

การทำนายลักษณะคุณภาพของเงาะแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการ
วิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความ
ละเอียดสูง

Nondestructive prediction of rambutan's quality traits
using near infrared hyperspectral imaging



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การทำนายลักษณะคุณภาพของเงาะแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์
ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
Nondestructive prediction of rambutan's quality traits using
near infrared hyperspectral imaging

จัดทำโดย

นางสาวจิตติวรรณ รอดบุญซึ้ง รหัสนักศึกษา 58080165

นายวัชรกร โตจำสี รหัสนักศึกษา 58080201

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

14 / ๗.๑ / 6๒

(รศ.ดร.สนธิสุข ชีระชัยขุติ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การทำนายลักษณะคุณภาพของเงาะแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ		
	การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง		
ชื่อนักศึกษา	ฐิติวรรณ รอดบุญซึ้ง	รหัสนักศึกษา	58080165
	วัชรกร ไตจำสี	รหัสนักศึกษา	58080201
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร		
พ.ศ.	2562		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการทำนายคุณภาพของเงาะแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิค NIR hyperspectral imaging ด้วยเครื่อง NIR hyperspectral image ในโหมด reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm โดยมีการตรวจสอบคุณภาพภายในของเงาะคือ การตรวจสอบปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ , การตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และการตรวจสอบปริมาณความชื้น โดยมีการสร้างสมการสำหรับการทำนายคุณภาพด้วย partial least square regression (PLSR) และใช้โปรแกรม Unscambler ในการวิเคราะห์ข้อมูลดิบ สำหรับผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า คุณภาพภายในแต่ละชนิดจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน คุณภาพภายในชนิดเดียวกันแต่มีปริมาณของคุณภาพภายในที่แตกต่างกันก็จะมีค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน และการใช้เทคนิค NIR hyperspectral imaging มีความสามารถในการทำนายคุณภาพจากปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ได้ดีและมีความแม่นยำ ($R = 0.68$, $RMSEP = 0.02\%$ และ $R = 0.72$, $RMSEP = 0.81^\circ\text{Brix}$) ส่วนการทำนายปริมาณความชื้นมีความแม่นยำในการทำนายต่ำ เนื่องจากได้ค่า $R = 0.09$ และ $RMSEP = 1.12\%$

คำสำคัญ: เงาะ, แบบไม่ทำลาย, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, ปริมาณความชื้น, ปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title Nondestructive prediction of rambutan's quality traits using near infrared hyperspectral imaging

Student name Titiwan Rodbunchang Student ID 58080165

Wacharakorn Tojumsi Student ID 58080201

Program Bachelor of Science in Food process engineering

Year 2019

Advisor Assoc.Prof.Dr. Sontisuk Terachaichayut

ABSTRACT

This research has studied the qualities of the rambutan in a nondestructive way using the NIR hyperspectral imaging technique with the NIR hyperspectral image in reflectance mode during the wavelength of 935 – 1720 nm. The internal qualities such as the titration acid content, total soluble solids content and moisture content inspection of rambutan were inspected. And then used the least squares regression method (PLSR) to create the equation which is a quantitative analysis with the Unscambler program by dividing the data. For all experimental results, the internal qualities of rambutan had different absorption values. Quality within the same type, but it had the different absorption values. The use of the NIR hyperspectral imaging technique had the ability to predict the qualities of the titration acid, and the total soluble solids ($R = 0.68$, $RMSEP = 0.02\%$ and $R = 0.72$, $RMSEP = 0.81^\circ\text{Brix}$). The prediction of moisture content was poor ($R = 0.09$ and $RMSEP = 1.12\%$)

Keywords: rambutan, nondestructive, total soluble solids content, moisture content, titration acid content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานปัญหาพิเศษเรื่องการทำนายลักษณะคุณภาพของเงาะแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการค้นคว้าเพิ่มเติมในการทำงานวิจัยนี้จากการสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สนธิสุข อีระชัยชยติ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำและการตรวจทานในการดำเนินการวิจัย รวมถึงรุ่นน้องที่คอยช่วยในการทำการทดลองจนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นด้วยดี

ในโอกาสนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยในการทำให้งานปัญหาพิเศษนี้ผ่านไปได้ด้วยดี หากมีข้อผิดพลาดประการใดที่เกิดขึ้นในงานปัญหาพิเศษเล่มนี้ ข้าพเจ้าขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวฐิติวรรณ รอดบุญซัง

นายวัชรกร โตจำสี

19 เมษายน 2562



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เงาะ	3
2.2 NIR hyperspectral imaging	4
2.3 Near Infrared Spectroscopy (NIRs)	5
2.4 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์	5
2.5 วิธีการสร้างสมการ (calibration equation)	7
2.6 วิธีการทดสอบสมการ (validation test)	8
2.7 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ	9
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	12
3.1 วัดดูดซับ	12
3.2 สารเคมี	12
3.3 อุปกรณ์	12
3.4 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ	12
3.5 วิธีการทดลอง	12
บทที่ 4 ผลการทดลอง	16
4.1 ข้อมูลจากการนำเงาะมาผ่านการสแกนด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging ในโหมด reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm	16
4.2 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเงาะ	16
4.3 การจัดเรียงข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์	30
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของเงาะ	31
4.5 ผลของการใช้เทคนิค NIRs ในการสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพของเงาะ	34
4.6 การเปรียบเทียบค่าทางกายภาพและเคมีในเงาะระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral imaging	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	49
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก	54
ภาคผนวก ข	56
ภาคผนวก ค	57
ประวัติผู้เขียน	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	แสดงปริมาณกรดที่ไตเตรทได้	17
4.2	แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	21
4.3	แสดงปริมาณความชื้น	26
4.4	แสดงค่าสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะ	35
4.5	แสดงความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำลายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ	37
4.6	แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะ	38
4.7	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะ	39
4.8	แสดงค่าสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะ	39
4.9	แสดงความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำลายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ	40
4.10	แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในเงาะ	41
4.11	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะ	42
4.12	แสดงค่าสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณความชื้นในเงาะ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	แสดงความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำลายปริมาณความชื้นในเงาะ ด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ	43
4.14	แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณความชื้นในเงาะ	44
4.15	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้นใน เงาะ	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มของเงาะที่มีปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้สูง และกลุ่มของเงาะที่มีปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ต่ำ	32
4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง และกลุ่มเงาะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำ	32
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณความชื้นสูงและกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณความชื้นต่ำ	33
4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเงาะจากการสแกนด้วยเครื่อง NIR hyperspectral image ในโหมด reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm	34
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนาย PLS regression models ของปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้	46
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนาย PLS regression models ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	47
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนาย PLS regression models ของปริมาณความชื้น	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เงาะเป็นไม้ผลเขตร้อนมีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนชื้น เป็นพืชพื้นเมืองในแถบหมู่เกาะมาลาญ สามารถปลูกได้ในฟิลิปปินส์และอเมริกากลาง จากระดับน้ำทะเลจนถึง 2,000 ฟุต เหนือระดับน้ำทะเล (Chandle, 1964) ในประเทศไทยปลูกในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้ามีเพียง 3 พันธุ์ คือ โรงเรียน สีชมพูและสีทอง ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2552-2556) ในปี 2556 การผลิตเงาะมีแนวโน้มลดลงจากพื้นที่เพาะปลูก 362,061 ไร่ ผลผลิต 370,600 ตัน ผลผลิตต่อไร่ 1,023 กิโลกรัม ในปี 2555 เหลือพื้นที่เพาะปลูก 314,647 ไร่ ผลผลิต 315,843 ตัน ผลผลิตต่อไร่ 1,055 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ผลผลิตส่วนใหญ่ บริโภคภายในประเทศ และประเทศเพื่อนบ้านตามแนวชายแดน คิดเป็นร้อยละ 98.50 หลายปีที่ผ่านมามาสถานการณ์การผลิตผลไม้ 4 ชนิดในช่วงครึ่งปีหลัง (กรกฎาคม-ธันวาคม 2561) ส่วนใหญ่เป็นผลผลิตที่ออกสู่ตลาดจากภาคใต้ พบว่าเงาะจะมีผลผลิตออกสู่ตลาดอีกร้อยละ 42 รวมประมาณ 115,651 ตัน และจะออกสู่ตลาดมากในช่วงสิงหาคมถึงกันยายน 2561 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) เงาะประสบกับปัญหาาราคาผลผลิตตกต่ำต่อเนื่องเกือบทุกปีเนื่องจากผลผลิตเงาะมากกว่าร้อยละ 50 ออกมาพร้อมๆกันในช่วงกลางฤดูการผลิต ส่งผลให้ราคาผลผลิตตกต่ำในเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม เงาะที่มีการเก็บเกี่ยวพร้อมกันในปริมาณมากถูกจัดเก็บและขนส่งเพื่อส่งไปสำหรับการขายจะมีคุณภาพที่เปลี่ยนไปซึ่งลักษณะเนื้อของเงาะมีผลต่อการจัดจำแนกคุณภาพและราคาของผลผลิต การส่งออกผลไม้สด แช่เย็นแช่แข็ง และแห้ง เดือนมกราคม - กรกฎาคม 2561 มีปริมาณ 1,119,484 ตันคิดเป็นมูลค่า 1,536.19 ล้านบาท เจริญสุทธานุภาพ เพิ่มขึ้นร้อยละ 18.32 โดยแบ่งเป็น - ผลไม้สด แช่เย็น ปริมาณ 945,338 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,226.51 ล้านบาท เจริญสุทธานุภาพ เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.67 - ผลไม้แช่แข็ง ปริมาณ 14,019 ตัน คิด เป็นมูลค่า 93.29 ล้านบาท เจริญสุทธานุภาพ เพิ่มขึ้น ร้อยละ 113.77 (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2561) โรงงานผู้ผลิตต้องการวัตถุดิบเงาะที่มีคุณภาพที่ดีเพื่อจะใช้แปรรูปให้ได้คุณภาพที่ดีตรงตามความต้องการของลูกค้า และการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบจะต้องสามารถตรวจสอบวัตถุดิบได้ทั้งหมดโดยไม่ใช้วิธีการสุ่มตรวจ เพราะจะทำให้มีการสูญเสียวัตถุดิบโดยเปล่าประโยชน์และการตรวจสอบคุณภาพเนื้อของเงาะจำเป็นต้องทำลายวัตถุดิบ เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกได้ ซึ่งการใช้เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพสับปะรดแบบไม่ทำลาย โดยมีรวดเร็ว มีความแม่นยำและ เชื่อถือได้ จึงมีความต้องการอย่างยิ่ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการหาเทคนิคเพื่อให้สามารถทราบคุณภาพภายในของเงาะโดยไม่ทำลาย ซึ่งจะ ช่วยให้โรงงานผู้ผลิตสามารถคัดวัตถุดิบที่มีคุณภาพตามความต้องการ นอกจากนี้จะทำให้เกิดความยุติธรรมใน การซื้อวัตถุดิบจากเกษตรกร และเป็นสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้า เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืน พลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง (near Infrared hyperspectral imaging) เป็นเทคนิคหนึ่ง ที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของเงาะ โดยใช้หลักการให้แสงส่องผ่านเข้าไปยังตัวอย่าง แล้ว วิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงในช่วง near infrared ที่ทำให้โมเลกุลของตัวอย่างเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไปซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน และแสดงผลออกมาเป็นภาพการดูดกลืนพลังงานในจุดต่างๆของตัวอย่าง ทำให้สามารถตรวจสอบคุณภาพ ภายในของผลสับปะรดได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง อีกทั้งเทคนิคนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะไม่ต้อง ใช้สารเคมีในการตรวจสอบอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อให้ได้สมการเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายใน ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ทั้งหมด ปริมาณกรด และปริมาณความชื้นของเงาะพันธุ์โรงเรียนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืน พลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง

1.2.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดกับ คุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณกรด และปริมาณความชื้น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถวิเคราะห์คุณภาพของเงาะได้โดยไม่ทำลายวัตถุดิบ

1.3.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการคัดเลือกคุณภาพของผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 เงาะ

เงาะมีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนชื้น เป็น พืชพื้นเมืองแถบหมู่เกาะมาลาเย สามารถปลูกได้ในฟิลิปปินส์และอเมริกากลาง จากระดับน้ำทะเลจนถึง 2,000 ฟุต เหนือระดับน้ำทะเล (Chandle, 1950) สำหรับประเทศไทยมีพันธุ์การค้า 3 พันธุ์ คือ โรงเรียน สีชมพู และสีทอง เงาะที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม และ ภาคใต้ในเดือนสิงหาคม-ตุลาคม เงาะพันธุ์โรงเรียนหรือเงาะนาสาร มีถิ่นกำเนิดที่ อ.นาสาร จ.สุราษฎร์ธานี เมื่อปีพ.ศ. 2470 ผลอ่อนผิวเปลือกสีเหลืองปนชมพูผลแก่จัดผิวเปลือกสีแดงเข้ม ขนสีเขียวอ่อน ผลแก่จัด ขนสีแดง ปลายสีเขียว เนื้อสีขาวขุ่น มีลักษณะย่นเล็กน้อย กรอบแห้งไม่และ ล่อนจากเมล็ดได้ง่าย รสชาติดี แต่ผลมักแตกง่าย หากขาดน้ำขณะผลใกล้เก็บเกี่ยว และอ่อนแอต่อโรคจุดสนิม ข้อดีคือติดผลได้ ง่าย ผลดก และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ก่อนฤดูการ และทนทานต่ออาการผลแตก ส่วนพันธุ์สีชมพูมีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ อ.ชลอง จ.จันทบุรี เจริญเติบโตติดผลดก ผลอ่อนผิวเปลือกสีเหลือง ผลแก่จัดผิวเปลือกเปลี่ยนเป็นสี ชมพูปนเหลือง ขนสีชมพูอ่อน ผลแก่จัดขนสีชมพูแก่ ปลายขนสีต้องอ่อน เนื้อสีขาวขุ่นหนา 7-8 มิลลิเมตร มีลักษณะย่น ล่อน กรอบ ไม่ฉ่ำน้ำ รสหวาน แต่เนื้อไม่ล่อนจากเมล็ด ไม่ทนทานต่อการขนส่ง และอ่อนแอ ต่อโรคราแป้ง ส่วนเงาะสีทองเป็นเงาะพันธุ์เบาให้ผลผลิตเร็ว ผลขนาดใหญ่ ผลอ่อนผิวเปลือกสีเหลืองปน ชมพู ผลแก่จัดผิวเปลือกสีแดงเข้ม ขนสีเขียวอ่อน ผลแก่จัดขนสีแดง ปลายสีเขียว ทนทานต่ออาการผล แตก เนื้อมีสีขาวและล่อนจากเมล็ด รสหวานอมเปรี้ยว ส่วนพันธุ์อื่น อาทิ พันธุ์น้ำตาลกรวด เจ๊ะม่ง-บางยี่ ชั้น ซาลังอ สีนาท สีชาติ ปีนัง และดาวี บางพันธุ์ก็เริ่มสูญหายไปเนื่องจากการใช้ประโยชน์น้อยลง

ในปี 2522-2523 ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรีได้ผสมข้ามพันธุ์เงาะทั้ง 5 พันธุ์ โดยแผนการผสม แบบพบกันหมดสลับพ่อ-แม่ (reciprocal cross) ได้ลูกผสมทั้งหมด 11 คู่ผสม นำลูกผสมทั้งหมดทาบกิ่ง บนต้นเงาะพันธุ์สีชมพูที่ให้ผลผลิตแล้ว หลังการทาบกิ่ง 3-4 ปี เงาะลูกผสมออกดอกสามารถตรวจสอบ คุณภาพของผลผลิต และได้จัดให้มีคณะกรรมการประเมินคุณภาพเงาะลูกผสมทั้งหมด 31 ต้น ในปี พ.ศ.2529 คณะกรรมการได้ร่วมกันพิจารณาให้คะแนน และลงมติคัดเลือกต้นเงาะลูกผสมที่มีคุณภาพดี เงาะ พันธุ์ลูกผสมหลายคู่ผสมสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงต้นฤดูการผลิต ให้ผลผลิตสูง ติดผลได้ง่าย มี ลักษณะภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คล้ายพันธุ์โรงเรียน โดยกรมวิชาการเกษตรได้ขึ้นทะเบียนรับรองพันธุ์เงาะลูกผสมพันธุ์ ลูกผสมพลีว 3 เมื่อ พ.ศ.2540 เป็นเงาะลูกผสมระหว่าง (สีชมพูxสีทอง) สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ทันฤดู การผลิต ผลไม้แต่กรรสชาติหวานอมเปรี้ยว มีช่อดอกค่อนข้างยาว เมื่อผลสุกมีสีแดงเหมาะสำหรับการ บริโภคผลสดและจำหน่าย เป็นเงาะช่อ นอกจากนี้ยังมีเงาะพันธุ์ใหม่ๆ ที่เกษตรกรปรับปรุงพันธุ์ขึ้นมาเอง ได้แก่ พันธุ์ตราดสีทองหรือทรง เมืองตราด เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์บางยี่ขันกับพันธุ์โรงเรียน ได้รับการ รับรองพันธุ์เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2542 และพันธุ์แดงจันทบูร ซึ่งมีคุณภาพการบริโภคใกล้เคียงกับพันธุ์โรงเรียน (Chusri et al., 2558) โดยรวมพันธุ์พื้นเมืองบางพันธุ์และพันธุ์พริ้วส่วนใหญ่ยังมีคุณภาพการบริโภคที่ดีกว่าพันธุ์โรงเรียน และมีการ เจริญเติบโตและการติดผลที่ค่อนข้างต่ำกว่าเงาะโรงเรียน

เงาะเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศไทย เนื่องจากความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของตลาดนั่นเอง ซึ่งการจำหน่ายผลเงาะสดจะมีทั้งจำหน่ายภายในประเทศและ ต่างประเทศ เงาะเป็นผลไม้ประเภท climacteric เมื่อเก็บมาจากต้นแล้วจะมีกระบวนการพัฒนาต่อจนเกิดการเน่าเสียได้ระหว่างการขนส่ง เงาะจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีขนและเปลือกเป็นสีน้ำตาลภายใน 3-4 วัน ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลเงาะมีการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผลเงาะมีโครงสร้างของผิวเปลือกด้านนอกที่คล้ายกับ trichome ที่เรียกว่า spintern ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญมาจากชั้นของ epidermis มาเป็นขน เงาะ ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของขนเงาะจะมีปากใบ (stomata) มากกว่าส่วนผิวถึง 5 เท่า จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำออกจากผล และด้วยโครงสร้างที่อ่อนนุ่มบอบบางของขนเงาะจึงง่ายต่อการสูญเสียทางกายภาพในระหว่างการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง

2.2 NIR hyperspectral imaging

เป็นการพัฒนาเทคนิคด้าน NIRs แบบใหม่โดยการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดของตัวอย่าง เป็นการวิเคราะห์สเปกตรากันจำนวนมากไปพร้อมๆกับตัวแปรอิสระจำนวนมากแทนการใช้สเปกตรัมเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่าง โดยพิจารณาจากแต่ละจุดพิกเซลของภาพของตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลภาพของตัวอย่าง ค่าทางฟิสิกส์ ค่าทางเคมี มาพิจารณากับสเปกตรากการดูดกลืนพลังงานแสงในย่านใกล้อินฟราเรด (Teerachaichayut and Ho, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Near Infrared Spectroscopy (NIRs)

Near Infrared เกิดจากที่สารดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง near infrared คือ 785 – 2650 nm ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่มีความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจาก ground vibration level ไปยัง excited vibratiom level ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (absorbance) เป็นไปตามกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่างพลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น สารอินทรีย์ที่เกิดในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล

หลักการโดยพื้นฐานของเครื่องสเปกโตรสโคปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุจะมีแสงบางส่วนถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนทะลุผ่านออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือเกิดการเรืองแสง และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสงในการดูดกลืนแสงย่านอินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์ (นิพนธ์, 2547)

สเปกตรัม NIR ที่ได้ก็คือ ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นในย่าน near infrared จะมีจุดยอดไม่ชัดเจนเนื่องจากการซ้อนทับกันของจุดยอดหลายๆค่า calibrating statistics หลายวิธีสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เช่น multiple linear regression (MLS), partial least squares regrerssion (PLS) หรือ principal components regression (PCR) เป็นต้น โดยวิธีดังกล่าวจะวิเคราะห์หาความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่มีปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบทางเคมี จำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการวัด NIRs จะต้องมีจำนวนมากพอที่จะเป็นตัวแทนตัวอย่างทั้งหมดได้ และมีการกระจายค่าขององค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการวัดสม่ำเสมอและคลุมค่าที่จะวัดในอนาคตโดยตัวอย่างจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ calibration set กับ validation set จำนวนตัวอย่างของ calibration set มีมากกว่าตัวอย่างของ validation set เสมอ การทำ calibration ในปัจจุบันนี้สามารถใช้เทคนิคทางสถิติช่วย เช่น MLR หรือ PLS ช่วยในการเลือกสมการที่เหมาะสมมากที่สุดโดยสมการที่ได้ต้องพิจารณาค่า standard error of calibration (SEC) และค่า R ประกอบด้วยกันนั้นมาทำ validation โดยใช้สถิติเช่นเดียวกันโดยพิจารณาค่า standard error of prediction (SEP) และค่า Bias ประกอบ นอกจากนั้นดูค่า skewness ด้วยการเลือกสมการที่เหมาะสมเป็นหัวใจสำคัญของการใช้เทคนิค NIRs ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการเลือกสมการที่ได้จะนำมาใช้ประโยชน์โดยทดสอบการทำนายค่าจากตัวอย่างอิสระว่าสามารถทำนายค่าได้อย่างถูกต้องหรือไม่ (Kawano et al., 1995)

2.4 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

ปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัมของตัวอย่างได้แก่ความชื้นและขนาดอนุภาค (particle size) ซึ่งจะ ทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความแตกต่างกันอื่น เนื่องมาจากสภาพกระเจิงแสงและความแตกต่างที่เป็นผลมา จากความเข้มชั้นขององค์ประกอบที่ต้องการวัด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความแตกต่างในผลเชิงบวก (additive scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือผลเชิงคูณ(multiplicative scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความยาวคลื่นสูงขึ้น นอกจากนี้สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงใน ย่านใกล้อินฟราเรดเป็นสเปกตรัมที่มีการเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ (overlapping band) ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงนำไปปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ก่อน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงวิธีที่นิยมใช้ มี 2 วิธีคือ

2.4.1 วิธีอนุพันธ์ (derivative) เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัม เพื่อแก้ปัญหาพีคที่มีฐานกว้าง (broad peak) เนื่องจากการซ้อนทับกันของพีค (overlapping) และอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (base line shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattering light) เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสงเปลี่ยนทิศทางซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่าง ไม่สม่ำเสมอ การอัดตัว และการกระจายตัวของตัวอย่างภายในเซลล์บรรจุที่แตกต่างกัน รวมทั้ง ความชันภายในตัวอย่าง ที่แตกต่างกันด้วย (William และ Norris, 2001)

2.4.1.1 First derivative เป็นการหาความชันของสเปกตรัมซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาที่ สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือการเลื่อนตัวของสเปกตรัมแกน Y เนื่องจาก อิทธิพลของความชันและขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน การทำ first derivative ทำให้การแปล ความหมายยากดังนั้นจึงนิยมใช้ second derivative มากกว่า first derivative

2.4.1.2 second derivative การใช้ second derivative จะเป็นการ เปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสเปกตรัมที่ได้จะมีรูปร่างที่แตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้น การหา การเปลี่ยนแปลงของความชันสามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่ง ด้วยวิธี second derivative ที่ได้จะมีจุดยอดที่เป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนจุดยอดตรงกลาง จะอยู่ตรงด้านข้ามที่มีค่ามากที่สุดและตรงกับจุดยอดเริ่มต้น การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของ สเปกตรัมสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้ จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี second derivative จึงเป็นที่นิยมมากกว่าวิธี first derivative

2.4.2 multiplicative scatter correction (MSC) สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการ ดูดกลืนย่านแสง NIRs แบบ diffuse reflectance และแบบ transmission มักจะเกิดการกระเจิงแสง (scatter light) ดังนั้นได้มีการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC มาปรับแต่งสเปกตรัม เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัม เพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสง ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ใน การลดค่าผิดพลาดใช้ NIRs แบบวัดการสะท้อนกลับของแสง เพื่อหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดพืช โดยแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี MSC พบว่ามีค่าผิดพลาด ของสมการต่ำกว่าสมการของสเปกตรัมดั้งเดิม (original spectrum)

2.4.3 วิธี smoothing เป็นการหาค่าเฉลี่ยคลื่นโดยมีการแทนค่าการดูดกลืนแสง แต่ละความยาวคลื่น ด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วง ความยาวคลื่นตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ต่อจากนั้นเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่น แล้วคำนวณซ้ำจนครบ ตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งสามารถลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยจะได้ สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิม แต่จะเรียบสม่ำเสมอมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีการสร้างสมการ (calibration equation)

สมการ calibration ประกอบไปด้วยด้วยตัวแปร 2 ชนิด คือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปร ตาม (Y) การหาตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามเป็นสิ่งสำคัญของการสร้างสมการ calibration ซึ่งแบ่งได้ 2 วิธีหลัก คือ

2.5.1 wavelength selection เป็นการเลือกความยาวคลื่นเฉพาะซึ่งเป็นตัวแปร อิสระให้มีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามนั้น โดยการพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติ ดังนี้

2.5.1.1 simple linear regression (SLR) เป็นการสร้างสมการที่ประกอบด้วยตัว แปรสองชนิดที่มีความสัมพันธ์กัน คือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) SLR เป็นการเลือก พิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว (single wavelength) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยNIRs เป็นไปไม่ได้ที่จะใช้ความยาวคลื่นใด ความยาวคลื่นหนึ่งในการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างได้ เนื่องจากตัวอย่าง ประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดด้วยกัน ดังนั้นจึงต้องใช้ข้อมูลจากหลายความยาวคลื่น (Multiple wavelengths) เพื่อทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของผลผลิต (ศุมาพร, 2545) สมการ SLR สามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$Y = b_0 + b_1X$$

เมื่อ Y = ค่าองค์ประกอบทางเคมี

X = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นตำแหน่งเดียว

b_0 = ค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับศูนย์

b_1 = ค่าคงที่การถดถอย

2.5.1.2 multiple linear regression (MLR) เป็นวิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่นำตัวแปรอิสระ (ตัวแปร X) มากกว่าหนึ่งตัวมาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรตาม (ตัวแปร Y) การนำเทคนิค MLR มาใช้ในการวิเคราะห์ผลมีข้อดีมากกว่าวิธี SLR หลายประการ เช่นสมการที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้กับตัวอย่างที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตามการสร้างสมการด้วยวิธี MLR มี ข้อเสียคือควรคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลทางเคมีต้องใช้เวลานาน จำนวนของตัวแปรอิสระหรือจำนวนของความยาวคลื่นที่นำมาใช้ในการ สมการจะถูกจำกัด โดยจำนวนของตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบต้องมีตัวอย่างจำนวนมากเพื่อให้ สมการที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและแม่นยำ การคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากความยาวคลื่นทั้งหมดมาสร้างสมการอาจได้ข้อมูลที่ไม่ครอบคลุมมากพอ ทำให้ค่าที่ทำนายได้จาก วิธีนี้มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่แท้จริง (Osborne และคณะ, 1993) สมการ MLR สามารถเขียนได้ ดังนี้คือ

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \dots + b_nX_n$$

เมื่อ X_1, X_2, \dots, X_n = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น n ตำแหน่ง

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่น n ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 full spectrum method การที่จะพิจารณาเลือกความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบที่ศึกษานั้นค่อนข้างทำได้ยาก เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย การใช้ข้อมูล สเปกตรัมทั้งหมดหรือในช่วงความยาวคลื่นที่สนใจจะช่วยให้สมการ calibration ที่ได้มีความถูกต้อง มากขึ้น full spectrum method เป็นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่น ทั้งหมดในสเปกตรัม (full spectrum) มาสร้างสมการโดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) และ สร้างตัวแปรกลุ่มใหม่ขึ้นมา วิธีทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่ 2 วิธี คือ principle component regression (PCR) และ partial least square regression (PLSR) ทั้งสองวิธีนี้ ต้องใช้ในการสร้างตัวแปรใหม่ที่ เรียกว่า factor หรือองค์ประกอบ

2.5.2.1 principle component regression (PCR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลด จำนวนของตัวแปรอิสระ ในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีจำนวนมาก การลดจำนวนของตัวแปร คือแบ่งกลุ่ม ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่า factor หรือองค์ประกอบ factor ที่สร้างขึ้นก็คือผลรวมของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่น้ำหนักแตกต่างกัน factor แรกจะถูกสร้าง ขึ้นมาให้สามารถอธิบายความแปรปรวนที่เหลือซึ่งจะทำให้ factor แต่ละ factor แทบไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วย PCR เมื่อทำการหา Factor เรียบร้อยแล้วนำ factor ที่ได้มาทำ regression กับค่าทางเคมีโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) ก็จะได้ค่า calibration coefficient

2.5.2.2 partial least square regression (PLSR) วิธีจะคล้ายคลึงกับ PCR แต่จะต่างกันตรงที่วิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการ ถดถอยของสมการ calibration ซึ่งใน PLSR ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกันโดยมี การนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาคิดรวมข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีทำให้ factor ที่ได้จากวิธี PLSR สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมี ในเวลาเดียวกันสมการ calibration ที่ได้จากวิธี PLSR จึงประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น (Saranwong, 2003) ได้ศึกษาการพัฒนาสมการที่ใช้ในการทำนายค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) และค่าน้ำหนักเนื้อแห้ง (dry matter) ของมะม่วงด้วยวิธี PLSR กับ MLR ในการ สร้างสมการทำนาย พบว่าวิธี PLSR ให้ค่าผิดพลาดของสมการทำนายของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าวิธี MLR แต่สำหรับสมการทำนายค่าน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธี PLSR กับ MLR ที่สร้างขึ้นให้ค่าไม่แตกต่างกัน

2.6 วิธีการทดสอบสมการ (validation test)

เมื่อได้สมการ Calibration แล้วจะต้องนำสมการที่ได้มาทวนสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของ สมการว่าสามารถใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใดวิธีที่นิยมใช้ในเทคนิค NIRs มี 2 วิธี คือ

2.6.1 full cross validation วิธีนี้การทดสอบในลักษณะนี้เป็นการทดสอบภายใน (Internal validation) มีวิธีทดสอบดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 1 ตัดตัวอย่างที่ 1 ออกไปจากกลุ่ม calibration แล้วนำตัวอย่างที่เหลือมาสร้างสมการ calibration เมื่อได้สมการ calibration แล้วก็นำมาประเมินค่าตัวอย่างที่ 1 ที่ตัดไปก่อนหน้านี้

ตอนที่ 2 ตัดตัวอย่างที่ 2 ออกไปนำตัวอย่างที่ 1 กลับเข้ามาในกลุ่ม calibration รวมกับ ตัวอย่าง อื่นๆที่เหลือเพื่อสร้างสมการ calibration เมื่อได้สมการ calibration นำมาประเมินค่าของ ตัวอย่างที่ 2 ทำซ้ำ อย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งประเมินค่าตัวอย่างครบทุกตัวอย่างซึ่งตัวอย่างแต่ละตัว จะถูกตัดออก 1 ครั้งเท่านั้น

การทดสอบภายใน (internal validation) จะวัดผลโดยการดูค่า RMSECV (root mean square error of cross validation) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้สมการ calibration กับค่าที่วิเคราะห์ได้ (measured value or true value) ให้ค่าที่ยอมรับได้

2.6.2 การทดสอบผลการประเมิน (prediction testing) เป็นการทดสอบโดยนำ กลุ่มตัวอย่างชุดใหม่ (external validation) มาประเมินค่าจากสมการ calibration ที่ได้ โดยตัวอย่างชุดใหม่ที่น่ามาวิเคราะห์ต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่างการวัดสเปกตรัมสภาวะในการทดลองรวมไปถึงการแปลงข้อมูลสเปกตรัมต้องเหมือนกับ กลุ่ม calibration ข้อควรระวังคือ ตัวอย่างในกลุ่มใหม่จะต้องมีค่าที่ต้องการประเมินอยู่ในช่วงของกลุ่ม Calibration การทดสอบลักษณะนี้มีวิธีการ คือ นำตัวอย่าง กลุ่มใหม่มาวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการ เช่น ค่า โปรตีนโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ reference methods แทนด้วยข้อมูลชุด X และนำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRs แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ calibration แทนด้วยข้อมูลชุด Y นำผลที่ได้จากทั้งสองวิธีมา พิจารณาเปรียบเทียบ โดยมีค่าทางสถิติ ที่ใช้วัดคือ SEP (standard error of prediction) หรือ RMSEP (root mean square error of prediction) และ bias ซึ่งค่าสถิติเหล่านี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของ สมการ calibration ถ้า ผลการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิง และให้ค่าทาง สถิติที่ดีแสดงว่าสมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีนั้นยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณ ตัวอย่างต่อไปได้อย่างถูกต้อง (อนุพันธ์, 2545)

2.7 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ

2.7.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; R) คือค่าที่แสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ เท่ากับ 1 หมายความว่าสมการ ที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าทำนายที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) กับค่าแปรตาม (Y) ที่มีความสัมพันธ์กันมาก

2.7.2 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration; SEC) คือ ค่าที่ บอกลถึงสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้ดีหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.7.3 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (Standard error of prediction; SEP) คือ ค่าที่ บอกลถึงการนำเอาสมการที่สร้างขึ้นมาทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่อง NIRs มีความแม่นยำ สูงหรือต่ำ ซึ่งถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อย หมายความว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRs (average of difference between actual value and NIR value; bias) คือค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลของตัวแปรตาม (Y) และค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) มีความแตกต่างกันหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.7.5 อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม validation set ต่อค่า SEP (ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD) ค่า จากที่คำนวณได้มีค่าสูง หมายถึงค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIRs มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากวิเคราะห์จริง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศักยภาพของ NIR และ MIR spectroscopy ในการประเมินคุณลักษณะในเนื้อผลไม้ได้รับการพิสูจน์ในการวิจัยของ (Scibisz et al., 2011) ที่ตรวจสอบความเหมาะสมของ Fourier transform mid-infrared spectroscopy ว่าเป็นวิธีการทำนายพารามิเตอร์คุณภาพต่างๆของมะเขือเทศอย่างเหมาะสม พวกเขารายงานว่า mid-infrared spectroscopy รวมกับการวิเคราะห์หลายตัวแปรเป็นเครื่องมือที่มีแนวโน้มมากในการตรวจหาคือ soluble solids content (SSC), individual sugars (fructose, glucose, and sucrose), titratable acidity (TA), Ascorbic acid content, กรดซิดริกและกรดมาลิก การประเมินความเข้มข้นของน้ำตาลแต่ละชนิดโดย NIR คือท้าทายมากขึ้น โดยงานวิจัยของ (Xie et al., 2009) ได้ข้อมูลเชิงปริมาณอย่างง่ายน้ำตาลในน้ำ Bayberry โดย NIR ด้วยค่า R^2 ที่ยอมรับได้สำหรับกลูโคสคือ 0.70-0.85 สำหรับฟรุคโตสคือ 0.70-0.96 และซูโครสคือ 0.89-0.99 ความแตกต่างเกิดจากเส้นทางการประมวลผลที่แตกต่างกัน

NIR และ MIR สามารถใช้ในการประเมิน individual sugars, organic acids และ carotenoids ในเนื้อผลไม้เยือกแข็ง (Oliveira et al., 2014) ในงานนี้น้ำถูกกำจัดออกเพื่อขจัดสัญญาณรบกวนเนื่องจากการดูดซึมน้ำของรังสีอินฟราเรด อย่างไรก็ตามการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่มีราคาแพงและมีระยะเวลาขั้นตอนเพิ่มเติมที่สามารถทำได้เฉพาะในการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมอาหารต้องทำเป็นลักษณะโดยตรงกับวัตถุดิบก่อนการประมวลผลโดยตรงนั่นคือเนื้อสดหรือน้ำผลไม้

มีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการคาดการณ์ของคุณภาพลักษณะของเนื้อผลเสาวรสดโดยใช้ NIR และ MIR spectroscopy NIR โดยผลการทดลองคือการคาดการณ์ที่ยอมรับได้ของ SSC ($R_v^2 = 0.91$) แต่ MIR แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในการทำนายลักษณะคุณภาพเช่น SSC TA น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสในเนื้อผลไม้ ($R_v^2 = 0.95, 0.86, 0.93, 0.84, 0.74$ ตามลำดับ) สำหรับวิตามิน C (ascorbic acid) ไม่เป็นที่น่าพอใจทั้งใน NIR และ MIR อาจเป็นเพราะความเข้มข้นต่ำในเนื้อผลไม้การใช้ NIR spectral region ในการหาค่า titratable acidity วัดได้ในเนื้อผลไม้สดไม่เป็นที่ยอมรับ หลายรุ่นได้รับการพัฒนาที่มีพื้นที่ preprocessing และ spectral แตกต่างกัน แต่ไม่มีการคาดการณ์ TA ด้วยความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R^2 = 0.36$ และ $RMSEP = 8.63\%$ (Gabrieli et al., 2018) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยต่ำของค่าต่ำการตรวจสอบความถูกต้องแสดงให้เห็นว่าเหมาะสมกับรูปแบบและดังนั้นจึงไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่คำนวณโดยรูปแบบและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลอ้างอิง ในทำนองเดียวกัน (AbuKhalaf et al., 2002) พบความสัมพันธ์ในการตรวจสอบที่ต่ำมากค่าสัมประสิทธิ์สำหรับ TA ในการศึกษาพหุคูณ อย่างไรก็ตามการคาดการณ์ TA ที่ยอมรับได้ในแบบจำลองถูกพบในงานวิจัยที่ได้รับการพัฒนาขึ้นสำหรับมะเขือเทศ (Pedro et al., 2005), สตรอเบอร์รี่ (Shao et al., 2007) และแอปเปิ้ล (Bureau et al., 2009) ($R^2 = 0.88$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 เงาะสายพันธุ์โรงเรียน ชื่อจากร้านค้าผลไม้ ตลาดสุวรรณภูมิ กรุงเทพมหานคร

3.2 สารเคมี

3.2.1 1% ฟีนอลฟทาลีน

3.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.01 mol/L ผู้ผลิต MEROK, Germany

3.2.3 Potassium hydrogen phthalate (KHP) ผู้ผลิต Ajax Finechem Pty Ltd, New Zealand

3.3 อุปกรณ์

3.3.1 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.3.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (รุ่น BP31005, ยี่ห้อ Sartorius)

3.3.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (รุ่น MS2045//01, ยี่ห้อ METTLER TOLEDO)

3.3.4 เครื่อง digital refractometer (PR101, Palette Series, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)

3.3.5 เครื่อง hot air oven (รุ่น ED/FD, ยี่ห้อ BINDER)

3.3.6 เครื่อง hyperspectral image (Specim FX17, Spectral imaging Ltd., Oulu, Finland)

3.4 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

3.4.1 โปรแกรม The Unscrambler

3.4.2 โปรแกรม Prediktera Evince 2.7.9

3.4.3 โปรแกรม Lumo-Scanner

3.4.4 โปรแกรม OriginPro 8

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเงาะ

3.5.1.1 นำเงาะอย่างน้อย 600 ลูก (วิธีการละ 200 ตัว) มาทำการตรวจสอบคุณภาพของเงาะได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในเงาะ การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid, TSS) (AOAC, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เครื่อง digital hand refractometer โดยหยดน้ำที่คั้นได้ของลูกเงาะลงไป อ่านค่าที่ออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์

การวัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA) (AOAC, 2000)

- โดยนำน้ำที่คั้นได้ของลูกเงาะปริมาณ 2-3 กรัม มาไตเตรทด้วยสารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 N โดยการไตเตรทจนถึงจุดยุติหรือเกิดสีชมพู บันทึกปริมาตรของสารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ตามสูตร (3.1)

$$TA (\% \text{citric acid}) = \frac{[\text{milliequivalent factor}] \times [\text{ml NaOH used}] \times [0.01 \text{ M NaOH}] \times 100}{\text{grams of sample}} \quad (3.1)$$

*** milliequivalent of citric (anhydrous) = 0.064

ปริมาณความชื้นทั้งหมดของเงาะ

- วัดปริมาณความชื้นทั้งหมดของเงาะ ทั้งนี้หาปริมาณความชื้นของลูกเงาะ (AOAC, 1995) โดยทำการอบภาชนะสำหรับหาความชื้นใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 2 ชั่วโมง นำออกจาก hot air oven ใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้แห้ง จนกระทั่งภาชนะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักจดบันทึกค่าที่ได้ ซึ่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นใส่ลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วจดบันทึกน้ำหนักไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 48 ชั่วโมง นำออกจาก hot air oven ใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้แห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง บันทึกค่าที่ได้ แล้วนำข้อมูลมาหาปริมาณความชื้นทั้งหมดของลูกเงาะตามสูตร (3.2)

$$\text{Moisture (\%)} = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1} \times 100 \quad (3.2)$$

3.5.1.2 สร้างสมการหลายตัวแปรและทดสอบความถูกต้องของสมการ

3.5.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมีของเงาะกับการดูดกลืนพลังงานแสงย่าน near infrared

3.5.2.1 การทดลองเพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพทางเคมีของเงาะ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในลูกเงาะ

3.5.2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวัดด้วยเครื่อง hyperspectral image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.1.1.1 เตรียมตัวอย่างเงาะสายพันธุ์โรงเรียน จำนวนไม่ต่ำกว่า 600 ลูก เลือกลูกเงาะให้มีความสม่ำเสมอทั้งด้านสีและขนาด โดยลูกเงาะต้องมีสีแดงสด รอยดำน้อย ไม่มีรอยแตก นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการปรับอุณหภูมิก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ที่ห้องปรับอากาศที่รักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนทำการวัดด้วยเครื่อง hyperspectral image

3.5.2.1.1.2 ทำการวัดการดูดกลืนพลังงานแสงด้วยเครื่อง hyperspectral image โหมด reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 750–2500 nm สำหรับตำแหน่งการวัดนั้นจะทำการวัดที่ด้านข้างของเงาะโดยจะหัวด้านซ้ายไปทางด้านซ้ายของเครื่องสแกนโดยการวัดแต่ละครั้งจะวัดเพียงครั้งละ 1 ลูก เพื่อให้ได้ข้อมูลสเปกตรัมในแต่ละตัวอย่าง จากนั้นนำภาพที่ได้มาตัดรูปโดยตัดบริเวณตรงกลางลูกให้ได้ขนาด 50 x 50 พิกเซล

3.5.2.1.1.3 หลังจากทำการวัดสเปกตรัมแล้ว ทำการตรวจสอบคุณภาพผลเงาะ โดยการหาคุณภาพของเงาะ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในเงาะ

3.5.2.1.1.4 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Unscrambler

- กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยให้ตัวแปรตาม คือ คุณภาพทางเคมีของเงาะ ได้แก่ ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในเงาะ ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง hyperspectral imaging

- นำข้อมูลค่าตัวแปรตามมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตาม ทั้งหมดของผลเงาะเรียงจากน้อยไปมากแล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็น กลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) กลุ่ม calibration จะต้องมีจำนวนข้อมูลไม่เกิน 70 เปอร์เซนต์ และกลุ่ม prediction จะต้องมีจำนวนข้อมูลไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซนต์ โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆกัน ค่าคุณภาพทางเคมีในกลุ่ม calibration จะต้องมีค่าคุณภาพทางเคมีที่ต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

- นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยในกลุ่ม calibration มาสร้างสมการในการทำนาย โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยนำข้อมูลไปปรับแต่งข้อมูล (pre-treatment) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงมีวิธีคือ smoothing, first derivative, second derivative, MSC และ SNV โดยเลือกค่า R ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุด และ factor ต้องค่าต่ำสุดด้วย แล้วนำข้อมูลที่ผ่านการ pre-treatment แล้วมาทำการวิเคราะห์หาในแต่ละช่วงความยาวคลื่น จากการศึกษาที่ค่า R (correlation coefficient) ให้มีค่าสูงสุด และ RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุด เมื่อได้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

calibration แล้วให้นำไปทำนายตัวอย่างในกลุ่ม prediction set เพื่อดูความแม่นยำของสมการ โดยนำตัวอย่างจาก กลุ่ม prediction set ไปทดสอบความถูกต้องในการทำนายของสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ข้อมูลจากการนำเงาะมาผ่านการสแกนด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging ในโหมด reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm

เป็นข้อมูลที่ได้จากการนำตัวอย่างเงาะมาสแกนด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging ในโหมด reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm ตำแหน่งของการวัดนั้นจะทำการวัดด้านข้างของเงาะ โดยหันหัวของเงาะขึ้นด้านบนเสมอและการวัดแต่ละครั้งจะวัดเพียง 1 ลูก เมื่อได้ข้อมูลสเปกตรัมในแต่ละตัวอย่าง จะนำภาพถ่ายที่ได้มาตัดบริเวณตรงกลางของภาพเงาะให้ได้ขนาด 50x50 พิกเซล เพื่อเตรียมข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

4.2 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเงาะ

4.2.1 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

จากตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลดิบที่ใช้ในการหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้โดยนำน้ำที่คั้นได้ของลูกเงาะ ปริมาณ 2-3 กรัม มาไตเตรทด้วยสารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 N โดยการไตเตรทจนถึงจุดยุติหรือเกิดสีชมพู บันทึกปริมาตรของสารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ตามสูตร (4.1) จึงจะได้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะแต่ละลูก

$$TA (\% \text{citric acid}) = \frac{[\text{milliequivalent factor}] \times [\text{mL NaOH used}] \times [0.01 \text{ M NaOH}] \times 100}{\text{grams of sample}}$$

(4.1)

*** milliequivalent of citric (anhydrous) = 0.064

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณกรดที่ได้อะไรได้

ตัวอย่างที่	TA(%)	ตัวอย่างที่	TA(%)
1	0.19	26	0.22
2	0.16	27	0.22
3	0.14	28	0.24
4	0.15	29	0.24
5	0.22	30	0.19
6	0.18	31	0.19
7	0.21	32	0.19
8	0.21	33	0.17
9	0.18	34	0.19
10	0.19	35	0.19
11	0.28	36	0.17
12	0.27	37	0.22
13	0.21	38	0.17
14	0.25	39	0.2
15	0.22	40	0.19
16	0.24	41	0.15
17	0.16	42	0.24
18	0.22	43	0.17
19	0.19	44	0.25
20	0.22	45	0.2
21	0.25	46	0.26
22	0.25	47	0.14
23	0.22	48	0.15
24	0.2	49	0.17
25	0.21	50	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	TA(%)	ตัวอย่างที่	TA(%)
51	0.18	76	0.18
52	0.17	77	0.23
53	0.19	78	0.21
54	0.22	79	0.22
55	0.22	80	0.17
56	0.19	81	0.21
57	0.19	82	0.17
58	0.17	83	0.23
59	0.15	84	0.23
60	0.17	85	0.17
61	0.17	86	0.23
62	0.16	87	0.21
63	0.2	88	0.17
64	0.22	89	0.19
65	0.17	90	0.17
66	0.18	91	0.15
67	0.13	92	0.26
68	0.19	93	0.23
69	0.17	94	0.23
70	0.17	95	0.21
71	0.19	96	0.23
72	0.19	97	0.22
73	0.23	98	0.2
74	0.19	99	0.22
75	0.17	100	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	TA(%)	ตัวอย่างที่	TA(%)
101	0.18	126	0.18
102	0.26	127	0.14
103	0.23	128	0.15
104	0.21	129	0.13
105	0.21	130	0.15
106	0.21	131	0.13
107	0.18	132	0.13
108	0.21	133	0.13
109	0.21	134	0.1
110	0.2	135	0.13
111	0.16	136	0.13
112	0.22	137	0.2
113	0.17	138	0.13
114	0.21	139	0.19
115	0.19	140	0.15
116	0.19	141	0.1
117	0.24	142	0.11
118	0.23	143	0.12
119	0.17	144	0.17
120	0.16	145	0.17
121	0.17	146	0.2
122	0.2	147	0.19
123	0.23	148	0.15
124	0.2	149	0.25
125	0.24	150	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	TA(%)	ตัวอย่างที่	TA(%)
151	0.09	176	0.2
152	0.19	177	0.14
153	0.24	178	0.19
154	0.27	179	0.12
155	0.18	180	0.12
156	0.17	181	0.14
157	0.24	182	0.12
158	0.14	183	0.15
159	0.18	184	0.13
160	0.21	185	0.17
161	0.23	186	0.19
162	0.19	187	0.15
163	0.24	188	0.13
164	0.18	189	0.15
165	0.19	190	0.2
166	0.19	191	0.23
167	0.13	192	0.14
168	0.13	193	0.16
169	0.13	194	0.1
170	0.17	195	0.14
171	0.18	196	0.18
172	0.15	197	0.2
173	0.15	198	0.21
174	0.18	199	0.11
175	0.22	200	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

นำเงาะตัวอย่างมาหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยใช้เครื่อง digital hand refractometer โดยหยดน้ำที่คั้นได้ของลูกเงาะลงไป อ่านค่าที่ออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)	ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)
1	18.53	21	23.53
2	21.2	22	22.57
3	20.47	23	22.67
4	21.57	24	23.83
5	22.33	25	22.3
6	22.27	26	22.53
7	21.8	27	20.6
8	20.97	28	19.8
9	21	29	14.13
10	20.63	30	15.4
11	21	31	17.1
12	20.33	32	20.33
13	21.5	33	20.1
14	20.1	34	20.77
15	22.23	35	21.3
16	20.5	36	22.3
17	20.87	37	20.1
18	22.73	38	21.3
19	22.97	39	21.27
20	22.6	40	21.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)	ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)
41	20.47	66	21.8
42	21.93	67	20.2
43	20.27	68	20.43
44	20.27	69	23.6
45	20.3	70	20.87
46	20.83	71	18.93
47	20.43	72	22.03
48	21.63	73	19.97
49	21.8	74	20.83
50	19.67	75	19.73
51	19.3	76	20.73
52	22.63	77	21.1
53	20.97	78	22.27
54	20.57	79	21.1
55	19.53	80	21.97
56	22.6	81	21.5
57	22	82	21.97
58	22.53	83	21.83
59	21.67	84	22.83
60	22.03	85	20.93
61	19.73	86	22.27
62	22.77	87	21.07
63	22.13	88	22.33
64	20.5	89	20.9
65	20.87	90	20.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)	ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)
91	18.73	116	21.4
92	22.47	117	20.87
93	23.37	118	22.73
94	22.4	119	23.7
95	22.73	120	24.13
96	22.53	121	22.17
97	22.87	122	21.67
98	21.87	123	20.83
99	19.73	124	20.83
100	20.5	125	21.77
101	21.73	126	21.03
102	21.23	127	21.4
103	23.23	128	20.73
104	22.07	129	21.83
105	22.87	130	20.37
106	22.8	131	22.8
107	22.63	132	19.6
108	25.13	133	22.6
109	22.83	134	20.17
110	23.03	135	21.67
111	22.7	136	19.57
112	24.77	137	21.8
113	21.5	138	21.5
114	22.07	139	21.97
115	20.17	140	19.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)	ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)
141	22.5	166	20.63
142	22.6	167	20.9
143	23.6	168	19.77
144	23.23	169	16.97
145	22.87	170	19.13
146	21.83	171	19.37
147	21.77	172	19.4
148	22	173	18.67
149	19.6	174	18.63
150	21.73	175	18.93
151	21.87	176	17.23
152	22.3	177	18
153	22.63	178	19
154	22.47	179	17.8
155	22.9	180	19.5
156	18.7	181	19.73
157	20.47	182	19.1
158	18.8	183	20.33
159	19.87	184	19.47
160	18.53	185	18.27
161	19.9	186	20.2
162	19.17	187	19.1
163	19.73	188	19.63
164	18.63	189	19.13
165	19.9	190	19.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	TSS(°Brix)
191	19.67
192	21
193	20
194	21.07
195	20.93
196	20.5
197	21.5
198	19.57
199	21.1
200	21.3

4.2.3 ปริมาณความชื้น

วัดปริมาณความชื้นทั้งหมดของเงาะ ทั้งนี้หาปริมาณความชื้นของลูกเงาะ (AOAC, 1995) โดยทำการอบภาชนะสำหรับหาความชื้นใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 2 ชั่วโมง นำออกจาก hot air oven ใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้แห้ง จนกระทั่งภาชนะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าที่ได้ ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นใส่ลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วจดบันทึกค่า นำไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 48 ชั่วโมง นำออกจาก hot air oven ใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้แห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง บันทึกค่าที่ได้ แล้วนำข้อมูลมาหาปริมาณความชื้นทั้งหมดของลูกเงาะตามสูตร (4.2) ดังตารางที่ 4.3

$$\text{Moisture (\%)} = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1} \times 100 \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความขึ้น

ตัวอย่างที่	MC(%)	ตัวอย่างที่	MC(%)
1	78.01	26	79.24
2	78.77	27	80.33
3	78.06	28	79.27
4	77.61	29	79.65
5	76.97	30	79.29
6	79	31	80.74
7	79.16	32	79.63
8	79.66	33	79.01
9	79.17	34	79.85
10	76.95	35	79.3
11	78.07	36	80.39
12	78.31	37	81.68
13	78.04	38	80
14	77.97	39	78.42
15	81.4	40	79.39
16	79.76	41	81.43
17	78.28	42	79.16
18	79.47	43	78.98
19	78.63	44	79.21
20	80.79	45	80.06
21	80.09	46	79.09
22	78.47	47	80.79
23	78.13	48	80.82
24	81.25	49	80.4
25	81.02	50	80.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	MC(%)	ตัวอย่างที่	MC(%)
51	79.75	76	80.25
52	80.25	77	79.43
53	84.03	78	79.71
54	80.69	79	80.62
55	79.69	80	80.33
56	79.02	81	80.99
57	80.74	82	78.58
58	81.18	83	80.9
59	80.92	84	79.37
60	80.09	85	83.16
61	80.44	86	78.32
62	80.72	87	80.66
63	78.54	88	78.64
64	78.3	89	79.38
65	80.45	90	83.03
66	80.34	91	82.53
67	78.79	92	56.38
68	79.94	93	80.02
69	79.28	94	80.65
70	79.69	95	83.6
71	80.33	96	81.08
72	81.54	97	80.97
73	80.3	98	78.66
74	79.69	99	77.1
75	74.79	100	78.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	MC(%)	ตัวอย่างที่	MC(%)
101	79.32	126	80.52
102	82.46	127	80.44
103	80.77	128	80.18
104	79.28	129	78.71
105	80.27	130	79.76
106	78.79	131	66.32
107	79.79	132	67.66
108	80.57	133	78.2
109	78.88	134	82.45
110	78.75	135	79.6
111	81.5	136	77.79
112	78.71	137	77.87
113	79.31	138	78.64
114	78.99	139	87.54
115	80.12	140	79.85
116	81.52	141	79.37
117	78.81	142	78.5
118	81	143	80.41
119	77.93	144	79.18
120	79.4	145	79.32
121	78.99	146	80.59
122	78.68	147	78.15
123	78.88	148	80.57
124	78.71	149	78.47
125	80.37	150	77.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	MC(%)	ตัวอย่างที่	MC(%)
151	79.57	176	77.57
152	80.63	177	78.22
153	79.51	178	78.89
154	79.35	179	79.31
155	77.25	180	77.02
156	78.2	181	79.94
157	79.01	182	80.22
158	86.4	183	78.75
159	78.44	184	79.85
160	78.6	185	79.5
161	80.71	186	77.87
162	81.28	187	79.58
163	80.45	188	78.89
164	81.42	189	79.88
165	79.34	190	79.17
166	78.17	191	78.98
167	79.09	192	79.96
168	80.17	193	80.17
169	79.44	194	79.52
170	80.3	195	85.59
171	78.39	196	78.86
172	85.48	197	78.5
173	78.36	198	80.94
174	79.52	199	80.28
175	77.7	200	80.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	MC(%)
201	78.22
202	79.05
203	70.06
204	79.02
205	78.04
206	79.32
207	79.49
208	80.66
209	80.06
210	79.55

