

การวิเคราะห์คุณภาพภายในของผลลำไยแบบไม่ทำลาย
โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสง
ย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง

NONDESTRUCTIVE PREDICTION OF LONGAN'S INTERNAL QUALITIES BY
NEAR INFRARED HYPERSPECTRAL IMAGING



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การวิเคราะห์คุณภาพภายในของผลลำไยแบบไม่ทำลาย
โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสง
ย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
Nondestructive prediction of longan's internal qualities
by near infrared hyperspectral imaging

จัดทำโดย

ปัทษญา เอี่ยมแทน รหัสนักศึกษา 58080173

วรนิษฐา สหชัยรุ่งเรือง รหัสนักศึกษา 58080197

ได้รับความเห็นชอบจาก

(14/๒๐/๖๒)

(รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การวิเคราะห์คุณภาพภายในของผลลำไยแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
ชื่อนักศึกษา	ปัทมา เอี่ยมแทน รหัสนักศึกษา 58080173 วรรณิษฐา สหชัยรุ่งเรือง รหัสนักศึกษา 58080197
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำนายคุณภาพทางเคมีของลูกลำไยโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง โดยลำไยที่ใช้ในการทดลองนี้ จะใช้ลำไยพันธุ์อีดอ 120 ลูก โดยแบ่งเป็น calibration 80 ลูก prediction 40 ลูก และเครื่องเนียร์อินฟราเรดที่ใช้ คือ NIR hyperspectral imaging ที่ช่วงความยาวคลื่น 935–1720 นาโนเมตร และใช้การสร้างสมการโดยวิธี partial least square regression (PLS-regression) ในงานวิจัยนี้จะตรวจคุณภาพลำไยในเชิงปริมาณ คือ ตรวจสอบปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ตรวจสอบปริมาณกรดที่ไทเตรทได้, ตรวจสอบปริมาณความชื้นทั้งหมดของลูกลำไย เพื่อตรวจสอบคุณภาพของลูกลำไยก่อนการจำหน่าย สำหรับผลการทดลองการใช้ NIR hyperspectral imaging และใช้การสร้างสมการโดยวิธี Partial least square regression (PLS-regression) มีความสามารถในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ดีที่สุด ($R_p = 0.79$ และ $RMSEP = 0.01 \text{ } ^\circ\text{Bx}$) ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ดีที่สุด ($R_p = 0.71$ และ $RMSEP = 0.48\%$) ปริมาณความชื้นทั้งหมดของลูกลำไยได้ดีที่สุด ($R_p = 0.85$ และ $RMSEP = 0.49\%$) ในการทำนายคุณภาพลำไยดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย จะช่วยในการคัดแยกคุณภาพเพื่อการส่งออกของลำไยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว

คำสำคัญ : ลำไย แบบไม่ทำลาย NIR คุณภาพ

Special problem title Nondestructive prediction of longan's internal qualities by near infrared hyperspectral imaging

Student name Papatchaya Aiamtan Student ID 58080173

Woranitta Sahachairungrueng Student ID 58080197

Program Bachelor of Science in Food Process Engineering

Year 2019

Advisor Assoc.Prof.Dr. Sontisuk Teerachaichayut

ABSTRACT

The main objective of this research is to predict the chemical qualities of longan by using a near infrared hyperspectral image technique. Samples (N=120) were divided into a calibration set (N=80) and a prediction set (N=40). By used NIR hyperspectral imaging in the wavelength range of 935–1720 nm and create a calibration models by partial least square regression (PLS-regression). In this research, qualities of longan were examined such as total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and total moisture content of longan in order to check the quality of longan before selling nondestructively. For experimental results using NIR hyperspectral imaging and using the equations by partial least square regression method (PLS-regression) with the ability to predict the best total soluble solids ($R_p = 0.79$ and $RMSEP = 0.01$ °Bx) the best titration acid ($R_p = 0.71$ and $RMSEP = 0.48\%$) and moisture content ($R_p = 0.85$ and $RMSEP = 0.49\%$) of longan. Therefore this technique is potential to use for predicting the quality of longan, it is nondestructive and can be used to sort the qualities of longan before export.

Keywords: Longan, Nondestructive, NIR, Quality

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานปัญหาพิเศษเรื่อง การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลลำไยแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำในการค้นคว้าเพิ่มเติมในการทำงานวิจัยนี้ จากการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่าน อาทิ รศ.ดร. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ ที่คอยให้คำปรึกษาและคอยตรวจทาน และคอยดูแลติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานวิจัย ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัยนี้อย่างละเอียด อาจารย์ผู้เป็นคณะกรรมการในการประเมินผลงานปัญหาพิเศษ และคณาจารย์ทุกท่านที่คอยให้ความรู้เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขในงานวิจัยนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งเพื่อนๆที่คอยให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ในโอกาสนี้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยในงานปัญหาพิเศษนี้ให้ผ่านไปได้ด้วยดี หากมีข้อบกพร่องประการใดที่เกิดขึ้นในงานปัญหาพิเศษเล่มนี้ ผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ปภัชญา เอี่ยมแทน
วรินทร์ฐา สหชัยรุ่งเรือง
24 มีนาคม 2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลำไย	4
2.2 Near infrared spectroscopy (NIRS)	7
2.3 ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมี	10
2.4 NIR hyperspectral imaging	13
2.5 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ	13
2.6 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์	14
2.7 วิธีการสร้างสมการ (calibration equation)	16
2.8 วิธีการทดสอบสมการ (validation test)	18
2.9 การประยุกต์ใช้เทคนิค NIR hyperspectral image ในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร	19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุประสงค์	21
3.2 สารเคมี	21
3.3 อุปกรณ์	21
3.4 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ	21
3.5 วิธีการทดลอง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ข้อมูลที่ได้จากการนำลำใยพันธุ์อติตโปสแกนด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image ที่ ความยาวคลื่น 935–1720 nm	26
4.2 ค่าทางเคมีของลำใยพันธุ์อติต	26
4.3 การจัดเรียงข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์	36
4.4 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของลำใยพันธุ์อติต	37
4.5 ลักษณะสเปกตรัมของลำใยพันธุ์อติต	40
4.6 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในตัวอย่างลำใยพันธุ์อติตระหว่าง ค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral imaging	57
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก	65
ภาคผนวก ข	67
ภาคผนวก ค	69
ประวัติผู้เขียน	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด	8
2.2 การแปลความหมายของค่า R และ R ²	13
4.1 แสดงข้อมูลดิบของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	26
4.2 แสดงข้อมูลดิบของปริมาณความชื้นทั้งหมด	30
4.3 แสดงข้อมูลดิบของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้	33
4.4 การจัดเรียงค่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามสำหรับนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม The Unscrambler	37
4.5 แสดงค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในตัวอย่างลำไยพันธุ์อีดอของตัวอย่างกลุ่มที่ใช้สำหรับ สร้างสมการ (calibration set) และ กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set)	43
4.6 แสดงผลการทดสอบการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้าง สมการโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง	44
4.7 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	45
4.8 ผลของการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	47
4.9 แสดงค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในตัวอย่างลำไยพันธุ์อีดอของตัวอย่างกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้าง สมการ (calibration set) และ กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set)	49
4.10 แสดงผลการทดสอบการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการโดย ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง	50
4.11 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้	51
4.12 ผลของการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้	52
4.13 แสดงค่าปริมาณความชื้นทั้งหมดในตัวอย่างลำไยพันธุ์อีดอของตัวอย่างกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้าง สมการ (calibration set) และ กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set)	53
4.14 แสดงผลการทดสอบการทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมดในกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการ โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง	54
4.15 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมด	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16 ผลของการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมด	57
ค.1 แสดงข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองในการหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้	69
ค.2 แสดงข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองในการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	79
ค.3 แสดงข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองในการหาปริมาณความชื้นทั้งหมด	88



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลำโพงพันธุ์ฮีดอ	5
2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS	9
4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำโพงที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำโพงที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ	38
4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำโพงที่มีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้สูงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำโพงที่มีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ต่ำ	39
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำโพงที่มีปริมาณความชื้นสูงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำโพงที่มีปริมาณความชื้นต่ำ	40
4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้งหมดของลำโพง (a) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, (b) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และ (c) ปริมาณความชื้น	41
4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของโมเดล PLS regression ที่ดีที่สุด (a) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, (b) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และ (c) ปริมาณความชื้นทั้งหมด	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจสำคัญที่สร้างรายได้ให้กับไทยอย่างมหาศาล โดยไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกลำไย (ผลสด แช่แข็ง และอบแห้ง) รายใหญ่ของโลก (สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2559) พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย ตาก กำแพงเพชร และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จันทบุรี (กรมวิชาการเกษตร, 2558) ลำไยที่นิยมปลูกมากที่สุดในขณะนี้คือ ลำไยพันธุ์กะโหลก กลุ่มลำไยอีดอหรือถ้าจะเรียกแบบเมืองเหนือก็ต้องเรียกว่า พันธุ์อีดอ ซึ่งไม่ใช่คำหยาบคายอะไร พี่พันธุ์ใดที่เป็นพันธุ์เบาออกก่อนพันธุ์อื่น ภาษาเหนือจะเรียกว่า พันธุ์อีดอ ซึ่งเป็นลำไยพันธุ์เบา คือออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด ราคาดี เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตดี โดยเฉพาะในดินอุดมสมบูรณ์ และมีน้ำพอเพียง ฝนแล้งและทนนน้ำได้ดีปานกลาง (สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6, 2553)

ปี 2556 – 2559 ตลาดหลักของการส่งออกลำไยไทย ได้แก่ จีน เวียดนาม ฮองกง มาเลเซีย สิงคโปร์ พม่า โดยปี 2556 – 2557 ไทยส่งออกลำไยไปจีนมีมูลค่าสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 70 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด รองลงมาคือเวียดนาม ต่อมาปี 2558 – ปัจจุบัน ไทยส่งออกลำไยไปเวียดนามมีมูลค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ จีน (สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2559)

สถานการณ์นำเข้าลำไยของจีน จีนมีพื้นที่เพาะปลูกลำไยในมณฑลต่างๆ เช่น มณฑลกว่างตุง กวางซี ผู้เจี้ยน หยุนหนาน ไทหนาน โดยมีมณฑลผู้เจี้ยนมีพื้นที่ปลูกลำไยมากที่สุด โดยทั่วไปเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนกรกฎาคม – กันยายน (ไทยเก็บผลผลิตช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคม) แม้ว่าจะสามารถผลิตลำไยได้ประเทศแต่ไม่เพียงพอับความต้องการในประเทศ

ข้อมูลจากศุลกากรระบุว่าปี 2556 – ปัจจุบัน ในภาพรวมจีนนำเข้าลำไยลดลง แต่มูลค่าการนำเข้าลำไยจากไทยยังคงมีมูลค่ามากที่สุด รองลงมาคือ เวียดนาม แต่นำเข้าจากไทยมีมูลค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่มูลค่าการนำเข้าเวียดนามมีสัดส่วนเพิ่มอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2559 ช่วงเดือน มกราคม – พฤศจิกายน 2559 นำเข้าลำไยสดจากประเทศไทยมีมูลค่า 125.156 ล้านเหรียญสหรัฐ (ลดลงจากช่วงเวลาเดียวกันในปีที่ผ่านมาคิดเป็นร้อยละ 28) ในขณะที่นำเข้าจากเวียดนามมีมูลค่า 105.758 ล้านเหรียญสหรัฐ (เพิ่มขึ้นจากช่วงเวลาเดียวกันในปีที่ผ่านมาคิดเป็นร้อยละ 4 เวียดนามจึงนับว่าเป็นคู่แข่งที่สำคัญกับไทยในการส่งออกลำไยสดไปยังจีน

อย่างไรก็ตาม จากการสอบถามผู้นำเข้าลำไยชาวจีนในมณฑลฝูเจี้ยน ทำให้ทราบข้อมูลว่าปัจจุบันเวียดนามนำเข้าลำไยสดจากไทยจำนวนมากแล้วส่งขายต่อไปยังจีนต่อไป เนื่องจากความได้เปรียบด้านต้นทุนอันเป็นผลมาจากการที่เวียดนามมีพรมแดนติดกับจีน และเวียดนามได้รับสิทธิประโยชน์จากนโยบายด่านผ่อนปรนที่จีนได้ทำข้อตกลงกับประเทศที่มีพรมแดนติดกัน

สำหรับการนำเข้าลำไยอบแห้ง ช่วงปี 2556 – ปัจจุบัน จีนยังคงนำเข้าจากไทยมีมูลค่ามากที่สุด รองลงมา คือ เมียนมาร์ โดยในปี 2559 ช่วงเดือนมกราคม – พฤศจิกายน 2559 จีนนำเข้าจากประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึง 48.319 ล้านเหรียญสหรัฐ (เพิ่มขึ้นจากช่วงเวลาเดียวกันในปีที่ผ่านมาคิดเป็นร้อยละ 175.35) โดยมูลค่าการนำเข้าลำไยอบแห้งจากไทยคิดเป็นร้อยละ 90.65 ของมูลค่าการนำเข้าลำไยอบแห้งทั้งหมดของจีน แสดงให้เห็นว่า ตลาดลำไยอบแห้งในจีนยังคงมีแนวโน้มสดใสสำหรับผู้ส่งออกไทย

โอกาสของการส่งออกลำไยสดและลำไยอบแห้งยังมีอีกมากในตลาดจีน เนื่องจากลำไยของไทยเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่โดดเด่นจากสภาพทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศของไทยที่เป็นเอกลักษณ์ รวมไปถึงเทคโนโลยีในการปลูกพืช ประกอบด้วยความต้องการบริโภคลำไยในตลาดจีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้น เพื่อเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนเศรษฐกิจไทยให้เติบโตอย่างต่อเนื่อง รองรับความต้องการของตลาดที่เพิ่มมากขึ้น และเพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้อย่างยั่งยืน หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และเกษตรกร ที่เกี่ยวข้องต้องร่วมกันบูรณาการงานอย่างเป็นรูปธรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการผลิต อำนวยความสะดวกทางการค้าให้แก่ผู้ผลิตและผู้ส่งออกลำไย (สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2559) โรงงานผู้ผลิตต้องการวัตถุดิบลำไยที่มีคุณภาพที่ดีเพื่อจะใช้แปรรูปให้ได้คุณภาพที่ดีตรงตามความต้องการของลูกค้า และการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบจะต้องสามารถตรวจสอบวัตถุดิบได้ทั้งหมดไม่ใช่วิธีการสุ่มตรวจ ดังนั้น เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย รวดเร็ว มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ จึงมีความต้องการอย่างยิ่ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการหาเทคนิคเพื่อให้สามารถทราบคุณภาพภายในของลำไยแบบไม่ทำลาย ซึ่งจะช่วยให้โรงงานผู้ผลิตสามารถคัดวัตถุดิบที่มีคุณภาพตามความต้องการ นอกจากนี้จะทำให้เกิดความยุติธรรมในการซื้อวัตถุดิบจากเกษตรกร และเป็นสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้า เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง (NIR hyperspectral imaging) เป็นเทคนิคหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของลำไย โดยเทคนิคนี้ จะใช้หลักการให้แสงส่องผ่านเข้าไปยังตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงในช่วง near infrared ที่ทำให้โมเลกุลของตัวอย่างเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไปซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน และแสดงผลออกมาเป็นภาพการดูดกลืนพลังงานในจุดต่างๆของตัวอย่าง ทำให้สามารถตรวจสอบคุณภาพภายในของลูกลำไยได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง อีกทั้งเทคนิคนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะไม่ต้องใช้สารเคมีในการตรวจสอบอีกด้วย (สนธิสุข, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อแสดงความแม่นยำในการทำนายคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ปริมาณความชื้นทั้งหมดของลำไยพันธุ์อู๊ดอ โดยใช้เทคนิค NIR hyperspectral image

1.2.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดกับคุณภาพของลำไย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถทำนายคุณภาพภายในของลำไยได้ แบบไม่ทำลายลูกลำไย โดยใช้เครื่อง hyperspectral imaging

1.3.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการคัดเลือกคุณภาพของผลไม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไย ชื่อวิทยาศาสตร์ *Dimocarpus longan* Lour. อยู่ในวงศ์ Sapindaceae จำแนกได้เป็น 2 สายพันธุ์ (Species) ขึ้นอยู่กับลักษณะของลำต้น ผล และเมล็ด และการใช้ประโยชน์คือ *Euphoria longana* Lamk. (Ramingsong, 1985; พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542) หรือ *Euphoria longana* Lour. (Subhadrabunhu, 1990; พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542) หรือ *Dimocarpus longan* Lour. (Smitinand, 1980 และ Wangnai, 1983; พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542) ซึ่งเป็นลำไยที่ปลูกในภาคเหนือของประเทศไทยในจังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน พะเยา และในภาคอีสานที่จังหวัดนครราชสีมา เลย หนองคาย อีกสายพันธุ์หนึ่งคือ ลำไยเถา *Euphoria scandens* Winit. Kerr. (Subhadrabunhu, 1990; พงษ์ศักดิ์และคณะ, 2542) หรือ *Dimocarpus longan* var. *obtusus* (Smitinand, 1980; พงษ์ศักดิ์และคณะ, 2542) ใช้เป็นไม้ประดับ โดยจะตัดเป็นพุ่มเตี้ยหรือปลูกเป็นไม้กั้นลม (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

2.1.1 ลำไยกะโหลกจะมีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน แต่ก็สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมของไทย ซึ่งปัจจุบันถือได้ว่าเป็นลำไยที่มีคุณภาพดีที่สุดในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน มีพื้นที่ปลูกลำไยมากที่สุดของประเทศ รวมทั้งปริมาณผลผลิตด้วย (Subhadrabunhu, 1990; พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542) จำแนกลำไยออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

2.1.1.1 ลำไยป่า ลักษณะต้นใหญ่ ขนาดผลเล็กมาก ขั้วผลบาง ใช้ในการขยายพันธุ์

2.1.1.2 ลำไยพื้นเมือง ลักษณะลำต้นใหญ่ ผลผลิตสูง ขนาดผลเล็ก ขั้วผลบาง ความหวานน้อย (ประมาณ 13.75%) คุณภาพต่ำ เมล็ดใหญ่ ใช้เป็นต้นตอ

2.1.1.3 ลำไยปลูก ลักษณะลำต้นขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ ขั้วผลหนา มีความหวานสูง (ประมาณ 19.00-23.50%) คุณภาพสูง เมล็ดเล็ก รับประทานสดหรือแปรรูป

2.1.2 ลำไยที่มีการปลูกในประเทศไทย สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือลำไยเครือและลำไยต้น (Subhadrabunhu, 1990; พาวิณ และคณะ, 2547)

2.1.2.1 ลำไยเครือหรือลำไยเถา มีลำต้นเลื้อยคล้ายเถาวัลย์ มีผลเล็ก เมล็ดโต เนื้อผลมีกลิ่นคล้ายกำมะถัน ปลูกไว้เป็นไม้ประดับมากกว่ารับประทาน

2.1.2.2 ลำไยต้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.2.2.1. ลำไยพันธุ์พื้นเมือง

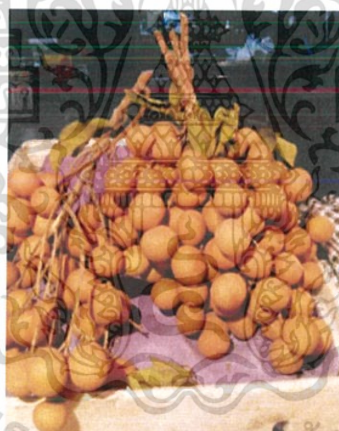
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2.2 ลำไยกะโหลก มีอยู่หลายพันธุ์ ดังนี้

2.1.2.2.2.1 พันธุ์ต้อ หรืออิต้อ เป็นลำไยพันธุ์เบา คือออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด ราคาดี เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตดี โดยเฉพาะในดินอุดมสมบูรณ์ และมีน้ำพอเพียง หนแล้งและทนน้ำได้ดีปานกลาง พันธุ์ต้อแบ่งตามสีของยอดอ่อนได้ 2 ชนิดคือ

2.1.2.2.2.1.1 อิต้อยอดแดง เจริญเติบโตเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับอิต้อยอดเขียว ลำต้นแข็งแรงไม่ฉีกหักได้ง่ายเปลือกลำต้นสีน้ำตาลปนแดง ใบแบนสีแดงปัจจุบันยอดแดงไม่ค่อยนิยมปลูกเนื่องจากออกดอกติดผลไม่ดี และเมื่อผลเริ่มสุก ถ้าเก็บไม่ทันผลจะร่วงเสียหายมาก

2.1.2.2.2.1.2 อิต้อยอดเขียว มีลักษณะต้นคล้ายอิต้อยอดแดง แต่ใบอ่อนเป็นสีเขียว ออกดอกติดผลง่าย แต่อาจไม่สม่ำเสมอจากนี้ลำไยพันธุ์ต้อยังแบ่งตามลักษณะของก้านช่อผลได้ 2 ชนิด คือ อิต้อก้านอ่อน เปลือกของผลจะบาง และอิต้อก้านแข็ง เปลือกผลจะหนาผลขนาดค่อนข้างใหญ่ ทรงผลกลมแป้น เบี้ยวยกบ่าข้างเดียว ผิวสีน้ำตาล มีกระหรือตาห่าง สีน้ำตาลเข้ม เนื้อค่อนข้างเหนียว สีขาวขุ่น เมล็ดขนาดใหญ่ปานกลาง รูปร่างแบนเล็กน้อย



รูปที่ 2.1 ลำไยพันธุ์อิต้อ

2.1.2.2.2.2 พันธุ์ชมพูหรือสีชมพู เป็นลำไยพันธุ์กลาง มีรสชาติดี นิยมรับประทาน ทรงพุ่มต้นสูงโปร่ง กิ่งเปราะหักง่าย การเจริญเติบโตดี ไม่ทนแล้ง เกิดดอกติดผลง่ายปานกลาง การติดผลไม่สม่ำเสมอ ช่อผลยาว ผลขนาดใหญ่ปานกลาง ทรงผลค่อนข้างกลม เบี้ยวเล็กน้อย ผิวสีน้ำตาลอมแดง ผิวเรียบ มีกระสีคล้ำตลอดผล เปลือกหนา แข็งและเปราะ เนื้อหนาปานกลาง นุ่มและกรอบ สีชมพูเรื่อๆ ยิ่งผลแก่จัดสีของเนื้อยิ่งเข้มเนื้ออ่อนรสหวานกลิ่นหอมเมล็ดค่อนข้างเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2.2.3 พันธุ์แห้ว หรืออีแห้ว เป็นลำไยพันธุ์หนัก ลำต้นไม่ค่อยแข็งแรง เปลือก ลำต้นสีน้ำตาลปนแดงเขียว เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตดีมาก ทนแล้งได้ดี พันธุ์แห้วแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือแห้วยอดแดงและแห้วยอดเขียว ลักษณะแตกต่างกันที่สีของใบอ่อนหรือยอด แห้วยอดแดงมีใบอ่อนเป็นสีแดง แห้วยอดเขียวมีใบอ่อนหรือยอดเป็นสีเขียว เกิดดอกและติดผลค่อนข้างยากอาจให้ผลเว้นปี ช่อดอกสั้น ขนาดผลในช่อมักไม่สม่ำเสมอ ผลขนาดใหญ่หรือปานกลาง ทรงผลกลมและแป้น ฐานผลบวม ผิวสีน้ำตาล มีกระสีคล้ำตลอดผล เปลือกหนา เนื้อหนาแน่น แข็งและกรอบ สีขาวขุ่น รสหวานแหลม กลิ่นหอม มีน้ำปานกลาง เมล็ดขนาดค่อนข้างเล็ก แห้วยอดแดงจะออกดอกง่ายกว่าแห้วยอดเขียว และมีเนื้อสีค่อนข้างขุ่นน้อยกว่า และมีปริมาณน้ำมากกว่าแห้วยอดเขียว

