

การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้
เพื่อทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าว
Investigation of Using Near Infrared Spectroscopy
for Prediction of Fat in Coconut



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

เพื่อทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าว

Investigation of Using Near Infrared Spectroscopy

for Prediction of Fat in Coconut



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Investigation of Using Near Infrared Spectroscopy
for Prediction of Fat in Coconut



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้
เพื่อทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าว
Investigation of Using Near Infrared Spectroscopy
for Prediction of Fat in Coconut

นักศึกษาผู้จัดทำ จารวัฒน์ แป๊ะอู๋ รหัสนักศึกษา 56010169

พงศกร เจริญประเสริฐกุล รหัสนักศึกษา 56010772

วรุตม์ วงศ์วานิชย์ศิลป์ รหัสนักศึกษา 56011093

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา วิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร. นารัถระพี นาคะวัจนะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้
เพื่อทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าว

นักศึกษาผู้จัดทำ	จาร์วัฒน์ แป๊ะอู๋	56010169
	พงศกร เจริญประเสริฐกุล	56010772
	วรุฒ วงศ์วานิชย์ศิลป์	56011093

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. นารัษฎา นาคะวัจนะ

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ได้ถูกนำมาใช้ในการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดแบบดั้งเดิม (วิธีเกอร์เบอร์) ตัวอย่างมะพร้าวขาวที่ใช้มีลักษณะที่เป็นชิ้นเนื้อและเนื้อมะพร้าวขาวที่ถูกคั้นออกมาเป็นน้ำกะทิแล้ว จำนวน 185 ตัวอย่าง ถูกวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง MicroNIR Pro1700 ในช่วงความยาวคลื่น 950 – 1,650 nm ด้วยโหมดการวัดแบบ diffuse reflectance สำหรับเนื้อมะพร้าวขาวลักษณะเป็นชิ้น และ ด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 750-2,500 nm ด้วยโหมดการวัดแบบ diffuse reflectance สำหรับเนื้อมะพร้าวขาวที่ถูกคั้นเป็นน้ำกะทิแล้ว โดยสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Partial least square regression แบบ full cross validation พบว่า แบบจำลองที่ได้ จากการวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของเนื้อมะพร้าวขาวด้านในและด้านนอก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.1682, ค่า RMSEP เท่ากับ 3.19% และค่า Bias เท่ากับ -1.02% นั้นแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของแบบจำลองนี้ไม่ดีเลยและไม่แนะนำให้นำไปประยุกต์ใช้งานในทางตรงกันข้ามแบบจำลองที่ได้จากการวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำกะทิทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1st Derivative พบว่า มีค่า R^2 สูงอยู่ที่เท่ากับ 0.9332 ค่า RMSEP เท่ากับ 0.965% และค่า Bias เท่ากับ -0.174% แสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ ซึ่งสรุปได้ว่าเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ไม่เหมาะที่จะนำมาทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวในลักษณะเป็นชิ้นได้ แต่สามารถนำมาใช้ในการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวที่คั้นเป็นน้ำกะทิแล้วได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Investigation of Using Near Infrared Spectroscopy for Prediction of Fat in Coconut	
Authors	Mr. Jaruwat Paeoui	56010169
	Mr. Pongsakorn Charoenprasertkul	56010722
	Mr. Warout Wongwanichsilp	56011093
Thesis Advisor	Dr. Natrapee Nakawajana	
Year	2016	

Abstract

Near infrared spectroscopy was used to predict the fat content in coconut meat for comparing with the traditional method (Gerber method). A set of 185 samples of coconut pieces and coconut milks were used to measure the absorbance by using Micro-NIR 1700 in the wavelength range of 950-1,650 nm by diffuse reflectance mode for coconut pieces and using FT-NIR spectrometer in range 750-2,500 nm by diffuse reflectance mode for coconut milk. The calibration models for quantitative analysis of moisture content were established by partial least squares regression (PLSR) using full cross validation. The PLSR model based on the absorbance data of the averaging between inside and outside of coconut pieces showed the coefficient of determination (R^2) of 0.1682, RMSEP of 3.19% and bias of -1.02%. This meant that the PLSR model was not good and not recommended to be applied. In contrast, the PLSR model of the absorbance data from coconut milk gave R^2 of 0.9332, RMSEP of 0.965% and Bias of -0.174%. From this result, this PLSR model can be applied. Finally, the results suggested that the near-infrared spectroscopy cannot be used to predict the fat content in coconut pieces but can be potentially used to predict the fat content in coconut milk in fast and accuracy.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก บริษัท อัมพลฟู๊ดส์โปรดิวเซอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเนื้อมะพร้าวขาว เครื่องมือในการทดลอง สถานที่ในการทดลอง ตลอดจนพี่วิทยากร ที่ช่วยสอนการใช้งานเครื่องมือ และอำนวยความสะดวก รวมถึงจากกองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย

ขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นารัตระพี นาคะวัจนะ ที่ช่วยให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการจัดทำโครงการ รวมทั้งอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่ช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆชาววิศวกรรมเกษตร ที่สละเวลาให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ทั้งกำลังกาย กำลังใจในการทดลองเสมอ

คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนการทำงานและให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณงามความดีที่เกิดจากปณิธานฉบับนี้ ข้าพระเจ้าขอมอบให้แก่บิดามารดาที่รักและเคารพ ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้วิจัย

จารุวัฒน์ แป๊ะอู๋

พงศกร เจริญประเสริฐกุล

วรุฒ วงศ์วานิชย์ศิลป์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาของปริญญาโท.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับของปริญญาโท.....	3
1.5 แผนการดำเนินงานของปริญญาโท.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มะพร้าว.....	4
2.2 พันธุ์มะพร้าวไทย.....	4
2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลมะพร้าว.....	5
2.4 การเก็บเกี่ยวมะพร้าว.....	8
2.5 ประโยชน์ของมะพร้าว.....	10
2.6 กะทิ.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy, NIR).....	11
2.7.1 เปกโทรสโกปี (Spectroscopy).....	12
2.7.2 หลักการพื้นฐานของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy.....	13
2.7.3 การทำงานของเครื่อง Spectrometer.....	13
2.7.4 เทคนิคในการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	13
2.8 ประโยชน์ของการใช้เทคนิค NIR.....	14
2.9 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ.....	15
2.9.1 การแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ (Derivative transformation).....	15
2.9.2 การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction MSC).17	17
2.9.3 วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard Normal Variate (SNV).17	17
2.9.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจาก Near Infrared Spectra.....	17
2.9.5 การสร้างสมการ Calibrations.....	17
2.9.6 การทำ Validation.....	18
2.10 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น.....	19
2.10.1 Vector Normalization.....	19
2.10.2 Multiplicative Scatter Correction	20
2.10.3 อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Derivative)	20
2.10.4 อนุพันธ์อันดับที่สอง (Second Derivative).....	20
2.11 เทอมที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของโมเดล.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.11.1 Mean (ค่าเฉลี่ย).....	21
2.11.2 Standard deviation,SD (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	21
2.11.3 Bias (ค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRs และข้อมูลที่อ้างอิง).....	21
2.11.4 Coefficient of determination (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ, R^2).....	21
2.11.5 Root mean square error of estimation (RMSEE)	22
2.11.6 Root mean square of the prediction (RMSEP)	23
2.11.7 Ratio of SEP to the SD (RPD)	23
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดไขมันในมะพร้าว.....	24
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการไขมันในผลผลิตทางการเกษตรโดยเทคนิคสเปกโทรสโกปี อินฟราเรดย่านใกล้.....	25
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 ตัวอย่างขึ้นเนื้อมะพร้าวขาว.....	27
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2.1 เครื่องวัดสเปกตรัม Micro-NIR pro 1700.....	27
3.2.2 เครื่อง Homogenizer.....	28
3.2.3 เครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR spectrometer	28
3.2.4 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	29
3.2.5 อุปกรณ์อื่นๆ.....	29
3.3 การทดลอง.....	30
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.1 สมบัติทางกายภาพ.....	34
4.2 การสร้างสมการ Calibration เพื่อทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว.....	38
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1	คุณค่าทางอาหารของเนื้อมะพร้าวในส่วนที่รับประทานได้ 100 g6
ตารางที่ 3	การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด11
ตารางที่ 3	การแปลความหมายของค่า R^222
ตารางที่ 4	ค่าทางสถิติ RPD24
ตารางที่ 5	ค่าไขมันของตัวอย่างขึ้นเนื้อมะพร้าวตัวอย่างจำนวน 185 ตัวอย่าง34
ตารางที่ 6	การสร้างและทดสอบสมการ.....37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบภายนอกของผลมะพร้าว.....	7
ภาพที่ 2 มะพร้าวอ่อน	9
ภาพที่ 3 ลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	12
ภาพที่ 4 รูปแบบการวัดดูดกลืนแสง.....	14
ภาพที่ 5 สเปกตรัมและอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัม.....	15
ภาพที่ 6 ขนาดเซกเมนต์ และขนาดของช่องทาง ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative	16
ภาพที่ 7 NIR สเปกตรัมวัดแบบการสะท้อนแบบแพร่	19
ภาพที่ 8 เครื่องวัดสเปกตรัม	27
ภาพที่ 9 เครื่อง Homogenizer	28
ภาพที่ 10 เครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR spectrometer	28
ภาพที่ 11 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	29
ภาพที่ 12 การวัดอุณหภูมิในเนื้อมะพร้าวโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์	30
ภาพที่ 13 วัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำกะทิด้วยเครื่อง	30
ภาพที่ 14 การไฮโมจิไนซ์ตัวอย่างน้ำกะทิ	31
ภาพที่ 15 วัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำกะทิด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer	31
ภาพที่ 16 การวัดปริมาณไขมันด้วยวิธีเกอร์เบอร์	32
ภาพที่ 17 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของชั้นเนื้อมะพร้าวขาว.....	35
ภาพที่ 18 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างค่าไขมันที่ทำนายจากการสมการและค่าจริง	38
ภาพที่ 19 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่นต่างๆของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ทำการปรับด้วยวิธี 1D ที่ค่าเฉลี่ยของการวัด 3 จุด โดยใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะพร้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งมีความสำคัญอย่างมากในด้านอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศ ผลมะพร้าวสามารถนำไปแปรรูปได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ผลมะพร้าวอ่อน นิยมนำน้ำไปทำเป็นน้ำมะพร้าวบรรจุขวด หากเป็นผลมะพร้าวแก่โดยส่วนใหญ่จะนำมาแปรรูปด้วยการนำเนื้อมะพร้าวผ่านการคั้นออกมาเป็นน้ำกะทิ ในอดีตหรือในท้องที่ไกลตลาด แม่บ้านจะต้องปอกและขูดมะพร้าวเอง เพื่อใช้ทำน้ำกะทิ ในปัจจุบันมีการขูดมะพร้าวขายในตลาดสดและมีบริการคั้นน้ำกะทิด้วยเครื่องคั้น ส่วนผู้บริโภคที่อยู่ไกลตลาดหรืออยู่ในต่างประเทศก็ได้รับความสะดวกจากการใช้น้ำกะทิสำเร็จรูป ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ต้องการใช้น้ำกะทิในปริมาณมาก ก็สามารถใช้น้ำกะทิอุตสาหกรรม เป็นการลดภาระในการเตรียมน้ำกะทิทั้งเป็นการกระจายรายได้อีกด้วย โดยทั่วไปน้ำกะทิมีหลายประเภท อาทิ เช่น น้ำกะทิสด น้ำกะทิพาสเจอร์ไรส์ น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง กะทิผง และน้ำกะทิล่องยูเอชที (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2559)

จากอดีตที่ผ่านมา อุตสาหกรรมมะพร้าวมีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ จนกระทั่งในปัจจุบันนี้มะพร้าวสามารถแปรรูปมาเป็นกะทิล่องยูเอชที ผลิตภัณฑ์กะทิล่องยูเอชทีนั้นนอกจากจะเป็นสินค้าที่บริโภคภายในประเทศแล้วยังเป็นสินค้าส่งออกที่ได้รับความนิยมสูง ดังจะเห็นได้จากปริมาณการส่งออกกะทียูเอชทีในปี 2555 มีปริมาณการส่งออก 117,845 ตัน คิดเป็นมูลค่า 5,901 ล้านบาท และในปี 2557 เพิ่มขึ้นเป็น 179,297 ตัน คิดเป็นมูลค่า 9,721 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) น้ำกะทิล่องยูเอชที เป็นน้ำกะทิผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยระบบความร้อนสูงระยะเวลาสั้น (140-145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-15 วินาที) แล้วบรรจุในกล่องที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว ระยะเวลาให้ความร้อนสั้นทำให้คงสภาพคล้ายน้ำกะทิสดมาก โดยทั่วไปตัวชี้วัดคุณภาพของเนื้อมะพร้าวที่จะนำมาทำน้ำกะทิ ได้แก่ ค่า pH และค่าปริมาณไขมัน ซึ่งค่าปริมาณไขมันตามมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับของโรงงานอยู่ที่ 30 - 36%

เนื่องจากการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวในปัจจุบันใช้การวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์ซึ่งเป็นการวัดแบบทำลายวัตถุดิบ โดยจะต้องเตรียมตัวอย่างน้ำกะทีก่อนแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งสามารถแยกชั้นไขมันออกมาได้ วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมโดยใช้เวลานาน 15 - 20 นาที จึงจะทราบค่าปริมาณไขมันรวม อีกทั้งยังต้องใช้สารเคมีซึ่งไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นพิษต่อผู้ปฏิบัติงานอีกด้วย ดังนั้น จึงมีการริเริ่มศึกษาความเป็นไปได้ โดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ นั่นคือ เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy: NIRs) มาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว วิธีนี้เป็นวิธีการแบบไม่ทำลาย ไม่ต้องใช้สารเคมี ไม่ต้องเตรียมตัวอย่าง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถวัดตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว ที่ผ่านมามีเทคนิค NIRs ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย สำหรับใช้ในการตรวจสอบไขมันในวัสดุทางการเกษตร อาทิเช่น ใช้ NIRs ในการจำแนกประเภทของน้ำมันพืช (Yang et al., 2005) ใช้ในการวิเคราะห์ไขมันในนมและปริมาณโปรตีนรวมในนม (Bogomolova et al., 2012) ใช้ในการทำนายปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวม และปริมาณไขมันดิบในข้าวฟ่างทางจิ้งจอก (Chen et al., 2013) นำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด (Mazurek et al., 2016) รวมถึงได้มีการนำไปใช้กับการศึกษาหาไขมันในนมแพะด้วยการวัดแบบสะท้อนกลับและแบบส่องผ่าน พบว่ามีความถูกต้องและแม่นยำสูง (Nunez-Sanchez et al., 2016) เป็นต้น เทคนิคนี้ได้รับการยอมรับในวงกว้างและมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมเกษตร เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวโดยวิธี NIRs ยังไม่มีใครเคยทำมาก่อน ด้วยเหตุนี้ทางผู้จัดทำจึงมีความพยายามที่จะทำการวิจัยโดยใช้เทคนิค NIRs เพื่อทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวในโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวในลักษณะ เป็นชิ้นเนื้อมะพร้าว ด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700 ที่ช่วงความยาวคลื่น 950-1650 nm โดยการวัดแบบสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse reflectance) และในลักษณะของน้ำกะทิด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 870-2500 nm ด้วยการวัดแบบสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse reflectance) การทดลองกับเนื้อมะพร้าวขาวจำนวน 185 ตัวอย่าง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับมะพร้าวเนื้อขาว ของโรงงานโดยจะเน้นในช่วงกระบวนการรับวัตถุดิบเข้าโรงงาน

1.4.2 ศึกษากระบวนการรับวัตถุดิบเข้าโรงงาน ณ บริษัท อ่าพลฟู้ดส์ โพรเซสซิง จำกัด

1.4.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการเครื่องมือในการตรวจสอบ NIRs ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และค้นหาข้อมูลเครื่อง NIRs ที่สามารถนำมาใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4 ทำการทดลองเก็บตัวอย่างในกระบวนการรับวัตถุดิบเข้าของโรงงาน โดยสุ่มเนื้อมะพร้าวขาว ทั้งหมด 185 ตัวอย่าง (1 ตัวอย่างมาจากเนื้อมะพร้าวขาว 3 ชั้น) โดยแบ่ง วันละ 24 ชุด และที่เหลือทั้งหมดในวันสุดท้าย

1.4.5 ขั้นตอนการทดลอง เริ่มจากนำเนื้อมะพร้าวไปแช่น้ำเพื่อปรับอุณหภูมิ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง MicroNIR Pro1700 หลังจากนั้นนำชิ้นเนื้อมะพร้าว ไปชูดคั้นเป็นน้ำกะทิ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer และนำตัวอย่างน้ำกะทิไปวัดค่าไขมันด้วยวิธีเกอร์เบอร์ต่อไป