4.3 การจัดเรียงข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

4.3.1 กำหนดข้อมูลทางเคมี คือ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และ ปริมาณความชื้น เป็นตัวแปรตามและข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ได้จากเครื่อง NIR hyperspectral imaging เป็นตัวแปรอิสระ

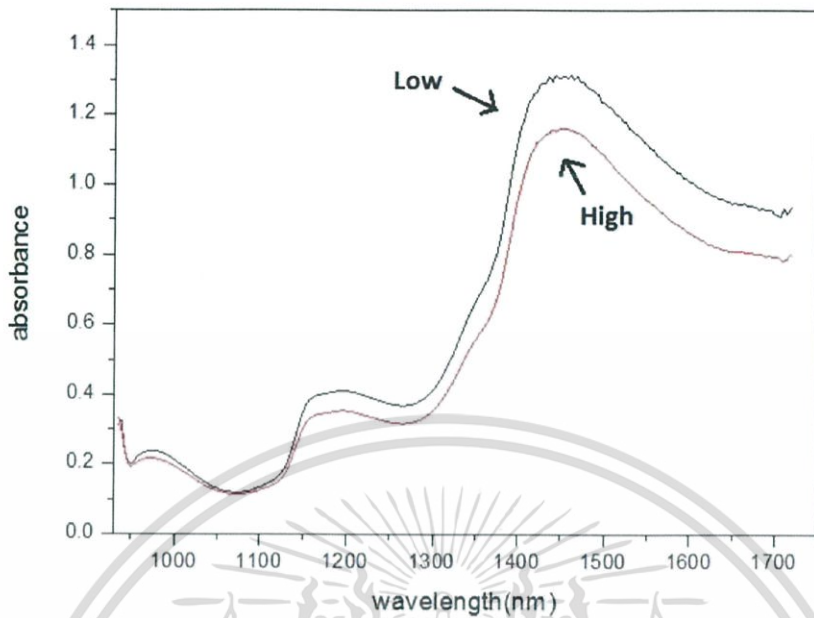
4.3.2 นำข้อมูลตัวแปรตามมาเรียงกันโดยเรียงค่าน้อยไปมากแล้วนำข้อมูลทั้งหมดเข้าโปรแกรม Unscrambler เพื่อตัดข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนมาก (out liner) ออก ซึ่งเป็นเงาผลที่มีความผิดปกติ เช่น เน่า มีน้ำปริมาณมากเกินกว่าปกติ เป็นต้น เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดเป็นไปในแนวโน้มเดียวกันจนเหลือแค่ข้อมูลที่เหมาะสมในการทำการวิเคราะห์

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของเงาะ

จากการทดลองพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของเงาะนั้นมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งคุณสมบัติที่ใช้บ่งบอกถึงคุณภาพของเงาะ ได้แก่ ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ และปริมาณความชื้นในเงาะ โดยคุณสมบัติที่กล่าวมาจะถูกนำมาใช้เพื่อบ่งบอกถึงคุณภาพของเงาะว่าเงาะผลไหนมีคุณภาพดีหรือผลไหนมีคุณภาพที่ไม่ดี โดยปกติหากต้องการรับรู้ถึงคุณภาพของเงาะจะต้องแกะเปลือกเพื่อนำเนื้อเงาะมาตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งเป็นการตรวจสอบคุณภาพที่เป็นการทำลายผลผลิต เนื่องจากไม่สามารถบ่งบอกคุณสมบัติต่างๆที่กล่าวมาโดยการมองลักษณะภายนอกของเงาะได้ ดังนั้นจึงนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่อง NIR มาใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของเงาะ ซึ่งแสดงได้ความสัมพันธ์ได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

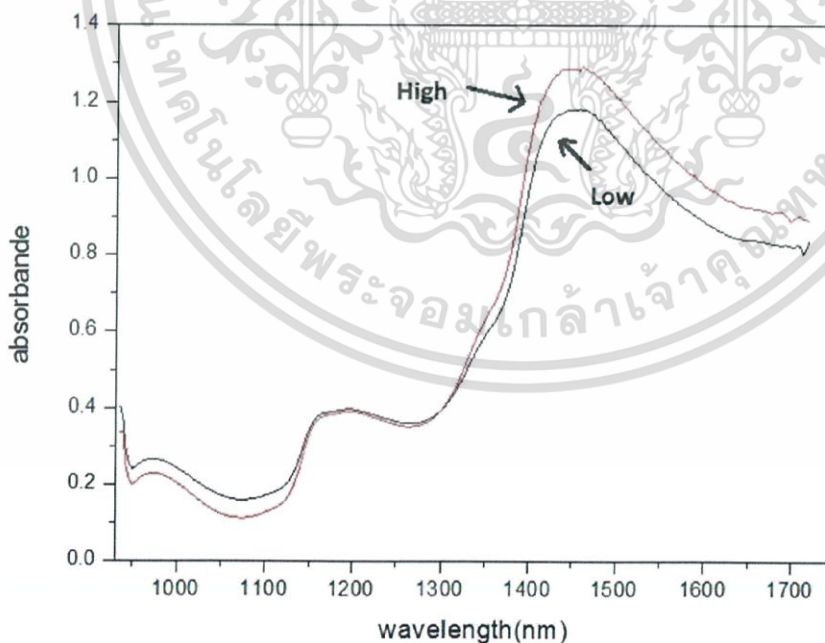
4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ของเงาะ

จากภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มของเงาะที่มีค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้สูงและกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ต่ำในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้จะสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของเงาะ โดยสามารถบ่งบอกได้ว่าเงาะผลนั้นมีระดับความเปรี้ยวมากหรือน้อยแค่ไหน จากภาพจะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้สูง (มีปริมาณกรดในช่วง 0.2% - 0.25%) มีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ต่ำ (มีปริมาณกรดในช่วง 0.09% - 0.15%) และจากภาพจะเห็นได้ว่า ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของเงาะทั้ง 2 กลุ่ม มีลักษณะปรากฏเป็นพีคบริเวณเดียวกัน แต่เส้นการดูดกลืนแสงแตกต่างกันอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มของเงาะที่มีปริมาณกรดที่ไดเตรทได้สูงและกลุ่มของเงาะที่มีปริมาณกรดที่ไดเตรทได้ต่ำ

4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเงาะ

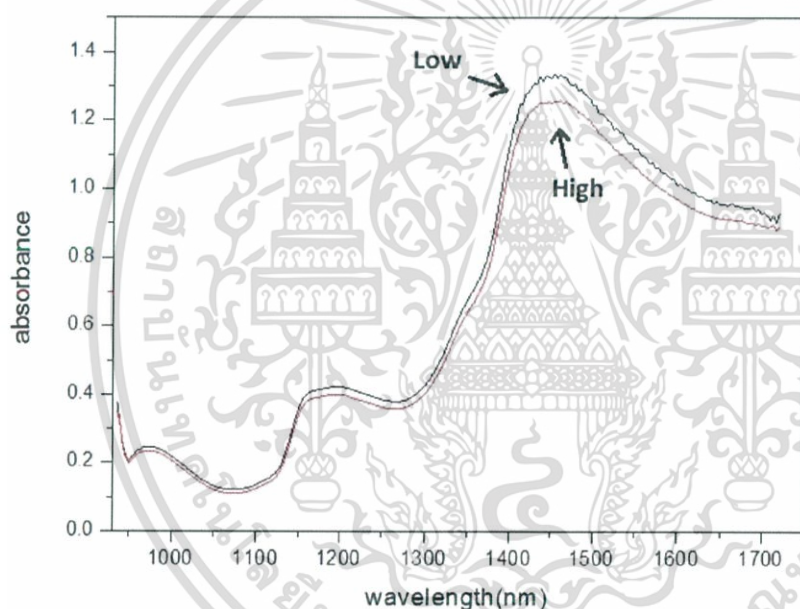


ภาพที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงและกลุ่มเงาะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงและกลุ่มเงาะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm จากภาพจะเห็นได้ว่าคุณค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำ (มีปริมาณบrixอยู่ในช่วง 18°Brix – 20.3°Brix) มีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง (มีปริมาณบrixอยู่ในช่วง 22.07°Brix – 23.6°Brix) จากภาพจะเห็นได้ว่าคุณค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของเงาะ 2 กลุ่ม มีลักษณะปรากฏเป็นพีคบริเวณเดียวกัน แต่เส้นการดูดกลืนแสงแตกต่างกันอย่างชัดเจน

4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณความชื้นในเงาะ



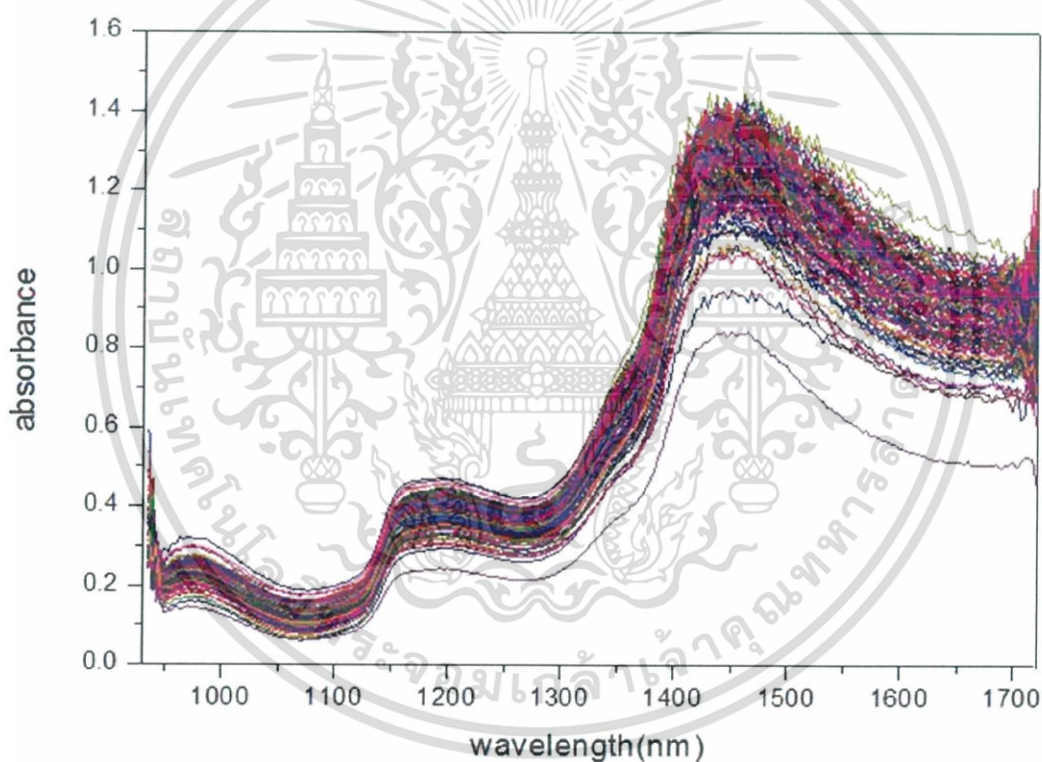
ภาพที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณความชื้นสูงและกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณความชื้นต่ำ

จากภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มของเงาะที่มีค่าปริมาณความชื้นสูงและกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณความชื้นต่ำในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm จากภาพจะเห็นได้ว่าคุณค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณความชื้นสูง (มีปริมาณความชื้นในช่วง 80.4% – 81.68%) มีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (มีปริมาณความชื้นในช่วง 76.95% – 78.71%) และจากภาพจะเห็นได้ว่าคุณค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของเงาะทั้ง 2 กลุ่ม มีลักษณะปรากฏเป็นพีคบริเวณเดียวกัน แต่เส้นการดูดกลืนแสงแตกต่างกันอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

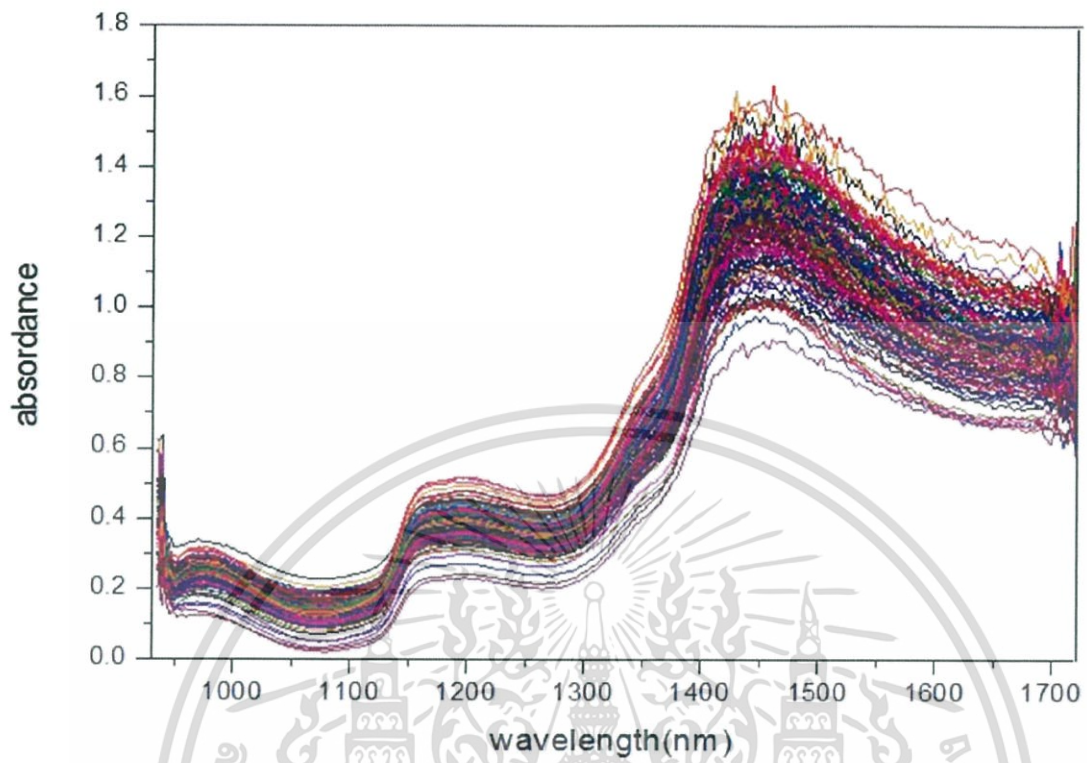
4.5 ผลของการใช้เทคนิค NIRs ในการสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพของเงาะ

จากการทดลองนี้ ใช้เครื่อง NIR hyperspectral image ในโหมด reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm มาตรวจสอบคุณภาพของเงาะ โดยการสแกนเงาะด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging นั้น ได้ทำการระบุตำแหน่งการวัดที่ด้านข้างของผลเงาะให้ซ้ของผลเงาะหันขึ้นด้านบนเสมอ โดยตัวแปรด้านคุณภาพที่ใช้สำหรับตรวจสอบคุณภาพภายหลังการสแกนคือ การหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้, การหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และการหาปริมาณความชื้นในผลเงาะ

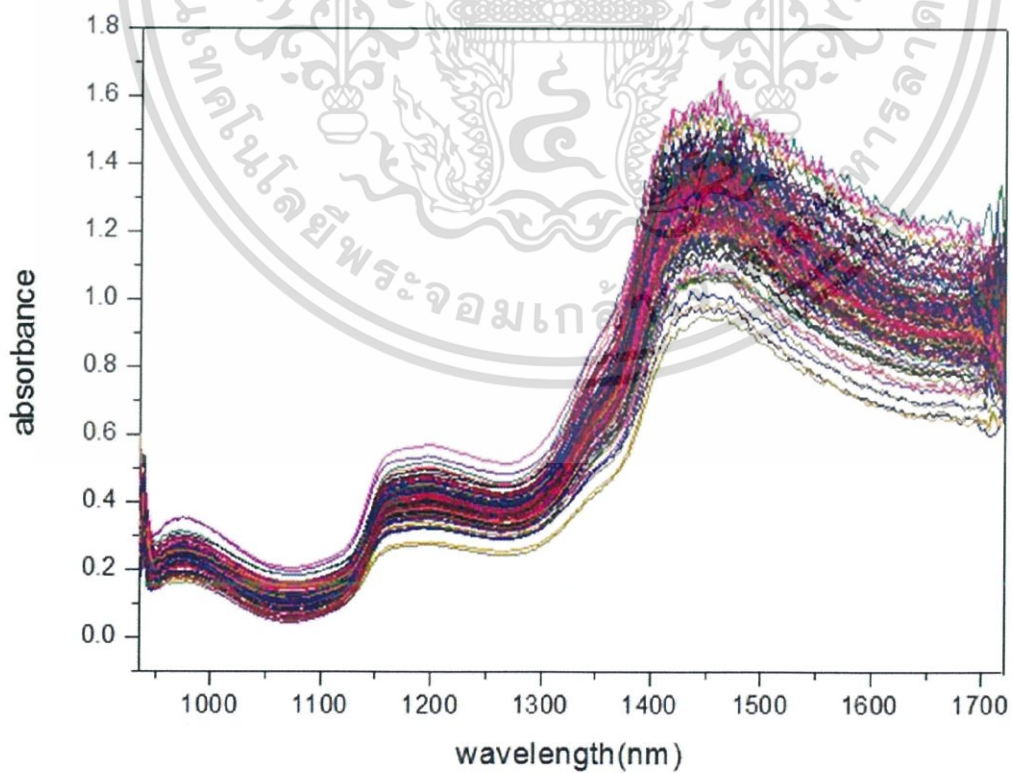


(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(c)

ภาพที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเงาะจากการสแกนด้วยเครื่อง NIR hyperspectral image ในโหมด reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 935 – 1720 nm

- (a) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้
- (b) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
- (c) ปริมาณความชื้น

