



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรด
ย่านใกล้แบบสะท้อนแสง

Non-Destructive Technique for Detection of Translucency in Mangosteen by Near
Infrared Spectroscopy in Reflectance Mode

นามผู้วิจัย นางสาวสิรินาถ น้อยพิทักษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบ
สะท้อนแสง

Non-Destructive Technique for Detection of Translucency in Mangosteen by Near Infrared
Spectroscopy in Reflectance Mode

โดย

นางสาวสิรินาฏ น้อยพิทักษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2552

สิรินาถ น้อยพิทักษ์ 2552: เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลายโดย
สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบสะท้อนแสง ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร อาจารย์
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปญฺวิรัตน์, Ph.D. 151 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติ โดยวิธี
วิเคราะห์แบบตัวแปรพหุคูณ ในการวิจัยใช้ผลมังคุด จำนวน 217 ผล นำผลมังคุดทั้งหมดวัดค่า
ความถ่วงจำเพาะ เปอร์เซนต์ความชื้นเปลือก แล้ววัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA-Near Infrared
(NIR) GUN ช่วงคลื่น 700-1100 nm แบบ Interactance ที่จุดกึ่งกลางด้านข้างของแต่ละผลบนแนว
เส้นอีควาเตอร์ (equatorial line) ในแนวตั้งจากรอบผล จำนวน 4 ด้าน โดยได้ศึกษาวิธีการปรับแต่ง
สเปกตรัมเพื่อลดการกระเจิงแสง ด้วยวิธี First Derivative (1D) หรือ Second Derivative (2D) หรือ
Multiplicative Scatter Correction (MSC) หรือ Standard Normal Variate (SNV) เพื่อให้ได้โมเดล
การทำนายกลุ่มที่เหมาะสมที่สุด แล้ววิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant Analysis
(DA)

จากการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล
สเปกตรัม NIR ปรับแต่งด้วย MSC ทั้งช่วงความยาวคลื่นที่ด้าน 1 3 และ 4 ให้ผลความถูกต้องใน
การจำแนกดีที่สุด 83.9% ต่อจากนั้นได้ใช้เทคนิค Partial Least Square Discriminant Analysis
(PLS-DA) วิเคราะห์เพื่อเลือกเฉพาะสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับการแยกมังคุดเนื้อ
ปกติและเนื้อแก้วเพื่อลดความซับซ้อนของโมเดล ซึ่งข้อมูลการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น
708 และ 880 nm ให้ผลความถูกต้องในการจำแนกดีที่สุด 83.9% ในทุกด้าน และสำหรับการ
จำแนกกลุ่มโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากเทคนิค PLS-DA ซึ่งโมเดล
2D ของการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น 716 752 831 910 953 989 1022 1038 และ 1058 nm
ร่วมกับค่าความถ่วงจำเพาะให้ผลความถูกต้องในการจำแนกดีที่สุด 84.8% จากข้อมูลสเปกตรัม
ทั้ง 4 ด้านเฉลี่ย

Sirinad Noypitak 2009: Non-Destructive Technique for Detection of Translucency in Mangosteen by Near Infrared Spectroscopy in Reflectance Mode. Master of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Siwalak Pathaveerat, Ph.D. 151 pages.

This study was aimed to investigate a technique to separate translucent flesh mangosteen from normal flesh mangosteen by multivariate data analysis. In the study, 217 mangosteens were used. All mangosteens were measured for specific gravity, moisture content and spectrum using FQA-Near Infrared (NIR) GUN in range of 700-1100 nm in interactance mode at 4 points on equatorial line. The spectra were pretreated with First Derivative (1D) or Second Derivative (2D) or Multiplicative Scatter Correction (MSC) or Standard Normal Variate (SNV) prior to building discriminant model using discriminant analysis (DA). The pretreatment that gave the best model was selected.

Discriminant Analysis showed that when using full range of NIR spectrum of the first side, third side and fourth side as predicting parameters the MSC absorbance gave classification accuracy of 83.9%. Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) was performed so that the spectra particularly at wavelengths associated with separation between normal and translucent mangosteens could be selected. In case of using NIR spectrum at PLS-DA suggested wavelengths, the absorbance at 708 and 880 nm gave classification accuracy of 83.9% at all sides. The 2D absorbance at 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038 and 1058 nm (averaged from 4 sides) and the specific gravity resulted in accuracy of discrimination of 84.8%

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมไว้เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา สนับสนุน แนะนำแนวทางในการเรียน การศึกษาวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยเชี่ยวชาญเฉพาะทางวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวแปรรูปและบรรจุภัณฑ์ไม้ผล สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการพัฒนานักศึกษาด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่กรุณาสนับสนุนทุนวิจัย และมูลนิธิโครงการหลวงที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งต่อตนเอง ครอบครัว และสังคมต่อไป ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ วิศวกรรมเกษตร และเพื่อนๆ นาคประสิทธิ์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรม สนับสนุน ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดีที่สุดของลูกเสมอมา และขอขอบคุณพี่เกษตร น้องกฤษฎดา คุณจาร์พงศ์ ตลอดจนญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดีอย่างต่อเนื่อง

สิรินาฏ น้อยพิทักษ์

ตุลาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	38
สรุป	63
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	64
ภาคผนวก	69
ภาคผนวก ก ข้อมูลขนาดผลมังคุดและข้อมูลของตัวแปรต่างๆ	70
ภาคผนวก ข สเปกตรัมการดูดกลืนของแสงและการสะท้อนเฉลี่ยของมังคุดปกติและเนื้อแก้วที่ปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ	102
ภาคผนวก ค Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของการดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน) และค่า Regression coefficient ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงของผลมังคุดทั้งหมดที่ปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ	108
ภาคผนวก ง ข้อมูลความถูกต้องในการจำแนกกลุ่ม	120

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดตัวอย่างของแต่ละช่วงความยาวคลื่น	12
2	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบภายในอาหารกับช่วงอินฟราเรด	13
3	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยระหว่างมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้ว	39
4	ความถูกต้องในการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดปกติที่ค่าความถ่วงจำเพาะต่างกัน	40
5	เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยของเปลือกระหว่างมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้ว	42
6	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้าน ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	49
7	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล MSC absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	51
8	ความยาวคลื่นสำคัญที่เลือกจากการทำ PLS-DA ของข้อมูลการดูดกลืนของแสงหลังจากปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์	54
9	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Absorbance ของเปลือก ที่ความยาวคลื่น 708 และ 880 nm ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
10	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D absorbance ที่ความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058 และค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	60
11	ค่าทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วเท่ากัน	61
12	ค่าสัมประสิทธิ์ Canonical discriminant function ของตัวแปรทำนายกลุ่ม	61
13	Structure matrix โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ค่าความถ่วงจำเพาะ และข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้านเฉลี่ยกันที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA	62
ตารางผนวกที่		
ก1	ข้อมูลขนาดของผลมังคุดและอาการที่เกิดขึ้นภายในผล (หน่วย: mm)	71
ก2	ข้อมูลน้ำหนักของผลมังคุดที่ซังในอากาศและในน้ำ (หน่วย: g)	80
ก3	ค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด	88
ก4	ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมังคุด (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)	93
ค1	ความยาวคลื่นสำคัญที่เลือกจากการทำ PLS-DA ของข้อมูลการสะท้อนแสง หลังจากปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์	118
ง1	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล Absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง2 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล 1D absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	122
ง3 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	123
ง4 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล MSC absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	124
ง5 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล SNV absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	125
ง6 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล Reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	126
ง7 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล 1D Reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง8	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล 2D reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วง ความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 128
ง9	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล MSC reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วง ความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 129
ง10	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล SNV reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วง ความยาวคลื่น (700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 130
ง11	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 708 และ 880 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 131
ง12	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร ทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 1D absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 937, 969 และ 1034 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 132
ง13	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038 และ 1058 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง14	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล MSC absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 773 และ 915 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	134
ง15	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล SNV absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 775 และ 917 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	135
ง16	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 708, 809 และ 993 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	136
ง17	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 1D Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 797, 817, 977, 915 และ 1040 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross- validation	137
ง18	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 728, 809, 840, 915, 1008 และ 1066 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	138
ง19	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จาก ข้อมูล MSC reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 793, 900, 979 และ 1068 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง20	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล SNV reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 795, 902 และ 1070 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 140
ง21	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 708 และ 880 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 141
ง22	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 1D absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 937, 969 และ 1034 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 142
ง23	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038 และ 1058 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 143
ง24	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล MSC absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 773 และ 915 nm และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation 144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง25 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล SNV absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 775 และ 917 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	145
ง26 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 708, 809 และ 993 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	146
ง27 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 1D reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 797, 817, 977 และ 1040 และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	147
ง28 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนาย กลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 728, 809, 840, 915, 1008 และ 1066 และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	148
ง29 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนาย กลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล MSC Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 793, 900, 979 และ 1068 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

ง30	ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล SNV reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 795, 902 และ 1070 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation	150
-----	--	-----

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10
2	การกระทำกับสารในแบบต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	11
3	เทคนิคการวัดตัวอย่าง	15
4	ขนาด Segment และ Gap ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative	17
5	สเปกตรัม และ Second derivative ของสเปกตรัม	19
6	NIR สเปกตรัม ที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect ก่อนการปรับแก้ด้วย MSC	19
7	NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect หลังการปรับแก้ด้วย MSC	20
8	ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบความแข็งของเนื้อมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR	26
9	อุปกรณ์ SW-NIR แบบส่องผ่าน สำหรับวัดคุณภาพมังคุด	26
10	อุปกรณ์การวัดค่าการถ่ายเทความร้อนในเปลือกมังคุด	27
11	การวัดสเปกตรัมของผลแตงกวาดองโดยใช้ Vis/NIR แบบ Interactance	28
12	อุปกรณ์ NIR แบบ Interactance สำหรับการวัดคุณภาพของผลมะม่วงสุก	29
13	การวัดมังคุดบนแนวเส้นอีเคเวเตอร์ด้วย เครื่อง FQA-NIR GUN	32
14	รูปทรงของผลมังคุด	32
15	กลีบขดเกสรตัวเมียได้ผลและกลีบเนื้อมังคุดซึ่งมีแนวที่สอดคล้องกัน	33
16	อุปกรณ์หาความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด	34
17	การชั่งน้ำหนักผลมังคุดในอากาศ (W_p)	34
18	การชั่งน้ำหนักผลมังคุดในน้ำ (W_d)	35
19	ลักษณะมังคุดเนื้อปกติ	38
20	ลักษณะมังคุดเนื้อแก้ว	38
21	เปลือกของผลมังคุดปกติ (a) เปลือกของผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว (b)	41
22	สเปกตรัม (ก) การสะท้อนแสงเฉลี่ย และ(ข) การดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	สเปกตรัม(ก) การสะท้อนแสง และ(ข) การดูดกลืนแสงแต่ละด้านของ มังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล	44
24	สเปกตรัมของ(ก) Second derivative การสะท้อนแสง และ (ข) Second derivative การดูดกลืนแสงเฉลี่ยแต่ละด้านของ มังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล	46
25	ค่า Score plot ระหว่าง Principal component 1 (PC1) และ2 (PC2) ของข้อมูล สเปกตรัม 2D reflectance ที่วัดแต่ละด้าน (ไม่มีการปรับแต่ง) ของตัวอย่าง มังคุดแต่ละผลทั้งหมด	53
26	ค่า Score plot ระหว่าง Principal component 1 (PC1) และ2 (PC2) ของ ข้อมูลสเปกตรัม 2D reflectance โดยแต่ละจุดคือ ค่าเฉลี่ยของมังคุด ทั้งหมดที่เป็นเนื้อแก้วหรือเนื้อปกติของแต่ละด้านที่วัด	53
27	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของข้อมูล สเปกตรัม 2D reflectance ที่เฉลี่ยค่าในแต่ละด้านจากตัวอย่างมังคุดทั้งหมด	54
ภาพผนวกที่		
ข1	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด	103
ข2	First derivative (1D) ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติ และมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด	103
ข3	Second derivative (2D) ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติ และมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด	104
ข4	Multiplicative scatter correction (MSC) ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ย ของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด	104
ข5	Standard normal variate (SNV) ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของ มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด	105
ข6	สเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข7	Second derivative (2D) ของสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของมังคุด ปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด 106
ข8	Second derivative (2D) ของสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของมังคุด ปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด 106
ข9	Multiplicative scatter correction (MSC) ของสเปกตรัมการสะท้อนแสง เฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด 107
ข10	Standard normal variate (SNV) ของสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของ มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด 107
ค1	ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของการดูดกลืนแสงของผลมังคุด ปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน) 109
ค2	ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลมังคุด ทั้งหมด 109
ค3	ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ First derivative การดูดกลืน แสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน) 110
ค4	ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม First derivative การดูดกลืนแสง ของผลมังคุดทั้งหมด 110
ค5	ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Second derivative การดูดกลืน แสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน) 111
ค6	ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Second derivative การดูดกลืน แสงของผลมังคุดทั้งหมด 111
ค7	ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Multiplicative scatter correction การดูดกลืนแสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน) 112
ค8	ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Multiplicative scatter correction การดูดกลืนแสงของผลมังคุดทั้งหมด 112
ค9	ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Standard normal variate การดูดกลืนแสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน) 113

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค10 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Standard normal variate การดูดกลืนแสงของผลมังคุดทั้งหมด	113
ค11 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของการดูดกลืนแสงของผลมังคุด ปกติและเนื้อแก้วเจลลี่ในแต่ละด้าน (4 ด้าน)	114
ค12 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลมังคุด ทั้งหมด	114
ค13 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ First derivative การดูดกลืน แสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเจลลี่ในแต่ละด้าน (4 ด้าน)	115
ค14 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม First derivative การดูดกลืนแสง ของผลมังคุดทั้งหมด	115
ค15 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Second derivative การดูดกลืน แสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเจลลี่ในแต่ละด้าน (4 ด้าน)	116
ค16 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Second derivative การดูดกลืน แสงของผลมังคุดทั้งหมด	116
ค17 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Multiplicative scatter correction การดูดกลืนแสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเจลลี่ในแต่ละด้าน (4 ด้าน)	117
ค18 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Multiplicative scatter correction การดูดกลืนแสงของผลมังคุดทั้งหมด	117
ค19 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Standard normal variate การดูดกลืนแสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเจลลี่ในแต่ละด้าน (4 ด้าน)	118
ค20 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Standard normal variate การดูดกลืนแสงของผลมังคุดทั้งหมด	118

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

NIRS	=	Near-Infrared Spectroscopy
Vis/NIR	=	Visible and Near-Infrared spectroscopy
SW-NIR	=	Short Wavelength Near-Infrared Spectroscopy
SG	=	Specific Gravity
PCR	=	Principle Components Regression
PLSR	=	Partial Least Square Regression
RMSECV	=	Root Mean Square Error of Cross Validation
RMSEP	=	Root Mean Square Error of Prediction
PLS-DA	=	Partial Least Square Discriminant Analysis
DA	=	Discriminant analysis
PC	=	Principal component
MLR	=	Multiple Linear Regression
SEP	=	Standard Error of Prediction
2D	=	Second derivative
MSC	=	Multiplicative scatter correction
SNV	=	Standard Normal Variate
MO_1	=	Moisture Content side 1 st
MO_2	=	Moisture Content side 2 nd
MO_3	=	Moisture Content side 3 rd
MO_4	=	Moisture Content side 4 th
MO_AV	=	Average of Moisture Content

เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่าน ใกล้แบบสะท้อนแสง

Non-Destructive Technique for Detection of Translucency in Mangosteen by Near Infrared Spectroscopy in Reflectance Mode

คำนำ

มังคุดเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีศักยภาพสูงในการส่งออก มีรสชาติดี จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ จนได้รับสมญานามว่า เป็นราชินีของผลไม้เมืองร้อน ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกมังคุดรายหลักของโลก ในปี 2550 ประเทศไทยส่งออกมังคุดผลสดและมังคุดแช่แข็งคิดเป็นมูลค่ารวม 754.7 ล้านบาท หรือประมาณ 47,174 ตัน แต่ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่สามารถส่งมอบมังคุดที่มีคุณภาพได้ตามปริมาณที่ตลาดต่างประเทศต้องการ นั่นคือ เปลือกของมังคุดมีผิวมันสทิส ไม่มีร่องรอยการเข้าทำลายของแมลงหรือมีน้อยมาก คุณภาพภายในปราศจากการเนื่อแก้ว ขางไหล และเปลือกแข็ง (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546) แต่คุณภาพภายในผลนั้นยังต้องอาศัยการผ่าออกดู ดังนั้นงานวิจัยที่จะสามารถตรวจสอบคุณภาพภายในผลได้โดยไม่ทำลายจึงเป็นที่ต้องการ เพื่อสร้างความมั่นใจแก่ประเทศคู่ค้าได้ว่าเป็นสินค้าคุณภาพ ดังนั้นนโยบายของรัฐบาล ที่มุ่งควบคุมและประกันคุณภาพของสินค้าส่งออก

ปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพของผักผลไม้โดยวิธีไม่ทำลายได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากขึ้น ซึ่งการใช้ Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพภายในผลไม้ที่ได้ผลดี ประหยัดเวลา สะดวก และรวดเร็ว

ถึงแม้ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยวิธีการคัดแยกคุณภาพของผลมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้วออกจากมังคุดเนื้อปกติหลายวิธี ได้แก่ การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของผล (ชนะชัย, 2534) การวัดทางไฟฟ้า (ชูศักดิ์ และคณะ, 2543) การใช้รังสีเอกซ์ (ชนะชัย และบุญรอด, 2542) และการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือก (ปาริชาติ, 2550) ซึ่งแต่ละเทคนิคก็ยังมีข้อจำกัดต่างกันไป การใช้ความยาวคลื่นสั้นใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน (Teerachaichayut et al., 2007) มีความแม่นยำในการคัดแยกสูงสุดแต่เครื่องมือมีราคาสูง ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆร่วมกัน ร่วมกับการวิเคราะห์

จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบคุณภาพภายในผลมังคุดให้สูงขึ้น

การทำวิจัยนี้ใช้เทคนิค NIRS วัดด้วยเครื่องมือที่ราคาไม่สูงมากร่วมกับการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของผล และการวิเคราะห์แบบ Discriminant analysis เพื่อจำแนกคุณภาพภายในผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วและเนื้อปกติโดยไม่ทำลาย สะดวกต่อการพกพา รวดเร็วและง่ายต่อการใช้งาน



วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาเทคนิคการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดเนื้อปกติด้วยเทคนิค Near-Infrared Spectroscopy แบบสะท้อนแสง โดยวิธีวิเคราะห์แบบตัวแปรพหุคูณ (Multivariate Data Analysis)



การตรวจเอกสาร

1. มังคุด

1.1 ลักษณะทั่วไปของมังคุด

มังคุด (Mangosteen) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangotana* L. อยู่ในวงศ์ Guttiferae เป็นไม้ผลเขตร้อน คาดว่ามีถิ่นกำเนิดอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศ มาเลเซีย ไทย พม่า กัมพูชา เวียดนาม และอินโดนีเซีย สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีที่มีอุณหภูมิต่ำสุด 17 องศาเซลเซียส ผลมีลักษณะกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5-7.0 เซนติเมตร ที่ปลายด้านบนของผลจะมีก้านผลและใบเลี้ยงติดอยู่ เมื่อผลสุกเต็มที่จะมีสีน้ำตาลเข้มอมม่วงถึงม่วงเข้ม มีเปลือกหนาประมาณ 0.8-1 เซนติเมตร ผลมียางสีเหลือง เนื้อกลีบมีสีขาวจำนวน 4-8 กลีบ บางกลีบอาจมีเมล็ดหรือไม่มีเมล็ดอยู่ภายในก็ได้ (นิวัฒน์, 2533) มังคุดเป็นผลไม้ที่มีความต้องการสูงทั้งตลาดภายในและตลาดส่งออก ในปี 2550 มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 387,000 ไร่ โดยมีพื้นที่เพาะปลูกมังคุดที่สำคัญของประเทศไทย อยู่ในจังหวัดจันทบุรี ชุมพร นครศรีธรรมราช ระนอง ระยอง และนราธิวาส มีผลผลิตมังคุดโดยรวมประมาณ 348,000 ตัน คิดเป็นปริมาณมังคุดส่งออก 47,174 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 754.7 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

1.2 สภาพดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

มังคุดเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินเหนียวปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงสามารถอุ้มน้ำและระบายน้ำได้ดี มีความเป็นกรดอ่อน ๆ คือ มีค่าความเป็นกรดของดิน (ค่า pH) ประมาณ 5-6 ส่วนดินที่มีสภาพเป็นด่างมังคุดจะเจริญเติบโตได้ช้า พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกมังคุดควรมีสภาพภูมิอากาศร้อนและชุ่มชื้น คือ มีอุณหภูมิสม่ำเสมออยู่ ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส เกือบตลอดปี มีฝนตกชุกสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 1,300 มิลลิเมตรต่อปี และที่สำคัญต้องเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำเพียงพอที่จะให้กับต้นมังคุดได้ในฤดูแล้ง การนำมังคุดไปปลูกในสภาพอากาศแห้งแล้งและมี อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปจะพบปัญหาเรื่องใบไหม้ และการเจริญเติบโตช้า (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2541)

1.3 การเก็บเกี่ยวผลมังคุด

อายุของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว หลังจากที่มีมังคุดเริ่มติดผลแล้ว จะใช้ระยะเวลาประมาณ 11-12 สัปดาห์ (77-84 วัน) มังคุดก็จะมีขนาดแก่พร้อมที่จะทำการเก็บผลได้ ลักษณะของผลที่แก่แล้วเต็มทึบนี้ จะสังเกตได้จากเส้นสีแดง ๆ หรือที่เรียกกันว่าสายเลือดปรากฏขึ้นตามบริเวณผิวเปลือกภายนอกของผล จำนวนของเส้นดังกล่าวนี้ จะมีมากขึ้นอยู่กับความแก่ของผลมังคุดนอกจากนี้อาจจะสังเกตได้จากการหลุดของขั้วผล ผลมังคุดที่แก่เต็มที่ขณะที่ทำการปลิดผล หรือสอยผลจะหลุดตรงบริเวณปลิงของขั้วผลพอดี แตกต่างไปจากผลที่ยังไม่แก่ ซึ่งจะไม่เป็นในลักษณะดังกล่าวนี้ โดยระหว่างการเก็บเกี่ยวไม่ควรให้ผลมังคุดกระทบกระเทือน หรือหล่นกระแทกกับพื้นเพราะอาจทำให้เกิดอาการเปลือกแข็งเนื้อชุนเป็นแก้วทำให้จำหน่ายไม่ได้ราคา

1.4 การเปลี่ยนสีของผลมังคุด

ผลมังคุดเมื่อเข้าระยะแก่จะมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านการเจริญเติบโต และสีผิวของผลอยู่ตลอดเวลาจนกระทั่งถึงระยะผลสุก การเปลี่ยนแปลงของผลมังคุดในระยะดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ระยะ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีผิวของผลได้ดังนี้

1.4.1 ระดับสีที่ 0 ลักษณะผลมีสีเขียวอมเหลืองสม่ำเสมอ หรือมีสีเขียวอมเหลืองเต็มด้วยสีเขียวอ่อนหรือจุดสีเทา มียางสีเหลืองภายในเปลือกในระดับรุนแรงมาก เนื้อและเปลือกไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้ ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนสีไปเป็นระดับสีที่ 6 ก็ตาม แต่ผลที่ได้จะมีรสชาติไม่ดี

1.4.2 ระดับสีที่ 1 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมเขียว มีจุดสีชมพูกระจายอยู่บางส่วนของผิวผล ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่ในระดับรุนแรง เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ผลที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้ ถึงแม้จะเปลี่ยนสีไปเป็นระดับที่ 6 แต่ผลที่ได้จะมีรสชาติไม่ดีเช่นกัน

1.4.3 ระดับสีที่ 2 ผลมีสีเหลืองอ่อนชมพู มีสีชมพูกระจายไปทั่วทั้งผล ยางภายในเปลือกยังมีอยู่ในระดับปานกลาง การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ยากถึงปานกลาง เป็นระยะอ่อนที่สุดสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลที่มีคุณภาพ

1.4.4 ระดับสีที่ 3 ผลมีสีชมพูสม่ำเสมอ ประสีชมพูเริ่มขยายเข้ามารวมกันไม่แบ่งแยกกันอย่างชัดเจนเหมือนในระดับสีที่ 2 ข้างภายในเปลือกยังคงมีอยู่น้อยถึงน้อยมากการแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกปานกลาง เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวผลเพื่อส่งออกต่างประเทศ

1.4.5 ระดับสีที่ 4 ผลสีแดงหรือน้ำตาลอมแดง บางครั้งมีแต้มสีม่วง ข้างภายในเปลือกมีน้อยมากจนถึงไม่มีเลย การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกดีมากเหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกต่างประเทศเป็นระยะที่เกือบจะรับประทานได้

1.4.6 ระดับสีที่ 5 ผลมีสีม่วงภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่รับประทานได้

1.4.7 ระดับสีที่ 6 ผลมีสีม่วงหรือม่วงเข้มจนถึงดำ ซึ่งบางครั้งพบว่ามีสีม่วงปนอยู่เล็กน้อยภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่เหมาะสมแก่การรับประทาน (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

1.5 ลักษณะความผิดปกติของผลมังคุด (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ปัญหาที่สำคัญที่สุดของมังคุดคือ ปัญหาเรื่องของผลมังคุดไม่ได้คุณภาพ เนื่องจากการขาดการบำรุงรักษา และปัญหาการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตมีปัญหาบางประการที่ลดคุณภาพของผลมังคุด

1.5.1 เปลือกแข็ง ในการเลือกซื้อมังคุดนั้นเรามักจะเลือกโดยการบีบดูผลที่เปลือกนิ่ม ผลที่เปลือกแข็งเป็นไต บีบไม่ลงทั้งผลหรือบางส่วน ซึ่งผลที่แข็งนี้เมื่อผ่าดูด้านใน เนื้อจะเสียเป็นส่วนใหญ่ หรือถ้าเป็นมากผลที่เปลือกแข็งนี้จะแข็งเป็นหินผ่าไม่ออกเลย ผลที่เก็บไว้นานเกินก็จะมีเปลือกแข็งเช่นนี้เช่นกัน

1.5.2 ผลบุบ ลักษณะจะพบผิวเปลือกของมังคุดด้านใดด้านหนึ่งบุบหรือยุบเข้าไปข้างในเป็นรอยบุบ ซึ่งเกิดจากการกระแทกจากการสอยหล่นหรือจากการกระทบกันในภาชนะระหว่างการขนส่งที่ไม่ระมัดระวัง

1.5.3 เนื้อแฉ่ำ โดยปกติเนื้อมังคุดจะมีลักษณะนุ่มและมีสีขาวขุ่น ส่วนเนื้อมังคุดที่เป็นเนื้อแฉ่ำจะใส มีลักษณะฉ่ำน้ำอยู่ภายใน เนื้อมีความกรอบ รสชาติค่อนข้างจืด อาการเนื้อแฉ่ำมักจะ

เกิดกับกลีบเนื้อหรือกลีบที่มีเมล็ดและลูกกลมไปยังกลีบข้างเคียง ถ้าอาการรุนแรงอาจจะสังเกตได้จากภายนอก คือ ผิวเปลือกจะมีรอยร้าวตามแนวนอน ถ้ารอยร้าวนี้ยาว เนื้อแก้วในผลนั้นจะมีมาก หากอาการเนื้อแก้วเกิดเพียงเล็กน้อยอาจไม่พบอาการผิดปกติใดๆ บนผิวผลเลย ถ้าเป็น ไม่มากบางคนอาจจะชอบรับประทานเพราะเนื้อจะกรอบกว่าเนื้อมังคุดทั่วไป แต่ถ้าเป็นทั้งผลจะทำให้มังคุดเสียคุณภาพอาจทำให้เปลือกแข็ง ถือว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว นี้เป็นมังคุดเสีย และต้องคัดออกถ้าส่งต่างประเทศ

1.5.4 ผลแตก ในแปลงมังคุดที่เก็บเกี่ยวผลโดยการสอยให้ตกกระแทกพื้น มักจะพบผลที่มีลักษณะแตกร้าวเป็นรอย ซึ่งนอกจากจะทำให้ผลเสียคุณภาพแล้ว ยังทำให้เชื้อราเข้าทำลายเนื้อมังคุดภายในได้อีกด้วย

1.5.5 ยางไหล มี 2 ชนิด คือ ยางไหลภายนอก และยางไหลภายใน

ก. ยางไหลภายนอก ที่ผิวของผลจะมียางสีเหลืองปูดขึ้นมาเกาะเป็นก้อนอยู่ที่ผิว อาการยางไหลมีมากน้อยต่างกันไป บางลูกอาจจะมียางไหลเพียงจุดเดียวขณะที่บางลูกมียางไหลเป็นรอบที่ผิวเกือบทั้งลูก สาเหตุยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่สันนิษฐานว่าเกิดจากการทำลายดูดกินของไร เพลี้ยไฟ หรือแมลงวันทอง แมลงพวกนี้ทำให้เกิดแผลแล้วจะมียางไหลออกมา แต่ก็ยังไม่มีผลกาดทดลองยืนยัน ผลที่มียางไหลนี้ไม่มีผลทำความเสียหายต่อภายในผล เพียงแต่ปูดออกด้วยแรงก็สามารถส่งไปขายได้ แต่ทำให้เสียเวลาในการทำและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และผลมีผิวไม่สวยเท่าที่ควร

ข. ยางไหลภายใน สาเหตุที่แท้จริงยังไม่ทราบ แต่จากการสังเกตพบว่ามังคุดที่ตกจากต้นโดยการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกวิธี โดยเก็บระยะผลที่ค่อนข้างอ่อนก็จะมีโอกาส เกิดยางไหลภายในผลมังคุดต้นที่ไม่ค่อยสมบูรณ์ก็มีอาการยางไหลภายในอีกลักษณะหนึ่งเพราะท่อน้ำเลี้ยงของผลภายในแตก ยางซึ่งขณะผลกำลังอ่อนก็จะออกมาทำให้เกิดอาการดังกล่าว

1.5.6 ผลกร้านหรือจึกลาก จะมีอาการเกิดเป็นปื้นหรือแถบสีน้ำตาลบางๆ เกิดขึ้นบนผิวของผลมังคุด อาการผลกร้านนี้พบตั้งแต่เริ่มติดผลที่อยู่บนต้นจนกระทั่งผลแก่ อาการผลกร้านหรือจึกลาก เกิดจากการทำลายของเพลี้ยไฟและไรแดง

1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วในมังคุด

การศึกษาข้อมูลทางภูมิอากาศต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วของมังคุด พบว่า จำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วและความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในช่วงที่เก็บเกี่ยวผลมังคุด คือ ถ้าปริมาณฝนมากพบจำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วและอาการรุนแรงมากด้วย และการให้น้ำเพิ่มจากการให้น้ำแบบปกติ มีแนวโน้มว่าทำให้มีจำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วมากกว่าต้นที่ให้น้ำแบบปกติ (ศรีสังวาลย์, 2537)

การศึกษาอิทธิพลของน้ำต่อการเกิดลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลมังคุด พบว่าการให้น้ำเหนือทรงพุ่ม ทำให้เกิดอาการเนื้อแก้วมากกว่าการให้น้ำเฉพาะใต้ทรงพุ่ม และพบอีกว่าผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วมีปริมาณอากาศในเนื้อผลน้อยกว่าเนื้อปกติ 15 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.02 ของปริมาตรเนื้อมังคุด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำในเนื้อผล พบว่าเนื้อแก้วมีปริมาณน้ำในเนื้อผลมากกว่าเนื้อปกติร้อยละ 1.21 แสดงให้เห็นว่าน้ำได้เข้าไปแทนที่อากาศ จึงทำให้เนื้อมังคุดมีลักษณะใส ส่วนความแน่นเนื้อของเนื้อแก้วสูงเป็น 3 เท่าของเนื้อปกติ (วรภัทร, 2539) นอกจากนั้นคณะวิจัยยังพบว่า อาการเนื้อแก้วส่วนใหญ่มักพบกับเมล็ดใหญ่ที่สุดในผล หากเป็นทั้งผลจะพบว่า เปลือกผลจะบางกว่าปกติ และมีอาการน้ำเน่า และบริเวณก้นผลจะมีวงสีเข้มกว่าสีผลบริเวณอื่นๆ และปริมาณน้ำในเปลือกผลยังมีความสัมพันธ์กับอาการเนื้อแก้วที่ $R^2 = 0.67$

การศึกษาทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อมังคุดปกติและเนื้อมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว พบว่า มังคุดเนื้อแก้วมีปริมาณ water soluble pectin และ CDTA soluble pectin ต่ำกว่าเนื้อปกติ แต่มีปริมาณ Na_2CO_3 soluble pectin สูงกว่าเนื้อปกติ ในเมล็ดสมบูรณ์มีปริมาณ soluble solids และ titratable acidity ต่ำกว่าในเมล็ดลีบ เมื่อเกิดอาการเนื้อแก้วปริมาณกรดซัคซินิกเพิ่มขึ้น และกรดดีมาลิกลดลง การแช่เนื้อมังคุดในสารละลายกรดมาลิก 15 % ภายใต้สภาพความดันต่ำทำให้ค่าความแน่นเนื้อของมังคุดสูงกว่าการให้สารละลายอื่น ๆ ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเพกตินในมังคุดมีการเปลี่ยนรูปจากที่ไม่ละลายน้ำเป็นรูปที่ละลายได้มากขึ้นเมื่อผลมีอายุมากขึ้น แต่เมื่อได้รับน้ำมากเกินไป เซลล์เกิดความเสียหาย สารละลายต่างๆ จึงรั่วไหลออกมายังบริเวณผนังเซลล์ ส่งผลให้เพกตินเปลี่ยนเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำอีกครั้งทำให้มังคุดเนื้อแก้วมีความแข็งมากกว่าเนื้อปกติ (ศิริวรรณและจรัสแท้, 2544)

ลักษณะของมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้วมีความแตกต่างกัน พบว่ามังคุดเนื้อแก้วมีความชื้นในเปลือก (65%) มากกว่ามังคุดเนื้อปกติ (63%) ความถ่วงจำเพาะของมังคุดเนื้อแก้วจะมีค่ามากกว่า 1 และมังคุดเนื้อปกติจะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 ความถ่วงจำเพาะและการแตกของเปลือกตามธรรมชาติสามารถใช้แยกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ มังคุดเนื้อแก้วจะมี solublesolids concentration และเปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดต่ำกว่ามังคุดเนื้อปกติ (Pankasemsuk et al., 1996)

สำหรับแนวโน้มนำการส่งออกมังคุดของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยสามารถบรรลุข้อตกลงการจัดตั้งเขตการค้าเสรีกับประเทศต่างๆ ซึ่งจะทำให้การค้ามังคุดมีโอกาสขยายตัวเพิ่มขึ้น ปัญหาสำคัญที่เป็นอุปสรรคคือ คุณภาพของมังคุดไทยยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการของตลาดโลก นั่นคือ ผลต้องมีความสมบูรณ์ ปราศจากตำหนิร่องรอยการทำลายของโรคแมลง มีขนาดผลสม่ำเสมอ ไม่มีอาการผลแตก ไม่มีอาการกั้นผลจิบ มีสีนวลตามธรรมชาติ ภายในผลต้องไม่มีอาการเนื้อแก้ว และ ขางไหล ดังนั้น ถึงแม้ว่าลักษณะภายนอกของผลมังคุดจะสมบูรณ์ปราศจากร่องรอยแต่อาจจะมีคุณภาพที่ไม่ยอมรับก็ได้ ถ้าปรากฏอาการเนื้อแก้วภายใน อันเป็นปัญหาสำคัญที่รบกวนการแก้ไขอยู่ในปัจจุบัน

2. วิธีการวัดคุณภาพแบบไม่ทำลาย (Nondestructive)

วิธีการวัดคุณภาพแบบไม่ทำลาย เป็นวิธีการประเมินคุณภาพของผักและผลไม้โดยมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพโดยไม่ทำลายตัวอย่าง ซึ่งการศึกษาวิธีการวัดคุณภาพของผักและผลไม้แบบไม่ทำลายนี้ เริ่มขึ้นในช่วงต้นทศวรรษที่ 70 ณ ประเทศญี่ปุ่น งานวิจัยในระยะแรกมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อพัฒนาเทคนิคสำหรับตรวจวัดสีผิวของผลผลิตโดยใช้แสงขาว (visible light) หลังจากนั้นแนวทางการศึกษาวิจัยได้ขยายออกไปสู่การพัฒนาเพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลผลิต เช่น ระดับความแก่ ความแน่นเนื้อ ความผิดปกติบริเวณผิวเปลือก โดยใช้เทคโนโลยีหลายชนิด ได้แก่ delayed light emission (DLE) แสงเหนือแดง (infrared: IR) แสงฟลูออเรสเซนส์ (fluorescence) การตอบสนองคลื่นเสียง (sound response) ต่อมาในช่วงปลายทศวรรษที่ 80 เทคโนโลยีสเปกโทรสโกปีรังสีย่านใกล้แสงเหนือแดง (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อสายงานการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายตัวอย่าง นักวิจัยในประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาเทคโนโลยี NIRS เพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ภายในผลผลิตหลายชนิด เช่น ผลท้อ ผลพีร์ แอปเปิ้ล ส้ม และอื่นๆ (Kawano, 2002)

การวัดคุณภาพของผักและผลไม้เริ่มกลายเป็นสิ่งสำคัญมากขึ้น เนื่องจากความต้องการอาหารที่มีคุณภาพสูงขึ้นของผู้บริโภค และความสามารถในการประเมินคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวที่สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง จากแรงอุปสงค์นี้จึงทำให้ผู้ผลิตอาหารมีความกระตือรือร้นมากขึ้นที่ตรวจสอบสินค้าของตนให้ได้มาตรฐาน ซึ่งเทคนิคสเปกโทรสโกปีรังสีย่านใกล้แสงเหนือแดง (NIRS) มีความเป็นไปได้อย่างยิ่งในการประเมินคุณภาพพืชที่มีความชื้นภายในสูง และมีความแม่นยำ รวดเร็ว ประหยัด และไม่ทำลายตัวอย่าง (Kays, 2000)

3. สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

3.1 หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้

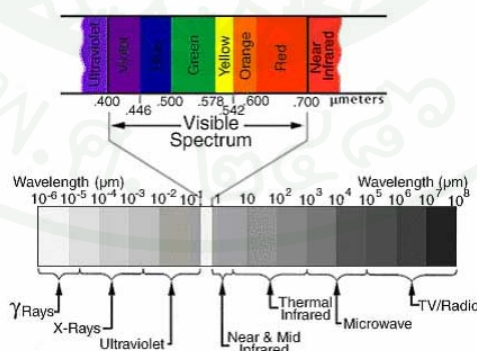
พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแปรโดยตรงกับความถี่แต่แปรผกผันกับความยาวคลื่น ถ้าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากความถี่มาก จะมีความยาวคลื่นสั้น (นิพนธ์, 2545) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งช่วงออกตาม ความยาวคลื่น ความถี่ และพลังงานของคลื่น ดังภาพที่ 1

$$E \propto \nu \propto 1/\lambda$$

E = พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ν = ค่าความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

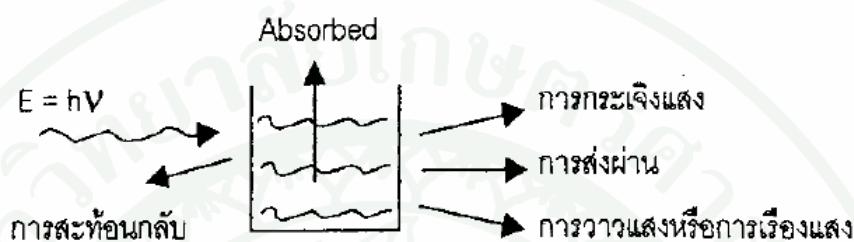
λ = ค่าความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 1 ช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: www.school.net.th

หลักการของสเปกโทรสโกปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (scattered) ดังแสดงในภาพที่ 2 (นิพนธ์ , 2545)



ภาพที่ 2 การกระทำกับสารในแบบต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: นิพนธ์ (2545)

สเปกโทรสโกปีของอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700 - 2500 นาโนเมตร (รณฤทธิ์, 2551) โดยมีหลักการดังนี้ คือเมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ แล้วสารเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง near infrared ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะ รวมทั้งตำแหน่งของโมเลกุลและช่วงการดูดกลืนแสงก็เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันด้วย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลก็จะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ จากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสถานะพื้น (ground vibration level) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สถานะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงานความร้อน ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (Absorbance, A) เป็นไปตามกฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต (Beer-Lambert) พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne *et al.*, 1993) สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H - atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล N-H พบในโปรตีน C-H พบในน้ำมัน (นิพนธ์, 2545)

ความยาวคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้สามารถแบ่ง ออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงความยาวคลื่นสั้นตั้งแต่ 700-1000 นาโนเมตร และช่วงความยาวคลื่นยาวตั้งแต่ 1000-2500 นาโนเมตร ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดตัวอย่างที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดตัวอย่างของแต่ละช่วงความยาวคลื่น

พารามิเตอร์	ช่วงความยาวคลื่นสั้น	ช่วงความยาวคลื่นยาว
ช่วงคลื่น	700-1000 nm.	1000-2500 nm.
การดูดกลืนของโมเลกุล	ต่ำ	สูง
พลังงานที่ใช้ในการทะลุ	สูง	ต่ำ
ทะลวง	(7-10 mm.)	(1 mm.)
ความชื้นในตัวอย่าง	สูง	ต่ำ
โหมดการวัดที่นิยมใช้	Transmittance, Interactance	Reflectance, Transflectance

ที่มา: รณฤทธิ์ (2551)

ในทางปฏิบัติปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงส่องผ่าน จึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกัน เรียกว่า กฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

เนื่องจาก T (Transmittance) คือ

$$T = \frac{I}{I_0}$$

ดังนั้น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc = \log \frac{1}{T}$$

เมื่อ I = ความเข้มของแสงความยาวคลื่นเดียว

ϵ = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง ปกติเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นและอุณหภูมิ

I_0 = ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลาง เมื่อ $b = 0$

b = ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

c = ความเข้มข้นของสารในหน่วย โมล/ลิตร

A = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

โมเลกุลของสารแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เนื่องจาก การจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลต่างกัน นอกจากนั้นในแต่ละโมเลกุลจะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นมากกว่า 1 ช่วง เช่น โมเลกุลของน้ำ (H_2O) ที่มีมากในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น 4 ช่วง คือ 760, 970, 1450 และ 1940 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าทำการทดสอบในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวจะสามารถหาความสัมพันธ์ของน้ำภายในตัวอย่างได้ (Osborne และคณะ, 1993) นอกจากนั้นในผลิตภัณฑ์อาหารยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น โปรตีน ไขมัน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบภายในอาหารกับช่วงอินฟราเรด

องค์ประกอบ	โมเลกุลที่เกี่ยวข้อง	ช่วงที่เกี่ยวข้อง	
		ความยาวคลื่น (nm.)	เลขคลื่น (cm^{-1})
น้ำ	- OH	1920 – 1950,	5208 – 5128,
		1400 - 1450	7142 – 6896
โปรตีน	- NH	2080 – 2220,	4807 – 4504,
		1560 – 1670	6410 – 5988
ไขมัน	Methylene, - CH, - CH_2 ,	2300 – 2350,	4347 – 4255,
	- CH_3	1680 – 1760	5952 – 5681
คาร์โบไฮเดรต	- CO, - OH combination	2060 - 2150	4854 - 4651

ที่มา: นิพนธ์ (2542)

การตรวจวัดตัวอย่างด้วยเครื่อง NIR Spectroscopy ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของสเปกตรัม ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance : A) และความยาวคลื่น (นาโนเมตร) โดยเครื่อง NIRS นั้นจะมีการต่อเชื่อมกับโปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ เพื่อรวบรวมและประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากเครื่อง NIRS

3.2 เทคนิคในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

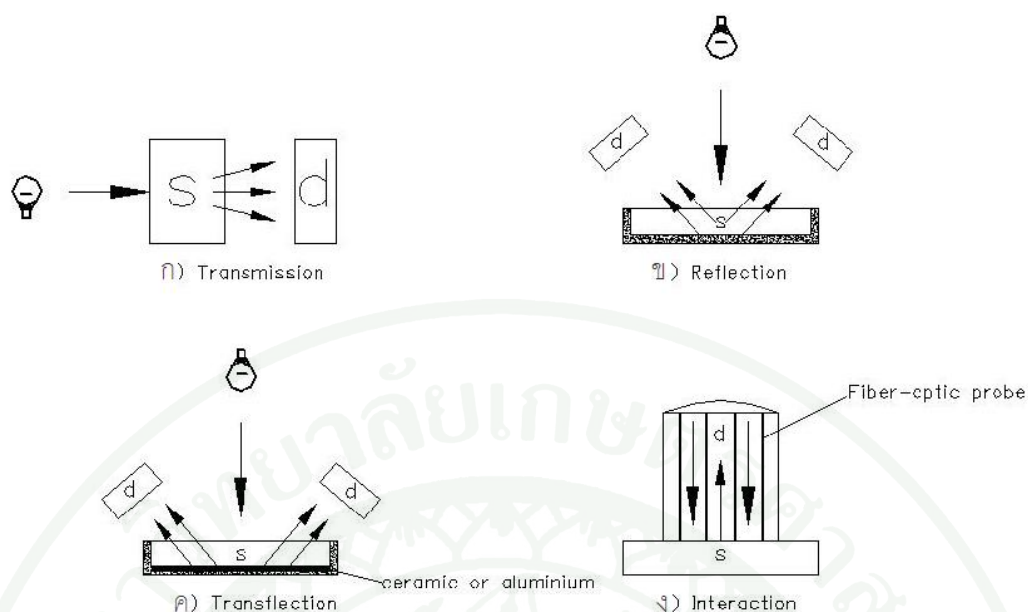
การจัดลักษณะการวางตัวอย่างเพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจโดยใช้เทคนิค NIR ได้แก่ (ศุมาพร, 2545)

3.2.1. Transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ ดังภาพที่ 3ก

3.2.2. Reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง แล้วจึงวัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย ดังภาพที่ 3ข

3.2.3. Transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุด แล้วสะท้อนกลับมายัง detector ดังภาพที่ 3ค

3.2.4. Interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอกมาตกกระทบตัวอย่าง แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe ดังภาพที่ 3ง



ภาพที่ 3 เทคนิคการวัดตัวอย่าง

ที่มา: สุมาพร (2545)

3.3 การปรับแต่ง NIR Spectra ก่อนการวิเคราะห์ (Pretreatment of spectral data)

สัญญาณสเปกตรัมที่วัดได้ บางครั้งจะมีสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามา ซึ่งอาจเกิดจาก สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียง หรือสาเหตุอื่นๆ ส่งผลให้ สเปกตรัมไม่เรียบ ซึ่งจำเป็นจะต้องปรับแต่งให้เรียบก่อนการวิเคราะห์ (อนุพันธ์, 2545)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสเปกตรัมอื่นๆ ได้แก่ ขนาดของอนุภาคและความชื้น ซึ่งทำให้ สเปกตรัมที่ได้มีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากการกระเจิงแสง และความแตกต่างที่เป็นผลมาจาก ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการวัด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความแตกต่างในผลเชิงบวก (Additive scattering) ทำให้สเปกตรัมเพิ่มขึ้น ตามตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือผลเชิงคูณ (Multiplicative scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสูงขึ้น (อนุพันธ์, 2545)

นอกจากนี้สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสง ในอินฟราเรดย่านใกล้ เป็นสเปกตรัมที่มี การเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ (Overlapping band) ดังนั้น ในการวิเคราะห์จึงควรนำไปปรับแต่งด้วย

วิธีการทางคณิตศาสตร์ก่อนเพื่อให้สเปกตรัมมีความเด่นชัดมากขึ้น และลดความคลาดเคลื่อนให้เหลือน้อยที่สุด วิธีการที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ (อนุพันธ์, 2545)

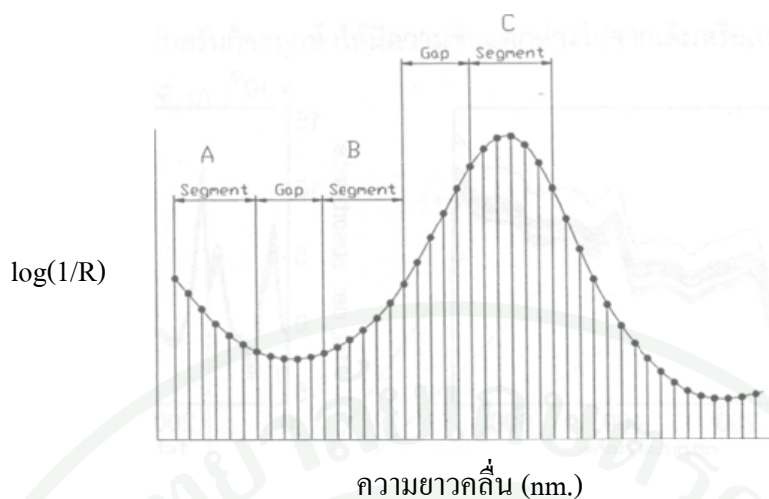
3.3.1 Derivative transformation

ก. First derivative การคำนวณ Derivative หรือ ความชันของสเปกตรัม สามารถทำได้ดังนี้

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

โดยที่ A และ B คือ ค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของ Segments ที่มีช่วงเท่ากัน และอยู่ติดกัน

ในการคำนวณต้องกำหนดขนาดของ Segment และ Gap ก่อน ซึ่งขนาด Segment คือ ขนาดของความยาวคลื่นที่เราทำการเฉลี่ย ให้ได้ค่าใหม่เพื่อเป็นตัวแทนขึ้นมาหนึ่งจุด แล้วทำการข้ามช่วงความยาวคลื่นไปเท่ากับขนาดของ Gap เพื่อเริ่มนับเป็นจุดแรกในการคำนวณ Segment ต่อไป ตัวอย่างดังในภาพที่ 4 เป็นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นที่แต่ละจุดห่างกัน 2 นาโนเมตร มีขนาด Segment และ Gap เท่ากับ 12 และ 10 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยที่ จุด A คือ จุดที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 12 นาโนเมตร (ขนาด Segment) จากนั้นข้ามไป 10 นาโนเมตร (ขนาด Gap) แล้วจึงเฉลี่ยอีกครั้งในช่วงความยาวคลื่น 12 นาโนเมตร เพื่อให้เป็นจุด B แล้วนำค่า A ลบจากค่า B ผลที่ได้นำไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดเริ่มต้นของ Segment แรก ซึ่งการคำนวณจะกระทำทุก Segment ต่อเนื่องกันไปจนตลอดความยาวคลื่น ต่อจากนั้นก็ขยับ Segment ไปทางขวา 1 จุด หรือ 2 นาโนเมตร แล้วคำนวณซ้ำเหมือนที่กล่าวมาจนเสร็จสิ้น



ภาพที่ 4 ขนาด Segment และ Gap ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative

ที่มา: อนุพันธ์ (2545)

First derivative ใช้ได้ผลกับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอ และมีการกระจายของอนุภาคสม่ำเสมอทั่วถึง นอกจากนั้นแล้ว First derivative ของสเปกตรัมจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น

ข. Second derivative คือ การคำนวณผลลบของ ค่าที่ได้จาก First derivative ที่ติดกันนั่นเอง หรือเป็นที่รู้จักกันว่าเป็นการคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัม มาจากสูตรดังนี้

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

เขียนแทนด้วย

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

สามารถคำนวณได้จาก

Second derivative = change in slope

= First derivative แรก – First derivative ถัดมา

= (C - B) – (B - A)

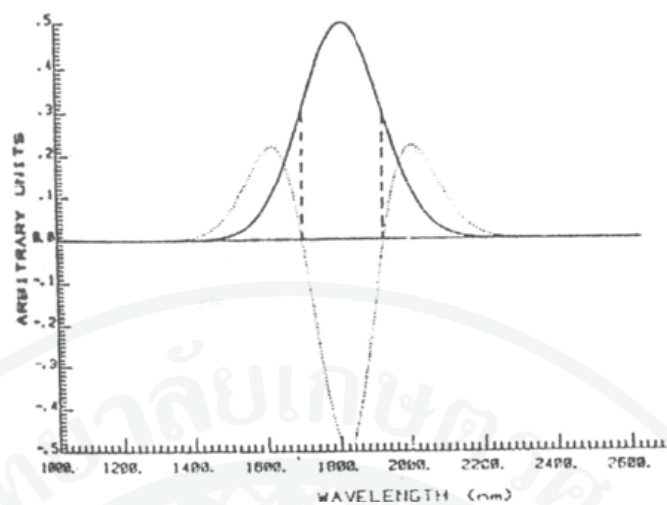
= C - 2B + A

โดยที่ A, B และ C เป็นค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของ Segments ที่ติดกัน และมีช่วงเท่ากัน

การคำนวณคล้ายกับ First derivative โดยในการคำนวณค่า Second derivative ของจุดแรก ต้องหาค่า C ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมในช่วงที่สาม หรือ C ในภาพที่ 4 แล้วคำนวณผลลบของค่าเฉลี่ยใน Segment แรก และ Segment ที่สอง ซึ่งก็คือ B-A แล้วคำนวณผลลบของค่าเฉลี่ยใน Segment ที่สองและ Segment ที่สาม ซึ่งก็คือ C-B แล้วนำผลลบค่าแรกมาลบออกจากผลลบค่าที่สอง ตามสมการ ค่าผลลบสุดท้ายที่ได้นำไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดแรกของ Segment แรก และคำนวณผลลบตามสมการ ไปจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ต่อจากนั้นจึงเลื่อนไปทางยาว 1 จุด หรือ 2 นาโนเมตร แล้วทำการหาซ้ำจนเสร็จสมบูรณ์

การใช้ Second derivative จะช่วยลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง ทั้งที่เป็นผลเชิงบวกที่ทำให้ขนาดสเปกตรัมเพิ่มขึ้นทั้งที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น และผลเชิงคูณที่ทำให้ขนาดสเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น Second derivative ใช้ได้ผลดีกับตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ผสมผสานกันอยู่

First derivative ให้ความหมายเป็นค่าความยาวคลื่นที่แต่ละความยาวคลื่น ซึ่งทำให้แปลความหมายยากกว่า Second derivative ซึ่งได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจาก Second derivative จะให้จุดยอดตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเดิม แม้ว่าจะกลับหัว ดังภาพที่ 5

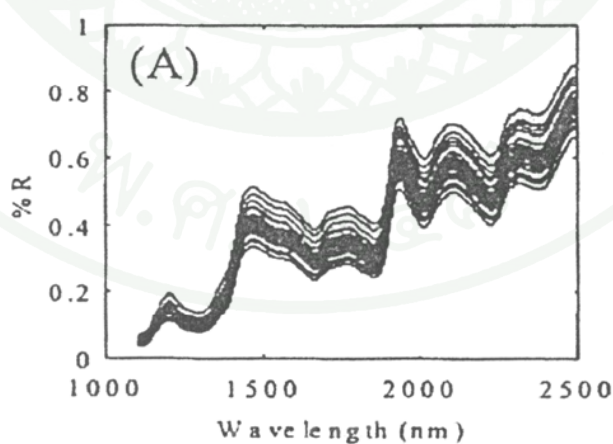


ภาพที่ 5 สเปกตรัม และ Second derivative ของสเปกตรัม

ที่มา: Hruschka (1987)

3.3.2 Multiplicative scatter correction (MSC)

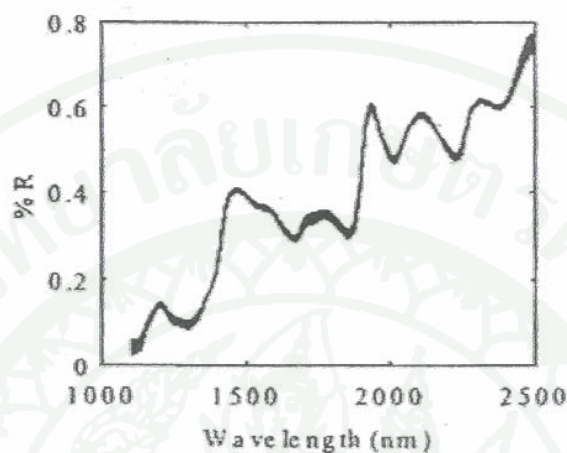
เป็นวิธีการที่ช่วยลดผลจากการกระเจิงของแสง ซึ่งโดยทั่วไปการกระเจิงของแสง ทำให้ความชันของสเปกตรัมโดยรวมเปลี่ยนไป ดังภาพที่ 6 คล้ายกับว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุด



ภาพที่ 6 NIR สเปกตรัม ที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect ก่อนการปรับแก้ด้วย MSC

ที่มา: Boyworth and Booksh (2001)

วิธีการ MSC คือ ทำการหมุนสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย มีขั้นตอน คือ ในแต่ละตัวอย่างต้องหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาลบออกจากสเปกตรัมเพื่อลดผลที่เกิดจากการเลื่อนตัวของสเปกตรัม และต้องหาค่าคงที่อีกค่าหนึ่งมาหาร ค่า $\log(1/R)$ ของทุกๆจุดเพื่อปรับความชันของสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป ได้สเปกตรัมดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect หลังการปรับแก้ด้วย MSC

ที่มา: Boyworth and Booksh (2001)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจาก Near Infrared Spectral

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR จะอยู่ในรูปของสเปกตรัม ส่วนข้อมูลของค่าคุณลักษณะคุณภาพวิเคราะห์ได้จากวิธีแบบ conventional นำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 ส่วนมารวมเข้าด้วยกันแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือขั้นตอนการวิเคราะห์หาสมการ calibration เพื่อใช้เป็น model ในการวัดค่าคุณลักษณะคุณภาพต่าง ๆ ตามที่ต้องการตรวจสอบ ส่วนขั้นที่ 2 เป็นขั้นตอนการทดสอบความแม่นยำของสมการ calibration ที่สร้างขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเรียกว่า ขั้นตอนการทำ validation เพื่อเลือกสมการที่มีความเหมาะสม และสามารถทำนายค่าได้แม่นยำมากที่สุด เมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงจะนำสมการ calibration ที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIR ที่ทำการวัดมาได้

3.4.1 การสร้างสมการ Calibration

การหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์
คุณภาพ มีวิธีการหา 2 วิธีหลัก คือ

ก. Wavelength selection

เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ เฉพาะความยาวคลื่น ที่น่าจะมีความสัมพันธ์
กับตัวแปรที่จะทำการวิเคราะห์ เทคนิคในการคัดเลือกมีหลายแบบเช่น

- 1) เลือกจากความรู้ความชำนาญ หรือเอกสารอ้างอิง ที่บ่งบอกถึงช่วงความยาว
คลื่นที่คาดว่าจะสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์
- 2) อาจจะใช้เทคนิคทางสถิติในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมี
ความสัมพันธ์ เช่น Multiple regression หรือการสร้าง correlogram

การสร้าง correlogram เป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แกน X คือ
ความยาวคลื่น กับ แกน Y คือ ค่า correlation อย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่าง optical data ณ
ความยาวคลื่นนั้น กับค่าวิเคราะห์ที่หามาได้ด้วยวิธี reference measurement ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัย
สามารถคัดเลือกความยาวคลื่นที่มีความเป็นไปได้ที่จะสัมพันธ์ กับค่าที่วิเคราะห์

วิธีการสร้างสมการ Calibration แบบ Wavelength selection อาศัยหลัก และ
วิธีการทางสถิติมาช่วยในการสร้างสมการ เช่น Simple linear regression, Multiple linear regression
 เป็นต้น

แต่การเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากความยาวคลื่นทั้งหมด ไม่ใช่เรื่อง
ง่าย และอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ ค่าข้อมูลที่ไม่ถูกต้องอาจเกิดปัญหา ทำให้ได้ค่าทำนายที่ต่ำกว่า หรือ
สูงกว่าค่าแท้จริงอันเนื่องมาจากความผิดพลาดจากการสร้างสมการ หรือเกิดปัญหาเมื่อจำนวน
ตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการน้อย และทำให้ได้สมการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการทำ
ให้ได้ข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ

ข. Full spectrum analysis

การใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีในทุกความยาวคลื่น เป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น อย่างไรก็ตามยังคงมีปัญหายู้ง้างคือ การที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไป การใช้วิธีทางสถิติ ในการจัดกลุ่มแยกประเภทตัวแปร ที่มีความเกี่ยวข้องกัน และทำการสร้างตัวแปรใหม่ที่เกิดมาจากตัวแปรเดิม จะช่วยทำให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ คือ Principle Components Regression (PCR), Partial Least Square Regression (PLSR) เป็นต้น

3.4.2 การทำ Validation

หลังจากที่ได้สร้างสมการแล้ว ต้องมีการทดสอบความมีประสิทธิภาพของสมการนั้น ก่อนนำไปใช้งานจริง ซึ่งการทดสอบสมการที่นิยม มี 2 วิธี คือ

ก. Full cross validation

เป็นการทดสอบสมการภายใน ความหมายคือ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ ก็คือตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมด ที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีนั่นเอง มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
- 2) ใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่เหลือทำการสร้างสมการ
- 3) นำสมการที่ได้มาประเมินค่าทางเคมีของตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 เราตัดออกมาใส่ตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 กลับคืนเข้าไป
- 4) ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
- 5) ทำขั้นตอนซ้ำข้างต้น จนครบทุกตัวอย่าง

ดังนั้นตัวอย่างแต่ละตัว จะถูกตัดออกจากชุด ตัวอย่างละหนึ่งครั้งเท่านั้น ทำการหาค่า Root Mean Square Error of Cross Validation (RMSECV)

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{cv,i} - Y_i)^2}{n-1}}$$

6) การทดสอบผลการประเมิน (Prediction testing)

วิธีนี้จะทดสอบสมการแบบภายนอก โดยการเตรียมตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลอง เช่นเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการนี้ว่า ชุดทดสอบ (Testing set) ตัวแปรอิสระ(X) มากกว่าหนึ่งตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) สิ่งที่ต้องระวัง คือ ปริมาณค่าทางเคมี ที่เราจะใช้ทดสอบ ต้องอยู่ในช่วงชุดมาตรฐาน หลังจากได้สเปกตรัมจากชุดทดสอบก็นำค่าที่ได้ ไปคำนวณหา ปริมาณจากสมการค่าทางเคมี จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้จากค่าทางสถิติ ซึ่งค่าทางสถิติที่ควรพิจารณา คือ ค่า Bias คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธี NIR กับค่าที่ได้จากวิธี Reference และค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP)

3.4.3 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มคน สัตว์ หรือสิ่งของ ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลที่ทราบจำนวนกลุ่ม และทราบว่าแต่ละกรณีอยู่กลุ่มใด แล้วใช้ข้อมูลดังกล่าวในการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรที่คาดว่าจะทำให้ กรณีที่อยู่คนละกลุ่มมีความแตกต่างกัน และยังสามารถใช้สมการดังกล่าวจัดกลุ่มหรือพยากรณ์กลุ่มให้กับกรณีที่ยังไม่ทราบกลุ่ม โดยวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มคือ

ก. เพื่อหาสมการเชิงเส้นหรือฟังก์ชันจำแนกกลุ่มซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแยกกลุ่มหรือ ตัวแปรตาม (D) กับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว

ข. เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป (Multivariate) โดยการเปรียบเทียบค่ากลางของกลุ่ม

ค. เพื่อนำสมการ หรือฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่สร้างในข้อ 1 มาใช้ในการพยากรณ์ว่า กรณีใหม่ที่ยังไม่ทราบกลุ่มควรจะอยู่กลุ่มใด

ง. เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม

จ. สามารถใช้ฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่สร้างขึ้น มาใช้ในการประเมินเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม

