (Injector), เตาอบ (Oven), คอลัมน์ (Column), ตัวตรวจวัดสัญญาณ (Detector), ระบบบันทึก และเก็บข้อมูล (Recorder, Integrator) ผลที่ได้จะแสดงในรูปของโครมาโตแกรม (Chromatogram)

2.3 การวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่อง GC-MS (Gas chromatography-Mass spectrometry) [28]

ปัจจุบันนี้ได้มีการนำเทคนิคหลายอย่างมาใช้สำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารที่เราสนใจ ซึ่ง GC-MS ก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในขณะนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำ โดยอาศัยการเปรียบเทียบ fingerprint ของเลขมวล (mass number) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับข้อมูลที่มีอยู่นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (quantitative analysis) และ เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) ได้อย่างถูกต้อง

2.3.1 เครื่อง GC-MS

GC-MS เป็นเครื่องมือที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่อง GC (Gas chromatography) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างออกมาทีละองค์ประกอบก่อนที่จะเข้าสู่ detector และ อีกส่วนคือ เครื่อง MS (Mass spectrometry) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น detector ในการตรวจสอบว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง GC นั้น มีเลขมวล (mass number) เป็นเท่าไร เพื่อที่จะได้สามารถทำนายได้ว่า สารที่เราสนใจอยู่นั้น ประกอบด้วยองค์ประกอบชนิดใดบ้าง และมีปริมาณเท่าไร

2.3.2 คุณสมบัติของเครื่อง GC

GC เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแยก องค์ประกอบต่าง ๆ ของสารที่เราสนใจซึ่งเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้กับสารที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถระเหยกลายเป็น gas ได้เมื่อถูกความร้อนและกลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารตัวอย่างจะอาศัยหลักของความแตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อ phase 2 phase คือ stationary phase และ mobile phase องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GC สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ Injector Oven และ Detector

Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่อง และระเหยเป็น gas พร้อมกับถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะเข้าสู่ column อุณหภูมิที่เหมาะสมของ injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ถูกทำให้สลายตัว (decompose)

Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุ column เอาไว้ และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของ column ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ถูกฉีด ซึ่งอุณหภูมิของ oven นั้นจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 แบบคือ isocratic temperature และ gradient temperature แม้ว่าความต้องการของผู้วิเคราะห์ ข้อดีของการทำ gradient temperature คือสามารถใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (wide boiling range) และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์ (analysis time) ลงได้อีกด้วย

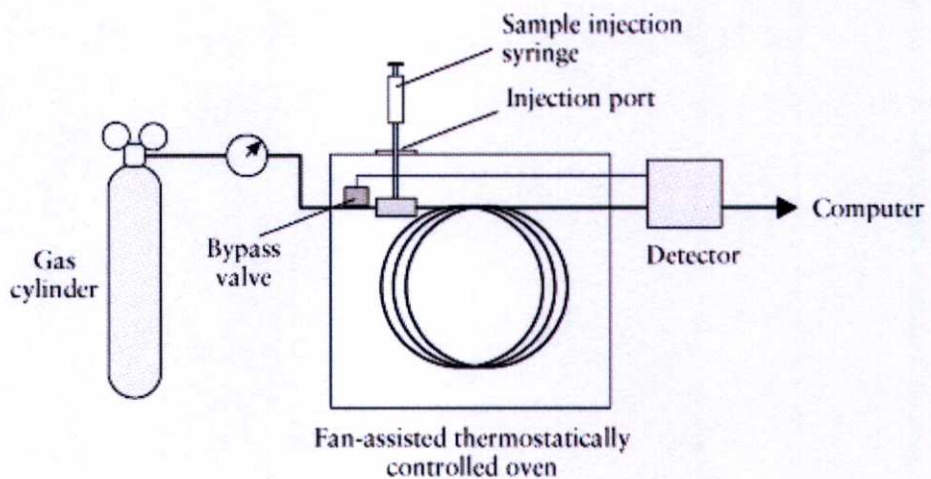
Detector คือ ส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง คว้าสารที่เราสนใจนั้นมีปริมาณอยู่เท่าไร ซึ่งความสามารถของการตรวจวัดนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของ detector ที่เลือกใช้ ชนิดของ detector ที่ใช้กับเครื่อง GC นั้นมีอยู่หลายอย่าง เช่น

Thermal Conductivity Detector

Flame Ionization Detector

Electron Capture Detector

Mass Spectrometry



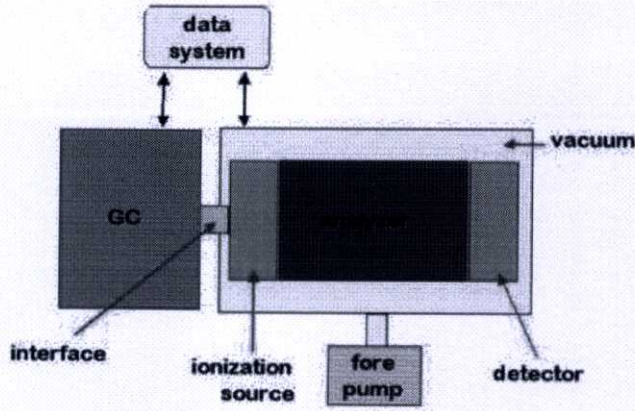
ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่อง GC [28]



ภาพที่ 2.2 คอลัมน์ชนิดต่างๆ[28]

2.3.3 คุณสมบัติของเครื่อง MS

MS เป็นส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC นั้นประจุจะถูกแยกออกในสถานะที่เป็นสุญญากาศ แล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (mass number) เทียบกับข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้น ๆ



ภาพที่ 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่อง MS [28]

2.3.4 การทำงานของเครื่อง GC-MS

เมื่อเตรียมตัวอย่างสารเสร็จเรียบร้อยแล้วก็นำมาฉีดเข้าทางช่องฉีดตัวอย่างของเครื่อง GC จากนั้นสารก็就会被แยกออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ เมื่อผ่านเข้าสู่ column ที่อยู่ใน oven แต่มีข้อกำหนดคือว่า ตัวอย่างที่จะนำมาฉีดนั้นจะต้องเป็นสารละลายใสไม่มีตะกอน จากนั้นองค์ประกอบใดที่ถูกแยกออกมาจาก column ก่อนก็จะผ่านเข้าไปในส่วนของเครื่อง MS ซึ่งมีสถานะเป็นสุญญากาศก่อน แล้วเข้าไปเจอกับแหล่งกำเนิดอะตอมที่มีประจุซึ่งจะทำให้แยกโมเลกุลที่ผ่านเข้ามาให้กลายเป็นประจุ จากนั้นประจุเหล่านี้ก็จะเดินทางผ่านเครื่องคัดเลือกและแยกแยะขนาดของประจุ (mass analyzer) ว่าประจุเหล่านี้ประกอบไปด้วยขนาดมวลเท่าใดบ้างก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่เครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (detector) เพื่อตรวจหาปริมาณของประจุแล้วแปลผลออกมาเป็นปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีอยู่ในสารตัวอย่างนั้น

2.3.5 ข้อดี-ข้อเสียของเครื่อง GC-MS

2.3.5.1 ข้อดีของเครื่อง GC-MS

1. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบทั่วไปและแบบเฉพาะเจาะจง
2. ให้ความไวสูง
3. สามารถบ่งชี้ถึงชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้
4. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิง คุณภาพ

2.3.5.2 ข้อเสียของเครื่อง GC-MS

1. ราคาแพง
2. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องสูง

2.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง [29]

เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อนำไปใช้แยกสารหรืออนุภาค โดยอาศัยหลักความแตกต่างของความหนาแน่น ขนาดของสารหรืออนุภาคนั้นๆ โดยทั่วไป เครื่องหมุนเหวี่ยงมักใช้ในกระบวนการเตรียมตัวอย่าง และใช้ปั่นแยกสารสำหรับวิเคราะห์ มักจะใช้แยกตัวอย่างส่วนที่เป็นของแข็งออกจากตัวอย่างส่วนของเหลว หรือใช้เพื่อแยกของเหลวหลายๆชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันให้เกิดการแยกชั้น สำหรับการใช้อุปกรณ์หมุนเหวี่ยงนั้นก่อนใช้ควรทำการศึกษาจากคู่มือ และผู้เชี่ยวชาญก่อน เพื่อลดความผิดพลาดและเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งาน

2.4.1 หลักการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยง

เครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับเร่งการตกตะกอนของอนุภาคที่ไม่ละลายออกจากของเหลว หรือใช้แยกของเหลวหลายๆ ชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันออกจากกัน โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge force) ที่เกิดจากการหมุนรอบจุดหมุน (center of rotation) เครื่องหมุนเหวี่ยงมีแกนหมุนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้ามอเตอร์จะเหนี่ยวนำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทำให้แกนมอเตอร์หมุน ความเร็วรอบในการหมุน (rpm = revolution per minutes) ควบคุมด้วยวงจรไฟฟ้า ส่วนเวลาที่ใช้ในการหมุนควบคุมด้วย สวิตช์ปิด-เปิด หรือนาฬิกา

2.4.2 ความเร็วรอบและแรงหนีศูนย์กลาง

การแยกสารด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงต้องมีการกำหนดเวลา และแรงหนีศูนย์กลางสำหรับงานนั้นๆ เสมอ ซึ่งในบางครั้งจะพบว่า มีการกำหนดเป็นค่าความเร็วรอบของการหมุนโรเตอร์ ซึ่งอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานในกรณีที่ต้องการความถูกต้องของแรงหนีศูนย์กลาง แรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์ (Relative centrifugal force) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับรัศมีการหมุนไม่เท่ากัน ดังนั้นการกำหนดวิธีการแยกสารด้วยค่าความเร็วรอบจึงไม่ใช่วิธีการที่เป็นมาตรฐาน ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตจึงมักจะเตรียมตารางเทียบค่าทั้งสองที่ใช้กับโรเตอร์แต่ละชนิดของผู้ผลิตไว้แล้ว หรือผู้ใช้สามารถทำการคำนวณได้เอง โดยการใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$RCF = 1.12r (RPM/1000)^2 \text{ หรือ}$$

$$RPM = 103(RCF/1.12r)^{0.5}$$

$$RCF = \text{แรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์ หน่วยเป็น } \times g$$

$$r = \text{รัศมีแกนหมุน หน่วยเป็น มิลลิเมตร}$$

$$RPM = \text{อัตราความเร็วรอบ หน่วยเป็น รอบ/นาที (revolution per minute)}$$

2.4.3 โครงสร้างของเครื่องหมุนเหวี่ยง ประกอบด้วยโครงสร้างหลัก คือ

มอเตอร์และอุปกรณ์ทรอบ (Motor and Gear box) มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผลิตให้เกิดการหมุนรอบแกน มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่ใช้แปรงถ่าน (brush drive) และชนิดที่ไม่ใช้แปรงถ่าน (brushless inductive drive) สำหรับเครื่อง Ultra speed centrifuge (100,000 รอบ/นาที) จะมีอุปกรณ์ทรอบการหมุน (gear box) เพื่อเพิ่มความเร็วรอบของแกนหมุน

โรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนสำหรับบรรจุภาชนะใส่ตัวอย่าง เมื่อเกิดการหมุนโดยการผลักของมอเตอร์จะเกิดแรงหนีศูนย์กลางขึ้นในบริเวณโรเตอร์ วัสดุที่ใช้ทำโรเตอร์มีหลายชนิด เช่น titanium polypropylene ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดของแรงหนีศูนย์กลาง ความเร็วรอบที่ใช้ งาน ชนิดและปริมาณตัวอย่างที่ใช้ ส่วนรูปแบบของโรเตอร์มีให้เลือกตามลักษณะการใช้งาน เช่น ห้องปฏิบัติการชั้นสูง ส่วนใหญ่จะใช้โรเตอร์แบบ Swing bucket rotors และ Fixed angle rotors

Chamber เป็นส่วนที่มีโรเตอร์ติดตั้งอยู่ภายใน ปกติจะมีฝาปิดมิดชิด และฝาดังกล่าวนี้จะไม่สามารถเปิดออกได้ขณะที่โรเตอร์กำลังหมุนอยู่ เพื่อสร้างความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องหมุนเหวี่ยง

Control Panel ส่วนของแผงควบคุมการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยง มีปุ่มควบคุมการทำงานมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและขนาดของเครื่อง

Refrigerated system เป็นระบบทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิให้กับตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างบางชนิดอาจเกิดการเปลี่ยนสภาพเมื่อได้รับความร้อน สามารถทำความเย็นได้ต่ำสุดถึง -20 องศาเซลเซียส

2.4.4 ประเภทของเครื่องหมุนเหวี่ยง

ปัจจุบันเครื่องหมุนเหวี่ยงมีหลายรูปแบบและขนาด ขึ้นอยู่กับความจำเป็นในการใช้ สามารถแบ่งประเภทเครื่องหมุนเหวี่ยงได้ 2 แบบ คือ

2.4.4.1 แบ่งตามความสามารถในการทำความเร็วรอบ สามารถแบ่งเครื่องหมุนเหวี่ยงได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. Low-speed centrifuge มีความเร็วรอบสูงสุดไม่เกิน 10,000 รอบ/นาที ส่วนใหญ่จะทำได้ที่ 6,000 รอบ/นาที

2. High-speed centrifuge มีความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 10,000 – 21,000 รอบ/นาที เช่น เครื่อง microhaematocrit centrifuge กำหนดแรงหนีศูนย์กลางไว้คงที่ $12,000 \times g$ (11,200 รอบ/นาที)

3. Super-speed centrifuge มีความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 21,000 - 50,000 รอบ/นาที ส่วนใหญ่ใช้ในงานวิจัย

4. Ultra speed centrifuge ทำความเร็วรอบได้มากกว่า 50,000 รอบ/นาที บางรุ่นสามารถทำได้ถึง 100,000 รอบ/นาที เหมาะกับงานวิจัยในระดับโมเลกุล

2.4.4.2 แบ่งตามขนาดของเครื่อง สามารถแบ่งเครื่องหมุนเหวี่ยงได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. Microfuge เป็นเครื่องหมุนเหวี่ยงขนาดเล็ก สามารถหมุนเหวี่ยงตัวอย่างได้ปริมาตรสูงสุด 1.5 มิลลิลิตร ใช้หลอดขนาดเล็กสำหรับใส่ตัวอย่างเรียกว่าหลอดไมโครฟิวจ์ (microfuge tube หรือ microtube) เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้มีปริมาตรต่ำ จึงไม่ต้องมีการปรับสมดุลก่อนทำการหมุนเหวี่ยง เพียงให้หลอดที่วางด้านตรงข้ามกันมีปริมาตรเท่ากัน หรือต่างกันไม่เกิน 0.1 มิลลิลิตรก็เพียงพอแล้ว เวลาและความเร็วที่ใช้สำหรับการหมุนเหวี่ยง สามารถตั้งได้โดยการกำหนดค่าบนหน้าปัดด้านหน้าเครื่อง และห้ามปิดช่องระบายอากาศที่ด้านบนของฝาปิด ขณะที่เครื่องหมุนเหวี่ยงกำลังทำงานอยู่ เครื่อง microfuge โดยส่วนใหญ่มักจะใช้กับงานทางด้านเทคโนโลยีของดีเอ็นเอ

2. Bench-top Centrifuge หรือ table-top centrifuge เครื่องหมุนเหวี่ยงโดยทั่วไปจะอยู่ในระดับนี้ เป็นเครื่องหมุนเหวี่ยงขนาดกลาง สามารถใช้ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่มีปริมาตรได้ตั้งแต่ 1-15 มิลลิลิตร อาจมีระบบทำความเย็นหรือไม่ก็ได้ สำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยงประเภทนี้ ควรจะมีการปรับสมดุลของหลอดตัวอย่างก่อนจะทำการหมุนเหวี่ยง หลอดตัวอย่างทั้งคู่ต้องมีน้ำหนักเท่ากัน ปรับสมดุลของหลอดตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งแบบจาน (pan balance) เพื่อปรับน้ำหนักของหลอดให้เท่ากัน อาจปรับโดยการเติมน้ำลงในตัวอย่างโดยตรง หรือปรับโดยการเติมน้ำลงในกระบอกใส่หลอดก็ได้ (กระบอกใส่หลอดเป็นกระบอกที่ใช้ใส่หลอดตัวอย่างที่จะนำไปหมุนเหวี่ยง ซึ่งภายในกระบอกมีช่องว่างที่สามารถเติมน้ำเพื่อปรับสมดุลตัวอย่างได้) จากนั้นจึงนำไปใส่ในโรเตอร์ แล้วทำการหมุนเหวี่ยง หลังจากหมุนเหวี่ยงเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องแน่ใจว่าโรเตอร์หยุดหมุนอย่างสมบูรณ์ก่อน จึงค่อยเปิดฝาเพื่อจะนำตัวอย่างที่ปั่นเหวี่ยงแล้วไปเข้าสู่กระบวนการต่อไป

3. Floor standing Centrifuge เป็นเครื่องหมุนเหวี่ยงที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดนี้ใช้ตั้งบนพื้น สามารถปั่นเหวี่ยงได้ที่ความเร็วสูงมาก ใช้กับตัวอย่างที่มีปริมาตรมากๆ ได้ ตัวอย่างที่จะนำมาหมุนเหวี่ยงต้องมีการปรับสมดุลมาอย่างเที่ยงตรงด้วยเครื่องชั่งก่อน เพราะการหมุนเหวี่ยงกับตัวอย่างที่ไม่สมดุลอาจทำให้เครื่องเสียหายได้ เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดนี้จะมีระบบทำความเย็น (refrigerated centrifuge) เพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง และเนื่องจากเครื่องมีขนาดใหญ่ โรเตอร์ที่ใช้จึงมีขนาดใหญ่ มักใช้กับห้องวิจัยเกี่ยวกับทางเภสัชกรรม นอกจากนี้ยังมีเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับงานเฉพาะทางอีกหลายชนิด ได้แก่

Hand centrifuge ใช้สำหรับแยกสารที่ไม่ต้องการความละเอียดมากและไม่เป็นสารที่มีอันตราย เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดนี้ เป็นชนิดเดียวที่ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากสามารถใช้มือหมุนได้เลย

Haematocrit centrifuge ใช้สำหรับแยกเม็ดเลือดแดงออกมาจากน้ำเลือด (serum) มีช่องสำหรับใส่ตัวอย่างลักษณะเป็นหลอด capillaries

Clinical table-top centrifuge ใช้สำหรับแยกเม็ดเลือดแดงออกมาน้ำเลือด เช่นเดียวกับ haematocrit centrifuge แต่มีขนาดใหญ่กว่า สามารถหมุนเหวี่ยงตัวอย่างได้ปริมาณมากกว่า (1-15 มิลลิลิตร) มักใช้ในห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล

2.5 หลักการพื้นฐานของ NIR [30]

NIRS เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยอาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างเป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดีและรวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

NIRS ได้ถูกนำมาใช้งานในช่วงปลายของทศวรรษ 1970 เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700-2500 nm NIRS มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านอาหารและยา ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของตัวอย่างทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้เป็นอย่างดี

หลักการ เมื่อฉายแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR ลงไปบนตัวอย่าง แสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลใน functional groups ต่างๆ 2 ลักษณะ คือ การยืดหด (stretching) และ การเปลี่ยนมุม (bending) ช่วงความถี่ overtones และ combination ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H และ O=H ซึ่งเป็นโมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ ถ้าโครงสร้างโมเลกุลของสารตัวอย่างที่ตรวจวัดมีความซับซ้อนสเปกตรัมที่ได้จะยิ่งมีการซ้อนทับกันมากขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์สเปกตรัมเหล่านี้จึงต้องทำการแยกแยะและแสดงลักษณะเฉพาะโดยนำวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติ (Chemometrics) มาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย โดยการดูดกลืนคลื่น NIR ของโมเลกุลสารอินทรีย์ ช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง (ดังตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ช่วงคลื่นแม่เหล็กย่านอินฟราเรด [30]

| ช่วงคลื่น | ช่วงความยาวคลื่น (nm) | จำนวนคลื่น (cm ⁻¹) |
|---|-----------------------|--------------------------------|
| อินฟราเรดย่านใกล้(near IR, NIR) | 780-2,500 | 12,800-4,000 |
| อินฟราเรดย่านกลาง(mid IR or fundamental IR) | 2,500-50,000 | 4,000-200 |
| อินฟราเรดย่านไกล(far IR) | 50,000-1,000,000 | 200-10 |

2.6 ส่วนประกอบของเครื่อง NIR [30]

ส่วนประกอบหลักและการออกแบบเครื่องมือ Spectrometer แต่ละประเภทจะมีความคล้ายคลึงกันโดย NIR นั้นจะประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสง ตัวเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการตำแหน่งที่วางตัวอย่าง

2.6.1 แหล่งกำเนิดรังสีในช่วง NIR

โดยส่วนใหญ่จะใช้หลอดทังสเตนเพราะราคาถูกและใช้งานได้ทันที แล้วใช้ตัวฟิลเตอร์ช่วยกรองแสงในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการออกเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างร้อนจนเกินไป หรือใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดโดยค่าความยาวคลื่นที่ได้จะขึ้นกับสารที่ใช้ทำตัว LED อย่างไรก็ตาม LED ไม่สามารถให้ความยาวคลื่นในช่วง 1,700-2,500 nm ได้ ซึ่งเป็นช่วงที่นิยมนำไปใช้งาน แต่ก็เหมาะสำหรับเครื่องมือแบบพกพาเพราะต้องการกำลังไฟฟ้าน้อย มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและพลังงานของผลึกพีซีที่ได้ก็ไม่เพิ่มสูงขึ้นแม้จะมีการเพิ่มกำลังวัตต์ของแหล่งกำเนิด

2.6.2 โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator)

ช่วยในการกระจายแสงโดยอาศัยเกรตติง และควบคุมให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการด้วยช่องผ่านแสงเข้า (Entrance Slit) และช่องผ่านแสงออก (Exit Slit) ตัวอย่างจะมีการดูคลื่น หรือยินยอมให้รังสีทะลุผ่านหรือสะท้อนกลับ

2.6.3 ตำแหน่งที่วางตัวอย่าง

จะต้องได้รับการออกแบบให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบของการวิเคราะห์และปริมาณของอนุภาคที่ใช้วิเคราะห์ เช่น ถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างจะเหมาะสำหรับตัวอย่างที่เป็นตะกอนแห้งหรือในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณมากถ้วยเหล่านี้จะมีการหมุน เป็นต้น เซลล์สำหรับใส่ตัวอย่างเหล่านี้จะต้องทำจากวัสดุที่ยอมให้แสงในช่วง NIR สามารถทะลุผ่านได้ เช่น ควอตซ์หรือแก้ว และมีระยะทางเดินของแสงที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่าง

2.6.4 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัด (Detector)

ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการทาง Photoconductive Effect การเลือกเครื่องตรวจวัดนั้นขึ้นกับช่วงความยาวคลื่นและการออกแบบตัวแปรต่างๆ ของ Spectrometer ซึ่งซิลิกอนจะเหมาะสำหรับแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้และ NIR ช่วงความยาวคลื่นสั้น (400-1,100 nm)

2.7 การปรับแต่ง NIR Spectra ก่อนการวิเคราะห์ (Pretreatment of spectral data) [32]

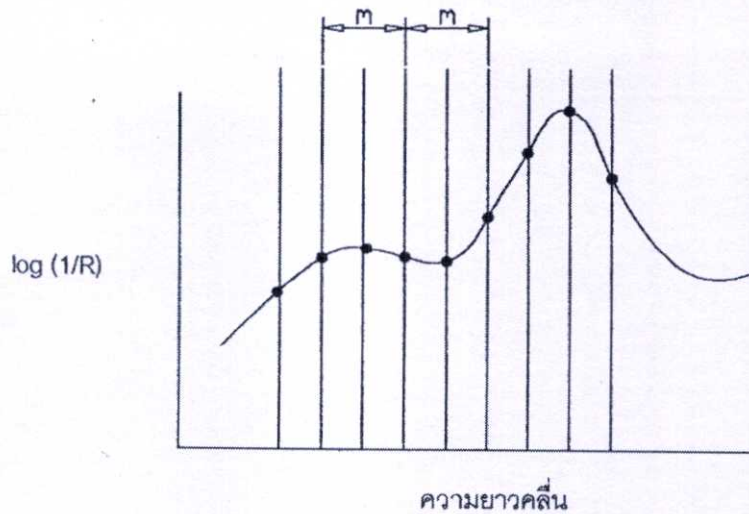
2.7.1 การลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

เครื่องมือทั่วไปที่ใช้วัดสเปกตรัมของรังสีย่าน NIR จะถูกออกแบบให้มีความคลาดเคลื่อนต่ำในการวัดค่า $\log(1/R)$ และค่าความยาวคลื่น อย่างไรก็ตามสัญญาณสเปกตรัมที่วัดได้บางครั้งจะมีสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามา ส่งผลให้สเปกตรัมไม่เรียบ มีวิธีการหลายวิธีที่ทำให้สัญญาณเรียบต่อเนื่อง ซึ่งจะกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสเปกตรัมได้ วิธีเบื้องต้นที่จะช่วยลดสัญญาณรบกวนจะกระทำได้โดย การวัดสเปกตรัมหลายๆครั้ง โดยนำตัวอย่างมาสแกนหลายๆครั้ง และใช้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม

สำหรับวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้ลดสัญญาณรบกวนนอกเหนือจากวิธีเบื้องต้นดังกล่าวที่นิยมใช้ คือ

2.7.1.1 การเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Running mean smooth or N-Point smooth)

วิธีนี้มีข้อดี คือ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยมีหลักการคือ การแทนค่า $\log(1/R)$ แต่ละจุดหรือแต่ละความยาวคลื่น ด้วยค่าเฉลี่ยของค่า $\log(1/R)$ ในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ จำนวนของจุดที่นำมาเฉลี่ย คือ $n = 2m+1$ โดยที่ m คือ จำนวนของจุดทั้งสองด้านของจุดศูนย์กลาง ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ในภาพเลือก $m = 2$ ซึ่งจะได้ $n = (2 \times 2) + 1 = 5$ จุด การเฉลี่ยเริ่มจากการนำค่า $\log(1/R)$ ของทั้ง 5 จุดมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยมาสร้างสเปกตรัมใหม่ โดยในช่วงความยาวคลื่นแรก (ความยาวคลื่นแรกถึงความยาวคลื่นที่ 5) โดยนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวมาเป็นค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นที่ 3 หรือความยาวคลื่นที่จุดศูนย์กลางช่วง ต่อจากนั้นจะเลื่อนช่วงไปทางขวา 1 จุด แล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ข้อมูลสเปกตรัมที่สร้างขึ้นใหม่ในที่สุด จะมีจำนวนข้อมูลช่วงเริ่มต้นหายไป m ข้อมูล และช่วงท้ายหายไป m ข้อมูล



ภาพที่ 2.4 จำนวนจุดทั้งสองด้าน ($m = 2$, $n = 5$) ของการเฉลี่ย [32]

2.7.1.2 Savitzky-Golay smooth

เป็นวิธีที่ทำให้สัญญาณสเปกตรัมเรียบที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งจะเลือกใช้ในกรณีที่

1. ข้อมูลมีสัญญาณรบกวนมากไม่เรียบ
2. ต้องการทำให้สัญญาณเรียบและยังคงรูปร่างของสเปกตรัมเหมือนกับที่เริ่มต้น
3. เมื่อรูปร่างของสเปกตรัมมียอดแหลมเป็นจำนวนมาก

หลักการของวิธีนี้คือ กำหนดข้อมูลในช่วงความยาวคลื่น ($n = 2m + 1$) เหมือนกับวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ นำข้อมูลสเปกตรัม หรือ $\log(1/R)$ ในช่วงที่กำหนด โดยเริ่มจากข้อมูลจำนวน $2m + 1$ จุดแรก มาหาสมการ โพลีโนเมียล ที่สามารถนำมาคำนวณค่าสเปกตรัมที่แต่ละจุดหรือแต่ละความยาวคลื่นในช่วงได้ใกล้เคียงที่สุด โดยวิธี Least square เมื่อได้สมการแล้วนำมาคำนวณค่าสเปกตรัมที่จุดศูนย์กลางของช่วง แล้วนำค่าที่คำนวณไปแทนค่าสเปกตรัมเดิมที่จุดหรือความยาวคลื่นนั้น ค่าที่คำนวณได้ถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าสเปกตรัมที่เริ่มต้นที่ถูกแทนที่ เนื่องจากสัญญาณรบกวนได้ถูกกำจัดออกไปแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ เลื่อนช่วงที่เท่ากันนี้ไปทางขวา 1 จุด (อาจเป็น 2 nm หรือ 4 nm ขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูล) แล้วทำซ้ำตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น จนกระทั่งช่วงความยาวคลื่น ถูกเลื่อนไปจนครอบคลุมความยาวคลื่นหรือจุดสุดท้าย สเปกตรัมที่สร้างขึ้นใหม่ จะมีจำนวนข้อมูลในส่วนต้นและส่วนท้าย หายไปเท่ากับ m จุดเหมือนดังกรณี การเฉลี่ยเคลื่อนที่

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่จะพบว่า การใช้วิธี Savitzky-Golay จะยังคงรักษาขนาดของยอดแหลมในสเปกตรัมให้มีขนาดเท่ากับสเปกตรัมเริ่มต้น ไม่ว่าจะเป็ยยอดแหลมที่มีฐานกว้างหรือฐานแคบก็ตาม

2.7.2 การลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าสเปกตรัม

2.7.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสเปกตรัม

ปัจจัยหลักๆที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวต่อสเปกตรัมคือ ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง (Particle size) และความชื้นในตัวอย่าง (moisture content) โดยปัจจัยทั้งสองจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกระเจิงแสง (scattering) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้แสงเปลี่ยนทิศทาง อันเป็นผลจากการสะท้อนแสง การหักเห หรือการเบี่ยงเบนแสง แสงที่เกิดการกระเจิงจะไม่ทะลุทลวงลึกลงไปในตัวอย่งมาก และจะสะท้อนกลับมาที่ผิวของตัวอย่าง โดยแทบจะไม่มีข้อมูลการดูดกลืนแสง การกระเจิงแสงจะเกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีอนุภาคเล็กๆนอกจากนั้นแล้วการกระเจิงแสงยังขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงด้วย เนื่องจากความเร็วของแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันจะไม่เหมือนกันเมื่อผ่านลงไปในตัวอย่งเดียวกัน ซึ่งทำให้เห็นสเปกตรัมได้รับผลกระทบจากขนาดอนุภาคที่แตกต่างไม่เท่ากันตลอดความยาวคลื่น โดยสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นสูงจะแตกต่างกันมากกว่าสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นต่ำ

2.7.2.2 วิธีการลดผลจากปัจจัยที่มีต่อสเปกตรัม

สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงในย่านเนียร์อินฟราเรดเป็นสเปกตรัมที่มีการเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ (Overlapping band) ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงควรนำไปปรับแต่งด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ก่อน เพื่อปรับสเปกตรัมให้มีความเด่นชัดมากขึ้น และลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง วิธีการที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

1. Derivative transformation

การหา Derivative ของสเปกตรัมเป็นวิธีที่ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาค่าซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัม

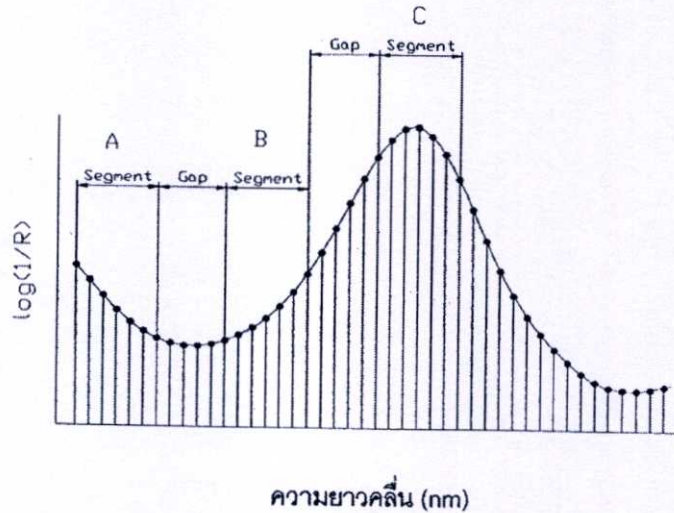
1.1 First derivative การคำนวณ Derivative หรือ ความชันของสเปกตรัมสามารถทำได้ดังสมการ 2.1

$$\begin{aligned} \text{First derivative} &= \text{Slope} \\ &= B-A \end{aligned} \quad (2.1)$$

โดยที่ A และ B คือค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของส่วน (Segment) ที่มีช่วงเท่ากัน และอยู่ติดกัน

ในการคำนวณต้องกำหนดขนาดของส่วน และช่อง (Gap) ก่อน ซึ่งส่วน คือขนาดของความยาวคลื่นที่เราทำการเฉลี่ยให้ได้ค่าใหม่เพื่อเป็นตัวแทนขึ้นมาหนึ่งจุด แล้วทำการข้ามช่วงความยาวคลื่นไปเท่ากับขนาดของช่อง เพื่อเริ่มนับจุดแรกในการคำนวณส่วนต่อไป ตัวอย่างดังในภาพที่ 2.4 เป็นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่น ที่แต่ละจุดห่างกัน 2 nm มีขนาดส่วน และช่องเท่ากับ 12 และ 10 nm ตามลำดับ โดยที่จุด A คือจุดที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 12 nm (ขนาดส่วน)

จากนั้นข้ามไป 10 nm (ขนาดช่อง) แล้วจึงเฉลี่ยอีกครั้งในช่วงความยาวคลื่น 12 nm เพื่อให้เป็นจุด B แล้วนำค่า A ลบจากค่า B ผลที่ได้นำไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดเริ่มต้นของส่วนแรกซึ่งคำนวณจะกระทำทุกส่วนต่อเนื่องกันไปจนตลอดความยาวคลื่น ต่อจากนั้นก็ขยับส่วนไปทางขวา 1 จุด หรือ 2 nm แล้วคำนวณซ้ำเหมือนที่กล่าวมาจนเสร็จสิ้น First derivative ใช้ได้ผลกับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอ และมีการกระจายของอนุภาคสม่ำเสมอทั่วถึง นอกจากนั้นแล้ว First derivative ของสเปกตรัมจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น



ภาพที่ 2.5 Segment size และ Gap size ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative [32]

1.2 Second derivative คือการคำนวณผลลบของค่าที่ได้จาก First derivative ที่ติดกันนั่นเอง หรือเป็นที่รู้จักกันว่าเป็นการคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมมาจาก

สมการ
$$\frac{d^2 \log(1/R)}{d\lambda^2}$$

ซึ่งเขียนแทนด้วย

$$d^2 \log(1/R)$$

สามารถคำนวณได้จาก

Second derivative = change in slope

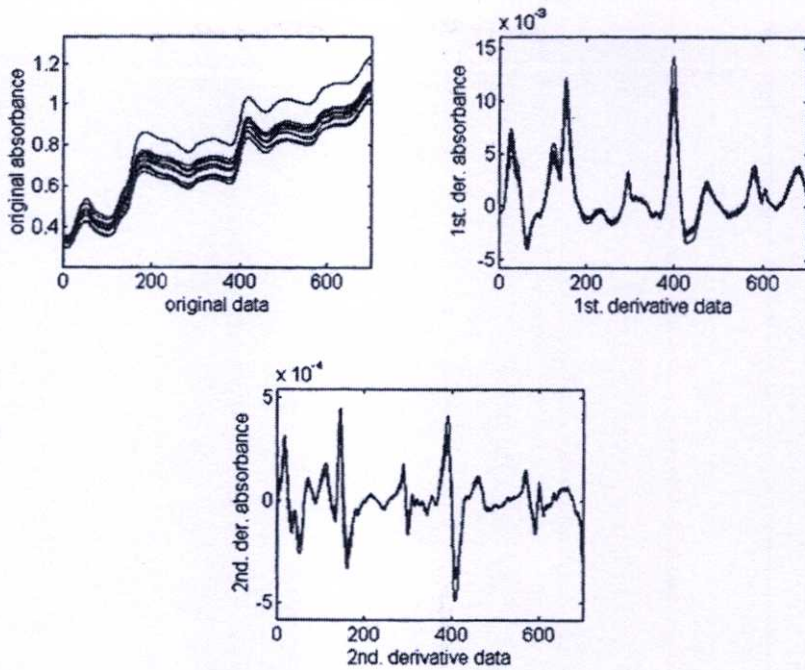
= First derivative แรก – First derivative ถัดมา

= (C-B) – (B-A)

= C-2B+A

(2.2)

โดยที่ A, B และ C เป็นค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของส่วนที่อยู่ติดกันและมีช่วงเท่ากัน



ภาพที่ 2.6 First Derivative และ Second Derivative เปรียบเทียบกับสเปกตรัมเดิม [32]

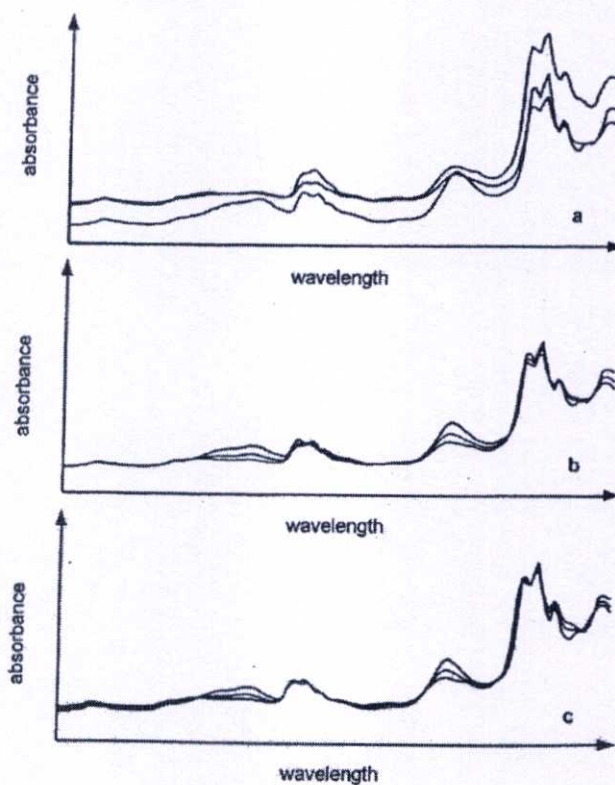
การคำนวณคล้ายกับ First derivative โดยในการคำนวณค่า Second derivative ของจุดแรก ต้องหาค่า C ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมในช่วงที่สาม หรือ C แล้วคำนวณผลลบของค่าเฉลี่ยในส่วนแรกและส่วนที่สอง ซึ่งก็คือ B-A แล้วคำนวณผลลบของค่าเฉลี่ยในส่วนที่สองและส่วนที่สาม ซึ่งก็คือ C-B แล้วนำผลลบค่าแรกมาลบออกจากผลลบค่าที่สอง ตามสมการ ค่าผลลบสุดท้ายที่นำไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดแรกของส่วนแรก และคำนวณผลลบตามสมการ ไปจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ต่อจากนั้นจึงเลื่อนไปทางขวา 1 จุด หรือ 2 nm แล้วทำการหาซ้ำจนเสร็จสมบูรณ์ การใช้ Second derivative จะช่วยลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง ทั้งที่เป็นผลเชิงบวกที่ทำให้ขนาดสเปกตรัมเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น และผลเชิงลบที่ทำให้ขนาดของสเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น Second derivative ใช้ได้ผลดีกับตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ผสมผสานกันอยู่ First derivative ให้ความหมายเป็นค่าความยาวคลื่นที่แต่ละความยาวคลื่น ซึ่งทำให้แปลความหมายยากกว่า Second derivative ซึ่งได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจาก Second derivative จะให้จุดยอดตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเดิม แม้ว่าจะกลับหัว

2. Multiplicative Scatter Correction (MSC)

เป็นวิธีการที่ช่วยลดผลจากการกระเจิงของแสง ซึ่งโดยทั่วไปการกระเจิงของแสง (Scattered light) ต่อ NIR สเปกตรัม ที่ได้จากการวัดแบบ diffuse reflectance และแบบ transmission โดยทั่วไปการกระเจิงแสงทำให้ความชันของสเปกตรัมโดยรวมเปลี่ยนไป เปรียบเสมือนกับว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุด (Multiplicative effect)

วิธีการ MSC คือทำการหามุมสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ยโดยมีขั้นตอนคือ ในแต่ละตัวอย่างต้องหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาหาร ค่า $\log(1/R)$ ของทุกๆจุดเพื่อปรับความชันของสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป

การใช้วิธี MSC ให้ผลต่อรูปร่างของสเปกตรัมแตกต่างจากการใช้วิธี Second Derivative อย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าผลของการปรับแก้จะเป็นไปในแนวเดียวกันในการวิเคราะห์ โดยรูปร่างของสเปกตรัมหลังการใช้วิธี MSC แล้วจะมีรูปร่างไม่แตกต่างจากการปรับแก้มาก ในขณะที่รูปร่างของสเปกตรัมหลังจากวิธี Second Derivative จะแตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้นอย่างชัดเจนการใช้วิธี MSC จะให้ผลได้ดีที่สุดถ้ามีการปรับแก้การเลื่อนตัวของสเปกตรัมก่อน



ภาพที่ 2.7 การปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้ MSC (a คือ raw spectral data หลังจากการเพิ่ม โดยสุ่มขนาดตัวอย่างที่มี pathlengths ต่างกัน, b คือ original spectra, c คือ สเปกตรัมที่ถูกปรับแต่งหลังการทำ MSC) [33]

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR ประกอบไปด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนหลักเป็นอย่างน้อย คือ 1) ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (Calibration) และ 2) ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (Validation) ในการทำ Calibration ก็เพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่

ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ ต่อจากนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ Calibration มาตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการทำนายคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่าการทำ Validation หรือ Verification เพื่อทดสอบสมการที่ได้ว่ามีความเหมาะสม หรือแม่นยำเพียงใด เมื่อได้ผลทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงจะนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIR ที่ทำการวัดมาได้ [34]

2.8.1 ขั้นตอนการทำ Calibration [34]

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลมาแล้วแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ คือ

2.8.1.1 กำหนดตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรตาม (Dependent Variables)

ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ที่นำมาใช้ในการสร้างสมการคือค่าที่อ่านได้จากสเปกตรัม NIR เช่น ค่า $\log(1/R)$ เป็นต้น

ตัวแปรตาม (Dependent Variables) หมายถึงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Reference Laboratory Methods เช่นความชื้นในแป้ง ด้วยวิธี Oven drying method

2.8.1.2 การสร้างสมการ Calibration

ในการสร้างสมการนั้นสิ่งสำคัญคือการหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์คุณภาพ การคัดเลือกหาตัวแปรอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก คือ

1. Wavelength selection เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์เทคนิคในการเลือกมีหลายแบบเช่น 1) เลือกจากความรู้ความชำนาญหรือเอกสารอ้างอิงที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่นที่คาดว่าจะสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์ 2) อาจจะใช้เทคนิคทางสถิติในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ เช่น Multiple regression หรือการสร้าง correlogram โดยการสร้าง correlogram เป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X คือความยาวคลื่น กับแกน Y คือค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่าง optical data ณ ความยาวคลื่นนั้นกับค่าวิเคราะห์ที่หามาได้ด้วยวิธี Reference measurement ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยสามารถคัดเลือกความยาวคลื่นที่มีความเป็นไปได้ที่จะสัมพันธ์กับค่าที่วิเคราะห์ ซึ่งการสร้างสมการ Calibration แบบอาศัยหลักวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ และวิธีการทางสถิติมาช่วยในการสร้างสมการ ได้แก่ Simple Linear Regression, Multiple Linear Regression

การสร้างสมการ Calibration โดยใช้ Simple linear regression หรือ Single term linear regression ในเทคนิค NIR เป็นการเลือกใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่สัมพันธ์กับค่าที่ต้องการ

วิเคราะห์เพียงความยาวคลื่นเดียว ซึ่งทำให้ค่า correlation ที่ได้มีค่าต่ำจึงไม่นิยมนำมาใช้ในการสร้างสมการ calibration

Multiple Linear Regressions (MLR) เป็นวิธีการใช้ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่า 1 ตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) ซึ่งเป็นค่าตัวแปรที่ได้จากวิธีอ้างอิง 1 ตัว จะทำให้สมการที่ได้ลดความผิดพลาดในการประมาณค่าลงได้ หากพิจารณาในเรื่องการใช้เทคนิค NIRS ในการหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างก็หมายถึงการพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่หลายความยาวคลื่นนั่นเอง สมการ regression คือ

$$\text{สมการ regression } y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (2.3)$$

$$\text{model regression } Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + e \quad (2.4)$$

ซึ่ง $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k =$ (partial regression coefficient)

2. Full spectrum analysis เป็นวิธีการคัดเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม (Selective wavelength) จากความยาวคลื่นทั้งหมดที่มีในสเปกตรัมมาสร้างสมการ calibration ดังวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว บางครั้งอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ถ้ามีการสร้างสมการที่ไม่ถูกต้อง อาจเกิดปัญหาทำให้ค่าที่ทำนายต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่แท้จริง (Underestimation) อันเนื่องมาจากการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการสร้างสมการ (Interference) หรือเกิดปัญหาเมื่อมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายมีน้อย จึงทำให้ได้สมการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการ ทำให้ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ (Over fitting)

การใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีในทุกความยาวคลื่นของสเปกตรัม (Full spectrum) น่าจะเป็นหนทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างไรก็ตามปัญหาที่มีอยู่ คือการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไป

การใช้วิธีทางสถิติในการจัดกลุ่มแยกประเภทตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกัน และทำการสร้างตัวแปรใหม่ที่เกิดมาจากตัวแปรเดิมจะช่วยทำให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่

Principal Components Regression (PCR) การทำ PCR จะเริ่มจากการทำ Principal Components Analysis (PCA) กับข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระที่ได้มาจากข้อมูลของสเปกตรัมเพื่อสร้างองค์ประกอบหรือตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า New Factors ก่อน แล้วจึงนำค่าตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ได้จากวิธีอ้างอิงเพื่อสร้างสมการ calibration โดยใช้หลักการของ MLR

