

การเปรียบเทียบการประเมินไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้
ของแตงโมตัดแต่งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ โดยใช้
เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่าง ๆ

COMPARISON OF EVALUATION OF LYCOPENE AND SOLUBLE SOLIDS
CONTENT IN FRESH CUT WATERMELON AT DIFFERENT HARVESTING
DATES USING VARIOUS NEAR INFRARED SPECTROMETERS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2557

KMITL-2014-EN-M-100-117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF EVALUATION OF LYCOPENE AND SOLUBLE SOLIDS
CONTENT IN FRESH CUT WATERMELON AT DIFFERENT HARVESTING
DATES USING VARIOUS NEAR INFRARED SPECTROMETERS



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
2014

KMITL-2014-EN-M-100-117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบการประเมินไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมตัดแต่งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่าง ๆ

Thesis Title Comparion of Evaluation of Lycopene and Soluble Solids Content in Fresh Cut Watermelon at Different Harvesting Dates Using Various Near Infrared Spectrometers

นักศึกษา นายศิวตล รัตนโอภา






รหัสประจำตัว 55612304

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุรณ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-100-117

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.วสุ อุดมเพทายกุล	
ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ	
รศ.ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล	
ดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	
รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุรณ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 15.00-17.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องสงวนลิขสิทธิ์ไว้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบการประเมินไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมตัดแต่งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่างๆ
นักศึกษา	นายศิวดล รัตนโอภา
รหัสประจำตัว	55612304
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

บทคัดย่อ

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญในการประเมินคุณภาพของผักผลไม้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีตรวจวัดปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีตัดแต่งด้วย เครื่อง Micro NIR spectrometer ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 1150-2150 nm เครื่อง FQA NIR Gun ช่วงคลื่นระหว่าง 600-1100 nm และ เครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) โดยสแกนที่เนื้อแตงโมแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธีการวิเคราะห์ที่มาตรฐานสำหรับวัดปริมาณไลโคพีนใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ช่วงความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร และสำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ใช้เครื่อง Refractometer ตัวอย่างแตงโมพันธุ์กินรีได้จากแตงโมที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน คือ 19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบานตามลำดับ ใช้วิธี Partial Least Squares (PLS) สร้างแบบจำลองในการทำนาย พบว่าแบบจำลองที่ได้จากสเปกตรัมที่วัดด้วย เครื่อง Micro NIR spectrometer ไม่มีความสามารถในการทำนาย แบบจำลองที่ได้จากสเปกตรัมของเนื้อแตงโมที่เพาะปลูกในฤดูหนาวแบบมีพลาสติกหุ้มที่วัดด้วยเครื่อง FQA NIR Gun สามารถทำนายปริมาณไลโคพีนได้ดีที่สุดโดยแบบจำลองสร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการพิจารณา (Coefficient of determination, R^2) เท่ากับ 0.86 ค่าผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (Standard error of prediction, SEP) เท่ากับ 0.091 ppm ค่า bias เท่ากับ -0.011 ppm ค่า Ratio of the SEP to the range (RER) เท่ากับ 9.593 และ ค่า Ratio of SEP to the SD (RPD) เท่ากับ 2.705 แสดงว่าสามารถใช้ในการคัดเลือกแบบหยาบๆ และ การใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer ให้แบบจำลองทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ดีที่สุด โดยสร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ First derivative + Vector normalization (SNV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.78 ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการทำนาย (root mean squared error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 0.651, bias เท่ากับ 0.0308 และ RPD เท่ากับ 2.14 แสดงว่าสามารถใช้ในการคัดเลือกแบบหยาบๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Comparison Of Evaluation Of Lycopene And Soluble Solids Content In Fresh Cut Watermelon At Different Harvesting Dates Using Various Near Infrared Spectrometers
Student	Mr. Siwadon Ratanaopa
Student ID.	55612304
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon

ABSTRACT

The near infrared spectroscopy (NIRS) appears as a prominent technique for fruit quality assessment. The objective of this research was to study the possibility of using near infrared spectroscopy in evaluating using Micro NIR spectrometer spectral range (1150-2150 nm), FQA NIR Gun spectral range (600-1100 nm) and FT-NIR spectrometer spectral range ($12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ or 800-2500 nm) of the lycopene and soluble solids content in cut watermelons were taken in the rainy season, in the winter and in the summer season respectively at different harvesting dates (19, 21, 23, 25, 27 and 29 days after flower blooming). The calibration models were developed by Partial Least Square (PLS) regression. The models in evaluating using Micro NIR spectrometer had no ability to predict. The best model in evaluating lycopene using FQA NIR Gun was created by the spectra which modified by Savitzky-Golay first differentiation at derivative segment 11 points that provided the value $R^2 = 0.86$, Standard error of Prediction (SEP) = 0.091 ppm, bias = -0.011 ppm, ratio of the SEP to the range (RER) = 9.593 and ratio of the SEP to the SD (RPD) = 2.705. This indicated that the model could be used for rough screening. And the best model in evaluating soluble solids content using FT-NIR spectrometer was created by the spectra which modified by First derivative + Vector normalization (SNV) that provided the value $R^2 = 0.78$, root mean squared error of prediction (RMSEP) = 0.651, bias = 0.0308 and RPD = 2.14. This indicated also that the model could be used for rough screening.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาลดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับการวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกคน ที่ช่วยเหลือการทดลอง และให้กำลังใจกันเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ศิวดล รัตนโอภา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	XV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แต่งโม.....	7
2.2 โลโคพิน.....	8
2.3 เครื่อง spectrophotometer.....	10
2.4 ความหวาน (sweetness).....	13
2.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....	13
2.6 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	14
2.7 หลักการพื้นฐานของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	15
2.8 การปรับแต่ง NIR Spectra ก่อนการวิเคราะห์.....	16
2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR.....	24
2.10 เทอมที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของโมเดล.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 ประโยชน์ของการใช้เทคนิค NIR.....	35
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	36
3.1 การเตรียมผลแดงโมสำหรับการทดลอง.....	36
3.2 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายเนื้อแดงโม.....	40
3.3 การสกัดไลโคพีนจากเนื้อแดงโม.....	44
3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไลโคพีน.....	46
3.5 การสร้างสมการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่อง Spectrophotometer ระหว่างไลโคพีน บริสุทธิ์กับค่าที่ได้จากการสกัด.....	48
3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....	48
3.7 การวัดสเปกตรัมของน้ำตาลฟรุคโตสบริสุทธิ์.....	50
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัมที่ตรวจวัดโดยเครื่อง Micro NIR spectrometer และ เครื่อง FQA NIR Gun กับข้อมูลอ้างอิงโดยโปรแกรม The Unscrambler.....	51
3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัมที่ตรวจวัดโดยเครื่อง FT-NIR Spectrometer กับ ข้อมูลอ้างอิงโดยโปรแกรม OPUS.....	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย.....	56
4.1 ผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก เครื่อง Micro NIR Spectrometer.....	56
4.2 ผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก เครื่อง FQA NIR Gun.....	86
4.3 ผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก เครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	117
4.4 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพีน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....	132

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	135
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก เครื่อง Micro NIR Spectrometer.....	135
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก เครื่อง FQA NIR Gun.....	135
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก เครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	135
5.4 วิจัยผลการทดลอง.....	136
เอกสารอ้างอิง.....	139
ภาคผนวก.....	143
ภาคผนวก ก แผนการดำเนินงานวิจัย.....	144
ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการทดลองต่างๆ.....	145
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่.....	180
ประวัติผู้เขียน.....	183

สารบัญตาราง

ตารางที่หน้า	หน้า
1.1 ตัวอย่างแหล่งที่พบไลโคพีน.....	1
2.1 คุณค่าทางอาหารของแตงโม ต่อปริมาณ 100 กรัม.....	8
2.2 ปริมาณของไลโคพีนที่พบในร่างกายมนุษย์.....	9
2.3 ตัวอย่างการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %).....	29
2.4 การแปลความหมายของค่า r และ r^2	30
2.5 รูปแบบของความชื้น.....	31
2.6 ค่าทางสถิติ RPD และ RER.....	35
3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่างๆ.....	42
4.1 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและ ทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction.....	66
4.2 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว ที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	67
4.3 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	68
4.4 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	69
4.5 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่หน้า	หน้า
4.6 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	72
4.7 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	73
4.8 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	74
4.9 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm	75
4.10 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction	76
4.11 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	77
4.12 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	78
4.13 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่หน้า	หน้า
4.14 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแดงโมพันธุถิ่นที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	80
4.15 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแดงโมพันธุถิ่นที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	82
4.16 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแดงโมพันธุถิ่นที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	83
4.17 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแดงโมพันธุถิ่นที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	84
4.18 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแดงโมพันธุถิ่นที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm.....	85
4.19 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพีนของแดงโมพันธุถิ่นที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction.....	91
4.20 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแดงโมพันธุถิ่นที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	93
4.21 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแดงโมพันธุถิ่นที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่หน้า	หน้า
4.22 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	95
4.23 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	96
4.24 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	98
4.25 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	99
4.26 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	100
4.27 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	101
4.28 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction.....	102
4.29 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่หน้า	หน้า
4.30 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	105
4.31 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	106
4.32 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	107
4.33 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	109
4.34 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	110
4.35 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	111
4.36 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm.....	112
4.37 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพินของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction.....	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่หน้า	หน้า
4.38 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณไลโคพีน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm).....	124
4.39 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณไลโคพีน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm).....	124
4.40 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction.....	125
4.41 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm).....	127
4.42 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm).....	127
4.43 การดูดซับคลื่นที่เด่นชัดที่ปรากฏในกราฟ Regression coefficient และ กราฟ X-loading weight ของแบบจำลองปริมาณไลโคพีนในเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุ การเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) จากเครื่อง FQA-NIR Gun ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm โดยสแกนแบบมีพลาสติกหุ้ม.....	132
4.44 การดูดซับคลื่นที่เด่นชัดที่ปรากฏในกราฟ Regression coefficient และ กราฟ X-loading weight ของแบบจำลองปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	132

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่หน้า

หน้า

5.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการทำนายปริมาณโลโคพีน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....138



สารบัญญภาพ

ภาพที่หน้า	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของ hydrogenated carotenoid derivatives.....	9
2.2 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ.....	15
2.3 จำนวนจุดทั้งสองด้าน ($m = 2, n = 5$) ของการเฉลี่ย.....	17
2.4 Segment size และ Gap size ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative.....	20
2.5 First Derivative และ Second Derivative เปรียบเทียบกับสเปกตรัมเดิม.....	21
2.6 การปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้ MSC.....	22
2.7 NIR สเปกตรัมของมือคน; วัตถุประสงค์ของสเปกตรัมแบบแพร่.....	24
2.8 ตัวอย่างของประเภทความชื้น.....	32
3.1 แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	38
3.2a แผนผังการดำเนินการการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Unscrambler.....	39
3.2b แผนผังการดำเนินการการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม OPUS.....	40
3.3 Micro NIR Spectrometer.....	41
3.4 FQA-NIR Gun.....	41
3.5 เครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	41
3.6 การสแกนเนื้อไม้ด้วยเครื่อง Micro NIR spectrometer.....	42
3.7 สแกนเนื้อไม้ด้วย FQA NIR Gun.....	43
3.8 สแกนเนื้อไม้ด้วย FT-NIR Spectrometer.....	44
3.9 สารเคมีที่ได้จากการสกัดเนื้อไม้.....	46
3.10 เครื่อง Spectrophotometer.....	47
3.11 การวิเคราะห์หาปริมาณไลโคพีน.....	47
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับคลื่นที่ 503 nm (Absorbance) กับค่าความเข้มข้นของ สารละลายไลโคพีน ที่ความเข้มข้นไลโคพีน 7 ระดับ (0.5-2 ppm).....	48
3.13 เครื่อง Refractometer.....	49
3.14 ภาพชิ้นส่วนเนื้อไม้ที่จะถูกนำไปวิเคราะห์.....	49
3.15 ภาพการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....	50

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่หน้า	หน้า
3.16 สเปกตรัมของน้ำตาลฟรุกโตสบริสุทธิ์ที่ถูกวัดด้วยเครื่อง NIR-GUN.....	50
3.17 สเปกตรัมของน้ำตาลฟรุกโตสบริสุทธิ์ที่ถูกวัดเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ raw spectrum.....	51
4.1 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและ ไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	56
4.2 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและ ไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	57
4.3 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและ ไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	57
4.4 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	58
4.5 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	59
4.6 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่หน้า

หน้า

- 4.7 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....60
- 4.8 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....60
- 4.9 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....61
- 4.10 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....62
- 4.11 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....62
- 4.12 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....63
- 4.13 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่หน้า	หน้า
4.14 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	64
4.15 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	65
4.16 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	65
4.17 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	86
4.18 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	87
4.19 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	87
4.20 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	88
4.21 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่หน้า	หน้า
4.22 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	89
4.23 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	90
4.24 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	90
4.25 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลค่าไลโคพีนของแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน).....	113
4.26 การแจกแจงความถี่ของข้อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน).....	114
4.27 การเปรียบเทียบค่าปริมาณไลโคพีนของแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว แบบมีพลาสติกหุ้ม ที่ทำนายได้โดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้เครื่อง FQA-NIR Gun ด้วยเทคนิค Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 และสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด กับชุดคาลิเบรชัน.....	115
4.28 การเปรียบเทียบค่าปริมาณไลโคพีนของแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว แบบมีพลาสติกหุ้ม ที่ทำนายได้โดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้เครื่อง FQA-NIR Gun ด้วยเทคนิค Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 และสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด กับชุดสอบ.....	115
4.29 X-loading weight plot ของแบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อทำนายปริมาณไลโคพีนของแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm และ สเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segmen 11 จุด.....	116

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่หน้า	หน้า
4.30 Regression coefficient ของแบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโม พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm และสเปกตรัม ที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด.....	117
4.31 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่ เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการ เก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน)ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	118
4.32 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่ เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	118
4.33 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่ เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	119
4.34 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่ เพาะปลูกในทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	119
4.35 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโม พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้ม และไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	120

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่หน้า	หน้า
4.36 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโม พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) ที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้ม และไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	120
4.37 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโม พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) ที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้ม และไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	121
4.38 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโม พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) ที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้ม และไม่มีพลาสติกหุ้ม.....	121
4.39 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer กับค่าของชุดคาลิเบรชัน.....	128
4.40 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ทำนาย โดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer กับค่าของชุดทดสอบ.....	129
4.41 X-loading weight plot ของแบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm).....	130
4.42 Regression coefficient ของแบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)	131
4.43 ค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาวและฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน ตามลำดับ).....	133

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่หน้า

หน้า

4.44 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแดงโมพันธุกรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาวและ ฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน ตามลำดับ).....	134
--	-----



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

1.1.1 ไลโคพิน (Lycopene)

ไลโคพิน จัดเป็นสารในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ประเภทไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) มีคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะคู่ 11 พันธะ มีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ ไลโคพินเป็นรงควัตถุ (Pigment) ที่มีผลึกเป็นสีแดง ไลโคพินมีสีแดงเนื่องจากโครงสร้างของไลโคพินมีการเชื่อมกันของโครงสร้างโพลีอิน [1]

เนื่องจากร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ ขึ้นเองได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากการบริโภคเข้าไป ไลโคพินมีอยู่ในพืชหลายชนิด เช่น ส้ม องุ่น เกรฟฟรุต ฝรั่ง มะม่วง มะละกอ แดงโม พืช พลัม แครอท สตอเบอร์รี่ ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างแหล่งที่พบไลโคพิน [2, 3, 4]

ผลไม้	ปริมาณไลโคพิน ไมโครกรัม/กรัม (น้ำหนักสด)
มะเขือเทศ (Fresh Tomato)	8.8-42
แตงโม (Water Melon)	23.0-72.0
ฝรั่ง (Guava)	54.0
ส้ม (Orange)	33.6
มะละกอ (Papaya)	20.0-53.0

ไลโคพิน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ที่สามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังได้หลายชนิด โดยเฉพาะโรคมะเร็งต่างๆ เนื่องจากไลโคพินมีคุณสมบัติพิเศษในการต่อต้านอนุมูลอิสระ (Free radical) ในร่างกาย ซึ่งอนุมูลอิสระนั้นเป็นสาเหตุสำคัญอันหนึ่งของการทำลายสายดีเอ็นเอและนำไปสู่การเกิดโรคมะเร็งในที่สุด ไลโคพินมีสารที่มีฤทธิ์ที่ดีมากในการเป็นแอนตี้ออกซิแดนซ์ ในร่างกาย ช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันชนิด Low density lipoprotein (LDL) จึงสามารถป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว (Atherosclerosis) ได้ สำหรับการศึกษาในสัตว์ทดลองมีรายงานว่าไลโคพินสามารถยับยั้งการเกิดมะเร็งเต้านมและยับยั้งการเจริญแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งเยื่อบุหลอดลม รวมทั้งมีผลยับยั้ง insulin-like growth factor-I ซึ่งเป็นตัวควบคุมการเจริญแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งเต้านมและเยื่อบุหลอดลมดังกล่าว ดังนั้นไลโคพินจึงเป็นสารที่ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรคต่างๆ ได้หลายชนิด รวมทั้งโรคมะเร็งต่างๆ ได้แก่ มะเร็งต่อมลูกหมาก (Prostate cancer) มะเร็งในระบบทางเดินอาหาร (Digestive tract cancer) มะเร็งถุงน้ำดี (Bladder cancer) มะเร็งผิวหนัง (Skin cancer) มะเร็งเต้านม (Breast cancer) มะเร็งปากมดลูก (Cervical cancer) โรคหลอดเลือดหัวใจ (Cardiovascular disease) [5]

ส่วนใหญ่แล้วไลโคพินที่ได้จากธรรมชาตินั้น พันธะคู่ทั้งหมดจะอยู่ในรูป trans แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตมักจะมีพบไลโคพินไอโซเมอร์ ในรูป cis 1.7-10.1% ปะปนอยู่เสมอ

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของไลโคพินนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยวิธีนี้จะวิเคราะห์โดยการชั่งตัวอย่างแดงโคมบดละเอียดประมาณ 2 กรัม เติมน้ำ Ethanol 25 ml, Acetone and 0.05% (w/v) butylated hydroxytoluene (BHT) 25 ml และ Hexane 50 ml ลงไปตามลำดับ จากนั้นนำไปเขย่าเป็นเวลา 10-15 นาที ที่อุณหภูมิ 5°C เติมน้ำกลั่น 15 ml แล้วเขย่าต่ออีก 5 นาที ปล่อยทิ้งไว้ 15 นาทีให้แยกชั้นแล้วแยกชั้นของ Hexane ที่อยู่บนสุดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง [1] ที่ความยาวคลื่น 503 nm [6] โดยมี Hexane เป็นสารละลายไร้สิ่งตัวอย่าง (Blank) และอีกวิธีหนึ่งคือ วิธีใช้ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งวิธีนี้จะใช้อุปกรณ์และสารเคมีรวมกันกว่า 10 รายการ ส่วนขั้นตอนนั้นต้องมีการเตรียม mobile phase โดยใช้ acetonitrile, methanol และ 2-propanal ตามปริมาณที่ต้องการ ตามอัตราส่วน (44:54:2 v/v/v) แล้วกรองผ่านชุดกรองเชื้อโดยใช้กระดาษกรองไนลอน 0.45 ไมครอนและสารที่ใช้ในการเตรียม mobile phase ต้องเป็นเกรด HPLC เท่านั้นซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง และในการเตรียมตัวอย่างก่อนที่จะฉีดเข้าคอลัมน์นั้นก็จะใช้ระยะเวลา และ มีขั้นตอนในการทำหลายขั้นตอน เริ่มจากชั่งตัวอย่างแดงโคมบดละเอียดประมาณ 0.2 กรัม เติมน้ำสารละลาย tetrahydrofuran : methanol (1:1 v/v) 40 มิลลิลิตร คนให้ทั่วแล้วทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที จากนั้นกรองผ่าน glass fiber filter GF/A ด้วย Vacuum pump เติมน้ำสารละลาย tetrahydrofuran : methanol (1:1 v/v) 20 มิลลิลิตร ผ่าน glass fiber filter GF/A ที่มีกากของตัวอย่างติดอยู่ นำสารละลายที่กรองได้เทใส่กรวยแยก เติมน้ำ Petroleum ether (b.p. $40-60^{\circ}\text{C}$) 20 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% 20 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้รอให้แยกชั้น จากนั้นเติมน้ำ 100 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้รอจนแยกชั้นอีกครั้ง จากนั้นจึงแยกของเหลวชั้นบน มาระเหยให้แห้งด้วย Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 35°C จากนั้นละลายตัวอย่างที่ได้ด้วย hexane 4 มิลลิลิตร แล้วกรองตัวอย่างด้วย Millipore 0.45 ไมครอนจะจบกระบวนการเตรียมตัวอย่าง [1] เพื่อให้ได้ค่าของปริมาณไลโคพินจะต้องนำ mobile phase และสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยใช้คอลัมน์ C18 ส่วนการเปิดเครื่อง HPLC ในแต่ละครั้งนั้นก็จะใช้เวลาค่อนข้างมาก เนื่องจากเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการทดลองจะต้องรอให้แหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่องคงที่ก่อน จะเห็นได้ว่ากระบวนการที่ได้กล่าวมาข้างต้นนอกจากจะลงทุนมาก ใช้เวลานาน มีอุปกรณ์และสารเคมีหลายชนิดต้องใช้ความชำนาญสูงแล้ว ยังเป็นการทำลายตัวอย่างอีกด้วย โครงการวิจัยนี้จึงเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ

นอกจากไลโคพินแล้วองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในแตงโมก็คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ โดยทั่วไปแล้วผู้บริโภคส่วนใหญ่มักจะเลือกซื้อแตงโมโดยคำนึงถึงค่าความหวานเป็นหลัก ความหวาน (sweetness) เกิดจากน้ำตาลในการผลิตผลไม้ส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคส ผลไม้ต่างชนิดมีองค์ประกอบของน้ำตาลต่างชนิดกันและน้ำตาลแต่ละชนิดก็ให้ความหวานต่างกัน และเนื่องจากน้ำตาลเหล่านี้ละลายน้ำได้และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการหักเหของแสงเมื่อส่องผ่านน้ำ ทำให้เราสามารถวัดปริมาณน้ำตาล โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า refractometer ซึ่งวัดความสัมพันธ์ระหว่างการหักเหของแสงผ่านสารละลายกับความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำคั้นของผลไม้ อย่างไรก็ตามสารอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำตาลซึ่งละลายน้ำได้ เช่น กรดอินทรีย์ในผลไม้ก็มีผลต่อการหักเหของแสงเหมือนกัน ดังนั้นค่าที่อ่านได้จึงไม่ใช่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดแต่เป็นอย่างอื่นด้วย ค่าที่ได้จึงเป็นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble Solids Content : SSC) มิใช่ค่าความหวานหรือปริมาณน้ำตาล [7]

1.1.3 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy: NIR)

เครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีประโยชน์ และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากมาย เช่น

1. ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องชั่งตัวอย่างก่อนนำมาวัดค่า
2. ใช้เวลารวดเร็วในการวัด
3. การตรวจสอบเป็นแบบไม่ทำลาย ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบสามารถจำหน่ายส่งออก หรือบริโภคต่อได้ เป็นการประหยัดต้นทุนของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง
4. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษา สภาพแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี
5. สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ สามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที
6. ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องแก้ว ทำให้สามารถลดต้นทุนในเรื่องสารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้ว
7. เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต

ซึ่งเป็นประโยชน์เช่นเดียวกับกับอุตสาหกรรมอื่นที่สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ได้[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ค่าปริมาณไลโคพินสำหรับใช้ใน ห้องปฏิบัติการ หรือในการวัดค่าไลโคพินซึ่งเป็นสารเพื่อสุขภาพของแตงโมที่ผ่าขาย (แตงโมพร้อม บริโภค หรือ Fresh cut) ในห้างสรรพสินค้าซึ่งสามารถวัดโดยผู้บริโภครองหรือผู้ขายโดยจะรู้ผลทันที และเป็นวิธีไม่ทำลาย จะช่วยทำให้ห้องปฏิบัติการแผนกตรวจสอบคุณภาพของโรงงานแปรรูปแตงโม พร้อมบริโภคหรือแผนกขายในห้างสรรพสินค้า สามารถวิเคราะห์ปริมาณของไลโคพิน สามารถทำได้ อย่างรวดเร็ว (ประมาณ 2 นาที) แม่นยำไม่ต้องใช้กรรมวิธีทางเคมีชนิดวัด ใช้แรงงานและเวลาน้อยซึ่ง หมายถึงการลดต้นทุนในการผลิต ทำให้สามารถรายงานให้ฝ่ายผลิตและฝ่ายขายสามารถประกัน คุณภาพเนื้อแตงโมก่อนส่งขาย สามารถรักษาตลาดที่ต้องการเนื้อแตงโมที่มีคุณภาพสูง เช่น ญี่ปุ่นและ ยุโรปไว้ได้ ทำให้โรงงานผู้ส่งออกและห้างสรรพสินค้าเพิ่มความมั่นใจให้ลูกค้าและสามารถแข่งขันใน ตลาดโลกได้เพิ่มขึ้น และทั้งนี้ยังใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณ ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ช่วยให้ประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่าย เนื่องจากเป็นวิธีที่วิเคราะห์โดยไม่ ทำลายตัวอย่าง ทำให้ผู้บริโภคทราบถึงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำซึ่งเป็นค่าประมาณของความ หวานของแตงโมแต่ละผลได้ทันที

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ ปริมาณไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อแตงโมโดยตรงเป็นวิธีไม่ทำลาย แทนวิธีการ วิเคราะห์แบบดั้งเดิม (วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธีรีแฟรคโทมิเตอร์ ตามลำดับ)
2. เพื่อสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของ เนื้อแตงโมโดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
3. เพื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมที่วัด ได้จากเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ดังนี้ เครื่อง Micro NIR spectrometer (JDSU, USA) ความยาวคลื่นระหว่าง 1150-2150 nm เครื่อง FQA NIR Gun (Shizuoka Shibuya Seiki, Hamamatsu, Japan) มีช่วงคลื่นระหว่าง 600-1100 nm และ เครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker Ltd., Germany) มีช่วงคลื่นระหว่าง 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่มีในเนื้อแตงโม กับ สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่น NIR ในช่วง 800-2500 nm, 600-1100 nm และ 1150-2150 nm ของ ผลแตงโมที่ได้จากการวัด

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การศึกษาปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่มีในเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่ระยะการเก็บเกี่ยว 6 ช่วงอายุ คือ 19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบานครอบคลุมทั้ง 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน
2. การศึกษาในครั้งนี้ให้ใช้ เครื่อง Micro NIR spectrometer ความยาวคลื่นระหว่าง 1150-2150 nm เครื่อง FQA NIR Gun มีช่วงคลื่นระหว่าง 600-1100 nm และ เครื่อง FT-NIR Spectrometer มีช่วงคลื่นระหว่าง $12,500-4,000 \text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ในการตรวจวัดสเปกตรัม

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับไลโคพีน และกระบวนการสกัดไลโคพีนออกจากเนื้อแตงโม
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และกระบวนการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากเนื้อแตงโม
3. หาแหล่งเพาะปลูกแตงโมเพื่อติดต่อขอซื้อตัวอย่างการทดลอง
4. ทดสอบใช้แตงโมที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยเก็บตัวอย่างฤดูละ 6 กลุ่ม ตามช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่ 19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบานตามลำดับ โดยช่วงอายุที่ 25 วันหลังดอกบานเป็นอายุเก็บเกี่ยวทางการค้า โดยในแต่ละช่วงอายุการเก็บเกี่ยวจะใช้แตงโมช่วงละ 15 ผล รวมเป็นทั้งหมด 90 ผล เก็บข้อมูลสเปกตรัมที่ช่วงคลื่น 800-2500 nm, 600-1100 nm และ 1150-2150 nm (Optical data) วิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อแตงโมโดยตรงด้วยวิธีของห้องปฏิบัติการทั่วไป (วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและวิธีวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ค่าความหวาน) ด้วยเครื่อง Refractometer) รวมเป็นตัวอย่างแตงโมทั้งหมด 270 ผล
5. นำข้อมูลทั้งหมดมาสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อแตงโมกับ Optical data โดยวิธีทาง Chemometric แบบ Partial least squares regression
6. สรุปผล และ เขียนรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ได้แบบจำลองและเทคนิคทาง NIRS ที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆครอบคลุมทุกฤดูโดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลาย โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
2. ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เพื่อการตรวจวัดปริมาณไลโคพีนของเนื้อแตงโม และสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในผักผลไม้ชนิดอื่นอีกด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เพื่อการตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อแตงโม

4. สามารถเพิ่มศักยภาพของการปรับปรุงและประกันคุณภาพของการผลิตเนื้อแตงโมพร้อมบริโภครวม ทั้งเพื่อการส่งออกและบริโภคภายในประเทศได้ ทำให้โรงงานแปรรูปแตงโมพร้อมบริโภคหรือแผนกขายในห้างสรรพสินค้าสามารถมั่นใจในคุณภาพของวัตถุดิบและห้องปฏิบัติการปรับปรุงพันธุ์ทำงานได้อย่างรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แดงโม

แดงโมเป็นชื่อภาษาไทยที่ใช้เรียกกันโดยทั่วไป แต่ในบางท้องถิ่นจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไป เช่น แดงโมน้อย แดงจีน หมากโม แดงอุลิต ผลอุลิต มะเต้า อุลัก แต่เต้าสา ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ Watermelon ชื่อวิทยาศาสตร์ *Citrullus vulgaris* Schard อยู่ในวงศ์ CUCURBITACEAE [9]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ [10]

ลำต้น เป็นไม้เถาเลื้อยที่ลำต้นเลื้อยทอดไปตามพื้นดิน ลำต้นมีมือเกาะออกตามข้อสำหรับยึดลำต้น

ใบ ใบเดี่ยวออกตามข้อใบมีสีเขียวยาว 8-12 นิ้ว หรืออาจจะยาวและสั้นกว่านี้ก็มี ตามใบอาจมีลายสีขาวประทั่วโคนใบกว้างปลายใบแหลมเล็ก ขอบใบเว้าลึก ความกว้างใบจะน้อยกว่าความยาว

ดอก ดอกเดี่ยวออกตรงส่วนข้อของเถา ดอกสีเหลืองขนาดเท่ากับหัวแม่มือ เป็นดอกแยกเพศ ผู้และเพศเมียภายในต้นเดียวกัน

ผล ผลกลมเปลือกแข็งสีเขียวเข้มบางชนิดเปลือกเป็นลาย ผลอ่อนเนื้อในเป็นสีขาวเมื่อแก่ผลโตเนื้อในจะมี สีแดงหรือสีเหลืองมีรสหวานภายในมีเมล็ดแบนๆ รูปหยดน้ำ เมื่่ออ่อนสีขาวพอกแก่กลายเป็นสีน้ำตาลอมดำเปลือกแข็ง

2.1.2 พันธุ์แดงโม [11]

แดงโมแบ่งเป็นหลายสายพันธุ์ แต่โดยทั่วไปแล้วพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยนั้นมี 2 พันธุ์คือ พันธุ์เบา หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ พันธุ์ซุการ์เบบี้ ผลมีลักษณะกลมสีเขียวคล้ำ อายุเก็บเกี่ยว 65 วัน นับจากวันงอก ซึ่งพันธุ์กวีรที่ไดศึกษานี้ก็จัดอยู่ในสายพันธุ์เบา ส่วนพันธุ์หนัก คือ พันธุ์ชาร์ลสตันเกรย์ ผลมีลักษณะสีเขียวอ่อน มีลายที่ผิวผล ผลกลมยาวขนาดใหญ่ อายุเก็บเกี่ยว 85 วัน นับจากวันงอก นอกจากนี้ยังมีพันธุ์แดงโมเหลือง เป็นพันธุ์ลูกผสม เนื้อสีเหลือง ผลรูปร่างกลมสีเขียวอ่อนลายเขียวเข้ม อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 70-75 วัน

2.1.3 ประโยชน์ของแดงโม [12]

เกือบทุกส่วนของแดงโมนั้นมีสรรพคุณทางยามากมาย ใบแดงโม นำมาต้มชงเป็นยาลดไข้ ผลแดงโม เอาส่วนที่เป็นเนื้อขาวของเปลือกแดงโมทิ้ง เอาเปลือกไปต้มน้ำให้เดือดเติมน้ำตาลทรายลงไปพอให้หวานใช้ดื่มแทนน้ำ ทำให้รู้สึกชุ่มคอ ลดอาการคอแห้ง เจ็บคอ แก้กะหายน้ำและขับปัสสาวะ เปลือกผลแดงโม หากเป็นแผลในปาก เอาเปลือกแดงโมไปผิงไฟหรือไม้อกตากแห้ง บดให้เป็นผงนำมาทาบริเวณที่เป็นแผล หรือนำเปลือกแดงโมกับเปลือกผักเขียวในจำนวนที่พอประมาณมาต้ม เอาน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับประทาน เป็นยาบรรเทาโรคเบาหวาน เมล็ดแตงโม เอามาตำให้ละเอียด เติมน้ำผึ้งและน้ำลงไปพอประมาณ ตุ่นประมาณครึ่งชั่วโมง รับประทานวันละครั้งประมาณ 3 วันติดต่อกัน แก้อาการท้องผูกในสตรีมีครรภ์ หรือสตรีประจำเดือนผิดปกติ ร้อนกระวนกระวาย ใช้เมล็ดแตงโมตากแห้ง บดให้เป็นผงผสมน้ำดื่มวันละ 2 ครั้ง เข้า เย็น นอกจากสรรพคุณทางยาต่างๆแล้ว แตงโมยังมีสารอาหารอีกมากมายดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของแตงโม ต่อปริมาณ 100 กรัม [12]

คุณค่าทางอาหารต่อปริมาณ 100 กรัม	
โปรตีน 0.3 กรัม	เบต้าแคโรทีน 122 มิลลิกรัม
คาร์โบไฮเดรต 1.3 กรัม	วิตามินบี1 0.16 มิลลิกรัม
เส้นใยอาหาร 0.1 กรัม	วิตามินบี2 0.04 มิลลิกรัม
แคลเซียม 3 กรัม	ไนอะซิน 0.1 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส 1 กรัม	วิตามินซี 49 มิลลิกรัม
เหล็ก 0.2 กรัม	

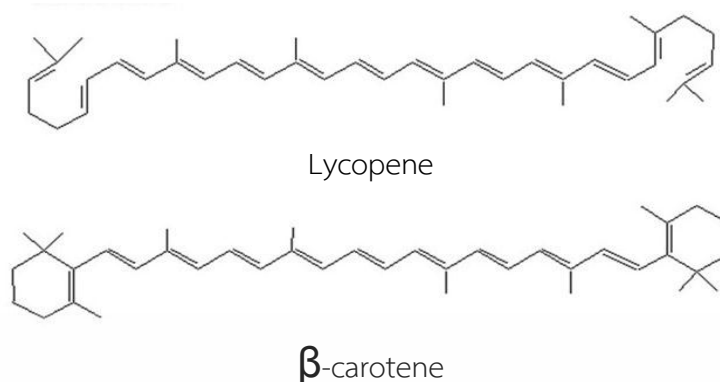
2.1.4 ถูปลูกของแตงโม [11]

เนื่องจากแตงโมจะขาดตลาดและมีราคาสูงในตอนกลางและปลายฤดูฝน เพราะในช่วงเวลาดังกล่าวจะปลูกแตงโมได้ยากลำบาก เนื่องจากต้นแตงโมไม่ชอบฝนชุกจะตายด้วยโรคเหี่ยวเป็นส่วนใหญ่ และเกิดโรคทางใบมาก ผลแตงโมจะเน่าง่ายอีกทั้งรสชาติจะไม่หวานจัดเหมือนแตงโมที่ปลูกในฤดูแล้งหรือในฤดูหนาว ฉะนั้นจึงควรเริ่มปลูกแตงโมตั้งแต่ต้นเดือนพฤศจิกายนไปจนถึงเดือนมีนาคม และเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้ายในเดือนมิถุนายน ซึ่งยังเป็นต้นฤดูฝนอยู่ และมีผู้ต้องการบริโภคแตงโมกันมาก

2.2 ไลโคพิน [5]

ไลโคพิน จัดเป็นสารในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ ที่พบกระจายอยู่ทั่วไปในร่างกายพบมากในผลไม้เชือกเทศสุก แตงโม และ พืชจำพวกส้ม มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ชนิดไม่เป็นวง (Acyclic carotenoid) ประกอบด้วยพันธะคู่ 11 ตำแหน่งปกติในธรรมชาติจะอยู่ในรูป trans-configuration แต่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็น cis-isomer ได้ นอกจากนี้ แคโรทีนอยด์ยังสามารถเกิดการรวมตัวกันเป็นวง (Cyclization) ได้เป็นแอลฟาและเบต้าแคโรทีน (Alpha และ Beta-carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ xanthophylls (Oxocarotenoids) ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ hydrogenated carotenoid derivatives [5]

2.2.1 การดูดซึม การเปลี่ยนแปลง และการกระจาย ของไลโคพีนในร่างกายมนุษย์

โดยปกติแล้วการดูดซึม (Uptake) ของไลโคพีนขึ้นกับหลายๆปัจจัย ซึ่งไลโคพีนที่ผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อน (Heat processed-lycopene) จะถูกดูดซึมได้ดีกว่าไลโคพีนในธรรมชาติ เนื่องจาก cis-isomer ถูกดูดซึมได้ดีกว่า all trans-form และ cis-isomer สามารถละลายและรวมตัวกับกรดน้ำดี (Bile acid micelle) ได้ดีกว่า all trans-form ซึ่งไลโคพีนพบกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อร่างกายมนุษย์ จะพบได้มากที่สุดในกระแสเลือดและอาจพบที่บริเวณอื่นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เช่น อัณฑะ ต่อมหมวกไต ตับ ต่อมลูกหมาก เต้านม ตับอ่อน และผิวหนัง

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของไลโคพีนที่พบในร่างกายมนุษย์ [5]

เนื้อเยื่อต่างๆ	ปริมาณไลโคพีน นาโนโมล/กรัม(น้ำหนักสด)
เนื้อเยื่อสะสมไขมัน (Adipose)	0.2 - 1.3
ต่อมหมวกไต (Adrenal)	1.9 - 21.6
เต้านม (Breast)	0.8
ลำไส้ (Colon)	0.3
ตับ (Liver)	1.3 - 5.7
ปอด (Lung)	0.2 - 0.6
รังไข่ (Ovary)	0.3
ต่อมลูกหมาก (Prostate)	0.8
ผิวหนัง (skin)	0.4
กระเพาะอาหาร (Stomach)	0.2
ลูกอัณฑะ (Testis)	4.3 - 21.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ผลของไลโคพีนต่อสุขภาพ [5]

ไลโคพีน เป็นสารที่สามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังได้หลายชนิด โดยเฉพาะโรคมะเร็งต่างๆ เนื่องจากไลโคพีนมีคุณสมบัติพิเศษในการต่อต้านอนุมูลอิสระ ในร่างกาย ซึ่งอนุมูลอิสระนั้นเป็นสาเหตุสำคัญอันหนึ่งของการทำลายสายดีเอ็นเอและนำไปสู่การเกิดโรคมะเร็งในที่สุด หรือที่เรียกกันว่า เป็นสาร แอนตี้ออกซิแดนท์ นั่นเอง ไลโคพีน มีสารที่มีฤทธิ์ที่ดีมากในการเป็น แอนตี้ออกซิแดนท์ ในร่างกาย ช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันชนิด Low density lipoprotein จึงสามารถป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัวได้ นอกจากนี้มีรายงานว่า การรับประทานมะเขือเทศหรือผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศเป็นประจำ จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งต่อมลูกหมาก ในผู้ชายได้ ถึง 21-35% แต่ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการศึกษาถึงกลไกสำคัญในการลดอัตราเสี่ยงดังกล่าว [5] สำหรับการศึกษาในสัตว์ทดลองมีรายงานว่าไลโคพีนสามารถยับยั้งการเกิดมะเร็งเต้านมและยับยั้งการเจริญแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งเยื่อบุหลอดลม รวมทั้งมีผลยับยั้ง insulin-like growth factor-I ซึ่งเป็นตัวควบคุมการเจริญแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งเต้านมและเยื่อบุหลอดลมดังกล่าว ดังนั้นไลโคพีนจึงเป็นสารที่ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างได้หลายชนิด รวมทั้งโรคมะเร็งต่างๆ ได้แก่ มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งในระบบทางเดินอาหาร มะเร็งถุงน้ำดี มะเร็งผิวหนัง มะเร็งเต้านม มะเร็งปากมดลูก โรคหลอดเลือดหัวใจ

นอกเหนือจากนั้นยังพบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายอันเนื่องมาจากออกซิเจนและอนุมูลอิสระ มีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วของการเกิดความแก่ (Aging process) และโรคเรื้อรังต่าง ๆ ในการพยายามชะลอความแก่และลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ไลโคพีนช่วยในการป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ชะลอความแก่ และป้องกันความผิดปกติของผิวหนังอันเนื่องมาจากแสงแดด เพราะนอกจากไลโคพีนเป็นสารต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ยังช่วยเพิ่มการสื่อสารระหว่างเซลล์ มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ เพิ่มการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกาย และเพิ่มภูมิคุ้มกันด้วย ไลโคพีนน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพราะไลโคพีนเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงหาซื้อมารับประทานได้ง่ายและราคาไม่แพง

2.3 เครื่อง Spectrophotometer

ปัจจุบันนี้ได้มีการนำเทคนิคหลายอย่างมาใช้สำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารที่เราสนใจ ซึ่งวิธี Spectrophotometry ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธีนี้ไม่ยุ่งยาก มีขั้นตอนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่มาก ในการวัดค่าจะวัดได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้หลักการของการดูดกลืนแสงเพื่อวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายนั้นๆ

2.3.1 Spectrophotometer [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ มีดังนี้

1. แหล่งกำเนิดรังสี (Source) แหล่งกำเนิดรังสีใน Spectrophotometer ที่นิยมใช้กันแพร่หลายมีดังนี้

1.1 หลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวทีเรียมความดันต่ำ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีต่อเนื่องที่ดีที่สุดตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 160-360 nm มีทั้งประเภทใช้ศักย์ไฟฟ้าสูง (2,200-6,600 โวลต์) และประเภทใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำ (ประมาณ 40 โวลต์) หลอดชนิดนี้ให้รังสีที่มีความเข้มสูงจนถึงความยาวคลื่นประมาณ 360 nm หลังจากนั้นความเข้มของรังสีจะลดลงอย่างรวดเร็ว

1.2 หลอดทังสเตน ประกอบด้วยหลอดทังสเตนอยู่ในหลอดสุญญากาศซึ่งให้รังสีที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ช่วง UV ใกล้ ช่วงแสงที่แลเห็นได้จนถึงช่วง IR

2. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) โมโนโครเมเตอร์เป็นชิ้นส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพของ Spectrophotometer ทำหน้าที่แยกลำรังสีที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องออกเป็นลำรังสีความยาวคลื่นเดียว ในช่วงแสงที่แลเห็นได้อาจใช้ปริซึมแก้ว ส่วนในช่วง UV จำเป็นต้องใช้ปริซึมที่ทำด้วยควอตซ์สำหรับ Spectrophotometer ที่มีราคาแพง มักใช้โมโนโครเมเตอร์แบบ diffraction grating ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีร่องเป็นจำนวนมากและความกว้างของร่องใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสี

3. อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ (Recorder) หลังจากทีลำรังสีความยาวคลื่นเดียวผ่านสารที่ต้องการวัดการดูดกลืนแล้ว จะไปตกที่อุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งให้ข้อมูลการดูดกลืน สำหรับ Spectrophotometers ราคาถูก ข้อมูลนี้จะปรากฏออกมาในรูปการป้ายเบนของเข็มบนหน้าปัดมิเตอร์ หรือปรากฏเป็นตัวเลขก็ได้ ในกรณีเช่นนี้ต้องบันทึกข้อมูลเหล่านี้สำหรับแต่ละความยาวคลื่นในกระดาษกราฟ เส้นที่เชื่อมจุดต่าง ๆ ก็คือสเปกตรัมสเปกตรัมนั้นเอง สำหรับ Spectrophotometer ที่สามารถเปลี่ยนความยาวคลื่นเองโดยอัตโนมัติ จะมีอุปกรณ์บันทึกสัญญาณอยู่ด้วย สามารถบันทึกออกมาเป็นสเปกตรัมได้โดยตรง Spectrophotometer ชนิดนี้มีราคาแพง

4. เซลล์บรรจุสารตัวอย่าง เนื่องจากแก้วธรรมดาดูดกลืนรังสีในช่วง UV จึงจำเป็นต้องใช้เซลล์ที่ทำด้วยควอตซ์แทน เซลล์ที่นิยมใช้มีความหนา 1.00 เซนติเมตร การรักษาความสะอาดเซลล์เป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับการวัดสเปกตรัม ไม่ควรปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยไปจนเหลือสารตัวอย่างติดอยู่กับเซลล์ ควรล้างเซลล์ให้สะอาดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์หรือน้ำกลั่นตามความเหมาะสม เช็ดผิวภายนอกเซลล์ด้วยกระดาษเช็ดเซลล์แล้วปล่อยให้แห้งในอากาศก็เป็นการเพียงพอไม่ควรใช้กรดโครมิกล้างเซลล์ ควรแยกเซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายของสารอินทรีย์ออกจากเซลล์ที่บรรจุสารอนินทรีย์ เพื่อให้ง่ายต่อการล้างทำความสะอาด เซลล์ควอตซ์นี้มีราคาแพงจึงควรเก็บรักษาไว้อย่างดีที่สุด

2.3.2 ชนิดของ Spectrophotometer [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังแบ่งสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทด้วยกัน

1. Single-Beam Spectrophotometer รังสีใน Spectrophotometer เป็นแบบ Spectronic 710 ซึ่งเป็น Spectrophotometer แบบลำรังสีเดี่ยว และสามารถวัดสเปกตรัมทั้งในช่วง UV และช่วง visible ได้ การทำงานเมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสี ซึ่งอาจจะเป็นหลอดดิวทีเรียมหรือหลอดทั้งสแตนแล้ว จะผ่านเลนส์กระจกต่าง ๆ โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น grating เลนส์ต่างๆ สารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ ตลอดเส้นทางของลำรังสีนี้มีลำรังสีเพียงลำเดียว จึงเรียกสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ว่าแบบลำรังสีเดี่ยว และเมื่อ grating หมุนทำมุมกับลำรังสีที่มาตกกระทบ ตัวเลขบนหน้าปัดของเครื่องจะแสดงว่าในขณะที่นั้นรังสีที่ผ่าน grating มีความยาวคลื่นเท่าใดเนื่องจาก Spectrophotometer ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัด ลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน เซลล์แรกบรรจุตัวทำละลายบริสุทธิ์ ส่วนเซลล์หลังบรรจุสารละลายที่ต้องการวัด ทุกครั้งที่วัดต้องให้ลำรังสีผ่านเซลล์แรก ปรับเครื่องให้อยู่ในตำแหน่ง “ศูนย์” แล้วจึงให้ลำรังสีผ่านเซลล์หลัง ความแตกต่างระหว่างการดูดกลืนรังสีของทั้ง 2 เซลล์จะปรากฏบนหน้าปัดมิเตอร์ ทำเช่นนี้เรื่อยไปสำหรับทุกความยาวคลื่นที่ต้องการวัดแล้วนำข้อมูลที่ได้อ่านบันทึกเป็นสเปกตรัมต่อไป ก่อนใช้ Spectrophotometer ประเภทลำรังสีเดี่ยว ควรใช้เวลาเครื่องมือได้ปรับตัวอย่างน้อย 15-20 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าหลอดดิวทีเรียมหรือหลอดทั้งสแตนให้รังสีที่มีความเข้มสม่ำเสมอ