โดยขั้นตอนของการจำแนกกลุ่ม หลังจากทราบจำนวนกลุ่มมาก่อนแล้ว คือ

- 1) กำหนดตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะมีผลหรือมีอิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่ม
- 2) เลือกตัวอย่างแต่ละกลุ่มเพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่ม
- 3) เก็บรวบรวมข้อมูลของตัวแปรอิสระที่เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1
- 4) สร้างเกณฑ์หรือสร้างสมการจำแนกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่เก็บจากขั้นที่ 2

และ 3

สำหรับสมการที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มจะอยู่ในรูปเชิงเส้น ดังนี้

$$D = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_px_p$$

D = ตัวแปรตามหรือเรียกว่า Discriminant score

b_i = สัมประสิทธิ์ของสมการจำแนกกลุ่ม

x_i = ตัวแปรอิสระหรือเรียกว่า ตัวแปรทำนายกลุ่ม

p = จำนวนตัวแปรทำนายกลุ่ม

k = จำนวนกลุ่ม

5) นำเกณฑ์หรือฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่ได้ในขั้นตอนที่ 4 มาทำนายกลุ่มของตัวอย่างที่เข้ามาใหม่

3.4.3 Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA)

Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) เป็นวิธีในการจำแนกกลุ่มของข้อมูลที่มีตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป วิธีนี้จำเป็นต้องกำหนดค่าอ้างอิงให้กับแต่ละกลุ่มข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งค่าที่อ้างอิงนี้จะกำหนดค่าในกลุ่มแรกให้มีค่าเท่ากับศูนย์และกลุ่มที่สองมีค่าเท่ากับหนึ่ง จากนั้นนำมาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยวิธี PLSR วิธี PLS-DA เป็นวิธีวิเคราะห์ข้อมูลโดยจะสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า Principal component (PC) ซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรต้นทุกตัว

โดย PC1 จะเป็นค่าที่อธิบายความแปรปรวนร่วมที่มากที่สุดของตัวแปรต้นของตัวอย่างกับค่าที่ใช้ทำนายแยกกลุ่มระหว่างสองกลุ่มข้อมูล ค่า PC ซึ่งเรียกว่า Score เมื่อพล็อตร่วมกันระหว่างสอง PC จะสามารถนำมาตรวจสอบการแบ่งกลุ่มของตัวอย่างได้ว่าถูกแยกด้วย PC ใด และตัวแปรต้นตัวใดที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการแยกระหว่างสองกลุ่ม โดยตรวจสอบดูค่า loading ซึ่งค่า loading ที่มีค่าสูงของ PC ที่ทำให้เกิดการแบ่งกลุ่มจะแสดงว่าตัวแปรต้นตัวดังกล่าวมีผลที่ทำให้เกิดการแบ่งกลุ่ม

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดคุณภาพของมังคุด

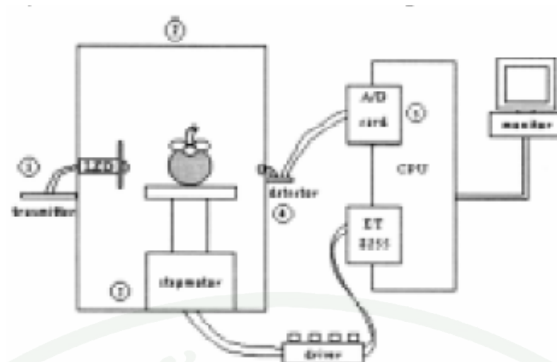
ธนัชชัย (2534) ศึกษาการวัดคุณภาพของผลมังคุดโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด พบว่า ผลมังคุดที่จมน้ำมีความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 1.01 เป็นผลมังคุดเนื้อแก้วร้อยละ 75.13 ส่วนผลที่ลอยน้ำมีความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.95 เป็นผลมังคุดเนื้อปกติ ร้อยละ 90.68 การหาความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดโดยวิธีการแทนที่น้ำ คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ความถ่วงจำเพาะผลมังคุด} = \frac{\rho_{\text{fruit}}(\text{g/cm}^3)}{\rho_{\text{water}}(\text{g/cm}^3)}$$

$$\rho_{\text{fruit}} = \text{ความหนาแน่นของผล (g/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_{\text{water}} = \text{ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm}^3\text{)}$$

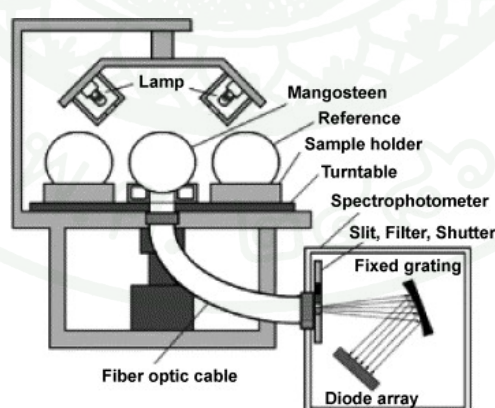
สุรเชษฐ์ และคณะ (2542) ศึกษาการตรวจสอบความแข็งของเนื้อมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR ในช่วงความยาวคลื่น 850-1250 นาโนเมตร ยิ่งทะลุผ่านผลมังคุด โดย NIR ที่ผ่านผลมังคุดจะมีการหักเหและดูดซึมพลังงานตามความแข็งของเนื้อมังคุดและไม้ปกติที่แตกต่างกัน จากการสร้างเครื่องตรวจสอบและทดลองกับผลมังคุดจำนวน 30 ผล พบว่าเครื่องตรวจสอบนี้สามารถแบ่งแยกเนื้อมังคุดที่แข็งได้ถูกต้องประมาณ 70 %



ภาพที่ 8 ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบความแข็งของเนื้อมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR

ที่มา: สุรเชษฐ์ และคณะ (2542)

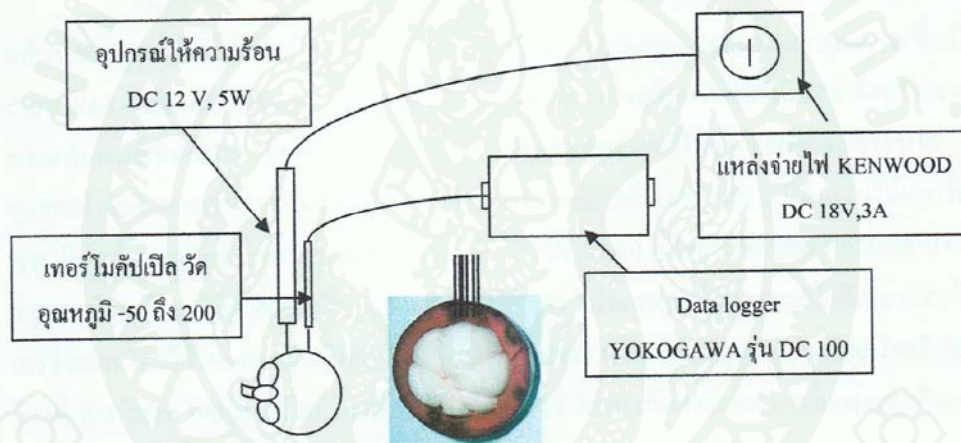
Teerachaichayut *et al.* (2007) ศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลาย โดยใช้ความยาวคลื่นสั้นใกล้อินฟราเรด (SW-NIR) แบบทะลุผ่าน สภาวะที่ดีในการตรวจสอบจะใช้ เวลา 78 ms ที่แหล่งกำเนิดแสง 200 วัตต์ โดยใช้การดูดกลืนแสงของมังคุด 193 ผล ที่ช่วงความยาว คลื่น 640-980 นาโนเมตร ที่ผิวมังคุด 4 จุดในแต่ละผล ผลการทดสอบที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ จำแนกกลุ่ม มีความถูกต้อง 92.0% ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องในการตรวจสอบมังคุด เนื้อแก้ว จากการศึกษาชี้แจงว่า SW-NIR สามารถใช้ในการทำนายความแม่นยำในการตรวจสอบ มังคุดเนื้อแก้วโดยไม่ทำให้ผลมังคุดเสียหาย



ภาพที่ 9 อุปกรณ์ SW-NIR แบบส่องผ่าน สำหรับวัดคุณภาพมังคุด

ที่มา: Teerachaichayut *et al.* (2007)

ปาริชาติ (2550) ศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือกพบว่า ระยะลึกที่เหมาะสมในการแทงอุปกรณ์ให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิล คือ ระยะ 3 มิลลิเมตร และช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือกที่เหมาะสมคือ 200 วินาที ผลการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม โดยใช้ตัวแปรอิสระเป็นค่าที่วัดทางด้านคุณภาพของมังคุดทั้งหมด แต่ใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์ได้กราฟ) มีความถูกต้องในการจัดกลุ่ม 68% ส่วนการใช้ตัวแปรอิสระ ค่าที่วัดทางด้านคุณภาพของมังคุดทั้งหมดแต่ใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (แฟลคเตอร์ PC) มีความถูกต้องในการจัดกลุ่ม 69.8% และเมื่อใช้ตัวแปรไม่ทำลายทั้งหมด ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าความแข็งเปลือก พารามิเตอร์ได้กราฟ และแฟลคเตอร์ PC ได้ผลความถูกต้องในการจัดกลุ่ม 74% และพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการจำแนกกลุ่มทั้ง 3 กลุ่ม ตัวแปรคือ Load at Limit



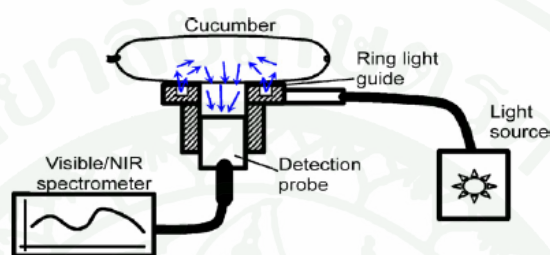
ภาพที่ 10 อุปกรณ์การวัดค่าการถ่ายเทความร้อนในเปลือกมังคุด

ที่มา: ปาริชาติ (2550)

3.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดคุณภาพโดยใช้ความยาวคลื่นย่านใกล้อินฟราเรด

Kavdir *et al.* (2006) ประเมินคุณภาพของแตงกวาดองโดยใช้ความยาวคลื่นย่านใกล้อินฟราเรด (VIS-NIR) โดยไม่ทำลายในโหมด Interactance ด้วยเครื่อง Low-cost CCD-based Vis/NIR spectroscopy ในช่วงความยาวคลื่น 550-1100 นาโนเมตร ดังภาพที่ 11 และเครื่อง InGaAs-based NIR spectrometer ในช่วงความยาวคลื่น 800-1650 นาโนเมตร ได้พัฒนาสมการ PLS Calibration สำหรับทำนายค่าความแน่นเนื้อ ความชื้นสีของเปลือก และปริมาณน้ำหนักแห้งของผล

แตงกวาดอง ผลจากการวัด NIR มีความสัมพันธ์กับค่า Magness-Taylor slope และพื้นที่ใต้กราฟของสมการ Calibration $r^2 = 0.7-0.73$ และ ของสมการ Validation มีค่า $r^2 = 0.67-0.70$ ซึ่งได้ผลดีกว่าการวัดด้วย Vis/NIR ส่วนวิธีการวัด Vis/NIR มีความสัมพันธ์ที่ดีกับสีผิวที่ $r^2 = 0.89$ ของสมการ Calibration และสมการ Validation มีค่า $r^2 = 0.83$ Vis/NIR มีความสัมพันธ์ที่ดีกับความเข้มสีที่ $r^2 = 0.76$ ของสมการ Calibration และ Validation ซึ่ง Vis/NIR มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแตงกวาดอง



ภาพที่ 11 การวัดสเปกตรัมของผลแตงกวาดองโดยใช้ Vis/NIR แบบ Interactance

ที่มา: Kavdir *et al.* (2006)

อาทิตย์ และคณะ (2549) ศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดทั้งหมดของผลแก้วมังกร โดยเทคนิค NIR ตัวอย่างที่ใช้คือผลแก้วมังกรพันธุ์ เบอร์ 100 สแกนตัวอย่างด้วยเครื่อง NIR ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร แล้วหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรด ผลการทดลองทางสถิติโดยวิธี Partial Least Square Regression (PLSR) โดยเน้นการเลือกช่วงความยาวคลื่นด้วยวิธีต่างๆ เพื่อสร้างสมการตามวิธี PLSR ช่วยให้สมการทำนายค่าปริมาณกรดได้แม่นยำมากขึ้น และค่าปริมาณกรดหลังจากลดอิทธิพลเปลือกโดยการหารด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1876 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับความแม่นยำในการใช้สเปกตรัมทั้งช่วงความยาวคลื่นมีผลไม่แตกต่างกัน

Saranwong *et al.* (2003) ศึกษาเทคนิคการทำนายคุณภาพของผลมะม่วงสุกหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยใช้ ความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด (NIR) โหมด Interactance ที่ช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร พบว่า ปริมาณ dry matter และแป้ง ในผลมะม่วงระยะที่ยังมีสีเขียวแก่ หลังจากการเก็บเกี่ยวเป็นตัวแปรสำคัญที่จะส่งผลกับความเหมาะสมของคุณภาพการรับประทาน เมื่อผลมะม่วงสุก สมการ Calibration ที่พัฒนาขึ้นนั้นมีความแม่นยำเพียงพอที่จะตัดสินคุณภาพ หลังจากการเก็บเกี่ยว ปริมาณ dry matter และแป้ง ในผลมะม่วงระยะที่ยังมีสีเขียวแก่ได้โดยไม่

ทำลาย โดยการทำนายด้วย NIR ปริมาณ dry matter และแป้ง ในผลมะม่วงระยะที่ยังมีสีเขียวแก่ ระยะสุก ปริมาณของแข็งที่ละลาย จะเป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่เหมาะสมแก่การรับประทานเมื่อผลสุก ซึ่งสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำหลังจากวันเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 12 อุปกรณ์ NIR แบบ Interactance สำหรับการวัดคุณภาพของผลมะม่วงสุก

ที่มา: Saranwong *et al.* (2003)

อนุพันธ์ และคณะ (2545) ศึกษาถึงการประเมินค่า Brix ในน้ำส้มของน้ำส้มพันธุ์ สายน้ำผึ้ง พันธุ์ลายน้ำตาล และพันธุ์ฟริมองต์ โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีของอินฟราเรดย่าน ไกล (NIR) แบบสะท้อนกลับ ในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 นาโนเมตร และวิเคราะห์หา สมการ Calibration ของค่า Brix ด้วยวิธี Multiple linear regression (MLR) จากการวิจัยพบว่า เมื่อ นำสมการ Calibration ที่สร้างจากส้ม 3 พันธุ์ มาประเมินค่า Brix ของส้มแต่ละพันธุ์จะประเมินค่า ได้แม่นยำขึ้นเฉพาะพันธุ์ฟริมองต์เท่านั้น (Standard error of prediction, SEP คือ 0.329) ส่วนพันธุ์ สายน้ำผึ้ง และพันธุ์ลายน้ำตาล สมการ Calibration รวมพันธุ์ ประเมินค่าได้แม่นยำน้อยกว่า สมการ Calibration ของแต่ละพันธุ์

Kawano *et al.* (1995) ศึกษาถึงอุณหภูมิต่อการวัดค่า Brix ของพีช โดยใช้ เทคนิค NIR สแกนผลพีชพันธุ์ Shimizu Hakuto ในช่วงคลื่น 680 – 1235 นาโนเมตร โดยควบคุมอุณหภูมิ ของผลไม้ โดยการใช้อ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 21 26 และ 31 องศาเซลเซียส ได้ผลดังนี้ สมการ Calibration ที่สร้างจากตัวอย่างที่มีอุณหภูมิคงที่จะวัดตัวอย่างที่มีอุณหภูมิหลากหลายได้ค่าที่ไม่คงที่ สเปกตรัมที่ได้มีผลกระทบจากอุณหภูมิของตัวอย่าง เช่น เมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงขึ้น การดูดกลืน

แสงที่ 841 และ 966 นาโนเมตรจะมีค่ามากขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำ เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เกิดอิทธิพลได้ง่ายต่อน้ำ ดังนั้นน้ำจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่เราจะคำนึงถึงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และ สมการ Calibration ที่สร้างจากตัวอย่างที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 21 – 30 องศาเซลเซียส มีความแม่นยำสูงในการทำนายค่าถึงแม้ตัวอย่างเราจะมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วงนั้น ดังนั้น เราอาจจะพัฒนาสมการ Calibration โดยการรวมกลุ่มตัวอย่างที่มีอุณหภูมิหลากหลายแล้วจึงสร้างสมการ Calibration ก็ได้

Fu *et al.* (2007) ศึกษาเปรียบเทียบการตรวจสอบอาการไส้ดำ (brown heart) ในผลสาเกโดยการวางผลสาเก 2 แบบ คือ ตามแนวนอน และ แนวตั้ง ด้วยเครื่อง Vis/NIR โหมดการทำงานแบบ transmission ที่ความยาวคลื่น 400-1028 nm. และเครื่อง FT-NIR โหมดการทำงานแบบ Diffuse reflectance ด้วย detector 2 ชนิด คือ Si ที่ความยาวคลื่น 670-1100 nm. และ InGaAs ที่ความยาวคลื่น 800-26300 nm. ด้วยวิธีการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) พบว่า โหมดการทำงานแบบ transmission สามารถใช้ตรวจสอบความผิดปกติภายในผลสาเกได้ดีกว่าแบบ Diffuse reflectance เมื่อวางผลสาเกตามแนวนอน โหมดการทำงานแบบ transmission ให้ความถูกต้องในการคัดแยกที่ดีที่สุด 91.2%

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่อง NIR spectrophotometer (FT 20; FANTEC Research Institute, Kosai, Japan)
2. ผลมังคุด
3. เครื่องคอมพิวเตอร์
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล (Adventurer; Ohaus Corp. Pine Brook, NJ, USA)
5. กล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล Canon IXY digital 10
6. ตู้อบลมร้อน
7. กระดาษฟอยล์
8. อุปกรณ์สำหรับวัดความถี่เฉพาะ

วิธีการ

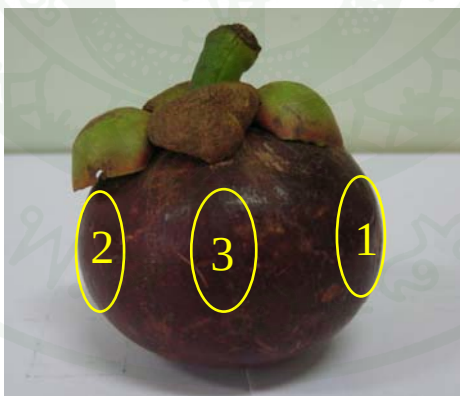
1. เตรียมตัวอย่างผลมังคุดจำนวน 220 ผล ซึ่งมีขนาดและผิวสำหรับการส่งออก โดยนำผลมังคุดที่ซื้อจากตลาดสดมาเก็บรักษาไว้ในห้องทดลอง โดยควบคุมอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 วัน ก่อนทำการวัดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer (FT 20; FANTEC Research Institute, Kosai, Japan) ในห้องควบคุมแสง

2. นำผลมังคุด มาวัดการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer ที่ช่วงคลื่นระหว่าง 800-1050 nm. ที่ค่า Integration time 150 ms ด้วยวิธีการดูดกลืนของแสงแบบ Interactance โดยทำการวัดที่จุดกึ่งกลางด้านข้างของแต่ละผลตัวอย่างบนแนวเส้นอีควาเตอร์ (equatorial line) ดังภาพที่ 13 จำนวน 4 จุด จุดละ 3 ครั้ง ในแนวตั้งฉากกันรอบผล ซึ่งก่อนทำการวัดมังคุดแต่ละผล จะต้องทำการวัดค่าอ้างอิงจากวัสดุอ้างอิง (Reference) นั่นคือ แท่งเทฟลอน (Teflon) สีขาว แล้วจึงจะนำเครื่อง NIR ไปวัดสเปกตรัมกับผลมังคุดแต่ละผล

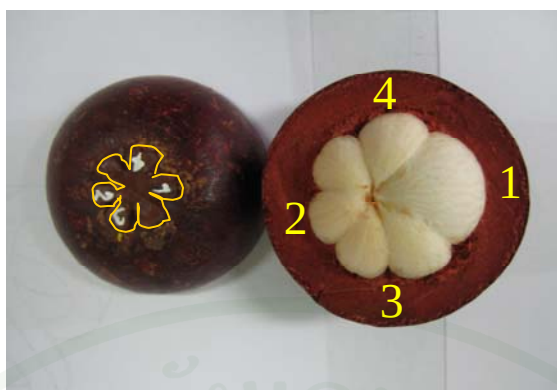


ภาพที่ 13 การวัดมังคุดบนแนวเส้นอิควาเตอร์ด้วย เครื่อง FQA-NIR GUN

ตำแหน่งการวัดทั้ง 4 จุดจะทำสัญลักษณ์ไว้ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการอ้างอิงสำหรับวัดค่าทางกายภาพอื่นๆในภายหลัง โดยตำแหน่งแรกเป็นตำแหน่งที่ตรงกับกลีบเนื้อที่ใหญ่ที่สุดในผลโดยอ้างอิงจากภาพทรงของผล (ดูภาพที่ 14) และกลีบยอดเกสรตัวเมีย (stigma) ด้านใต้ผล ซึ่งกลีบเนื้อที่ใหญ่จะทำให้ผลมังคุดเบี้ยวและมีส่วนที่โตด้านเดียว และจำนวนกลีบยอดเกสรตัวเมียได้ผลจะเท่ากับจำนวนกลีบเนื้อ ดังนั้นทิศทางที่กลีบเลี้ยงชี้ไปยังด้านที่เบี้ยว จึงเป็นด้านของผลที่มีกลีบเนื้อขนาดใหญ่ (ดูภาพที่ 15)



ภาพที่ 14 รูปทรงของผลมังคุด



ภาพที่ 15 กลีบยอดเกสรตัวเมียได้ผลและกลีบเนื้อมังคุดซึ่งมีแนวที่สอดคล้องกัน

3. ทำการหาความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด ดังภาพที่ 16 ซึ่งแสดงชุดเครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะประกอบด้วย ที่ยึดผลมังคุดที่จะหาความถ่วงจำเพาะ เครื่องชั่ง ภาชนะบรรจุน้ำ โดยนำผลมังคุดชั่งในอากาศก่อน (W_f) (ดูภาพที่ 17) แล้วใช้เหล็กปลายแหลมแทงที่ขั้วและจุ่มทั้งผลลงไป ในน้ำให้ปริมาตรน้ำที่เข้าเล็กน้อยเพื่อให้ฟองอากาศที่ถูกขังภายใต้กลีบดอกหลุดออก นำค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่งขณะที่ผลมังคุดอยู่ในน้ำนี้ (W_d) (ดูภาพที่ 18) ไปคำนวณหาความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด

คำนวณหาความถ่วงจำเพาะ (S_f) โดยใช้สูตร (บัณฑิต, 2546)

$$S_f = \frac{W_f}{W_d} \quad (1)$$

เมื่อ W_f หมายถึง น้ำหนักผลมังคุด ในอากาศ (กรัม)

W_d หมายถึง น้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยผลมังคุด (กรัม) หรือน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับผลมังคุด



ภาพที่ 16 อุปกรณ์หาความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด



ภาพที่ 17 การชั่งน้ำหนักผลมังคุดในอากาศ (W_p)



ภาพที่ 18 การชั่งน้ำหนักผลมังคุดในน้ำ (W_d)

4. วัดค่าความชื้นของเปลือกโดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103 °C อ้างอิงมาตรฐานการวัดความชื้น ASAE Standard ใช้ระยะเวลาการอบ 24 ชั่วโมง (ASAE standards, 1994) โดยนำเปลือกมังคุดบริเวณที่ทำสัญลักษณ์ไว้ทั้ง 4 จุด ขนาด 2×2 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักเปลือกมังคุดที่เตรียมไว้ทั้งก่อนอบและหลังอบ นำไปคำนวณหาความชื้นด้วยสมการที่ 2 ดังนี้

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (2)$$

5. นำตัวอย่างมังคุดแต่ละผลที่วัดค่าและบันทึกผลแล้ว มาผ่าเปลือกออกตามแนวขวางแกนกลางผล แล้วถ่ายภาพบันทึกคุณภาพและอาการที่เกิดขึ้นในแต่ละผลด้วยกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล Canon IXY digital 10 เพื่อจัดตัวอย่างเป็นมังคุดปกติหรือมังคุดเนื้อแก้ว โดยมังคุดเนื้อแก้วจะมีลักษณะของเนื้อกลีบเป็นสีขาวใส มักเป็นในกลีบที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของผล

6. นำข้อมูลค่าความชื้นของเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด ข้อมูลสเปกตรัม NIR และลักษณะอาการที่เกิดขึ้นภายในผล มาวิเคราะห์สร้างโมเดลในการคัดแยกมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วกับมังคุดปกติด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Discriminant analysis โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่ง Discriminant analysis เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มคน สัตว์ หรือสิ่งของ ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลที่ทราบจำนวนกลุ่ม และทราบว่าแต่ละกรณีอยู่

กลุ่มใด แล้วใช้ข้อมูลดังกล่าวในการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรที่คาดว่า จะทำให้ตัวอย่างที่อยู่คนละกลุ่มมีความแตกต่างกันโดยสมการที่เหมาะสมจะให้อัตราส่วนความ แปรปรวนระหว่างกลุ่มต่อความแปรปรวนภายในกลุ่มสูงสุด และยังสามารถใช้สมการดังกล่าวจัด กลุ่มหรือพยากรณ์กลุ่มให้กับกรณีที่ยังไม่ทราบกลุ่ม

ในการวิเคราะห์สร้างโมเดลทำนายกลุ่มมังคุดปกติและเนื้อแก้วนั้นจะใช้ข้อมูล สเปกตรัม NIR เป็นตัวแปรทำนายกลุ่มที่เป็นตัวแปรหลัก โดยโมเดลทำนายกลุ่มมังคุดแต่ละโมเดล จะสร้างจากข้อมูลสเปกตรัม NIR ที่มีการปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ 4 วิธี คือ วิธี First derivative (1D) วิธี Second derivative (2D) วิธี Multiplicative scatter correction (MSC) และวิธี Standard normal variate (SNV) ด้วยโปรแกรม Unscamper version 9.7 เพื่อลดการกระเจิงของแสง ดังนั้นแต่ ละโมเดลจะใช้ข้อมูลสเปกตรัมที่มีการปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

1. Reflectance (R)
2. Reflectance (R) และ First derivative (1D)
3. Reflectance (R) และ Second derivative (2D)
4. Reflectance (R) และ Multiplicative scatter correction (MSC)
5. Reflectance (R) และ Standard normal variate (SNV)
6. Absorbance (ซึ่งคือ $\log \frac{1}{R}$)
7. Absorbance (ซึ่งคือ $\log \frac{1}{R}$) และ First derivative (1D)
8. Absorbance (ซึ่งคือ $\log \frac{1}{R}$) และ Second derivative (2D)
9. Absorbance (ซึ่งคือ $\log \frac{1}{R}$) และ Multiplicative scatter correction (MSC)
10. Absorbance (ซึ่งคือ $\log \frac{1}{R}$) และ Standard normal variate (SNV)

โมเดลที่เหมาะสมที่สุดคือ โมเดลที่ทำนายกลุ่มมังคุดได้ความถูกต้องมากที่สุด

ต่อจากนั้นจะศึกษาการทำให้โมเดลมีความซับซ้อนน้อยลง ด้วยการลดตัวแปรทำนาย กลุ่ม โดยใช้เทคนิค Partial least squares Discriminant analysis (PLS-DA) ซึ่งเทคนิค PLS-DA นี้จะ ให้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ของตัวแปรอิสระ จึงสามารถเลือก

ความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับการแบ่งกลุ่มมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วและมังคุดปกติ โดยเลือกจากความยาวคลื่นที่มีค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสูงๆ เพื่อคงไว้ในโมเดล

นำข้อมูลความยาวคลื่นที่เลือกจาก PLS-DA ร่วมกับค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด ใช้เป็นตัวแปรทำนายกลุ่มในวิธีวิเคราะห์แบบ Discriminant analysis และหาร้อยละความถูกต้องในการจำแนกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ



ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาพบว่า ลักษณะภายนอกที่สมบูรณ์ของผลมังคุด มีขนาดและผิวเหมาะสำหรับการส่งออกนั้น ไม่สามารถคัดแยกลักษณะภายในที่เนื้อมีการเนื่อแก้วออกจากเนื้อปกติได้ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงนำผลมังคุดทั้ง 220 ผล มาผ่ารอบผลตามแนวเส้นอีควาเตอร์ (equatorial line) และประเมินลักษณะอาการภายในแต่ละผล สามารถแยกเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล (ภาพที่ 19) มังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล (ภาพที่ 20) มังคุดเสีย 3 ผล โดยพบว่าเนื้อแก้วมักจะเกิดกับกลีบเนื้อที่ใหญ่ที่สุด



ภาพที่ 19 ลักษณะมังคุดเนื้อปกติ



ภาพที่ 20 ลักษณะมังคุดเนื้อแก้ว

1. ความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด

จากการทดลองวัดค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, SG) ของผลมังคุด พบว่า มังคุดปกติมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.96 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03 มังคุดเนื้อแก้วมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.99 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03 เมื่อนำค่าความถ่วงจำเพาะมาทดสอบทางสถิติ พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) โดยมังคุดเนื้อแก้วจะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่ามังคุดปกติ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pankaseamsuk *et al.* (1996) อย่างไรก็ตามค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยจะแตกต่างกัน โดยสาเหตุที่มังคุดเนื้อแก้วมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า น่าจะเกิดจากภาวะที่มังคุดดูดซึมน้ำไปไว้ในผลมากกว่าปกติเมื่อเกิดภาวะขาดน้ำที่ตามมาด้วยการให้น้ำ (วรภัทร, 2539) โดยเฉพาะเมื่อฝนตกในช่วงการเก็บเกี่ยวผลมังคุดจะยิ่งเกิดการเนื้อแก้วมากยิ่งขึ้น (ศรีสังวาลย์, 2537) ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำหนักผลมากขึ้นมากกว่าปริมาตรผล

ตารางที่ 3 ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยระหว่างมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้ว

ประเภท	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย	T-Test
มังคุดเนื้อปกติ	0.96 (0.03)	*
มังคุดเนื้อแก้ว	0.99 (0.03)	

*: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

ตัวเลขในวงเล็บหมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในอดีตมีผลงานวิจัยที่เปรียบเทียบการคัดแยกมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติ โดยใช้ค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน เช่น ธนะชัย (2534) ได้คัดแยกผลมังคุดเนื้อแก้วออกจากผลมังคุดปกติจากการจมน้ำและลอยน้ำของผลมังคุดพบว่า มังคุดที่จมน้ำ จะมีอาการเนื้อแก้วซึ่งบางผลจะมีรอยแตกตามขวางผลด้วย ส่วนผลมังคุดปกติจะลอยน้ำ

จากผลการทดลองดังกล่าวจึงนำผลมังคุดมาทดสอบวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่า ที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 1.00 สามารถคัดแยกตัวอย่างมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติได้ความถูกต้อง 66.17% ที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.99 สามารถคัดแยกตัวอย่างมังคุดได้ความถูกต้อง 68.39%

และที่ความถ่วงจำเพาะ 0.98 สามารถคัดแยกตัวอย่างมังคุดได้ความถูกต้อง 62.94% ดังตารางที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับรังสีนั้นท์ (2541) ซึ่งเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกันของผลมังคุดปกติ และผลมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้ว 4 ค่า ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะที่เปลี่ยนไป ต่างให้ค่าความถูกต้องในการคัดแยกที่แตกต่างกัน

