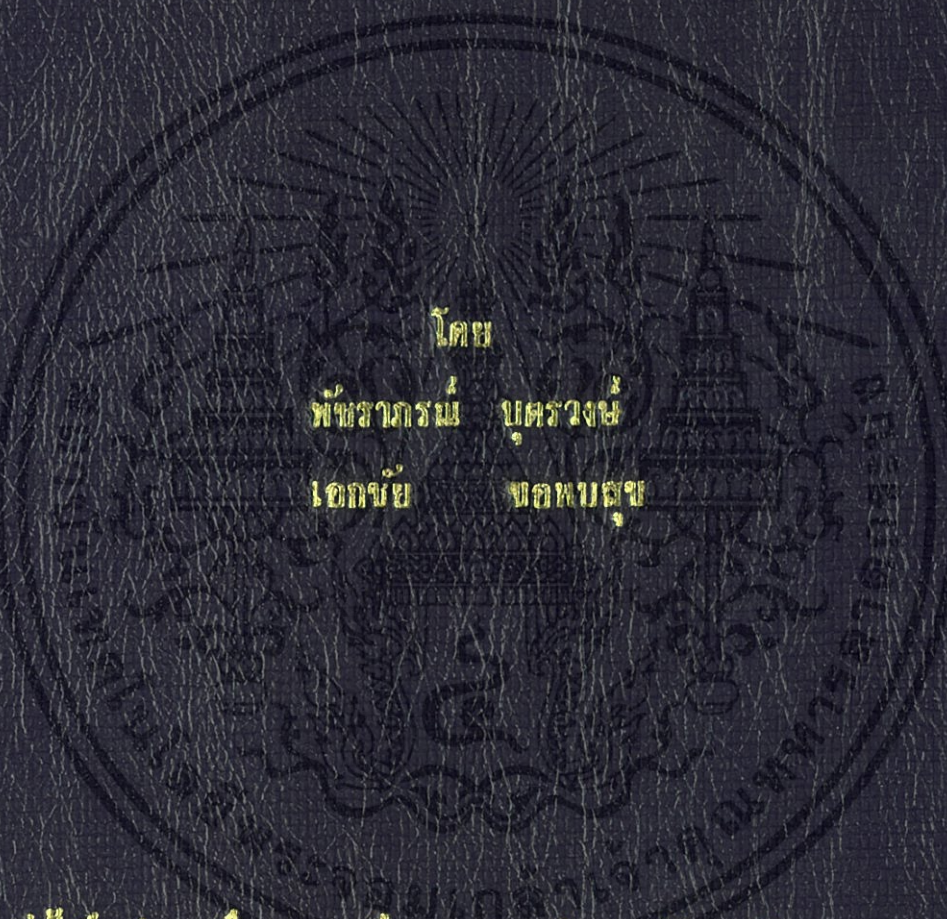


การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสและรสชาติของมะม่วงพันธุ์ส่งออกด้วย

NIR SPECTROSCOPY

DETERMINATION OF TEXTURE AND FLAVOUR QUALITY OF MANGOES
FOR EXPORT USING NEAR-INFRARED (NIR) SPECTROSCOPY



โดย

พัชราภรณ์ บุศรวงษ์

เอกชัย ขอบบตุบ

ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาขาวิชาวนกรรมศาสตร์ คณะวนศาสตร์

สถานันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสและรสชาติของมะม่วงพันธุ์ส่งออกด้วยวิธี

NIR Spectroscopy

Determination of Texture and Flavour quality of Mangoes for Export

Using Near-Infrared (NIR) Spectroscopy



โดย
พัชรารักษ์ บุตรวงษ์
เอกชัย ขอบบสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๕๗
๒๕๕๕

ปีการศึกษา ๒๕๕๕

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 49913

วัน,เดือน,ปี. ๒๒ เม.ย. ๒๕๕๗



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องสมุดเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545

การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสและรสชาติของมะม่วงพันธุ์ส่งออกด้วยวิธี
NIR Spectroscopy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสและรสชาติของมะม่วงพันธุ์ส่งออกด้วยวิธี

NIR Spectroscopy

ผู้จัดทำ

1. นางสาวพัชราภรณ์ บุตรวงษ์
2. นายเอกชัย ขอบบสุข



[Handwritten Signature]

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.จิราภรณ์ เเบญจประกายรัตน์)

การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสและรสชาติของมะม่วงพันธุ์ส่งออกด้วยวิธี NIR Spectroscopy

นางสาวพัชราภรณ์ บุตรวงษ์
นายเอกชัย ขอบบสุข
ผศ.จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยเทคนิค Near Infrared spectroscopy ได้แบ่งกลุ่มการศึกษาเป็น 2 กลุ่มคือ การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้มะม่วง 100 ผล ใช้ช่วงจำนวนคลื่น 4500-10000 cm^{-1} ใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Multiple linear regression (MLR) พบว่า NIR สามารถตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสได้ด้วยค่า Energy Absorption โดยให้ผลทางสถิติดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) = 0.813, ค่าความคลาดเคลื่อนจากการปรับเทียบ (SEE) = 0.021, ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (SEP) = 0.255, Bias = -1.32×10^{-6} และการตรวจสอบรสชาติโดยใช้มะม่วง 51 ผล ใช้ช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร ใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Partial least square regression (PLS) และพบว่า NIR สามารถตรวจสอบรสชาติได้ด้วยค่า %Brix โดยให้ผลดังนี้ $R = 0.894$, SEE = 0.792, SEP = 1.119, Bias = -0.06 และ %Acidity $R = 0.906$, SEE = 0.336, SEP = 0.623, Bias = -0.273

ดังนั้นได้ข้อสรุปว่า NIR Spectroscopy สามารถตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้คือค่า Energy Absorption ในช่วงความยาวคลื่น 1178- 2420 นาโนเมตรและสามารถตรวจสอบรสชาติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้คือ %Brix และ %Acidity ในช่วงจำนวนคลื่น 4400-9000 cm^{-1}

Determination of Texture and Flavour quality of Mangoes for Export

Using Near-Infrared (NIR) Spectroscopy

Padcharaporn Boodwong

Akkchai Kopobsuk

Advisor Asst.Prof. Jiraporn Benjaphragairat

2002

Abstract

The so-called "Numdogmai" mangoes were used to determine their texture and flavour properties by using Near-Infrared (NIR) Spectroscopic technique. For a texture property, 100 mangoes were tested with varying the wave numbers between $4500 - 10000 \text{ cm}^{-1}$, through partial least square regression (PLS) technique. The NIR determined the texture property in term of energy absorption, and the results were summarized as follows: multiple correlation coefficient (R) = 0.813, standard error of estimate (SEE) = 0.021, standard error of prediction (SEP) = 0.255 and the Bias = -1.32×10^{-6} . For a flavour property, 51 mangoes were tested with varying the wave lengths between 1100-2500 nm, through multiple linear regression (MLR) technique. The NIR determined the flavour property in term of %Brix and %Acidity, and both of the results were summarized as follows: $R = 0.894$, $SEE = 0.792$, $SEP = 1.119$, $Bias = -0.06$ and $R = 0.906$, $SEE = 0.336$, $SEP = 0.623$, $Bias = -0.273$ respectively.