2. Double-Beam Spectrophotometer รังสีใน Spectrophotometer เป็นแบบ Cary 219 ซึ่งใช้โมโนโครเมเตอร์แบบ doublepass ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ซึ่งในกรณีนี้เป็นแผ่นวงกลมซึ่งครึ่งหนึ่งเป็นโลหะและอีกครึ่งหนึ่งเป็นช่องว่าง อุปกรณ์นี้จะหมุนอยู่ตลอดเวลา เมื่อลำรังสีตกกระทบครึ่งวงกลมที่เป็นโลหะก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่ต่อมาลำรังสีจะผ่านครึ่งวงกลมที่เป็นช่องว่างและทะลุไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้ Spectrophotometer แบบลำรังสีคู่ ไม่จำเป็นต้องอุ่นเครื่องนานเหมือนเครื่องแบบลำรังสีเดี่ยว ทั้งนี้เพราะไม่ว่าแหล่งกำเนิดรังสีจะให้ความเข้มสูงหรือต่ำเพียงใด ลำรังสีที่สองที่อุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกคงมีความเข้มเท่ากันเสมอ นอกจากนี้ Spectrophotometer ประเภทนี้มักจะมีอุปกรณ์บันทึกสัญญาณติดอยู่ด้วยและสามารถเปลี่ยนความยาวคลื่นไปตลอดเวลาพร้อมกับบันทึกสเปกตรัมในเวลาเดียวกัน เครื่องแบบนี้จึงมีราคาค่อนข้างแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 UV-Visible Spectroscopy [13]

UV-Visible Spectroscopy เป็นการวัดพลังงานที่ดูดกลืนเข้าไปเมื่ออิเล็กตรอนถูกเลื่อนไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น (electronic transition) เนื่องจากเป็นปรากฏการณ์เร้าอิเล็กตรอน บางครั้งจึงเรียก UV-Visible Spectroscopy ว่า Electronic Spectroscopy โดยปกติช่วง UV จะมีความยาวคลื่นประมาณ 10-380 nm แต่การวิเคราะห์โดย UV Spectrum จะใช้ความยาวคลื่นในช่วง 200-380 nm ซึ่งเรียกว่า "Near-Ultraviolet Region" ในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 200 nm อากาศจะดูดกลืนรังสีในช่วงนี้จึงต้องวัด spectrum ภายใต้สุญญากาศ จึงเรียกความยาวคลื่นของ UV ในช่วงนี้ว่า "Vacuum-Ultraviolet Region" ส่วนความยาวคลื่นที่เราสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือเรียกว่า "Visible Region" จะเป็น spectrum ของในช่วงประมาณ 380-780 nm ซึ่งจะปรากฏให้เห็นเป็นสีต่างๆ

2.4 ความหวาน (sweetness)

สารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ที่รู้จักกันดีและใช้กันทั่วไป คือ น้ำตาล ซึ่งมีหลายชนิด เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส และมอลโตส เป็นต้น [14] และน้ำตาลที่พบมากในผักผลไม้ก็คือ น้ำตาลฟรุคโตส (Fructose) ซึ่งแดงโมจัดอยู่ในกลุ่มของผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสสูง (ประมาณ 3.4 กรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อแดงโม [15] ฟรุคโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เป็นองค์ประกอบของน้ำตาลทราย (Sucrose) โดยน้ำตาลทรายหนึ่งโมเลกุลประกอบไปด้วยฟรุคโตส และกลูโคสอย่างละหนึ่งโมเลกุล เหมาะสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน เด็ก และบุคคลทุกวัย ผลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มไม่มากเท่ากับแป้ง หรือน้ำตาลทรายในพลังงานที่เท่ากัน จึงอาจมีประโยชน์ในการให้ความหวานแก่ผู้ป่วยโรคเบาหวาน แต่หากรับประทานในจำนวนมาก เช่น ร้อยละ 20 ของพลังงาน อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อระดับ cholesterol และ Low density lipoprotein (LDL) ในเลือดได้ [16] สมาคมแพทย์เบาหวานอเมริกันแนะนำว่า น้ำตาลฟรุคโตสสามารถใช้ได้ในผู้ป่วยเบาหวาน แต่ก็ต้องใช้ในปริมาณที่ไม่มากนัก และยังคงต้องศึกษาผลต่อระดับไขมันในเลือดต่อไป ดังนั้นแดงโมจึงเป็นผลไม้ที่ผู้ป่วยโรคเบาหวานยังพอบริโภคได้

2.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้[17]

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดใช้บอกความเข้มข้นของอาหารเหลว เช่น น้ำเชื่อม น้ำผลไม้เข้มข้น

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ในน้ำคั้นจาก ผัก ผลไม้ เป็นผลรวมของ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโตส กรดอินทรีย์ เช่น

กรดซิตริก กรดแลคติก และแร่ธาตุต่างๆสามารถใช้ เป็นดัชนีวัดความแก่อ่อน (maturity index) ของผักผลไม้

การวัดค่าในน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น อนุโลมให้ใช้ การวัดค่า Brix ด้วย refractometer เป็นค่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ refractometer เป็นการวัดการหักเหของแสงผ่านสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

2.6 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี [18]

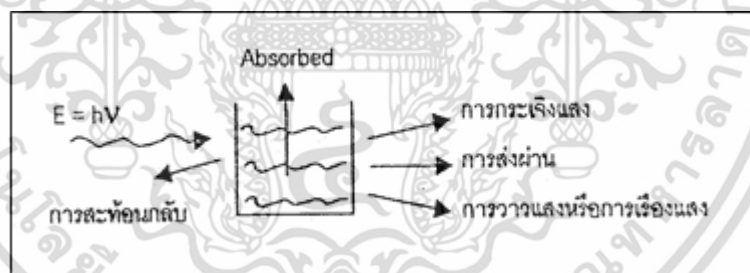
เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการอันตรกิริยา (Interaction) เมื่อคลื่นเนียร์อินฟราเรด (ความยาวคลื่นระหว่าง 700-2500 nm) ที่ส่องไปยังวัสดุ เช่น ผลผลิตทางเกษตรและอาหาร ทำให้พันธะทางเคมีภายในวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธะ O-H, C-H และ N-H ของวัสดุ ดูดซับคลื่นและทำให้เกิดอาการสั่นสะเทือนของพันธะ โดยการเปลี่ยนระดับพลังงานข้ามชั้นมากกว่า 1 ชั้น (Overtone) หรือเกิดจากการสั่นสะเทือนข้าม 1 ชั้น (Fundamental vibration) พร้อมกันของพันธะตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป ทำให้ได้ผลรวมของการสั่น (Combination vibration) เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งมีแหล่งแสงที่ให้ช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรดปกติเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen) ตัวตรวจวัด (Detector) ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำจากสารต่างๆ ไม่เหมือนกันขึ้นกับช่วงคลื่นที่ต้องการตรวจวัด เช่น ช่วงคลื่น 350-1100 nm ใช้ Si (Silicon) ช่วง 1100-2500 nm ใช้ PbS (Lead sulphide) หรือ InGaAs (Indium Gallium Arsenide) ช่วงแสงที่มองเห็นได้และช่วงเนียร์อินฟราเรด (400-2600 nm) ใช้ PbS ควบคู่ (Sandwiched) กับ Silicon photodiodes วิธีการจัดวางตัวอย่างเพื่อการสแกนด้วยสเปกโตรมิเตอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีสะท้อน (Reflectance) เป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดวางตัวอย่าง เมื่อแสงส่องไปยังวัตถุแล้วแพร่ลงไปใต้อวัตถุบางส่วนแล้วสะท้อนกลับขึ้นมาสู่ตัวตรวจวัด บางทีเรียกว่า การสะท้อนแบบแพร่ (Diffused reflectance) โดยมีแหล่งแสงและตัวตรวจวัดอยู่ด้านล่าง ในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกในการใช้สายไฟเบอร์ออปติก การวัดสะท้อนจากวัตถุจึงเป็นแบบ Interactance ซึ่งมีสายไฟเบอร์ออปติกที่เป็นตัวนำคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุกลับไปยังตัวตรวจวัด ซึ่งอยู่ใกล้กัน เรียกว่า Interactance-Reflectance ได้ วิธีส่องผ่านคลื่นไปในตัวอย่าง ก่อนที่จะรับแสงที่ผ่านออกมาไปวิเคราะห์ เรียกว่า วิธีส่องผ่าน (Transmittance) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กับของเหลว นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับของแข็ง เช่น กรณีของผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ FQA NIR Gun (Shizuoka Shibuya Seiki, Japan) ซึ่งปกติเป็นแบบสะท้อนให้เป็นวิธีส่องผ่าน โดยใช้ Gold cup นอกจากนี้ยังมีการวัดแบบส่องผ่านสะท้อน (Transflectance) เป็นการส่งคลื่นผ่านตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติเป็นของเหลวที่อยู่ในภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียมที่มีความลึกลงๆ เมื่อคลื่นกระทบพื้น อะลูมิเนียมจะสะท้อนผ่านตัวอย่างขึ้นมาเข้าสู่ตัวตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมจะมีค่าพิก ส่วนใหญ่เป็นพิกกว้าง (Broad spectrum) บางทีมีพิกกว้างที่มีความเข้มสูง เนื่องจากการซ้อนทับกัน (Overlapping bands) บางทีอาจจะเห็นพิกที่คมชัด (แต่น้อย) สเปกตรัมของวัสดุเกษตรและอาหารส่วนใหญ่มีพิกของน้ำเป็นพิกใหญ่และกว้างที่บริเวณ 760, 970, 1450 และ 1940 nm ลักษณะของสเปกตรัมเช่นนี้ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้หลักทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพหรือสมบัติอื่นที่ต้องการวิเคราะห์ (เช่น ไขมันในปลา ความหวานของผลไม้ สมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร ปริมาณเนื้อเยื่อแห้งของน้ำยาง เป็นต้น) กับข้อมูลของสเปกตรัม ซึ่งเรียกว่าข้อมูลเชิงแสง (Optical data) เพื่อประมาณค่าองค์ประกอบหรือสมบัติที่ต้องการ

2.7 หลักการพื้นฐานของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ [19]

หลักการของสเปกโตรสโกปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (Absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (Transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (Reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (Scattered) ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ [19]

กฎการดูดกลืนแสง

มีกฎการดูดกลืนแสงที่สำคัญมาก 2 กฎ ในกระบวนการสเปกโตรสโกปี ได้แก่ กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) และกฎของบีเยร์ (Beer's law)

1. กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) มีใจความว่า “เมื่อมีแสงเดี่ยว (monochromatic light) ซึ่งคือแสงที่มีความยาวคลื่นเดี่ยวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กฎของเบียร์ (Beer's law) มีใจความว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

เมื่อเราวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกเป็นกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law) และเขียนเป็นรูปสมการได้ดังสมการที่ 2.1

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad (2.1)$$

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (2.2)$$

$$\%A = 100 - \%T \quad (2.3)$$

เมื่อ : A = การดูดกลืนแสงของวัสดุที่นำมาทดสอบ
 I_0 = ความเข้มของแสงที่ไม่มีการดูดซับ
 I = ความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านวัสดุที่นำมาทดสอบ
 ϵ = molar absorptivity or molar extinction coefficient, cm^2/mole
 b = ระยะของการดูดซับ cm
 c = ความเข้มข้นของวัสดุที่นำมาทดสอบ, mole/L
 T = light transmission (Transmittance) ของวัสดุที่นำมาทดสอบ

โมเลกุลของสารแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลต่างกัน นอกจากนี้ในแต่ละโมเลกุลจะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นมากกว่า 1 ช่วง เช่นโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ที่มีมากในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น 4 ช่วง คือ 760, 970, 1450 และ 1940 nm ดังนั้นถ้าทำการทดสอบที่ช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวจะสามารถหาความสัมพันธ์ของน้ำภายในตัวอย่างได้ [19]

2.8 การปรับแต่ง NIR Spectra ก่อนการวิเคราะห์ (Pretreatment of spectral data) [20]

2.8.1 การลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

เครื่องมือทั่วไป ที่ใช้วัดสเปกตรัมของรังสีย่าน NIR จะถูกออกแบบให้มีความคลาดเคลื่อนต่ำ ในการวัดค่า $\log(1/R)$ และค่าความยาวคลื่น อย่างไรก็ตามสัญญาณสเปกตรัมที่วัดได้บางครั้งจะมี

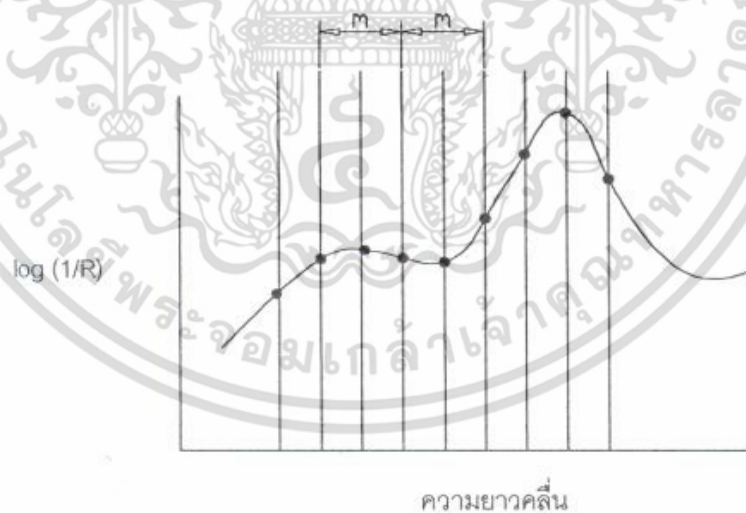
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแทรกเข้ามา ส่งผลให้สเปกตรัมไม่เรียบ มีวิธีการหลายวิธีที่ทำให้สัญญาณเรียบต่อเนื่อง ซึ่งจะกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสเปกตรัมได้ วิธีเบื้องต้นที่ช่วยลดสัญญาณรบกวนจะกระทำได้โดย การวัดสเปกตรัมหลายๆครั้ง โดยนำตัวอย่างมาสแกนหลายๆครั้ง และใช้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม

สำหรับวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้ลดสัญญาณรบกวนนอกเหนือจากวิธีเบื้องต้นดังกล่าวที่นิยมใช้ คือ

2.8.1.1 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 2.3 ในภาพเลือก $m = 2$ ซึ่งจะได้ $n = (2 \times 2) + 1 = 5$ จุด การเฉลี่ยเริ่มจากการนำค่า $\log(1/R)$ ของทั้ง 5 จุดมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยมาสร้างสเปกตรัมใหม่โดยในช่วงความยาวคลื่นแรก (ความยาวคลื่นแรกถึงความยาวคลื่นที่ 5) โดยนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวมาเป็นค่าสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นที่ 3 หรือความยาวคลื่นที่จุดศูนย์กลางช่วง ต่อจากนั้นจะเลื่อนช่วงไปทางขวา 1 จุด แล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ข้อมูลสเปกตรัมที่สร้างขึ้นใหม่ในที่สุด จะมีจำนวนข้อมูลช่วงเริ่มต้นหายไป m ข้อมูล และช่วงท้ายหายไป m ข้อมูล



ภาพที่ 2.3 จำนวนจุดทั้งสองด้าน ($m = 2$, $n = 5$) ของการเฉลี่ย [20]

2.8.1.2 Savitzky-Golay smooth

เป็นวิธีที่ทำให้สัญญาณสเปกตรัมเรียบที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งจะเลือกใช้ในกรณีที่

1. ข้อมูลมีสัญญาณรบกวนมากไม่เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้องการทำให้สัญญาณเรียบและยังคงรูปร่างของสเปกตรัมเหมือนกับที่เริ่มต้น
3. เมื่อรูปร่างของสเปกตรัมมียอดแหลมเป็นจำนวนมาก

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

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่จะพบว่า การใช้วิธี Savitzky-Golay จะยังคงรักษาขนาดของยอดแหลมในสเปกตรัมให้มีขนาดเท่ากับสเปกตรัมเริ่มต้น ไม่ว่าจะเป็ดยอดแหลมที่มีฐานกว้างหรือฐานแคบก็ตาม

2.8.2 การลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าสเปกตรัม

2.8.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสเปกตรัม

ปัจจัยหลักๆที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวต่อสเปกตรัมคือ ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง (Particle size) และความชื้นในตัวอย่าง (Moisture content) โดยปัจจัยทั้งสองจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกระเจิงแสง (Scattering) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้แสงเปลี่ยนทิศทาง อันเป็นผลจากการสะท้อนแสง การหักเห หรือการเบี่ยงเบนแสง แสงที่เกิดการกระเจิงจะไม่ทะลุทะลวงลึกลงไปในตัวอย่งมาก และจะสะท้อนกลับมาที่ผิวของตัวอย่างโดยแทบจะไม่มีข้อมูลการดูดกลืนแสง การกระเจิงแสงจะเกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีอนุภาคเล็กๆนอกจากนั้นแล้วการกระเจิงแสงยังขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงด้วย เนื่องจากความเร็วของแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันจะไม่เหมือนกันเมื่อผ่านลงไปในตัวอย่งเดียวกัน ซึ่งทำให้เห็นสเปกตรัมได้รับผลกระทบจากขนาดอนุภาคที่แตกต่างไม่เท่ากันตลอดความยาวคลื่น โดยสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นสูงจะแตกต่างกันมากกว่าสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นต่ำ

2.8.2.2 วิธีการลดผลจากปัจจัยที่มีต่อสเปกตรัม

สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงในย่านเนียร์อินฟราเรด เป็นสเปกตรัมที่มีการเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ (Overlapping band) ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงควรนำไปปรับแต่งด้วยวิธีการทาง

คณิตศาสตร์ก่อน เพื่อปรับสเปกตรัมให้มีความเด่นชัดมากขึ้น และลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง วิธีการที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

1. Derivative transformation

การหา Derivative ของสเปกตรัมเป็นวิธีที่ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัม

1.1 First derivative

โดยการคำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง สัญญาณที่มีความชันจะถูกเน้นมากกว่าสัญญาณที่ค่อนข้างแบนราบ วิธีนี้จะถูกใช้เน้นลักษณะที่ชัดเจน แต่มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่มีแถบการดูดซับคลื่นที่กว้าง การประยุกต์ใช้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การประเมินแถบการดูดซับคลื่นที่กว้างนี้ มักจะทำในเทคโนโลยี NIR โดยการคำนวณอนุพันธ์ โครงสร้างเหล่านี้จะมีรูปร่างที่สูงชันขึ้น ซึ่งสามารถได้รับการประเมินได้ง่ายขึ้น

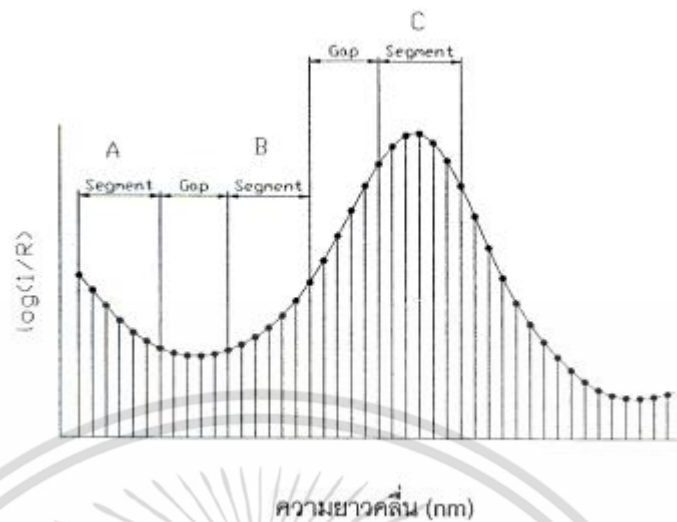
เมื่อใช้อนุพันธ์เป็นการจัดการข้อมูลเบื้องต้น จะต้องคำนึงถึงว่าสัญญาณรบกวนจะถูกจัดการเช่นกัน สิ่งนี้จะซ้อนทับบนสเปกตรัมเป็นสิ่งรบกวนเพิ่มเติม และสามารถทำให้สัญญาณของตัวอย่างเลวลง [21]

การคำนวณ Derivative หรือ ความชันของสเปกตรัมสามารถทำได้ดังสมการ 2.4

$$\begin{aligned} \text{First derivative} &= \text{Slope} \\ &= B-A \end{aligned} \quad (2.4)$$

โดยที่ A และ B คือค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของส่วน (Segment) ที่มีช่วงเท่ากัน และอยู่ติดกัน

ในการคำนวณต้องกำหนดขนาดของส่วน และช่อง (Gap) ก่อน ซึ่งส่วน คือขนาดของความยาวคลื่นที่ทำการเฉลี่ยให้ได้ค่าใหม่เพื่อเป็นตัวแทนขึ้นมาหนึ่งจุด แล้วทำการข้ามช่วงความยาวคลื่นไปเท่ากับขนาดของช่อง เพื่อเริ่มนับจุดแรกในการคำนวณส่วนต่อไป ตัวอย่างดังในภาพที่ 2.3 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 และมีการกระจายกระจายของอนุภาคสม่ำเสมอทั่วถึง นอกจากนั้นแล้ว First derivative ของสเปกตรัมจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น



ภาพที่ 2.4 Segment size และ Gap size ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative [20]

1.2 Second derivative

เป็นการคำนวณผลลบของค่าที่ได้จาก First derivative ที่ติดกันนั่นเอง หรือเป็นที่รู้จักกันว่า เป็นการคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัม [20] เมื่อเทียบกับ First derivative แม้โครงสร้างที่ราบเรียบมากๆสามารถประเมินได้ ผลการรบกวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปมีมากจนทำให้สเปกตรัมถูกวิเคราะห์ในช่วงสเปกตรัมที่จำกัดมากๆ [21]

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

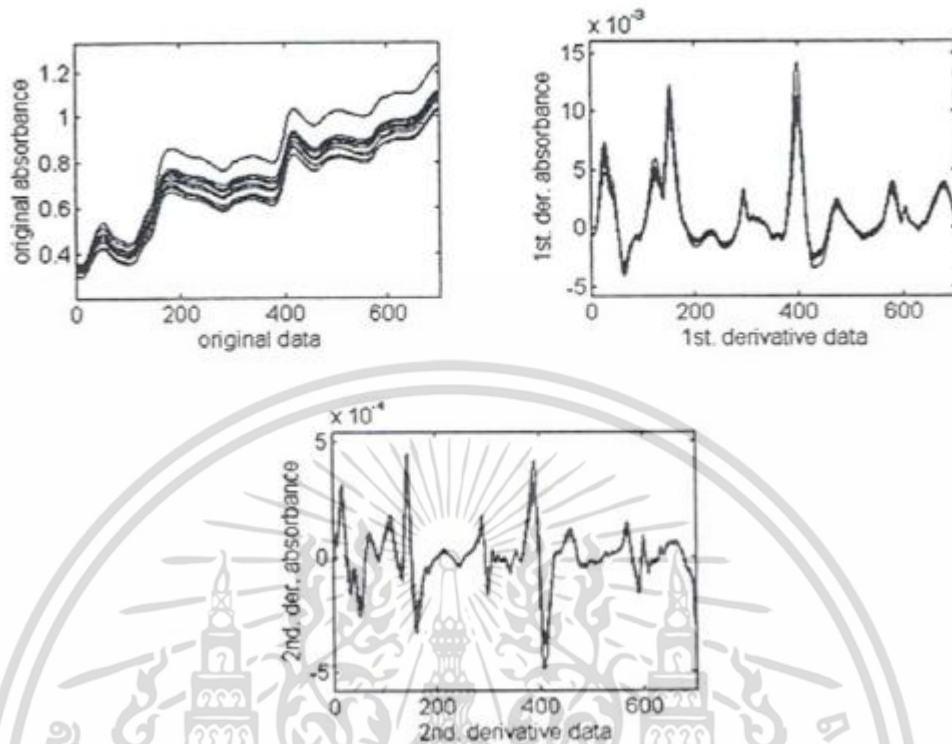
ซึ่งเขียนแทนด้วย
$$d^2 \log(1/R) \quad (2.5)$$

สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{Second derivative} &= \text{change in slope} \\ &= \text{First derivative แรก} - \text{First derivative ถัดมา} \\ &= (C-B) - (B-A) \\ &= C-2B+A \end{aligned} \quad (2.6)$$

โดยที่ A, B และ C เป็นค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของส่วนที่อยู่ติดกันและมีช่วงเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 First Derivative และ Second Derivative เปรียบเทียบกับสเปกตรัมเดิม [20]

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 แม้ว่ากลับหัว

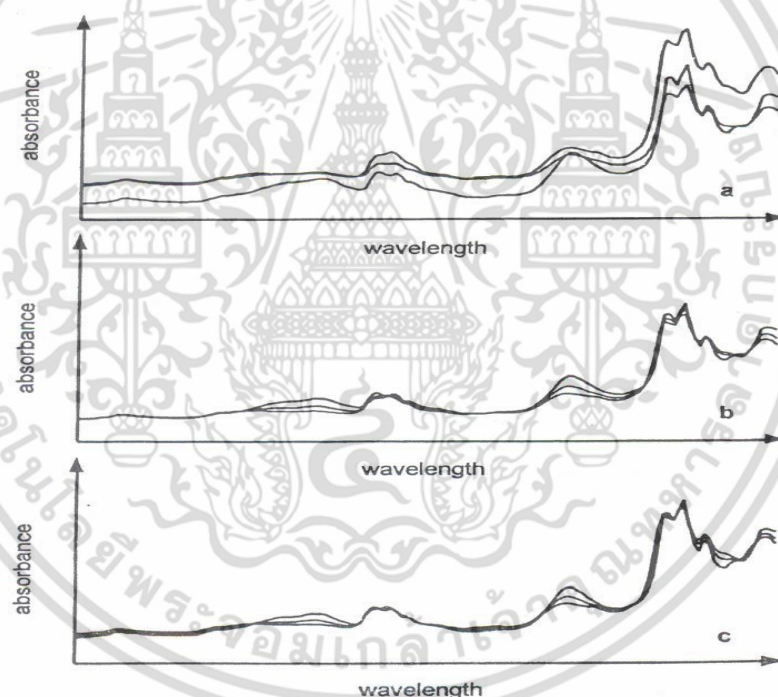
2. Multiplicative Scatter Correction (MSC)

เป็นวิธีการที่ช่วยลดผลจากการกระเจิงของแสง (Scattered light) ต่อ NIR สเปกตรัม ที่ได้จากการวัดแบบ diffuse reflectance และแบบ transmission โดยทั่วไปการกระเจิงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงทำให้ความชันของสเปกตรัมโดยรวมเปลี่ยนไป เปรียบเสมือนกับว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุด (Multiplicative effect)

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

การใช้วิธี MSC ให้ผลต่อรูปร่างของสเปกตรัมแตกต่างจากการใช้วิธี Second Derivative อย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าผลของการปรับแก้จะเป็นไปในแนวเดียวกันในการวิเคราะห์ โดยรูปร่างของสเปกตรัมหลังการใช้วิธี MSC แล้วจะมีรูปร่างไม่แตกต่างจากการปรับแก้มาก ในขณะที่รูปร่างของสเปกตรัมหลังจากวิธี Second Derivative จะแตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้นอย่างชัดเจน การใช้วิธี MSC จะให้ผลได้ดีที่สุดถ้ามีการปรับแก้การเลื่อนตัว (Base line shift) ของสเปกตรัมก่อน



ภาพที่ 2.6 การปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้ MSC (a คือ raw spectral data หลังจากการเพิ่มโดยสุ่มขนาดตัวอย่างที่มี pathlengths แตกต่างกัน, b คือ original spectra, c คือ สเปกตรัมที่ถูกปรับแต่งหลังการทำ MSC) [21]

3. การลบโดยค่าคงที่ (Subtraction of a Constant Offset): สเปกตรัมจะถูกปรับแบบเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน เป็นการกำจัดปัญหาการขยับขึ้นของเบสไลน์ (Baseline Shift) เซึ่งเส้น สิ่งเหล่านี้เกิดจากเช่น จากค่าที่แตกต่างกันของการขยายสัญญาณของดีเทคเตอร์ (Detector Amplification) [21]

4. การลบโดยเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line): ในแต่ละช่วงความถี่ที่เลือกไว้ เส้นตรงเส้นหนึ่งจะถูกพิตเส้นสเปกตรัมโดยใช้วิธีวิธี partial least squares (PLS) เส้นตรงเส้นนี้จะถูกลบออกจากสเปกตรัมดังกล่าว

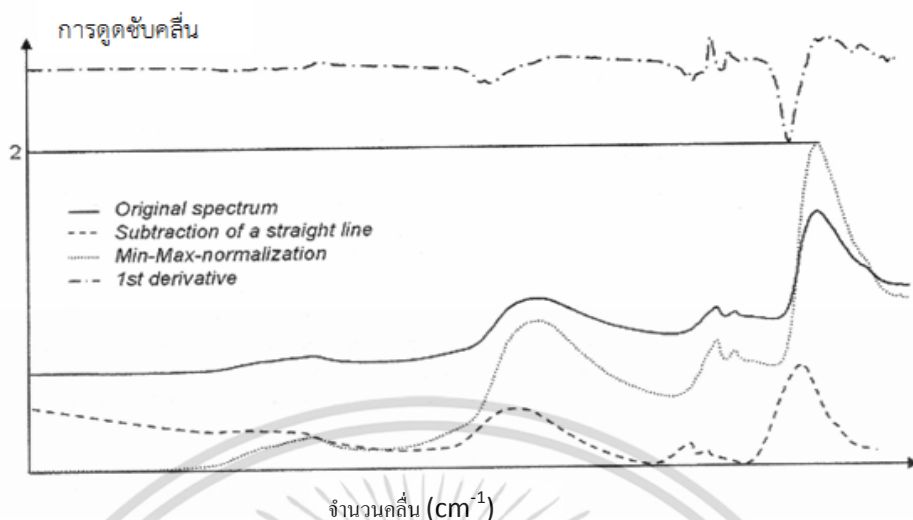
การใช้งานกำจัดปัญหาความเอียงเชิงเส้นของการขยับขึ้นของเบสไลน์ : (ดูรูปภาพที่ 2.7) [21]

5. Vector Normalization: ขั้นแรกสเปกตรัมจะถูกหาค่าเฉลี่ยแล้วนำค่าเฉลี่ยนั้นมาลบออกจากทุกๆจุดในสเปกตรัมจะได้สเปกตรัมใหม่เรียกว่า Center spectrum จากนั้นนำแต่ละจุดบน Center spectrum มายกกำลังสองแล้วนำค่าที่ยกกำลังสองของทุกๆจุดมารวมกัน แล้วหาค่ารากที่สองของผลรวมนี้ สิ่งนี้เรียกว่า norm จากนั้นนำค่าที่หารากที่สองแล้วมาหารแต่ละจุดบน Center spectrum ขั้นตอนนี้เรียกว่า Normalization และจะได้สเปกตรัมใหม่เรียกว่า Vector Normalization Spectrum

การใช้งานในหลักการ : สเปกตรัมจะประกอบด้วยสองส่วนของข้อมูล คือความสูงของแถบการดูดซับและโครงสร้าง หลังจากการนอร์มัลไลเซชัน ข้อมูลความสูงจะหายไป; มีเพียงโครงสร้างข้อมูลยังคงอยู่ การนอร์มัลไลเซชัน ถูกใช้เพื่อ การกำจัดผลกระทบของเส้นทางผ่านเชิงแสง (Optical Path Length) ที่แตกต่างกัน ในกรณีของการวัดแบบส่องผ่าน ความยาวของเส้นทางผ่านเชิงแสงทำให้ความสูงของสัญญาณเปลี่ยนแปลง แต่โครงสร้างยังเหมือนเดิม ในทำนองเดียวกันการวัดแบบสะท้อนแบบแพร่จะมีผลกระทบของการรบกวนเนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุแตกต่างกันหรือขนาดอนุภาคแตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ก็จะลดลง[21]

6. Min-Max-Normalization (สำหรับสเปกตรัมการดูดซับคลื่น:(สเปกตรัมจะถูกขยับเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วสเปกตรัมจะถูกขยายเพื่อให้ค่า Y สูงสุดเท่ากับสองหน่วยของการดูดซับคลื่น (ภาพที่ 2.7)

การใช้งานเทียบได้กับ : Vector Normalization



ภาพที่ 2.7 NIR สเปกตรัมของมือคน; วัตถุประสงค์การสะท้อนแบบแพร่ [21]

ภาพที่ 2.7 แสดงให้เห็นอิทธิพลของวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นแบบต่างๆต่อลักษณะของ NIR-สเปกตรัม (การวัดมือคนด้วยหัววัดไฟเบอร์ออปติก) สเปกตรัมเดิมแสดงให้เห็นการขจัด (Offset) เล็กน้อยของเบสไลน์ เช่นเดียวกับการขยับขึ้น (Drift) การขยับขึ้นนี้สามารถถูกกำจัดโดยการลบออกจากเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line) (เส้นประ) และการขจัดถูกกำจัดโดยการ Min-Max Normalization (เส้นจุด) อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของเส้นสเปกตรัมเดิม (เส้นประ-จุด) ถูกขยายเพื่อแสดงให้ดูง่ายและขยับขึ้นสู่ตำแหน่งที่ค่าการดูดซับคลื่นสูง สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างที่แหลมขึ้นมาได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมเดิม [21]

2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR [23]

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR ประกอบไปด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนหลักเป็นอย่างน้อย คือ

1. ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (Calibration)
2. ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (Validation) ในการทำ Calibration ก็เพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ ต่อจากนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ Calibration มาตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการทำนายคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่าการทำ Validation หรือ Verification เพื่อทดสอบสมการที่ได้ว่ามีความเหมาะสม หรือแม่นยำเพียงใด เมื่อได้ผลทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงจะนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIR ที่ทำการวัดมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 ขั้นตอนการทำ Calibration

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลมาแล้วแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ คือ

2.9.1.1 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

2.9.1.2 การสร้างสมการ Calibration

ในการสร้างสมการนั้นสิ่งสำคัญคือ การหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์คุณภาพ การคัดเลือกหาตัวแปรอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก คือ

1. Wavelength selection เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์เทคนิคในการเลือกมีหลายแบบเช่น

1.1 เลือกจากความรู้ความชำนาญ หรือเอกสารอ้างอิงที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่นที่คาดว่าจะสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์

1.2 อาจจะใช้เทคนิคทางสถิติในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ เช่น Multiple regression หรือการสร้าง correlativegram โดยการสร้าง correlativegram 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 เป็นการเลือกใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่สัมพันธ์กับค่าที่ต้องการวิเคราะห์เพียงความยาวคลื่นเดียว ซึ่งทำให้ค่า correlation ที่ได้มีค่าต่ำจึงไม่นิยมนำมาใช้ในการสร้างสมการ calibration

Multiple Linear Regressions (MLR) เป็นวิธีการใช้ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่า 1 ตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) ซึ่งเป็นค่าตัวแปรที่ได้จากวิธีอ้างอิง 1 ตัว จะทำให้สมการที่ได้ลดความผิดพลาดในการประมาณค่าลงได้ หากพิจารณาในเรื่องการใช้เทคนิค NIRS ในการหา

ความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างก็หมายถึงการพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่หลายความยาวคลื่นนั่นเอง สมการ regression คือ

$$\text{สมการ regression} \quad y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (2.7)$$

$$\text{model regression} \quad Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + e \quad (2.8)$$

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 (Over estimation) 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 จะมีได้หลายปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมีน้ำหนักแตกต่างกัน แต่ค่าสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นปัจจัยนั้นๆ ปัจจัยแรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด ปัจจัยที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือ ซึ่งทำให้ปัจจัยแต่ละปัจจัยแทบจะไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน (Non-Collinearity) ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เมื่อทำการหาปัจจัยเรียบร้อยแล้ว นำปัจจัยที่ได้มาทำ Regression กับค่าทางเคมี โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้ได้ค่า Chemical loading หรือ Calibration coefficient

Partial Least Square (PLS) Regression เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปร เช่นเดียวกับวิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการถดถอยของสมการทำนาย ซึ่งใน PLS ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีการนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาคิดในกระบวนการหาปัจจัยด้วย ซึ่ง Kasemsamran, 2005 [24] ได้ อธิบายถึง PLS ว่าเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรหลายตัวแปร โดยการสร้างปัจจัยแบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้น และนำปัจจัยที่ได้ไปใช้ในการสร้างสมการถดถอย โดยปัจจัยที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธีสถิติ PLS ต้องสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล และเกี่ยวข้องกับค่าทางเคมีในเวลาเดียวกัน วัตถุประสงค์ของ PLS เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัม ให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับการทำนายค่าทางเคมีที่สนใจเท่านั้น เพื่อให้สามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

2.9.2 ขั้นตอนการทำ Validation

หลังจากที่ได้สร้างสมการแล้ว ต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของสมการนั้น ก่อนนำไปใช้งานจริง ซึ่งการทดสอบสมการที่นิยมมี 2 วิธี คือ

2.9.2.1. Full cross validation

เป็นการทดสอบสมการภายใน ความหมายคือ 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)

2.9.2.2 การทดสอบผลการประเมิน (Prediction testing)

วิธีนี้จะทดสอบสมการแบบภายนอก โดยการเตรียมตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลอง เช่นเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาทดลองสมการนี้ว่า ชุดทดสอบ (Testing set) ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่าหนึ่งตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) สิ่งที่ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระวางคือ ปริมาณค่าทางเคมีที่ใช้ทดสอบต้องอยู่ในช่วงมาตรฐาน หลังจากได้สเปกตรัมจากชุดทดสอบก็นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณค่าทางเคมีจากสมการ จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้จากค่าทางสถิติ ซึ่งค่าทางสถิติที่ควรพิจารณาคือ ค่า Bias ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธี NIR กับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง และค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) หรือค่า Standard Error of Prediction (SEP) ซึ่งแสดงสมการในหัวข้อ 2.11 [23]

2.10 เทอมที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของโมเดล [25]

สถิติที่ใช้ในการประเมินค่า NIRS calibration

2.10.1 ค่าเฉลี่ย (The mean)

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

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2.9)$$

2.10.2 Standard deviation (SD)

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

$$SD_x = \{(\sum X^2 - [(\sum X)^2/N]) / (N-1)\}^{1/2} \quad (2.10)$$

2.10.3 Coefficient of variability (CV %)

CV คือ SD ของประชากร $\times 100$ หารด้วยค่าเฉลี่ยของประชากร แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$CV = (SD \times 100) / \text{Mean } X \text{ (หรือ } Y) \quad (2.11)$$

ค่า CV แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์

ค่า Coefficient of variability (CV %) ถูกแสดงออกมาในเทอมของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า CV นี้สัมพันธ์ ค่า SD กับ ค่าเฉลี่ย และยังแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ของความแปรปรวนในกลุ่มประชากรซึ่ง

เป็นอิสระจากหน่วยที่ใช้ในการวัด ตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นตัวอย่างในการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %) ของตัวแปร

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %) [25]

ลำดับ	ค่าปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวสาลี	ค่าสถิติ	ค่าที่ได้
1	9.7	N	12
2	11.9	Mean	13.08
3	17.3	$\sum X$	157.0
4	14.2	$\sum X^2$	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		

2.10.4 Bias (ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และข้อมูลที่อ้างอิง)

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

สูตรสำหรับการคำนวณ Bias คือ

$$\text{Bias} = (\sum X/N) - (\sum Y/N) \quad (2.12)$$

เมื่อ X = ค่าอ้างอิง และ Y = ค่าที่ได้จากการทำนาย โดย NIRS สามารถเป็นบวกหรือลบก็ได้

2.10.5 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) แสดงระดับ ซึ่งข้อมูล 2 เซต (ข้อมูลตัวเลข X และ Y) สอดคล้องซึ่งกันและกัน ความสอดคล้องที่สมบูรณ์จะไม่มี ความแตกต่างกันเลยระหว่าง 2 เซตข้อมูล ผลของค่า r จะเท่ากับ 1.00 (ในทางปฏิบัติ นั้นเป็นไปได้) X และ Y อาจจะมี ความสัมพันธ์เป็นเชิงบวกหรือลบก็ได้

สูตรสำหรับการคำนวณ r คือ

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

2.10.6 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R²)

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ r² จะเป็นบวกเสมอ โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ r ผลประโยชน์ในทางปฏิบัติ r² ให้ข้อมูลมากกว่า r และใช้กันมากกว่า r การแปลความหมายของค่า r และ r² อยู่ในตาราง 2.4

2.10.7 Regression coefficient (b) และ intercept (a)

สัมประสิทธิ์ Regression, b_{yx}, (ยังเรียกว่า slope อีกด้วย) และจุดตัด a แสดงถึงระดับที่ค่า y ถูกทำนายจากค่า X ในความสัมพันธ์ที่สมบูรณ์ระหว่าง X และ Y (ซึ่งทั้ง X และ Y เป็นข้อมูลชนิดเดียวกัน เช่น ปริมาณโปรตีนที่ทำนายโดย NIRS และโดยวิธีอ้างอิง) ค่า r และ b จะเท่ากับ 1.000 และ a เท่ากับ 0.000 แต่เนื่องจากว่าไม่สามารถหลีกเลี่ยงค่า error ได้ ดังนั้น b อาจจะมีมากกว่าหรือน้อยกว่า 1.000 และ a จะต่างจาก 0

ตารางที่ 2.4 การแปลความหมายของค่า r และ r² [25]

ค่าของ r	r ²	การแปลความหมาย
Up to +/-0.5	Up to 0.25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
+/-0.51-0.70	0.26-0.49	เป็นความสัมพันธ์ที่แย่มาก 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 มีค่าเป็นไปได้อันค่าบวกและค่าลบอีกด้วย

สูตรในการคำนวณ b คือ

$$\frac{(\sum X \times Y) - [(\sum X \times Y)/N]}{\{\sum Y^2 - [(\sum Y)^2/N]\}} = \frac{r \times SD_y}{SD_x} \quad (2.14)$$

สูตรในการคำนวณ a คือ

$$a = \bar{Y} - (b \times \bar{X}) \quad (2.15)$$

2.10.8 การแจกแจงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และค่าอ้างอิง

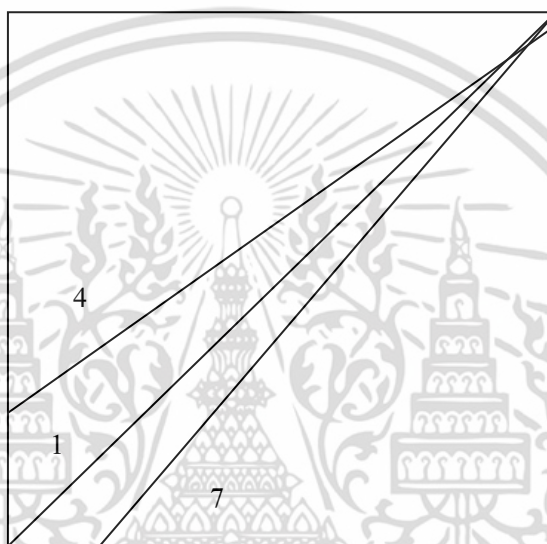
รูปแบบหรือการแจกแจงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนาย NIRS และค่าอ้างอิง ควรจะศึกษาสำหรับทุกๆ การ calibration ที่ยังไม่ได้ทดสอบมาก่อน มี 9 รูปแบบ ลักษณะความชันของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ทำนายจาก NIRS และค่าอ้างอิง สิ่งนี้ได้อธิบายไว้ในตารางที่ 2.5 การที่ความชันเปลี่ยนอาจจะเกิดพร้อมๆ กันกับค่า bias โดยรวมที่เป็นบวกหรือลบโดยการแก้ไข ความชัน/bias อาจจะใช้ประโยชน์ได้ Bias (ประเภท 8 และ 9) สามารถเกิดขึ้นได้โดยที่ความชันไม่มีความแตกต่าง

ตารางที่ 2.5 รูปแบบของความชัน [25]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของประเภทความชื้น 1, 4 และ 7 ประเภท 8 และ 9 สามารถแก้ไขด้วยการปรับปรุงจุดตัด (intercept) ส่วนประเภทอื่นทั้งหมดของ bias ต้องการการปรับปรุงค่าความชื้น/bias ถ้าความชื้นต่างจาก 1.0 โดยมากกว่า +/- 0.05 หรือถ้าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และค่าอ้างอิงมากกว่า 1.5% ของค่าเฉลี่ย ถ้าค่าความชื้นอยู่ใน +/-0.05 ของ 1.000 การเปลี่ยนความชื้นไม่น่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำนาย และไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนความชื้น



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างของประเภทความชื้น [25]

2.10.9 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

$$SEP = (\sum(X - Y)^2 - \{[\sum(X - Y)]^2 / N\}N - 1)^{1/2} \quad (2.16)$$

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 ในเงื่อนไขนี้เป็นกรณีที่ดีมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้เทอม SEV เพื่อแสดง Standard error of validation บางสูตรใช้ $N-2$ ขณะที่อื่นๆใช้ $N-(2)^{1/2}$ แทน $N-1$ ในทางปฏิบัติ ความแปรปรวนเหล่านี้ทำให้เกิดความแตกต่างเพียงเล็กน้อย โดยมีเงื่อนไขว่าเซต validation ต้องมีอย่างน้อย 40-50 ตัวอย่าง

ค่า Standard error of calibration (SEC) ซึ่งคือค่า SD ของความแตกต่างระหว่างค่า NIRS และตัวอย่างค่าอ้างอิงในเซตตัวอย่าง calibration การดูดซับคลื่นที่มีความยาวคลื่นติดกัน มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างมากและถ้าใช้ MLR, r และ SEC จะดีขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนตัวแปรต้นมากขึ้น สิ่งนี้เรียกว่า over-fitting ของข้อมูล (multicollinearity) จะนำไปสู่ค่าที่ไม่ถูกต้อง ถ้าการทำ validation แสดงค่า r ต่ำและ SEP สูงจนยอมรับไม่ได้ ชุด calibration สามารถถูกทำนายและดูเฉพาะแต่ละข้อมูล ค่า SEC อาจแสดงให้เห็นว่ามี outliers 1 หรือมากกว่านั้น การกำจัด outliers อาจจะทำให้ค่า r และ SEP ดีขึ้นตามหลักค่า SEP ควรจะสูงกว่า SEC เสมอ

2.10.10 ค่า error มาตรฐานของ cross-validation (SECV)

Cross-validation สามารถใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการสร้าง calibration โมเดล เพื่อทำ validation สิ่งนี้ทำโดยชักตัวอย่างออกหนึ่งตัวอย่างหรือกลุ่มของหลายตัวอย่างจากชุด calibration และทำการปรับปรุงโมเดล calibration ด้วยตัวอย่างที่เหลืออยู่ ตัวอย่างที่ถูกกำจัดเป็นตัวทำนายและบันทึกค่าความผิดพลาด แล้วนำตัวอย่างนั้นกลับมาแล้วชักตัวอย่างอื่นออกไปและทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลและทำนาย ซึ่งบันทึกค่าความผิดพลาด จะไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลซึ่งเราสามารถใช้ทำนาย ถ้าเอาออกเพียงทีละ 1 ตัวอย่างวิธีนี้เรียกว่า “full” หรือ “one-out” cross-validation ถ้านำชุดตัวอย่างออกจะเรียกว่า “segmented” cross-validation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างที่เหลืออยู่ระหว่างค่าที่ถูกทำนายโดย NIRS และค่าอ้างอิง คือ The standard error of cross-validation (SECV)

Cross-validation ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง และถูกใช้ในหลายการตีพิมพ์ แต่มีข้อเสียที่ว่าไม่มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ bias หรือ ความชัน/intercept เพราะว่าตัวอย่างทั้งหมดถูกชักออกจากชุดประชากรเดียวกัน สำหรับชุดตัวอย่างเล็ก (ถึง $N=100$) นิยมใช้ cross-validation มากกว่าวิธี test-set ในการวิเคราะห์โมเดล calibration เหตุผลก็คือชุดตัวอย่างขนาดเล็กนั้นมีความน่าเชื่อถือในการเลือกตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของตัวอย่างทั้งหมดซึ่งเป็นไปได้ใน test-set. One-out crossvalidation 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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ถูกแนะนำให้ใช้มากกว่า SEP สูตรการคำนวณ RMSD คือ

$$RMSD = \{[\sum(X - Y)^2 / N - 1]\}^{1/2} \quad (2.17)$$

การรายงานผลโดยใช้ SEP กับ Bias แสดงถึงความแม่นยำของการทำนายได้ดี เนื่องจาก RMSD เกี่ยวข้องกับ Bias แต่ไม่ได้แสดงขนาดและเครื่องหมาย

2.10.12 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) กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ RPD คือสถิติอย่างง่ายที่ทำให้สามารถศึกษาความสัมพันธ์ของ SEP ในเทอมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอ้างอิง คำนวณโดยการหาร SD ของค่าอ้างอิงที่ใช้ใน validation (SDx) ด้วย SEP

$$RPD = (SDx_{\text{(ตัวอย่าง validation)}}) / SEP \quad (2.18)$$

อีกวิธีหนึ่งคือใช้สูตร

$$RPD = 1 / (1 - r^2)^{1/2} \quad (2.19)$$

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

2.10.13 Ratio of the SEP to the range (RER)

การหาความสัมพันธ์ของ SEP ต่อช่วงกว้างของข้อมูลอ้างอิง อัตราส่วนของ SEP ต่อช่วง RER แสดงดังสูตรต่อไปนี้

$$RER = (\text{ช่วงในข้อมูล validation อ้างอิง}) / SEP \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า RER ควรจะสูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แต่ก็สามารถสูงขึ้นอย่างผิดปกติโดยตัวอย่างเดียวที่มีความเข้มข้นสูงมาก ขณะที่ SD คือไม่มีผลกระทบจากค่า ค่าเดียว ตารางที่ 2.6 อธิบายผลของค่า RPD และ RER

ตารางที่ 2.6 ค่าทางสถิติ RPD และ RER [24]

ค่า RPD	ค่า RER	สมรรถนะแบบจำลอง	การประยุกต์ใช้
0.0-2.3	จนถึง 6	ไม่ดีเลย	ไม่แนะนำ
2.4-3.0	7-12	ไม่ดี	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

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ r^2 , bias และค่า RPD คือค่าทางสถิติที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการประเมินค่าความมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โดย NIRS

2.11 ประโยชน์ของการใช้เทคนิค NIR [26]

ประโยชน์จากการใช้ NIR มีข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากมาย เช่น

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

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Andre et al. [27] (อ้างจาก สฤกษ์, 2555) ใช้วิธีไม่ทำลายในการหาปริมาณของแข็ง และปริมาณ Carotenoids ในมะเขือเทศ โดยใช้ Near-Infrared Spectroscopy และ Multivariate เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibration โดยตัวอย่างเป็นเนื้อมะเขือเทศที่มีปริมาณ solid content 6.9-35.9% ในการวิจัยในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่า Carotenoids ทำหน้าที่เป็นเหมือนสารต่อต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ป้องกันการแก่ การเสียหายของเนื้อเยื่อโรคหัวใจและโรคมะเร็ง นอกจากนี้แล้วองค์ประกอบในมะเขือเทศยังมีของแข็งที่ละลายได้และละลายไม่ได้ ของแข็งเหล่านี้จะควบคุมผลผลิตของโรงงานและมีบทบาทสำคัญในการขายมะเขือเทศ ในปัจจุบันวิธีการมาตรฐานในการหาปริมาณของแข็งและปริมาณ Carotenoids ในมะเขือเทศใช้เวลาและแรงงานมาก ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีที่ไม่ทำลาย สำหรับหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้และละลายไม่ได้รวมถึง lycopene และ β -carotene ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ โดยใช้ Near-Infrared Spectroscopy โดยใช้ PLS-1 หมายถึงค่า $y = 1$ ค่า เป็น Calibration เทคนิคสำหรับการเตรียมสเปกตรัมเบื้องต้นใช้ MSC และ second derivative วิธีการเลือกตัวแปรใช้วิธี correlogram cutoff, successive projections algorithm, dimension wise selection และ spectra splitting approach โมเดลที่ดีที่สุดหาได้โดยวิธี RMSEP และค่า r values สำหรับ ปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.4157, 0.9998; ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 0.6333, 0.9996; lycopene 21.5779, 0.9996; β -carotene 0.7296, 0.9981.