1.4.6 นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมด มาสร้างแบบจำลองการทำนายปริมาณไขมัน ในเนื้อมะพร้าวขาว

1.4.7 นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาสรุปผล เขียนรูปเล่ม รายงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ข้อมูลจากการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้กับเนื้อมะพร้าวขาว เพื่อเป็นข้อมูลในการหาปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว

1.5.2 สามารถนำเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มาใช้ในการตรวจสอบหาปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวในกระบวนการรับผลผลิตเข้าโรงงานได้จริงแทนวิธีการเดิมคือวิธีเกอร์เบอร์

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 มะพร้าว

2.1.1 ประวัติ

มีผู้สันนิษฐานและพบหลักฐานต่างๆว่ามะพร้าวมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกา เช่น หมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ทวีปเอเชีย และทวีปอเมริกา พบในเขตร้อนของทวีปอเมริกาโดยเฉพาะในทวีปอเมริกาใต้และอเมริกากลาง เป็นถิ่นที่มีมะพร้าวเติบโตขึ้นเป็นเวลานาน และยังมีพรรณพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงกับมะพร้าวเจริญเติบโตขึ้น จึงมีคนเชื่อว่ามะพร้าวน่าจะมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกา ส่วนในหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก หมู่เกาะเหล่านี้มีการปลูกมะพร้าวกันมากมายและได้มีการศึกษาพบว่ามะพร้าวขึ้นอยู่บนเกาะเหล่านี้เป็นเวลานานก่อนที่จะมีผู้คนเข้ามาอาศัยอยู่ และทวีปเอเชียพบว่า เขตร้อนของทวีปเอเชียเป็นดินแดนที่มีมะพร้าวอยู่มากมายและมีมาอย่างช้านาน ได้มีผู้ให้ความเห็นว่ามะพร้าวน่าจะมีถิ่นกำเนิดในเขตใดเขตหนึ่งในทวีปเอเชีย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2559)

2.2 พันธุ์มะพร้าวไทย

แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (พานิชย์, 2544) คือ

2.2.1 มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง

มะพร้าวพันธุ์ต้นสูงมีลักษณะสำคัญคือ ต้นสูง ออกผลช้า มีสะเกที่โคนต้น ส่วนมากเป็นมะพร้าวที่ปลูกเพื่อใช้น้ำมันในเนื้อมะพร้าวสำหรับประกอบอาหาร หรือใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มักเป็นมะพร้าวต้นสูง พวกนี้มีอายุยืน (60 - 80 ปีหรือมากกว่านั้น) ขึ้นอยู่กับสภาพดิน ด้านทานต่อโรคและแมลง ยกเว้นพวกไวรัสที่ทำให้เกิดโรคบางชนิด จะเริ่มติดผลเมื่ออายุประมาณ 8 - 10 ปีหลังปลูก ในกลุ่มนี้จะแยกพันธุ์ตามสถานที่ที่ขึ้นอยู่ หรือลักษณะของผลที่เห็นเด่นชัด เช่น มะพร้าวหัวลิง ทะลายร้อย ปากจอก มะพร้าวใหญ่ มะพร้าวกะโหลก เป็นต้น

2.2.2 มะพร้าวพันธุ์เตี้ย

มะพร้าวพันธุ์เตี้ยเป็นพันธุ์ออกผลเร็ว ต้นเตี้ยไม่มีสะเกที่โคนต้น พันธุ์พวกนี้จะติดดอกออกผลในช่วง 3 - 4 ปีหลังจากปลูก ผลผลิตจะออกเต็มที่ในช่วง 9-10 ปีอายุการให้ผลที่ระดับเศรษฐกิจอยู่ประมาณ 30 - 40 ปี สีของผลจะมีทั้งสีเหลือง ทอง สีเหลืองงาช่า สีเขียว สำหรับผลของพันธุ์ต้นเตี้ยจะมีทั้งขนาดเล็กและผลใหญ่ พันธุ์ผลเล็กที่สุดในกลุ่มนี้คือ Coco nino ในฟิลิปปินส์ ซึ่งในปัจจุบันมีการนำไปปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายทั่วไปทุกส่วนของโลก มะพร้าวพันธุ์เดี่ยวได้แก่ มะพร้าวหมูสีหมูสีเขียว ทุ่งเคล็ด หมูสีเหลือง มะพร้าวไฟ ปะทิว มะพร้าวอ่อน นกคุ้ม ฯลฯ

มะพร้าวกับสรรพคุณทางยา ทุกส่วนของต้นมะพร้าวยังมีสรรพคุณทางยาที่คนไทยต่างก็คุ้นเคย มาตั้งแต่สมัยโบราณต่อมาจนถึงปัจจุบันก็ยังนิยมใช้ควบคู่กับยาแผนปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

1. กะลา นำมาเผาให้เป็นถ่านดำ แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด ผสมน้ำดื่มวันละ 3-4 ครั้ง ครั้งละ 0.5-1 ช้อนชา ช่วยแก้อาการปวดกระดูกและเส้นเอ็น

2. ดอก มีรสฝาดหอมหวาน เป็นยาแก้เจ็บคอ แก้ท้องเสีย แก้ไข้ แก้ร้อนใน กระจายน้ำ กล่อมเสมหะ บำรุงโลหิต และแก้ปากเปื่อย

3. ราก รสฝาดหอมหวาน เป็นยาแก้ท้องเสีย ขับปัสสาวะ หรืออมบ้วนปากแก้เจ็บคอ

4. น้ำมันมะพร้าว รสหวานเค็ม รับประทานเป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ ใช้ทาบำรุงผม หรือทาเป็นยาแก้กลากเกลื้อน ทาผิวหนังแตกแห้ง แก้โรคผิวหนังต่างๆ ทาแผลน้ำร้อนลวก โดยการเอาน้ำมันมะพร้าวมา 1 ส่วน ใส่ภาชนะคนพร้อมกับเติมน้ำปูนใส 1 ส่วน โดยเติมทีละส่วน พร้อมกับคนไปด้วย จนเข้ากันดีและนำมาทาบริเวณแผลบ่อยๆ

5. น้ำมันมะพร้าว รับประทานเป็นยาระบาย แก้ท้องเสีย ขับปัสสาวะ แก้พิษ แก้กระจายน้ำ แก้ผิวหนังอักเสบเป็นโลหิต และบวมน้ำ นอกจากนี้ยังทำเป็นน้ำสัสมายชูและใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้อีกมากมาย (นฤมล, 2548)

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลมะพร้าว

ผลมะพร้าวมีรูปกลมหรือทรงกลมรี เปลือกด้านนอกเรียบและแข็งภายในเส้นใยเนื้อนุ่ม ทุยูน ส่วนที่ลึกเข้าไปอีกเป็นส่วนที่แข็ง เรียกว่า กะละมะพร้าวหากเป็นกะลาอ่อนจะเป็นกะลาสีขาว เมื่อเวลาผ่านไปกะลาจึงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นและแข็ง ส่วนที่ลึกเข้าไปอีกเป็นส่วนของเนื้อมะพร้าวสีขาว เมื่อเนื้อมะพร้าวกำลังอ่อนอยู่เป็นส่วนที่มีลักษณะคล้ายวุ้น อ่อนนุ่มรสหวานอ่อนๆ แล้วจึงเริ่มหนาขึ้นจนกระทั่งแก่ เมื่อเวลาที่กะลามะพร้าวเปลี่ยนเป็นสีเข้มเนื้อมะพร้าวมีความหนาประมาณ 1 cm เนื้อแข็ง รสมัน มีน้ำมันอยู่มากถึงร้อยละ 60 - 65 และในน้ำมันมีกรดไขมัน (Fatty acid) หลายชนิด ส่วนที่ถัดจากเนื้อมะพร้าวเป็นส่วนของน้ำมะพร้าว ทำหน้าที่ในการหล่อเลี้ยงเนื้อมะพร้าวให้ชุ่ม (มณีรัตน์, 2552) ผลมะพร้าวเป็นแบบ Fibrous drupe (นิยมเรียกว่า Nut) ประกอบด้วยชั้นต่างๆ 4 ชั้น (ภาพที่ 1a และ 1b)

Exocarp หรือ Outer Skin คือ เปลือกนอกสุดของผล เป็นแผ่นของเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อผลแก่จะเปลี่ยนเป็นสีต่างๆ คือสีเขียว เหลือง ส้ม แดงหรือน้ำตาลตามลำดับตามลักษณะประจำพันธุ์ สำหรับผลที่แก่และแห้งมีสีน้ำตาลเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mesocarp หรือ Husk หรือ Coir หรือ Fiber Layer คือใยมะพร้าว เป็นชั้นที่อยู่ถัดไปจากเปลือกนอกเข้ามา เมื่อผลยังอ่อนมีลักษณะอ่อนนุ่ม บางพันธุ์อาจมีรสหวานรับประทานได้แต่เมื่อผลแก่จะกลายเป็นชั้นเส้นใยที่เรียกว่ากาบมะพร้าว (Coir) ซึ่งชั้นนี้จะหนาประมาณ 4 - 8 cm (ตามแต่พันธุ์)

Endocarp หรือกะลามะพร้าว เป็นชั้นในสุดที่มีกาบมะพร้าวหุ้มล้อมรอบ เมื่อผลแก่จะมีลักษณะแข็ง สีน้ำตาลดำ ที่เรียกว่า กะลา (Husk or shell) ซึ่งผิวด้านนอกกะลาจะมีสันนูน 3 สัน ที่กะลาด้านที่อยู่ทางซ้ายของผลจะมีตาอยู่ 3 ตา Carple ละ 1 ตา โดยมีตาแข็ง 2 ตา และตานิ่มอันใหญ่ 1 ตา ตานิ่มนี้จะอยู่บนส่วนของกะลาอันใหญ่ที่สุด เมื่อมะพร้าววงอกหน่อออกมา ต้นอ่อนจะแทงทะลุผ่านตานิ่ม

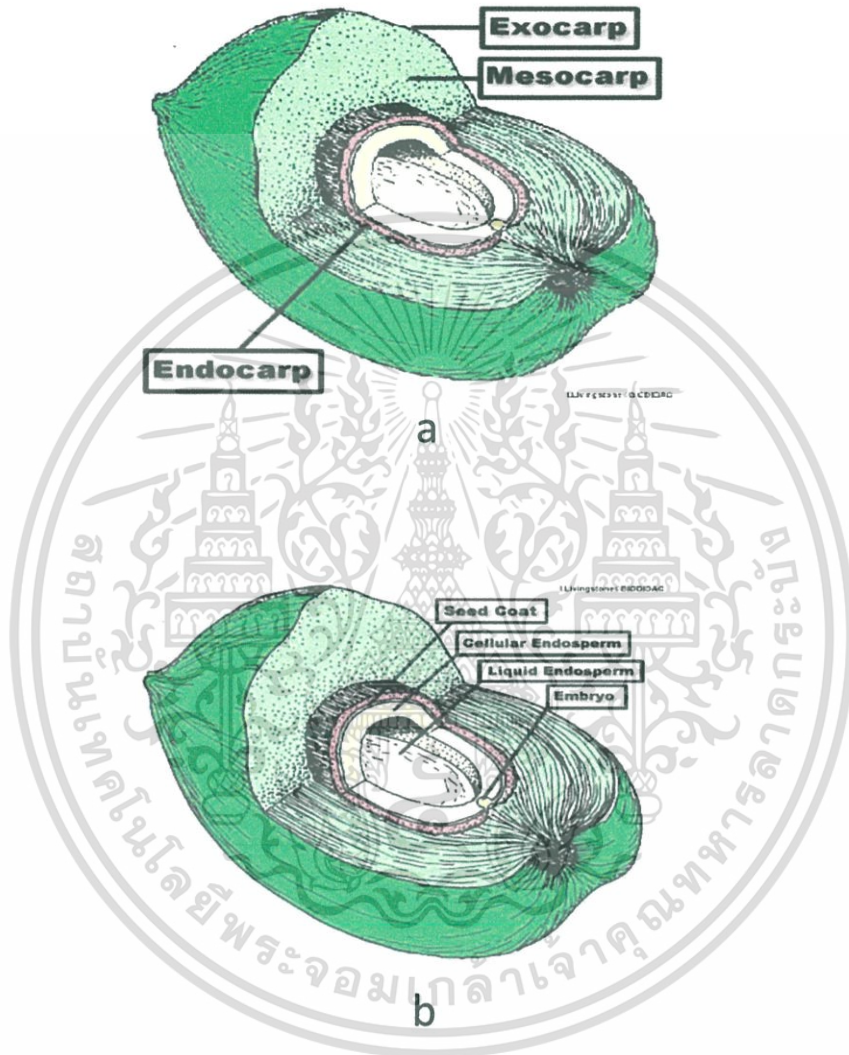
Kernel หรือ Seed หรือ Meat คือเมล็ด เมล็ดมะพร้าวคือชั้นที่อยู่ถัดจากกะลาเข้าไป ประกอบด้วยเปลือกเมล็ดสีดำหรือสีน้ำตาล (Seed coat) มีชั้นเนื้อมะพร้าว (Cellular endosperm) ซึ่งมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 1 - 2 cm น้ำมะพร้าว (Liquid endosperm) และส่วนที่เป็นต้นอ่อน (Embryo) ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมด

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของเนื้อมะพร้าวในส่วนที่รับประทานได้ 100 g

คุณค่าทางอาหาร	ปริมาณ
ความชื้น	80.6 g
ไขมัน	5.5 g
คาร์โบไฮเดรต	11.9 g
กากใย	0.9 g
โปรตีน	1.4 g
แคลเซียม	10 mg
ฟอสฟอรัส	54 mg
เหล็ก	0.7 mg
วิตามินบีหนึ่ง	0.07 mg
วิตามินบีสอง	0.04 mg
ไนอาซีน	0.9 mg
วิตามินซี	4 mg

ที่มา: กรมอนามัย, 2530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบภายนอกของผลมะพร้าว

ที่มา: David, 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเก็บเกี่ยวมะพร้าว

การเก็บเกี่ยวมะพร้าวเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ นิยมใช้การสังเกตการณ์สุกแก่ของผลมะพร้าว ใช้การเก็บเกี่ยวมะพร้าวที่เหมาะสม ได้แก่การนับทะเลลาย การสังเกตจากทางหู และการสังเกตจากสีผล (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531)

มะพร้าวจะเริ่มมีเนื้อสมบูรณ์เมื่ออายุ 300 วัน และเมื่ออายุ 12 เดือน กะลาจะแข็ง และมะพร้าวจะสุกเต็มที่ มะพร้าวที่สมบูรณ์จะมีส่วนประกอบดังนี้ เปลือกมะพร้าว 35% กะลามะพร้าว 12% เนื้อมะพร้าว 28% และน้ำมะพร้าว 25% (ศักดิ์สิทธิ์, 2532)

การเก็บเกี่ยวมะพร้าวจะขึ้นอยู่กับพันธุ์มะพร้าว ประเพณีของชนบท ภูมิอากาศ และขบวนการแปรรูป เช่น ในประเทศศรีลังกา มะพร้าวต้นสูงใช้วิธีการเก็บโดยใช้คนเนื่องจากมะพร้าวจะไม่ตกลงมาถึงแม้ว่าจะสุกเต็มที่ ในแถบเอเชียอาคเนย์ ได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซียจะนิยมใช้ลิงเก็บมะพร้าว แถบมหาสมุทรแปซิฟิกใช้วิธีเก็บเกี่ยวโดยให้มะพร้าวตกลงมาเองโดยธรรมชาติกรณีมะพร้าวต้นเตี้ยจะได้เปรียบในการเก็บเกี่ยวกว่าพันธุ์ต้นสูง ซึ่งบางแห่งจะสูงถึง 30 m ขนาดและผลที่จะเก็บเกี่ยวจะขึ้นกับประโยชน์ที่จะนำไปใช้ซึ่งจะแบ่งการใช้ประโยชน์ดังนี้ (ศักดิ์สิทธิ์, 2532)