Principal Components Analysis (PCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนของตัวแปรอิสระในกรณีที่มีตัวแปรอิสระมีจำนวนมาก ยกตัวอย่างเช่น วัดค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่ 700 ความยาวคลื่น จำนวนสเปกตรัมดังกล่าว คือจำนวนของสเปกตรัมอิสระนั่นเอง การลดลงของจำนวนตัวแปรมีวิธีการคือ แบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่าปัจจัย (factor) หรือ องค์ประกอบปัจจัยที่สร้างขึ้น อีกนัยหนึ่งก็คือผลรวมของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน factor จะมีได้หลายปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีน้ำหนักแตกต่างกัน แต่ค่าสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นปัจจัยนั้นๆ ปัจจัยแรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด ปัจจัยที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือ ซึ่งทำให้ปัจจัยแต่ละปัจจัยแทบจะไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน (Non-Collinearity) ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เมื่อทำการหาปัจจัยเรียบร้อยแล้ว นำปัจจัยที่ได้มาทำ Regression กับค่าทางเคมีโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้ได้ค่า Chemical loading หรือ Calibration coefficient

Partial Least Square (PLS) Regression เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปร เช่นเดียวกับวิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการถดถอยของสมการทำนาย ซึ่งใน PLS ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีการนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาคิดในกระบวนการหาปัจจัยด้วย ซึ่ง Kasemsamran, 2005 [35] ได้ อธิบายถึง PLS ว่าเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรหลายตัวแปร โดยการสร้างปัจจัยแบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้น และนำปัจจัยที่ได้ไปใช้ในการสร้างสมการถดถอย โดยปัจจัยที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธีสถิติ PLS ต้องสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล และเกี่ยวข้องกับค่าทางเคมีในเวลาเดียวกัน วัตถุประสงค์ของ PLS เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัม ให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับการทำนายค่าทางเคมีที่สนใจเท่านั้น เพื่อให้สามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

2.8.2 การทำ Validation

หลังจากที่ได้สร้างสมการแล้ว ต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของสมการนั้น ก่อนนำไปใช้งานจริง ซึ่งการทดสอบสมการที่นิยมมี 2 วิธี คือ

2.8.2.1. Full cross validation

เป็นการทดสอบสมการภายในความหมายคือ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ เป็นตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมด ที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีนั่นเอง มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
2. ใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่เหลือทำการสร้างสมการ
3. นำสมการที่ได้ประเมินค่าทางเคมีของตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ที่ตัดออก

4. ใส่ตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 กลับคืนเข้าไป
5. ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
6. ทำขั้นตอนซ้ำข้างต้น จนครบทุกตัวอย่าง

จากนั้นทำการหาค่า Root Mean Square Error of cross validation (RMSECV)

2.8.2.2 การทดสอบผลการประเมิน (Prediction testing)

วิธีนี้จะทดสอบสมการแบบภายนอก โดยการเตรียมตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลอง เช่นเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาทดลองสมการนี้ว่า ชุดทดสอบ (Testing set) ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่าหนึ่งตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) สิ่งที่ต้องระวังคือ ปริมาณค่าทางเคมีที่ใช้ทดสอบต้องอยู่ในช่วงมาตรฐาน หลังจากได้สเปกตรัมจากชุดทดสอบก็นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณค่าทางเคมีจากสมการ จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้จากค่าทางสถิติ ซึ่งค่าทางสถิติที่ควรพิจารณาคือ ค่า Bias ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธี NIR กับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง และค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) หรือค่า Standard error of prediction (SEP) ซึ่งแสดงสมการในหัวข้อ 2.9

2.9 เทอมที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของโมเดล [36]

สถิติที่ใช้ในการประเมินค่า NIRS calibration

2.9.1 ค่าเฉลี่ย (The mean)

ค่าเฉลี่ยเป็นค่าทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่ใช้อ้างอิง (X) หรือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัม (Y) ค่าเฉลี่ยนั้นจะถูกคำนวณจากผลรวมของค่า X หรือ Y และถูกหารโดยจำนวนของข้อมูล (N) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\bar{X} = \sum X/N \quad (2.5)$$

2.9.2 Standard deviation (SD)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลง หรือความแปรปรวนในข้อมูล นั่นคือ รากที่สอง ของความแปรปรวน สูตรในการหาค่า SD_x (หรือ SD_y) คือ

$$SD_x = \{(\sum X^2 - (\sum X)^2/N)/(N-1)\}^{1/2} \quad (2.6)$$

2.9.3 Coefficient of variability (CV %)

CV คือ SD ของประชากร x 100 แบ่งโดยค่ากลางของประชากร แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$CV = (SD*100)/\text{Mean } X \text{ (หรือ } Y) \quad (2.7)$$

ค่า CV แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์

ค่า Coefficient of variability (CV %) ถูกแสดงออกมาในเทอมของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า CV นี้สัมพันธ์ ค่า SD กับ ค่าเฉลี่ย และยังแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ของความแปรปรวนในกลุ่มประชากร ซึ่งเป็นอิสระจากหน่วยที่ใช้ในการวัด ตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นตัวอย่างในการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %) ของตัวแปร

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %) [36]

| ลำดับ | ค่าปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวสาลี | ค่าสถิติ | ค่าที่ได้ |
|-------|---------------------------------|--------------|------------|
| 1 | 9.7 | N | 12 |
| 2 | 11.9 | Mean | 13.08 |
| 3 | 17.3 | ΣX | 157.0 |
| 4 | 14.2 | ΣX^2 | 2106.56 |
| 5 | 12.6 | SD | ± 2.18 |
| 6 | 10.3 | CV % | 16.67 |
| 7 | 15.1 | | |
| 8 | 14.8 | | |
| 9 | 11.1 | | |
| 10 | 12.4 | | |
| 11 | 13.5 | | |
| 12 | 14.1 | | |

2.9.4 Bias (ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และข้อมูลที่อ้างอิง)

เมื่อทำนายค่าตัวแปรที่ต้องการของข้อมูลในเซตตัวอย่าง Validation ค่า Bias หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดย NIRS และเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของ calibration ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญมากในทางสถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้แม้เมื่อค่าสถิติสัมพันธ์กับความสัมพันธ์และ SEP แสดงว่าค่า calibration นั้นดีเยี่ยม

ตารางที่ 2.6 การแปลความหมายของค่า r และ r^2 [36]

| ค่าของ r | r^2 | การแปลความหมาย |
|--------------|------------|--|
| Up to +/-0.5 | Up to 0.25 | ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration |
| +/-0.51-0.70 | 0.26-0.49 | เป็นความสัมพันธ์ที่แย่ ควรหาเหตุผล |
| +/-0.71-0.80 | 0.50-0.64 | OK สำหรับการคัดเลือกอย่างหยาบๆ |
| +/-0.81-0.90 | 0.66-0.81 | OK สำหรับการคัดเลือกและการประมาณค่าอย่างหยาบๆ |
| +/-0.91-0.95 | 0.83-0.90 | ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย |
| +/-0.96-0.98 | 0.92-0.96 | ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ |
| +/-0.99+ | 0.98+ | ดีเยี่ยม ใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้ |

ในเทคโนโลยี NIRS ระดับ error ของ optical data จะต่ำกว่าข้อมูลอ้างอิงเสมอ ซึ่งเป็นผลดีในการใช้ Multiple Linear Regression (MLR) ในการพัฒนา calibration ซึ่งสมมุติว่าไม่มี error ในค่า X (optical data) เช่นเดียวกับกรณีของ r , สัมประสิทธิ์ Regression และจุดตัด มีค่าเป็นไปได้อย่างถูกต้องและค่าลบอีกด้วย

สูตรในการคำนวณ b คือ

$$\frac{(\sum x \cdot y) - [(\sum x \cdot y) / N]}{[\sum y^2 - [(\sum y)^2 / N]} = \frac{r \cdot SD_y}{SD_x} \quad (2.10)$$

สูตรในการคำนวณ a คือ

$$a = Y \text{ bar} * (b * X \text{ bar}) \quad (2.11)$$

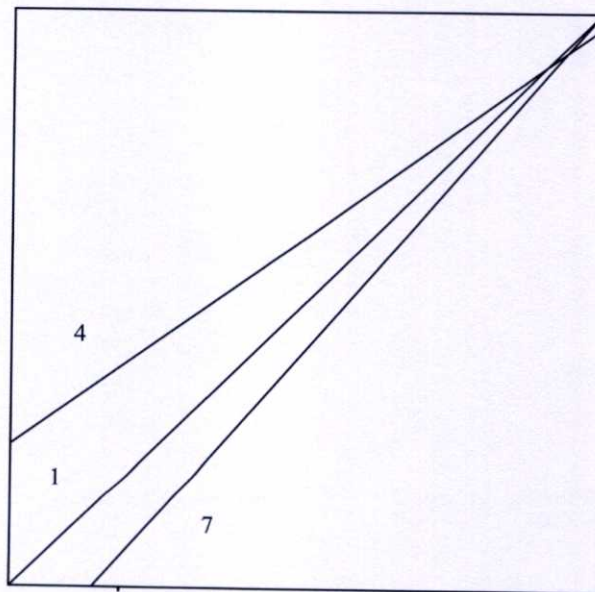
2.9.8 การแจกแจงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และค่าอ้างอิง

รูปแบบหรือการแจกแจงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนาย NIRS และค่าอ้างอิง ควรจะศึกษาสำหรับทุกๆ การ calibration ที่ยังไม่ได้ทดสอบมาก่อน มี 9 รูปแบบลักษณะความชันของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ทำนายจาก NIRS และค่าอ้างอิง สิ่งนี้ได้อธิบายไว้ในตารางที่ 2.7 การที่ความชันเปลี่ยนอาจจะเกิดพร้อมๆ กันกับค่า bias โดยรวมที่เป็นบวกหรือลบโดยการแก้ไข ความชัน/bias อาจจะใช้ประโยชน์ได้ Bias (ประเภท 8 และ 9) สามารถเกิดขึ้นได้โดยที่ความชันไม่มีความแตกต่าง

ตารางที่ 2.7 รูปแบบของความชัน [36]

| No. | ค่าอ้างอิงต่ำ | ค่าอ้างอิงสูง |
|-----|---------------|---------------|
| 1 | แน่นอน | แน่นอน |
| 2 | แน่นอน | สูง |
| 3 | แน่นอน | ต่ำ |
| 4 | สูง | ต่ำ |
| 5 | ต่ำ | สูง |
| 6 | สูง | แน่นอน |
| 7 | ต่ำ | แน่นอน |
| 8 | สูง | สูง |
| 9 | ต่ำ | ต่ำ |

ภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของประเภทความชัน 1, 4 และ 7 ประเภท 8 และ 9 สามารถแก้ไขด้วยการปรับปรุงจุดตัด (intercept) ส่วนประเภทอื่นทั้งหมดของ bias ต้องการการปรับปรุงค่าความชัน/bias ถ้าความชันต่างจาก 1.0 โดยมากกว่า ± 0.05 หรือถ้าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และค่าอ้างอิงมากกว่า 1.5% ของค่าเฉลี่ย ถ้าค่าความชันอยู่ใน ± 0.05 ของ 1.000 การเปลี่ยนความชัน ไม่น่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำนาย และไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนความชัน



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างของประเภทความชัน [36]

2.9.9 ค่า error มาตรฐานของการทำนาย Standard error of prediction (SEP หรือ SEV)

SEP เป็นเทอมของ Standard error of performance แสดงสมรรถนะของการทำนาย SEP เป็นค่า SD ของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และค่าอ้างอิง สูตรในการคำนวณ SEP คือ

$$SEP = \sqrt{\sum(X - Y)^2 - \{[\sum(X - Y)]^2 / N\} / (N - 1)}^{1/2} \quad (2.12)$$

ซึ่งไม่เหมือนกับ RMSEP โดย SEP ไม่เกี่ยวข้องกับ bias SEP คำนวณจากผลการทำนายของเซตตัวอย่างที่ไม่ได้ถูกใช้ในการพัฒนา calibration เซตตัวอย่างนี้คือ Prediction เซตตัวอย่างที่ถูกใช้ใน validation ของ calibration ประกอบด้วยตัวอย่างชนิดเดียวกัน นั่นคือความไม่เกี่ยวข้องอย่างสมบูรณ์ต่อเซตตัวอย่าง calibration บ่อยครั้งที่ตัวอย่าง validation คือส่วนหนึ่งของ single population จากทั้งเซตตัวอย่าง calibration และ validation รวมกัน ในเงื่อนไขนี้ เป็นกรณีที่ดีมากในการใช้เทอม SEV เพื่อแสดง Standard error of validation บางสูตรใช้ $N-2$ ขณะที่อื่นๆใช้ $(N-2)^{1/2}$ แทน $N-1$ ในทางปฏิบัติ ความเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้เกิดความแตกต่างเพียงเล็กน้อย โดยมีเงื่อนไขว่าเซต validation ต้องมีอย่างน้อย 40-50 ตัวอย่าง

ค่า Standard error of calibration (SEC) ซึ่งคือค่า SD ของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIR และตัวอย่างค่าอ้างอิงในเซตตัวอย่าง calibration การดูซ้ำคลื่นความยาวคลื่นติดกัน มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างมากและถ้าใช้ MLR, r และ SEC จะดีขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนตัวแปรต้นมากขึ้น สิ่งนี้เรียกว่า over-fitting ของข้อมูล (multicollinearity) ถ้าการทำ validation แสดงค่า r ต่ำ และ SEP สูงจนยอมรับไม่ได้ เซต calibration สามารถถูกทำนายและโดยเฉพาะแต่ละข้อมูล SEC อาจจะแสดงให้เห็นว่ามี outliers 1 หรือมากกว่านั้น การเอาออกอาจจะทำให้ค่า r และ SEP ดีขึ้นตามหลักค่า SEP ควรจะสูงกว่า SEC เสมอ

2.9.10 ค่า error มาตรฐานของ cross-validation (SECV)

Cross-validation สามารถใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการสร้าง calibration โมเดลเพื่อทำ validation สิ่งนี้ทำโดยชักตัวอย่างออกหนึ่งตัวอย่างหรือกลุ่มของหลายตัวอย่างจากชุด calibration และทำการปรับปรุงโมเดล calibration ด้วยตัวอย่างที่เหลืออยู่ ตัวอย่างที่ถูกกำจัดเป็นตัวอย่างที่ทำนายและบันทึกค่าความผิดพลาด แล้วนำตัวอย่างนั้นกลับมาแล้วชักตัวอย่างอื่นออกไปและทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลและทำนาย ซึ่งบันทึกค่าความผิดพลาด จะไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลซึ่งเราได้ใช้ทำนาย ถ้าเอาออกเพียงทีละ 1 ตัวอย่างวิธีนี้เรียกว่า “full” หรือ “one-out” cross-validation ถ้านำชุดตัวอย่างออกจะ

เรียกว่า “segmented” cross-validation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างที่เหลืออยู่ระหว่างค่าที่ถูกทำนายโดย NIRS และค่าอ้างอิง คือ The standard error of cross-validation (SECV)

Cross-validation ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง และถูกใช้ในหลายการตีพิมพ์ แต่มีข้อเสียที่ว่าไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับ bias หรือ ความชัน/intercept เพราะว่าตัวอย่างทั้งหมดถูกชักออกจากชุดประชากรเดียวกัน สำหรับชุดตัวอย่างเล็ก (ถึง N=100) นิยมใช้ cross-validation มากกว่าวิธี test-set ในการวิเคราะห์โมเดล calibration เหตุผลก็คือชุดตัวอย่างขนาดเล็กนั้นมีความน่าพอใจในการเลือกตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของตัวอย่างทั้งหมดซึ่งเป็นไปได้ใน test-set. One-out cross-validation ใช้เพียงแค่ 2-3 วินาทีด้วยคอมพิวเตอร์ และให้ภาพที่แท้จริงของประสิทธิภาพของโมเดล calibration

ส่วนชุดตัวอย่างที่มีจำนวนมาก (300-400+) ควรจะใช้ประมาณ 20% ของตัวอย่าง เป็น validation test set แรก อีก 20% สำหรับ validation test set ที่สองและใช้ที่เหลือ 60% เพื่อสร้างโมเดล calibration

2.9.11 Root mean square of the difference (RMSD, RMSEP)

เป็นเทอม Root mean square of the prediction (RMSEP) ค่า Root mean square ของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และค่าอ้างอิงเป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของสมการ calibration ค่า RMSD ได้รวมค่า bias error ถ้าไม่มีค่า bias อยู่ SEP และ RMSD จะมีค่าเท่ากัน การใช้ค่าสถิติ RMSD ถูกแนะนำมากกว่า SEP

สูตรการคำนวณ RMSD คือ

$$\text{RMSD} = \{[\sum(X - Y)^2]/N - 1\}^{1/2} \quad (2.13)$$

การรายงานผลโดยใช้ SEP กับ Bias แสดงถึงความแม่นยำของการทำนายได้ดี เนื่องจาก RMSD เกี่ยวข้องกับ Bias แต่ไม่ได้แสดงขนาดและเครื่องหมาย

2.9.12 Ratio of SEP to the SD (RPD)

RPD ย่อมาจาก Ratio of (Standard error of) Prediction (Validation) to (Standard) Deviation อัตราส่วนของ (ค่า error มาตรฐาน) การทำนาย (validation) กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ RPD คือสถิติอย่างง่ายที่ทำให้สามารถศึกษาความสัมพันธ์ของ SEP ในเทอมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอ้างอิง คำนวณโดยการหาร SD ของค่าอ้างอิงที่ใช้ใน validation (SD_x) ด้วย SEP

$$RPD = (SD_x(\text{ตัวอย่าง validation}))/SEP \quad (2.14)$$

อีกวิธีหนึ่งคือใช้สูตร

$$RPD = 1/(1-r^2)^{1/2} \quad (2.15)$$

ซึ่งผู้ใช้ส่วนมากพบว่าการใช้สูตรแรกง่ายกว่า

ค่า SEP ควรต่ำกว่า SD มากๆ ซึ่งอัตราส่วนควรเท่ากับ 5 หรือมากกว่า บางกรณีตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก ค่า SD จึงไม่สูง ซึ่ง RPD อาจจะไม่สูง แต่ถ้า SEP ต่ำกว่า SD มาก ดังนั้น RPD เท่ากับ 2.5-3.0 ก็อาจแสดงถึงการวิเคราะห์ที่แม่นยำถ้า SD มีค่าเพียง 0.4-0.5

2.9.15 Ratio of the SEP to the range (RER)

วิธีอื่นๆ ที่ใช้ในหามาตรฐาน SEP คือการหาความสัมพันธ์ของ SEP ต่อช่วงกว้างของข้อมูลอ้างอิง อัตราส่วนของ SEP ต่อช่วง RER แสดงดังสูตรต่อไปนี้

$$RER = (\text{ช่วงในข้อมูล validation อ้างอิง})/SEP \quad (2.17)$$

ค่า RER ควรจะสูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แต่ก็สามารถสูงขึ้นอย่างผิดปกติโดยตัวอย่างเดียวที่มีความเข้มข้นสูงมาก ขณะที่ SD คือไม่มีผลกระทบจากค่า ค่าเดียว ตารางที่ 2.8 อธิบายผลของค่า RPD และ RER

ตารางที่ 2.8 ค่าทางสถิติ RPD และ RER [35]

| ค่า RPD | ค่า RER | การแบ่งกลุ่ม | การประยุกต์ใช้ |
|---------|---------|--------------|----------------------|
| 0.0-2.3 | จนถึง 6 | แย่มาก | ไม่แนะนำ |
| 2.4-3.0 | 7-12 | แย่ | คัดเลือกแบบหยาบๆ |
| 3.1-4.9 | 13-20 | พอใช้ | คัดเลือก |
| 5.0-6.4 | 21-30 | ดี | ควบคุมคุณภาพ |
| 6.5-8.0 | 31-40 | ดีมาก | ควบคุมขั้นตอน |
| 8.1+ | 41+ | ดีเยี่ยม | ได้ทุกการประยุกต์ใช้ |

2.9.16 สรุป

การอธิบายการสรุปของค่าสถิติเหล่านี้ SEP แสดงความแปรผันในความเบี่ยงเบนของ X จาก Y และ bias ค่าเฉลี่ยซึ่งแสดงความแตกต่างของผล SEP ร่วมกับ Bias แสดงความแม่นยำโดยรวมของกระบวนการทดสอบค่า RPD สร้างความสัมพันธ์ SEP กับ SD ของข้อมูลอ้างอิง และสร้างมาตรฐานของการแปลความหมายของ SEP ค่า RPD ที่สูง (อย่างดีที่สุดเท่ากับ 5 หรือมากกว่า แต่ที่อย่างน้อยคือที่ 3) แสดงประสิทธิภาพในการทำนาย NIR SEP คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จึงมีข้อจำกัดเช่นเดียวกับ SD

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์, r หรือค่าการตัดสินใจ, r^2 แสดงความใกล้เคียงของความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจากการทำนายของ NIR และข้อมูลอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่สูงกับค่า SEP และ Bias ที่ต่ำ ร่วมด้วย slope ที่เข้าใกล้ 1.0 หมายความว่าผล NIRS ถูกต้องในช่วงข้อมูลที่วัด และยังคงอยู่ด้วยภายใต้เงื่อนไขว่าค่าสถิตินี้ได้จากจำนวนตัวอย่างที่มากเพียงพอ ตัวอย่างควรมีอย่างน้อย 25 ตัวอย่างสำหรับทุกๆความยาวคลื่นโดยใช้ MLR และที่อย่างน้อยที่สุด 15 ตัวอย่างต่อปัจจัยในการใช้ PLS regression ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่สูง (>0.95) กับค่า bias โดยตลอด หรืออย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองที่มากที่สุด หมายความว่ายังคงมีความคลาดเคลื่อนอย่างแน่นอน

Slope แสดงระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าที่สัมพันธ์กับค่าอ้างอิง ค่า slope เท่ากับ 1 คือค่าที่ดีเยี่ยม เพราะมันแสดงว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงในเซตทั้งสองของข้อมูลเหมือนกันทุกประการ ความเบี่ยงเบนจาก 1.0 ที่มากกว่า 0.05 ควรจะต้องแก้ไข slope และค่า bias ที่อาจเป็นไปได้ ความเบี่ยงเบนที่มากกว่า 0.1 มีนัยสำคัญมาก และต้องการการสืบสวนไปยังสาเหตุ ค่า regression ทางสถิติ b และ a สามารถใช้ในสมการ $y = a + bx$ เพื่อแก้ไขให้ถูกต้องของ slope และ bias ในทางปฏิบัติ การเปลี่ยน slope ไม่ควรทำ โดยทั่วไป ถ้าค่า slope มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจาก 1.0 โมเดล calibration อาจจะไม่ดีในการทำนายสำหรับตัวอย่างที่ตามมา

การปรับปรุง slope/bias จะช่วยทำให้ทำนายตัวอย่างที่มีค่าสูงมากได้แม่นยำขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์จะไม่เปลี่ยน ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์น้อย (<0.8) โดยปรกติจะเป็นไปไม่ได้ที่ NIRS จะทำนายได้แม่นยำสูงสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าจะปรับปรุง slope/bias แล้วเพราะว่าโมเดล calibration อาจจะไม่สามารถใช้ได้ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่ต่ำระหว่างข้อมูลที่ทำนายโดย NIRS และข้อมูลอ้างอิงหมายความว่าวิเคราะห์ NIR ไม่ประสบผลสำเร็จ ถ้าสาเหตุของข้อผิดพลาด (error) ของผล NIR ที่ไม่ดี ได้ถูกศึกษาอย่างระมัดระวัง รวมถึงการวิเคราะห์ค่าอ้างอิง แต่ผลยังคงไม่ดี แสดงถึง NIRS นั้นไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์, r^2 , bias และค่า RPD คือค่าทางสถิติที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการประเมินค่าความมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โดย NIRS

2.10 ประโยชน์ของการใช้เทคนิค NIR [37]

ประโยชน์จากการใช้ NIR มีข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากมาย เช่น

1. เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง รวมทั้งวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากและใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อย
2. เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ประหยัดระยะเวลา เชื่อถือได้ และปลอดภัย
3. เป็นวิธีที่สามารถใช้ทดแทนการวิเคราะห์ทางเคมีได้ในระยะยาว จึงสามารถลดต้นทุนการผลิตอีกทั้งไม่ใช้สารเคมีในการเตรียมตัวอย่างดังนั้นจึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย
4. ในการวัดสเปกตรัมแต่ละครั้งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อทำนายค่าต่างๆได้หลายค่าในเวลาเดียวกัน

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 Steuer et al., 2001 ใช้วิธี NIR เพื่อวิเคราะห์หองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำมันของพืชตระกูลส้ม สเปกตรัมของน้ำมันจากเกรปฟรุ๊ต ส้ม ส้มแมนดาริน เลมอน และมะนาว ในช่วง 1100-2500 nm การประยุกต์ใช้ PCA ได้ผลดีในการแบ่งแยกชนิดน้ำมันจากผลไม้ สำหรับองค์ประกอบหลัก (เช่น limonene, γ -terpinene, sabinene) และพารามิเตอร์ทางเคมี-กายภาพทั่วไป (เช่น ค่าการสันตะเทียน ปริมาณ aldehydes) ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานอยู่ในช่วงของวิธีอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 > 0.95$ นอกจากนั้นความสัมพันธ์ในกระบวนการ การหาปริมาณ nootkatone และ aldehydes ระหว่างกระบวนการแยกน้ำมันและทำให้บริสุทธิ์จากเกรปฟรุ๊ต และส้ม [38]

2.11.2 Minh Tu et al., 2002 วิเคราะห์องค์ประกอบของส้มโอพันธุ์ Vietnamese (*Citrus drandis Osbeck*) ส้ม tangerine และ lime น้ำมันหอมระเหยที่ผิวถูกวิเคราะห์โดยใช้ GC และ GC-MS น้ำมันหอมระเหยที่ผิวสกัดโดยวิธีบีบเย็น พบว่ามี hydrocarbons >98.7% และ total aldehydes >0.3%, alcohols 0.2%, esters 0.4% เป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่าง ในส้มโอพันธุ์ Vietnamese ตรวจไม่พบ gamma-terpinene ส่วน pinolene ถูกตรวจพบปริมาณเล็กน้อย และ nootkatone มีปริมาณ <0.05% [39]

2.11.3 Njoroge et al., 2005 วิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอจากประเทศเคนย่า ด้วย GC และ GC-MS พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอมี 52 องค์ประกอบ, พบว่ามี monoterpene hydrocarbons 97.5% ของน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วย limonene 94.8%, α -terpinene 1.8%,

and α -pinene 0.5% ของส่วนประกอบหลัก มี sesquiterpene hydrocarbons 0.4% ซึ่งมีองค์ประกอบที่น่าสนใจ คือ β -caryophyllene, α -cubebene, และ (*E,E*)- α -farnesene พบ carboxy 1.3%, alcohols 0.3%, และ esters 0.4% [40]

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมผลส้มโอสำหรับการทดลอง

ส้มโอส่งออกพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง จากสวนส้มโอส่งออกที่อำเภอนครชัยศรี จ.นครปฐม โดยทำการสุ่มต้นส้มโอที่กำลังออกดอก จากนั้นรอวันที่ดอกบานนำป้ายพลาสติกไปมัดไว้กับช่อดอกพร้อมเขียนวันที่ดอกบาน รวมทั้งหมด 300 ช่อ แล้วปล่อยให้ผลส้มโอเจริญเติบโต ซึ่งอุปกรณ์ในการทดลองได้แก่ ป้ายพลาสติกพร้อมเชือกสำหรับผูก แข่ง และกรรไกรตัดก้าน

3.1.1 การเก็บเกี่ยวส้มโอที่อายุต่างๆ

สุ่มเก็บผลส้มโอจำนวน 20 ผล 4 ครั้ง เพื่อตรวจสอบคุณภาพดังนี้
เมื่อผลส้มโอครบ 190 วันหลังดอกบาน ให้สุ่มเก็บส้มโอ รวมทั้งหมด 20 ผล
เมื่อผลส้มโอครบ 200 วันหลังดอกบาน ให้สุ่มเก็บส้มโอ รวมทั้งหมด 20 ผล
เมื่อผลส้มโอครบ 210 วันหลังดอกบาน ให้สุ่มเก็บส้มโอ รวมทั้งหมด 20 ผล
เมื่อผลส้มโอครบ 220 วันหลังดอกบาน ให้สุ่มเก็บส้มโอ รวมทั้งหมด 20 ผล

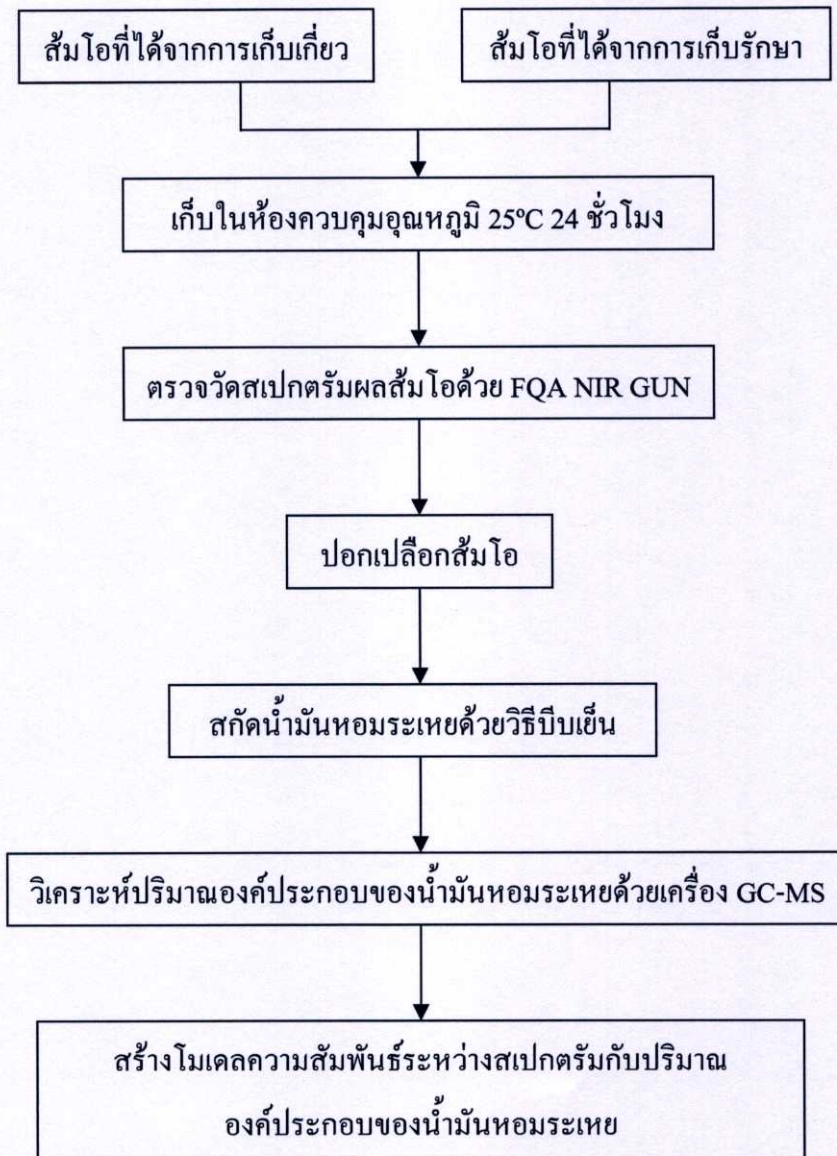
3.1.2 การเก็บรักษาส้มโอที่อายุต่างๆ

เก็บส้มโอเมื่อผลส้มโอครบ 210 วันหลังดอกบาน ซึ่งเป็นอายุการเก็บเกี่ยวเชิงการค้าจำนวน 135 ผล จากนั้นนำส้มโอมาสีอบผิวด้วยน้ำยาเคลือบผิว (Nature Bright, Israel) และนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70% การเปิดตู้เพื่อนำส้มโ้ออกจากตู้นั้นจะทำทุกๆ 15 วัน โดยมีกำหนดระยะเวลาดังนี้

1. ที่อายุการเก็บรักษาเริ่มต้น 0 วัน นำมาทดลองจำนวน 15 ผล
2. ที่ระยะเวลา 15 วันหลังการเก็บรักษา และนำมาทดลองจำนวน 15 ผล
3. ที่ระยะเวลา 30 วันหลังการเก็บรักษา และนำมาทดลองจำนวน 15 ผล
4. ที่ระยะเวลา 45 วันหลังการเก็บรักษา และนำมาทดลองจำนวน 15 ผล
5. ที่ระยะเวลา 60 วันหลังการเก็บรักษา และนำมาทดลองจำนวน 15 ผล
6. ที่ระยะเวลา 75 วันหลังการเก็บรักษา และนำมาทดลองจำนวน 15 ผล
7. ที่ระยะเวลา 90 วันหลังการเก็บรักษา และนำมาทดลองจำนวน 15 ผล
8. ที่ระยะเวลา 105 วันหลังการเก็บรักษา และนำมาทดลองจำนวน 15 ผล
9. ที่ระยะเวลา 120 วันหลังการเก็บรักษา และนำมาทดลองจำนวน 15 ผล



ภาพที่ 3.1 ส้มโอที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย wax



ภาพที่ 3.2 แผนผังแสดงการดำเนินการทดลอง

3.2 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายผลส้มโอ

3.2.1 อุปกรณ์การตรวจวัดแบบไม่ทำลายผลส้มโอ

1. เครื่อง FQA-NIR Gun (Shizuoka Shibuya Seiki, Hamamatsu, Japan)
2. วัสดุอ้างอิง (Ceramic)
3. ปากกาเคมี (Horse, Thailand)



ภาพที่ 3.3 FQA-NIR Gun

3.2.2 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ของผลส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อวัดค่าการดูดกลืนคลื่นของผลส้มโอ โดยใช้เครื่อง FQA NIR Gun ซึ่งมีลักษณะการวัดแบบ Interactance มีช่วงคลื่นระหว่าง 600-1100 nm และทำการตรวจวัดที่ทุกๆ 2 นาโนเมตร

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำความสะอาดผลส้มโอด้วยกระดาษชำระรอบผลส้มโอ
2. วางส้มโอไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนทดลอง
3. กำหนดตำแหน่งที่ตรวจวัดบริเวณด้านข้างกึ่งกลางผลส้มโอ แล้วทำเครื่องหมายบอกจากตำแหน่งที่วัด
4. นำเครื่อง FQA NIR GUN มาตรวจวัดวัสดุอ้างอิงก่อน เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการทำงานของเครื่อง
5. เริ่มการตรวจวัดที่ละตำแหน่ง โดยตั้งค่าที่เครื่อง FQA NIR GUN ให้ทำการตรวจวัด 3 ครั้งต่อตำแหน่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังภาพ 3.4
6. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3-5 จนครบทุกผล



ภาพที่ 3.4 สแกนผลส้มโอด้วย FQA NIR Gun

3.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น

3.3.1 วัสดุ

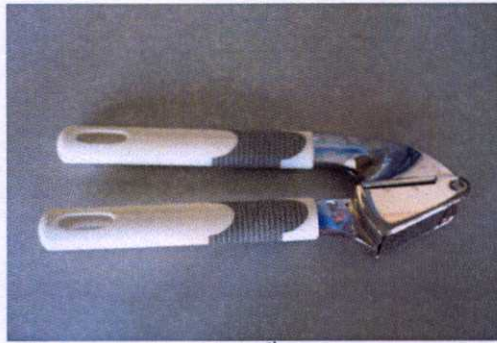
1. เปลือกส้มโอ ภาพที่ 3.5

3.3.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น

1. มีคบาง
2. ที่บีบน้ำมันจากเปลือก (ที่บีบกระเทียม) ภาพที่ 3.6
3. กรวยแก้ว
4. บีกเกอร์ ขนาด 250 ml
5. ขวดฉีดสารละลาย
6. เครื่อง Microcentrifuge และ tube (Spectrofuge, North Carolina, USA) ภาพที่ 3.7, 3.8
7. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ Microprocessor Control Incubator (Accuplus, i250, Thailand)
8. ตู้อบลมร้อน Hot Air Oven (Mettler, Germany) ภาพที่ 3.10
9. Micro pipette 100 μ l (IKA[®]-PET, Germany) ภาพที่ 3.9
10. Micro pipette Tip 100 μ l (Eppendorf, Germany) ภาพที่ 3.9
11. ขวด vial ขนาด 1.5 ml ภาพที่ 3.17
12. โถดูดความชื้น (desiccator) ภาพที่ 3.11
13. จานแก้ว
14. เขียงพลาสติก
15. Sodium sulfate anhydrous (Na_2SO_4) (Univar Ajax, Finechem, Australia)
17. Sodium chloride (NaCl) (Univar Ajax, Finechem, Australia)
18. น้ำกลั่น
19. น้ำแข็งบด



ภาพที่ 3.5 เปลือกส้มโอ



ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์บีบน้ำมันจากเปลือกส้มโอ



ภาพที่ 3.7 เครื่อง Micro centrifuge



ภาพที่ 3.8 Micro centrifuge tube



ภาพที่ 3.9 Micropipette และ Tip



ภาพที่ 3.10 ตู้อบ Hot Air Oven



ภาพที่ 3.11 โถดูดความชื้น

3.3.3 วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น

3.3.3.1 เตรียมอุปกรณ์ โดยใส่น้ำแข็งบดลงในบีกเกอร์ เสียบ Centrifuge tube ลงไปจากนั้น ใส่กรวยแก้วให้ลง tube ดังภาพ 3.12 และ 3.13



ภาพที่ 3.12 อุปกรณ์การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น

3.3.3.2 การเตรียม Anhydrous Na_2SO_4

1. ชั่ง Na_2SO_4 2 กรัม ใส่จานแก้ว
2. นำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105°C 24 ชั่วโมงหรือมากกว่า
3. นำใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที รอให้เย็นจึงนำไปใช้

3.3.3.3 การเตรียมสารละลาย NaCl อิ่มตัว

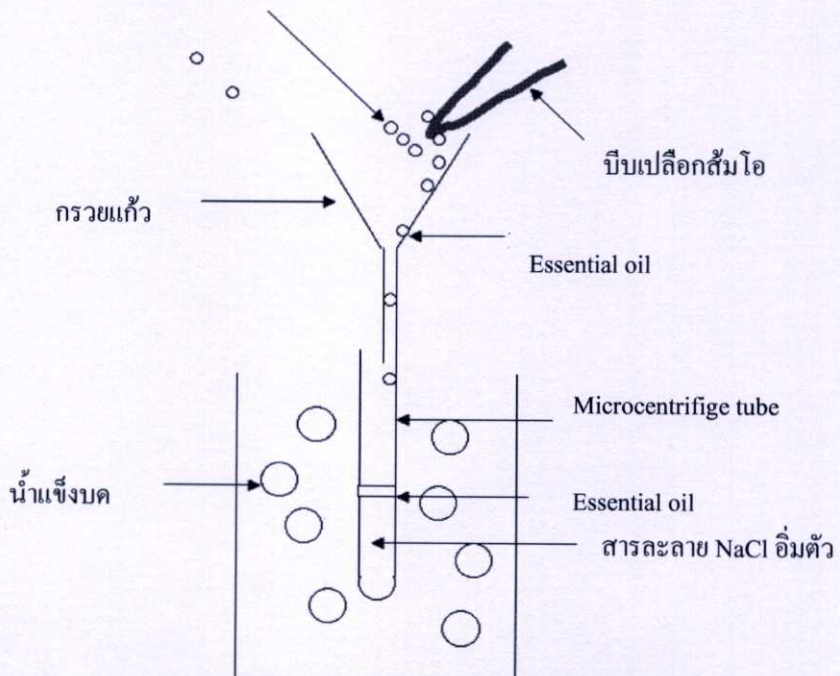
1. นำน้ำกลั่นใส่ลงในขวดรูปชมพู่

2. ใส่สาร NaCl ทีละน้อย คนให้เกลือละลาย
 3. สังเกตดูว่ามีผลึกเกลือที่ก้นขวดรูปชมพู่ จึงหยุดใส่สาร
 4. ได้สารละลาย NaCl อิ่มตัว ทำไปใส่ในขวดฉีดยา
- 3.3.3.4 ขั้นตอนการทดลองการสกัดน้ำมันหอมระเหย
1. ใช้มีดบางสไลด์เปลือกส้มโอเฉพาะที่เป็นสีเขียว (Flavedo) ใส่ในที่บีบ
 2. ใช้ที่บีบ บีบน้ำมันออกใส่ในกรวยแก้ว
 3. หยดสารละลาย NaCl เข้มข้น 2-3 หยด ผสมกับน้ำมันหอมระเหยบางครั้ง
 4. ได้น้ำมันหอมระเหยซึ่งผสมอยู่กับเนื้อผิวเปลือกและสารละลาย NaCl เรียกว่า

อิมัลชัน ดังภาพที่ 3.14

5. นำไปเหวี่ยงแยกชั้นด้วยเครื่อง Microcentrifuge (4000g, 15 นาที, 5°C) ภาพที่ 3.15
6. ใช้ MicroPipette ดูดส่วนที่เป็นน้ำมันหอมระเหยออกมา (ส่วนที่อยู่ชั้นบนสุดสีเขียว ภาพที่ 3.16) จะได้เป็นน้ำมันดิบ (Crude oil)
7. นำ น้ำมันดิบไปทำให้แห้งด้วย Anhydrous Na_2SO_4 เล็กน้อยโดยใส่ไว้ในตู้ความคุมอุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
8. ใช้ MicroPipette ดูดน้ำมันหอมระเหยใส่ขวด vial ภาพที่ 3.17
9. จากนั้นนำน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป (เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -21 °C จนกว่าจะทำการตรวจวิเคราะห์)

หยดสารละลาย NaCl 2-3 หยดบางเวลา



ภาพที่ 3.13 ผังการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีบีบเย็น



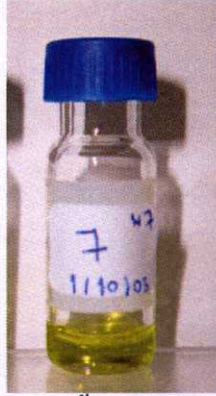
ภาพที่ 3.14 อิมัลชัน



ภาพที่ 3.15 เครื่องเหวี่ยงแยกชั้น Micro centrifuge



ภาพที่ 3.16 น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่แยกชั้น

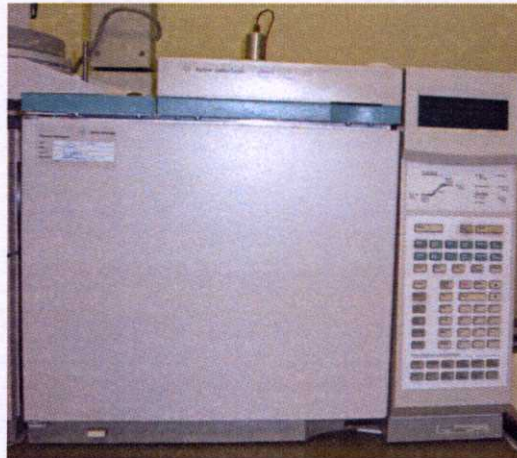


ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยในขวด vial

3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ

3.4.1 อุปกรณ์การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหย

1. เครื่อง GC (Gas Chromatography) (6890N, Agilent, USA) ภาพที่ 3.18
2. เครื่อง MS (mass selective detector) (5973, Agilent, USA) ภาพที่ 3.19
3. Capillary Column ชนิด DB-5 wax (J&W Scientific, Japan)



ภาพที่ 3.18 เครื่อง GC

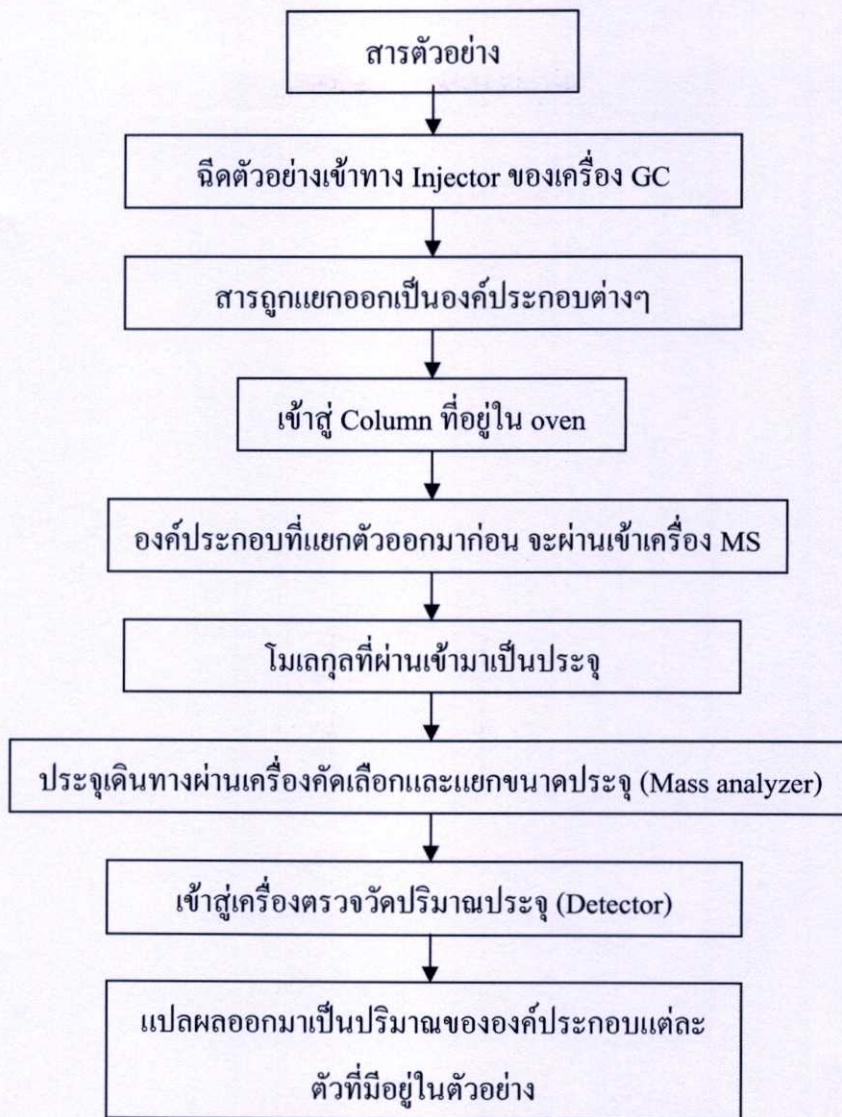


ภาพที่ 3.19 เครื่อง MS

3.4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหย

การวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหย วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) (6890N, Agilent Technologies, USA) และ แมสสเปกโตรเมตรี (MS) (5973, Agilent Technologies, USA) คอลัมน์คาพิลลารี (capillary column) ชนิด DB-Wax capillary column (ยาว 30m× 0.25 mm, ฟิล์มหนา 0.25 μm J&W Scientific, USA) คอลัมน์คาพิลลารีชนิดมีขั้ว เช่น DB-Wax ให้ความแน่นอนสูงในการแยกองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม [41] สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้ อุณหภูมิช่องให้ความร้อนถูกตั้งไว้ที่ 70°C (2 นาที) มีอัตราการเพิ่ม 2°C /นาที จนถึง 230°C (20 นาที) อุณหภูมิอินเจ็คเตอร์และดีเท็คเตอร์ เท่ากับ 250°C ใช้ปริมาณของตัวอย่างที่ฉีด 0.2 μl ในการฉีดเข้าเครื่อง GC โดยใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สพา

ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง GC-MS ดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 3.20 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง GC-MS

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR กับข้อมูลอ้างอิงจาก GC-MS

3.5.1 อุปกรณ์และซอฟต์แวร์การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ค่าทางสถิติ SPSS Version.10 (SPSS, Thailand)
3. ซอฟต์แวร์ The Unscrambler Version 7.01 (CAMO, Oslo, Norway)

3.5.2 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดย SPSS

ทำการจัดกลุ่มปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอในแต่ละอายุการเก็บเกี่ยวและแต่ละอายุการเก็บรักษาที่ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ด้วยซอฟต์แวร์วิเคราะห์ค่าทางสถิติ SPSS Version.10 (SPSS, Thailand) โดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ $p \leq 0.05$

3.5.3 วิธี Principle component analysis (PCA) และวิธี Partial Least Square (PLS)

การนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS นั้นพบว่าตัวอย่างที่นำมาวัดควรมีความหลากหลายในด้านของอายุ ขนาด เพื่อให้การสร้างสมการมีความครอบคลุมเมื่อนำไปทำนายค่า ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้นำค่าของทั้ง 4 อายุการเก็บเกี่ยวมารวมกันเพื่อสร้างสมการ และเช่นเดียวกันในการทดลองที่อายุการเก็บรักษานั้น ได้นำข้อมูลทั้ง 9 อายุการเก็บรักษามารวมกันเพื่อสร้างสมการ

หลังจากการทดลองหาค่าปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอในห้องปฏิบัติการเสร็จสิ้นลงแล้วนั้น จากนั้นจะนำสเปกตรัมที่ได้จากการทดลองโดยเครื่อง FQA-NIR Gun มาวิเคราะห์โดยซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Unscrambler Version 7.01 (CAMO, Oslo, Norway) ค่าอ้างอิงของปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยถูกกำจัดค่าที่ผิดปกติ (outlier) โดยสมการตรวจสอบค่าที่ผิดปกติ สมการ 3.1

$$\frac{X - \bar{X}}{SD} \geq 3 \quad (3.1)$$

X คือ ข้อมูลปริมาณองค์ประกอบ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย และ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สเปกตรัมของส้มโอแต่ละอายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาถูกกำจัดสเปกตรัมที่ผิดปกติ ไม่เข้ากลุ่มออกด้วยวิธี PCA ข้อมูลสเปกตรัมของส้มโอถูกรวมเข้ากับปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย เรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากโดยจะทำการแบ่งชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยใช้อัตราส่วน 5:2 จากนั้นทำการปรับแต่งสเปกตรัม

ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองนั้นจะใช้ข้อมูลจากกลุ่ม Calibration ในการสร้างแบบจำลองจะใช้แบบจำลองที่ได้จากค่าสเปกตรัมเดิมและจากค่าสเปกตรัมที่ได้รับการปรับแต่งโดยวิธีดังนี้

1. การปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี Full multiplicative scatter correction (MSC)
2. การปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี Second Derivative โดยใช้ช่วงข้อมูล 10 จุด (20 nm) (Savitzky-Golay algorithm, second order polynomial)

3. การปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี Second Derivative โดยใช้ช่วงข้อมูล 20 จุด (40 nm) (Savitzky-Golay algorithm, second order polynomial)

หลังจากทำการปรับแต่งสเปกตรัมตามวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้วเสร็จสิ้นจากนั้นจะทำการสร้างแบบจำลองที่ใช้เพื่อประเมินองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 663-961 nm เพราะช่วงอื่นมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อได้แบบจำลองแล้วนั้นจะนำแบบจำลองที่ได้มาทำนายค่าปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอของกลุ่มข้อมูลชุด Prediction หลังจากนั้นจึงนำผลการทำนายที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โมเดลของแต่ละองค์ประกอบถูกคัดเลือกบนพื้นฐานของค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) ที่สูงที่สุด ค่า Standard error of prediction (SEP) ที่ต่ำที่สุด ค่า bias ที่ต่ำที่สุด ค่า อัตราส่วนระหว่างช่วงข้อมูลต่อ SEP (RER) ควรสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ ถ้าค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 ไม่แนะนำในการประมาณค่า 7-12 เหมาะสำหรับการคัดเลือกแบบหยาบๆ 13-20 เหมาะสำหรับการคัดเลือก 21-30 ดีต่อการควบคุมคุณภาพ 31-40 ดีมากในการควบคุมกระบวนการ และค่าอัตราส่วนระหว่าง SD ต่อ SEP (RPD) ควรสูงกว่า 3 ถ้าค่า 3.1-4.9 พอใช้สำหรับการคัดเลือกแบบหยาบๆ 5-6.4 ดีต่อการควบคุมคุณภาพ 5.5-8.0 ดีมากสำหรับการควบคุมกระบวนการ [36]

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

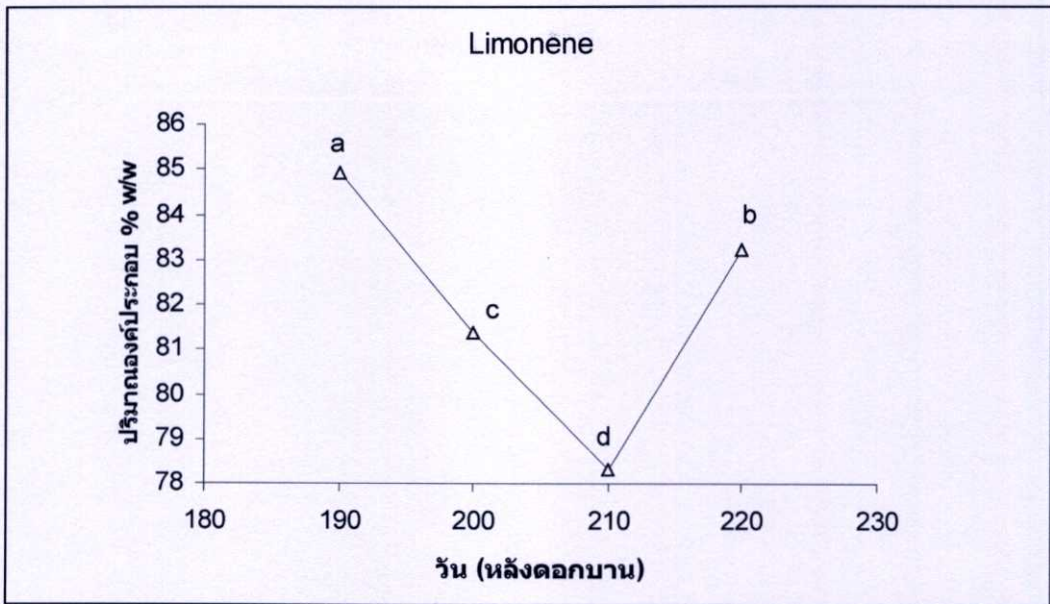
4.1 ผลการทดลองที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นที่อายุการเก็บเกี่ยว 190, 200, 210 และ 220 วันหลังดอกบาน พบว่า น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะเป็นของเหลวใส สีเขียวอมเหลือง และมีกลิ่นหอม

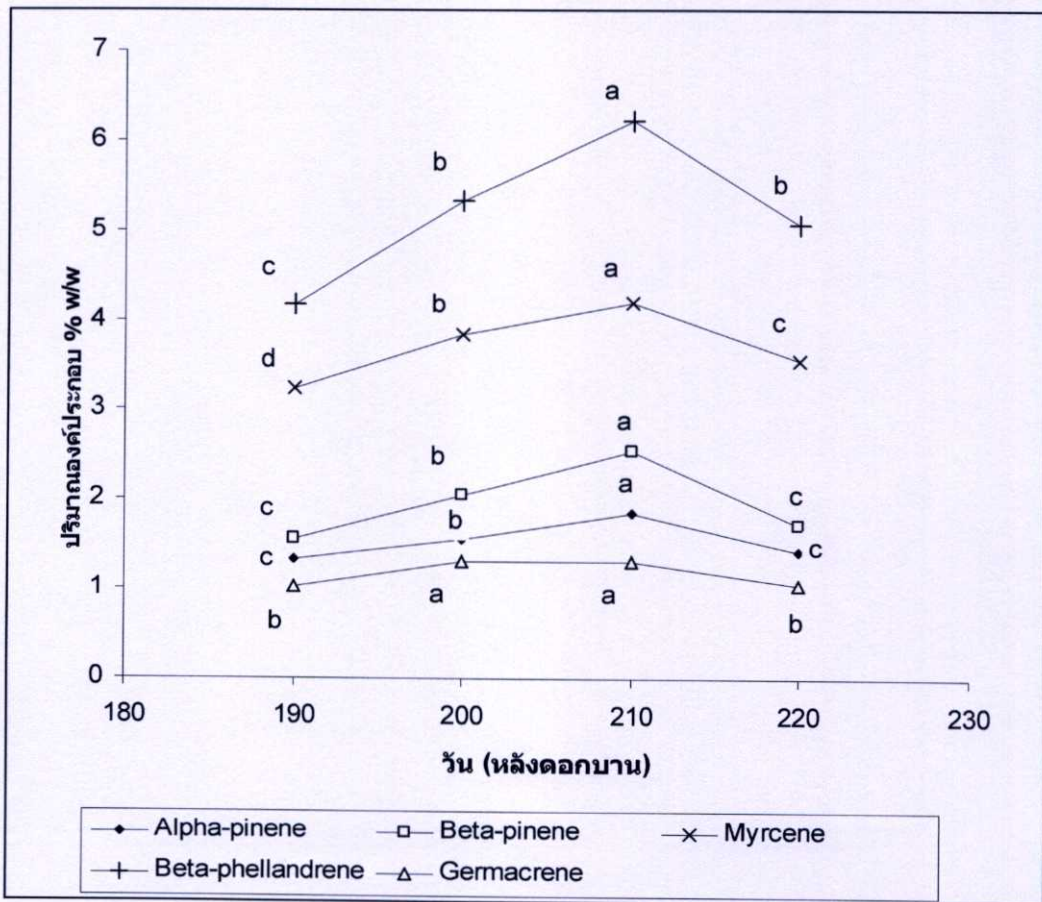
จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) พบว่า องค์ประกอบ limonene ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและน้ำหอม มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการย่อยอาหาร ทำความสะอาด ลดความอ้วน (ขจัดเซลล์ไขมัน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ มีปริมาณของ limonene ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานจาก [42] พบว่าปริมาณ limonene ลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 220 วันอย่างมีนัยสำคัญ alpha-pinene, beta-pinene, sabinene, beta-phellandrene, (E)-ocimene myrcene และ alpha-phellandrene มีคุณสมบัติในการกระตุ้น บำรุงและฆ่าเชื้อ [26] มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและลดลงในอายุการเก็บเกี่ยวสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ delta-cymene มีคุณสมบัติสงบระงับ ด้านไวรัส ด้านมะเร็ง [26] มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอน linalool alpha-terpineol มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค ด้านไวรัส กระตุ้น (stimulation) สมานผิว (toning) ขับปัสสาวะ [26] มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและลดลงในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่ 220 วันอย่างมีนัยสำคัญตามอายุการเก็บเกี่ยว caryophyllene มีคุณสมบัติสงบระงับ ด้านไวรัส ด้านมะเร็ง [26] มีปริมาณเพิ่มขึ้นในสองอายุการเก็บเกี่ยวแรกและลดลงอย่างต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญ neral และ geranial มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อ ลดการอักเสบ ลดความดัน ขยายหลอดเลือดและสงบระงับ ทำให้เกิดกลิ่น แต่อาจทำให้เกิดการแพ้ระคายเคืองได้ [26] มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสามอายุการเก็บเกี่ยว และลดลงอย่างมีนัยสำคัญ germacrene และ germacrene B พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสามอายุการเก็บเกี่ยว และลดลงอย่างมีนัยสำคัญ geranyl acetate พบในกลิ่นของผลไม้และดอกไม้ทั้งหลาย ทำให้เย็นผิว สงบระงับ ลดอักเสบ ด้านเชื้อรา [26] มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและลดลงในอายุการเก็บเกี่ยวสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ

ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงปริมาณองค์ประกอบของ Limonene ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงปริมาณองค์ประกอบของ Alpha-pinene, Beta-pinene, Myrcene, beta-phellandrene และ Germacrene ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



ภาพที่ 4.1 ปริมาณองค์ประกอบของ Limonene ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



ภาพที่ 4.2 ปริมาณองค์ประกอบของ Alpha-pinene, Beta-pinene, Myrcene, beta-phellandrene และ Germacrene ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

| ลำดับ | R.T. (min) | องค์ประกอบ | ปริมาณองค์ประกอบที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ (% w/w) | | | |
|-------|------------|---------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | 190 วัน | 200 วัน | 210 วัน | 220 วัน |
| 1 | 2.61 | alpha-pinene | 1.33±0.20 ^c | 1.56±0.17 ^b | 1.85±0.11 ^a | 1.42±0.20 ^c |
| 2 | 2.97 | camphene | L | L | L | L |
| 3 | 3.37 | beta-pinene | 1.55±0.28 ^c | 2.05±0.70 ^b | 2.54±0.40 ^a | 1.71±0.26 ^c |
| 4 | 3.48 | sabinene | 0.72±0.10 ^c | 0.91±0.17 ^b | 1.13±0.11 ^a | 0.79±0.12 ^c |
| 5 | 3.89 | myrcene | 3.23±0.49 ^d | 3.83±0.12 ^b | 4.18±0.13 ^a | 3.55±0.56 ^c |
| 6 | 3.97 | alpha-phellandrene | 1.05±0.15 ^d | 1.37±0.29 ^b | 1.81±0.239 ^a | 1.20±0.19 ^c |
| 7 | 4.44 | limonene | 84.93±1.57 ^a | 81.37±1.84 ^c | 78.33±1.23 ^d | 83.21±2.21 ^b |
| 8 | 4.56 | beta-phellandrene | 4.16±0.59 ^c | 5.32±0.82 ^b | 6.22±0.58 ^a | 5.05±0.58 ^b |
| 9 | 4.98 | (E)-ocimene | 0.19±0.04 ^c | 0.23±0.03 ^b | 0.32±0.04 ^a | 0.23±0.04 ^b |
| 10 | 5.28 | benzene | L | L | L | L |
| 11 | 5.44 | terpinolene | L | L | L | L |
| 12 | 5.49 | pentanol | L | L | L | L |
| 13 | 7.57 | cyclobutene | L | L | L | L |
| 14 | 7.92 | delta-clemene | 0.08±0.01 ^b | 0.05±0.01 ^c | 0.117±0.01 ^a | 0.049±0.01 ^c |
| 15 | 8.01 | 6-octenal | L | L | L | L |
| 16 | 8.26 | decanal | L | L | L | L |
| 17 | 8.84 | linalool | 0.24±0.03 ^c | 0.29±0.01 ^b | 0.31±0.01 ^a | 0.24±0.04 ^c |
| 18 | 9.44 | beta-clemene | L | L | L | L |
| 19 | 9.59 | caryophyllene | 0.16±0.02 ^b | 0.18±0.03 ^a | 0.17±0.03 ^{ab} | 0.13±0.02 ^c |
| 20 | 10.54 | neral | 0.22±0.02 ^b | 0.25±0.02 ^a | 0.26±0.02 ^a | 0.22±0.04 ^b |
| 21 | 10.73 | alpha-terpineol | 0.26±0.03 ^c | 0.30±0.03 ^b | 0.35±0.02 ^a | 0.25±0.05 ^c |
| 22 | 10.83 | diacetate | 0.05±0.01 ^b | 0.05±0.01 ^a | 0.06±0.01 ^a | 0.04±0.01 ^c |
| 23 | 10.92 | germacrene | 1.03±0.20 ^b | 1.31±0.21 ^a | 1.31±0.13 ^a | 1.04±0.18 ^b |
| 24 | 11.12 | geranial | 0.33±0.03 ^b | 0.39±0.04 ^a | 0.40±0.03 ^a | 0.33±0.07 ^b |
| 25 | 11.20 | germacrene B | 0.09±0.02 ^b | 0.11±0.02 ^a | 0.12±0.01 ^a | 0.09±0.01 ^b |
| 26 | 11.34 | geranyl acetate | 0.08±0.02 ^c | 0.10±0.01 ^b | 0.11±0.02 ^a | 0.09±0.02 ^c |
| 27 | 11.78 | methylbenzoate | L | L | L | L |
| 28 | 11.87 | nerol | L | L | L | L |
| 29 | 12.37 | 1,6-octadien-3-ol | 0.04±0.01 ^b | 0.05±0.01 ^a | 0.06±0.0 ^a | 0.04±0.01 ^b |
| 30 | 12.59 | 2-cyclohexen-1-ol | L | L | L | L |
| 31 | 14.43 | endo-1- bourbonanol | L | L | L | L |

ตัวอักษรที่แตกต่างในแถวเดียวกันแสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $p \leq 0.05$ โดย

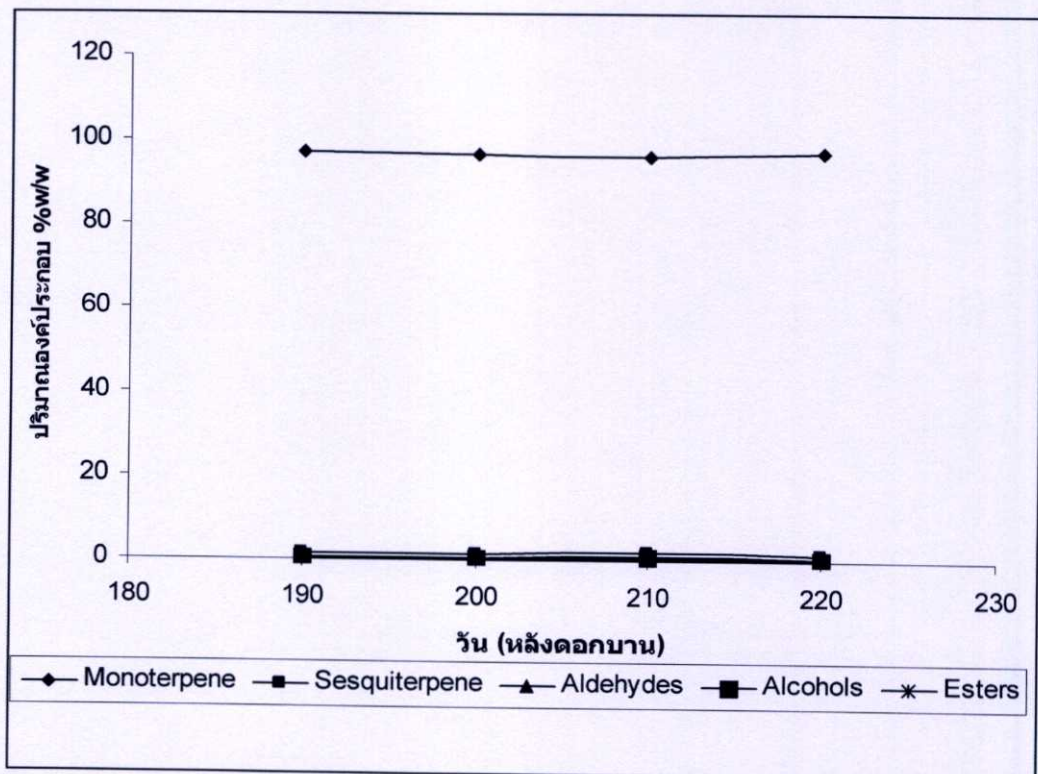
Duncan's multiple range test

R.T. (Retention Time) คือ เวลาที่พบพีก (นาที)

L คือพื้นที่พีกมากกว่า 0.005% แต่น้อยกว่า 0.05%

ตารางที่ 4.2 กลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

| กลุ่มองค์ประกอบ | ปริมาณองค์ประกอบที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ (% w/w) | | | |
|----------------------------|---|---------|---------|---------|
| | 190 วัน | 200 วัน | 210 วัน | 220 วัน |
| Monoterpene hydrocarbons | 97.17 | 96.65 | 96.39 | 97.17 |
| Sesquiterpene hydrocarbons | 1.36 | 1.65 | 1.72 | 1.32 |
| Oxygenated compounds | | | | |
| Aldehydes | 0.55 | 0.65 | 0.67 | 0.55 |
| Alcohols | 0.54 | 0.66 | 0.73 | 0.54 |
| Esters | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.13 |



ภาพที่ 4.3 กลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

เมื่อแบ่งกลุ่มตามองค์ประกอบทางเคมีดังตาราง 4.2 องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเป็นกลุ่ม Monoterpene hydrocarbons (96.39-97.17%) มีสารประกอบหลักคือ limonene (78.33-84.93%w/w) ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดที่พบซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ สกัดโดยวิธีบีบเย็น [41] รองลงมาคือ beta-phellandrene (4.16-6.22%w/w), myrcene (3.23-4.18%w/w), beta-pinene (1.55-2.54%w/w), alpha-pinene (1.33-1.85%w/w), alpha-phellandrene (1.05-1.81%w/w), sabinene (0.72-1.13%w/w), (E)-ocimene (0.19-0.32%w/w) ส่วนสารประกอบ camphene, terpinolene, cyclobutene และ benzene ถูกตรวจพบ ซึ่งมีปริมาณพื้นที่พิกมากกว่า 0.005% แต่น้อยกว่า 0.05% องค์ประกอบที่พบรองลงมาคือกลุ่ม Sesquiterpene hydrocarbons (1.32-1.72%w/w) มีสารประกอบหลักของกลุ่มคือ germacrene (1.03-1.31%w/w), caryophyllene (0.13-0.18%w/w), germacrene B (0.09-0.12%w/w), delta-elemene (0.05-0.12%w/w) ส่วนสารประกอบ beta-elemene ถูกตรวจพบ ซึ่งมีปริมาณพื้นที่พิกมากกว่า 0.005% แต่น้อยกว่า 0.05% กลุ่ม Oxygenated compounds (1.22-1.57%w/w) ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยคือ กลุ่ม Aldehydes (0.55-0.67%w/w) มีสารประกอบหลักคือ Geranial (0.33-0.40%w/w), Neral (0.22-0.26%w/w) ส่วนสารประกอบ decanal และ 6-octenal ถูกตรวจพบ ซึ่งมีปริมาณพื้นที่พิกมากกว่า 0.005% แต่น้อยกว่า 0.05% กลุ่ม Alcohols (0.54-0.73%w/w) มีสารประกอบหลักคือ alpha-terpineol (0.25-0.35%w/w), รองลงมาคือ linalool (0.24-0.31%w/w), 1,6-octadien-3-ol (0.04-0.06%w/w) ส่วนสารประกอบ pentanol, nerol, 2-cyclohexen-1-ol และ endo-1-bourbonanol ถูกตรวจพบ ซึ่งมีปริมาณพื้นที่พิกมากกว่า 0.005% แต่น้อยกว่า 0.05% และกลุ่ม Esters (0.13-0.17%w/w) มีสารประกอบหลักคือ Geranyl acetate (0.08-0.11%w/w) และ diacetate (0.04-0.06%w/w) ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 แสดงถึงจำนวนตัวอย่าง (n) ช่วงข้อมูล (range) ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของชุดข้อมูล Calibration และชุด Prediction ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลของ PLS regression ของแต่ละองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ พบว่าองค์ประกอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) สูงที่สุดคือ Beta-Phellandrene ที่ชุดสเปกตรัมเดิม (raw) r เท่ากับ 0.89% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.39% และค่า bias เท่ากับ 0.39%

ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของชุด Calibration และชุด Prediction ขององค์ประกอบน้ำมันหอมระเหย ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

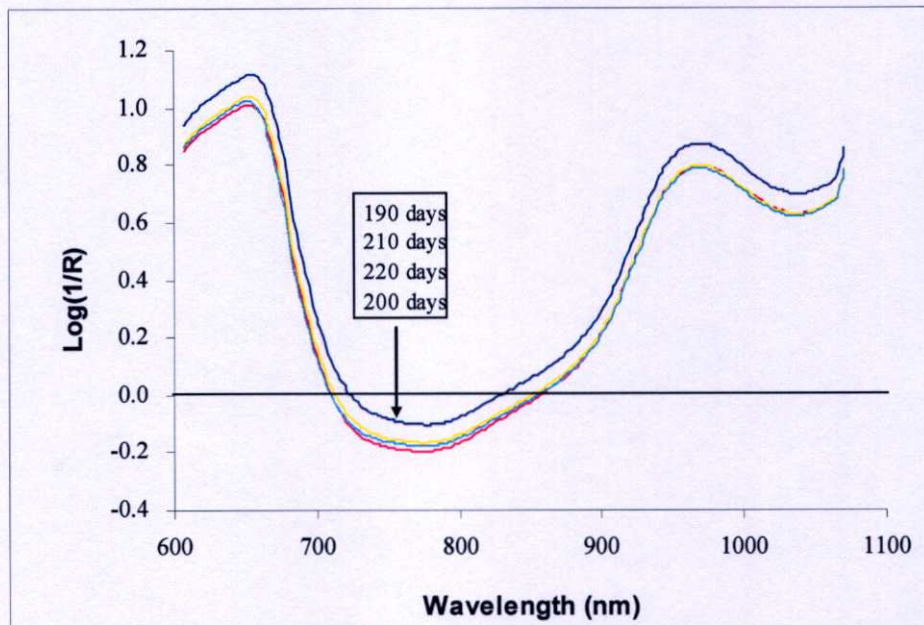
| parameters | Calibration set | | | | Prediction set | | | |
|--------------------|-----------------|-------------|-------|------|----------------|-------------|-------|------|
| | n | range | mean | SD | n | range | mean | SD |
| Limonene | 55 | 76.21-87.22 | 81.97 | 3.11 | 17 | 77.74-86.09 | 81.72 | 2.83 |
| Beta-Phellandrene | 51 | 2.22-7.37 | 5.34 | 1.04 | 17 | 3.89-6.49 | 5.23 | 0.82 |
| Myrcene | 50 | 2.67-4.50 | 3.71 | 0.52 | 18 | 2.78-4.40 | 3.71 | 0.50 |
| Beta-pinene | 49 | 1.13-3.80 | 2.03 | 0.64 | 18 | 1.29-2.91 | 1.96 | 0.54 |
| Alpha-pinene | 54 | 0.99-2.06 | 1.54 | 0.27 | 18 | 1.15-1.91 | 1.53 | 0.26 |
| Alpha-Phellandrene | 53 | 0.75-2.41 | 1.38 | 0.38 | 18 | 0.97-1.93 | 1.37 | 0.32 |
| Germacrene | 50 | 0.73-1.65 | 1.18 | 0.23 | 17 | 0.83-1.49 | 1.17 | 0.19 |

ตารางที่ 4.4 ผลของ PLS regression ของแต่ละองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

| Parameters | Pretreatment | PCs | Calibration | | | Prediction | | | | |
|--------------------|---|-----|-------------|------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|------|------|
| | | | r | SEC | Bias | r | SEP | Bias | RER | RPD |
| Beta-Phellandrene | Raw | 10 | 0.85 | 0.55 | 1.19×10^{-5} | <u>0.89</u> | <u>0.39</u> | <u>0.39</u> | 6.67 | 2.10 |
| Limonene | 2 nd derivative S. Goley segment 10 nm | 8 | 0.90 | 1.40 | 2.91×10^{-6} | 0.81 | 1.96 | 0.07 | 4.26 | 1.44 |
| Alpha-pinene | Raw | 10 | 0.81 | 0.16 | 1.97×10^{-6} | 0.78 | 0.16 | 0.02 | 4.75 | 1.62 |
| Beta-pinene | 2 nd derivative S. Goley segment 10 nm | 6 | 0.81 | 0.37 | 1.34×10^{-7} | 0.66 | 0.41 | 0.13 | 3.95 | 1.32 |
| Alpha-Phellandrene | Raw | 10 | 0.88 | 0.18 | 5.01×10^{-7} | 0.62 | 0.28 | - | 3.43 | 1.14 |
| Myrcene | Full MSC | 3 | 0.52 | 0.45 | 2.86×10^{-8} | 0.60 | 0.40 | 0.14 | 4.05 | 1.25 |
| Germacrene | 2 nd derivative S. Goley segment 10 nm | 3 | 0.61 | 0.19 | 1.43×10^{-8} | 0.51 | 0.18 | 0.03 | 3.67 | 1.05 |

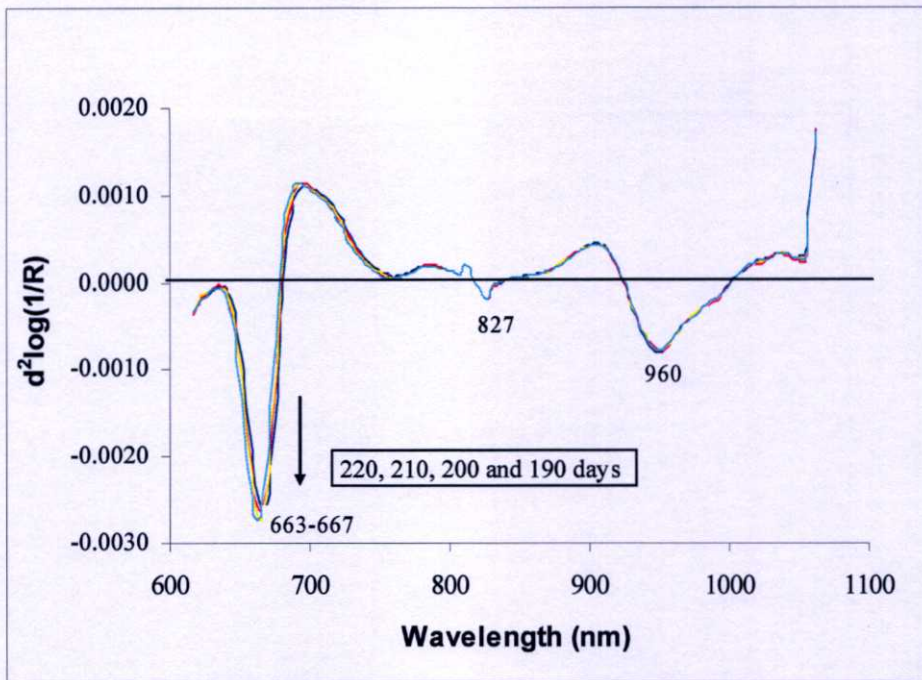
จากภาพที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมเดิม เฉลี่ยของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยวของผลส้มโอ ที่ 600-1,100 nm มีความแตกต่างในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว แต่อย่างไรก็ตามที่อายุการเก็บเกี่ยว 200 210 และ 220 วันหลังดอกบาน สเปกตรัมชนิดกันมากกว่าที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 190 วันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 4.5 แสดงสเปกตรัม 2^{nd} derivative ของส้มโอที่ 4 อายุการเก็บเกี่ยว สเปกตรัมของ visible และ NIR แสดงคลื่นการดูดซับสูงสุดที่สุดที่ 663-667 nm และ 960 nm คลื่นการดูดซับนี้อาจเป็นคลื่นของคลอโรฟิลล์และน้ำ ตามลำดับ บริเวณ 680 nm แสดงคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ ซึ่งแสดงคุณลักษณะของผลไม้ [43] [44][45] ย่านการดูดซับใน NIR ที่ 960 nm แสดงคลื่นการดูดซับของน้ำ [46] และยังพบพีคเล็กๆ ที่ 827 nm ซึ่งที่ความยาวคลื่นนี้ไม่ระบุว่าเป็นการดูดซับของสารใดในเอกสารอ้างอิงอื่น

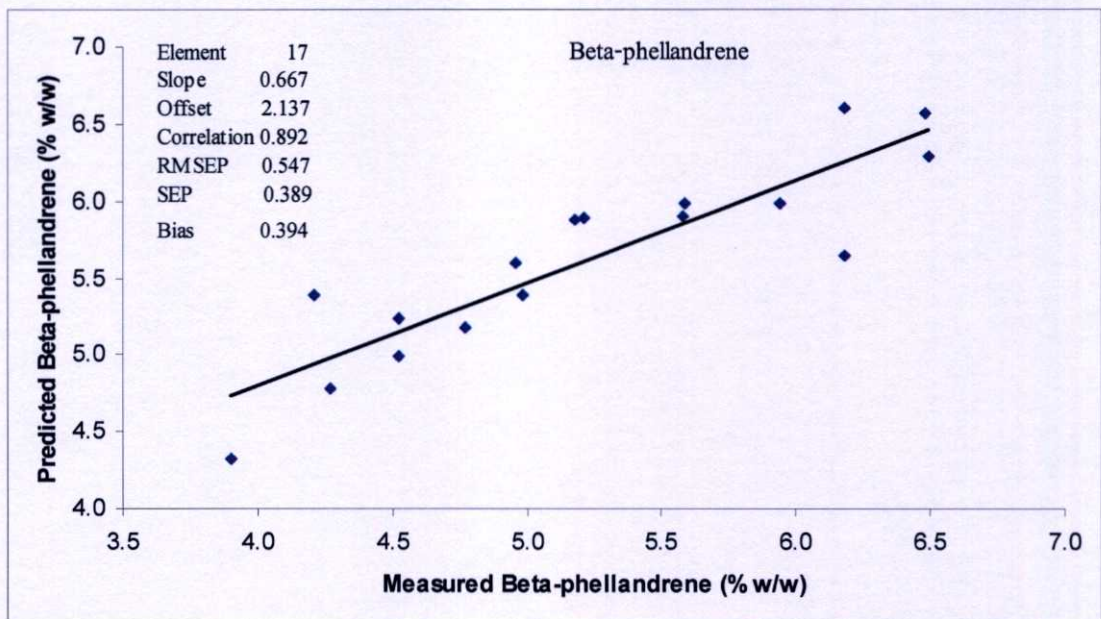


ภาพที่ 4.4 สเปกตรัม NIR เดิมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

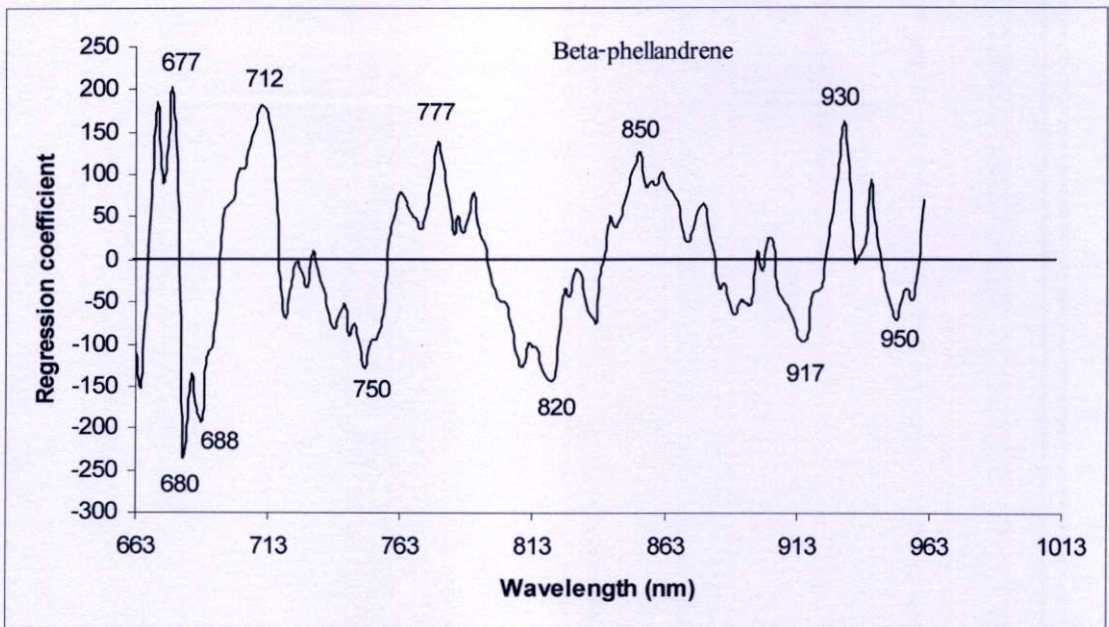
จากภาพที่ 4.6 ผลการทำนาย Beta-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน องค์ประกอบ Beta-Phellandrene นี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) สูงที่สุด ที่ชุดสเปกตรัมเดิม (raw) r เท่ากับ 0.89 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.39%w/w ค่า bias เท่ากับ 0.39%w/w ค่า RER เท่ากับ 6.67 และ ค่า RPD เท่ากับ 2.10



ภาพที่ 4.5 สเปกตรัม NIR (2nd derivative) ของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



ภาพที่ 4.6 ผลการทำนาย Beta-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

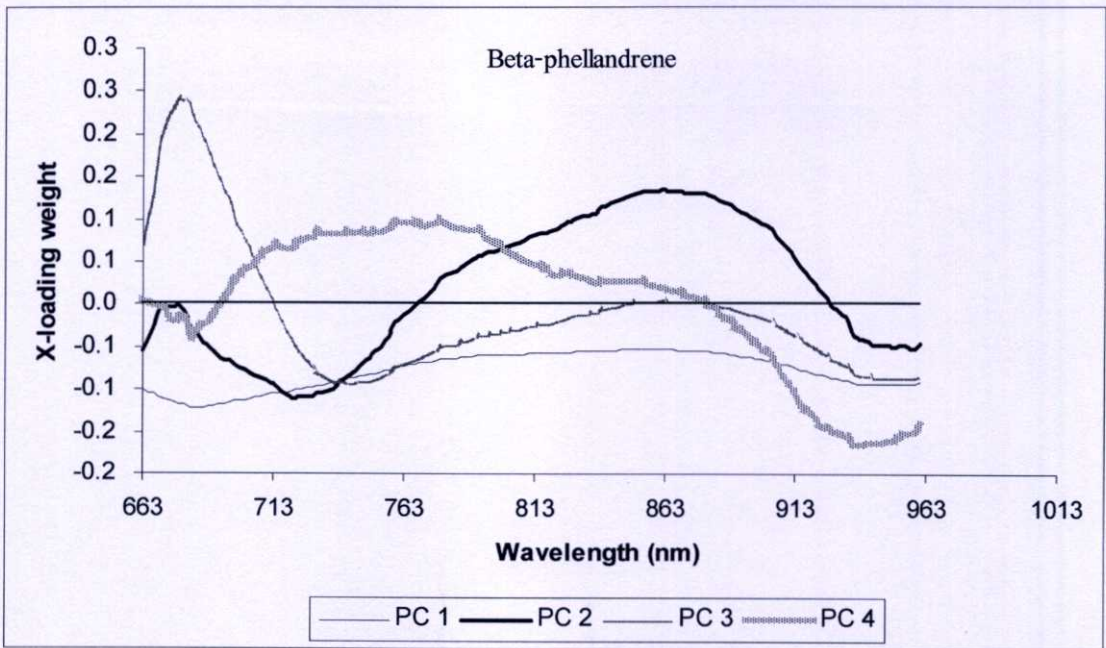


ภาพที่ 4.7 Regression coefficient ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

Regression coefficient ใช้เป็นพื้นฐานแรกในการตรวจผลกระทบของความยาวคลื่นต่างๆ (X-variable) ในการทำนายตัวแปรตาม (Y) และค่าสัมบูรณ์ของ Regression coefficient ที่มีค่าสูงชี้ถึงความสำคัญและอิทธิพลของความยาวคลื่นนั้นต่อโมเดลอย่างมีนัยสำคัญ [47]

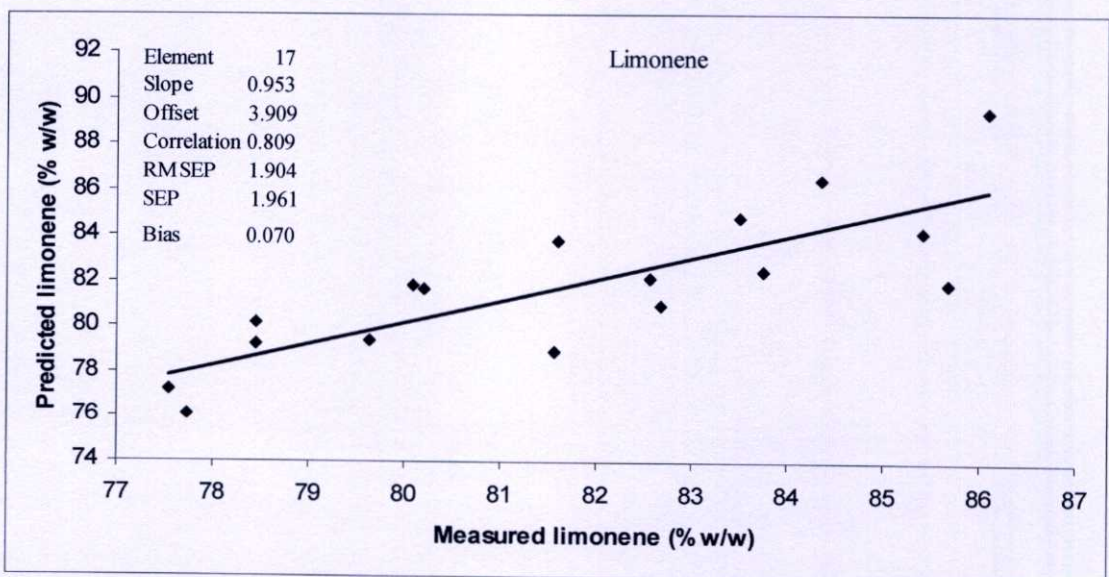
จากภาพที่ 4.7 กราฟ Regression coefficient ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ มีพิกัดที่มีความสำคัญต่อโมเดลที่ 680 nm เป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ [43][44][45] 850 nm เป็นคลื่นการดูดซับของ aromatic ที่ third overtone [48][49] และ 930 nm แสดงถึงคลื่นการดูดซับของน้ำมัน [50] และความยาวคลื่นที่ 677, 688, 712, 750, 777, 820, 917 และ 950 nm มีผลกระทบต่อโมเดล

กราฟ X-loading weight plot นั้นถ้าความยาวคลื่นซึ่งมีค่า X-loading weight มากแสดงว่ามีความสำคัญมากต่อการทำนายตัวแปรอิสระ จากภาพที่ 4.8 แสดง X-loading weight plot ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 95, 5, 0 และ 0% ตามลำดับ X-loading weight ของ PC 1 แสดงถึงความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล X-loading weight ของ PC 2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้นที่ 680, 769 และ 930 nm ซึ่งที่ 930 nm นี้เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำมัน แต่อิทธิพลของความยาวคลื่นไปปรากฏใน PC 1, 3 และ 4 X-loading weight ของ PC 3 ปรากฏพิกัดที่มีความสำคัญสูงที่ 680 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ เช่นเดียวกับกราฟ Regression coefficient แต่ความยาวคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลคือที่ 714, 848 และ 884 nm X-loading weight ของ PC 4 ปรากฏว่าที่ความยาวคลื่น 667, 692 และ 882 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล

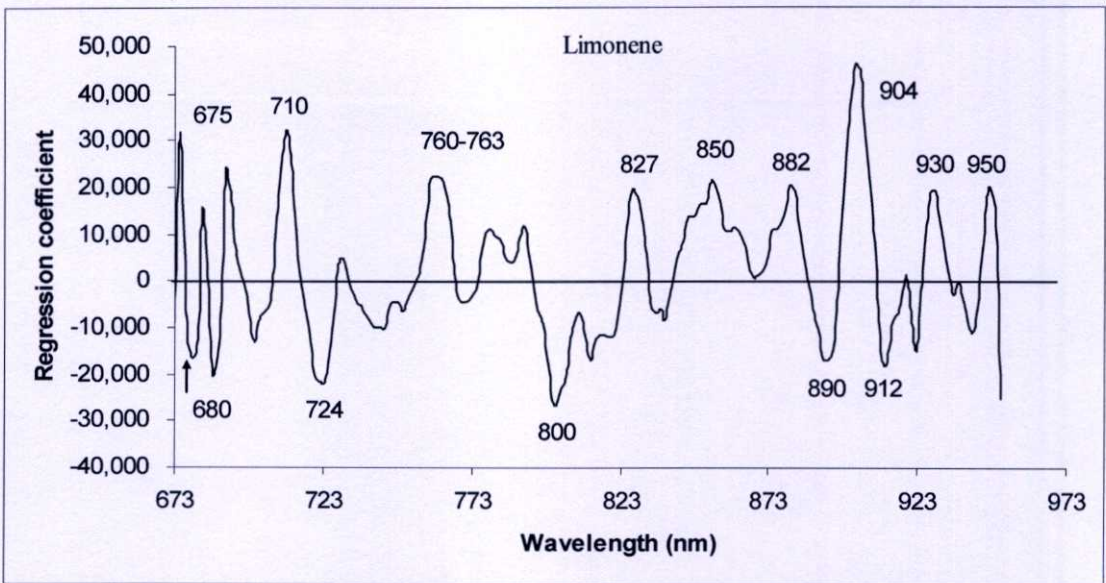


ภาพที่ 4.8 X-loading weight plot ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากภาพที่ 4.9 ผลการทำนาย Limonene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน องค์ประกอบ Limonene ที่ทำการปรับแต่งสเปกตรัม 2nd derivative Savitzky Golay segment 10 nm มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.81 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 1.96%w/w ค่า bias เท่ากับ 0.07%w/w ค่า RER เท่ากับ 4.26 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.44