4.5.1 การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะ

การสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะ ในการทดลองนี้จะแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จากข้อมูลเพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 125 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นตัวอย่างในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ 83 ตัวอย่างมีค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในช่วง 0.09% – 0.03% และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ 42 ตัวอย่างมีค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในช่วง 0.10% - 0.23% นอกจากนี้ค่าการกระจายตัวของแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากันคือ 0.03% และ 0.03%

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะ

characteristic	item	calibration	prediction
TA(%)	Number of sample	83	42
	Range	0.03 – 0.09	0.10 – 0.23
	Mean	0.18	0.18
	SD	0.03	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำลายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	pre-treatment	%TA		
		F	R	RMSECV(%)
1	Original	3	0.69	0.02
2	Smoothing	4	0.64	0.02
3	1 st Derivative	2	0.62	0.03
4	2 nd Derivative	3	0.56	0.03
5	MSC	3	0.56	0.03
6	SNV	3	0.58	0.03
7	Smooth+SNV	3	0.61	0.03

F = factors, R = correlation coefficients, RMSECV = root mean square error of cross-validation, Smoothing = Savitzky-Golay smoothing, 1st Derivative = Savitzky-Golay first derivative differentiation, 2nd Derivative = Savitzky-Golay second derivative differentiation, MSC = multiplicative scatter correction, SNV = standard normal variate transformation

หลังจากแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการได้แล้ว ทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 วิธีแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์มีหลายวิธี เช่น smoothing, first derivative, second derivative, MSC และ SNV จากการพิจารณาจากข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการ จากตารางที่ 4.5 พบว่า ข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุดให้ค่า R สูงสุดคือ 0.69 ในขณะที่เดียวกันก็ให้ค่า RMSECV เท่ากับ 0.02% ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเนื่องจากค่านี้ต้องมีค่าให้น้อยที่สุด ซึ่งค่า R เป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือสเปกตรัมและค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ถ้าค่า R มีค่าสูงนั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูง ซึ่งบ่งบอกว่าสมการนี้มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในเงาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในเงาะ

wavelength (nm)	TA(%)		
	F	R	RMSECV(%)
935-1000	7	0.58	0.03
1001-1100	5	0.67	0.02
1101-1200	2	0.65	0.02
1201-1300	2	0.66	0.02
1301-1400	1	0.64	0.02
1401-1500	2	0.63	0.02
1501-1600	2	0.60	0.0251
1601-1720	4	0.67	0.02
935-1400	2	0.65	0.02
1401-1720	4	0.67	0.02
935-1720	3	0.69	0.02

F = factors, R = correlation coefficients, RMSECV = root mean square error of cross-validation

หลังจากการเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำของปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในเงาะ จึงทำการทดสอบเพื่อหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ จากการพิจารณาข้อมูล จากตารางที่ 4.6 จะพบว่า ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้คือช่วงความยาวคลื่น 935 - 1720 nm เนื่องจากมีค่า R สูงสุดคือ 0.69 ในขณะที่เดียวกันก็ให้ค่า RMSECV เท่ากับ 0.02% จึงเลือกใช้ค่าความยาวคลื่น 935 - 1720 nm ในการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในเงาะ

parameters	pre-treatment	F	calibration			prediction		
			N	R _c	RMSEC(%)	N	R _p	RMSEP(%)
TA(%)	original	3	83	0.69	0.02	42	0.68	0.02

F = factors, N = number of sample, R = correlation coefficients, RMSEC = root mean square error of calibration, RMSEP = root mean square error of prediction

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดซึ่งเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ จะถูกนำมาผ่านกระบวนการทำ Original แล้วสร้างสมการการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางเชิงปริมาณ จากการใช้วิธี PLSR ด้วย โปรแกรม Unscrambler พบว่า กลุ่มสร้างสมการได้ค่า R = 0.69, RMSEC = 0.02% ในขณะที่กลุ่มทดสอบ สมการได้ค่า R = 0.68, RMSEP = 0.02%

4.5.2 การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะ

การสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะ ในการทดลองนี้จะแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จากข้อมูลเพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 125 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นตัวอย่างในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ 83 ตัวอย่างมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในช่วง 18°Brix – 23.6°Brix และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ 42 ตัวอย่างมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในช่วง 18.2 °Brix - 23.03°Brix นอกจากนี้ค่าการกระจายตัวของแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากันคือ 1.17°Brix และ 1.17°Brix

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะ

characteristic	item	calibration	prediction
	Number of sample	83	42
TSS(°Brix)	Range	18 – 23.60	18.27 – 23.03
	Mean	21.14	21.16
	SD	1.17	1.17

ตารางที่ 4.9 แสดงความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	pre-treatment	TSS(°Brix)		
		F	R	RMSECV(%)
1	Original	2	0.76	0.75
2	Smoothing	2	0.77	0.75
3	1 st Derivative	1	0.45	1.03
4	2 nd Derivative	1	0.27	1.14
5	MSC	2	0.38	1.08
6	SNV	2	0.36	1.10
7	Smooth+SNV	1	0.44	1.04

F = factors, R = correlation coefficients, RMSECV = root mean square error of cross-validation, Smoothing = Savitzky-Golay smoothing, 1st Derivative = Savitzky-Golay first derivative differentiation, 2nd Derivative = Savitzky-Golay second derivative differentiation, MSC = multiplicative scatter correction, SNV = standard normal variate transformation

สำหรับตารางที่ 4.9 แสดงความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ใช้ในการพิจารณาจากข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการ จากตารางที่ 4.9 พบว่า ข้อมูลแบบ smoothing ให้ผลดีที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จากการมีค่า R สูงสุดคือ 0.77 และค่า RMSECV ต่ำที่สุดคือ 0.75°Brix ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในเงาะ

wavelength (nm)	TSS(°Brix)		
	F	R	RMSECV(%)
935-1000	4	0.63	0.90
1001-1100	3	0.65	0.88
1101-1200	3	0.68	0.85
1201-1300	2	0.69	0.84
1301-1400	4	0.75	0.76
1401-1500	1	0.23	1.13
1501-1600	1	0.23	1.13
1601-1720	3	0.37	1.09
935-1400	2	0.74	0.77
1401-1720	2	0.29	1.11
935-1720	2	0.77	0.75

F = factors, R = correlation coefficients, RMSECV = root mean square error of cross-validation

หลังจากการเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในเงาะ จึงทำการทดสอบเพื่อหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ จากการพิจารณาข้อมูล จากตารางที่ 4.10 จะพบว่า ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้คือช่วงความยาวคลื่น 935 -1720 nm เนื่องจากมีค่า R สูงสุดคือ 0.77 ในขณะที่เดียวกันก็ให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RMSECV เท่ากับ 0.75% จึงเลือกใช้ค่าความยาวคลื่น 935 -1720 nm ในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเงาะ

parameters	pre-treatment	F	calibration			prediction		
			N	R _c	RMSEC(%)	N	R _p	RMSEP(%)
TSS	Smoothing	2	83	0.77	0.75	42	0.72	0.81

F = factors, N = number of sample, R = correlation coefficients, RMSEC = root mean square error of calibration, RMSEP = root mean square error of prediction

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดซึ่งเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ จะถูกนำมาผ่านกระบวนการทำ smoothing แล้วสร้างสมการการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางเชิงปริมาณ จากการใช้วิธี PLSR ด้วยโปรแกรม Unscamler พบว่า กลุ่มสร้างสมการได้ค่า R = 0.77, RMSEC = 0.75°Brix ในขณะที่กลุ่มทดสอบสมการได้ค่า R = 0.72, RMSEP = 0.81°Brix

4.5.3 การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความชื้นในเงาะ

การสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายปริมาณความชื้นในเงาะ ในการทดลองนี้จะแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จากข้อมูลเพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความชื้นใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 125 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นตัวอย่างในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ 83 ตัวอย่างมีค่าปริมาณความชื้นในช่วง 76.95% – 81.68% และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ 42 ตัวอย่างมีค่าปริมาณความชื้นในช่วง 76.98% - 81.53% นอกจากนี้ค่าการกระจายตัวของแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันคือ 1.08% และ 1.09%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณความชื้นในเงาะ

characteristic	item	calibration	prediction
	Number of sample	83	42
MC(%)	Range	76.95 – 81.68	76.98 – 81.53
	Mean	79.56	79.59
	SD	1.08	1.09

ตารางที่ 4.13 แสดงความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในเงาะด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	pre-treatment	MC		RMSECV(%)
		F	R	
1	Original	2	0.29	1.03
2	Smoothing	2	0.27	1.04
3	1 st Derivative	1	0.17	1.08
4	2 nd Derivative	1	-0.11	1.20
5	MSC	1	0.11	1.08
6	SNV	1	0.061	1.09
7	Smoothing+SNV	1	0.13	1.07

F = factors, R = correlation coefficients, RMSECV = root mean square error of cross-validation, Smoothing = Savitzky-Golay smoothing, 1st Derivative = Savitzky-Golay first derivative differentiation, 2nd Derivative = Savitzky-Golay second derivative differentiation, MSC = multiplicative scatter correction, SNV = standard normal variate transformation

สำหรับตารางที่ 4.13 แสดงความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในเงาะด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ใช้ในการพิจารณาจากข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการ จากตารางที่ 4.13 พบว่า ข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จากการมีค่า R สูงสุดคือ 0.29 และค่า RMSECV ต่ำที่สุดคือ 1.03% ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำของปริมาณความชื้นในเงาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณความชื้นในเงาะ

wavelength (nm)	MC(%)		
	F	R	RMSECV(%)
935-1000	1	0.18	1.06
1001-1100	1	0.24	1.04
1101-1200	1	0.19	1.06
1201-1300	1	0.17	1.06
1301-1400	3	0.23	1.05
1401-1500	1	0.14	1.07
1501-1600	2	0.25	1.05
1601-1720	1	0.02	1.08
935-1400	2	0.23	1.05
1401-1720	2	0.25	1.05
935-1720	2	0.29	1.03

F = factors, R = correlation coefficients, RMSECV = root mean square error of cross-validation

หลังจากการเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำของปริมาณความชื้นในเงาะ จึงทำการทดสอบเพื่อหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณความชื้น จากการพิจารณาข้อมูล จากตารางที่ 4.14 จะพบว่า ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายปริมาณความชื้นคือช่วงความยาวคลื่น 935 -1720 nm เนื่องจากมีค่า R สูงที่สุดคือ 0.29 ในขณะที่เดียวกันก็ให้ค่า RMSECV เท่ากับ 1.03% จึงเลือกใช้ค่าความยาวคลื่น 935 - 1720 nm ในการทำนายปริมาณความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้นในเงาะ

parameters	pre-treatment	F	calibration			prediction		
			N	R _c	RMSEC (%)	N	R _p	RMSEP (%)
MC (%)	original	2	83	0.29	1.03	42	0.09	1.12

F = factors, N = number of sample, R = correlation coefficients, RMSEC = root mean square error of calibration, RMSEP = root mean square error of prediction

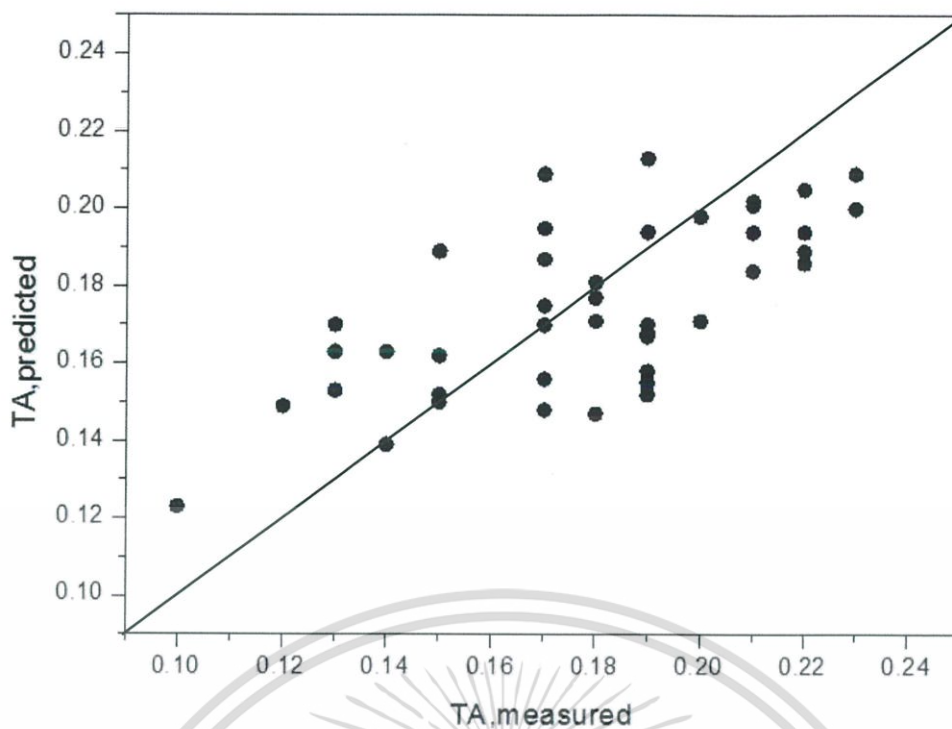
จากตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้น ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดซึ่งเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ จะถูกนำมาผ่าน กระบวนการทำ original แล้วสร้างสมการการทำนายปริมาณความชื้นด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางเชิงปริมาณ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ด้วย โปรแกรม Unscambler พบว่า กลุ่มสร้างสมการได้ค่า R = 0.29, RMSEC = 1.03% ในขณะที่กลุ่มทดสอบ สมการได้ค่า R = 0.09, RMSEP = 1.12%

4.6 การเปรียบเทียบค่าทางกายภาพและเคมีในเงาะระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral imaging

4.6.1 การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค hyperspectral imaging ของปริมาณกรดที่โตเตรทได้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนายปริมาณกรดที่โตเตรทได้ โดยใช้กลุ่ม Prediction จากสเปกตรัมดั้งเดิมในช่วงความยาวคลื่น 935-1720 nm แสดงดังภาพที่ 4.5 ซึ่งสามารถแสดงผลการทำนายได้เหมือนกับตารางที่ 4.7 แต่การแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยภาพนี้จะทำให้เห็นความแม่นยำในการทำนายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากถ้าค่าเข้าใกล้เส้นตรง 45 องศา มากก็แสดงว่า ค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้มีความแม่นยำในการทำนายสูง และแต่ยังมีการกระจายของข้อมูลออกจากเส้น 45 องศา บางส่วนแสดงว่า มีความแม่นยำในการทำนายปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

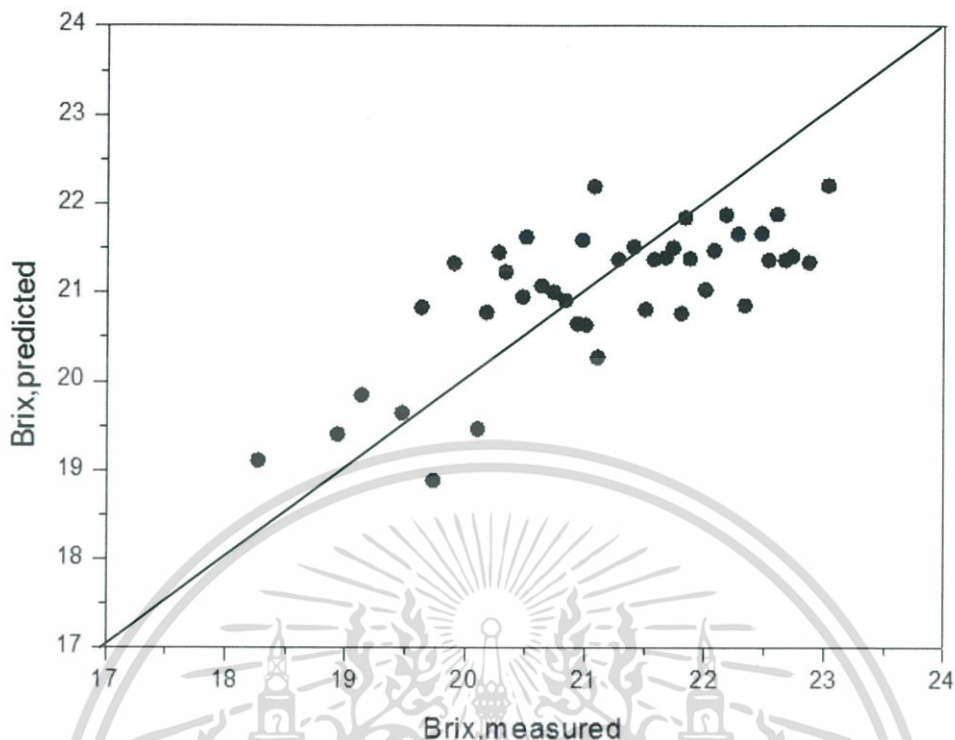


ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนาย PLS regression models ของปริมาณกรดที่โตเตรทได้

4.6.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค hyperspectral imaging ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้กลุ่ม Prediction จากสเปกตรัมดั้งเดิมในช่วงความยาวคลื่น 935-1720 nm แสดงดังภาพที่ 4.6 ซึ่งสามารถแสดงผลการทำนายได้เหมือนกับตารางที่ 4.11 แต่การแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยภาพนี้จะทำให้เห็นความแม่นยำในการทำนายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากถ้าค่าเข้าใกล้เส้นตรง 45 องศา มากก็แสดงว่า ค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้มีความแม่นยำในการทำนายสูง และพบว่ามีกระจายของข้อมูลออกจากเส้น 45 องศา ไม่มากแสดงว่ามีความแม่นยำในการทำนายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