มะพร้าวอ่อน จะเก็บเกี่ยวเมื่อผลมะพร้าวที่ได้รับการผสมแล้วประมาณ 8 เดือนผลมะพร้าวขณะผลอ่อนโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45-55 cm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลไม่รวมเปลือก 10 cm น้ำหนักเนื้อ 100 g น้ำหนักกะลา 120 g น้ำหนักกะลาและน้ำขนาดที่เป็นมะพร้าวอ่อน 500 g น้ำภายในผล 280 cc จากการวิเคราะห์ห่มะพร้าวหอม พบว่าน้ำมะพร้าวมีสารจำพวกน้ำตาลและวิตามินบีคอมเพล็กซ์ ไบโอดีน และไรโบฟลาวิน ส่วนเนื้อมีการโบไฮเดรต แคลเซียม และฟอสฟอรัส การเก็บเกี่ยวควรเก็บเมื่อเนื้อมีความอ่อนนุ่มและหนาพอสมควรถ้าเก็บมะพร้าวอ่อนหรือแก่เกินไป เนื้อจะหนาแข็ง ใช้ช้อนตักกินลำบาก แต่น้ำจะหวานจัดกว่ามะพร้าวที่อ่อนเกินไป การเก็บดูสีของเปลือกและติดผลเพื่อฟังเสียงโดยสีจะออกสีเขียวอ่อนปานกลาง มะพร้าวแก่ขึ้นสีผลจะกร้านขึ้น โดยมะพร้าวอ่อนแบ่งออกเป็น (ภาพที่ 2a, 2b, 2c และ 2d)

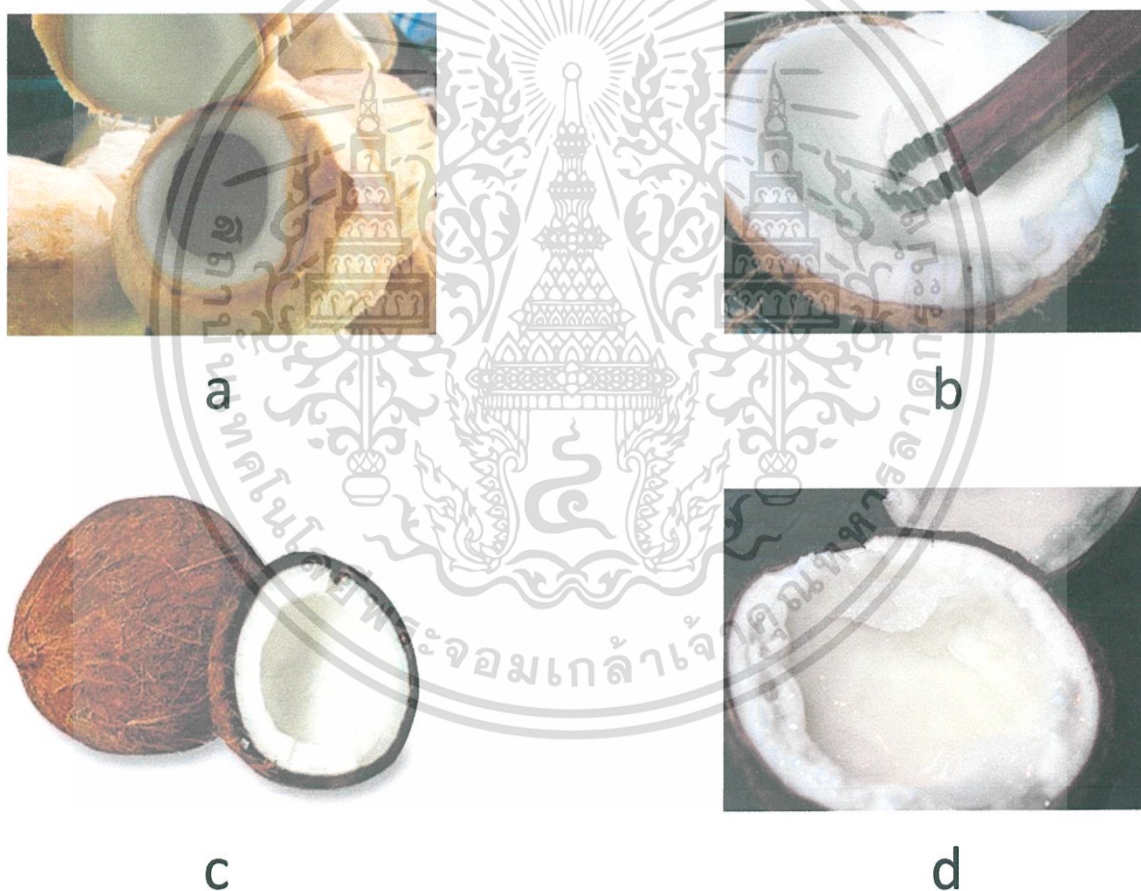
1. มะพร้าวเนื้อหนึ่งหมายถึง ในกะลายังไม่ีเนื้อ ถ้าส่งออกจะมีปัญหามะพร้าวแตกปรีเอง
2. มะพร้าวเนื้อสอง หมายถึง ในกะลามีเนื้อบ้างเล็กน้อย เป็นมะพร้าวเนื้ออ่อนที่ผู้บริโภคต้องการ คือ เนื้อค่อนข้างเป็นวัน
3. มะพร้าวเนื้อแก่ หมายถึง เนื้อมะพร้าวแข็งแล้วไม่อร่อย รับประทานได้แต่น้ำ
4. มะพร้าวแก่จัด การเก็บเกี่ยวมะพร้าวแก่จะเก็บมะพร้าวมีเปลือกสีเขียวเข้มหรือเขียวออกน้ำตาล โดยนำผลมะพร้าวที่ได้มาเก็บในโรงเก็บ เป็นลักษณะกองสูง ซึ่งจะทำให้มีการลดความชื้นในเนื้อมะพร้าวลงได้ ปริมาณน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ความหนาของมะพร้าวจะเพิ่มเติมขึ้นมีผลถึงปริมาณเนื้อแห้งที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปอกเปลือกได้ง่ายจะได้กะลาที่สะอาด แห้ง แข็ง ไม่มีขุยมะพร้าวติด โดยจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆต่อไป

มะพร้าวกะทิ หรือมะพร้าวเนื้อกะทิ เป็นมะพร้าวแก่ กะลาสีดำ มีน้ำหนัก มากกว่าปกติ เนื้อมะพร้าวหนานุ่ม สีขาวขุ่นเปียกเหนียวเหมือนแป้งกวนและน้ำก็เหนียว นำมาใส่ในทับทิมกรอบ และขนมปังน้ำแข็งใส (นิตดา, 2554)

โดยทั่วไปชาวสวนและผู้จำหน่ายจะใช้ประสบการณ์ในการสังเกตจากกาบและกะลามะพร้าว โดยมะพร้าวที่ขึ้นทีกจะมีกาบที่ยังสดและสีไม่เป็นสีน้ำตาลเหมือนมะพร้าวแก่จัดนอกจากนี้สีของกะลาจะมีสีน้ำตาลแก่กว่ามะพร้าวอ่อนแต่ไม่เข้มเท่ามะพร้าวแก่จัด จากข้อมูลข้อมูลข้างต้น มะพร้าวอ่อนระดับที่ 3 คือมะพร้าวเนื้อแก่นั้น หมายถึงมะพร้าวที่ขึ้นทีก



ภาพที่ 2 มะพร้าวอ่อน (a) มะพร้าวที่ขึ้นทีก (b) มะพร้าวแก่ (c) มะพร้าวกะทิ (d)

ที่มา: ขนมหไทย, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ประโยชน์ของมะพร้าว

2.5.1 ลำต้นและทางมะพร้าว ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ หรือหลังคามุงในสมัยก่อน ใช้ทำเครื่องประดับ

2.5.2 น้ำมะพร้าว เป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีโปรตีน โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม วิตามินซี บี 2 บี 5 และบี 6 กรดโพลี กรดอะมิโน และฮอร์โมนเอสโตรเจนสูง มีน้ำตาลกลูโคส ที่ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้เป็นพลังงานได้ทันทีอีกด้วย

2.5.3 น้ำมันมะพร้าว นำไปผลิตเป็นน้ำมัน ไบโอดีเซล

2.5.4 ยอดอ่อนมะพร้าว ซึ่งมีราคาแพงมาก เพราะการเก็บยอดอ่อนจะทำให้ต้นมะพร้าวตายทั้งต้น (ต้องโค่นกันเลยทีเดียว) โดยนำไปใช้ทำอาหารได้หลายอย่าง เช่น ผัด แกงส้ม แกงคั่ว รวมไปถึงยำ ยอดอ่อนมะพร้าว

2.5.5 มะพร้าวอ่อน นอกจากรับประทานสดแล้ว ยังนำมาทำเป็น วุ้นมะพร้าว มะพร้าวเผา ส่วนประกอบในอาหารคาวหวาน เป็นต้น

2.5.6 มะพร้าวแก่ นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มากมาย ไม่ว่าจะเป็น คั้นกะทสด กะทิกล่อง มะพร้าวอบน้ำผึ้ง น้ำมัน มะพร้าว รวมไปถึงน้ำมันไบโอดีเซลด้วย เป็นต้น

2.5.7 เนื้อในของมะพร้าวแก่ ใช้ทำเป็นกะทิ ด้วยการขูดเนื้อเป็นเศษ ๆ แล้วบีบคั้นเอาน้ำกะทิออก (เนื้อมะพร้าว)

2.5.8 จันทมะพร้าว หรือ ช่อดอกมะพร้าว อุดมไปด้วยฟรุกโตส ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของผึ้งและแมลงนานาชนิด จึงได้มีการนำน้ำหวาน ส่วนนี้มาทำเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ปรุงอาหารคาวหวาน หรือทำเป็นน้ำตาลสดไว้เป็นเครื่องดื่มเพิ่มพลังก็ได้

2.5.9 กาบมะพร้าว หรือ เปลือกมะพร้าว คุณสมบัติแข็งแรง คงทน ยืดหยุ่นมีสปริง นำมาใช้ทำเชือก พรหม กระสอบ แปรง อวน ไม้กวาด และเส้นใยเส้นใยอัดไส้ของที่นอน เบาะรถยนต์ เป็นต้น

2.6 กะทิ

2.6.1 คุณลักษณะของกะทิ

กะทิ (coconut milk) เป็นผลิตผลที่สำคัญจากมะพร้าวที่ได้จากการบีบหรือคั้นเนื้อมะพร้าวขูด โดนอาจมีการเติมน้ำหรือไม่ก็ได้ กะทิมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายนม มีกลิ่นรสเฉพาะตัวของมะพร้าว (nutty flavor) สัดส่วนขององค์ประกอบในกะทิขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต กระบวนการเตรียมและวิธีแยกกะทิ องค์ประกอบของกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวขูดโดยไม่เติมน้ำประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 50.0-54.0 ไขมันร้อยละ 32.0-40.0 โปรตีนร้อยละ 2.8-4.4 เกลือร้อยละ 1.0-1.5 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 5.5-8.3 ส่วนปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์กะทิประจากประเทศไทยจะอยู่ในช่วงร้อยละ 15 - 30 รายงานค่า pH ของน้ำกะทิอยู่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง 5.8-6.39 โดยวัดอุณหภูมิ 10 – 80°C จึงถือว่ากะทิเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low-acid food) (นิศรา, 2554)

2.6.2 ไขมันกะทิ

สำหรับน้ำมันมะพร้าวซึ่งกระจายตัวเป็นดรอปลีที่อยู่ในกะทินั้น มีคุณสมบัติต่างจากน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ คือ ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย น้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นพวก short chain และ medium มากกว่า 80% ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบและกรดไขมันที่เป็นพวก long chain ต่ำกว่า 20% โดยกรดไขมันที่มีปริมาณสูงที่สุด คือ กรด lauric ซึ่งมีคาร์บอนจำนวน 12 อะตอม มีปริมาณ 41 – 51.3% รองลงมา คือ กรด myristic มีคาร์บอน 14 อะตอม และมีปริมาณ 13-23% ทำให้น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันประเภท medium chain เป็นส่วนใหญ่ และเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวประมาณ 90% เป็นไตรกลีเซอไรด์ชนิด trisaturated, desaturated และ monosaturated 84, 12 และ 4% ตามลำดับการที่กรดไขมันชนิดอิ่มตัวต่ำมากจึงทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมาก น้ำมันมะพร้าวมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 22-26 °C ค่อนข้างสูงและอยู่ในช่วงแคบ มีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย

2.7 ทฤษฎีเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared spectroscopy: NIRs)

การวัดคุณภาพด้วย NIRs จัดเป็นเครื่องมือวัดค่าคุณภาพทางอ้อมโดยไม่ทำลายตัวอย่างที่นำมาวัดค่า จะอยู่ในรูปแบบใดก็วัดค่าได้ ทั้งของแข็งที่เป็นผง เป็นชิ้น เป็นก้อน เป็นเม็ด หรือเป็นผล กิ่งแห้ง กิ่งเหลว หรือของเหลวอาจชื้นหรือแห้งก็ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงรูปแบบหรือรูปทรง ตัวอย่างที่นำมาวัดค่าสามารถใช้วัดค่าในกระบวนการผลิตที่เรียกว่า on line measurement หรือวัดค่าเฉพาะตัวอย่างที่สุ่ม (Sampling) ทั้งก่อนการผลิตระหว่างการผลิตและหลังการผลิตโดยใช้ตัวอย่างจริง ตามรูปแบบจริง ตัวอย่างที่วัดค่าแล้วยังคืนกลับไปสู่กระบวนการผลิตได้กลับไปวัดค่าทางตรงได้ นั่นคือใช้เวลาสั้นมาก มีประสิทธิภาพสูง และเป็นวิธีการประเมินผลคุณภาพทางอ้อมที่ประเทศพัฒนาแล้วยอมรับทั้งในยุโรป อเมริกาและญี่ปุ่น สิ่งที่วัดค่าได้จะบันทึกบนฐานข้อมูลไว้ตรวจสอบย้อนหลังได้ตลอดเวลา นี่คือนวัตกรรมของการวัดค่าและการประเมินคุณภาพโดยวิธีนี้ กล่าวคือ เชื่อถือได้ รวดเร็ว ไม่แพง ไม่ทำลาย วัดค่าได้ต่อเนื่อง และประเมินผลได้แม่นยำ (วิชัย, 2550)

อินฟราเรดย่านใกล้จะอยู่ในช่วงรังสีอินฟราเรด โดยมีตำแหน่งติดกับรังสีอินฟราเรดกลาง และรังสีวิสิเบิล (Visible light) มีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 700 ถึง 2,500 ($14,300-4,000\text{ cm}^{-1}$) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (IR) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

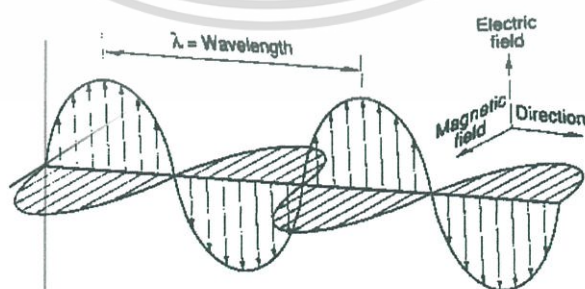
ช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	จำนวนคลื่น (cm^{-1})
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	700-2,500	14,300-4,000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR or fundamental IR)	2,500-50,000	4,00-200
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	50,000-1,000,000	200-10

ที่มา: Osborne *et al.* (1993)

2.7.1 สเปกโทรสโกปี

สเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) เป็นวิชาว่าด้วยการวัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ซึ่งสสารดูดกลืนเข้าไปหรือเปล่งออกมา ดังนั้นก่อนที่จะเข้าสู่หลักการของ สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จึงต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเสียก่อน

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค เมื่อพิจารณารังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นแบบคลื่น จะมีลักษณะเป็น Sine wave ที่ประกอบด้วย 2 ส่วนตั้งฉากกัน คือ ส่วนที่มีสมบัติไฟฟ้า (Electric component) และส่วนที่มีสมบัติแม่เหล็ก (Magnetic component) ดังภาพที่ 3 ด้วยคุณสมบัติที่เป็นคลื่นจึงสามารถเกิดปรากฏการณ์เกี่ยวกับการสะท้อน (Reflection) การหักเห (Refraction) การเลี้ยวเบน (Diffraction) หรือการกระเจิง (Scattering) ได้ (ศุมาพร, 2550)



ภาพที่ 3 ลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: คณิง และคณะ (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านเข้าไปยังสาร จะเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับอะตอมและโมเลกุลของสารนั้น รังสีบางส่วนจะถูกดูดกลืน (Absorb) บางส่วนจะสะท้อนกลับ (Reflect) บางส่วนอาจส่องผ่าน (Transmit) หรือมีการกระเจิง (Scatter) ปรากฏการณ์เหล่านี้จะเกิดเพียงอันใดอันหนึ่งหรือเกิดพร้อมๆ กันได้ เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดอันตรกิริยา จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบต่างๆ ซึ่งจะขึ้นกับพลังงานของช่วงรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดอันตรกิริยาด้วย

2.7.2 หลักการพื้นฐานของสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

อินฟราเรดย่านใกล้ เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหลักการดังนี้คือเมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ แล้วสารเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง NIR ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆจะเกิดขึ้นที่ช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะรวมทั้งตำแหน่งของโมเลกุลและช่วงการดูดกลืนแสงก็เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันด้วย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลก็จะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ จากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น (Ground vibration level) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปแบบพลังงานความร้อน พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล N-H พบในโปรตีน C-H พบในน้ำมัน