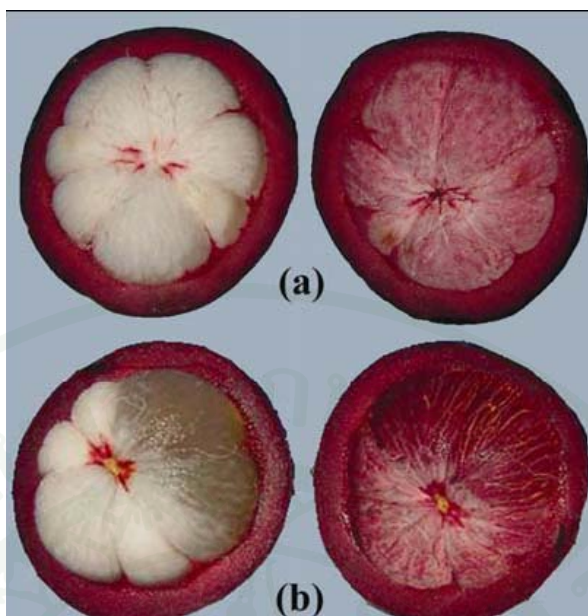
ตารางที่ 4 ความถูกต้องในการคัดแยกมังคุดเนื่อแก้วและมังคุดปกติที่ค่าความถ่วงจำเพาะต่างกัน

ที่ค่าความถ่วงจำเพาะ	ร้อยละความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยก
0.98	62.94
0.99	68.39
1.00	66.17

2. เปอร์เซนต์ความชื้นในเปลือกมังคุด

จากการทดลองเมื่อผ่าเปลือกออกตามแนวขวางแกน กลางผล แล้วประเมินคุณภาพและอาการที่เกิดขึ้นในแต่ละผลพบว่า เปลือกของผลมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้วจะมีอาการช้ำน้ำ ซึ่งแตกต่างจากผลมังคุดปกติอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในภาพที่ 21

ดังนั้นจึงคาดคะเนได้ว่า ปริมาณความชื้นภายในเปลือกมังคุด น่าจะมีความสัมพันธ์กับเนื่อมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้วและเนื่อปกติ จึงได้ทำการหาค่าเปอร์เซนต์ความชื้นของเปลือกทั้ง 4 ด้านของแต่ละผล ขนาด 2×2 เซนติเมตร โดยทำการชั่งน้ำหนักเปลือกมังคุดที่เตรียมไว้ทั้งก่อนอบและหลังอบ นำไปคำนวณหาความชื้น



ภาพที่ 21 เปลือกของผลมังคุดปกติ (a) เปลือกของผลมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้ว (b)

ที่มา: สนิทสุข (2550)

จากการทดลอง พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมังคุดทั้งหมด มีค่าสูงสุดเท่ากับ 69.55% มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 57.53% และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.74% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.13 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยของเปลือกมังคุดปกติ ด้านที่ 1, ด้านที่ 2, ด้านที่ 3, ด้านที่ 4 และเฉลี่ยทั้ง 4 ด้านเท่ากับ 64.17%, 64.91%, 64.65%, 64.79 และ 64.63% ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.27, 2.40, 2.50, 2.41 และ 2.11 ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้ว ด้านที่ 1 ด้านที่ 2 ด้านที่ 3 ด้านที่ 4 และเฉลี่ยทั้ง 4 ด้านเท่ากับ 65.03%, 65.39%, 65.57%, 64.87% และ 65.22% ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.53, 2.71, 2.25, 2.42 และ 2.22 ตามลำดับ โดยพบว่า ด้านที่ 3 มีความแตกต่างระหว่างความชื้นของเปลือกมังคุดปกติและมังคุดเนื่อแก้วมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านที่ 1 ด้านที่ 2 ด้านที่ 4 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นของเปลือกมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้วและเนื่อปกติมาแต่ละด้าน และค่าเฉลี่ย 4 ด้านทดสอบทางสถิติ พบว่าปริมาณความชื้นของเปลือกมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้วและเนื่อปกติทุกด้านไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปอร์เซนต์ความชื้นเฉลี่ยของเปลือกระหว่างมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้ว

ประเภท	เปอร์เซนต์ความชื้นเปลือก				
	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2	ด้านที่ 3	ด้านที่ 4	เฉลี่ย 4 ด้าน
มังคุดเนื้อปกติ	64.17 (2.27)	64.91 (2.40)	64.65 (2.50)	64.79 (2.41)	64.63 (2.11)
มังคุดเนื้อแก้ว	65.03 (2.53)	65.39 (2.71)	65.57 (2.25)	64.87 (2.42)	65.22 (2.22)
ความแตกต่างระหว่าง มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว	0.85	0.48	0.91	0.08	0.59
T-Test	ns	ns	ns	ns	ns

ns: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

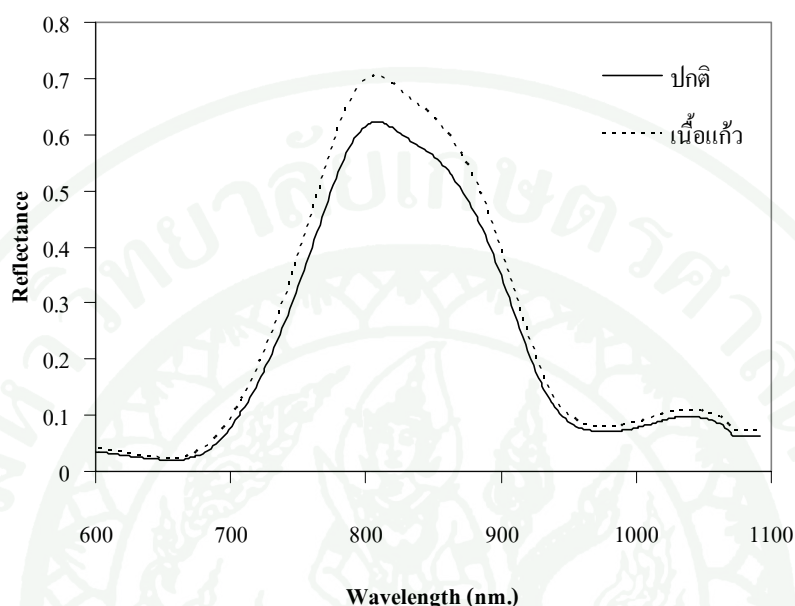
ตัวเลขในวงเล็บหมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. สเปกตรัมของผลมังคุด

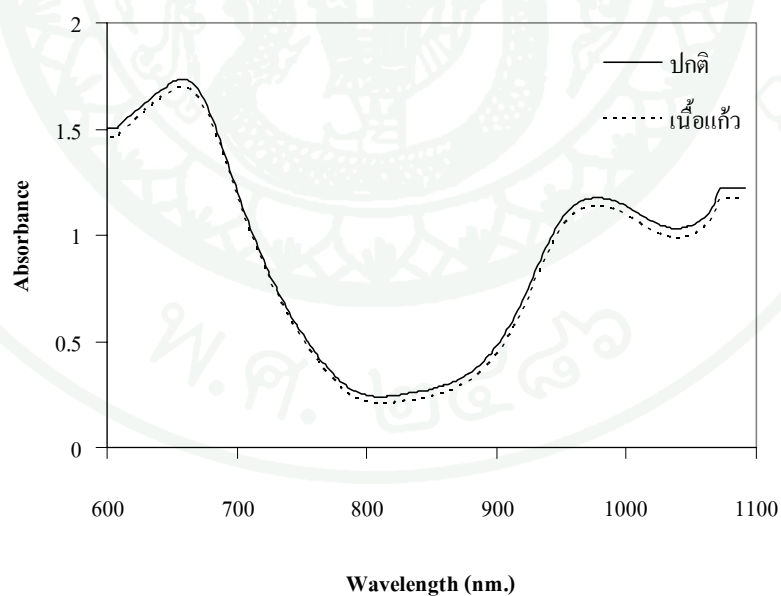
ผลจากการวัดสเปกตรัมของผลมังคุดตัวอย่างด้วยเครื่อง FQA-NIRGUN พบว่าสำหรับสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล ในภาพรวมตลอดช่วงสเปกตรัมการสะท้อนแสง มังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วมีค่าการสะท้อนแสงสูงกว่ามังคุดเนื้อปกติ ดังภาพที่ 22 (ก) และเมื่อพล็อตสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมังคุดปกติ 182 ผล และกลุ่มมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล ในภาพรวมตลอดช่วงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง มังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่ามังคุดเนื้อปกติ ดังภาพที่ 22 (ข) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สนธิสุข และคณะ (2550) ถึงแม้ว่ารูปแบบการวัดการดูดกลืนแสงจะแตกต่างกันก็ตาม โดย สนธิสุขและคณะใช้รูปแบบการวัดแบบส่องผ่าน

ในทำนองเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบลักษณะสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยแต่ละด้านของมังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล ดังภาพที่ 23 (ก) พบว่าค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยด้านที่ 1 ด้านที่ 2 ด้านที่ 3 และด้านที่ 4 ของมังคุดเนื้อแก้วสูงกว่ามังคุดเนื้อปกติตลอดช่วง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตรงกับการเกิดอาการเนื้อแก้วของผล จะเห็นได้ชัดเจนว่า มังคุดเนื้อแก้วให้ค่าการสะท้อนแสงที่สูงกว่าด้านใดๆ ก็อย่างตั้งแต่ 700-1100 nm. และเมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยแต่ละด้านของมังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล ดังภาพที่ 23 (ข) พบว่าสามารถมองเห็นความแตกต่างระหว่างเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

เฉลี่ยได้ในบางด้าน ได้แก่ ในด้านที่ 1 ด้านที่ 3 และด้านที่ 4 และพบว่า กลุ่มมังคุดเนื้อแก้วมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่ากลุ่มมังคุดปกติ มีเพียงในด้านที่ 2 เท่านั้นที่ยังไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนจึงน่าจะเป็นไปได้ที่จะใช้ FQA-NIRGUN ในการคัดมังคุดเนื้อปกติออกจากมังคุดเนื้อแก้ว

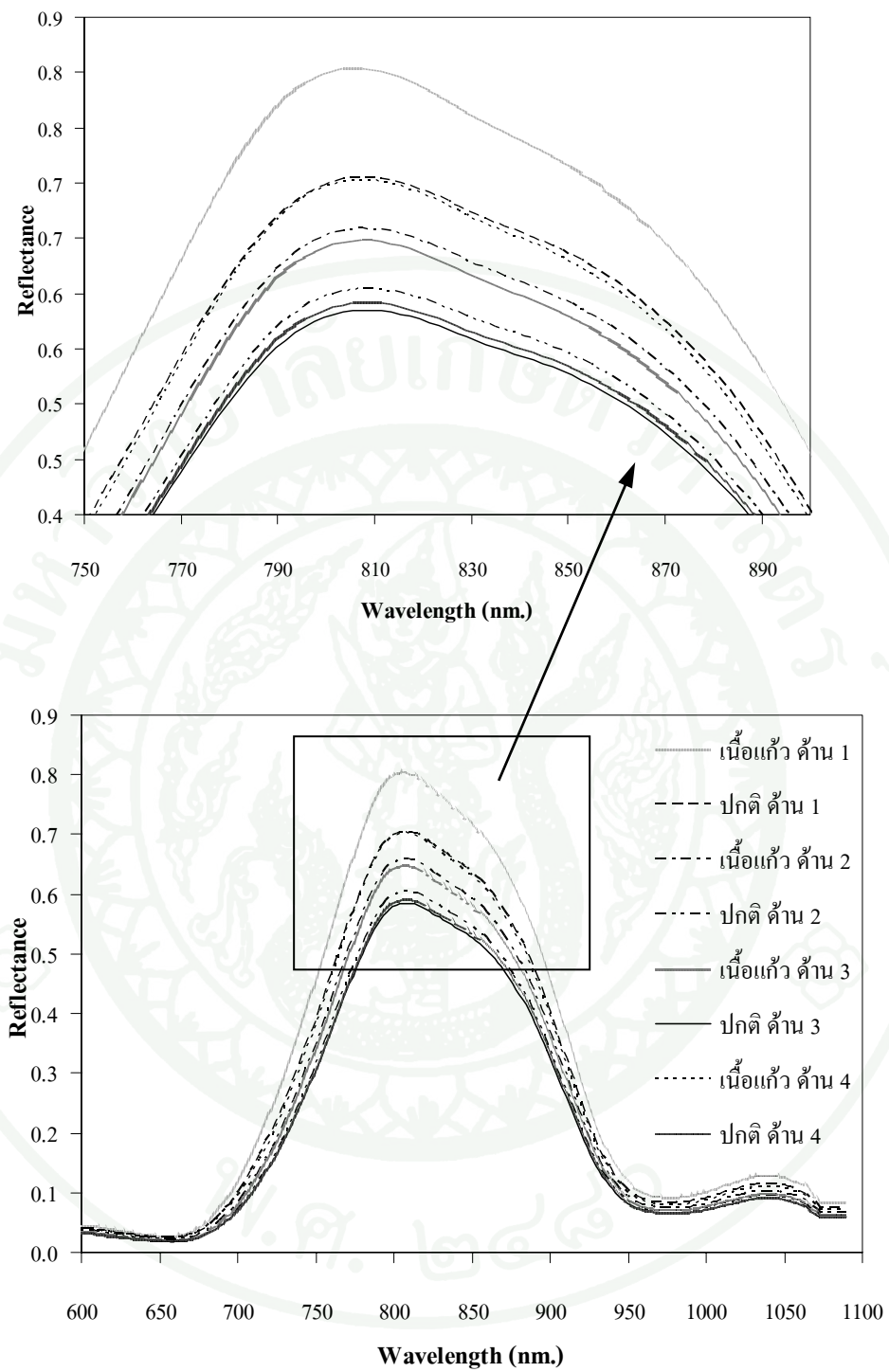


(ก)



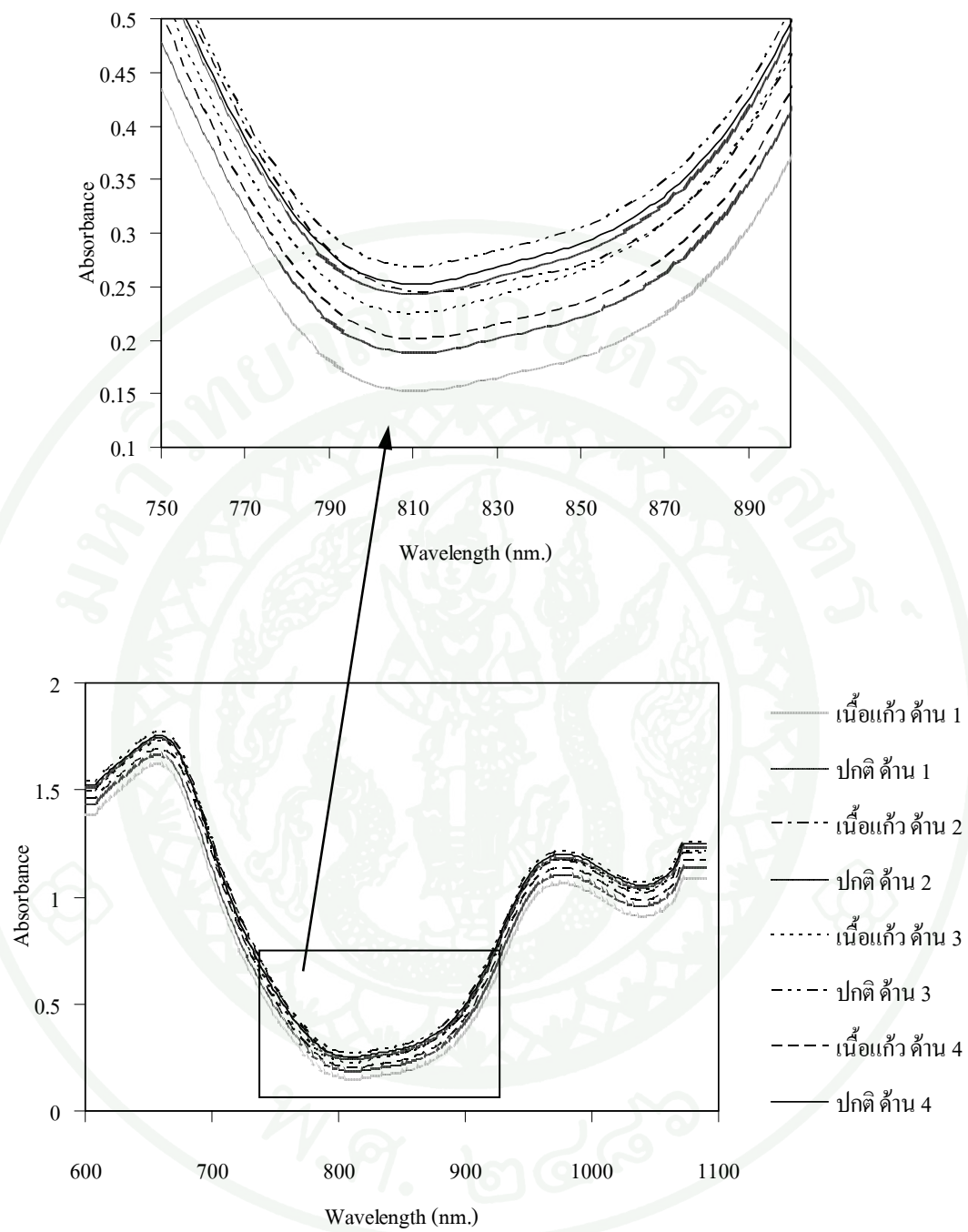
(ข)

ภาพที่ 22 สเปกตรัม (ก) การสะท้อนแสงเฉลี่ย และ(ข) การดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล



(ก)

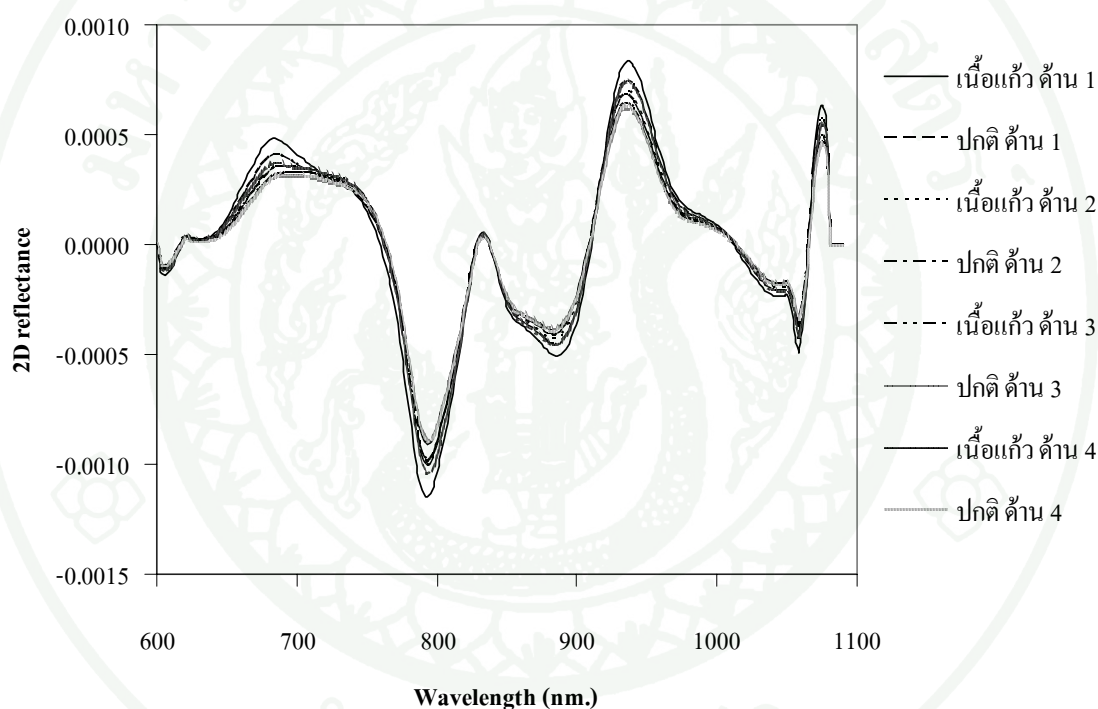
ภาพที่ 23 สเปกตรัม(ก) การสะท้อนแสง และ(ข) การดูดกลืนแสงแต่ละด้านของมังกุคปกติ 182 ผล และมังกุคเนื้อแก้ว 35 ผล



(๗)

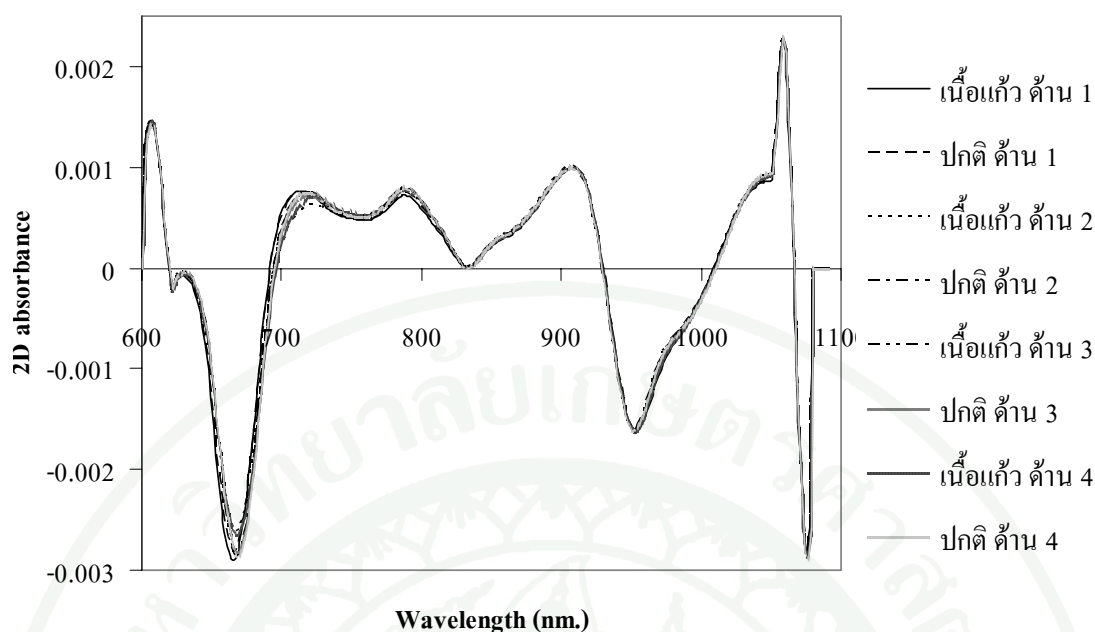
ภาพที่ 23 (ต่อ)

เนื่องจากข้อมูลสเปกตรัมการสะท้อนแสงและการดูดกลืนแสงที่ได้อาจจะยังไม่สามารถทำให้มองเห็นพิกัดต่างๆ ได้ชัดเจน จึงทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Second derivative (2D) แบบ Savitzky-Golay ที่ค่า number of smoothing: 15 และค่า polynomial order: 2 ดังภาพที่ 24 ซึ่งเกิดจากการหาค่าอนุพันธ์อันดับสองของกราฟการสะท้อนแสง ภาพที่ 24 (ก) และกราฟการดูดกลืนแสง ภาพที่ 24 (ข) ซึ่งจะช่วยในการลดการกระเจิงแสงของผลมั่งคุดที่แตกต่างกันแต่ละลูกได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังได้ทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative (1D) วิธี Multiplicative scatter correction (MSC) และ วิธี Standard normal variate (SNV) ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข เพื่อหาวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสม



(ก)

ภาพที่ 24 สเปกตรัมของ (ก) Second derivative การสะท้อนแสง และ (ข) Second derivative การดูดกลืนแสงเฉลี่ยแต่ละด้านของ มั่งคุดปกติ 182 ผล และมั่งคุดเนื้อแก้ว 35 ผล



(ข)

ภาพที่ 24 (ต่อ)

จากภาพที่ 24 (ก) พบว่า เส้นสเปกตรัม 2D reflectance เฉลี่ยแต่ละด้านของมังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล มีความแตกต่างกัน ในทุกๆ ด้านของมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วจะมีค่าการสะท้อนแสงที่สูงกว่ามังคุดปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตรงกับการเกิดอาการเนื้อแก้วของผล จะเห็นได้ว่ามังคุดเนื้อแก้วให้ค่าการสะท้อนแสงที่สูงกว่าด้านใดๆ

จากภาพที่ 24 (ข) พบว่า เส้นสเปกตรัม 2D absorbance เฉลี่ยแต่ละด้านของมังคุดปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่า ยังไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างของเส้นสเปกตรัมระหว่างมังคุดเนื้อแก้วและเนื้อปกติได้ อย่างไรก็ตามสเปกตรัมที่ได้ในแต่ละด้านอาจมีความแตกต่างกัน แต่เนื่องจากเส้นสเปกตรัมมีความใกล้เคียงกันมากจึงไม่สามารถแยกออกได้ด้วยตาเปล่า ฉะนั้นจึงควรนำเทคนิคในการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant Analysis และ วิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) มาช่วยใช้ในการคัดแยกกลุ่มให้ชัดเจนมากขึ้น

4. การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดเนื้อปกติ

การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) เป็นเทคนิคที่ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลหรือหน่วยตัวอย่างออกเป็นกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่ม ขึ้นไป ซึ่งการใช้เทคนิคนี้จะต้องทราบมาก่อนว่า แต่ละตัวอย่างนั้นอยู่กลุ่มใด และมีจำนวนกี่กลุ่ม โดยวัตถุประสงค์ของเทคนิค Discriminant Analysis คือ การศึกษาว่ามีตัวแปรใดบ้างที่เป็นปัจจัยสำคัญทำให้ตัวอย่างอยู่ต่างกลุ่มกัน แล้วนำตัวแปรเหล่านี้มาศึกษาหาความสัมพันธ์ที่อยู่ในรูปเชิงเส้น หลังจากนั้นจึงนำสมการเชิงเส้นนี้มาพยากรณ์ตัวอย่างนั้นๆ ว่าควรอยู่กลุ่มใด (กัลยา, 2549)

การศึกษารามิเตอร์แบบตัวแปรพหุคูณที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพภายในของผลมังคุด และใช้ในการทำนายผลการจำแนกกลุ่มของมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ ในที่นี้พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแปรในการทำนายกลุ่ม ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (SG) ความชื้นของเปลือกมังคุด (MO) และข้อมูลสเปกตรัม NIR ของเปลือกมังคุดด้านที่ 1 ด้านที่ 2 ด้านที่ 3 ด้านที่ 4 และค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ด้าน แล้วจึงวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant Analysis เป็นกลุ่มมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดปกติซึ่งได้มาจากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ในการวิเคราะห์นี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

4.1. ศึกษาการวิเคราะห์โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ เปอร์เซนต์ความชื้นของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้าน พบว่า ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 82.9 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อปกติ 180 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 98.9 และ 1.1 ตามลำดับ แต่เปอร์เซนต์ความชื้นของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้านนั้น ยังไม่สามารถทำนายผลมังคุดเนื้อแก้วได้ถูกต้อง ดังตารางที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบทางสถิติที่พบว่าเปอร์เซนต์ความชื้นเปลือกไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความชื้นเปลือกเป็นวิธีวัดแบบทำลายซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ยาก

ตารางที่ 6 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ เปอร์เซนต์ความชื้นของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้าน ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

	กลุ่มมังคุดที่แท้จริง	จำนวนมังคุดที่ถูกทำนาย		จำนวนมังคุดทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้องเฉลี่ย
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
จำนวน	ปกติ	180	2	182	82.9
	เนื้อแก้ว	35	0	35	
ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	100	
	เนื้อแก้ว	100	0	100	

4.2. ศึกษาการวิเคราะห์โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ข้อมูลสเปกตรัมแสงของเปลือกมังคุดแต่ละด้าน และเฉลี่ยทุกด้านในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 700-1100 nm. โดยในแต่ละโมเดลจะใช้ข้อมูล reflectance หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 1D หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 2D หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV หรือ absorbance หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 1D หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 2D หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV เพื่อที่จะเลือกโมเดลจำแนกกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีความถูกต้องในการคัดแยกกลุ่มดีที่สุด

ผลการจำแนกที่ดีที่สุด คือ การใช้ข้อมูลสเปกตรัมแบบ MSC absorbance ดังแสดงในตารางที่ 7 จำแนกกลุ่มมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ข้อมูล MSC absorbance ของเปลือกมังคุดด้านที่ 1-4 และทั้ง 4 ด้านเฉลี่ยกันทั้งช่วงความยาวคลื่น พบว่า ด้านที่ 1 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 83.9 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าสามารถจำแนกได้ถูกต้องทั้ง 182 ผล โดยไม่มีความผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้วเลย แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่ายังไม่สามารถทำนายผลมังคุดเนื้อแก้วได้ถูกต้อง

ด้านที่ 2 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 83.4 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อปกติ 181 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 1 ผล (คิด

เป็นร้อยละ 99.5 และ 0.5 ตามลำดับ) แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่ายังไม่สามารถทำนายผลมังคุดเนื้อแก้วได้ถูกต้อง

ด้านที่ 3 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 83.9 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าสามารถจำแนกได้ถูกต้องทั้ง 182 ผล โดยไม่มีความผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้วเลย แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่ายังไม่สามารถทำนายผลมังคุดเนื้อแก้วได้ถูกต้อง

ด้านที่ 4 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 83.9 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าสามารถจำแนกได้ถูกต้องทั้ง 182 ผล โดยไม่มีความผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้วเลย แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่ายังไม่สามารถทำนายผลมังคุดเนื้อแก้วได้ถูกต้อง

ค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ด้าน ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 83.9 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าสามารถจำแนกได้ถูกต้องทั้ง 182 ผล โดยผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 1 ผล (คิดเป็นร้อยละ 99.5 และ 0.5) แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่าสามารถจำแนกได้ถูกต้อง 1 ผล ผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อปกติ 34 ผล (คิดเป็นร้อยละ 2.9 และ 97.1)

สรุปได้ว่าการใช้ข้อมูลสเปกตรัม MSC absorbance จากค่าเฉลี่ยทั้ง 4 ด้านให้ผลดีที่สุด เนื่องจากสามารถคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วได้มากกว่าการใช้ข้อมูลสเปกตรัมของแต่ละด้าน รายละเอียดผลการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มแบบอื่นๆ แสดงอยู่ในภาคผนวก ง

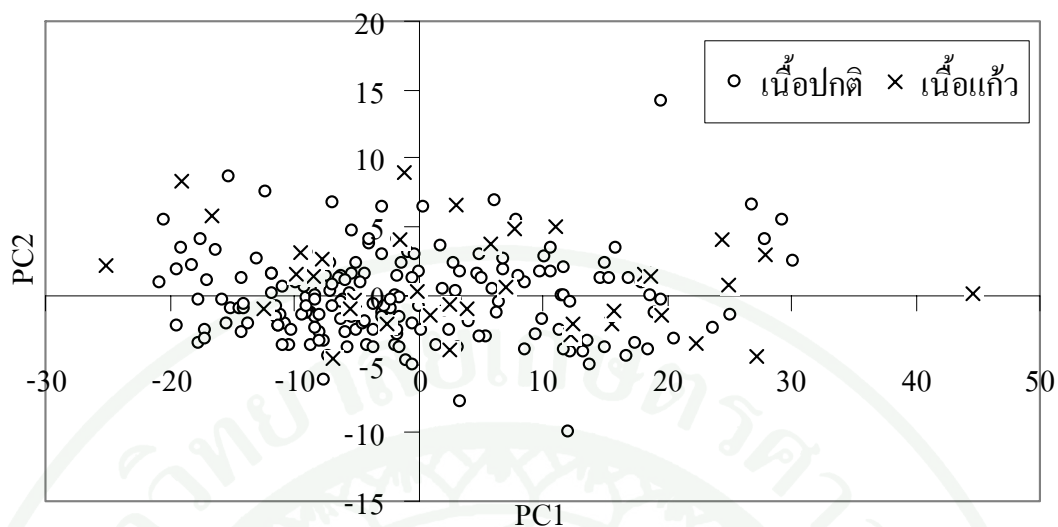
ตารางที่ 7 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล MSC absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มมังคุด ที่แท้จริง	จำนวนมังคุดที่ถูก ทำนาย		จำนวน มังคุด ทั้งหมด	ร้อยละความ ถูกต้องเฉลี่ย
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
MSC absorbance ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
MSC absorbance ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
MSC absorbance ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
MSC absorbance ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
MSC absorbance เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.9
		เนื้อแก้ว	34	1	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	100	