Consequently, the conclusion could be drawn from this study as follows: The NIR can be determine texture property of "Numdogmai" mangoes in term of energy absorption, by varying the wave length between 1178 - 2420 nm. And the NIR can be determine the flavour property of "Numdogmai" mangoes in term of %Brix and %Acidity, by varying the wave numbers between $4440-9000 \text{ cm}^{-1}$

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสและรสชาติของมะม่วงพันธุ์
ส่งออกด้วยวิธี NIR Spectroscopy ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีทางผู้จัดทำขอกราบ
ขอบพระคุณ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ที่ปรึกษาอาวุโส และ

ผศ.จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณวารุณี ฐานะแพสย์ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการ
เกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ใช้เครื่อง NIR Spectroscopy
(BRAN+ LUEBBE In fra Alyzar 500)

คุณสันธิติ ธวัชสุภา บริษัท U&V Holding (Thailand) Co, LTD ที่ให้ใช้เครื่อง NIR
Spectroscopy (BÜCHI NIRflex N-400)

อาจารย์พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการหา
%Acidity

คุณสุจิต ston สะอาด และเจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ใช้เครื่อง
Universal Testing Machine

อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือการทำ
ปริญญานิพนธ์ให้ลุล่วงได้ด้วยดี

นางสาวพัชราภรณ์ บุตรวงษ์

นายเอกชัย ขอบพบสุข

(ก.1)
สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	สารบัญ	(ก.1-ก.2)
	สารบัญตาราง	(ข.1-ข.2)
	สารบัญรูป	(ค.1-ค.2)
	คำอธิบายคำย่อ/คำศัพท์	(ง)
1	บทนำ	1
	1.1 ที่มีและความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
	1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	ตรวจเอกสาร	3
	2.1 ลักษณะและการจัดการเรื่องคุณภาพของมะม่วง	3
	2.1.1 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วง	3
	2.1.2 ลักษณะมะม่วงคุณภาพดีที่ตลาดต้องการ	5
	2.1.3 การเก็บเกี่ยวผลผลิต	8
	2.1.4 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว	9
	2.2 เครื่อง NIR Spectrophotometer	17
	2.3 การศึกษา NIR Spectroscopy	19
	2.4 แนวโน้มในอนาคตของการศึกษางานวิจัยและพัฒนา	22
3	การทดลอง	23
4	ผลการทดลอง	28
5	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	81
	ภาคผนวก ก	
	- ข้อมูลการทดลอง	
	ภาคผนวก ข	
	- วิเคราะห์ข้อมูลของ NIR Spectroscopy ด้วยวิธี PLS	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก.2)

สารบัญ

บทที่ เรื่อง

หน้า

ภาคผนวก ก

- วิเคราะห์ข้อมูลของ NIR Spectroscopy ด้วยวิธี MLS

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข.1)

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ขนาดของผลมะม่วง	3
4.1	จำแนกมะม่วงตามลักษณะสีเปลือก	38
4.2	จำแนกมะม่วงตามลักษณะผิวภายนอก (จำนวน 100 ผล)	39
4.3	จำแนกมะม่วงตามลักษณะเนื้อภายใน (จำนวน 100 ผล)	40
4.4	จำแนกมะม่วงโดยการชั่งน้ำหนัก (จำนวน 100 ผล)	41
4.5	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงทั้งหมด 151 ผล	42
4.6	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 70%	43
4.7	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 80%	43
4.8	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 90%	44
4.9	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 100%	44
4.10	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงทั้งหมด	45
4.11	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 70%	46
4.12	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 80%	47
4.13	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 90%	48
4.14	ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 100%	49
4.15	เปรียบเทียบทางสถิติของค่า Texture Properties โดยวิธี Compression Test	50
4.16	เปรียบเทียบทางสถิติของค่า Texture Properties โดยวิธี Puncture Test	51
4.17	วิธีการ Calibration Spectrum ของผลมะม่วง	62
4.18	ค่าที่ได้จากการ Calibration ของมะม่วง	66
4.19	ค่าที่ได้จากการ Calibration ของผลมะม่วง	67
4.20	ค่าที่ได้จากการ Calibration ของน้ำมะม่วง	72
5.1	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ % ความแก่ที่มีผลต่อค่า Texture Properties โดยวิธี Compression Test	81
5.2	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ % ความแก่ที่มีผลต่อค่า Texture Properties โดยวิธี Punctuer Test	82

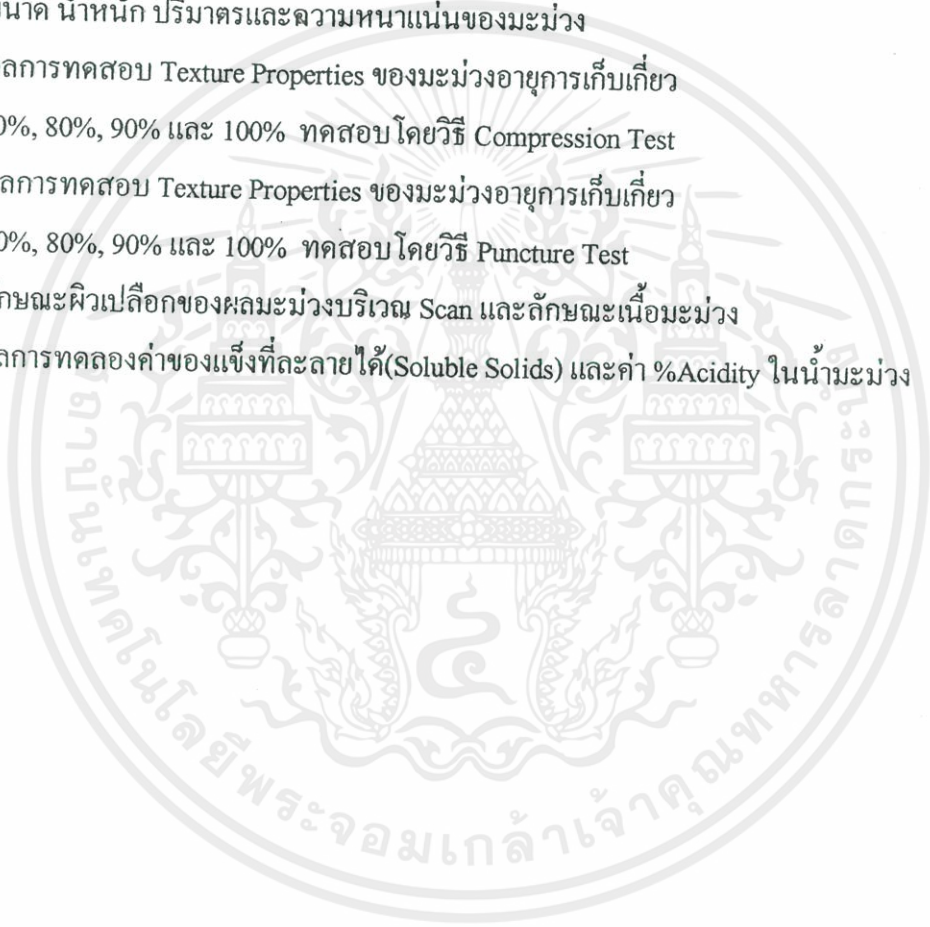
(ข.2)

สารบัญตาราง

ตารางที่ ชื่อตาราง

หน้า

- ผก1. ลักษณะผิวเปลือกของผลมะม่วงบริเวณ Scan และลักษณะเนื้อมะม่วง
- ผก2. ขนาด น้ำหนัก ปริมาตรและความหนาแน่นของมะม่วง
- ผก3. ผลการทดสอบ Texture Properties ของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 70%, 80%, 90% และ 100% ทดสอบโดยวิธี Compression Test
- ผก4. ผลการทดสอบ Texture Properties ของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 70%, 80%, 90% และ 100% ทดสอบโดยวิธี Puncture Test
- ผก5. ลักษณะผิวเปลือกของผลมะม่วงบริเวณ Scan และลักษณะเนื้อมะม่วง
- ผก6. ผลการทดลองค่าของแข็งที่ละลายได้(Soluble Solids) และค่า %Acidity ในน้ำมะม่วง