2.7.3 การทำงานของเครื่อง NIR spectrometer

เครื่อง NIR spectrometer ทำงานโดยอาศัยการดูดกลืนพลังงานแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของสารแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ส่วนใหญ่จำเป็นที่จะต้องมีความสามารถในการแยกลำแสงออกเป็นทีละความยาวคลื่นได้ เพื่อที่จะใช้แสงความยาวนั้นส่องไปยังตัวอย่างและวัดค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมา เปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่องเข้าไป (Reflectance type) หรือวัดค่าความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่องเข้าไป (Transmittance type) กระทำแบบนี้ทีละความยาวคลื่นและนำค่าความเข้มแสงที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นมาเขียนกราฟโดยให้แกนอนเป็นค่าความยาวคลื่น แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง จะได้กราฟการดูดกลืนแสงหรือสเปกตรัมการดูดกลืนของแสงของตัวอย่างนั้นๆ ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

2.7.4 เทคนิคในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

Transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย

Transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุด แล้วสะท้อนกลับมายังตัว detector

Interaction ใช้ในกรณี fiber optics Probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอกแล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยังตัว detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics Probe



ภาพที่ 4 รูปแบบการวัดดูดกลืนแสง

ที่มา: ศุมาพร (2545)

2.8 ประโยชน์ของการใช้เทคนิค NIRs

ประโยชน์จากการใช้ NIRs มีข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIRs ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากกว่า (นิศรา, 2554) เช่น

2.8.1 เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง รวมทั้งวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากและใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อย

2.8.2 เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ประหยัดเวลา เชื่อถือได้ และปลอดภัย

2.8.3 เป็นวิธีที่สามารถใช้ทดแทนการวิเคราะห์ทางเคมีได้ในระยะยาว จึงสามารถลดต้นทุนการผลิตได้อีกทั้งไม่ใช่สารเคมีในการเตรียมตัวอย่างดังนั้นจึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2.8.4 ในการวัดสเปกตรัมแต่ละครั้งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อทำนายค่าต่างๆได้หลายค่าในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

เทคนิคการลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม

2.9.1 การแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ (Derivative transformation) ของสเปกตรัม การคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) ของสเปกตรัม จะทำให้เกิดการแยกของจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันออกมา ดังในภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นภาพทั่วไปของแถบดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเริ่มต้น และอนุพันธ์อันดับ

ของสเปกตรัมนั้น ทั้งนี้จะพบว่ามีจุดยอดที่เป็นบวกในส่วนซ้ายและส่วนขวาของค่าอนุพันธ์อันดับสอง (เส้นประในภาพ) ส่วนจุดยอดตรงกลางจะมีค่าลบสูงสุดและตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเริ่มต้น



ภาพที่ 5 สเปกตรัม (เส้นทึบ) และอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) ของสเปกตรัม (เส้นประ)
ที่มา: Hruschka (1987)

การแปลงค่าเป็นอนุพันธ์อันดับสองจะช่วยลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง ทั้งที่เป็นผลเชิงบวก (Additive effect) ที่ทำให้ขนาดสเปกตรัมเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่นในลักษณะที่เป็น การบวกเพิ่มด้วยค่าบนเส้นตรงที่เป็นมุมเอียง ซึ่งค่าบวกเพิ่มจะน้อยที่ความยาวคลื่นสั้นและค่าบวกเพิ่มจะสูงที่ความยาวคลื่นสูง และผลเชิงคูณ (Multiplicative effect) ที่ทำให้ขนาดสเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นในลักษณะที่มีค่าคงที่มากคุณค่าการดูดกลืนแสงในแต่ละความยาวคลื่นโดยจะลดผลกระทบหลักจากผลเชิงบวก

การคำนวณค่าอนุพันธ์ หรือ ค่าความชันของสเปกตรัมสามารถทำได้วิธีหนึ่งดังนี้

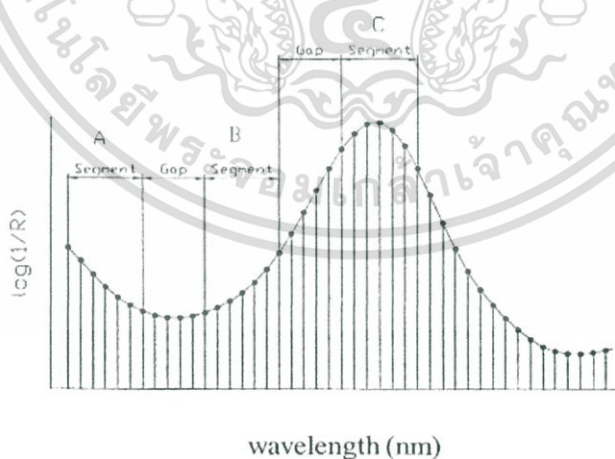
$$\text{First derivative} = \text{Slope}$$

$$\text{First derivative} = B-A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A และ B คือ ค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของ เซกเมนต์ ที่มีช่วงเท่ากันและอยู่ติดกันในการคำนวณต้องกำหนดขนาดของเซกเมนต์ (Segment size) และขนาดของช่องห่าง (Gap size) ก่อน ซึ่งขนาดเซกเมนต์ คือ ขนาดของความยาวคลื่นที่เราทำการเฉลี่ย ให้ได้ค่าใหม่เพื่อเป็นตัวแทนขึ้นมาหนึ่งจุดแล้วทำการข้ามช่วงความยาวคลื่นไปเท่ากับขนาดของช่องห่าง เพื่อเริ่มนับเป็นจุดแรกในการคำนวณเซกเมนต์ ต่อไปตัวอย่างดังในภาพที่ 6 เป็นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นที่แต่ละจุดห่างกัน 2 nm มีขนาดเซกเมนต์และขนาดของช่องห่างเท่ากับ 12 และ 10 nm ตามลำดับ โดยที่ จุด A คือ จุดที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 12 nm (ขนาด เซกเมนต์) จากนั้นข้ามไป 10 nm (ขนาดของช่องห่าง) แล้วจึงเฉลี่ยอีกครั้งในช่วงความยาวคลื่น 12 nm เพื่อให้เป็นจุด B แล้วนำค่า A ลบจากค่า B ผลที่ได้นำไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดเริ่มต้นของเซกเมนต์แรก ซึ่งการคำนวณจะกระทำทุกเซกเมนต์ ต่อเนื่องกันไปจนตลอดความยาวคลื่น ต่อจากนั้นก็ขยับเซกเมนต์ไปทางขวา 1 จุด หรือ 2 nm แล้วคำนวณซ้ำเหมือนที่กล่าวมาจนเสร็จสิ้น

การคำนวณคล้ายกับ First derivative โดยในการคำนวณค่า Second derivative ของจุดแรกต้องหาค่า C ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมในช่วงที่สาม หรือ C ในภาพที่ 6 แล้วคำนวณผลลบของค่าเฉลี่ยในเซกเมนต์แรกและเซกเมนต์ที่สอง ซึ่งก็คือ B-A แล้วคำนวณผลลบของค่าเฉลี่ยในเซกเมนต์ที่สองและเซกเมนต์ที่สาม ซึ่งก็คือ C-B แล้วนำผลลบค่าแรกมาลบออกจากผลลบค่าที่สอง ตามสมการ ค่าผลลบสุดท้ายที่ได้นำไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดแรกของเซกเมนต์แรก และคำนวณผลลบตามสมการไปจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ต่อจากนั้นจึงเลื่อนไปทางขวา 1 จุดหรือ 2 nm แล้วทำการหาซ้ำจนเสร็จสมบูรณ์



ภาพที่ 6 ขนาดเซกเมนต์ (segment size) และขนาดของช่องห่าง (gap size) ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative

ที่มา: อนุพันธ์ (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction MSC)

เป็นวิธีการที่ช่วยลดผลจากการกระเจิงของแสง (Scattered light) ต่อสเปกตรัม NIR ซึ่งโดยทั่วไปการกระเจิงของแสงทำให้ความชันของสเปกตรัมโดยรวมเปลี่ยนไป คล้ายกับว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม (Multiplicative effect)

MSC นั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถลด Multiplicative effect แต่ในทางปฏิบัติสามารถลด Additive effect ได้ด้วย หรือผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่น

วิธีการ MSC คือ ทำการหมุนสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย มีขั้นตอนคือ ในแต่ละตัวอย่างต้องหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาลบออกจากสเปกตรัมเพื่อลดผลที่เกิดจากการเลื่อนตัวของสเปกตรัม และต้องหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาหาร ค่า $\log(1/R)$ ของทุกๆจุดเพื่อปรับความชันของสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป ได้สเปกตรัม

2.9.3 วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard Normal Variate (SNV))

เป็นวิธีการกำจัดอิทธิพลของการกระเจิงแสงออกจากสเปกตรัมอีกวิธีหนึ่ง เพื่อปรับแก้ผลที่เกิดจากการกระเจิงแสงที่มักจะส่งผลเป็นแบบผลเชิงคูณต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยผลจากการปรับแก้จะคล้ายคลึงกับวิธีปรับแก้แบบ MSC

2.9.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจาก Near Infrared Spectra

ข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR จะอยู่ในรูปของสเปกตรัม ส่วนข้อมูลของค่าคุณลักษณะคุณภาพวิเคราะห์ได้จากวิธีแบบ conventional

ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ

1. วิเคราะห์หาสมการ calibration เพื่อใช้เป็น model ในการวัดค่าคุณลักษณะคุณภาพเพื่อมาเปรียบเทียบ ตามที่ต้องการตรวจสอบ
2. เป็นขั้นตอนการทดสอบความแม่นยำของสมการ calibration และหาความเหมาะสมของสมการที่สามารถทำนายได้อย่างแม่นยำที่สุดเมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงจะนำสมการ calibration จำนำสมการมาทำนายค่า

2.9.5 การสร้างสมการ Calibrations

ในการสร้างสมการนั้นสิ่งสำคัญคือการหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์คุณภาพ การคัดเลือกหาตัวแปรอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก คือ Wavelength selection และ Full-spectrum methods (ธงชัย, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Wavelength selection

เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ เฉพาะความยาวคลื่น ที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่จะทำการวิเคราะห์

วิธีการสร้างสมการ Calibration แบบ Wavelength Selection อาศัยหลัก และวิธีการทางสถิติมาช่วยในการสร้างสมการ ได้แก่ Simple linear regression และ Multiple linear regression

ก. Simple linear regression หมายถึง สมการ regression ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) เพียงตัวเดียวในสมการ โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดหรืออธิบายความหมายของข้อมูลให้ได้มากที่สุด

ข. Multiple Linear Regression (MLR) MLR เป็นวิธีการใช้ตัวแปรอิสระ(X) มากกว่าหนึ่งตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) จะทำให้สมการที่ได้ลดความผิดพลาดในการประมาณค่าลง

2. Full spectrum analysis

Full spectrum analysis เป็นวิธีการคัดเลือกหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม (Selective wavelength) จากความยาวคลื่นทั้งหมดที่มีในสเปกตรัมมาสร้างสมการ Calibration การใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีในทุกความยาวคลื่นของสเปกตรัม (Full spectrum) น่าจะเป็นหนทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตามปัญหาที่มีอยู่คือการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไป การใช้วิธีทางสถิติในการจัดกลุ่มแยกประเภทตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกัน และทำการสร้างตัวแปรใหม่ที่เกิดมาจากตัวแปรเดิม จะช่วยทำให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่

ก. Principal Components Regression (PCR) การทำ PCR จะเริ่มจากการทำ Principal Component analysis (PCA) กับข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระที่ได้มาจากข้อมูลของสเปกตรัมเพื่อสร้างองค์ประกอบหรือตัวแปรใหม่

ข. Principal Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนของตัวแปรอิสระในกรณีที่มีตัวแปรอิสระมีเป็นจำนวนมาก

ค. Partial Least Squares (PLS) Regression หรือ PLSR เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปรหนึ่งเช่นเดียวกับ PCR ซึ่งวิธี PLS จะแตกต่างกับ PCR ตรงที่ในช่วงจัดกลุ่มลดจำนวนตัวแปรโดยการสร้างตัวแปรใหม่นั้นจะมีการนำข้อมูลตัวแปรตาม (Y) เข้ามาร่วมในการสร้างตัวแปรใหม่

2.9.6 การทำ Validation

หลังจากได้สมการ calibration ที่เหมาะสมแล้วจะต้องมีการทวนสอบว่าสมการที่สร้างขึ้นมาจากชุดข้อมูลที่สุ่มมานั้นสามารถนำมาทำนายข้อมูลชุดอื่นที่เป็นประชากรกลุ่มเดียวกันได้หรือไม่

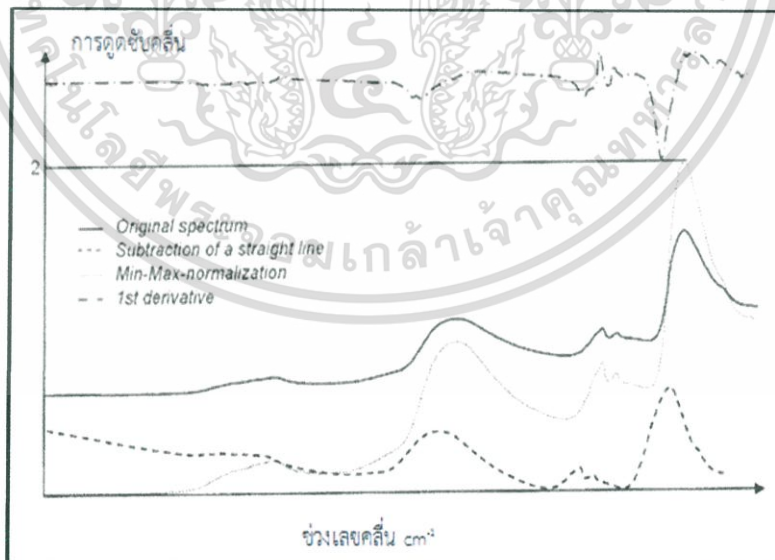
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Selecting the Data PreProcessing Model Method)

วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่สำคัญ ที่มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองของสเปกตรัมในทางที่อัลกอริธึม PLS สามารถให้ความสัมพันธ์ที่ติระหว่างสเปกตรัมกับข้อมูลความเข้มข้น

2.10.1 Vector Normalization: ชั้นแรกสเปกตรัมจะถูกหาค่ากลาง จากนั้นผลรวมของค่ายกกำลังสองของค่า Y ทั้งหมดจะถูกคำนวณ และสเปกตรัมใดๆจะถูกหารด้วยค่ารากที่สองของผลรวมนี้ สิ่งนี้เรียกว่า vector norm ของสเปกตรัมที่ได้จะเท่ากับ 1 เสมอ

การใช้งาน: ในหลักการสเปกตรัมจะประกอบด้วยสองส่วนของข้อมูล คือความสูงของแถบการดูดซับและโครงสร้าง หลังจากการนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ข้อมูลความสูงจะหายไป มีเพียงโครงสร้างข้อมูลยังคงอยู่ การนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ถูกใช้เพื่อ เช่นการกำจัดผลกระทบของเส้นทางผ่านเชิงแสง (Optical Path Length) ที่แตกต่างกัน ในกรณีของการวัดแบบส่องผ่าน ความยาวของเส้นทางผ่านเชิงแสงทำให้ความสูงของสัญญาณเปลี่ยนแปลง แต่โครงสร้างยังเหมือนเดิม ในทำนองเดียวกันการวัดแบบสะท้อนแบบแพร่จะมีผลกระทบของการรบกวนเนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุแตกต่างกันหรือขนาดอนุภาคแตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ก็จะลดลง



ภาพที่ 7 NIR สเปกตรัมวัดแบบการสะท้อนแบบแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 Multiplicative Scatter Correction : ขั้นตอนแรก, สเปกตรัมเฉลี่ยคำนวณจากทุกๆ สเปกตรัมของชุดข้อมูลคาลิเบรชัน แล้วแต่ละสเปกตรัม $X(i)$ จะถูกแปรเปลี่ยนไปตาม

$$X(i)' = u + v \cdot X(i) \quad (1)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ u และ v จะถูกเลือกเพื่อให้ความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงแล้ว กับ สเปกตรัมเฉลี่ยน้อยที่สุด

การใช้งาน: วิธีการนี้มักจะใช้สำหรับการวัดแบบการสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse reflection)

2.10.3 อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Derivative) คำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของสเปกตรัม

การใช้งาน: โดยการคำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง สัญญาณที่มีความชันจะถูกเน้นมากกว่า สัญญาณที่ค่อนข้างแบนราบ วิธีนี้จะถูกใช้เน้นลักษณะที่ชัดเจน แต่มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่มี แถบการดูดซับคลื่นที่กว้าง การประยุกต์ใช้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การประเมินแถบการดูดซับคลื่นที่ กว้างนี้มักจะทำในเทคโนโลยี NIR โดยการคำนวณอนุพันธ์ โครงสร้างเหล่านี้จะมีรูปร่างที่สูงชันขึ้น ซึ่ง สามารถได้รับการประเมินได้ง่ายขึ้น

เมื่อใช้อนุพันธ์เป็นการจัดการข้อมูลเบื้องต้น จะต้องคำนึงถึงว่าสัญญาณรบกวนจะถูกจัดการ เช่นกัน สิ่งนี้จะซ้อนทับบนสเปกตรัมเป็นสิ่งรบกวนเพิ่มเติม และสามารถทำให้สัญญาณของตัวอย่างเลว ลง

2.10.4 อนุพันธ์อันดับที่สอง (Second Derivative): คำนวณอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัม นั้น

การใช้งาน: เมื่อเทียบกับอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง แม้โครงสร้างที่ราบเรียบมากๆสามารถประเมินได้ ผลการรบกวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปมีมากจนทำให้สเปกตรัมถูกวิเคราะห์ในช่วงสเปกตรัมที่ จำกััดมากๆ

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นอิทธิพลของวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นแบบต่างๆต่อลักษณะของ NIR-สเปกตรัม (การวัดโดยใช้หัววัดไฟเบอร์ออปติก) สเปกตรัมเดิมแสดงให้เห็นการขจัด (Offset) เล็กน้อยของเบสไลน์ เช่นเดียวกับการขยับขึ้น (Drift) อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของเส้นสเปกตรัมเดิม (เส้นประ-จุด) ถูกขยายเพื่อแสดงให้เห็นดูง่ายและขยับขึ้นสู่ตำแหน่งที่ค่าการดูดซับคลื่นสูง สามารถ สังเกตเห็นโครงสร้างที่แหลมขึ้นมาได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมเดิม

2.11 เทอมที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของโมเดล

สถิติที่ใช้ในการประเมินค่า NIRS calibration (William , 2007)

2.11.1 Mean (ค่าเฉลี่ย)

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

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2)$$

2.11.2 Standard deviation, SD (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลง หรือความแปรปรวนในข้อมูล นั่นคือ รากที่สอง ของความแปรปรวน สูตรในการหาค่า SDx (หรือ SDy) คือ

$$SD_x = \{(\sum X^2 - [(\sum X)^2 / N]) / (N - 1)\}^{1/2} \quad (3)$$

2.11.3 Bias (ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และข้อมูลที่อ้างอิง)

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

สูตรสำหรับการคำนวณ Bias คือ

$$\text{Bias} = (\sum X/N) - (\sum Y/N) \quad (4)$$

เมื่อ X = ค่าอ้างอิง และ Y = ค่าที่ได้จากการทำนาย โดย NIRS สามารถเป็นบวกหรือลบก็ได้

2.11.4 Coefficient of determination (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ, R²)

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ R² จะเป็นบวกเสมอ เช่น ถ้า R = 0.97 แล้ว R² = 0.941 หมายความว่า 94.1% ของความแปรปรวนในข้อมูล X และ 5.9% ของความแปรปรวนในข้อมูล X เกิดขึ้นจากตัวแปรอื่น เช่นการเตรียมตัวอย่าง วิธีการทดลองอ้างอิง และอื่นๆ ค่า R² เป็นบวกเสมอโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ R ในทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติ R^2 ให้ข้อมูลมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R การแปลความหมายของค่า R^2 แสดงดังตารางที่ 2.4 ซึ่งค่า R^2 คำนวณได้จาก (สมการ 5) (Jorg , 2006)

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_1^n (Y_i^{meas} - Y_i^{pred})^2}{\sum_1^n (Y_i^{meas} - \bar{Y})^2} \right] \quad (5)$$

- เมื่อ Y^{meas} คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี
 Y^{pred} คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS
 n คือ จำนวนตัวอย่าง
 i คือ เลขที่ตัวอย่าง

ตารางที่ 3 การแปลความหมายของค่า R^2

R^2	ความหมาย
ถึง 0.25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
0.26-0.49	เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี ควรหาเหตุผล
0.50-0.64	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบๆ
0.66-0.81	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ
0.83-0.90	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย
0.92-0.96	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ
0.98+	ดีเยี่ยม ใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้

ที่มา : Williams *et al.* (2007)

2.11.5 Root mean square error of estimation (RMSEE)

เป็นค่าที่ใช้วิเคราะห์ข้อผิดพลาดของชุดคาลิเบรชัน (Calibration) ไม่เหมาะในการใช้กับชุดทำนาย (Validation) สูตรการคำนวณ RMSEE คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RMSEE = \left\{ \left[\sum_{i=1}^M (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2 / M - R - 1 \right] \right\}^{1/2} \quad (6)$$

M คือ จำนวนตัวอย่าง

i คือ เลขที่ตัวอย่าง

R คือ จำนวนแพคเตอร์

2.11.6 Root mean square of the prediction (RMSEP)

เป็นค่าในการวัดความแม่นยำเชิงปริมาณของชุดทดสอบ

$$RMSEP = \left[\frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

2.11.7 Ratio of SEP to the SD (RPD)

RPD ย่อมาจาก Ratio of Standard error of Prediction (Validation) to (Standard) Deviation คืออัตราส่วนของ ค่า error มาตรฐานของการทำนาย (validation) กับส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11

$$RPD = (SDx(validation\ set)) / SEP_{bias} \quad (8)$$

อีกวิธีหนึ่งคือใช้สูตร

$$RPD = \left(\frac{1}{1 - R^2} \right)^{1/2} \quad (9)$$

ซึ่งผู้ใช้ส่วนมากพบว่าการใช้สูตรแรกง่ายกว่า โดย SEP_{bias} หาได้จากสูตร

$$SEP_{bias} = \left[\frac{1}{M - 1} \cdot \sum_{i=1}^M (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}} - bias)^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

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

ตารางที่ 4 ค่าทางสถิติ RPD

ค่า RPD	การแบ่งกลุ่ม	การประยุกต์ใช้
0.0-2.3	เลวมาก	ไม่แนะนำ
2.4-3.0	เลว	คัดเลือกแบบหยาบๆ
3.1-4.9	พอใช้	คัดเลือก
5.0-6.4	ดี	ควบคุมคุณภาพ
6.5-8.0	ดีมาก	ควบคุมขั้นตอน
8.1+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์ใช้

ที่มา : Williams *et al.* (2007)

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์, R^2 , bias และค่า RPD คือค่าทางสถิติที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการประเมินค่าความมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โดย NIRS

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดไขมันในมะพร้าว

พิรพงษ์ (2554) การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความบริสุทธิ์กับคุณภาพและลักษณะบางประการของผลมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมเพื่อใช้พัฒนาเทคนิคการประเมินคุณภาพและความบริสุทธิ์ของผลแบบไม่ทำลาย พบว่า ความหนาเนื้อรอบตาใหญ่ ความหนาเนื้อบริเวณกลางผล และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS) เพิ่มขึ้นตามความบริสุทธิ์ของผล หรือ จำนวนชั้นเนื้อ ที่เพิ่มขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้งของเปลือกและเนื้อผลลดลง ทั้งนี้ความบริสุทธิ์ของผล หรือ จำนวนชั้นเนื้อสัมพันธ์กับความหนาเนื้อรอบตาใหญ่และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื้อ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถสร้างสมการ แสดงความสัมพันธ์ที่มีค่า $R = 0.901$ และ $R^2 = 0.812$ สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค near infrared สเปกตรัมของมะพร้าวอ่อนถูกวัดด้วยเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพาในช่วงความยาวคลื่น 600-1100 nm จากผลการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Multiple Linear Regression Discriminant Analysis (MLR-DA) พบว่าแบบจำลองสามารถคัดแยกมะพร้าวเจียวทรงหัวแหลมที่มีเนื้อ 0-1 ชั้น ได้อย่างถูกต้อง 92% และมีเนื้อ 1.5-2.5 ชั้น ได้อย่างถูกต้อง 100% หรือมีความถูกต้องรวม 98.3%

Niphaporn (2011) ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจสอบปริมาณของแข็งรวมและปริมาณไขมันรวมในน้ำมันมะพร้าวและผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยการตรวจสอบปริมาณของแข็งรวมและการตรวจสอบปริมาณไขมันรวม ทำการทดลองด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 ± 2 °C และ 130 ± 3 °C และการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C และ 70 mmHg และมีการเปรียบเทียบวิธีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบ 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีการสกัดโดยตรง, วิธีการใช้กรดไฮโดรไลซิส และวิธีการอัลคาไลน์ไฮโดรไลซิสด้วยตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวและผงนมมะพร้าวจำนวน 16 ตัวอย่าง

Xingyue et al. (2014) บทความนี้นำเสนอวิธีการใหม่ในการวัดปริมาณไขมันในนมมะพร้าวที่อุณหภูมิห้อง 25°C โดยออกแบบระบบการวัดโดยใช้ใยแก้วนำแสงแบบ Y และการทำการวิเคราะห์และประเมินค่าของระบบ ซึ่งระบบประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง ใยแก้วนำแสงแบบ Y เครื่องวัดขยายสัญญาณ การแปลงสัญญาณ และ MicroProcessor พบว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าและการคาดคะเนของระบบใยแก้วนำแสงแบบ Y มีความน่าเชื่อถือ ข้อมูลที่ได้รับมีคุณภาพสูง และสามารถตอบสนองต่อตัวอย่างได้ดี

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการไขมันในผลผลิตทางการเกษตรโดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Yang et al. (2005) ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการจำแนกน้ำมันพืช 10 ประเภทและมีไขมันต่างกัน ด้วยการวิเคราะห์ Discriminant analysis ซึ่งผลการจำแนกพบว่าได้ความถูกต้องในการจำแนก 93% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถนำมาใช้ในการจำแนกประเภทของน้ำมันพืชและไขมันได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

Bogomolov et al. (2012) นำเทคนิคสเปกโทรสโกปีมาใช้ในการวิเคราะห์ไขมันในนมและปริมาณโปรตีนรวมในนม โดยอาศัยการกระจายแสงของอนุภาคไขมันและโปรตีนแทนวิธีการเดิม โดยใช้การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงที่มองเห็นและในช่วงคลื่นสั้นที่ต่ำกว่า 1000 nm สร้างสมการทำนายด้วยเทคนิค PLSR โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างนมออกเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการทำนาย (Training samples) และกลุ่มสำหรับทดสอบความถูกต้องของสมการ (Validation samples) พบว่ามีค่า root mean-square errors of prediction (RMSEP) 0.05% สำหรับการทำนายไขมันและ 0.03% สำหรับการทำนายปริมาณโปรตีน และพบว่าค่าที่ได้มีความถูกต้องใกล้เคียงกันกับค่าอ้างอิง ซึ่งเทคนิคนี้มีความเหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการหรือใช้ตรวจสอบในสายการผลิตนมได้

Chen et al. (2013) ได้นำเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มาทำนายปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวม และปริมาณไขมันดิบในข้าวฟ่างทางจิ้งจอก พบว่าสำหรับการทำนายโปรตีนมีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.94 ค่า RMSEP อยู่ที่ 0.28 และค่า ratio of standard error of prediction to standard deviation (RPD) เท่ากับ 4.07 ส่วนผลการทำนายปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวมพบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.92 ค่า RMSEP เท่ากับ 0.40 และ ค่า RPD เท่ากับ 3.28 และผลการทำนายไขมันดิบมีค่า R^2 เท่ากับ 0.70 ค่า RMSEP เท่ากับ 0.17 และ ค่า RPD เท่ากับ 1.76 ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการนำเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มีแนวโน้มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวมและปริมาณไขมันดิบในข้าวฟ่างทาง
จึงจอกได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

Mazureka et al. (2016) นำเทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านใกล้มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของ
ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด คือนำมาใช้วัดค่าไขมันในมันฝรั่งทอด แทนวิธีการเดิมคือวิธีการสกัด ซึ่งเป็น
วิธีการตรวจสอบที่ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง สร้างสมการทำนายด้วยเทคนิค PLSR พบว่าผลการ
ทำนายให้ค่า relative standard errors of prediction (RSEP) อยู่ในช่วง 1.0 – 1.9% ทั้ง
calibration set และ validation set นั้นแสดงให้เห็นว่าสามารถนำเทคนิคนี้ไปใช้วิเคราะห์ได้จริงใน
กระบวนการผลิตมันฝรั่งทอด

Melenteva et al. (2016) ได้สร้างแบบจำลองสำหรับทำนายค่าไขมันและปริมาณโปรตีนรวม
ในน้ำมันดิบด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้และคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น คือที่ความ
ยาวคลื่น 400 – 1100 nm ซึ่งตัวอย่างน้ำมันดิบรับมาจากซัพพลายเออร์ทั่วทั้งประเทศรัสเซีย ทำการ
สร้างสมการทำนายด้วยเทคนิค Partial least square regression (PLSR) ผลการทำนายเป็นที่น่า
พอใจเมื่อนำมาใช้งานจริง โดยพบว่าค่า RMSEP อยู่ที่ 0.09 สำหรับการทำนายไขมัน และ 0.10 สำหรับ
การทำนายปริมาณโปรตีนรวม

Nunes et al. (2016) ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในนม ซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรม
นมแพะ เนื่องจากกรดไขมันในนมมีอิทธิพลต่อสุขภาพของมนุษย์และประเภทของชีส โดยจุดประสงค์ของ
งานวิจัยนี้คือการประเมินความเป็นไปได้ของเทคนิค NIRs ด้วยการวัดแบบ Reflectance (ตูบแห้งนม
ด้วยวิธี Desir) และแบบ Transflectance (นมของเหลว) พบว่า NIRs สามารถวิเคราะห์ปริมาณกรด
ไขมัน และอัตราส่วนดัชนีไขมันได้ด้วยความแม่นยำสูง ซึ่งโดยทั่วไปการวัดแบบ Transflectance
ให้ผลที่ดีกว่าการวัดแบบ Reflectance สิ่งที่น่าสนใจของการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค NIRs คือ สามารถ
ทำนายดัชนี Atherogenicity index และ Thrombogenicity index ได้โดยตรง ซึ่งมีประโยชน์ต่อการ
ระบุค่าทางโภชนาการของนมแพะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 ตัวอย่างชิ้นเนื้อมะพร้าวขาว

เนื้อมะพร้าวขาวที่จุดคัดแยกก่อนเข้ากระบวนการผลิต จำนวน 555 ชิ้น (185 ชุดตัวอย่าง) แล้วนำมาแช่น้ำเพื่อปรับอุณหภูมิของตัวอย่างที่ 25 °C โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700 (Viavi, Milpitas, CA, USA) หลังจากนั้นนำมะพร้าวไปคั้นเป็นตัวอย่างน้ำกะทิโดยมะพร้าวจำนวน 3 ชิ้น นำมาคั้นได้เป็นตัวอย่างน้ำกะทิ 1 ตัวอย่าง แล้วนำมา Homogenize ด้วยเครื่อง Homogenizer (Wise Tis HG-15D, Witeg, Germany) ที่ความเร็วรอบ 300 rpm เป็นเวลา 3-4 นาที หลังจากนั้น นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (Tango, Bruker, Germany) แล้วนำไป วัดค่าไขมันด้วยวิธีเกอร์เบอร์

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวัดสเปกตรัม MicroNIR Pro 1700 (Viavi, Milpitas, CA, USA) ช่วงความยาวคลื่นยาว 950–1650 nm (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 เครื่อง MicroNIR Pro 1700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เครื่อง Homogenizer (Wise Tis HG-15D, Witeg, Germany)



ภาพที่ 9 เครื่อง Homogenizer Wise Tis HG-15D

3.2.3 เครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR spectrometer (Tango, Bruker, Germany) ที่ความยาวคลื่น $11,500 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$ (870-2500 nm)



ภาพที่ 10 เครื่อง FT-NIR spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (SUPER VARIO-N, FUNKE GERBER, Germany)



ภาพที่ 11 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

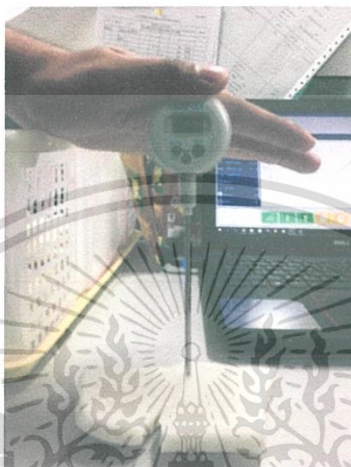
3.2.5 อุปกรณ์

1. ตัวยิป
2. เขี่ยอกน้ำ
3. กระชอน
4. Iso-Amyl Alcohol ความเข้มข้น 98.5%
5. Sulfuric acid ความเข้มข้น 85%
6. ซ้อน
7. น้ำกลั่น
8. กระดาษฟิชชู
9. ปิเปต
10. หลอดแก้วขนาด 5 ml
11. ถุงมือหรือผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