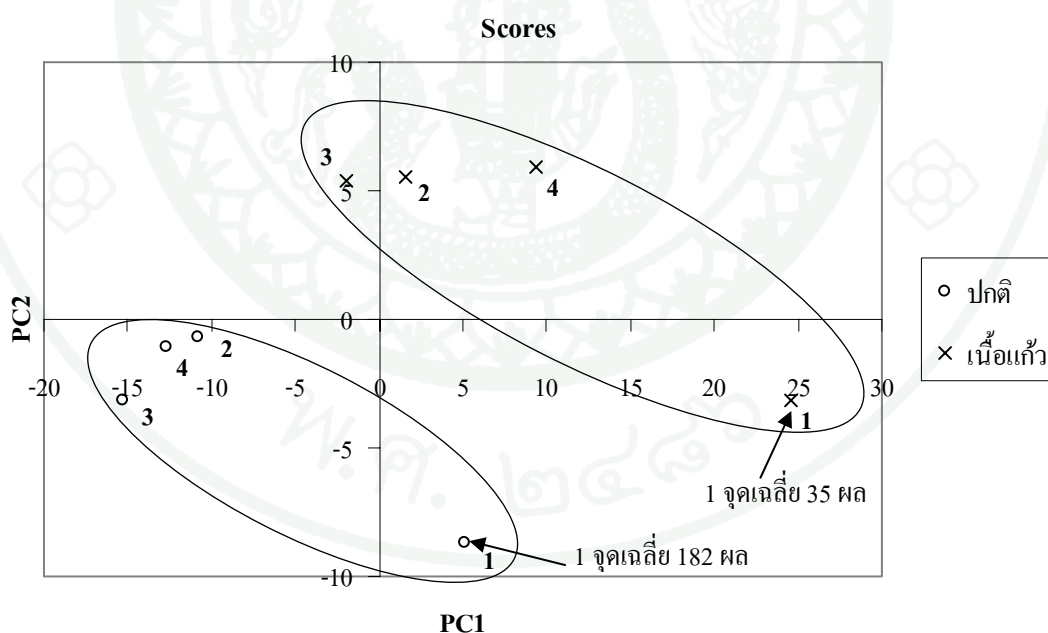
หมายเหตุ MSC absorbance หมายถึง สเปกตรัม absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี Multiplicative scatter correction แล้ว

ในการวิเคราะห์โดยใช้สเปกตรัม NIR ตลอดช่วงการวัดให้ผลที่ดี อย่างไรก็ตามการลดจำนวนตัวแปรทำนายกลุ่ม หรือตัวแปรอิสระสำหรับแยกกลุ่มลงจะทำให้การพัฒนาเครื่องมือในอนาคตมีราคาถูกลงจึงใช้เทคนิค Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) สร้างโมเดลในการแยกกลุ่มมังคุดเนื้อปกติและเนื้อแก้วโดยศึกษาการสร้างโมเดลดังกล่าวจากตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล reflectance หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 1D หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 2D หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV หรือ absorbance หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 1D หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 2D หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV ในการเลือกโมเดลที่ดีที่สุดนั้นสามารถพิจารณาจาก Score plot ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง Principal components ที่สร้างจากตัวแปรเริ่มต้น โดยใน Score plot จะแสดงให้เห็นการกระจายของตัวอย่างโดยที่ตัวอย่างในกลุ่มเดียวกันจะเกาะกลุ่มกัน ดังนั้นโมเดลที่ดีที่สุดจะแสดงให้เห็นการแยกกลุ่มของตัวอย่างมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว เมื่อเลือกโมเดลที่ดีที่สุดแล้วจะสามารถเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์สูงกับโมเดลนั้นๆ ได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าสูง ในกรณีภาพที่ 27 จะเลือกจากค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าสูงกว่า 0.005

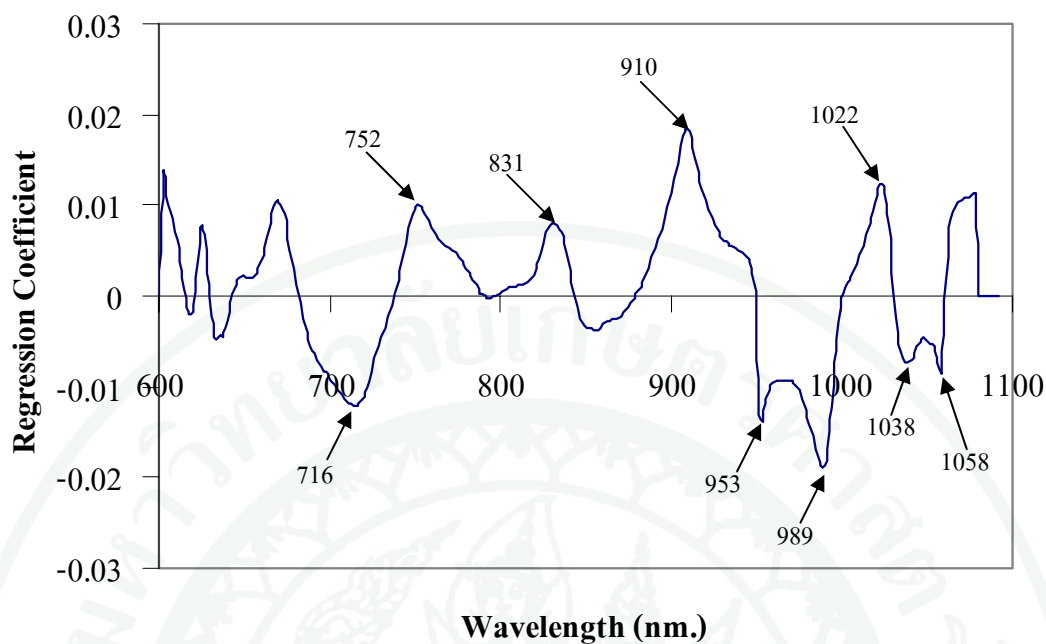
ในการวิเคราะห์ PLS-DA โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งสี่ด้านของแต่ละตัวอย่างเมื่อสังเกตผลจากกราฟ Score plot ที่แสดงการกระจายของตัวอย่างตามค่า Principal component 1 (PC1) และ 2 (PC2) พบว่ายังไม่สามารถจำแนกกลุ่มมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว ออกจากมังคุดปกติได้ ดังแสดงในภาพที่ 25 (ซึ่งเป็นตัวอย่างกรณีใช้สเปกตรัม 2D absorbance) จึงนำข้อมูลสเปกตรัมของเปลือกมังคุดด้านที่ 1 ด้านที่ 2 ด้านที่ 3 และด้านที่ 4 มาเฉลี่ยและใช้เป็นข้อมูลสร้างโมเดล PLS-DA โดยแยกระหว่างมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วและเนื้อปกติ พบว่าสามารถจำแนกกลุ่มมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว ออกจากมังคุดปกติได้ดังภาพที่ 26 ซึ่งเป็นโมเดล PLS-DA ที่สร้างจากข้อมูลสเปกตรัม 2D reflectance ตารางที่ 8 แสดงความยาวคลื่นสำคัญที่เลือกจากการทำ PLS-DA ของข้อมูลการดูดกลืนของแสงหลังจากปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 25 ค่า Score plot ระหว่าง Principal component 1 (PC1) และ 2 (PC2) ของข้อมูลสเปกตรัม 2D reflectance ที่วัดแต่ละด้านของตัวอย่างมังคุดแต่ละผลทั้งหมด (มังคุดเนื้อแก้ว แทนด้วย x และมังคุดปกติ แทนด้วย o)



ภาพที่ 26 ค่า Score plot ระหว่าง Principal component 1 (PC1) และ 2 (PC2) ของข้อมูลสเปกตรัม 2D reflectance โดยแต่ละจุดคือ ค่าเฉลี่ยของมังคุดทั้งหมดที่เป็นเนื้อแก้วหรือเนื้อปกติ ของแต่ละด้านที่วัด (มังคุดเนื้อแก้ว แทนด้วย x และมังคุดปกติ แทนด้วย o) โดยที่ 1 = ด้านที่ 1, 2 = ด้านที่ 2, 3 = ด้านที่ 3, 4 = ด้านที่ 4



ภาพที่ 27 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของข้อมูลสเปกตรัม 2D absorbance ที่เฉลี่ยค่าในแต่ละด้านจากตัวอย่างมังคุดทั้งหมด

ตารางที่ 8 ความยาวคลื่นสำคัญที่เลือกจากโมเดล PLS-DA ของข้อมูลการดูดกลืนของแสงหลังจากปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์

วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม	ความยาวคลื่นสำคัญ (nm.)
Absorbance	708, 880
1D absorbance	937, 969, 1034
2D absorbance	716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058
MSC absorbance	773, 915
SNV absorbance	775, 917

เมื่อได้ข้อมูลความยาวคลื่นของสเปกตรัมจากโมเดล PLS-DA ที่ทำให้เกิดการแยกกลุ่มระหว่างมังคุดเนื้อแก้วและปกติแล้ว จึงวิเคราะห์ Discriminant analysis ซ้ำ จากข้อมูลสเปกตรัม NIR ใหม่ โดยเลือกสเปกตรัมเฉพาะที่ความยาวคลื่นที่ได้จากโมเดล PLS-DA ดังตารางที่ 8 ทั้งนี้เพื่อให้ได้โมเดลการจำแนกกลุ่มที่สร้างจากตัวแปรทำนายกลุ่มที่มีจำนวนน้อยลง ผลการวิเคราะห์พบว่า ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มอยู่ในช่วงระหว่าง 81.6-83.9% (รายละเอียดทั้งหมดอยู่ในตารางผนวก ง)

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดในการจำแนกกลุ่มมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ข้อมูล absorbance ที่ช่วงความยาวคลื่น 708 และ 880 nm ของเปลือกมังคุดด้านที่ 1-4 และทั้ง 4 ด้านเฉลี่ยกัน พบว่า ด้านที่ 1 ด้านที่ 2 ด้านที่ 3 ด้านที่ 4 และทั้ง 4 ด้านเฉลี่ยกัน ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 83.9 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าสามารถจำแนกได้ถูกต้องทั้ง 182 ผล โดยไม่มีความผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้วเลย แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่ายังไม่สามารถทำนายผลมังคุดเนื้อแก้วได้ถูกต้อง ถึงแม้ว่าความถูกต้องในการจำแนกจะเท่ากับการใช้ข้อมูลสเปกตรัมตลอดช่วงเป็นตัวแปรทำนายกลุ่มก็ตาม แต่การวิเคราะห์ครั้งนี้ไม่สามารถทำนายมังคุดเนื้อแก้วได้ถูกต้องเลย

ตารางที่ 9 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Absorbance ของเปลือก ที่ ความยาวคลื่น 708 และ 880 nm ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่ม มังคุดที่ แท้จริง	จำนวนมังคุดที่ถูก ทำนาย		จำนวน มังคุด ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง เฉลี่ย
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
Absorbance ที่ 708 และ 880 nm ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
Absorbance ที่ 708 และ 880 nm ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
Absorbance ที่ 708 และ 880 nm ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
Absorbance ที่ 708 และ 880 nm ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
Absorbance ที่ 708 และ 880 nm เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	

4.3. ศึกษาวิเคราะห์โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล reflectance หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 1D หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 2D หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC หรือ reflectance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV หรือ absorbance หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 1D หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี 2D หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC หรือ absorbance ที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV และค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) พบว่า ผลการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มอยู่ในช่วงระหว่าง 81.6– 84.8% (รายละเอียดทั้งหมดอยู่ในภาคผนวก ง)

จากตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดในการจำแนกกลุ่มมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) และข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกมังคุดด้านที่ 1-4 และทั้ง 4 ด้านเฉลี่ยกันที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA พบว่า ด้านที่ 1 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 83.9 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าจำแนกได้ถูกต้อง 177 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 5 ผล (คิดเป็นร้อยละ 97.3 และ 2.7) สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่าจำแนกได้ถูกต้อง 5 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดปกติ 30 ผล (คิดเป็นร้อยละ 14.3 และ 85.7)

ด้านที่ 2 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 82.5 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าจำแนกได้ถูกต้อง 177 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 5 ผล (คิดเป็นร้อยละ 97.3 และ 2.7) สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 33 ผล พบว่าจำแนกได้ถูกต้อง 2 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดปกติ 30 ผล (คิดเป็นร้อยละ 5.7 และ 94.3)

ด้านที่ 3 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 82.0 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าจำแนกได้ถูกต้อง 178 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 4 ผล (คิดเป็นร้อยละ 97.3 และ 2.7) สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล พบว่ายังไม่สามารถทำนายผลมังคุดเนื้อแก้วได้ถูกต้อง

ด้านที่ 4 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 82.5 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าจำแนกได้ถูกต้อง 177 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 5 ผล (คิดเป็นร้อยละ 97.3

และ 2.7) สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 33 ผล พบว่าพบว่ามีจำแนกได้ถูกต้อง 2 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดปกติ 30 ผล (คิดเป็นร้อยละ 5.7 และ 94.3)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ข้อมูลสเปกตรัมแต่ละด้านที่วัดร่วมกับ SG เป็นตัวแปรทำนายกลุ่มจะสังเกตพบว่า การใช้ข้อมูลสเปกตรัมของด้านที่ 1 ซึ่งตรงกับกลีบเนื้อที่ใหญ่ที่สุดร่วมกับ SG ให้ความถูกต้องดีที่สุด ซึ่งอาจสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของเปลือกมังคุดที่แสดงในภาพที่ 21 ที่บริเวณด้านในเปลือกที่ติดกับเนื้อที่ใหญ่ที่สุดมีความแตกต่างจากบริเวณเปลือกด้านอื่น

เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ด้าน ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมที่ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 84.8 จากการทำนายมังคุดทั้งหมด 217 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 35 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 182 ผล พบว่าจำแนกได้ถูกต้อง 179 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 3 ผล (คิดเป็นร้อยละ 98.4 และ 1.6) สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 30 ผล พบว่าจำแนกได้ถูกต้อง 5 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดปกติ 30 ผล (คิดเป็นร้อยละ 14.3 และ 85.7)

จากตารางที่ 10 การวิเคราะห์โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA ที่ความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058 และค่าความถ่วงจำเพาะ โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากเปลือก 4 ด้าน ให้ค่าการจำแนกดีที่สุดร้อยละ 84.8

จากตารางที่ 11 พบว่า Wilks' Lambda มีค่าเท่ากับ 0.86 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ทดสอบสมมติฐานที่ว่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทุกตัวในกลุ่มที่ 1 เท่ากับของทุกกลุ่มที่ 2 ซึ่งค่าที่ได้ระบุว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานดังกล่าว นั่นคือ สมการเชิงเส้นหรือโมเดลที่สร้างขึ้นจากตัวแปรทำนายกลุ่มทุกตัวสามารถจำแนกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติได้อย่างมีนัยสำคัญ จากตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์ Canonical discriminant function ของตัวแปรทำนายกลุ่มแสดงดังสมการที่ (3)

$$D = 13.215 - 25.368SG + 8646.447R1058AV + 6634.892R1038AV - 792.061R1022AV \\ + 20459.941R989AV + 872.148R953AV - 328.310R910AV + 4642.089R831AV \\ - 2054.886R752AV + 884.389R716AV \quad (3)$$

- โดยที่ D คือ ตัวแปรตามหรือ Discriminant score
- SG คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ
- RiAV คือ ข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้านเฉลี่ยกัน ที่ความยาวคลื่น i nm.

เมื่อพิจารณาจากตาราง Structure matrix (ตารางที่ 13) ที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์หรือความสำคัญของแต่ละพารามิเตอร์ต่อ canonical function ในการจำแนกกลุ่มหรือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างพารามิเตอร์อิสระแต่ละตัว กับพารามิเตอร์ canonical พบว่า ตัวแปรความถ่วงจำเพาะ (SG) มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ canonical มากที่สุด รองมาคือ ค่า 2D absorbance ที่ความยาวคลื่น 1038, 989, 1058, 1022, 953, 910, 716, 752 และ 831 nm. มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ canonical น้อยลงตามลำดับ

จากการศึกษาของศิริวรรณและจริงแท้ (2544) ที่รายงานว่า อาการเนื่อแก้วของผลมังคุดเกิดจากการที่น้ำเข้าไปในผลมากจนทำให้เซลล์แตก สารละลาย เช่น กรด ที่อยู่ในแวคิวโอลจึงรั่วออกมาออกเซลล์ โดยมังคุดเนื่อแก้วมีปริมาณกรดซัคซินิกที่เพิ่มขึ้นสูงกว่ามังคุดปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการเลือกความยาวคลื่นสเปกตรัมที่มีความสำคัญในการคัดแยกมังคุดเนื่อแก้วและมังคุดปกติ ด้วยเทคนิค PLS-DA จากข้อมูล 2D absorbance จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับกรดซัคซินิก อยู่ที่ความยาวคลื่น 752 nm. ซึ่งเป็นตำแหน่งการสั่น third overtone ของพันธะ O-H ของกรด และที่ความยาวคลื่น 910 nm. ซึ่งเป็นตำแหน่งการสั่น third overtone ของพันธะ C-H (Osborne *et al.*, 1993) นอกจากนี้ยังกล่าวได้ว่าอาการเนื่อแก้วเนื่องจากการที่พืชได้รับน้ำมากเกินไปนั้น จะก่อให้เกิดความเครียดขึ้นได้ ซึ่งมีผลกระตุ้นให้ส่วนต่างๆ ของพืชผลิตสารโพลีเอมีนขึ้นภายในเซลล์ (Roben *et al.*, 2006) ที่ความยาวคลื่น 1038 nm. ซึ่งสอดคล้องกับการเลือกความยาวคลื่นด้วยเทคนิค PLS-DA จากข้อมูล 2D absorbance จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้าง RNH_2 ที่เป็นตำแหน่งการสั่น second overtone ของพันธะ N-H (Osborne *et al.*, 1993)

ตารางที่ 10 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D absorbance ที่ความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058 และค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่ม มังคุดที่ แท้จริง	จำนวนมังคุดที่ถูก ทำนาย		จำนวน มังคุด ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง เฉลี่ย
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
2D absorbance ที่ 716,752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058 nm ด้านที่ 1 และ SG	จำนวน	ปกติ	177	5	182
		เนื้อแก้ว	30	5	35
	ร้อยละ	ปกติ	97.3	2.7	100
		เนื้อแก้ว	85.7	14.3	100
2D absorbance ที่ 716,752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058 nm ด้านที่ 2 และ SG	จำนวน	ปกติ	177	5	182
		เนื้อแก้ว	33	2	35
	ร้อยละ	ปกติ	97.3	2.7	100
		เนื้อแก้ว	94.3	5.7	100
2D absorbance ที่ 716,752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058 nm ด้านที่ 3 และ SG	จำนวน	ปกติ	178	4	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	97.8	2.2	100
		เนื้อแก้ว	100.0	0.0	100
2D absorbance ที่ 716,752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058 nm และ SG ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	177	5	182
		เนื้อแก้ว	33	2	35
	ร้อยละ	ปกติ	97.3	2.7	100
		เนื้อแก้ว	94.3	5.7	100
2D absorbance ที่ 716,752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038, 1058 nm เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย และ SG	จำนวน	ปกติ	179	3	182
		เนื้อแก้ว	30	5	35
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	100
		เนื้อแก้ว	85.7	14.3	100

ตารางที่ 11 ค่าทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วเท่ากัน

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	.860	31.588	10	.000

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์ Canonical discriminant function ของตัวแปรทำนายกลุ่ม

ตัวแปร	Function
	1
R716AV	884.389
R752AV	-2054.886
R831AV	4642.089
R910AV	-328.310
R953AV	872.148
R989AV	20459.941
R1022AV	-792.061
R1038AV	6634.892
R1058AV	8646.447
SG	-25.368
(Constant)	13.215

หมายเหตุ RiAV คือ ข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้านเฉลี่ยกัน ที่ความยาวคลื่น i nm.

SG คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ

ตารางที่ 13 Structure matrix โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ค่าความถ่วงจำเพาะ และข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้านเฉลี่ยกันที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA

ตัวแปร	Function
	1
SG	-0.680
R1038AV	0.291
R989AV	0.271
R1058AV	0.228
R1022AV	-0.167
R953AV	0.129
R910AV	-0.123
R716AV	0.116
R752AV	-0.077
R831AV	-0.073

เมื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation พบว่าหากใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ข้อมูลการดูดกลืนแสงของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น ให้ความถูกต้องในการจำแนกค่าที่สุด 81.3% สูงสุด 83.9% แต่จากการใช้เทคนิค PLS-DA คัดแยกเฉพาะความยาวคลื่นที่สำคัญมาใช้ในการวิเคราะห์ พบว่า ให้ความถูกต้องในการจำแนกค่าที่สุดดีขึ้นเป็น 82.0% ที่ความถูกต้องสูงสุด 83.9% เท่าเดิม และ หากใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ข้อมูลการดูดกลืนแสงของเปลือกมังคุดจากการใช้เทคนิค PLS-DA คัดแยกเฉพาะความยาวคลื่นที่สำคัญร่วมกับค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่า ให้ความถูกต้องในการจำแนกค่าที่สุด 82.0% ให้ความถูกต้องในการจำแนกดีขึ้น มีค่าความถูกต้องสูงที่สุด 84.8% โดยเฉพาะในส่วนการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วอย่างเฉียวมีความถูกต้องเพิ่มขึ้นจากที่ไม่สามารถคัดแยกได้ เป็น 14.3% ซึ่งต้องใช้ข้อมูลของเปลือก 4 ด้านมาเฉลี่ยกัน

สรุป

1. การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant analysis โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ข้อมูลการดูดกลืนแสงที่ปรับแต่งด้วยวิธี Multiplicative scatter correction (MSC) ของเปลือกมังคุด ทั้งช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 700-1100 nm. ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83.9 ในด้านที่ 1 ด้านที่ 3 และด้านที่ 4

2. การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant analysis โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ Partial least square Discriminant analysis (PLS-DA) จากข้อมูล การดูดกลืนแสงของเปลือกมังคุดที่ช่วงความยาวคลื่น 708 และ 880 nm. ให้ค่าความถูกต้องในการ จำแนกดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83.9 ในทุกด้าน

3. การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant analysis โดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่มคือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ Partial least square Discriminant analysis (PLS-DA) จากข้อมูล Second derivative ของการดูดกลืนแสงของเปลือกมังคุดที่ช่วงความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038 และ 1058 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกดี ที่สุด คิดเป็นร้อยละ 84.8 จากข้อมูลสเปกตรัมทั้ง 4 ด้านเฉลี่ย

4. หากเปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรัมของเปลือกมังคุดทั้ง 4 ด้าน พบว่า ข้อมูลการดูดกลืน แสงของเปลือกมังคุดด้านที่ 1 ซึ่งเป็นด้านที่ตรงกับกลีบเนื้อที่ใหญ่ที่สุด ให้ค่าความถูกต้องในการ คัดแยกที่ดีที่สุด

5. เทคนิคการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดเนื้อปกติด้วยเทคนิค Near-Infrared Spectroscopy แบบสะท้อนแสง โดยวิธีวิเคราะห์แบบตัวแปรพหุคูณ (Multivariate Data Analysis) สามารถใช้คัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดเนื้อปกติได้ ร้อยละ 84.8 จากข้อมูลสเปกตรัมทั้ง 4 ด้านเฉลี่ย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2541. **มังคุด**. คำแนะนำที่ 38.

แหล่งที่มา: <http://web.ku.ac.th/agri/mangost/index.html>, 19 กรกฎาคม 2551.

กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. พิมพ์ครั้งที่ 1.

เอกสารวิชาการลำดับ: มังคุด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,
กรุงเทพฯ.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2549. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. พิมพ์ครั้งที่ 5. บริษัท
ธรรมสาร จำกัด, กรุงเทพฯ.

ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล, สายัณห์ สดุดี, พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์ และ คณดิก เจษฎ์พัฒนานนท์. 2543.
การพัฒนาและการตรวจับอาการเนื้อแก้วและยางไหลในผลมังคุด. สาระไม้ผล ปีที่ 5
ฉบับที่ 4 สิงหาคม 2543.

ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2534. การศึกษาวิธีการตัดคุณภาพของผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข และบุญรอด สุทธิสันต์ชาญชัย. 2542. การประเมินคุณภาพของผลไม้บาง
ชนิดโดยรังสีเอ็กซ์, ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่
37 (สาขาส่งเสริมนิเทศศาสตร์เกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ดังคนานุรักษ์. 2545. หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี. น. 39-
61. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared
Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้า
และพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2550. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. ฟิสิกส์. แหล่งที่มา: http://www.school.net.th/library/snet3/saowalak/electromagnet/e_wave.htm, 20 กรกฎาคม 2550.

นิวัฒน์ พรหมแพทย์. 2533. มังคุดเพื่อการส่งออก. ชมรมผลไม้แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

บัณฑิต จริโมภาส. 2546. สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 20-21.

ปาริชาติ ราชฉนิ. 2550. การศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รณฤทธิ์ ฤทธิธรม. 2550. เอกสารประกอบการสอนวิชา NIR. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รังสันทน์ พอดี. 2541. วิธีการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วแบบไม่ทำลายผลโดยใช้ความถ่วงจำเพาะและเอ็กซ์เรย์ คอมพิวเตอร์ โทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วรภัทร ลัคนทินวงศ์. 2539. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความมีชีวิตของเซลล์และปัจจัยของน้ำที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ แดงน้ำ. 2544. กลไกการเกิดอาการเนื้อแก้วของผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ แดงน้ำ และจรัสแท้ ศิริพานิช. 2544. กลไกการเกิดอาการเนื้อแก้วของผลมังคุด, ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37 (สาขาส่งเสริมเกษตรศาสตร์เกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรีสังวาลย์ ลาขวิเศษกุล. 2537. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วในมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและทดสอบสมการ
ในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. น. 131-151. การอบรมเชิงปฏิบัติการ
ควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวที
การค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร
และอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2550. เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัด
การดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรเชษฐ์ บุญรัตน์, โกสินทร์ จันทน์, บัณฑิต ทิพากร, ศิริชัย กัลยาณรัตน์ และ Makoto Okuda.
2542. วิธีการตรวจสอบความแข็งของเนื้อมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้การส่งผ่านความยาว
คลื่นใกล้อินฟราเรด. รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่
37 (สาขาวิศวกรรมศาสตร์). น. 405-411. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. ตารางที่ 67 มังคุด: เนื้อที่
ผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้ปี 2541-
2550. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/magost/index.html>, 20 กรกฎาคม 2551.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร. 2551. มังคุดสดแช่เย็นแช่แข็ง :
ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตร ราย
เดือน. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/statistic/export/1301Mug.xls>, 1 ตุลาคม 2550.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546.
มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ: มังคุด (มกอช. 2-2546)
- อาทิตย์ พวงสมบัติ, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วารุณี ฐานะแพสย์ และ ศุมาพร
เกษมสำราญ. 2549. การตรวจสอบคุณภาพภายในผลแก้วมังกรด้วยเทคนิคเนียร์
อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. วิทยาสารกำแพงแสน 4: 3-10.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2545. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. น. 67-98. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

American Society of Agricultural Engineers. 1994. **ASAE standard 1994: standards, engineering practices data.** U.S.A. pp. 471.

Boysworth, M.K. and K.S. Booksh. 2001. **Aspect of multivariate calibration applied to near-infrared spectroscopy.** In D.A. Burns and E.W. Ciurczak, eds. Handbook of Near-Infrared Analysis. Marcel Dekker Inc., New York.

Fu, X., Ying, Y., Lu, H. and Xu, H. 2007. Comparison of diffuse reflectance and transmission mode of visible-near infrared spectroscopy for detecting brown heart of pear. **Journal of Food Engineering.** 83: 317-323.

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.

Kavdir, I., Lu, R., Ariana, D. and Ngouajio, M. 2007. Visible and near-infrared spectroscopy for nondestructive quality assessment of pickling cucumbers. **Postharvest Biology and Technology** 43: 165-174.

Kawano, S. 2545. **Procedure of Calibration and Validation in NIR spectroscopy.** น. 135-137. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- Kawano, S.2002. **Application to Agricultural Products and Foodstuffs**, pp. 269-287. *In* Siesler, H.W., Y. Ozaki, S. Kawata and H.M. Heise, eds. Near Infrared Spectroscopy Principles, Instrument, Applications. Wiley-VCH, Germany.
- Kays, S.J., 2000. **On-line near infrared quality assessment of high moisture plant products.** *In: Florkowski, W.J., Prussia, S.E., Shewfelt, R.L. (Eds.), Integrated View of Fruit & Vegetable Quality.* Technomic Pub., Lancaster, PA, pp. 119-127
- Osborne, B.G., T. Fearn. And P.H. Hindle. 1993. **Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis.** Longman Science & Technology. U.S.A. pp. 29-141.
- Pankasemsuk, T., J. O. jr. Garner, F. B. Matta, and J. L. Silva, 1996. Translucent flesh disorder of mangosteen fruit (*Garcinia mangostana* L.). **HortScience** 31(11). 112-113.
- Roben, A., Francisco M., Juan, C.C., Macarena, P., Alejandro, F., Pedro, C., Antonio, F. T. and Teresa A. 2006. Involvement of polyamine in plant response to abiotic stress. **Biotechnology letter** 28: 1867-1876.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J. and Kawano, S. 2004. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 31: 137-145.
- Teerachaichayut, S., Kil, K.Y., Terdwongworakul, A., Thanapase, W., and Nakanishi, Y. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 43: 202-206.





ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลขนาดของผลมังคุดและอาการที่เกิดขึ้นภายในผล (หน่วย: mm)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
1	59.19	49.57	1
2	63.03	52.07	1
3	61.2	52.52	0
4	59.42	50.23	0
5	62.04	50.56	0
6	64.46	52.58	0
7	59.18	46.36	0
8	63.18	49.85	0
9	68.33	52.01	0
10	61.26	50.21	0
11	57.61	54.06	0
12	60.87	50.6	1
13	66.95	55.69	0
14	61.77	46.51	0
15	56.48	49.31	0
16	57.17	48.66	0
17	62.35	51.06	0
18	59.86	50.94	0
19	68.17	52.4	0
20	63.46	44.7	0
21	58.99	50.22	0
22	64.07	48.07	0
23	61.98	50.69	0
24	65.34	59.04	0
25	61.09	50.03	0
26	66.85	53.7	0

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
27	64.01	51.74	0
28	60.96	46.58	0
29	59.08	47.88	0
30	67.37	49.54	0
31	64.31	52.71	0
32	67.85	50.73	0
33	62.87	50.51	1
34	70.52	52.77	0
35	58.47	49.19	0
36	62.01	51.37	0
37	58.17	46.31	0
38	64.78	52.47	0
39	64.05	53.53	1
40	69.27	56.03	0
41	60.01	43.98	0
42	62.08	50.12	0
43	67.49	55.49	0
44	61.37	49.54	0
45	61.88	47.59	0
46	61.09	49.46	0
47	60.96	52.24	1
48	63.88	46.21	1
49	62.81	51.96	0
50	65.83	54.89	0
51	60.68	51.8	0
52	61.27	48.81	0

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
53	61.52	47.04	0
54	61.38	49.93	0
55	64.74	56.09	0
56	68.44	56.53	0
57	66.14	50.29	0
58	60.86	52.26	0
59	65.68	52.38	0
60	63.53	55.11	1
61	62.82	51.29	0
62	71.66	58.29	0
63	63.78	52.33	0
64	62.96	53.96	0
65	59.4	50.53	1
66	65.02	48.58	0
67	62.97	51	0
68	66.98	55.48	0
69	57.3	48.84	0
70	66.35	54.27	1
71	61.33	51.32	0
72	59.31	46.33	1
73	60.98	50.29	0
74	63.01	55.22	0
75	69.74	57.41	0
76	68.80	54.58	0
77	72.66	57.22	0
78	63.97	51.4	1

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
79	66.84	56.64	0
80	70.48	56.95	0
81	65.61	51.83	0
82	65.7	52.62	0
83	76.99	59.56	0
84	60.99	50.47	0
85	70.48	59.66	0
86	62.99	51.88	0
87	62.78	52.16	0
88	58.4	51.55	0
89	66.97	56.81	0
90	62.37	54.39	1
91	72.57	56.53	0
92	65.37	54.18	0
93	68.01	56.75	1
94	65.58	55.95	1
95	66.07	55.4	0
96	69.99	56.39	0
97	65.13	54.71	1
98	66.47	53.76	0
99	69.4	57.4	0
100	65.34	52.65	1
101	65.12	55.15	0
103	64.95	54.54	0
104	72.14	59.23	0
105	66.42	92.69	0

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
106	66.04	53.27	1
107	67.73	53.18	1
108	65.78	55.66	0
109	61.48	54.66	0
110	62.02	51.28	0
111	78.21	62.99	0
112	71.37	58.85	0
113	64.72	51.91	1
114	62.31	51.07	0
115	64.29	52.13	0
116	64.28	50.18	0
117	62.37	53.35	0
118	65.78	53.34	0
119	61.57	54.12	0
120	67.75	54.67	0
121	62.11	55.2	0
122	63.81	52.38	0
123	62.39	50.59	0
124	63.21	51.29	0
125	67.97	54.84	1
126	63.86	53.63	0
127	65.39	56.3	0
128	63.66	52.83	0
129	64.55	51.35	0
131	62.08	48.27	0
130	63.2	52.29	0

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
132	65.78	53.36	1
133	64.28	52.69	1
134	64.39	54.76	1
135	58.27	51	0
136	59.29	50.8	0
137	60.1	48.74	0
138	61.54	52.62	0
139	58.26	52.25	0
140	60.28	44.33	1
141	61.02	49.82	0
142	57.24	49.16	0
143	58.52	50.64	1
144	63.21	53.08	0
145	62.29	50.9	1
146	63.7	50	0
147	58.06	52.32	0
148	60.17	47.15	0
149	60.37	51.93	0
150	65.97	52.73	0
151	63.84	53.74	0
152	58.53	46.58	0
153	61.29	49.28	0
154	61.15	46.34	0
155	59.67	48.38	0
156	65.68	52.57	0
157	63.45	49.39	0

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
158	60.21	50.7	1
159	62.18	50.31	1
160	61.2	48.58	1
161	58.66	49.3	0
162	63.27	50.86	0
163	64.79	51.75	0
164	60.82	51.34	0
165	58.41	50.76	0
166	62.24	51.84	0
167	67.07	53.57	0
168	60.27	47.8	0
169	60.58	49.69	0
170	58.73	48.81	0
171	60.84	51.09	1
172	60.71	49.56	0
173	64.04	51.01	0
174	63.17	51.66	0
175	57.67	50.15	0
176	57.61	49.8	0
177	62	49.56	0
178	60.78	45.47	1
179	65.47	51.18	0
180	59.15	49.89	1
181	63.49	51.48	0
182	63.19	52.34	0
183	62.21	52.84	0

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
184	58.87	49.58	0
185	63.83	52.58	1
186	63.71	51.53	0
187	67.78	57.91	0
188	62.5	52.6	0
189	59.36	55.33	0
190	60.97	52.32	0
191	60.29	48.66	0
192	61.41	52.6	0
193	59.99	90.47	0
194	56.4	50.76	1
195	58.37	48.96	0
196	59.8	51.28	0
197	61.01	49.49	0
198	63.95	49.83	0
199	60.52	47.26	0
200	58.92	53.31	0
201	61.56	49.26	0
202	58.97	45.02	0
203	58.02	47.54	0
204	59.73	47.4	0
205	58.33	48.71	0
206	58.12	46.57	0
207	63.34	53.09	0
208	61.43	52.25	1
209	58.08	49.24	0

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	เส้นผ่านศูนย์กลาง ยาวที่สุด	ความสูงมากที่สุด	อาการภายในผล 0 คือ มังคุดปกติ 1 คือ มังคุดเนื้อแก้ว
210	60.39	47.51	0
211	58.52	51.57	0
212	58.03	48.9	0
213	60.42	51.46	0
214	56.91	50.37	1
215	57.12	45.04	0
216	56.42	49.4	0
217	56.69	46.8	0
218	60.53	49.21	0
219	58.8	46.68	0
220	59.41	48.99	0

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลน้ำหนักของผลมังคุดที่ชั่งในอากาศและในน้ำ (หน่วย: g)

No.	น้ำหนักผลที่ชั่งในอากาศ	น้ำหนักผลที่ชั่งในน้ำ
1	96.72	98.47
2	123.72	122.06
3	111.2	115.08
4	107.02	107.66
5	109.81	111.51
6	129.46	129.3
7	97.7	98.29
8	117.38	116.2
9	114.67	119.05
10	118.62	115.7
11	101.3	100.6
12	106.94	107.77
13	126.44	130.33
14	91.29	97.5
15	91.19	92.61
16	89.78	92.8
17	108.95	108.94
18	101.67	103.09
19	147.2	151.43
20	102.52	107.96
21	97.92	101.33
22	118.39	121.09
23	112.89	115.25
24	147.4	144.98
25	109.08	112.22
26	137.62	142.29
27	125.08	125.12

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	น้ำหนักผลที่ชั่งในอากาศ	น้ำหนักผลที่ชั่งในน้ำ
28	97.64	100.64
29	94.32	100.04
30	127.01	133.42
31	127.55	127.88
32	141.62	144.83
33	123.07	120.21
34	150.3	155.97
35	89.75	95.65
36	111.18	115.12
37	96.84	97
38	129.98	130
39	123.36	125.68
40	153.25	159.45
41	107.42	110.21
42	105.4	107.06
43	141.42	144.77
44	114.9	113.21
45	104.26	107.19
46	100.39	102.42
47	116.7	115.16
48	121.15	120.28
49	114.8	118.32
50	126.68	132.44
51	103.3	105.65
52	111.63	115.51
53	101.91	106.06
54	104.65	108.54
55	128.57	133.98

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	น้ำหนักผลที่ชั่งในอากาศ	น้ำหนักผลที่ชั่งในน้ำ
56	155.56	154.61
57	123.8	136.77
58	106.95	111.34
59	129.23	131.76
60	126.86	126.65
61	110.11	114.93
62	161.75	164.94
63	122.01	123.92
64	118.13	121.25
65	100.21	102.76
66	110.33	116.79
67	118.05	118.78
68	138.95	147.18
69	89.75	91.88
70	131.12	131.1
71	103.85	108.43
72	104.92	104.21
73	104.81	110.47
74	122.15	125.24
75	157.56	162.99
76	147.35	150.59
77	164.19	165.81
78	124.79	125.56
79	145.92	149.56
80	148.91	156.69
81	127.21	132.54
82	132.27	136.97
83	187.52	196.17

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	น้ำหนักผลที่ชั่งในอากาศ	น้ำหนักผลที่ชั่งในน้ำ
84	104.62	107.06
85	161.77	160.29
86	115.44	118.41
87	114.78	119.18
88	96.61	100.18
89	132.95	136.95
90	118.75	121.31
91	170.57	172.41
92	126.13	135.03
93	150.2	150.36
94	129.22	135.27
95	136.33	140.49
96	156.45	160.85
97	131.13	130.8
98	134.1	136.02
99	158.09	156.46
100	123.59	129.52
101	118.62	125.88
102	115.88	114.27
103	127.92	134.11
104	171.6	179.21
105	125.35	130.83
106	132.21	131.09
107	136.09	141.07
108	136.22	137.06
109	113.64	121.04
110	107.78	113.26
111	221.80	225.16

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	น้ำหนักผลที่ชั่งในอากาศ	น้ำหนักผลที่ชั่งในน้ำ
112	165.27	172
113	125	123.52
114	109.48	113.66
115	122.53	131.06
116	117.1	120
117	115.43	120.52
118	118.12	126.49
119	115.82	119.7
120	137.21	144.21
121	115.43	120.39
122	118.8	125.98
123	117.91	123.57
124	108.96	113.63
125	151.54	156.57
126	112.46	123.17
127	121.76	130.05
128	117.64	121.25
129	123.55	126.83
130	117.11	121.67
131	102.22	105.76
132	130.3	128.22
133	118.23	120.71
134	127.61	128.71
135	91.28	96.49
136	97.62	100.71
137	95.45	100.45
138	112.85	113.43
139	100.91	103.83

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	น้ำหนักผลที่ชั่งในอากาศ	น้ำหนักผลที่ชั่งในน้ำ
140	103.77	107.92
141	96.89	104.45
142	88.23	92.18
143	95.62	97.06
144	117.14	120.02
145	112.65	113.64
146	110.24	116.28
147	92.15	97.87
148	94.88	97.57
149	108.9	110.84
150	130.18	137.45
151	107.09	114.48
152	83.11	91.89
153	99.5	103.21
154	98.87	106.84
155	98.67	105.24
156	125.01	127.32
157	114.85	116.29
158	106.42	108.33
159	114.33	114.27
160	104.01	104.99
161	93.71	98.24
162	114.5	101.78
163	119.68	119.41
164	103.2	106.7
165	99.42	125.82
166	105.27	115.69
167	127.26	129.62

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	น้ำหนักผลที่ชั่งในอากาศ	น้ำหนักผลที่ชั่งในน้ำ
168	96.54	103.31
169	100.81	107.31
170	87.4	94.01
171	105.82	107.54
172	102.22	109.52
173	106.75	111.03
174	110.83	119.15
175	83.27	89.13
176	95.13	97.25
177	102.33	106.09
178	102.68	106.45
179	113.35	121.72
180	94.68	101.17
181	105	113.26
182	107.13	116.02
183	106.39	113.17
184	94.01	98.42
185	122.19	126.67
186	108.81	116.71
187	132.18	140.76
188	106.07	114.58
189	102.43	108.11
190	109.08	114.44
191	90.2	96.24
192	109.34	112.03
193	101.28	103.33
194	90.51	105.94
195	82.45	89.75

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	น้ำหนักผลที่ชั่งในอากาศ	น้ำหนักผลที่ชั่งในน้ำ
196	100.07	94.11
197	93.52	103.68
198	105.27	114.82
199	86.04	97.04
200	98.87	106.56
201	102.4	108.9
202	82.3	92.11
203	85.55	89.26
204	86.8	97.62
205	91.66	92.85
206	90.74	94.12
207	108.68	116.38
208	109.24	107.91
209	93.35	97.3
210	85.01	95.74
211	91.18	97.51
212	90.14	93.37
213	96.5	98.66
214	89.33	89.72
215	77.61	84.49
216	81.61	88.32
217	80.37	87.74
218	95.52	98.85
219	88.89	95.65
220	94.26	100.65

ตารางผนวกที่ ก3 ค่าความถ่วงจำเพาะของผลมันักุด

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
1	0.98	28	0.97
2	1.01	29	0.94
3	0.97	30	0.95
4	0.99	31	1.00
5	0.98	32	0.98
6	1.00	33	1.02
7	0.99	34	0.96
8	1.01	35	0.94
9	0.96	36	0.97
10	1.03	37	1.00
11	1.01	38	1.00
12	0.99	39	0.98
13	0.97	40	0.96
14	0.94	41	0.97
15	0.98	42	0.98
16	0.97	43	0.98
17	1.00	44	1.01
18	0.99	45	0.97
19	0.97	46	0.98
20	0.95	47	1.01
21	0.97	48	1.01
22	0.98	49	0.97
23	0.98	50	0.96
24	1.02	51	0.98
25	0.97	52	0.97
26	0.97	53	0.96
27	1.00	54	0.96

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
55	0.96	82	0.97
56	1.01	83	0.96
57	0.91	84	0.98
58	0.96	85	1.01
59	0.98	86	0.97
60	1.00	87	0.96
61	0.96	88	0.96
62	0.98	89	0.97
63	0.98	90	0.98
64	0.97	91	0.99
65	0.98	92	0.93
66	0.94	93	1.00
67	0.99	94	0.96
68	0.94	95	0.97
69	0.98	96	0.97
70	1.00	97	1.00
71	0.96	98	0.99
72	1.01	99	1.01
73	0.95	100	0.95
74	0.98	101	0.94
75	0.97	102	1.01
76	0.98	103	0.95
77	0.99	104	0.96
78	0.99	105	0.96
79	0.98	106	1.01
80	0.95	107	0.96
81	0.96	108	0.99

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
110	0.95	137	0.95
111	0.99	138	0.99
112	0.96	139	0.97
113	1.01	140	0.96
114	0.96	141	0.93
115	0.93	142	0.96
116	0.98	143	0.99
117	0.96	144	0.98
118	0.93	145	0.99
119	0.97	146	0.95
120	0.95	147	0.94
121	0.96	148	0.97
122	0.94	149	0.98
123	0.95	150	0.95
124	0.96	151	0.94
125	0.97	152	0.90
126	0.91	153	0.96
127	0.94	154	0.93
128	0.97	155	0.94
129	0.97	156	0.98
130	0.96	157	0.99
131	0.97	158	0.98
132	1.02	159	1.00
133	0.98	160	0.99
134	0.99	161	0.95
135	0.95	162	1.12
136	0.97	163	1.00

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
165	0.79	192	0.98
166	0.91	193	0.98
167	0.98	194	0.85
168	0.93	195	0.92
169	0.94	196	1.06
170	0.93	197	0.90
171	0.98	198	0.92
172	0.93	199	0.89
173	0.96	200	0.93
174	0.93	201	0.94
175	0.93	202	0.89
176	0.98	203	0.96
177	0.96	204	0.89
178	0.96	205	0.99
179	0.93	206	0.96
180	0.94	207	0.93
181	0.93	208	1.01
182	0.92	209	0.96
183	0.94	210	0.89
184	0.96	211	0.94
185	0.96	212	0.97
186	0.93	213	0.98
187	0.94	214	1.00
188	0.93	215	0.92
189	0.95	216	0.92
190	0.95	217	0.92
191	0.94	218	0.97

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
219	0.93	220	0.94



ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมังคุด (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)

No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
1	60.56	71.11	68.68	65.92	66.57
2	66.56	63.86	63.98	63.04	64.36
3	60.20	64.49	67.46	63.95	64.02
4	67.39	66.18	69.14	67.57	67.57
5	60.51	61.66	62.89	57.27	60.58
6	62.67	66.34	62.05	61.75	63.20
7	57.03	60.20	60.61	60.91	59.69
8	57.51	58.29	59.87	57.04	58.18
9	63.40	64.04	65.08	60.96	63.37
10	65.56	65.71	63.11	64.29	64.67
11	68.66	66.92	70.26	69.38	68.80
12	65.45	65.95	65.88	63.64	65.23
13	65.93	64.88	66.67	66.46	65.99
14	64.80	65.13	65.63	65.43	65.25
15	65.91	63.06	70.99	67.33	66.82
16	66.16	62.65	62.71	65.19	64.18
17	61.63	63.76	63.38	61.84	62.65
18	61.59	68.21	66.01	67.72	65.88
19	65.78	63.49	67.61	64.25	65.28
20	63.87	64.35	63.80	63.23	63.81
21	63.19	60.38	58.70	59.91	60.54
22	62.12	61.33	63.29	63.91	62.66
23	67.98	69.33	68.80	67.26	68.34
24	66.28	67.84	67.55	66.17	66.96
25	65.96	65.96	66.84	68.95	66.93
26	63.83	63.29	62.93	65.81	63.96
27	63.60	63.38	64.68	63.69	63.84

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
28	68.09	65.58	67.71	66.52	66.97
29	63.00	60.73	60.19	61.54	61.37
30	64.58	63.24	66.67	64.98	64.86
31	67.69	66.67	67.33	67.63	67.33
32	65.73	66.54	64.92	68.44	66.41
33	65.33	66.28	65.19	65.97	65.69
34	67.09	68.40	69.14	66.78	67.85
35	68.33	65.66	69.00	63.30	66.57
36	61.82	64.75	60.82	63.44	62.71
37	64.78	66.14	65.95	64.96	65.46
38	67.26	67.12	66.80	68.42	67.40
39	67.32	67.21	67.66	67.00	67.30
40	67.75	70.21	69.70	69.20	69.21
41	68.57	65.28	66.24	66.94	66.76
42	63.75	64.45	64.75	65.99	64.74
43	64.52	69.35	61.69	66.05	65.40
44	65.63	64.78	66.10	63.59	65.03
45	69.55	71.36	69.95	67.07	69.48
46	68.51	69.03	68.49	71.04	69.27
47	69.00	66.88	66.38	65.55	66.95
48	68.18	65.87	67.91	68.44	67.60
49	62.89	63.91	63.32	65.65	63.94
50	63.84	65.68	63.60	62.50	63.90
51	59.23	64.02	60.87	59.89	61.00
52	66.35	66.07	66.99	67.20	66.65
53	63.60	65.08	64.82	63.64	64.28
54	64.29	64.98	66.24	66.07	65.39

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
55	66.30	66.26	66.67	66.80	66.50
56	61.84	64.17	63.57	62.11	62.92
57	64.58	65.09	65.87	65.71	65.32
58	67.44	65.17	65.16	68.69	66.62
59	67.76	67.56	66.22	68.72	67.56
60	67.03	67.74	68.64	67.53	67.74
61	61.46	61.08	65.15	62.50	62.55
62	61.51	63.70	63.25	62.35	62.70
63	63.81	64.79	62.56	63.41	63.64
64	61.61	61.41	63.39	60.53	61.73
65	65.07	67.63	67.78	65.96	66.61
66	61.64	63.32	64.02	60.00	62.24
67	65.52	67.57	64.98	67.39	66.36
68	61.30	63.20	61.03	62.15	61.92
69	61.34	58.18	59.61	60.10	59.81
70	65.49	65.90	63.73	64.98	65.02
71	62.18	65.78	64.68	64.67	64.33
72	63.50	65.05	65.05	62.44	64.01
73	66.67	67.46	66.81	68.14	67.27
74	68.30	71.19	70.40	68.29	69.55
75	67.48	66.27	67.25	66.67	66.92
76	66.36	66.28	66.20	66.57	66.35
77	66.20	66.55	66.52	65.85	66.28
78	65.99	66.50	66.79	64.60	65.97
79	65.70	67.79	67.43	67.95	67.22
80	64.09	64.63	63.76	63.78	64.06
81	65.24	63.90	65.98	66.51	65.41

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
82	64.87	66.01	66.00	64.52	65.35
83	64.97	64.16	64.93	66.46	65.13
84	66.67	68.35	66.15	67.21	67.10
85	66.67	68.20	66.77	67.25	67.22
86	62.61	66.42	64.96	66.52	65.13
87	65.61	71.14	68.87	68.24	68.46
88	66.67	70.43	67.63	67.39	68.03
89	66.91	67.96	66.80	69.10	67.69
90	67.93	69.18	68.34	68.28	68.43
91	62.46	63.00	64.81	62.66	63.23
92	64.58	65.14	65.09	66.53	65.33
93	63.14	66.00	67.07	65.64	65.46
94	62.65	64.14	64.31	65.09	64.05
95	60.06	63.46	62.80	62.71	62.26
96	65.00	62.72	62.78	65.15	63.91
97	64.44	64.98	66.55	65.48	65.36
98	64.65	64.05	64.82	64.95	64.62
99	65.87	69.45	68.15	67.92	67.85
100	63.01	66.79	66.44	62.40	64.66
101	63.06	62.03	64.07	64.26	63.35
102	65.40	66.36	66.35	63.08	65.30
103	67.49	66.67	67.67	66.80	67.16
104	64.66	67.10	64.95	67.80	66.13
105	64.65	61.95	64.89	61.78	63.32
106	63.79	63.36	64.84	63.84	63.96
107	57.19	57.30	58.68	56.97	57.53
108	62.82	63.46	61.69	64.41	63.10

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
109	63.14	64.57	63.79	62.66	63.54
110	64.34	61.74	64.62	65.33	64.00
111	65.95	63.52	62.87	63.99	64.08
112	61.67	67.69	66.67	64.89	65.23
113	61.28	61.80	62.13	62.87	62.02
114	65.54	66.26	66.91	67.14	66.46
115	62.50	64.34	62.95	62.94	63.18
116	62.46	62.57	61.41	63.07	62.38
117	62.45	60.91	62.87	61.48	61.93
118	61.44	60.82	59.32	62.26	60.96
119	63.77	66.24	64.22	62.98	64.30
120	63.49	63.30	66.42	63.67	64.22
121	64.81	66.06	63.91	67.60	65.60
122	61.74	63.25	61.23	62.79	62.25
123	65.08	66.67	64.97	67.46	66.05
124	62.06	63.03	61.89	62.75	62.43
125	63.50	63.69	63.64	62.27	63.27
126	65.58	65.57	65.69	62.78	64.91
127	64.52	70.31	66.16	66.79	66.94
128	64.26	65.37	67.36	64.49	65.37
129	65.40	63.51	64.96	64.93	64.70
130	64.82	64.16	65.52	65.89	65.10
131	65.04	66.03	66.67	67.23	66.24
132	68.85	69.81	68.61	68.85	69.03
133	64.04	63.95	64.53	62.39	63.73
134	67.45	65.30	65.50	66.28	66.13
135	61.17	63.59	60.94	61.65	61.84

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
136	62.50	64.25	64.03	63.00	63.45
137	65.90	65.91	65.25	66.14	65.80
138	63.44	63.04	64.26	64.58	63.83
139	64.37	65.57	61.83	64.98	64.19
140	66.54	67.57	67.05	66.19	66.84
141	60.97	61.71	62.79	61.90	61.84
142	60.94	63.44	64.45	61.76	62.65
143	66.31	68.24	67.21	66.42	67.05
144	65.64	66.67	67.78	65.19	66.32
145	65.96	65.99	65.67	66.54	66.04
146	62.75	63.70	64.39	63.95	63.70
147	61.35	61.85	61.33	62.00	61.63
148	62.83	61.02	58.76	63.25	61.46
149	62.04	64.39	61.48	63.25	62.79
150	61.94	62.99	61.69	64.46	62.77
151	62.79	64.49	63.89	63.93	63.77
152	59.60	62.79	61.84	63.64	61.97
153	63.60	64.39	63.12	64.20	63.83
154	64.06	65.90	62.90	65.13	64.50
155	63.44	63.38	63.32	64.36	63.62
156	64.73	64.57	64.23	64.34	64.47
157	63.58	63.29	64.14	64.61	63.90
158	67.36	67.30	66.46	66.57	66.92
159	63.61	59.33	63.70	60.57	61.80
160	67.89	65.34	68.11	67.16	67.13
161	59.66	59.53	60.16	56.12	58.87
162	63.95	64.60	63.19	65.56	64.32

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

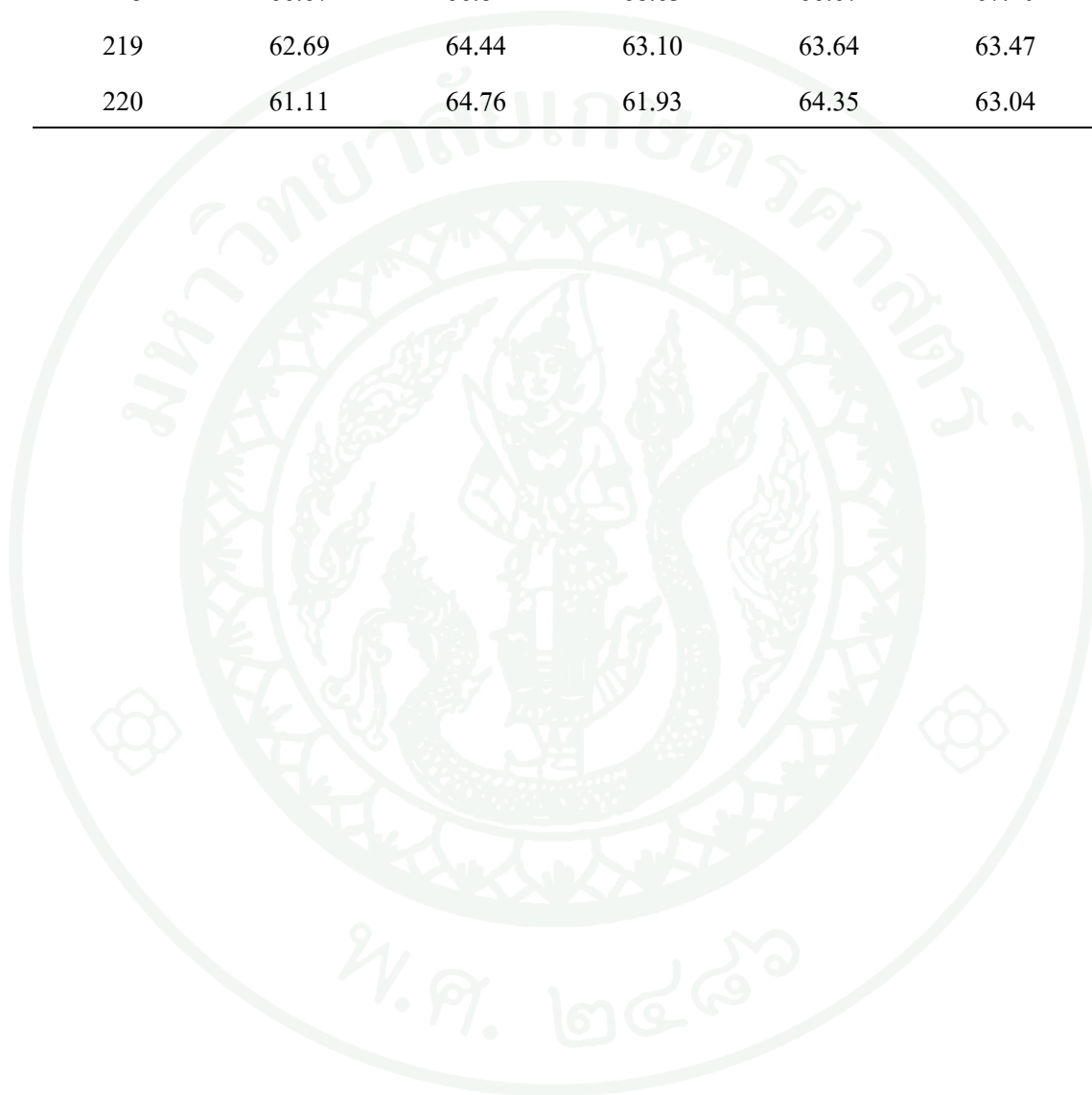
No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
163	66.09	66.02	64.53	67.70	66.08
164	63.49	62.16	62.40	64.41	63.11
165	62.54	64.34	63.80	63.17	63.47
166	63.09	60.08	60.32	63.24	61.68
167	63.66	63.91	63.73	62.30	63.40
168	63.43	62.98	65.57	62.54	63.63
169	66.11	67.27	65.10	66.06	66.13
170	60.50	65.81	60.92	64.50	62.93
171	63.66	62.35	63.70	61.94	62.91
172	68.84	64.24	59.68	62.95	63.93
173	64.90	62.32	63.84	64.84	63.97
174	64.83	66.12	65.71	65.56	65.55
175	66.24	67.84	68.75	66.54	67.34
176	62.50	63.68	61.37	62.71	62.56
177	62.67	64.73	62.44	64.86	63.67
178	67.10	64.29	64.08	65.34	65.20
179	62.67	60.47	61.47	64.73	62.33
180	61.72	62.13	61.25	63.91	62.25
181	62.08	63.31	63.64	64.10	63.28
182	61.80	64.22	62.98	63.11	63.03
183	65.78	67.53	66.52	67.39	66.81
184	65.90	67.11	64.02	65.34	65.59
185	63.91	65.93	66.11	65.19	65.28
186	63.48	62.08	61.60	62.98	62.53
187	63.52	65.00	63.26	65.59	64.34
188	62.62	64.76	62.04	65.34	63.69
189	66.18	66.67	65.40	66.82	66.27

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
190	66.08	65.42	65.26	65.07	65.46
191	62.77	64.82	64.86	64.24	64.17
192	64.73	65.74	65.53	66.19	65.55
193	65.04	64.00	66.36	65.86	65.31
194	66.56	67.33	67.35	66.11	66.84
195	64.68	67.58	68.42	66.53	66.80
196	60.00	61.88	61.67	60.32	60.97
197	65.78	66.00	65.68	66.22	65.92
198	64.90	66.36	65.52	65.18	65.49
199	64.11	64.13	62.57	66.67	64.37
200	64.26	67.32	66.40	65.53	65.88
201	64.72	65.65	64.58	65.83	65.20
202	64.53	62.00	64.59	63.11	63.56
203	66.12	67.08	67.98	68.11	67.32
204	60.00	63.51	63.18	61.57	62.07
205	67.11	66.32	66.46	64.73	66.16
206	61.65	65.64	63.21	62.93	63.36
207	64.38	67.67	65.13	65.78	65.74
208	62.85	62.96	63.02	62.20	62.76
209	65.15	66.06	66.79	65.27	65.82
210	62.14	63.22	66.86	64.71	64.23
211	64.22	66.29	62.84	67.29	65.16
212	63.75	66.12	64.67	64.80	64.84
213	67.34	67.73	67.34	67.10	67.38
214	65.74	64.57	63.98	66.67	65.24
215	63.56	67.57	66.79	65.06	65.75
216	62.01	63.68	62.50	63.13	62.83

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

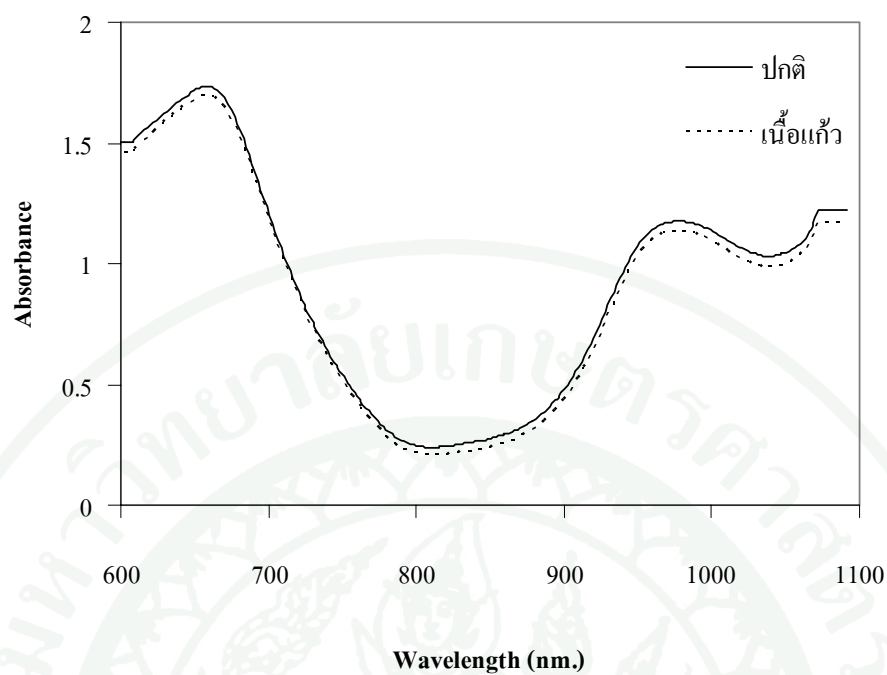
No.	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_AV
217	65.28	65.38	66.16	66.38	65.80
218	66.67	66.84	68.63	66.67	67.20
219	62.69	64.44	63.10	63.64	63.47
220	61.11	64.76	61.93	64.35	63.04