2.1.2.2.2.4 พันธุ์เปี้ยวเขียวหรืออีเปี้ยวเขียว เป็นลำไยพันธุ์หนักเจริญเติบโตดี ทนแล้งได้ดีแต่มีก่อนแอต่อโรคพุ่มไม้กวาด เกิดดอกยาก มักเว้นปี ช่อผลหลวม สีของผลเมื่อมีขนาดเล็กสีเขียวพันธุ์เปี้ยวเขียว แบ่งได้เป็น 2 ชนิด เปี้ยวเขียวก้านแข็ง (เปี้ยวเขียวป่าเส้า) และเปี้ยวเขียวก้านอ่อน (เปี้ยวเขียวป่าแดด) เปี้ยวเขียวก้านแข็งให้ผลไม่ตกแต่ขนาดผลใหญ่มาก แต่ติดผลน้อยไม่ค่อยนิยมปลูก ส่วนเปี้ยวเขียวก้านอ่อนให้ผลตกเป็นพวงใหญ่ ผลมีขนาดใหญ่ ทรงผลกลมแบนและแป้นมากเห็นได้ชัด ผิวสีเขียวอมน้ำตาล ผิวเรียบ เปลือกหนาและเหนียว เนื้อหนาแข็งกรอบค่อนข้างยวบ สีขาว มีน้ำน้อย รสหวานแหลม กลิ่นหอม เมล็ดค่อนข้างเล็ก

2.1.2.2.2.5 พันธุ์ใบดำหรืออีดำหรือกะโหลกใบดำ เป็นลำไยพันธุ์กลาง ออกดอกติดผลสม่ำเสมอเจริญเติบโตดีมาก ทนแล้งและน้ำได้ดี ข้อเสียคือ ผลโตเต็มที่เล็กกว่าพันธุ์อื่นๆ มีผลขนาดใหญ่ปานกลาง. ค่อนข้างกลม แบนและแป้นเล็กน้อย ผิวสีน้ำตาล ผิวขรุขระ เปลือกหนาและเหนียว ทนทานต่อการขนส่ง เนื้อหนานปานกลาง สีขาวครีม รสหวาน เมล็ดขนาดเล็ก รูปร่างค่อนข้างยาว และแบน

2.1.2.2.2.6 พันธุ์แดงหรืออีแดงกลม เป็นลำไยพันธุ์กลาง ผลกลม เนื้อมีกลิ่นคาวคล้ายกำมะถัน ทำให้คุณภาพไม่ค่อยดี การเจริญเติบโตดีปานกลาง ไม่ทนแล้ง และไม่มีน้ำซึ่งจึงล้มง่าย มักยืนตายเมื่อเกิดสภาพน้ำขัง หรือปีที่ติดผลดก พันธุ์แดงแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แดงเปลือกหนา และแดงเปลือกบาง พันธุ์แดงเกิดดอกและติดผลง่าย ติดผลค่อนข้างคงที่ ผลขนาดใหญ่ปานกลาง ขนาดผลค่อนข้างสม่ำเสมอ ทรงผลกลม ผิวสีน้ำตาลอมแดง ผิวเรียบ เปลือกบาง เนื้อหนานปานกลาง สีขาวครีมเนื้อเหนียว มีน้ำมากจึงมักฉะ เมล็ดรูปร่างป้อม จุกใหญ่มาก แดงเปลือกหนามีขนาดผลใหญ่กว่า เปลือกหนากว่า เนื้อหนากว่า ส่วนลักษณะอื่นๆ คล้ายคลึงกัน

2.1.2.2.2.7 พันธุ์อีเหลืองหรือเหลือง มีทรงพุ่มค่อนข้างกลม ออกผลดก กิ่งประจิ่งหักง่ายเมื่อมีผลดกมากๆ ผลค่อนข้างกลมเนื้อสีขาวนวลเมล็ดกลม

2.1.2.2.8 พันธุ์พวงทอง เป็นพันธุ์ที่ช่อดอกขนาดใหญ่กว้าง ผลทรงค่อนข้างกลม และเปลือกน้อย ผิวสีน้ำตาลมีกระสีน้ำตาล เนื้อหนารอบ สีขาวครีม รสหวาน เมล็ดขนาดปานกลางและแบน

2.1.2.2.9 พันธุ์เพชรศรทวาย จัดว่าเป็นลำไยพันธุ์ทวายคือ สามารถออกดอกมากกว่าหนึ่งครั้งต่อปี มีใบขนาดเล็ก เรียวแหลม ออกดอกและให้ผลผลิตปีละ 2 รุ่น คือ รุ่นแรกออกดอกราวเดือนธันวาคม - มกราคม และเก็บผลได้ประมาณเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน รุ่นที่สองออกดอกราวเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม เก็บเกี่ยวผลได้ในเดือนธันวาคม - มกราคม ผลกลม เปลือกบาง เนื้อมีสีขาวฉ่ำน้ำ

2.1.2.2.10 พันธุ์ปูมาตินโค้ง มีผลสวยงาม ขนาดใหญ่ สีเขียวให้ผลดก แต่คุณภาพและรสชาติไม่ดี กลิ่นคาว ปัจจุบันพันธุ์นี้ลดลงเป็นอย่างมาก คงมีแต่สวนเก่าๆ ซึ่งมีเพียงบางต้นเท่านั้น

2.1.2.2.11 พันธุ์ดลบันดาล ผลขนาดใหญ่ ค่อนข้างกลม ผิวเปลือกเรียบ เนื้อหนาสีขาวใส เมล็ดเล็ก รสไม่ค่อยหวานจัด

2.2 Near Infrared Spectroscopy (NIRS) (นิมิตตรา, 2559)

Near Infrared เกิดจากที่สารดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง near Infrared คือ 785-2650 นาโนเมตร ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่ความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจาก ground vibration level ไปยัง excited vibration level ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (absorbance) เป็นไปตามกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่างพลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne et al., 1993) สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล

หลักการโดยพื้นฐานของเครื่องสเปกโตรสโคปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุจะมีแสงบางส่วนถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนทะลุผ่านออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือเกิดการเรืองแสง และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสงในการดูดกลืนแสงย่านอินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์ (นิพนธ์, 2547) ช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	characteristic transition	ความยาวคลื่น (nm)	เลขคลื่น (cm^{-1})	ประโยชน์
อินฟราเรดย่านใกล้ (near IR, NIR)	overtone combination	780-2500	12800-4000	วิเคราะห์ปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันน้ำตาล ศึกษาโครงสร้างของโมเลกุล
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR, MIR or Fundamental IR)	fundamental vibration	$2500-5 \times 10^4$	4000-200	วิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันน้ำตาล
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	rotation	$5 \times 10^4 - 10^6$	200-100	ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรานสิชันที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของโมเลกุล

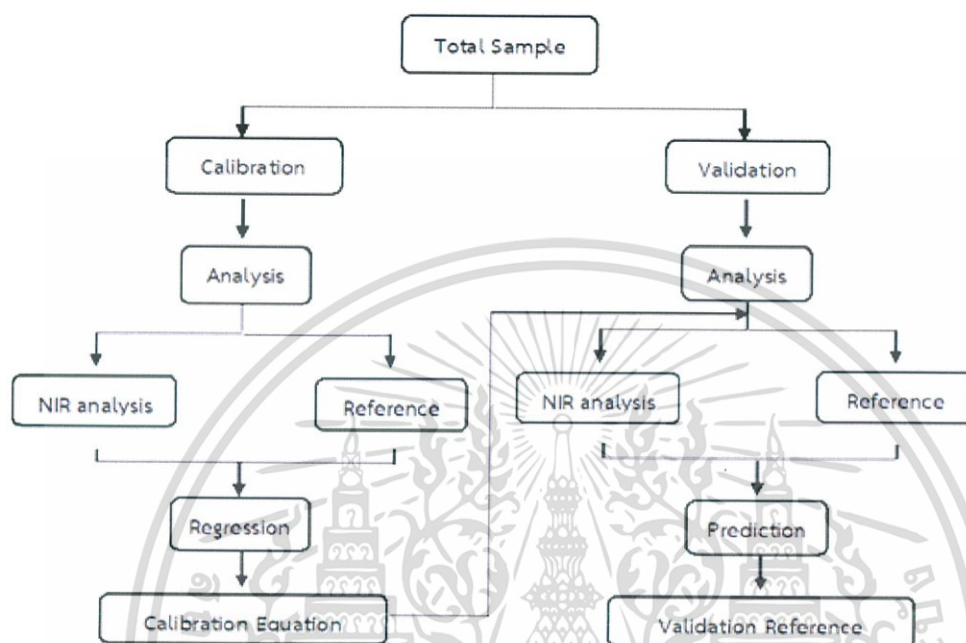
ที่มา : นิพนธ์ (2547)

2.2.1 หลักการวัดของเครื่อง NIRS มีด้วยกันหลายเทคนิคคือ

- 2.2.1.1 transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ
- 2.2.1.2 reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย
- 2.2.1.3 transfection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุดแล้วสะท้อนกลับมายัง detector
- 2.2.1.4 interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล Near infrared spectra (NIRS)



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS

ที่มา: Kawano et al. (1995)

สเปกตรัม NIR ที่ได้ซึ่งก็คือ ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นในย่าน near infrared จะมีจุดยอดไม่ชัดเจนเนื่องจากการซ้อนทับกันของจุดยอดหลายๆค่า วิธีการ calibrating statistics หลายวิธีสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เช่น multiple linear regression (MLS), partial least squares regression (PLS) หรือ principal components regression (PCR) เป็นต้น โดยวิธีดังกล่าวจะวิเคราะห์หาความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่มีปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบทางเคมี จำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการวัด NIRS จะต้องมีความหลากหลายที่จะเป็นตัวแทนตัวอย่างทั้งหมดได้ และมีการกระจายค่าขององค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการวัดสม่ำเสมอและคลุมค่าที่จะวัดในอนาคตโดยตัวอย่างจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ calibration set กับ validation set หรือ test set จำนวนตัวอย่างของ calibration set มีมากกว่าตัวอย่างของ validation set เสมอ การทำ calibration ในปัจจุบันนี้สามารถใช้เทคนิคทางสถิติช่วย เช่น MLR หรือ PLS ช่วยในการเลือกสมการที่เหมาะสมมากที่สุดโดยสมการที่ได้ต้องพิจารณาค่า standard error of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

calibration (SEC) และค่า R ประกอบด้วจากนั้นมาทำ validation โดยใช้สถิติเช่นเดียวกันโดยพิจารณาค่า standard error of prediction (SEP) และค่า Bias ประกอบ นอกจากนั้นดูค่า skewness ด้วยการเลือกสมการที่เหมาะสมเป็นหัวใจสำคัญของการใช้เทคนิค NIRS ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการเลือก สมการที่ได้จะนำมาใช้ประโยชน์ โดยทดสอบการทำนายค่าจากตัวอย่างที่เป็นอิสระว่าสามารถทำนายค่าได้ถูกต้องหรือไม่ (Kawano et al., 1995)

2.3 ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมี

2.3.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2562)

ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solid, TSS) หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดใช้บ่งชี้ความเข้มข้นของอาหารเหลว เช่น น้ำเชื่อม น้ำผลไม้เข้มข้น

ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำคั้นจาก ผัก ผลไม้ เป็นผลรวมของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรักโทส กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดแล็กติก และแร่ธาตุต่างๆ สามารถใช้ เป็นดัชนีวัดความแก่อ่อน (maturity index) ของผักผลไม้

2.3.1.1 การวัดค่า TSS

ในน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น อนุโลมให้ใช้การวัดค่าด้วย refractometer มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร หากเป็นสารละลายน้ำตาลหรือน้ำเชื่อม มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Bx}$) หรือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก

2.3.2 ปริมาณกรดที่โดดเด่นได้

รสเปรี้ยว (sour) เป็นรสพื้นฐาน (basic taste) เกิดจากอาหารที่เป็นกรด โดยเฉพาะไฮโดรเจนไอออน (H^+) โดยความเปรี้ยว ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนซึ่งสัมพันธ์กับค่า pH ของอาหาร ซึ่งอาหารที่มีรสเปรี้ยวเกิดจากกรดซึ่งมักพบในอาหาร

- ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น มะนาว ส้ม มะขาม เป็นกรดอินทรีย์ (organic acid) เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดทาร์ทาริก (tartaric acid)
- อาหารหมัก (fermented food) กรดที่ได้จากกระบวนการหมัก (fermentation) เช่น กรดแล็กติก (lactic acid) เช่น โนโยเจอร์ต แหนม ไส้กรอกเปรี้ยว กรดแอสติก (acetic acid) ในน้ำส้มสายชู เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 การวัดความเปรี้ยวของอาหาร

2.3.2.1.1. การวัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัด pH (pH meter) หรือกระดาษวัดค่าพีเอช (pH paper)

2.3.2.1.2. การวัดปริมาณกรดทั้งหมดโดยการไทเทรต (total titratable acidity - TA)

2.3.2.1.3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

2.3.3 ปริมาณความชื้นทั้งหมด (พิมพ์เพ็ญ และนิริยา, 2562)

ความชื้น (moisture content) เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร การแสดงค่าความชื้นของอาหารนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบคือ

- ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

- ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H₂O/ g solid)

การวัดความชื้นของอาหาร น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้าง หรือ โมเลกุลของสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบ และความแข็งแรงต่างกัน ทำให้เทคนิคที่ใช้สำหรับการหาความชื้นของอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ทั้งความยากง่าย ความซับซ้อนของอุปกรณ์ และความถูกต้องแม่นยำของค่าที่ได้ วัตถุประสงค์หลักของบทนี้จึงเป็นการแนะนำให้รู้จักวิธีการหาความชื้นในอาหารแบบต่างๆ ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี เพื่อสามารถเลือกนำไปใช้งานได้เหมาะสม

2.3.3.1. การวัดความชื้นโดยตรง (direct method) เป็นการวัดปริมาณที่มีอยู่ในอาหารโดยตรง สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแยกเอาน้ำออกด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกไป การกลั่นแยกเอาน้ำออกจากอาหาร หรือการใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นต้น วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดที่ทำลายตัวอย่าง แต่ละวิธีจะมีความถูกต้องแตกต่างกัน วิธีที่มีการยอมรับกันทั่วไปว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูง จะนิยมใช้เป็นค่าความชื้นมาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการอื่นๆ ก่อนนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์

- Karl fischer method การทำปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction)
- การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการกลั่น (distillation) นำตัวอย่างเมล็ดพืชที่บดเป็นแป้งผสมกับตัวทำละลายโทลูอีน (toluene) แล้วนำไปต้ม น้ำจะระเหยออกมาและควบแน่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งวัดเป็นปริมาตรและน้ำหนักได้
- การใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ (infrared and microwave radiation) เป็นการใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ เพื่อระเหยน้ำในแป้งที่ได้จากการบดตัวอย่างเมล็ดพืช วิธีวัดความชื้นเหล่านี้มีจุดเด่นที่ให้การวัดถูกต้อง แต่จุดด้อยสำคัญคือ อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง การใช้งานต้องเตรียมอุปกรณ์หลายชิ้น และการวัดแต่ละครั้งใช้เวลานาน

2.3.3.2 การวัดโดยอ้อม (indirect methods) เป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดความชื้นโดยทางอ้อมมีจุดเด่นตรงรู้ผลเร็ว สะดวกและทำได้บ่อย จุดด้อยคือ ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าโดยประมาณการ การวัดโดยอ้อมวัดได้หลายวิธีเช่นกันคือ

2.3.3.2.1 การวัดความต้านทานไฟฟ้า (resistance) อุปกรณ์วัดความต้านทานไฟฟ้าของเมล็ดพืช ทำได้โดยบรรจุเมล็ดพืชตัวอย่างลงในช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในภาชนะปิดแน่น ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรเป็นค่าปริมาณความชื้น

2.3.3.2.2 ความจุไฟฟ้า (capacitance) ตัวอย่างจะถูกบรรจุในภาชนะปิดโดยผนังภาชนะทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงออกมา การวัดวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ตารางคาลิเบรชัน (calibration) ประกอบด้วยค่าความชื้นที่ได้จากการวัดด้วยวิธีอื่นจะมีความแม่นยำมากกว่าการวัดจากค่าความต้านทานไฟฟ้า

2.3.3.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) เป็นวิธีหาค่าความชื้นในเมล็ดพืชจากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ด เนื่องจากปริมาณความชื้นในเมล็ดจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ดเปลี่ยนแปลง ซึ่งความถูกต้องของค่าความชื้นที่วัดได้จากวิธีนี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของความชื้น ดังนั้นการวัดด้วยวิธีนี้ต้องรอเวลานานประมาณ 1-2 ชั่วโมงเพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศต่างๆ เกิดสมดุลก่อนวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

2.4 NIR hyperspectral imaging

เป็นการพัฒนาเทคนิคด้าน NIRs แบบใหม่โดยการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดของตัวอย่าง เป็นการวิเคราะห์สเปกตรัมจำนวนมากไปพร้อมกับตัวแปรอิสระจำนวนมากแทนการใช้สเปกตรัมเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่าง โดยพิจารณาจากแต่ละจุดพิกเซลของภาพของตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลภาพของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าทางฟิสิกส์ ค่าทางเคมี มาพิจารณากับสเปกตรากการดูดกลืนพลังงานแสงในย่านใกล้อินฟราเรด (Teerachaichayut and Ho, 2017)

2.5 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างความสมการ (ปานมนัส, 2556)

2.5.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; R) คือค่าที่แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ เท่ากับ 1 หมายความว่า สมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าทำนายที่เกิดจากอิทธิพล ของตัวแปรอิสระ (X) กับค่าแปรตาม (Y) ที่มีความสัมพันธ์กันมาก การแปลความหมายของค่า R และ R^2 ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแปลความหมายของค่า R และ R^2

R	R^2	ความหมาย
ถึง ± 0.5	ถึง 0.25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
$\pm 0.51-0.70$	0.26-0.49	เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดีควรหาเหตุผล
$\pm 0.71-0.80$	0.50-0.64	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบๆ
$\pm 0.81-0.90$	0.66-0.81	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ
$\pm 0.91-0.95$	0.83-0.90	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่รวมถึงการวิจัย
$\pm 0.96-0.98$	0.92-0.96	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่รวมถึงการประกันคุณภาพ
$\pm 0.99+$	0.98+	ดีเยี่ยมใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้

ที่มา: Williams (2007)

2.5.2 ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV) cross-validation สามารถใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการทำนายแบบจำลอง (validation) สิ่งนี้ทำโดยชักตัวอย่างออกหนึ่งตัวอย่างหรือกลุ่มของหลายตัวอย่างจากชุดสร้างแบบจำลอง และสร้างแบบจำลองด้วยตัวอย่างที่เหลืออยู่แล้วทำนายตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปและบันทึกค่าความผิดพลาดแล้วนำ ตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปนั้นกลับมาแล้วชักตัวอย่างอื่นออกไปและทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูก ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและทำนาย จะไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองซึ่งได้ใช้ในการ ทำนายถ้าเอาออกเพียงที่ละ 1 ตัวอย่างจะเรียกว่า “full” หรือ “one-out” cross-validation ถ้านำชุดตัวอย่าง (จำนวนหลายตัวอย่าง) ออก จะเรียกว่า “segmented” cross-validation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่าง ระหว่างค่าที่ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงของชุดสร้าง แบบจำลองคือ RMSECV วิธีพิสูจน์นี้เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างน้อยๆ เช่น น้อยกว่า 100 ตัวอย่าง RMSECV คำนวณได้จากสมการ

2.5.3 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (root mean square error of calibration; RMSEC) คือ ค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้ดีหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.5.4 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (root mean square error of prediction; RMSEP) คือ ค่าที่บอกถึงการนำเอาสมการที่สร้างขึ้นมาทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่อง NIRs มีความแม่นยำสูงหรือต่ำ ซึ่งถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อย หมายความว่าสมการ ที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง

2.5.5 ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRs (average of difference between actual value and NIR value; bias) คือค่าเฉลี่ยของการ ทำนายข้อมูลของตัวแปรตาม (Y) และค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) มีความแตกต่างกันหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.5.6 อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุม Validation set ต่อค่า SEP (Ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD) ค่า จากที่คำนวณได้มีค่าสูง หมายถึง ค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIRs มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาด มาตรฐานที่ได้จากวิเคราะห์จริง

2.6 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

ปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัมของตัวอย่างได้แก่ ความชื้นและขนาดของตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความแตกต่างกันอัน เนื่องมาจากสภาพกระเจิงแสงและความแตกต่างที่เป็นผลมาจากความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการวัด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความแตกต่างในผลเชิงบวก (additive scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือผลเชิงคูณ (multiplicative scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสูงขึ้น นอกจากนี้สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงใน ย่านใกล้อินฟราเรดเป็นสเปกตรัมที่มีการเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ (overlapping band) ซึ่งจะส่งผลต่อความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น (Bokobza, 1998) ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงนำไปปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ก่อน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงวิธีที่นิยมใช้วิธีคือ

2.6.1 วิธีอนุพันธ์ (derivative) เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัม เพื่อแก้ปัญหาพีคที่มีฐานกว้าง (broad peak) เนื่องจากการซ้อนทับกันของพีค (overlapping) และอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (base line shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattering light) เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสง เปลี่ยนทิศทางซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่าง ไม่

สม่ำเสมอ การอัดตัว และการกระจายตัวของตัวอย่างภายในเซลล์บรรจุที่แตกต่างกัน รวมทั้ง ความชื้นภายในตัวอย่าง ที่แตกต่างกันด้วย (William และ Norris, 2001)