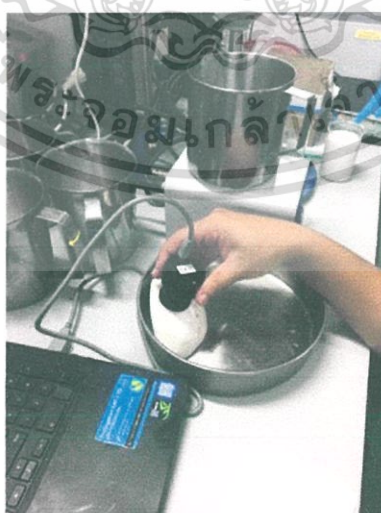
3.3 การทดลอง

3.3.1 สุ่มเนื้อมะพร้าวขาวที่จุดคัดแยกก่อนเข้ากระบวนการผลิต จำนวน 555 ชิ้น (185 ชุด ตัวอย่าง) แล้วนำมาแช่น้ำเพื่อปรับอุณหภูมิของตัวอย่างที่ 25 °C โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การวัดอุณหภูมิในเนื้อมะพร้าวโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

3.3.2 วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของเนื้อมะพร้าวแต่ละชั้นด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700 (Viavi, Milpitas, CA, USA) ด้วยโหมดการวัดแบบ Diffuse Reflectance ที่ช่วงเลขคลื่นระหว่าง 10526 - 6061 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 950–1650 nm) ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยแต่ละชั้นทำการวัด 3 ซ้ำ



ภาพที่ 13 วัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำกะทิด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

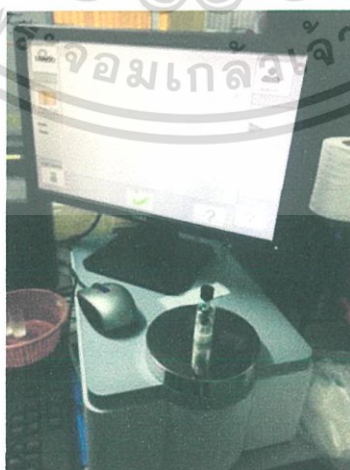
3.3.3 ตัวอย่างเนื้อมะพร้าวที่ทำการวัดการดูดแสงแล้ววัดอุณหภูมิของน้ำกะทิโดยให้อยู่ประมาณ 25 °c จะนำไปคั่นเป็นน้ำกะทิ โดยเนื้อมะพร้าว 3 ชัน นำมาคั่นเป็นตัวอย่างน้ำกะทิได้ 1 ตัวอย่าง

3.3.4 น้ำกะทิที่ได้มานำมาทำการปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์เซอร์ (T25 – LKA, Germany) ที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 1 นาที เพื่อทำให้องค์ประกอบในตัวอย่างมีขนาดเล็กลงเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น โดยเทตัวอย่างน้ำกะทิใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 ml ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การโฮโมจีไนซ์ตัวอย่างน้ำกะทิ

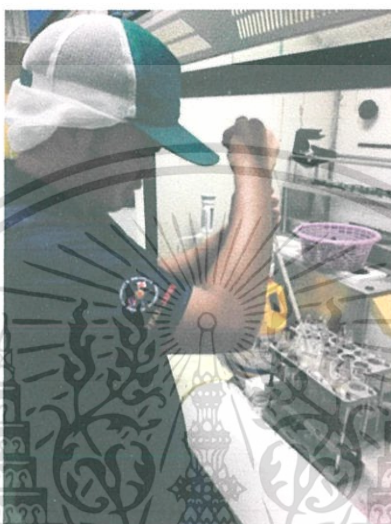
3.3.5 วัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำกะทิด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (Tango, Bruker, Germany) โดยใช้ไมโครปิเปตดูดน้ำกะทิมา 1 ml หยอดลงในหลอดทดลองพร้อมนำตัวไล่ฟองอากาศและนำมาวางบนแท่นสแกนดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 วัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำกะทิด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 ตัวอย่างน้ำกะทิอีกส่วนหนึ่งนำไปวัดปริมาณไขมัน (Fat, %) ด้วยวิธีเกอร์เบอร์ ดังแสดงในภาพที่ 11 โดยนำตัวอย่างน้ำกะทิ 5 ml ใส่ลงในหลอด Butyrometers แล้วเติมสาร Sulfuric acid 5 ml, Iso-Amyl alcohol 1 ml และใส่น้ำเปล่า 5 ml จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง สำหรับแยกชั้นไขมัน (SUPER VARIO-N, FUNKE GERBER, Germany) ที่ความเร็วรอบ 1100 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นอ่านค่าด้วยสายตา ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ ต่อ 1 ตัวอย่าง



ภาพที่ 16 การวัดปริมาณไขมันด้วยวิธีเกอร์เบอร์

3.3.7 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติแบบเชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าว

3.3.7.1 สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการในการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว

(1) สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการในการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700 (Viavi, Milpitas, CA, USA) มี 3 สมการ ได้แก่ สมการในการทำนายปริมาณไขมันชั้นเนื้อด้านในของเนื้อมะพร้าวขาว สมการในการทำนายปริมาณไขมันชั้นเนื้อด้านนอกของเนื้อมะพร้าวขาว สมการในการทำนายปริมาณไขมันเฉลี่ยของชั้นเนื้อด้านในและด้านนอกของเนื้อมะพร้าวขาว โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration set) จำนวน 129 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทำนาย(prediction set) จำนวน 56 ตัวอย่าง แต่ละกลุ่มจะมีค่าอ้างอิงที่ครอบคลุมทุกช่วง และกลุ่มสำหรับการปรับเทียบจะมีช่วงข้อมูลครอบคลุมกลุ่มสำหรับการทำนายโดยทั้งสองกลุ่มมีค่าการกระจายตัวใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการในการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวในลักษณะของกะทิด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer เริ่มจากการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration set) จำนวน 129 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทำนาย (prediction set) จำนวน 56 ตัวอย่าง แต่ละกลุ่มจะมีค่าอ้างอิงที่ครอบคลุมทุกช่วง และกลุ่มสำหรับการปรับเทียบจะมีช่วงข้อมูลครอบคลุมกลุ่มสำหรับการทำนาย โดยทั้งสองกลุ่มมีค่าการกระจายตัวใกล้เคียงกัน

3.3.7.2 การวิเคราะห์เริ่มจากใช้โปรแกรม Opus 7.0 ปรับแต่งสเปกตรัมโดยทดลองด้วยวิธี Smoothing, 2nd Derivative (2D), Multiplicative Scatter Correction(MSC) และ Standard Normal Variate (SNV) เพื่อลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง แล้วทำการวิเคราะห์สร้างสมการถดถอยพหุคูณด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นทั้งหมด เป็นตัวแปรอิสระ ในการวิเคราะห์ใช้วิธี Full cross validation ในการหาจำนวน Factor ที่เหมาะสมของสมการปรับเทียบ

3.3.7.3 เมื่อได้สมการปรับเทียบ (Calibration) แล้วนำสมการที่ได้ไปทำนายค่าปริมาณไขมันของตัวอย่างในกลุ่มการทำนาย (prediction) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการปรับเทียบ โดยสมการที่แม่นยำจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงเป็นค่าในการวัดความแม่นยำเชิงปริมาณของชุดทดสอบ (RMSEP), ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) ต่ำ และค่าอัตราส่วนของค่า error มาตรฐานของการทำนาย (RPD)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

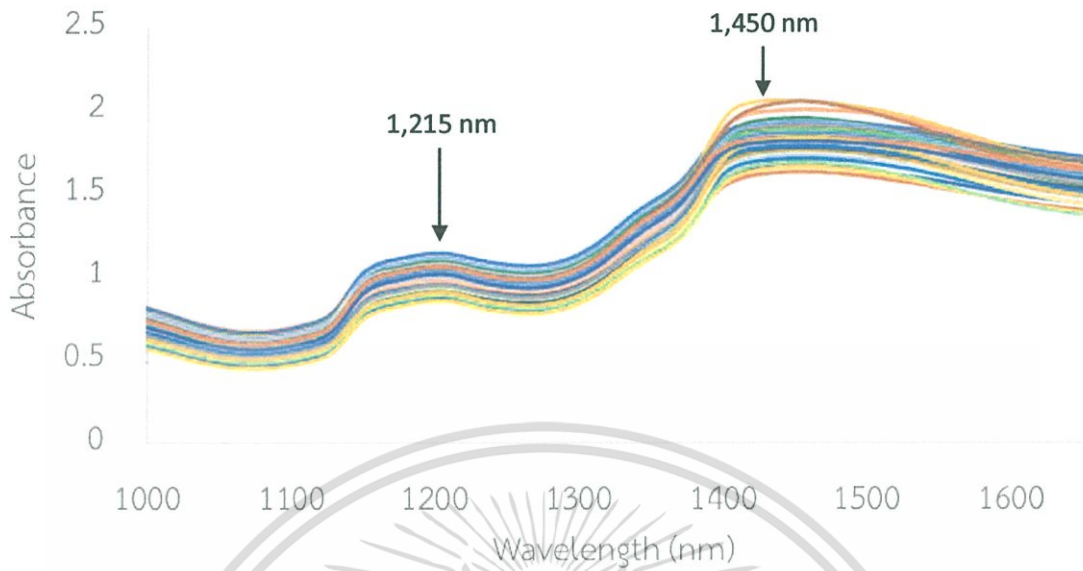
4.1 สมบัติทางกายภาพ

ชิ้นเนื้อมะพร้าวขาวที่ทำการทดลองมีจำนวนทั้งหมด 555 ชิ้น โดยทำการแบ่งชุดเป็น 185 ตัวอย่าง (ตัวอย่างละ 3 ชิ้น) วัดด้วยเครื่องมือ MicroNIR Pro 1700 ด้านในและนอก ซ้ำด้านละ 3 จุด และนำค่าแต่ละด้านมาเฉลี่ย แต่ละ 1 ชุดซึ่งมี 3 ชิ้น นำไปคั้นน้ำกะทิ แล้วนำมาวัดด้วยเครื่อง FT NIR จากนั้น นำไปวัดค่า Fat ด้วยวิธี Gerber

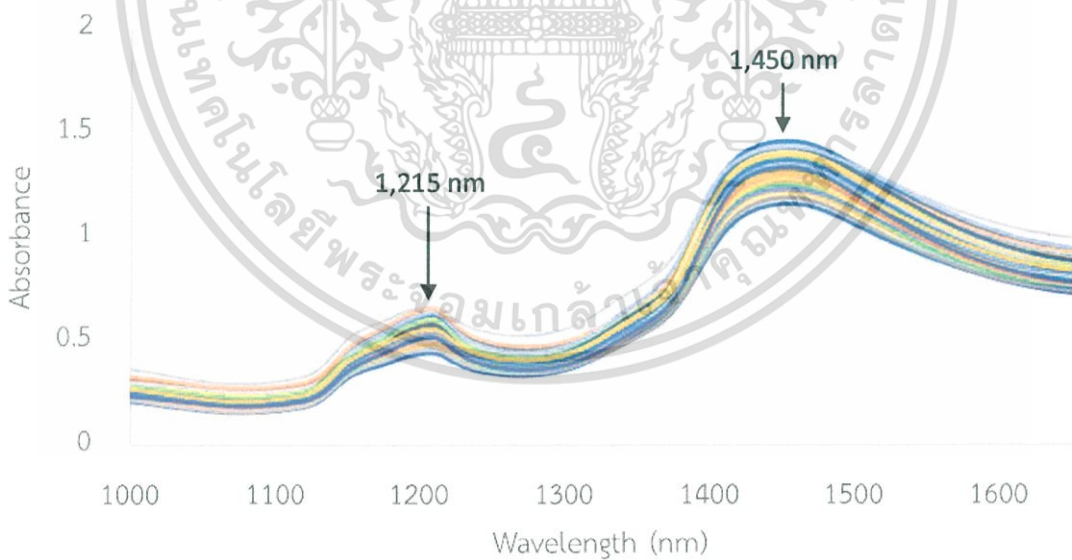
ตารางที่ 5 ค่าไขมันของตัวอย่างชิ้นเนื้อมะพร้าวตัวอย่างจำนวน 185 ตัวอย่าง

ค่าไขมัน (%fat)	Average	Min	Max	Mean \pm SD
Calibration Set	31.66	20.833	38	3.63
Validation Set	32.13	22.28	37.56	4.02

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของทั้ง 185 ตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 17.1, 17.2, 17.3 และ 17.4 จะเห็นว่าลักษณะของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเนื้อมะพร้าวขาวมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ พบว่ามีการดูดกลืนแสงชัดเจนที่ความยาวคลื่น 1,215 nm และ 1,450 nm โดยที่การดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 1,250 nm เป็นการดูดซับคลื่นของกรดไขมัน คือ Lauric acid และ Myristic acid (Williams and Norris, 2001) ซึ่งกรดไขมันทั้งสองชนิดนี้เป็นองค์ประกอบหลักของกรดไขมันที่มีอยู่ในไขมันในน้ำกะทิ และที่ความยาวคลื่น 1,450 nm เป็นการดูดซับคลื่นของน้ำ (Osborne and Fearn, 1986) ซึ่งหมายถึงความชื้นที่เป็นองค์ประกอบหลักอีกอย่างหนึ่งของเนื้อมะพร้าวขาวนั่นเอง อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกันในค่าการดูดกลืนแสงซึ่งเกิดมาจากการมีปริมาณไขมันและความชื้นที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างนั่นเอง

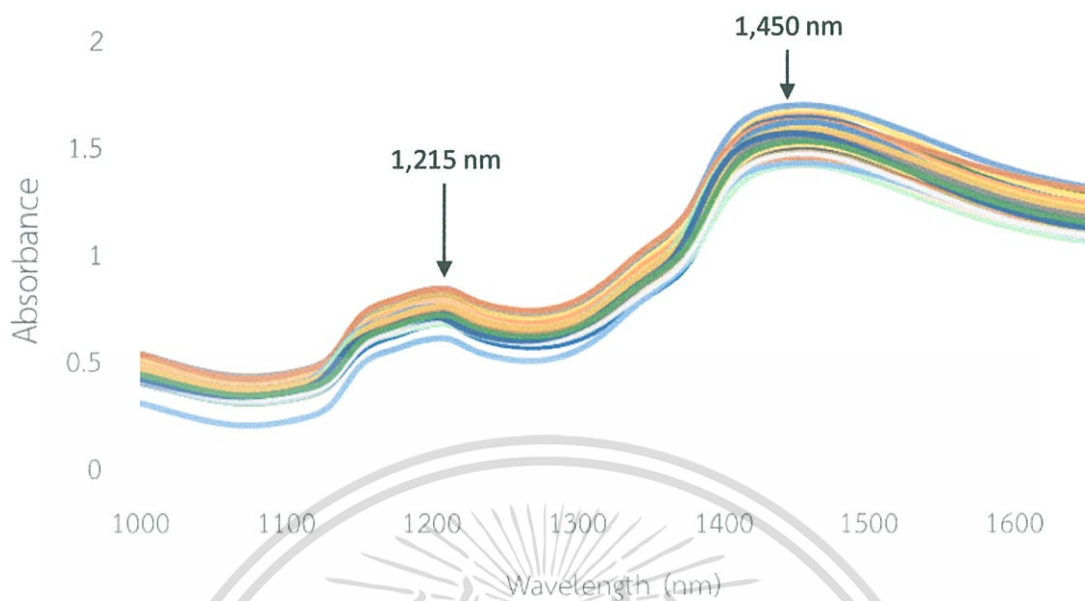


ภาพที่ 17.1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของขึ้นเนื้อมะพร้าวขาวด้านใน จำนวน 185 ตัวอย่าง วัดด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700