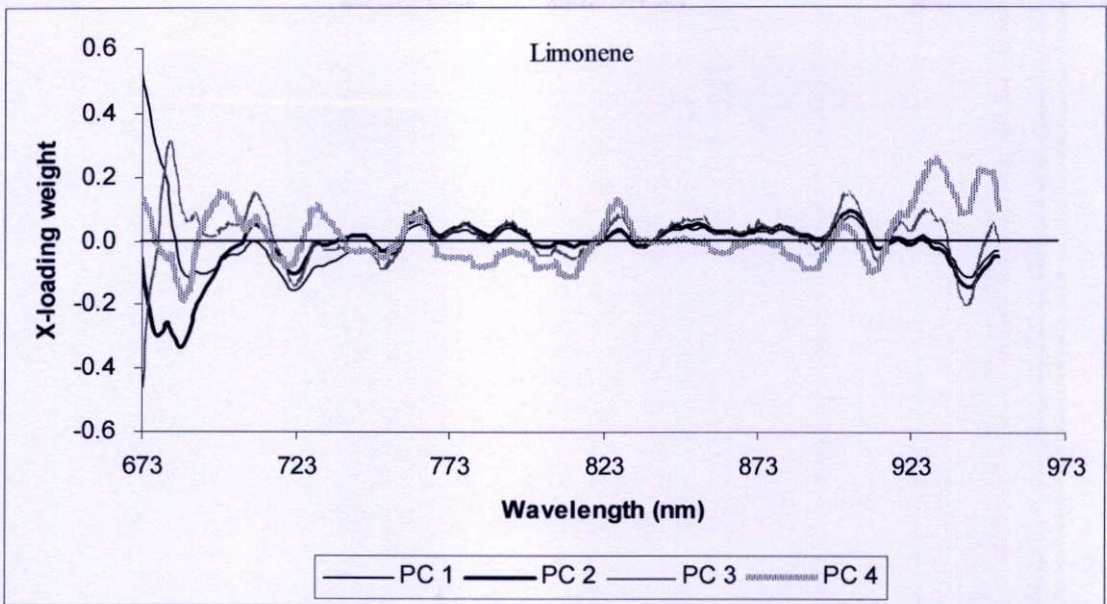
ภาพที่ 4.9 ผลการทำนาย Limonene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



ภาพที่ 4.10 Regression coefficient ของ Limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากภาพที่ 4.10 กราฟ Regression coefficient ของ Limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ มีพีคที่มีความสำคัญสูงที่ 904 nm ที่ความยาวคลื่น 680 เป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ [43][44][45] ที่ความยาวคลื่น 760-763 nm เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำ [48][49] ที่ความยาวคลื่น 850 nm เป็นคลื่นการดูดซับของ aromatic ที่ third overtone [48][49] ที่ความยาวคลื่น 890 nm เป็นคลื่นการดูดซับ third overtone ของคาร์โบไฮเดรต [48][49] ที่ 930 nm นี้แสดงว่าเป็นคลื่นการดูดซับของน้ำมัน [50] และยังมีปรากฏพีคที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อโมเดล คือที่ความยาวคลื่น 675, 710, 724, 800, 827, 882, 904, 912 และ 950 nm

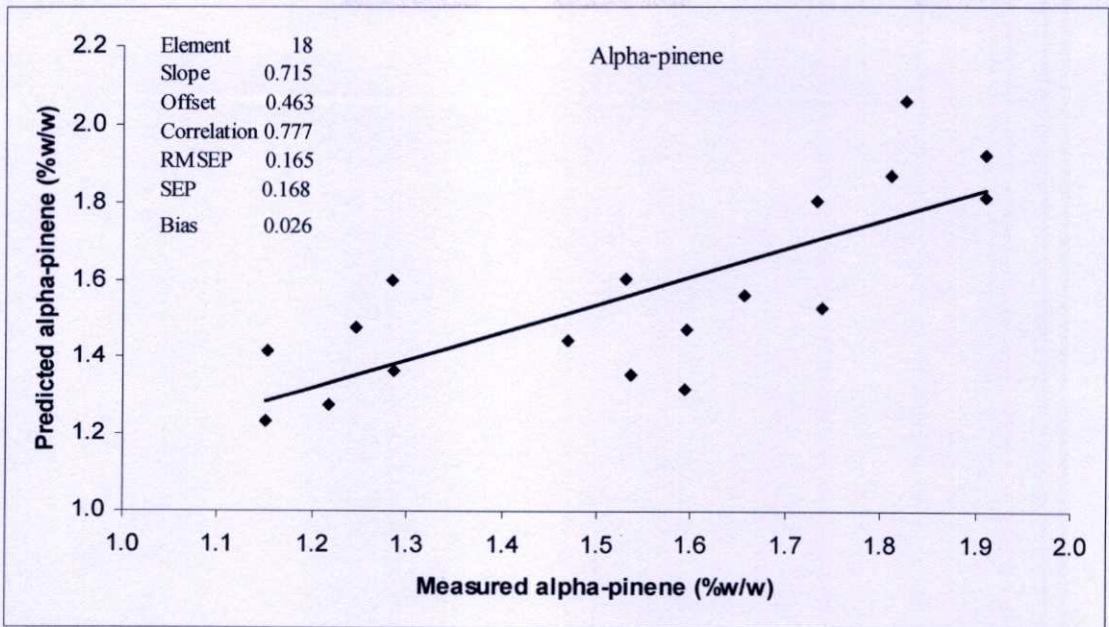
จากภาพที่ 4.11 แสดง X-loading weight plot ของ Limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 98, 1, 0 และ 0% ตามลำดับ ที่ความยาวคลื่น 673 nm มีอิทธิพลสูงต่อโมเดลใน PC 1 เช่นเดียวกับความยาวคลื่นที่ปรากฏใน 2nd derivative ของส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



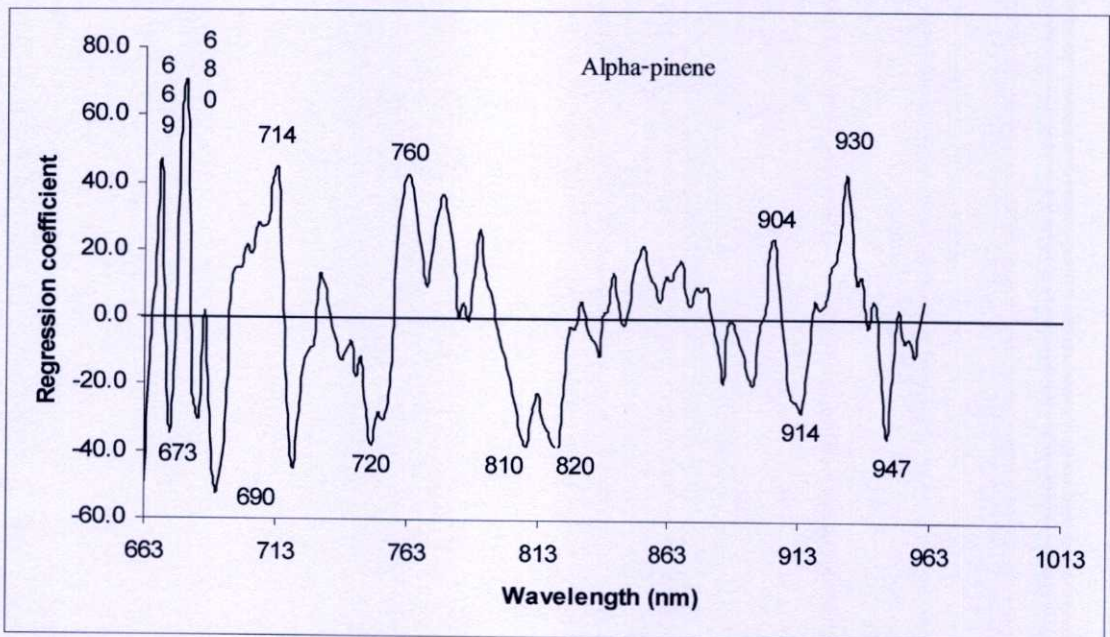
ภาพที่ 4.11 X-loading weight plot ของ Limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากภาพที่ 4.12 ผลการทำนาย Alpha-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่าง องค์ประกอบ Alpha-pinene ที่ชุดสเปกตรัมเดิม (raw) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.78 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.16%w/w ค่า bias เท่ากับ 0.02%w/w ค่า RER เท่ากับ 4.75 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.62

จากภาพที่ 4.13 กราฟ Regression coefficient ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญ เช่น 680 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ [43][44][45] ที่ 760 nm เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำ [48][49] และที่ 930 nm เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำมัน [50] และยังปรากฏพีคที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อโมเดล คือที่ความยาวคลื่น 669, 673, 690, 714, 720, 810, 820, 904, 914 และ 947 nm



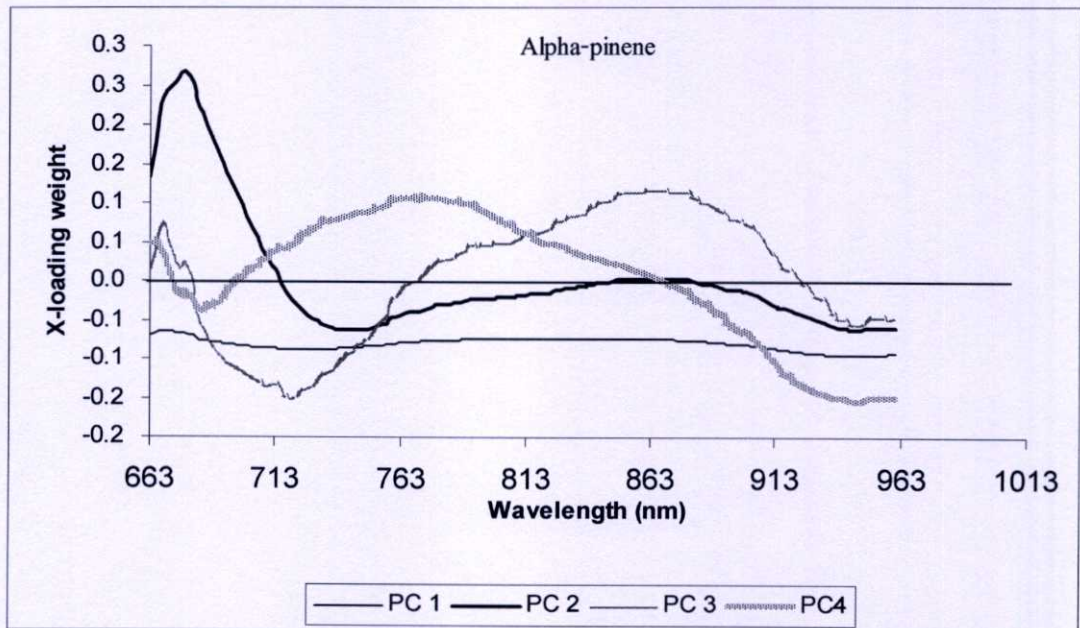
ภาพที่ 4.12 ผลการทำนาย Alpha-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



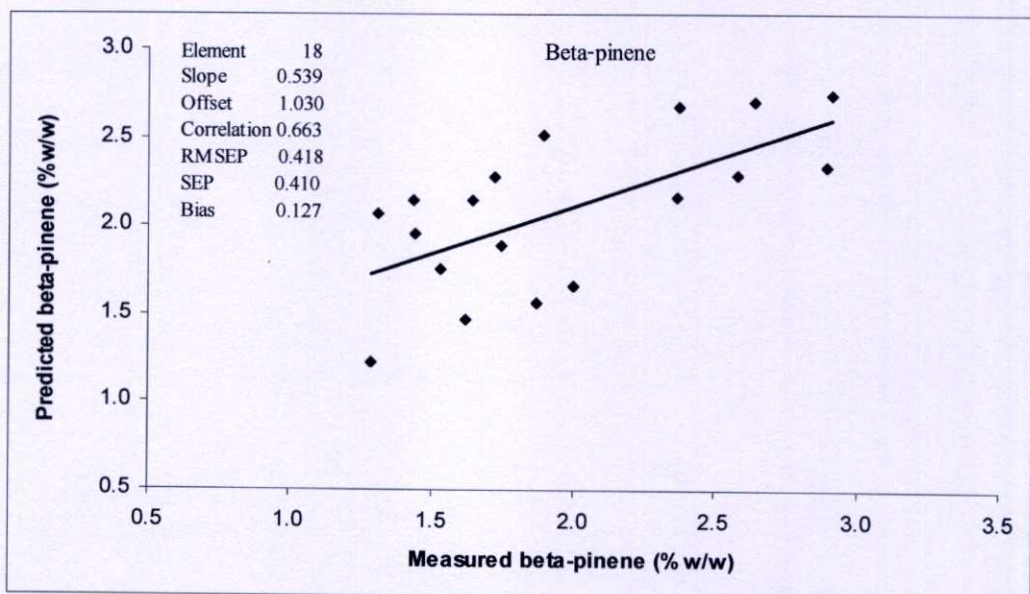
ภาพที่ 4.13 Regression coefficient ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากภาพที่ 4.14 แสดง X-loading weight plot ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 92, 6, 0 และ 1% ตามลำดับ จาก X-loading weight ของ PC 1 ซึ่งให้เห็นว่าสามารถประมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ Alpha-pinene ได้จากข้อมูลของสเปกตรัมเดิม ความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล X-loading weight ของ PC 2 แสดงอิทธิพลของความยาวคลื่น โดยที่ 680 nm ซึ่ง

เป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ เช่นเดียวกับกราฟ Regression coefficient แต่ที่ความยาวคลื่น 680 nm นี้ไม่มีอิทธิพลต่อ โมเดลใน PC 3 เช่นเดียวกับความยาวคลื่น 769 และ 930 nm ซึ่งไปปรากฏ ใน PC 1 2 และ 4



ภาพที่ 4.14 X-loading weight plot ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

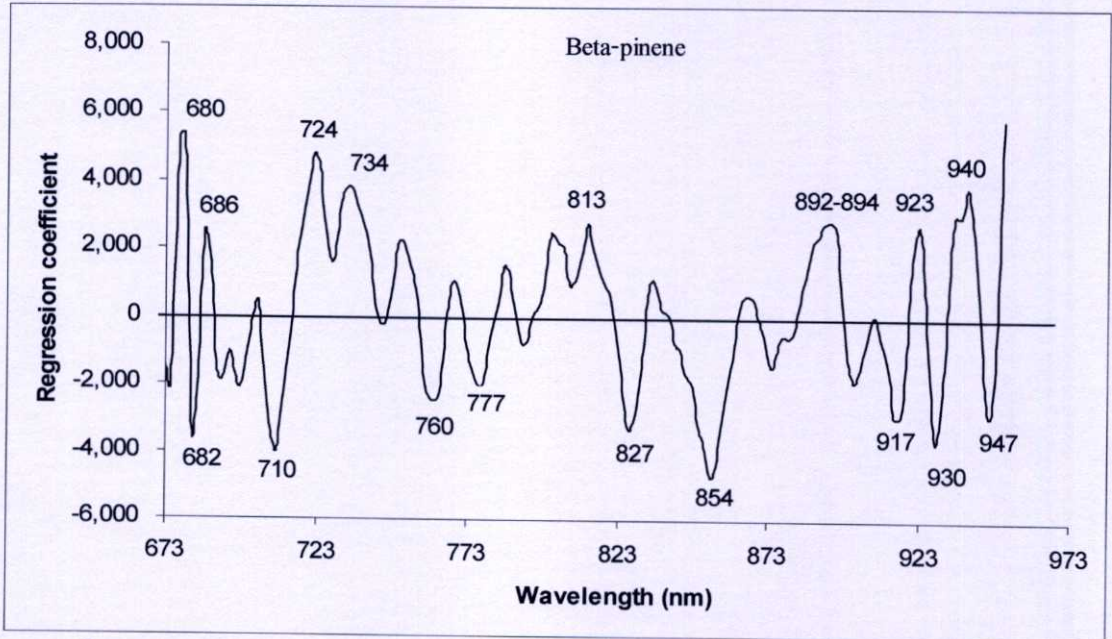


ภาพที่ 4.15 ผลการทำนาย Beta-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากภาพที่ 4.15 ผลการทำนาย Beta-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่าง องค์ประกอบ Beta-pinene ที่ทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้ 2nd derivative Savitzky Golay segment 10 nm มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.66 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.41%w/w ค่า bias เท่ากับ 0.13%w/w ค่า RER เท่ากับ 3.95 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.32

จากภาพที่ 4.16 กราฟ Regression coefficient ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญหลายฟีก เช่น 680 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ [43][44][45] ที่ผิวของเปลือกส้มโอ ที่ 760 nm เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำ [48][49] ที่ 930 nm เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำมัน [50] ที่ความยาวคลื่น 940 nm เป็นคลื่นการดูดซับ third overtone ของแอลกอฮอล์ [48][49] และยังปรากฏถึงความยาวคลื่นสำคัญที่มีอิทธิพลต่อโมเดล คือที่ 682, 710, 724, 734, 777, 813, 827, 854, 892-893, 917, 923 และ 947 nm

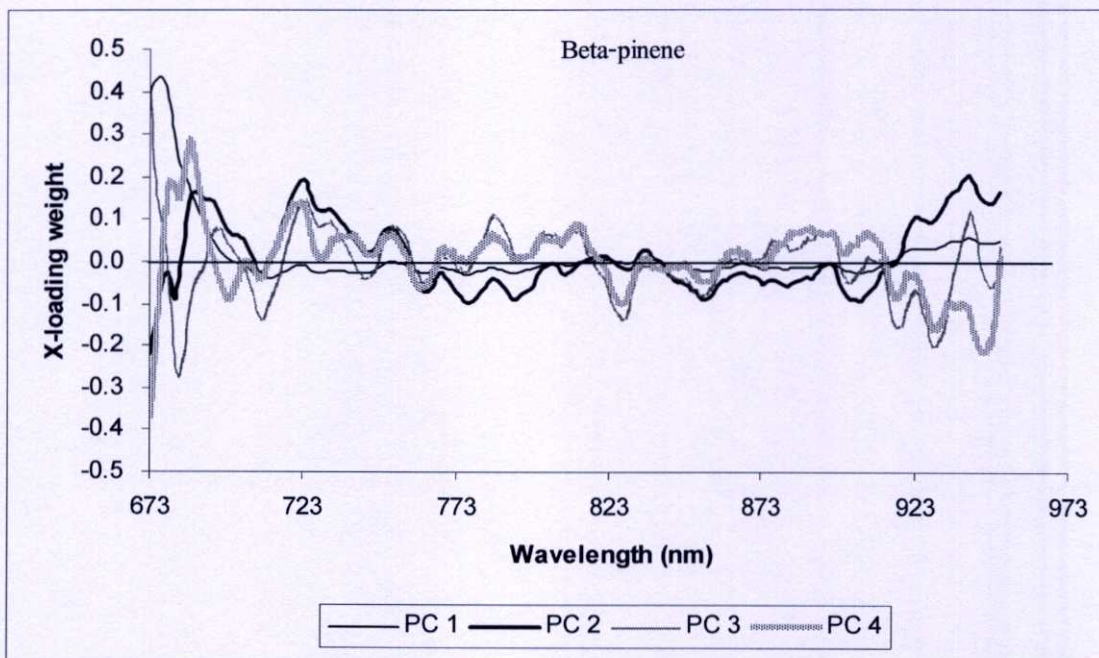
จากภาพที่ 4.17 แสดง X-loading weight plot ของ Beta -pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 98, 1, 0 และ 0% ตามลำดับ รูปร่างของแต่ละ PC มีลักษณะคล้ายคลึงกับ X-loading weight plot ของ limonene แสดงถึงว่าโมเดลของการทำนาย limonene ใช้ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่สำคัญเดียวกัน



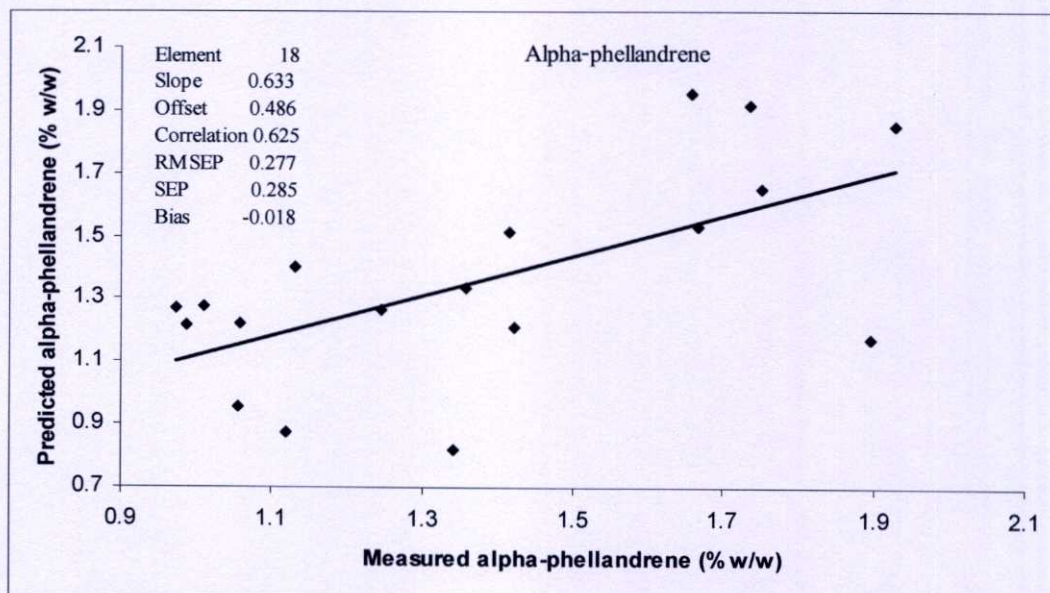
ภาพที่ 4.16 Regression coefficient ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากภาพที่ 4.18 ผลการทำนาย Alpha-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่าง องค์ประกอบ Alpha-Phellandrene ที่ชุดสเปกตรัมเดิม (raw) นี้มี

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.62 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.28%w/w ค่า bias เท่ากับ -0.02%w/w ค่า RER เท่ากับ 3.43 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.14



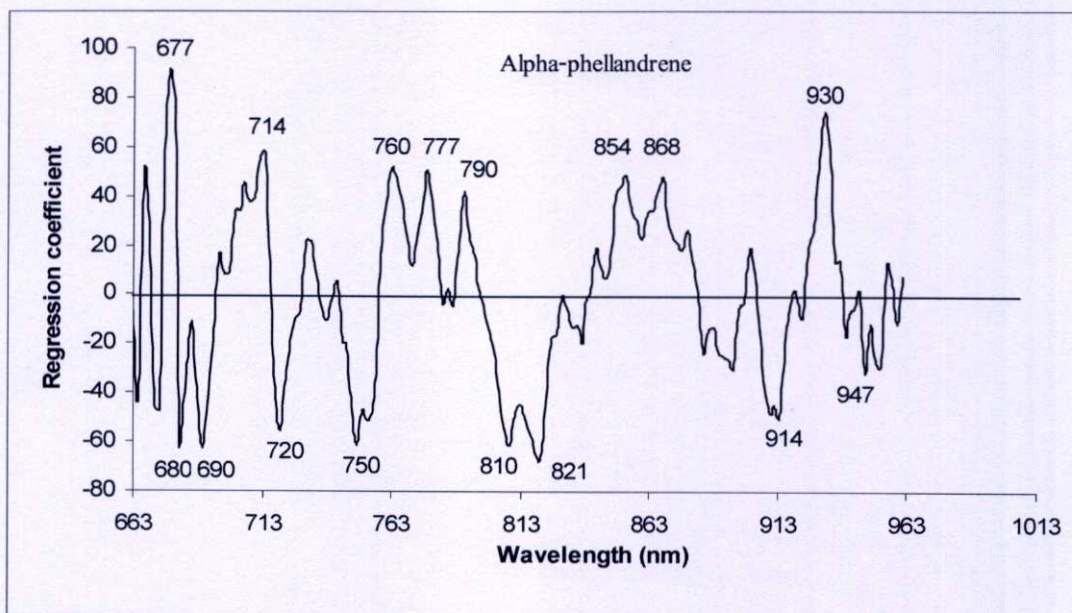
ภาพที่ 4.17 X-loading weight plot ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



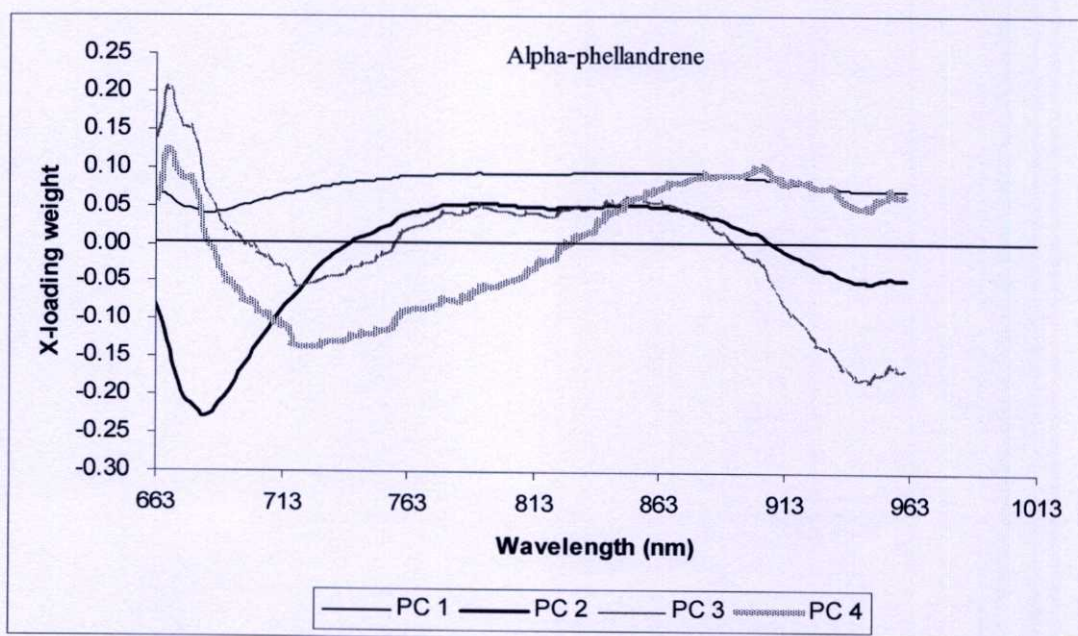
ภาพที่ 4.18 ผลการทำนาย Alpha-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากภาพที่ 4.19 กราฟ Regression coefficient ของ Alpha-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญ เช่น 680 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของ

คลอโรฟิลล์ที่ผิวของเปลือกส้มโอ [43][44][45] ที่ความยาวคลื่นที่ 760 nm เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำ [48][49] ที่ 930 nm เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำมัน [50] และยังมีปรากฏที่ความยาวคลื่นสำคัญที่มีอิทธิพลต่อโมเดล คือที่ 677, 690, 714, 720, 750, 777, 790, 810, 821, 854, 868, 914, 923 และ 947 nm



ภาพที่ 4.19 Regression coefficient ของ Alpha-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



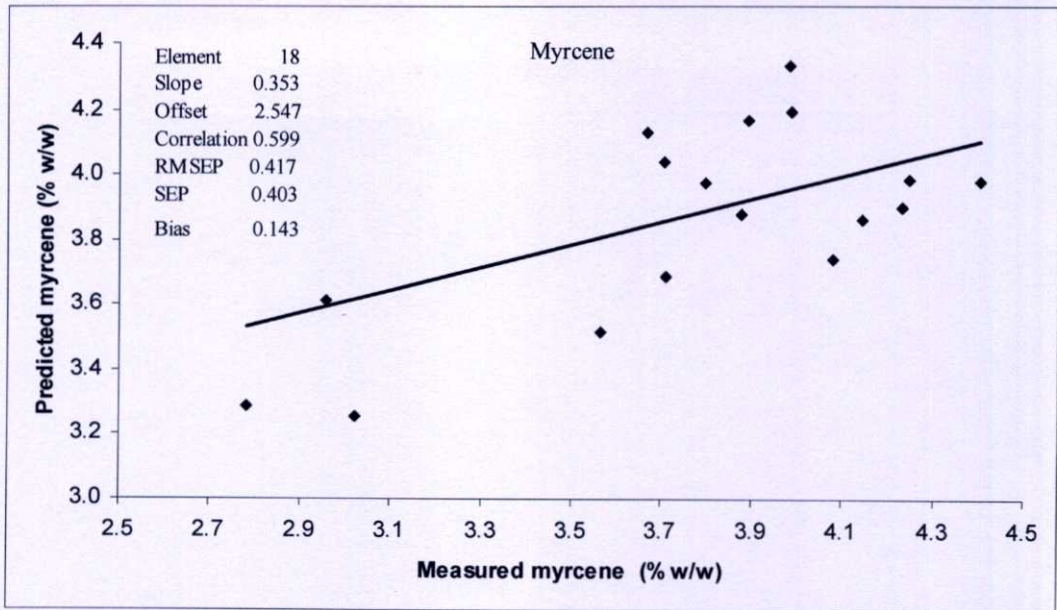
ภาพที่ 4.20 X-loading weight plot ของ Alpha-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

จากภาพที่ 4.20 แสดง X-loading weight plot ของ Alpha-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 93, 6, 1 และ 0% ตามลำดับ จาก X-loading weight ของ PC 1 พบว่าความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล X-loading weight ของ PC 2 มีความยาวคลื่นที่สำคัญที่ 684 nm แต่ที่ 742 และ 910 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลใน PC 2 แต่มีอิทธิพลต่อโมเดล ใน PC 1, 3 และ 4 X-loading weight ของ PC 3 ความยาวคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลคือ 702, 760 และ 894 nm X-loading weight ของ PC4 ความยาวคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลคือ 684 และ 827 nm

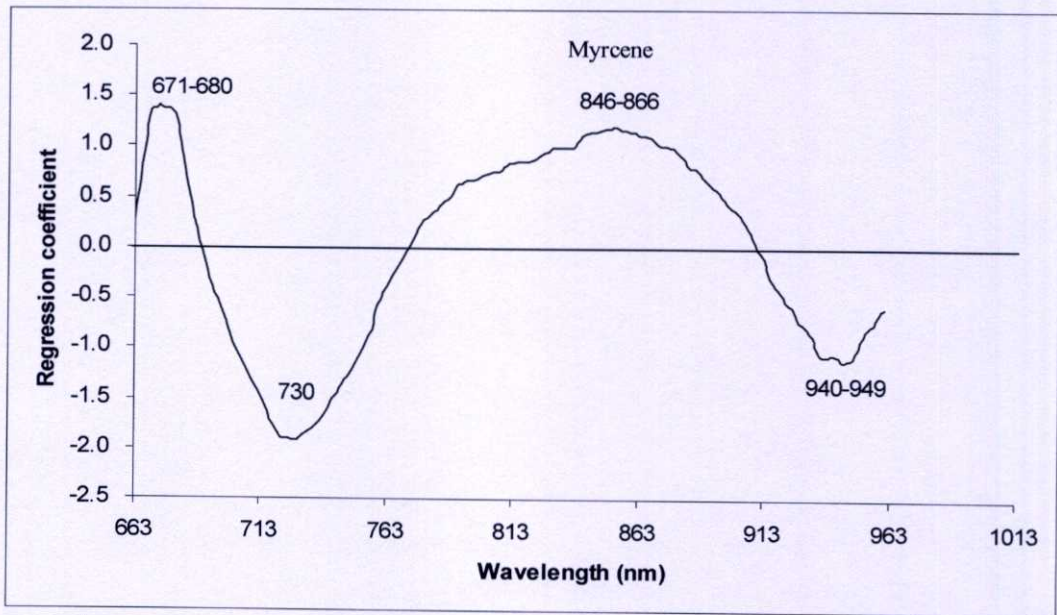
จากภาพที่ 4.21 ผลการทำนาย Myrcene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่าง องค์ประกอบ Myrcene ทำการปรับแต่งสเปกตรัม โดยใช้ full multiplicative scattering correction มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.60 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.40% w/w ค่า bias เท่ากับ 0.14%w/w ค่า RER เท่ากับ 4.05 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.25

จากภาพที่ 4.22 กราฟ Regression coefficient ของ Myrcene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญหลายพีค เช่น 671-680 nm ซึ่งที่ 680 nm เป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ [43][44][45] ที่ความยาวคลื่น 730 nm เป็นคลื่นการดูดซับของหมู่ free-OH แอลกอฮอล์ [48][49] ที่ความยาวคลื่น 846-866 nm ซึ่งที่ความยาวคลื่น 850 860 nm เป็นคลื่นการดูดซับของ aromatic [48][49] และช่วง 940-949 nm ซึ่งที่ความยาวคลื่น 940 nm เป็นคลื่นการดูดซับของแอลกอฮอล์ [48][49]

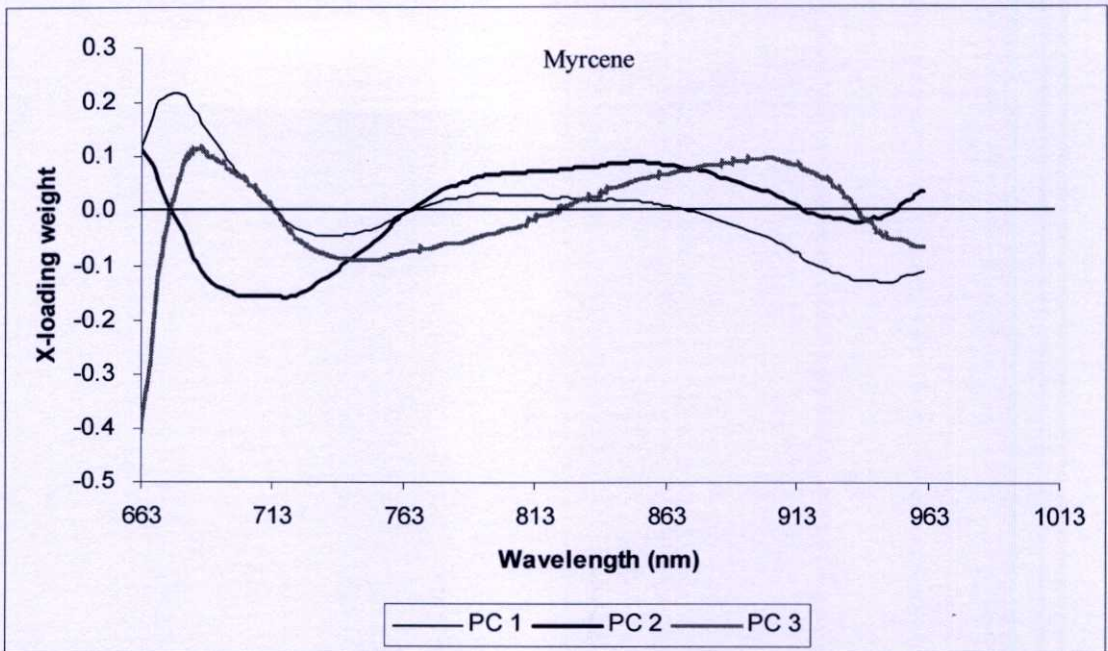
จากภาพที่ 4.23 แสดง X-loading weight plot ของ Myrcene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 94, 3, 3 และ 0% ตามลำดับ จาก X-loading weight ของ PC 1 พบว่าความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้นที่ 714 ,767 และ 870 nm X-loading weight ของ PC 2 มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้นความยาวคลื่นที่ 675, 767, 917, 953 nm X-loading weight ของ PC 3 พบความยาวคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลที่ 675, 714, 823 และ 937 nm



ภาพที่ 4.21 ผลการทำนาย Myrcene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



ภาพที่ 4.22 Regression coefficient ของ Myrcene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ



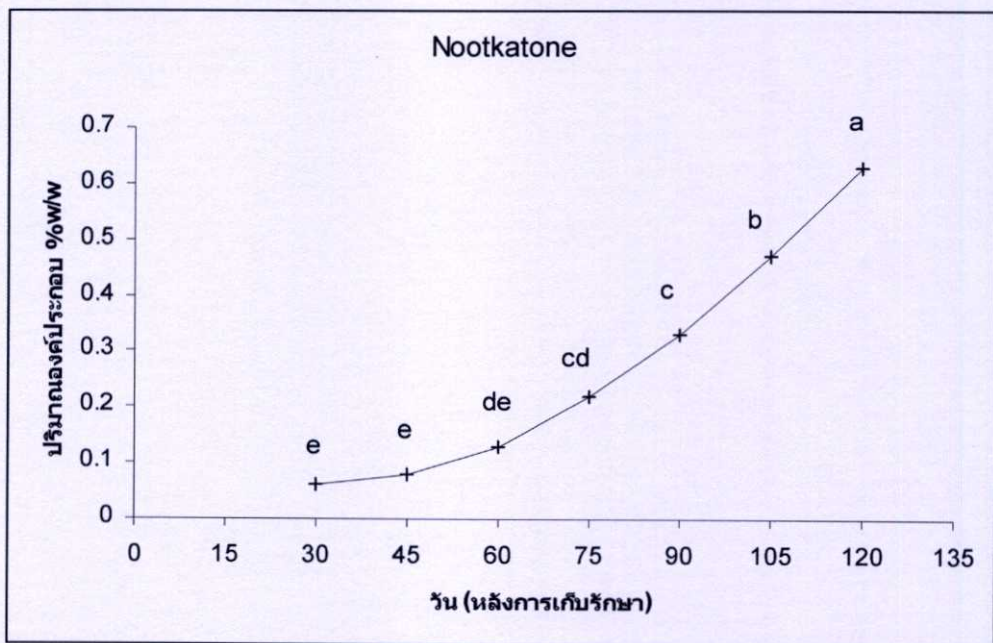
ภาพที่ 4.23 X-loading weight plot ของ Myrcene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

4.2 ผลการทดลองที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

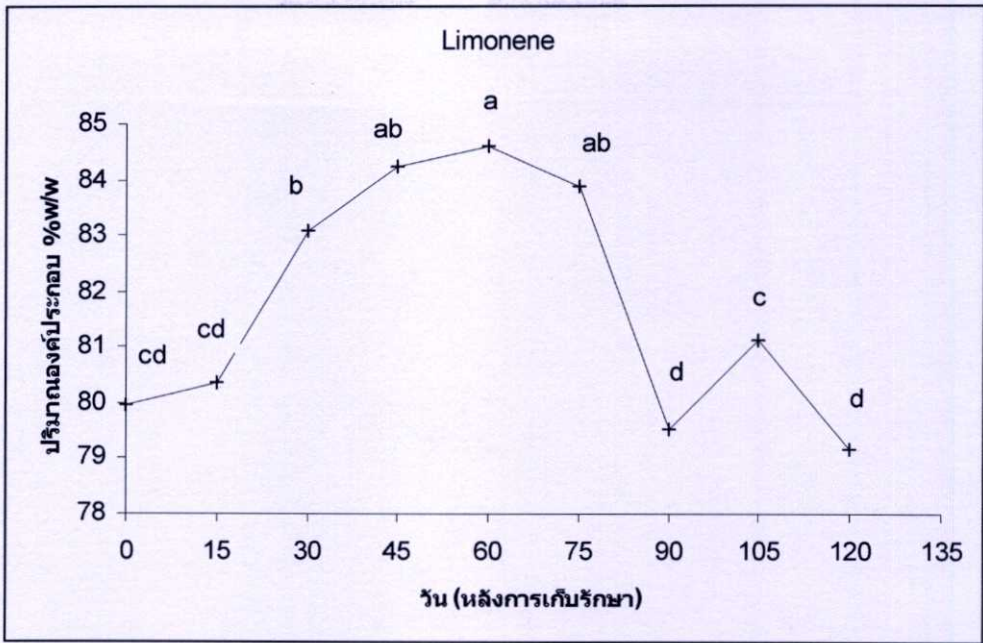
การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นที่อายุการเก็บรักษา 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70% แล้วนำออกมาทดลองพบว่า น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะเป็นของเหลวใส สีเขียวอมเหลือง แต่จะมีสีเหลืองมากขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากเปลือกส้มโอเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน และมีกลิ่นหอมอ่อนๆ

จากผลการทดลองตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บรักษาต่าง ๆ นั้น โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) พบว่ามีองค์ประกอบเช่นเดียวกับที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ แต่พบองค์ประกอบเพิ่มขึ้นมาคือ nootkatone ซึ่งเป็นสารหลักที่บ่งบอกคุณสมบัติกลิ่นรสของผลไม้ โดยทั่วไปถูกใช้สำหรับการปรุงกลิ่นรสของเครื่องดื่ม น้ำผลไม้ [51] จากผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบ nootkatone ในน้ำมันหอมระเหยที่อายุการเก็บรักษานั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 0.06 ถึง 0.63 %w/w ดังภาพที่ 4.24 ส่วนประโยชน์และข้อควรระวังขององค์ประกอบอื่นนั้น ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 4.1 ปริมาณองค์ประกอบ limonene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ นั้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปในช่วงเริ่มต้นจนถึงอายุการเก็บรักษาที่ 75 วัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [52] แต่ลดลงในช่วง 3 อายุการเก็บรักษาหลัง ดังภาพที่ 4.25 องค์ประกอบ geranyl acetate มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงอายุการเก็บรักษาที่ 60 ถึง 120 วัน องค์ประกอบ neral และ geranial ไม่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [52] ดังภาพที่ 4.26 องค์ประกอบ alpha-pinene, beta-pinene, sabinene,

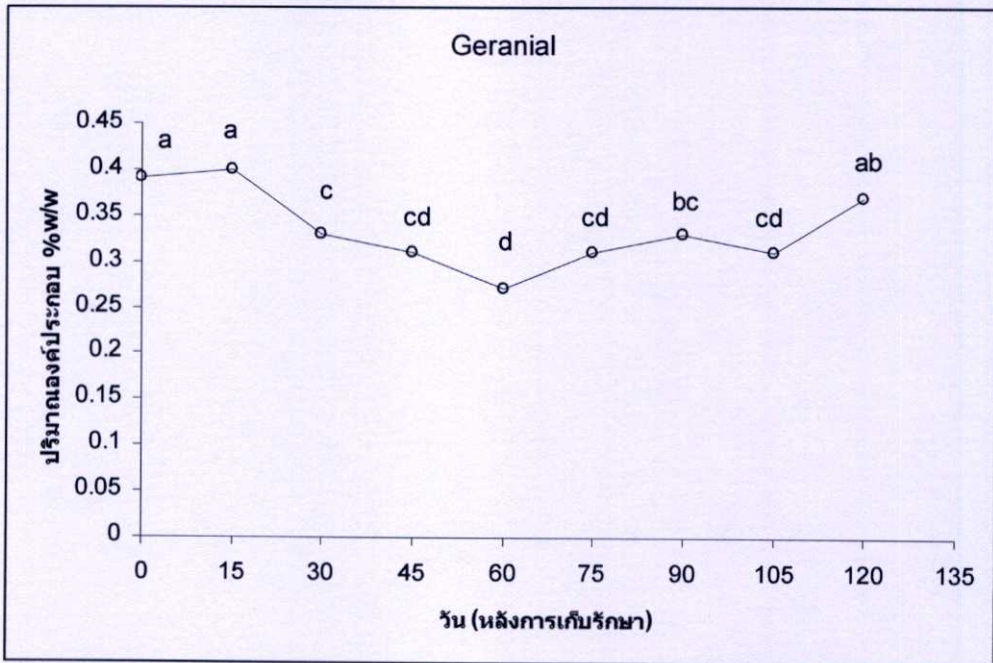
beta-phellandrene, myrcene linalool, alpha-terpineol, caryophyllene และ alpha-phellandrene มีแนวโน้มลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปจากอายุการเก็บรักษาเริ่มต้นจนถึงที่อายุการเก็บรักษา 60 วัน แล้วเพิ่มขึ้นจนมีปริมาณใกล้เคียงกับอายุการเก็บรักษาเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพ 4.27-4.30 องค์ประกอบ (E)-ocimene มีแนวโน้มลดลงจนถึงอายุการเก็บรักษาที่ 75 วันแล้วเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปแต่ปริมาณไม่ใกล้เคียงอายุการเก็บรักษาเริ่มต้น องค์ประกอบ delta-elemene มีแนวโน้มลดลงและคงที่อย่างต่อเนื่อง องค์ประกอบ diacetate มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นลดลงไม่คงที่ องค์ประกอบ germacrene และ germacrene B มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงอายุการเก็บรักษาที่ 15 วันแล้วลดลงและคงที่อย่างต่อเนื่องไปจนถึงอายุการเก็บรักษาที่ 75 วัน จากนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 120 วัน องค์ประกอบ 1,6-octadien-3-ol มีแนวโน้มไม่แน่นอน



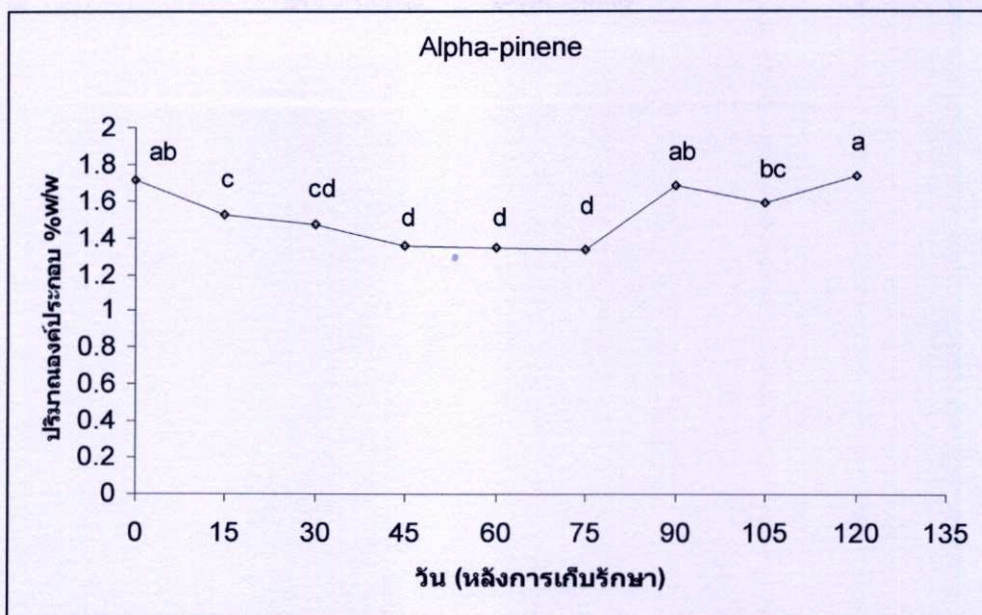
ภาพที่ 4.24 ปริมาณองค์ประกอบ Nootkatone ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