(ก.1)

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	ชื่อภาพ	หน้า
2.1	ลักษณะเนื้อภายในของมะม่วงสุก	6
2.2	เปรียบเทียบลักษณะเนื้อภายในของมะม่วง	7
2.3	การคัดขนาด	13
2.4	การติดสติ๊กเกอร์รับรองคุณภาพ	14
2.5	สวมตาข่ายโฟมเพื่อป้องกันมะม่วงช้ำ	14
2.6	การวัดแบบ Transmittance	17
2.7	การวัดแบบ Reflectance	18
3.1	การวัดขนาดผลมะม่วง	24
3.2	การหาปริมาตรและความหนาแน่นของผลมะม่วง	26
3.3	การจัดวางเครื่อง NIR Spectrophotometer และอุปกรณ์ในขณะทดสอบ	27
3.4	ลักษณะการวางมะม่วงขณะทำการทดลอง	29
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับเวลาทดสอบ โดยวิธี Compression	29
3.6	ลักษณะการวางมะม่วงขณะทำการทดลอง	31
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเสียรูปของมะม่วง ทดสอบ โดยวิธี Puncture Test	31
3.8	อุปกรณ์ในการทำ Titratable Acidity	34
3.9	ลักษณะการเตรียมตัวอย่างน้ำมะม่วงก่อนการทดลอง	36
3.10	เครื่อง NIR Spectrometer ยี่ห้อ BRAN LUEBBE รุ่น Infra Alyzer 500	37
4.1	จำแนกมะม่วงตามลักษณะสีเปลือก	38
4.2	จำแนกมะม่วงตามลักษณะผิวภายนอก	39
4.3	จำแนกมะม่วงตามลักษณะเนื้อภายในของมะม่วง	40
4.4	จำแนกมะม่วงโดยการชั่งน้ำหนัก	41
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและน้ำหนัก	52
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและน้ำหนัก	52
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและปริมาตร	53
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและขนาด	53

(ค.2)

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและน้ำหนัก	53
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Hardness	55
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Deformation at 1 N	55
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Degree of elasticity	56
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Energy absorption	56
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Relaxation	57
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Recovery	57
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Initial firmness	58
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Average firmness	58
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Toughness	59
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Penetrating force	59
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Penetrating energy	60
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Bioyield force	60
4.22	สมการ Calibration of Energy Absorption	68
4.23	สมการ Calibration of V_m (cm^3)	69
4.24	ความสัมพันธ์ของ % Brix ที่ได้จากผลมะม่วง	79
4.25	ความสัมพันธ์ของ % Brix ที่ได้จากน้ำมะม่วง	79
ผก1.	NIR Spectrum ของผลมะม่วงความแก่ 70%	
ผก2.	NIR Spectrum ของผลมะม่วงความแก่ 80%	
ผก3.	NIR Spectrum ของผลมะม่วงความแก่ 90%	
ผก4.	NIR Spectrum ของผลมะม่วงความแก่ 100%	
ผก5.	NIR Spectrum ที่ได้จากการ Scan ผลมะม่วง	
ผก6.	NIR Spectrum ที่ได้จากการ Scan น้ำมะม่วง	

(ง)

คำอธิบายคำย่อ/คำนิยามศัพท์

คำย่อ	ชื่อเต็ม/ความหมาย
R	Multiple correlation coefficient คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์
SEE	Standard error of estimate คือ ค่า ความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบ
SEP	Standard error of prediction คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย
Bias	The average of difference between actual value and NIR value
Q-value	เป็นค่าที่ได้จาก Program computer เพื่อใช้ตรวจสอบสมการที่ได้ว่าสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่
%Brix	คือ ค่าความหวาน
%Acidity	คือ ค่าที่ความเป็นกรด
DM	Dry matter คือค่าปริมาณแห้งที่สะสมอยู่
MLR	Multiple Linear Regression
PLS	Partial Least Square
cm ⁻¹	Wavenumber คือ จำนวนคลื่น
nm	นาโนเมตร คือ ความยาวคลื่น

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มะม่วง (Mango) เป็นไม้ผลที่ไม่ผลัดใบ (overgreen) อยู่ในตระกูล *Anacardiaceae* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *แมงกิเฟอรา อินดิกา* (*Mangifera indica* L.) เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดียได้แพร่พันธุ์ไปยังประเทศในเขตร้อนทั่วไป

มะม่วงเป็นพืชที่ปลูกได้ทุกภาคของประเทศ ดินที่เหมาะสมสำหรับมะม่วงคือดินร่วนที่มีการระบายน้ำดี มีความเป็นกรดของดินไม่เกิน 7.5 และยังเป็นดินที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติดี มีกลิ่นหอมและมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยที่ผลมะม่วงสุกใช้รับประทานหรือใช้ในงานอุตสาหกรรมอาหารได้หลายชนิด ในขณะเดียวกันมะม่วงถูกจัดให้เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศ เป็นพืชเร่งรัดเพื่อการส่งออกพืชหนึ่ง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของมะม่วงนับวันจะมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นเป็นลำดับ (ภูวนาด นนทรี, 2545)

ปัจจุบันการศึกษาเรื่องการคัดคุณภาพของผลมะม่วงที่มีอยู่นั้นส่วนใหญ่จะเป็นการคัดคุณภาพภายนอก คือการคัดคุณภาพจากลักษณะที่ปรากฏภายนอก ถ้าต้องการตรวจสอบคุณภาพภายในของมะม่วงเพื่อคัดคุณภาพจะต้องทำการผ่าผลมะม่วงออกซึ่งเป็นการทำลายผลมะม่วง (Destruction) จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีการนำมะม่วงมาตรวจสอบโดยวิธี NIR (Near Infrared Spectroscopy) ซึ่งสามารถตรวจสอบคุณภาพภายในของมะม่วงได้โดยไม่ต้องทำลายผลมะม่วง (Nondestruction) ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับกระบวนการผลิตและส่งออกผลมะม่วงที่จะนำวิธี NIR Spectroscopy มาตรวจสอบผลมะม่วงเพื่อคัดคุณภาพของผลมะม่วงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อตรวจสอบเนื้อสัมผัสและรสชาติของมะม่วงพันธุ์ น้ำดอกไม้
2. เพื่อคัดระดับคุณภาพที่ควรจะเป็นเปรียบเทียบกับ การคัดคุณภาพที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาค้นคว้าพร้อมทั้งตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมะม่วงโดยวิธีการไม่ทำลายด้วยวิธี NIR spectroscopy โดยพิจารณาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Texttrue Properties

ที่ได้จาก **Compression Test** ได้แก่

- Hardness (N/mm)
- Deformation at 1 N (N/mm)
- Degree of Elasticity
- Energy Absorption (Nmm)
- Relaxation (%)
- Recovery (%)

ที่ได้จาก **Puncture test** ได้แก่

- Initial firmness (N/mm)
- Average firmness (N/mm)
- Apparent modulus of elasticity (Nmm)
- Rupture force (N)
- Bioyield force (N)
- Penetrating force in flesh (N)
- Penetrating energy in flesh (Nmm)

2. Soluble solids (% Brix)

3. Acidity (%)

4. ลักษณะคุณภาพผลและเนื้อมะม่วง

นำผลที่ได้จากการศึกษา และทดสอบไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพ

ภายนอกกับคุณภาพภายในและสรุปลักษณะภายในของผลมะม่วงที่มีความสัมพันธ์กับ

NIR Spectroscopy

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมะม่วงด้านรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสได้ โดยไม่ทำให้ผลมะม่วงเกิดการเสียหาย
2. นำหลักการการตรวจสอบ ไปปรับใช้ในกระบวนการคัดคุณภาพของผลมะม่วงเพื่อการบริโภคและการส่งออกให้เป็นที่ยอมรับและได้มาตรฐาน