2. Flores et al. [28] ประเมินการใช้เครื่องตรวจวัดไดโอดอาร์เรย์แบบเนียร์อินฟราเรด สำหรับการประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ [$^{\circ}$ Brix] ในเมลอนและแตงโมที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์และขึ้นเมลอนและแตงโมตัดแต่ง แบบจำลองแคลิเบรชันแบบเนียร์อินฟราเรด (NIR) ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ชุดตัวอย่างผลไม้สองชุดสำหรับคือ ชุดปี 2006 (N = 158) และชุดปี 2007 (N = 415) สำหรับตัวอย่างเมลอน และชุดปี 2006 (N = 77) และชุดปี 2007 (N = 183) สำหรับตัวอย่างแตงโมที่ปลูกในเมืองเอลอีจิโด(แคว้นอันดาลูซิอา, ประเทศสเปน) ได้ความสามารถในการทำนายสำหรับขึ้นผลไม้ตัดแต่ง (SECV = 0.60° Brix, $R^2 = 0.88$, RPD = 2.94 ในเมลอน และ SECV = 0.49° Brix, $R^2 = 0.85$, RPD = 2.50 ในแตงโม) ดีกว่าสำหรับผลไม้ที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ (SECV = 0.98° Brix, $R^2 = 0.76$, RPD = 2.05 ในเมลอน และ SECV = 0.93° Brix, $R^2 = 0.65$, RPD = 1.69 ในแตงโม) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงคุณค่าของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการแบ่งระดับคุณภาพขึ้นเมลอนและแตงโมตัดแต่งและผลไม้เมลอนที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ รวมทั้งความเป็นไปได้ในการจัดหมวดหมู่ระดับความหวานในผลไม้ที่สูง ปานกลางและต่ำ ของผลไม้แตงโมที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมผลแต่งโมสำหรับการทดลอง

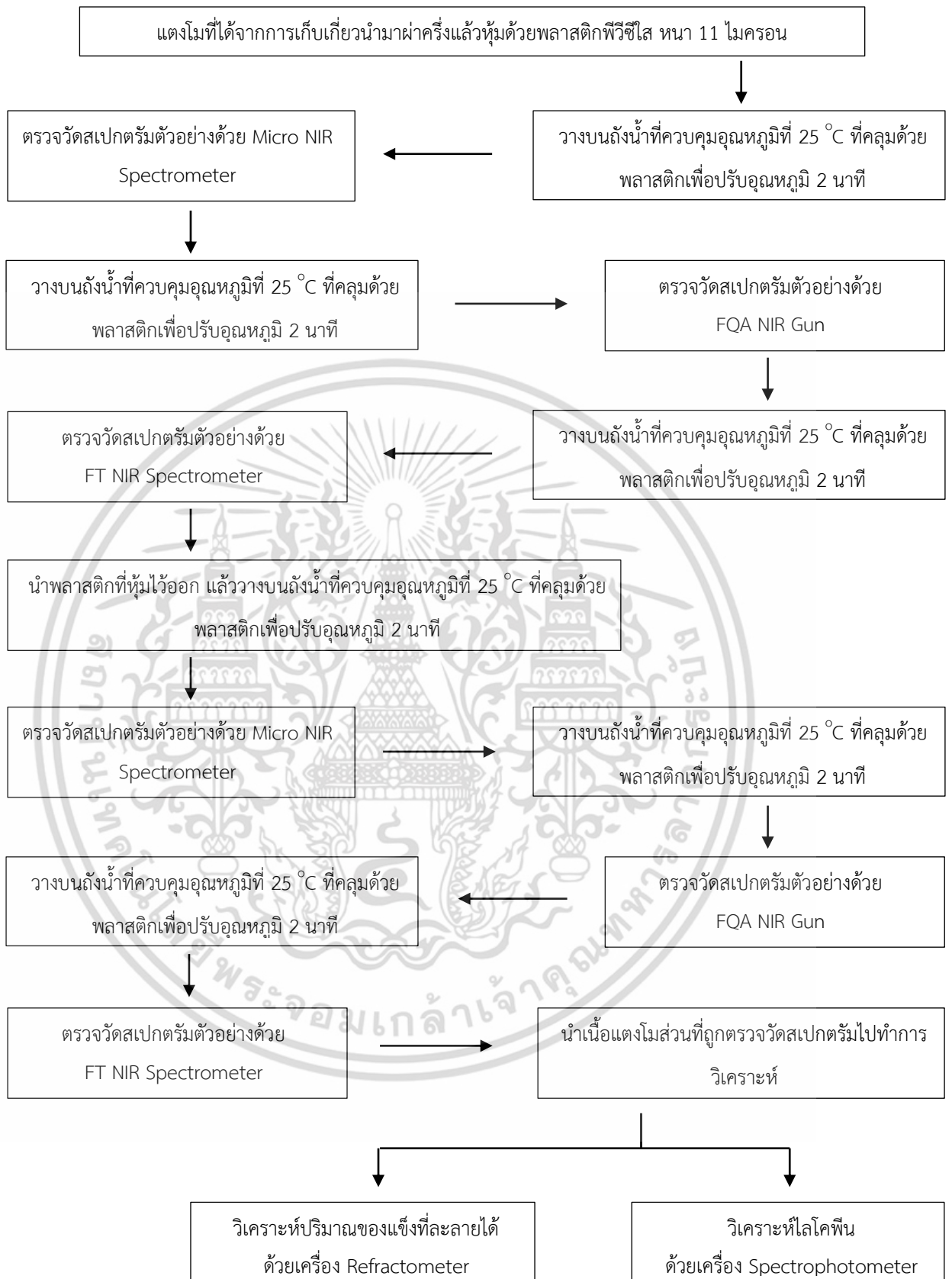
ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นแต่งโมพันธุ์กินรีจากไร่แต่งโม อำเภอ พังโคน จังหวัด สกลนคร โดยทำการสุ่มต้นแต่งโมที่กำลังออกดอก จากนั้นรอวันที่ดอกบานนำป้ายพลาสติกผูกติดกับหลักไม้ แล้วนำไปปักไว้กับดินข้างๆช่อดอก พร้อมเขียนระบุวันที่ดอกบานรวมทั้งหมด 120 ช่อ แล้วปล่อยให้ผลแต่งโมเจริญเติบโต ซึ่งในกระบวนการทั้งหมดในข้างต้น นั้นจะทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง คือ ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาวและฤดูร้อน รวมทั้งหมดแล้วจะได้ผลแต่งโมที่จะนำมาทำการทดลอง 360 ผล อุปกรณ์ในการทดลอง ได้แก่ ไม้ลวกใช้สำหรับเป็นหลัก ป้ายพลาสติกพร้อมเชือกสำหรับผูก ตะกร้า และค้อนสำหรับทุบหลัก

3.1.1 การเก็บเกี่ยวแต่งโมที่อายุต่างๆ

สุ่มเก็บแต่งโมครั้งละ 20 ผล 6 ครั้ง ทำใน 3 ฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาวและฤดูร้อน) เพื่อตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

- เมื่อผลแต่งโมครบ 19 วัน หลังดอกบานให้สุ่มเก็บแต่งโมรวมทั้งหมด 20 ผล
- เมื่อผลแต่งโมครบ 21 วัน หลังดอกบานให้สุ่มเก็บแต่งโมรวมทั้งหมด 20 ผล
- เมื่อผลแต่งโมครบ 23 วัน หลังดอกบานให้สุ่มเก็บแต่งโมรวมทั้งหมด 20 ผล
- เมื่อผลแต่งโมครบ 25 วัน หลังดอกบาน (อายุการเก็บเกี่ยวทางการค้า) ให้สุ่มเก็บแต่งโมรวมทั้งหมด 20 ผล
- เมื่อผลแต่งโมครบ 27 วัน หลังดอกบานให้สุ่มเก็บแต่งโมรวมทั้งหมด 20 ผล
- เมื่อผลแต่งโมครบ 29 วัน หลังดอกบานให้สุ่มเก็บแต่งโมรวมทั้งหมด 20 ผล

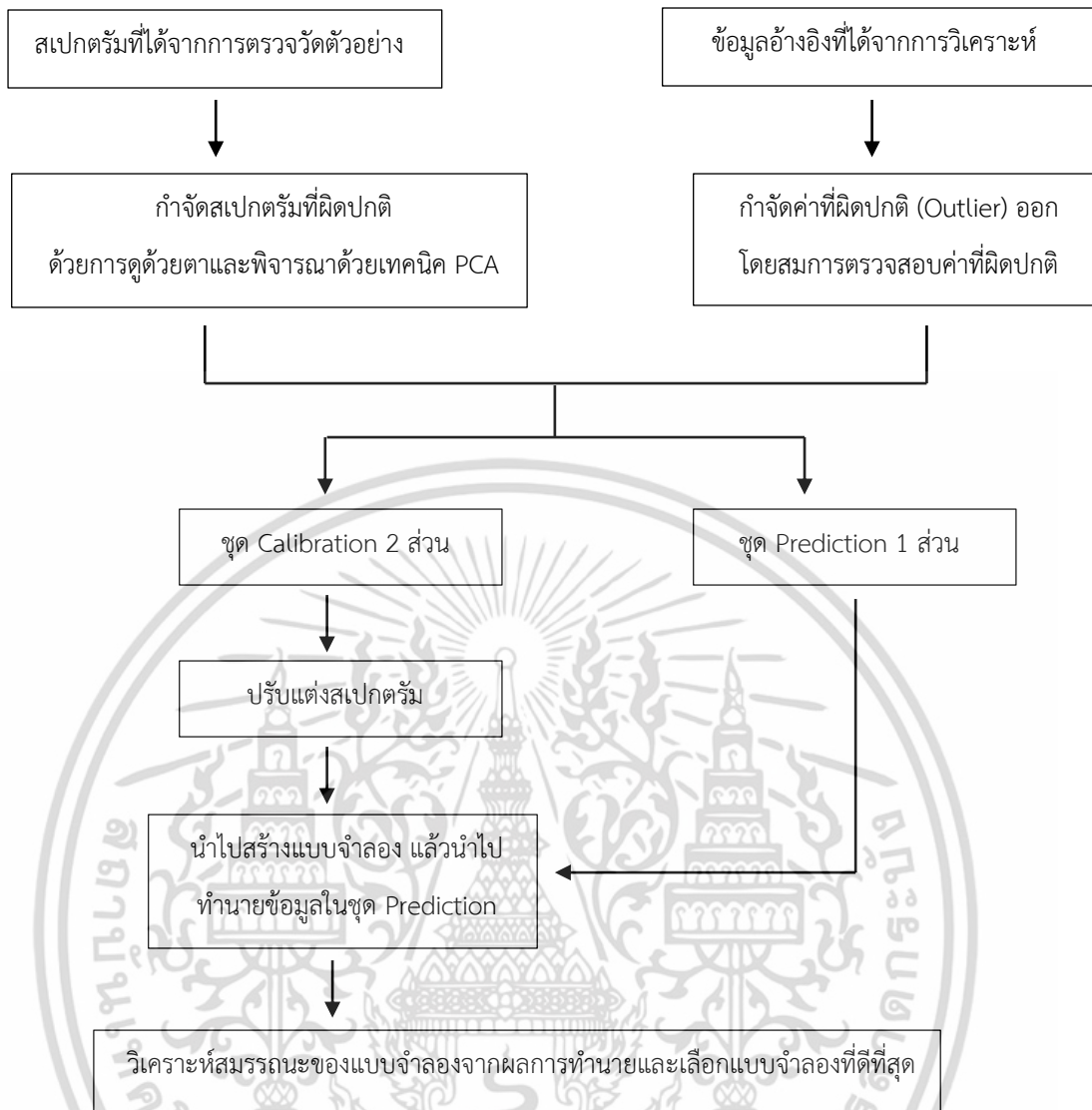
แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และไลโคพินด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIRS) แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วย

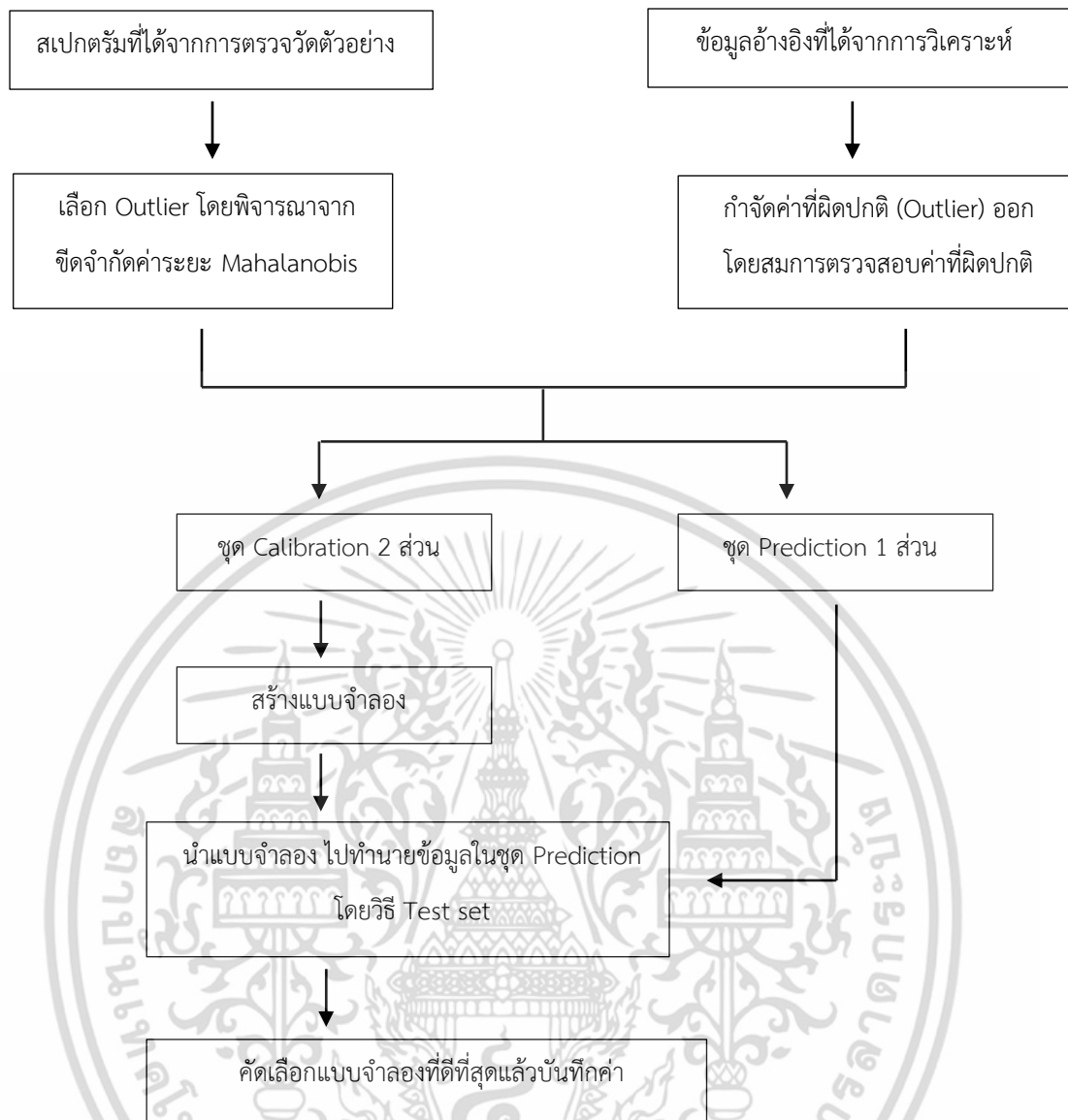
วิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIRS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2a แผนผังการดำเนินการการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Unscrambler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2b แผนผังการดำเนินการการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม OPUS

3.2 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายเนื้อเตงโม

3.2.1 อุปกรณ์การตรวจวัดแบบไม่ทำลายเนื้อเตงโม

1. เครื่อง Micro NIR Spectrometer (JDSU, USA) (ภาพที่ 3.3)
2. เครื่อง FQA-NIR Gun (Shizuoka Shibuya Seiki, Hamamatsu, Japan) (ภาพที่ 3.4)
3. เครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker Ltd., Germany) (ภาพที่ 3.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 Micro NIR Spectrometer (JDSU, USA)



ภาพที่ 3.4 FQA-NIR Gun (Shizuoka Shibuya Seiki, Hamamatsu, Japan)



ภาพที่ 3.5 เครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker Ltd., Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่างๆ

Specification	Micro NIR spectrometer	FQA-NIR Gun	FT-NIR spectrometer
Measurement method	Diffuse Reflectance	Diffuse Reflectance	Diffuse Reflectance
Detector	InGaAs array	Silicon diode array	RT-Pbs
Wave region	1150-2150 nm	600-1100 nm	12500-4000 cm ⁻¹ (800-2500 nm)
Resolution	7 nm	2 nm	8 and 16 cm ⁻¹
Lamp	Halogen	Halogen	Halogen
Integrating time	100 μ s	6 μ s	-
Dispersing element	Liner Variable Filter (LVF)	Grating	Michelson Interferometer
Reference Material	Spectralon	Teflon	Gold

3.2.2 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง Micro NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโม

การสแกนแตงโมด้วยเครื่อง Micro NIR spectrometer ซึ่งมีลักษณะการวัดแบบ Interactance มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 1150-2150 nm ทุกๆ 7 nm Integrating time 100 μ s และ จำนวนการสแกนเพื่อหาสเปกตรัมเฉลี่ย เท่ากับ 5000 สเปกตรัม ขั้นตอนการทดลอง

1. กำหนดตำแหน่งที่ตรวจวัดบริเวณกึ่งกลางของส่วนที่ถูกหุ้มด้วยพลาสติกใส โดยใช้ปากกาเคมี
2. นำตัวอย่างวางบนโต๊ะที่เรียบ ให้ตัวอย่างขนานกับพื้น
3. จากนั้นตรวจวัดด้วยเครื่อง Micro NIR spectrometer (ภาพที่ 3.6) โดยตรวจวัดตัวอย่าง บริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง ทำการวัด 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง



ภาพที่ 3.6 การสแกนแตงโมด้วยเครื่อง Micro NIR spectrometer

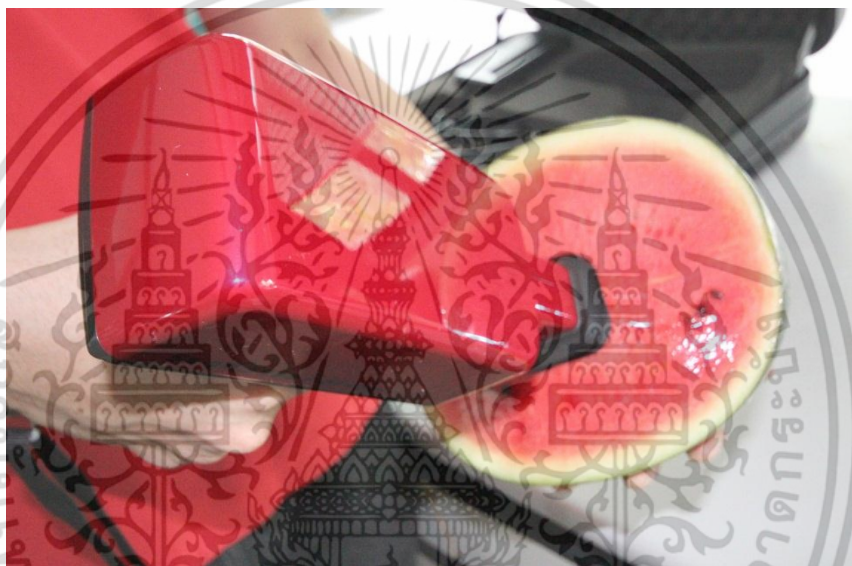
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง FQA NIR Gun ของเนื้อแดงโม

การดำเนินการทดลองเพื่อวัดค่าการดูดกลืนคลื่นของเนื้อแดงโม โดยใช้เครื่อง FQA NIR Gun (ภาพที่ 3.7) ซึ่งมีลักษณะการวัดแบบ Interactance มีช่วงคลื่นระหว่าง 600-1100 nm และทำการตรวจวัดที่ทุกๆ 2 nm Integrating time 6 μ s

ขั้นตอนการทดลอง

1. กำหนดตำแหน่งที่ตรวจวัดบริเวณกึ่งกลางของส่วนที่ถูกหุ้มด้วยพลาสติกใส โดยใช้ปากกาเคมี
2. ใช้ผ้าดำคลุมเครื่องและตัวอย่างให้สนิท ระหว่างทำการตรวจวัด
3. โดยตรวจวัดบริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง 3 ครั้งต่อตำแหน่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย (ภาพที่ 3.7)



ภาพที่ 3.7 สแกนเนื้อแดงโมด้วย FQA NIR Gun

3.2.4 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแดงโม

การสแกนเนื้อแดงโมด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ซึ่งมีลักษณะการวัดแบบ Diffuse Reflectance ที่ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง $12,500-4,000 \text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) จำนวนการสแกนเพื่อหาสเปกตรัมเฉลี่ย เท่ากับ 32 สเปกตรัม ทำการตรวจวัดที่ทุกๆ 16 cm^{-1}

ขั้นตอนการทดลอง

1. กำหนดตำแหน่งที่ตรวจวัดบริเวณกึ่งกลางของส่วนที่ถูกหุ้มด้วยพลาสติกใส โดยใช้ปากกาเคมี
2. โดยตั้งค่าที่เครื่อง FT-NIR spectrometer การสแกนซ้ำ 32 ครั้งต่อ 1 spectrum สแกนทุกๆ 16 cm^{-1} โดยเลือก Sample form แบบ Integrating sphere (Sphere Macrosample)
3. วางตัวอย่างบนหน้าจอ (ภาพที่ 3.8) แล้วทำการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 สแกนเนื้อแตงโมด้วย FT-NIR Spectrometer

3.3 การสกัดไลโคพีนจากเนื้อแตงโม

3.3.1 วัสดุ

1. เนื้อแตงโม

3.3.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการสกัดไลโคพีน

1. มีด
2. เขียงพลาสติก
3. เครื่องปั่นผลไม้
4. ช้อน
5. เครื่องชั่ง (SHIMADZU BX300 ความละเอียด 0.001g)
6. ตู้เย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ACCUPLUS I250, Thailand)
7. บีกเกอร์ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
8. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
9. อลูมิเนียมฟอยล์
10. แ่งคนสาร
11. Magnetic stirrer
12. Pipette
13. Plastic pipette
14. Cells Quartz (Path length 10 mm)
15. เครื่อง Spectrophotometer (Milton Roy spectronic 601, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. เครื่อง Refractometer (ATAGO Pocket PAL-1, Japan)
17. เครื่องตวงสารละลาย (CS witeg, Germany)
18. ขวดใส่สารละลาย
19. น้ำกลั่น
20. Ethanol เข้มข้น 90% (Commercial grade)
21. Acetone and 0.05% (w/v) butylated hydroxytoluene (BHT) (Carlo erba reagents, France)
22. Hexane (Macron chemicals, USA)

3.3.3 วิธีการสกัดไลโคพินจากแตงโม

3.3.3.1 เตรียมอุปกรณ์ โดยนำขวดรูปชมพู่มาหุ้มด้วยกระดาษฟอยล์

3.3.3.2 การเตรียมน้ำกลั่น

นำน้ำกลั่นไปแช่ในตู้เย็นเพื่อปรับอุณหภูมิให้ได้ 5 องศาเซลเซียส

3.3.3.3 การเตรียม Ethanol เข้มข้น 90% จาก Ethanol เข้มข้น 95% คำนวณได้จากสมการ (3.1) [29]

$$\begin{aligned} M_1V_1 &= M_2V_2 \\ 95 \times V_1 &= 90 \times 100 \\ V_1 &= 94.7 \end{aligned} \quad (3.1)$$

M_1 = ความเข้มข้นสารละลายก่อนเจือจาง (mol/dm^3)

M_2 = ความเข้มข้นสารละลายหลังเจือจาง (mol/dm^3)

V_1 = ปริมาตรสารละลายก่อนเจือจาง (dm^3)

V_2 = ปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง (dm^3)

1. เติมน้ำกลั่นลงใน Ethanol (เข้มข้น 95%) 94.7 มิลลิลิตร ลงในขวด Volumetric ขนาด 100 มิลลิลิตร ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. ได้ Ethanol เข้มข้น 90% นำไปใช้ในการทดลอง

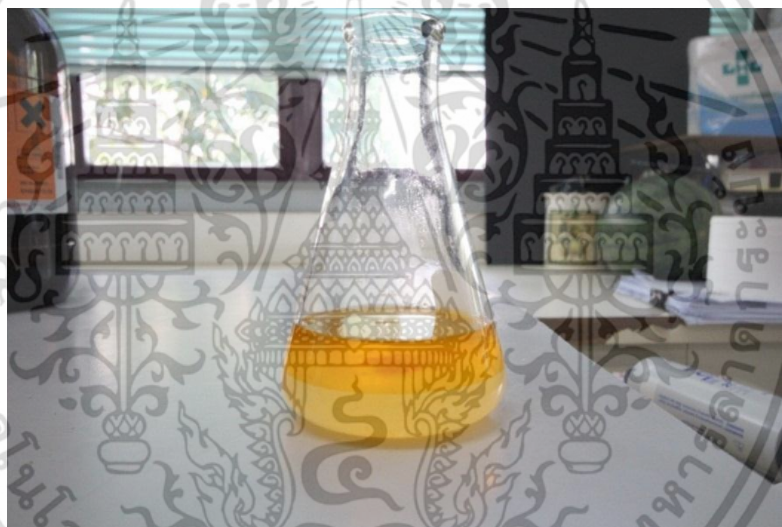
3.3.3.4 การเตรียม Acetone and 0.05% (w/v) butylated hydroxytoluene (BHT) นำ butylated hydroxytoluene (BHT) 0.05 กรัม ใส่ลงไปใน Acetone 100 มิลลิลิตรที่เตรียมไว้ คนจนกว่าสารจะละลาย แล้วนำไปใช้ในการทดลอง

3.3.3.5 ขั้นตอนการสกัดไลโคพินจากแตงโม

1. ใช้มีดผ่าเอาเนื้อของแตงโมตรงส่วนที่ถูกวัดสเปกตรัม
2. แยกเมล็ดออกแล้วบดเนื้อแตงโมให้ละเอียดด้วยเครื่องบดผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชั่งแต่งโม่บดละเอียด 2 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่หุ้มด้วยกระดาษฟอยล์
4. เติม Ethanol เข้มข้น 90% 25 มิลลิลิตร, Acetone และ 0.05% (w/v) butylated hydroxytoluene(BHT) 25 มิลลิลิตร และ Hexane 50 มิลลิลิตร
5. ปิดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วย Magnetic Stirrerเป็นเวลา 15 นาที ที่ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
6. เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร แล้วเขย่าต่ออีก 5 นาที
7. ทิ้งไว้อีก 15 นาที เพื่อรอให้สารละลายแยกชั้น เมื่อแยกแล้วจะเห็นเป็น 3 ชั้น (ภาพที่ 3.9)
8. ดูดสารละลายชั้นบนสุด (ไลโคพีนที่ละลายใน Hexane) ด้วย Pipette แล้วใส่ลงในปิเก็ตเจอร์ จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปทันที (ขั้นตอนที่ 3.4.2)
9. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 8 อีก 2 ครั้ง แล้วบันทึกค่า



ภาพที่ 3.9 ภาพสารเคมีที่ได้จากการสกัดเนื้อแตงโม

3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไลโคพีน

3.4.1 อุปกรณ์การวิเคราะห์

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer, Miltion Roy spectronic 601, USA) (ภาพที่ 3.10)

3.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณไลโคพีนในแตงโมโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

1. เตรียมสารละลายที่ได้จากการสกัดแตงโม (ขั้นตอนที่ 3.3.3.5) และสารละลายมาตรฐาน (Hexane) เพื่อใส่ใน Cells Quartz (ดังภาพที่ 3.11)

2. เลือกความยาวคลื่นที่ 503 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานและสารละลายที่ได้จากการสกัด
แตงโม ตามลำดับ
4. อ่านค่าดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง
5. คำนวณค่าความเข้มข้นของไลโคพีนในสารละลายที่ได้จากการสกัดแตงโม



ภาพที่ 3.10 เครื่อง Spectrophotometer (Milton Roy spectronic 601, USA)

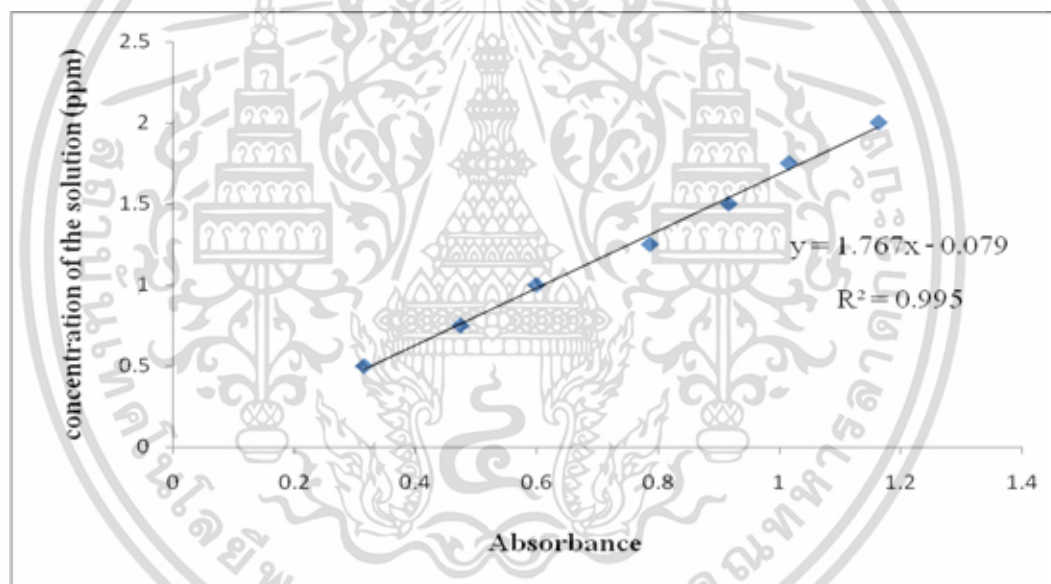


ภาพที่ 3.11 การวิเคราะห์หาปริมาณไลโคพีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสร้างสมการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่อง Spectrophotometer ระหว่างไลโคพินบริสุทธิ์กับค่าที่ได้จากการสกัด

การหาค่าปริมาณไลโคพินจะเริ่มจากการเตรียมสารละลายไลโคพินบริสุทธิ์ให้ได้ความเข้มข้นที่ 1 ppm โดยจะใช้ Hexane เป็นตัวทำละลาย จากนั้นจะนำสารละลายที่ได้มาปรับความเข้มข้นให้มีค่าหลายระดับ เนื่องจากในการสร้างสมการเปรียบเทียบค่าจำเป็นต้องมีช่วงของข้อมูลที่มากพอสมควร เพื่อให้สมการที่ได้มีค่าน่าเชื่อถือมากที่สุด โดยในการทดลองนี้ได้ทำที่ความเข้มข้น 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75 และ 2 ppm ตามลำดับ จากนั้นก็นำสารละลายที่ได้ทุกความเข้มข้นมาวัดค่าการดูดซับคลื่นที่ 503 nm โดยเครื่อง spectrophotometer ค่าที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับคลื่นที่ 503 nm (Absorbance) กับค่าความเข้มข้นของสารละลายไลโคพิน และหาสมการเพื่อนำไปใช้คำนวณค่าความเข้มข้นของปริมาณไลโคพินที่สกัดได้จากตัวอย่างแดงโม แสดงดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับคลื่นที่ 503 nm (Absorbance) กับค่าความเข้มข้นของสารละลายไลโคพิน ที่ความเข้มข้นไลโคพิน 7 ระดับ (0.5-2 ppm)

เมื่อได้สมการที่สามารถทำนายความเข้มข้นของปริมาณไลโคพินดังภาพที่ 3.12 แล้ว นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากขั้นตอนที่ 3.4.2 มาแทนในสมการก็จะทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของปริมาณไลโคพินที่สกัดได้ในหน่วย ppm

3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้

3.6.1 อุปกรณ์การวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Refractometer, ATAGO Pocket PAL-1, Japan) (ภาพที่ 3.13)

3.6.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในแตงโม

1. นำเครื่อง Refractometer มาล้างด้วยน้ำกลั่นบริเวณส่วนที่วัดค่าแล้วเช็ดทำความสะอาด

2. หยดน้ำกลั่นลงบนบริเวณส่วนที่วัดค่า

3. ตั้งค่าของเครื่องให้เป็น 0 แล้วเช็ดให้แห้ง

4. ตัดชิ้นแตงโมส่วนที่ถูกวัดค่าสเปกตรัม (ดังภาพที่ 3.14) 3 ชิ้น เพื่อทำการวัด 3 ซ้ำ

5. บีบน้ำลงบริเวณที่วัดค่า (ดังภาพที่ 3.15)

6. กดปุ่มอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เป็นเปอร์เซ็นต์บริกซ์ (%Brix)

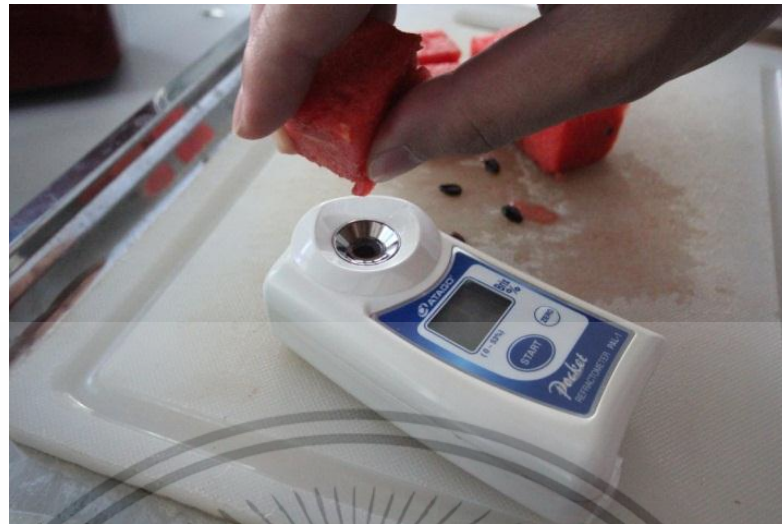


ภาพที่ 3.13 เครื่อง Refractometer (ATAGO Pocket PAL-1, Japan)



ภาพที่ 3.14 ภาพชิ้นส่วนแตงโมที่จะถูกนำไปวิเคราะห์

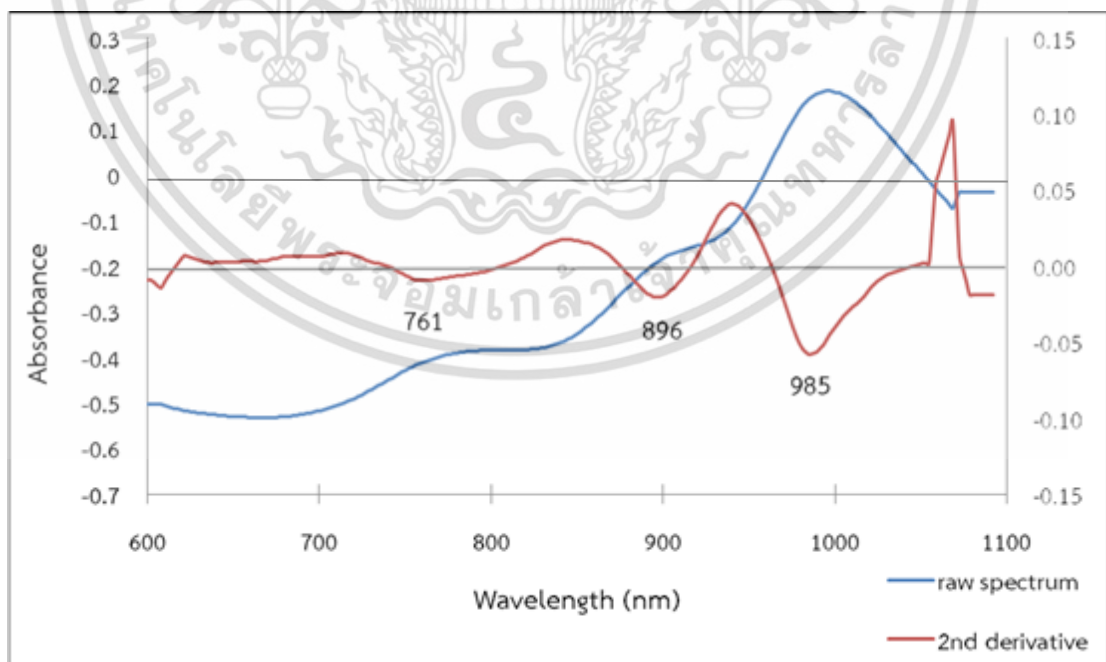
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 ภาพการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้

3.7 การวัดสเปกตรัมของน้ำตาลฟรุกโตสบริสุทธิ์

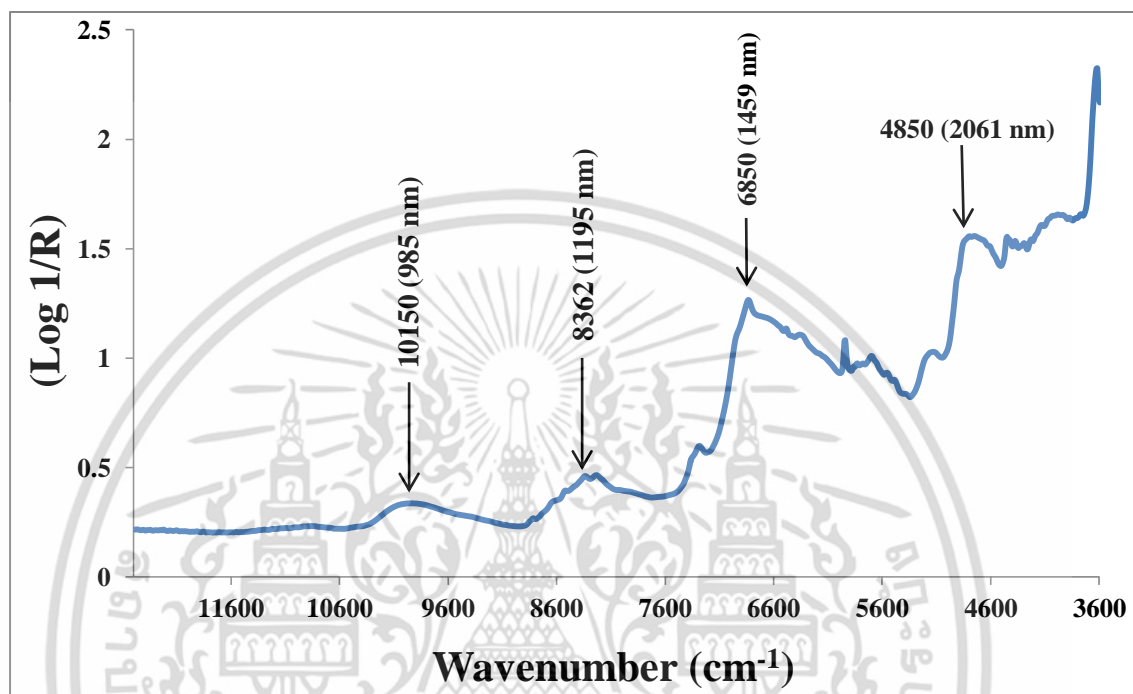
น้ำตาลฟรุกโตสบริสุทธิ์ถูกวัดด้วยเครื่อง NIR-GUN ที่ second derivative โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 600-1100nm เพราะช่วงอื่นมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ผลทำให้พบว่ามีพีคสำคัญปรากฏแสดงดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 สเปกตรัมของน้ำตาลฟรุกโตสบริสุทธิ์ที่ถูกวัดด้วยเครื่อง NIR-GUN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลฟรุกโตสบริสุทธิ์ถูกวัดด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ raw spectrum (ดังภาพที่ 3.17) และ second derivative (ดังภาพที่ 3.18) โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)



ภาพที่ 3.17 สเปกตรัมของน้ำตาลฟรุกโตสบริสุทธิ์ที่ถูกรวบรวมด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ raw spectrum

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัมที่ตรวจวัดโดยเครื่อง Micro NIR spectrometer และ เครื่อง FQA NIR Gun กับข้อมูลอ้างอิงโดยโปรแกรม The Unscrambler

3.8.1 อุปกรณ์และซอฟต์แวร์การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม The Unscrambler Version 9.8 (CAMO, Oslo, Norway)

3.8.2 การเตรียมข้อมูลก่อนการปรับแต่งสเปกตรัม

การเตรียมสเปกตรัมที่ตรวจวัดโดยเครื่อง Micro NIR spectrometer ใช้สเปกตรัมที่เป็นแบบ Reflectance ในการวิเคราะห์ข้อมูล และ สเปกตรัมที่ตรวจวัดโดยเครื่อง FQA NIR Gun ใช้สเปกตรัมที่เป็นแบบ Absorbance ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าอ้างอิงของปริมาณไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ความหวาน) ในแตงโมถูกกำจัดค่าที่ผิดปกติ (Outlier) ออก โดยสมการตรวจสอบค่าที่ผิดปกติ สมการที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{X - \bar{X}}{SD} \geq 3 \quad (3.2)$$

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

2. สเปกตรัมของแตงโมแต่ละอายุการเก็บเกี่ยวทั้งฤดูฝน ฤดูแล้ง และฤดูร้อนถูกกำจัด สเปกตรัมที่ผิดปกติ ไม่เข้ากลุ่มออกด้วยการดูด้วยตาและวิธี PCA

3. ข้อมูลสเปกตรัมของแตงโมถูกรวมเข้ากับค่าปริมาณไลโคพิน และปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ (ความหวาน) เรียงตัวอย่างจากน้อยไปหามาก โดยจะทำการแบ่งชุดข้อมูลที่ใช้ในการ วิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยใช้อัตราส่วน 2:1 โดย จัดเรียงทีละ 15 ตัวอย่าง

3.8.3 การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองนั้นจะใช้ข้อมูลจากกลุ่ม Calibration ในการสร้าง แบบจำลองจะใช้แบบจำลองจากค่าสเปกตรัมเดิมและจากค่าสเปกตรัมที่ได้รับการปรับแต่ง โดย สเปกตรัมที่ตรวจวัดจากเครื่อง Micro NIR spectrometer จะใช้ช่วงสเปกตรัมทั้งหมด ส่วนสเปกตรัม ที่ตรวจวัดจากเครื่อง FQA NIR Gun จะใช้ช่วงสเปกตรัม 607-1063 nm โดยจะมีการปรับแต่งด้วยวิธี ดังนี้

1. Raw spectra
2. Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)
3. Baseline Offset
4. Standard Normal Variate (SNV)
5. Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด
6. Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด
7. Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด
8. Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด

3.8.4 การวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum)