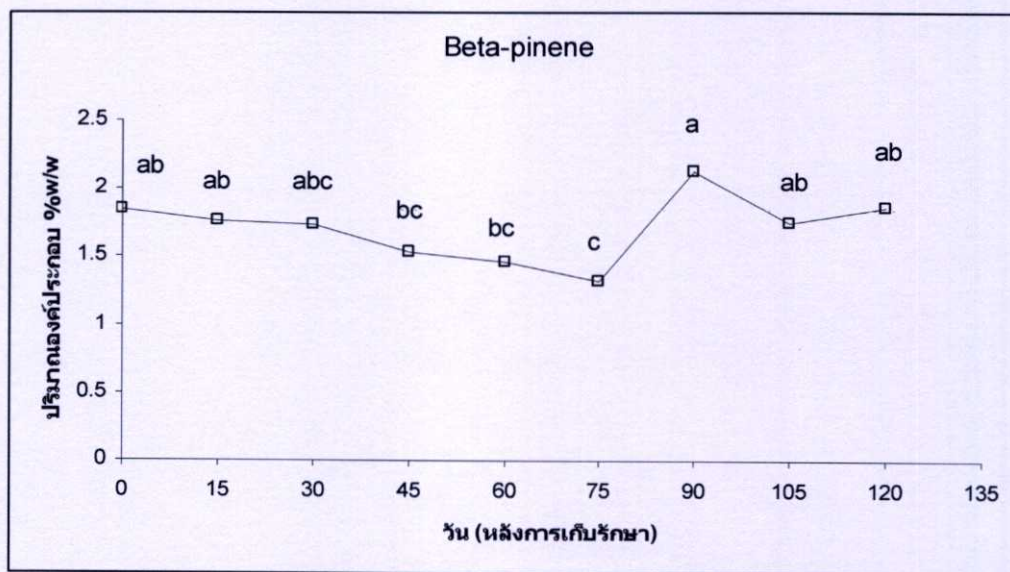
ภาพที่ 4.25 ปริมาณองค์ประกอบ Limonene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



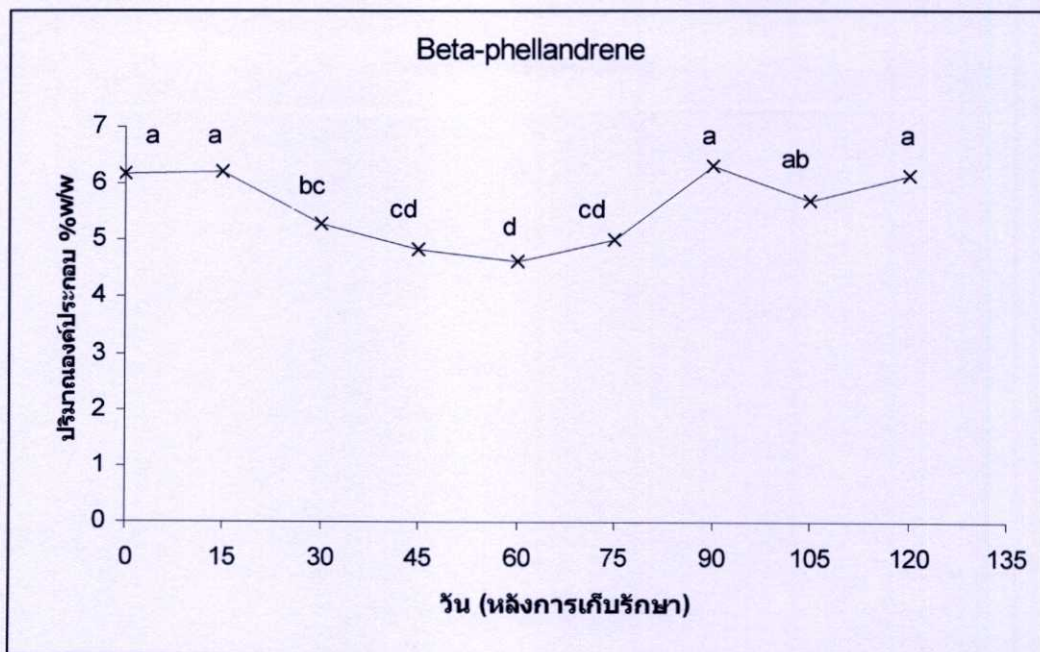
ภาพที่ 4.26 ปริมาณองค์ประกอบ Geranial ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



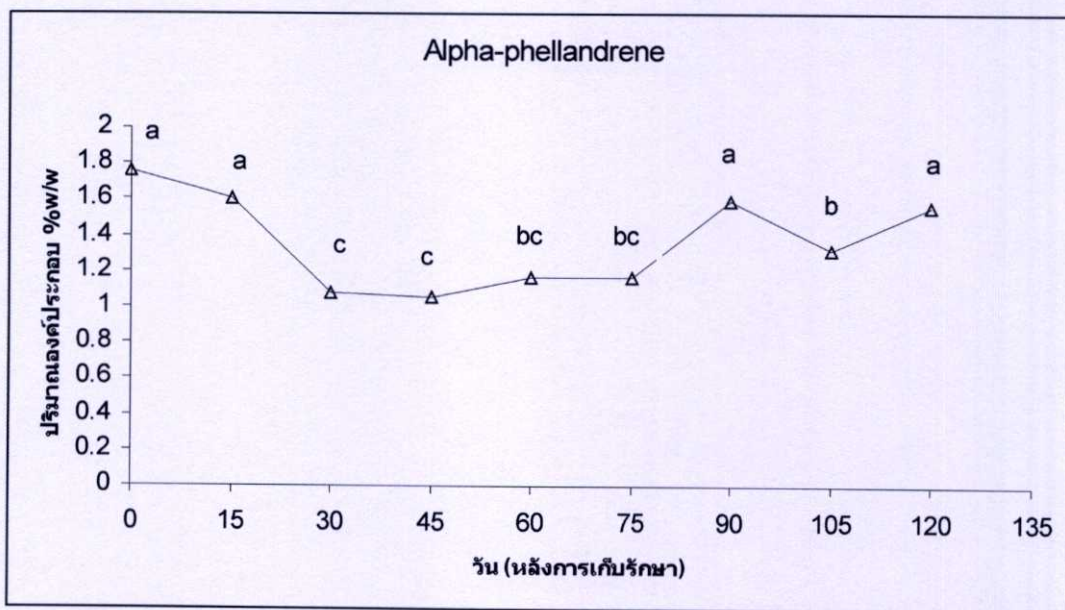
ภาพที่ 4.27 ปริมาณองค์ประกอบ Alpha-pinene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.28 ปริมาณองค์ประกอบ Beta-pinene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.29 ปริมาณองค์ประกอบ Beta-phellandrene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.30 ปริมาณองค์ประกอบ Alpha-phellandrene ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.31 แสดงกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ มีองค์ประกอบทางเคมีเพิ่มขึ้นมาคือ ketone ซึ่งมี nootkatone เป็นองค์ประกอบหลัก และพบว่า Monoterpene hydrocarbons มีสารประกอบหลักคือ limonene (79.17-84.61%) ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดคือน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ และในอายุการเก็บรักษาที่ 60 วัน มีปริมาณ Monoterpene hydrocarbons สูงที่สุด คือ 97.34 %

ตารางที่ 4.5 ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

| ลำดับ | R.T. (min) | องค์ประกอบ | ปริมาณองค์ประกอบที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ (%w/w) | | | | | | | | | |
|-------|---------------|--------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| | | | 0 วัน | 15 วัน | 30 วัน | 45 วัน | 60 วัน | 75 วัน | 90 วัน | 105 วัน | 120 วัน | |
| 1 | 2.61 | alpha-pinene | 1.71±0.15 ^{ab} | 1.52±0.17 ^c | 1.47±0.15 ^{cd} | 1.35±0.13 ^d | 1.34±0.12 ^d | 1.33±0.18 ^d | 1.68±0.19 ^{ab} | 1.59±0.19 ^{bc} | 1.74±0.18 ^a | |
| 2 | 2.97 | camphene | L | L | L | L | L | L | L | L | L | |
| 3 | 3.37 | beta-pinene | 1.85±0.52 ^{ab} | 1.76±0.29 ^{ab} | 1.73±0.38 ^{abc} | 1.53±0.37 ^{bc} | 1.46±0.44 ^{bc} | 1.32±0.47 ^c | 2.13±0.72 ^a | 1.75±0.54 ^{ab} | 1.86±0.64 ^{ab} | |
| 4 | 3.48 | sabinene | 0.93±0.14 ^a | 0.87±0.11 ^{ab} | 0.80±0.11 ^{bc} | 0.73±0.08 ^c | 0.71±0.11 ^c | 0.73±0.19 ^c | 0.93±0.15 ^a | 0.85±0.15 ^{ab} | 0.93±0.17 ^a | |
| 5 | 3.89 | myrcene | 3.90±0.32 ^b | 3.72±0.32 ^{bc} | 3.56±0.33 ^c | 3.22±0.4 ^d | 3.21±0.33 ^d | 3.23±0.45 ^d | 3.93±0.33 ^{ab} | 3.92±0.46 ^{ab} | 4.21±0.23 ^a | |
| 6 | 3.97 | alpha-phellandrene | 1.76±0.23 ^a | 1.60±0.24 ^a | 1.08±0.21 ^c | 1.06±0.18 ^c | 1.17±0.21 ^{bc} | 1.16±0.15 ^{bc} | 1.59±0.41 ^a | 1.32±0.29 ^b | 1.56±0.34 ^a | |
| 7 | 4.44 | limonene | 79.95±1.63 ^{cd} | 80.37±1.93 ^{cd} | 83.07±1.72 ^b | 84.23±1.53 ^{ab} | 84.61±1.42 ^a | 83.89±1.98 ^{ab} | 79.54±2.36 ^d | 81.13±1.90 ^c | 79.17±2.09 ^d | |
| 8 | 4.56 | beta-phellandrene | 6.16±0.56 ^a | 6.22±0.62 ^a | 5.27±0.54 ^{bc} | 4.85±0.66 ^{cd} | 4.64±0.59 ^d | 5.00±0.73 ^{cd} | 6.32±1.02 ^a | 5.70±0.98 ^{ab} | 6.15±0.9 ^a | |
| 9 | 4.98 | (E)-ocimene | 0.20±0.05 ^a | 0.28±0.03 ^{ab} | 0.23±0.04 ^{cd} | 0.23±0.04 ^{cd} | 0.20±0.04 ^d | 0.20±0.05 ^d | 0.28±0.07 ^{ab} | 0.26±0.06 ^{bc} | 0.27±0.06 ^{abc} | |
| 10 | 5.28 | benzene | L | L | L | L | L | L | L | L | L | |
| 11 | 5.45 | terpinolene | L | L | L | L | L | L | L | L | L | |
| 12 | 5.50 | pentanol | L | L | L | L | L | L | L | L | L | |
| 13 | 7.57 | cyclobutene | L | L | L | L | L | L | L | L | L | |
| 14 | 7.92 | delta-elemene | 0.09±0.01 ^b | 0.11±0.01 ^a | 0.04±0.01 ^d | 0.04±0.10 ^d | 0.04±0.01 ^d | 0.05±0.01 ^{cd} | 0.05±0.01 ^c | 0.05±0.01 ^c | 0.05±0.01 ^c | |
| 15 | 8.01 | 6-octenal | L | L | L | L | L | L | L | L | L | |
| 16 | 8.266 | decanal | L | L | L | L | L | L | L | L | L | |
| 17 | 8.849 | linalool | 0.29±0.03 ^a | 0.29±0.03 ^a | 0.24±0.03 ^{cd} | 0.23±0.03 ^{de} | 0.22±0.01 ^e | 0.23±0.03 ^{de} | 0.26±0.02 ^{bc} | 0.25±0.03 ^{cd} | 0.27±0.03 ^{ab} | |

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

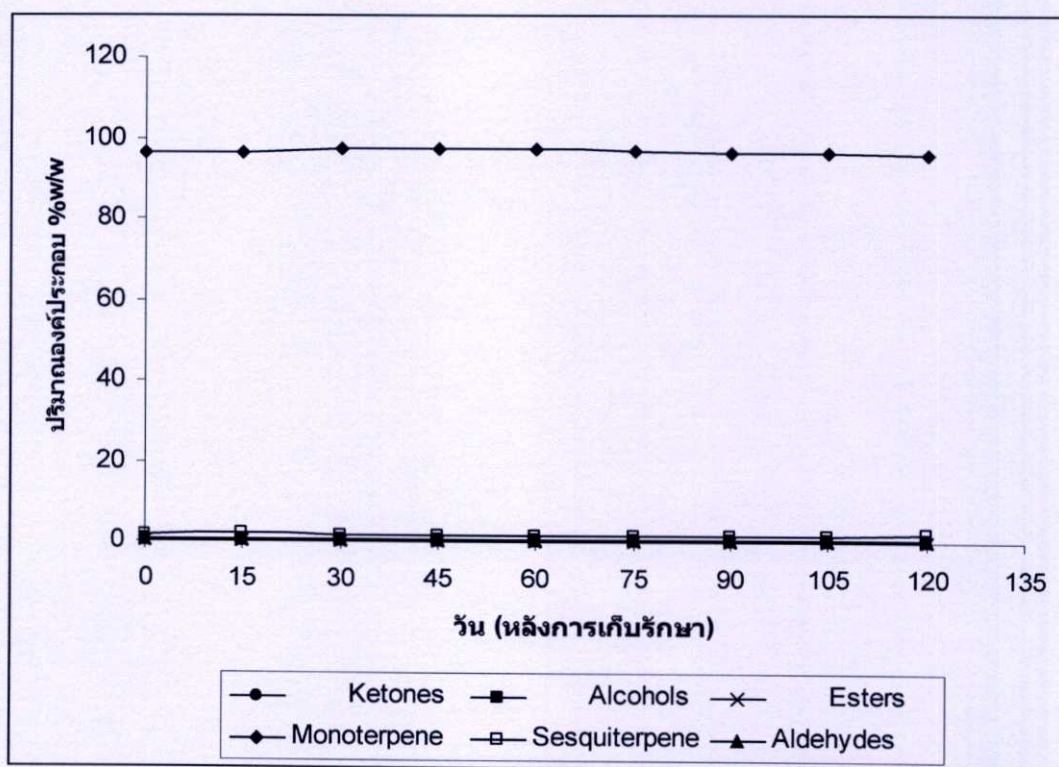
| ลำดับ | R.T. (min) | องค์ประกอบ | ปริมาณองค์ประกอบที่แยกการเก็บรักษาต่างๆ(%w/w) | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------|--------------------|---|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | | 0 วัน | 15 วัน | 30 วัน | 45 วัน | 60 วัน | 75 วัน | 90 วัน | 105 วัน | 120 วัน | | | |
| 18 | 9.447 | beta-elemene | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L |
| 19 | 9.593 | caryophyllene | 0.18±0.03 ^{ab} | 0.19±0.03 ^{ab} | 0.14±0.02 ^{cd} | 0.14±0.04 ^{cd} | 0.13±0.01 ^d | 0.15±0.03 ^{cd} | 0.15±0.03 ^{cd} | 0.16±0.03 ^{bc} | 0.15±0.03 ^{cd} | 0.16±0.03 ^{bc} | 0.16±0.03 ^{bc} | 0.19±0.04 ^a |
| 20 | 10.548 | neral | 0.26±0.04 ^a | 0.24±0.03 ^{ab} | 0.21±0.03 ^{cd} | 0.19±0.03 ^{de} | 0.16±0.02 ^e | 0.19±0.03 ^{de} | 0.19±0.03 ^{de} | 0.18±0.05 ^{de} | 0.19±0.04 ^{de} | 0.18±0.05 ^{de} | 0.18±0.05 ^{de} | 0.22±0.05 ^{bc} |
| 21 | 10.737 | alpha-terpineol | 0.30±0.03 ^a | 0.31±0.04 ^a | 0.23±0.03 ^{bc} | 0.23±0.04 ^b | 0.19±0.02 ^c | 0.21±0.03 ^{bc} | 0.21±0.03 ^{bc} | 0.22±0.06 ^{bc} | 0.24±0.04 ^b | 0.22±0.06 ^{bc} | 0.22±0.06 ^{bc} | 0.23±0.05 ^b |
| 22 | 10.834 | diacetate | 0.04±0.01 ^{abc} | 0.05±0.01 ^a | 0.05±0.01 ^{abc} | 0.04±0.01 ^{bc} | 0.04±0.01 ^c | 0.04±0.01 ^c | 0.04±0.01 ^{abc} | 0.05±0.01 ^a | 0.05±0.01 ^a | 0.05±0.01 ^{abc} | 0.05±0.01 ^{abc} | 0.05±0.01 ^{ab} |
| 23 | 10.92 | germacrene | 1.32±0.14 ^{ab} | 1.45±0.20 ^a | 1.00±0.16 ^c | 1.04±0.23 ^c | 1.00±0.13 ^c | 1.04±0.21 ^c | 1.04±0.21 ^c | 1.20±0.19 ^b | 1.21±0.25 ^b | 1.20±0.19 ^b | 1.20±0.19 ^b | 1.41±0.14 ^a |
| 24 | 11.126 | geranial | 0.39±0.06 ^a | 0.40±0.05 ^a | 0.33±0.04 ^c | 0.31±0.04 ^{cd} | 0.27±0.03 ^d | 0.31±0.04 ^{cd} | 0.31±0.04 ^{cd} | 0.31±0.07 ^{cd} | 0.33±0.05 ^{bc} | 0.31±0.07 ^{cd} | 0.31±0.07 ^{cd} | 0.37±0.07 ^{ab} |
| 25 | 11.201 | germacrene B | 0.12±0.01 ^{ab} | 0.13±0.02 ^a | 0.09±0.01 ^c | 0.09±0.02 ^c | 0.09±0.01 ^c | 0.09±0.02 ^c | 0.09±0.02 ^c | 0.11±0.01 ^b | 0.11±0.02 ^b | 0.11±0.01 ^b | 0.11±0.01 ^b | 0.12±0.01 ^a |
| 26 | 11.347 | geranyl acetate | 0.10±0.01 ^{de} | 0.12±0.02 ^{cde} | 0.10±0.04 ^{de} | 0.09±0.02 ^e | 0.11±0.02 ^{de} | 0.12±0.03 ^{bcd} | 0.12±0.03 ^{bcd} | 0.14±0.04 ^{bc} | 0.14±0.03 ^{ab} | 0.14±0.04 ^{bc} | 0.14±0.04 ^{bc} | 0.16±0.04 ^a |
| 27 | 11.789 | methylbenzoate | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L |
| 28 | 11.87 | nerol | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L |
| 29 | 12.377 | 1,6-octadien-3-ol | 0.03±0.01 ^d | 0.05±0.01 ^a | 0.04±0.01 ^d | 0.04±0.01 ^d | 0.04±0.01 ^{cd} | 0.04±0.01 ^{cd} | 0.04±0.01 ^{cd} | 0.05±0.01 ^{bc} | 0.05±0.01 ^{bc} | 0.05±0.01 ^{ab} | 0.05±0.01 ^{ab} | 0.04±0.01 ^d |
| 30 | 12.599 | 2-cyclohexen-1-ol | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L |
| 31 | 14.43 | endo-1-bourbonanol | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L | L |
| 32 | 18.88 | nootkatone | - | - | 0.06±0.02 ^e | 0.08±0.05 ^e | 0.13±0.07 ^{de} | 0.22±0.12 ^{cd} | 0.22±0.12 ^{cd} | 0.33±0.16 ^c | 0.33±0.16 ^c | 0.47±0.30 ^b | 0.47±0.30 ^b | 0.63±0.22 ^a |

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $p \leq 0.05$ โดย Duncan's multiple range test

R.T. (Retention Time) คือ เวลาที่พบพีค (นาที), L คือพื้นที่ที่ต่ำกว่า 0.005% แต่ไม่น้อยกว่า 0.05%

ตารางที่ 4.6 กลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

| กลุ่มองค์ประกอบ | ปริมาณองค์ประกอบที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ (% w/w) | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|--|
| | 0 วัน | 15 วัน | 30 วัน | 45 วัน | 60 วัน | 75 วัน | 90 วัน | 105 วัน | 120 วัน | |
| Monoterpene hydrocarbons | 96.46 | 96.34 | 97.21 | 97.20 | 97.34 | 96.86 | 96.40 | 96.52 | 95.89 | |
| Sesquiterpene hydrocarbons | 1.71 | 1.88 | 1.27 | 1.31 | 1.26 | 1.33 | 1.52 | 1.52 | 1.77 | |
| Oxygenated compounds | | | | | | | | | | |
| Aldehydes | 0.65 | 0.64 | 0.54 | 0.50 | 0.43 | 0.50 | 0.52 | 0.49 | 0.59 | |
| Ketones | - | - | 0.06 | 0.08 | 0.13 | 0.22 | 0.33 | 0.47 | 0.63 | |
| Alcohols | 0.62 | 0.65 | 0.51 | 0.5 | 0.45 | 0.48 | 0.55 | 0.52 | 0.54 | |
| Esters | 0.14 | 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.15 | 0.16 | 0.19 | 0.19 | 0.21 | |



ภาพที่ 4.31 กลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากตารางที่ 4.7 แสดงถึงจำนวนตัวอย่าง (n) ช่วงข้อมูล (range) ค่าเฉลี่ย (mean) และค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของชุดข้อมูล Calibration และชุด Prediction ที่อายุการเก็บรักษา ต่างๆ

ตารางที่ 4.7 ค่าทางสถิติของชุด Calibration และชุด Prediction ขององค์ประกอบน้ำมันหอมระเหย ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

| parameters | Calibration set | | | | Prediction set | | | |
|--------------------|-----------------|-------------|-------|------|----------------|-------------|-------|------|
| | n | range | mean | SD | n | range | mean | SD |
| Limonene | 93 | 76.02-87.82 | 81.79 | 2.72 | 33 | 78.17-85.94 | 81.71 | 2.39 |
| Beta-Phellandrene | 87 | 3.67-7.54 | 5.57 | 0.92 | 32 | 3.99-7.36 | 5.54 | 0.90 |
| Beta-pinene | 84 | 0.88-2.81 | 1.71 | 0.51 | 28 | 1.02-2.81 | 1.68 | 0.50 |
| Alpha-pinene | 86 | 0.92-1.96 | 1.51 | 0.20 | 34 | 1.15-1.83 | 1.50 | 0.17 |
| Alpha-Phellandrene | 95 | 0.74-2.14 | 1.36 | 0.35 | 32 | 0.86-1.98 | 1.36 | 0.33 |
| Germacrene | 92 | 0.64-1.84 | 1.19 | 0.25 | 26 | 0.82-1.69 | 1.18 | 0.21 |
| Geranial | 90 | 0.16-0.51 | 0.33 | 0.06 | 34 | 0.23-0.42 | 0.32 | 0.05 |
| Nootkatone | 71 | 0.02-0.98 | 0.26 | 0.22 | 24 | 0.04-0.68 | 0.26 | 0.19 |

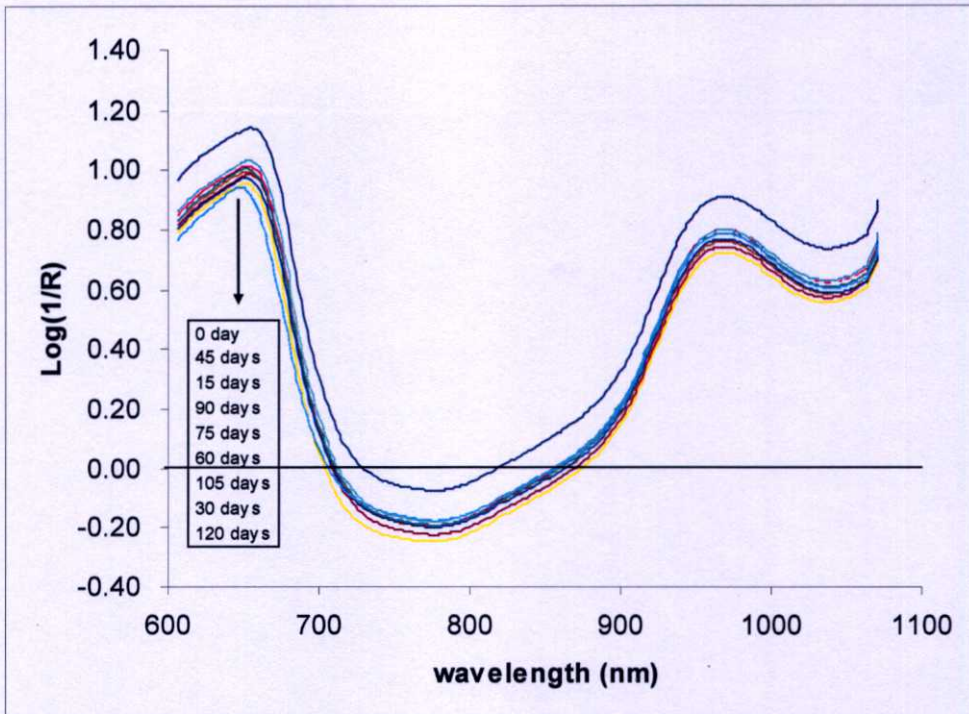
จากตารางที่ 4.8 แสดงผลของ PLS regression ของแต่ละองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ พบว่าองค์ประกอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) สูงที่สุดคือ Nootkatone ที่ได้ปรับแต่งสเปกตรัมโดย Full MSC มีค่า r เท่ากับ 0.82% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.11% และค่า bias เท่ากับ 0.01%

จากภาพที่ 4.32 แสดงสเปกตรัมเดิมเฉลี่ยของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยวของผลส้มโอ ที่ 600-1,100 nm มีความแตกต่างในช่วงอายุการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามที่อายุการเก็บรักษาที่ 15 ถึง 120 วัน สเปกตรัมชนิดกันมากกว่าที่อายุการเก็บรักษาเริ่มต้นที่ 0 วัน

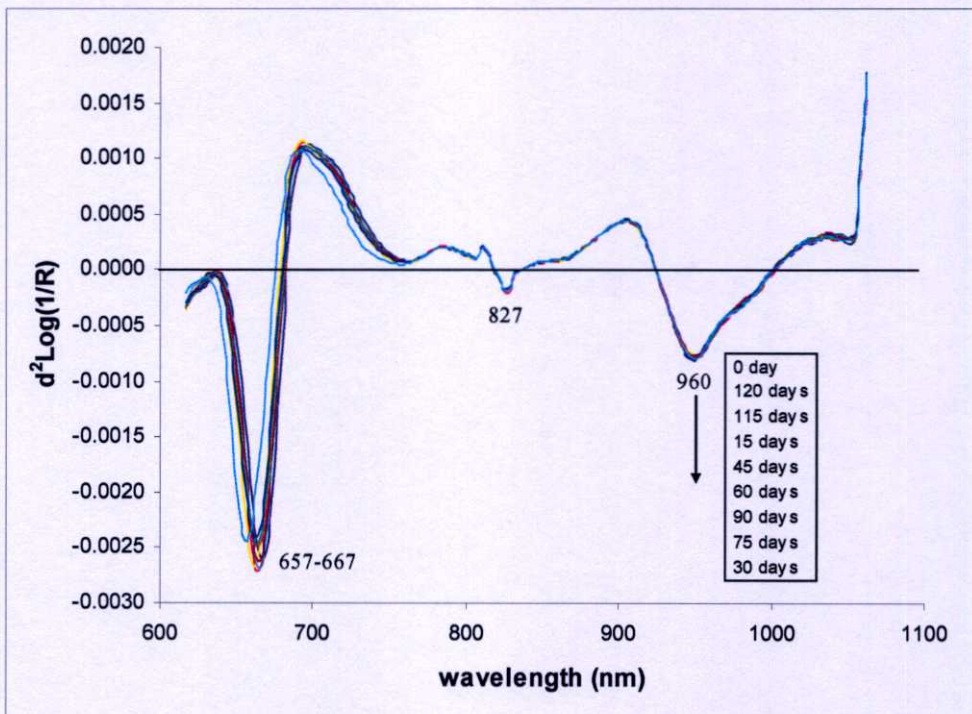
ตารางที่ 4.8 ผลของ PLS regression ของแต่ละองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอ ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

| Parameters | Pretreatment | PCs | Calibration | | | Prediction | | | RER | RPD |
|------------------------|--|-----|-------------|------|------------------------|-------------|------|--------|------|------|
| | | | r | SEC | bias | r | SEP | bias | | |
| Nootkatone | Full MSC | 4 | 0.85 | 0.11 | 1.49×10^{-8} | <u>0.82</u> | 0.11 | 0.01 | 5.82 | 1.73 |
| Geranial | Full MSC | 12 | 0.84 | 0.03 | 9.14×10^{-7} | 0.76 | 0.03 | 0.02 | 6.33 | 1.67 |
| Beta- Phellandrene | 2 nd derivative S.Goley segment 20 nm | 5 | 0.73 | 0.63 | -1.01×10^{-7} | 0.75 | 0.59 | -0.01 | 5.71 | 1.52 |
| Germacrene | Full MSC | 10 | 0.78 | 0.16 | 2.66×10^{-6} | 0.68 | 0.16 | -0.005 | 5.44 | 1.31 |
| Limonene | Raw | 10 | 0.76 | 1.76 | 1.48×10^{-5} | 0.67 | 1.82 | 0.35 | 4.27 | 1.31 |
| Alpha- pinene | Raw | 8 | 0.70 | 0.14 | -1.99×10^{-6} | 0.67 | 0.13 | 0.02 | 5.23 | 1.31 |
| Alpha- Phellandrene | 2 nd derivative S.Goley segment 10 nm | 7 | 0.72 | 0.24 | -1.32×10^{-8} | 0.66 | 0.27 | 0.16 | 4.15 | 1.22 |
| Beta-pinene | Full MSC | 7 | 0.74 | 0.34 | -1.60×10^{-6} | 0.63 | 0.39 | -0.03 | 4.59 | 1.28 |

จากภาพที่ 4.33 แสดงสเปกตรัม 2nd derivative ของส้มโอที่ 9 อายุการเก็บรักษาที่ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน สเปกตรัมของ visible และ NIR แสดงคลื่นการดูดซับสูงสุดที่ 657-667 nm และ 960 nm คลื่นการดูดซับนี้อาจเป็นคลื่นของคลอโรฟิลล์และน้ำเช่นเดียวกับสเปกตรัมของส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ตามลำดับ บริเวณ 680 nm แสดงคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ ซึ่งแสดงคุณลักษณะของผลไม้ [43][44][45] ย่านการดูดซับใน NIR ที่ 960 nm แสดงคลื่นการดูดซับของน้ำ [46] และยังพบพีคเล็กๆ ที่ 827 nm ซึ่งที่ความยาวคลื่นนี้ไม่ระบุว่าเป็นการดูดซับของสารใดในเอกสารอ้างอิงอื่น



ภาพที่ 4.32 สเปกตรัม NIR เดิมของผลส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.33 สเปกตรัม NIR (2nd derivative) ของผลส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

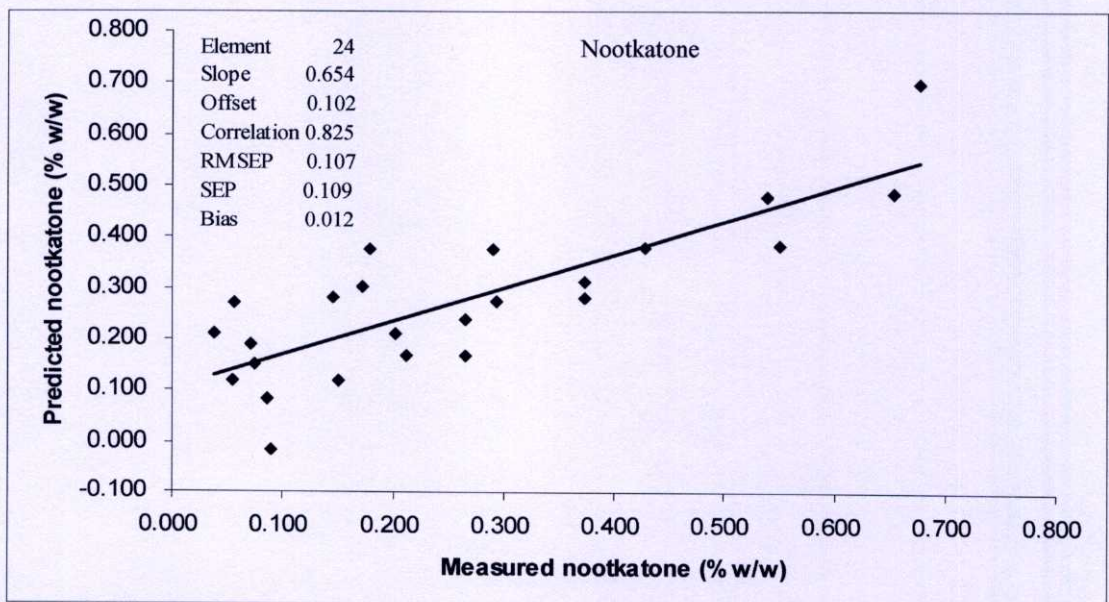
จากภาพที่ 4.34 ผลการทำนาย Nootkatone เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบ Nootkatone นี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) สูงที่สุด ทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้ full multiplicative scattering correction ค่า r เท่ากับ 0.82 ค่า

ผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.11%w/w ค่า bias เท่ากับ 0.01%w/w ค่า RER เท่ากับ 5.82 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.73

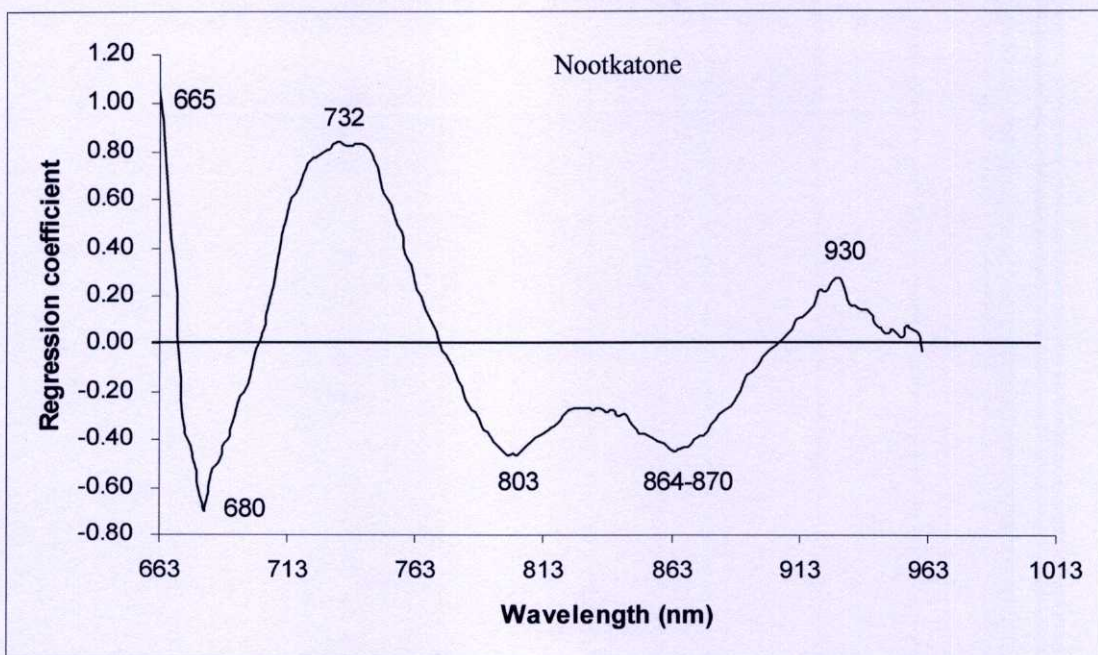
จากภาพที่ 4.35 กราฟ Regression coefficient ของ Nootkatone ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อ โมเดลที่ 680 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือกส้มโอ [43][44][45] ที่ความยาวคลื่น 930 nm แสดงว่าเป็นคลื่นการดูดซับของน้ำมัน [46] 732 864-870 nm และยังปรากฏความยาวคลื่นสำคัญที่มีอิทธิพลต่อ โมเดล คือที่ 655, 732, 803, 827 และ 864-870 nm

กราฟ X-loading weight plot นั้นถ้าความยาวคลื่นซึ่งมีค่า X-loading weight มากแสดงว่ามีความสำคัญมากต่อการทำนายตัวแปรอิสระ

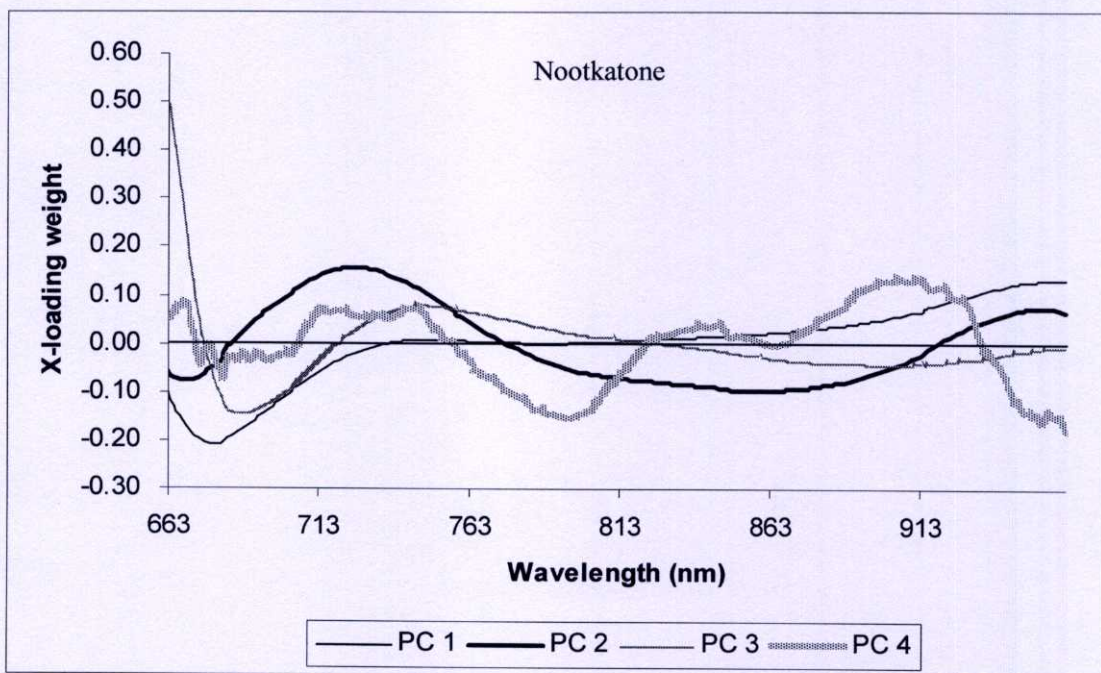
จากภาพที่ 4.36 แสดง X-loading weight plot ของ Nootkatone ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 98, 1, 1 และ 0% ตามลำดับ X-loading weight ของ PC 1 แสดงถึงความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้น 779-797 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล X-loading weight ของ PC 2 ซึ่งให้เห็นว่าความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้นที่ 684 775 และ 921 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล แต่ปรากฏใน PC 1 3 และ 4 X-loading weight ของ PC 3 ปรากฏพีคที่มีค่าความสำคัญที่ 663 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ที่ผิวของเปลือกส้มโอ มีรูปร่างคล้ายกับกราฟ Regression coefficient แสดงถึงความสำคัญของความยาวคลื่นที่มีผลต่อโมเดล X-loading weight ของ PC 4 ที่ความยาวคลื่น 673, 706, 760, 825, 866 และ 935 nm ไม่มีอิทธิพลต่อ โมเดล



ภาพที่ 4.34 ผลการทำนาย Nootkatone เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.35 Regression coefficient ของ Nootkatone ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



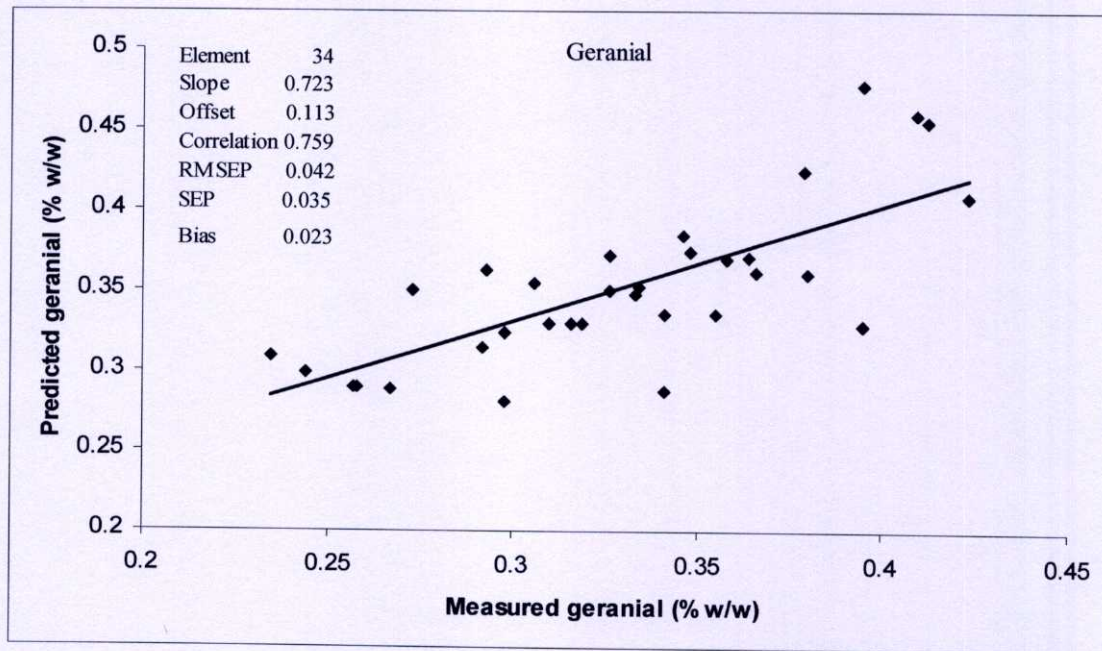
ภาพที่ 4.36 X-loading weight plot ของ Nootkatone ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.37 ผลการทำนาย geranial เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบ geranial ที่ทำนายจากสเปกตรัมปรับแต่งโดยใช้ full multiplicative scattering correction มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.76 ค่าผิดพลาด

มาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.03%w/w ค่า bias เท่ากับ 0.02%w/w ค่า RER เท่ากับ 6.33 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.67

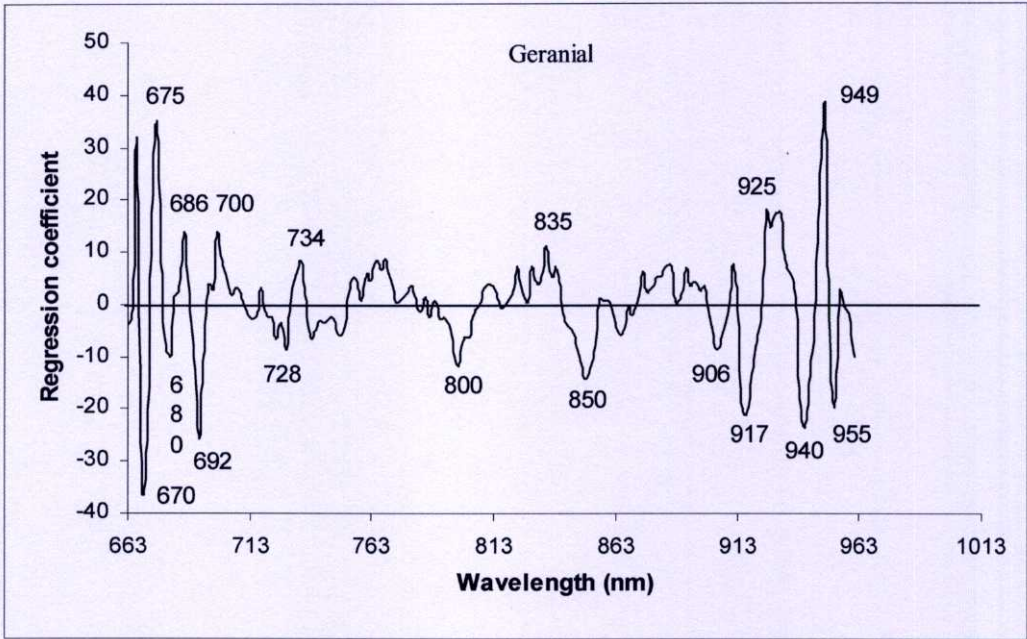
จากภาพที่ 4.38 กราฟ Regression coefficient ของ geranial ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อโมเดลที่ 680 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือกส้มโอ [43][44][45] ที่ความยาวคลื่น 850 nm เป็นคลื่นการดูดซับของ aromatic ที่ 930 เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำมัน [50] ที่ความยาวคลื่น 940 และ 955 nm เป็นคลื่นการดูดซับของแอลกอฮอล์ [48][49] และยังปรากฏที่ความยาวคลื่นสำคัญที่มีอิทธิพลต่อโมเดล คือที่ 670, 675, 686, 692, 700, 728, 734, 800, 835, 906, 917, 925 และ 949 nm