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะและการจัดการเรื่องคุณภาพของมะม่วง

2.1.1 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วง

น้ำดอกไม้ทะวายเบอร์ 4 (วิจิตร วังใน, 2536)

มะม่วงพันธุ์นี้มีความสามารถในการออกดอกทะวายสูงและสามารถบังคับให้ออกดอกได้ไม่ยาก ออกดอกสม่ำเสมอทั้งปี ทนทานต่อโรคและแมลงได้ดีปานกลางมีน้ำหนักเฉลี่ย 340 กรัม/ผล หรือตก ประมาณ 3 ผล/กก. ยาวประมาณ 16.40 ซม. กว้าง 7.50 ซม. และหนา 6.90 ซม. มีปริมาณเนื้อผลประมาณ 77 % ผลสุกผิวสีเหลืองอมเขียวจนถึงเหลือง ผิวเรียบ เปลือกบาง (0.14 ซม.) เนื้อผลละเอียด หนา เนื้อแน่น สีเหลืองส้ม น้ำน้ำ เมล็ดบางมาก ไม่มีเสี้ยน รสหวานอร่อย กลิ่นหอม คุณภาพดีเยี่ยม ความหวาน ประมาณ 19% การสูญเสียน้ำหนักหลังจากการเก็บเกี่ยว 4, 6 และ 8 วันประมาณ 6.5, 10.5 และ 15.0 % ตามลำดับ

หนังกกลางวัน (วิจิตร วังใน, 2536)

มะม่วงหนังกกลางวันหรือมะม่วง จัดเป็นมะม่วงพันธุ์หนัก แต่สนองตอบต่อสารเคมีชักนำให้ออกดอกได้ดี ทนต่อโรคและแมลงได้ดี ทรงผลยาวคล้ายงาช้างผลขนาดกลางเฉลี่ยยาว 17.50 ซม. กว้าง 6.90 ซม. และหนา 6 ซม. น้ำหนักต่อผล 340 กรัม มีปริมาณเนื้อผลประมาณ 66 % ผิวผลแก่มีสีเขียวหม่น ผิวเรียบ ผิวผลสุกสีเขียวอมเหลืองจนถึงเหลืองส้ม เปลือกหนา (0.18 ซม.) เนื้อผลละเอียด เนื้อแน่น สีเหลืองอ่อน รสหวานอร่อย เสี้ยนน้อยมาก เมล็ดบาง ความหวานประมาณ 19 % การสูญเสียน้ำหนักหลังการเก็บเกี่ยว 4, 6 และ 8 วันประมาณ 6.3 , 8.4 และ 10.2% ตามลำดับ

แรด (วิจิตร วังใน, 2536)

เป็นพันธุ์มะม่วงที่น่าสนใจ ปลูกมากในจังหวัด ฉะเชิงเทรา ออกดอกติดผลสม่ำเสมอทั้งต้นทุกปี ติดผลดก ผลแก่เร็ว ทนต่อโรคแมลงและสภาพแวดล้อมได้ดี รับประทานได้ทั้งระยะแก่จัดและสุก ผลโตปานกลางผลขนาดกลางเฉลี่ยยาว 12.5 ซม. กว้าง 7.25 ซม. และหนา 6.50 ซม. น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 300 กรัม เปลือกบาง (0.12 ซม.) ปริมาณเนื้อประมาณ 60% ผิวผลสุกมีสีเหลืองส้ม สวยมาก เนื้อผลสีเหลือง รสหวานอร่อย ผลระยะแก่จัดมีรสทั้งหวาน มันและเปรี้ยว

เขียวสวย (ภูวนาท นนทรีย์, 2545)

เป็นมะม่วงที่ได้รับความนิยมสูงในปัจจุบันนี้ผลใช้รับประทานดิบกคุณภาพดีมาก รสชาติหวาน ตรงกับความต้องการของคนไทย การเจริญเติบโตและการแตกกิ่งค่อนข้างช้าผลมีลักษณะค่อนข้างกลม เรียวยาวอมนเล็กน้อยโดยมีส่วนหัวใหญ่หนาและเรียวยาวสู่ส่วนปลาย ลักษณะของผลสีเขียวเข้ม เนื้อภายในมีสีขาวละเอียด กรอบ มีเนื้อมาก เสี้ยนค่อนข้างน้อย น้ำหนักของผลประมาณ 350 กรัม เมื่ออ่อนจะมีรสเปรี้ยว เปลือกหนาและเหนียว ผลไม้แตกง่าย มีคอมไม่ชัด แก่จัดจะมีรสหวานมันเมื่อสุกเปลือกจะมีสีเขียวปนเหลือง ลักษณะของเนื้อภายในเหลืองรสหวานซัด อายุตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งผลแก่ประมาณ 105 วัน เป็นมะม่วงพันธุ์ที่ไม่ทนทานต่อสภาพการถูกน้ำท่วมขัง หากถูกน้ำท่วมขังเพียง 3 วันเท่านั้นต้นก็จะเหี่ยวเฉา ข้อเสียคือจะมียางไหลตามกิ่งและลำต้นแต่มีความต้านทานต่อโรคและแมลงได้ดี

ทองคำ (ภูวนาท นนทรีย์, 2545)

เป็นมะม่วงที่ปลูกกันแพร่หลายมาก โดยเฉพาะแถบจังหวัดฉะเชิงเทรา มีลักษณะทรงพุ่มทึบ ใบยาวสีเขียวเข้ม มีเส้นใบไม่เด่นชัด ผิวใบเรียบมัน ปกติจะออกดอกและติดผลทุกปี ผลมีขนาดโตปานกลาง ลักษณะของผลจะหนา ป้อมปลายผลแหลมคล้ายรูปไข่ เมื่อดิบเปลือกสีเขียวเข้ม เนื้อสีขาวปนเหลือง เนื้อละเอียดกรอบ ผลเมื่อยังอ่อนจะมีรสเปรี้ยว แก่จัดรสมันอมเปรี้ยว ผลสุกผิวเปลือกสีเหลืองปนเขียว เนื้อสีเหลืองละเอียด มีเสี้ยนน้อย รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย น้ำหนักต่อผลประมาณ 350 กรัม ระยะเวลาตั้งแต่ดอกบานจนถึงผลแก่จัดประมาณ 105 วัน เป็นอีกพันธุ์หนึ่งที่ตลาดต่างประเทศต้องการ

ฟ้าลั่น (ภูวนาท นนทรีย์, 2545)

เป็นพันธุ์ดั้งเดิมของอำเภอสามพรานจังหวัดนครปฐม จัดเป็นมะม่วงที่เจริญเติบโตดี ลักษณะทรงพุ่มค่อนข้างทึบ ใบยาวคล้ายมะม่วงพันธุ์สายฝน ผลค่อนข้างดก ลักษณะผลอวบ ปลายผลกลมมน เมื่อแก่จัดเนื้อเปราะมากจะแตกทันทีเมื่อถูกคมมีด ซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์ที่เห็นได้เด่นชัด น้ำหนักของผลประมาณ 350 กรัม ผลดิบจะมีลักษณะของเนื้อหยาบ เนื้อสีขาว กรอบ มีเสี้ยนค่อนข้างน้อย รสมันตั้งแต่ผลยังเล็ก เมื่อแก่จัดมันจัด ผลสุกผิวสีเขียวปนเหลือง เนื้อสีเหลืองมีเสี้ยนน้อย รสหวานไม่จัดนัก เมล็ดมีรูปร่างยาวแบน เนื้อในเมล็ดไม่เต็ม