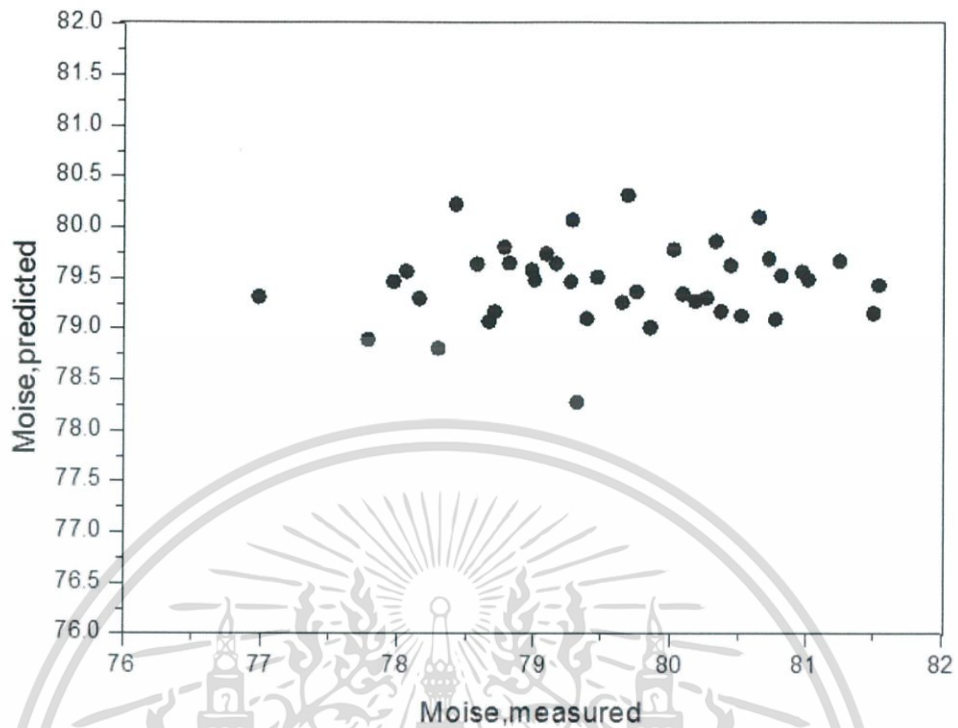


ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนาย PLS regression models ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

4.6.3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค hyperspectral imaging ของปริมาณความชื้น

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนายปริมาณความชื้นโดยใช้กลุ่ม Prediction จากสเปกตรัมดั้งเดิมในช่วงความยาวคลื่น 935-1720 nm แสดงดังภาพที่ 4.7 ซึ่งสามารถแสดงผลการทำนายได้เหมือนกับตารางที่ 4.15 แต่การแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยภาพนี้จะทำให้เห็นความแม่นยำในการทำนายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากถ้าค่ามีบางส่วนที่เข้าใกล้เส้นตรง 45 องศา และบางส่วนอยู่ห่างจากเส้นตรง 45 องศา มากก็แสดงว่าค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้มีความแม่นยำในการทำนายไม่มากและพบว่ามีกระจายของข้อมูลออกจากเส้น 45 องศา มากแสดงว่ามีความแม่นยำในการทำนายต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนาย PLS regression models ของปริมาณความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางสถิติโดยใช้เครื่อง NIR ชนิด hyperspectral imaging เพื่อทำนายคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเงาะ ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดสรุปออกมาได้ดังนี้ การใช้เทคนิค NIR hyperspectral imaging ในโหมด reflectance ที่ความยาวคลื่น 935-1720 nm เพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และทำนายปริมาณความชื้นโดยจะใช้กลุ่มตัวอย่างเงาะ พบว่าการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้มีความแม่นยำในการทำนายค่อนข้างสูง โดยได้ค่า $R = 0.68$ และค่า $RMSEP = 0.02\%$ ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้สูงนั้นจะมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ต่ำ ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้พบว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำนั้นมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง และมีความแม่นยำในการทำนายที่สูง โดยได้ค่า $R = 0.72$ และค่า $RMSEP = 0.81^\circ\text{Brix}$ ส่วนการทำนายปริมาณความชื้นพบว่าเมื่อค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีค่าปริมาณความชื้นสูงนั้นมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มเงาะที่มีปริมาณความชื้นต่ำและมีความแม่นยำในการทำนายต่ำ เนื่องจากได้ค่า $R = 0.09$, $RMSEP = 1.12\%$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า NIR hyperspectral imaging มีความสามารถในการทำนายคุณภาพจากปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ได้ดีและมีความแม่นยำสูง ส่วนการทำนายปริมาณความชื้นมีความแม่นยำในการทำนายต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

นิพนธ์ ตั้งคณานุกรณ์. 2545. หลักพื้นฐานเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ: 39-66.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2558. การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง (Varieties and qualities classification of lime using near Infrared hyperspectral imaging). งานวิจัย. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถานการณ์การผลิตผลไม้ปี 2555-2556. ในเอกสารประกอบการประชุมคณะอนุกรรมการบริหารกลุ่มสินค้าผลไม้ครั้งที่ 2/2556 วันที่ 24 ธันวาคม 2556. กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถานการณ์การผลิตผลไม้ปี 2561. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม. 2561. สินค้าผัก ผลไม้สด แช่เย็น แช่แข็งและแห้ง 2561. \[ออนไลน์\]. เข้าถึงได้จาก: \[https://www.ditp.go.th/contents_attach/268687/268687.pdf\]\(https://www.ditp.go.th/contents_attach/268687/268687.pdf\). 1 สิงหาคม 2561](http://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%94%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A8%E0%B8%A3%E0%B8%A9%E0%B8%90%E0%B8%81%E0%B8%B4%E0%B8%88%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%95%E0%B8%A3/28628/TH-TH. 9 กรกฎาคม 2561.</p>
</div>
<div data-bbox=)

Abu-Khalaf, N. and Bennedsen, B. S. 2002. Plum-tasting using near infra-red (NIR) technology. International Agrophysics, 16: 83-89.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- AOAC International. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC. International. 17th ed. AOAC. International, Arlington, USA.
- Bureau, S., Ruiz, D., Reich, M., Gouble, B., Bertrand, D. and Audergon, J. M. 2009. Application of ATR-FTIR for a rapid and simultaneous determination of sugars and organic acids in apricot fruit. *Food Chemistry*, 115: 1133–1140.
- Chandle, H.W. 1950. Evergreen orchard. Lea and Febiger Co., Ltd.: Filadelpia. 452 p.
- Chusri, O., Vorakhuldumrongchai, S. and Chantee, C. 2558. Research and Development Technology to Increase Fruit Yield Quality of Rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.).
- Gabrieli O. 2018. Quality traits prediction of the passion fruit pulp using NIR and MIR spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*, 95: 172–178.
- Garner, D., Crisosto, C.H., Wiley, P. and Crisosto, G.M. 2005. Measurement of pH and Titratable Acidity. *Quality Evaluation Methodology*. <http://fruitandnuteducation.ucdavis.edu/files/162035.pdf>.
- Oliveira, G. A., Bureau, S., Renard, C. M.-G. C., Pereira-Netto, A. B. and Castilhos, F. 2014. Comparison of NIRS approach for prediction of internal quality traits in three fruit species. *Food Chemistry*, 143: 223–230.
- Oliveira, G. A., Castilhos, F., Renard, C. M.-G. C. and Bureau, S. 2014. Comparison of NIR and MIR spectroscopic methods for determination of individual sugars, organic acids and carotenoids in passion fruit. *Food Research International*, 60: 154–162.
- Pedro, M. A. M. 2009. Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) em pó. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos). São José do Rio Preto: Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” [In Portuguese].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

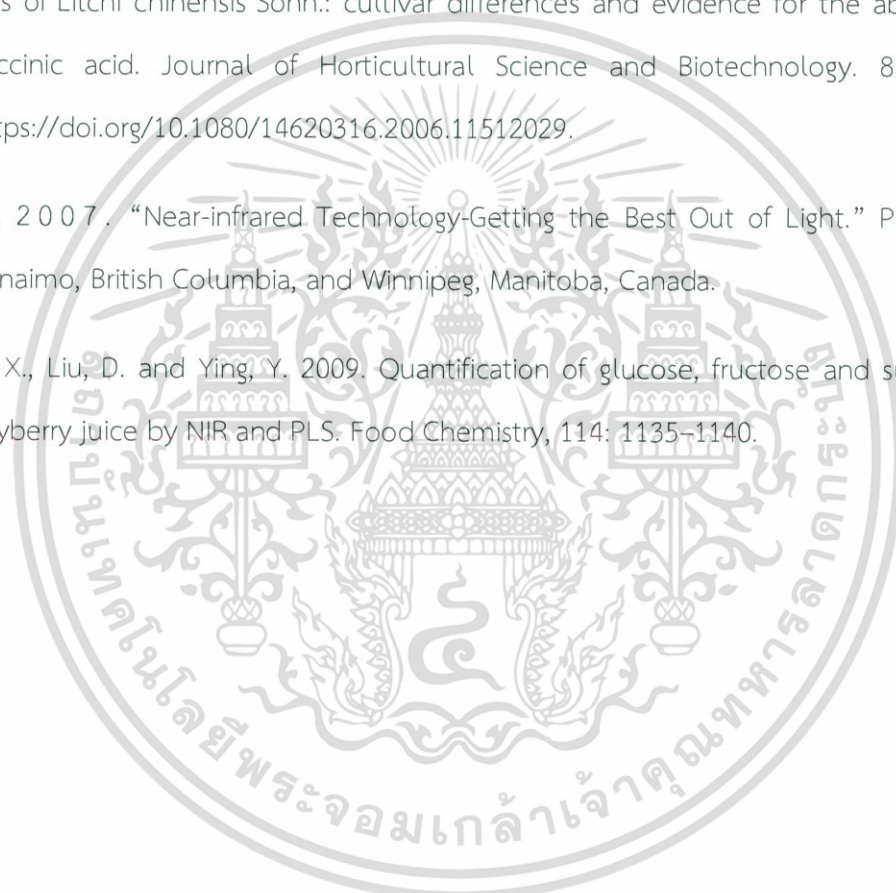
Scibisz, I., Reich, M., Bureau, S., Gouble, B., Causse, M. and Bertrand, D. 2011. Midinfrared spectroscopy as a tool for rapid determination of internal quality parameters in tomato. *Food Chemistry*, 125: 1390–1397.

Shao, Y., He, Y. 2007. Nondestructive measurement of the internal quality of bayberry juice using Vis/NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 79: 1015–1019.

Wang, H.C., Huang, H.B., Huang, X.M. and Hu, Z.Q. 2015. Sugar and acid compositions in the arils of *Litchi chinensis* Sonn.: cultivar differences and evidence for the absence of succinic acid. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81: 57-72. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512029>.

Williams, P. 2007. “Near-infrared Technology-Getting the Best Out of Light.” PDK Grain, Nanaimo, British Columbia, and Winnipeg, Manitoba, Canada.

Xie, L., Ye, X., Liu, D. and Ying, Y. 2009. Quantification of glucose, fructose and sucrose in bayberry juice by NIR and PLS. *Food Chemistry*, 114: 1135–1140.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

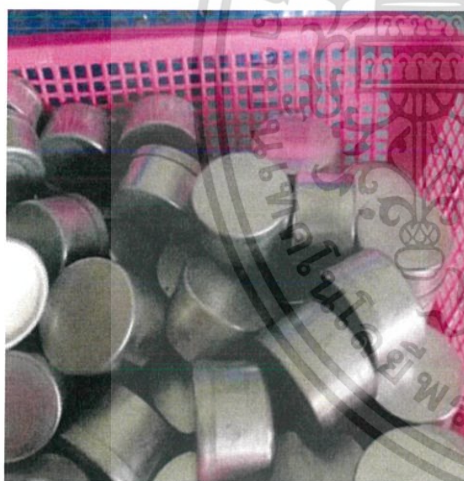
อุปกรณ์สำหรับการทดลอง



เงาะสายพันธุ์โรงเรียน



hot air oven



อลูมิเนียมแค่น



อุปกรณ์ในการไตเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก (ต่อ)



Refractometer



NIR hyperspectral image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการทำการทดลอง



การหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้



การไตเตรทเพื่อหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้



การอบเงาะด้วย hot air oven เพื่อหาปริมาณความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ค.1 แสดงข้อมูลดิบของการหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

หมายเลข	name	TA (%)			ที่ใช้	TA (%)
		น้ำหนัก	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสุดท้าย		
1		3.36	0	1.0	1.00	0.19
2		3.30	1.0	1.8	0.80	0.16
3		3.26	1.8	2.5	0.70	0.14
4		3.10	2.5	3.2	0.70	0.15
5		3.33	3.2	4.3	1.10	0.22
6		3.24	4.3	5.2	0.90	0.18
7		3.11	5.2	6.2	1.00	0.21
8		3.17	6.2	7.2	1.00	0.21
9		3.24	7.2	8.1	0.90	0.18
10		3.11	8.1	9.0	0.90	0.19
11		3.00	9.0	10.3	1.30	0.28
12		3.15	10.3	11.6	1.30	0.27
13		3.13	11.6	12.6	1.00	0.21
14		3.39	12.6	13.9	1.30	0.25
15		3.27	13.9	15	1.10	0.22
16		3.28	15	16.2	1.20	0.24
17		3.21	16.2	17	0.80	0.16
18		3.22	17	18.1	1.10	0.22
19		3.05	18.1	19	0.90	0.19
20		3.28	19	20.1	1.10	0.22
21		3.19	20.1	21.3	1.20	0.25
22		3.14	21.3	22.5	1.20	0.25
23		3.00	22.5	23.5	1.00	0.22
24		3.25	23.5	24.5	1.00	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

หมายเลข	name	TA (%)			ที่ใช้	TA (%)
		น้ำหนัก	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสุดท้าย		
	25	3.07	24.5	25.5	1.00	0.21
	26	3.28	25.5	26.6	1.10	0.22
	27	3.22	26.6	27.7	1.10	0.22
	28	3.06	27.7	28.8	1.10	0.24
	29	3.29	28.8	30.0	1.20	0.24
	30	3.07	30.0	30.9	0.90	0.19
	31	3.15	0	0.9	0.90	0.19
	32	3.09	0.9	1.8	0.90	0.19
	33	3.07	1.8	2.6	0.80	0.17
	34	3.09	2.6	3.5	0.90	0.19
	35	3.08	3.5	4.4	0.90	0.19
	36	3.13	4.4	5.2	0.80	0.17
	37	3.04	5.2	6.2	1.00	0.22
	38	3.12	6.2	7.0	0.80	0.17
	39	3.20	7.0	8.0	1.00	0.20
	40	3.11	8.0	8.9	0.90	0.19
	41	3.04	8.9	9.6	0.70	0.15
	42	3.00	9.6	10.7	1.10	0.24
	43	3.01	10.7	11.5	0.80	0.17
	44	3.20	11.5	12.7	1.20	0.25
	45	3.02	12.7	13.6	0.90	0.20
เนา	46	3.05	13.6	14.8	1.20	0.26
	47	3.17	14.8	15.5	0.70	0.14
	48	3.12	15.5	16.2	0.70	0.15
	49	3.12	16.2	17.0	0.80	0.17
	50	3.10	17.0	18.0	1.00	0.21
	51	3.20	18.0	18.9	0.90	0.18
	52	3.16	18.9	19.7	0.80	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

หมายเลข	name	TA (%)			ที่ใช้	TA (%)
		น้ำหนัก	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสุดท้าย		
53		3.07	19.7	20.6	0.90	0.19
54		3.30	20.6	21.7	1.10	0.22
55		3.24	0	1.1	1.10	0.22
56		3.18	21.7	22.6	0.90	0.19
57		3.12	22.6	23.5	0.90	0.19
58		3.01	23.5	24.3	0.80	0.17
59		3.04	24.3	25.0	0.70	0.15
60		3.10	25.0	25.8	0.80	0.17
61		3.06	15.6	16.4	0.80	0.17
62		3.23	16.4	17.2	0.80	0.16
63		3.02	17.2	18.1	0.90	0.20
64		3.31	18.1	19.2	1.10	0.22
65		3.12	19.2	20.0	0.80	0.17
66		3.34	20.0	20.9	0.90	0.18
67		3.10	20.9	21.5	0.60	0.13
68		3.15	21.5	22.4	0.90	0.19
69		3.50	22.4	23.3	0.90	0.17
70		3.05	23.3	24.1	0.80	0.17
71		3.46	24.1	25.1	1.00	0.19
72		3.10	25.1	26.0	0.90	0.19
73		3.07	26.0	27.1	1.10	0.23
74		3.03	27.1	28.0	0.90	0.19
75		3.12	28.0	28.8	0.80	0.17
76		3.21	28.8	29.7	0.90	0.18
77		3.44	29.7	30.9	1.20	0.23
78		3.09	30.9	31.9	1.00	0.21
79		3.02	31.9	32.9	1.00	0.22
80		3.15	32.9	33.7	0.80	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

หมายเลข	name	TA (%)			ที่ใช้	TA (%)
		น้ำหนัก	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสุดท้าย		
81		3.09	33.7	34.7	1.00	0.21
82		3.03	34.7	35.5	0.80	0.17
83		3.35	36.6	37.8	1.20	0.23
84		3.10	35.5	36.6	1.10	0.23
85		3.16	0	0.8	0.80	0.17
86		3.11	0.8	1.9	1.10	0.23
87		3.05	1.9	2.9	1.00	0.21
88		3.07	2.9	3.7	0.80	0.17
89		3.14	3.7	4.6	0.90	0.19
90		3.09	4.6	5.4	0.80	0.17
91		3.04	5.4	6.1	0.70	0.15
92	น้ำ	3.31	6.1	7.4	1.30	0.26
93		3.11	7.4	8.5	1.10	0.23
94		3.13	8.5	9.6	1.10	0.23
95		3.16	9.6	10.6	1.00	0.21
96		3.14	10.6	11.7	1.10	0.23
97		3.00	11.7	12.7	1.00	0.22
98		3.27	12.7	13.7	1.00	0.20
99		2.70	13.7	14.6	0.90	0.22
100		3.03	14.6	15.5	0.90	0.19
101		3.25	15.5	16.4	0.90	0.18
102		3.07	16.4	17.6	1.20	0.26
103		3.09	17.6	18.7	1.10	0.23
104		3.05	18.7	19.7	1.00	0.21
105		3.09	19.7	20.7	1.00	0.21
106		3.05	20.7	21.7	1.00	0.21
107		3.19	21.7	22.6	0.90	0.18
108		3.06	22.6	23.6	1.00	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

หมายเลข	name	TA (%)			ที่ใช้	TA (%)
		น้ำหนัก	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสุดท้าย		
109		3.05	23.6	24.6	1.00	0.21
110		3.01	24.6	25.5	0.90	0.20
111		3.26	25.5	26.3	0.80	0.16
112		3.01	26.3	27.3	1.00	0.22
113		3.03	27.3	28.1	0.80	0.17
114		3.19	28.1	29.1	1.00	0.21
115		3.15	29.1	30.0	0.90	0.19
116		3.10	30.0	30.9	0.90	0.19
117		3.06	30.9	32.0	1.10	0.24
118		3.12	32.0	33.1	1.10	0.23
119	ไม่มีภาพ	3.05	33.1	33.9	0.80	0.17
120		3.21	33.9	34.7	0.80	0.16
121		3.11	0	0.8	0.80	0.17
122		3.27	0.8	1.8	1.00	0.20
123		3.16	1.8	2.9	1.10	0.23
124		3.04	2.9	3.8	0.90	0.20
125		3.01	3.8	4.9	1.10	0.24
126		3.24	4.9	5.8	0.90	0.18
127		3.20	0.0	0.7	0.70	0.14
128		3.08	4.7	5.4	0.70	0.15
129		3.16	5.4	6.0	0.60	0.13
130		3.02	6.0	6.7	0.70	0.15
131		3.09	6.7	7.3	0.60	0.13
132		3.16	7.3	7.9	0.60	0.13
133		3.16	7.9	8.5	0.60	0.13
134		3.18	8.5	9.0	0.50	0.10
135		3.04	9.0	9.6	0.60	0.13
136		3.16	9.6	10.2	0.60	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