2.6.1.1 first derivative เป็นการหาความชันของสเปกตรัมซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือการเลื่อนตัวของสเปกตรัมแกน Y เนื่องจาก อิทธิพลของความชื้นและขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน การทำ first derivative ทำให้การแปลความหมายยาก ดังนั้นจึงนิยมใช้ second derivative มากกว่า first derivative (Siesler et al., 2002)

2.6.1.2 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 (Siesler et al., 2002)

2.6.2 multiplicative scatter correction (MSC) สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนย่านแสง NIRs แบบ diffuse reflectance และแบบ transmission มักจะเกิดการกระเจิงแสง (scatter light) ดังนั้น ได้มีการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC คือ การเปลี่ยนแปลงข้อมูลสเปกตรัมโดยการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัม เพื่อลดผลกระทบแบบ multiplicative ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้ตัวอย่างชนิดเดียวกัน แต่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน (อนุพันธ์, 2545)

2.6.3 วิธี smoothing เป็นการหาค่าเฉลี่ยคลื่น โดยมีการแทนค่าการดูดกลืนแสง แต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วง ความยาวคลื่นตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ต่อจากนั้นเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่น แล้วคำนวณซ้ำจนครบ ตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งสามารถลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยจะได้ สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิมแต่จะเรียบสม่ำเสมอมากกว่า (Siesler et al., 2002)

นอกจากนี้ยังมีวิธีการแปลงสเปกตรัมที่นิยมใช้อีกหลายวิธี เช่น standard normal variate (SNV) ซึ่งจะมีวิธีการคล้ายกับ MSC แต่ SNV จะทำการแปลงเฉพาะสเปกตรัมและความยาวคลื่นที่ได้รับผลกระทบจากการกระเจิงแสง ซึ่งการหาค่า SNV เพื่อมาลดการกระเจิงแสงของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นนั้น และหารด้วยค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Branes et al., 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 วิธีการสร้างสมการ (calibration equation) (Williams, 2007)

สมการ calibration ประกอบไปด้วยตัวแปร 2 ชนิด คือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) การหาตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามเป็นสิ่งสำคัญของการสร้างสมการ calibration ซึ่งแบ่งได้ 2 วิธีหลัก คือ

2.7.1 wavelength selection เป็นการเลือกความยาวคลื่นเฉพาะซึ่งเป็นตัวแปร อิสระให้ ความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามนั้น โดยการพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติ ดังนี้

2.7.1.1 simple linear regression (SLR) เป็นการสร้างสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรสองชนิดที่มีความสัมพันธ์กัน คือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) SLR เป็นการเลือก พิจารณา ความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว (single wavelength) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยNIRs เป็นไปไม่ได้ที่จะใช้ความยาวคลื่นใด ความยาวคลื่นหนึ่งในการหา ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างได้ เนื่องจากตัวอย่าง ประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด ด้วยกัน ดังนั้นจึงต้องใช้ข้อมูลจากหลายความยาวคลื่น (multiple wavelengths) เพื่อทำนายปริมาณ องค์ประกอบทางเคมีของผลผลิต (คณาพร, 2545) สมการ SLR สามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$Y = b_0 + b_1 X$$

เมื่อ Y = ค่าองค์ประกอบทางเคมี

X = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นตำแหน่งเดียว

b_0 = ค่าคงที่ถัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับศูนย์

b_1 = ค่าคงที่การถดถอย

2.7.1.2 multiple linear regression (MLR) เป็นวิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่นำ ตัวแปรอิสระ (ตัวแปร X) มากกว่าหนึ่งตัวมาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรตาม (ตัวแปร Y) การนำ เทคนิค MLR มาใช้ในการวิเคราะห์ผลมีข้อดีมากกว่าวิธี SLR หลายประการ เช่นสมการที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้กับตัวอย่าง ที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตามการสร้างสมการด้วยวิธี MLR มี ข้อเสียคือการคัดเลือกตัวแปรอิสระ หรือค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลทางเคมีต้องใช้เวลานาน จำนวนของตัวแปรอิสระหรือจำนวนของความยาวคลื่นที่นำมาใช้ในการ สมการจะถูกจำกัด โดยจำนวนของตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบต้องมีตัวอย่างจำนวนมากเพื่อให้ สมการที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและแม่นยำ การคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากความยาวคลื่นทั้งหมดมาสร้างสมการอาจได้ข้อมูลที่ไม่ครอบคลุมมากพอ ทำให้ค่าที่ทำนายได้จาก วิธีนี้มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่แท้จริง (Osborne และคณะ, 1993) สมการ MLR สามารถเขียนได้ ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

2.7.2 full spectrum method การที่จะพิจารณาเลือกความยาวคลื่นที่มี ความสัมพันธ์กับ ค่าองค์ประกอบที่ศึกษานั้นค่อนข้างทำได้ยาก เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย การใช้ข้อมูล สเปกตรัมทั้งหมดหรือในช่วง ความยาวคลื่นที่สนใจจะช่วยให้สมการ calibration ที่ได้มีความถูกต้อง มากขึ้น full spectrum method เป็น การเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่น ทั้งหมดในสเปกตรัม (full spectrum) มาสร้าง สมการโดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) และ สร้างตัวแปรกลุ่มใหม่ขึ้นมา วิธีทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่ 2 วิธี คือ principle component regression (PCR) และ partial least square regression (PLSR) ทั้งสองวิธีนี้ ต้องใช้ในการสร้างตัวแปรใหม่ที่ เรียกว่า factor หรือองค์ประกอบ

2.7.2.1 principle component regression (PCR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลด จำนวนของตัวแปรอิสระ ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระมีจำนวนมาก การลดจำนวนของตัวแปร คือแบ่งกลุ่ม ตัวแปรที่มี ความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่า factor หรือองค์ประกอบ factor ที่ สร้างขึ้นก็คือผลรวม ของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่น้ำหนักแตกต่างกัน factor แรกจะถูกสร้าง ขึ้นมาให้สามารถอธิบายความ แปรปรวนที่เหลือซึ่งจะทำให้ factor แต่ละ factor แพบไม่มี ความสัมพันธ์ต่อกันซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการ วิเคราะห์ด้วย PCR เมื่อทำการหา factor เรียบร้อยแล้ว นำ factor ที่ได้มาทำ regression กับค่าทางเคมีโดยใช้ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) ก็จะได้ค่า calibration coefficient

2.7.2.2 partial least square regression (PLSR) วิธีจะคล้ายคลึงกับ PCR แต่จะ ต่างกันตรงที่วิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการ ถดถอย ของสมการ calibration ซึ่งใน PLSR ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกันโดยมี การนำค่า องค์ประกอบทางเคมีมาคิดรวมข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีทำให้ factor ที่ได้จากวิธี PLSR สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมี ในเวลาเดียวกันสมการ calibration ที่ได้จากวิธี PLSR จึงประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น Saranwong (2003) ได้ศึกษาการ พัฒนาสมการที่ใช้ในการทำนายค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) และค่าน้ำหนักเนื้อแห้ง (dry matter) ของมะม่วงด้วยวิธี PLSR กับ MLR ในการ สร้างสมการทำนาย พบว่าวิธี PLSR ให้ค่าผิดพลาดของ สมการทำนายของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าวิธี MLR แต่สำหรับสมการทำนายค่าน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธี PLSR กับ MLR ที่สร้างขึ้นให้ค่าไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 วิธีการทดสอบสมการ (validation test) (อนุพันธ์, 2545)

เมื่อได้สมการ calibration แล้วจะต้องนำสมการที่ได้มาทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของ สมการว่า สามารถใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใดวิธีที่นิยมใช้ในเทคนิค NIRs มี 2 วิธี คือ

2.8.1 full cross validation วิธีนี้การทดสอบในลักษณะนี้เป็นการทดสอบภายใน (Internal validation) มีวิธีทดสอบดังนี้คือ

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

ตอนที่ 2 ตัดตัวอย่างที่ 2 ออกไปนำตัวอย่างที่ 1 กลับเข้ามาในกลุ่ม calibration รวมกับ ตัวอย่างอื่นๆ ที่เหลือเพื่อสร้างสมการ calibration เมื่อได้สมการ calibration นำมาประเมินค่าของ ตัวอย่างที่ 2 ทำซ้ำอย่าง นี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งประเมินค่าตัวอย่างครบทุกตัวอย่างซึ่งตัวอย่างแต่ละตัว จะถูกตัดออก 1 ครั้งเท่านั้น

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

การใช้วิธี full cross validation มักใช้กับวิธีการวิเคราะห์โดยวิธี PLSR ไม่นิยมใช้กับวิธี วิเคราะห์โดยวิธี MLR

2.8.2 การทดสอบผลการประเมิน (prediction testing) เป็นการทดสอบโดยนำ กลุ่มตัวอย่าง ชุดใหม่ (external validation) มาประเมินค่าจากสมการ calibration ที่ได้ โดยตัวอย่าง ชุดใหม่ที่นำมา วิเคราะห์ต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่างการวัดสเปกตรัมสภาวะในการทดลองรวมไปถึงการ แปลงข้อมูลสเปกตรัม ต้องเหมือนกับกลุ่ม calibration ข้อควรระวัง คือ ตัวอย่างในกลุ่มใหม่จะต้องมี ค่าที่ต้องการประเมินอยู่ในช่วง ของกลุ่ม calibration การทดสอบลักษณะนี้มีวิธีการ คือ นำตัวอย่าง กลุ่มใหม่มาวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการ เช่น ค่าโปรตีนโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ reference methods แทนด้วยข้อมูลชุด X และนำไปวัดสเปกตรัมด้วย เครื่อง NIRs แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ calibration แทนด้วยข้อมูลชุด Y นำผลที่ได้จากทั้งสองวิธีมา พิจารณาเปรียบเทียบ โดยมีค่าทางสถิติ ที่ใช้วัดคือ SEP (standard error of prediction) หรือ RMSEP (root mean square error of prediction) และ bias ซึ่งค่าสถิติเหล่านี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการ calibration ถ้า ผลการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิง และให้ค่าทางสถิติที่ดีแสดง ว่า สมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีนั้นยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณตัวอย่าง ต่อไป ได้อย่างถูกต้อง

2.9 การประยุกต์ใช้เทคนิค NIR hyperspectral image ในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร

การใช้เทคนิค NIR hyperspectral image เป็นที่แพร่หลายมากขึ้นกับงานทางด้านอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจาก ในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตนั้นไม่ต้องเตรียมตัวอย่างหรือชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ตรวจวัดได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลาย ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากที่กล่าวมาในการตรวจสอบผลผลิตในการส่งออกหรือจำหน่ายได้ และยังเป็นการลงทุนในการใช้สารเคมีเพื่อตรวจสอบ อีกทั้งยังรักษาสีและรสชาติโดยการไม่ใช้สารเคมีที่จะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และเทคนิคนี้ยังสามารถควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตได้ด้วย (Osborne et al., 1993)

อาทิตย์ (2556) ได้ศึกษาการตรวจสอบคุณภาพภายในผลส้มโอด้วยเทคนิคแบบไม่ทำลาย โดยใช้เทคนิค NIR spectroscopy ซึ่งสร้างสมการในการทำนายแบบ partial least squares regression (PLS regression) พบว่า สามารถทำนายค่า soluble solid contents (SSC) มีความแม่นยำที่ค่า $R = 0.825$ $RMSEP = 0.543$ °Bx และสามารถทำนายค่า titratable acidity (TA) ได้เท่ากับ $R = 0.744$ $RMSEP = 0.093$ % จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค NIR spectroscopy ร่วมกับกระบวนการ pre-processing ในการทำนายค่า SSC และ ค่า TA ภายในของผลส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค

อดิศักดิ์ (2557) ได้วิจัยการพัฒนาเทคนิคการประเมินคุณภาพของผลไม้ไทยด้วยเทคโนโลยีแบบไม่ทำลายตัวอย่างด้วยเครื่องนียร์อินฟราเรดแบบพกพา ซึ่งจะศึกษาผลไม้ 3 ชนิด คือ มะละกอ สับปะรด และมะม่วง โดยจะศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลไม้ พบว่า มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากเป็นเครื่องที่มีความเฉพาะของการใช้งานกับตัวอย่าง

นิมิตรา (2559) ได้ศึกษา การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้และเทคนิคการถ่ายภาพเชิงสเปกตรัมในการติดตามคุณภาพภายในและปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ที่ช่วงความยาวคลื่น 800-2500 nm พบว่า สามารถทำนายค่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS), ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) และปริมาณเบต้าแคโรทีน ได้อย่างแม่นยำ

เจนจิรา (2553) ได้ศึกษาการสร้างสมการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีนในฟักทอง ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRs) โดยทำการสุ่มตัวอย่างฟักทอง จำนวน 30 ผล มาวัดค่าสเปกตรัมของฟักทอง จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นตรง พบว่า สามารถสร้างสมการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อผลฟักทองได้อย่างแม่นยำ

กาญจนา (2558) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวัดค่าความหวานของอ้อยด้วยแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 1100–2500 นาโนเมตร โดยใช้ตัวอย่างอ้อย 1,150 ตัวอย่าง วิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS, ปริคซ์)ม ร้อยละน้ำตาลซูโครส (โพล) และเปอร์เซ็นต์เส้นใยอ้อยเพื่อนำมาคำนวณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหวาน (CCS) พบว่า การใช้เทคนิค NIRs ให้ผลที่มีประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณค่าบริกซ์ โพล และ CCS ของน้ำอ้อยในระดับการทำนายเพื่อประกันคุณภาพ และสมการจากเส้นใยให้การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือค่าเบื้องต้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 ลำไย พันธุ์อีดอ

3.2 สารเคมี

3.2.1 1% ฟีนอล์ฟทาลีน

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

3.2.3 สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟลาเลต (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 FX17e, 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของลำไย

3.5.1.1 นำลำไยพันธุ์อีดอ (ชื่อมาจากตลาดสุวรรณภูมิ เขตลาดกระบัง) อย่างน้อย 450 ลูก (วิธีการละ 150 ตัวอย่าง) มาทำการตรวจสอบคุณภาพของลำไย ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในลำไย

3.5.1.2 สร้างสมการหลายตัวแปรและทดสอบความถูกต้องของสมการ

3.5.2 หลักการทำงานของ NIR hyperspectral image

NIR hyperspectral image เป็นการถ่ายภาพโดยใช้ hyperspectral image (Specim FX17e, Spectral Imaging Ltd., Oulu, Finland) ในโหมด reflectance โดยทำการสแกนที่ความเร็ว 5.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และสแกนที่ positioning speed 20 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยจะใช้ความยาวคลื่นในช่วง 935-1720 นาโนเมตร เพื่อจะได้ข้อมูลสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างแล้วนำข้อมูลสเปกตรัมนั้นมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.5.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมีของลำไยกับการดูดกลืนพลังงานแสงย่าน near infrared

3.5.3.1 การทดลองเพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพทางเคมีของลำไย ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในลูกลำไย

3.5.3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวัดด้วยเครื่อง NIR hyperspectral image

3.5.2.1.1.1 เตรียมตัวอย่างลำไยพันธุ์อีดอ จำนวนไม่ต่ำกว่า 600 ลูก เลือกลูกลำไยที่มีความสม่ำเสมอทั้งด้านสีและขนาด โดยลูกลำไยต้องไม่แก่เกินไป คือ ผิวต้องสีน้ำตาลอ่อนไม่ดำ ไม่มีรอยแตก ขั้วต้องไม่หลุดออกก่อนทำการทดลอง นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการปรับอุณหภูมิก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ที่ห้องปรับอากาศที่รักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนทำการวัดด้วยเครื่อง hyperspectral image

3.5.2.1.1.2 ทำการวัดการดูดกลืนพลังงานแสงด้วยเครื่อง NIR hyperspectral image โหมด reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 935-1720 nm สำหรับตำแหน่งการวัดนั้นจะทำการวัดที่ด้านข้างของลูกลำไยโดยจะหันด้านขั้วไปทางด้านซ้ายของเครื่องสแกน

3.5.2.1.1.3 หลังจากทำการวัดสเปกตรัมแล้ว ทำการตรวจสอบคุณภาพลำไย โดยการหาคุณภาพของลำไย ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในลูกลำไย

3.5.3 ขั้นตอนการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในลูกลำไย

3.5.3.1 การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solid, TSS) (AOAC, 2000) วัดโดยใช้เครื่อง digital hand refractometer โดยหยดน้ำที่คั้นได้ของลูกลำไยลงไป อ่านค่าที่ออกมาได้ เป็นเปอร์เซ็นต์

3.5.3.2 การวัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA) (AOAC, 2000) โดยนำน้ำที่คั้นได้ของลูกลำไยปริมาณ 2-3 กรัม เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ตามด้วยหยดฟีนอล์ฟทาเลอิน 2-3 หยด แล้วจึงนำมาไตเตรทด้วยสารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 N โดยจะทำการไตเตรทจนถึงจุดยุติหรือเกิดสีชมพู บันทึกปริมาตรของสารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ตามสูตร (1)

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

โดยที่ milliequivalent of citric (anhydrous) = 0.064 เนื่องจากงานวิจัยของ Marisa (2011) ได้กล่าวว่า กรดอินทรีย์ที่สำคัญที่สุดของลำไย คือ กรดซิตริก

3.5.3.3 การวัดปริมาณความชื้นทั้งหมดของลูกลำไย (moisture content, MC) (AOAC, 2000) โดยหาปริมาณความชื้นทั้งหมดของลูกลำไย จากการอบภาชนะสำหรับหาความชื้นใน 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 บันทึกค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้นทั้งหมดของลูกลำไยตามสูตร (2)

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

w_1 = น้ำหนักก่อนเข้าตู้อบ hot air oven

w_2 = น้ำหนักหลังเข้าตู้อบ hot air oven

3.5.4 การนำข้อมูลที่ได้จากการสแกนด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image ออกมาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปิดไฟล์ที่ได้จากการสแกนด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image แล้วจึงนำมาทำการหาสเปกตรัมเฉลี่ยของลำไยลูกนี้ โดยจะต้องทำการตัดภาพขนาด 30×30 พิกเซล จะทำให้ได้ข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยมาทั้งหมด 224 ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาเซฟเป็นไฟล์ .excel นำข้อมูลนั้นมาจัดเรียงในแนว row พร้อมกับข้อมูลทางเคมีของลำไยลูกนั้น ทำแบบนี้กับทุกลูกของลำไยที่นำมาทำการทดลอง

3.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม The Unscrambler ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยให้ตัวแปรตาม คือ คุณภาพทางเคมีของลำไย ได้แก่ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในลูกลำไย ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR hyperspectral imaging

- นำข้อมูลค่าตัวแปรตามมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตาม ทั้งหมดของผลลำไยเรียงจากน้อยไปมากแล้วนำข้อมูลทั้งหมดไปเข้าโปรแกรม The Unscrambler เพื่อตัดข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนมาก (Out liner) ออก ซึ่งเป็นผลลำไยที่มีผลข้างในเน่า หรือเป็นลำไยที่ซื้อมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลาหลายวัน เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน จนเหลือแต่ข้อมูลที่เหมาะสมในการทำการวิเคราะห์

- นำข้อมูลที่เหลือจากการตัดสัญญาณรบกวนมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตามของผลลำไยเรียงจากน้อยไปมากแล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 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 จะต้องมีค่าคุณภาพทางเคมีที่ต่ำสุดและสูงสูงอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

- นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยในกลุ่ม calibration มาสร้าง สมการในการทำนาย โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ต้องทำการ pre-treatment ก่อน โดยในสเปกตรัมจะมีสัญญาณรบกวนจึงมีการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่งก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ โดยวิธีที่ใช้คือ วิธี smoothing (Savitzky-Golay), 1st Derivative, 2nd Derivative, MSC และ SNV ซึ่งจะต้องพิจารณาจาก ค่า R_{cv} ให้มีค่าสูงสุด และ RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุด

- เมื่อทำการ pre-treatment และได้สมการที่ทำนายดีที่สุดแล้ว จึงทำการหาช่วงของความยาวคลื่นที่ดีที่สุดในการทำนายโดยแบ่งเป็นช่วงดังนี้ 935-1000, 1001-1100, 1101-1200, 1201-1300, 1301-1400, 1401-1500, 1501-1600, 1601-1720, 935-1200, 1201-1500, 1501-1720, 935-1300, 1301-1720, 935-1400, 1401-1720, 935-1720 nm

- เมื่อได้ช่วงความยาวคลื่นที่ดีที่สุดแล้วจะเลือกสมการจากวิธีนั้นมาใช้ในการทำนาย โดยเราจะนำสมการนั้นไปทำนาย ตัวอย่างในกลุ่ม prediction set เพื่อดูความแม่นยำของสมการ ซึ่งพิจารณาจาก ค่า R_p และ RMSEP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ข้อมูลที่ได้จากการนำลำไยพันธุ์อีดอไปสแกนด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image ที่ความยาวคลื่น 935–1720 nm

เมื่อทำการสแกนลำไยพันธุ์อีดอด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image แล้วจะทำให้ได้ค่าสเปกตรัมของลำไยมา ซึ่งต้องมาทำการหาสเปกตรัมเฉลี่ยของลำไยลูกนี้ โดยจะต้องทำการตัดภาพขนาด 30×30 พิกเซล จะทำให้ได้ข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยมาทั้งหมด 224 ข้อมูล

4.2 ค่าทางเคมีของลำไยพันธุ์อีดอ

4.2.1 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) (AOAC, 2000)

เมื่อทำการคั้นน้ำจากลำไยพันธุ์อีดอที่ผ่านการสแกนด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image แล้วนำน้ำลำไยที่คั้นได้มาทำการตรวจวัดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ด้วยเครื่อง digital hand refractometer จะได้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของแต่ละตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลดิบของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

NO.	TSS (°Bx)	NO.	TSS (°Bx)	NO.	TSS (°Bx)
1	21.70	11	22.30	21	22.60
2	21.35	12	22.45	22	21.30
3	21.15	13	22.40	23	22.05
4	22.60	14	22.35	24	22.75
5	22.80	15	21.35	25	22.30
6	20.20	16	21.40	26	23.25
7	20.70	17	21.05	27	22.85
8	20.70	18	12.70	28	22.15
9	22.90	19	21.95	29	23.15
10	22.50	20	21.10	30	22.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