อกร่องทอง (ภูวนาท นนทรีย์, 2545)

เป็นพันธุ์มะม่วงที่เก่าแก่รู้จักทั่วไป ใช้สำหรับทานสุกกับข้าวเหนียว เป็นพันธุ์ที่ให้ผลดก จะออกผลปีเว้นปี คือปีใดให้ผลดก ปีต่อไปจะมีผลน้อย ขนาดค่อนข้างเล็ก ลักษณะของผลค่อนข้างแบน ตรงส่วนท้องเป็นทางยาวจนเห็นได้ชัด ผลเมื่อดิบเนื้อละเอียดสีขาวนวล มีเสี้ยนน้อย รสเปรี้ยวจัดจนกระทั่ง

แก่ เมื่อสุกผิวของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง มีกลิ่นหอม เนื้อสีเหลืองจะเยือก รสหวานจัด เมล็ดมีลักษณะยาวแบน

โฆคอนันต์ (ภูวนาท นนทรีย์, 2545)

เป็นมะม่วงรับประทานสุก สามารถออกดอกและติดผลได้ตลอดปีแม้กระทั่งในฤดูฝนมีการเจริญเติบโตค่อนข้างดี ออกดอกง่าย พบว่าทุกครั้งที่มีการแตกใบอ่อน และใบอ่อนเริ่มแก่จะมีการแทงช่อดอกออกมาเสมอ มีเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงและผลไม่ค่อยร่วง ลักษณะของผลคล้ายมะม่วงพิมเสนมัน เปลือกผลหนา เนื้อแข็ง เมื่อสุกเนื้อแน่นละเอียด ไม่มีเสี้ยน เนื้อสีเหลืองทอง มีกลิ่นหอมคล้ายมะม่วงสามปี รสชาติหวาน เมล็ดลึบหรือเมล็ดบางน้ำหนักผลประมาณ 300-400 กรัม ผลสุกแล้วสามารถเก็บไว้ได้นาน 5-7 วัน โดยที่เนื้อยังไม่ละ ผลแก่เก็บมาทิ้งไว้ 15 วันก็ยังกินได้ ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวประมาณ 110-120 วัน

ศรีสยาม (ภูวนาท นนทรีย์, 2545)

เป็นมะม่วงรับประทานสุก ลักษณะเด่นคือให้ผลนอกฤดู การติดผลดีมาก และมักติดเป็นพวง ดอกสมบูรณ์เพศมีมาก มะม่วงพันธุ์ศรีสยามมีการเจริญเติบโตดี ทรงพุ่มค่อนข้างแน่นการเรียงตัวของใบค่อนข้างถี่ ผลขนาดปานกลาง คล้ายอกร่อง เมื่อดิบสีเขียวอ่อนค่อนข้างไปทางเหลือง เนื้อขาว รสเปรี้ยวเมื่อสุกผิวสีเหลืองทอง เนื้อละเอียดสีเหลือง ความหวาน 20 องศาบริกซ์ จัดอยู่ในประเภทมะม่วงที่มีความหวานสูง เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับปลูกเพื่อเก็บผลดิบจำหน่ายเป็นมะม่วงน้ำปลาทหวานขายนอกฤดู ส่วนมะม่วงศรีสยามสุกนั้น เมื่อรับประทานกับข้าวเหนียวมะม่วง ความเข้ากันอยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่สู่อกร่องหรือน้ำดอกไม้ไม่ได้

2.1.2 ลักษณะมะม่วงคุณภาพดีที่ตลาดต้องการประกอบด้วย

2.1.2.1 ลักษณะที่ปรากฏภายนอก (มनु โปสมบูรณ์)

1. รูปร่างตรงตามพันธุ์ดี อ้วนกลมไม่ผอมบางหรือรูปร่างไม่บิดเบี้ยว สันหรือยาว ผิดปกติ
2. สีผิวสม่ำเสมอมีนวล ไม่มีลักษณะของผลค้างหรือลายสำหรับมะม่วงสุกจะมีสีเหลือง สม่ำเสมอทั้งผล ยกเว้นมะม่วงพันธุ์ต่างประเทศหรือพันธุ์ลูกผสมจากต่างประเทศซึ่งอาจจะมีสีแดงหรือสีส้ม (ดูรูปที่ 2.1)
3. ผิวปราศจากร่องรอยการทำลายของโรคและแมลงได้แก่ ราดำ ราแอนแทรกโนส ราแป้ง เพลี้ยไฟ เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย หนอนเจาะผล แมลงวันทอง หนอนกัดกินผล เป็นต้น

4. คำหนิบนิ้วต่าง ๆ เช่น ผิวแตก ผิวเป็นจุดประอะเบื่อน้ำยาง แดงเผา รอยขีดข่วนจากการเสียดสี รอยยุบบนผิว
5. ไม้บอบขำ ซึ่งเกิดจากการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง
6. ขนาดผลมีขนาดโตสม่ำเสมอ



ที่มา : มนุ โป้สมบูรณ์

a

b

รูปที่ 2.1 ลักษณะเนื้อภายในของมะม่วงสุก

a มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้แก่ คุณภาพดี

b มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้อ่อน ด้อยคุณภาพ

2.1.2.2 คุณภาพเนื้อภายใน

1. ความแก่จัดตามที่ตลาดต้องการ ถ้าเป็นมะม่วงสำหรับใช้รับประทานผลดิบประเภทมะม่วงมันจะมีความหวานมันซึ่งเนื้อจะมีสีเหลืองอ่อน กรอบ สำหรับมะม่วงที่รับประทานสุกจะต้องแก่จัด เมื่อรับประทานแล้วผลไม่เหี่ยว ความหวานสูงไม่เปรี้ยว ยกเว้นมะม่วงดิบที่ใช้รับประทานผลอ่อนกับน้ำปลาหวานหรือใช้ปรุงอาหาร ในลักษณะย่ำร่วมกับอาหารชนิดต่าง ๆ
2. เมื่อสุกแล้วไม่แสดงลักษณะการทำลายของโรค และแมลงชนิดต่าง ๆ เช่นเป็นจุดดำเนื่องจากราแอนแทรคโนส โรคข้าวผลเน่า ผลเน่าจากแบคทีเรียรวมทั้งผลเน่าจากการทำลายของหนอนแมลงวันทอง ซึ่งติดมากับผลมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เนื้อต้องมีสีเขียวเข้ม ไม่ซีดจาง โดยทั่วไปมะม่วงทุก ๆ พันธุ์เมื่ออ่อนจะมีสีเขียวซีดและจะมีสีเขียวเหลือง เข้มขึ้นเมื่อแก่จัด และเมื่อสุกผลที่แก่จัดจะมีสีเขียวเหลืองถึงส้ม แต่ผลที่อ่อนจะมีสีเขียวซีด (ดู รูปที่ 2.2)
4. ความหนาแน่นเนื้อมะม่วงสำหรับใช้รับประทานดิบจะต้องกรอบไม่เหนียวหรือแข็งกระด้าง สำหรับมะม่วงสุกจะต้องไม่เละ อ่อนนุ่มพอเหมาะสมควร่าเสมอทั้งผลตามลักษณะประจำพันธุ์
5. รสชาติดีตรงตามลักษณะประจำพันธุ์ถ้าเป็นมะม่วงมันจะมีรสหวานมันกรอบ แต่ถ้าเป็นมะม่วงสุกจะต้องหวานแหลม สม่าเสมอทั้งผล
6. มีเนื้อสำหรับใช้รับประทานมากและเส้นใยน้อย