จากค่าการดูดซับคลื่นในช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง 1150-2150 nm ด้วยเครื่อง Micro NIR spectrometer และ ช่วงคลื่นระหว่าง 607-1063 nm ด้วยเครื่อง FQA NIR Gun จะวิเคราะห์จาก แถบการดูดซับคลื่นที่ปรากฏในสเปกตรัม โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับองค์ประกอบที่มีในแตงโม

3.8.5 การสร้างแบบจำลอง

หลังจากทำการปรับแต่งสเปกตรัมตามวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้ววิธีแล้ว สร้างแบบจำลองที่ใช้ เพื่อประเมินค่าปริมาณไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ความหวาน) ในแตงโม ด้วยวิธี Partial Least Squares (PLS) โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 1150-2150 nm และ 607-1063 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้ในการสร้างสมการในการทำนายที่ตรวจวัดโดยเครื่อง Micro NIR spectrometer แบ่งเป็น 4 ชุด คือ ชุดสเปกตรัมของฤดูฝน 180 สเปกตรัม ฤดูหนาว 180 สเปกตรัม ฤดูร้อน 150 สเปกตรัม และชุดสเปกตรัมของทุกฤดู 510 สเปกตรัม โดยแบ่งตัวอย่างเป็นชุดสร้างแบบจำลอง และ ชุดพิสูจน์ ในอัตราส่วน 2 : 1 ตัวอย่างของฤดูฝนและฤดูหนาวแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 125 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 55 ตัวอย่าง ตัวอย่างของฤดูร้อนแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 105 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 45 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างของทุกฤดู แบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 345 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 165 ตัวอย่าง

ส่วนข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้ในการสร้างสมการในการทำนายที่ตรวจวัดโดยเครื่อง FQA NIR Gun แบ่งเป็น 4 ชุด คือ ชุดสเปกตรัมของฤดูฝน 179 สเปกตรัม (ลบ Outlier 1 สเปกตรัม) ฤดูหนาว 180 สเปกตรัม ฤดูร้อน 147 สเปกตรัม (ลบ Outlier 3 สเปกตรัม) และชุดสเปกตรัมของทุกฤดู 506 สเปกตรัม (ลบ Outlier 4 สเปกตรัม) โดยแบ่งตัวอย่างเป็นชุดสร้างแบบจำลอง และ ชุดพิสูจน์ ในอัตราส่วน 2 : 1 ตัวอย่างของฤดูฝนแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 124 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 55 ตัวอย่าง ตัวอย่างของฤดูหนาวแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 125 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 55 ตัวอย่าง ตัวอย่างของฤดูร้อนแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 102 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 55 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างของทุกฤดูแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 341 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 165 ตัวอย่าง

เมื่อได้แบบจำลองแล้ว จะนำแบบจำลองที่ได้มาทำนายค่าปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ความหวาน) ของแตงโม ของกลุ่มข้อมูลชุด Prediction หลังจากนั้นจึงนำผลการทำนายที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โมเดลของแต่ละองค์ประกอบถูกคัดเลือกบนพื้นฐานของค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงที่สุด ค่า Standard error of prediction (SEP) ที่ต่ำที่สุด ค่า bias ที่ต่ำที่สุด ค่า R^2 ระหว่าง 0.71-0.80 ใช้ได้สำหรับการคัดแยกอย่างหยาบ 0.81-0.90 ใช้ได้สำหรับการคัดแยกหรือการประมาณค่า [25] ค่าอัตราส่วนระหว่างช่วงข้อมูลต่อ SEP (RER) ควรสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ ถ้าค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ไม่แนะนำในการประมาณค่า 7-12 เหมาะสำหรับการคัดเลือกแบบหยาบๆ 13-20 เหมาะสำหรับการคัดเลือก 21-30 ดีต่อการควบคุมคุณภาพ 31-40 ดีมากในการควบคุมกระบวนการและค่าอัตราส่วนระหว่าง SD ต่อ SEP (RPD) ควรสูงกว่า 2.4 ถ้าค่า 2.5-3.0 พอใช้สำหรับการคัดเลือกแบบหยาบๆ 3.1-4.9 ดีต่อการคัดเลือก 6.5-8.0 ดีมากสำหรับการควบคุมกระบวนการ [24]

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัมที่ตรวจวัดโดยเครื่อง FT-NIR Spectrometer กับข้อมูลอ้างอิง โดยโปรแกรม OPUS

3.9.1 อุปกรณ์และซอฟต์แวร์การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม OPUS Version 7.0.129 (Bruker, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 การเตรียมข้อมูลก่อนการปรับแต่งสเปกตรัม

ค่าอ้างอิงของปริมาณไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ความหวาน) ในแตงโม ถูกกำจัดค่าที่ผิดปกติ (Outlier) ออก โดยสมการตรวจสอบค่าที่ผิดปกติ สมการที่ 3.2

3.9.3 วิธีการเลือก Outlier ในโปรแกรม OPUS

การเลือก Outlier พิจารณาจากขีดจำกัดของค่าระยะ Mahalanobis ระยะ Mahalanobis คือ ความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมของตัวอย่างกับค่าเฉลี่ยของทุกสเปกตรัมของชุด Calibration ซึ่งการคำนวณจะพิจารณาบนพื้นฐานของการกระจายของสเปกตรัมของชุด Calibration ทั้งหมด ซึ่งจะต้องคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สมมติว่าการกระจายเป็นแบบระฆังคว่ำ ซึ่งขีดจำกัดด้านหนึ่งจะครอบคลุมความเป็นไปได้ 99.999% ค่าขีดจำกัดของระยะ Mahalanobis ที่คำนวณโดยวิธีการนี้จะทำให้แน่ใจว่าระยะ Mahalanobis ของสเปกตรัมเกือบทั้งหมดหรือทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดนี้ ซึ่งถ้าเกินขีดจำกัดก็จะเป็น Outlier

3.9.4 การวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum)

จากค่าการดูดซับคลื่นในช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง $12500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ (800-2500 nm) ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer จะวิเคราะห์จากแถบการดูดซับคลื่นที่ปรากฏในสเปกตรัม โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับองค์ประกอบที่มีในแตงโม

3.9.5 การสร้างสมการในการทำนาย

การสร้างสมการทำนายทำโดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม กับปริมาณไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยวิธี Partial least squares regression (PLSR) และใช้โปรแกรม OPUS version 7.0.129

ข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้ในการสร้างสมการในการทำนายแบ่งเป็น 4 ชุด คือ ชุดสเปกตรัมของฤดูฝน 180 สเปกตรัม ฤดูหนาว 180 สเปกตรัม ฤดูร้อน 150 สเปกตรัม และชุดสเปกตรัมของทุกฤดู 510 สเปกตรัม โดยแบ่งตัวอย่างเป็นชุดสร้างแบบจำลอง และ ชุดพิสูจน์ ในอัตราส่วน 2 : 1 ตัวอย่างของฤดูฝน และ ฤดูหนาวแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 126 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 54 ตัวอย่าง ตัวอย่างของฤดูร้อนแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 105 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 45 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างของทุกฤดูแบ่งเป็นชุดสร้างแบบจำลอง 357 ตัวอย่าง ชุดพิสูจน์ 153 ตัวอย่าง

ทั้งนี้ใช้ข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นหรือที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นโดยวิธี constant offset elimination, straight line subtraction, vector normalization (SNV), min-max normalization, multiplicative scattering correction, first derivative, second derivative, first derivative + straight line subtraction, first derivative + SNV และ first derivative + MSC จะพิสูจน์แบบจำลองโดยใช้วิธี Test set เมื่อได้แบบจำลองจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่า root mean square error of estimation (RMSEE) ที่ต่ำที่สุด จากนั้นจะบันทึกค่า ค่า R^2 ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์ (root mean squared error of prediction; RMSEP) , ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias), และ อัตราส่วนระหว่างค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ratio of standard error of validation to standard deviation; RPD) และยังบันทึกค่า Regression coefficient และ X-loading weight ที่จำนวนคลื่นต่างๆ หรือ ความยาวคลื่นต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

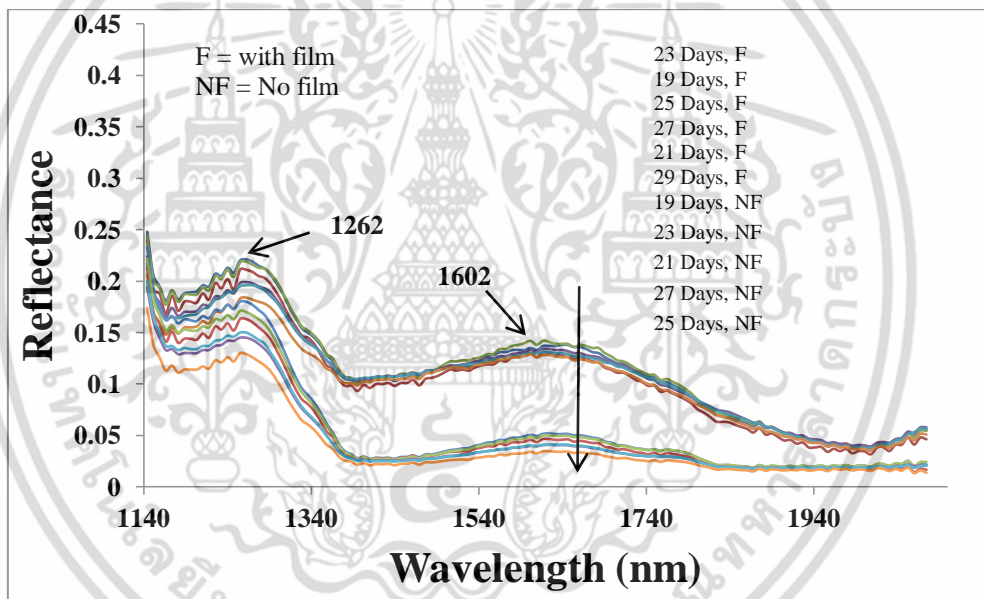
บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

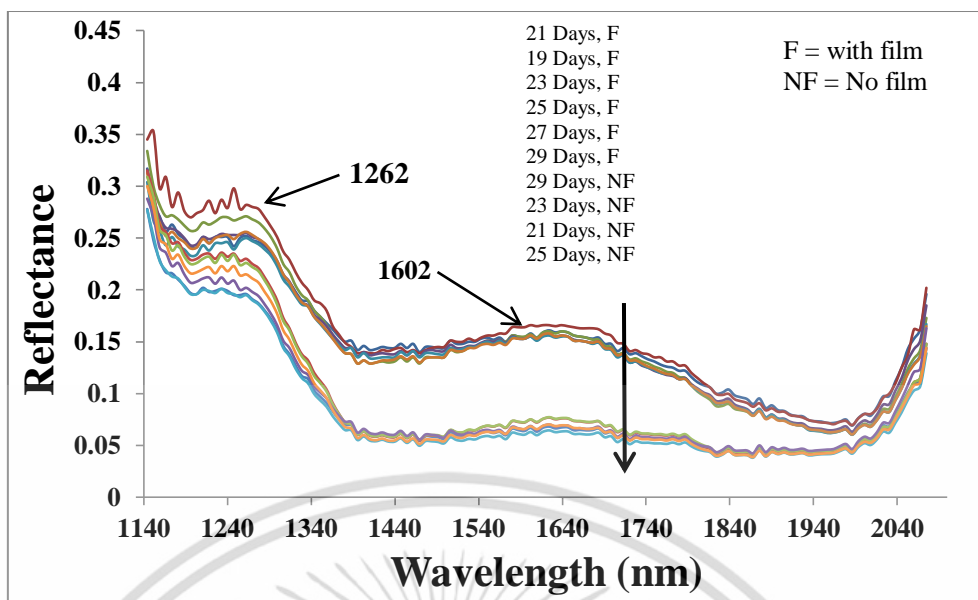
4.1 ผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer

4.1.1 สเปกตรัมของเนื้อแตงโมตัดแต่งที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer

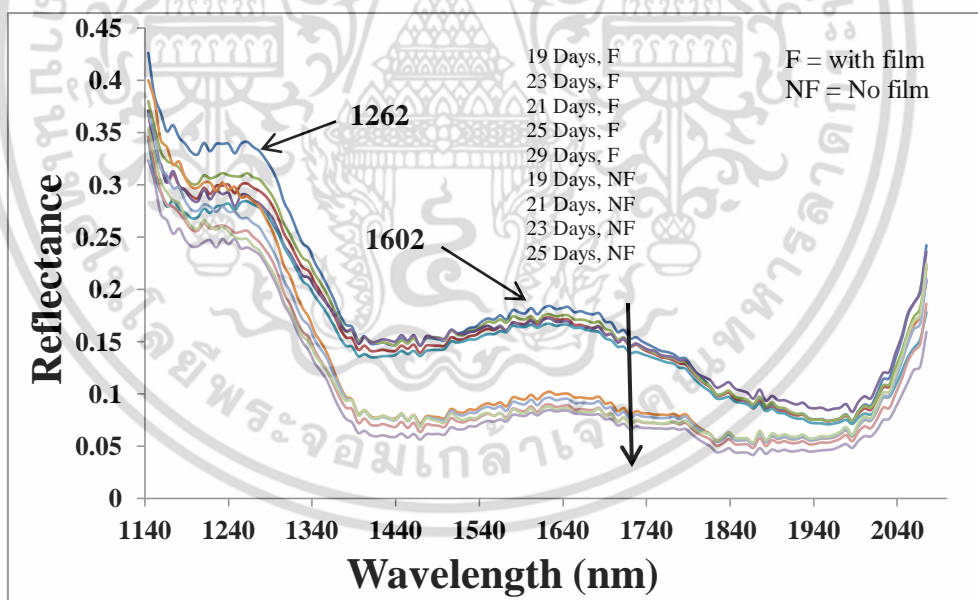
จากภาพที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 แสดงสเปกตรัมเดิมเฉลี่ยแบบ Reflectance ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และ ฤดูแล้ง ตามลำดับ ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



ภาพที่ 4.1 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

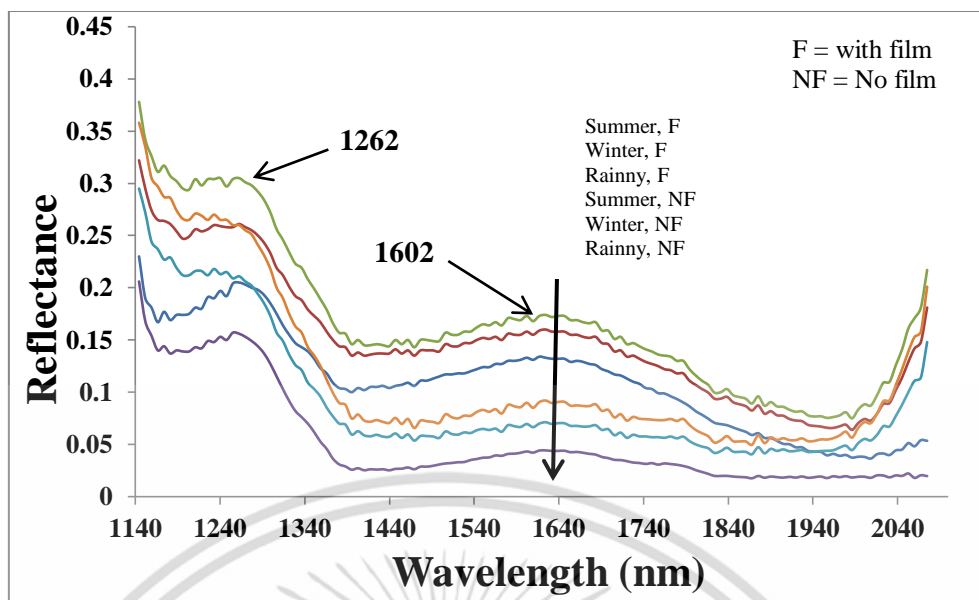


ภาพที่ 4.2 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



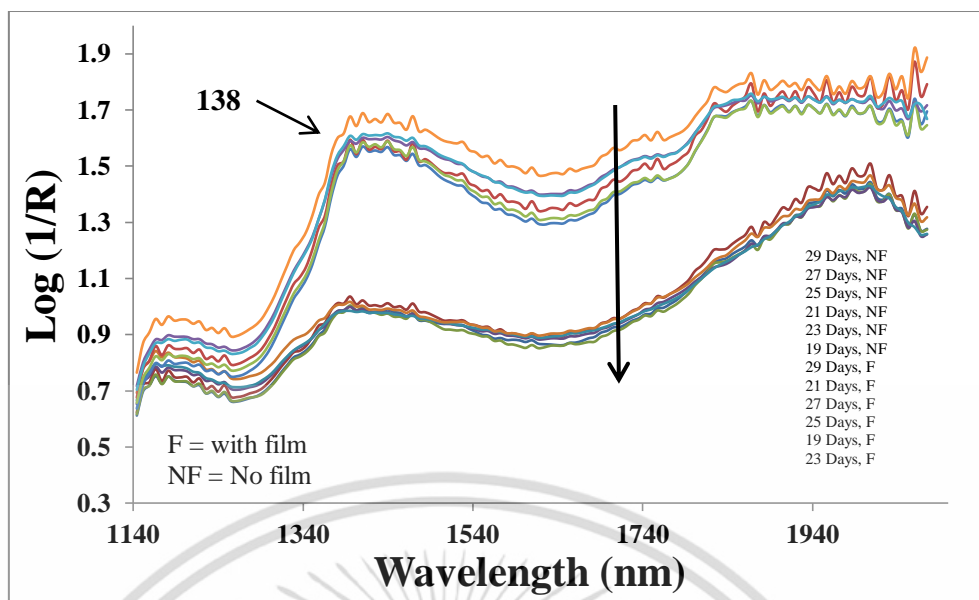
ภาพที่ 4.3 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

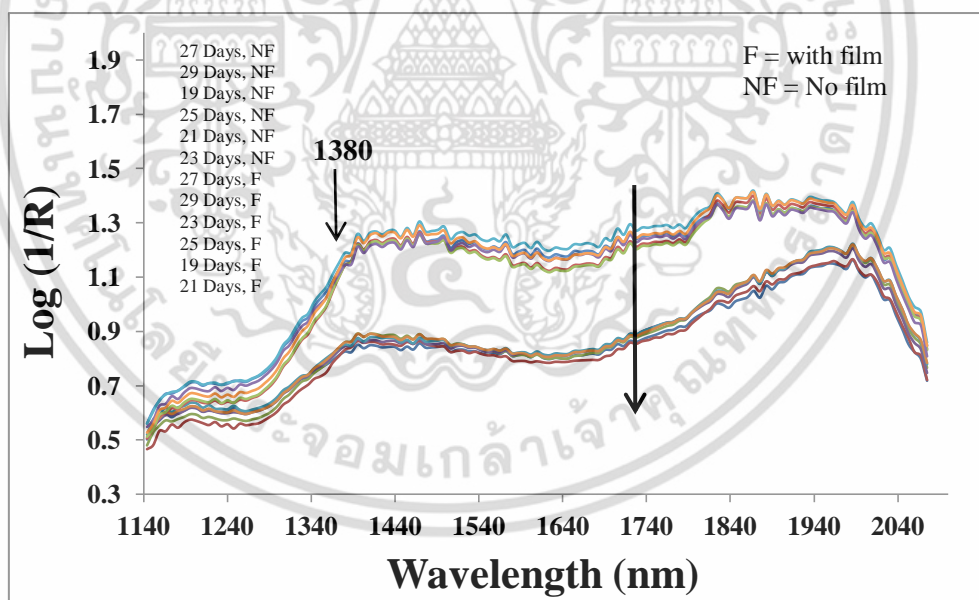


ภาพที่ 4.4 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อ
 แดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูก ในทุกฤดู ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มี
 พลาสติกหุ้ม

จากภาพที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8 แสดงสเปกตรัมเดิมเฉลี่ยแบบ Absorbance ของแต่ละ
 อายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูก
 ในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และ ทุกฤดู ตามลำดับ ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มี
 พลาสติกหุ้ม

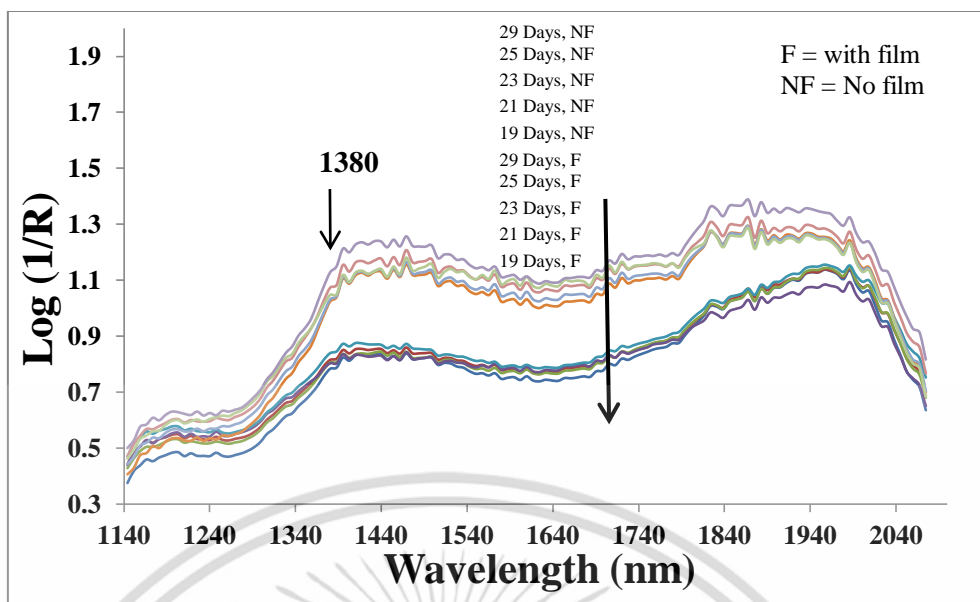


ภาพที่ 4.5 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

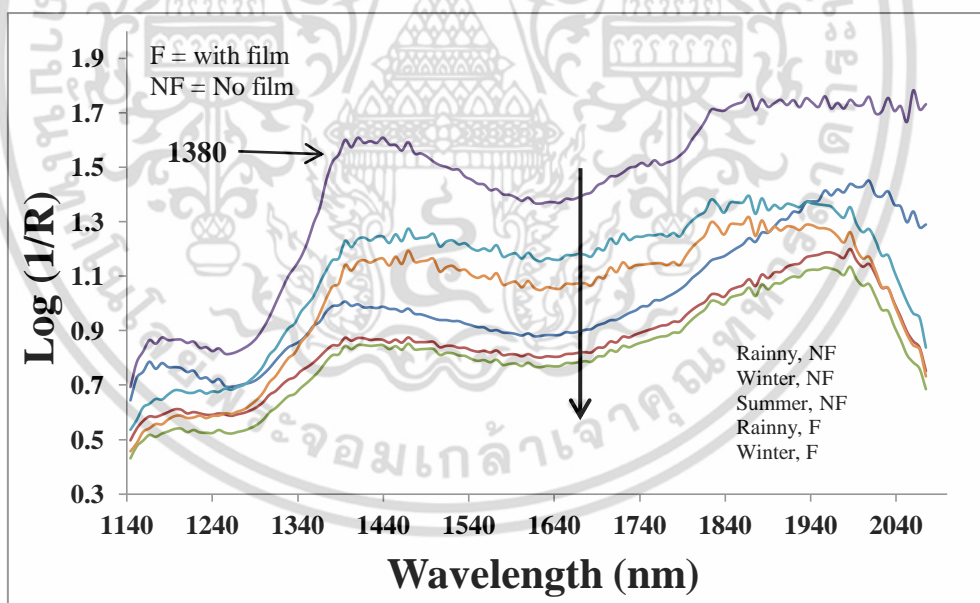


ภาพที่ 4.6 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโม่พันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



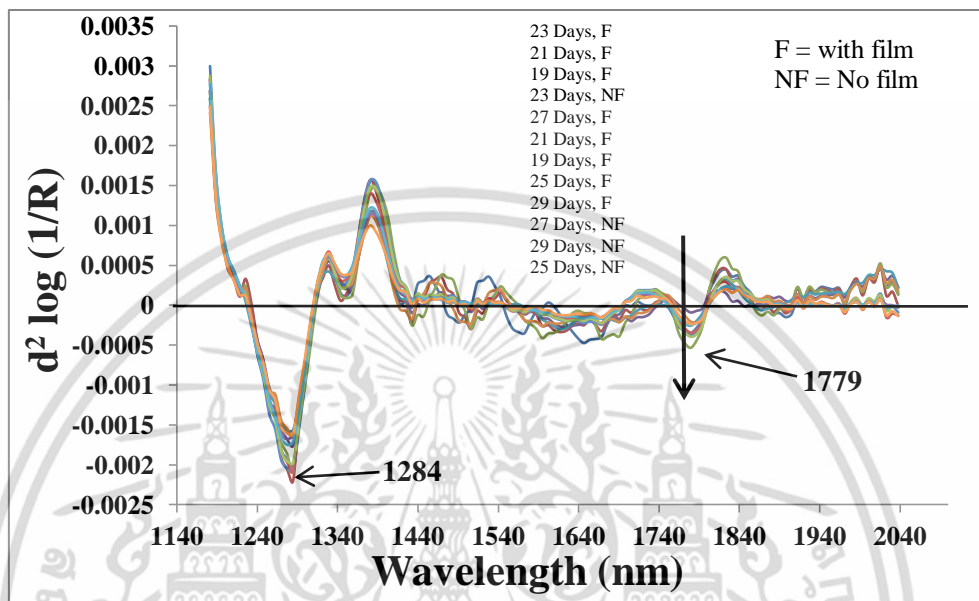
ภาพที่ 4.7 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



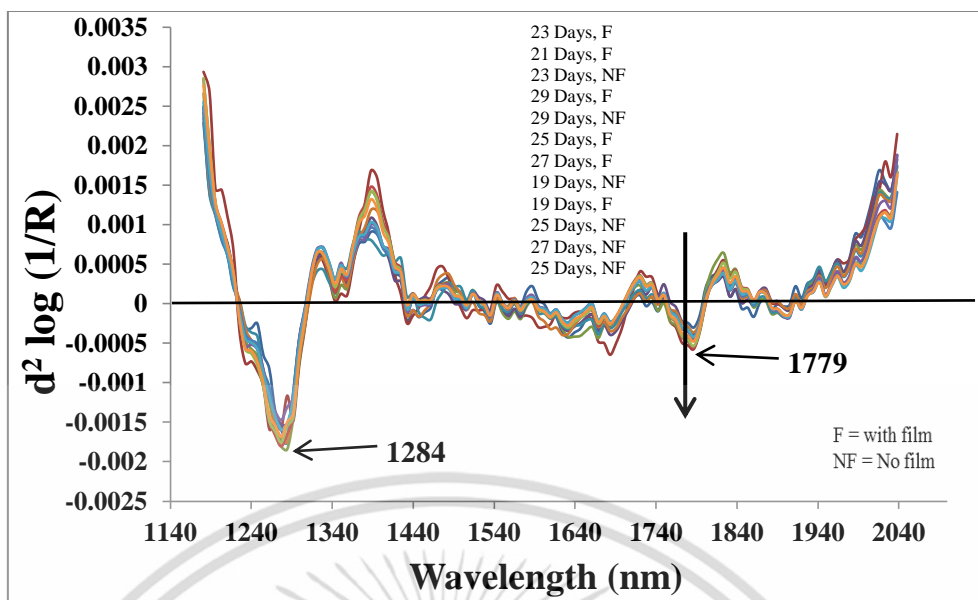
ภาพที่ 4.8 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

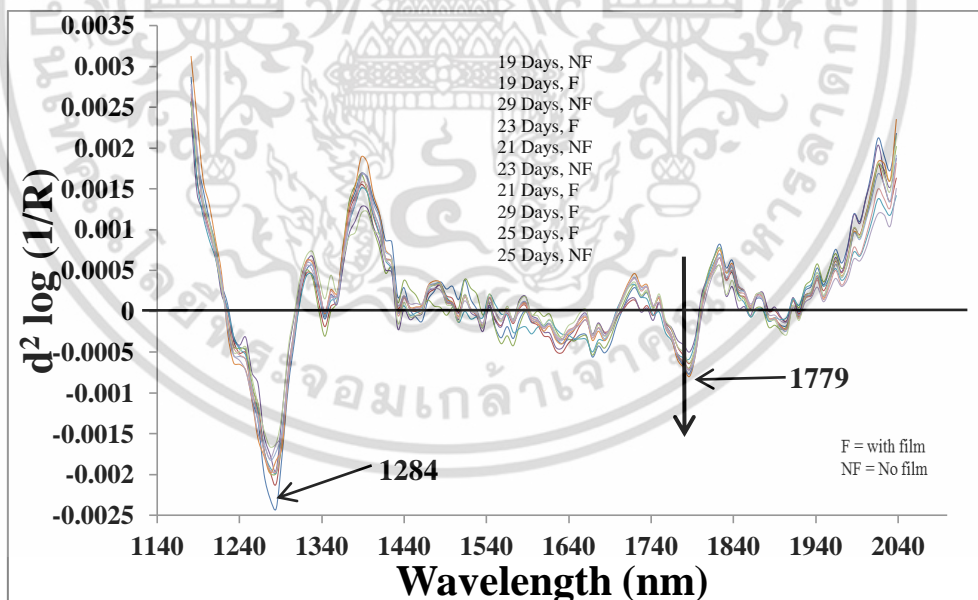
จากภาพที่ 4.9, 4.10, 4.11 และ 4.12 แสดงสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยแบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และ ทุกฤดู ตามลำดับ ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



ภาพที่ 4.9 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

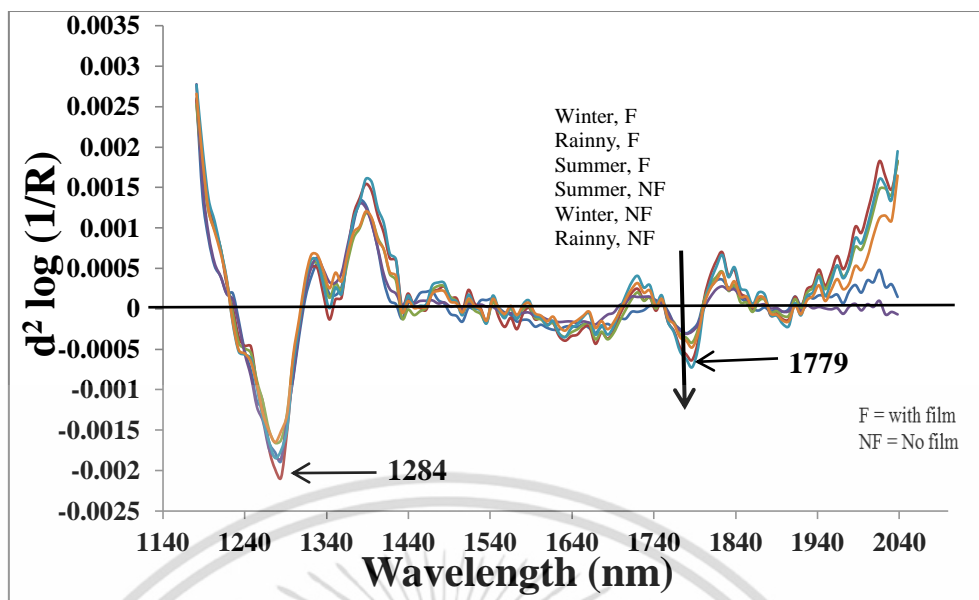


ภาพที่ 4.10 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



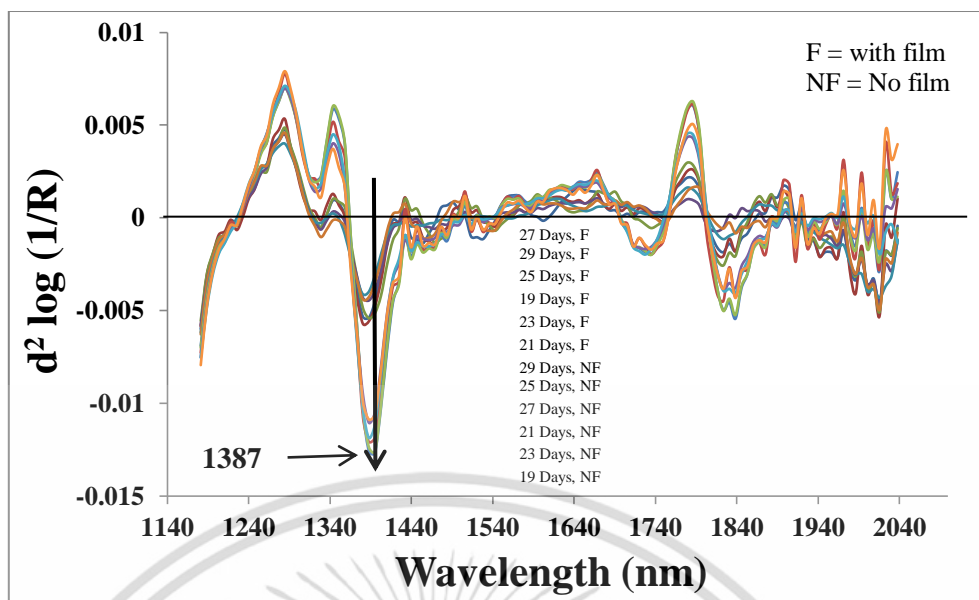
ภาพที่ 4.11 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

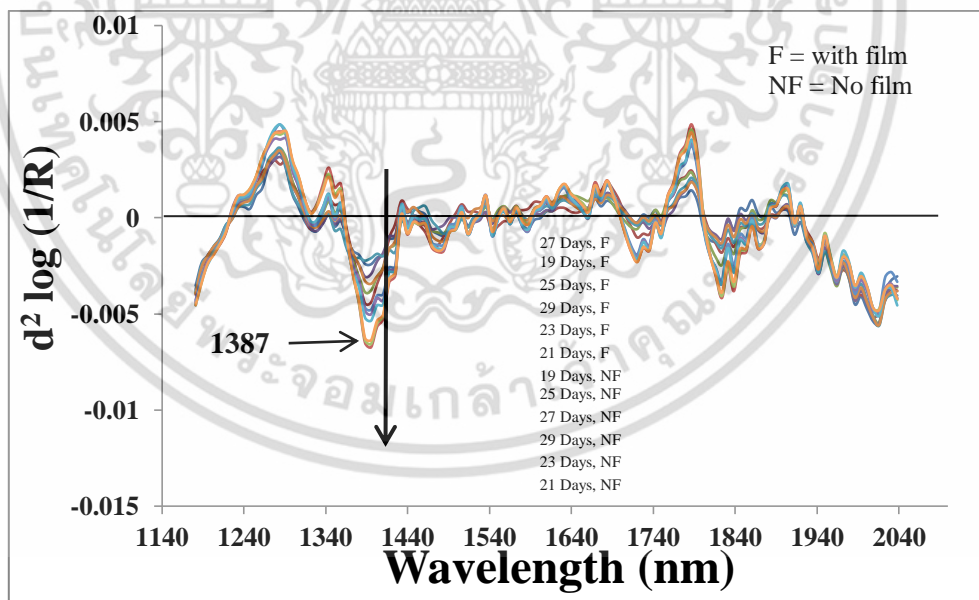


ภาพที่ 4.12 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Reflectance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

จากภาพที่ 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16 แสดงสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยแบบ Absorbance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และ ทุกฤดู ตามลำดับ ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

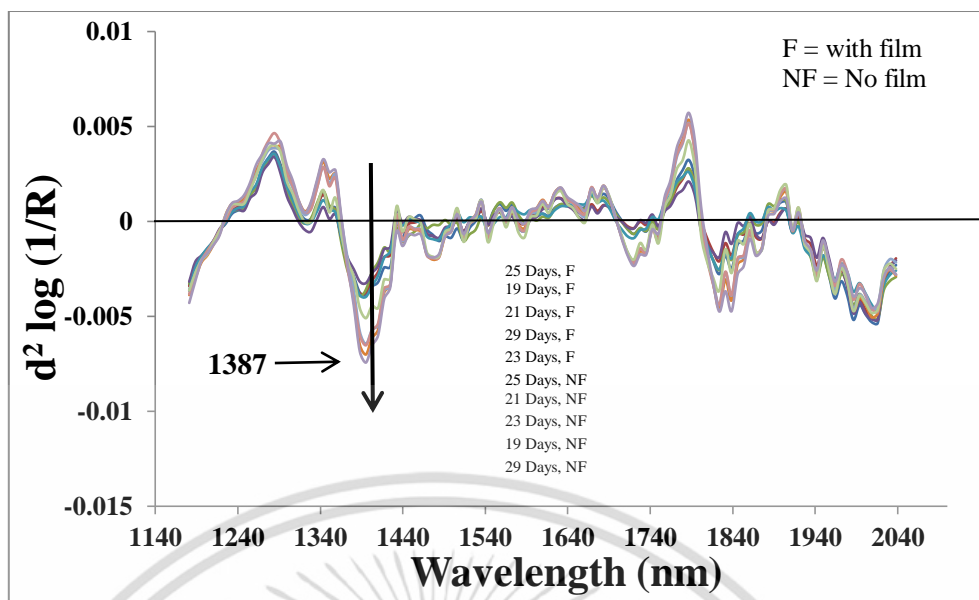


ภาพที่ 4.13 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

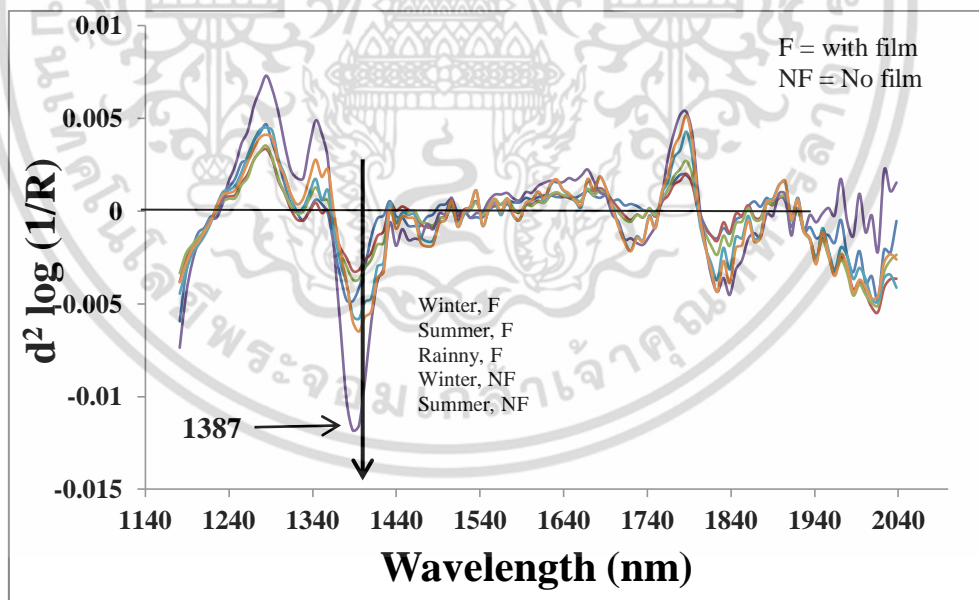


ภาพที่ 4.14 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อเตงโมพันธุ์กนิรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



ภาพที่ 4.16 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer แบบ Absorbance ของเนื้อเตงโมพันธุ์กนิรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่ 1150-2150 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer

4.1.2.1 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพีนที่วัดด้วยวิธีดั้งเดิม

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงจำนวนตัวอย่าง (N) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าสูงสุด (max) ค่าต่ำสุด (min) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่งโมพันธูกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction ของปริมาณไลโคพีน

ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพีนของแต่งโมพันธูกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction

ช่วงการเพาะปลูก	Calibration					Prediction				
	Nc	mean	max	min	SD	Np	mean	max	min	SD
ฤดูฝน	125	0.707	1.636	0.224	0.245	55	0.656	1.142	0.301	0.194
ฤดูหนาว	125	0.610	1.137	0.163	0.235	55	0.621	1.091	0.218	0.246
ฤดูร้อน	105	0.860	1.686	0.381	0.268	45	0.772	1.150	0.359	0.219
ทุกฤดู	345	0.710	1.686	0.163	0.267	165	0.696	1.150	0.218	0.235

หมายเหตุ : Nc คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Calibration, Np คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Prediction, mean คือ ค่าเฉลี่ย, max คือ ค่าสูงสุด, min คือ ค่าต่ำสุด, SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.2.2 ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณไลโคพีนด้วยวิธี PLS

จากตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณไลโคพีนของแต่งโมพันธูกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm พบว่าแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	2	0.108	0.231	1.99E-08	m	0.197	0.060	0.982	4.269
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.069	0.236	1.609E-08	m	0.205	0.054	0.944	4.102
Area Normalize	1	0.070	0.236	1.848E-08	m	0.197	0.054	0.982	4.269
Unit Vector Normalize	1	0.071	0.236	2.277E-08	m	0.198	0.054	0.977	4.247
Mean Normalize	1	0.070	0.236	2.229E-08	m	0.197	0.054	0.982	4.269
Maximum Normalize	1	0.047	0.239	2.038E-08	m	0.194	0.051	0.997	4.335
Range Normalize	1	0.042	0.238	1.943E-08	m	0.191	0.054	1.013	4.403
Baseline Offset	2	0.120	0.229	2.038E-08	m	0.200	0.059	0.968	4.205
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.140	0.227	2.253E-08	m	0.202	0.058	0.958	4.163
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.115	0.230	2.11E-08	m	0.198	0.061	0.977	4.247
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.204	0.218	1.609E-08	m	0.220	0.032	0.880	3.823
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.147	0.226	2.038E-08	m	0.205	0.058	0.944	4.102

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.3 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.049	0.229	2.61E-08	0.007	0.245	-0.005	1.005	3.563
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.062	0.228	2.325E-08	0.068	0.237	-0.004	1.039	3.684
Area Normalize	1	0.099	0.223	2.873E-08	0.026	0.242	-0.005	1.017	3.607
Unit Vector Normalize	1	0.103	0.222	1.991E-08	0.030	0.242	-0.005	1.017	3.607
Mean Normalize	1	0.099	0.223	3.016E-08	0.026	0.242	-0.005	1.017	3.607
Maximum Normalize	2	0.103	0.222	2.42E-08	0.055	0.239	-0.001	1.030	3.653
Range Normalize	2	0.113	0.221	1.943E-08	0.050	0.239	-0.002	1.030	3.653
Baseline Offset	1	0.025	0.232	2.468E-08	0.005	0.245	-0.007	1.005	3.563
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.048	0.229	2.158E-08	0.052	0.239	-0.007	1.030	3.653
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.045	0.230	2.611E-08	0.050	0.239	-0.007	1.030	3.653
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.043	0.230	2.348E-08	0.023	0.243	-0.003	1.013	3.593
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.058	0.228	2.73E-08	0.061	0.238	-0.010	1.034	3.668

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.4 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.006	0.266	9.08E-09	m	0.221	0.093	0.992	3.579
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.074	0.257	7.38E-09	m	0.232	0.110	0.945	3.409
Area Normalize	1	0.017	0.265	4.541E-09	m	0.224	0.095	0.979	3.531
Unit Vector Normalize	1	0.019	0.263	1.022E-08	m	0.224	0.095	0.979	3.531
Mean Normalize	1	0.017	0.265	8.515E-09	m	0.224	0.095	0.979	3.531
Maximum Normalize	1	0.036	0.262	1.079E-08	m	0.223	0.101	0.983	3.547
Range Normalize	1	0.006	0.266	1.022E-08	m	0.223	0.090	0.983	3.547
Baseline Offset	1	0.015	0.265	9.65E-09	m	0.223	0.096	0.983	3.547
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.024	0.264	1.079E-08	m	0.227	0.101	0.966	3.485
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.012	0.266	8.515E-09	m	0.223	0.097	0.983	3.547
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.076	0.257	9.65E-09	m	0.253	0.092	0.866	3.126
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.033	0.263	6.244E-09	m	0.229	0.107	0.957	3.454

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.5 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.003	0.266	-5.18E-09	0.0004	0.234	0.010	1.005	3.983
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.003	0.266	-7.95E-09	m	0.235	0.012	1.000	3.966
Area Normalize	1	0.004	0.266	-5.87E-09	m	0.234	0.012	1.005	3.983
Unit Vector Normalize	1	0.003	0.266	-5.87E-09	m	0.234	0.012	1.005	3.983
Mean Normalize	1	0.004	0.266	-6.05E-09	m	0.234	0.012	1.005	3.983
Maximum Normalize	1	0.007	0.265	-5.87E-09	m	0.236	0.012	0.996	3.949
Range Normalize	1	0.003	0.266	-4.49E-09	m	0.235	0.013	1.000	3.966
Baseline Offset	1	0.004	0.266	-5.01E-09	0.001	0.234	0.010	1.005	3.983
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.006	0.265	-5.53E-09	0.005	0.234	0.010	1.005	3.983
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.005	0.266	-8.81E-09	0.007	0.233	0.010	1.009	4.000
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.019	0.264	-7.69E-09	m	0.236	0.011	0.996	3.949
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.008	0.265	-5.01E-09	0.012	0.233	0.009	1.009	4.000

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

จากตารางที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณไลโคพีนของ
แตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21,
23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm พบว่า
แบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กษิรที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	3	0.284	0.207	1.01E-08	m	0.218	0.068	0.888	3.858
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.143	0.266	3.576E-10	m	0.200	0.054	0.968	4.205
Area Normalize	2	0.143	0.226	1.252E-08	m	0.199	0.053	0.972	4.226
Unit Vector Normalize	2	0.146	0.225	2.611E-08	m	0.199	0.053	0.972	4.226
Mean Normalize	2	0.143	0.226	2.182E-08	m	0.199	0.053	0.972	4.226
Maximum Normalize	2	0.145	0.226	2.086E-08	m	0.203	0.057	0.953	4.143
Range Normalize	2	0.154	0.225	1.633E-08	m	0.203	0.055	0.953	4.143
Baseline Offset	4	0.333	0.200	-2.03E-09	m	0.215	0.050	0.900	3.912
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	4	0.321	0.201	2.229E-08	m	0.220	0.055	0.880	3.823
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.237	0.213	2.134E-08	m	0.212	0.051	0.913	3.967
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	2	0.258	0.210	2.205E-08	m	0.213	0.077	0.908	3.948
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	4	0.333	0.199	3.254E-08	m	0.229	0.067	0.845	3.672

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.7 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	8	0.447	0.175	-7.57E-08	m	0.248	0.038	0.993	3.520
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	6	0.399	0.182	1.062E-07	0.029	0.240	0.031	1.026	3.638
Area Normalize	6	0.365	0.187	-2.46E-07	m	0.246	0.039	1.001	3.549
Unit Vector Normalize	6	0.367	0.187	-5.96E-10	m	0.246	0.039	1.001	3.549
Mean Normalize	6	0.365	0.187	-8.17E-08	m	0.246	0.039	1.001	3.549
Maximum Normalize	8	0.419	0.179	1.003E-07	m	0.235	0.043	1.048	3.715
Range Normalize	8	0.419	0.179	1.055E-07	0.057	0.235	0.042	1.048	3.715
Baseline Offset	8	0.410	0.180	-1.15E-07	0.027	0.239	0.040	1.030	3.653
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.199	0.210	1.872E-08	m	0.258	0.026	0.954	3.384
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.003	0.234	2.444E-08	0.011	0.244	-0.011	1.009	3.578
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.289	0.198	5.841E-09	m	0.238	0.032	1.034	3.668
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	4	0.234	0.206	2.587E-08	0.007	0.242	0.036	1.017	3.607