NO.	TSS (°Bx)	NO.	TSS (°Bx)	NO.	TSS (°Bx)
31	20.95	56	20.55	81	21.40
32	21.20	57	21.10	82	22.00
33	19.15	58	21.10	83	20.60
34	21.50	59	20.60	84	21.85
35	20.40	60	21.50	85	21.75
36	22.15	61	20.35	86	21.35
37	20.90	62	21.15	87	21.95
38	20.55	63	21.00	88	21.10
39	20.55	64	20.55	89	21.70
40	21.90	65	20.90	90	21.00
41	20.20	66	20.75	91	21.60
42	21.70	67	22.50	92	20.20
43	20.60	68	22.30	93	21.20
44	21.55	69	22.35	94	21.10
45	21.35	70	21.55	95	20.80
46	22.45	71	20.60	96	20.80
47	21.35	72	20.45	97	19.00
48	23.45	73	21.50	98	19.65
49	22.40	74	20.50	99	20.10
50	21.00	75	21.60	100	20.90
51	21.80	76	20.80	101	21.15
52	22.40	77	19.50	102	21.20
53	22.40	78	22.25	103	22.20
54	21.80	79	20.95	104	20.80
55	20.25	80	21.15	105	21.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

NO.	TSS (°Bx)	NO.	TSS (°Bx)	NO.	TSS (°Bx)
106	21.45	131	20.65	156	20.15
107	22.10	132	21.30	157	21.10
108	22.00	133	21.90	158	21.25
109	22.10	134	22.55	159	21.20
110	20.55	135	21.50	160	18.70
111	22.90	136	22.70	161	20.30
112	22.20	137	23.40	162	19.25
113	22.20	138	22.65	163	21.25
114	21.05	139	21.95	164	20.10
115	21.40	140	21.30	165	20.70
116	21.15	141	21.90	166	20.80
117	20.55	142	20.85	167	19.95
118	21.70	143	22.65	168	20.35
119	20.55	144	21.75	169	21.00
120	21.60	145	20.35	170	18.70
121	20.60	146	21.65	171	21.40
122	22.00	147	22.30	172	20.95
123	20.85	148	21.05	173	21.55
124	21.30	149	22.15	174	19.40
125	21.30	150	22.00	175	19.55
126	21.90	151	20.25	176	22.05
127	22.10	152	20.30	177	21.55
128	23.30	153	19.80	178	20.40
129	22.15	154	16.80	179	20.85
130	21.60	155	18.50	180	21.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

NO.	TSS (°Bx)	NO.	TSS (°Bx)	NO.	TSS (°Bx)
181	21.35	188	20.60	195	21.30
182	20.50	189	20.50	196	17.60
183	20.50	190	20.15	197	20.15
184	21.75	191	20.40	198	20.15
185	19.50	192	20.70	199	22.20
186	21.20	193	20.25	200	19.60
187	20.45	194	17.45		

TSS = total soluble solids

4.2.2 ค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA) (AOAC, 2000)

เมื่อทำการคั้นน้ำจากลำไยพันธุ์อีดอที่ผ่านการสแกนด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image แล้วนำน้ำลำไยที่คั้นได้มา 2-3 กรัม เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ตามด้วยหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด แล้วจึงนำมาไตเตรทด้วยสารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 N โดยจะทำการไตเตรทจนถึงจุดยุติหรือเกิดสีชมพูแล้วจึงอ่านค่าปริมาณสารละลายต่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 N ที่ใช้ไป แล้วจึงนำมาคำนวณเพื่อหาค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้จากสมการ (1)

$$\text{TA (\%citric acid)} = \frac{[\text{milliequivalent factor}] \times [\text{ml NaOH used}] \times [0.01 \text{ M NaOH}] \times 100}{\text{grams of sample}} \quad (4.1)$$

milliequivalent of citric (anhydrous) = 0.064

โดยค่า milliequivalent factor ของลำไยคือ 0.064 ซึ่งเป็นค่าของกรดซิตริก เนื่องจากในลำไยมีปริมาณกรดซิตริกมากที่สุด Marisa (2011) เมื่อนำข้อมูลที่ทดลองได้มาคำนวณด้วยสมการที่ 1 แล้วจะได้ค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของแต่ละตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลดิบของปริมาณความชื้นทั้งหมด

No.	MC (%)	No.	MC (%)	No.	MC (%)
1	80.88	26	81.53	51	80.49
2	79.23	27	79.93	52	79.83
3	81.56	28	79.77	53	78.01
4	82.45	29	81.27	54	81.55
5	79.78	30	80.48	55	79.10
6	80.51	31	78.22	56	80.79
7	78.24	32	80.58	57	78.74
8	78.49	33	81.32	58	80.33
9	79.96	34	81.26	59	83.03
10	81.54	35	80.36	60	81.45
11	79.87	36	80.43	61	81.39
12	79.99	37	80.98	62	79.28
13	81.36	38	78.82	63	78.23
14	79.61	39	81.33	64	79.47
15	80.66	40	81.91	65	81.06
16	80.27	41	81.14	66	80.39
17	79.29	42	81.20	67	80.76
18	80.85	43	81.02	68	78.98
19	80.31	44	80.93	69	81.24
20	80.96	45	80.32	70	80.01
21	80.92	46	81.11	71	79.00
22	80.49	47	81.26	72	79.59
23	80.99	48	80.38	73	79.54
24	81.54	49	78.59	74	81.08
25	80.37	50	81.89	75	80.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

No.	MC (%)	No.	MC (%)	No.	MC (%)
76	80.09	101	78.99	126	78.47
77	79.76	102	79.61	127	82.73
78	80.84	103	79.84	128	78.73
79	80.03	104	79.09	129	83.45
80	80.04	105	77.95	130	79.26
81	82.21	106	78.90	131	78.88
82	78.44	107	79.57	132	79.23
83	79.25	108	73.99	133	79.02
84	78.84	109	79.32	134	78.69
85	79.42	110	78.63	135	79.10
86	79.04	111	79.55	136	47.42
87	78.08	112	78.14	137	79.19
88	79.88	113	79.02	138	79.61
89	77.84	114	78.70	139	78.65
90	77.21	115	78.52	140	77.79
91	78.27	116	78.98	141	77.79
92	78.12	117	77.51	142	78.34
93	78.73	118	79.17	143	78.44
94	78.73	119	79.90	144	77.69
95	78.63	120	78.37	145	80.71
96	79.65	121	79.60	146	79.04
97	78.86	122	79.78	147	78.12
98	78.98	123	77.92	148	79.06
99	78.65	124	79.62	149	79.16
100	79.29	125	76.98	150	78.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

No.	MC (%)	No.	MC (%)	No.	MC (%)
151	79.08	176	79.86	201	80.86
152	79.05	177	80.47	202	79.98
153	78.05	178	78.13	203	79.68
154	77.73	179	78.24	204	79.56
155	78.79	180	77.42	205	78.43
156	80.40	181	79.18	206	79.30
157	77.70	182	78.67	207	80.05
158	79.72	183	79.52	208	80.28
159	78.03	184	79.12	209	81.32
160	80.08	185	80.47	210	79.85
161	78.73	186	77.91		
162	78.09	187	79.40		
163	80.01	188	77.60		
164	79.09	189	79.36		
165	79.38	190	79.32		
166	78.60	191	79.80		
167	79.10	192	77.44		
168	77.72	193	82.38		
169	78.38	194	79.93		
170	79.93	195	78.99		
171	78.00	196	80.07		
172	79.16	197	77.88		
173	78.20	198	79.33		
174	78.56	199	78.57		
175	80.87	200	79.09		

MC = moisture content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ค่าปริมาณความชื้นทั้งหมด (AOAC, 2000)

เมื่อทำการสแกนด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image แล้ว นำลำไยนั้นมาแกะเปลือกและเมล็ดของลำไยออก แล้วนำไปใส่ในลูมิเนียมแคนที่ชั่งน้ำหนักแล้ว แล้วจึงนำเข้าตู้อบ hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 องศา เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำลูมิเนียมแคนออกจากตู้อบ hot air oven รอให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณน้ำที่หายไปขณะที่เข้าตู้อบ แล้วจึงนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณความชื้นทั้งหมดตามสมการ (4.2)

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

w_1 = น้ำหนักก่อนเข้าตู้อบ hot air oven

w_2 = น้ำหนักหลังเข้าตู้อบ hot air oven

เมื่อทำการคำนวณด้วยสมการที่ 2 จะทำให้ได้ค่าปริมาณความชื้นทั้งหมดของแต่ละตัวอย่างดัง

ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลดิบของปริมาณกรดที่ไทเตรทได้

No.	TA (%)	No.	TA (%)	No.	TA (%)
1	0.04	11	0.04	21	0.04
2	0.05	12	0.05	22	0.04
3	0.06	13	0.05	23	0.04
4	0.06	14	0.04	24	0.05
5	0.04	15	0.05	25	0.06
6	0.05	16	0.06	26	0.04
7	0.04	17	0.05	27	0.04
8	0.04	18	0.07	28	0.04
9	0.04	19	0.06	29	0.06
10	0.05	20	0.06	30	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

No.	TA (%)	No.	TA (%)	No.	TA (%)
31	0.05	56	0.05	81	0.03
32	0.05	57	0.11	82	0.03
33	0.05	58	0.04	83	0.03
34	0.06	59	0.04	84	0.05
35	0.04	60	0.02	85	0.05
36	0.03	61	0.04	86	0.04
37	0.03	62	0.03	87	0.05
38	0.04	63	0.04	88	0.03
39	0.05	64	0.03	89	0.05
40	0.05	65	0.05	90	0.05
41	0.03	66	0.04	91	0.05
42	0.04	67	0.05	92	0.08
43	0.06	68	0.06	93	0.05
44	0.04	69	0.05	94	0.04
45	0.07	70	0.05	95	0.05
46	0.07	71	0.05	96	0.03
47	0.16	72	0.04	97	0.03
48	0.05	73	0.05	98	0.11
49	0.06	74	0.05	99	0.04
50	0.07	75	0.05	100	0.04
51	0.04	76	0.06	101	0.04
52	0.04	77	0.06	102	0.04
53	0.04	78	0.06	103	0.04
54	0.05	79	0.04	104	0.03
55	0.05	80	0.05	105	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

No.	TA (%)	No.	TA (%)	No.	TA (%)
106	0.03	131	0.04	156	0.05
107	0.04	132	0.04	157	0.06
108	0.03	133	0.06	158	0.07
109	0.04	134	0.05	159	0.06
110	0.03	135	0.06	160	0.07
111	0.02	136	0.03	161	0.06
112	0.03	137	0.03	162	0.06
113	0.02	138	0.04	163	0.06
114	0.03	139	0.05	164	0.07
115	0.03	140	0.04	165	0.07
116	0.03	141	0.06	166	0.05
117	0.03	142	0.05	167	0.06
118	0.03	143	0.06	168	0.08
119	0.04	144	0.04	169	0.07
120	0.03	145	0.05	170	0.13
121	0.04	146	0.06	171	0.06
122	0.05	147	0.04	172	0.07
123	0.06	148	0.04	173	0.08
124	0.06	149	0.06	174	0.05
125	0.05	150	0.03	175	0.06
126	0.05	151	0.04	176	0.07
127	0.05	152	0.08	177	0.09
128	0.05	153	0.04	178	0.09
129	0.05	154	0.06	179	0.02
130	0.05	155	0.07	180	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

No.	TA (%)	No.	TA (%)	No.	TA (%)
181	0.05	194	0.05	207	0.05
182	0.06	195	0.05	208	0.05
183	0.05	196	0.05	209	0.06
184	0.05	197	0.05	210	0.05
185	0.06	198	0.04	211	0.06
186	0.05	199	0.03	212	0.05
187	0.06	200	0.05	213	0.07
188	0.05	201	0.04	214	0.06
189	0.22	202	0.02	215	0.06
190	0.28	203	0.04	216	0.05
191	0.06	204	0.04	217	0.06
192	0.05	205	0.05	218	0.05
193	0.05	206	0.06	219	0.03

TA = titration acidity

4.3 การจัดเรียงข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

4.3.1 นำข้อมูลทางเคมี (ตัวแปรตาม) และข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างนั้น (ตัวแปรอิสระ) ซึ่งตัวแปรตาม คือ คุณภาพทางเคมีของลำไย ได้แก่ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณความชื้นทั้งหมดในลูกลำไย ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR hyperspectral imaging

4.3.2 นำข้อมูลค่าตัวแปรตามมาเรียงกันดังตารางที่ 4.4 โดยเรียงค่าตัวแปรตาม ทั้งหมดของผลลำไย เรียงจากน้อยไปมากแล้วนำข้อมูลทั้งหมดไปเข้าโปรแกรม The Unscrambler เพื่อตัดข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนมากๆ (Out liner) ออก ซึ่งเป็นผลลำไยที่มีผลข้างในเน่า หรือเป็นลำไยที่ซื้อมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลาหลายวัน เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน จนเหลือแต่ข้อมูลที่เหมาะสมในการทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.4 การจัดเรียงค่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามสำหรับนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม The Unscrambler

	wavelength	935.61	939.06	942.52	945.98	949.43	1720.23
No.	chemical value	ค่าการดูดกลืนแสง					
1	Y_1	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_n
2	Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_n
3	Y_3	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_n
4	Y_4	X_1	X_3	X_3	X_4	X_5	X_n
5	Y_5	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_n
6	Y_6	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_n
N	Y_n	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_n

No. = จำนวนตัวอย่าง

Y = ค่าทางเคมี (ตัวแปรตาม)

X = ค่าสเปกตรัม (ตัวแปรอิสระ)

4.2.3 นำข้อมูลที่เหลือจากการตัดสัญญาณรบกวนมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตามของผลลำไยเรียงจากน้อยไปมากแล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็น กลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) กลุ่ม calibration จะต้องมีจำนวนข้อมูลไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่ม prediction จะต้องมีจำนวนข้อมูลไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆกัน ค่าคุณภาพทางเคมีในกลุ่ม calibration จะต้องมีค่าคุณภาพทางเคมีที่ต่ำสุดและสูงสูงอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย เมื่อเรียงข้อมูลแล้ว จึงนำข้อมูลนั้นมาเข้าโปรแกรม The Unscrambler เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

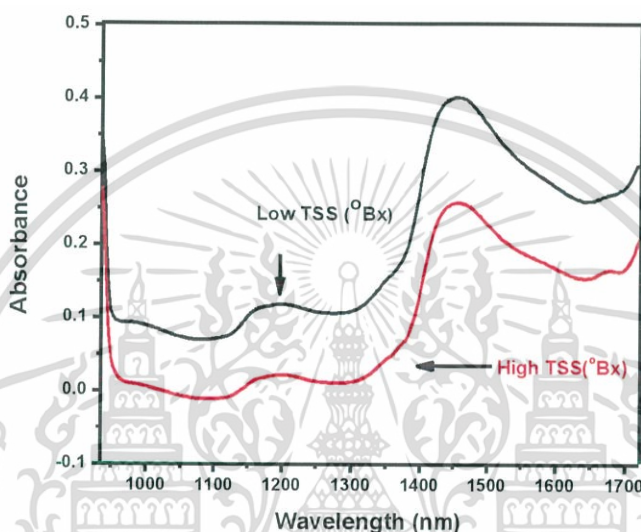
4.4 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของลำไยพันธุ์อีดอ

จากการทดลอง พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพของลำไยมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของลำไยซึ่งจะเป็นการบอกค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันนั้นสามารถที่จะทำนายคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของลำไยพันธุ์อีดอได้ว่าลำไยลูกไหนมีคุณภาพดีหรือไม่ดี โดยการทดลองนี้ได้ทำการตรวจสอบ ปริมาณของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณความชื้นทั้งหมด โดยคุณสมบัติแบบนี้ไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้จากภายนอก จึงได้ใช้เทคนิค NIR hyperspectral image เพื่อทำนายคุณภาพจากค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของลำไยพันธุ์อีดอ

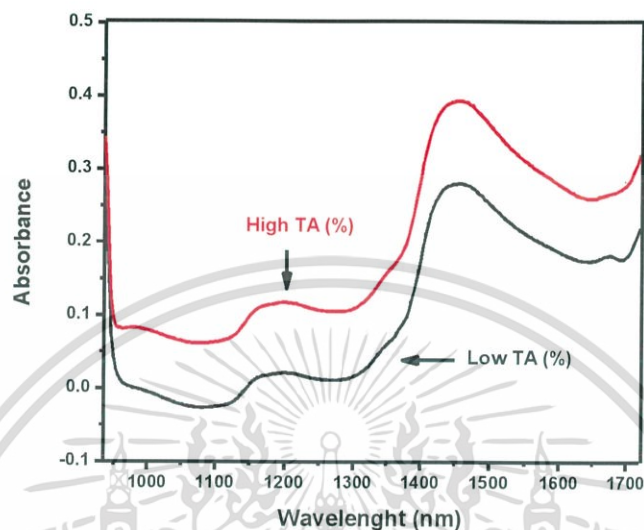


รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำไยที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำไยที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ

จากรูปที่ 4.1 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยที่ความยาวคลื่น 935–1720 nm ของลำไยที่มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูง (TA = 19.89–21.30°Bx) กับค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำไยที่มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ (TA = 21.35–22.90°Bx) พบว่า ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยสูงกว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูง และจากภาพจะเห็นได้ว่า ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ทั้งสองกลุ่มมีพีคขึ้นที่บริเวณความยาวคลื่นบริเวณเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

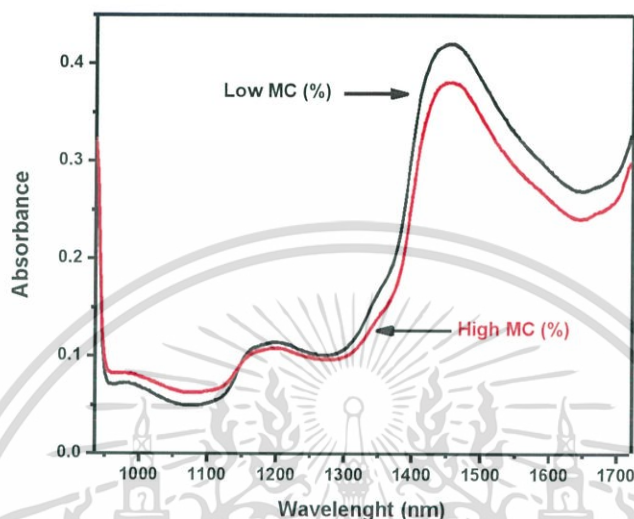
4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยกับปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ของลำใยพันธุ์อู๊ดอ



รูปที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำใยที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้สูงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำใยที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ต่ำ

จากรูปที่ 4.2 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยที่ความยาวคลื่น 935–1720 nm ของลำใยที่มีค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้สูง ($TA = 0.05-0.07\%$) กับค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำใยที่มีค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ต่ำ ($TA = 0.02-0.05\%$) พบว่า ค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้สูงมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยสูงกว่าค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ต่ำ และจากภาพจะเห็นได้ว่าคุณสมบัติการดูดกลืนแสงเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ทั้งสองกลุ่มมีพีคขึ้นที่บริเวณความยาวคลื่นบริเวณเดียวกัน

4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยกับปริมาณความชื้นของลำไยพันธุ์อีดอ



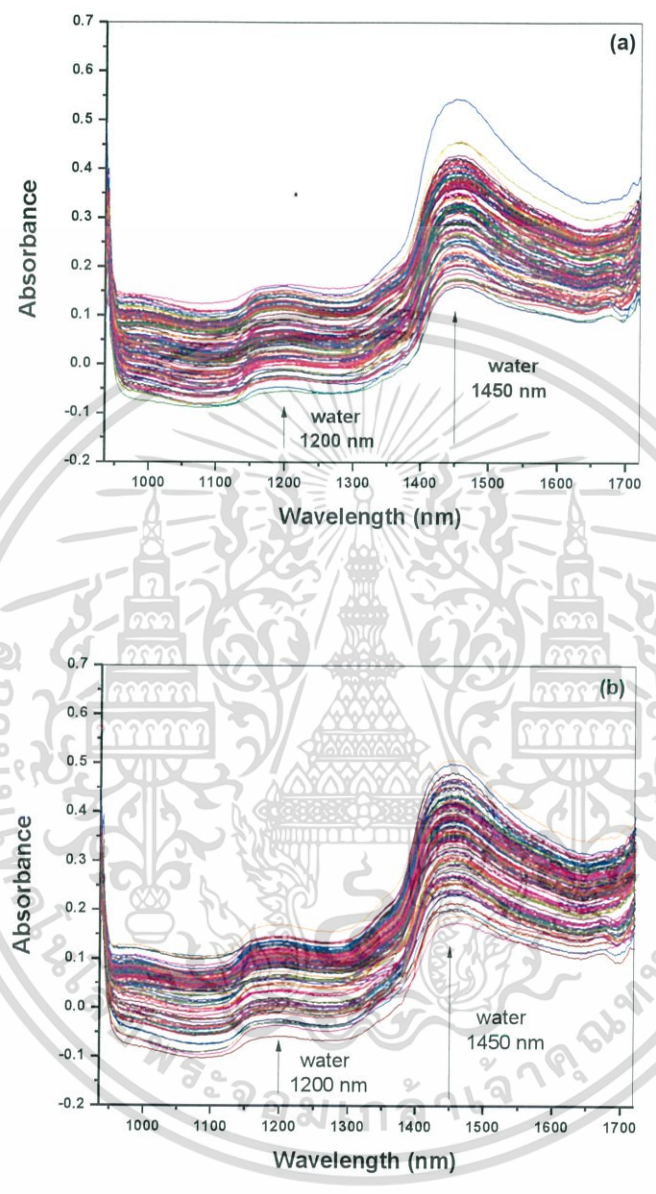
รูป 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำไยที่มีปริมาณความชื้นสูงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำไยที่มีปริมาณความชื้นต่ำ

จากรูปที่ 4.3 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยที่ความยาวคลื่น 935–1720 nm ของลำไยที่มีค่าปริมาณความชื้นสูง (TA = 77.73–79.47%) กับค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของลำไยที่มีค่าปริมาณความชื้นต่ำ (TA = 79.54–81.91%) พบว่า ค่าปริมาณความชื้นต่ำมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยสูงกว่าค่าความชื้นสูง และจากภาพจะเห็นได้ว่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน และทั้งสองกลุ่มมีพีคขึ้นที่บริเวณความยาวคลื่นบริเวณเดียวกัน

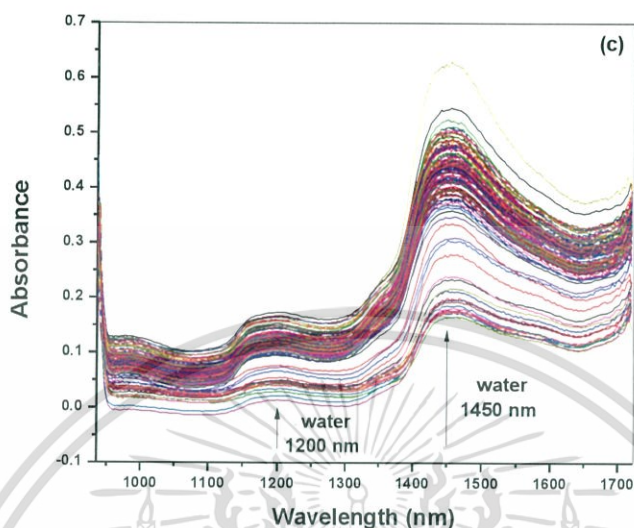
4.5 ลักษณะสเปกตรัมของลำไยพันธุ์อีดอ

NIR hyperspectral image เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพของลำไยพันธุ์อีดอ เมื่อทำการวิเคราะห์ลำไยพันธุ์อีดอ 120 ลูก ที่ความยาวคลื่น 935-1720 nm พบว่า สเปกตรัมการดูดกลืนแสงนั้น เกิดพีคที่เด่นชัดขึ้นมา 2 จุด ที่ 1200 และ 1450 nm โดยเป็นพีคของน้ำ เนื่องจากในผลไม้จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้งหมดของลำไย (a) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, (b) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และ (c) ปริมาณความชื้น