ที่มา: มนุ โป้สมบูรณ์

a

b

รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบลักษณะเนื้อภายในของมะม่วง

a มะม่วงแก่ คุณภาพดี

b มะม่วง ค่อยคุณภาพ

2.1.2.3 ไม่มีสารพิษตกค้างบนผลมะม่วง

1. สารเคมีในเนื้อมะม่วง
2. สารเคมีที่จับที่บริเวณภายนอกของผลมะม่วง

2.1.2.4 ควรเป็นมะม่วงที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว

2.1.2.5 ควรเป็นมะม่วงที่ผ่านการคัดขนาดผลจะมีความสม่ำเสมอ

2.1.2.6 ควรมีการควบคุมโรครา และหนอนแมลงวันผลไม้ด้วยวิธีการที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

2.1.3 การเก็บเกี่ยวผลผลิต (มनु ไป่สมบูรณ์)

2.1.3.1 การตรวจสอบความอ่อนแก่

หลังจากที่มะม่วงแก่จัดพอที่จะทำการเก็บเกี่ยวได้แล้วเกษตรกรก็จะเริ่มทำการตรวจสอบความแก่ผลมะม่วงด้วยวิธีต่างๆ แล้วแต่ความถนัดของเกษตรกรเอง จำแนกดังนี้

1. นับอายุหลังจากดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ จนถึงเก็บเกี่ยวได้
 - มะม่วงน้ำดอกไม้ 110 วัน
 - มะม่วงทองคำ 100 วัน
 - มะม่วงเขียวเสวย 120 วัน
2. นับอายุหลังติดผลขนาดหัวแมลงวันหรือหัวไม้ขีดไฟ อายุถึงวันที่เก็บเกี่ยวได้
 - มะม่วงน้ำดอกไม้ 98 วัน
 - มะม่วงทองคำ 90 วัน
 - มะม่วงเขียวเสวยและมะม่วงหนังกลางวัน 110 วัน
3. นำผลไปลอยน้ำ ซึ่งมะม่วงส่วนใหญ่เมื่อแก่จะจม แต่ก็ยังมีบางพันธุ์ที่แก่แต่ยังไม่จม ถ้า นำผลมะม่วงไปลอยในน้ำเกลือแคง 2.5 เปอร์เซ็นต์ (ส่วนผสมระหว่างเกลือแคง 250 กรัม กับน้ำ 20 ลิตร) ถ้าจมในน้ำเกลือแสดงว่ามะม่วงแก่จัด
4. คัดฟังเสียง แก่จัดคือมีเสียงแป๊กๆ ผลอ่อนจะมีเสียงดังโป๊กๆ
5. วัดเปอร์เซ็นต์น้ำตาล
6. วัดเปอร์เซ็นต์กรด
7. สุ่มผ่าดูเนื้อใน ซิมคูรชาติ
8. ดูด้วยสายตา สำหรับผู้ที่มีความชำนาญสูง
 - ทรงผลกลมอ้วน
 - ผิวมีนวล
 - สีซีดลงจากเดิม บางชนิดออกเหลือง สำหรับพันธุ์ต่างประเทศจะมีสีแดง ม่วง
 - จุดประบนผิว (Lenticel) แห่งเป็นสีน้ำตาล ขณะอ่อนเป็นสีเขียวอ่อน

2.1.3.2 วิธีการเก็บเกี่ยว

1. สำหรับมะม่วงอายุน้อยซึ่งผลอยู่ต่ำขนาดใช้มือเอื้อมถึงก็ใช้มือปลิดขั้ว หากส่วนที่อยู่สูงขึ้นไปใช้บันไดร่วมกับกรรไกรชนิดหนีบขั้ว หรือใช้ไม้หนีบขั้ว หรืออาจจะใช้ตะกร้อแบบมีใบ

มีดตัด มีถุงตาข่ายหรือถุงผ้าช่วยเก็บเกี่ยว โดยไม่ต้องนำบันไดไปด้วยก็ได้

2. มะม่วงอายุมาก ซึ่งมีกิ่งอยู่สูงจากพื้นดินมากๆ การเก็บเกี่ยวอาจจะต้องมีคนหนึ่งขึ้นไปเก็บเกี่ยวมะม่วงบนต้นและอีกคนหนึ่งอยู่บริเวณโคนต้นคอยช่วยอำนวยความสะดวกและถ่ายผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวได้ออกจากตะกร้อเก็บผล ทั้งนี้รวมทั้งช่วยเก็บผลมะม่วงที่อยู่ระดับต่ำลงมาด้วย ตะกร้อหรือกรรไกรหนีบช่วยไปด้วย
3. การวางเรียงมะม่วงในตะกร้าพลาสติกหรือเข่งรวบรวมผล ควรเรียงให้ขั้วมะม่วงไปทางเดียวกันจนเต็ม แล้วนำมาขังโรงพักผลผลิตเพื่อทำการคัดขนาดต่อไป
4. ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวในช่วงสายๆจนกระทั่งบ่าย ช่วงดังกล่าวมะม่วงจะมีน้ำยางไหลออกมาน้อย
5. ความยาวของขั้วผล เพื่อป้องกันไม่ให้มะม่วงยางไหลขณะเก็บเกี่ยวการเก็บควรต้องมีขั้วยาวไม่น้อยกว่า 1 - 2 นิ้ว

2.1.4 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

2.1.4.1 การกำจัดยางมะม่วง

ยางมะม่วงทำให้มะม่วงด้อยคุณภาพได้ ถ้ามะม่วงมียางไหลเประอะเนื่อนกัน โดยทั่วไปทำให้ผิวมะม่วงเหนียวเหนอะและเป็นอันตราย นอกจากนั้นยางที่เหนียวทำให้เศษฝุ่นละอองมาเกาะติดผิวไม่สวย มะม่วงบางพันธุ์ยังมีพิษรุนแรงอาจจะทำลายผิวมะม่วงเป็นแผลดำหิไม่สวยงาม การเก็บเกี่ยวอาจต้องล้างยางด้วยน้ำไปเลย สำหรับการเก็บเกี่ยวที่ดีควรจะต้องมีขั้วคิยาวไม่น้อยกว่า 1 - 2 นิ้ว เพื่อป้องกันยางไหลบนผลได้

การกำจัดยางนั้น โดยการใช้กรรไกรตัดขั้วให้ชิดผลเหลือขั้วไว้ประมาณ 0.5 เซนติเมตร น้ำยางไหลออกมาแล้วคว่ำลงบนกระสอบป่านที่ปูบนพื้นดิน เพื่อให้ยางมะม่วงไหลออกจนแห้ง อย่าคว่ำมะม่วงตัดขั้วแล้วลงบนพื้นดินโดยตรง เพราะอาจทำให้มะม่วงติดเชื้อโรคได้ ทำให้มะม่วงเน่าเสียได้

2.1.4.2 การคัดเลือกคุณภาพ (Sorting)

ในขั้นตอนนี้เพื่อทำการคัดมะม่วงที่มีคุณภาพไม่ดีที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าออกเพื่อลดปริมาณในการดำเนินการในขั้นตอนต่อไปอีกหลายๆ ขั้นตอนลงได้อย่างมาก ซึ่งมะม่วงส่วนที่ด้อยคุณภาพก็สามารถจะถูกส่งไปจำหน่ายในตลาดที่ต้องการสินค้าคุณภาพต่ำหรือโรงงานแปรรูปได้ การคัดเลือกนี้จะคัดเอาผลขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป ผลที่มีรูปทรงผิดปกติ ผิวไม่สวยมีรอยดำ หรือผิวที่ถูกทำลายด้วยโรคและแมลง รวมทั้งผิวที่มีตำหนิจากปัจจัยอื่นๆ ด้วย