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.8 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.014	0.265	8.52E-09	m	0.225	0.086	0.974	3.516
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.010	0.266	9.65E-09	m	0.223	0.092	0.983	3.547
Area Normalize	1	0.023	0.264	6.812E-09	m	0.223	0.087	0.983	3.547
Unit Vector Normalize	1	0.024	0.264	9.083E-09	m	0.225	0.090	0.974	3.516
Mean Normalize	1	0.023	0.264	1.76E-08	m	0.223	0.087	0.983	3.547
Maximum Normalize	1	0.009	0.266	1.079E-08	m	0.218	0.093	1.006	3.628
Range Normalize	1	0.009	0.266	9.65E-09	m	0.217	0.091	1.010	3.645
Baseline Offset	1	0.015	0.265	1.022E-08	m	0.226	0.084	0.970	3.500
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.017	0.265	9.65E-09	m	0.226	0.085	0.970	3.500
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.020	0.265	1.022E-08	m	0.227	0.083	0.966	3.485
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.019	0.265	1.022E-08	m	0.227	0.083	0.966	3.485
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.019	0.265	9.083E-09	m	0.226	0.081	0.970	3.500

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.9 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	5	0.102	0.252	-1.04E-09	0.017	0.233	0.001	1.009	4.000
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.006	0.265	-7.26E-09	m	0.235	0.013	1.000	3.966
Area Normalize	1	0.004	0.266	-5.18E-09	m	0.235	0.013	1.000	3.966
Unit Vector Normalize	1	0.005	0.265	-8.29E-09	m	0.235	0.013	1.000	3.966
Mean Normalize	1	0.004	0.266	-6.91E-09	m	0.235	0.013	1.000	3.966
Maximum Normalize	1	0.007	0.265	-7.6E-09	m	0.235	0.012	1.000	3.966
Range Normalize	1	0.005	0.266	-8.12E-09	m	0.235	0.012	1.000	3.966
Baseline Offset	1	0.018	0.264	-8.29E-09	m	0.235	0.008	1.000	3.966
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.021	0.263	-5.87E-09	m	0.235	0.009	1.000	3.966
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.019	0.264	-5.7E-09	m	0.235	0.008	1.000	3.966
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.022	0.263	-5.87E-09	m	0.235	0.010	1.000	3.966
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.023	0.263	-6.57E-09	m	0.235	0.008	1.000	3.966

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

4.1.3 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง Micro NIR Spectrometer

4.1.3.1 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายที่วัดด้วยวิธีดั้งเดิม

จากตารางที่ 4.10 แสดงถึงจำนวนตัวอย่าง (N) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าสูงสุด (max) ค่าต่ำสุด (min) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่งโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ตารางที่ 4.10 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแต่งโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction

ช่วงการเพาะปลูก	Calibration					Prediction				
	Nc	Mean	max	min	SD	Np	Mean	max	min	SD
ฤดูฝน	125	12.1	14.2	10.0	0.9	55	12.2	14.2	9.9	1.0
ฤดูหนาว	125	12.0	13.9	8.4	1.3	55	11.9	13.7	8.9	1.3
ฤดูร้อน	105	11.7	13.8	9.6	1.1	45	11.7	13.4	10.0	1.0
ทุกฤดู	345	12.0	14.2	8.4	1.1	165	11.9	14.2	8.9	1.1

หมายเหตุ : Nc คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Calibration, Np คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Prediction, mean คือ ค่าเฉลี่ย, max คือ ค่าสูงสุด, min คือ ค่าต่ำสุด, SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.3.2 ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยวิธี PLS

จากตารางที่ 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแต่งโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm พบว่าแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.044	0.816	1.68E-07	m	0.989	-0.048	0.991	4.348
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.051	0.858	1.144E-07	m	1.066	-0.078	0.919	4.034
Area Normalize	1	0.031	0.867	1.831E-07	m	1.033	-0.067	0.948	4.163
Unit Vector Normalize	1	0.033	0.866	1.526E-07	m	1.036	-0.067	0.946	4.151
Mean Normalize	1	0.031	0.867	1.755E-07	m	1.033	-0.067	0.948	4.163
Maximum Normalize	1	0.014	0.875	2.136E-07	m	1.017	-0.071	0.963	4.228
Range Normalize	1	0.009	0.877	1.144E-07	m	1.006	-0.068	0.974	4.274
Baseline Offset	1	0.049	0.859	1.831E-07	m	0.991	-0.034	0.989	4.339
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.073	0.848	1.297E-07	m	1.024	-0.040	0.957	4.199
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.072	0.848	1.755E-07	m	1.024	-0.045	0.957	4.199
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.069	0.850	1.602E-07	m	1.010	-0.027	0.970	4.257
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.073	0.848	2.06E-07	m	1.024	-0.035	0.957	4.199

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.12 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉ่งโมพันธ์กิบรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.022	1.315	2.06E-07	0.030	1.317	0.160	1.024	3.690
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.047	1.297	2.289E-07	0.055	1.298	0.169	1.039	3.744
Area Normalize	1	0.072	1.280	1.907E-07	0.023	1.322	0.160	1.020	3.676
Unit Vector Normalize	1	0.076	1.278	1.678E-07	0.027	1.318	0.163	1.023	3.687
Mean Normalize	1	0.072	1.280	1.907E-07	0.023	1.322	0.160	1.020	3.676
Maximum Normalize	2	0.082	1.274	1.831E-07	0.040	1.307	0.181	1.031	3.718
Range Normalize	2	0.095	1.264	1.297E-07	0.042	1.305	0.184	1.033	3.724
Baseline Offset	1	0.042	1.301	1.907E-07	0.019	1.324	0.165	1.018	3.671
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.045	1.299	2.213E-07	0.052	1.302	0.156	1.035	3.733
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.042	1.301	1.678E-07	0.041	1.312	0.136	1.027	3.704
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.030	1.309	2.06E-07	m	1.341	0.185	1.005	3.624
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.046	1.298	1.602E-07	0.043	1.309	0.145	1.030	3.713

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.13 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.044	1.093	-3.91E-07	0.098	0.976	-0.093	1.058	3.514
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.040	1.095	-3.54E-07	m	1.045	-0.022	0.988	3.282
Area Normalize	1	0.068	1.073	-3.54E-07	0.131	0.960	-0.057	1.076	3.573
Unit Vector Normalize	1	0.066	1.080	-3.36E-07	0.117	0.968	-0.053	1.067	3.543
Mean Normalize	1	0.068	1.079	-3.54E-07	0.131	0.960	-0.057	1.076	3.573
Maximum Normalize	1	0.064	1.081	-3.72E-07	0.080	0.989	-0.041	1.044	3.468
Range Normalize	1	0.057	1.085	-3.82E-07	0.129	0.962	-0.046	1.074	3.565
Baseline Offset	1	0.058	1.084	-3.36E-07	0.169	0.935	-0.102	1.105	3.668
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.075	1.075	-3.91E-07	0.121	0.963	-0.090	1.073	3.562
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.068	1.079	-3.82E-07	0.177	0.931	-0.101	1.109	3.684
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.132	1.041	-3.63E-07	m	1.095	-0.092	0.943	3.132
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.069	1.078	-3.36E-07	0.152	0.945	-0.102	1.093	3.630

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.14 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉ่งโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.014	1.134	-4.73E-07	0.012	1.128	0.064	1.008	4.752
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	1	0.011	1.136	-4.51E-07	0.012	1.128	0.050	1.008	4.752
Area Normalize	1	0.014	1.134	-4.59E-07	0.045	1.109	0.041	1.025	4.833
Unit Vector Normalize	1	0.014	1.134	-4.34E-07	0.043	1.111	0.042	1.023	4.824
Mean Normalize	1	0.014	1.134	-4.67E-07	0.045	1.109	0.041	1.025	4.833
Maximum Normalize	1	0.020	1.131	-4.53E-07	0.051	1.106	0.041	1.028	4.846
Range Normalize	1	0.017	1.133	-4.73E-07	0.050	1.107	0.038	1.027	4.842
Baseline Offset	1	0.006	1.139	-4.48E-07	m	1.136	0.058	1.001	4.718
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.009	1.137	-4.76E-07	0.010	1.129	0.053	1.007	4.748
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.006	1.139	-4.76E-07	m	1.134	0.055	1.003	4.727
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.013	1.135	-4.4E-07	0.010	1.130	0.040	1.006	4.743
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.012	1.135	-4.48E-07	0.013	1.128	0.055	1.008	4.752

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

จากตารางที่ 4.15, 4.16, 4.17 และ 4.18 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm พบว่าแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการทำนายของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธ์ุกันรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกห่ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	5	0.299	0.737	2.21E-07	m	1.104	-0.008	0.887	3.895
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	5	0.384	0.691	5.188E-07	m	1.002	-0.036	0.978	4.291
Area Normalize	2	0.141	0.816	1.45E-07	m	0.981	-0.175	0.999	4.383
Unit Vector Normalize	2	0.133	0.820	2.975E-07	m	0.965	-0.170	1.015	4.456
Mean Normalize	2	0.141	0.816	9.918E-08	m	0.981	-0.175	0.999	4.383
Maximum Normalize	1	0.066	0.851	1.602E-07	0.034	0.955	-0.115	1.026	4.503
Range Normalize	2	0.092	0.839	1.907E-07	0.020	0.965	-0.086	1.015	4.456
Baseline Offset	1	0.073	0.848	1.526E-07	m	1.007	-0.085	0.973	4.270
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	4	0.231	0.772	1.602E-07	m	1.026	-0.090	0.955	4.191
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	5	0.237	0.769	1.297E-07	m	1.033	-0.012	0.948	4.163
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.079	0.845	1.755E-07	m	1.002	-0.059	0.978	4.291
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	4	0.266	0.755	2.823E-07	m	1.064	-0.006	0.921	4.041

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.16 ผลการทำนายของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธ์ุกันที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	6	0.425	1.008	3.59E-07	m	1.368	0.398	0.985	3.553
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	7	0.504	0.936	-7.1E-07	m	1.374	0.361	0.981	3.537
Area Normalize	8	0.533	0.908	-2.01E-06	m	1.449	0.343	0.930	3.354
Unit Vector Normalize	5	0.379	1.048	5.112E-07	m	1.408	0.309	0.957	3.452
Mean Normalize	8	0.533	0.908	7.858E-07	m	1.449	0.343	0.930	3.354
Maximum Normalize	9	0.557	0.885	-1.6E-07	m	1.388	0.392	0.971	3.501
Range Normalize	6	0.401	1.028	1.068E-06	m	1.280	0.502	1.053	3.797
Baseline Offset	8	0.490	0.949	1.221E-07	m	1.394	0.389	0.967	3.486
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	8	0.487	0.951	1.06E-06	m	1.376	0.372	0.980	3.532
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	9	0.456	0.981	8.774E-07	m	1.322	0.302	1.020	3.676
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.364	1.060	5.722E-08	m	1.360	0.380	0.991	3.574
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	7	0.457	0.979	1.373E-07	m	1.376	0.365	0.980	3.532

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.17 ผลการทำนายของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธ์ุกันรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกห่ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	8	0.397	0.867	-9.36E-07	m	1.043	0.105	0.990	3.289
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	5	0.267	0.957	-1.05E-06	m	1.058	0.109	0.976	3.242
Area Normalize	8	0.479	0.806	3.288E-06	m	1.198	0.032	0.862	2.863
Unit Vector Normalize	8	0.488	0.799	1.671E-06	m	1.219	0.146	0.847	2.814
Mean Normalize	8	0.479	0.809	-1.12E-06	m	1.198	0.032	0.862	2.863
Maximum Normalize	1	0.013	1.110	-3.82E-07	m	1.038	-0.019	0.995	3.304
Range Normalize	1	0.010	1.111	-4.36E-07	0.006	1.029	-0.029	1.004	3.333
Baseline Offset	1	0.021	1.106	-3.72E-07	0.091	0.982	-0.055	1.052	3.493
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.020	1.106	-3.82E-07	0.058	1.001	-0.045	1.032	3.427
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.020	1.106	-3.54E-07	0.099	0.978	-0.057	1.056	3.507
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.068	1.079	-4.09E-07	0.103	0.976	-0.046	1.058	3.514
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	2	0.057	1.085	-4.18E-07	0.212	0.914	-0.053	1.130	3.753

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.18 ผลการทำนายของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแป้งโมโนฟังก์ชันรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูแล้ง และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกห่ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm

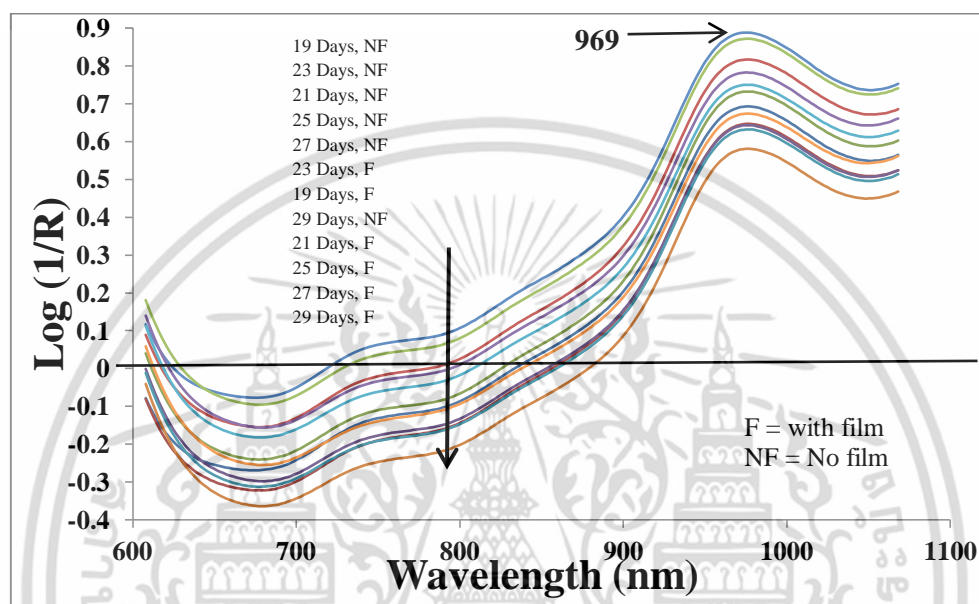
Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	3	0.064	1.105	-4.31E-07	0.005	1.129	0.098	1.007	4.748
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	7	0.233	1.000	-5.47E-07	m	1.169	0.144	0.973	4.585
Area Normalize	4	0.123	1.069	-9.4E-08	0.027	1.117	0.095	1.018	4.799
Unit Vector Normalize	7	0.203	1.019	-6.36E-07	m	1.157	0.143	0.983	4.633
Mean Normalize	4	0.123	1.069	-6.86E-07	0.027	1.117	0.095	1.018	4.799
Maximum Normalize	7	0.201	1.021	-2.32E-07	m	1.144	0.205	0.994	4.685
Range Normalize	6	0.165	1.044	-7.44E-07	m	1.138	0.154	0.999	4.710
Baseline Offset	7	0.161	1.046	-3.04E-07	m	1.185	0.131	0.959	4.523
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.073	1.100	-4.73E-07	0.039	1.109	0.097	1.025	4.833
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	4	0.090	1.090	-4.06E-07	m	1.150	0.101	0.989	4.661
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.175	1.037	-4.2E-07	m	1.133	0.131	1.004	4.731
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	7	0.197	1.023	-6.99E-07	m	1.160	0.134	0.980	4.621

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

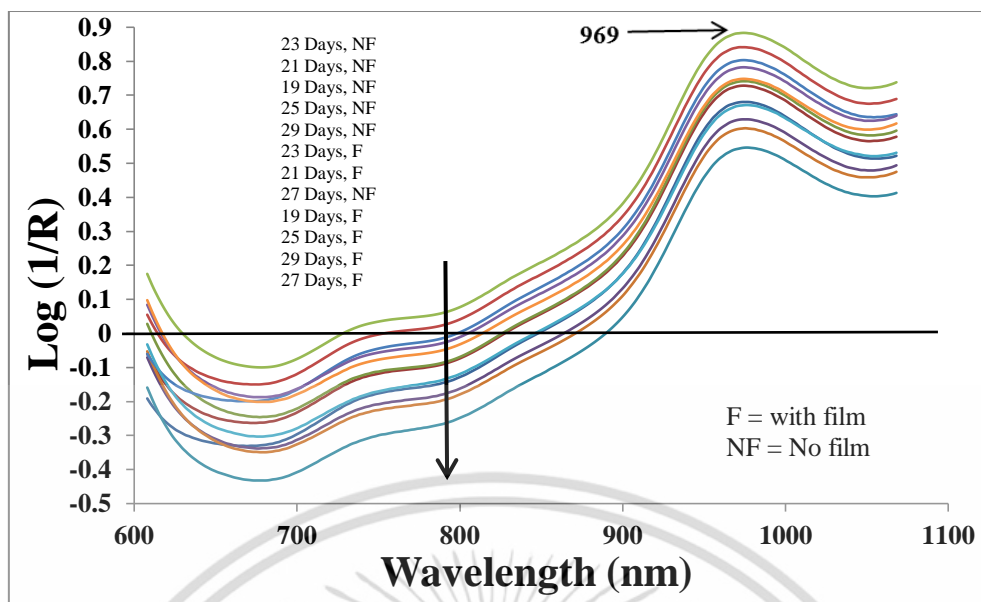
4.2 ผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun

4.2.1 สเปกตรัมของเนื้อแตงโมตัดแต่งที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun

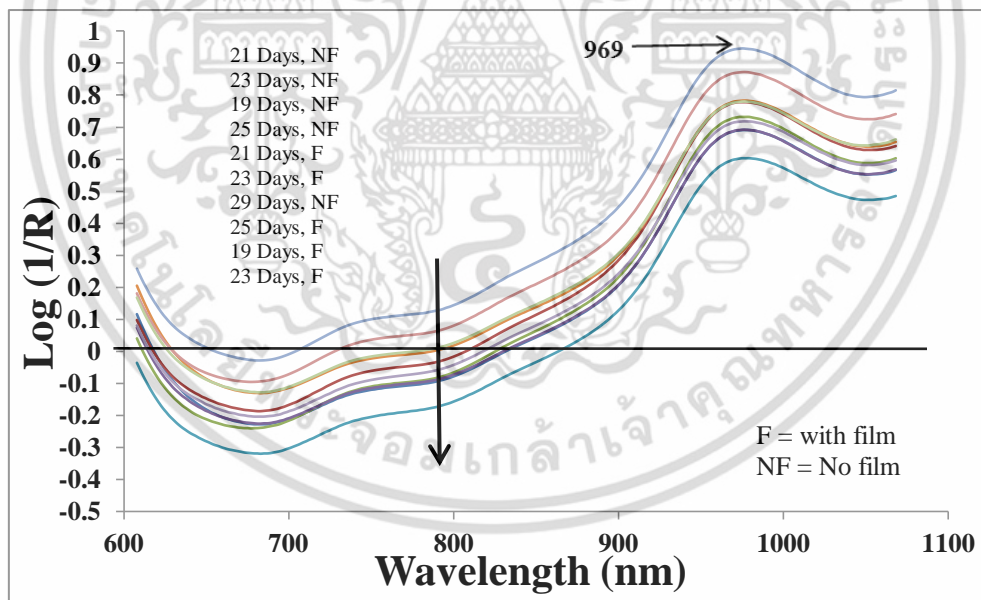
จากภาพที่ 4.17, 4.18, 4.19 และ 4.20 แสดงสเปกตรัมเดิมเฉลี่ยของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และ ทุกฤดู ตามลำดับ ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



ภาพที่ 4.17 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

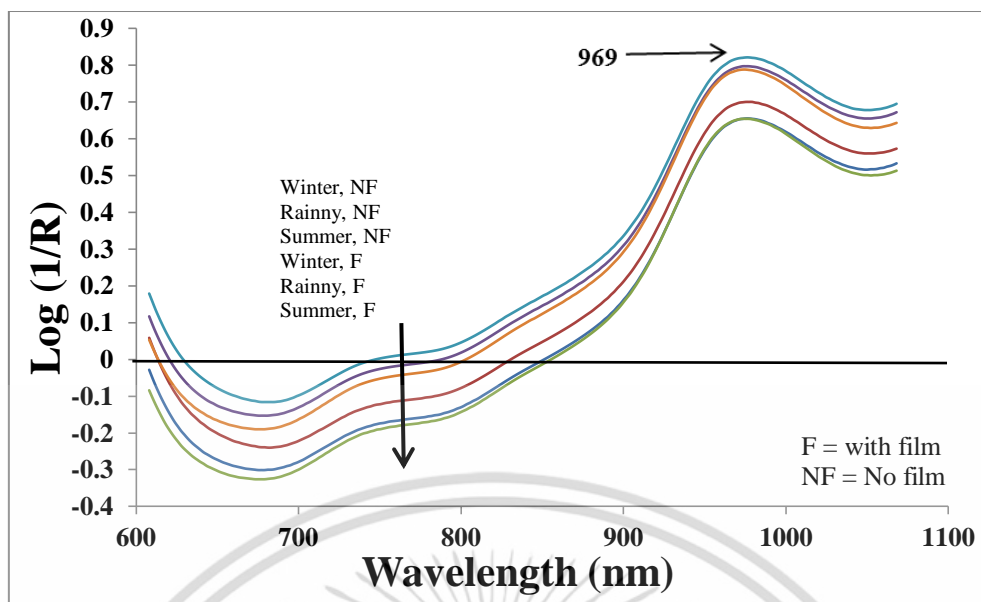


ภาพที่ 4.18 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



ภาพที่ 4.19 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

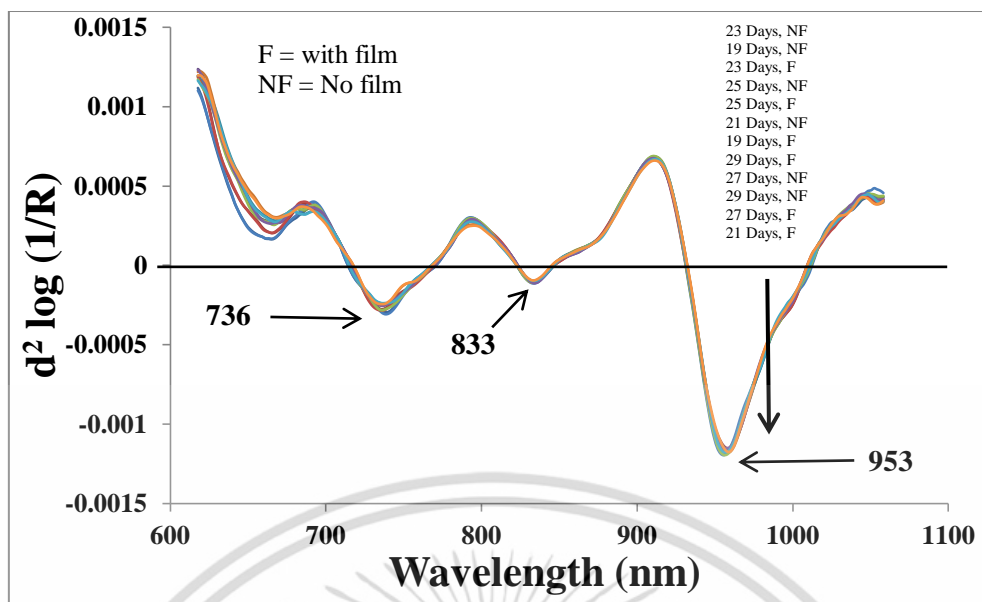
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



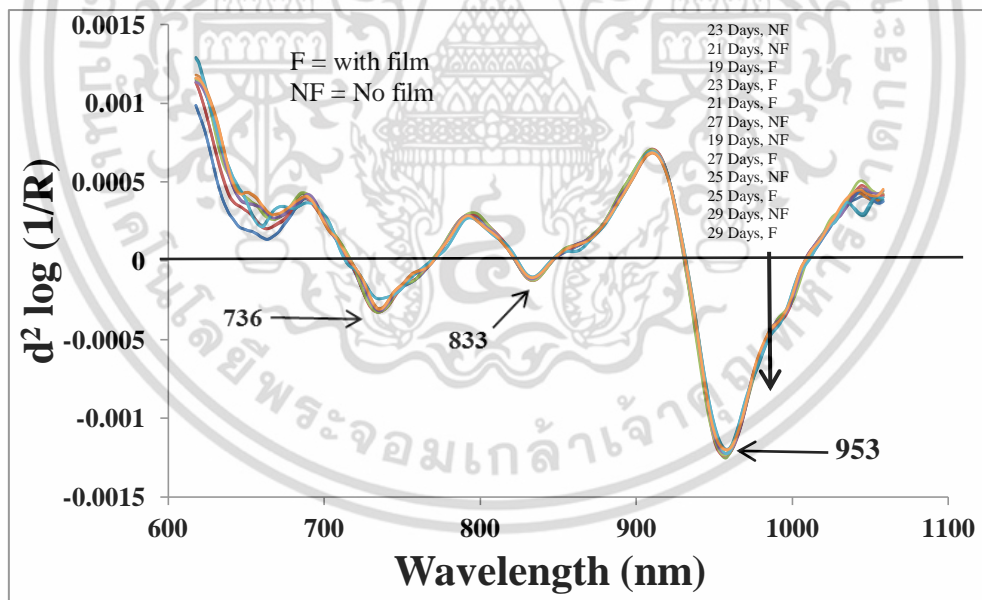
ภาพที่ 4.20 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

จากภาพที่ 4.21, 4.22, 4.23 และ 4.24 แสดงสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และ ทุกฤดู ตามลำดับ ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

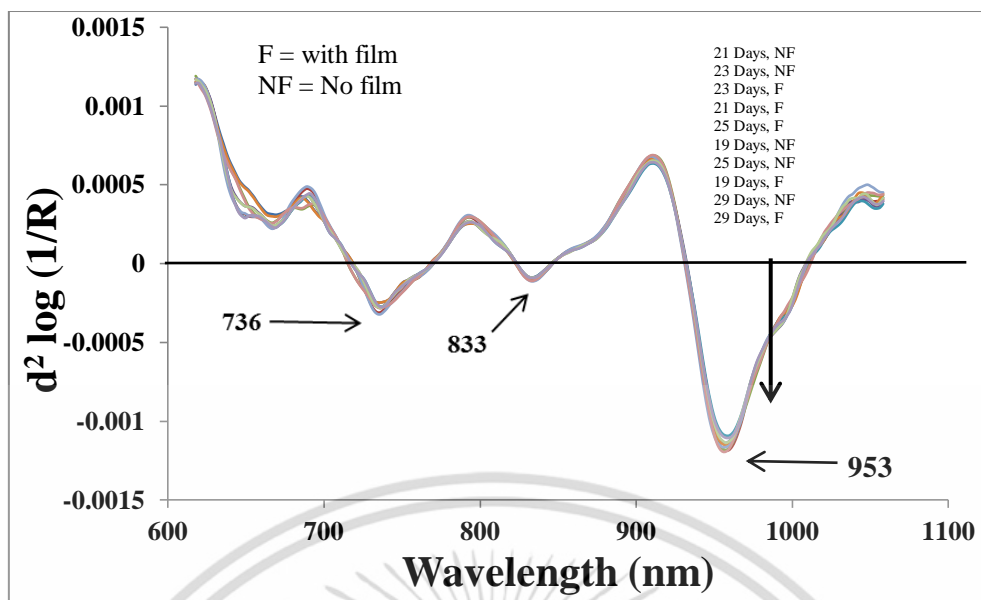


ภาพที่ 4.21 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

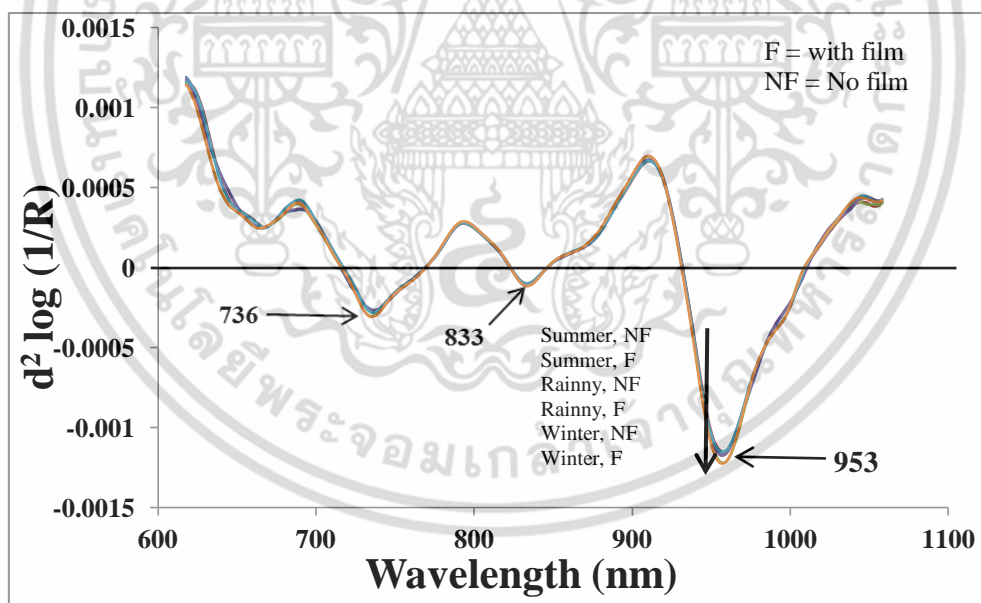


ภาพที่ 4.22 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FOA-NIR Gun ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



ภาพที่ 4.24 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่ 607-1063 nm ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

4.2.2 ผลการทำนายปริมาณไลโคพินด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพินที่วัดด้วยวิธีดั้งเดิม

จากตารางที่ 4.19 แสดงถึงจำนวนตัวอย่าง (N) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าสูงสุด (max) ค่าต่ำสุด (min) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction ของปริมาณไลโคพิน

ตารางที่ 4.19 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพินของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction

ช่วงการเพาะปลูก	Calibration					Prediction				
	Nc	mean	max	min	SD	Np	mean	max	min	SD
ฤดูฝน	124	0.692	1.202	0.224	0.227	55	0.672	1.142	0.301	0.207
ฤดูหนาว	125	0.610	1.137	0.163	0.235	55	0.621	1.091	0.218	0.246
ฤดูร้อน	102	0.864	1.515	0.405	0.256	45	0.755	1.191	0.359	0.212
ทุกฤดู	341	0.704	1.515	0.163	0.258	165	0.699	1.191	0.248	0.234

หมายเหตุ : Nc คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Calibration, Np คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Prediction, mean คือ ค่าเฉลี่ย, max คือ ค่าสูงสุด, min คือ ค่าต่ำสุด, SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.2.2 ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณไลโคพินด้วยวิธี PLS

จากตารางที่ 4.20 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณไลโคพินของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดได้จากสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Maximum Normalize ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R^2) สูงที่สุดคือ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.765% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SEC) เท่ากับ 0.11% และค่า bias เท่ากับ 1.887E-08%

จากตารางที่ 4.21 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณไลโคพินของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดได้จากสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R^2) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงที่สุดคือ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.901% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SEC) เท่ากับ 0.073% และค่า bias เท่ากับ $-5.6E-09\%$

จากตารางที่ 4.22 และ 4.23 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์ กินรีที่เพาะปลูกใน ฤดูร้อนและทุกฤดู ตามลำดับ ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	4	0.792	0.103	2.03E-08	0.786	0.094	-0.005	2.202	8.947
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	3	0.788	0.104	-1.803E-09	0.790	0.094	-0.003	2.202	8.947
Area Normalize	1	0.000	0.227	1.815E-08	m	0.206	0.020	1.005	4.083
Unit Vector Normalize	4	0.801	0.101	-8.532E-09	0.797	0.093	-0.001	2.226	9.043
Mean Normalize	2	0.213	0.201	1.574E-08	0.130	0.192	0.014	1.078	4.380
Maximum Normalize	2	0.765	0.110	1.887E-08	0.801	0.092	-0.001	2.250	9.141
Range Normalize	3	0.793	0.103	3.257E-08	0.789	0.094	0.000	2.202	8.947
Baseline Offset	3	0.776	0.107	1.622E-08	0.779	0.096	-0.008	2.156	8.760
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	2	0.779	0.106	3.04E-08	0.782	0.096	-0.007	2.156	8.760
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.791	0.103	2.776E-08	0.775	0.097	-0.005	2.134	8.670
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	2	0.775	0.107	2.007E-08	0.752	0.102	0.003	2.029	8.245
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	2	0.772	0.108	1.742E-08	0.742	0.105	0.001	1.971	8.010

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.21 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	3	0.877	0.082	1.73E-08	0.826	0.101	-0.009	2.438	8.644
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	2	0.865	0.085	5.734E-08	0.836	0.099	-0.008	2.487	8.818
Area Normalize	1	0.009	0.234	2.539E-08	m	0.257	-0.017	0.958	3.397
Unit Vector Normalize	2	0.878	0.081	2.873E-08	0.821	0.103	-0.013	2.390	8.476
Mean Normalize	1	0.001	0.235	2.444E-08	m	0.248	-0.007	0.993	3.520
Maximum Normalize	3	0.869	0.085	2.42E-08	0.817	0.104	-0.005	2.367	8.394
Range Normalize	2	0.884	0.079	3.016E-08	0.825	0.102	-0.011	2.414	8.559
Baseline Offset	3	0.863	0.086	9.656E-09	0.835	0.099	-0.008	2.487	8.818
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.901	0.073	-5.6E-09	0.860	0.091	-0.011	2.705	9.593
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.871	0.084	3.326E-08	0.830	0.100	-0.009	2.462	8.730
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	4	0.900	0.074	2.396E-08	0.802	0.107	-0.019	2.301	8.159
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	4	0.896	0.075	4.709E-08	0.833	0.098	-0.017	2.512	8.908

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.22 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	9	0.431	0.193	1.72E-07	m	0.279	0.145	0.760	2.982
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	2	0.139	0.237	4.675E-08	m	0.201	0.119	1.055	4.139
Area Normalize	1	0.004	0.255	5.844E-10	m	0.211	0.107	1.005	3.943
Unit Vector Normalize	12	0.585	0.164	-6.94E-07	m	0.258	0.124	0.822	3.225
Mean Normalize	2	0.057	0.248	0	m	0.207	0.115	1.025	4.019
Maximum Normalize	9	0.407	0.197	-3.27E-07	m	0.248	0.148	0.855	3.355
Range Normalize	13	0.645	0.152	-4.16E-06	m	0.261	0.153	0.813	3.188
Baseline Offset	1	0.052	0.249	5.259E-09	m	0.211	0.114	1.005	3.943
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	4	0.252	0.221	-1.11E-08	m	0.213	0.128	0.996	3.906
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	11	0.489	0.183	-1.01E-07	m	0.255	0.151	0.832	3.263
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.550	0.171	1.753E-09	m	0.243	0.112	0.873	3.424
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	7	0.513	0.178	-5.73E-08	m	0.252	0.136	0.842	3.302

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.23 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	12	0.650	0.152	-7.56E-07	0.459	0.171	0.016	1.370	5.515
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	9	0.630	0.157	3.242E-08	0.480	0.168	0.015	1.395	5.613
Area Normalize	1	0.002	0.258	5.943E-09	m	0.234	0.005	1.001	4.030
Unit Vector Normalize	13	0.661	0.150	-3.6E-07	0.480	0.168	0.014	1.395	5.613
Mean Normalize	1	0.003	0.257	6.293E-09	0.001	0.234	0.006	1.001	4.030
Maximum Normalize	2	0.493	0.183	5.156E-09	0.364	0.186	0.056	1.260	5.070
Range Normalize	13	0.667	0.149	3.711E-06	0.465	0.170	0.011	1.378	5.547
Baseline Offset	13	0.658	0.151	1.141E-07	0.429	0.176	0.013	1.331	5.358
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.572	0.169	5.288E-08	0.480	0.168	0.014	1.395	5.613
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.501	0.182	-6.99E-10	0.394	0.181	0.017	1.294	5.210
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	8	0.715	0.137	-2.25E-08	0.463	0.170	0.019	1.378	5.547
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	5	0.588	0.165	-2.79E-08	0.463	0.170	0.018	1.378	5.547

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

จากตารางที่ 4.24 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่ เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มี พลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดได้จากสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Unit Vector Normalize ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R^2) สูงที่สุดคือ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.823% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SEC) เท่ากับ 0.093% และค่า bias เท่ากับ -3.79E-08%

จากตารางที่ 4.25 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่ เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบ ไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดได้จากสเปกตรัมที่ปรับแต่ง โดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ ความสัมพันธ์ (R^2) สูงที่สุดคือ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.874% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SEC) เท่ากับ 0.083% และค่า bias เท่ากับ 2.563E-08%

จากตารางที่ 4.26 และ 4.27 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์ กินรีที่เพาะปลูกใน ฤดูร้อนและทุกฤดู ตามลำดับ ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองไม่มี ความสามารถในการทำนาย

ตารางที่ 4.24 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	4	0.815	0.095	-2.01E-08	0.802	0.096	0.002	2.156	8.760
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	2	0.803	0.098	-7.81E-09	0.795	0.098	0.003	2.112	8.582
Area Normalize	3	0.811	0.096	3.425E-08	0.786	0.100	0.003	2.070	8.410
Unit Vector Normalize	4	0.823	0.093	-3.79E-08	0.809	0.095	0.007	2.179	8.853
Mean Normalize	3	0.582	0.143	-2.42E-08	m	7.615	1.067	0.027	0.110
Maximum Normalize	3	0.814	0.095	-3.93E-08	0.771	0.103	0.012	2.010	8.165
Range Normalize	3	0.818	0.094	-3.23E-08	0.805	0.096	0.004	2.156	8.760
Baseline Offset	3	0.811	0.096	3.425E-08	0.786	0.100	0.003	2.070	8.410
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	2	0.811	0.096	-4.17E-08	0.794	0.098	0.000	2.112	8.582
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	2	0.809	0.097	-1.79E-08	0.789	0.100	0.000	2.070	8.410
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	2	0.786	0.102	-3.04E-08	0.776	0.103	-0.001	2.010	8.165
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	2	0.787	0.102	-3.57E-08	0.768	0.104	-0.003	1.990	8.087

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.25 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกห่ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	3	0.858	0.088	2.71E-08	0.821	0.101	-0.021	2.438	8.644
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	3	0.872	0.083	2.825E-08	0.833	0.098	-0.017	2.512	8.908
Area Normalize	4	0.872	0.083	2.182E-08	0.836	0.097	-0.019	2.538	9.000
Unit Vector Normalize	3	0.848	0.091	2.539E-08	0.815	0.104	-0.012	2.367	8.394
Mean Normalize	8	0.592	0.150	7.451E-08	0.559	0.163	0.001	1.510	5.356
Maximum Normalize	2	0.835	0.095	2.658E-08	0.818	0.103	-0.180	2.390	8.476
Range Normalize	2	0.859	0.088	2.921E-08	0.817	0.102	-0.021	2.414	8.559
Baseline Offset	4	0.872	0.084	2.182E-08	0.836	0.097	-0.019	2.538	9.000
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.870	0.084	2.515E-08	0.829	0.100	-0.017	2.462	8.730
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.874	0.083	2.563E-08	0.836	0.097	-0.018	2.538	9.000
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.910	0.070	1.729E-08	0.816	0.100	-0.300	2.462	8.730
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	4	0.904	0.072	5.376E-08	0.828	0.099	-0.210	2.487	8.818

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.26 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.075	0.245	4.38E-09	m	0.206	0.094	1.030	4.039
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	11	0.595	0.162	-2.39E-06	m	0.277	0.145	0.766	3.004
Area Normalize	13	0.606	0.159	6.024E-06	m	0.294	0.155	0.721	2.830
Unit Vector Normalize	1	0.077	0.244	3.798E-09	m	0.202	0.095	1.050	4.119
Mean Normalize	1	0.072	0.245	3.214E-09	m	0.206	0.103	1.030	4.039
Maximum Normalize	12	0.587	0.163	-1.25E-07	m	0.292	0.157	0.726	2.849
Range Normalize	12	0.584	0.164	-2.62E-06	m	0.307	0.187	0.691	2.710
Baseline Offset	13	0.606	0.159	6.024E-06	m	0.294	0.155	0.721	2.830
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	10	0.528	0.175	-1.19E-07	m	0.274	0.140	0.774	3.036
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.087	0.243	2.922E-10	m	0.211	0.118	1.005	3.943
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.491	0.181	1.578E-08	m	0.241	0.133	0.880	3.452
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	5	0.429	0.192	-4.82E-08	m	0.246	0.120	0.862	3.382

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.27 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	13	0.642	0.154	-4.30E-07	0.432	0.175	0.021	1.339	5.389
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	9	0.599	0.163	5.502E-07	0.467	0.169	0.022	1.386	5.580
Area Normalize	4	0.322	0.212	6.293E-09	m	2.404	-0.199	0.097	0.392
Unit Vector Normalize	7	0.535	0.175	-5.79E-08	0.443	0.174	0.012	1.347	5.420
Mean Normalize	3	0.234	0.225	2.88E-09	m	2.572	0.236	0.091	0.367
Maximum Normalize	3	0.491	0.184	4.37E-10	0.405	0.179	0.014	1.309	5.268
Range Normalize	3	0.494	0.183	1.993E-08	0.433	0.175	0.014	1.339	5.389
Baseline Offset	4	0.505	0.181	2.054E-08	0.422	0.177	0.011	1.324	5.328
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.559	0.171	3.277E-08	0.496	0.165	0.016	1.420	5.715
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	5	0.534	0.176	3.041E-08	0.454	0.172	0.012	1.362	5.483
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	4	0.616	0.159	8.827E-09	0.475	0.168	0.017	1.395	5.613
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	5	0.576	0.168	-4.72E-09	0.472	0.169	0.014	1.386	5.580

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

4.2.3 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun

4.2.3.1 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายที่วัดด้วยวิธีดั้งเดิม

จากตารางที่ 4.28 แสดงถึงจำนวนตัวอย่าง (N) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าสูงสุด (max) ค่าต่ำสุด (min) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่งโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ตารางที่ 4.28 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแต่งโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction

ช่วงการเพาะปลูก	Calibration					Prediction				
	Nc	Mean	max	min	SD	Np	Mean	max	min	SD
ฤดูฝน	124	12.1	13.9	10.0	0.9	55	12.2	14.2	9.9	1.0
ฤดูหนาว	125	12.0	13.9	8.4	1.3	55	11.9	13.7	8.9	1.3
ฤดูร้อน	102	11.7	13.8	9.6	1.1	45	11.6	13.8	9.6	1.1
ทุกฤดู	341	12.0	14.2	8.4	1.1	165	12.0	14.2	9.0	1.1

หมายเหตุ : Nc คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Calibration, Np คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Prediction, mean คือ ค่าเฉลี่ย, max คือ ค่าสูงสุด, min คือ ค่าต่ำสุด, SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.3.2 ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยวิธี PLS

จากตารางที่ 4.29, 4.31 และ 4.32 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแต่งโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูร้อนและทุกฤดู ตามลำดับ ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย

จากตารางที่ 4.30 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแต่งโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดได้จากสเปกตรัมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์
ความสัมพันธ์ (R^2) สูงที่สุดคือ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.704% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SEC) เท่ากับ
0.723% และค่า bias เท่ากับ 1.984E-07%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉ่งโมพันธ์กิบรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	11	0.532	0.601	-2.20E-06	0.332	0.793	0.140	1.245	5.422
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	11	0.592	0.561	0.0000017	0.322	0.806	0.100	1.225	5.335
Area Normalize	1	0.001	0.879	4.384E-07	m	0.987	-0.067	1.000	4.357
Unit Vector Normalize	13	0.602	0.554	2.469E-06	0.292	0.819	0.131	1.205	5.250
Mean Normalize	3	0.112	0.828	4.461E-07	0.130	0.917	-0.074	1.077	4.689
Maximum Normalize	12	0.556	0.585	4.591E-06	0.362	0.777	0.124	1.271	5.534
Range Normalize	11	0.550	0.590	4.807E-06	0.347	0.787	0.123	1.254	5.464
Baseline Offset	12	0.598	0.557	-1.78E-06	0.235	0.852	0.136	1.159	5.047
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.451	0.651	6.307E-07	0.367	0.782	0.060	1.262	5.499
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	7	0.481	0.632	1.131E-06	0.364	0.780	0.100	1.266	5.513
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.397	0.682	2.615E-07	0.489	0.705	-0.026	1.400	6.099
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	6	0.505	0.618	3.153E-07	0.394	0.764	0.071	1.292	5.628

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.30 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉ่งโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	4	0.703	0.724	3.05E-07	0.649	0.784	0.145	1.719	6.199
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	2	0.695	0.733	1.297E-07	0.631	0.803	0.152	1.679	6.052
Area Normalize	1	0.000	1.330	1.678E-07	m	1.354	0.134	0.996	3.589
Unit Vector Normalize	4	0.700	0.727	4.196E-07	0.644	0.791	0.139	1.704	6.144
Mean Normalize	1	0.003	1.327	1.526E-07	m	1.344	0.175	1.003	3.616
Maximum Normalize	4	0.687	0.743	2.365E-07	0.640	0.795	0.143	1.696	6.113
Range Normalize	3	0.705	0.721	1.678E-06	0.650	0.783	0.143	1.722	6.207
Baseline Offset	3	0.700	0.728	1.068E-07	0.650	0.781	0.152	1.726	6.223
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.706	0.720	2.747E-07	0.662	0.771	0.132	1.748	6.304
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.704	0.723	1.984E-07	0.666	0.764	0.140	1.764	6.361
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	2	0.698	0.730	2.289E-07	0.616	0.824	0.135	1.636	5.898
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	2	0.689	0.741	2.06E-07	0.616	0.824	0.130	1.636	5.898

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.31 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธ์ุกันรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	5	0.185	0.974	3.55E-07	m	1.150	0.067	0.951	3.626
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	12	0.573	0.708	2.301E-05	m	1.301	0.152	0.841	3.205
Area Normalize	1	0.009	1.079	1.87E-08	m	1.092	0.116	1.002	3.819
Unit Vector Normalize	12	0.510	0.759	6.096E-07	m	1.351	0.291	0.810	3.087
Mean Normalize	1	0.012	1.077	3.74E-08	m	1.088	0.120	1.005	3.833
Maximum Normalize	12	0.515	0.754	-4.45E-06	m	1.375	0.284	0.795	3.033
Range Normalize	1	0.017	1.075	1.496E-07	m	1.095	0.099	0.999	3.808
Baseline Offset	1	0.005	1.081	9.35E-09	m	1.101	0.087	0.993	3.787
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	10	0.499	0.767	4.02E-07	m	1.287	0.104	0.850	3.240
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	11	0.433	0.816	6.919E-07	m	1.349	0.120	0.811	3.091
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.414	0.825	7.48E-08	0.068	1.048	0.118	1.044	3.979
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	6	0.452	0.802	1.122E-07	m	1.182	0.132	0.925	3.528

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.32 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉ่งโมพันธ์กิบรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	8	0.433	0.855	-4.42E-07	0.206	1.017	0.016	1.127	5.113
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	6	0.422	0.864	-2.66E-07	0.204	1.020	0.060	1.123	5.098
Area Normalize	1	0.004	1.134	2.209E-07	m	1.146	0.017	1.000	4.538
Unit Vector Normalize	8	0.436	0.853	9.005E-07	0.222	1.008	0.057	1.137	5.159
Mean Normalize	1	0.002	1.136	2.153E-07	m	1.146	0.017	1.000	4.538
Maximum Normalize	9	0.436	0.853	1.119E-06	0.199	1.023	0.056	1.120	5.083
Range Normalize	7	0.423	0.863	-6.15E-08	0.247	0.992	0.053	1.155	5.242
Baseline Offset	7	0.425	0.862	1.177E-06	0.221	1.009	0.064	1.135	5.154
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.434	0.855	3.468E-07	0.182	1.032	0.078	1.110	5.039
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	5	0.417	0.867	1.678E-08	0.140	1.057	0.102	1.084	4.920
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	10	0.595	0.723	4.615E-07	0.252	0.989	0.040	1.158	5.258
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	4	0.426	0.861	1.314E-07	0.172	1.040	0.060	1.102	5.000

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

จากตารางที่ 4.33, 4.35 และ 4.36 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูร้อนและทุกฤดู ตามลำดับ ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย

จากตารางที่ 4.34 แสดงผลของ PLS regression ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดได้จากสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R^2) สูงที่สุดคือ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.713% ค่าผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SEC) เท่ากับ 0.711% และค่า bias เท่ากับ 1.602E-07%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉ่งโมพันธ์กิบรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกห่ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	2	0.370	0.773	-3.23E-07	0.111	0.714	0.040	1.383	6.022
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	10	0.616	0.603	3.123E-06	0.148	0.683	0.153	1.445	6.296
Area Normalize	2	0.371	0.772	-3E-07	0.102	0.717	0.042	1.377	5.997
Unit Vector Normalize	6	0.440	0.729	-9E-07	0.013	0.748	0.084	1.320	5.749
Mean Normalize	15	0.676	0.554	0.0000198	m	11.115	1.731	0.089	0.387
Maximum Normalize	11	0.612	0.604	-2.88E-06	0.083	0.706	0.166	1.398	6.091
Range Normalize	2	0.368	0.774	-2.92E-07	0.068	0.730	0.060	1.352	5.890
Baseline Offset	2	0.371	0.772	-3E-07	0.102	0.717	0.042	1.377	5.997
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	6	0.527	0.670	-8.31E-07	m	0.773	0.055	1.277	5.563
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	5	0.417	0.708	-2.77E-07	0.065	0.733	0.023	1.347	5.866
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.524	0.671	-2.77E-07	0.155	0.692	0.082	1.427	6.214
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.466	0.711	-2.62E-07	0.151	0.696	0.066	1.418	6.178

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.34 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธ์ุกันที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกห่ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	4	0.707	0.720	2.82E-07	0.639	0.804	0.085	1.677	6.045
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	2	0.703	0.723	3.51E-07	0.626	0.819	0.085	1.646	5.934
Area Normalize	3	0.707	0.719	6.866E-08	0.640	0.803	0.091	1.679	6.052
Unit Vector Normalize	4	0.704	0.723	4.578E-08	0.645	0.794	0.113	1.698	6.121
Mean Normalize	7	0.513	0.927	7.324E-07	0.448	0.983	0.185	1.371	4.944
Maximum Normalize	4	0.700	0.727	1.755E-07	0.649	0.792	0.097	1.702	6.136
Range Normalize	3	0.709	0.716	2.747E-07	0.634	0.811	0.082	1.662	5.993
Baseline Offset	3	0.707	0.719	6.866E-08	0.640	0.803	0.091	1.679	6.052
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	3	0.714	0.710	1.45E-07	0.661	0.777	0.106	1.735	6.255
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.713	0.711	1.602E-07	0.666	0.771	0.100	1.748	6.304
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	2	0.700	0.728	2.136E-07	0.623	0.819	0.106	1.646	5.934
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	3	0.721	0.701	-9.92E-08	0.627	0.818	0.089	1.648	5.941

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

ตารางที่ 4.35 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธ์ุอินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	1	0.015	1.074	1.31E-07	m	1.118	0.131	0.978	3.730
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	2	0.117	1.017	3.74E-08	m	1.139	0.038	0.960	3.661
Area Normalize	1	0.010	1.077	1.028E-07	m	1.104	0.111	0.991	3.777
Unit Vector Normalize	3	0.071	1.043	8.415E-08	m	1.153	0.008	0.949	3.617
Mean Normalize	1	0.003	1.080	1.309E-07	m	1.092	0.107	1.002	3.819
Maximum Normalize	1	0.015	1.074	1.496E-07	m	1.113	0.127	0.983	3.747
Range Normalize	1	0.014	1.074	1.122E-07	m	1.118	0.131	0.978	3.730
Baseline Offset	1	0.010	1.077	1.028E-07	m	1.104	0.111	0.991	3.777
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.037	1.062	1.402E-07	m	1.120	0.076	0.977	3.723
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.042	1.059	1.028E-07	m	1.124	0.076	0.973	3.710
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.512	0.756	4.675E-08	m	1.193	0.059	0.917	3.495
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	10	0.530	0.741	3.459E-07	m	1.133	0.034	0.965	3.680

หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

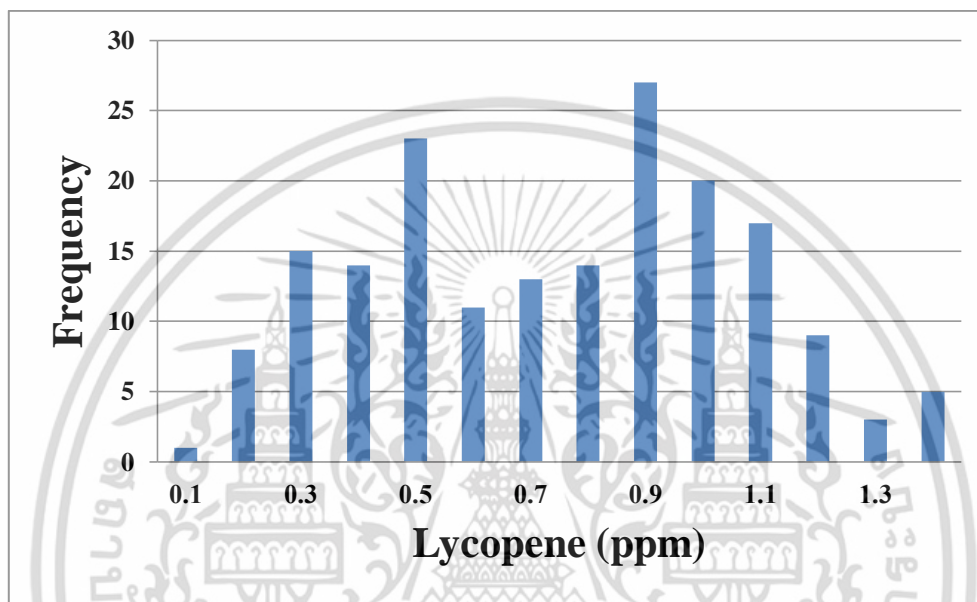
ตารางที่ 4.36 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธ์กิบรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm

Pretreatment	PC	Calibration			Prediction			RPD	RER
		R ²	SEC	Bias	R ²	SEP	Bias		
Raw Spectrum	5	0.350	0.914	-2.35E-07	0.151	1.059	0.000	1.082	4.910
Multiplicative Scatter Correction (Full MSC)	7	0.396	0.880	2.181E-07	0.230	1.008	-0.020	1.137	5.159
Area Normalize	2	0.099	1.076	-1.9E-07	m	6.586	-0.623	0.174	0.790
Unit Vector Normalize	9	0.418	0.863	-4.84E-07	0.233	1.006	-0.017	1.139	5.169
Mean Normalize	3	0.161	1.038	-1.93E-07	m	8.703	0.718	0.132	0.597
Maximum Normalize	9	0.419	0.863	2.517E-08	0.190	1.034	0.001	1.108	5.029
Range Normalize	7	0.396	0.881	-8.31E-07	0.244	0.999	-0.026	1.147	5.205
Baseline Offset	4	0.351	0.913	-5.31E-08	0.138	1.067	-0.007	1.074	4.873
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	5	0.401	0.877	-9.79E-08	0.208	1.023	-0.011	1.120	5.083
Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	5	0.387	0.887	-6.71E-08	0.176	1.043	-0.021	1.098	4.986
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 11 จุด	1	0.349	0.914	-1.9E-07	0.137	1.067	-0.007	1.074	4.873
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 21 จุด	1	0.336	0.923	-2.07E-07	0.116	1.081	-0.005	1.060	4.810

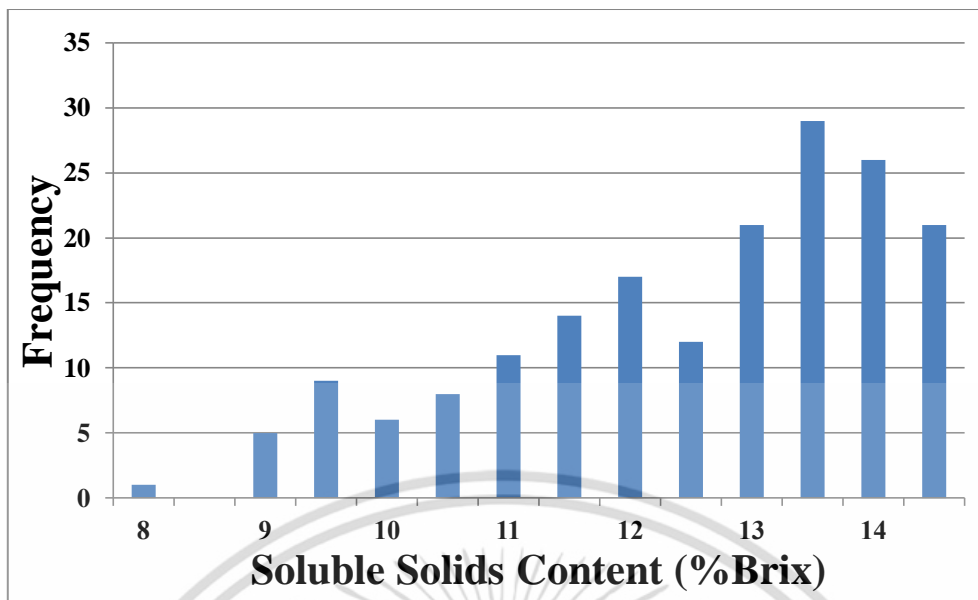
หมายเหตุ : PC = principle component, R² = coefficient of determination, SEC = Standard error of Calibration, Bias = error, SEP = Standard error of Prediction, RPD = ratio of the SD to the SEP, RER = ratio of the SEP to the range, SD = standard deviation, m = โดยแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย explained variance มีค่าติดลบ explained variance = สัดส่วนของความแปรปรวนรวมที่อธิบายได้โดยแบบจำลอง เช่น explained variance = 90% ของความแปรปรวนของข้อมูลอธิบายได้โดยแบบจำลองที่เหลืออีก 10% เป็นสิ่งรบกวนหรือความผิดพลาด

จากภาพที่ 4.17 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลค่าไลโคปีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน)

จากภาพที่ 4.18 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 13.5 %Brix มีค่าความถี่สูงที่สุด

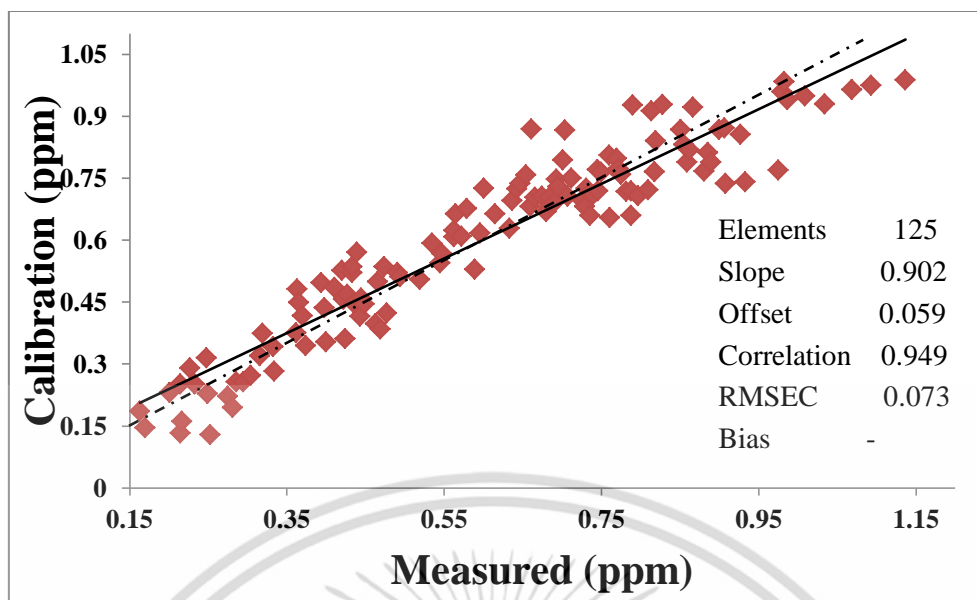


ภาพที่ 4.25 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลค่าไลโคปีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน)

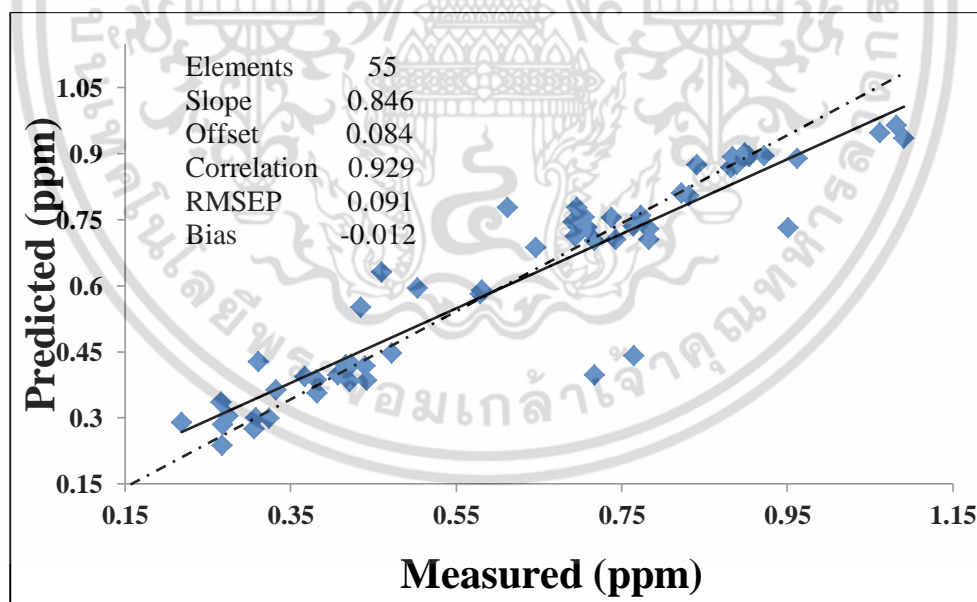


ภาพที่ 4.26 การแจกแจงความถี่ของข้อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน)

จากภาพที่ 4.19 แบบจำลองทำนายที่ดีที่สุดของเครื่อง FOA-NIR Gun คือแบบจำลองค่าปริมาณไลโคพินที่ฤดูหนาว แบบมีพลาสติกหุ้มสร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) ของแบบจำลอง เท่ากับ 0.901, SEC เท่ากับ 0.073 และ Bias เท่ากับ $-5.6E-9$ ส่วนการทำนาย (ภาพที่ 4.20) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 0.86, SEP เท่ากับ 0.091, bias เท่ากับ -0.011, RER เท่ากับ 9.593 และ RPD เท่ากับ 2.705



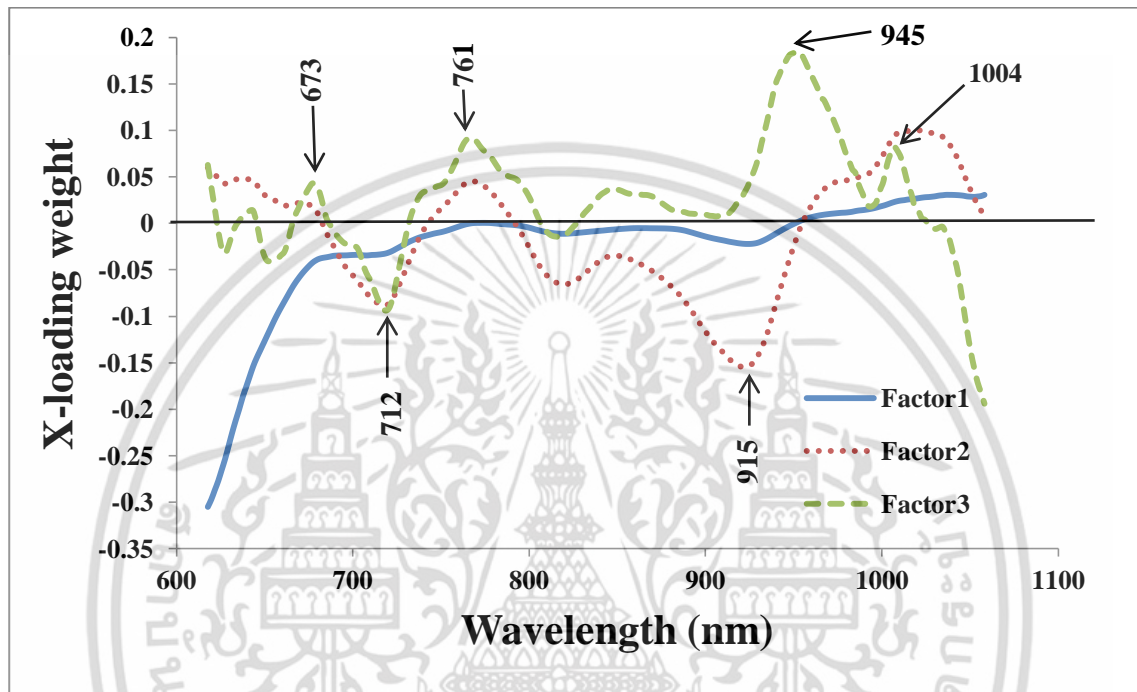
ภาพที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว แบบมีพลาสติกหุ้ม ที่ทำนายได้โดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้เครื่อง FQA-NIR Gun ด้วยเทคนิค Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 และสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด กับชุดคาลิเบรชัน



ภาพที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว แบบมีพลาสติกหุ้ม ที่ทำนายได้โดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้เครื่อง FQA-NIR Gun ด้วยเทคนิค Partial Least Square (PLS) โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 และสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด กับชุดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.21 แสดง X-loading weight plot ของแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณไลโคพีนแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม แบบจำลองนี้ใช้ Factor ทั้งหมด 3 ตัว ซึ่ง Factor 1, Factor 2 และ Factor 3

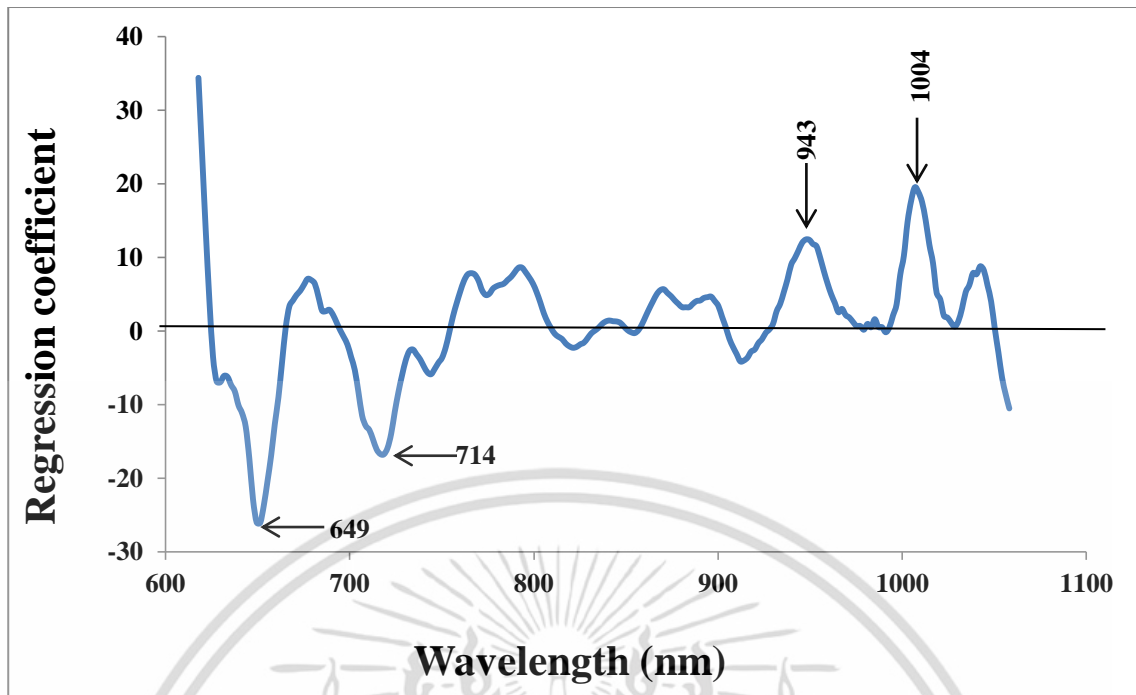


ภาพที่ 4.29 X-loading weight plot ของแบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อทำนายปริมาณไลโคพีนของแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm และสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด

Regression coefficient ใช้เป็นพื้นฐานแรกในการตรวจผลกระทบของความยาวคลื่นต่างๆ (X-variable) ในการทำนายตัวแปรตาม (Y) และค่าสัมบูรณ์ของ Regression coefficient ที่มีค่าสูงชี้ถึงความสำคัญและอิทธิพลของความยาวคลื่นนั้นต่อโมเดลอย่างมีนัยสำคัญ [11]

จากภาพที่ 4.22 กราฟ Regression coefficient ของแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณไลโคพีนของแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม มีพีคที่มีความสำคัญต่อโมเดลที่ 649 714 943 และ 1004 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

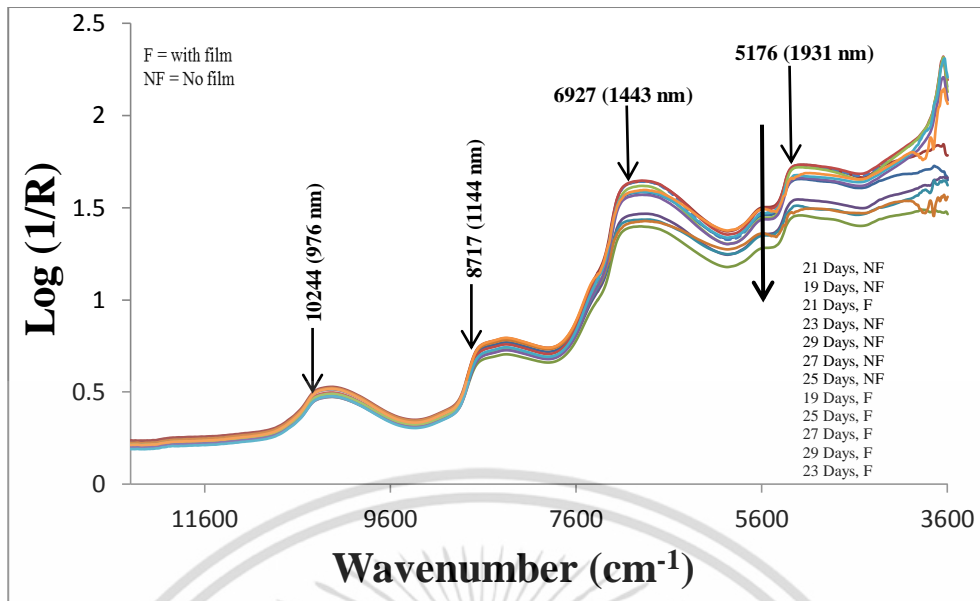


ภาพที่ 4.30 Regression coefficient ของแบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อทำนายปริมาณไลโคพินของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm และสเปกตรัมที่ปรับแต่งโดย Savitzky-Golay first differentiation ที่ derivative segment 11 จุด

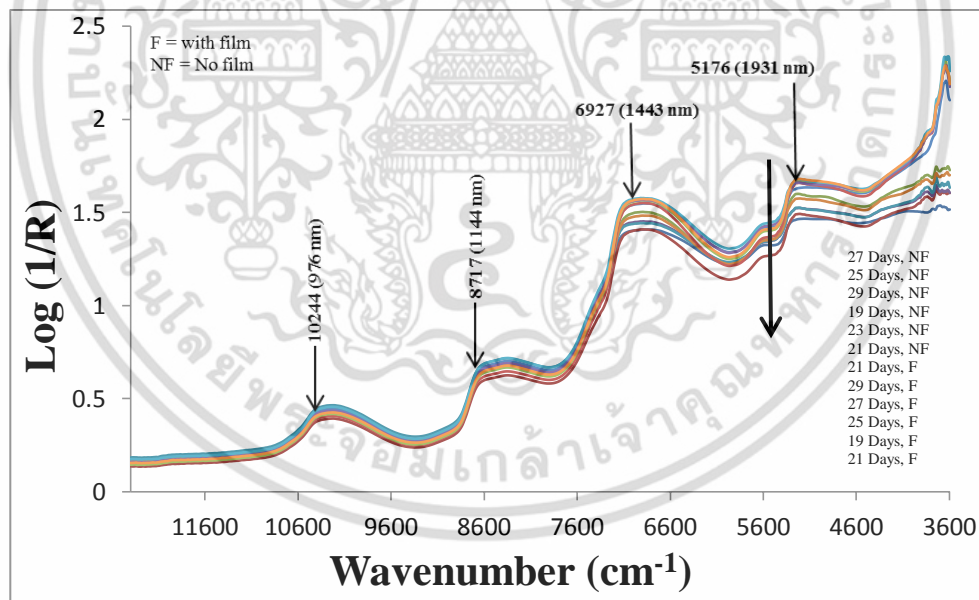
4.3 ผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

4.3.1 สเปกตรัมของเนื้อแตงโมตัดแต่งที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

จากภาพที่ 4.23, 4.24, 4.25 และ 4.26 แสดงสเปกตรัมเดิมเฉลี่ยของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และ ทุกฤดู ตามลำดับ ที่ $12,500\text{-}4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น $800\text{-}2500\text{ nm}$) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

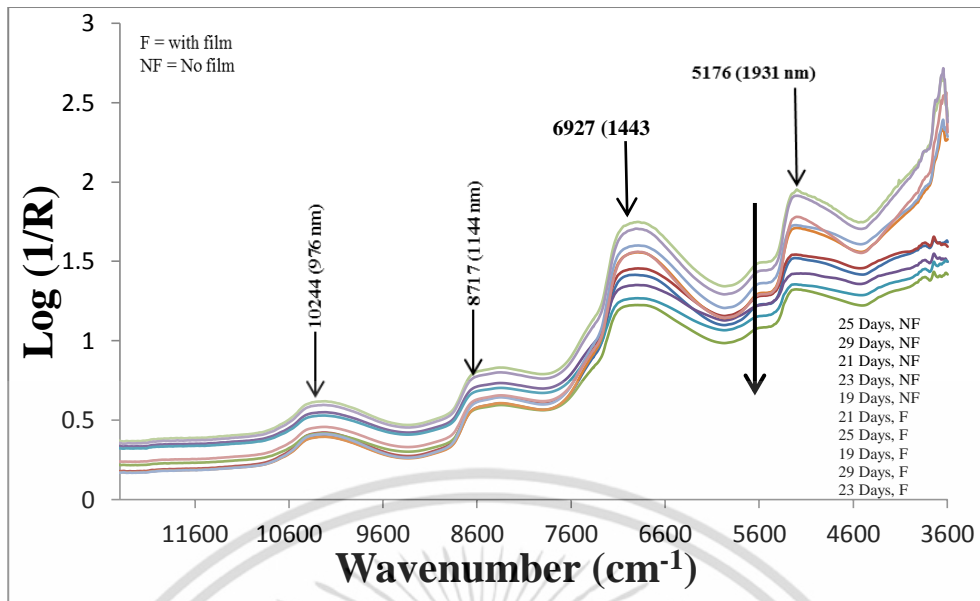


ภาพที่ 4.31 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 12,500-4,000 cm⁻¹ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

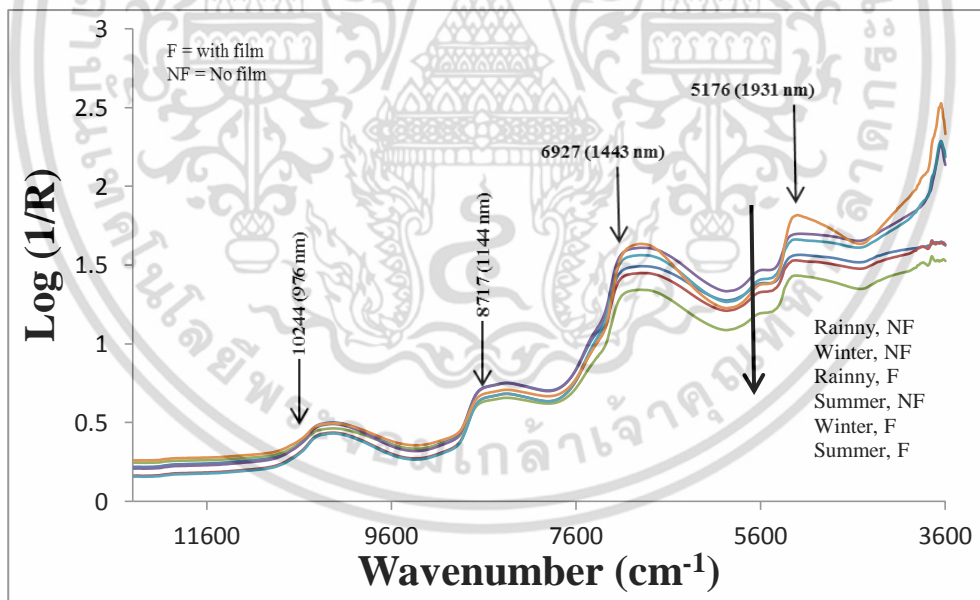


ภาพที่ 4.32 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ 12,500-4,000 cm⁻¹ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



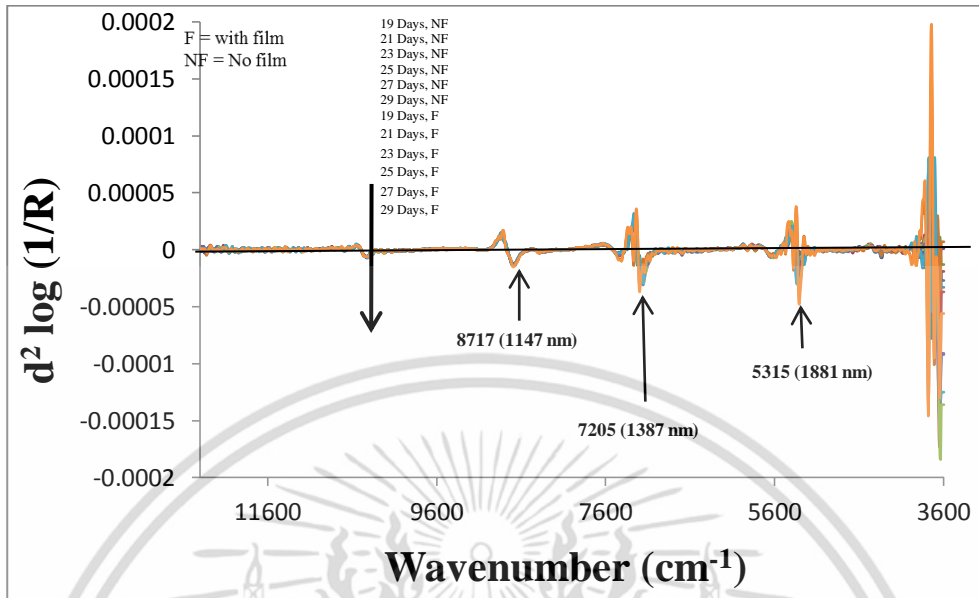
ภาพที่ 4.33 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



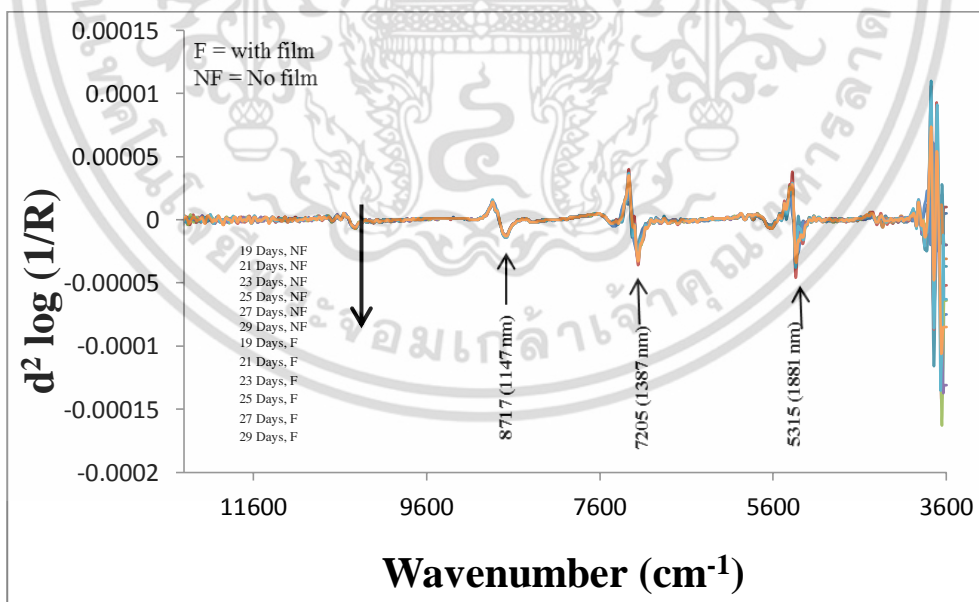
ภาพที่ 4.34 สเปกตรัม NIR เดิมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

จากภาพที่ 4.27, 4.28, 4.29 และ 4.30 แสดงสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน และ ทุกฤดู ตามลำดับ ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

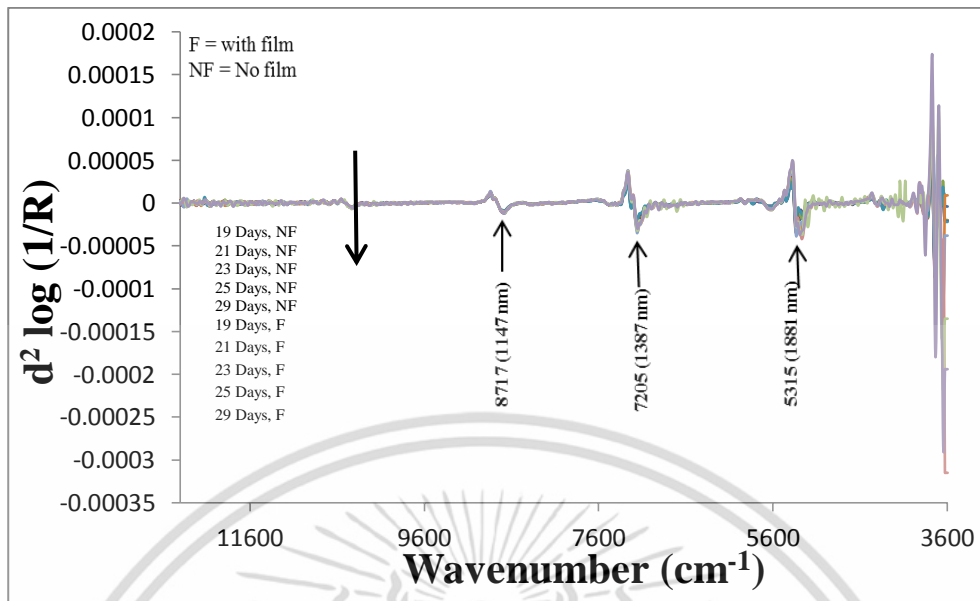
29 วันหลังดอกบาน) ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



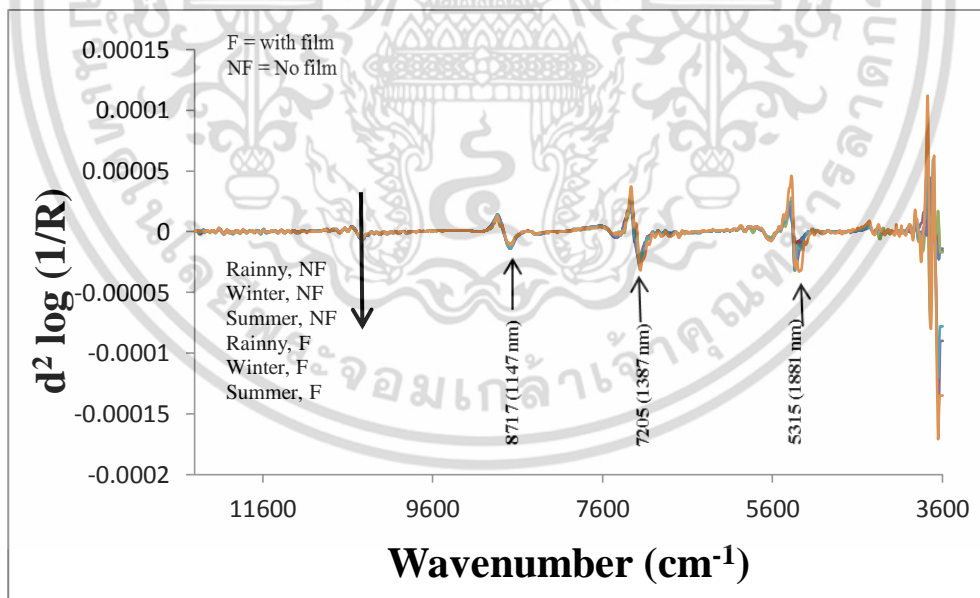
ภาพที่ 4.35 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



ภาพที่ 4.36 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแดงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.37 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูร้อน ของแต่ละอายุการเก็บเกี่ยว (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ที่ $12,500\text{-}4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม



ภาพที่ 4.38 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในทุกฤดู ที่ $12,500\text{-}4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทำนายปริมาณไลโคพีนด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

4.3.2.1 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพีนที่วัดด้วยวิธีดั้งเดิม

จากตารางที่ 4.37 แสดงถึงจำนวนตัวอย่าง (N) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าสูงสุด (max) ค่าต่ำสุด (min) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่งโมพันธุกรรมที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction ของปริมาณไลโคพีน

ตารางที่ 4.37 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคพีนของแต่งโมพันธุกรรมที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction

ช่วงการเพาะปลูก	Calibration					Prediction				
	Nc	mean	max	min	SD	Np	mean	max	min	SD
ฤดูฝน	126	0.688	1.636	0.224	0.222	54	0.699	1.202	0.257	0.254
ฤดูหนาว	126	0.609	1.137	0.163	0.229	54	0.622	1.093	0.17	0.261
ฤดูร้อน	105	0.825	1.686	0.359	0.246	45	0.854	1.515	0.371	0.282
ทุกฤดู	357	0.701	1.686	0.163	0.239	153	0.716	1.636	0.17	0.297

หมายเหตุ : Nc คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Calibration, Np คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Prediction, mean คือ ค่าเฉลี่ย, max คือ ค่าสูงสุด, min คือ ค่าต่ำสุด, SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.2.2 ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณไลโคพีนด้วยวิธี PLS

ตารางที่ 4.38 แสดงผลของแบบจำลองและการทำนายปริมาณไลโคพีนโดยใช้วิธี Partial Least Square Regression ของแต่งโมพันธุกรรมที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) พบว่าแบบจำลองไม่มีความสามารถในการทำนาย

ตารางที่ 4.39 แสดงผลของแบบจำลองและการทำนายปริมาณไลโคพีนโดยใช้วิธี Partial Least Square Regression ของแต่งโมพันธุกรรมที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการแจ้งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม พบว่าแบบจำลองของฤดูหนาว ทำนายค่าปริมาณโลโคพินที่ดีที่สุดสร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ First derivative + MSC ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) ของแบบจำลอง เท่ากับ 0.74, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการประมาณ (root mean squared error of estimation; RMSEE) เท่ากับ 0.121 และพบว่าแบบจำลองที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูร้อนและทุกฤดูไม่มีความสามารถในการทำนาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.38 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณไลโคพีน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) ช่วงการดูดซับที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)

Parameter	Rank	Region (cm^{-1})	Pre-processing	Calibration			Prediction					
				R^2	RMSEE	RPD	Bias	R^2	RMSEP	RPD	RER	SEP
ฤดูฝน	6	9403.8-5446.3,4605.4-4420.3	No spectral data preprocessing	0.34	0.184	1.23	-0.00527	0.44	0.187	1.35	5.02	0.19
ฤดูหนาว	5	9403.8-7498.3	Straight line subtraction	0.53	0.159	1.47	0.0352	0.59	0.166	1.60	5.66	0.16
ฤดูร้อน	7	9403.8-7498.3,4605.4-4420.3	Straight line subtraction	0.35	0.204	1.25	0.0115	0.19	0.251	1.11	4.50	0.25
ทุกฤดู	8	9403.8-7498.3	No spectral data preprocessing	0.40	0.186	1.29	0.0255	0.34	0.239	1.25	6.17	0.24

หมายเหตุ : RPD= Ratio of the SEP to the SD, Bias= Average error, RMSEE=Root mean square error of estimation, RMSEP= Root mean square error of prediction, Rank=PLS factor, R^2 = Coefficient of determination, RER = ratio of the SEP to the range

ตารางที่ 4.39 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณไลโคพีน ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) ช่วงการดูดซับที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)

Parameter	Rank	Region (cm^{-1})	Pre-processing	Calibration			Prediction					
				R^2	RMSEE	RPD	Bias	R^2	RMSEP	RPD	RER	SEP
ฤดูฝน	6	9403.8-5446.3,4605.4-4420.3	No spectral data preprocessing	0.34	0.184	1.23	-0.00527	0.44	0.187	1.35	5.02	0.19
ฤดูหนาว	9	9403.8-7498.3,6102-5446.3,4605.4-4242.9	First derivative + MSC	0.73	0.121	1.96	0.0274	0.72	0.136	1.94	6.86	0.13
ฤดูร้อน	7	9403.8-7498.3,4605.4-4420.3	Straight line subtraction	0.35	0.204	1.25	0.0115	0.19	0.251	1.11	4.50	0.25
ทุกฤดู	7	9403.8-7498.3,6102-5446.3	Straight line subtraction	0.41	0.184	1.31	0.0217	0.46	0.217	1.37	6.76	0.22

หมายเหตุ : RPD= Ratio of the SEP to the SD, Bias= Average error, RMSEE=Root mean square error of estimation, RMSEP= Root mean square error of prediction, Rank=PLS factor, R^2 = Coefficient of determination, RER = ratio of the SEP to the range

4.3.3 ผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

4.3.3.1 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่วัดด้วยวิธีดั้งเดิม

จากตารางที่ 4.40 แสดงถึงจำนวนตัวอย่าง (N) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าสูงสุด (max) ค่าต่ำสุด (min) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction ของปริมาณไลโคพีน

ตารางที่ 4.40 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ของกลุ่ม Calibration และ Prediction

ช่วงการเพาะปลูก	Calibration					Prediction				
	Nc	mean	max	min	SD	Np	mean	max	min	SD
ฤดูฝน	126	12.2	14.2	9.9	0.8	54	12.0	14.2	10.0	1.1
ฤดูหนาว	126	12.1	13.9	8.4	1.3	54	11.7	13.8	8.9	1.4
ฤดูร้อน	105	11.7	13.8	9.6	1.1	45	11.7	13.8	9.6	1.1
ทุกฤดู	357	12.1	14.2	8.4	1.1	153	11.6	14.2	8.9	1.2

หมายเหตุ : Nc คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Calibration, Np คือ จำนวนตัวอย่างของชุด Prediction, mean คือ ค่าเฉลี่ย, max คือ ค่าสูงสุด, min คือ ค่าต่ำสุด, SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.3.2 ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยวิธี PLS

ตารางที่ 4.41 แสดงผลของแบบจำลองและการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้วิธี Partial Least Square Regression ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม พบว่าแบบจำลองของฤดูหนาว ทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ดีที่สุดที่สร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ Constant offset elimination ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

determination; R^2) ของแบบจำลอง เท่ากับ 0.67, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการประมาณ (root mean squared error of estimation; RMSEE) เท่ากับ 0.77 และพบว่าแบบจำลองที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูร้อนและทุกฤดูไม่มีความสามารถในการทำนาย

ตารางที่ 4.42 แสดงผลของแบบจำลองและการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้วิธี Partial Least Square Regression ของแต่งโมพันธุกรรมที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม พบว่าแบบจำลองของฤดูหนาว ทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ดีที่สุดที่สร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ First derivative + Vector normalization (SNV) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) ของแบบจำลอง เท่ากับ 0.68, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการประมาณ (root mean squared error of estimation; RMSEE) เท่ากับ 0.739 และพบว่าแบบจำลองที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูร้อนและทุกฤดูไม่มีความสามารถในการทำนาย

ตารางที่ 4.41 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบมีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) ช่วงการดูดซับที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)

Parameter	Rank	Region (cm^{-1})	Pre-processing	Calibration			Prediction					
				R^2	RMSEE	RPD	Bias	R^2	RMSEP	RPD	RER	SEP
ฤดูฝน	7	9403.8-7498.3	No spectral data preprocessing	0.49	0.613	1.40	-0.181	0.57	0.688	1.59	6.32	0.67
ฤดูหนาว	10	9403.8-5446.3	Constant offset elimination	0.67	0.77	1.74	-0.105	0.74	0.697	2.02	7.09	0.70
ฤดูร้อน	5	9403.8-7498.3	Multiplicative scattering correction	0.32	0.905	1.22	0.0821	0.10	1.060	1.06	3.89	1.07
ทุกฤดู	4	9403.8-7498.3,4605.4-4242.9	Straight line subtraction	0.08	1.03	1.05	-0.513	0.01	1.200	1.11	4.87	1.09

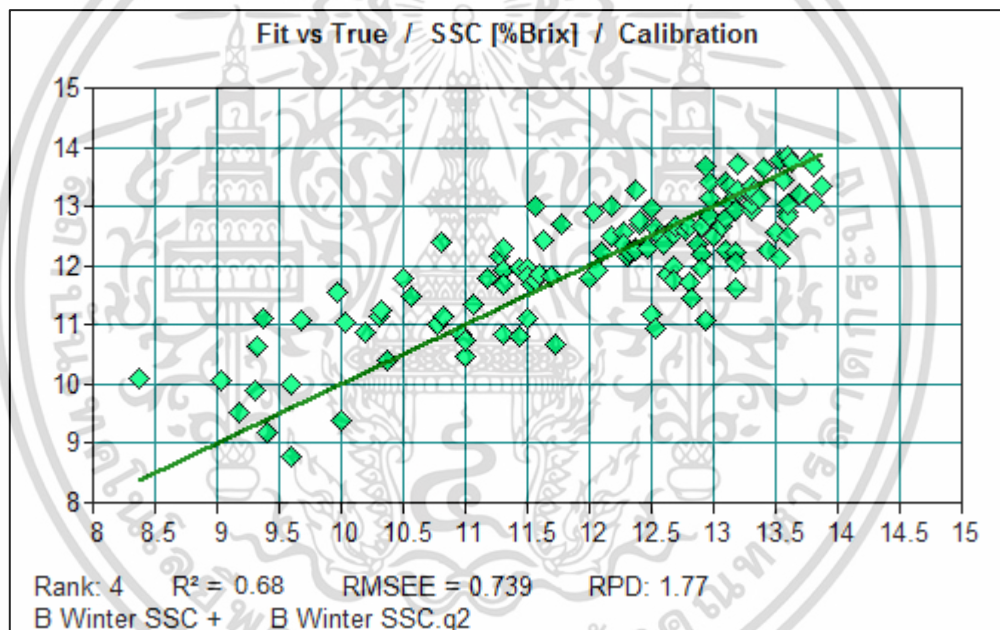
หมายเหตุ : RPD= Ratio of the SEP to the SD, Bias= Average error, RMSEE=Root mean square error of estimation, RMSEP= Root mean square error of prediction, Rank=PLS factor, R^2 = Coefficient of determination, RER = ratio of the SEP to the range

ตารางที่ 4.42 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยวิธี Partial Least Square (PLS) ช่วงการดูดซับที่ 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)