จากภาพที่ 4.39 แสดง X-loading weight plot ของ geranial ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 62, 37, 1 และ 0% ตามลำดับ X-loading weight ของ PC 1 แสดงถึงความยาวคลื่นส่วนใหญ่ที่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้น 665, 694 779 และ 919 nm X-loading weight ของ PC 2 ซึ่งให้ถึงความยาวคลื่นส่วนใหญ่ที่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้นที่ 767 nm แต่ปรากฏใน PC 1, 3 และ 4 X-loading weight ของ PC 3 ความยาวคลื่นที่ 675, 720 และ 896 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล แต่ปรากฏใน PC 1, 2 และ 4 X-loading weight ของ PC 4 ปรากฏความยาวคลื่นที่สำคัญคือ 950 nm

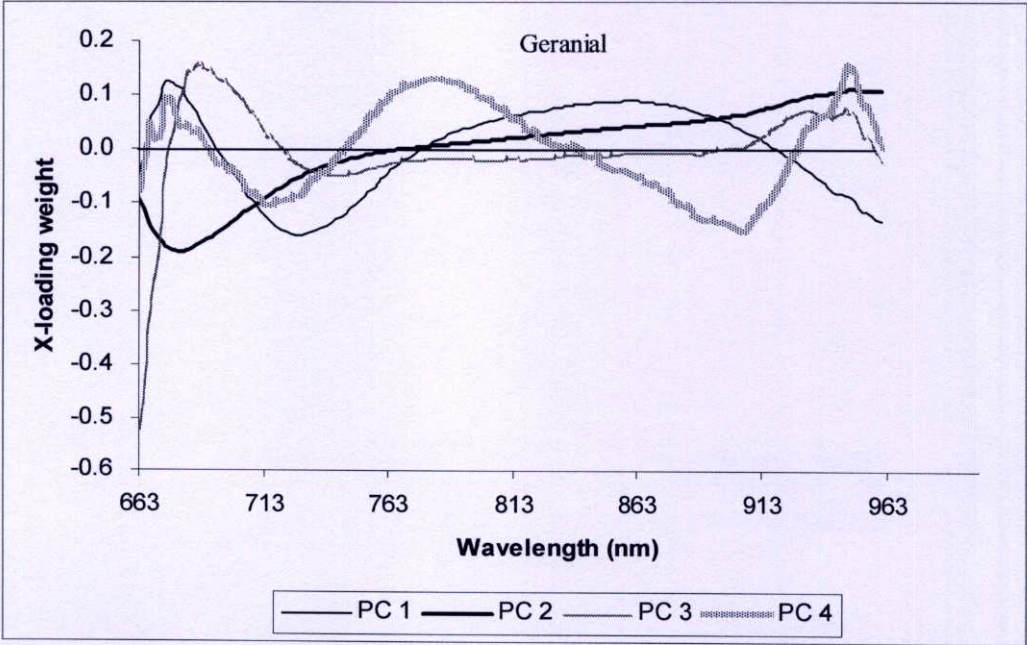


ภาพที่ 4.37 ผลการทำนาย geranial เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.40 ผลการทำนาย Beta-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบ Beta-Phellandrene ทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้ 2nd derivative Savitzky Goley segment 20 nm มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.75 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.59%w/w ค่า bias เท่ากับ -0.01%w/w ค่า RER เท่ากับ 5.71 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.52



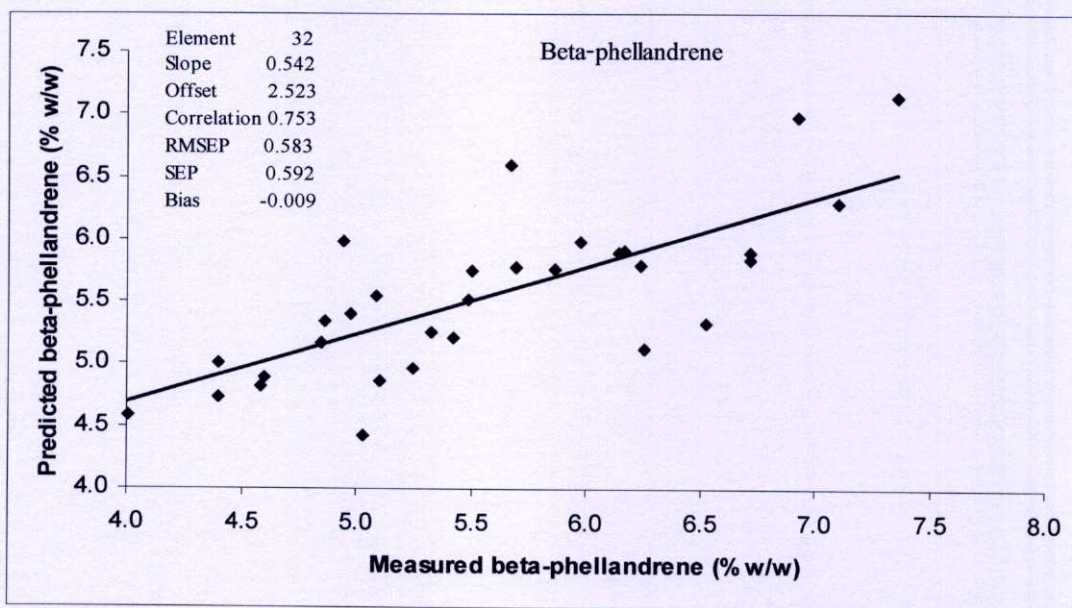
ภาพที่ 4.38 Regression coefficient ของ geranial ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



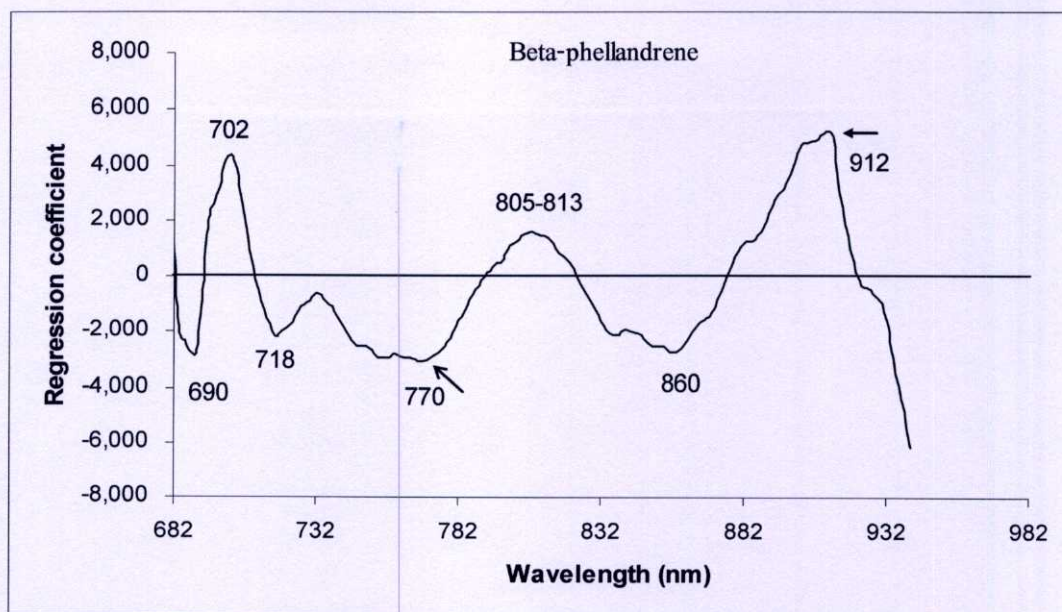
ภาพที่ 4.39 X-loading weight plot ของ geranial ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.41 กราฟ Regression coefficient ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อโมเดลที่ความยาวคลื่น 860 เป็นคลื่นการดูดซับของ aromatic [48][49] และความยาวคลื่นที่สำคัญเช่น 690, 720, 718, 770, 805-813 และ 912 nm

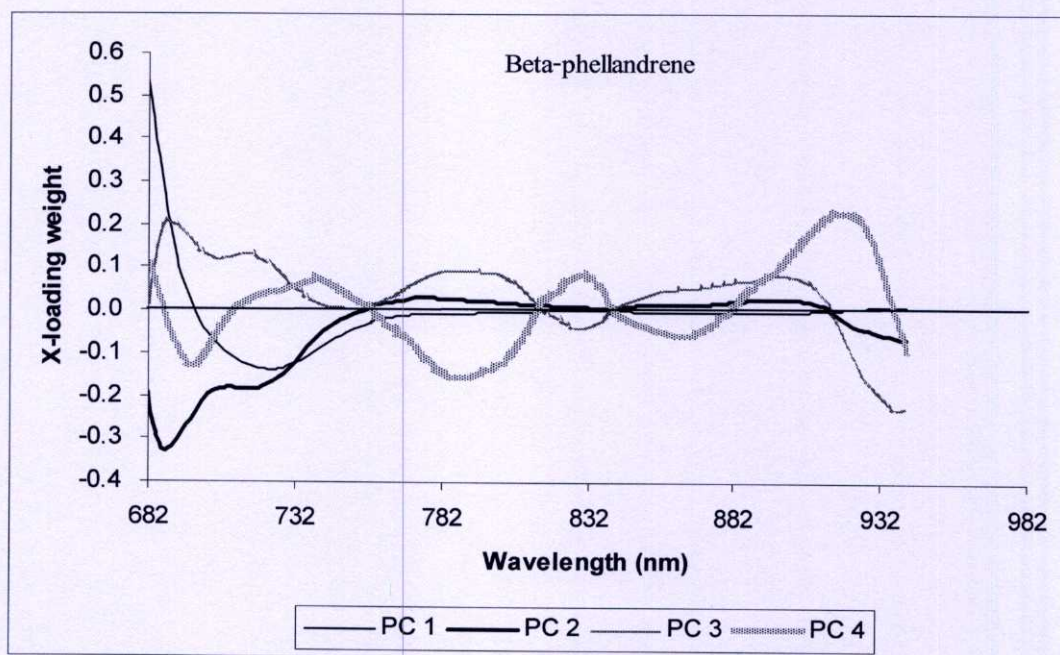
จากภาพที่ 4.42 แสดง X-loading weight plot ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 95, 4, 1 และ 0% ตามลำดับ X-loading weight ของ PC 1 แสดงถึงความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้น 698, 773, 837-742 และ 914 nm X-loading weight ของ PC 2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าช่วงความยาวคลื่น 682-760 nm มีอิทธิพลต่อโมเดลมากกว่าช่วงความยาวคลื่น 762-888 nm X-loading weight ของ PC 3 ความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้น 746, 761, 817, 840 และ 915 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล



ภาพที่ 4.40 ผลการทำนาย Beta-Phellandrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.41 Regression coefficient ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



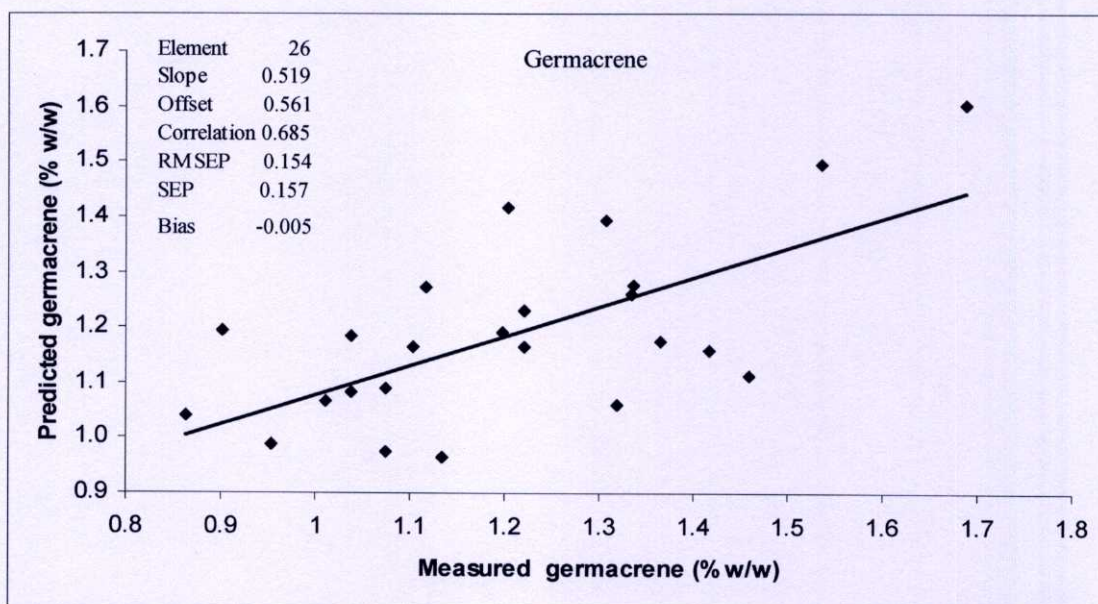
ภาพที่ 4.42 X-loading weight plot ของ Beta-Phellandrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.43 ผลการทำนาย Germacrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ องค์ประกอบ Germacrene ทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้ full multiplicative scattering correction (MSC) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.68 ค่า

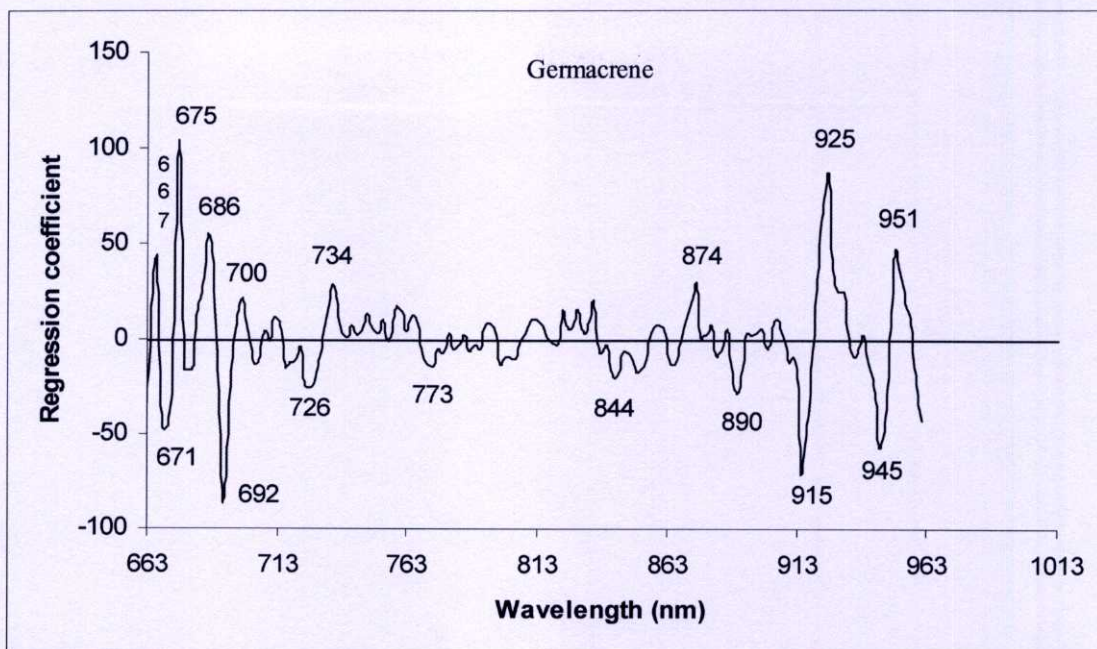
ผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.16%w/w ค่า bias เท่ากับ -0.005%w/w ค่า RER เท่ากับ 5.44 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.31

จากภาพที่ 4.44 กราฟ Regression coefficient ของ Germacrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อโมเดลที่ 890 nm เป็นคลื่นการดูดซับของคาร์โบไฮเดรต [48][49] และปรากฏความยาวคลื่นที่สำคัญที่ 667, 671, 675, 686, 692, 700, 726, 734, 773, 844, 874 ,915, 925, 945 และ 951 nm

จากภาพที่ 4.45 แสดง X-loading weight plot ของ Germacrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 97, 2, 1 และ 0% ตามลำดับ X-loading weight ของ PC 1 แสดงถึงความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดลและคล้ายกับสเปกตรัมเดิม ยกเว้น 667 nm ซึ่งไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลของ PC 1 และ PC 3 แต่ปรากฏที่ PC 2 และ PC 4 ที่ความยาวคลื่น 752 nm ไม่มีอิทธิพลต่อ โมเดลของ PC 1 และ PC 2 แต่ปรากฏที่ PC 3 และ PC 4

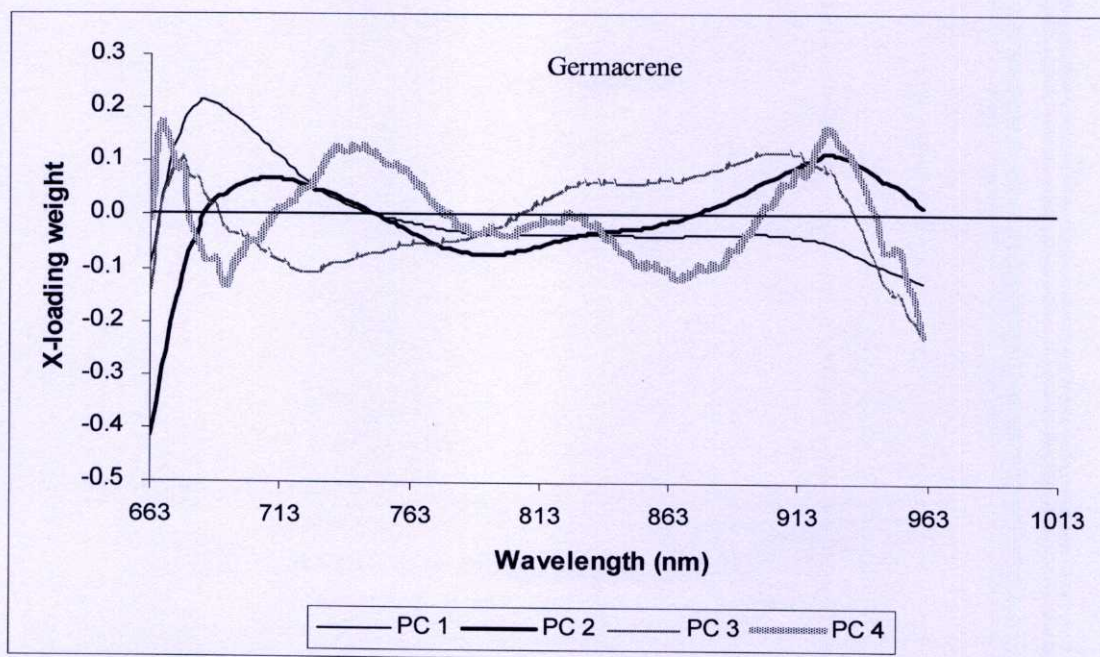


ภาพที่ 4.43 ผลการทำนาย Germacrene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



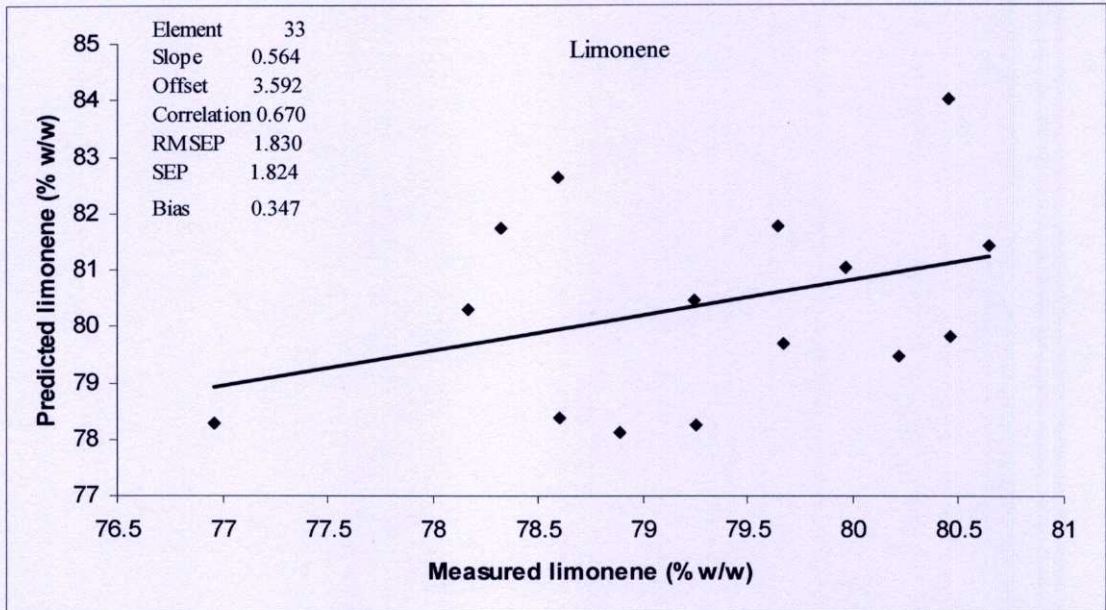
ภาพที่ 4.44 Regression coefficient ของ Germacrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.46 ผลการทำนาย limonene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ องค์ประกอบ limonene ที่ชุดสเปกตรัมเดิม (raw) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.67 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 1.82%w/w ค่า bias เท่ากับ 0.35%w/w ค่า RER เท่ากับ 4.27 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.31



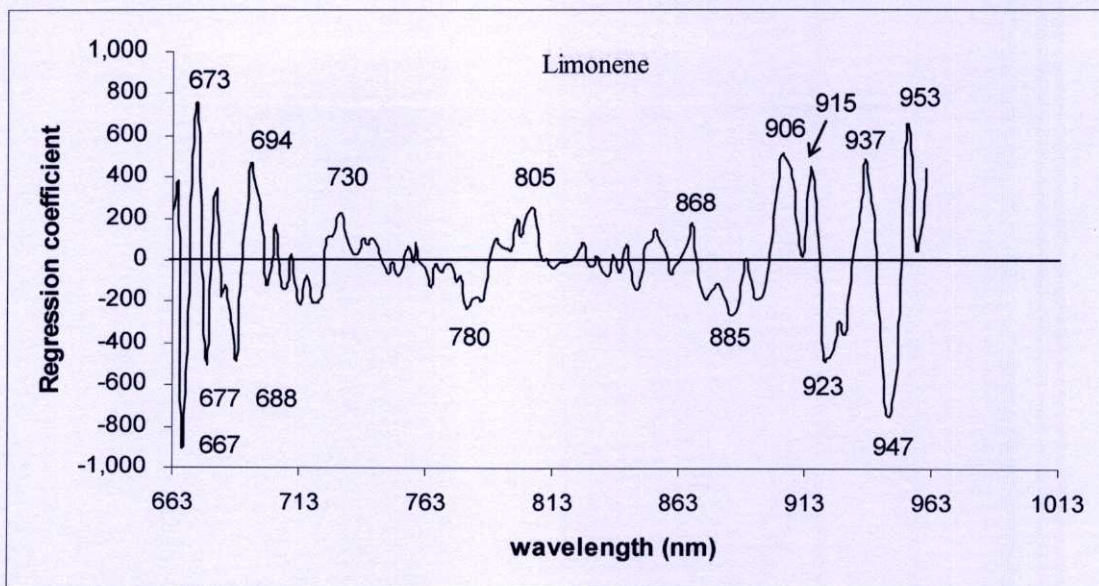
ภาพที่ 4.45 X-loading weight plot ของ Germacrene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.47 กราฟ Regression coefficient ของ limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อโมเดลที่ 730 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของ free-OH แอลกอฮอล์ [48][49] และยังปรากฏความยาวคลื่นที่สำคัญคือ 667, 673, 677, 688, 694, 780, 805, 868, 885, 906, 915, 923, 937, 947 และ 953 nm และลักษณะของสเปกตรัมยังคล้ายกับกราฟ Regression coefficient ขององค์ประกอบ Geranial อีกด้วย

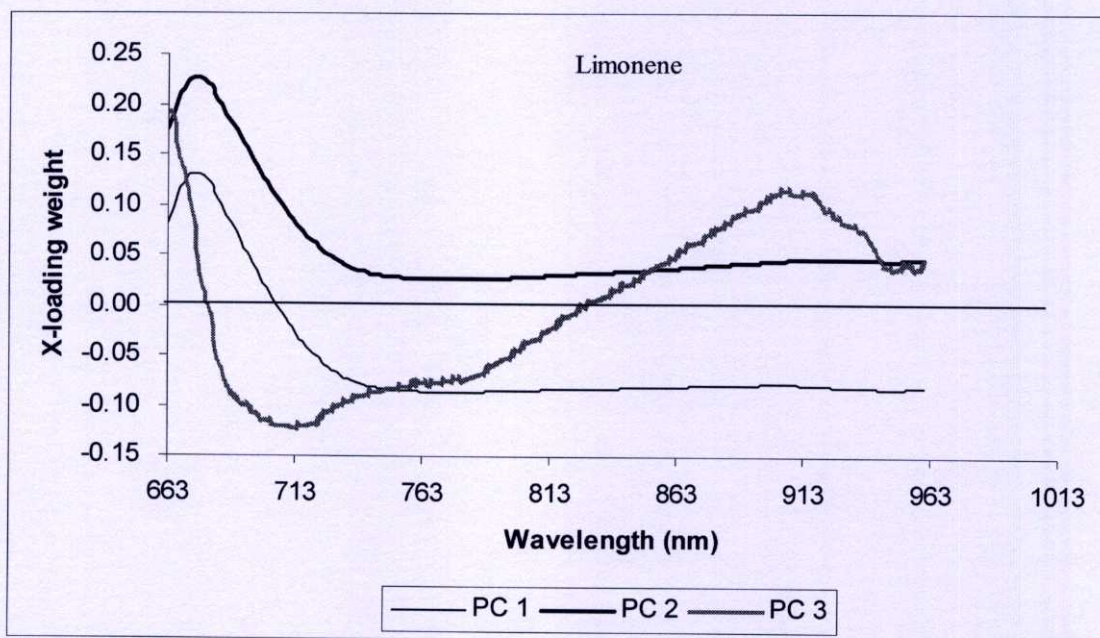


ภาพที่ 4.46 ผลการทำนาย limonene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.48 แสดง X-loading weight plot ของ limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ PC 1, 2 และ 3 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 63, 36 และ 0% ตามลำดับ X-loading weight ของ PC 1 ความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้น 706 nm แต่ปรากฏว่ามีอิทธิพลต่อโมเดลใน PC 2 และ 3 X-loading weight ของ PC 2 มีรูปร่างคล้ายกับสเปกตรัมของ PC 1 ซึ่งส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล X-loading weight ของ PC 3 ความยาวคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล คือ 680 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ แต่ปรากฏใน PC 1 และ PC 2 และที่ 827 nm ก็ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลแต่ปรากฏใน PC 1 และ PC 2 เช่นกัน



ภาพที่ 4.47 Regression coefficient ของ limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



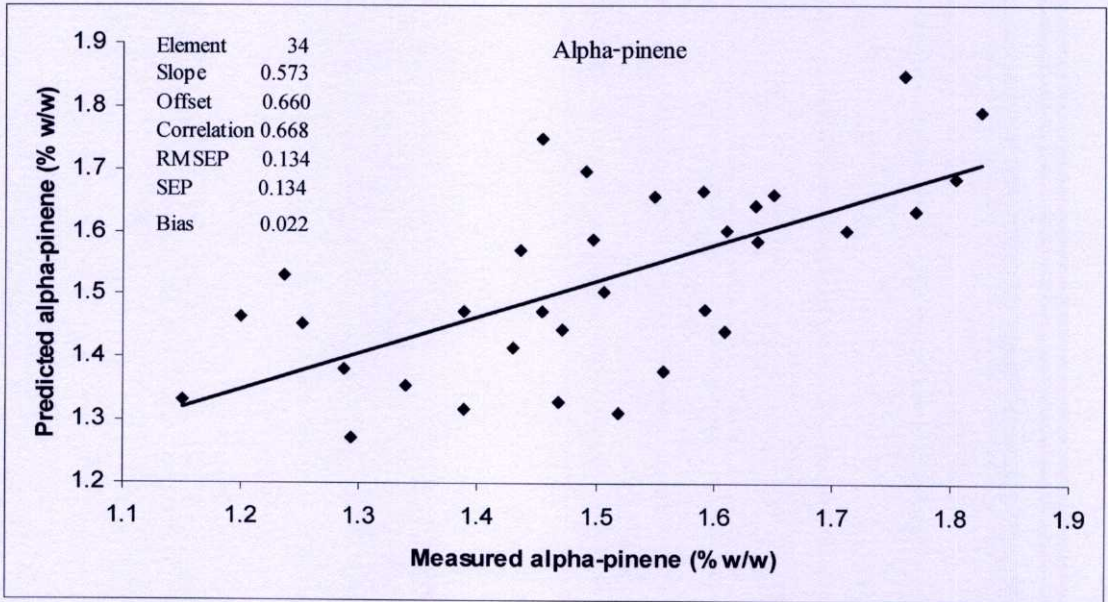
ภาพที่ 4.48 X-loading weight plot ของ limonene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

จากภาพที่ 4.49 ผลการทำนาย Alpha-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ องค์ประกอบ Alpha-pinene ที่ชุดสเปกตรัมเดิม (raw) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.67 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.13% w/w ค่า bias เท่ากับ 0.02% w/w ค่า RER เท่ากับ 5.23 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.31

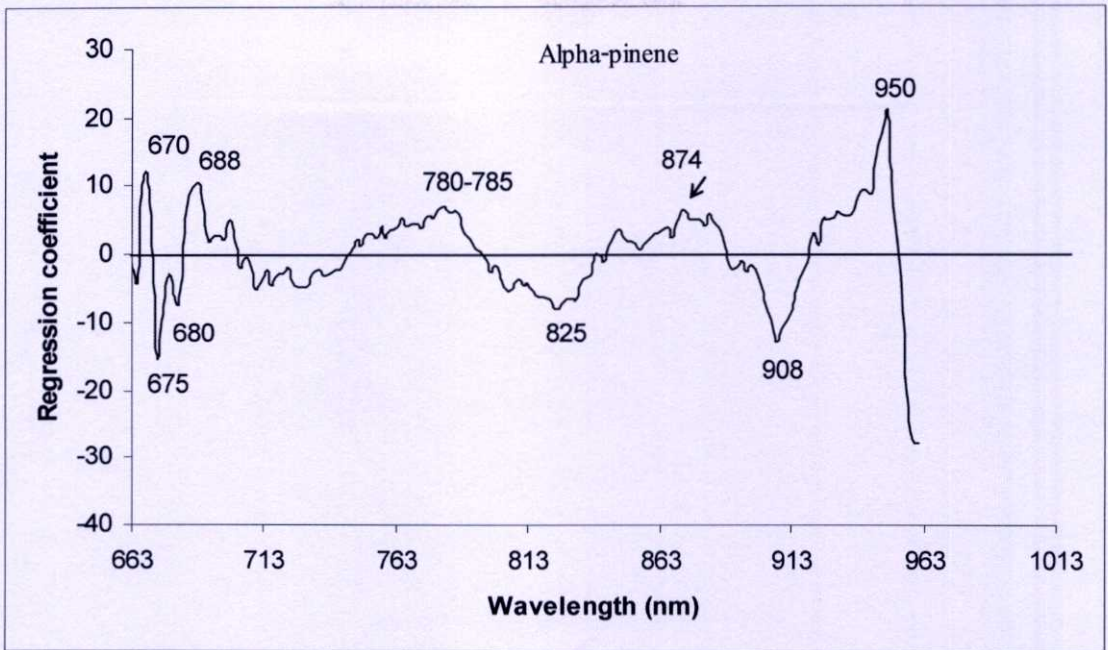
จากภาพที่ 4.50 กราฟ Regression coefficient ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อโมเดล คือ 680 nm ซึ่งเป็นคลื่นการดูด

ช่วงของคลอโรฟิลล์ [43][44][45] และปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อโมเดลอีกที่ 670, 675, 688, 780-785, 825, 908 และ 950 nm

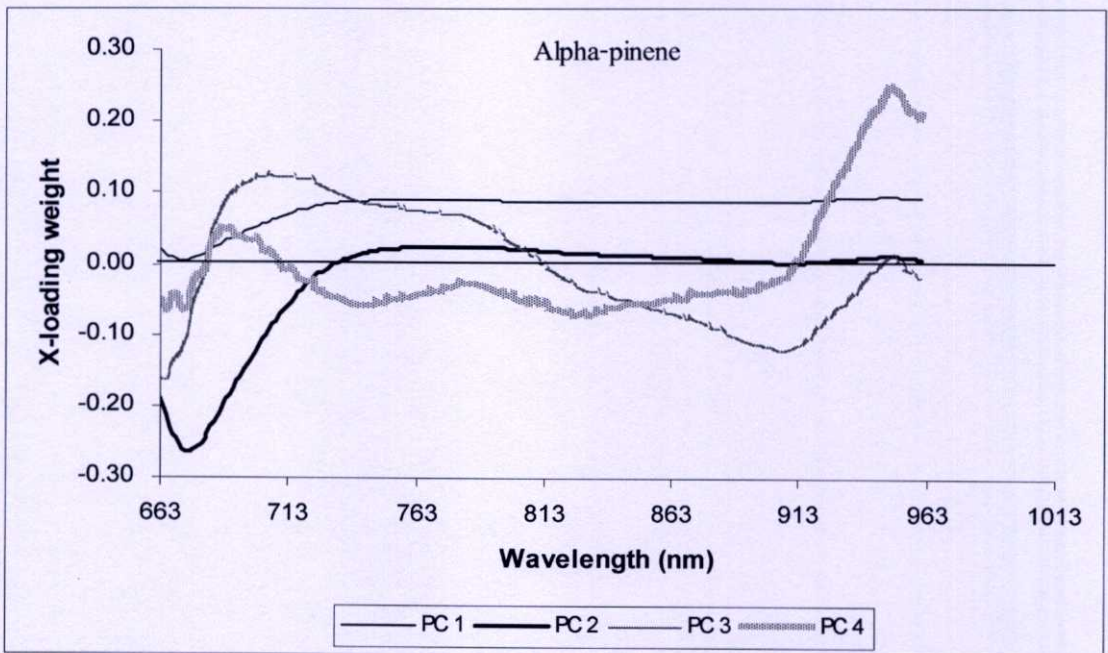
จากภาพที่ 4.51 แสดง X-loading weight plot ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 85, 4, 1 และ 0% ตามลำดับ X-loading weight ของ PC 1 ซึ่งให้เห็นว่าความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล และคล้ายกับสเปกตรัมเดิม X-loading weight ของ PC 2 แสดงความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้น 732, 908-914 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล X-loading weight ของ PC 3 ความยาวคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล คือ 680 nm เช่นเดียวกับใน PC 4 ซึ่งเป็นคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ แต่ที่ 817, 949 และ 955 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลใน PC 3 แต่ปรากฏใน PC 1 2 และ PC 4 X-loading weight ของ PC 4 ความยาวคลื่นที่ 708 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล แต่ปรากฏใน PC 1 2 และ 3



ภาพที่ 4.49 ผลการทำนาย Alpha-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.50 Regression coefficient ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

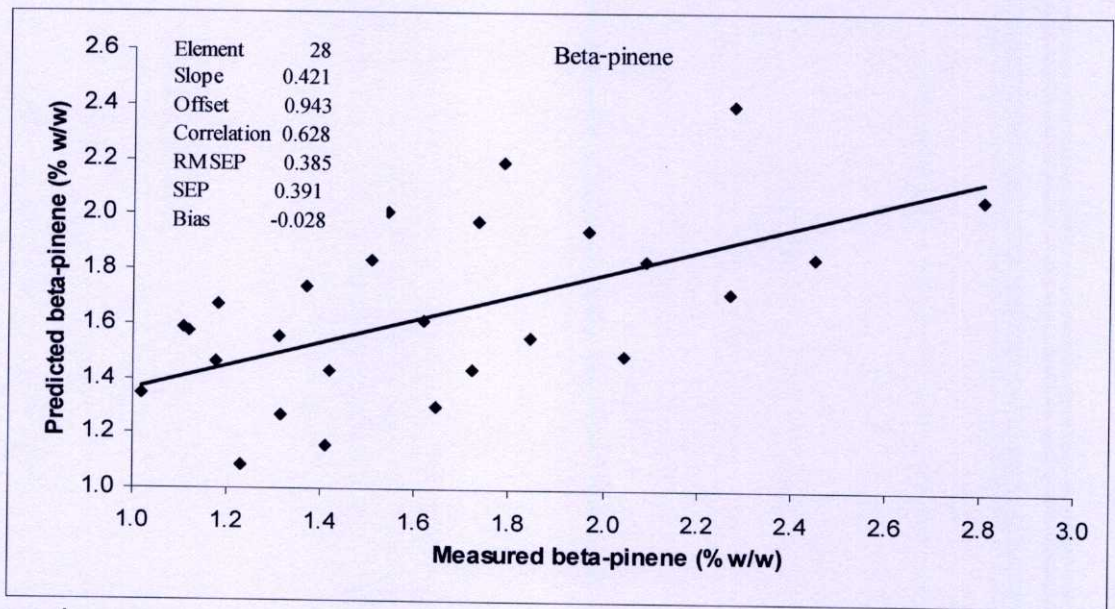


ภาพที่ 4.51 X-loading weight plot ของ Alpha-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

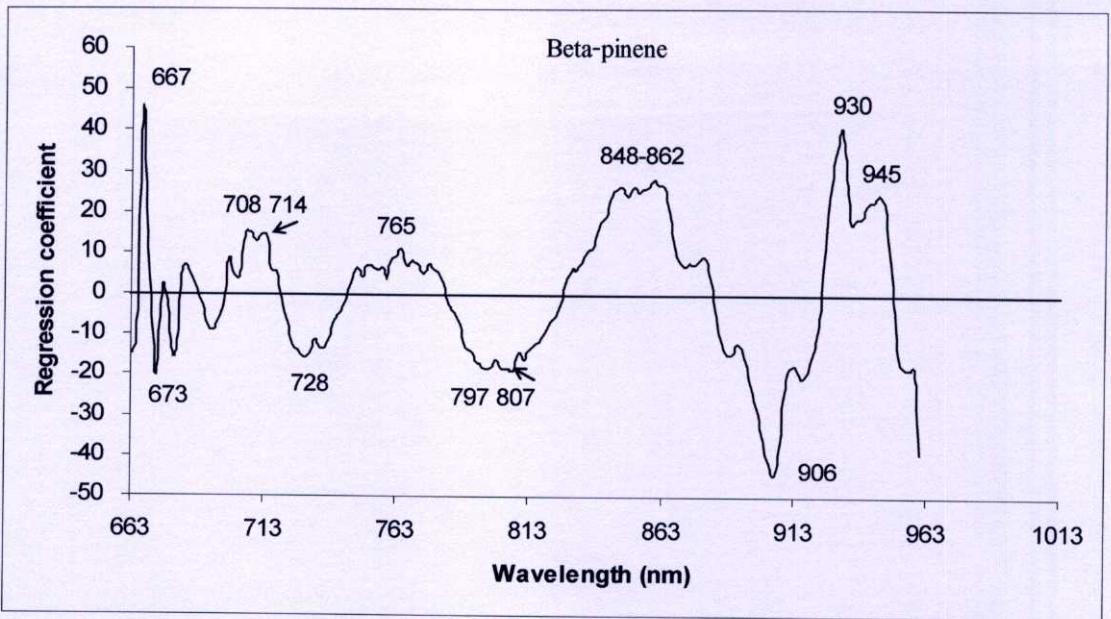
จากภาพที่ 4.52 ผลการทำนาย Beta-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ องค์ประกอบ Beta-pinene ทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้ full multiplicative scattering correction (MSC) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.63 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.39%w/w ค่า bias เท่ากับ -0.03%w/w ค่า RER เท่ากับ 4.59 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.28

จากภาพที่ 4.53 กราฟ Regression coefficient ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ ปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อโมเดล คือช่วง 848-862 nm ซึ่งมีความยาวคลื่น 850 และ 860 nm เป็นคลื่นการดูดซับ third overtone ของ aromatic [48][49] และที่ความยาวคลื่น 930 nm นี้เป็นคลื่นการดูดซับของน้ำมัน [50] ยังปรากฏความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อโมเดลอีก คือ 667, 673, 708, 728, 765, 797, 807, 906 และ 945 nm

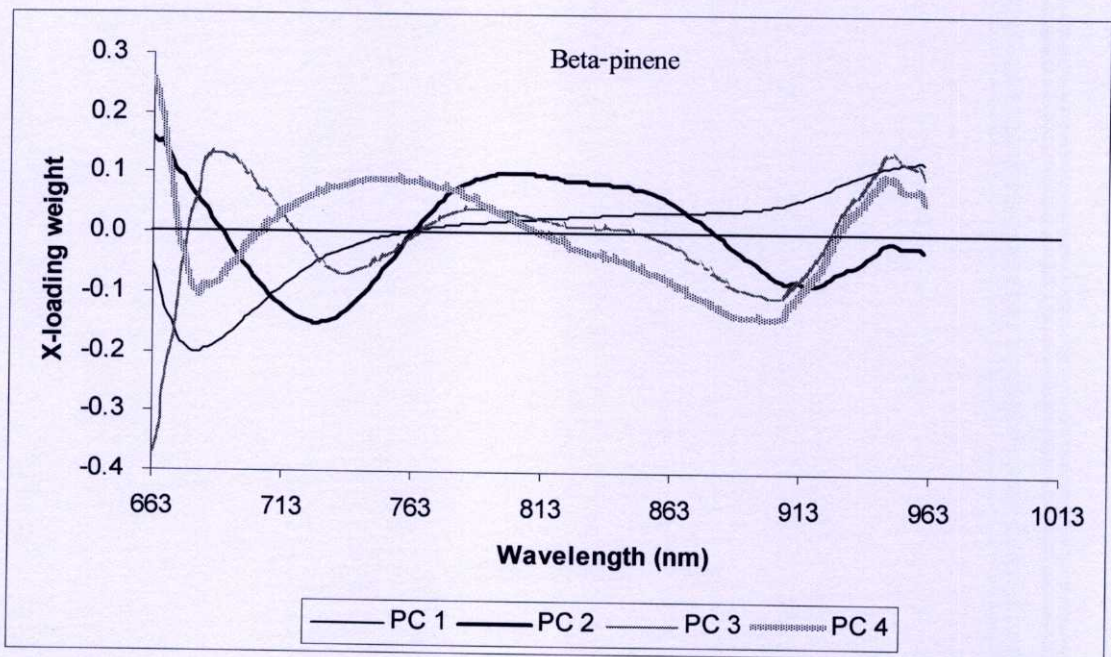
จากภาพที่ 4.54 แสดง X-loading weight plot ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ PC 1, 2, 3 และ 4 ครอบคลุมความแปรปรวนในสเปกตรัม 98, 2, 0 และ 0% ตามลำดับ X-loading weight ของ PC 1 ปรากฏความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้นที่ 759 nm แต่ปรากฏใน PC 2, 3 และ PC 4 X-loading weight ของ PC 2 แสดงความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อโมเดล ยกเว้น 690, 763 และ 878 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล X-loading weight ของ PC 3 ที่ความยาวคลื่น 663 nm มีอิทธิพลต่อโมเดลสูง แต่ที่ความยาวคลื่น 677, 718, 767, 848 และ 925 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดลใน PC 3 X-loading weight ของ PC 4 ความยาวคลื่นที่ 673, 702, 815 และ 927 nm ไม่มีอิทธิพลต่อโมเดล



ภาพที่ 4.52 ผลการทำนาย Beta-pinene เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงของเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.53 Regression coefficient ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.54 X-loading weight plot ของ Beta-pinene ที่สเปกตรัม NIR ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง สกัดโดยวิธีบีบเย็น ที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ตรวจสอบที่ผลโดยตรง ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้ FQA-NIR Gun ประเภท Interactance ช่วงความยาวคลื่นสั้น 600-1,100 nm ในการตรวจวัด

5.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่ผิวเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆ กัน โดยใช้เทคนิค NIRS โดยตรวจสอบที่ผลโดยตรงโดยเป็นวิธีไม่ทำลาย

5.1.1 การทำนายองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยโดยใช้เทคนิค NIRS ที่อายุการเก็บเกี่ยว

การใช้เทคนิค NIRS ในการทำนายองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ โดยใช้แบบจำลองที่ได้จากค่าสเปกตรัมเดิม สเปกตรัมถูกปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี Full multiplicative scatter correction (MSC) หรือ Second Derivative (Savitzky-Golay algorithm, second polynomial) โดยใช้ PLS regression สามารถทำนายองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่มีประโยชน์ เช่น beta-phellandrene และ limonene ได้ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) 0.81-0.90 ใช้ได้สำหรับการคัดเลือกและการประมาณค่า [36] ซึ่ง beta-Phellandrene ที่ชุดสเปกตรัมเดิม (raw) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ r สูงที่สุด เท่ากับ 0.89% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.39% และค่า bias เท่ากับ 0.39%

5.1.2 การทำนายองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยโดยใช้เทคนิค NIRS ที่อายุการเก็บรักษา

การใช้เทคนิค NIRS ในการทำนายองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่อายุการเก็บรักษาใช้แบบจำลองที่ได้จากค่าสเปกตรัมเดิม การปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี Full multiplicative scatter correction (MSC) หรือ Second Derivative (Savitzky-Golay algorithm, second polynomial) เช่นกัน โดยใช้ PLS regression สามารถทำนายองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่มีประโยชน์ เช่น nootkatone geranial และ beta-phellandrene ได้ ซึ่งองค์ประกอบ nootkatone ที่การปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี Full multiplicative scatter correction (MSC) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ r สูง

ที่สุดในกลุ่มองค์ประกอบ เท่ากับ 0.82% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.11% และค่า bias เท่ากับ 0.01

5.2 เพื่อวิเคราะห์ที่ให้ทราบถึงชนิดของน้ำมันในเปลือกส้มโอที่มีประโยชน์ทางการแพทย์ ด้านธุรกิจความงามและด้านสุขภาพ

5.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยว

การวิเคราะห์องค์ประกอบดังกล่าวทำโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ คือ 190, 200, 210 และ 220 วันหลังจากดอกบาน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม Monoterpene hydrocarbons มี limonene ในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอมีส่วนช่วยต่อต้านมะเร็ง หรือเนื้อร้าย [10] และยังสามารถสกัดนำมาใช้เป็นสารให้รสชาติของของหวานและน้ำผลไม้ ทำเป็นส่วนประกอบของน้ำหอม [11] เป็นองค์ประกอบหลักที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันหอมระเหย (78.33-84.93 % w/w) รองลงมา คือ beta-phellandrene (4.16-6.22 % w/w) และ myrcene (3.23-4.18 % w/w)