สำหรับมะม่วงที่ผ่านขั้นตอนคัดเลือกคุณภาพแล้วจะเป็นมะม่วงที่มีคุณภาพเหมาะสมกับที่ตลาดต้องการ แต่ขั้นตอนนี้มีได้หมายถึงการคัดขนาด เพื่อให้ได้มะม่วงที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่ตามขนาดมาตรฐานที่กำหนด

2.1.4.3 การทำความสะอาดผลมะม่วง

การล้างผลมะม่วงทำให้มะม่วงสะอาดเพื่อกำจัดยางและสิ่งเปราะเปื้อนบนผลสารเคมีที่ติดอยู่บนผล การล้างควรล้างในน้ำที่ใส่โซเดียมไฮโปคลอไรด์ หรือแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ ใช้ผ้าอ่อนนุ่มถูให้ทั่วและเด็ดขั้วที่เหลือให้ชัดเจน เมื่อล้างผลแล้ว ควรนำผลมะม่วงไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ในกรณีที่มีมะม่วงปริมาณมากๆ ควรใช้พัดลมเป่าให้แห้งได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

2.1.4.4 การควบคุมโรค

ในสวนมะม่วงที่ไม่ได้รับการดูแลรักษาอย่างถูกต้องและเหมาะสมนั้น โรคราโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อราแอนแทรค โนสจะติดมากับผลมะม่วงทำให้มะม่วงเน่าเสียหายเมื่อผลสุกได้ค่อนข้างมากเป็นปัญหาในการจัดจำหน่ายทั้งตลาดภายในและตลาดส่งออก เพื่อป้องกันไม่ให้ผลมะม่วงเสียหาย ควรทำการป้องกันกำจัดเชื้อราด้วยสารเคมีดังต่อไปนี้

วิธีการที่ 1 จุ่มมะม่วงลงในน้ำที่ผสมสารเคมีกำจัดเชื้อราไทอะเบนดาโซล หรือ เบน โนมิต 0.05-0.1 เปอร์เซ็นต์ (500-1,000 ppm.) ในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 51-55 องศาเซลเซียส เวลานานประมาณ 5 นาที

วิธีการที่ 2 จุ่มมะม่วงลงในน้ำธรรมชาติผสมโปรคลอราซ (Prochloraz) ความเข้มข้น 200-250 ppm. เวลานานถึง 1 นาที ซึ่งสารโปรคลอราซนี้จะใช้ง่ายในน้ำอุ่นและยังมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราแอนแทรค โนสได้ดีกว่าสารเคมีไทอะเบนดาโซลและเบน โนมิตเสียอีกด้วย ดังนั้นวิธีที่ 2 จึงสะดวกกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่า

2.1.4.5 การกำจัดแมลงวันทอง

การกำจัดแมลงวันทองในผลมะม่วงนี้เป็นเงื่อนไขการค้าขายมะม่วงกับประเทศญี่ปุ่น โดยประเทศญี่ปุ่นจะนำเข้ามะม่วงจากไทย พันธุ์หนังกลางวัน แรด น้ำดอกไม้และพิมเสน ที่ผ่านการอบไอน้ำเพื่อกำจัดแมลงวันทอง ตามมาตรฐานและความเห็นชอบของเจ้าหน้าที่กักกันพืชของประเทศญี่ปุ่นและไทย ทั้งนี้จะต้องดำเนินการอย่างรัดกุม โดยป้องกันการเด็ดลอดเข้ามาทำลายมะม่วงที่ผ่านการอบไอน้ำแล้ว โดยมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้

1. นำมะม่วงที่ผ่านการคัดคุณภาพด้วยสายตา บรรจุในตะกร้าอบไอน้ำ โดยเรียงผลเอียง 45 องศา ให้ส่วนขั้วผลคว่ำลงและปลายชี้ขึ้น โดยเฉลี่ยน้ำหนักบรรจุประมาณ 10.5 กิโลกรัมต่อตะกร้า
2. นำตะกร้า ขึ้นเรียงบนพาเลท เพื่อส่งเข้าไปในตู้อบ ใน 1 พาเลทสามารถวางตะกร้าได้ 42 ตะกร้า โดยตะกร้าบนสุดแถวกลางใช้ตะกร้าสำหรับเสียบตัว SENSOR (ตัววัดอุณหภูมิ) วาง 1 ใบ
3. นำมะม่วงที่วางบนพาเลทจำนวน ครั้งละ 10 พาเลทเข้าตู้อบ น้ำหนักมะม่วงทั้งหมด ประมาณ 3.8-4.0 ตัน/ครั้ง จากนั้นเจ้าหน้าที่กักกันพืชญี่ปุ่นและไทยร่วมกันตรวจสอบและเสียบ SENSOR จำนวน 10 แห่ง ที่ผลมะม่วงทั้ง 10 ตะกร้า ตัว SENSOR จะทำหน้าที่เป็นตัววัดอุณหภูมิของผลมะม่วงในขณะที่ทำการอบไอน้ำ
4. การอบไอน้ำ หลังดำเนินการบรรจุมะม่วงที่ต้องการจะอบไอน้ำ และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยแล้ว ทำการอบไอน้ำซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง 10 นาที โดยให้อุณหภูมิอยู่ที่ 47 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ระบายความชื้น 96 เปอร์เซ็นต์
5. นำมะม่วงออกจากตู้อบ หลังเปิดตู้อบและทิ้งให้อุณหภูมิต่ำลงแล้ว จึงทำการติดเครื่องหมาย PQ THAILAND ลงบนผลมะม่วงแต่ละผลแสดงว่ามะม่วงได้ผ่านขั้นตอนการกำจัดแมลงวันทองแล้ว
6. คัดขนาดน้ำหนัก หลังจากติดเครื่องหมายบนผลเรียบร้อยแล้วจะถูกทยอยนำเข้าเครื่องคัดขนาดทั้ง 4 ขนาดดังนี้

SIZE S	น้ำหนักผล	250-280 กรัม
SIZE M	น้ำหนักผล	281-350 กรัม
SIZE L	น้ำหนักผล	351-380 กรัม
SIZE LL	น้ำหนักผล	381 กรัมขึ้นไป
7. การบรรจุกล่อง สวมตาข่ายโพลีบนผลมะม่วงที่ต้องการบรรจุลงกล่อง ขนาดบรรจุกล่องละ 5 กิโลกรัม (น้ำหนักมะม่วงสุทธิ) สำหรับกล่องเป็นกล่องที่ได้มาตรฐานของญี่ปุ่นเป็นกล่องกระดาษลูกฟูกหนา 2 ชั้น ขนาด 40 × 50 × 10 เซนติเมตร ด้านข้างตามแนวด้านยาว เจาะรูขนาด 7 × 2.5 เซนติเมตร ข้างละ 2 รู ทั้ง 2 ด้าน แล้วปิดด้วยผ้ามุ้งตาข่ายขนาดเส้นทแยงมุมของตา 1.6 มิลลิเมตร พิมพ์เครื่องหมาย FOR JAPAN ขนาด

- 3 × 15 เซนติเมตร อย่างน้อย 3 ด้าน เครื่องหมายติดบนกล่องแสดงว่าผ่านการบรรจุ ด้วยภาชนะอย่างถูกต้องเป็นแผ่นสติ๊กเกอร์ (STICKER) พื้นขาว ตัวอักษรสีแดงขนาด 5 × 15 เซนติเมตร ข้อความ TREATED แถวบนและ PQ-DOA-THAILAND แถวล่าง
8. ปิดผนึกกล่อง เมื่อบรรจุมะม่วงลงกล่องเรียบร้อยแล้วมะม่วงจะถูกส่งไปที่เครื่องผนึกกล่องแบบอัตโนมัติพร้อมปิดเทปใสด้านหัวท้ายแล้วปิดเครื่องหมาย TREATED ทับ ด้านบนกล่องอีกครั้งหนึ่ง
 9. สุ่มตรวจคุณภาพ การสุ่มตรวจคุณภาพตัวอย่างมะม่วงที่จะส่งออกอีกครั้งจำนวน 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่ต้องการส่งออกทั้งหมด หลังจากนั้นออกใบรับรองศัตรูพืช (Phytosanitary certificate) กำกับไปกับมะม่วงที่จะส่งออก