Parameter	Rank	Region (cm^{-1})	Pre-processing	Calibration			Prediction					
				R^2	RMSEE	RPD	Bias	R^2	RMSEP	RPD	RER	SEP
ฤดูฝน	7	9403.8-7498.3	No spectral data preprocessing	0.49	0.613	1.40	-0.181	0.57	0.688	1.59	6.32	0.67
ฤดูหนาว	4	9403.8-7498.3	First derivative + Vector normalization (SNV)	0.68	0.739	1.77	0.0308	0.78	0.651	2.14	7.51	0.66
ฤดูร้อน	3	9403.8-6094.3	Vector normalization (SNV)	0.23	0.957	1.14	0.115	0.18	1.010	1.12	4.11	1.01
ทุกฤดู	10	9403.8-6094.3,5454-4242.9	Vector normalization (SNV)	0.32	0.893	1.22	-0.417	0.11	1.140	1.14	5.01	1.06

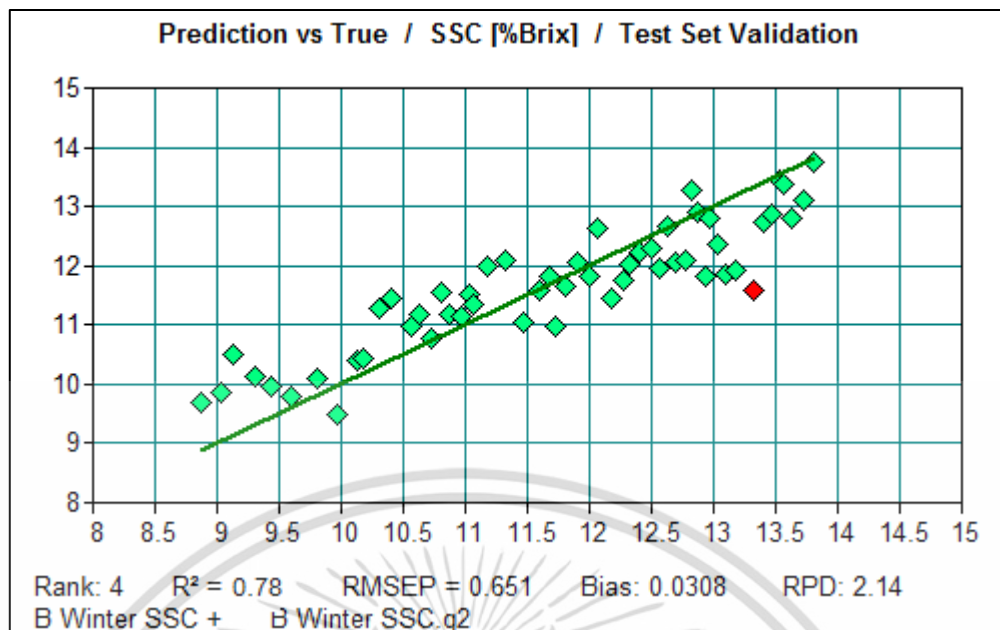
หมายเหตุ : RPD= Ratio of the SEP to the SD, Bias= Average error, RMSEE=Root mean square error of estimation, RMSEP= Root mean square error of prediction, Rank=PLS factor, R^2 = Coefficient of determination, RER = ratio of the SEP to the range

จากตารางที่ 4.42 และภาพที่ 4.31 จากการใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer แบบจำลอง ทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ดีที่สุดสร้างขึ้นจากสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ First derivative + Vector normalization (SNV) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) ของแบบจำลอง เท่ากับ 0.68, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการประมาณ (root mean squared error of estimation; RMSEE) เท่ากับ 0.739 ส่วนการทำนาย (ภาพที่ 4.32) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 0.78, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการทำนาย (root mean squared error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 0.651, bias เท่ากับ 0.0308 และ RPD เท่ากับ 2.14



ภาพที่ 4.39 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรด สเปกโทรสโกปีจากการใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer กับค่าของชุดคาลิเบรชัน

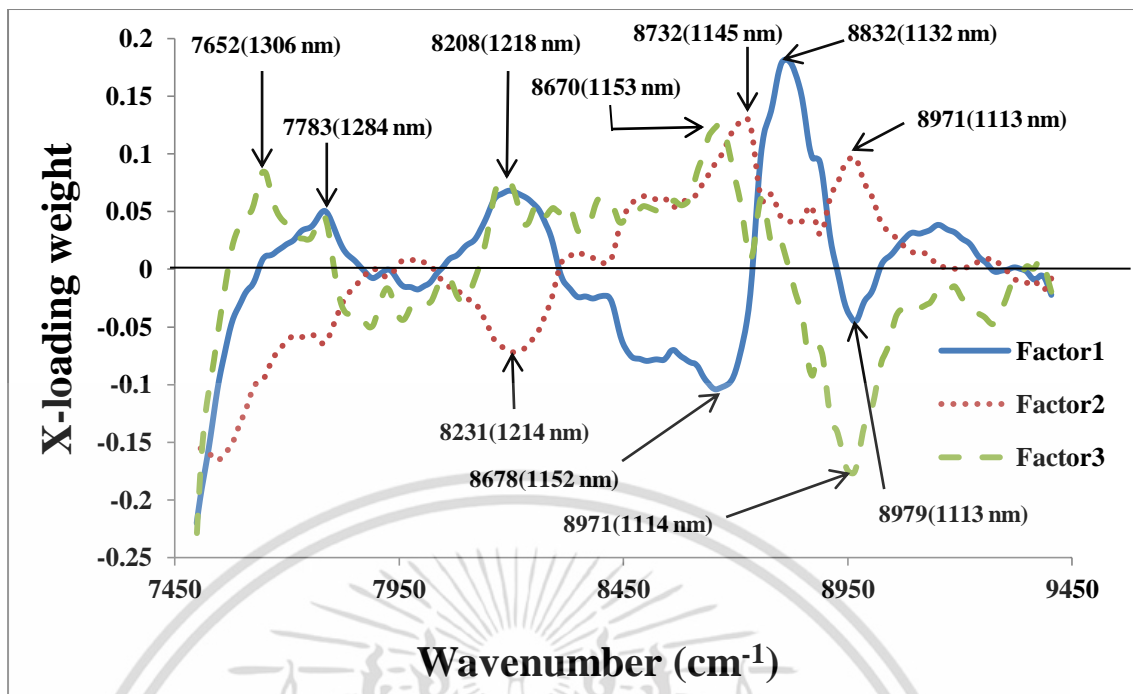
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.40 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ทำนาย โดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer กับค่าของชุดทดสอบ หมายเหตุ จุดสีแดงหมายถึง ตัวอย่างที่เป็น outlier

สำหรับค่า X-loading weight plot นั้นถ้าความยาวคลื่นที่มีค่า X-loading weight มาก แสดงว่ามีความสำคัญต่อการทำนายตัวแปรตาม ภาพที่ 4.33 แสดงค่า X-loading weight สำหรับการทำนายผล แสดง plot ของ X-loading weight เพียง 3 factor เท่านั้น สำหรับ factor ที่ 1 พบ พีคซึ่งมีความสำคัญต่อแบบจำลองที่ wavenumber เท่ากับ 7783, 8208, 8678, 8832 และ 8979 cm^{-1} (1284, 1218, 1152, 1132 และ 1113 nm) factor ที่ 2 ที่ wavenumber เท่ากับ 8231, 8732 และ 8971 cm^{-1} (1214, 1145 และ 1114 nm) factor ที่ 3 ที่ wavenumber เท่ากับ 7652, 7783, 8208, 8670 และ 8971 cm^{-1} (1306, 1284, 1218, 1153 และ 1114 nm)

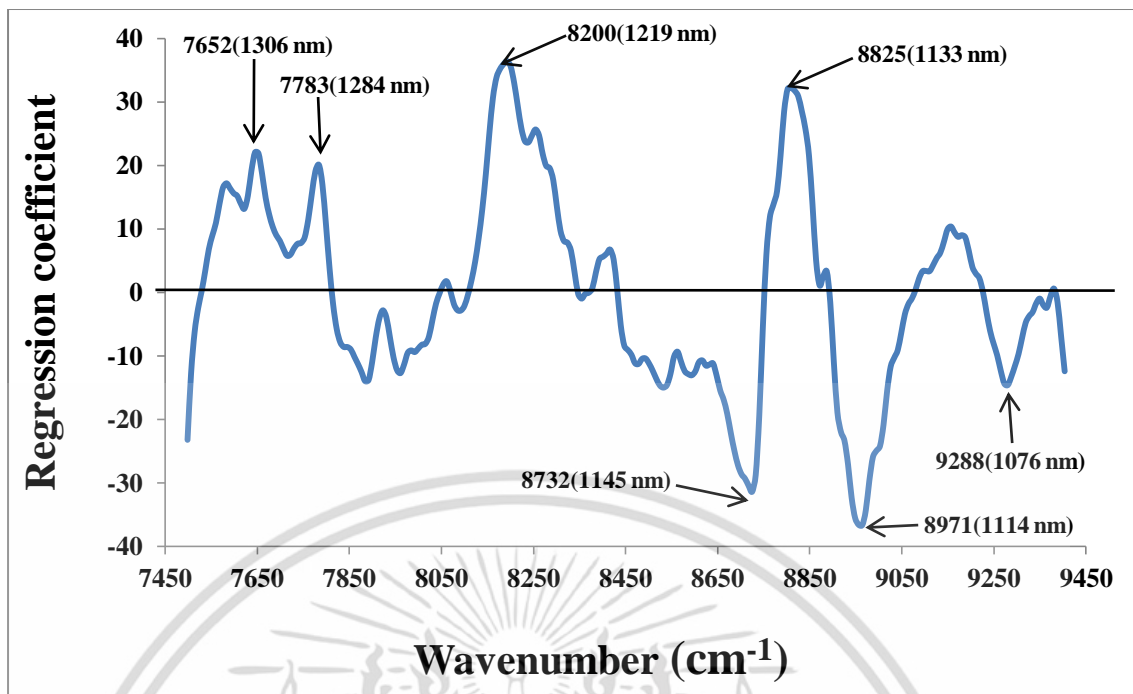
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.41 X-loading weight plot ของแบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแต่งโมพันธุกรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000 \text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)

ค่า Regression coefficient ถูกใช้เป็นพื้นฐานแรกในการตรวจผลกระทบของความยาวคลื่นต่างๆ (X-variable) ในการทำนายตัวแปรตาม (Y) และค่าสัมบูรณ์ของ Regression coefficient ที่มีค่าสูงชี้ได้ถึงถึงความสำคัญของอิทธิพลของความยาวคลื่นนั้นต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ

จากภาพที่ 4.34 แสดง Regression coefficient plot ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พบพีคซึ่งมีความสำคัญต่อแบบจำลองที่ wavenumber เท่ากับ 7652, 7783, 8200, 8732, 8825, 8917 และ 9288 cm^{-1} (1306, 1284, 1219, 1145, 1133, 1114 และ 1076 nm)



ภาพที่ 4.42 Regression coefficient ของแบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแอมโมเนียมไนเตรตที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000 \text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm)

จากตารางที่ 4.43 แสดงแถบการดูดซับคลื่นที่มีผลต่อการทำนายไลโคปีนในเนื้อแตงโมที่พิจารณาจาก Regression coefficient plot และ X-loading weight plot ของแบบจำลองปริมาณไลโคปีนในเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) จากเครื่อง FQA-NIR Gun ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm โดยสแกนแบบมีพลาสติกหุ้ม

จากตารางที่ 4.44 แสดงแถบการดูดซับคลื่นที่มีผลต่อการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อแตงโมที่พิจารณาจาก Regression coefficient plot และ X-loading weight plot ของแบบจำลองปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000 \text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.43 การดูดซับคลื่นที่เด่นชัดที่ปรากฏในกราฟ Regression coefficient และ กราฟ X-loading weight ของแบบจำลองปริมาณไลโคพินในเนื้อแดงโสมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) จากเครื่อง FQA-NIR Gun ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm โดยสแกนแบบมีพลาสติกหุ้ม

Wavenumber (cm-1)	Wavelength (nm)	Plot	Bond vibration/Structure
14044, 14005	712, 714	F2, F3, RC Gun	C-H stretching. fourth overtone/benzene
13140	761	F3 Gun	C-H stretching. third overtone/H ₂ O
10928	915	F2 Gun	C-H stretching. third overtone/CH ₂

หมายเหตุ : RC = regression coefficient, F1 = PLS factor1, F2 = PLS factor2, F3 = PLS factor3,
Gun = แบบจำลองที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun, FT = แบบจำลองที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

ตารางที่ 4.44 การดูดซับคลื่นที่เด่นชัดที่ปรากฏในกราฟ Regression coefficient และ กราฟ X-loading weight ของแบบจำลองปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อแดงโสมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 12,500-4,000 cm⁻¹ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม

Wavenumber (cm-1)	Wavelength (nm)	Plot	Bond vibration/Structure
8732	1145	F1, RC FT	C-H stretching. second overtone/aromatic
8678, 8670	1152, 1153	F1, F3 FT	C-H stretching. second overtone/CH ₃
8231	1214	F2 FT	C-H stretching. second overtone/CH ₂
8208, 8200	1218, 1219	F1, F2, RC FT	Hemicellulose

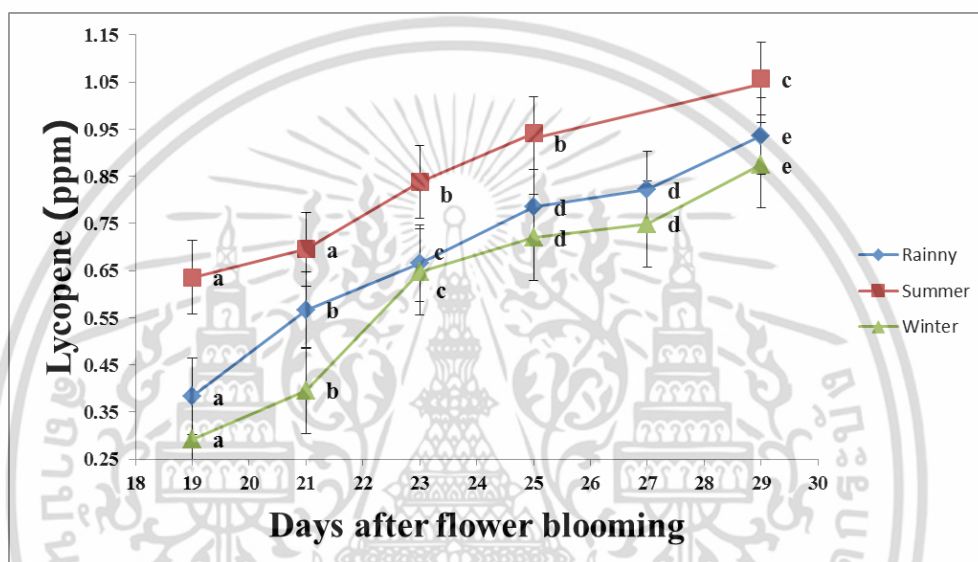
หมายเหตุ : RC = regression coefficient, F1 = PLS factor1, F2 = PLS factor2, F3 = PLS factor3,
Gun = แบบจำลองที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun, FT = แบบจำลองที่ได้จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

4.4 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลง ปริมาณไลโคพิน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่ทำการเพาะปลูกในฤดูฝน ในฤดูหนาว และในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ ได้ถูกวิเคราะห์และบันทึกผลเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองร่วมกับค่าที่วัดได้จากการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่างๆ และได้ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธีต่างๆเพื่อให้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ในช่วงการเพาะปลูกของฤดูฝน ฤดูหนาวและฤดูร้อน แสดงดังภาพที่ 4.35



ภาพที่ 4.43 ค่าปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาวและฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบาน ตามลำดับ) ตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ค่าเฉลี่ยแสดงถึงค่ามีความแตกต่างกันที่ ระดับความมั่นใจ 95%

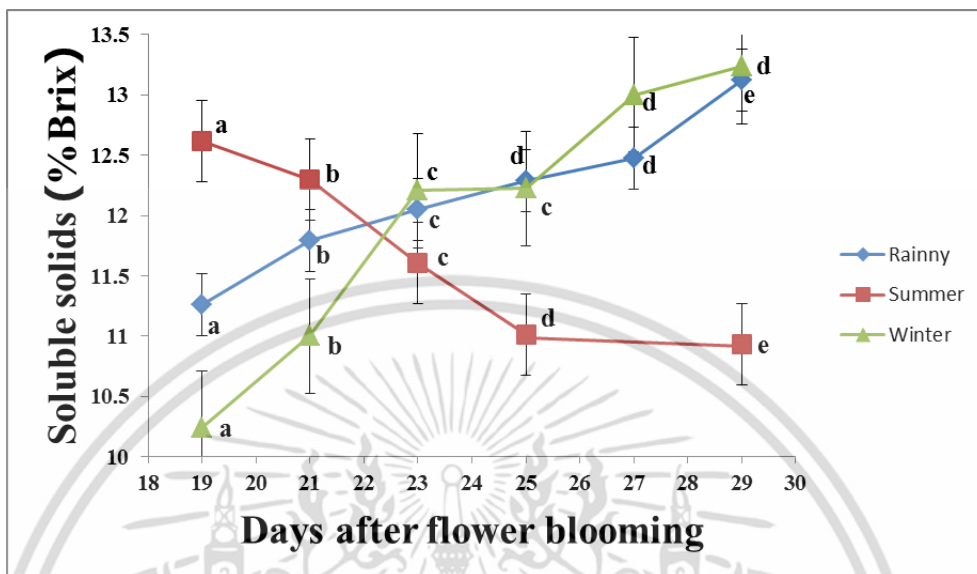
จากภาพแสดงให้เห็นว่าอายุที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณไลโคพีนในแตงโม ซึ่งเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นปริมาณไลโคพีนจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต้นของแตงโมพันธุ์กินรีที่ทำการเพาะปลูกในฤดูฝน ในฤดูหนาว และในฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ ได้ถูกวิเคราะห์และบันทึกผลเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองร่วมกับค่าที่วัดได้จากการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่างๆ และได้ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธีต่างๆเพื่อให้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ในช่วงการเพาะปลูกของฤดูฝน ฤดูหนาวและฤดูร้อน แสดงดังภาพที่ 4.36



ภาพที่ 4.44 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาวและฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วัน หลังดอกบานตามลำดับ) ตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ค่าเฉลี่ยแสดงถึงค่ามีความแตกต่างกันที่ ระดับความมั่นใจ 95%

จากภาพแสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยวที่มากขึ้น แต่ในฤดูร้อนปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าลดลง ตั้งแต่วันที่ 19, 21, 23, 25 วัน หลังดอกบาน และลดลงอย่างช้าๆในวันที่ 29 สาเหตุอาจเนื่องมาจากสภาพอากาศในช่วงที่เพาะปลูกนั้นแปรปรวน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง

Micro NIR Spectrometer

ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณไลโคพิน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วยวิธี PLS regression ของแดงโสมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุ การเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้ม และ แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 1150-2150 nm พบว่าแบบจำลองไม่มี ความสามารถในการทำนาย

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง

FQA-NIR Gun

ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณไลโคพิน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วยวิธี PLS regression ของแดงโสมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุ การเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้ม และ แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ 607-1063 nm ผลที่ได้จากแบบจำลองดังตารางที่

5.1

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FT-

NIR Spectrometer

ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายปริมาณไลโคพิน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วยวิธี PLS regression ของแดงโสมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อนและทุกฤดู ที่อายุ การเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน (19, 21, 23, 25, 27 และ 29 วันหลังดอกบาน) ทั้งแบบมีพลาสติกหุ้ม และ แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม โดยใช้ช่วงการดูดซับที่ $12,500-4,000 \text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ผลที่ได้จากแบบจำลองดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.4.1 ผลของฤดูกาล

ฤดูกาลมีผลต่อการทดลองอย่างชัดเจน โดยบางฤดู เช่น ฤดูร้อน ซึ่งปลูกในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 โดยเก็บเกี่ยวเพื่อทำการทดลองในระหว่างวันที่ 24 กรกฎาคมถึง วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2556 เกิดฝนตกอย่างหนักทำให้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองไม่สมบูรณ์ มีปัญหาไส้ล้มในตัวอย่างส่วนใหญ่และเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้กลับลดลง ส่งผลให้การทำนายปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแบบจำลองของฤดูร้อนของสเปกโตรมิเตอร์ทุกเครื่องมีค่า R^2 ต่ำเท่ากับ 0.1 ถึง ต่ำมากจนแบบจำลองไม่สามารถทำนายได้ (explained variance ตีลบ) ส่วนฤดูฝนและฤดูหนาว สภาพอากาศเป็นปกติตามฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นปกติ ลักษณะของเนื้อแตงโมมีลักษณะปกติ โดยผลการทำนายฤดูหนาวดีกว่าฤดูฝน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเนื้อแตงโมในฤดูฝนอาจมีน้ำมากกว่า ทำให้แถบการดูดซับคลื่นของน้ำสูงและกว้าง

5.4.2 ผลการหุ้มตัวอย่างด้วยพลาสติกหรือไม่หุ้มพลาสติก

กรณีของพลาสติกหุ้มตัวอย่างหรือไม่หุ้ม จากการสังเกตสเปกตรัมพบว่าสเปกตรัมของเนื้อแตงโมแบบมีพลาสติกหุ้มและไม่มีพลาสติกหุ้ม มีสเปกตรัมที่แยกกลุ่มกันเกิดจากการเกิด Base line shift และในช่วงจำนวนคลื่นประมาณ $4600-3600\text{ cm}^{-1}$ มีพีคแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม ช่วงจำนวนคลื่นนี้ไม่ได้นำมาสร้างแบบจำลอง จึงสรุปว่าไม่มีผลกระทบที่จะทำให้สเปกตรัมเปลี่ยนแปลง หลังจากแก้ปัญหา Base line shift นี้แล้วจะพบว่าสเปกตรัมไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาจากผลการทำนายของแบบจำลองทั้งปริมาณไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปรากฏว่ามีความสามารถในการทำนายระดับเดียวกัน ดังตารางที่ 5.1

5.4.3 ผลของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ต่างชนิดกัน

ทางด้านเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่างๆ ที่นำมาใช้ในการตรวจวัด เครื่อง Micro NIR Spectrometer ให้สเปกตรัมที่มีลักษณะการดูดกลืนคลื่นมากเกินไปเกินกว่าที่ตัวตรวจวัดจะวัดได้ (Over absorption) ทำให้แบบจำลองไม่สามารถทำนายได้ (explained variance ตีลบ) อาจเกิดจากการตั้งค่าของเครื่องที่ผิดพลาด โดยให้ Integrating time น้อยเกินไป ($100\ \mu\text{s}$) ทำให้ช่วงระหว่างค่าสูงสุดในการสะท้อน (วัดจากวัสดุอ้างอิง) และค่าต่ำสุดในการสะท้อน (วัดจากเมื่อส่องสเปก

โตรมิเตอร์ไปยังพื้น) มีค่าต่ำทำให้ความแตกต่างของพีคที่วัดได้แตกต่างกันน้อย นอกจากนี้พบว่า FQA NIR GUN ให้แบบจำลองในการทำนายปริมาณไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้แม่นยำกว่า เนื่องจาก FQA NIR GUN มีช่วงคลื่นสั้น ซึ่งจะส่องทะลุตัวอย่างได้ประมาณ 5-10 mm และแถบการดูดซับคลื่นของน้ำมีระดับต่ำเนื่องจากเป็นช่วง third overtone และ second overtone จึงเหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำในตัวอย่างมาก ซึ่งแบบจำลองในการทำนายไลโคพินและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของ FQA NIR GUN ให้ผลดีโดยเฉพาะการทำนายปริมาณไลโคพิน ($R^2=0.801-0.860$) เครื่อง FT NIR Spectrometer ให้แบบจำลองในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ได้ดีที่สุด โดยใช้ช่วงจำนวนคลื่น 9403-7498 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 1063-1333 nm) ซึ่งเป็นช่วงที่รวมแถบการดูดกลืนคลื่นของน้ำ (1190 nm) แต่ไม่สามารถได้แบบจำลองที่ดีกว่าในการทำนายปริมาณไลโคพิน ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองใช้ช่วงความยาวคลื่นในช่วงคลื่นยาวคือ 9403-7498, 6102-5443 และ 4605-4242 cm^{-1} (1063-1333, 1638-1836 และ 2171-2357 nm) ซึ่งแถบการดูดกลืนคลื่นของน้ำจะมีค่าการดูดกลืนคลื่นสูงทำให้การดูดกลืนคลื่นของสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับไลโคพินมีขนาดต่ำลงเมื่อพิจารณาสัมพันธ์กันซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถให้แบบจำลองที่มีความสามารถดีกว่า FQA NIR GUN ได้

ตารางที่ 5.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการทำนายปริมาณไลโคพิน และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

Spectrometer	แบบจำลอง	R ²	RPD	RER	การประยุกต์ใช้
FQA-NIR Gun	ไลโคพิน ถดุดน แบบมีพลาสติกหุ้ม	0.810	2.250	9.141	ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้
	ไลโคพิน ถดุดนาว แบบมีพลาสติกหุ้ม	0.860	2.705	9.593	ใช้คัดเลือกแบบหยาบๆ
	ไลโคพิน ถดุดน แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม	0.809	2.179	8.853	ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้
	ไลโคพิน ถดุดนาว แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม	0.836	2.538	9.000	ใช้คัดเลือกแบบหยาบๆ
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ถดุดนาว แบบมีพลาสติกหุ้ม	0.67	1.762	6.361	ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ถดุดนาว แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม	0.67	1.748	6.304	ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้
FT-NIR Spectrometer	ไลโคพิน ถดุดนาว แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม	0.720	1.940	6.860	ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ถดุดนาว แบบมีพลาสติกหุ้ม	0.740	2.020	7.090	ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ถดุดนาว แบบไม่มีพลาสติกหุ้ม	0.780	2.140	7.510	ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้

หมายเหตุ : R² = Coefficient of determination, RPD = Ratio of the SEP to the SD, RER = ratio of the SEP to the range

เอกสารอ้างอิง

- [1] เยาวภา สิริพัฒนานุกุล. 2545. “การศึกษาการสูญเสียไลโคพีนในระหว่างกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ และมะเขือเทศแช่แข็ง”. คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1.
- [2] Scott KJ, Hart DJ. 1995. Development and evaluation of an HPLC method for analysis of carotenoids in foods and the measurement of carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. **Food Chem.** 54:101-11.
- [3] Tonucci LH, Holden JM, Beecher GR, Khachik F, Davis CS, Mulokozi G. 1995. Carotenoid contents of thermally processed tomato-based food products. **J Agric Food Chem.** 43:579-86.
- [4] Rao AV, Agarwal S. 1999. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases. **Nutrition Research.** 19:305-23.
- [5] ภาควิชาเภสัชเวทและเภสัชพฤกษศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2556. Trans-lycopene. [Online]. Available: <http://pcog.pharmacy.psu.ac.th/thi/article8-51.asp>
- [6] A.R. Davis, W.W. Fish, and P. Perkins-Veazie. 2009. A Rapid Hexane-free Method for Analyzing Lycopene Content in Watermelon. **Journal of food science.** 68:328-32
- [7] จริ่งแท้ ศิริพานิช. 2538. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. นครปฐม.
- [8] อภิตุลย์ แก้วกับทอง. 2555. “การตรวจสอบปริมาณเนื้อเยื่อของน้ำยางพาราสดและชันด้วยวิธีไม่ทำลายโดยเทคนิค Near-infrared spectroscopy.” หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] เต็ม สมิตินันท์. 2523. **ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (ชื่อพฤกษศาสตร์-ชื่อพื้นเมือง)**. กรมป่าไม้ 379 หน้า.
- [10] วิทย์ เทียงบูรณธรรม. 2531. **พจนานุกรมสมุนไพรไทย**. 880 หน้า.
- [11] กรมส่งเสริมการเกษตร, เรียบเรียงโดย เฉลิมเกียรติ โกศาวัฒนา. 2556. [Online]. Available: <http://www.watermelon.ob.tc/1.htm> .
- [12] เตโชดม ภัทรศัย. 2543. **36 ผลไม้สมุนไพรไทย**. โพร-เอสเอ็มอี. กรุงเทพมหานคร.
- [13] การทดลองที่ANA 05 UV-Visible Spectrophotometer. 2556. [Online]. Available: <http://www.eg.mahidol.ac.th/dept/egche/PDF/ANA/ANA05%20UV%20Visible%20Spectrophotometer.pdf> .
- [14] สารให้ความหวานในอาหาร. นิตยสาร Health today. 2556. [Online]. Available: www.yourhealthyguide.com/article/an-sweetener.htm .
- [15] Anon. 2010. Fructose malabsorption. 2556. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Fructose_malabsorption
- [16] ศูนย์วิจัย มีด จอนห์สัน. 2553. อาหารผู้ป่วยเบาหวาน. 2556. [Online]. Available: http://www.elib-online.com/doctors/med_diabetisfood1.html
- [17] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้. 2556. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0997/total-soluble-solid>.
- [18] ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร. 2556. [Online]. Available: www.nirsresearch.com.
- [19] นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์. 2545. “หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี (Principles of Near Infrared Spectroscopy)”. การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. หน้า 39-66.
- [20] อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2545. “การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์” การอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. หน้า 78 – 96

- [21] Siesler, H. W., Ozaki, Y., Kawata, S., and Heise, H. M. 2002. "Near-Infrared Spectroscopy : Principle, Instruments, Application." John Wiley & Sons, Ltd., Germany. pp. 151
- [22] ปานมนัส ศิริสมบุญ, รวิภัทร ลากเจริญสุข, กรรณพต แก้วสอน, พลนันท อ่อนไสว, บัณฑิต ทองสร้อย, นัฐกรณ์ สอนสงวน, สมชาย กลัดสุข, ศิวตล รัตน์โอภา, อภิชาติ สมผิว และกิ่งดาว ชนะโชติ . 2556. การคาลิเบรชันแบบตัวแปรพหุ แนวเชิงปฏิบัติสำหรับการพัฒนาแบบจำลองในเคมีวิเคราะห์. 2556. [Online]. Available: www.nirsresearch.com.
- [23] ธงชัย สุวรรณสีชนัน. 2545. "การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ Data Analysis of NIR Spectra: Qualitative and Quantitative Analysis". การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. หน้า 116-119.
- [24] Kasemsamran, S. 2005. "Nondestructive Quantitative Analysis of biomedical Samples by Near Infrared Spectroscopy with Chemometrics and Development of novel Chemometric Methods for quantitative Analysis" Ph. D. Thesis, Kwansai Gakuin University, Japan.
- [25] 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.
- [26] วารุณี ธนะแพสย์. 2550. "สถานการณ์และการใช้ประโยชน์ด้วยเทคนิค NIR ในประเทศไทย : แนวโน้มงานวิจัยในด้านเทคนิค NIR ในความต้องการของอุตสาหกรรมและมาตรฐานคุณภาพของสินค้า" โครงการสัมมนาวิชาการ การควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรและอุตสาหกรรมโดยวิธีไม่ทำลาย เพื่อการแข่งขันบนเวทีการค้าโลก. หน้า 21-31
- [27] Andre M. K., Pedro, and Marcia, M. C., Ferreira., 2005. "Nondestructive Determination of Solids and Carotenoids in Tomato Products by Near-Infrared Spectroscopy and Multivariate Calibration" Analytical Chemistry. 77: 2505-11.

- [28] K.Flores, M.T. Sanchez, D.C. Perez-Marin, M.D. Lopez, J.E. Guerrero, A. Garrido-Varo. 2008. "Prediction of total soluble solid content in intact and cut melons and watermelons using near infrared spectroscopy" *Journal of near infrared spectroscopy*. 16: 91-98.
- [29] บทที่ 8 ปริมาณสัมพันธ์. 2556. [Online]. Available: [http://e-book.ram.edu/e-book/s/SE502%20\(54115\)/chapter8.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/s/SE502%20(54115)/chapter8.pdf)
- [30] B. G. Osborne and T. Fearn, "Near infrared spectroscopy in food analysis (1st published, pp. 117)", Longman Science & Technical, UK (1986).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)							
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16
ศึกษากระบวนการเพาะปลูก ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว จนถึงการ เก็บรักษาเพื่อจำหน่ายของ แตงโม	*							
หาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องไลโคพีน และศึกษากระบวนการสกัดไล โคพีน ออกจากแตงโม	*							
ออกแบบและตั้งขอบเขตเพื่อ ทำการทดลอง		*						
หาแหล่งเพาะปลูกแตงโมเพื่อ ติดต่อขอซื้อตัวอย่างการ ทดลอง		*						
ทดสอบครั้งที่ 1 โดยใช้แตงโมที่ เพาะปลูกในฤดูฝน เก็บข้อมูลและ วิเคราะห์ผล			*	*				
ทดสอบครั้งที่ 2 โดยใช้แตงโม ที่เพาะปลูกในฤดูหนาว เก็บข้อมูลและ วิเคราะห์ผล				*	*			
ทดสอบครั้งที่ 3 โดยใช้แตงโม ที่เพาะปลูกในฤดูร้อน เก็บข้อมูลและ วิเคราะห์ผล					*	*		
แก้ไขข้อบกพร่องจากปัจจัย ต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลอง						*	*	
เปรียบเทียบผลสรุป และ เขียน รายงานผลการทดลอง							*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ข้อมูลจากการทดลองต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 19 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 nm

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
19.01.1	0.222	0.225	0.224	
19.01.2	0.255	0.258	0.257	
19.02.1	0.310	0.312	0.311	
19.02.2	0.277	0.281	0.279	
19.03.1	0.339	0.34	0.340	
19.03.2	0.273	0.271	0.272	
19.04.1	0.383	0.382	0.383	
19.04.2	0.428	0.435	0.432	
19.05.1	0.471	0.473	0.472	
19.05.2	0.426	0.426	0.426	
19.06.1	0.55	0.55	0.550	
19.06.2	0.499	0.499	0.499	
19.07.1	0.527	0.528	0.528	
19.07.2	0.414	0.415	0.415	
19.08.1	0.3	0.301	0.301	
19.08.2	0.299	0.298	0.299	
19.09.1	0.479	0.474	0.477	
19.09.2	0.395	0.396	0.396	
19.10.1	0.318	0.323	0.321	
19.10.2	0.318	0.317	0.318	
19.11.1	0.642	0.641	0.642	
19.11.2	0.495	0.493	0.494	
19.12.1	0.346	0.347	0.347	
19.12.2	0.359	0.36	0.360	
19.13.1	0.362	0.36	0.361	
19.13.2	0.36	0.362	0.361	
19.14.1	0.361	0.364	0.363	
19.14.2	0.391	0.391	0.391	
19.15.1	0.331	0.326	0.329	
19.15.2	0.34	0.336	0.338	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข2 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 21 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 nm

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
21.01.1	0.326	0.325	0.326	
21.01.2	0.364	0.364	0.364	
21.02.1	0.532	0.554	0.543	
21.02.2	0.542	0.578	0.560	
21.03.1	0.458	0.458	0.458	
21.03.2	0.4	0.396	0.398	
21.04.1	1.677	1.595	1.636	
21.04.2	0.391	0.393	0.392	
21.05.1	0.553	0.555	0.554	
21.05.2	0.634	0.636	0.635	
21.06.1	0.543	0.545	0.544	
21.06.2	0.602	0.6	0.601	
21.07.1	0.517	0.519	0.518	
21.07.2	0.54	0.542	0.541	
21.08.1	0.538	0.542	0.540	
21.08.2	0.646	0.653	0.650	
21.09.1	0.643	0.643	0.643	
21.09.2	0.467	0.467	0.467	
21.10.1	0.538	0.537	0.538	
21.10.2	0.577	0.581	0.579	
21.11.1	0.503	0.505	0.504	
21.11.2	0.624	0.628	0.626	
21.12.1	0.544	0.547	0.546	
21.12.2	0.487	0.489	0.488	
21.13.1	0.569	0.569	0.569	
21.13.2	0.569	0.599	0.584	
21.14.1	0.43	0.434	0.432	
21.14.2	0.379	0.383	0.381	
21.15.1	0.66	0.657	0.659	
21.15.2	0.584	0.589	0.587	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข3 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 23 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 nm

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
23.01.1	0.500	0.500	0.500	
23.01.2	0.434	0.433	0.434	
23.02.1	0.636	0.638	0.637	
23.02.2	0.663	0.669	0.666	
23.03.1	0.562	0.571	0.567	
23.03.2	0.649	0.652	0.651	
23.04.1	0.490	0.495	0.493	
23.04.2	0.467	0.469	0.468	
23.05.1	1.089	1.307	1.198	
23.05.2	0.588	0.590	0.589	
23.06.1	0.717	0.721	0.719	
23.06.2	0.809	0.806	0.808	
23.07.1	0.618	0.619	0.619	
23.07.2	0.463	0.466	0.465	
23.08.1	0.662	0.664	0.663	
23.08.2	0.721	0.722	0.722	
23.09.1	0.528	0.533	0.531	
23.09.2	0.591	0.593	0.592	
23.10.1	0.815	0.821	0.818	
23.10.2	0.838	0.842	0.840	
23.11.1	0.768	0.768	0.768	
23.11.2	0.668	0.667	0.668	
23.12.1	0.729	0.726	0.728	
23.12.2	0.672	0.674	0.673	
23.13.1	0.775	0.754	0.765	
23.13.2	0.569	0.567	0.568	
23.14.1	0.760	0.757	0.759	
23.14.2	0.914	0.916	0.915	
23.15.1	0.470	0.471	0.471	
23.15.2	0.528	0.529	0.529	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข4 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 25 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 nm

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
25.01.1	1.015	1.009	1.012	
25.01.2	0.955	0.956	0.956	
25.02.1	0.858	0.872	0.865	
25.02.2	0.677	0.683	0.680	
25.03.1	0.949	0.942	0.946	
25.03.2	0.782	0.790	0.786	
25.04.1	0.716	0.721	0.719	
25.04.2	0.649	0.650	0.650	
25.05.1	0.741	0.752	0.747	
25.05.2	0.774	0.765	0.770	
25.06.1	0.745	0.755	0.750	
25.06.2	0.656	0.658	0.657	
25.07.1	0.631	0.632	0.632	
25.07.2	0.549	0.551	0.550	
25.08.1	0.727	0.752	0.740	
25.08.2	0.799	0.798	0.799	
25.09.1	0.943	0.946	0.945	
25.09.2	0.845	0.841	0.843	
25.10.1	0.655	0.657	0.656	
25.10.2	0.748	0.748	0.748	
25.11.1	0.683	0.685	0.684	
25.11.2	0.736	0.734	0.735	
25.12.1	0.802	0.809	0.806	
25.12.2	0.914	0.911	0.913	
25.13.1	0.933	0.939	0.936	
25.13.2	0.860	0.859	0.860	
25.14.1	0.707	0.709	0.708	
25.14.2	0.756	0.774	0.765	
25.15.1	0.721	0.727	0.724	
25.15.2	0.957	0.946	0.952	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข5 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 27 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 nm

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
27.01.1	0.784	0.794	0.789	
27.01.2	0.854	0.857	0.856	
27.02.1	0.760	0.763	0.762	
27.02.2	0.652	0.654	0.653	
27.03.1	0.864	0.865	0.865	
27.03.2	0.918	0.911	0.915	
27.04.1	0.918	0.922	0.920	
27.04.2	0.806	0.808	0.807	
27.05.1	0.799	0.798	0.799	
27.05.2	0.721	0.719	0.720	
27.06.1	0.674	0.672	0.673	
27.06.2	0.778	0.784	0.781	
27.07.1	0.803	0.800	0.802	
27.07.2	0.747	0.745	0.746	
27.08.1	0.934	0.938	0.936	
27.08.2	0.858	0.857	0.858	
27.09.1	0.836	0.848	0.842	
27.09.2	0.780	0.783	0.782	
27.10.1	0.743	0.745	0.744	
27.10.2	0.660	0.674	0.667	
27.11.1	0.785	0.781	0.783	
27.11.2	0.867	0.865	0.866	
27.12.1	0.726	0.725	0.726	
27.12.2	1.000	0.992	0.996	
27.13.1	1.053	1.086	1.070	
27.13.2	1.008	1.006	1.007	
27.14.1	0.846	0.875	0.861	
27.14.2	0.717	0.727	0.722	
27.15.1	0.867	0.834	0.851	
27.15.2	0.834	0.836	0.835	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข6 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 29 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 nm

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
29.01.1	1.095	1.098	1.097	
29.01.2	1.034	1.038	1.036	
29.02.1	0.731	0.735	0.733	
29.02.2	0.669	0.681	0.675	
29.03.1	0.908	0.912	0.910	
29.03.2	1.057	1.082	1.070	
29.04.1	0.940	0.938	0.939	
29.04.2	0.935	0.926	0.931	
29.05.1	1.016	1.037	1.027	
29.05.2	0.859	0.864	0.862	
29.06.1	0.821	0.826	0.824	
29.06.2	0.924	0.930	0.927	
29.07.1	0.855	0.859	0.857	
29.07.2	0.785	0.797	0.791	
29.08.1	1.133	1.151	1.142	
29.08.2	0.982	0.988	0.985	
29.09.1	0.877	0.890	0.884	
29.09.2	0.773	0.778	0.776	
29.10.1	0.805	0.816	0.811	
29.10.2	0.850	0.854	0.852	
29.11.1	0.770	0.779	0.775	
29.11.2	0.867	0.877	0.872	
29.12.1	1.196	1.207	1.202	
29.12.2	1.121	1.124	1.123	
29.13.1	1.003	1.006	1.005	
29.13.2	1.002	1.008	1.005	
29.14.1	1.020	1.037	1.029	
29.14.2	0.886	0.883	0.885	
29.15.1	1.014	1.027	1.021	
29.15.2	1.043	1.047	1.045	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข7 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 19 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
19.01.1	0.160	0.166	0.163	
19.01.2	0.169	0.17	0.170	
19.02.1	0.315	0.316	0.316	
19.02.2	0.318	0.32	0.319	
19.03.1	0.334	0.334	0.334	
19.03.2	0.372	0.375	0.374	
19.04.1	0.2	0.202	0.201	
19.04.2	0.247	0.248	0.248	
19.05.1	0.232	0.234	0.233	
19.05.2	0.28	0.282	0.281	
19.06.1	0.217	0.218	0.218	
19.06.2	0.266	0.265	0.266	
19.07.1	0.38	0.383	0.382	
19.07.2	0.366	0.367	0.367	
19.08.1	0.266	0.27	0.268	
19.08.2	0.285	0.287	0.286	
19.09.1	0.432	0.438	0.435	
19.09.2	0.475	0.479	0.477	
19.10.1	0.335	0.331	0.333	
19.10.2	0.302	0.305	0.304	
19.11.1	0.214	0.215	0.215	
19.11.2	0.217	0.217	0.217	
19.12.1	0.214	0.215	0.215	
19.12.2	0.23	0.223	0.227	
19.13.1	0.358	0.365	0.362	
19.13.2	0.381	0.381	0.381	
19.14.1	0.331	0.332	0.332	
19.14.2	0.271	0.276	0.274	
19.15.1	0.267	0.266	0.267	
19.15.2	0.308	0.307	0.308	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข8 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 21 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
21.01.1	0.46	0.466	0.463	
21.01.2	0.447	0.443	0.445	
21.02.1	0.368	0.372	0.370	
21.02.2	0.399	0.4	0.400	
21.03.1	0.292	0.297	0.295	
21.03.2	0.253	0.253	0.253	
21.04.1	0.433	0.433	0.433	
21.04.2	0.463	0.469	0.466	
21.05.1	0.425	0.428	0.427	
21.05.2	0.364	0.365	0.365	
21.06.1	0.422	0.423	0.423	
21.06.2	0.472	0.472	0.472	
21.07.1	0.302	0.309	0.306	
21.07.2	0.323	0.324	0.324	
21.08.1	0.44	0.439	0.440	
21.08.2	0.468	0.47	0.469	
21.09.1	0.409	0.413	0.411	
21.09.2	0.393	0.395	0.394	
21.10.1	0.547	0.548	0.548	
21.10.2	0.438	0.44	0.439	
21.11.1	0.448	0.449	0.449	
21.11.2	0.397	0.399	0.398	
21.12.1	0.275	0.275	0.275	
21.12.2	0.249	0.248	0.249	
21.13.1	0.362	0.364	0.363	
21.13.2	0.31	0.312	0.311	
21.14.1	0.421	0.421	0.421	
21.14.2	0.406	0.407	0.407	
21.15.1	0.416	0.417	0.417	
21.15.2	0.442	0.442	0.442	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข๑ ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 23 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
23.01.1	0.445	0.440	0.443	
23.01.2	0.423	0.425	0.424	
23.02.1	0.689	0.690	0.690	
23.02.2	0.818	0.818	0.818	
23.03.1	0.651	0.657	0.654	
23.03.2	0.810	0.818	0.814	
23.04.1	0.641	0.645	0.643	
23.04.2	0.742	0.749	0.746	
23.05.1	0.563	0.562	0.563	
23.05.2	0.577	0.581	0.579	
23.06.1	0.690	0.701	0.696	
23.06.2	0.689	0.692	0.691	
23.07.1	0.434	0.436	0.435	
23.07.2	0.458	0.461	0.460	
23.08.1	0.780	0.786	0.783	
23.08.2	0.757	0.764	0.761	
23.09.1	0.487	0.495	0.491	
23.09.2	0.466	0.522	0.494	
23.10.1	0.772	0.613	0.693	
23.10.2	0.847	0.933	0.890	
23.11.1	0.574	0.603	0.589	
23.11.2	0.538	0.552	0.545	
23.12.1	0.758	0.761	0.760	
23.12.2	0.700	0.702	0.701	
23.13.1	0.532	0.538	0.535	
23.13.2	0.578	0.580	0.579	
23.14.1	0.762	0.767	0.765	
23.14.2	0.717	0.716	0.717	
23.15.1	0.764	0.721	0.743	
23.15.2	0.680	0.735	0.708	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข10 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูหนาว
ที่อายุการเก็บเกี่ยว 25 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
25.01.1	0.432	0.434	0.433	
25.01.2	0.563	0.563	0.563	
25.02.1	0.612	0.618	0.615	
25.02.2	0.566	0.564	0.565	
25.03.1	0.703	0.710	0.707	
25.03.2	0.748	0.752	0.750	
25.04.1	0.471	0.477	0.474	
25.04.2	0.421	0.419	0.420	
25.05.1	0.694	0.695	0.695	
25.05.2	0.780	0.795	0.788	
25.06.1	0.505	0.501	0.503	
25.06.2	0.581	0.580	0.581	
25.07.1	0.727	0.707	0.717	
25.07.2	0.774	0.771	0.773	
25.08.1	0.694	0.694	0.694	
25.08.2	0.733	0.736	0.735	
25.09.1	0.660	0.662	0.661	
25.09.2	0.705	0.702	0.704	
25.10.1	1.134	1.140	1.137	
25.10.2	1.032	1.035	1.034	
25.11.1	0.738	0.742	0.740	
25.11.2	0.728	0.729	0.729	
25.12.1	0.724	0.727	0.726	
25.12.2	0.630	0.635	0.633	
25.13.1	0.931	0.934	0.933	
25.13.2	0.950	0.952	0.951	
25.14.1	0.763	0.764	0.764	
25.14.2	0.782	0.783	0.783	
25.15.1	0.842	0.965	0.904	
25.15.2	0.876	0.887	0.882	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข11 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูหนาว
ที่อายุการเก็บเกี่ยว 27 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
27.01.1	0.681	0.687	0.684	
27.01.2	0.681	0.686	0.684	
27.02.1	0.818	0.819	0.819	
27.02.2	0.857	0.852	0.855	
27.03.1	0.733	0.739	0.736	
27.03.2	0.679	0.680	0.680	
27.04.1	0.766	0.798	0.782	
27.04.2	0.659	0.660	0.660	
27.05.1	0.808	0.812	0.810	
27.05.2	0.672	0.678	0.675	
27.06.1	1.039	1.125	1.082	
27.06.2	0.870	0.898	0.884	
27.07.1	0.897	0.900	0.899	
27.07.2	0.839	0.843	0.841	
27.08.1	0.643	0.648	0.646	
27.08.2	0.637	0.636	0.637	
27.09.1	0.518	0.519	0.519	
27.09.2	0.396	0.447	0.422	
27.10.1	0.599	0.602	0.601	
27.10.2	0.729	0.732	0.731	
27.11.1	0.731	0.758	0.745	
27.11.2	0.853	0.870	0.862	
27.12.1	0.846	0.855	0.851	
27.12.2	0.884	0.887	0.886	
27.13.1	0.770	0.774	0.772	
27.13.2	0.829	0.832	0.831	
27.14.1	0.702	0.707	0.705	
27.14.2	0.735	0.740	0.738	
27.15.1	0.821	0.823	0.822	
27.15.2	0.610	0.613	0.612	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข12 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 29 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
29.01.1	0.645	0.648	0.647	
29.01.2	0.664	0.667	0.666	
29.02.1	0.867	0.867	0.867	
29.02.2	0.986	0.988	0.987	
29.03.1	0.826	0.829	0.828	
29.03.2	0.793	0.787	0.790	
29.04.1	0.970	0.980	0.975	
29.04.2	0.857	0.860	0.859	
29.05.1	0.924	0.930	0.927	
29.05.2	0.905	0.908	0.907	
29.06.1	0.917	0.926	0.922	
29.06.2	0.885	0.892	0.889	
29.07.1	1.090	1.092	1.091	
29.07.2	1.066	1.057	1.062	
29.08.1	0.960	0.964	0.962	
29.08.2	1.016	1.002	1.009	
29.09.1	0.857	0.905	0.881	
29.09.2	0.904	0.911	0.908	
29.10.1	0.711	0.712	0.712	
29.10.2	0.774	0.776	0.775	
29.11.1	0.895	0.905	0.900	
29.11.2	0.767	0.773	0.770	
29.12.1	0.571	0.573	0.572	
29.12.2	0.590	0.602	0.596	
29.13.1	0.986	0.980	0.983	
29.13.2	0.956	1.003	0.980	
29.14.1	1.073	1.065	1.069	
29.14.2	1.091	1.094	1.093	
29.15.1	0.791	0.803	0.797	
29.15.2	0.780	0.796	0.788	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข13 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 19 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
19.01.1	0.695	0.705	0.700	
19.01.2	0.782	0.788	0.785	
19.02.1	0.570	0.574	0.572	
19.02.2	0.587	0.588	0.588	
19.03.1	0.734	0.740	0.737	
19.03.2	0.910	0.913	0.912	
19.04.1	0.499	0.498	0.499	
19.04.2	0.457	0.456	0.457	
19.05.1	0.403	0.407	0.405	
19.05.2	0.419	0.419	0.419	
19.06.1	0.539	0.543	0.541	
19.06.2	0.537	0.539	0.538	
19.07.1	0.650	0.651	0.651	
19.07.2	1.148	1.152	1.150	
19.08.1	0.454	0.457	0.456	
19.08.2	0.482	0.483	0.483	
19.09.1	0.587	0.591	0.589	
19.09.2	0.632	0.636	0.634	
19.10.1	0.634	0.638	0.636	
19.10.2	0.598	0.598	0.598	
19.11.1	0.461	0.465	0.463	
19.11.2	0.435	0.435	0.435	
19.12.1	0.617	0.617	0.617	
19.12.2	0.645	0.647	0.646	
19.13.1	0.887	0.890	0.889	
19.13.2	0.865	0.865	0.865	
19.14.1	0.754	0.750	0.752	
19.14.2	0.862	0.851	0.857	
19.15.1	0.616	0.612	0.614	
19.15.2	0.587	0.590	0.589	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข14 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 21 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
21.01.1	0.751	0.756	0.754	
21.01.2	0.559	0.557	0.558	
21.02.1	0.504	0.507	0.506	
21.02.2	0.504	0.505	0.505	
21.03.1	1.058	1.064	1.061	
21.03.2	0.873	0.875	0.874	
21.04.1	0.713	0.715	0.714	
21.04.2	0.779	0.776	0.778	
21.05.1	0.663	0.664	0.664	
21.05.2	0.700	0.703	0.702	
21.06.1	0.507	0.507	0.507	
21.06.2	0.539	0.539	0.539	
21.07.1	0.603	0.604	0.604	
21.07.2	0.637	0.638	0.638	
21.08.1	0.593	0.593	0.593	
21.08.2	0.586	0.587	0.587	
21.09.1	0.786	0.783	0.785	
21.09.2	0.670	0.669	0.670	
21.10.1	0.598	0.601	0.600	
21.10.2	0.655	0.658	0.657	
21.11.1	1.036	1.037	1.037	
21.11.2	1.143	1.146	1.145	
21.12.1	0.551	0.558	0.555	
21.12.2	0.591	0.594	0.593	
21.13.1	0.716	0.717	0.717	
21.13.2	0.556	0.559	0.558	
21.14.1	0.746	0.749	0.748	
21.14.2	0.840	0.839	0.840	
21.15.1	0.668	0.669	0.669	
21.15.2	0.692	0.696	0.694	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข15 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 23 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
23.01.1	0.979	0.981	0.980	
23.01.2	1.112	1.117	1.115	
23.02.1	0.833	0.830	0.832	
23.02.2	0.787	0.783	0.785	
23.03.1	0.731	0.727	0.729	
23.03.2	0.814	0.811	0.813	
23.04.1	0.869	0.871	0.870	
23.04.2	0.767	0.758	0.763	
23.05.1	0.883	0.891	0.887	
23.05.2	0.955	0.959	0.957	
23.06.1	1.010	1.020	1.015	
23.06.2	1.091	1.097	1.094	
23.07.1	0.912	0.917	0.915	
23.07.2	0.707	0.708	0.708	
23.08.1	0.673	0.659	0.666	
23.08.2	0.386	0.375	0.381	
23.09.1	0.956	0.969	0.963	
23.09.2	1.071	1.062	1.067	
23.10.1	0.541	0.542	0.542	
23.10.2	0.566	0.553	0.560	
23.11.1	0.756	0.756	0.756	
23.11.2	0.738	0.738	0.738	
23.12.1	1.088	1.092	1.090	
23.12.2	1.036	1.037	1.037	
23.13.1	0.782	0.779	0.781	
23.13.2	0.985	0.988	0.987	
23.14.1	0.440	0.442	0.441	
23.14.2	0.653	0.658	0.656	
23.15.1	0.970	0.975	0.973	
23.15.2	1.042	1.040	1.041	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข16 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 25 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
25.01.1	1.191	1.191	1.191	
25.01.2	1.191	1.191	1.191	
25.02.1	1.217	1.223	1.220	
25.02.2	1.408	1.410	1.409	
25.03.1	0.896	0.898	0.897	
25.03.2	0.955	0.958	0.957	
25.04.1	1.254	1.252	1.253	
25.04.2	1.155	1.158	1.157	
25.05.1	0.991	0.992	0.992	
25.05.2	0.859	0.868	0.864	
25.06.1	0.826	0.828	0.827	
25.06.2	0.750	0.755	0.753	
25.07.1	0.805	0.805	0.805	
25.07.2	0.990	0.990	0.990	
25.08.1	0.888	0.891	0.890	
25.08.2	0.936	0.933	0.935	
25.09.1	0.691	0.685	0.688	
25.09.2	0.675	0.678	0.677	
25.10.1	1.038	1.035	1.037	
25.10.2	1.035	1.037	1.036	
25.11.1	1.111	1.120	1.116	
25.11.2	1.494	1.500	1.497	
25.12.1	0.914	0.915	0.915	
25.12.2	0.836	0.838	0.837	
25.13.1	0.824	0.819	0.822	
25.13.2	1.099	1.098	1.099	
25.14.1	0.718	0.719	0.719	
25.14.2	0.741	0.746	0.744	
25.15.1	0.359	0.358	0.359	
25.15.2	0.369	0.372	0.371	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข17 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนของแตงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูกในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 29 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 503 นาโนเมตร