5.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษา

การวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่การเก็บรักษาทำโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) ที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ คือ 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม Monoterpene hydrocarbons ซึ่งมี limonene เป็นองค์ประกอบหลักที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันหอมระเหย (79.17-84.61 % w/w) รองลงมา คือ beta-phellandrene (4.64-6.32 % w/w) และ myrcene (3.21-4.21 % w/w)

5.3 เพื่อสามารถบอกอายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาที่ให้ปริมาณองค์ประกอบที่มีค่าสูงสุดได้

5.3.1 ปริมาณองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยว

สรุปได้ว่าอายุการเก็บเกี่ยวที่ให้ปริมาณสารประกอบสำคัญเช่น limonene คือที่ 190 วันหลังดอกบาน beta-phellandrene และ myrcene ที่ 210 วันหลังดอกบาน นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสามารถระบุอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับปริมาณองค์ประกอบที่สำคัญอื่นๆ อีกด้วย

5.3.2 ปริมาณองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่อายุการเก็บรักษา

ซึ่งสรุปได้ว่าอายุการเก็บรักษาที่ให้ปริมาณสารประกอบสำคัญเช่น limonene คือที่ 60 วัน หลังการเก็บรักษา beta-phellandrene และ myrcene ที่ 90 และ 120 วันหลังการเก็บรักษา ตามลำดับ nootkatone ซึ่งเป็นสารหลักที่บ่งบอกคุณสมบัติกลิ่นรสของผลไม้ โดยทั่วไปถูกใช้สำหรับการปรุงกลิ่นรสของเครื่องดื่ม น้ำผลไม้ [51] พบว่าองค์ประกอบ nootkatone ในน้ำมันหอมระเหยที่อายุการเก็บรักษานั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 0.06 ถึง 0.63 %w/w นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสามารถระบุอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับปริมาณองค์ประกอบที่สำคัญอื่นๆ อีกด้วย ซึ่งรายงานการวิจัยนี้มีประโยชน์สำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม เครื่องสำอาง สบู่ และอื่นๆ ได้ เป็นการนำเปลือกส้มโอซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการศึกษาองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอนั้น ในขั้นตอนการสกัดน้ำมันหอมระเหยที่เปลือก ควรมีการพัฒนา รูปแบบของเครื่องมือที่ใช้บีบให้มีความสะดวกและบีบง่ายขึ้น เพื่อเป็นการประหยัดเวลาที่ใช้ในการทดลอง

5.3.2 ในกระบวนการวิเคราะห์สเปกตรัม อาจเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงหาความแม่นยำอื่นๆ ในการวิเคราะห์ เพื่อให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่สูงขึ้น

5.3.3 ในการตรวจวัดสเปกตรัม อาจเปลี่ยนมาวัดที่ช่วงความยาวคลื่นยาว LW-NIR ซึ่งอาจจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสเปกตรัม NIR และค่าอ้างอิงสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมศุลกากร. “สถิติการนำเข้าส้มโอ.” [Online]. Available:
<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp>. 2551
- [2] องค์การตลาดเพื่อการเกษตร. “สถานการณ์ส้มโอ” [Online]. Available:
<http://www.mof.or.th/fruit-som-o.htm>. 2549
- [3] วิทยา บัวเจริญ. 2546. “คุณภาพไม้ผลของประเทศไทย.” ใน **รวมบทความคุณภาพและมาตรฐานทางการเกษตร**. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546. หน้า 31-35
- [4] Scora, R.W., Newman, J.E. “A phynological study of the essential oils of the peel of Valencia oranges.” **Agricultural Meteorology** 4, 1967. pp. 11-26
- [5] Kesterson, J.W., Hendrickson, R., Braddock, R.. Florida citrus oils. “Technical Bulletin” **Agricultural Experiment Stations**. Florida University 749, 1971. 180pp.
- [6] Sawamura, M., Tsuji, T., Kuwahara, S. “Changes in the volatile constituents of pummelo (*Citrus grandis* Osbeck forma Tosa-buntan) during storage.” **Agricultural and Biological Chemistry**. vol. 53 (1), 1989. pp. 243-246
- [7] กองบรรณาธิการไทยโพสต์. “ประโยชน์ของน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม” [Online]. Available:http://www.thaipost.net/print.asp?news_id=110088&cat_id=220400&post_date=17/Jul/2548. 2548
- [8] Pisano, R.C. “The future of natural essential oils in the flavor and fragrance industry.” **Perfum. Flavor**. vol.11, 1986. pp. 35-41
- [9] Hariya, T. “The possibility of regulating the function of adipose cells by odorants.” **Aroma Res**, vol. 13, 2003. pp 72-78
- [10] ราศรี โรจนรุจิรัตน์. “limonene” [Online]. Available : <http://www.thailandherbals.com/limonenn/.htm>. 2546
- [11] Steuer, B., Schulz, H., Lager, E. “Classification and analysis of citrus oils by NIR spectroscopy.” **Food Chemistry**. vol. 72, 2001. pp. 113-117
- [12] Rehman, Z.U. ‘Citrus peel extract-A natural source of antioxidant.’ **Food Chemistry**. vol. 99, 2006. pp. 450-454

- [13] Ito, N., Hirose, M., Fukushima, G. Tauda, H., Shira, T., Tatematsu, M. "Studies on antioxidant: their carcinogenic and modifying effects on carcinogenesis." **Food and Chemical Toxicology**. vol. 24, 1986. pp. 1071-1081
- [14] สมศิริ แสงโชติ และ เนตรนภิส เขียวขำ. "การใช้สารสกัดจากขมิ้น น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มและไคโตแซนในการควบคุมโรคเน่าราสีเขียวของส้ม" [Online]. Available : http://www.rdi.ku.ac.th/kufair50/plant/38_plant/38.htm. 2550
- [15] กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูก ส้มโอ. กรุงเทพฯ : สหมิตรออฟเซต, 2530
- [16] วิเศษ อัครวิทยากุล. การปลูกส้มโอ. กรุงเทพฯ : โครงการหนังสือเกษตรกรชุมชน, 2536
- [17] คมจันทร์ สรจันทร. "ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งระหว่างการพัฒนาของผล และผลของการใส่ปุ๋ยที่ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพผล." วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548
- [18] รักบ้านเกิด. "การปลูกส้มโอ" [Online], Available : http://www.rakbankerd.com/agriculture/in_agricultural.html. 2549
- [19] ส้มโอ. "พันธุ์ส้มโอที่ปลูกในประเทศไทย" [Online]. Available : <http://www.geocities.com/psplant/pomo>. 2549
- [20] กัลปพฤกษ์ ลีละวัฒน์. "การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลส้มโอ 7 พันธุ์." ปัญหาพิเศษปริญญาโท สาขาวิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2534
- [21] มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช. "ส้มโอ" [Online]. Available : http://www.nstrc.rmutsv.ac.th/Oncampus_source/herbal/v2.html. 2549
- [22] กลุ่มธุรกิจพืชครบวงจร. "ส้มโอขาวน้ำผึ้ง" [Online]. Available : <http://www.cpcrop.com/ขอมลผลตถกท/ผลไม้/ส้มโอ/tabid/89/Default.aspx>. 2550
- [23] ตลาดไท. "ไม้ผลเศรษฐกิจ" [Online]. Available : <http://www.talaadthai.com/web/resource/detail.asp>. 2549
- [24] กรมส่งเสริมการเกษตร. "ส้มโอ" [Online]. Available : <http://www.doae.go.th/plant/pumelo.htm>. 2549
- [25] จริ่งแท้ สิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2541
- [26] พิมพ์ ลิลาพรพิสิฐ. **สูคนธบำบัด (Aromatherapy)**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2547. 160 หน้า

- [27] ฝ่ายเภสัชและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ. “วิธีสกัดน้ำมันหอมระเหย” [Online]. Available :
http://www.tistr.or.th/pharma/Essen_ext.htm. 2550
- [28] ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
 “แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมาโตรเมทรี” [Online]. Available :
<http://www.kmitl.ac.th/sisc/GC-MS/detector.htm>. 2550
- [29] เอกฉนัย กอกิมพงษ์. “เครื่องหมุนเหวี่ยง” [Online]. Available :
http://www.thaiscience.com/lab_vol/P21/centrifuge.asp. 2550
- [30] นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์. “หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโคปี” การ
 อบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared
 Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 2545. หน้า 42 – 48
- [31] พรพรรณทิพย์ ห่อศรีสัมพันธ์. “NIR Spectrometer เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์”
 [Online]. Available : http://www.thaiscience.com/lab_vol/p31/nir.asp. 2004
- [32] อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. “การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์” การอบรมเชิงปฏิบัติการ
 เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขัน
 ในเวทีการค้าโลก. 2545. หน้า 78 – 96
- [33] Siesler, H. W., Ozaki, Y., Kawata, S., and Heise, H. M. **Near-Infrared Spectroscopy:
 Principle, Instruments, Application.** Jphn wiley & Sons, Ltd., Gernany, 2002. pp. 151
- [34] ธงชัย สุวรรณสิขณณ์. “การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Data
 Analysis of NIR Spectra: Qualitative and Quantitative Analysis)” การอบรมเชิง
 ปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อ
 การแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 2545. หน้า 116 – 119
- [35] Kasemsamran, S. “**Nondestructive Quantitative Analysis of biomedical Samples by Near
 Infrared Spectroscopy with Chemometrics and Development of novel Chemometric
 Methods for quantitative Analysis.**” Ph. D. Thesis. Kwansei Gakuin University, Japan.
 2005
- [36] Williams, P. “Near-infrared Technology – Getting the best out of light”. Edition 5.0. **A short
 course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user.**
 PDK Grain, Nanaimo, Canada. 2007

- [37] วรุณี ธนะแพสย์. “สถานการณ์และการใช้ประโยชน์ด้วยเทคนิค NIR ในประเทศไทย: แนวโน้มงานวิจัยในด้านเทคนิค NIR ในความต้องการของอุตสาหกรรมและมาตรฐานคุณภาพของสินค้า” โครงการสัมมนาวิชาการ การควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรและอุตสาหกรรมโดยวิธีไม่ทำลาย เพื่อการแข่งขันบนเวทีการค้าโลก. 2550. หน้า 21-31
- [38] Steuer, B., Schulz, H., Lager, E., “Classification and analysis of citrus oils by NIR spectroscopy” **Food chemistry**. vol. 72. 2001. pp. 113-117
- [39] N. T. Minh Tu, L. X. Thanh, A. Une, H. Ukeda, M. Sawamura. “Volatile constituents of Vietnamese pummelo, orange, tangerine and lime peel oils.” **Flavour and fragrance journal**. vol. 17, 2002. pp. 169-174
- [40] Njoroge, S, M., Koaze, H., Karanja, P, N., Sawamura, M. “Volatile constituents of Redblush grapefruit (*Citrus paradise*) and Pummelo (*Citrus grandis*) Peel essential oils from Kenya” **J. Agric. Food Chem**. Vol. 53 (25). 2005. pp. 9790-9794
- [41] Njoroge,S.M.; Ukeda, H., Kusunose, H.; Sawamura, M. “Volatile composition of Japanese yuzu and lemon oils.” **Flavour Fragrance. J**. Vol. 9, 1994. pp. 159-166.
- [42] ลัดดา วัฒนศิริธรรม กาญจนารัตน์ ทวีสุข และ เบญจมาศ รัตนชินกร. “ลิโมนินและนารินจินในส้มโอพันธุ์ต่างๆ.” **31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology**, 18-20 October, 2005
- [43] Abbott, J. A., Lu, R., Upchurch, B. L., & Stroshine, R.L. “Technologies for non-destructive quality evaluation of fruits and vegetables.” In Horticultural reviews—**Technologies for nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables**, Vol. 20, 1997.pp. 1–120. John Wiley & Sons, Inc.
- [44] Chauchard, F., Cogdill, R., Roussel, S., Roger, J. M., & Bellon-Maurel, V. “Application of LS-SVM to non-linear phenomena in NIR spectroscopy: development of a robust and portable sensor for acidity prediction in grapes.” **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Vol. 71, 2004. pp. 141-150
- [45] Sontisuk, T., Kwon Y. K., Anupun T., Warunee T., Yutaka N. “Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy.” **Postharvest Biology and Technology**. Vol. 43, 2007. pp. 202-206

- [46] ElMasry, G., Wang, N., ElSayed, A., & Ngadi, M. "Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry." **Journal of Food Engineering**, Vol. 81, 2007. pp. 98-107
- [47] Liu, F., He, Y., Wang, L., & Pan H. "Feasibility of the use of visible and near infrared spectroscopy to assess soluble solids content and pH of rice wines." **Journal of Food Engineering**, 83(3), 2007. pp. 430-435
- [48] Osborne, B.G., Fearn, T., Hindle, P. H. **Practical NIR spectroscopy with Application in food and Beverage analysis**. Longman Scientific & Technical, Harlow, New York, USA. 1993
- [49] Williams, P. and Norris, K., **Near-infrared Technology in Agricultural and Food Industries**. Academic Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA, 1987
- [50] Clark, C.J., V. A. McGlone, C. Requejo, A. White, A. B. Woolf. "Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy." **Postharvest Biology and Technology**. Vol. 29, 2003. pp. 300-307
- [51] Wilson, C. W., & Shaw, P. E. "Glass capillary gas chromatography for quantitative Determination of volatile constituents in cold-pressed grapefruit oil" **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Vol. 19, 1971. pp. 919-922
- [52] Sawamura, M., Tsuji, T., Kuwahara, S. "Changes in the volatile constituents of pummel (*Citrus grandis Osbeck* forma Tosa-buntan) during storage." **Agricultural and Biological Chemistry**. Vol. 53(1), 1989. pp. 243-246

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แผนการดำเนินงานวิจัย

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | เดือน | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันเปลือกส้มโอและชนิดน้ำมันที่สำคัญในเปลือกส้มโอ และการนำ NIR Spectroscopy มาใช้วิเคราะห์น้ำมันในเปลือกส้มของนักวิจัยอื่น | * | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. วางแผนการทดลองและเตรียมวัสดุอุปกรณ์ | * | * | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. การฝึกทดลองเบื้องต้น | | | * | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. ทำการทดลองเพื่อเก็บ Spectrum ของส้มโอ ระยะการเก็บเกี่ยวต่างๆและวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณน้ำมันในเปลือกส้มโอ | | | | * | * | | | | | | | | | | | | | |
| 5. เก็บ Spectrum ของส้มโอที่เก็บรักษาเพื่อรอการส่งออก และวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณน้ำมันในเปลือกส้มโอด้วย GC-MS | | | | | | * | * | * | * | | | | | | | | | |
| 6. วิเคราะห์ผลเพื่อสร้างแบบจำลองระหว่าง Optical data จาก Spectrum กับค่าคุณภาพและปริมาณน้ำมันในเปลือกส้มโอ | | | | | | | | | | * | | | | | | | | |
| 7. วิเคราะห์ความแม่นยำของโมเดล | | | | | | | | | | | * | * | * | | | | | |
| 8. วิเคราะห์ผลการทดสอบ | | | | | | | | | | | | | | * | * | | | |
| 9. สรุปผลและเขียนรายงาน | | | | | | | | | | | | | | | | * | * | * |

ภาคผนวก ข

โครงสร้างขององค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่สำคัญ

1. limonene

สูตรโมเลกุล $C_{10}H_{16}$

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ : ของเหลว

สี : ไม่มีสีถึงสีเหลือง

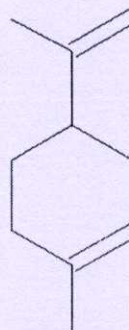
กลิ่น : คล้ายมะนาว

นน.โมเลกุล : 136.24

จุดเดือด($^{\circ}C$): 175-178จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง($^{\circ}C$): -89

ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1): 0.868

ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1) : 4.3

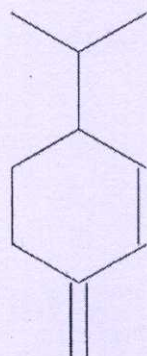
ความดันไอ (มม.ปรอท) : 2 ที่ 20 ($^{\circ}C$.)ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.): ไม่ละลาย ที่ 20 $^{\circ}C$.

2. beta-phellandrene

formula : $C_{10}H_{16}$ molar refractivity : $45.70 \pm 0.4 \text{ cm}^3$ parachor : $369.9 \pm 6.0 \text{ cm}^3$ index of refraction : 1.466 ± 0.03 surface tension : $25.3 \pm 5.0 \text{ dyne/cm}$ density : $0.82 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ polarizability : $18.11 \pm 0.5 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3$

xlogp : 4.40

molecular weight : 136.2340400



3. nootkatone

formula : C₁₅ H₂₂ O

molar refractivity : 66.71 ± 0.4 cm³

parachor : 538.5 ± 6.0 cm³

index of refraction : 1.503 ± 0.03

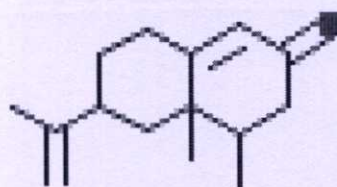
surface tension : 32.5 ± 5.0 dyne/cm

density : 0.96 ± 0.1 g/cm³

polarizability : 26.44 ± 0.5 10⁻²⁴cm³

xlogp : 3.70

molecular weight : 218.3345800



ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยด้วย GC-MS

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 190 วันหลังดอกบาน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.64 | 1.50 | 1.63 | 1.54 | 1.29 | 1.78 | 1.16 | 1.42 | 1.15 | 1.59 | 1.25 | 1.49 | 1.14 | 1.26 | 1.52 | 1.19 | 1.29 | 1.76 | 1.26 | 1.51 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 1.87 | 1.87 | 1.97 | 1.95 | 1.72 | 2.22 | 1.51 | 1.57 | 1.26 | 1.77 | 1.66 | 1.85 | 1.54 | 1.44 | 1.87 | 1.47 | 1.53 | 2.22 | 1.44 | 1.56 |
| 3.48 | Sabinene | 0.90 | 0.90 | 0.92 | 0.87 | 0.74 | 0.99 | 0.66 | 0.76 | 0.61 | 0.86 | 0.73 | 0.86 | 0.66 | 0.68 | 0.86 | 0.67 | 0.71 | 1.00 | 0.67 | 0.78 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 4.50 | 4.40 | 4.17 | 3.79 | 3.15 | 4.40 | 2.77 | 3.68 | 2.90 | 3.78 | 3.14 | 3.71 | 2.77 | 3.24 | 3.81 | 2.82 | 3.12 | 3.99 | 3.19 | 3.68 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.22 | 1.26 | 1.54 | 1.34 | 1.09 | 1.36 | 1.00 | 0.99 | 1.01 | 1.38 | 1.09 | 1.42 | 1.04 | 1.00 | 1.27 | 1.06 | 1.12 | 1.62 | 0.99 | 1.32 |
| 4.44 | Limonene | 80.70 | 81.72 | 79.82 | 81.71 | 84.81 | 80.20 | 85.88 | 84.24 | 86.20 | 81.60 | 84.24 | 81.29 | 85.81 | 85.18 | 85.18 | 85.68 | 84.68 | 80.07 | 85.42 | 82.68 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 5.51 | 4.82 | 6.08 | 5.44 | 4.53 | 4.50 | 4.68 | 4.21 | 4.52 | 5.78 | 4.99 | 5.99 | 4.66 | 4.52 | 5.03 | 4.77 | 5.03 | 5.90 | 4.45 | 5.58 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.23 | 0.26 | 0.29 | 0.26 | 0.25 | 0.32 | 0.24 | 0.25 | 0.21 | 0.27 | 0.23 | 0.19 | 0.20 | 0.17 | 0.23 | 0.18 | 0.22 | 0.29 | 0.21 | 0.25 |
| 5.28 | Benzene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | - | 0.02 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 7.93 | delta-Elementene | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 8.85 | Linalool | 0.20 | 0.23 | 0.25 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.22 | 0.25 | 0.20 | 0.25 | 0.27 | 0.27 | 0.25 | 0.30 | 0.28 | 0.20 | 0.23 | 0.25 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 190 วันหลังดอกบาน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 9.45 | beta-Elementene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.13 | 0.16 | 0.18 | 0.16 | 0.11 | 0.14 | 0.09 | 0.15 | 0.10 | 0.15 | 0.14 | 0.15 | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 0.09 | 0.10 | 0.15 | 0.12 | 0.12 |
| 10.55 | Neral | 0.30 | 0.23 | 0.26 | 0.24 | 0.17 | 0.26 | 0.16 | 0.23 | 0.17 | 0.25 | 0.19 | 0.21 | 0.16 | 0.20 | 0.25 | 0.17 | 0.18 | 0.25 | 0.20 | 0.24 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.33 | 0.34 | 0.30 | 0.27 | 0.23 | 0.29 | 0.19 | 0.24 | 0.19 | 0.26 | 0.24 | 0.31 | 0.21 | 0.22 | 0.28 | 0.21 | 0.22 | 0.32 | 0.20 | 0.25 |
| 10.83 | Diacetate | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| 10.92 | Germacrene | 1.24 | 1.18 | 1.42 | 1.22 | 0.94 | 1.20 | 0.87 | 1.19 | 0.83 | 1.08 | 1.03 | 1.26 | 0.83 | 0.94 | 1.09 | 0.83 | 0.84 | 1.19 | 0.84 | 0.90 |
| 11.13 | Geranial | 0.45 | 0.48 | 0.40 | 0.36 | 0.27 | 0.40 | 0.25 | 0.35 | 0.26 | 0.39 | 0.30 | 0.33 | 0.25 | 0.30 | 0.37 | 0.26 | 0.27 | 0.37 | 0.30 | 0.35 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.11 | 0.11 | 0.13 | 0.11 | 0.08 | 0.11 | 0.08 | 0.10 | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.11 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.08 | 0.08 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.06 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.12 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.10 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 11.87 | Nerol | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.07 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 200 วันหลังดอกบาน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.71 | 1.71 | 1.38 | 1.53 | 1.74 | 1.60 | 1.42 | 1.57 | 1.74 | 1.72 | 1.47 | 1.43 | 1.64 | 1.59 | 1.73 | 1.68 | 1.31 | 1.66 | 1.06 | 1.55 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 1.72 | 1.89 | 1.36 | 1.18 | 2.66 | 2.37 | 1.26 | 1.64 | 2.64 | 3.80 | 2.42 | 1.58 | 1.97 | 1.75 | 2.79 | 2.03 | 1.99 | 3.20 | 1.31 | 1.42 |
| 3.48 | Sabinene | 0.92 | 0.95 | 0.71 | 0.72 | 1.08 | 0.99 | 0.71 | 0.83 | 1.08 | 1.30 | 0.93 | 0.78 | 0.94 | 0.83 | 1.11 | 0.98 | 0.79 | 1.17 | 0.67 | 0.82 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 3.88 | 3.80 | 3.89 | 4.00 | 3.88 | 3.86 | 3.89 | 3.98 | 3.79 | 3.71 | 3.68 | 3.56 | 3.67 | 4.01 | 3.79 | 3.74 | - | 3.93 | 3.82 | 3.93 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.81 | 1.90 | 0.94 | 1.14 | 1.51 | 1.38 | 1.09 | 1.29 | 1.75 | 1.47 | 1.14 | 1.22 | 1.67 | 1.13 | 1.56 | 1.76 | 1.05 | 1.31 | 0.96 | 1.42 |
| 4.44 | Limonene | 79.63 | 79.46 | 84.40 | 83.76 | 79.71 | 80.87 | 83.43 | 81.57 | 79.5 | 79.03 | 82.15 | 83.19 | 80.25 | 82.56 | 79.69 | 79.41 | 84.27 | 80.10 | 83.16 | 81.23 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 6.28 | 6.43 | 3.66 | 4.29 | 5.55 | 5.07 | 4.43 | 4.80 | 6.14 | 5.58 | 4.85 | 5.03 | 6.37 | 4.70 | 5.94 | 6.67 | 4.95 | 5.04 | 4.78 | 5.87 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.29 | 0.22 | 0.23 | 0.22 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.29 | 0.23 | 0.21 | 0.26 | 0.23 | 0.26 | 0.19 | 0.17 | 0.29 | 0.27 | 0.21 |
| 5.28 | Benzene | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 7.93 | delta-Elemene | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.06 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 8.27 | Decanal | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 200 วันหลังดอกบาน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 8.85 | Linalool | 0.30 | 0.29 | 0.28 | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.30 | 0.32 | 0.29 | 0.30 | 0.30 | 0.27 | 0.28 | 0.29 | 0.28 | 0.30 | - | 0.30 | 0.34 | 0.31 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.20 | 0.17 | 0.18 | 0.17 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.25 | 0.15 | 0.16 | 0.19 | 0.18 | 0.15 | 0.17 | 0.15 | 0.17 | 0.12 | 0.17 | 0.22 | 0.22 |
| 10.55 | Neral | 0.23 | 0.24 | 0.27 | 0.26 | 0.27 | 0.28 | 0.25 | 0.31 | 0.23 | 0.27 | 0.26 | 0.23 | 0.23 | 0.25 | 0.25 | 0.24 | 0.19 | 0.27 | 0.28 | 0.25 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.34 | 0.34 | 0.28 | 0.26 | 0.32 | 0.31 | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.34 | 0.29 | 0.24 | 0.32 | 0.27 | 0.32 | 0.33 | 0.23 | 0.34 | 0.34 | 0.31 |
| 10.83 | Diacetate | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 |
| 10.92 | Germacrene | 1.61 | 1.51 | 1.36 | 1.27 | 1.49 | 1.48 | 1.45 | 1.65 | 1.10 | 0.99 | 1.07 | 1.15 | 1.24 | 1.22 | 1.14 | 1.41 | 0.91 | 1.16 | 1.59 | 1.38 |
| 11.13 | Geranial | 0.37 | 0.39 | 0.42 | 0.38 | 0.42 | 0.42 | 0.40 | 0.49 | 0.36 | 0.41 | 0.41 | 0.37 | 0.37 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.29 | 0.42 | 0.46 | 0.39 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.14 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.15 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.12 | 0.08 | 0.11 | 0.14 | 0.12 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.08 | 0.14 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.11 | 0.07 | 0.10 | 0.12 | 0.12 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 11.87 | Nerol | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.05 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.06 | 0.08 | 0.06 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 210 วันหลังดอกบาน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.97 | 1.66 | 1.83 | 1.91 | 1.79 | 1.81 | 1.91 | 1.94 | 1.84 | 1.84 | 1.80 | 1.88 | 1.73 | 1.88 | 1.91 | 1.92 | 1.81 | 2.02 | 2.06 | 1.56 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 2.70 | 2.37 | 2.38 | 2.91 | 2.43 | 2.43 | 2.97 | 3.48 | 2.79 | 1.82 | 2.33 | 2.90 | 2.54 | 2.99 | 2.37 | 2.37 | 1.89 | 2.58 | 2.67 | 1.97 |
| 3.48 | Sabinene | 1.22 | 1.04 | 1.09 | 1.21 | 1.08 | 1.13 | 1.23 | 1.34 | 1.18 | 0.99 | 1.02 | 1.22 | 1.08 | 1.21 | 1.11 | 1.11 | 0.98 | 1.22 | 1.27 | 0.90 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 4.43 | 4.06 | 4.20 | 4.34 | 4.23 | 4.25 | 4.30 | 4.07 | 4.25 | 4.23 | 4.25 | 4.00 | 4.30 | 4.15 | 4.23 | 4.23 | 3.97 | 4.08 | 3.98 | 3.23 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.94 | 1.71 | 1.93 | 1.74 | 1.67 | 2.05 | 1.84 | 1.75 | 1.73 | 1.90 | 1.66 | 2.01 | 1.40 | 1.72 | 1.73 | 1.74 | 1.69 | 2.19 | 2.41 | 1.40 |
| 4.44 | Limonene | 77.77 | 78.85 | 78.21 | 77.46 | 79.15 | 77.40 | 77.55 | 77.17 | 77.75 | 78.44 | 79.76 | 77.75 | 79.64 | 78.12 | 78.45 | 78.46 | 79.66 | 77.10 | 76.22 | 81.73 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 6.02 | 6.12 | 6.41 | 6.48 | 5.78 | 6.54 | 6.08 | 6.39 | 5.92 | 7.02 | 5.27 | 6.49 | 5.18 | 6.08 | 6.18 | 6.18 | 6.65 | 6.99 | 7.38 | 5.21 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.33 | 0.30 | 0.38 | 0.35 | 0.29 | 0.40 | 0.35 | 0.33 | 0.29 | 0.33 | 0.28 | 0.35 | 0.35 | 0.33 | 0.28 | 0.28 | 0.24 | 0.34 | 0.35 | 0.31 |
| 5.28 | Benzene | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.01 |
| 7.93 | delta-Elementene | 0.13 | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.11 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 210 วันหลังดอกบาน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 8.85 | Linalool | 0.32 | 0.32 | 0.30 | 0.31 | 0.32 | 0.33 | 0.34 | 0.33 | 0.34 | 0.32 | 0.32 | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.33 | 0.28 | 0.31 | 0.32 | 0.28 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.21 | 0.18 | 0.16 | 0.10 | 0.16 | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.23 | 0.20 | 0.17 | 0.15 | 0.18 | 0.15 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.16 | 0.22 | 0.16 |
| 10.55 | Neral | 0.25 | 0.28 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.28 | 0.28 | 0.29 | 0.29 | 0.26 | 0.27 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.28 | 0.21 | 0.28 | 0.26 | 0.25 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.38 | 0.38 | 0.32 | 0.36 | 0.34 | 0.35 | 0.37 | 0.38 | 0.39 | 0.34 | 0.35 | 0.36 | 0.32 | 0.36 | 0.35 | 0.36 | 0.31 | 0.38 | 0.39 | 0.32 |
| 10.83 | Diacetate | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 10.92 | Germacrene | 1.29 | 1.41 | 1.38 | 1.32 | 1.31 | 1.55 | 1.37 | 1.10 | 1.64 | 1.21 | 1.33 | 1.21 | 1.43 | 1.26 | 1.34 | 1.35 | 1.07 | 1.21 | 1.28 | 1.27 |
| 11.13 | Geranial | 0.40 | 0.44 | 0.39 | 0.40 | 0.40 | 0.43 | 0.43 | 0.44 | 0.45 | 0.40 | 0.41 | 0.37 | 0.40 | 0.40 | 0.42 | 0.43 | 0.33 | 0.42 | 0.41 | 0.39 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.12 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.15 | 0.11 | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.11 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.10 | 0.13 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.13 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.12 | 0.09 | 0.10 | 0.13 | 0.08 | 0.11 | 0.08 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 11.87 | Nerol | 0.04 | 0.08 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.06 | | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.05 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 220 วันหลังคอกบาน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.64 | 1.50 | 1.63 | 1.54 | 1.29 | 1.78 | 1.16 | 1.42 | 1.15 | 1.59 | 1.25 | 1.49 | 1.14 | 1.26 | 1.52 | 1.19 | 1.29 | 1.76 | 1.26 | 1.51 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 1.87 | 1.87 | 1.97 | 1.95 | 1.72 | 2.22 | 1.51 | 1.57 | 1.26 | 1.77 | 1.66 | 1.85 | 1.54 | 1.44 | 1.87 | 1.47 | 1.53 | 2.22 | 1.44 | 1.56 |
| 3.48 | Sabinene | 0.90 | 0.90 | 0.92 | 0.87 | 0.74 | 0.99 | 0.66 | 0.76 | 0.61 | 0.86 | 0.73 | 0.86 | 0.66 | 0.68 | 0.86 | 0.67 | 0.71 | 1.00 | 0.67 | 0.78 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 4.50 | 4.40 | 4.17 | 3.79 | 3.15 | 4.40 | 2.77 | 3.68 | 2.90 | 3.78 | 3.14 | 3.71 | 2.77 | 3.24 | 3.81 | 2.82 | 3.12 | 3.99 | 3.19 | 3.68 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.22 | 1.26 | 1.54 | 1.34 | 1.09 | 1.36 | 1.00 | 0.99 | 1.01 | 1.38 | 1.09 | 1.42 | 1.04 | 1.00 | 1.27 | 1.06 | 1.12 | 1.62 | 0.99 | 1.32 |
| 4.44 | Limonene | 80.70 | 81.72 | 79.82 | 81.71 | 84.81 | 80.20 | 85.88 | 84.24 | 86.20 | 81.60 | 84.24 | 81.29 | 85.81 | 85.18 | 85.18 | 85.68 | 84.68 | 80.07 | 85.42 | 82.68 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 5.51 | 4.82 | 6.08 | 5.44 | 4.53 | 4.50 | 4.68 | 4.21 | 4.52 | 5.78 | 4.99 | 5.99 | 4.66 | 4.52 | 5.03 | 4.77 | 5.03 | 5.90 | 4.45 | 5.58 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.23 | 0.26 | 0.29 | 0.26 | 0.25 | 0.32 | 0.24 | 0.25 | 0.21 | 0.27 | 0.23 | 0.19 | 0.20 | 0.17 | 0.23 | 0.18 | 0.22 | 0.29 | 0.21 | 0.25 |
| 5.28 | Benzene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 7.93 | delta-Elementene | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 220 วันหลังดอกบาน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 8.85 | Linalool | 0.31 | 0.31 | 0.29 | 0.26 | 0.21 | 0.29 | 0.17 | 0.23 | 0.19 | 0.27 | 0.23 | 0.27 | 0.19 | 0.22 | 0.27 | 0.20 | 0.21 | 0.28 | 0.22 | 0.25 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.13 | 0.16 | 0.18 | 0.16 | 0.11 | 0.14 | 0.09 | 0.15 | 0.10 | 0.15 | 0.14 | 0.15 | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 0.09 | 0.10 | 0.15 | 0.12 | 0.12 |
| 10.55 | Neral | 0.30 | 0.23 | 0.26 | 0.24 | 0.17 | 0.26 | 0.16 | 0.23 | 0.17 | 0.25 | 0.19 | 0.21 | 0.16 | 0.20 | 0.25 | 0.17 | 0.18 | 0.25 | 0.20 | 0.24 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.33 | 0.34 | 0.30 | 0.27 | 0.23 | 0.29 | 0.19 | 0.24 | 0.19 | 0.26 | 0.24 | 0.31 | 0.21 | 0.22 | 0.28 | 0.21 | 0.22 | 0.32 | 0.20 | 0.25 |
| 10.83 | Diacetate | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| 10.92 | Germacrene | 1.24 | 1.18 | 1.42 | 1.22 | 0.94 | 1.20 | 0.87 | 1.19 | 0.83 | 1.08 | 1.03 | 1.26 | 0.83 | 0.94 | 1.09 | 0.83 | 0.84 | 1.19 | 0.84 | 0.90 |
| 11.13 | Geranial | 0.45 | 0.48 | 0.40 | 0.36 | 0.27 | 0.40 | 0.25 | 0.35 | 0.26 | 0.39 | 0.30 | 0.33 | 0.25 | 0.30 | 0.37 | 0.26 | 0.27 | 0.37 | 0.30 | 0.35 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.11 | 0.11 | 0.13 | 0.11 | 0.08 | 0.11 | 0.08 | 0.10 | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.11 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.08 | 0.08 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.06 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.12 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.10 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 11.87 | Nerol | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.07 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 0 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2.61 | alpha-pinene | - | 1.50 | 1.61 | 1.38 | 1.73 | 1.78 | 1.73 | 1.76 | 1.64 | 1.86 | 1.76 | 1.65 | 1.77 | 2.00 | 1.82 |
| 2.97 | Camphene | - | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | - | 1.05 | 1.11 | 1.37 | 1.57 | 1.77 | 1.54 | 1.73 | 1.79 | 2.65 | 2.46 | 2.03 | 2.59 | 2.36 | 1.90 |
| 3.48 | Sabinene | - | 0.71 | 0.76 | 0.72 | 0.91 | 0.95 | 0.88 | 0.92 | 0.86 | 1.13 | 1.09 | 0.95 | 1.10 | 1.13 | 0.99 |
| 3.89 | beta-Myrcene | - | 3.75 | 3.94 | 3.05 | 3.71 | 4.02 | 4.08 | 4.05 | 4.00 | 4.00 | 3.64 | 3.83 | 3.81 | 4.41 | 4.27 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | - | 1.52 | 1.67 | 1.55 | 2.00 | 1.92 | 1.71 | 1.75 | 1.32 | 1.90 | 2.14 | 1.60 | 1.72 | 2.09 | 1.74 |
| 4.44 | Limonene | - | 82.16 | 81.16 | 83.23 | 79.51 | 79.05 | 80.07 | 79.96 | 81.82 | 78.38 | 77.88 | 79.92 | 79.26 | 77.59 | 79.41 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | - | 5.70 | 5.92 | 5.91 | 7.02 | 6.53 | 5.98 | 6.08 | 5.09 | 6.33 | 7.36 | 5.97 | 6.17 | 6.49 | 5.77 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | - | 0.26 | 0.25 | 0.24 | 0.29 | 0.29 | 0.27 | 0.30 | 0.26 | 0.34 | 0.36 | 0.34 | 0.42 | 0.37 | 0.34 |
| 5.28 | Benzene | - | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | - | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 |
| 5.50 | Pentanol | - | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 7.57 | Cyclobutene | - | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 7.93 | delta-Elemene | - | 0.09 | 0.10 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 8.01 | 6-Octenal | - | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | - | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.04 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 0 วัน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 8.85 | Linalool | - | 0.27 | 0.29 | 0.22 | 0.28 | 0.32 | 0.31 | 0.29 | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.31 | 0.28 | 0.33 | 0.34 |
| 9.45 | beta-Elementene | - | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | - | 0.19 | 0.19 | 0.12 | 0.16 | 0.22 | 0.23 | 0.19 | 0.20 | 0.17 | 0.18 | 0.22 | 0.16 | 0.18 | 0.19 |
| 10.55 | Neral | - | 0.22 | 0.25 | 0.18 | 0.22 | 0.35 | 0.30 | 0.27 | 0.25 | 0.26 | 0.21 | 0.27 | 0.27 | 0.30 | 0.29 |
| 10.74 | alpha-terpineol | - | 0.27 | 0.29 | 0.23 | 0.31 | 0.30 | 0.31 | 0.28 | 0.27 | 0.31 | 0.33 | 0.30 | 0.30 | 0.35 | 0.34 |
| 10.83 | Diacetate | - | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0.06 |
| 10.92 | Germacrene | - | 1.44 | 1.54 | 1.06 | 1.34 | 1.32 | 1.43 | 1.33 | 1.21 | 1.33 | 1.33 | 1.53 | 1.09 | 1.21 | 1.37 |
| 11.13 | Geranial | - | 0.35 | 0.38 | 0.28 | 0.34 | 0.51 | 0.46 | 0.41 | 0.38 | 0.40 | 0.33 | 0.41 | 0.41 | 0.45 | 0.45 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | - | 0.12 | 0.13 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.10 | 0.11 | 0.13 |
| 11.35 | Geranyl acetate | - | 0.10 | 0.10 | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.10 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.11 |
| 11.79 | Methylbenzoate | - | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| 11.87 | Nerol | - | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.04 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | - | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | - | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | - | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 18.88 | nootkatone | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 15 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.49 | 1.10 | 1.43 | 1.47 | 1.50 | 1.43 | 1.45 | 1.56 | 1.46 | 1.60 | 1.80 | 1.72 | 1.71 | 1.69 | 1.36 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 1.85 | 1.35 | 1.54 | 1.77 | 2.09 | 1.70 | 1.52 | 2.34 | 1.65 | 2.24 | 1.90 | 1.74 | 1.84 | 1.38 | 1.55 |
| 3.48 | Sabinene | 0.87 | 0.62 | 0.79 | 0.87 | 0.92 | 0.84 | 0.81 | 1.02 | 0.83 | 1.00 | 0.99 | 0.94 | 0.97 | 0.87 | 0.76 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 3.81 | 2.90 | 3.61 | 3.56 | 3.57 | 3.57 | 3.64 | 3.83 | 3.71 | 3.82 | 4.29 | 3.89 | 3.90 | 4.24 | 3.55 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.56 | 1.02 | 1.50 | 1.69 | 1.68 | 1.59 | 1.56 | 1.69 | 1.49 | 1.69 | 1.86 | 1.91 | 1.84 | 1.74 | 1.20 |
| 4.44 | Limonene | 80.29 | 85.88 | 81.13 | 80.42 | 79.95 | 80.78 | 80.82 | 78.17 | 80.65 | 79.65 | 78.80 | 78.32 | 78.59 | 79.56 | 82.58 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 5.98 | 4.59 | 6.11 | 6.40 | 6.72 | 6.24 | 6.21 | 6.72 | 6.19 | 6.15 | 6.07 | 7.07 | 7.10 | 6.24 | 5.48 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.31 | 0.19 | 0.25 | 0.30 | 0.33 | 0.27 | 0.28 | 0.36 | 0.28 | 0.28 | 0.30 | 0.28 | 0.29 | 0.29 | 0.26 |
| 5.28 | Benzene | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| 7.93 | delta-Elementene | 0.11 | 0.07 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.14 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.09 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 15 วัน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 8.85 | Linalool | 0.30 | 0.21 | 0.28 | 0.28 | 0.26 | 0.28 | 0.28 | 0.33 | 0.30 | 0.30 | 0.32 | 0.30 | 0.31 | 0.33 | 0.26 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.20 | 0.12 | 0.22 | 0.16 | 0.14 | 0.17 | 0.21 | 0.21 | 0.19 | 0.17 | 0.19 | 0.23 | 0.19 | 0.25 | 0.17 |
| 10.55 | Neral | 0.27 | 0.16 | 0.23 | 0.22 | 0.19 | 0.26 | 0.24 | 0.29 | 0.27 | 0.24 | 0.26 | 0.25 | 0.29 | 0.26 | 0.23 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.32 | 0.22 | 0.30 | 0.32 | 0.30 | 0.33 | 0.29 | 0.37 | 0.32 | 0.34 | 0.36 | 0.35 | 0.38 | 0.30 | 0.25 |
| 10.83 | Diacetate | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.05 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |
| 10.92 | Germacrene | 1.55 | 0.90 | 1.48 | 1.47 | 1.31 | 1.34 | 1.53 | 1.72 | 1.46 | 1.34 | 1.59 | 1.73 | 1.40 | 1.60 | 1.33 |
| 11.13 | Geranial | 0.43 | 0.27 | 0.39 | 0.36 | 0.32 | 0.42 | 0.40 | 0.47 | 0.44 | 0.39 | 0.42 | 0.41 | 0.46 | 0.45 | 0.38 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.14 | 0.08 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.13 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.12 | 0.14 | 0.11 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.12 | 0.08 | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.11 | 0.14 | 0.16 | 0.14 | 0.10 | 0.13 | 0.12 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| 11.87 | Nerol | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.05 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 18.88 | nootkatone | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 30 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.47 | 1.42 | 1.59 | 1.45 | 1.52 | 1.58 | 1.28 | 1.76 | - | 1.76 | 1.52 | 1.24 | 1.53 | 1.29 | - |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | - | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | - |
| 3.37 | beta-pinene | 1.51 | 1.36 | 1.51 | 1.45 | 1.72 | 1.69 | 1.39 | 2.60 | - | 2.60 | 2.39 | 1.75 | 1.81 | 1.61 | - |
| 3.48 | Sabinene | 0.74 | 0.72 | 0.81 | 0.75 | 0.83 | 0.81 | 0.68 | 1.08 | - | 1.08 | 0.94 | 0.71 | 0.84 | 0.72 | - |
| 3.89 | beta-Myrcene | 3.74 | 3.35 | 3.76 | 3.60 | 3.83 | 4.03 | 3.04 | 3.78 | - | 3.78 | 3.59 | 3.13 | 3.84 | 3.05 | - |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.25 | 1.32 | 1.28 | 1.12 | 1.08 | 0.93 | 0.95 | 1.44 | - | 1.44 | 1.08 | 0.75 | 1.02 | 0.80 | - |
| 4.44 | Limonene | 83.10 | 84.00 | 82.75 | 83.34 | 82.42 | 82.53 | 84.82 | 79.23 | - | 79.23 | 81.75 | 85.47 | 82.20 | 85.23 | - |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 5.06 | 5.33 | 5.41 | 5.24 | 5.23 | 5.05 | 5.08 | 6.68 | - | 6.68 | 5.57 | 4.42 | 5.38 | 4.77 | - |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.24 | 0.23 | 0.26 | 0.23 | 0.21 | 0.22 | 0.21 | 0.34 | - | 0.34 | 0.25 | 0.17 | 0.20 | 0.17 | - |
| 5.28 | Benzene | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | - | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | - |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | - | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | - |
| 5.50 | Pentanol | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | - | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | - | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | - |
| 7.93 | delta-Elementene | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | - | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | - |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | - | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | - |
| 8.27 | Decanal | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | - | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | - |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 30 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 8.85 | Linalool | 0.27 | 0.22 | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.21 | 0.27 | - | 0.27 | 0.25 | 0.20 | 0.27 | 0.21 | 0.27 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | - | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.17 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | - | 0.14 | 0.14 | 0.11 | 0.16 | 0.12 | 0.17 |
| 10.55 | Neral | 0.23 | 0.21 | 0.24 | 0.23 | 0.20 | 0.24 | 0.19 | 0.24 | - | 0.24 | 0.21 | 0.17 | 0.20 | 0.16 | 0.23 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.23 | 0.20 | 0.23 | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.20 | 0.30 | - | 0.30 | 0.24 | 0.18 | 0.23 | 0.19 | 0.23 |
| 10.83 | Diacetate | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | - | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |
| 10.92 | Germacrene | 1.07 | 0.74 | 0.85 | 1.05 | 1.21 | 1.23 | 0.94 | 1.07 | - | 1.07 | 1.04 | 0.83 | 1.18 | 0.83 | 1.07 |
| 11.13 | Geranial | 0.36 | 0.32 | 0.37 | 0.35 | 0.33 | 0.37 | 0.29 | 0.36 | - | 0.36 | 0.33 | 0.27 | 0.33 | 0.26 | 0.36 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.10 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.11 | - | 0.11 | 0.10 | 0.08 | 0.10 | 0.07 | 0.10 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.17 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | - | 0.09 | 0.13 | 0.13 | 0.18 | 0.10 | 0.08 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | - | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 11.87 | Nerol | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | - | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | - | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | - | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | - | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 18.88 | nootkatone | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.09 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | - | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.05 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 45 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.43 | 1.28 | 1.43 | 1.39 | 1.44 | 1.27 | 1.44 | 1.42 | 1.22 | 1.45 | 1.51 | 1.33 | 1.02 | 1.25 | 1.47 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 1.51 | 0.97 | 1.67 | 1.34 | 1.41 | 1.39 | 1.08 | 1.16 | 1.23 | 1.65 | 1.77 | 2.01 | 1.51 | 2.03 | 2.24 |
| 3.48 | Sabinene | 0.77 | 0.61 | 0.77 | 0.70 | 0.73 | 0.69 | 0.68 | 0.66 | 0.63 | 0.81 | 0.84 | 0.83 | 0.63 | 0.80 | 0.88 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 3.10 | 3.51 | 3.59 | 3.73 | 3.26 | 2.98 | 3.51 | 3.63 | 2.98 | 3.44 | 3.36 | 2.95 | 2.30 | 2.56 | 3.48 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.47 | 0.93 | 0.86 | 0.99 | 1.15 | 1.10 | 1.06 | 0.95 | 0.96 | 1.25 | 1.28 | 1.16 | 0.79 | 1.11 | 0.86 |
| 4.44 | Limonene | 82.65 | 85.39 | 84.04 | 83.66 | 83.81 | 84.45 | 84.50 | 85.13 | 85.97 | 81.71 | 82.23 | 83.39 | 87.82 | 84.92 | 83.88 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 5.89 | 3.99 | 4.85 | 4.53 | 5.17 | 5.03 | 4.49 | 4.06 | 4.49 | 5.72 | 5.75 | 5.48 | 3.90 | 5.11 | 4.40 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.22 | 0.23 | 0.18 | 0.25 | 0.20 | 0.21 | 0.24 | 0.23 | 0.20 | 0.30 | 0.25 | 0.22 | 0.18 | 0.22 | 0.31 |
| 5.28 | Benzene | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 5.50 | Pentanol | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 7.93 | delta-Elemene | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.05 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 8.27 | Decanal | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 45 วัน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 8.85 | Linalool | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.28 | 0.25 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.20 | 0.28 | 0.24 | 0.22 | 0.16 | 0.19 | 0.23 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.12 | 0.18 | 0.11 | 0.19 | 0.15 | 0.13 | 0.19 | 0.15 | 0.11 | 0.22 | 0.17 | 0.14 | 0.10 | 0.09 | 0.11 |
| 10.55 | Neral | 0.21 | 0.21 | 0.19 | 0.23 | 0.20 | 0.19 | 0.18 | 0.21 | 0.16 | 0.25 | 0.20 | 0.22 | 0.14 | 0.17 | 0.20 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.27 | 0.19 | 0.22 | 0.26 | 0.24 | 0.23 | 0.20 | 0.24 | 0.20 | 0.32 | 0.25 | 0.27 | 0.15 | 0.22 | 0.21 |
| 10.83 | Diacetate | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.05 |
| 10.92 | Germacrene | 1.15 | 1.23 | 0.95 | 1.28 | 1.09 | 1.18 | 1.20 | 1.02 | 0.88 | 1.42 | 1.22 | 0.88 | 0.64 | 0.64 | 0.89 |
| 11.13 | Geranial | 0.32 | 0.34 | 0.29 | 0.38 | 0.31 | 0.29 | 0.30 | 0.33 | 0.26 | 0.40 | 0.31 | 0.33 | 0.22 | 0.26 | 0.31 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.10 | 0.12 | 0.09 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.13 | 0.11 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.08 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.06 | 0.10 | 0.14 | 0.12 | 0.09 | 0.10 | 0.14 | 0.09 | 0.07 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.08 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 11.87 | Nerol | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.02 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.04 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 18.88 | nootkatone | 0.19 | 0.13 | 0.02 | 0.15 | 0.07 | 0.11 | 0.13 | 0.06 | 0.06 | 0.08 | 0.05 | 0.08 | 0.08 | 0.03 | 0.03 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 60 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.44 | 1.44 | 1.47 | 1.34 | 1.20 | 1.50 | 1.29 | 1.37 | 1.24 | 1.15 | 1.20 | 1.28 | 1.25 | 1.45 | 1.55 |
| 2.97 | Camphene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 1.00 | 1.00 | 1.73 | 2.04 | 1.23 | 1.72 | 1.46 | 1.17 | 1.11 | 1.29 | 0.88 | 1.35 | 1.61 | 1.31 | 2.52 |
| 3.48 | Sabinene | 0.66 | 0.66 | 0.81 | 0.82 | 0.63 | 0.83 | 0.71 | 0.66 | 0.60 | 0.62 | 0.57 | 0.68 | 0.73 | 0.69 | 0.96 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 3.60 | 3.60 | 3.51 | 2.85 | 2.90 | 3.43 | 3.07 | 3.35 | 3.18 | 2.74 | 3.07 | 3.00 | 2.90 | 3.78 | 3.65 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.26 | 1.26 | 1.45 | 1.37 | 1.14 | 1.57 | 1.25 | 1.13 | 0.89 | 0.95 | 1.02 | 1.08 | 1.33 | 0.86 | 1.13 |
| 4.44 | Limonene | 84.92 | 84.92 | 82.38 | 83.67 | 85.94 | 82.08 | 84.35 | 84.92 | 86.26 | 86.94 | 85.82 | 84.81 | 84.35 | 84.97 | 83.15 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 4.41 | 4.41 | 5.41 | 5.25 | 4.40 | 5.65 | 5.00 | 4.70 | 4.01 | 3.92 | 4.60 | 4.61 | 5.24 | 3.75 | 4.11 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.14 | 0.14 | 0.26 | 0.20 | 0.16 | 0.23 | 0.21 | 0.18 | 0.14 | 0.21 | 0.19 | 0.25 | 0.23 | 0.25 | 0.25 |
| 5.28 | Benzene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 7.93 | delta-Elemene | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 8.27 | Decanal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.04 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 60 วัน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 8.85 | Linalool | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 0.23 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.20 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.25 | 0.25 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.14 | 0.14 | 0.16 | 0.15 | 0.11 | 0.16 | 0.15 | 0.11 | 0.14 | 0.13 |
| 10.55 | Neral | 0.16 | 0.16 | 0.14 | 0.17 | 0.14 | 0.16 | 0.15 | 0.18 | 0.19 | 0.15 | 0.15 | 0.19 | 0.15 | 0.20 | 0.19 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.21 | 0.21 | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.20 | 0.18 | 0.17 | 0.20 | 0.17 | 0.17 | 0.21 | 0.21 | 0.20 | 0.24 |
| 10.83 | Diacetate | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.06 |
| 10.92 | Germacrene | 1.08 | 1.08 | 1.19 | 0.84 | 0.93 | 1.15 | 1.10 | 0.97 | 1.00 | 0.86 | 1.05 | 1.20 | 0.79 | 1.03 | 0.85 |
| 11.13 | Geranial | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.27 | 0.23 | 0.27 | 0.24 | 0.29 | 0.31 | 0.24 | 0.26 | 0.31 | 0.25 | 0.33 | 0.31 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.07 | 0.10 | 0.08 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.09 | 0.09 | 0.16 | 0.09 | 0.10 | 0.15 | 0.13 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.12 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 11.87 | Nerol | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.04 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.05 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 18.88 | nootkatone | 0.06 | 0.06 | 0.23 | 0.17 | 0.15 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.02 | 0.02 | 0.15 | 0.16 | 0.13 | 0.27 | 0.12 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 75 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.14 | 0.92 | 1.37 | 1.32 | 1.23 | 1.46 | 1.34 | 1.39 | 1.34 | 1.46 | 1.30 | 1.56 | 1.22 | 1.65 | 1.34 |
| 2.97 | Camphene | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.01 |
| 3.37 | beta-pinene | 0.98 | 0.73 | 1.04 | 1.20 | 1.02 | 2.02 | 1.47 | 1.18 | 1.47 | 1.07 | 1.18 | 2.38 | 1.83 | 3.95 | 1.11 |
| 3.48 | Sabinene | 0.57 | 0.51 | 0.66 | 0.68 | 0.58 | 0.87 | 0.70 | 0.68 | 0.70 | 0.71 | 0.66 | 0.96 | 0.76 | 1.28 | 0.66 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 2.65 | 2.43 | 3.25 | 3.69 | 3.35 | 3.60 | 3.51 | 3.69 | 3.51 | 3.36 | 2.91 | 3.71 | 2.50 | 3.51 | 3.04 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.15 | 1.07 | 1.38 | 1.12 | 0.90 | 1.26 | 0.98 | 0.96 | 0.98 | 1.41 | 1.21 | 1.11 | 1.22 | 1.17 | 1.31 |
| 4.44 | Limonene | 86.32 | 87.38 | 83.37 | 83.59 | 85.75 | 81.79 | 84.38 | 84.63 | 84.38 | 82.48 | 84.36 | 80.84 | 84.58 | 80.45 | 84.54 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 4.92 | 3.67 | 5.55 | 4.93 | 4.01 | 5.03 | 4.28 | 4.32 | 4.28 | 6.25 | 5.50 | 5.93 | 5.43 | 4.85 | 5.34 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.19 | 0.16 | 0.21 | 0.20 | 0.15 | 0.23 | 0.17 | 0.22 | 0.17 | 0.25 | 0.15 | 0.26 | 0.18 | 0.33 | 0.14 |
| 5.28 | Benzene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 5.50 | Pentanol | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.01 |
| 7.93 | delta-Elemene | 0.03 | 0.07 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.04 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 8.27 | Decanal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 75 วัน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 8.85 | Linalool | 0.19 | 0.22 | 0.26 | 0.28 | 0.24 | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.23 | 0.20 | 0.26 | 0.19 | 0.26 | 0.21 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.10 | 0.15 | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.18 | 0.13 | 0.11 | 0.12 |
| 10.55 | Neral | 0.15 | 0.14 | 0.23 | 0.17 | 0.18 | 0.22 | 0.18 | 0.22 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.26 | 0.20 | 0.21 | 0.17 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.19 | 0.21 | 0.25 | 0.23 | 0.19 | 0.23 | 0.26 | 0.18 | 0.26 | 0.21 | 0.17 | 0.27 | 0.22 | 0.23 | 0.20 |
| 10.83 | Diacetate | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.04 |
| 10.92 | Germacrene | 0.71 | 1.33 | 1.15 | 1.14 | 1.04 | 1.29 | 1.24 | 1.04 | 1.24 | 1.24 | 1.01 | 1.01 | 0.68 | 0.82 | 0.88 |
| 11.13 | Geranial | 0.24 | 0.25 | 0.36 | 0.30 | 0.29 | 0.35 | 0.29 | 0.36 | 0.29 | 0.31 | 0.29 | 0.40 | 0.30 | 0.34 | 0.26 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.06 | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.11 | 0.09 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.06 | 0.08 | 0.07 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.09 | 0.18 | 0.11 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.17 | 0.13 | 0.17 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.07 | 0.12 | 0.09 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.02 |
| 11.87 | Nerol | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 18.88 | nootkatone | 0.08 | 0.17 | 0.20 | 0.29 | 0.33 | 0.54 | 0.12 | 0.15 | 0.12 | 0.05 | 0.24 | 0.29 | 0.18 | 0.23 | 0.27 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 90 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 1.2 | 2 | 2.2 | 3 | 3.2 | 4 | 4.2 | 5 | 5.2 | 6 | 6.2 | 7 | 7.2 | 8 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.69 | 1.70 | 1.56 | 1.56 | 2.03 | 2.04 | 1.83 | 1.83 | 1.61 | 1.61 | 1.62 | 1.62 | 1.81 | 1.81 | 1.61 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| 3.37 | beta-pinene | 1.80 | 1.80 | 1.28 | 1.28 | 3.87 | 3.87 | 1.60 | 1.61 | 2.27 | 2.27 | 2.51 | 2.50 | 2.20 | 2.21 | 3.05 |
| 3.48 | Sabinene | 0.91 | 0.91 | 0.73 | 0.73 | 1.43 | 1.43 | 0.92 | 0.93 | 0.99 | 0.99 | 1.01 | 1.01 | 1.03 | 1.03 | 1.11 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 3.95 | 3.95 | 4.04 | 4.05 | 4.01 | 4.03 | 4.30 | 4.22 | 3.51 | 3.60 | 3.69 | 3.77 | 3.87 | 3.78 | 3.72 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.88 | 1.88 | 1.17 | 1.19 | 2.06 | 2.07 | 2.01 | 2.04 | 1.82 | 1.81 | 1.79 | 1.73 | 1.95 | 1.93 | 1.31 |
| 4.44 | Limonene | 79.71 | 79.68 | 82.91 | 82.89 | 76.02 | 76.16 | 78.89 | 78.79 | 79.26 | 79.24 | 79.07 | 79.08 | 78.44 | 78.67 | 80.43 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 6.65 | 6.66 | 4.98 | 5.00 | 7.25 | 7.07 | 6.83 | 6.93 | 6.99 | 6.93 | 6.54 | 6.54 | 7.38 | 7.28 | 5.04 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.41 | 0.42 | 0.25 | 0.26 | 0.38 | 0.39 | 0.33 | 0.33 | 0.19 | 0.18 | 0.29 |
| 5.28 | Benzene | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 7.93 | delta-Elemene | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.06 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 90 วัน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 1.2 | 2 | 2.2 | 3 | 3.2 | 4 | 4.2 | 5 | 5.2 | 6 | 6.2 | 7 | 7.2 | 8 |
| 8.85 | Linalool | 0.23 | 0.23 | 0.27 | 0.27 | 0.28 | 0.28 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.28 | 0.28 | 0.24 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.13 | 0.13 | 0.17 | 0.16 | 0.11 | 0.11 | 0.14 | 0.14 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.14 | 0.13 |
| 10.55 | Neral | 0.12 | 0.12 | 0.22 | 0.21 | 0.23 | 0.23 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.17 | 0.17 | 0.23 | 0.23 | 0.20 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.21 | 0.26 | 0.26 | 0.19 | 0.19 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.32 | 0.32 | 0.24 |
| 10.83 | Diacetate | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 |
| 10.92 | Germacrene | 1.20 | 1.20 | 1.09 | 1.09 | 0.95 | 0.95 | 1.13 | 1.13 | 1.08 | 1.08 | 1.27 | 1.27 | 1.02 | 1.01 | 1.12 |
| 11.13 | Geranial | 0.24 | 0.24 | 0.36 | 0.36 | 0.37 | 0.37 | 0.32 | 0.33 | 0.34 | 0.34 | 0.30 | 0.30 | 0.36 | 0.36 | 0.32 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.09 | 0.09 | 0.10 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.22 | 0.22 | 0.13 | 0.13 | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.15 | 0.11 | 0.11 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.13 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 11.87 | Nerol | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.05 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 18.88 | nootkatone | 0.38 | 0.37 | 0.21 | 0.21 | 0.15 | 0.15 | 0.54 | 0.55 | 0.29 | 0.30 | 0.39 | 0.39 | 0.19 | 0.19 | 0.56 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 90 วัน ซ้ำสอง