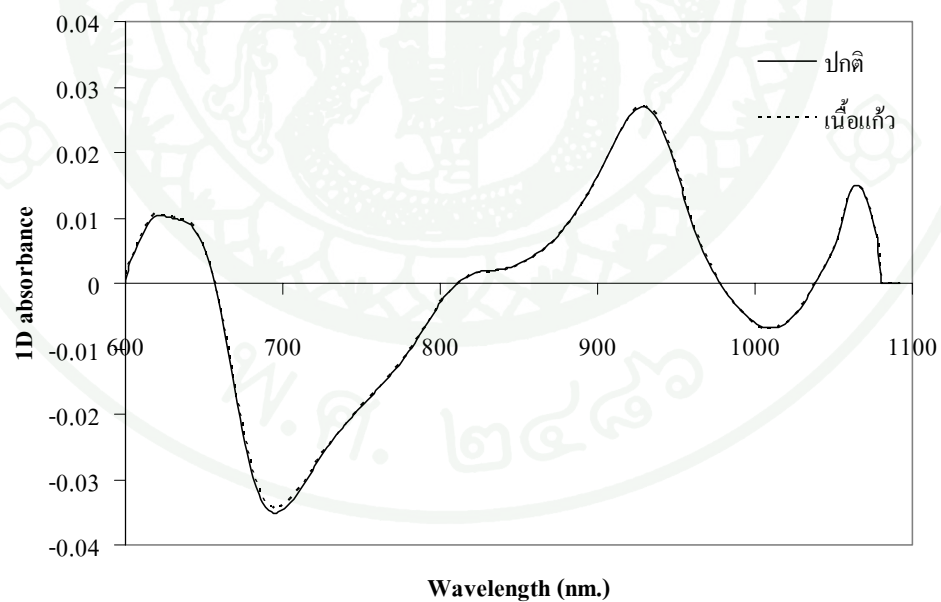


ภาคผนวก ข

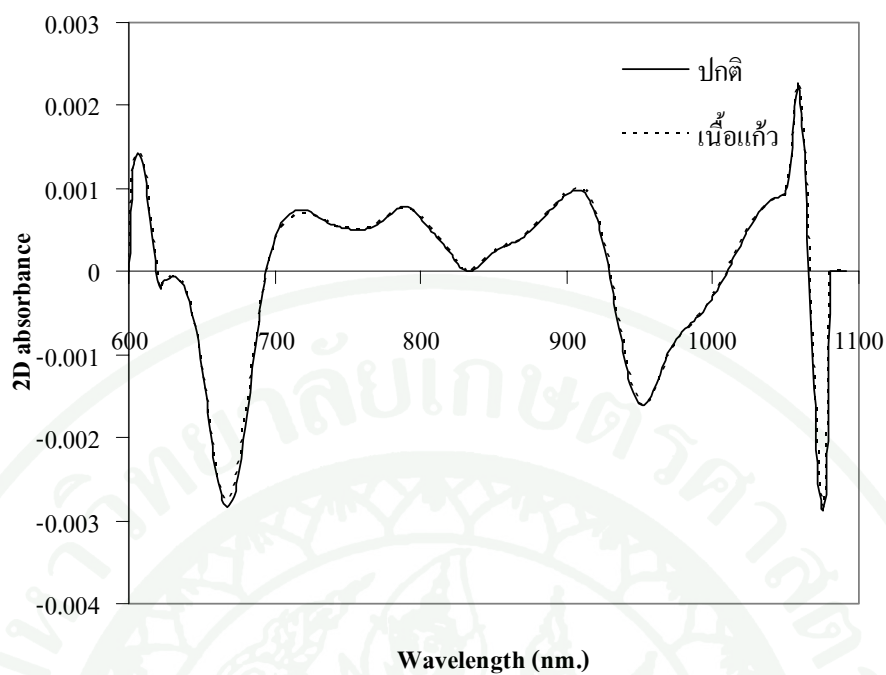
สเปกตรัมการดูดกลืนของแสงและการสะท้อนเฉลี่ยของมังคุดปกติและเนื้อแก้วที่ปรับแต่งด้วยวิธี
ทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ



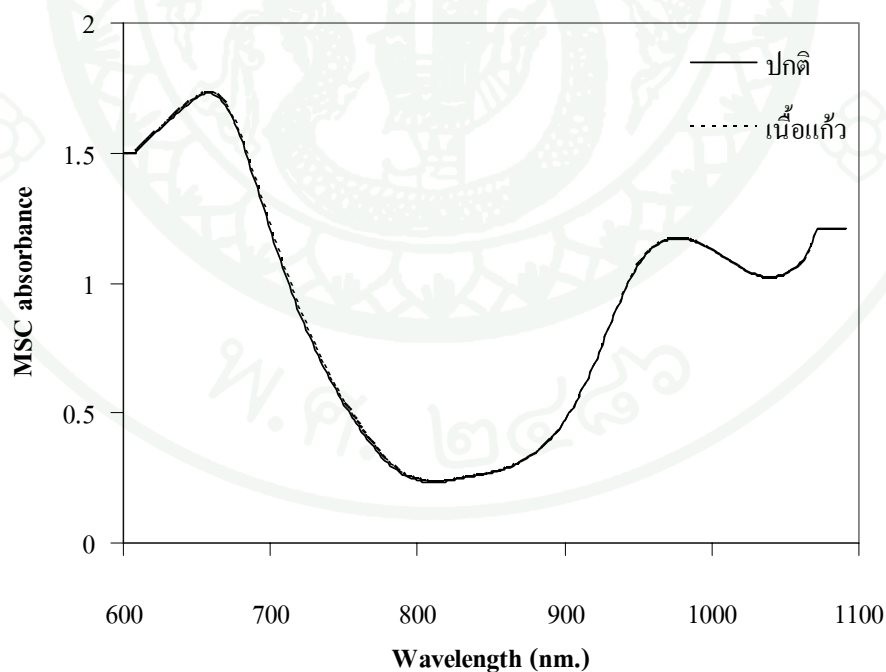
ภาพผนวกที่ ข1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



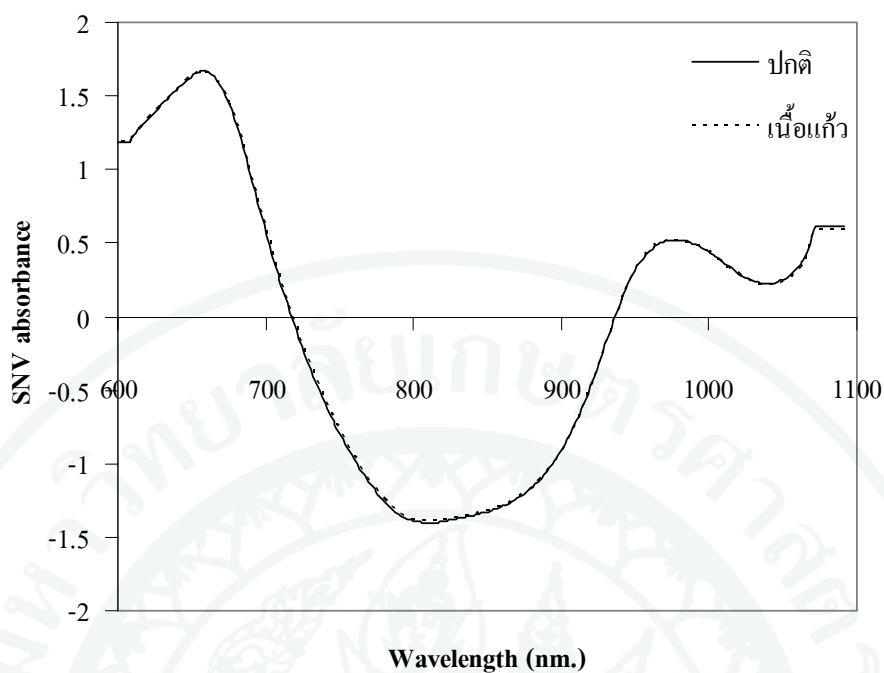
ภาพผนวกที่ ข2 First derivative (1D) ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



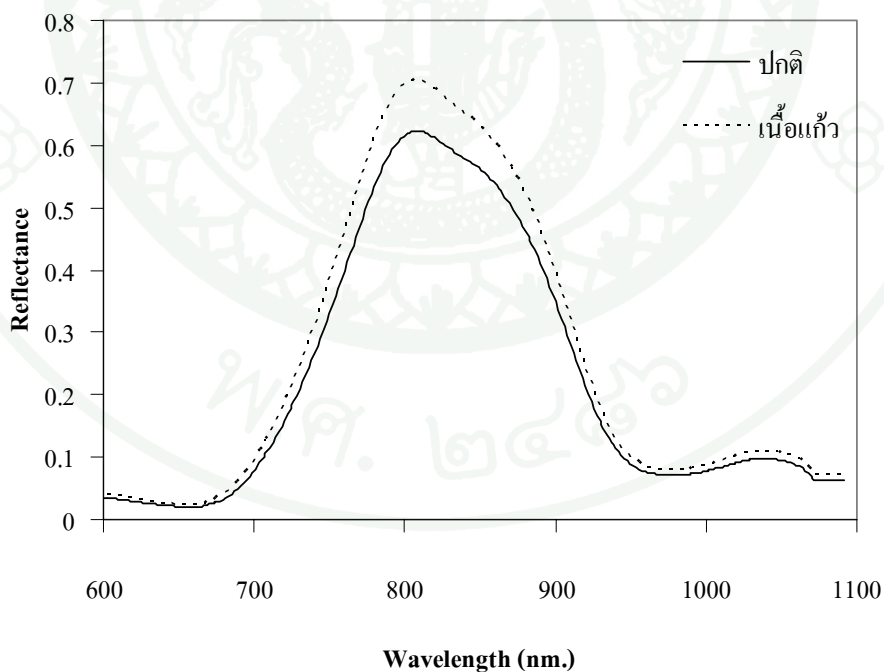
ภาพผนวกที่ ข3 Second derivative (2D) ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



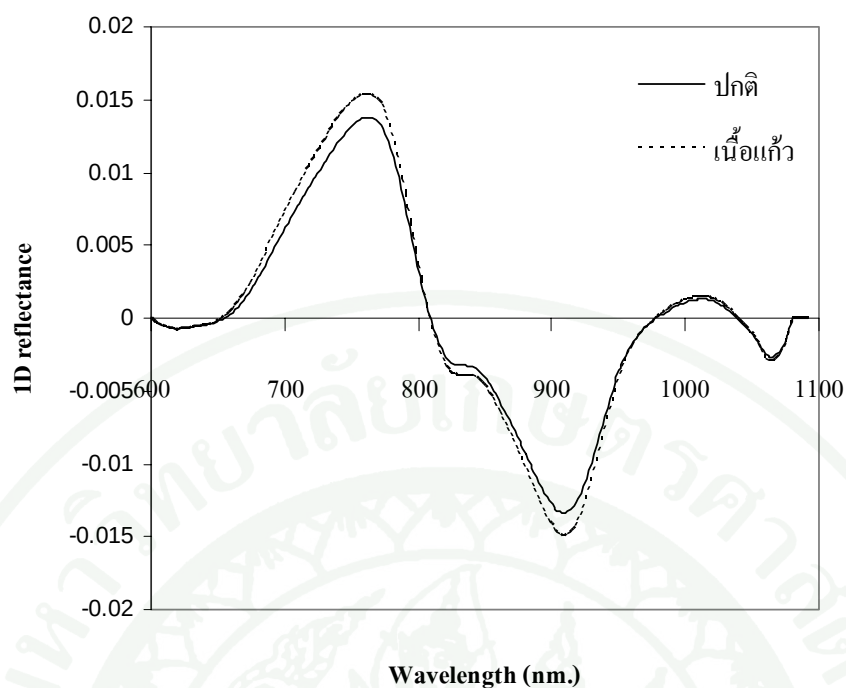
ภาพผนวกที่ ข4 Multiplicative scatter correction (MSC) ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



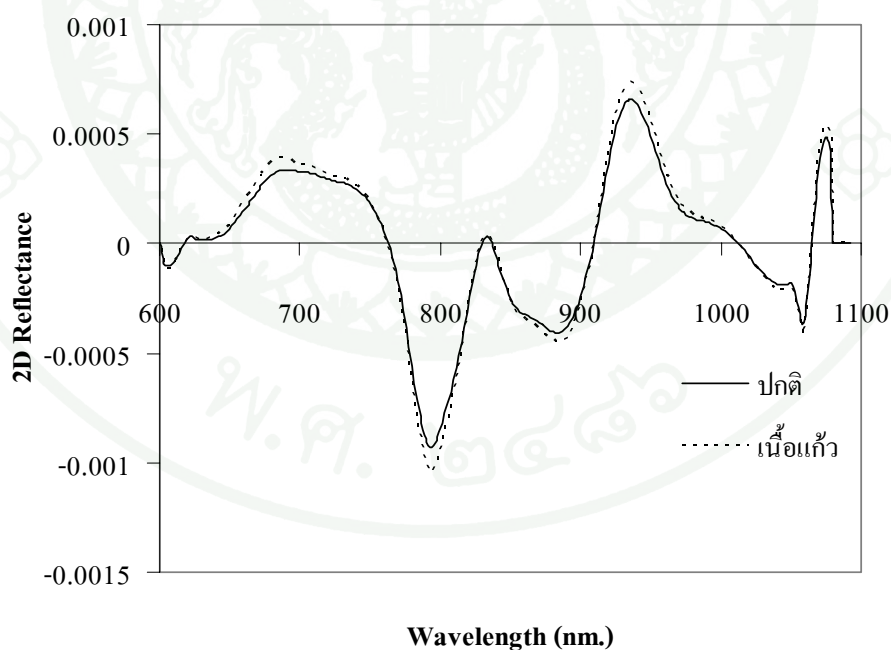
ภาพผนวกที่ ข5 Standard normal variate (SNV) ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



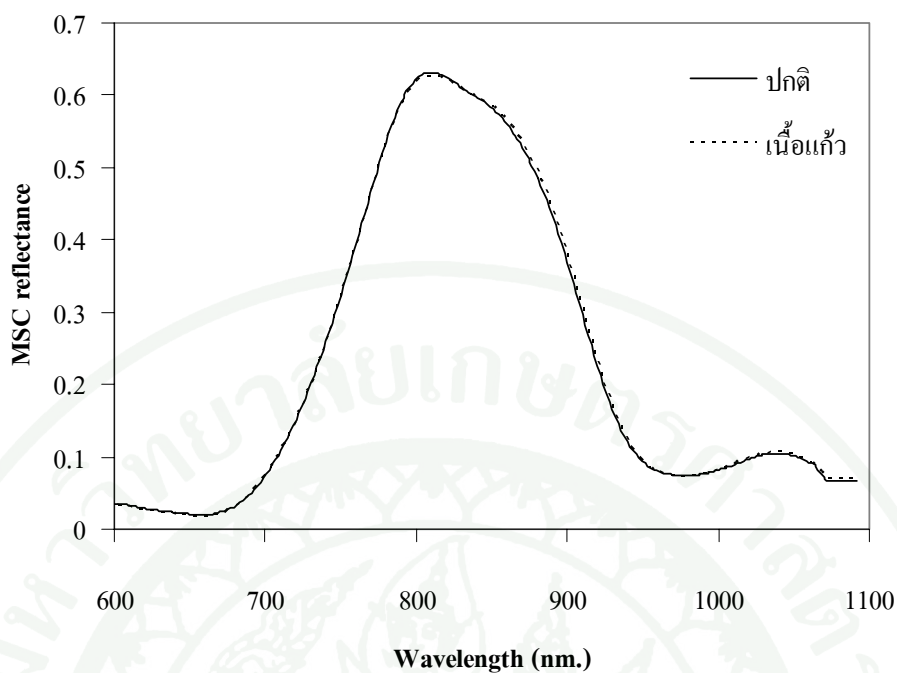
ภาพผนวกที่ ข6 สเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



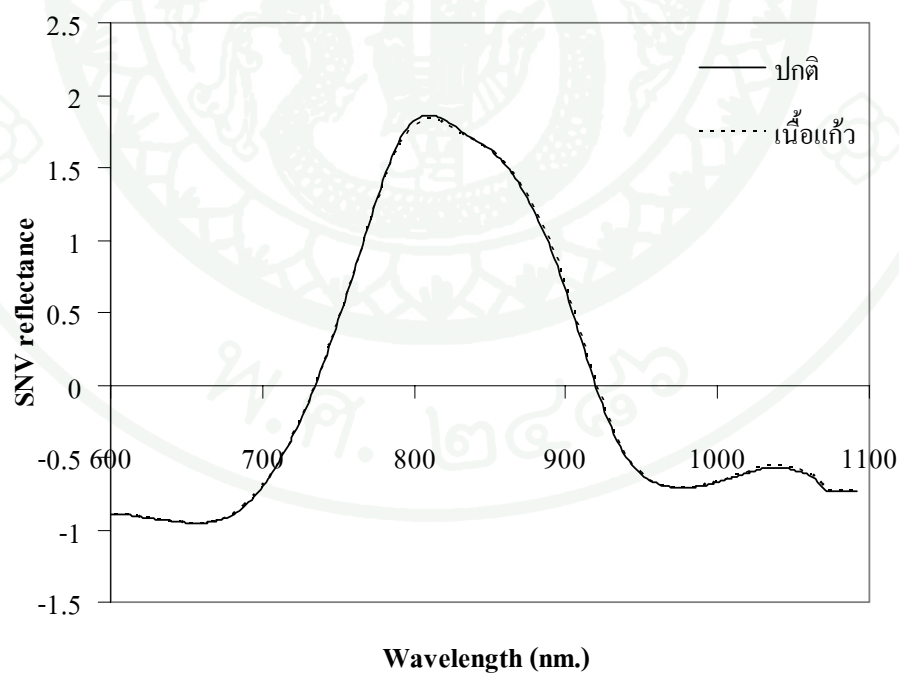
ภาพผนวกที่ ข7 Second derivative (2D) ของสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและ
มังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



ภาพผนวกที่ ข8 Second derivative (2D) ของสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของมังคุดปกติและ
มังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



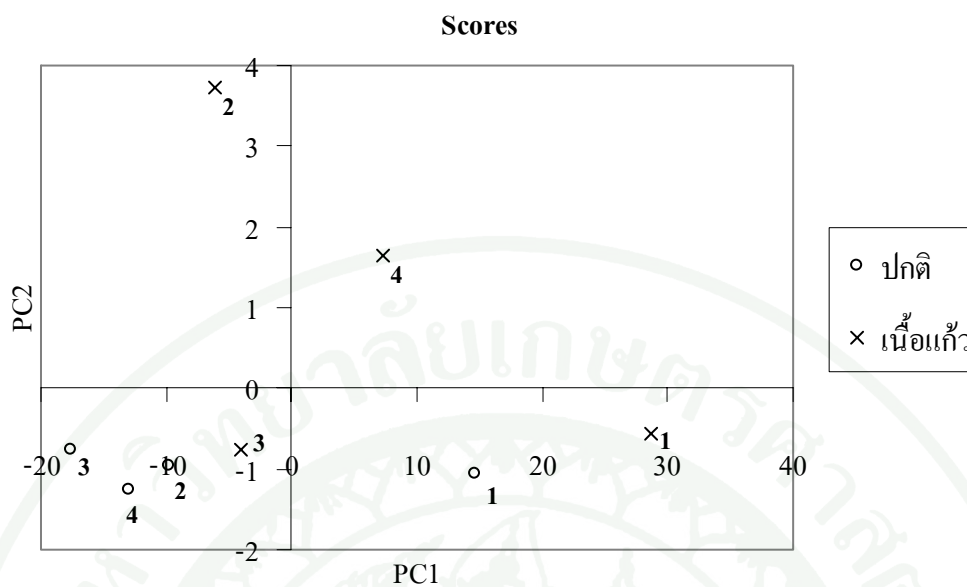
ภาพผนวกที่ ข9 Multiplicative scatter correction (MSC) ของสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของ
มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด



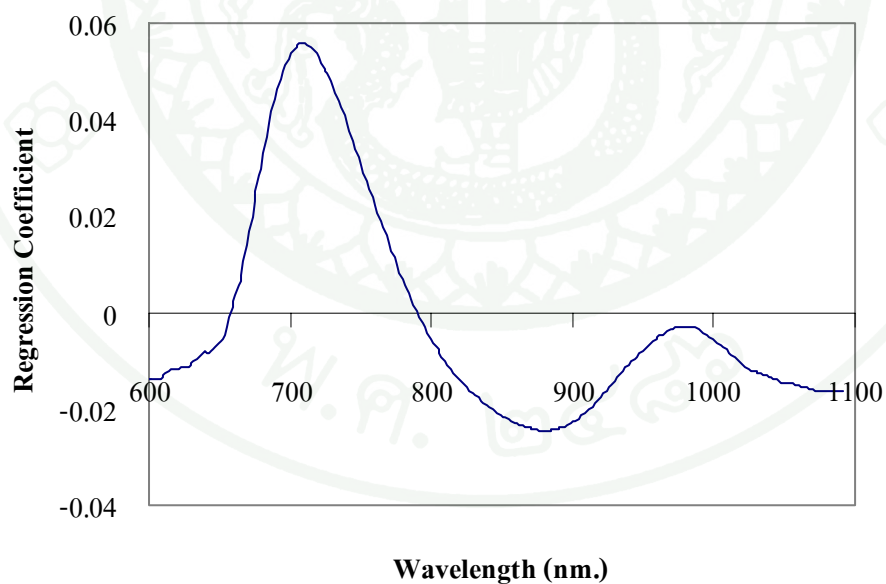
ภาพผนวกที่ ข10 Standard normal variate (SNV) ของสเปกตรัมการสะท้อนแสงเฉลี่ยของมังคุด
ปกติและมังคุดเนื้อแก้วทั้งหมด

ภาคผนวก ค

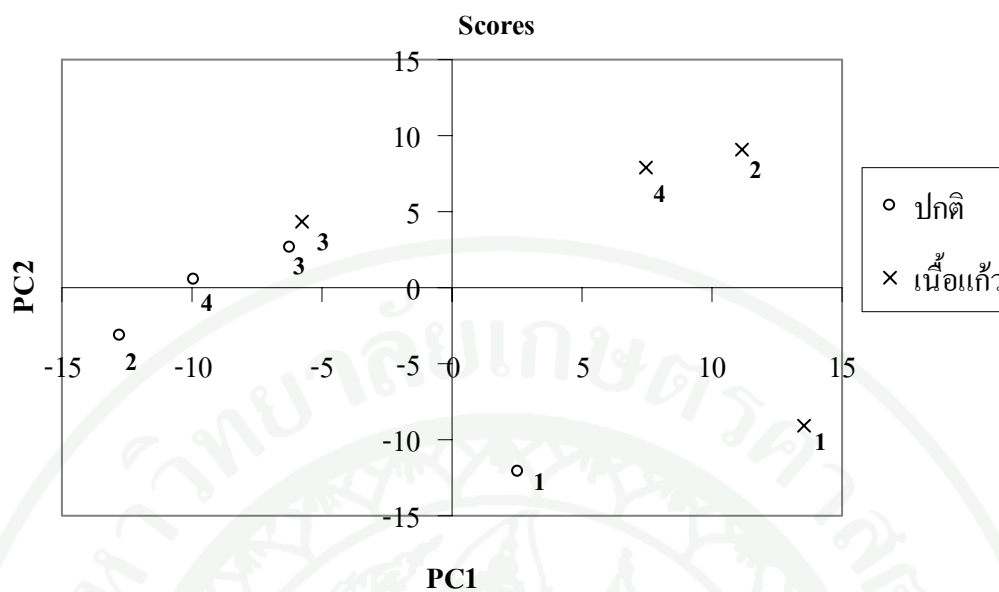
Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของการดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเจลลี่ในแต่ละด้าน (4 ด้าน) และค่า Regression coefficient ของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงของผลมังคุดทั้งหมดที่ปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ



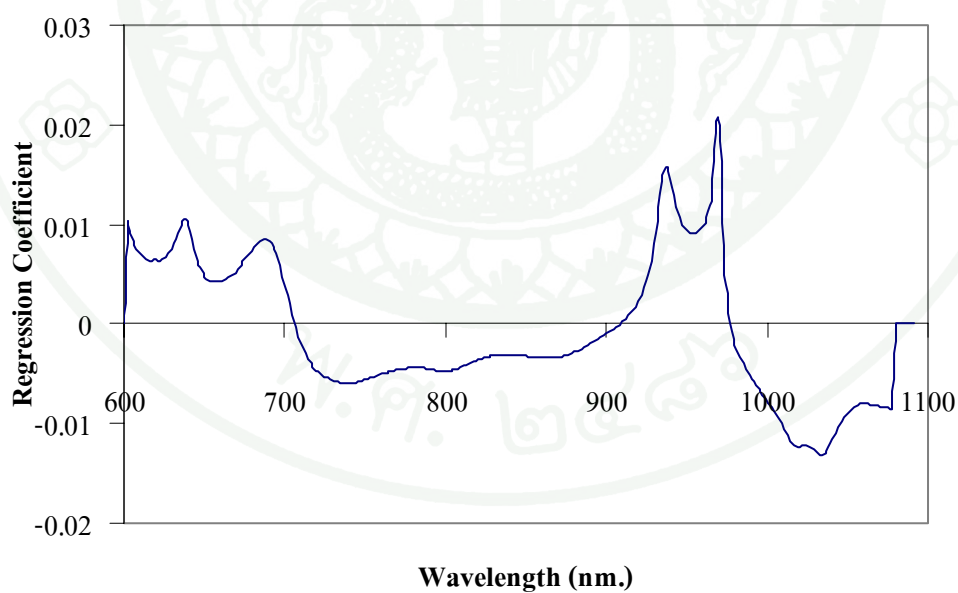
ภาพผนวกที่ ค1 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของการดูคลื่นแสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



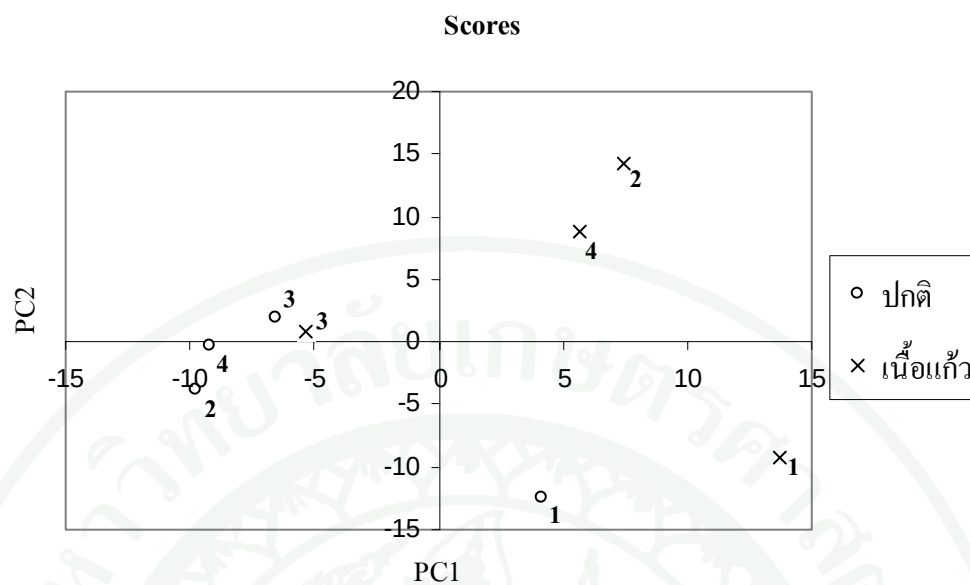
ภาพผนวกที่ ค2 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัมการดูคลื่นแสงของผลมังคุดทั้งหมด



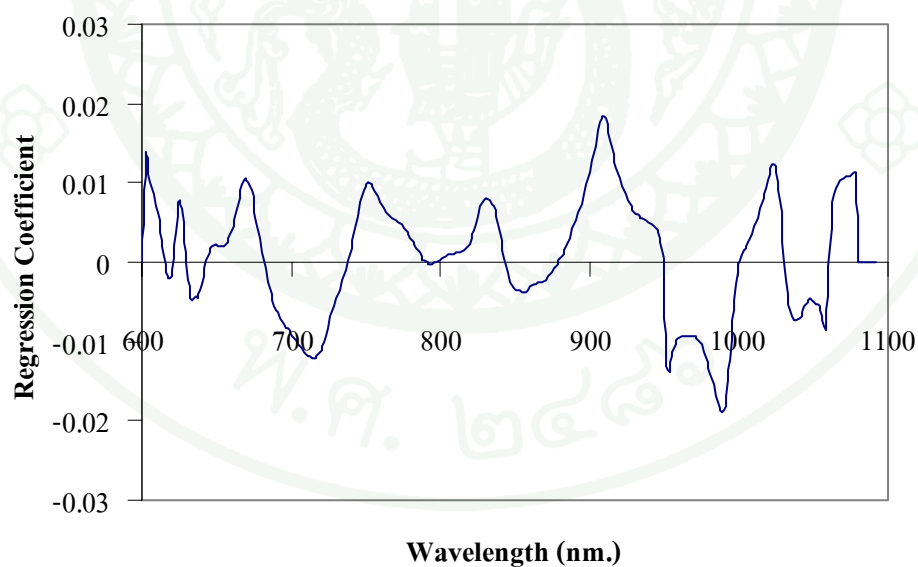
ภาพผนวกที่ ค3 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ First derivative การดูดกลืนแสงของผลมังคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



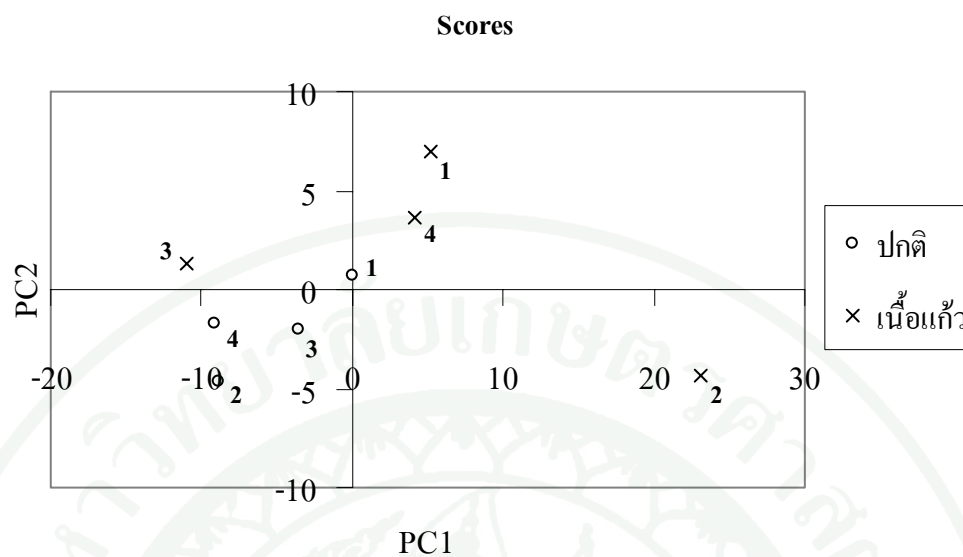
ภาพผนวกที่ ค4 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม First derivative การดูดกลืนแสงของผลมังคุดทั้งหมด



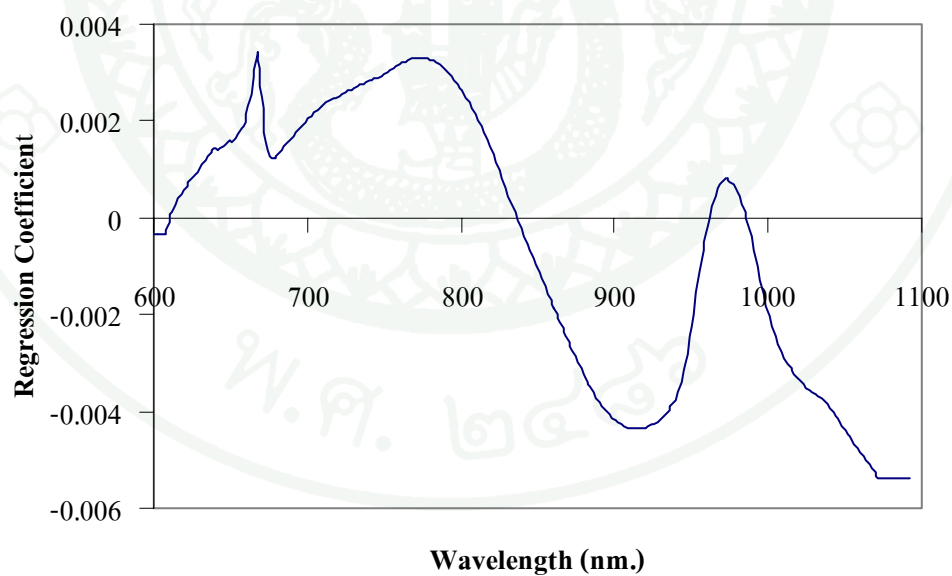
ภาพผนวกที่ ๕ ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Second derivative การดูดกลืนแสงของผลมั่งกุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