หมายเลข	name	TA (%)			ที่ใช้	TA (%)
		น้ำหนัก	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสุดท้าย		
	137	3.30	10.2	11.2	1.00	0.20
	138	3.02	11.2	11.8	0.60	0.13
	139	3.15	11.8	12.7	0.90	0.19
	140	3.08	12.7	13.4	0.70	0.15
	141	3.29	13.4	13.9	0.50	0.10
	142	3.02	13.9	14.4	0.50	0.11
	143	3.19	14.4	15.0	0.60	0.12
	144	3.05	15.0	15.8	0.80	0.17
	145	3.06	15.8	16.6	0.80	0.17
	146	3.05	16.6	17.5	0.90	0.20
	147	3.17	17.5	18.4	0.90	0.19
	148	3.15	18.4	19.1	0.70	0.15
	149	3.16	19.1	20.3	1.20	0.25
	150	3.12	20.3	21.0	0.70	0.15
	151	3.09	21.0	21.4	0.40	0.09
	152	3.11	21.4	22.3	0.90	0.19
	153	3.29	21.3	22.5	1.20	0.24
เนา	154	3.39	22.5	23.9	1.40	0.27
	155	3.37	23.9	24.8	0.90	0.18
	156	3.08	24.8	25.6	0.80	0.17
	157	3.09	25.6	26.7	1.10	0.24
	158	3.73	26.7	27.5	0.80	0.14
	159	3.37	27.5	28.4	0.90	0.18
	160	3.43	28.4	29.5	1.10	0.21
	161	3.23	29.5	30.6	1.10	0.23
	162	3.17	30.6	31.5	0.90	0.19
เนา	163	3.06	31.5	32.6	1.10	0.24
	164	3.26	28.6	29.5	0.90	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

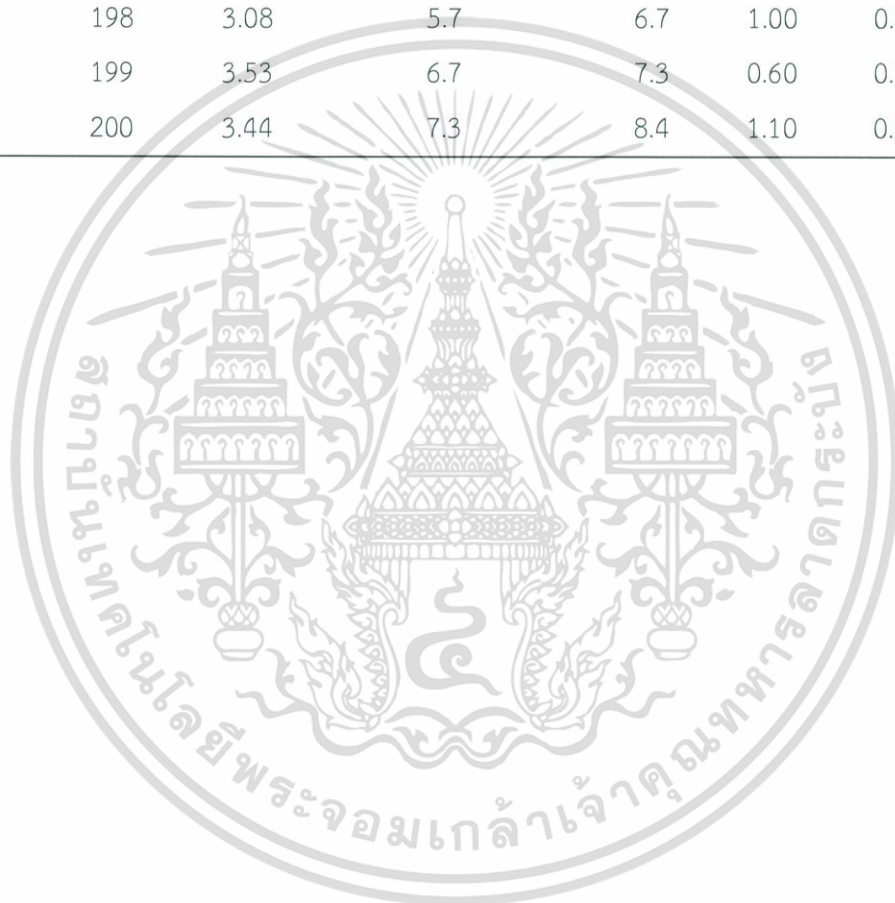
ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

หมายเลข	name	TA (%)			ที่ใช้	TA (%)
		น้ำหนัก	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสุดท้าย		
165		3.12	29.5	30.4	0.90	0.19
167		3.17	31.3	31.9	0.60	0.13
168		3.16	31.9	32.5	0.60	0.13
169		3.10	32.5	33.1	0.60	0.13
170		3.05	33.1	33.9	0.80	0.17
171		3.32	33.9	34.8	0.90	0.18
172		3.17	34.8	35.5	0.70	0.15
173		3.07	35.5	36.2	0.70	0.15
174		3.01	36.2	37.0	0.80	0.18
175		3.06	37.0	38.0	1.00	0.22
176		3.32	38.0	39.0	1.00	0.20
177		3.24	39.0	39.7	0.70	0.14
178		3.21	39.7	40.6	0.90	0.19
179		2.79	40.6	41.1	0.50	0.12
180		3.18	41.1	41.7	0.60	0.12
181		3.34	41.7	42.4	0.70	0.14
182		3.23	42.4	43.0	0.60	0.12
183		3.09	43.0	43.7	0.70	0.15
184		3.12	43.7	44.3	0.60	0.13
185		3.06	44.3	45.1	0.80	0.17
186		3.15	45.1	46.0	0.90	0.19
187		3.14	46.0	46.7	0.70	0.15
188		3.15	46.7	47.3	0.60	0.13
189		3.65	47.3	48.1	0.80	0.15
190		2.69	48.1	48.9	0.80	0.20
191		3.19	48.9	50.0	1.10	0.23
192		2.75	1.5	2.1	0.60	0.14
193		2.10	2.1	2.6	0.50	0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

หมายเลข	name	TA (%)			ที่ใช้	TA (%)
		น้ำหนัก	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสุดท้าย		
194		3.21	2.6	3.1	0.50	0.10
195		3.29	3.1	3.8	0.70	0.14
196		3.37	3.8	4.7	0.90	0.18
197		3.34	4.7	5.7	1.00	0.20
198		3.08	5.7	6.7	1.00	0.21
199		3.53	6.7	7.3	0.60	0.11
200		3.44	7.3	8.4	1.10	0.21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 แสดงข้อมูลดิบของการหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

หมายเลข	name	TSS (°Brix)			
		1	2	3	mean
1		18.6	18.6	18.4	18.53
2		21.4	21	21.2	21.20
3		20.8	20.4	20.2	20.47
4		21.6	21.2	21.9	21.57
5		22.3	21.9	22.8	22.33
6		22.1	22.2	22.5	22.27
7		21.8	21.8	21.8	21.80
8		21.3	20.3	21.3	20.97
9		20.4	21.1	21.5	21.00
10		20.4	20.5	21	20.63
11		20.9	21.1	21	21.00
12		20.3	20.5	20.2	20.33
13		21.6	21.4	21.5	21.50
14		20.2	20.1	20	20.10
15		22.4	22.2	22.1	22.23
16		20.5	20.7	20.3	20.50
17		20.4	21.3	20.9	20.87
18		22.9	22.7	22.6	22.73
19		23	22.9	23	22.97
20		22.7	22.2	22.9	22.60
21		24	23.2	23.4	23.53
22		22.6	22.5	22.6	22.57
23		22.9	22.5	22.6	22.67
24		23.9	23.8	23.8	23.83
25		22.3	22.2	22.4	22.30
26		22.4	22.5	22.7	22.53
27		20.9	20.4	20.5	20.60
28		20	19.8	19.6	19.80
29		12.9	14.3	15.2	14.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

หมายเลข	name	TSS (°Brix)			
		1	2	3	mean
	30	16	15.6	14.6	15.40
	31	17.9	16.7	16.7	17.10
	32	20.2	20.4	20.4	20.33
	33	20.5	19.9	19.9	20.10
	34	20.5	20.8	21	20.77
	35	20.9	21.5	21.5	21.30
	36	22.4	22.5	22	22.30
	37	20	19.9	20.4	20.10
	38	21.1	21.5	21.3	21.30
	39	21.2	21.3	21.3	21.27
	40	21.2	21.9	21.7	21.60
	41	21.2	20.2	20	20.47
	42	22.1	21.9	21.8	21.93
	43	20.5	20.2	20.1	20.27
	44	19.9	20.5	20.4	20.27
	45	20.3	19.9	20.7	20.30
	46	20.8	20.7	21	20.83
	47	20.6	20.5	20.2	20.43
	48	21.9	21.4	21.6	21.63
	49	21.2	22.3	21.9	21.80
	50	19.4	19.5	20.1	19.67
	51	19.4	19.1	19.4	19.30
	52	22.5	22.4	23	22.63
	53	20.6	21.2	21.1	20.97
	54	20.5	20.6	20.6	20.57
	55	19.1	19.4	20.1	19.53
เน่า	56	22.4	22.7	22.7	22.60
	57	22	21.9	22.1	22.00
	58	22.7	22.2	22.7	22.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

หมายเลข	name	TSS (°Brix)			
		1	2	3	mean
59		21.7	21.9	21.4	21.67
60		22	22.1	22	22.03
61		20	19.4	19.8	19.73
62		22.5	22.9	22.9	22.77
63		22	22.2	22.2	22.13
64		20.6	20.5	20.4	20.50
65		21.2	20.5	20.9	20.87
66		22	21.9	21.5	21.80
67		20.2	20.2	20.2	20.20
68		20.5	20.3	20.5	20.43
69	แข็ง	23.5	23.6	23.7	23.60
70		20.8	20.9	20.9	20.87
71		18.9	18.5	19.4	18.93
72		21.9	22	22.2	22.03
73		19.7	19.9	20.3	19.97
74		21	20.9	20.6	20.83
75		19.9	19.3	20	19.73
76		20.8	20.7	20.7	20.73
77		21.5	21.1	20.7	21.10
78		21.9	22.3	22.6	22.27
79		20.8	21.4	21.1	21.10
80		21.5	22.2	22.2	21.97
81		21.5	21.5	21.5	21.50
82		21.9	22.1	21.9	21.97
83		21.9	21.7	21.9	21.83
84		23.1	22.6	22.8	22.83
85		20.7	21.2	20.9	20.93
86		22.1	22.3	22.4	22.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

หมายเลข	หมายเหตุ	name	TSS (°Brix)			
			1	2	3	mean
	น้ำเยอะ	87	20.9	21.1	21.2	21.07
		88	22.3	22.3	22.4	22.33
		89	20.5	21.1	21.1	20.90
	น้ำเยอะ	90	20.4	20.3	20.2	20.30
		91	19.1	18.6	18.5	18.73
		92	22.5	22.6	22.3	22.47
		93	23.1	23.5	23.5	23.37
		94	22.5	22.3	22.4	22.40
		95	23.1	22.7	22.4	22.73
		96	22.7	22.6	22.3	22.53
		97	22.8	22.5	23.3	22.87
	เน่า	98	21.8	22	21.8	21.87
	ผุดปกติ	99	19.6	19.8	19.8	19.73
		100	20.6	20.5	20.4	20.50
		101	21.7	21.6	21.9	21.73
		102	21.2	21.5	21	21.23
		103	23.4	23	23.3	23.23
		104	22.2	22.1	21.9	22.07
		105	23	22.8	22.8	22.87
		106	22.8	22.8	22.8	22.80
		107	22.7	22.6	22.6	22.63
		108	25	25.2	25.2	25.13
		109	22.8	22.9	22.8	22.83
		110	23.1	23	23	23.03
		111	22.7	22.7	22.7	22.70
	ไม่มีภาพ	112	25.1	24.3	24.9	24.77
		113	22.3	21.1	21.1	21.50
		114	22.1	22	22.1	22.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

หมายเลข	หมายเหตุ	name	TSS (°Brix)			
			1	2	3	mean
115	น้ำเยอะ		20.5	20.2	19.8	20.17
116			21.6	21.5	21.1	21.40
117			20.9	20.8	20.9	20.87
118			22.9	22.5	22.8	22.73
119			24	23.8	23.3	23.70
120			24	24.4	24	24.13
121			21.9	22.2	22.4	22.17
122			21.5	21.7	21.8	21.67
123			20.7	20.9	20.9	20.83
124	น้ำเยอะ		21	20.7	20.8	20.83
125	น้ำเยอะ		21.8	21.8	21.7	21.77
126			21	21	21.1	21.03
127			21.4	21.4	21.4	21.40
128			20.9	20.8	20.5	20.73
129			22	21.7	21.8	21.83
130	เน่า		20.7	20.5	19.9	20.37
131			22.5	22.8	23.1	22.80
132			19.4	19.6	19.8	19.60
133			22.7	22.6	22.5	22.60
134			20.4	20.1	20	20.17
135			21.7	21.7	21.6	21.67
136			19.6	19.4	19.7	19.57
137			21.7	21.7	22	21.80
138			21.6	21.6	21.3	21.50
139			22.5	21.8	21.6	21.97
140			20.1	20	19.6	19.90
141			22.3	22.5	22.7	22.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

หมายเลข	name	TSS (°Brix)			
		1	2	3	mean
142		22.4	22.4	23	22.60
143		23.7	23.6	23.5	23.60
144		23.3	23.5	22.9	23.23
145		22.8	22.9	22.9	22.87
146		22.1	21.8	21.6	21.83
147		21.9	21.8	21.6	21.77
148		22.2	22.1	21.7	22.00
149		19.5	19.6	19.7	19.60
150		21.5	22	21.7	21.73
151		22	21.9	21.7	21.87
152		22.5	22.4	22	22.30
153		22.8	22.5	22.6	22.63
154		22.6	22.5	22.3	22.47
155		23	23	22.7	22.90
156		18.7	18.5	18.9	18.70
157		20.6	20.4	20.4	20.47
158	น้ำ	18.9	18.8	18.7	18.80
159		20	19.8	19.8	19.87
160		18.4	18.7	18.5	18.53
161		19.7	20.1	19.9	19.90
162		19	19.2	19.3	19.17
163		20	19.8	19.4	19.73
164		18.8	18.5	18.6	18.63
165		19.8	19.9	20	19.90
166		20.5	20.6	20.8	20.63
167		20.8	20.9	21	20.90
168		19.8	19.7	19.8	19.77
169		17.1	16.9	16.9	16.97
170		19.1	19.2	19.1	19.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

หมายเลข	name	TSS (°Brix)			
		1	2	3	mean
171		19.4	19.3	19.4	19.37
172		19.4	19.4	19.4	19.40
173		18.7	18.8	18.5	18.67
174		18.6	18.5	18.8	18.63
175		18.9	18.9	19	18.93
176		17.3	17.2	17.2	17.23
177		18.1	18	17.9	18.00
178		18.9	19.1	19	19.00
179		17.8	17.7	17.9	17.80
180		19.4	19.5	19.6	19.50
181		19.7	19.8	19.7	19.73
182		19	19.1	19.2	19.10
183		20.4	20.3	20.3	20.33
184		19.5	19.5	19.4	19.47
185		18.5	18	18.3	18.27
186		20	20.2	20.4	20.20
187		19.2	19.2	18.9	19.10
188		19.5	19.6	19.8	19.63
189		19.1	19.4	18.9	19.13
190		19	19.4	18.9	19.10
191		19.7	19.8	19.5	19.67
192		20.9	21	21.1	21.00
193		20	20.1	19.9	20.00
194		20.9	21.1	21.2	21.07
195		20.9	21.1	20.8	20.93
196		20.5	20.5	20.5	20.50
197		21.5	21.5	21.5	21.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

หมายเลข	name	TSS (°Brix)			
		1	2	3	mean
198		19.7	19.6	19.4	19.57
199		21.3	21.1	20.9	21.10
200		20.8	21.2	21.9	21.30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 แสดงข้อมูลดิบของการหาปริมาณความชื้น

หมายเหตุ	name	MC (%)						MC (%)
		ผลไม้	can	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ can	หลังอบ can	
น้ำหนัก	1	33.2224	18.0660	35.3125	18.6901	2.8369	0.6241	78.0006
น้ำหนัก	2	37.5297	14.6084	34.8176	15.2910	3.2163	0.6826	78.7769
น้ำหนัก	3	38.3457	17.5682	36.7508	18.2031	2.8945	0.6349	78.0653
น้ำหนัก	4	37.9619	16.3651	34.3862	16.9912	2.7966	0.6261	77.6121
น้ำหนัก	5	39.9662	14.7253	36.4177	15.3944	2.9064	0.6691	76.9784
น้ำหนัก	6	43.0796	15.0385	37.0189	15.6647	2.9824	0.6262	79.0035
น้ำหนัก	7	37.0602	14.3380	33.0885	14.9734	3.0495	0.6354	79.1638
น้ำหนัก	8	38.2818	17.7019	38.4852	18.3287	3.0830	0.6268	79.6692
น้ำหนัก	9	42.2242	17.9225	37.8985	18.5480	3.0022	0.6255	79.1653
น้ำหนัก	10	38.8526	17.5348	36.9684	18.1717	2.7627	0.6369	76.9465
	11	36.0090	16.7460	35.4701	20.8522	18.7241	4.1062	78.0700
	12	36.4648	16.0157	34.3644	19.9950	18.3487	3.9793	78.3129
	13	30.7101	15.0372	29.3907	18.1896	14.3535	3.1524	78.0374
	14	40.1276	16.9587	37.9662	21.5861	21.0075	4.6274	77.9726
	15	34.3592	13.2518	33.7312	17.0615	20.4794	3.8097	81.3974
	16	34.8565	13.2861	30.2219	16.7141	16.9358	3.4280	79.7589
	17	34.8486	15.1215	32.4970	18.8947	17.3755	3.7732	78.2844
	18	34.0555	15.8605	32.9680	19.3724	17.1075	3.5119	79.4716
	19	35.7703	18.3940	37.5856	22.4959	19.1916	4.1019	78.6266
	20	37.3942	17.0272	35.6976	20.6145	18.6704	3.5873	80.7862
	21	35.2068	17.6922	34.0739	20.9542	16.3817	3.2620	80.0875
	22	32.4437	16.4947	32.2515	19.8871	15.7568	3.3924	78.4702
	23	39.2185	15.2257	34.6525	19.4734	19.4268	4.2477	78.1348
	24	43.5271	16.7898	37.8973	20.7474	21.1075	3.9576	81.2503
	25	41.7432	15.3050	38.4957	19.7065	23.1907	4.4015	81.0204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