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| | | 8.2 | 9 | 9.2 | 10 | 10.2 | 11 | 11.2 | 12 | 12.2 | 13 | 13.2 | 14 | 14.2 | 15 | 15.2 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.61 | 2.00 | 2.00 | 1.47 | 1.47 | 1.63 | 1.63 | 1.79 | 1.79 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | - | 1.55 | 1.55 |
| 2.97 | Camphene | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | - | 0.02 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 3.05 | 3.45 | 3.46 | 1.41 | 1.41 | 2.64 | 2.64 | 2.81 | 2.81 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | - | 1.51 | 1.51 |
| 3.48 | Sabinene | 1.11 | 1.37 | 1.37 | 0.76 | 0.76 | 1.03 | 1.04 | 1.14 | 1.14 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | - | 0.78 | 0.78 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 3.71 | 3.79 | 3.79 | 3.95 | 3.95 | 3.68 | 3.67 | 4.87 | 4.86 | 3.74 | 3.78 | 3.74 | - | 3.94 | 3.94 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.32 | 2.21 | 2.21 | 1.12 | 1.12 | 1.52 | 1.52 | 1.11 | 1.13 | 1.19 | 1.18 | 1.19 | - | 1.11 | 1.13 |
| 4.44 | Limonene | 80.46 | 75.21 | 75.19 | 81.55 | 81.54 | 80.57 | 80.65 | 76.96 | 77.01 | 82.58 | 82.49 | 82.58 | - | 82.04 | 82.04 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 4.99 | 8.15 | 8.15 | 5.46 | 5.46 | 5.94 | 5.86 | 6.91 | 6.86 | 4.99 | 5.04 | 4.99 | - | 5.42 | 5.42 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.30 | 0.46 | 0.45 | 0.21 | 0.22 | 0.29 | 0.28 | 0.37 | 0.37 | 0.26 | 0.25 | 0.26 | - | 0.26 | 0.26 |
| 5.28 | Benzene | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | - | 0.02 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | - | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 0.00 | 0.00 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | - | 0.01 | 0.01 |
| 7.93 | delta-Elemene | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | - | 0.05 | 0.05 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | - | 0.02 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | - | 0.03 | 0.03 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 90 วัน ซ้ำสอง (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 8.2 | 9 | 9.2 | 10 | 10.2 | 11 | 11.2 | 12 | 12.2 | 13 | 13.2 | 14 | 14.2 | 15 | 15.2 |
| 8.85 | Linalool | 0.24 | 0.29 | 0.29 | 0.27 | 0.27 | 0.23 | 0.24 | 0.30 | 0.30 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | - | 0.26 | 0.26 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | - | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.13 | 0.20 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.11 | 0.11 | 0.17 | 0.18 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | - | 0.16 | 0.16 |
| 10.55 | Neral | 0.20 | 0.22 | 0.22 | 0.18 | 0.18 | 0.13 | 0.13 | 0.24 | 0.24 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | - | 0.22 | 0.22 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.24 | 0.33 | 0.33 | 0.19 | 0.19 | 0.22 | 0.22 | 0.27 | 0.27 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | - | 0.21 | 0.21 |
| 10.83 | Diacetate | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | - | 0.04 | 0.04 |
| 10.92 | Germacrene | 1.12 | 1.15 | 1.15 | 1.60 | 1.60 | 0.92 | 0.92 | 1.43 | 1.42 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | - | 1.16 | 1.16 |
| 11.13 | Geranial | 0.32 | 0.37 | 0.37 | 0.33 | 0.33 | 0.24 | 0.24 | 0.41 | 0.40 | 0.34 | 0.35 | 0.34 | - | 0.37 | 0.37 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.14 | 0.14 | 0.08 | 0.08 | 0.13 | 0.13 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | - | 0.11 | 0.11 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.22 | 0.21 | 0.12 | 0.13 | 0.17 | 0.16 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | - | 0.11 | 0.11 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | - | 0.02 | 0.02 |
| 11.87 | Nerol | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - | 0.04 | 0.04 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | - | 0.04 | 0.04 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | - | 0.02 | 0.02 |
| 14.43 | endo-1- bourbanol | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | - | 0.01 | 0.01 |
| 18.88 | nootkatone | 0.56 | 0.12 | 0.12 | 0.55 | 0.56 | 0.26 | 0.26 | 0.44 | 0.44 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | - | 0.44 | 0.43 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 105 วัน

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 1.2 | 2 | 2.2 | 3 | 3.2 | 4 | 4.2 | 5 | 5.2 | 6 | 6.2 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.65 | 1.65 | 1.82 | 1.83 | 1.79 | 1.79 | 1.65 | 1.64 | 1.51 | 1.50 | 1.49 | 1.49 | 1.06 | 1.46 | 1.64 | 1.82 | 1.61 | 1.67 | 1.55 | 1.61 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 2.67 | 2.68 | 2.28 | 2.29 | 2.83 | 2.81 | 1.36 | 1.37 | 1.42 | 1.42 | 1.82 | 1.82 | 1.15 | 1.31 | 2.00 | 2.04 | 1.31 | 1.46 | 1.62 | 1.30 |
| 3.48 | Sabinene | 1.03 | 1.03 | 1.06 | 1.06 | 1.11 | 1.12 | 0.79 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.88 | 0.88 | 0.58 | 0.72 | 0.92 | 0.99 | 0.81 | 0.68 | 0.82 | 0.80 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 3.91 | 3.92 | 4.25 | 4.26 | 3.97 | 3.98 | 4.40 | 4.40 | 3.92 | 3.91 | 3.53 | 3.54 | 2.61 | 4.28 | 4.19 | 4.35 | 3.70 | 4.18 | 3.74 | 3.89 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.39 | 1.39 | 1.72 | 1.73 | 1.43 | 1.44 | 1.15 | 1.16 | 1.57 | 1.56 | 1.80 | 1.82 | 1.01 | 0.74 | 1.31 | 1.42 | 1.57 | 1.01 | 1.12 | 1.33 |
| 4.44 | Limonene | 80.54 | 80.48 | 78.65 | 78.61 | 80.22 | 80.23 | 81.59 | 81.53 | 80.50 | 80.54 | 78.63 | 78.57 | 85.83 | 83.51 | 81.43 | 79.46 | 80.26 | 82.12 | 81.28 | 81.80 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 5.65 | 5.67 | 6.27 | 6.28 | 5.42 | 5.40 | 4.88 | 4.94 | 6.73 | 6.71 | 7.49 | 7.54 | 4.91 | 3.99 | 4.86 | 5.75 | 7.15 | 4.99 | 6.21 | 5.58 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.22 | 0.22 | 0.32 | 0.31 | 0.28 | 0.29 | 0.34 | 0.34 | 0.22 | 0.21 | 0.23 | 0.23 | 0.18 | 0.16 | 0.29 | 0.27 | 0.32 | 0.24 | 0.27 | 0.33 |
| 5.28 | Benzene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.07 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 7.93 | delta-Elemene | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.01 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.04 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.21 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 105 วัน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 1.2 | 2 | 2.2 | 3 | 3.2 | 4 | 4.2 | 5 | 5.2 | 6 | 6.2 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 8.85 | Linalool | 0.24 | 0.24 | 0.28 | 0.28 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.21 | 0.03 | 0.15 | 0.29 | 0.23 | 0.27 | 0.25 | 0.31 | 0.26 | 0.25 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.16 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.14 | 0.14 | 0.19 | 0.19 | 0.13 | 0.13 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.02 | 0.14 | 0.24 | 0.12 | 0.16 | 0.15 | 0.20 | 0.16 | 0.16 |
| 10.55 | Neral | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.21 | 0.21 | 0.19 | 0.19 | 0.13 | 0.13 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.14 | 0.24 | 0.21 | 0.22 | 0.16 | 0.21 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.24 | 0.24 | 0.29 | 0.29 | 0.28 | 0.29 | 0.15 | 0.15 | 0.27 | 0.27 | 0.15 | 0.15 | 0.08 | 0.25 | 0.17 | 0.24 | 0.22 | 0.27 | 0.23 | 0.23 |
| 10.83 | Diacetate | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.04 |
| 10.92 | Germacrene | 0.88 | 0.88 | 1.35 | 1.36 | 0.98 | 0.98 | 1.12 | 1.12 | 1.21 | 1.21 | 1.41 | 1.41 | 0.92 | 1.46 | 1.02 | 1.39 | 1.19 | 1.36 | 1.30 | 1.22 |
| 11.13 | Geranial | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.39 | 0.33 | 0.32 | 0.35 | 0.35 | 0.26 | 0.26 | 0.20 | 0.20 | 0.16 | 0.35 | 0.26 | 0.39 | 0.34 | 0.38 | 0.30 | 0.34 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.08 | 0.08 | 0.12 | 0.12 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.08 | 0.12 | 0.09 | 0.12 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.10 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.11 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.08 | 0.08 | 0.14 | 0.14 | 0.19 | 0.19 | 0.23 | 0.23 | 0.12 | 0.18 | 0.17 | 0.13 | 0.10 | 0.14 | 0.15 | 0.10 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 11.87 | Nerol | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.04 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.08 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.07 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.06 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 120 วัน

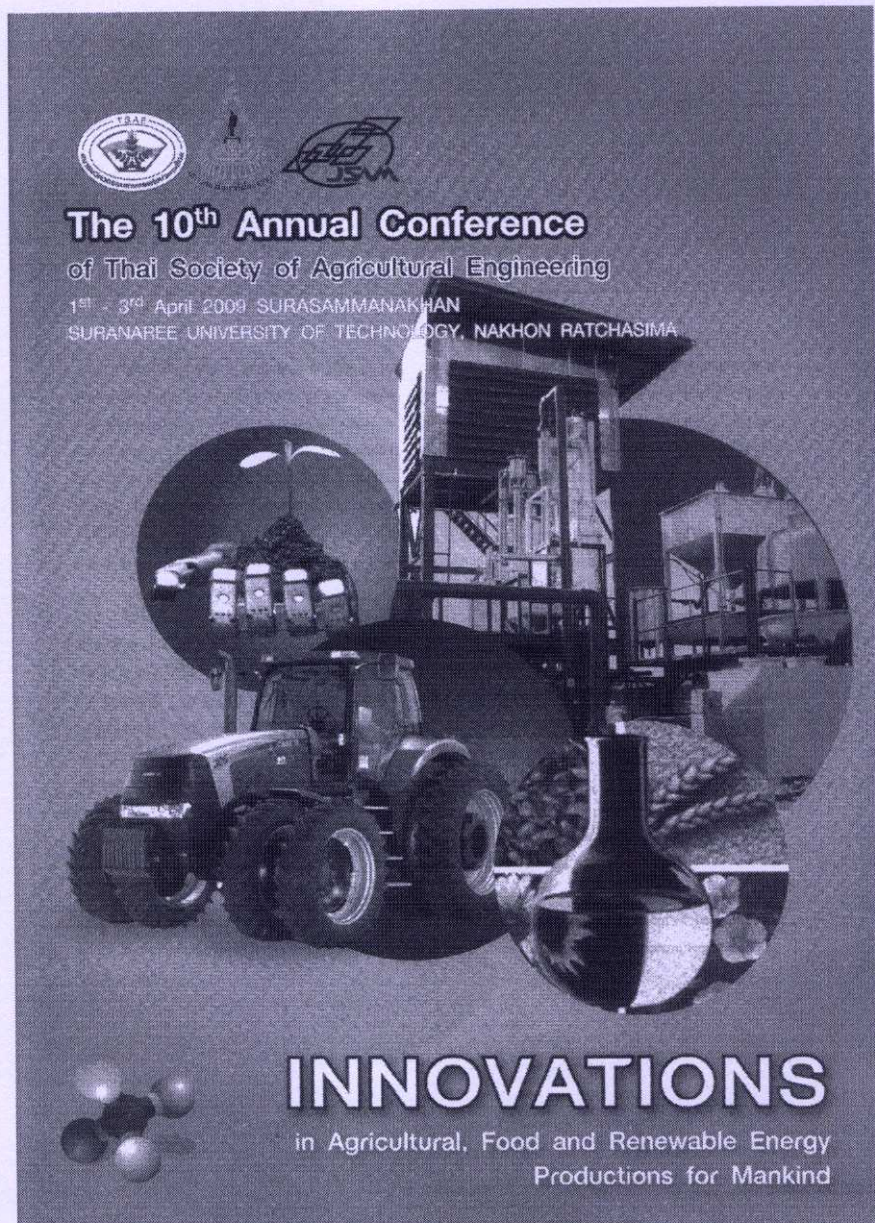
| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2.61 | alpha-pinene | 1.45 | 1.70 | 1.59 | 1.64 | 1.58 | 1.98 | 1.87 | 1.86 | 1.50 | 1.89 | 1.64 | 1.96 | 1.69 | 1.76 | 1.87 |
| 2.97 | Camphene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 3.37 | beta-pinene | 1.17 | 1.80 | 1.13 | 1.92 | 1.18 | 2.45 | 1.96 | 2.80 | 1.12 | 2.75 | 1.92 | 2.43 | 1.21 | 1.97 | 2.17 |
| 3.48 | Sabinene | 0.71 | 0.91 | 0.77 | 0.93 | 0.76 | 1.13 | 1.00 | 1.13 | 0.71 | 1.16 | 0.93 | 1.12 | 0.75 | 0.95 | 1.02 |
| 3.89 | beta-Myrcene | 4.07 | 3.95 | 3.65 | 4.36 | 4.30 | 5.27 | 4.23 | 4.39 | 3.93 | 4.17 | 4.36 | 4.20 | 4.44 | 4.37 | 4.43 |
| 3.98 | alpha-Phellandrene | 1.15 | 1.88 | 1.99 | 1.66 | 1.40 | 1.07 | 1.91 | 1.51 | 1.44 | 2.08 | 1.66 | 2.00 | 1.18 | 1.33 | 1.57 |
| 4.44 | Limonene | 82.13 | 79.68 | 79.91 | 78.35 | 81.55 | 76.74 | 77.38 | 77.81 | 81.91 | 76.33 | 78.35 | 77.08 | 81.43 | 79.91 | 78.77 |
| 4.56 | beta-Phellandrene | 4.65 | 6.66 | 7.18 | 6.22 | 5.14 | 7.20 | 6.85 | 5.77 | 5.70 | 7.25 | 6.22 | 7.08 | 4.90 | 6.01 | 6.07 |
| 4.99 | (E)-Ocimene | 0.21 | 0.25 | 0.22 | 0.29 | 0.23 | 0.21 | 0.25 | 0.41 | 0.22 | 0.30 | 0.29 | 0.21 | 0.36 | 0.29 | 0.30 |
| 5.28 | Benzene | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 5.45 | Terpinolene | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5.50 | Pentanol | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| 7.57 | Cyclobutene | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.03 |
| 7.93 | delta-Elemene | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.07 |
| 8.01 | 6-Octenal | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 8.27 | Decanal | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.04 |

ปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (%w/w) ที่อายุการเก็บรักษา 120 วัน (ต่อ)

| R.T.(min) | compounds | samples | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 8.85 | Linalool | 0.29 | 0.23 | 0.21 | 0.30 | 0.28 | 0.29 | 0.31 | 0.26 | 0.26 | 0.30 | 0.30 | 0.28 | 0.26 | 0.23 | 0.28 |
| 9.45 | beta-Elemene | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 9.59 | Caryophyllene | 0.28 | 0.13 | 0.16 | 0.23 | 0.23 | 0.20 | 0.16 | 0.14 | 0.21 | 0.19 | 0.23 | 0.21 | 0.18 | 0.16 | 0.17 |
| 10.55 | Neral | 0.28 | 0.12 | 0.13 | 0.25 | 0.19 | 0.22 | 0.32 | 0.25 | 0.17 | 0.26 | 0.25 | 0.21 | 0.24 | 0.02 | 0.21 |
| 10.74 | alpha-terpineol | 0.27 | 0.21 | 0.15 | 0.25 | 0.22 | 0.24 | 0.32 | 0.21 | 0.20 | 0.33 | 0.25 | 0.24 | 0.19 | 0.15 | 0.25 |
| 10.83 | Diacetate | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.03 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.07 |
| 10.92 | Germacrene | 1.69 | 1.20 | 1.29 | 1.51 | 1.52 | 1.27 | 1.64 | 1.37 | 1.37 | 1.36 | 1.51 | 1.26 | 1.33 | 1.47 | 1.27 |
| 11.13 | Geranial | 0.46 | 0.24 | 0.24 | 0.43 | 0.33 | 0.34 | 0.50 | 0.41 | 0.30 | 0.42 | 0.43 | 0.34 | 0.40 | 0.31 | 0.35 |
| 11.20 | 1,5-Cyclodecadiene | 0.15 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.11 |
| 11.35 | Geranyl acetate | 0.18 | 0.22 | 0.17 | 0.20 | 0.20 | 0.15 | 0.09 | 0.18 | 0.18 | 0.12 | 0.20 | 0.15 | 0.12 | 0.21 | 0.18 |
| 11.79 | Methylbenzoate | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 11.87 | Nerol | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 12.38 | 1,6-Octadien-3-ol | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 12.60 | 2-Cyclohexen-1-ol | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 14.43 | endo-1- bourbonanol | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| 18.88 | nootkatone | 0.43 | 0.37 | 0.79 | 0.87 | 0.42 | 0.73 | 0.65 | 0.98 | 0.35 | 0.54 | 0.87 | 0.72 | 0.86 | 0.25 | 0.57 |

ภาคผนวก ง
ผลงานวิจัยที่ได้เผยแพร่

“Prediction and analysis of peel essential oil of pomelo by NIR spectroscopy” **The 10th Annual conference of Thai society of agricultural engineering. International conference on innovation in agricultural, food and renewable energy productions for Mankind.** 1-3 April 2009. Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand



Prediction and Analysis of Peel Essential Oil of Pomelo by NIR Spectroscopy

Panmanas SIRISOMBOON¹, Jittra DUANGCHANG^{*2}

Abstract

The near infrared spectroscopy (NIRS) appears as a prominent technique for fruit quality assessment. This research work was focused on evaluating the use of NIRS to predict composition of peel essential oil of pomelo (*Citrus maxima* (J. Burm.) Merr. cv. Kao Num Peung). The composition of the oil was analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) at different harvesting dates (190, 200, 210 and 220 days after blooming) to establish the relationship between NIR spectral measurements and the major component peel essential oils (e.g. limonene, beta-phellandrene and alpha-pinene). Before calibration, a principal component analysis (PCA) technique was applied to check outliers. NIR models were developed based on partial least square (PLS) using raw spectra, multiplicative scatter correction or second derivative pre-processing spectra. Among the component oils, β -phellandrene of the raw spectra had the highest correlation coefficient between predicting and reference values ($r=0.89$), standard error of prediction (SEP) of 0.39 % and bias of 0.39 %. For the limonene with second derivative spectra, r , SEP and bias were 0.81, 1.96 and 0.07, respectively. For α -pinene with raw spectra, r , SEP and bias were 0.78, 0.16 and 0.02, respectively.

[Keywords] NIR, Essential oil, Pomelo, Partial least square (PLS)

I Introduction

Pomelo (*Citrus maxima* (J. Burm.) Merr. cv. Kao Num Peung) is one of the major export pomelo in Thailand. It is the largest of all citrus fruit and contains a thick, spongy peel (Hodgson, 1967). Pomelo is a good source of dietary vitamin C and potassium and also had a strongly aromatic peel essential oil. In some oriental cultures, the decoction of the fruit peel has been employed for medicinal purposes, to alleviate coughs, ulcers, swellings and epilepsy because of the effectiveness of the volatiles and pomelo oil has been reported to activate fat metabolism in the body, leading to anti-obesity (Hariya, 2003). The oil has also been suggested to be an effective natural antioxidant (Tokoro, 1997).

The aim of this study is to present a fast and reliable NIRS method for the predict composition of peel essential oil from pomelo. The developed innovative method can be applied for quality control as well as for in-process measurements.

II Materials and methods

The pomeloes were obtained from Nakornchaisi, Nakornprathom province in central part of Thailand. Harvesting time was 190, 200, 210 and 220 days after blooming.

1. Reference analysis

The oil was extracted by a cold-pressing method modified from Njoroge et al. (2005). The fruit albedo layers were peeled off using a sharp knife and discarded, to expose the flavedo and its oil ducts. The crude essential oil was collected on ice. It was saturated with centrifuged at 4000g for 15 min at 5 °C. It was decanted, dried with anhydrous sodium sulfate for 24 hours at 5 °C, and filtered to obtain the cold-pressed oil for the study. The essential oil was kept at -20 °C prior to analysis. The percentage of peel essential oil was analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) using a GC (6890N Agilent Technologies, USA) and MS (5973 Agilent Technologies, USA). The instrument was fitted with a J&W DBwax 30m×0.25mm column (film thickness: 0.25 μ m). Injector and detector temperatures were set at 250 °C, the oven temperature was programmed from 70 °C (2 min) with 2°C/min to 230°C (20 min); carrier gas was He. Oil samples of 0.2 μ l were injected.

2. NIR-spectroscopy

All pomelo samples were scanned with a FQA NIR gun (FANTEC inc., Japan) in the range 600 to 1100 nm with a resolution of 2 nm. The measurements were performed in the reflectance mode. Data processing and development of

* Corresponding author, Tel.: 0-8158-20421; E-mail address: yoki.ami@hotmail.com

¹ Associate Professor Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkabang, Bangkok, 10520, Thailand

² Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkabang, Bangkok, 10520, Thailand

appropriate chemometric method were carried out with the analysis program Unscrambler 7.01 software (Camo ASA, Oslo, Norway). In the calibration process, the spectra at 663-961 nm were used due the other range contained noise.

A Principal component analysis (PCA) technique was applied to check outlier spectra before calibration. NIR models were developed based on partial least square regression (PLS) using raw spectra, full multiplicative scattering correction or second derivatives of the Savitzky Goley method with two different derivative segment, 10 and 20 nm, with polynomial order of 2 spectra. The calibration accuracy is described by correlation coefficient (r) (equation 1), standard error of prediction (SEP) (equation 2) and bias (equation 3) (Williams, 2007).

$$r = \frac{\sum XY - [(\sum X \sum Y) / N]}{\left\{ \left[\sum X^2 - \left[(\sum X)^2 / N \right] \right] \left[\sum Y^2 - \left[(\sum Y)^2 / N \right] \right] \right\}^{1/2}} \quad (1)$$

$$SEP = \left(\sum (X - Y)^2 - \left[\sum (X - Y) \right]^2 / N \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$bias = \frac{\sum (X - Y)}{N} \quad (3)$$

When X is reference data; Y is NIRS data and N is number of observations.

III Results and Discussion

Table 1 shows GC-MS composition of the peel essential oil at different harvesting dates (190, 200, 210 and 220 days after blooming). Limonene, β -Phellandrene and α -pinene were the major component of peel essential oil from pomelo (Kao Num Peung variety)

Table 1
GC-MS composition of the peel essential oil from pomelo (Kao Num Peung variety)

| Maturity (days) | Mean concentration (% w/w) | | | Samples |
|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------|
| | Limonene | β -Phellandrene | α -pinene | |
| 190 | 84.93 \pm 1.57 ^a | 4.16 \pm 0.59 ^c | 1.33 \pm 0.20 ^c | 17 |
| 200 | 81.36 \pm 1.84 ^c | 5.32 \pm 0.82 ^b | 1.56 \pm 0.17 ^b | 20 |
| 210 | 78.33 \pm 1.23 ^d | 6.22 \pm 0.58 ^a | 1.85 \pm 0.11 ^a | 18 |
| 220 | 83.21 \pm 2.21 ^b | 5.05 \pm 0.58 ^b | 1.42 \pm 0.20 ^c | 20 |

Different letters in the same column represent significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range tests

Fig 1 (a) shows the average raw spectra of pomeloes at four different maturities. There was a different among the

maturity of the pomeloes. However, at 200, 210 and 220 days after blooming were closer to each other more than to the 190 days. Fig 1 (b) shows the average second derivative spectra by Savitzky Goley method at 10 nm derivative segment with polynomial order of 2 of pomelo at four different maturities. The average raw visible and near infrared reflectance spectra of good and defective pods of pomelo showed a similar profile with absorption maxima at 663-667 and 960 nm. These absorbance bands may be the chlorophyll and water bands, respectively. The regions around 680 nm represent chlorophyll pigments, which represent the color characteristics in the fruit (Abbott *et al.*, 1997; Chauchard *et al.*, 2004). The absorption regions in the NIR at 960 nm represent water absorption bands (ElMasry *et al.*, 2007). There was a small peak at 827 nm. Though, the wavelength has not been assigned any in literatures.

Table 2 shows the statistic values of peel essential oil component of calibration and prediction sets. Table 3 shows the results of PLS regression for each parameter of peel essential oil from pomelo (Kao Num Peung variety). The most accurate models of best pretreatment were shown. Among the component analyzed by GC-MS, β -Phellandrene where the model was developed from the raw spectra had the highest value of correlation coefficient between predicting values and reference values ($r=0.89$) with the standard error of prediction (SEP) of 0.39 % and bias of 0.39 %. In this case pretreatment methods could not improve in model accuracy.

IV Conclusions

The near infrared spectroscopy (NIRS) can be used to predict the content of valuable components such as beta-phellandrene and limonene. The r of 0.81-0.90 is appropriate for screening and some other "approximate" calibrations (Williams, 2007). Therefore, the described NIR spectroscopy technique has potential to replace the existing quality control standard methods which are mostly very time consuming.

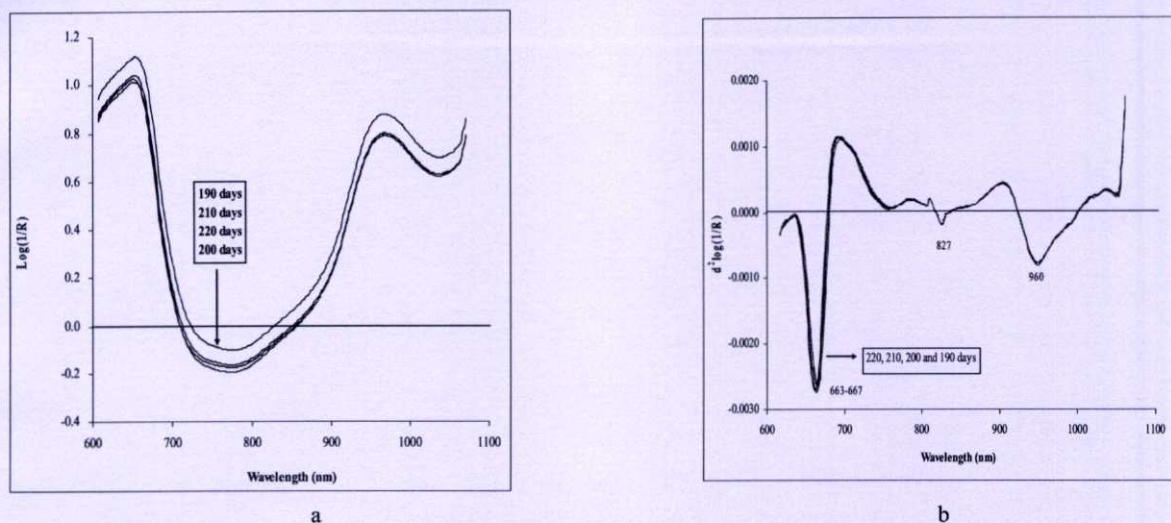


Fig. 1 NIR spectra of intact pomelo; average raw (a) and second derivative (b)

Table 2

Statistic values of peel essential oil component of calibration and prediction sets

| Parameters | Calibration set | | | | Prediction set | | | |
|-----------------------|-----------------|-------------|-------|------|----------------|-------------|-------|------|
| | n | range | mean | SD | n | range | mean | SD |
| β -Phellandrene | 51 | 2.22-7.37 | 5.34 | 1.04 | 17 | 3.89-6.49 | 5.23 | 0.82 |
| Limonene | 55 | 76.21-87.22 | 81.97 | 3.11 | 17 | 77.74-86.09 | 81.72 | 2.83 |
| α -pinene | 54 | 0.99-2.06 | 1.54 | 0.27 | 18 | 1.15-1.91 | 1.53 | 0.26 |

Table 3

Results of PLS regression for each parameter of peel essential oil from pomelo (Kao Num Peung variety)

| Parameters | Pretreatment | PCs | Calibration | | | Prediction | | |
|-----------------------|--|-----|-------------|------|-----------------------|------------|------|------|
| | | | r | SEC | Bias | r | SEP | Bias |
| β -Phellandrene | Raw | 10 | 0.85 | 0.55 | 1.19×10^{-5} | 0.89 | 0.39 | 0.39 |
| Limonene | 2 nd derivative segment 10 nm | 8 | 0.90 | 1.40 | 2.91×10^{-6} | 0.81 | 1.96 | 0.07 |
| α -pinene | Raw | 10 | 0.81 | 0.16 | 1.97×10^{-6} | 0.78 | 0.16 | 0.02 |

References

- Abbott, J. A., Lu, R., Upchurch, B. L., & Stroshine, R.L. 1997. Technologies for non-destructive quality evaluation of fruits and vegetables. In Horticultural reviews — Technologies for nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables, 20, 1–120. John Wiley & Sons, Inc.
- Chauchard, F., Cogdill, R., Roussel, S., Roger, J. M., & Bellon-Maurel, V. 2004. Application of LS-SVM to non-linear phenomena in NIR spectroscopy: development of a robust and portable sensor for acidity prediction in grapes. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 71, 141-150.
- ElMasry, G., Wang, N., ElSayed, A., & Ngadi, M. 2007. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. *Journal of Food Engineering*, 81, 98-107.
- Hariya, T. 2003. The possibility of regulating the function of adipose cells by odorants. *Aroma Res*, 13, 72-78.
- Hodgson, R. W. 1967. Horticultural varieties of Citrus In *The Citrus Industry*; Reuther, W., Batchelor, L. D., Webber, H. J., Eds.; University of California Press: Berkeley, CA. Vol. 1, pp 431-531.
- Njoroge, S.M.; Ukeda, H., Kusunose, H.; Sawamura, M. 1994. Volatile composition of Japanese yuzu and lemon oils. *Flavour Fragrance J.* 9, 159-166.
- Njoroge, S.M.; Koaze, H.; Karanja, P. N.; Sawamura, M. 2005. Volatile Constituents of Redblush Grapefruit (*Citrus paradise*) and Pummelo (*Citrus grandis*) Peel Essential Oils from Kenya. *J. Agric. Food Chem.* 53, 9790-9794.
- Tokoro, K., 1997. Antioxidants in grapefruit oil. *Aromatopia*, 24, 42-44
- Williams, P. 2007. Near-infrared Technology – Getting the best out of light. Edition 5.0. A short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, Canada.

ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นางสาว จิตตรา ค้วงช้าง |
| วัน-เดือน-ปี เกิด | 21 พฤษภาคม 2527 ที่ จ.นครนายก |
| ที่อยู่ | 91 หมู่ 3 ต. ทองหลวง อ.บ้านนา จ.นครนายก รหัสไปรษณีย์ 26110 |
| ประวัติการศึกษา | ปริญญาตรี (พ.ศ.2546 - พ.ศ.2549) วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| E-mail | yoki.ami@hotmail.com |