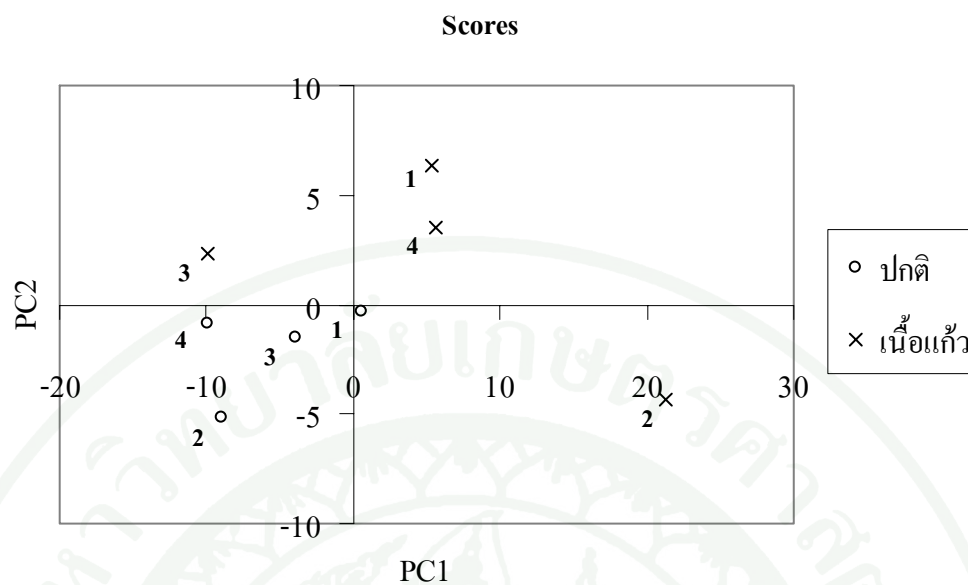
ภาพผนวกที่ ๖ ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Second derivative การดูดกลืนแสงของผลมั่งกุดทั้งหมด



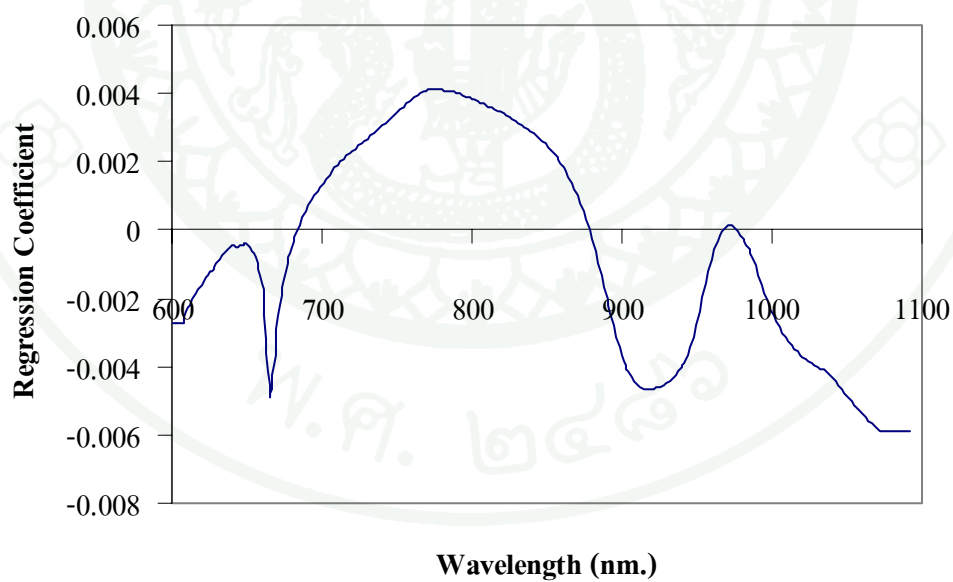
ภาพผนวกที่ ค7 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Multiplicative scatter correction การ
 ดูดกลืนแสงของผลมั่งคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



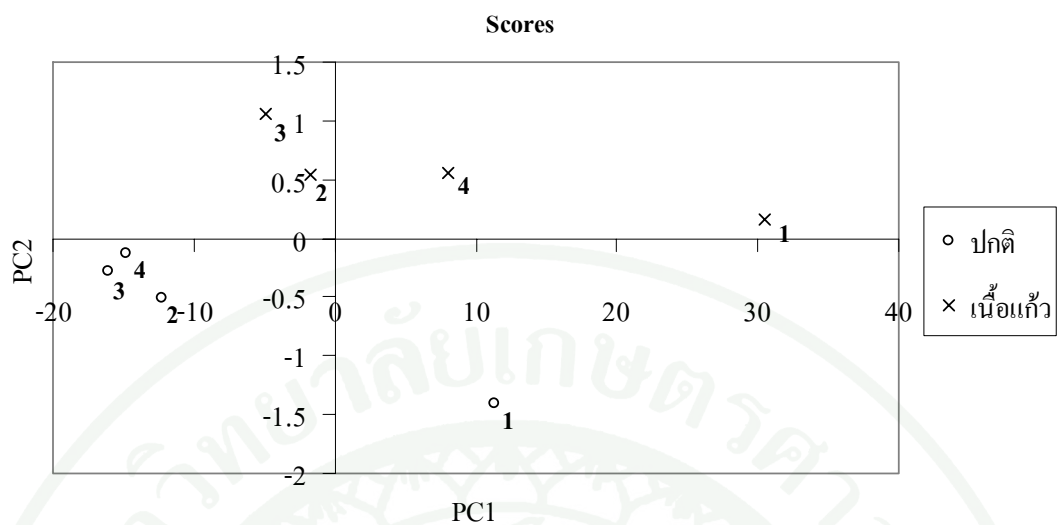
ภาพผนวกที่ ค8 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Multiplicative scatter correction การ
 ดูดกลืนแสงของผลมั่งคุดทั้งหมด



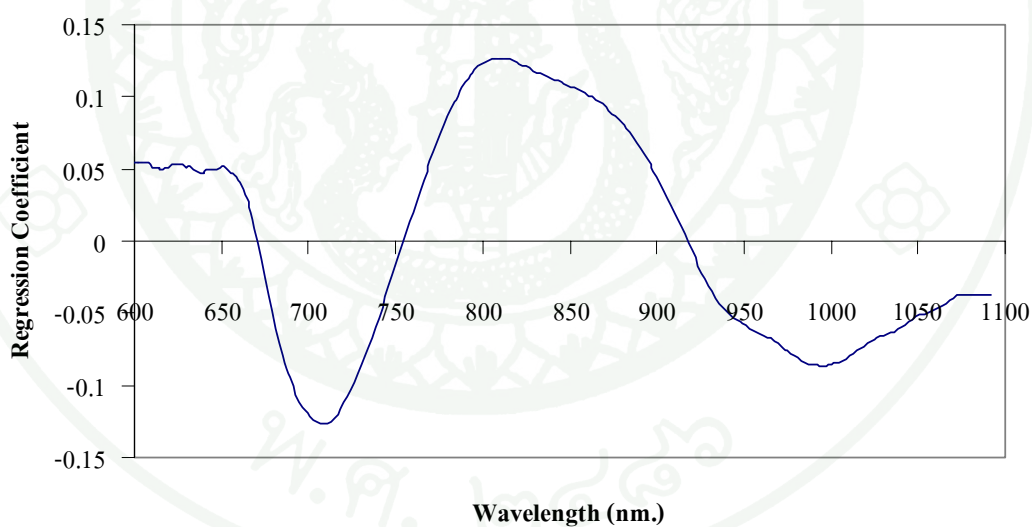
ภาพผนวกที่ ค9 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Standard normal variate การดูคลื่นแสงของผลมั่งคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



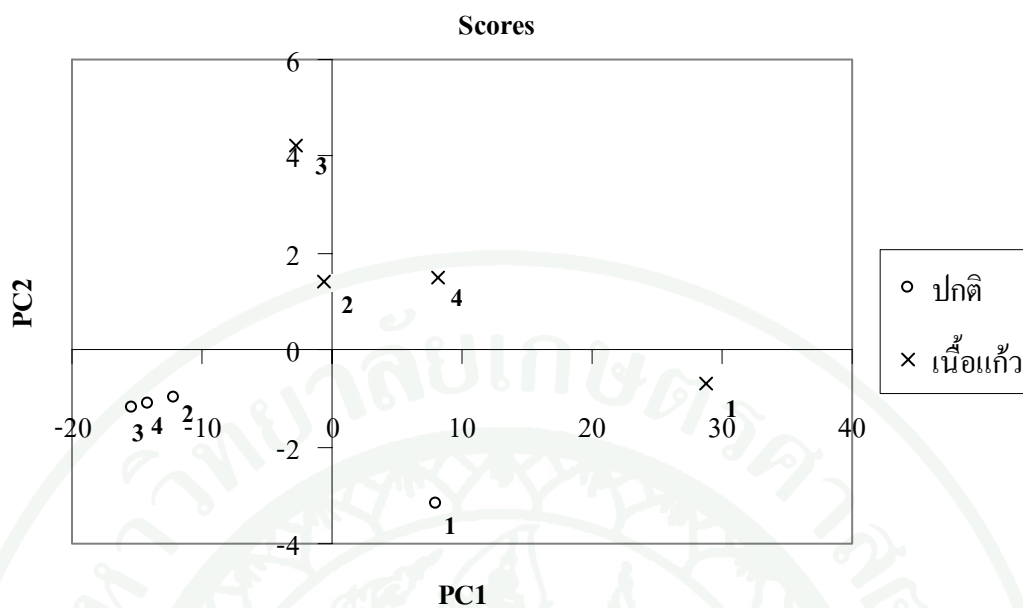
ภาพผนวกที่ ค10 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Standard normal variate การดูคลื่นแสงของผลมั่งคุดทั้งหมด



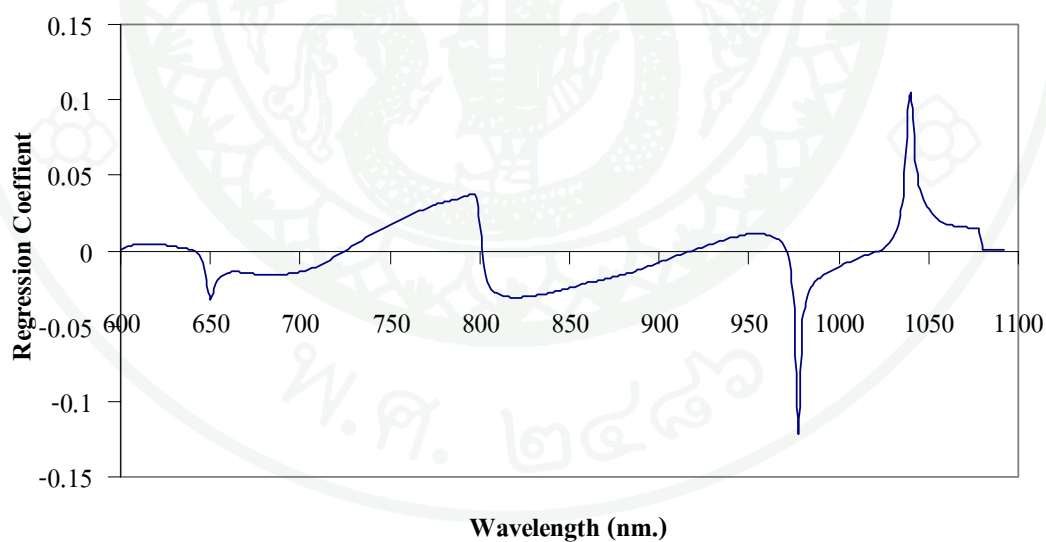
ภาพผนวกที่ ค11 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของการสะท้อนแสงของผลมังคุดปกติ และเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



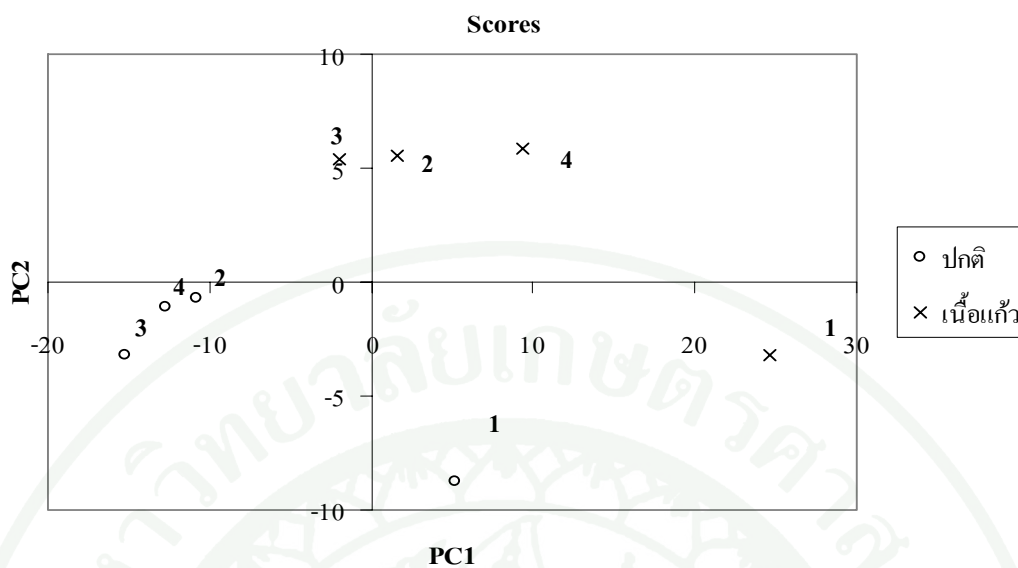
ภาพผนวกที่ ค12 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัมการสะท้อนแสงของผลมังคุดทั้งหมด



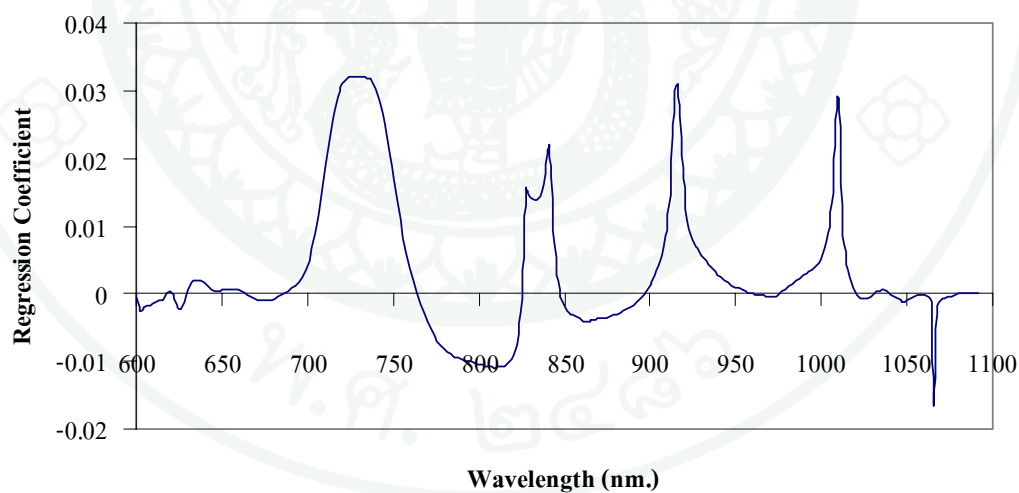
ภาพผนวกที่ ค13 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ First derivative การสะท้อนแสงของผลมั่งคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



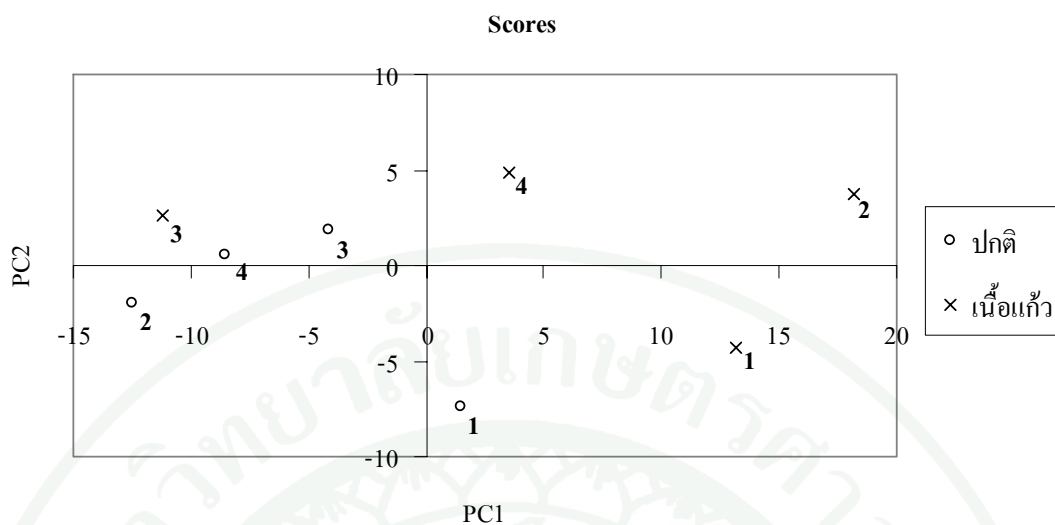
ภาพผนวกที่ ค14 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม First derivative การสะท้อนแสงของผลมั่งคุดทั้งหมด



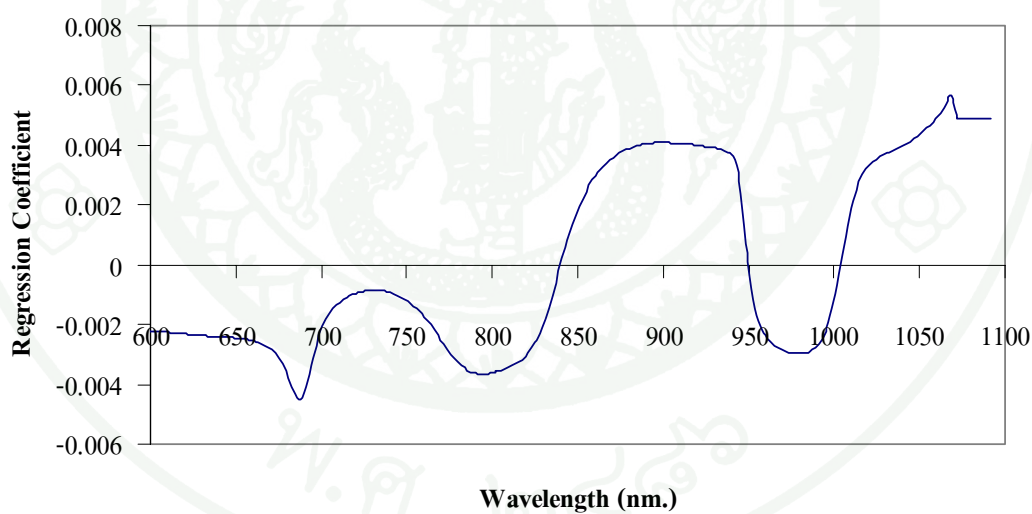
ภาพผนวกที่ ค15 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Second derivative การสะท้อนแสงของผลมั่งคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



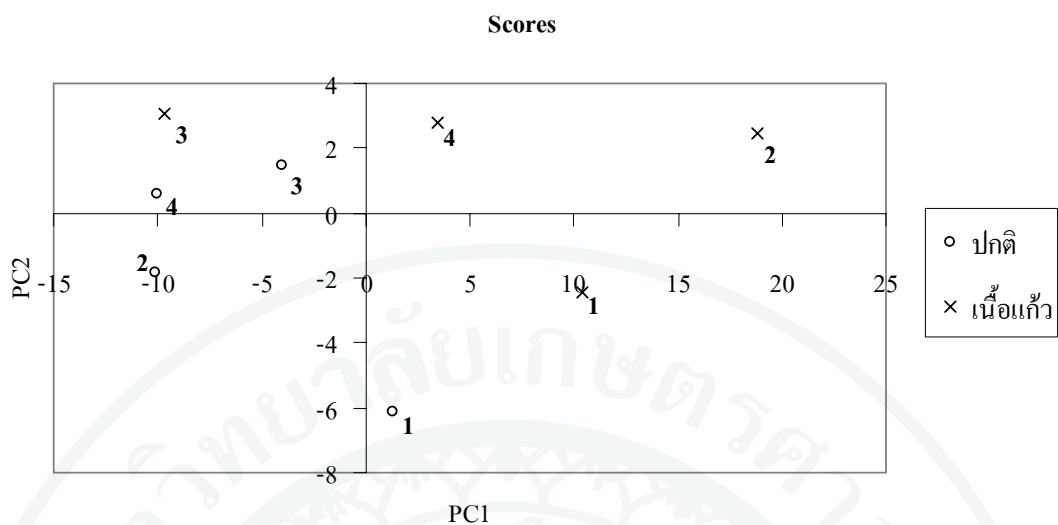
ภาพผนวกที่ ค16 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Second derivative การสะท้อนแสงของผลมั่งคุดทั้งหมด



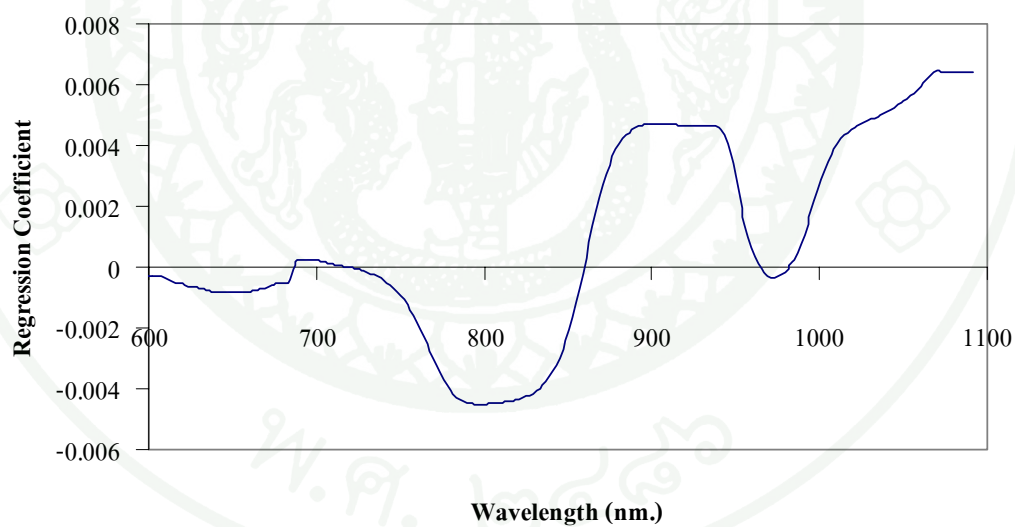
ภาพผนวกที่ ค17 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Multiplicative scatter correction การสะท้อนแสงของผลมั่งคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



ภาพผนวกที่ ค18 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Multiplicative scatter correction การสะท้อนแสงของผลมั่งคุดทั้งหมด



ภาพผนวกที่ ค19 ค่า Scores plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ของ Standard normal variate การสะท้อนแสงของผลมั่งคุดปกติและเนื้อแก้วเฉลี่ยในแต่ละด้าน (4 ด้าน)



ภาพผนวกที่ ค20 ค่า Regression coefficient ของสเปกตรัม Standard normal variate การสะท้อนแสงของผลมั่งคุดทั้งหมด

ตารางผนวกที่ ค1 ความยาวคลื่นสำคัญที่เลือกจากการทำ PLS-DA ของข้อมูลการสะท้อนแสง
หลังจากปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์

วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม	ความยาวคลื่นสำคัญ (nm.)
Reflectance	708, 809, 993
1D reflectance	797, 817, 977, 1040
2D reflectance	728, 809, 840, 915, 1008, 1066
MSC reflectance	793, 900, 979, 1068
SNV reflectance	795, 902, 1070



ตารางผนวกที่ ง1 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล Absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-
1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	182	0	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	173	4	177
		เนื้อแก้ว	36	1	37
	ร้อยละ	ปกติ	97.74	2.26	100
		เนื้อแก้ว	97.30	2.70	100

หมายเหตุ ด้านที่ 1 คือ ด้านที่ตรงกับกลีบเนื้อที่ใหญ่ที่สุดของผล ด้านที่ 2 คือ ด้านตรงข้าม (ทำมุม 180°) กับด้านที่ 1 ด้านที่ 3 คือ ด้านที่อยู่ใต้ด้านที่ 1 และด้านที่ 2 (ทำมุม -90° กับด้านที่ 2) ด้านที่ 4 คือ ด้านตรงข้าม (ทำมุม 180°) กับด้านที่ เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย คือ ข้อมูลสเปกตรัมจากทั้ง 4 ด้านข้างต้นเฉลี่ยกัน

ตารางผนวกที่ ง2 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล 1D absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น
(700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	180	2	182	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.9
		เนื้อแก้ว	34	1	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	97.14	2.86	100	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	180	2	182	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	

ตารางผนวกที่ ง3 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล 2D absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น
(700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	179	3	182	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.35	1.65	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	180	2	182	83.9
		เนื้อแก้ว	33	2	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	100	
		เนื้อแก้ว	94.29	5.71	100	
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	179	3	182	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.35	1.65	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	

ตารางผนวกที่ 4 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล MSC absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น
(700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละความ ถูกต้อง
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
	จำนวน	ปกติ	181	1	182	
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
ด้านที่ 2	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100	83.4
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
	จำนวน	ปกติ	182	0	182	
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
ด้านที่ 3	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	83.9
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
	จำนวน	ปกติ	182	0	182	
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
ด้านที่ 4	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	83.9
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
	จำนวน	ปกติ	182	0	182	
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100	83.9
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	100	
	จำนวน	ปกติ	181	1	182	
		เนื้อแก้ว	34	1	35	

ตารางผนวกที่ 5 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล SNV absorbance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น
(700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.9
		เนื้อแก้ว	34	1	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	97.14	2.86	100	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	170	1	171	82.9
		เนื้อแก้ว	34	0	34	
	ร้อยละ	ปกติ	99.42	0.58	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	

ตารางผนวกที่ 6 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล Reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น (700-
1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	177	2	179	82.7
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.88	1.12	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	178	1	179	83.2
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.44	0.56	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	177	2	179	82.7
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.88	1.12	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	182	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	

ตารางผนวกที่ 7 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล 1D Reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น
(700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	ตัวแปรจัด กลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	182
		เนื้อแก้ว	34	1	35
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100
		เนื้อแก้ว	97.14	2.86	100
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	180	2	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	177	5	182
		เนื้อแก้ว	34	1	35
	ร้อยละ	ปกติ	97.25	2.75	100
		เนื้อแก้ว	97.14	2.86	100
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100

ตารางผนวกที่ 8 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล 2D reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น
(700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	177	5	182
		เนื้อแก้ว	33	2	35
	ร้อยละ	ปกติ	97.25	2.75	100
		เนื้อแก้ว	94.29	5.71	100
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	178	4	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	97.80	2.20	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100

ตารางผนวกที่ 9 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล MSC reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น
(700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	180	2	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	182	0	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	179	3	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	98.35	1.65	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	180	2	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100

ตารางผนวกที่ 10 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร
ทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูล SNV reflectance ของเปลือกมังคุดทั้งช่วงความยาวคลื่น
(700-1100 nm) ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มที่ ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวน หน่วย ทั้งหมด	ร้อยละ ความ ถูกต้อง
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.9
		เนื้อแก้ว	34	1	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	97.14	2.86	100	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	181	1	182	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	99.45	0.55	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
เปลือก 4 ด้าน เฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	170	1	171	82.9
		เนื้อแก้ว	34	0	34	
	ร้อยละ	ปกติ	99.42	0.58	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	

ตารางผนวกที่ 11 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Absorbance ของ เปลือกที่ความยาวคลื่น 708 และ 880 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 12 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 1D absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 937, 969 และ 1034 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	ตัวแปรจัดกลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 13 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D Absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038 และ 1058 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	178	4	82
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	97.8	2.2	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	180	2	83.4
		เนื้อแก้ว	34	1	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 14 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล MSC absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 773 และ 915 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	181	1	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 15 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล SNV Absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 775 และ 917 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 16 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 708, 809 และ 993 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 17 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 1D Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 797, 817, 977, 915 และ 1040 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	ตัวแปรจัดกลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 18 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 728, 809, 840, 915, 1008 และ 1066 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	181	1	83.9
		เนื้อแก้ว	34	1	
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 19 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล MSC Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 793, 900, 979 และ 1068 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	34	1	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	100
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	181	1	182
		เนื้อแก้ว	35	0	35
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	100
		เนื้อแก้ว	100	0	100

ตารางผนวกที่ 20 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล SNV Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 795, 902 และ 1070 nm. ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	181	1	83.4
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	99.5	0.5	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	177	5	81.6
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	97.3	2.7	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	182	0	83.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	100	0	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 21 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 708 และ 880 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	180	2	83.4
		เนื้อแก้ว	34	1	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 5	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 22 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 1D absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 937, 969 และ 1034 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	ตัวแปรจัดกลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	178	4	82
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	97.80	2.20	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.35	1.65	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.35	1.65	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	179	3	82.9
		เนื้อแก้ว	34	1	
	ร้อยละ	ปกติ	98.35	1.65	
		เนื้อแก้ว	97.14	2.86	

ตารางผนวกที่ 23 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D Absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038 และ 1058 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	177	5	83.9
		เนื้อแก้ว	30	5	
	ร้อยละ	ปกติ	97.3	2.7	
		เนื้อแก้ว	85.7	14.3	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	177	5	82.5
		เนื้อแก้ว	33	2	
	ร้อยละ	ปกติ	97.3	2.7	
		เนื้อแก้ว	94.3	5.7	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	178	4	82
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	97.8	2.2	
		เนื้อแก้ว	100.0	0.0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	177	5	82.5
		เนื้อแก้ว	33	2	
	ร้อยละ	ปกติ	97.3	2.7	
		เนื้อแก้ว	94.3	5.7	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	179	3	84.8
		เนื้อแก้ว	30	5	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	85.7	14.3	

ตารางผนวกที่ 24 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล MSC Absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 773 และ 915 nm และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	180	2	83.4
		เนื้อแก้ว	34	1	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 25 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล SNV absorbance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 775 และ 917 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	179	3	82.9
		เนื้อแก้ว	34	1	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 26 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 708, 809 และ 993 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 27 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 1D reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 797, 817, 977 และ 1040 และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	ตัวแปรจัดกลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.35	1.65	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.35	1.65	
		เนื้อแก้ว	100	0	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.90	1.10	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ตารางผนวกที่ 28 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล 2D Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 728, 809, 840, 915, 1008 และ 1066 และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	179	3	182	83.4
		เนื้อแก้ว	33	2	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	100	
		เนื้อแก้ว	94.3	5.7	100	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	180	2	182	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	180	2	182	83.4
		เนื้อแก้ว	34	1	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	100	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	100	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	176	6	182	81.6
		เนื้อแก้ว	34	1	35	
	ร้อยละ	ปกติ	96.7	3.3	100	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	100	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	176	6	182	82
		เนื้อแก้ว	33	2	35	
	ร้อยละ	ปกติ	96.7	3.3	100	
		เนื้อแก้ว	94.3	5.7	100	

ตารางผนวกที่ 29 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล MSC Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 793, 900, 979 และ 1068 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม		กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
			ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	178	4	182	82
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	97.8	2.2	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	179	3	182	82.9
		เนื้อแก้ว	34	1	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	100	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	100	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	179	3	182	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	179	3	182	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	179	3	182	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	35	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	100	
		เนื้อแก้ว	100	0	100	

ตารางผนวกที่ 30 ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA จากข้อมูล SNV Reflectance ของเปลือกที่ความยาวคลื่น 795, 902 และ 1070 nm. และค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Discriminant analysis and leave-out-cross-validation

การจำแนกกลุ่ม	กลุ่มที่ถูกต้อง	จำนวนมังคุดที่จำแนก		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
ด้านที่ 1	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 2	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 3	จำนวน	ปกติ	180	2	82.9
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.9	1.1	
		เนื้อแก้ว	100	0	
ด้านที่ 4	จำนวน	ปกติ	179	3	82.9
		เนื้อแก้ว	34	1	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	97.1	2.9	
เปลือก 4 ด้านเฉลี่ย	จำนวน	ปกติ	179	3	82.5
		เนื้อแก้ว	35	0	
	ร้อยละ	ปกติ	98.4	1.6	
		เนื้อแก้ว	100	0	

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ- นามสกุล	นางสาวสิรินาฏ น้อยพิทักษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 2 เมษายน 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2550
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	