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
29.01.1	0.865	0.855	0.860	
29.01.2	0.752	0.757	0.755	
29.02.1	0.796	0.792	0.794	
29.02.2	0.948	0.948	0.948	
29.03.1	0.829	0.835	0.832	
29.03.2	0.915	0.920	0.918	
29.04.1	1.050	1.051	1.051	
29.04.2	0.996	0.998	0.997	
29.05.1	1.513	1.516	1.515	
29.05.2	1.670	1.701	1.686	
29.06.1	1.059	1.066	1.063	
29.06.2	1.126	1.104	1.115	
29.07.1	1.097	1.098	1.098	
29.07.2	1.049	1.051	1.050	
29.08.1	0.941	0.949	0.945	
29.08.2	0.828	0.827	0.828	
29.09.1	0.966	0.954	0.960	
29.09.2	0.912	0.912	0.912	
29.10.1	1.279	1.280	1.280	
29.10.2	1.202	1.200	1.201	
29.11.1	1.463	1.465	1.464	
29.11.2	1.182	1.181	1.182	
29.12.1	1.295	1.448	1.372	
29.12.2	1.131	1.129	1.130	
29.13.1	0.767	0.771	0.769	
29.13.2	0.783	0.778	0.781	
29.14.1	0.986	0.985	0.986	
29.14.2	0.987	0.986	0.987	
29.15.1	1.077	1.130	1.104	
29.15.2	1.125	1.136	1.131	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข18 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 19 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
19.01.1	10.1	10.0	9.8	9.97	
19.01.2	11.1	11.2	11.3	11.20	
19.02.1	10.5	10.5	10.4	10.47	
19.02.2	10.3	10.3	10.1	10.23	
19.03.1	10.9	11.1	10.4	10.80	
19.03.2	11.2	11.2	11.2	11.20	
19.04.1	10.9	11.2	11.2	11.10	
19.04.2	11.2	11.1	11.5	11.27	
19.05.1	11.6	11.6	12.1	11.77	
19.05.2	11.8	11.6	12.1	11.83	
19.06.1	12.5	12.5	12.5	12.50	
19.06.2	12.7	12.8	13.0	12.83	
19.07.1	11.5	11.6	11.9	11.67	
19.07.2	11.3	11.3	11.7	11.43	
19.08.1	9.8	10.3	9.7	9.93	
19.08.2	10.9	10.1	11.0	10.67	
19.09.1	11.3	12.0	11.9	11.73	
19.09.2	11.6	11.4	11.7	11.57	
19.10.1	11.9	12.3	12.5	12.23	
19.10.2	11.9	12.1	12.0	12.00	
19.11.1	12.0	12.0	11.7	11.90	
19.11.2	11.8	11.1	11.7	11.53	
19.12.1	10.8	11.0	11.1	10.97	
19.12.2	10.1	10.2	10.6	10.30	
19.13.1	11.2	10.8	10.9	10.97	
19.13.2	10.8	11.3	11.2	11.10	
19.14.1	11.2	11.3	11.9	11.47	
19.14.2	11.0	10.9	11.2	11.03	
19.15.1	11.3	11.2	11.1	11.20	
19.15.2	10.9	10.8	11.5	11.07	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข19 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 21 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
21.01.1	10.9	11.4	11.3	11.20	
21.01.2	9.3	10.2	10.8	10.10	
21.02.1	11.7	12.4	12.1	12.07	
21.02.2	11.4	10.7	11.6	11.23	
21.03.1	12.1	11.6	12.1	11.93	
21.03.2	12.0	12.1	11.9	12.00	
21.04.1	10.7	11.8	12.0	11.50	
21.04.2	10.8	11.3	11.7	11.27	
21.05.1	11.6	11.9	11.7	11.73	
21.05.2	11.9	11.8	11.9	11.87	
21.06.1	11.6	11.1	11.7	11.47	
21.06.2	11.5	11.9	11.7	11.70	
21.07.1	12.0	12.3	12.5	12.27	
21.07.2	11.6	11.9	12.0	11.83	
21.08.1	10.2	10.6	11.8	10.87	
21.08.2	10.8	10.8	11.4	11.00	
21.09.1	12.1	12.0	12.2	12.10	
21.09.2	12.0	11.8	12.2	12.00	
21.10.1	12.2	11.9	12.2	12.10	
21.10.2	12.2	12.1	11.8	12.03	
21.11.1	12.0	12.3	12.6	12.30	
21.11.2	12.6	12.3	12.2	12.37	
21.12.1	12.1	12.8	12.5	12.47	
21.12.2	12.1	11.0	11.8	11.63	
21.13.1	12.5	12.3	12.4	12.40	
21.13.2	12.1	12.8	12.6	12.50	
21.14.1	11.2	12.2	12.6	12.00	
21.14.2	11.4	11.8	11.6	11.60	
21.15.1	11.8	12.1	12.4	12.10	
21.15.2	11.9	12.3	12.2	12.13	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข20 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 23 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
23.01.1	12.0	12.0	11.8	11.93	
23.01.2	11.9	11.8	11.8	11.83	
23.02.1	12.1	12.2	12.1	12.13	
23.02.2	12.1	12.1	12.3	12.17	
23.03.1	11.6	11.4	11.8	11.60	
23.03.2	12.1	12.1	12.2	12.13	
23.04.1	12.4	12.4	12.5	12.43	
23.04.2	12.8	12.1	12.3	12.40	
23.05.1	11.6	12.6	11.9	12.03	
23.05.2	11.9	11.9	11.4	11.73	
23.06.1	12.6	12.4	12.6	12.53	
23.06.2	12.4	12.6	12.5	12.50	
23.07.1	12.0	12.0	11.1	11.70	
23.07.2	11.5	11.9	11.6	11.67	
23.08.1	12.2	12.6	12.3	12.37	
23.08.2	11.9	12.2	12.0	12.03	
23.09.1	12.2	12.5	12.5	12.40	
23.09.2	12.5	12.5	12.3	12.43	
23.10.1	11.8	12.0	11.8	11.87	
23.10.2	11.3	11.9	11.6	11.60	
23.11.1	12.6	12.4	12.5	12.50	
23.11.2	12.4	12.4	12.3	12.37	
23.12.1	12.3	12.5	12.5	12.43	
23.12.2	12.6	12.4	12.5	12.50	
23.13.1	12.2	12.1	12.0	12.10	
23.13.2	11.1	11.3	11.8	11.40	
23.14.1	12.0	12.7	12.3	12.33	
23.14.2	12.0	11.8	12.5	12.10	
23.15.1	11.5	11.7	11.1	11.43	
23.15.2	11.3	10.9	10.2	10.80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข21 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 25 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
25.01.1	11.4	12.0	12.3	11.90	
25.01.2	11.9	12.1	12.0	12.00	
25.02.1	11.9	12.0	12.0	11.97	
25.02.2	11.4	11.5	11.3	11.40	
25.03.1	11.7	11.5	11.7	11.63	
25.03.2	11.5	12.1	12.1	11.90	
25.04.1	13.0	13.1	13.2	13.10	
25.04.2	13.2	13.3	12.9	13.13	
25.05.1	11.8	12.9	12.4	12.37	
25.05.2	12.0	12.1	12.3	12.13	
25.06.1	12.9	13.2	12.9	13.00	
25.06.2	12.8	12.9	12.9	12.87	
25.07.1	12.5	12.5	12.0	12.33	
25.07.2	12.4	12.2	12.7	12.43	
25.08.1	12.0	11.9	11.4	11.77	
25.08.2	11.2	12.0	12.0	11.73	
25.09.1	12.2	13.1	13.0	12.77	
25.09.2	12.4	13.6	13.4	13.13	
25.10.1	12.4	12.6	12.9	12.63	
25.10.2	12.8	12.6	12.2	12.53	
25.11.1	13.3	13.2	12.4	12.97	
25.11.2	13.0	12.6	12.7	12.77	
25.12.1	13.4	13.4	13.6	13.47	
25.12.2	12.9	13.7	13.9	13.50	
25.13.1	12.7	13.0	12.1	12.60	
25.13.2	12.5	13.3	12.8	12.87	
25.14.1	12.6	12.8	13.1	12.83	
25.14.2	12.8	12.2	12.7	12.57	
25.15.1	11.8	12.0	11.4	11.73	
25.15.2	12.1	12.3	12.6	12.33	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข22 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 27 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
27.01.1	11.0	11.6	11.9	11.50	
27.01.2	11.1	11.4	11.3	11.27	
27.02.1	12.5	12.2	12.2	12.30	
27.02.2	12.0	12.4	12.8	12.40	
27.03.1	12.8	13.1	13.2	13.03	
27.03.2	12.8	12.9	12.7	12.80	
27.04.1	13.2	13.2	13.6	13.33	
27.04.2	12.9	13.0	13.1	13.00	
27.05.1	13.8	14.0	14.0	13.93	
27.05.2	13.6	13.7	13.8	13.70	
27.06.1	13.0	12.6	12.8	12.80	
27.06.2	12.3	12.4	12.6	12.43	
27.07.1	13.3	13.5	13.3	13.37	
27.07.2	13.2	13.2	13.2	13.20	
27.08.1	13.8	13.8	13.5	13.70	
27.08.2	13.9	14.0	14.4	14.10	
27.09.1	13.0	12.8	12.5	12.77	
27.09.2	13.1	12.9	13.3	13.10	
27.10.1	13.4	12.8	13.0	13.07	
27.10.2	12.1	11.4	12.5	12.00	
27.11.1	13.1	14.0	13.1	13.40	
27.11.2	13.5	13.5	13.1	13.37	
27.12.1	13.0	13.1	13.1	13.07	
27.12.2	13.8	13.6	13.1	13.50	
27.13.1	13.5	13.5	13.1	13.37	
27.13.2	13.5	13.7	13.9	13.70	
27.14.1	13.9	14.5	14.3	14.23	
27.14.2	14.0	14.1	13.9	14.00	
27.15.1	13.0	13.5	13.8	13.43	
27.15.2	13.4	14.0	13.7	13.70	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข23 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูฝน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 29 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
29.01.1	12.1	11.9	12.0	12.00	
29.01.2	12.1	12.2	12.4	12.23	
29.02.1	10.4	9.9	9.8	10.03	
29.02.2	10.8	10.4	10.6	10.60	
29.03.1	10.6	11.2	10.6	10.80	
29.03.2	11.1	11.7	11.4	11.40	
29.04.1	11.3	12.0	12.3	11.87	
29.04.2	12.5	12.1	12.6	12.40	
29.05.1	11.1	11.2	11.4	11.23	
29.05.2	10.5	11.2	10.8	10.83	
29.06.1	10.0	9.9	10.6	10.17	
29.06.2	10.4	10.5	10.3	10.40	
29.07.1	13.9	13.2	13.4	13.50	
29.07.2	12.9	13.1	13.1	13.03	
29.08.1	13.7	13.7	13.5	13.63	
29.08.2	14.2	14.4	14.0	14.20	
29.09.1	12.5	13.0	13.6	13.03	
29.09.2	12.8	13.3	14.0	13.37	
29.10.1	13.6	13.4	13.7	13.57	
29.10.2	13.1	13.8	14.0	13.63	
29.11.1	12.0	12.4	12.8	12.40	
29.11.2	12.9	12.7	13.0	12.87	
29.12.1	12.8	13.1	13.2	13.03	
29.12.2	12.8	13.2	12.9	12.97	
29.13.1	12.9	12.7	12.0	12.53	
29.13.2	13.0	12.7	12.8	12.83	
29.14.1	12.0	13.0	12.6	12.53	
29.14.2	12.8	12.7	12.6	12.70	
29.15.1	11.7	12.0	11.7	11.80	
29.15.2	12.1	11.8	11.9	11.93	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข24 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 19 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
19.01.1	8.6	8.4	8.1	8.37	
19.01.2	9.1	9.0	9.0	9.03	
19.02.1	10.2	10.2	9.0	9.80	
19.02.2	9.0	9.4	9.0	9.13	
19.03.1	10.8	10.7	11.0	10.83	
19.03.2	11.0	11.8	12.0	11.60	
19.04.1	9.1	10.0	9.7	9.60	
19.04.2	9.3	9.0	8.8	9.03	
19.05.1	8.9	9.5	9.5	9.30	
19.05.2	9.6	9.1	8.8	9.17	
19.06.1	10.4	9.5	10.1	10.00	
19.06.2	9.1	9.6	10.1	9.60	
19.07.1	11.5	11.7	12.0	11.73	
19.07.2	11.5	10.8	10.7	11.00	
19.08.1	10.2	10.5	9.8	10.17	
19.08.2	9.0	9.3	9.7	9.33	
19.09.1	12.2	12.6	12.4	12.40	
19.09.2	12.1	12.8	11.9	12.27	
19.10.1	10.8	11.3	11.1	11.07	
19.10.2	11.7	11.6	11.9	11.73	
19.11.1	10.0	9.5	9.3	9.60	
19.11.2	9.3	9.4	9.5	9.40	
19.12.1	9.4	9.3	9.2	9.30	
19.12.2	9.1	9.7	9.5	9.43	
19.13.1	10.9	10.2	11.3	10.80	
19.13.2	11.7	11.6	11.2	11.50	
19.14.1	10.9	12.1	12.1	11.70	
19.14.2	11.0	12.0	11.5	11.50	
19.15.1	9.3	8.1	9.2	8.87	
19.15.2	10.5	10.0	9.4	9.97	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข25 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 21 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
21.01.1	11.7	11.8	11.9	11.80	
21.01.2	11.1	11.1	10.8	11.00	
21.02.1	11.5	11.7	11.1	11.43	
21.02.2	10.4	11.3	11.5	11.07	
21.03.1	10.5	10.9	11.1	10.83	
21.03.2	10.9	10.7	9.3	10.30	
21.04.1	11.5	12.0	11.4	11.63	
21.04.2	12.4	12.3	13.4	12.70	
21.05.1	10.0	10.2	10.7	10.30	
21.05.2	9.9	10.0	10.0	9.97	
21.06.1	9.4	10.9	11.4	10.57	
21.06.2	10.7	9.9	9.5	10.03	
21.07.1	11.2	9.9	10.1	10.40	
21.07.2	11.1	11.3	9.9	10.77	
21.08.1	11.2	11.7	10.6	11.17	
21.08.2	11.3	11.3	10.5	11.03	
21.09.1	11.9	10.8	9.7	10.80	
21.09.2	12.2	12.3	11.2	11.90	
21.10.1	11.4	11.0	12.1	11.50	
21.10.2	11.5	11.9	11.4	11.60	
21.11.1	11.8	12.2	11.0	11.67	
21.11.2	10.7	12.0	11.6	11.43	
21.12.1	13.2	10.7	12.1	12.00	
21.12.2	11.8	11.3	11.6	11.57	
21.13.1	12.8	11.6	10.2	11.53	
21.13.2	8.7	10.0	10.3	9.67	
21.14.1	11.2	11.4	11.3	11.30	
21.14.2	9.9	10.9	10.7	10.50	
21.15.1	10.0	9.6	8.5	9.37	
21.15.2	9.5	9.9	11.2	10.20	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข26 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 23 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อ ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
23.01.1	11.2	12.8	10.4	11.47	
23.01.2	11.0	10.4	10.8	10.73	
23.02.1	11.9	12.2	12.2	12.10	
23.02.2	12.4	12.5	12.5	12.47	
23.03.1	13.4	13.8	13.6	13.60	
23.03.2	13.2	13.6	13.5	13.43	
23.04.1	13.1	13.2	12.0	12.77	
23.04.2	11.8	12.7	13.0	12.50	
23.05.1	12.0	12.7	12.1	12.27	
23.05.2	12.5	12.6	13.0	12.70	
23.06.1	13.2	13.3	12.8	13.10	
23.06.2	13.0	13.1	12.7	12.93	
23.07.1	9.2	10.4	12.1	10.57	
23.07.2	11.4	12.0	9.2	10.87	
23.08.1	13.1	12.6	12.0	12.57	
23.08.2	11.7	12.8	12.5	12.33	
23.09.1	9.1	10.0	12.0	10.37	
23.09.2	10.3	9.3	10.8	10.13	
23.10.1	13.2	12.8	13.5	13.17	
23.10.2	13.4	12.7	12.9	13.00	
23.11.1	11.7	12.0	12.8	12.17	
23.11.2	9.4	11.5	12.0	10.97	
23.12.1	13.1	13.2	13.2	13.17	
23.12.2	13.2	13.6	13.1	13.30	
23.13.1	13.0	13.0	13.3	13.10	
23.13.2	12.7	13.1	13.1	12.97	
23.14.1	13.0	12.9	12.0	12.63	
23.14.2	12.7	12.9	12.4	12.67	
23.15.1	11.4	11.9	9.6	10.97	
23.15.2	10.9	11.0	11.6	11.17	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข27 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 25 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
25.01.1	12.2	12.6	12.1	12.30	
25.01.2	12.2	12.8	12.2	12.40	
25.02.1	12.0	12.9	12.7	12.53	
25.02.2	11.1	11.2	11.6	11.30	
25.03.1	11.4	11.8	12.8	12.00	
25.03.2	13.0	13.0	12.5	12.83	
25.04.1	12.4	12.5	12.9	12.60	
25.04.2	12.3	12.9	12.8	12.67	
25.05.1	12.0	12.0	12.2	12.07	
25.05.2	12.2	12.5	12.4	12.37	
25.06.1	12.0	12.0	12.2	12.07	
25.06.2	12.0	12.5	13.1	12.53	
25.07.1	12.9	12.3	13.2	12.80	
25.07.2	12.1	12.8	13.4	12.77	
25.08.1	12.9	13.3	12.2	12.80	
25.08.2	11.3	10.3	10.3	10.63	
25.09.1	12.5	13.2	13.2	12.97	
25.09.2	12.8	13.3	12.7	12.93	
25.10.1	13.0	13.1	12.5	12.87	
25.10.2	13.4	13.3	12.6	13.10	
25.11.1	11.1	12.0	10.9	11.33	
25.11.2	12.6	11.4	10.7	11.57	
25.12.1	12.9	12.6	11.6	12.37	
25.12.2	12.4	12.2	12.2	12.27	
25.13.1	10.6	10.4	10.0	10.33	
25.13.2	11.2	11.7	11.0	11.30	
25.14.1	11.8	11.8	11.7	11.77	
25.14.2	12.4	12.0	11.7	12.03	
25.15.1	12.6	12.5	12.0	12.37	
25.15.2	13.3	12.9	12.3	12.83	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข28 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 27 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
27.01.1	10.4	11.5	11.9	11.27	
27.01.2	11.8	12.5	12.7	12.33	
27.02.1	12.9	13.0	13.3	13.07	
27.02.2	12.9	13.3	13.3	13.17	
27.03.1	13.8	13.7	13.8	13.77	
27.03.2	13.9	13.7	13.8	13.80	
27.04.1	11.8	12.6	13.1	12.50	
27.04.2	13.4	13.9	11.5	12.93	
27.05.1	11.6	12.4	12.5	12.17	
27.05.2	13.3	12.1	12.3	12.57	
27.06.1	13.6	13.7	13.9	13.73	
27.06.2	13.6	13.7	13.3	13.53	
27.07.1	13.0	13.5	13.5	13.33	
27.07.2	12.3	13.5	13.6	13.13	
27.08.1	12.6	13.3	13.0	12.97	
27.08.2	13.3	13.4	13.2	13.30	
27.09.1	12.9	12.3	12.7	12.63	
27.09.2	12.3	12.2	12.0	12.17	
27.10.1	13.1	12.9	12.7	12.90	
27.10.2	13.3	13.2	13.5	13.33	
27.11.1	13.5	12.8	13.6	13.30	
27.11.2	13.7	13.5	12.4	13.20	
27.12.1	12.6	13.0	11.9	12.50	
27.12.2	13.6	13.8	13.3	13.57	
27.13.1	13.4	13.3	13.2	13.30	
27.13.2	12.1	13.4	13.2	12.90	
27.14.1	13.7	13.6	13.6	13.63	
27.14.2	12.8	13.2	12.9	12.97	
27.15.1	12.5	13.2	13.0	12.90	
27.15.2	13.6	13.2	12.7	13.17	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข29 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูหนาว ที่อายุการเก็บเกี่ยว 29 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
29.01.1	10.9	11.4	11.6	11.30	
29.01.2	12.5	12.6	12.9	12.67	
29.02.1	12.7	13.7	13.7	13.37	
29.02.2	13.7	13.5	13.3	13.50	
29.03.1	12.8	13.3	13.2	13.10	
29.03.2	12.9	11.9	12.2	12.33	
29.04.1	13.4	12.8	13.3	13.17	
29.04.2	13.3	12.9	12.5	12.90	
29.05.1	13.1	13.5	13.6	13.40	
29.05.2	13.5	13.7	13.7	13.63	
29.06.1	13.5	13.6	13.7	13.60	
29.06.2	13.1	13.6	13.7	13.47	
29.07.1	13.3	13.6	13.8	13.57	
29.07.2	13.6	13.6	13.4	13.53	
29.08.1	13.6	13.7	13.8	13.70	
29.08.2	13.7	13.8	13.3	13.60	
29.09.1	13.6	13.8	14.0	13.80	
29.09.2	13.7	14.0	13.9	13.87	
29.10.1	12.6	12.7	13.3	12.87	
29.10.2	13.2	13.6	13.8	13.53	
29.11.1	13.2	13.2	13.2	13.20	
29.11.2	13.2	13.2	13.0	13.13	
29.12.1	13.2	12.3	12.8	12.77	
29.12.2	12.6	12.4	12.2	12.40	
29.13.1	13.3	13.7	13.2	13.40	
29.13.2	13.6	13.8	13.4	13.60	
29.14.1	13.6	13.7	13.5	13.60	
29.14.2	13.8	14.0	13.6	13.80	
29.15.1	13.5	13.0	13.0	13.17	
29.15.2	13.0	13.0	13.1	13.03	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข30 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 19 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
19.01.1	12.8	12.9	12.8	12.83	
19.01.2	12.5	12.6	12.6	12.57	
19.02.1	12.7	12.7	12.4	12.60	
19.02.2	12.0	12.0	11.8	11.93	
19.03.1	13.3	13.4	13.1	13.27	
19.03.2	12.3	12.3	12.2	12.27	
19.04.1	13.6	13.3	13.1	13.33	
19.04.2	12.9	13.1	12.9	12.97	
19.05.1	13.1	13.1	13.0	13.07	
19.05.2	13.0	13.1	13.0	13.03	
19.06.1	12.3	13.0	12.9	12.73	
19.06.2	12.0	11.9	12.1	12.00	
19.07.1	13.3	13.3	13.0	13.20	
19.07.2	9.7	10.8	11.0	10.50	
19.08.1	13.3	13.2	13.0	13.17	
19.08.2	10.6	10.7	10.4	10.57	
19.09.1	12.8	13.3	12.9	13.00	
19.09.2	11.2	11.3	11.4	11.30	
19.10.1	12.9	13.2	12.8	12.97	
19.10.2	12.8	13.3	13.2	13.10	
19.11.1	12.4	11.9	12.6	12.30	
19.11.2	12.6	12.7	12.7	12.67	
19.12.1	12.4	12.5	13.0	12.63	
19.12.2	11.7	12.2	12.0	11.97	
19.13.1	13.6	13.9	13.4	13.63	
19.13.2	13.3	13.3	13.5	13.37	
19.14.1	12.3	12.8	13.1	12.73	
19.14.2	10.8	13.0	13.1	12.30	
19.15.1	13.3	13.1	12.9	13.10	
19.15.2	13.0	13.5	13.7	13.40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข31 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 21 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
21.01.1	13.4	13.2	13.5	13.37	
21.01.2	13.3	13.5	13.3	13.37	
21.02.1	12.6	12.7	12.7	12.67	
21.02.2	13.0	12.9	12.7	12.87	
21.03.1	13.5	13.6	13.6	13.57	
21.03.2	13.6	14.0	13.8	13.80	
21.04.1	13.3	13.6	13.5	13.47	
21.04.2	13.2	13.6	13.4	13.40	
21.05.1	10.3	10.5	10.5	10.43	
21.05.2	10.6	10.7	10.5	10.60	
21.06.1	12.2	12.5	12.5	12.40	
21.06.2	10.8	11.0	11.0	10.93	
21.07.1	10.2	12.8	12.1	11.70	
21.07.2	12.1	12.9	12.4	12.47	
21.08.1	10.6	12.4	12.7	11.90	
21.08.2	11.3	11.4	11.3	11.33	
21.09.1	13.0	13.0	13.2	13.07	
21.09.2	13.1	13.2	13.2	13.17	
21.10.1	12.1	12.1	12.2	12.13	
21.10.2	11.1	11.4	11.4	11.30	
21.11.1	11.9	12.3	12.4	12.20	
21.11.2	12.3	12.5	12.5	12.43	
21.12.1	13.1	13.3	13.0	13.13	
21.12.2	10.0	10.6	10.3	10.30	
21.13.1	12.6	12.8	12.8	12.73	
21.13.2	12.3	12.3	12.2	12.27	
21.14.1	12.8	12.9	12.9	12.87	
21.14.2	10.4	10.3	10.4	10.37	
21.15.1	12.2	12.5	12.8	12.50	
21.15.2	12.4	12.0	12.0	12.13	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข32 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุ์กินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 23 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
23.01.1	13.7	13.9	13.7	13.77	
23.01.2	13.7	13.7	13.8	13.73	
23.02.1	10.5	10.7	10.3	10.50	
23.02.2	11.1	10.9	10.8	10.93	
23.03.1	11.8	11.8	11.8	11.80	
23.03.2	10.5	10.4	9.9	10.27	
23.04.1	11.2	11.2	11.1	11.17	
23.04.2	11.2	11.3	11.3	11.27	
23.05.1	10.0	10.9	11.1	10.67	
23.05.2	11.0	11.1	11.0	11.03	
23.06.1	12.6	12.4	12.4	12.47	
23.06.2	11.7	11.8	11.6	11.70	
23.07.1	13.0	13.2	13.3	13.17	
23.07.2	11.2	11.3	11.4	11.30	
23.08.1	12.0	11.5	12.0	11.83	
23.08.2	11.6	11.7	11.3	11.53	
23.09.1	12.3	12.6	12.7	12.53	
23.09.2	12.4	12.6	12.6	12.53	
23.10.1	11.2	10.9	10.0	10.70	
23.10.2	11.8	10.9	10.6	11.10	
23.11.1	12.0	12.4	12.4	12.27	
23.11.2	12.2	12.6	12.5	12.43	
23.12.1	11.0	11.1	11.2	11.10	
23.12.2	11.0	10.9	10.8	10.90	
23.13.1	12.7	12.9	12.1	12.57	
23.13.2	10.0	10.6	9.8	10.13	
23.14.1	10.9	11.2	10.6	10.90	
23.14.2	8.8	10.3	10.8	9.97	
23.15.1	12.7	12.7	12.6	12.67	
23.15.2	11.1	11.2	11.5	11.27	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข33 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 25 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
25.01.1	9.1	9.8	9.9	9.60	
25.01.2	9.7	9.8	9.8	9.77	
25.02.1	11.4	11.4	11.1	11.30	
25.02.2	10.3	10.6	10.5	10.47	
25.03.1	10.8	11.0	10.6	10.80	
25.03.2	11.9	11.8	11.7	11.80	
25.04.1	11.9	12.2	12.0	12.03	
25.04.2	12.1	12.2	12.0	12.10	
25.05.1	12.2	12.0	12.4	12.20	
25.05.2	10.6	10.7	10.5	10.60	
25.06.1	10.0	10.3	10.1	10.13	
25.06.2	10.4	10.5	10.9	10.60	
25.07.1	11.3	11.3	10.7	11.10	
25.07.2	10.8	10.8	11.5	11.03	
25.08.1	10.1	10.7	10.6	10.47	
25.08.2	10.9	10.7	10.1	10.57	
25.09.1	10.8	10.3	10.2	10.43	
25.09.2	10.5	11.1	11.4	11.00	
25.10.1	10.6	10.9	10.8	10.77	
25.10.2	10.9	11.1	11.1	11.03	
25.11.1	11.4	11.4	11.2	11.33	
25.11.2	11.5	11.5	11.5	11.50	
25.12.1	11.6	12.3	12.5	12.13	
25.12.2	10.5	10.8	10.3	10.53	
25.13.1	11.1	11.1	11.0	11.07	
25.13.2	10.7	10.8	10.5	10.67	
25.14.1	10.6	12.4	12.9	11.97	
25.14.2	13.0	12.6	11.9	12.50	
25.15.1	10.7	9.8	10.0	10.17	
25.15.2	10.5	10.7	10.6	10.60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข34 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของแฉงโมพันธุกินรีที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูร้อน ที่อายุการเก็บเกี่ยว 29 วันหลังดอกบาน ด้วยเครื่อง Refractometer

ชื่อตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Refractometer				หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
29.01.1	11.0	10.6	10.1	10.57	
29.01.2	12.0	12.2	12.1	12.10	
29.02.1	9.6	11.3	11.7	10.87	
29.02.2	9.5	9.0	10.2	9.57	
29.03.1	10.4	10.5	10.3	10.40	
29.03.2	10.8	11.0	11.0	10.93	
29.04.1	9.6	10.1	9.9	9.87	
29.04.2	10.5	10.0	9.8	10.10	
29.05.1	10.3	10.3	10.5	10.37	
29.05.2	10.1	10.2	10.1	10.13	
29.06.1	11.4	11.4	11.1	11.30	
29.06.2	11.9	11.8	11.9	11.87	
29.07.1	11.4	11.6	11.4	11.47	
29.07.2	10.0	10.2	9.7	9.97	
29.08.1	12.2	12.1	12.1	12.13	
29.08.2	11.2	11.0	10.7	10.97	
29.09.1	10.7	10.6	10.4	10.57	
29.09.2	11.4	11.8	12.1	11.77	
29.10.1	12.0	12.3	12.2	12.17	
29.10.2	10.3	10.5	10.4	10.40	
29.11.1	12.1	12.3	12.4	12.27	
29.11.2	10.7	10.6	10.6	10.63	
29.12.1	11.2	11.0	11.3	11.17	
29.12.2	11.2	11.4	11.5	11.37	
29.13.1	11.0	11.1	10.9	11.00	
29.13.2	10.0	10.3	10.2	10.17	
29.14.1	10.7	11.0	10.8	10.83	
29.14.2	10.7	10.8	10.9	10.80	
29.15.1	11.2	11.2	11.1	11.17	
29.15.2	10.9	11.1	11.1	11.03	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

Siwadon RATANAOPA and Panmanas SIRISOMBOON. 2013, “CHANGE OF LYCOPENE AND SOLUBLE SOLIDS CONTENT OF WATERMELON (KINNAREE VARIETY) AT DIFFERENT MATURITY” in The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference (TSAE2013). Huahin Grand Hotel & Plaza, Prachuapkhirikhan, Thailand; April 1-4, 2013



CHANGE OF LYCOPENE AND SOLUBLE SOLIDS CONTENT OF WATERMELON (KINNAREE VARIETY) AT DIFFERENT MATURITY

*Siwaton RATANAOPA¹, Panmanas SIRISOMBOON¹

¹Curriculum of Agricultural Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Corresponding author: Siwaton RATANAOPA. E-mail: s5612304@kmitl.ac.th

Keywords: Lycopene, Soluble solids content, Watermelon

ABSTRACT

The change of lycopene and soluble solids content in watermelon (Kinnaree variety) at different maturity included commercial harvesting date was studied. The 90 fruits (15 fruits per one harvesting date) were harvested at 6 dates which were 19, 21, 23, 25 (commercial harvesting date), 27 and 29 days after flower blooming. The flesh in the middle part of 6.5×5×2 cm of half cut fruit was cut for measuring soluble solids content (%Brix) by refractometer and lycopene (ppm) by hexane extract using spectrophotometer. The soluble solids content was increased from 11.3 %Brix in the first harvesting date to 13.1 %Brix in the fifth harvesting date and decreased in the last harvesting date. The lycopene increased from 0.383 to 0.936 ppm. This data suggested that the farmers should not harvest watermelon after 27 days after flower blooming for the limit of its sweetness but if the lycopene content is a requirement the fruit should be harvested at 29 days after flower blooming. The information from this study will be useful to customers, farmers and the watermelon processing factory.

INTRODUCTION

Currently, the watermelon is a fruit that can easily seek for eating, and it can be eaten throughout the year in all seasons. Due to the watermelon is an easy and maintain growing plant and the harvesting period are also short about 1-2 months which depends on the cultivar of watermelon [1]. Mostly watermelon cultivars which are preferred by Thai people is Kinnaree watermelon. The reasons that make the consumers be interested in this cultivar are that it is not too expensive, sweet and juicy taste. Furthermore, all of parts of watermelons have many medicinal properties [2].

The well-known and commonly used nutritive sweetener is sugar, which has many types such as sucrose, glucose, fructose, and maltose, etc. [3] and the sugar that are found mostly in fruits and vegetables is fructose. Fructose is a monosaccharide which is as the component of sucrose. Each of sucrose molecule is composed of fructose and glucose. Fructose is suitable for diabetics, children and people of all ages. It results in sugar in blood level is not as much as by flour or sugar in the same amount of energy. But if, they have been eaten in large amounts like a 20 percent of energy, it could cause the disadvantage on cholesterol and LDL levels in the blood [4]. American Diabetes Association recommended that fructose can be used in patients with diabetes; however, in a proper amount and the effect on cholesterol levels blood in should be studied.

Lycopene is an antioxidant which can prevent a variety of chronic diseases; in particular, various cancers because

lycopene have special properties against free radical in the body. These free radicals are a major cause of the damage on DNA and finally, they lead to cancer. Lycopene is a substance as "Antioxidant" in the body to resist the oxidation of Low Density Lipoprotein (LDL) fat; therefore, it can prevent for atherosclerosis and can reduce the risk of various diseases, including all cancers such as prostate cancer, digestive tract cancer, bladder cancer, skin cancer, breast cancer, cervical cancer and cardiovascular disease [5]. This experiment was to study the effect of harvesting period on the content of soluble solids (% Brix) and lycopene (ppm), which could be the indicator for appropriate harvesting time of watermelon.

MATERIALS AND METHODS

The watermelon used in this study was Kinnaree watermelon which was taken from the farm in Phang Khon district, Sakon Nakhon province, Thailand. This farm produces the watermelon for the leading department store in Bangkok. This experiment was conducting in September to October 2012. The blooming flowers of watermelon were tagged and the harvesting dates were specified. The watermelons were harvested in 19, 21, 23, 25, 27 and 29 days, after flower blooming, respectively. There were 15 fruit for each harvesting date. The watermelon were transported to Laboratory in King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand and placed at room temperature (25 ± 1°C), for 3 hrs, before experiment. The pulp (6.5 x 5 x 2 cm) in the center of half cut watermelon was cut off and the 3 cubes (2 x 2 x 2 cm) were cut off from the piece. Therefore, one watermelon provided 6 pieces of samples. The soluble solids content, which is an indicator of sweetness was measured with a Brix refractometer (ATAGO, PAL-1, Japan). The refractometer was calibrated at 0%Brix with distilled water.

The rest of the piece was used for analysis of lycopene by spectrophotometer method. The 2g ground watermelon was added with 25 ml ethanol, 25 ml acetone and 0.05% (w/v) Butylated Hydroxytoluene (BHT) and 50 ml hexane, respectively. Then the mixture was stirred by a magnetic stirrer for 15 minutes at 5 °C. After that the 15 ml 5 °C distilled water was added and the mixture was stirred for 5 minutes and left for 15 minutes to separate the layers. It would appear the layer of hexane with lycopene, on the top and it was pipetted for measuring [6] by spectrophotometer (Miltonroy Spectronic 601, Germany) at a wavelength of 503 nm [7].

The standard pure lycopene was from Sigma Chemicals. For construction of lycopene calibration curves, the 2 ppm lycopene stock solution in hexane were diluted with hexane so that a concentration range from 0.5-2 ppm was obtained

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(working standard solution). The solution was measured for lycopene content by spectrophotometer Miltonroy Spectronic 601, Germany) at a wavelength of 503 nm.

Means and standard deviation on of soluble solids and lycopene content of watermelon at each harvesting date were calculated. Duncan Multiple Range Test (DMRT) was applied to establish significant differences between means with a confidence level of 95%.

RESULTS AND DISCUSSION

The total soluble solids content of Kinnaree watermelon harvested in various periods is shown in Figure 1. The increasing age affected the soluble solids content in watermelon which increased during 19 to 27 days after flower blooming and decreased after that. This indicated that 29 days after flower blooming was too long for harvesting date.

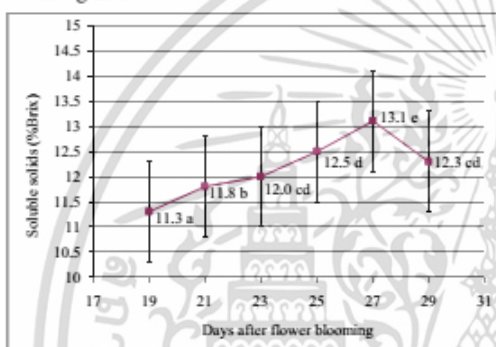


Figure 1. Total soluble solids content of Kinnaree watermelon harvested in various periods

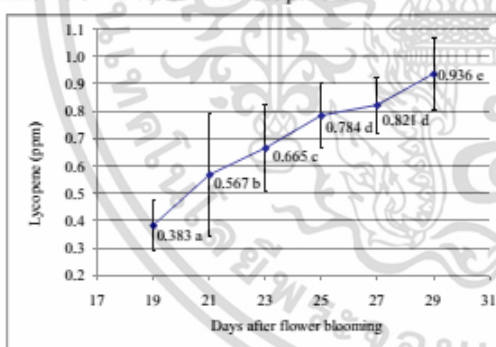


Figure 2. Lycopene content of Kinnaree watermelon harvested in various periods

The lycopene content of watermelon is shown in Figure 2. The increasing age also affected the amount of lycopene in fruit. It can be seen that the lycopene content increased along the harvesting period.

CONCLUSION

The effect of harvesting time of Kinnaree watermelon cultivated in the rainy season was studied. The soluble solids content was increased from 11.3 %Brix in the first harvesting date to 13.1 %Brix in the fifth harvesting date and decreased in the last harvesting date. The lycopene increased from 0.383 to 0.936 ppm. This data suggested that the farmers should not harvest watermelon after 27 days after flower blooming for the limit of its sweetness but if the lycopene content is a requirement the fruit should be harvested at 29 days after flower blooming. The information from this study will be useful to customers, farmers and the watermelon processing factory.

ACKNOWLEDGEMENT

The researcher would like to express a heartfelt thank and great appreciation to Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang as well as Toy Fruit Shop (Talad Tai) for all contributive support throughout processes of the research.

6. REFERENCES

- Warapom Wicharat, *Eatable Climber*, Suriviyasan Publisher, Bangkok, (2548), 120.
- Dechodom Patarasai. *36 Thai Friut Herb*, Pro-SME, Bangkok, (2543).
- Health today. [Online]. Available: www.yourhealthyguide.com/article/an-sweetener.htm
- American Diabetes Association. *Clinical Practice Recommendations Diabetes Care* vol 21 supplement 1 (1998)
- Department of Pharmacognosy and pharmaceutical Botany Faculty of Pharmaceutical Sciences Prince of Songkla University. *Trans-lycopene*. [Online]. Available: <http://peog.pharmacy.psu.ac.th/thi/article8-51.asp> (2552).
- Yaowapa Siriwattanakul. 2545. Study on lycopene losses during processing of tomato sauce and dehydrated tomato. Thesis Master of Science degree in Food Science King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang page 1.
- A.R.Davis, W.W. Fish, and P. Perkins-Veazie. A Rapid Hexane-free Method for Analyzing Lycopene Content in Watermelon. *Journal of Food Science*. 68:328-32. (2009).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย ศิวตล รัตนโอภา
 วัน เดือน ปีเกิด 21 ธันวาคม 2532 ที่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ปัจจุบัน 121/75 ซ.พหลโยธิน 54/1 แขวงคลองถนน เขตสายไหม
 จ. กรุงเทพมหานคร 10220
 ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี (พ.ศ.2551 – พ.ศ.2554) วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 (วิศวกรรมอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 ประวัติการทำงาน -
 E-mail s5612304@kmitl.ac.th



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้