หมายเลข	name	MC (%)						MC (%)
		ผลไม้	can	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ can	หลังอบ can	
26	26.2804	15.2038	27.6971	17.7977	12.4933	2.5939	79.2377	
27	45.1380	15.5448	35.8342	19.5349	20.2894	3.9901	80.3341	
28	35.0992	17.7056	35.6586	21.4266	17.9530	3.7210	79.2737	
29	32.9189	15.5228	31.7799	18.8310	16.2571	3.3082	79.6507	
30	31.1236	17.8582	33.1275	21.0210	15.2693	3.1628	79.2865	
31	34.3769	17.5116	34.8144	20.8436	17.3028	3.3320	80.7430	
32	32.1536	16.2484	32.1952	19.4973	15.9468	3.2489	79.6266	
33	39.2111	17.7535	36.8231	21.7571	19.0696	4.0036	79.0053	
34	28.9332	15.4261	29.8538	18.3327	14.4277	2.9066	79.8540	
35	33.1108	16.4908	33.7740	20.0688	17.2832	3.5780	79.2978	
36	40.6808	17.8933	39.1798	22.0682	21.2865	4.1749	80.3871	
37	46.0097	17.5070	38.2814	21.3134	20.7744	3.8064	81.6774	
38	34.4178	16.6971	34.2428	20.2059	17.5457	3.5088	80.0019	
39	42.6962	17.8404	38.6377	22.3278	20.7973	4.4874	78.4232	
40	38.8072	16.3018	37.1767	20.6032	20.8749	4.3014	79.3944	
41	41.4678	14.9763	34.0583	18.5203	19.0820	3.5440	81.4275	
42	42.6152	14.7427	35.5372	19.0770	20.7945	4.3343	79.1565	
43	28.3236	16.9274	31.2063	19.9286	14.2789	3.0012	78.9816	
44	28.9962	16.0014	29.8717	18.8846	13.8703	2.8832	79.2131	
45	28.3257	14.3459	29.8233	17.4315	15.4774	3.0856	80.0638	
46	31.6627	17.6594	33.2546	20.9202	15.5952	3.2608	79.0910	
47	41.7853	17.5001	36.5239	21.1552	19.0238	3.6551	80.7867	
48	29.2956	17.6665	32.9262	20.5938	15.2597	2.9273	80.8168	
49	33.7727	17.8483	35.0969	21.2288	17.2486	3.3805	80.4013	
50	37.9197	16.2795	34.0315	19.8167	17.7520	3.5372	80.0744	
51	36.9772	16.4882	35.9576	20.4302	19.4694	3.9420	79.7528	
52	38.3624	15.9993	35.8811	19.9262	19.8818	3.9269	80.2488	
53	40.8640	15.3077	35.8590	18.5903	20.5513	3.2826	84.0273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

หมายเลข	name	MC (%)						MC (%)
		ผลไม้	can	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ can	หลังอบ can	
ไม่มี ภาพ	54	40.4133	14.6511	37.0484	18.9757	22.3973	4.3246	80.6914
	55	45.9394	17.5201	42.2317	22.5396	24.7116	5.0195	79.6877
เน่า	56	39.5049	17.8042	38.6933	22.1862	20.8891	4.3820	79.0226
	57	42.3115	14.9541	34.2479	18.6702	19.2938	3.7161	80.7394
	58	44.2903	16.9697	39.7853	21.2643	22.8156	4.2946	81.1769
	59	37.1377	16.2988	37.2435	20.2945	20.9447	3.9957	80.9226
	60	44.6651	16.5515	39.4207	21.1040	22.8692	4.5525	80.0933
	61	37.1071	13.9183	33.1789	17.6850	19.2606	3.7667	80.4435
	62	42.0769	17.5781	40.6739	22.0300	23.0958	4.4519	80.7242
	63	39.2942	16.3202	36.4083	20.6321	20.0881	4.3119	78.5351
	64	36.7569	17.6193	34.9707	21.3853	17.3514	3.7660	78.2957
	65	35.9586	17.6564	36.0315	21.2486	18.3751	3.5922	80.4507
	66	40.6065	16.7467	38.0686	20.9385	21.3219	4.1918	80.3404
	67	36.2684	15.7731	33.4090	19.5131	17.6359	3.7400	78.7933
	68	35.3624	17.7880	36.4825	21.5383	18.6945	3.7503	79.9390
	69	32.4404	15.4857	31.2698	18.7561	15.7841	3.2704	79.2804
	70	41.7119	17.6445	39.0208	21.9867	21.3763	4.3422	79.6868
	71	34.5663	19.3429	36.9495	22.8059	17.6066	3.4630	80.3312
	72	35.1403	17.6645	38.0513	21.4287	20.3868	3.7642	81.5361
73	44.1430	15.1294	36.7148	19.3818	21.5854	4.2524	80.2996	
74	32.8222	17.9090	36.3000	21.6441	18.3910	3.7351	79.6906	
75	32.1157	15.5730	32.2913	19.7877	16.7183	4.2147	74.7899	
76	36.2080	19.7434	37.7707	23.3038	18.0273	3.5604	80.2500	
77	32.1422	15.0845	31.0331	18.3650	15.9486	3.2805	79.4308	
78	41.5796	15.7023	37.6545	20.1570	21.9522	4.4547	79.7073	
79	32.9711	17.1740	34.8795	20.6057	17.7055	3.4317	80.6179	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

หมายเลข	name	MC (%)						MC (%)
		ผลไม้	can	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ can	หลังอบ can	
	80	41.5020	14.4410	37.8677	19.0488	23.4267	4.6078	80.3310
	81	33.5056	16.7855	34.5486	20.1624	17.7631	3.3769	80.9892
เนา	82	38.4326	13.8697	31.7355	17.6971	17.8658	3.8274	78.5769
	83	30.8929	15.3494	31.2373	18.3838	15.8879	3.0344	80.9012
	84	41.4579	14.9394	35.1587	19.1104	20.2193	4.1710	79.3712
	85	31.9233	14.8664	30.5537	17.5084	15.6873	2.6420	83.1584
	86	28.9272	17.7438	31.4929	20.7252	13.7491	2.9814	78.3157
	87	36.4672	15.2297	34.2506	18.9088	19.0209	3.6791	80.6576
	88	38.8229	17.6434	36.9099	21.7590	19.2665	4.1156	78.6386
	89	47.3364	14.8572	39.4454	19.9272	24.5882	5.0700	79.3804
เนา	90	31.8456	14.6920	28.1306	16.9727	13.4386	2.2807	83.0287
	91	26.9510	15.3022	28.9549	17.6876	13.6527	2.3854	82.5280
	92	34.0999	19.9590	28.0070	23.4698	8.0480	3.5108	56.3767
	93	36.5680	17.5609	37.3338	21.5110	19.7729	3.9501	80.0227
	94	30.4966	17.6739	33.7090	20.7765	16.0351	3.1026	80.6512
	95	27.2586	18.6214	30.0702	20.4991	11.4488	1.8777	83.5992
	96	30.5813	17.3971	34.4147	20.6175	17.0176	3.2204	81.0761
	97	23.8794	15.3193	34.7688	19.0199	19.4495	3.7006	80.9733
	98	23.8794	17.5837	28.6890	19.9531	11.1053	2.3694	78.6642
	99	24.9270	17.5951	29.4839	20.3171	11.8888	2.7220	77.1045
	100	31.9550	17.0406	33.6335	20.6646	16.5929	3.6240	78.1593
	101	41.4412	15.1269	34.8643	19.2084	19.7374	4.0815	79.3210
	102	49.2081	17.1313	32.7822	19.8772	15.6509	2.7459	82.4553
	103	41.8946	16.6044	37.1205	20.5488	20.5161	3.9444	80.7741
	104	44.0116	17.3522	40.1477	22.0762	22.7955	4.7240	79.2766
	105	43.7702	16.2634	39.2485	20.7994	22.9851	4.5360	80.2655
	106	37.7865	16.5087	35.6374	20.5656	19.1287	4.0569	78.7916
	107	38.4037	16.7445	36.0533	20.6468	19.3088	3.9023	79.7900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

หมายเลข	name	MC (%)						MC (%)
		ผลไม้	can	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ can	หลังอบ can	
108		44.9766	18.0148	39.9735	22.2818	21.9587	4.2670	80.5681
109		41.3817	15.5355	37.1633	20.1027	21.6278	4.5672	78.8827
110		40.3134	19.0272	39.7174	23.4247	20.6902	4.3975	78.7460
111		39.1162	17.9342	37.0567	21.4727	19.1225	3.5385	81.4956
112		40.0919	16.6470	37.3049	21.0453	20.6579	4.3983	78.7089
113		41.8534	17.6657	38.4020	21.9563	20.7363	4.2906	79.3087
114		35.6708	15.6834	35.6708	19.8837	19.9874	4.2003	78.9853
115		46.2496	20.6987	45.2740	25.5838	24.5753	4.8851	80.1219
116		46.6240	17.0889	36.4464	20.6655	19.3575	3.5766	81.5234
117		39.4146	17.6083	38.0960	21.9487	20.4877	4.3404	78.8146
118		42.2450	13.8167	31.7113	17.2170	17.8946	3.4003	80.9982
119		40.3112	15.9292	34.6912	20.0696	18.7620	4.1404	77.9320
120		37.1493	17.7507	37.5043	21.8190	19.7536	4.0683	79.4048
121		43.1271	14.6943	36.7958	19.3386	22.1015	4.6443	78.9865
122		36.7274	17.3092	37.5381	21.6230	20.2289	4.3138	78.6751
123		43.0667	17.4921	39.1463	22.0661	21.6542	4.5740	78.8771
124		41.0261	15.4848	38.6207	20.4114	23.1359	4.9266	78.7059
125		44.8921	14.7879	31.4863	18.0658	16.6984	3.2779	80.3700
126		38.3253	18.6847	37.1320	22.2780	18.4473	3.5933	80.5213
127		38.9369	15.4034	29.9558	18.2497	14.5524	2.8463	80.4410
128		45.0032	15.3810	37.6249	19.7890	22.2439	4.4080	80.1833
129		36.0083	15.5325	32.9289	19.2369	17.3964	3.7044	78.7059
130		35.7645	16.6956	34.1404	20.2272	17.4448	3.5316	79.7556
131		33.5814	14.5025	35.0709	21.4302	20.5684	6.9277	66.3187
132		37.3532	14.8679	35.5927	21.5708	20.7248	6.7029	67.6576
133		52.9304	17.6827	34.0176	21.2438	16.3349	3.5611	78.1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

หมายเลข	name	MC (%)						MC (%)
		ผลไม้	can	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ can	หลังอบ can	
134		35.9980	15.4900	32.4845	18.4726	16.9945	2.9826	82.4496
135		42.6153	14.7844	35.1627	18.9407	20.3783	4.1563	79.6043
136		43.4103	15.1615	36.0996	19.8122	20.9381	4.6507	77.7883
137		44.5261	16.2316	36.8403	20.7923	20.6087	4.5607	77.8700
138		37.6162	18.0569	38.6437	22.4545	20.5868	4.3976	78.6387
139		44.6529	16.3113	37.5451	18.9580	21.2338	2.6467	87.5354
140		37.6427	16.6630	35.9519	20.5488	19.2889	3.8858	79.8547
141		34.5715	15.3826	33.5488	19.1297	18.1662	3.7471	79.3732
142		38.8403	13.2495	32.0649	17.2947	18.8154	4.0452	78.5006
143		42.1213	18.0852	38.9177	22.1655	20.8325	4.0803	80.4138
144		40.1717	16.7650	38.4442	21.2786	21.6792	4.5136	79.1800
145		40.5453	17.3142	40.0983	22.0271	22.7841	4.7129	79.3150
146		40.9414	17.6914	37.7502	21.5855	20.0588	3.8941	80.5866
147		41.3479	17.9399	40.4272	22.8542	22.4873	4.9143	78.1463
148		39.9182	17.5268	35.8603	21.0898	18.3335	3.5630	80.5656
149		37.5745	17.7384	37.3928	21.9708	19.6544	4.2324	78.4659
150		39.4354	17.6213	34.3396	21.3815	16.7183	3.7602	77.5085
151		39.0306	17.0269	35.2533	20.7502	18.2264	3.7233	79.5719
152		36.5034	14.8484	33.8815	18.5342	19.0331	3.6858	80.6348
153		36.4266	17.6120	35.3202	21.2403	17.7082	3.6283	79.5106
154		39.7501	15.8937	35.7973	20.0032	19.9036	4.1095	79.3530
155		41.4225	16.7270	36.9935	21.3375	20.2665	4.6105	77.2506
156		42.8030	16.5523	38.1440	21.2597	21.5917	4.7074	78.1981
157		36.1855	17.5271	36.1438	21.4354	18.6167	3.9083	79.0065
158		41.2830	18.1078	38.8136	20.9236	20.7058	2.8158	86.4009
159		36.1404	17.6566	34.9746	21.3904	17.3180	3.7338	78.4398
160		37.9460	14.3965	33.8978	18.5692	19.5013	4.1727	78.6030
161		35.2214	15.7915	32.7290	19.0587	16.9375	3.2672	80.7103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

หมายเลข	name	MC (%)						MC (%)
		ผลไม้	can	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ can	หลังอบ can	
162		45.1547	16.0156	38.3371	20.1934	22.3215	4.1778	81.2835
163		38.7096	17.6407	36.2511	21.2790	18.6104	3.6383	80.4502
164		37.1094	15.9471	33.0871	19.1312	17.1400	3.1841	81.4230
165		37.2576	17.9281	38.0800	22.0917	20.1519	4.1636	79.3389
166		45.9390	17.7293	42.2950	23.0914	24.5657	5.3621	78.1724
167		35.8318	17.9009	35.0864	21.4941	17.1855	3.5932	79.0917
168		40.5720	17.1964	37.1491	21.1537	19.9527	3.9573	80.1666
169		38.1710	15.8544	34.4344	19.6751	18.5800	3.8207	79.4365
170		40.3480	16.0215	35.1453	19.7880	19.1238	3.7665	80.3046
171		38.7345	17.7555	39.4784	22.4492	21.7229	4.6937	78.3928
172		30.3497	15.8048	26.1673	17.3093	10.3625	1.5045	85.4813
173		31.1544	17.4116	32.7414	20.7297	15.3298	3.3181	78.3552
174		44.7962	16.0913	39.0633	20.7962	22.9720	4.7049	79.5190
175		38.9997	14.9693	35.1809	19.4772	20.2116	4.5079	77.6965
176		30.3182	16.9507	28.5932	19.5627	11.6425	2.6120	77.5650
177		33.7972	17.8262	34.3397	21.4231	16.5135	3.5969	78.2184
178		32.7982	18.5405	37.6382	22.5712	19.0977	4.0307	78.8943
หน้า	179	35.0706	16.9149	27.6138	19.1287	10.6989	2.2138	79.3082
	180	32.2351	17.8596	32.8697	21.3090	15.0101	3.4494	77.0195
	181	35.4912	14.5482	34.1367	18.4767	19.5885	3.9285	79.9449
	182	33.9589	17.6422	33.3671	20.7526	15.7249	3.1104	80.2199
	183	36.6303	17.7914	40.7537	22.6720	22.9623	4.8806	78.7452
	184	40.1357	17.5943	37.5637	21.6175	19.9694	4.0232	79.8532
	185	36.9948	18.0243	37.4786	22.0124	19.4543	3.9881	79.5002
	186	37.4312	17.6274	37.4741	22.0192	19.8467	4.3918	77.8714
	187	33.5095	14.5785	32.2312	18.1828	17.6527	3.6043	79.5822
	188	39.2959	17.2936	37.5036	21.5606	20.2100	4.2670	78.8867

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

หมายเลข	name	MC (%)						MC (%)
		ผลไม้	can	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ can	หลังอบ can	
189		51.6104	14.2308	39.2848	19.2725	25.0540	5.0417	79.8767
190		35.8102	19.2190	37.1550	22.9552	17.9360	3.7362	79.1693
191		38.3385	16.5612	36.9462	20.8454	20.3850	4.2842	78.9836
192		34.8518	15.2741	32.3618	18.6984	17.0877	3.4243	79.9604
ไม่มีภาพ	193	41.4985	16.1730	36.8917	20.2823	20.7187	4.1093	80.1662
	194	37.1740	15.6845	35.2813	19.6986	19.5968	4.0141	79.5166
	195	30.9307	15.9945	29.1109	17.8841	13.1164	1.8896	85.5936
	196	35.2136	14.7014	32.2277	18.4064	17.5263	3.7050	78.8603
	197	34.3552	17.6146	35.0400	21.3613	17.4254	3.7467	78.4986
	198	36.3400	15.1027	33.5486	18.6176	18.4459	3.5149	80.9448
	199	33.6442	17.5446	34.4752	20.8840	16.9306	3.3394	80.2760
	200	51.6363	16.6243	32.6141	19.7024	15.9898	3.0781	80.7496
	201	38.1990	17.5967	37.1909	21.8636	19.5942	4.2669	78.2237
	202	33.7340	16.5014	34.6955	20.3131	18.1941	3.8117	79.0498
	203	29.5500	13.4501	30.8764	18.6670	17.4263	5.2169	70.0631
	204	32.1604	14.7889	30.7106	18.1292	15.9217	3.3403	79.0205
	205	33.3095	20.1282	37.6945	23.9852	17.5663	3.8570	78.0432
	206	31.3890	16.6661	32.6238	19.9659	15.9577	3.2998	79.3216
	207	33.8078	14.9760	29.3929	17.9324	14.4169	2.9564	79.4935
	208	33.9211	17.8028	34.6005	21.0509	16.7977	3.2481	80.6634
	209	35.5530	16.3512	32.2551	19.5221	15.9039	3.1709	80.0621
	210	30.2860	17.6288	32.0191	20.5713	14.3903	2.9425	79.5522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายวัชรกร โตจำลี

วัน เดือน ปี เกิด 23 เมษายน 2540

ประวัติการศึกษา

- ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 – 3 โรงเรียนบูรณะศึกษา
- ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 โรงเรียนสมุทรปราการ แผนการศึกษาวิทย์-คณิต
- ระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล นางสาวฐิติวรรณ รอดบุญซึ้ง

วัน เดือน ปี เกิด 23 สิงหาคม 2538

ประวัติการศึกษา

- ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 – 6 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง แผนการศึกษาวิทย์ – คณิต
- ระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้