4.5.1 การสร้างโมเดลโดยใช้การวิเคราะห์แบบ PLS regression

4.5.1.1. การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้จากการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ โดยทำการตรวจวิเคราะห์ 120 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ 40 ตัวอย่าง นอกจากนี้ ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการจะต้องมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการเท่ากับ 21.34 ± 0.69 °Bx ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ เท่ากับ 21.37 ± 0.68 °Bx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในตัวอย่างลำไยพันธุ์ตอของตัวอย่างกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ (calibration set) และ กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set)

chemical value		calibration set	prediction set
	N	80	40
TSS (°Bx)	Range	19.80-22.9	20.10-22.65
	Mean	21.34	21.37
	SD	0.69	0.68

TSS = total soluble solids

N = samples

SD = standard deviation

เมื่อทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการเสร็จแล้ว จะสังเกตได้ว่า สเปกตรัมมีสัญญาณรบกวนจึงมีการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ โดยวิธีที่ใช้คือ วิธี smoothing (Savitzky-Golay), 1st Derivative, 2nd Derivative, MSC และ SNV ดังตารางที่ 4.6 โดยในการสร้างสมการ calibration และ ทดสอบสมการ จากสเปกตรัมของลำไยที่การปรับแต่งสเปกตรัมแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ พบว่า เมื่อทำการปรับแต่งสเปกตรัมดั้งเดิมด้วยวิธีต่างๆ ไม่สามารถทำให้ผลการวิเคราะห์ดีกว่าแบบที่ยังไม่ได้ปรับแต่งสเปกตรัมดั้งเดิมได้ โดยสเปกตรัมดั้งเดิมนั้น มีค่า R_c สูงสุด เท่ากับ 0.76 ในขณะที่วันก็มีค่า RMSECV เท่ากับ 0.45 °Bx ซึ่งถ้าค่า RMSECV ที่ดี จะต้องมิต่ำที่สุด นอกจากนี้ ค่า R_c จะต้องเข้าใกล้ 1 หรือมีค่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำนายที่มีความแม่นยำสูง โดยสมการที่ได้จากสเปกตรัมนี้ จะมีความแม่นยำ จะทำให้ข้อมูลสเปกตรัมและค่าทางเคมี (ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้) มีความผิดพลาดน้อย มีผลทำให้การทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้แม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง

No.	spectral pretreatment	TSS		
		F	R _{cv}	RMSECV (°Bx)
1	Original	1	0.76	0.45
2	Smoothing	1	0.75	0.45
3	1 st derivative	3	0.68	0.50
4	2 nd derivative	2	0.70	0.50
5	MSC	2	0.62	0.55
6	SNV	3	0.63	0.54

TSS = total soluble solids

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

หลังจากได้ทำการ pre-treatment และเลือกวิธีที่ดีที่สุดแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์ช่วงความยาวคลื่นเป็นช่วงต่างๆ (935-1000, 1001-1100, 1101-1200, 1201-1300, 1301-1400, 1401-1500, 1501-1600, 1601-1720, 935-1200, 1201-1500, 1501-1720, 935-1300, 1301-1720, 935-1400, 1401-1720, 935-1720 nm) ดังตารางที่ 4.7 เมื่อทำวิเคราะห์แล้วพบว่า ช่วง 935-1720 nm มีค่า R_{cv} ต้องมีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ มีค่าสูง นอกจากนี้ ยังมีค่า RMSECV ต่ำ ซึ่งแสดงถึง ความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าช่วงความยาวคลื่นอื่น นั่นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงถึง มีความแม่นยำของช่วงนี้มากนั่นเอง ซึ่งจากค่าที่แสดงพบว่า ช่วงความยาวคลื่นมีผลต่อการทำนาย ว่า ควรจะเลือกช่วงความยาวคลื่นที่สามารถทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ดี มาใช้ในการสร้าง สมการเพื่อที่จะทำให้ค่าที่ทำนายได้แม่นยำ

ตารางที่ 4.7 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

wavelength (nm)	TSS		
	F	R _{cv}	RMSECV (°Bx)
935-1000	1	0.65	0.53
1001-1100	3	0.74	0.47
1101-1200	2	0.75	0.46
1201-1300	3	0.75	0.46
1301-1400	1	0.76	0.45
1401-1500	2	0.74	0.47
1501-1600	1	0.74	0.46
1601-1720	1	0.75	0.46
935-1200	2	0.75	0.46
1201-1500	1	0.76	0.45
1501-1720	1	0.74	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

wavelength (nm)	TSS		
	F	R _{cv}	RMSECV (°Bx)
935-1300	2	0.75	0.45
1301-1720	2	0.76	0.45
935-1400	2	0.76	0.45
1401-1720	1	0.73	0.47
935-1720	1	0.76	0.45

TSS = total soluble solids

F = factors

R = correlation coefficients

RMSECV = root mean square error of cross-validation

จากตารางที่ 4.8 แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างลำไยพันธุ์อีดอ คือ แบบดั้งเดิมที่ยังไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม โดยเมื่อได้สมการที่ดีที่สุดในการทำนายแล้ว ก็จะนำกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการมาทำการทดสอบความแม่นยำในการทำนายโดยในกลุ่มที่สร้างสมการมีค่า R_c เท่ากับ 0.78 และ RMSEC เท่ากับ 0.44 °Bx ส่วนกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการมีค่า correlation coefficients (R_p) และ root mean square error of prediction (RMSEP) เท่ากับ 0.71 และ 0.48 °Bx ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลของการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

pre-treatment	TSS						
	F	calibration set			prediction set		
		N	R _c	RMSEC (°Bx)	N	R _p	RMSEP (°Bx)
original	1	80	0.78	0.44	40	0.71	0.48

TSS = total soluble solids

F = factors

N = samples

R = correlation coefficients

RMSEC = root mean square error of calibration

RMSEP = root mean square error of prediction

4.5.1.2. การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไเตรตได้

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้จากการไเตรต โดยทำการตรวจวิเคราะห์ 120 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ 40 ตัวอย่าง นอกจากนี้ ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการจะต้องมีค่าปริมาณกรดที่ไเตรตได้ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดที่ไเตรตได้ของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดที่ไเตรตได้ของกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ เท่ากับ $0.05 \pm 0.01\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในตัวอย่างลำไยพันธุ์ฮิดของตัวอย่างกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ (calibration set) และ กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set)

chemical value		calibration set	prediction set
	N	80	40
TA (%)	range	0.02-0.07	0.03-0.07
	mean	0.05	0.05
	SD	0.01	0.01

TA = titratable acidity

N = samples

SD = standard deviation

เมื่อทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการเสร็จแล้ว จะสังเกตได้ว่า สเปกตรัมมีสัญญาณรบกวนจึงมีการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ โดยวิธีที่ใช้คือ วิธี smoothing (Savitzky-Golay), 1st Derivative, 2nd Derivative, MSC และ SNV ดังตารางที่ 4.10 โดยในการสร้างสมการ calibration และ ทดสอบสมการ จากสเปกตรัมของลำไยที่การปรับแต่งสเปกตรัมแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ พบว่า เมื่อทำการปรับแต่งสเปกตรัมดั้งเดิมด้วยวิธีต่างๆ ไม่สามารถทำให้ผลการวิเคราะห์ดีกว่าแบบที่ยังไม่ได้ปรับแต่งสเปกตรัมดั้งเดิมได้ โดยสเปกตรัมดั้งเดิมนี มีค่า R_c สูงสุด เท่ากับ 0.83 ในขณะที่เดียวกันก็มีค่า RMSECV เท่ากับ 0.01% ซึ่งถ้าค่า RMSECV ที่ดี ต้องมีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ ค่า R_c จะต้องเข้าใกล้ 1 หรือมีค่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำนายที่มีความแม่นยำสูง โดยสมการที่ได้จากสเปกตรัมนี้ จะมีความแม่นยำ จะทำให้ข้อมูลสเปกตรัมและค่าทางเคมี (ค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้) มีค่าความผิดพลาดน้อย มีผลทำให้การทำนายค่ากรดที่ไตเตรทได้แม่นยำ

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง

No.	spectral pretreatment	TA		
		F	R _{cv}	RMSECV (%)
1	Original	3	0.83	0.01
2	Smoothing	3	0.81	0.01
3	1 st Derivative	3	0.79	0.01
4	2 nd Derivative	4	0.77	0.01
5	MSC	5	0.78	0.01
6	SNV	3	0.77	0.01

TA = titratable acidity

F = factors

R = correlation coefficients

Smoothing = Savitzky-Golay smoothing

RMSECV = root mean square error of cross-validation

1st Derivative = Savitzky-Golay first derivative differentiation

2nd Derivative = Savitzky-Golay second derivative differentiation

MSC = multiplicative scatter correction

SNV = standard normal variate transformation

หลังจากได้ทำการ pre-treatment และเลือกวิธีที่ดีที่สุดแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์ช่วงความยาวคลื่นเป็นช่วงต่างๆ (935-1000, 1001-1100, 1101-1200, 1201-1300, 1301-1400, 1401-1500, 1501-1600, 1601-1720, 935-1200, 1201-1500, 1501-1720, 935-1300, 1301-1720, 935-1400, 1401-1720, 935-1720 nm) ดังตารางที่ 4.11 เมื่อทำวิเคราะห์แล้วพบว่า ช่วง 935-1720 nm มีค่า R ต้องมีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ มีค่าสูง นอกจากนี้ ยังมีค่า RMSECV ต่ำ ซึ่งแสดงถึง ความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าช่วงความยาวคลื่นอื่น นั่นจะแสดงถึง มีความแม่นยำของช่วงนี้มากนั่นเอง ซึ่งจากค่าที่แสดงพบว่า ช่วงความยาวคลื่นนี้มีผลต่อการทำนาย ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรจะเลือกช่วงความยาวคลื่นที่สามารถทำนายค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ มาใช้ในการสร้างสมการเพื่อที่จะทำให้ค่าที่ทำนายได้แม่นยำ

ตารางที่ 4.11 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

wavelength (nm)	TA		
	F	R	RMSECV (%)
935-1000	4	0.81	0.01
1001-1100	1	0.78	0.01
1101-1200	1	0.79	0.01
1201-1300	4	0.82	0.01
1301-1400	3	0.81	0.01
1401-1500	3	0.78	0.01
1501-1600	2	0.77	0.01
1601-1720	2	0.74	0.01
935-1200	2	0.80	0.01
1201-1500	4	0.83	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

wavelength (nm)	TA			
	F	R _{cv}	R _{cv} ²	RMSECV (%)
1501-1720	6	0.82	0.68	0.01
935-1300	2	0.81	0.65	0.01
1301-1720	2	0.82	0.68	0.01
935-1400	5	0.83	0.69	0.01
1401-1720	5	0.81	0.67	0.01
935-1720	3	0.83	0.70	0.01

TA = titratable acidity

F = factors

R = correlation coefficients

RMSECV = root mean square error of cross-validation

จากตารางที่ 4.12 แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับทำนายค่าปริมาณกรดที่เตรทได้ในตัวอย่างลำไยพันธุ์อีดอ คือ แบบดั้งเดิมที่ยังไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม โดยเมื่อได้สมการที่ดีที่สุดในการทำนายแล้ว ก็จะนำกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการมาทำการทดสอบความแม่นยำในการทำนายโดยในกลุ่มที่สร้างสมการมีค่า R_c เท่ากับ 0.86 และ RMSEC เท่ากับ 0.01% ส่วนกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการมีค่า correlation coefficients (R_p) และ Root mean square error of prediction (RMSEP) เท่ากับ 0.79 และ 0.01% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลของการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

pre-treatment	TA						
	F	calibration set			prediction set		
		N	R _c	RMSEC (%)	N	R _p	RMSEP (%)
original	3	80	0.86	0.01	40	0.79	0.01

TA = titratable acidity

F = factors

N = samples

R = correlation coefficients

RMSEC = root mean square error of calibration

RMSEP = root mean square error of prediction

4.5.1.3. การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมดในลำไย

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้จากการวัดปริมาณความชื้น โดยทำการตรวจวิเคราะห์ 120 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ 40 ตัวอย่าง นอกจากนี้ ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการจะต้องมีค่าปริมาณความชื้นทั้งหมดที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นทั้งหมดของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการเท่ากับ $79.66 \pm 0.94\%$ ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นทั้งหมดของกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ เท่ากับ $79.71 \pm 0.93\%$

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าปริมาณความชื้นทั้งหมดในตัวอย่างลำไยพันธุ์อีดอของตัวอย่างกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ (calibration set) และ กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set)

chemical value		calibration set	prediction set
	N	80	40
MC (%)	range	77.73-81.91	77.92-81.54
	mean	79.66	79.71
	SD	0.94	0.93

MC = moisture content

N = samples

SD = standard deviation

เมื่อทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการเสร็จแล้ว จะสังเกตได้ว่า สเปกตรัมมีสัญญาณรบกวนจึงมีการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ โดยวิธีที่ใช้คือ วิธี smoothing (Savitzky-Golay), 1st derivative, 2nd derivative, MSC และ SNV ดังตารางที่ 4.14 โดยในการสร้างสมการ calibration และ ทดสอบสมการ จากสเปกตรัมของลำไยที่การปรับแต่งสเปกตรัมแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณความชื้นทั้งหมด พบว่า เมื่อทำการปรับแต่งสเปกตรัมดั้งเดิมด้วยวิธีต่างๆ ไม่สามารถทำให้ผลการวิเคราะห์ดีกว่าแบบที่ยังไม่ได้ปรับแต่งสเปกตรัมดั้งเดิมได้ โดยสเปกตรัมดั้งเดิมนี้นี้ มีค่า R_{cv} สูงสุด เท่ากับ 0.84 ในขณะที่เดียวกันก็มีค่า RMSECV เท่ากับ 0.51% ซึ่งถ้าค่า RMSECV ที่ดี ต้องมีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ ค่า R_{cv} จะต้องเข้าใกล้ 1 หรือมีค่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำนายที่มีความแม่นยำสูง โดยสมการที่ได้จากสเปกตรัมนี้จะมีค่าความแม่นยำ จะทำให้ข้อมูลสเปกตรัมและค่าทางเคมี (ค่าปริมาณความชื้นทั้งหมด) มีค่าความผิดพลาดน้อย มีผลทำให้การทำนายค่าปริมาณความชื้นทั้งหมดแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบการทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมดในกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง

no.	spectral pretreatment	MC		
		F	R _{cv}	RMSECV (%)
1	original	3	0.84	0.51
2	smoothing	3	0.61	0.74
3	1 st derivative	5	0.81	0.56
4	2 nd derivative	6	0.82	0.54
5	MSC	2	0.80	0.56
6	SNV	2	0.81	0.55

MC = moisture content

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

หลังจากได้ทำการ pre-treatment และเลือกวิธีที่ดีที่สุดแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์ช่วงความยาวคลื่นเป็นช่วงต่างๆ (935-1000, 1001-1100, 1101-1200, 1201-1300, 1301-1400, 1401-1500, 1501-1600, 1601-1720, 935-1200, 1201-1500, 1501-1720, 935-1300, 1301-1720, 935-1400, 1401-1720, 935-1720 nm) ดังตารางที่ 4.15 เมื่อทำวิเคราะห์แล้วพบว่า ช่วง 935-1720 nm มีค่า R_{cv} ต้องมีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ มีค่าสูง นอกจากนี้ ยังมีค่า RMSECV ต่ำ ซึ่งแสดงถึง ความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าช่วงความยาวคลื่นอื่น นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแสดงถึง มีความแม่นยำของช่วงนี้มากนั่นเอง ซึ่งจากค่าที่แสดงพบว่า ช่วงความยาวคลื่นมีผลต่อการทำนายว่าควรจะเลือกช่วงความยาวคลื่นที่สามารถทำนายค่าปริมาณความชื้นทั้งหมดได้ดี มาใช้ในการสร้างสมการเพื่อที่จะทำให้ค่าที่ทำนายได้แม่นยำ

ตารางที่ 4.15 แสดงช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมด

wavelength (nm)	MC		
	F	R _{cv}	RMSECV (%)
935-1000	7	0.61	0.74
1001-1100	4	0.70	0.67
1101-1200	2	0.75	0.61
1201-1300	4	0.75	0.62
1301-1400	3	0.80	0.56
1401-1500	2	0.61	0.74
1501-1600	3	0.55	0.78
1601-1720	4	0.28	0.92
935-1200	3	0.75	0.62
1201-1500	7	0.84	0.51
1501-1720	4	0.31	0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

wavelength (nm)	MC		
	F	R _{cv}	RMSECV (%)
935-1300	7	0.79	0.58
1301-1720	4	0.81	0.54
935-1400	6	0.83	0.52
1401-1720	3	0.59	0.76
935-1720	3	0.84	0.51

MC = moisture content

F = factors

R = correlation coefficients

RMSECV = root mean square error of cross-validation

จากตารางที่ 4.16 แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับทำนายค่าปริมาณความชื้นทั้งหมดในตัวอย่างลำไยพันธุ์อีดอ คือ แบบดั้งเดิมที่ยังไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม โดยเมื่อได้สมการที่ดีที่สุดในการทำนายแล้ว ก็จะนำกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการมาทำการทดสอบความแม่นยำในการทำนายโดยในกลุ่มที่สร้างสมการมีค่า R_c เท่ากับ 0.87 และ RMSEC เท่ากับ 0.75% ส่วนกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการมีค่า correlation coefficients (R_p) และ root mean square error of prediction (RMSEP) เท่ากับ 0.85 และ 0.49% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 ผลของการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมด

pre-treatment	MC						
	F	calibration set			prediction set		
		N	R _c	RMSEC (%)	N	R _p	RMSEP (%)
original	3	80	0.87	0.46	40	0.85	0.49

MC = moisture content

F = factors

N = samples

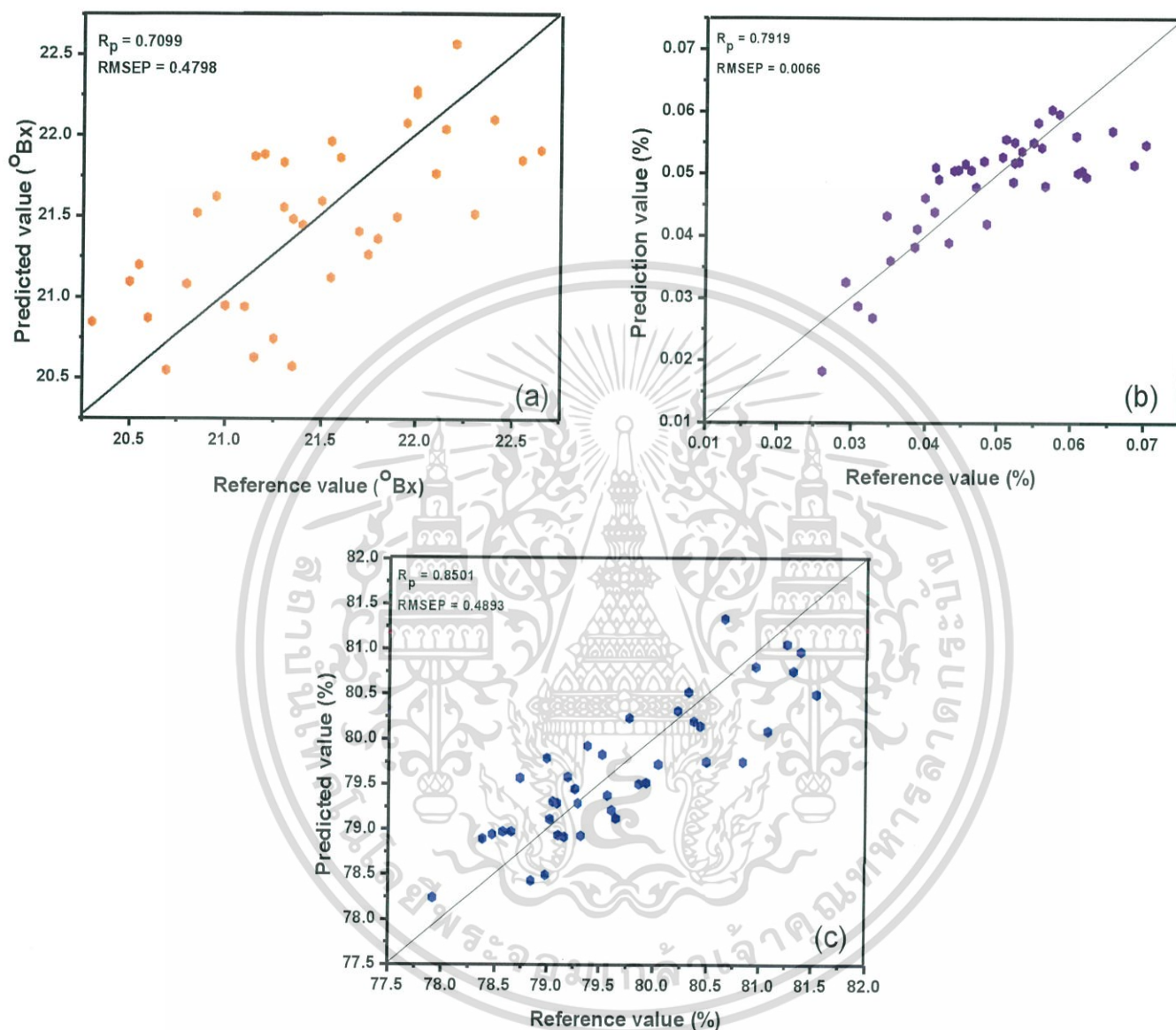
R = correlation coefficients

RMSEC = root mean square error of calibration

RMSEP = root mean square error of prediction

4.6 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และ ปริมาณความชื้นทั้งหมดในตัวอย่างลำไยพันธุ์อู่ตะเภาที่วัดได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral imaging

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณความชื้นทั้งหมด โดยใช้กลุ่ม prediction จากสเปกตรัมดั้งเดิมในช่วงความยาวคลื่น 935-1720 nm แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งสามารถแสดงผลการทำนายได้เหมือนกับตารางที่ 4.8, 4.2 และ 4.16 แต่การแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยภาพนี้ทำให้เห็นความแม่นยำในการทำนายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากถ้าค่าเข้าใกล้เส้นตรง 45 องศา มาก ก็แสดงว่า ค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้มีความแม่นยำในการทำนายสูง และจากในรูปที่ 4.5 พบว่า มีการกระจายของข้อมูลออกจากเส้น 45 องศา ไม่มาก แสดงว่า มีความแม่นยำในการทำนายสูง