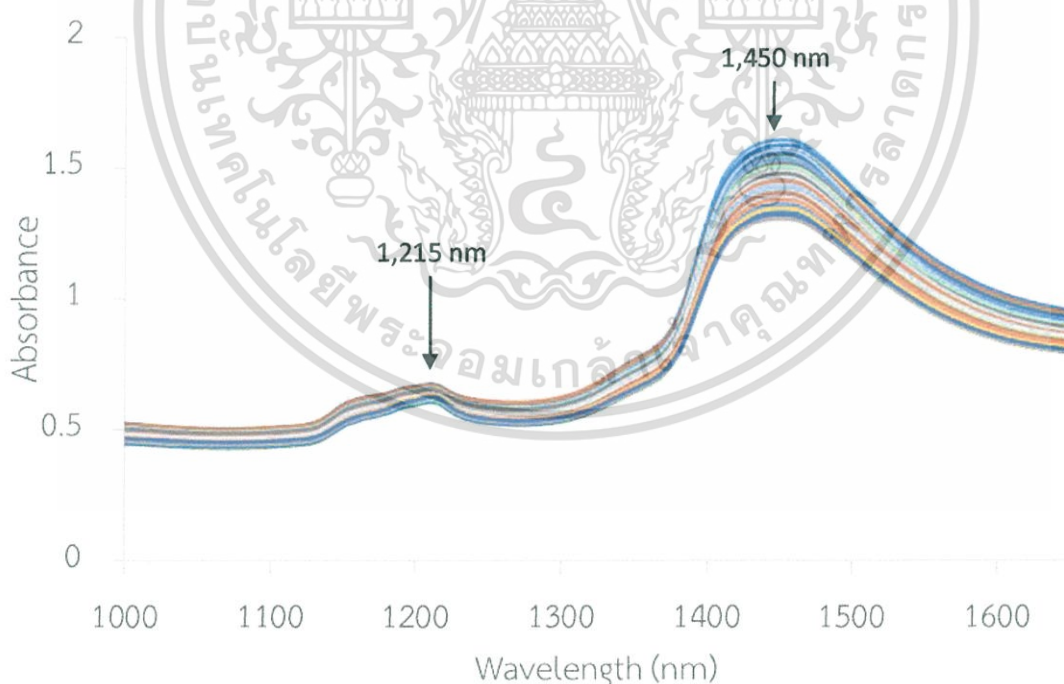


ภาพที่ 17.2 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของขึ้นเนื้อมะพร้าวขาวด้านนอก จำนวน 185 ตัวอย่าง วัดด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 17.3 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของชั้นเนื้อมะพร้าวขาว เฉลี่ยด้านใน-ด้านนอก จำนวน 185 ตัวอย่าง วัดด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700



ภาพที่ 17.4 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำมะพร้าว จำนวน 185 ตัวอย่าง วัดด้วยเครื่อง FT-NIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสร้างสมการ Calibration เพื่อทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว

จากการสร้างสมการพหุนามตัวแปรปรมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว แต่ละค่า โดยการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration set) จำนวน 129 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทำนาย (prediction set) จำนวน 56 ตัวอย่าง โดยทดลองสร้างสมการหลายรูปแบบที่มีความแตกต่างกันในด้านรูปแบบการวัด จุดที่วัด และการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนสร้างสมการ (Pretreatment)

ตารางที่ 6 การสร้างและทดสอบสมการ

ชุดข้อมูล	Pretreatment	No. Factors	Wavelength (nm)	RMSEE (%)	R ²	RMSEP (%)	RPD	Bias (%)
น้ำกะทิ	1 st Derivative	7	1,063.71-984.69, 1,216.32-1,137.29, 1,368.92-1,289.89, 1,674.1-1,442.5	1.11	0.9332	0.965	3.93	-0.174
เนื้อด้านใน	2 nd Derivative	1	1,155.9-908.1	3.20	-0.0200	4.28	1.04	-1.16
เนื้อด้านนอก	MSC	3	1,304.5-908.1, 1,676.2-1,502.8	3.15	0.1350	3.98	1.11	-0.938
เฉลี่ย	No	3	1,007.21-908.1, 1,155.87-1,056.76, 1,304.54-1,205.43, 1,527.54-1,428.43	3.12	0.1682	3.19	1.14	-1.02

หมายเหตุ: SNV = Standard Normal Variate, MSC = Multiplicative scattering correction, RPD = Ratio of Standard Error of Performance to Standard Deviation

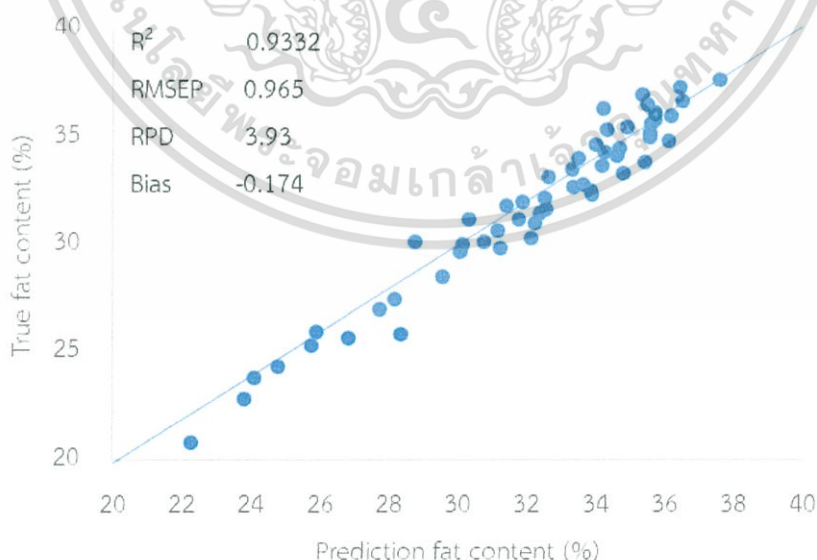
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 7 แสดงว่าสมการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวที่ดีที่สุด คือสมการที่ใช้สเปกตรัมโดยใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer ซึ่งสเปกตรัมที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้ง 3 จุด และทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative ก่อนนำไปวิเคราะห์ ผลการทดลอง R^2 เท่ากับ 0.9332 RMSEP เท่ากับ 0.965 RPD เท่ากับ 3.93 และ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) เท่ากับ -0.174

ผลการทำนายค่าพารามิเตอร์ปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวแสดงในภาพที่ 18.1, 18.2, 18.3 และ 18.4 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ทำนายและค่าจริงของปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวในกลุ่มสำหรับการทำนาย (prediction set) จำนวน 56 ตัวอย่าง

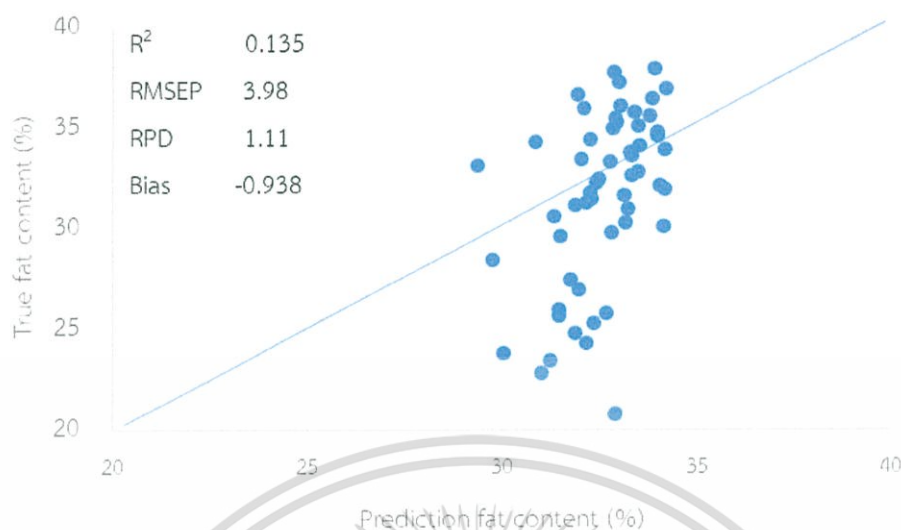
ผลการเปรียบเทียบค่าทำนายและค่าจริงของปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวของเครื่อง

FT-NIR spectrometer ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9332 RMSEP เท่ากับ 0.965 RPD เท่ากับ 3.93 Bias เท่ากับ -0.174 ดังภาพที่ 18.1 จาก MicroNIR Pro 1700 เฉลี่ยด้านใน ด้านนอก R^2 เท่ากับ 0.168 RMSEP เท่ากับ 3.19 RPD เท่ากับ 1.14 Bias เท่ากับ -1.02 ดังภาพที่ 18.2 ส่วนจาก MicroNIR Pro 1700 ด้านใน R^2 เท่ากับ -0.0200 RMSEP เท่ากับ 4.28 RPD เท่ากับ 1.04 Bias เท่ากับ -1.16 ดังภาพที่ 18.3 และจาก MicroNIR Pro 1700 ด้านนอก R^2 เท่ากับ 0.1350 RMSEP เท่ากับ 3.98 RPD เท่ากับ 1.11 Bias เท่ากับ -0.938 ดังภาพที่ 18.4

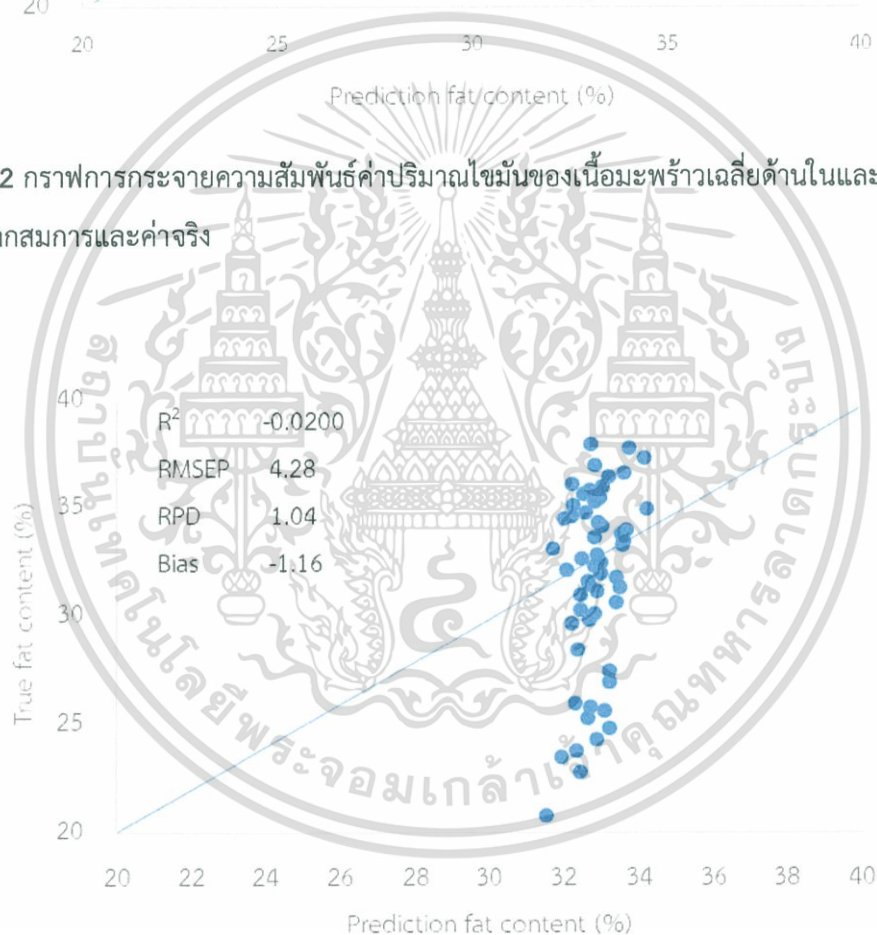


ภาพที่ 18.1 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ค่าปริมาณไขมันของน้ำกะทิที่ทำนายจากสมการและค่าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

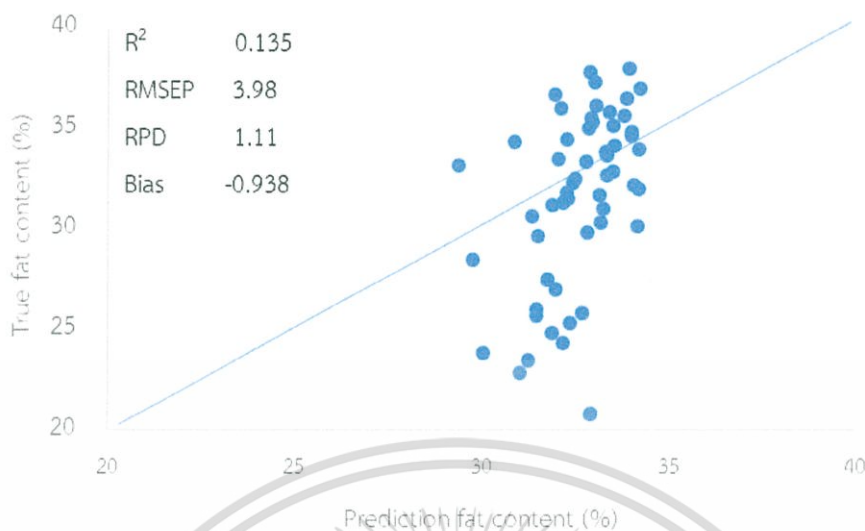


ภาพที่ 18.2 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวเฉลี่ยด้านในและด้านนอกที่ทำนายจากสมการและค่าจริง



ภาพที่ 18.3 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวด้านในที่ทำนายจากสมการและค่าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18.4 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวด้านนอกที่ทำนายจากสมการและค่าจริง

4.5 องค์ประกอบที่สำคัญในสเปกตรัมต่อการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว

ชั้นเนื้อมะพร้าวขาวมีปริมาณน้ำและไขมันเป็นองค์ประกอบสำคัญ และเป็นส่วนประกอบที่มีผลต่อสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสมการที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงพิจารณาจากความยาวคลื่นที่สามารถอธิบายถึงองค์ประกอบสำคัญในสเปกตรัมที่มีความสัมพันธ์กับค่าทำนายจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าสูง

จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการที่แม่นยำที่สุดในช่วงความยาวคลื่นที่ทำการทดลองระหว่าง 908.1 ถึง 1,676.2 nm ดังแสดงในภาพที่ พบว่าชั้นเนื้อมะพร้าวขาวมีจุดที่ดูดกลืนแสงสำคัญปรากฏขึ้น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1,450 และ 1,620 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับน้ำและไขมันอันเป็นองค์ประกอบสำคัญและสิ่งที่ทำนายของชั้นเนื้อมะพร้าวขาว ที่ช่วงความยาวคลื่น 1,450 เป็นช่วงความยาวคลื่นของน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จุฑารัตน์ (2558) ที่พบว่าช่วงความยาวคลื่น 1,620 nm ตรงกับค่าการดูดกลืนแสงของไขมัน



ภาพที่ 19 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่นต่างๆของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ทำกรปรับด้วยวิธี First derivative ที่ค่าเฉลี่ยของการวัด 3 จุด โดยใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer

เนือมะพร้าวขาวมีไขมันเป็นองค์ประกอบสำคัญ และมีผลต่อสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสมการทำนาย ดังนั้นจึงพิจารณาจากความยาวคลื่นที่สามารถอธิบายถึงองค์ประกอบสำคัญในสเปกตรัมที่มีความสัมพันธ์กับค่าทำนายซึ่งจะพิจารณาจากค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Regression Coefficient) ที่มีค่าสูงจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการในช่วงความยาวคลื่นที่ ทำการทดลอง ดังแสดงใน ภาพที่ 19 พบว่าที่ ความยาวคลื่น 1,215 nm, 1,450 nm และ 1,620 nm เป็นความยาวคลื่นที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงนั่นคือมีผลต่อการทำนายปริมาณไขมันในน้ำกะทิสูงซึ่งที่ความยาวคลื่น 1,215 nm นี้สอดคล้องกับตำแหน่งการดูดกลืนของ Lauric acid และ Myristic acid (Williams and Norris, 2001) กรดไขมันเหล่านี้เป็นกรดไขมันที่มีอยู่สูงในไขมันอันเป็นองค์ประกอบหลักของ และเนือมะพร้าวขาวที่ความยาวคลื่น 1,450 nm เป็นการดูดซับคลื่น O-H Stretching first overtone และที่ ความยาวคลื่น 1,620 nm เป็นการดูดซับคลื่น C-H Stretching first overtone

บทที่ 5

สรุปผลทดลองและข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวทั้งชิ้นด้วยเครื่อง MicroNIR Pro1700 ในช่วงความยาวคลื่น 950 – 1,650 nm ด้วยโหมดการวัดแบบ diffuse reflectance และด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ ช่วงความยาวคลื่น 750- 2,500 nm ด้วยโหมดการวัดแบบ diffuse reflectance โดยสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Partial least square regressionแบบ full cross validation พบว่า แบบจำลองที่ได้จากการวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของ เนื้อมะพร้าวขาวด้านในและด้านนอกด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700 โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ 1,527.54 - 1,428. 43 nm, 1,304.54-1,205. 43 nm, 1 ,155.87-1,056.76 nm และ 1,007.21-908.1 nm มีค่า R^2 เท่ากับ 16.82%, ค่า RMSEP เท่ากับ 3.19%, ค่า RPD เท่ากับ 1.14 และค่า Bias เท่ากับ -1.02% นั้นแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของแบบจำลองนี้ไม่ดีเลย และ ไม่แนะนำให้นำไปประยุกต์ใช้งาน ส่วนแบบจำลองที่ได้จากการวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำกะทิทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1stDerivative ใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ 984.69 - 1,063.71 nm, 1,137.29 - 1,216.32 nm, 1,289.89 -1,368.92 nm 1,442.5 - 1,674.1 nm และ พบว่า มีค่า R^2 สูงอยู่ที่เท่ากับ 0.9332 % ค่า RMSEP เท่ากับ 0.965 % , ค่า RPD เท่ากับ 3.93 และค่า Bias เท่ากับ -0.174% แสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานและประกันคุณภาพได้ ซึ่งสรุปได้ว่าเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ไม่เหมาะที่จะนำมาทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวในลักษณะเป็นชิ้นได้แต่สามารถนำมาใช้ในการทำนายปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวที่คั้นเป็นน้ำกะทิแล้วได้อย่างถูกต้องแม่นยำ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของงานวิจัยถึงแม้ว่าจำนวนตัวอย่างที่ศึกษาจะไม่มากแต่ก็ได้ผลการศึกษาที่ดีและเป็นที่น่าพอใจนั้นหมายถึงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาสมการทำนายให้ดียิ่งขึ้นโดยการเพิ่มจำนวนตัวอย่างเพื่อเพิ่มความแม่นยำขอสมการทำนายอันจะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและโรงงานอุตสาหกรรมมะพร้าวในการวัดหาปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว

2. การทำนายค่าปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาว ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer สามารถทำให้มีความถูกต้องมากขึ้นได้โดยการ เพิ่มจำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์

3. ควรมีการทดสอบหาค่าปริมาณไขมันในน้ำกะทิด้วยเครื่อง MicroNIR Pro 1700 และหาค่าปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวขาวในลักษณะชิ้นเนื้อด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มเกษตรสัญจร. 2531. มะพร้าวน้ำหอม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สมมิตร.