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของโมเดล PLS regression ที่ดีที่สุด (a) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, (b) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และ (c) ปริมาณความชื้นทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค NIR hyperspectral image เพื่อตรวจสอบคุณภาพลำไยพันธุ์อโดโดย ค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันนั้นสามารถที่จะทำนายคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของลำไยพันธุ์อโดได้ว่า ลำไยลูกไหนมีคุณภาพดีหรือไม่ดี โดยการทดลองนี้ได้ทำการตรวจสอบ ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณความชื้นทั้งหมด ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การใช้เทคนิค NIR hyperspectral image ที่ความยาวคลื่น 935-1720 nm สำหรับทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ พบว่า มีค่า R_0 เท่ากับ 0.71 และ RMSEP เท่ากับ 0.48 °Bx ซึ่งเทคนิคนี้มีความสามารถในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้แม่นยำพอสมควร
2. การใช้เทคนิค NIR hyperspectral image ที่ความยาวคลื่น 935-1720 nm สำหรับทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ พบว่า มีค่า R_0 เท่ากับ 0.79 และ RMSEP เท่ากับ 0.01% ซึ่งเทคนิคนี้มีความสามารถในการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ แม่นยำพอสมควร
3. การใช้เทคนิค NIR hyperspectral image ที่ความยาวคลื่น 935-1720 nm สำหรับทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมด พบว่า มีค่า R_0 เท่ากับ 0.85 และ RMSEP เท่ากับ 0.49% ซึ่งเทคนิคนี้มีความสามารถในการทำนายปริมาณความชื้นทั้งหมด แม่นยำพอสมควร

จึงสรุปได้ว่าเทคนิค NIR hyperspectral image สามารถทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และ ปริมาณความชื้นทั้งหมดได้แม่นยำ แต่ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีความแม่นยำในการทำนายดีกว่าการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และปริมาณความชื้นทั้งหมด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับคัดคุณภาพผลไม้ในการส่งออกได้ และยังสามารถนำไปตรวจสอบคุณภาพสำหรับใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมคุณภาพของผลผลิต

5.2.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต

ควรจะพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพนี้ให้สามารถตรวจสอบผลไม้ให้ได้ครั้งละหลายๆ ลูก และเทคนิคนี้ควรจะต้องสามารถตรวจสอบคุณภาพขณะที่ผลไม้ยังอยู่บนสายพวย เพื่อความรวดเร็วในการตรวจสอบคุณภาพและยังสามารถนำไปใช้ได้โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อความรวดเร็วในการผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2558. ระบบควบคุมการส่งออกลำไยสดจากประเทศไทยไปสาธารณรัฐประชาชนจีน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.doa.go.th/research/showthread.php?tid=1451>. 29 พฤศจิกายน 2561.
- กาญจนา กิระศักดิ์, ทักษิณา คັນสยะวิชัย, วิระพล พลรักดี และ อัมรารวรรณ ทิพย์วัฒน์. 2558. การวัดค่าความหวานของอ้อยด้วยแสงย่านใกล้อินฟราเรด. วารสารวิชาการเกษตร. ปีที่ 33 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2558. หน้า 159-168.
- เจนจิรา หอมมะลิ. 2553. การสร้างสมการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีนในฝักทอง ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRs). คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- จีรเจต เกษตรสินธุ์. 2558. ลำไยลองแกน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://dimocarpuslongan.wordpress.com/>. 26 พฤศจิกายน 2561.
- นิมิตตรา ไชยรัตน์โชติ. 2559. การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้และเทคนิคการถ่ายภาพเชิงสเปกตรัมในการติดตามคุณภาพภายในและปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง. วิทยานิพนธ์. คณะเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. 2556. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.nirsresearch.com. 17 เมษายน 2562.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2562. Moisture Content / ความชื้น; Total Soluble Solids / ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้; Sour / รสเปรี้ยว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.foodnetworksolution.com. 19 เมษายน 2562.
- พงษ์ศักดิ์ อังกลสิทธิ์, ดุษฎี ณ ลำปาง และราไพวรรณ อภิชาติพงศ์ชัย. 2542. ลำไย: ไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 137 หน้า
- พาวิน มะโนชัย, ยุทธนา เขาสุเมรุ, ชิติ ศรีตันทิพย์ และสันติ ช่างเจรจา. 2547. เทคโนโลยีการผลิตลำไย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ฟิลิกส์เซ็นต์เซ็นเตอร์. 128 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการใน เทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. หน้า 131-151. ใน: วารุณี ณะแพทย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และ ธงชัย สุวรรณลิขณณ์, (ผู้รวบรวม), การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤษภาคม 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2558. การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง (Varieties and qualities classification of lime using near Infrared hyperspectral imaging). งานวิจัย. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. 2559. รายงานสถานการณ์เศรษฐกิจการค้าระหว่างประเทศ เดือน ธันวาคม 2559 สถานการณ์การส่งออกผลไม้ไทยไปจีน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://ditp.go.th/contents_attach/159373/159373.pdf. 26 พฤษภาคม 2561.
- สำนักส่งเสริมและพัฒนากาเกษตรเขตที่6. 2553. การปลูกลำไยในประเทศไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ndoae.doe.go.th/article2010/longan/longan_intro.html 29 พฤษภาคม 2561.
- อดิศักดิ์ จูมวงษ์, ปาริชาติ เทียนจุมพล และ พิเชษฐ์ น้อยมณี. 2558. การพัฒนาเทคนิคการประเมินคุณภาพของผลไม้ไทยโดยเทคโนโลยีแบบไม่ทำลายตัวอย่างด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดแบบพกพา. งานวิจัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2545. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค NIRs เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤษภาคม 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตเกษตรฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 67-98.
- อาทิตย์ พวงสมบัติ. 2556. ศึกษาการตรวจสอบคุณภาพภายในผลส้มโอด้วยเทคนิคแบบไม่ทำลาย โดยใช้เทคนิค NIR spectroscopy. วิทยานิพนธ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AOAC International. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC. International. 17th ed. AOAC. International, Arlington, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Barnes, R. J., Dhanoa, M. S. and Lister, S. J. 1993. Correction to the description of standard normal variate (SNV) and detrend (DT) transformations in Practical spectroscopy with applications in food and beverage analysis. *Journal Near Infrared Spectroscopy* 1:185-186.
- Bokobza, L. 1998. Near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 6: 3-17.
- Kawano, S., Abe H. and Iwamoto, M., 1995. Development of a Calibration Equation with Temperature Compensation for Determining the Brix Value in Intact Peaches. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. (3): 211-218.
- Marisa M. W., Kate A. N., Lisa M. K. and Mike A. N. 2011. Influence of Packaging on Quality Retention of Longans (*Dimocarpus longan*) Under Constant and Fluctuating Postharvest Temperatures. *Postharvest Biology and Technology*. 46(6):917-923.
- Osborne, B. G., Fearn, T. and Hindle, P. H. 1993. *Practical NIR spectroscopy with application in food and beverage analysis*. Longman Scientific & Technical: 1-7.
- Saranwong, S. 2003. Nondestructive determination of harvesting maturity of mango for fresh consuming by near infrared spectroscopy. Ph. D. thesis. Chiang Mai University, ChiangMai.179 pp.
- Siesler H.W., Ozaki Y. and Kawata S. 2002. *Near-Infrared Spectroscopy*. WILEYVCH Verlag GmbH, Federal Republic, Germany. 348 pp.
- Williams, P. 2007. "Near-infrared Technology-Getting the Best out of Light." PDK Grain, Nanaimo, British Columbia, and Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Williams, P. C. and Norris, K.H. 2001. Implementation of Near – Infrared Technology. pp. 145-170. In: P.C. Williams, and K. H. Norris, (eds.), *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. Sy. Paul, Minnesota, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



ลำไย พันธุ์อู่โต



NIR hyperspectral image



Refractometer



อุปกรณ์การไตเตรท

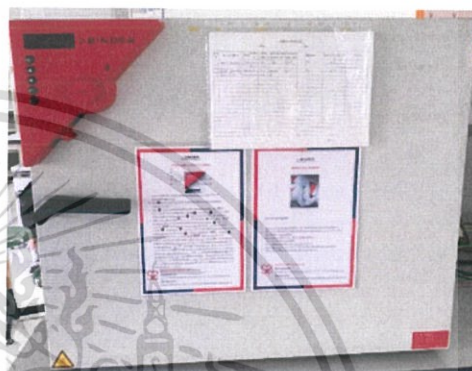
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)



อลูมิเนียมแค่น



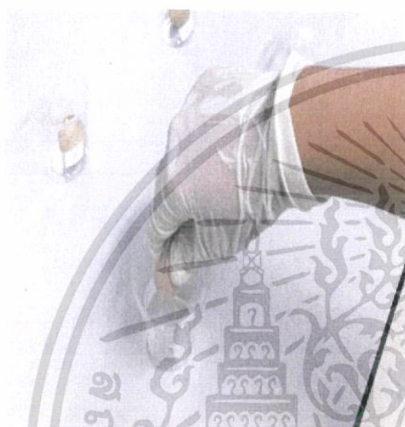
hot air oven

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการทำงานวิจัย

การวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

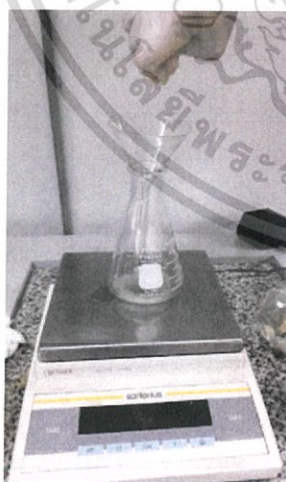


คั้นน้ำลำไยใส่แก้ว

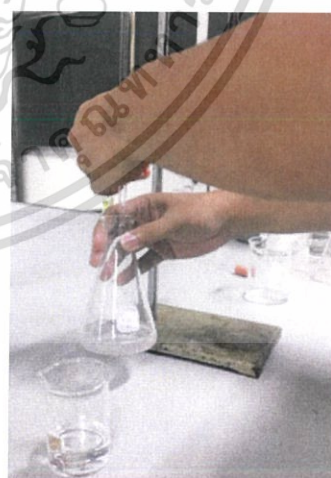


วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้
ด้วย refractometer

การวัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้



ชั่งน้ำหนักน้ำคั้น



ไตเตรทด้วย NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการทำงานวิจัย (ต่อ)

การวัดค่าปริมาณความชื้น



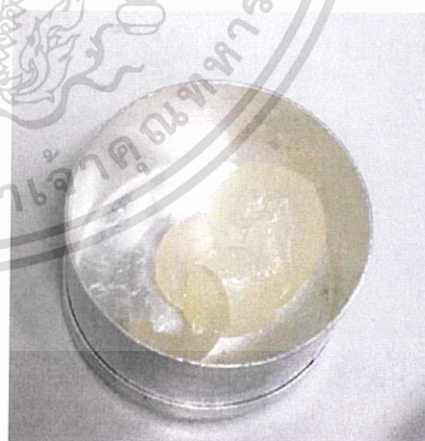
ชั่งน้ำหนักลำไย



ชั่งอลูมิเนียมแค่น



แกะใส่อลูมิเนียมแค่น



เตรียมลำไยเข้าตู้ hot air oven

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการวัดคุณภาพทางเคมีและกายภาพของลำไยพันธุ์อีดอ

ตาราง ค.1 แสดงข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองในการหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V _{เริ่มต้น}	V _{สุดท้าย}	V _{ที่ใช้}		
1	RA0011008	3.06	26.5	28.6	2.1	0.0439	ค้ำง 2 คีน
2	RA0021008	3.02	28.6	31.1	2.5	0.0530	ค้ำง 2 คีน
3	RA0031008	3.12	31.1	33.8	2.7	0.0554	ค้ำง 2 คีน
4	RA0041008	3.12	0	2.8	2.8	0.0574	ค้ำง 2 คีน
5	RA0051008	3.16	33.8	36.0	2.2	0.0446	ค้ำง 2 คีน
6	RA0061008	3.07	2.8	5.1	2.3	0.0479	ค้ำง 2 คีน
7	RA0071008	3.06	36.0	38.0	2.0	0.0418	ค้ำง 2 คีน
8	RA0081008	3.10	5.1	7.2	2.1	0.0434	ค้ำง 2 คีน
9	RA0091008	3.17	38.0	40.2	2.2	0.0444	ค้ำง 2 คีน
10	RA0101008	3.12	7.2	9.8	2.6	0.0533	ค้ำง 2 คีน
11	RA0111008	3.22	9.8	12.0	2.2	0.0437	ค้ำง 2 คีน
12	RA0121008	3.02	40.2	42.3	2.1	0.0445	ค้ำง 2 คีน
13	RA0131008	3.07	12.0	14.5	2.5	0.0521	ค้ำง 2 คีน
14	RA0141008	3.02	14.5	16.3	1.8	0.0381	ค้ำง 2 คีน
15	RA0151008	2.90	16.3	18.4	2.1	0.0463	ค้ำง 2 คีน
16	RA0161008	3.26	42.3	45.4	3.1	0.0609	ค้ำง 2 คีน
17	RA0171008	2.67	0	2.2	2.2	0.0527	ค้ำง 3 คีน
18	RA0181008	3.05	2.2	5.5	3.3	0.0692	ค้ำง 3 คีน
19	RA0191008	3.03	5.5	8.4	2.9	0.0613	ค้ำง 3 คีน
20	RA0201008	3.20	8.4	11.5	3.1	0.0620	ค้ำง 3 คีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V เริ่มต้น	V สุดท้าย	V ที่ใช้		
21	RA0211208	2.54	0	1.6	1.6	0.0403	ค้ำง 1 คีน
22	RA0221208	2.84	1.6	3.2	1.6	0.0361	ค้ำง 1 คีน
23	RA0231208	2.32	3.2	4.6	1.4	0.0386	ค้ำง 1 คีน
24	RA0241208	3.18	4.6	7.2	2.6	0.0523	ค้ำง 1 คีน
25	RA0251208	2.30	7.2	9.3	2.1	0.0584	ค้ำง 1 คีน
26	RA0261208	3.24	9.3	11.4	2.1	0.0415	ค้ำง 1 คีน
27	RA0271208	3.15	11.4	13.3	1.9	0.0386	ค้ำง 1 คีน
28	RA0281208	3.02	13.3	15.3	2.0	0.0424	ค้ำง 1 คีน
29	RA0291208	3.23	15.3	18.1	2.8	0.0555	ค้ำง 1 คีน
30	RA0301208	3.01	18.1	21.6	3.5	0.0744	ค้ำง 1 คีน
31	RA0311208	3.14	21.6	23.8	2.2	0.0448	ค้ำง 1 คีน
32	RA0321208	3.04	23.8	26.1	2.3	0.0484	ค้ำง 1 คีน
33	RA0331208	3.18	26.1	28.7	2.6	0.0523	ค้ำง 1 คีน
34	RA0341208	3.07	28.7	31.5	2.8	0.0584	ค้ำง 1 คีน
35	RA0351208	2.09	31.5	32.9	1.4	0.0429	ค้ำง 1 คีน
36	RA0361208	2.97	32.9	34.4	1.5	0.0323	ค้ำง 1 คีน
37	RA0371208	3.01	34.4	36.0	1.6	0.0340	ค้ำง 1 คีน
38	RA0381208	2.91	36.0	37.8	1.8	0.0396	ค้ำง 1 คีน
39	RA0391208	3.10	37.8	40.1	2.3	0.0475	ค้ำง 1 คีน
40	RA0401208	3.08	40.1	42.3	2.2	0.0457	ค้ำง 1 คีน
41	RA0411208	3.04	42.3	43.9	1.6	0.0337	ค้ำง 1 คีน
42	RA0421208	3.03	43.9	45.9	2.0	0.0422	ค้ำง 1 คีน
43	RA0431208	3.16	45.9	48.9	3.0	0.0608	ค้ำง 1 คีน
44	RA0441208	2.98	40.0	42.0	2.0	0.0430	ค้ำง 1 คีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V _{เริ่มต้น}	V _{สุดท้าย}	V _{ที่ใช้}		
45	RA0451208	3.03	42.0	45.3	3.3	0.0697	ค้ำ 1 คีน
46	RA0461208	3.01	45.3	42.0	3.3	0.0702	ค้ำ 1 คีน
47	RA0471208	3.17	42.0	34.3	7.7	0.1555	ค้ำ 1 คีน
48	RA0481208	3.17	34.3	36.7	2.4	0.0485	ค้ำ 1 คีน
49	RA0491208	2.45	36.7	39.1	2.4	0.0627	ค้ำ 1 คีน
50	RA0501208	3.02	39.1	42.2	3.1	0.0657	ค้ำ 1 คีน
51	RA0511208	2.89	0	1.8	1.8	0.0399	
52	RA0521208	3.05	1.8	3.5	1.7	0.0357	
53	RA0531208	3.12	3.5	5.5	2.0	0.0410	
54	RA0541208	2.92	5.5	7.6	2.1	0.0460	
55	RA0551208	3.09	7.6	10	2.4	0.0497	
56	RA0561208	3.17	10.0	12.4	2.4	0.0485	
57	RA0571208	3.03	12.4	17.7	5.3	0.1119	
58	RA0581208	3.22	17.7	19.8	2.1	0.0417	
59	RA0591208	3.17	19.8	21.9	2.1	0.0424	
60	RA0601208	3.10	21.9	23	1.1	0.0227	
61	RA0611208	3.11	23.0	25	2.0	0.0412	
62	RA0621208	3.17	25.0	26.4	1.4	0.0283	
63	RA0631208	2.95	26.4	28	1.6	0.0347	
64	RA0641208	3.07	28.0	29.3	1.3	0.0271	
65	RA0651208	3.02	29.3	31.8	2.5	0.0530	
66	RA0661208	3.11	31.8	33.8	2.0	0.0412	
67	RA0671208	3.04	33.8	36.0	2.2	0.0463	
68	RA0681208	3.24	14.75	17.7	2.95	0.0583	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V _{เริ่มต้น}	V _{สุดท้าย}	V _{ที่ใช้}		
69	RA0691208	3.07	36.0	38.5	2.5	0.0521	
70	RA0701208	3.08	5.0	7.2	2.2	0.0457	
71	RA0711208	3.10	7.2	9.9	2.7	0.0557	
72	RA0721208	3.11	9.9	12	2.1	0.0432	
73	RA0731208	3.17	12.0	14.3	2.3	0.0464	
74	RA0741208	3.05	14.3	16.7	2.4	0.0504	
75	RA0751208	3.09	16.7	19.1	2.4	0.0497	
76	RA0761208	3.18	19.1	22.3	3.2	0.0644	
77	RA0771208	3.03	22.3	25.0	2.7	0.0570	
78	RA0781208	3.10	25.0	27.9	2.9	0.0599	
79	RA0791208	3.14	27.9	29.6	1.7	0.0346	
80	RA0801208	3.06	29.6	31.8	2.2	0.0460	
81	RA0811408	3.14	0	1.6	1.6	0.0326	
82	RA0821408	3.05	1.6	3.2	1.6	0.0336	
83	RA0831408	3.09	3.2	4.5	1.3	0.0269	
84	RA0841408	3.08	4.5	7.1	2.6	0.0540	
85	RA0851408	2.80	7.1	9.2	2.1	0.0480	
86	RA0861408	3.15	9.2	11	1.8	0.0366	
87	RA0871408	3.11	11.0	13.6	2.6	0.0535	
88	RA0881408	3.16	13.6	15.3	1.7	0.0344	
89	RA0891408	3.12	15.3	17.7	2.4	0.0492	
90	RA0901408	3.07	17.7	20.2	2.5	0.0521	
91	RA0911408	3.07	20.2	22.5	2.3	0.0479	
92	RA0921408	3.09	22.5	26.5	4.0	0.0828	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V _{เริ่มต้น}	V _{สุดท้าย}	V _{ที่ใช้}		
93	RA0931408	3.16	26.5	28.8	2.3	0.0466	
94	RA0941408	2.95	28.8	30.7	1.9	0.0412	
95	RA0951408	3.06	24.0	26.5	2.5	0.0523	
96	RA0961408	3.12	0	1.4	1.4	0.0287	
97	RA0971408	3.11	1.4	2.8	1.4	0.0288	
98	RA0981408	3.12	2.8	8.0	5.2	0.1067	
99	RA0991408	3.09	8.0	9.7	1.7	0.0352	
100	RA1001408	3.13	9.7	11.6	1.9	0.0388	
101	RA1011408	3.16	4.2	6.1	1.9	0.0385	
102	RA1021408	3.16	6.1	8.0	1.9	0.0385	
103	RA1031408	3.13	11.6	13.3	1.7	0.0348	
104	RA1041408	3.12	13.3	14.6	1.3	0.0267	
105	RA1051408	3.10	14.6	16.5	1.9	0.0392	
106	RA1061408	3.06	16.5	17.9	1.4	0.0293	
107	RA1071408	3.17	17.9	19.7	1.8	0.0363	
108	RA1081408	3.18	19.7	21.4	1.7	0.0342	
109	RA1091408	3.11	21.4	23.1	1.7	0.0350	
110	RA1101408	3.5	23.1	24.7	1.6	0.0293	
111	RA1111408	3.11	24.7	25.6	0.9	0.0185	
112	RA1121408	3.16	25.6	27.2	1.6	0.0324	
113	RA1131408	3.15	27.2	28.4	1.2	0.0244	
114	RA1141408	3.11	28.4	30.0	1.6	0.0329	
115	RA1151408	3.11	30.0	31.5	1.5	0.0309	
116	RA1161408	3.14	31.5	33.0	1.5	0.0306	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V _{เริ่มต้น}	V _{สุดท้าย}	V _{ที่ใช้}		
117	RA1171408	2.69	33.0	34.1	1.1	0.0262	
118	RA1181408	3.11	34.1	35.8	1.7	0.0350	
119	RA1191408	2.91	35.8	37.6	1.8	0.0396	
120	RA1201408	3.01	37.6	39.2	1.6	0.0340	
121	RA1211508	2.75	0	1.9	1.9	0.0442	
122	RA1221508	2.54	1.9	4.0	2.1	0.0529	
123	RA1231508	3.16	4.0	7.0	3.0	0.0608	
124	RA1241508	3.14	7.0	9.7	2.7	0.0550	
125	RA1251508	3.09	9.7	12.0	2.3	0.0476	
126	RA1261508	3.15	12.0	14.5	2.5	0.0508	
127	RA1271508	3.13	14.5	17.0	2.5	0.0511	
128	RA1281508	3.13	17.0	19.4	2.4	0.0491	
129	RA1291508	3.13	19.4	21.9	2.5	0.0511	
130	RA1301508	3.08	21.9	24.1	2.2	0.0457	
131	RA1311508	3.12	24.1	26.2	2.1	0.0431	
132	RA1321508	3.13	26.2	28.3	2.1	0.0429	
133	RA1331508	3.15	28.3	31.1	2.8	0.0569	
134	RA1341508	2.76	31.1	33.1	2.0	0.0464	
135	RA1351508	3.06	33.1	36	2.9	0.0607	
136	RA1361508	3.03	36.0	37.3	1.3	0.0275	
137	RA1371508	3.09	37.3	38.9	1.6	0.0331	
138	RA1381508	3.10	38.9	40.9	2.0	0.0413	
139	RA1391508	3.10	40.9	43.5	2.6	0.0537	
140	RA1401508	3.09	8.0	10.0	2.0	0.0414	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V เริ่มต้น	V สุดท้าย	V ที่ใช้		
141	RA1411508	3.19	10.0	12.8	2.8	0.0562	
142	RA1421508	3.15	12.8	15.1	2.3	0.0467	
143	RA1431508	3.17	15.1	17.9	2.8	0.0565	
144	RA1441508	3.16	17.9	19.7	1.8	0.0365	
145	RA1451508	3.12	19.7	22.3	2.6	0.0533	
146	RA1461508	3.09	22.3	25.2	2.9	0.0601	
147	RA1471508	3.04	25.2	27.2	2.0	0.0421	
148	RA1481508	3.15	27.2	29.3	2.1	0.0427	
149	RA1491508	3.12	29.3	32.3	3.0	0.0615	
150	RA1501508	3.09	32.3	33.9	1.6	0.0331	
151	RA1511608	1.98	0	1.2	1.2	0.0388	
152	RA1521608	2.10	1.2	3.7	2.5	0.0762	
153	RA1531608	3.17	3.7	5.7	2.0	0.0404	
154	RA1541608	3.11	5.7	8.7	3.0	0.0617	
155	RA1551608	3.12	8.7	11.9	3.2	0.0656	
156	RA1561608	3.12	11.9	14.5	2.6	0.0533	
157	RA1571608	3.07	14.5	17.5	3.0	0.0625	
158	RA1581608	3.09	17.5	20.7	3.2	0.0663	
159	RA1591608	3.16	20.7	23.6	2.9	0.0587	
160	RA1601608	3.17	23.6	27	3.4	0.0686	
161	RA1611608	3.11	27.0	29.8	2.8	0.0576	
162	RA1621608	3.07	29.8	32.9	3.1	0.0646	
163	RA1631608	2.99	32.9	35.8	2.9	0.0621	
164	RA1641608	3.13	35.8	39.2	3.4	0.0695	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V _{เริ่มต้น}	V _{สุดท้าย}	V _{ที่ใช้}		
165	RA1651608	3.12	39.2	42.4	3.2	0.0656	
166	RA1671608	3.04	42.4	44.7	2.3	0.0484	
167	RA1681608	3.13	44.7	47.7	3.0	0.0613	
168	RA1691608	3.05	47.7	51.5	3.8	0.0797	
169	RA1701608	3.20	1.5	5.0	3.5	0.0700	
170	RA1711608	3.05	5.0	11.4	6.4	0.1343	
171	RA1721608	3.12	11.4	14.5	3.1	0.0636	
172	RA1731608	3.07	14.5	17.7	3.2	0.0667	
173	RA1741608	3.03	17.7	21.5	3.8	0.0803	
174	RA1751608	3.06	21.5	24.0	2.5	0.0523	
175	RA1761608	3.03	24.0	27.1	3.1	0.0655	
176	RA1771608	2.87	27.1	30.4	3.3	0.0736	
177	RA1781608	3.04	30.4	34.5	4.1	0.0863	
178	RA1791608	3.07	34.5	38.9	4.4	0.0917	
179	RA1801608	3.06	38.9	40.0	1.1	0.0230	
180	RA1811608	3.21	0	2.2	2.2	0.0439	
181	RA1821608	3.06	2.2	4.5	2.3	0.0481	
182	RA1831608	2.80	4.5	6.9	2.4	0.0549	
183	RA1841608	3.18	6.9	9.5	2.6	0.0523	
184	RA1851608	3.06	9.5	12.1	2.6	0.0544	
185	RA1861608	3.21	12.1	15.0	2.9	0.0578	
186	RA1871608	3.06	15.0	17.3	2.3	0.0481	
187	RA1881608	2.8	17.3	20.0	2.7	0.0617	
188	RA1891608	3.18	20.0	22.6	2.6	0.0523	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

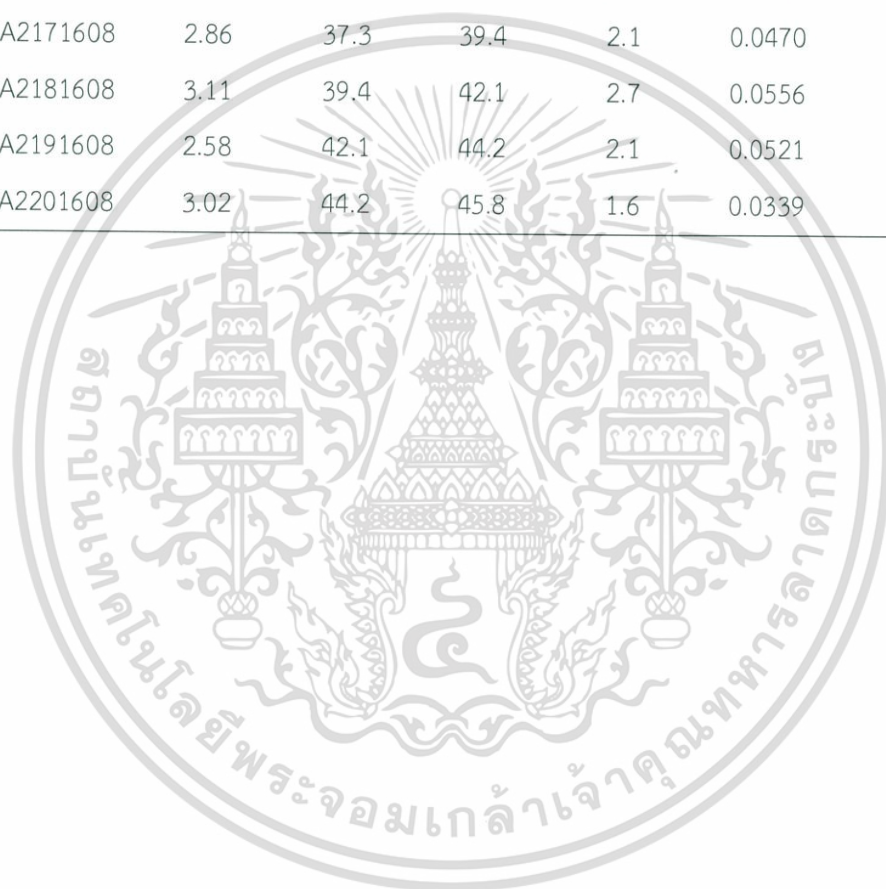
ตาราง ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V _{เริ่มต้น}	V _{สุดท้าย}	V _{ที่ใช้}		
189	RA1901608	3.13	22.6	12.1	10.5	0.2147	
190	RA1911608	3.11	12.1	25.5	13.4	0.2758	
191	RA1921608	3.38	25.5	28.5	3.0	0.0568	
192	RA1931608	2.25	28.5	30.3	1.8	0.0512	
193	RA1941608	3.03	30.3	32.7	2.4	0.0507	
194	RA1951608	3.37	32.7	35.2	2.5	0.0475	
195	RA1961608	3.19	35.2	37.8	2.6	0.0522	
196	RA1971608	2.59	37.8	39.9	2.1	0.0519	
197	RA1981608	3.04	39.9	42.1	2.2	0.0463	
198	RA1991608	2.11	42.1	43.6	1.5	0.0455	
199	RA2001608	1.71	43.6	44.5	0.9	0.0337	
200	RA2011608	3.26	44.5	47.1	2.6	0.0510	
201	RA2021608	3.25	47.1	49.0	1.9	0.0374	
202	RA2031608	3.78	1.8	3.3	1.5	0.0254	
203	RA2041608	3.30	3.3	5.2	1.9	0.0368	
204	RA2051608	3.03	5.2	7.1	1.9	0.0401	
205	RA2061608	3.04	7.1	9.3	2.2	0.0463	
206	RA2071608	3.01	9.3	12.3	3.0	0.0638	
207	RA2081608	3.60	12.3	15.4	3.1	0.0551	
208	RA2091608	3.12	15.4	17.7	2.3	0.0472	
209	RA2101608	3.06	17.7	20.4	2.7	0.0565	
210	RA2111608	3.04	20.4	22.8	2.4	0.0505	
211	RA2121608	3.09	22.8	25.5	2.7	0.0559	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

No.	name	น้ำหนัก (g)	titratable acidity			%Acid	หมายเหตุ
			V _{เริ่มต้น}	V _{สุดท้าย}	V _{ที่ใช้}		
213	RA2141608	3.16	28.1	31.4	3.3	0.0668	
214	RA2151608	3.20	31.4	34.2	2.8	0.0560	
215	RA2161608	3.23	34.2	37.3	3.1	0.0614	
216	RA2171608	2.86	37.3	39.4	2.1	0.0470	
217	RA2181608	3.11	39.4	42.1	2.7	0.0556	
218	RA2191608	2.58	42.1	44.2	2.1	0.0521	
219	RA2201608	3.02	44.2	45.8	1.6	0.0339	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 แสดงข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองในการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	RA0013107	21.7	21.7	22.1	21.70	
2	RA0023107	21.6	21.4	21.3	21.35	
3	RA0033107	21.0	21.3	20.8	21.15	
4	RA0043107	22.8	22.6	22.6	22.60	
5	RA0053107	22.8	22.8	22.7	22.80	
6	RA0063107	19.9	20.1	20.3	20.20	
7	RA0073107	20.7	20.7	20.9	20.70	
8	RA0083107	20.8	20.4	20.6	20.70	
9	RA0093107	22.8	22.6	23.0	22.90	
10	RA0103107	22.6	22.5	22.5	22.50	
11	RA0110308	20.3	22.1	22.5	22.30	ค้ำง 3 คีน
12	RA0120308	23.7	22.8	22.1	22.45	ค้ำง 3 คีน
13	RA0130308	22.4	22.4	21.9	22.40	ค้ำง 3 คีน
14	RA0140308	23.5	22.6	22.1	22.35	ค้ำง 3 คีน
15	RA0150308	22.3	21.4	21.3	21.35	ค้ำง 3 คีน
16	RA0160308	21.2	21.4	21.4	21.40	ค้ำง 3 คีน
17	RA0170308	21.6	20.9	21.2	21.05	ค้ำง 3 คีน
18	RA0180308	21.9	4	21.4	12.70	ค้ำง 3 คีน
19	RA0190308	22.0	21.7	21.9	21.95	ค้ำง 3 คีน
20	RA0200308	21.9	21.2	21.0	21.10	ค้ำง 3 คีน
21	RA0210308	23.9	23.0	22.2	22.60	ค้ำง 3 คีน
22	RA0220308	22.3	21.3	21.3	21.30	ค้ำง 3 คีน
23	RA0230308	21.2	22.1	22.0	22.05	ค้ำง 3 คีน
24	RA0240308	22.6	22.9	22.1	22.75	ค้ำง 3 คีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
25	RA0250308	23.2	22.4	22.2	22.30	ค้ำง 3 คีน
26	RA0260308	23.3	23.5	23.2	23.25	ค้ำง 3 คีน
27	RA0270308	23.1	22.9	22.8	22.85	ค้ำง 3 คีน
28	RA0280308	22.7	22.3	22.0	22.15	ค้ำง 3 คีน
29	RA0290308	23.2	23.1	21.9	23.15	เนา
30	RA0300308	22.9	22.9	22.7	22.90	ค้ำง 3 คีน
31	RA0310308	20.9	21.0	21.5	20.95	ค้ำง 3 คีน
32	RA0320308	21.3	21.1	20.7	21.20	ค้ำง 3 คีน
33	RA0330308	19.3	18.0	19.0	19.15	ค้ำง 3 คีน
34	RA0340308	22.0	21.0	21.5	21.50	ค้ำง 3 คีน
35	RA0350308	21.2	20.3	20.5	20.40	ค้ำง 3 คีน
36	RA0360308	21.1	22.2	22.1	22.15	ค้ำง 3 คีน
37	RA0370308	21.2	20.6	20.0	20.90	ค้ำง 3 คีน
38	RA0380308	20.5	20.6	20.2	20.55	ค้ำง 3 คีน
39	RA0390308	20.6	20.9	20.5	20.55	ค้ำง 3 คีน
40	RA0400308	21.4	21.8	22.0	21.90	ค้ำง 3 คีน
41	RA0410408	21.0	20.4	20.0	20.20	
42	RA0420408	21.7	21.7	21.5	21.70	
43	RA0430408	20.5	20.7	20.1	20.60	
44	RA0440408	21.3	21.8	22.5	21.55	
45	RA0450408	21.9	21.4	21.3	21.35	
46	RA0460408	22.8	22.4	22.5	22.45	
47	RA0470408	21.3	21.6	21.4	21.35	
48	RA0480408	22.5	23.5	23.4	23.45	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
49	RA0490408	22.4	22.0	22.8	22.40	
50	RA0500408	21.4	20.6	19.8	21.00	
51	RA0510408	22.1	21.8	21.8	21.80	เน่า
52	RA0520408	22.6	22.2	21.7	22.40	
53	RA0530408	22.7	22.1	21.1	22.40	
54	RA0540408	21.9	21.7	21.3	21.80	
55	RA0550408	21.8	20.3	20.2	20.25	ใกล้เน่า
56	RA0560408	20.5	20.8	20.6	20.55	
57	RA0570408	21.5	21.0	21.2	21.10	
58	RA0580408	21.5	21.1	21.1	21.10	
59	RA0590408	19.9	20.6	20.6	20.60	
60	RA0600408	21.6	21.5	21.5	21.50	
61	RA0610408	20.8	20.3	20.4	20.35	
62	RA0620408	21.5	21.8	20.8	21.15	
63	RA0630408	21.0	21.0	20.7	21.00	
64	RA0640408	20.5	20.6	20.2	20.55	
65	RA0650408	21.1	20.7	20.9	20.90	
66	RA0660408	21.3	20.8	20.7	20.75	
67	RA0670408	22.5	23.1	22.5	22.50	
68	RA0680408	22.4	21.8	22.2	22.30	
69	RA0690408	22.3	21.6	22.4	22.35	
70	RA0700408	21.6	21.5	21.0	21.55	
71	RA0710408	21.4	20.5	20.7	20.60	
72	RA0720408	20.3	20.6	21.0	20.45	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
73	RA0730408	21.4	22.2	21.6	21.50	
74	RA0740408	20.7	20.3	19.8	20.50	
75	RA0750408	21.7	20.9	21.5	21.60	
76	RA0760408	21.0	20.8	20.8	20.80	ค้ำง 1 คีน
77	RA0770408	19.7	19.3	19.5	19.50	ค้ำง 1 คีน
78	RA0780408	22.5	22.3	22.2	22.25	ค้ำง 1 คีน
79	RA0790408	20.6	20.9	21.0	20.95	ค้ำง 1 คีน
80	RA0800408	21.1	21.2	20.9	21.15	ค้ำง 1 คีน
81	RA0810408	21.6	21.3	21.5	21.40	ค้ำง 1 คีน
82	RA0820408	21.8	22.0	22.0	22.00	ค้ำง 1 คีน
83	RA0830408	20.6	20.6	20.1	20.60	ค้ำง 1 คีน
84	RA0840408	21.9	21.8	21.6	21.85	ค้ำง 1 คีน
85	RA0850408	21.9	21.6	21.2	21.75	ค้ำง 1 คีน
86	RA0860408	21.4	21.3	21.6	21.35	ค้ำง 1 คีน
87	RA0870408	22.0	21.9	21.7	21.95	ค้ำง 1 คีน
88	RA0880408	21.1	21.1	20.5	21.10	ค้ำง 1 คีน
89	RA0890408	21.7	21.6	21.8	21.70	ค้ำง 1 คีน
90	RA0900408	20.5	21.0	21.0	21.00	ค้ำง 1 คีน
91	RA0910508	21.6	21.7	21.6	21.60	ค้ำง 1 คีน
92	RA0920508	20.2	20.2	20.5	20.20	ค้ำง 1 คีน
93	RA0930508	21.2	21.2	20.9	21.20	ค้ำง 1 คีน
94	RA0940508	21.0	21.2	21.7	21.10	ค้ำง 1 คีน
95	RA0950508	21.2	20.8	20.8	20.80	ค้ำง 1 คีน
96	RA0960508	21.3	20.8	20.8	20.80	ค้ำง 1 คีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
97	RA0970508	20.5	19.1	18.9	19.00	ค้ำ 1 คีน
98	RA0980508	19.9	19.7	19.6	19.65	ค้ำ 1 คีน
99	RA0990508	19.9	20.3	20.1	20.10	ค้ำ 1 คีน
100	RA1000508	21.2	20.9	20.9	20.90	ค้ำ 1 คีน
101	RA1010508	21.2	20.9	21.1	21.15	ค้ำ 1 คีน
102	RA1020508	20.8	21.6	22.1	21.20	ค้ำ 1 คีน
103	RA1030508	22.3	22.2	22.2	22.20	ค้ำ 1 คีน
104	RA1040508	21.6	20.7	20.9	20.80	ค้ำ 1 คีน
105	RA1050508	20.6	21.5	21.1	21.30	ค้ำ 1 คีน
106	RA1060508	21.6	21.3	20.8	21.45	ค้ำ 1 คีน
107	RA1070508	22.5	22.2	22.0	22.10	ค้ำ 1 คีน
108	RA1080508	22.0	22.2	22.0	22.00	ค้ำ 1 คีน
109	RA1090508	22.1	22.1	22.3	22.10	ค้ำ 1 คีน
110	RA1100508	20.3	20.8	21.2	20.55	ค้ำ 1 คีน
111	RA1110508	22.2	23.0	22.8	22.90	ค้ำ 1 คีน
112	RA1120508	22.7	22.3	22.1	22.20	ค้ำ 1 คีน
113	RA1130508	22.3	22.1	21.7	22.20	ค้ำ 1 คีน
114	RA1140508	21.0	21.1	21.5	21.05	ค้ำ 1 คีน
115	RA1150508	21.4	21.4	21.5	21.40	ค้ำ 1 คีน
116	RA1160508	21.7	21.0	21.3	21.15	ค้ำ 1 คีน
117	RA1170508	20.3	20.5	20.6	20.55	ค้ำ 1 คีน
118	RA1180508	21.7	21.7	21.4	21.70	ค้ำ 1 คีน
119	RA1190508	20.3	20.5	20.6	20.55	ค้ำ 1 คีน
120	RA1200508	21.8	21.6	21.4	21.60	ค้ำ 1 คีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
121	RA1210508	21.0	20.5	20.7	20.60	
122	RA1220508	22.0	22.0	22.2	22.00	
123	RA1230508	20.7	21.0	21.8	20.85	
124	RA1240508	21.2	21.9	21.4	21.30	
125	RA1250508	21.5	21.3	21.1	21.30	
126	RA1260508	22.0	21.9	21.9	21.90	
127	RA1270508	22.0	22.1	22.1	22.10	
128	RA1280508	23.4	23.2	22.2	23.30	
129	RA1290508	22.4	21.9	21.3	22.15	
130	RA1300508	21.5	21.7	20.9	21.60	
131	RA1310508	21.5	20.7	20.6	20.65	
132	RA1320508	21.7	21.2	21.4	21.30	
133	RA1330508	21.8	22.9	22.0	21.90	
134	RA1340508	22.7	22.1	22.4	22.55	
135	RA1350508	21.1	21.4	21.6	21.50	
136	RA1360508	22.7	22.7	22.7	22.70	
137	RA1370508	23.5	23.3	22.5	23.40	
138	RA1380508	22.6	22.7	21.5	22.65	
139	RA1390508	23.7	22.1	21.8	21.95	
140	RA1400508	22.0	21.3	21.3	21.30	
141	RA1410508	21.8	22.0	21.9	21.90	
142	RA1420508	21.2	20.8	20.9	20.85	
143	RA1430508	23.5	22.7	22.6	22.65	
144	RA1440508	22.5	21.8	21.7	21.75	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
145	RA1450508	20.3	20.1	20.4	20.35	
146	RA1460508	21.7	21.6	21.4	21.65	
147	RA1470508	22.3	22.3	22.5	22.30	
148	RA1480508	21.6	21.0	21.1	21.05	
149	RA1490508	22.2	22.1	21.6	22.15	
150	RA1500508	22.0	22.0	21.9	22.00	
151	RA1510608	20.6	20.2	20.3	20.25	
152	RA1520608	20.5	20.3	20.3	20.30	
153	RA1530608	19.9	19.7	19.0	19.80	
154	RA1540608	16.7	16.9	17.2	16.80	
155	RA1550608	18.4	18.5	18.6	18.50	
156	RA1560608	20.2	19.9	20.1	20.15	
157	RA1570608	21.0	21.1	21.1	21.10	
158	RA1580608	22.1	21.1	21.4	21.25	
159	RA1590608	21.9	21.3	21.1	21.20	
160	RA1600608	19.9	18.9	18.5	18.70	
161	RA1610608	20.3	20.3	20.2	20.30	
162	RA1620608	19.2	19.0	19.3	19.25	
163	RA1630608	21.6	21.2	21.3	21.25	
164	RA1640608	20.6	20.1	20.1	20.10	
165	RA1650608	21.0	20.7	20.7	20.70	
166	RA1660608	20.7	20.8	20.8	20.80	
167	RA1670608	19.9	20.0	20.3	19.95	
168	RA1680608	20.5	20.2	19.4	20.35	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