คณิง กาญจนบุษย์, ศิรินาม เม่งช่วย, จรูญ ถาวรประสิทธิ์, ทิพยา แสงทอง, อำนาจ ชูสุวรรณ, แนว โสทธิพันธ์, มนทา เกรียงทวีทรัพย์ และ บุชบงค์ รักเรียน. 2559. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. ฐานการเรียนรู้ชุดวิชาการศึกษาออกโรงเรียน. แหล่งที่มา: http://www.northeducation.ac.th/elearning/ed_sc30/chap06/sc6310.html, 31 มีนาคม 2552.

ณัฐกานต์ นวเศรษฐวิสูตร, นงนุช เจริญวาสนุตร์, วารุณี ชนะแพสย์ และ ธงชัย สุวรรณลิขณณ์. 2546. การตรวจสอบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของฝรั่งพันธุ์กลมสาสีด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. ในรายงานการประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 5. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา, กรุงเทพฯ.

ธงชัย สุวรรณลิขณณ์. 2550. การวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ. ในโครงการสัมมนาวิชาการการควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรและอุตสาหกรรมโดยวิธีไม่ทำลาย เพื่อการแข่งขันบนเวทีการค้าโลก. 4 กรกฎาคม 2550. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

ธงชัย สุวรรณลิขณณ์. และ ปิติพร ฤทธิเรืองเดช. 2552. การวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิดดา หงส์วิวัฒน์. (2554). ขนมไทย. กรุงเทพมหานคร: บริษัท พิมพ์ดี จำกัด.

นิศรา ฮะเจริญ. 2554. การเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนในการแปรรูปและความคงตัวต่อความเป็นในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กะทอสเตอร์ไรส์. มหาวิทยาลัยศิลปกร.

นฤมล มาพิพพาน. (2548). การเพาะปลูกและขยายพันธุ์มะพร้าว พืชสารพัดประโยชน์ตั้งแต่ยอดจนถึงโคน สำนักพิมพ์ ส่งเสริมอาชีพธุรกิจ เพชรกระรัต, สนพ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พีรวัส รามศิริ, สกาว พงษ์ขวัญ, สโรชา ศรีกรการ 2556. การวิเคราะห์ปริมาณเกลือของปลาซาร์ดีนใน
 ขอสมะเชื้อเทศในอุตสาหกรรมผลิตปลาซาร์ดีนกระป๋องด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรส
 โกปี
- พานิชย์ ยสปัญญา. (2544). มะพร้าวพืชสารพัดประโยชน์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.
- พีรพงษ์ แสงวนวงศ์กุล. (2554). การตรวจสอบคุณภาพและความบริสุทธิ์ของผลมะพร้าวอ่อนแบบ
 ไม่ทำลาย ด้วยเทคนิค NIRs เพื่ออุตสาหกรรมการส่งออก
- มณีรัตน์ สุตันตั้งใจ. 2552. การพัฒนากระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา
 มะพร้าวแก้ว. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- วิชัย หฤทัยธนาสันดี. 2550. ความสำคัญของ NIRs Technology เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก.
 โครงการสัมมนาวิชาการการควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตร แลอุตสาหกรรม
 โดยวิธีไม่ทำลายเพื่อการแข่งขันบนเวทีการค้าโลก. 4 กรกฎาคม 2550. สถาบันคั่นคว้าและ
 พัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับ
 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. (2536). การปลูกมะพร้าว. โครงการเกษรชุมชน, กรุงเทพมหานคร. สถาบันวิจัยพืช
 สวน. กรมวิชาการเกษตร. (2541). เอกสารวิชาการ พืชสวนพันธุ์ดีและเทคโนโลยีที่เหมาะสม.
 ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: หจก. มีเดียเพรส.
- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในทาง
 เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้า
 ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28
 พฤศจิกายน 2545. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2550. หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. โครงการสัมมนา
 วิชาการการควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรและ อุตสาหกรรมโดยวิธีไม่
 ทำลาย เพื่อการแข่งขันบนเวทีการค้าโลก. 4 กรกฎาคม 2550. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนา
 ผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับสำนักงาน
 คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร (2559)

[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3066/coconut-milk>

(6 กันยายน 2559)

สารานุกรมไทยฉบับเยาวชน (2559). เล่มที่ 19 เรื่องที่ 2 พืชน้ำมันมะพร้าว

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.oae.go.th/fruits/index.php/2013-01-25-03-34-09?id=152>

(23 สิงหาคม 2559)

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2552. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Bogomolov A., Dietricha S., Boldrinib B., & Kesslerb W. R. (2012). Quantitative determination of fat and total Protein in milk based on visible light scatter. *Food Chemistry*, 134, 412 – 418.

Chen J., Rena X, Zhanga Q., Diaoc X., & Shen Q. (2013). Determination of Protein, total carbohydrates and crude fat contents of foxtail millet using effective wavelengths in NIR spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, 58, 241 – 247.

David, T. W. (2014). BOT 410 – Plant Anatomy Home Page (online). Available: <http://www.biologie.uni-hamburg.de/bonline/library/webb/BOT410/Angiosperm/FruitCoconut.htm> (2014, July 9)

Hruschka, R. W. 1987. Data analysis: Wavelength selection methods. In P. Williams and K. Norris, eds. *Near-Infrared Technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists, Inc, Minnesota.

Jörg-Peter Conzen 2006. “ Multivariate Calibration. A practical guide for developing methods in the quantitative analytical chemistry” Bruker Optik GmbH. 116 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mazureka S., Szostaka R., & Kitab A. (2016). Application of infrared reflection and Raman spectroscopy for quantitative determination of fat in potato chips. *Journal of Molecular Structure*, 1 – 6.
- Melenteva A., Galyanin V., Savenkova E., & Bogomolov A. (2016). Building global models for fat and total Protein content in raw milk based on historical spectroscopic data in the visible and shortwave near infrared range. *Food Chemistry*, 203, 190 – 198.
- Niphaporn, L., Arunee, D., & Tipanwan, N. (2011). Method performance study for total solids and total fat in coconut milk and Products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 650-655.
- Sanchez, N., Marin, A. L. M., Polvillo, O., Cabanas, V. M. F., Carrizosa, J., Urrutia, B., & Serradilla, J. M. (2016). Near Infrared Spectroscopy (NIRS) for the determination of the milk fat fatty acid Profile of goats. *Food chemistry*, 190, 244-252.
- Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage analysis*. Longman Science & Technology, New York.
- Williams, P. *Near-infrared Technology-Getting the best out of light*. Edition 5.0. Nanaimo, Canada: A short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user, PDK Grain. 2007
- Xingyue, Z., Zhimin, Z., Lexin W., & Lin Z. (2014). A new method to measure fat content in coconut milk based on Y-type optic fiber system. *Optik*, 125, 6,172 – 6,178.
- Yang H., Irudayarajb J., & Paradkarb M. M. (2005). Discriminant analysis of edible oils and fats by FTIR, FT-NIR and FT-Raman spectroscopy. *Food Chemistry*, 93, 25 – 32.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวขาวจากการวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์

Sample	ค่าปริมาณไขมัน (% Fat)			Avg
	1	2	3	
1	30	30.5	30	30.17
2	26	25.5	26	25.83
3	32.5	32	32	32.17
4	35.5	34.5	36	35.33
5	36	36.5	36.5	36.33
6	35	35.5	36	35.50
7	36	36.5	36	36.17
8	37	37	37	37.00
9	35.5	36	35.5	35.67
10	37	37	37	37.00
11	34.5	35.5	34.5	34.83
12	32.5	33	32.5	32.67
13	32.5	33	32.5	32.67
14	35.5	34	34	34.50
15	33.5	32.5	32.5	32.83
16	33.5	33.5	33	33.33
17	35	35.5	36	35.50
18	34.5	35	35	34.83
19	31.5	31	31.5	31.33
20	22.5	23	22.5	22.67
21	34	34	34.5	34.17
22	34	33.5	33.5	33.67
23	32	32.5	32.5	32.33
24	33	32.5	33	32.83
25	34.5	34.5	34.5	34.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวขาวจากการวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์ (ต่อ)

Sample	ค่าปริมาณไขมัน (% Fat)			Avg
	1	2	3	
26	36.5	36.5	37	36.67
27	35.5	36	36	35.83
28	33.5	33	33.5	33.33
29	30.5	30	30	30.17
30	34	33	34	33.67
31	32	32.5	32.5	32.33
32	33.5	34	34	33.83
33	36	36	36	36.00
34	22.5	26	26	24.83
35	32	32.5	32	32.17
36	34.5	34	34	34.17
37	34.5	34.5	34	34.33
38	36	36	35.5	35.83
39	35.5	35.5	35.5	35.50
40	32.5	34.5	36	34.33
41	34	34	34	34.00
42	35.5	35	35	35.17
43	37.5	38	37.5	37.67
44	35	35	35	35.00
45	37.5	37.5	37	37.33
46	34	33.5	33.5	33.67
47	34	34	34.5	34.17
48	35.5	36	36	35.83
49	36.5	34.5	33.5	34.83
50	30.5	32.5	31.5	31.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวขาวจากการวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์ (ต่อ)

Sample	ค่าปริมาณไขมัน (% Fat)			Avg
	1	2	3	
51	35	33.5	34.5	34.33
52	33.5	34	33	33.50
53	34	33.5	33.5	33.67
54	35	35	35	35.00
55	39	37	37.5	37.83
56	37	37	37	37.00
56	22	22	21.5	21.83
58	25.5	25.5	25	25.33
59	31.5	31.5	31	31.33
60	31	31.5	31.5	31.33
61	23	22.5	23	22.83
62	28.5	28.5	28.5	28.50
63	31.5	31.5	31.5	31.50
64	34	34	33	33.67
65	34.5	35.5	34.5	34.83
66	35.5	34	35	34.83
67	35	36	35	35.33
68	33.5	31.5	31.5	32.17
69	25	25	24	24.67
70	25	25.5	27	25.83
71	32	31.5	32.5	32.00
72	32	31.5	32	31.83
73	23.5	24	24	23.83
74	27	27	27	27.00
75	25.5	26	25.5	25.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวขาวจากการวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์ (ต่อ)

Sample	ค่าปริมาณไขมัน (% Fat)			Avg
	1	2	3	
76	24	24.5	24.5	24.33
77	30.5	30.5	29.5	30.17
78	34	34.5	34.5	34.33
79	32	31.5	31	31.50
80	30.5	30.5	30	30.33
81	34	34.5	34	34.17
82	33.5	33.5	33.5	33.50
83	35.5	35.5	36	35.67
84	36	36	36	36.00
85	33.5	33.5	34	33.67
86	31	31.5	32.5	31.67
87	29.5	30	29.5	29.67
88	32	31.5	32	31.83
89	35	35.5	35	35.17
90	31.5	32	31.5	31.67
91	30	31.5	31.5	31.00
92	34.5	33	33.5	33.67
93	30	30	30.5	30.17
94	34.5	34	34	34.17
95	35.5	35.5	35.5	35.50
96	31	30	31	30.67
97	30.5	33	33	32.17
98	35	34.5	34	34.50
99	33	33.5	34	33.50
100	32	33.5	31.5	32.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวขาวจากการวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์ (ต่อ)

Sample	ค่าปริมาณไขมัน (% Fat)			Avg
	1	2	3	
101	31	31	32	31.33
102	33	32.5	33	32.83
103	32.5	32.5	33.5	32.83
104	32	31	32	31.67
105	30.5	30	30.5	30.33
106	29.5	30	32	30.50
107	30	30	30	30.00
108	29.5	30	29.5	29.67
109	28.5	28.5	29	28.67
110	32	31.5	31.5	31.67
111	31	31.5	31	31.17
112	29	29.5	29	29.17
113	34.5	34	33.5	34.00
114	34	34	34	34.00
115	33	33.5	33	33.17
116	34.5	33	33	33.50
117	32.5	31.5	32.5	32.17
118	34.5	35	34.5	34.67
119	34	34	33.4	33.80
120	34.5	34.5	34.5	34.50
121	30	31.5	30.5	30.67
122	33.5	33.5	33	33.33
123	33	31.5	32.5	32.33
124	32.5	32.5	32.5	32.50
125	35.5	34	34	34.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวขาวจากการวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์ (ต่อ)

Sample	ค่าปริมาณไขมัน (% Fat)			Avg
	1	2	3	
126	41	37	42	40.00
127	33.5	33.5	33	33.33
128	34.5	34	35	34.50
129	32	31.5	32.5	32.00
130	34.5	34	33	33.83
131	33.5	33.5	33	33.33
132	32	32	32.5	32.17
133	35	36	36	35.67
134	37.5	37	37.5	37.33
135	37	37	38	37.33
136	37.5	37.5	39	38.00
137	28.5	28.5	28.5	28.50
138	33.5	32.5	32.5	32.83
139	34.5	35	34.5	34.67
140	35	34.5	35	34.83
141	24	23.5	23	23.50
142	31	30.5	31	30.83
143	33	32.5	32	32.50
144	32.5	32.5	33	32.67
145	33.5	33	33	33.17
146	34	35.5	35.5	35.00
147	34.5	35.5	35.5	35.17
148	35.5	36	35.5	35.67
149	25	25	25	25.00
150	27	28	27.5	27.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวขาวจากการวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์ (ต่อ)

Sample	ค่าปริมาณไขมัน (% Fat)			Avg
	1	2	3	
151	29.5	30.5	29.5	29.83
152	34.5	34.5	34	34.33
153	34.5	35	35	34.83
154	34.5	34	34	34.17
155	33	33	33.5	33.17
156	34	33.5	34.5	34.00
157	26.5	25.5	26	26.00
158	32.5	32.5	32	32.33
159	30.5	30	30.5	30.33
160	25	25	24.5	24.83
161	31	31.5	32	31.50
162	31	31	31.5	31.17
163	35	34.5	35.5	35.00
164	35	35	35	35.00
165	28.5	28.5	28.5	28.50
166	30.5	30.5	30.5	30.50
167	33	32	32.5	32.50
168	33	33	33.5	33.17
169	36	36.5	36	36.17
170	34.5	34.5	34	34.33
171	33	33.5	33.5	33.33
172	37	36.5	35.5	36.33
173	37	36.5	36.5	36.67
174	35.5	35	36	35.50
175	36	37	37	36.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าปริมาณไขมันของเนื้อมะพร้าวขาวจากการวัดด้วยวิธีเกอร์เบอร์ (ต่อ)

Sample	ค่าปริมาณไขมัน (% Fat)			Avg
	1	2	3	
176	36.5	36	36	36.17
177	21	20.5	21	20.83
178	30.5	31	31.5	31.00
179	33	32	31.5	32.17
180	30	29.5	30	29.83
181	27	26.5	27.5	27.00
182	31	30.5	32	31.17
183	32	31.5	31.5	31.67
184	32.5	32.5	31.5	32.17
185	26	26.5	26	26.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้