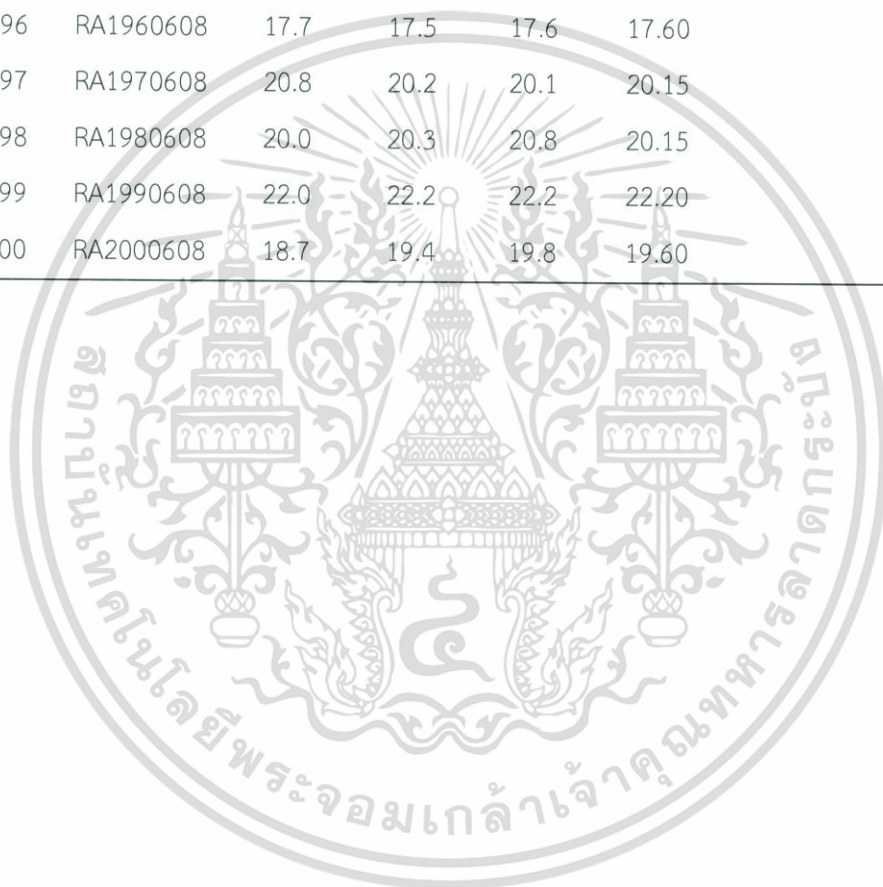
ตาราง ค.2 (ต่อ)

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
169	RA1690608	20.9	21.1	21.9	21.00	
170	RA1700608	18.3	18.7	18.7	18.70	
171	RA1710608	20.9	21.5	21.3	21.40	
172	RA1720608	21.5	21.0	20.9	20.95	
173	RA1730608	21.2	21.5	21.6	21.55	
174	RA1740608	22.8	19.3	19.5	19.40	
175	RA1750608	19.6	19.3	19.5	19.55	
176	RA1760608	21.6	22.0	22.1	22.05	
177	RA1770608	21.7	21.4	20.2	21.55	
178	RA1780608	20.7	20.4	20.4	20.40	
179	RA1790608	20.9	20.8	20.1	20.85	
180	RA1800608	21.8	21.9	21.9	21.90	
181	RA1810608	21.6	21.1	20.6	21.35	เนา
182	RA1820608	21.0	20.6	20.4	20.50	
183	RA1830608	20.9	20.6	20.4	20.50	
184	RA1840608	21.2	21.7	21.8	21.75	
185	RA1850608	20.8	19.6	19.4	19.50	
186	RA1860608	21.1	20.7	21.3	21.20	
187	RA1870608	21.2	20.4	19.7	20.45	
188	RA1880608	21.1	20.5	20.7	20.60	
189	RA1890608	20.6	20.2	20.4	20.50	
190	RA1900608	19.9	20.2	20.4	20.15	
191	RA1910608	20.6	20.2	21.0	20.40	
192	RA1920608	20.7	20.6	20.7	20.70	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

No.	name	Brix				หมายเหตุ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
193	RA1930608	19.4	20.2	20.3	20.25	
194	RA1940608	17.2	17.7	18.2	17.45	
195	RA1950608	21.2	21.4	21.1	21.30	
196	RA1960608	17.7	17.5	17.6	17.60	
197	RA1970608	20.8	20.2	20.1	20.15	
198	RA1980608	20.0	20.3	20.8	20.15	
199	RA1990608	22.0	22.2	22.2	22.20	
200	RA2000608	18.7	19.4	19.8	19.60	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 แสดงข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองในการหาปริมาณความชื้นทั้งหมด

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)					
		ผลไม้ (รวม เปลือก) can	ผลไม้ใน can (ก่อนอบ)	ผลไม้ใน can (หลังอบ)	ผลต่าง (ก่อน-หลัง)		
1	RM0110408	11.0053	16.1689	8.2148	1.6538	79.8680	
2	RM0120408	10.947	14.7557	8.2155	1.6442	79.9866	
3	RM0130408	12.1954	17.311	9.2143	1.7175	81.3604	
4	RM0140408	11.1935	17.563	8.2017	1.6723	79.6103	
5	RM0150408	11.5625	17.4836	8.9407	1.7289	80.6626	
6	RM0160408	13.0106	13.7665	9.8667	1.9465	80.2720	
7	RM0170408	12.7519	16.2484	9.7028	2.0099	79.2854	
8	RM0180408	11.4004	17.6461	8.626	1.6522	80.8463	
9	RM0190408	12.5173	15.139	9.6112	1.8929	80.3053	
10	RM0200408	12.4362	17.5269	9.1129	1.7348	80.9632	
11	RM0210408	11.6487	14.819	8.8212	1.6827	80.9244	
12	RM0220408	12.7878	16.6952	9.1682	1.789	80.4869	
13	RM0230408	11.1155	18.0703	7.8602	1.4945	80.9865	
14	RM0240408	11.2905	14.1043	8.6031	1.5881	81.5403	
15	RM0250408	11.666	17.1415	8.7419	1.7157	80.3738	
16	RM0260408	11.8426	17.2241	9.2849	1.715	81.5291	
17	RM0270408	11.3256	15.1236	8.7315	1.7527	79.9267	
18	RM0280408	11.9469	16.2724	8.1543	1.6493	79.7739	
19	RM0290408	10.0689	17.651	7.1475	1.339	81.2661	
20	RM0300408	10.7961	14.7962	8.1018	1.5814	80.4808	
21	RM0310408	11.2577	17.5141	8.3802	1.8256	78.2153	
22	RM0320408	12.0648	14.4905	9.3091	1.8078	80.5803	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)					
		ผลไม้ (รวม เปลือก) can	ผลไม้ใน can	ผลไม้ใน can	ผลต่าง (ก่อน-หลัง)		
23	RM0330408	9.876	16.9877	7.3619	1.3753	81.3187	
24	RM0340408	10.574	14.926	7.1934	1.3478	81.2634	
25	RM0350408	12.4584	15.3584	9.6903	1.903	80.3618	
26	RM0360408	11.8396	14.9386	8.9169	1.7446	80.4349	
27	RM0370408	10.5439	17.2494	8.0275	1.5267	80.9816	
28	RM0380408	12.1536	17.2495	9.8157	2.0787	78.8227	
29	RM0390408	11.7589	15.4376	8.6477	1.6147	81.3280	
30	RM0400408	10.0369	17.5677	6.8808	1.2449	81.9076	
31	RM0410408	12.9885	14.8965	10.2699	1.9371	81.1381	
32	RM0420408	12.1652	16.4936	9.5788	1.8011	81.1970	
33	RM0430408	10.6911	17.9495	8.0823	1.5341	81.0190	
34	RM0440408	12.8679	15.9395	9.9229	1.8921	80.9320	
35	RM0450408	10.7156	15.9214	8.3075	1.6346	80.3238	
36	RM0460408	10.8373	15.6026	7.6446	1.444	81.1108	
37	RM0470408	11.7791	18.0461	9.346	1.7514	81.2604	
38	RM0480408	9.9764	15.1878	7.3479	1.4414	80.3835	
39	RM0490408	12.0326	17.6717	9.1606	1.9616	78.5866	
40	RM0500408	12.0498	17.9729	9.0078	1.6317	81.8857	
41	RM0511108	9.4028	17.9365	6.549	1.2774	80.4947	ค้ำ 3 คีน
42	RM0521108	11.301	14.5503	8.5758	1.7297	79.8305	ค้ำ 3 คีน
43	RM0531108	9.3658	18.5604	6.3135	1.3883	78.0106	ค้ำ 3 คีน
44	RM0541108	11.1867	15.2722	8.2359	1.5193	81.5527	ค้ำ 3 คีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)		น้ำหนัก (g)		ผลต่าง (ก่อน-หลัง)	
		ผลไม้ (รวม เปลือก) can	ผลไม้ can (ก่อนอบ)	ผลไม้ can (หลังอบ)	ผลต่าง		
45	RM0551108	10.1758	14.6614	7.561	1.5804	79.0980	ค้ำ 3 คีน
46	RM0561108	9.625	16.6673	6.9817	1.3415	80.7855	ค้ำ 3 คีน
47	RM0571108	9.7705	17.7016	7.2075	1.5321	78.7430	ค้ำ 3 คีน
48	RM0581108	10.3895	16.0775	7.4945	1.4743	80.3282	ค้ำ 3 คีน
49	RM0591108	9.2932	17.7777	5.711	0.969	83.0327	ค้ำ 3 คีน
50	RM0601108	9.7011	17.9048	6.9502	1.2893	81.4495	ค้ำ 3 คีน
51	RM0611108	9.7879	17.8483	7.0941	1.3201	81.3916	ค้ำ 3 คีน
52	RM0621108	11.0156	14.614	8.1647	1.6919	79.2779	
53	RM0631108	11.9166	14.3967	9.0677	1.9736	78.2348	
54	RM0641108	9.9119	17.6626	7.256	1.4897	79.4694	
55	RM0651108	9.2644	16.1083	6.5579	1.2421	81.0595	
56	RM0661108	11.3584	17.6501	8.2746	1.623	80.3858	
57	RM0671108	10.3416	15.8475	7.5951	1.4613	80.7600	
58	RM0681108	9.0805	16.1531	6.8428	1.4382	78.9823	
59	RM0691108	7.9661	17.8631	5.6231	1.055	81.2381	
60	RM0701108	10.8433	16.6341	7.8987	1.5786	80.0144	
61	RM0711108	11.885	14.9061	8.7304	1.8335	78.9987	
62	RM0721108	9.479	16.331	6.5268	1.3321	79.5903	
63	RM0731108	10.2497	15.2301	6.8842	1.4088	79.5357	
64	RM0741108	13.3843	17.5831	9.8163	1.8569	81.0835	
65	RM0751108	11.5887	18.556	8.6533	1.712	80.2156	
66	RM0761108	11.1668	15.9306	7.7887	1.5508	80.0891	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)					
		ผลไม้ (รวม เปลือก)	can	ผลไม้ใน can (ก่อนอบ)	ผลไม้ใน can (หลังอบ)	ผลต่าง (ก่อน-หลัง)	
67	RM0771108	10.6871	14.1345	7.5998	1.5383	79.7587	
68	RM0781108	10.4737	15.0843	7.7198	1.4788	80.8441	
69	RM0791108	12.1683	19.261	9.0066	1.7983	80.0335	
70	RM0801108	10.8643	16.8467	7.6458	1.5261	80.0400	
71	RM0811108	12.964	14.8172	8.9251	1.5882	82.2052	
72	RM0821108	12.5083	15.5354	9.1388	1.97	78.4436	
73	RM0831108	10.7121	17.3086	7.7269	1.6037	79.2452	
74	RM0841108	10.9603	17.7171	7.7714	1.6442	78.8429	
75	RM0851108	11.126	15.5268	7.4082	1.5248	79.4174	
76	RM0861108	11.9377	16.9551	8.7388	1.8315	79.0417	เน่ามีหนอน
77	RM0871108	11.34	16.6128	8.5611	1.8763	78.0834	
78	RM0881108	11.0318	17.9677	7.6787	1.545	79.8794	
79	RM0891108	12.1831	17.097	8.1926	1.8151	77.8446	
80	RM0901108	11.6408	16.5646	8.0878	1.8433	77.2089	
81	RM0911108	12.6327	14.878	9.1182	1.9818	78.2654	
82	RM0921108	11.3567	17.5342	7.9048	1.7293	78.1234	
83	RM0931108	11.8151	17.8764	8.3549	1.7774	78.7263	
84	RM0941108	11.6876	13.8318	8.4239	1.792	78.7272	
85	RM0951108	11.9351	14.7712	8.2082	1.7538	78.6336	
86	RM0961108	10.7445	16.79	7.6629	1.5597	79.6461	
87	RM0971108	13.4635	17.6752	9.8991	2.0927	78.8597	
88	RM0981108	11.0298	17.5452	7.6755	1.6137	78.9760	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		ผลไม้ (รวม เปลือก)	น้ำหนัก (g)			ผลต่าง (ก่อน-หลัง)	
			ผลไม้ can	ผลไม้ can	ผลไม้ can		
89	RM0991108	10.5738	17.9607	7.7673	1.658	78.6541	
90	RM1001108	10.941	15.6783	7.5223	1.5577	79.2922	
91	RM1011108	11.6993	17.4936	8.0986	1.7018	78.9865	
92	RM1021108	10.868	17.0321	7.396	1.5083	79.6065	
93	RM1031108	11.0029	15.3673	7.6495	1.5422	79.8392	
94	RM1041108	11.6309	15.4843	8.0097	1.6749	79.0891	
95	RM1051108	13.0168	14.8448	9.1535	2.0184	77.9494	
96	RM1061108	10.5701	17.3841	6.5427	1.3808	78.8956	
97	RM1071108	10.7218	14.9621	7.4124	1.5143	79.5707	
98	RM1081108	10.4587	17.3841	7.1856	1.8693	73.9855	
99	RM1091108	11.6234	18.2436	8.1391	1.6828	79.3245	
100	RM1101108	12.2274	17.6502	8.1645	1.745	78.6270	
101	RM1111108	10.6646	15.067	6.8729	1.4054	79.5516	
102	RM1121108	11.7423	16.9318	7.7506	1.6945	78.1372	
103	RM1131108	12.2074	18.0891	8.823	1.851	79.0207	
104	RM1141108	11.1938	17.6527	7.5648	1.6111	78.7027	
105	RM1151108	11.6721	16.7688	7.6897	1.6519	78.5180	
106	RM1161108	10.8078	17.6779	7.4227	1.5606	78.9753	
107	RM1171108	9.867	16.2717	6.2584	1.4077	77.5070	
108	RM1181108	11.8692	15.4643	8.5932	1.7902	79.1672	
109	RM1191108	10.4639	16.1963	7.0415	1.4156	79.8963	
110	RM1201108	12.6739	13.2537	8.6272	1.8662	78.3684	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)		น้ำหนัก (g)		ผลต่าง (ก่อน-หลัง)	
		ผลไม้ (รวม เปลือก)	can	ผลไม้ใน can (ก่อนอบ)	ผลไม้ใน can (หลังอบ)		
111	RM1211108	11.5754	15.0928	7.477	1.5251	79.6028	
112	RM1221108	11.9519	17.6216	7.8483	1.5871	79.7778	
113	RM1231108	11.7493	15.6535	7.8021	1.7227	77.9200	
114	RM1241108	9.8852	16.0042	6.6256	1.3502	79.6215	
115	RM1251108	12.035	14.3239	8.1607	1.8787	76.9787	
116	RM1261108	9.963	18.0472	6.5236	1.4045	78.4705	
117	RM1271108	8.6493	15.3134	5.3465	0.9236	82.7251	
118	RM1281108	11.3147	17.5872	7.5299	1.6013	78.7341	
119	RM1291108	9.5754	18.0685	5.8505	0.968	83.4544	
120	RM1301108	10.6099	18.5773	7.1481	1.4828	79.2560	
121	RM1311108	8.3347	14.777	5.6275	1.1888	78.8752	
122	RM1321108	10.1859	17.0471	6.8411	1.421	79.2285	
123	RM1331108	11.1614	18.6796	8.047	1.6885	79.0170	
124	RM1341108	10.8122	17.8251	7.6065	1.6208	78.6919	
125	RM1351108	10.4655	16.049	7.1631	1.4972	79.0984	
126	RM1361108	12.4556	10.798	15.1562	7.9684	47.4248	
127	RM1371108	11.0599	18.2399	7.9406	1.6522	79.1930	
128	RM1381108	11.0917	17.9591	8.0201	1.6352	79.6112	
129	RM1391108	10.5464	16.6799	7.3174	1.5624	78.6482	
130	RM1401108	11.78	17.2311	8.2333	1.8289	77.7865	
131	RM1411108	12.8657	17.3109	9.2354	2.0511	77.7909	
132	RM1421108	10.4272	17.5818	7.0273	1.5224	78.3359	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)					
		ผลไม้	ผลไม้ใน		ผลไม้ใน	ผลต่าง	
		(รวม เปลือก)	can	can	can	(ก่อน-หลัง)	
		(ก่อนอบ)	(หลังอบ)				
133	RM1431108	10.3088	17.0275	7.3181	1.5778	78.4398	
134	RM1441108	11.6663	14.6788	7.7582	1.7309	77.6894	
135	RM1451108	10.4478	17.2676	6.3961	1.234	80.7070	
136	RM1461108	16.0008	15.3125	6.6986	1.4038	79.0434	
137	RM1471108	11.4937	17.9978	8.3874	1.8353	78.1184	
138	RM1481108	13.0392	17.7154	9.7762	2.0472	79.0593	
139	RM1491108	10.4727	16.0697	7.0084	1.4604	79.1621	
140	RM1501108	10.4569	19.0813	6.9132	1.4757	78.6539	
141	RM1511108	11.3969	17.7404	8.6419	1.808	79.0787	
142	RM1521108	11.68	17.1428	7.8642	1.6477	79.0481	
143	RM1531108	10.5113	15.9097	6.9301	1.5212	78.0494	
144	RM1541108	11.5628	17.7476	7.7162	1.7183	77.7313	
145	RM1551108	10.8499	17.9911	7.0467	1.4949	78.7858	
146	RM1561108	11.3255	18.0889	7.0829	1.3885	80.3964	
147	RM1571108	11.6589	20.7457	8.4485	1.8839	77.7014	
148	RM1581108	10.3538	16.3124	6.6599	1.3503	79.7249	
149	RM1591108	13.0348	15.0297	9.4799	2.0826	78.0314	
150	RM1601108	9.7651	16.944	6.4873	1.2922	80.0811	
151	RM1611108	10.2791	15.8863	6.9855	1.4858	78.7302	
152	RM1621108	11.7468	15.0441	8.4045	1.8413	78.0915	
153	RM1631108	9.7302	17.4603	6.3744	1.2741	80.0122	
154	RM1641108	9.6825	16.6751	6.5496	1.3693	79.0934	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture				หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)				
		ผลไม้ (รวม เปลือก)	can	ผลไม้ใน can (ก่อนอบ)	ผลไม้ใน can (หลังอบ)	
155	RM1651108	10.1949	17.6494	7.2893	1.5031	79.3794
156	RM1661108	11.5301	17.0565	8.0456	1.7219	78.5982
157	RM1671108	11.1684	15.1483	8.1058	1.6938	79.1039
158	RM1681108	12.1375	17.7379	7.8739	1.754	77.7239
159	RM1691108	11.9983	17.4629	8.5353	1.8453	78.3804
160	RM1701108	10.9898	17.9494	7.6064	1.5268	79.9274
161	RM1711108	11.3075	16.5909	7.5481	1.6608	77.9971
162	RM1721108	12.6182	16.733	8.4496	1.7608	79.1611
163	RM1731108	11.8232	17.5076	8.1102	1.7677	78.2040
164	RM1741108	10.3011	17.5025	6.7134	1.4393	78.5608
165	RM1751108	9.9071	17.7001	6.7882	1.2988	80.8668
166	RM1761108	10.4369	14.3756	6.4224	1.2937	79.8564
167	RM1771108	9.9046	15.3925	7.0233	1.3718	80.4679
168	RM1781108	11.1414	17.7379	7.228	1.581	78.1267
169	RM1791108	9.8	18.0936	6.6089	1.4383	78.2369
170	RM1801108	11.1242	17.7397	7.7164	1.7425	77.4182
171	RM1811108	11.9952	17.5955	8.1148	1.6892	79.1837
172	RM1821108	9.1372	15.8177	6.1215	1.3055	78.6735
173	RM1831108	10.2062	17.5506	6.9602	1.4252	79.5236
174	RM1841108	9.3404	17.3496	6.2052	1.2954	79.1240
175	RM1851108	9.702	16.5512	6.8332	1.3347	80.4674
176	RM1861108	9.4932	16.3293	6.2515	1.3809	77.9109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)					
		ผลไม้ (รวม เปลือก)	can	ผลไม้ใน can (ก่อนอบ)	ผลไม้ใน can (หลังอบ)	ผลต่าง (ก่อน-หลัง)	
177	RM1871108	11.6056	16.6155	8.5757	1.767	79.3953	
178	RM1881108	10.562	14.6405	7.2323	1.6203	77.5963	
179	RM1891108	10.1055	18.3491	7.0115	1.4469	79.3639	
180	RM1901108	10.0781	15.933	6.531	1.3509	79.3156	
181	RM1911108	9.1352	17.1616	5.5781	1.127	79.7960	
182	RM1921108	10.2123	17.4524	7.0946	1.6008	77.4364	
183	RM1931108	9.9888	17.6577	6.3984	1.1271	82.3847	
184	RM1941108	10.9648	17.8523	7.81	1.5672	79.9334	
185	RM1951108	10.76	15.3702	7.3999	1.5547	78.9903	
186	RM1961108	10.1127	15.8367	6.7983	1.3552	80.0656	
187	RM1971108	10.8712	17.1793	7.013	1.5512	77.8811	
188	RM1981108	11.6299	17.5416	8.1762	1.6898	79.3327	
189	RM1991108	12.0989	17.1623	8.05	1.7255	78.5652	
190	RM2001108	12.4773	16.3085	9.1398	1.9108	79.0936	
191	RM2011508	12.182	18.2396	8.6165	1.6492	80.8600	
192	RM2021508	10.9756	13.9449	7.1412	1.4294	79.9838	
193	RM2031508	12.2802	17.6987	8.3675	1.7	79.6833	
194	RM2041508	12.2504	16.6484	8.5818	1.7541	79.5602	
195	RM2051508	13.8291	15.3247	9.5699	2.0641	78.4313	
196	RM2061508	14.3524	16.8228	10.2682	2.1254	79.3011	
197	RM2071508	14.2337	14.6581	10.2964	2.0546	80.0455	
198	RM2081508	11.9645	19.3775	8.5447	1.6849	80.2813	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

No.	name	Moisture					หมายเหตุ
		น้ำหนัก (g)					
		ผลไม้ (รวม เปลือก)	can	ผลไม้ใน can (ก่อนอบ)	ผลไม้ใน can (หลังอบ)	ผลต่าง (ก่อน-หลัง)	
199	RM2091508	9.9673	17.0823	6.5801	1.2289	81.3240	
200	RM2101508	11.1031	17.5528	7.4827	1.5075	79.8535	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวปภัชญา เอี่ยมแทน
 วัน เดือน ปีเกิด 8 พฤศจิกายน 2539
 ประวัติการศึกษา - ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 โรงเรียนสมุทรสาครวิทยาลัย
 - ระดับปริญญาตรี คณะ อุตสาหกรรมเกษตร
 สาขา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล นางสาววรนิษฐา สหชัยรุ่งเรือง
 วัน เดือน ปีเกิด 5 มีนาคม 2540
 ประวัติการศึกษา - ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 โรงเรียนพนัสพิทยาคาร
 - ระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร
 สาขา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 - กำลังศึกษาต่อระดับปริญญาโท คณะอุตสาหกรรมเกษตร
 สาขา วิทยาศาสตร์การอาหาร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้