2.1.4.6 การคัดขนาด (ภูวนาด นนทรีย์, 2545)

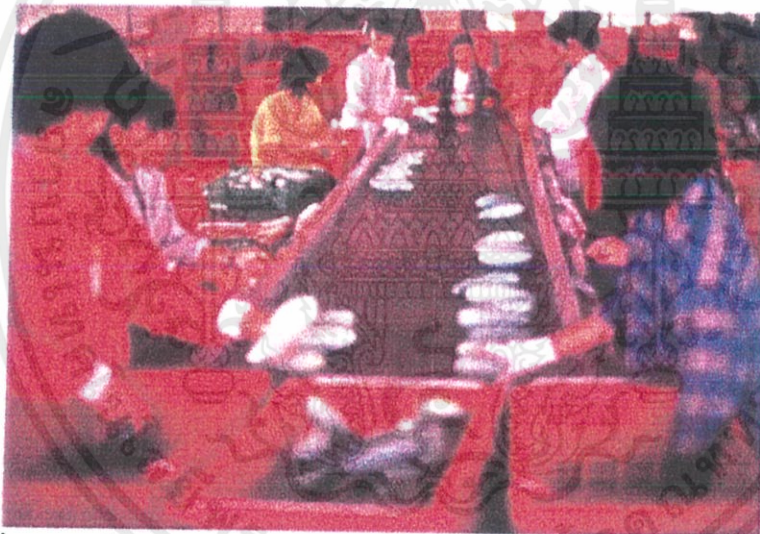
การคัดขนาดอาจจะทำก่อนหรือหลังจากการล้างผลหรือการใช้สารเคมีควบคุมโรคราของผลมะม่วง ถ้าทำก่อนจะช่วยลดปริมาณผลมะม่วงด้อยคุณภาพ หรือผลมะม่วงไม่ได้ขนาดออก ทำให้การปฏิบัติงานในขั้นตอนต่างๆ ลดน้อยลงไปได้ การคัดขนาดผลมะม่วงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรทำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากผลมะม่วงที่คัดขนาดแล้วไม่ว่าผลเล็กหรือใหญ่ก็ตาม ถ้ามีความสม่ำเสมอในเรื่องของขนาด จะทำให้ขายได้ราคาสูงขึ้น วิธีการคัดขนาดของผลมะม่วงที่นิยมทำกัน ได้แก่ การใช้สายตา พันธุ์มะม่วงที่มีผลขนาดใหญ่ไม่ได้หมายความว่าผลมะม่วงที่มีคุณภาพดีมากแต่คุณภาพของผลมะม่วงยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความแก่ กลิ่นและรสชาติ อย่างไรก็ตาม ขนาดของผลมะม่วงก็ยังเป็นสิ่งที่ใช้พิจารณาในเรืองของการแบ่งเกรดหรือคุณภาพของผล ดังนั้นไม่ว่าจะขายผลโดยการนับจำนวนหรือชั่งน้ำหนักก็ตาม ผลที่มีขนาดใหญ่จะขายได้ราคาสูงกว่าผลมะม่วงที่มีขนาดเล็กกว่าอยู่เสมอ

ในการส่งผลมะม่วงไปขายยังต่างประเทศ การคัดขนาดของผลมะม่วงจะมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นอีก ทั้งนี้เพราะขนาดของผลหรือความสม่ำเสมอของผล เป็นคุณภาพที่ผู้รับปลายทางจะมองเห็นได้เป็นครั้งแรกเมื่อได้เปิดกล่อง ปัจจุบันวิธีการคัดขนาดผลมะม่วงเพื่อส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศจะใช้เครื่องคัดขนาด ซึ่งมีข้อดีหลายประการด้วยกันคือ ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็วนี้จะทำให้ความเป็นธรรมทั้งผู้ผลิต ผู้ส่งออก และผู้บริโภค โดยทั่วไปแล้วขนาดของผลมะม่วงที่จะส่งไปขายยังต่างประเทศนั้น ควรจะมีน้ำหนักของผลประมาณ 350 กรัม หรือขนาดประมาณ 3 ผลต่อกิโลกรัม มะม่วงสามารถแบ่งขนาดของผลมะม่วงบางพันธุ์โดยอาศัยน้ำหนักไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ขนาดของมะม่วง

พันธุ์	ขนาด(กรัม/ผล)		
	ใหญ่	กลาง	เล็ก
เขียวเสวย	310-370	251-309 *	200-250
น้ำดอกไม้	360-420	301-359	250-300
หนังกลางวัน	360-430	301-359	259-300
ทองคำ	270-320	231-269	200-230
แรด	260-310	231-269	200-230

ที่มา : มนุ ไปสมบุญณ์



ที่มา : มนุ ไปสมบุญณ์

รูปที่ 2.3 การคัดขนาด

2.1.4.7 การบรรจุหีบห่อ

ภาชนะที่ใช้บรรจุผลมะม่วงเพื่อการขนส่งภายในประเทศมีหลายชนิด เช่น ข่งไม้ไผ่ ลังไม้ ตะกร้าพลาสติก ข่งไม้ขนาดบรรจุประมาณ 30-50 กิโลกรัม สำหรับลังไม้และตะกร้าพลาสติกขนาดบรรจุ 15-30 กิโลกรัม ทั้งลังไม้ และตะกร้าพลาสติกมีความแข็งแรงต่อแรงอัดและแรงกระแทกได้มากกว่าไม้ไผ่ ดังนั้นมะม่วงที่บรรจุด้วยข่งไม้ไผ่จะได้รับความเสียหายมากกว่าลังไม้และตะกร้าพลาสติก

สำหรับตะกร้าพลาสติกสามารถวางซ้อนกันครั้งละหลายๆ โดยไม่ทำให้มะม่วงบอบช้ำมาก ปัจจุบันได้มีพ่อค้ามะม่วงและผลไม้อื่นนิยมหันมาใช้ตะกร้าพลาสติกกันมากยิ่งขึ้น

สำหรับการบรรจุหีบห่อเพื่อส่งออกไปจำหน่ายตลาดต่างประเทศ ส่วนใหญ่จะบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกแข็ง 2 ชั้น ขนาดบรรจุประมาณ 7-10 กิโลกรัม บริเวณด้านข้างของกล่องทั้ง 2 ด้านเจาะช่องระบายอากาศทั้ง 2 ด้าน ควรวางมะม่วงในแนวราบ ไม่ควรวางมะม่วงในแนวตั้ง เพื่อป้องกันการบอบช้ำควรห่อด้วยตาข่ายโพลีที่ผลมะม่วงแต่ละผลก่อนที่จะบรรจุในกล่องกระดาษ ถ้าหากต้องส่งจำหน่ายช่วงนี้ ควรใส่สติ๊กเกอร์รับรองคุณภาพ และบอกข้อมูลชนิด ขนาด ปริมาณคุณภาพ และชื่อสวนในช่วงนี้เลย



ที่มา: มนุ ไปสมบุญ

รูปที่ 2.4 การติดสติ๊กเกอร์รับรองคุณภาพ



ที่มา: มนุ ไปสมบุญ

รูปที่ 2.5 สวมตาข่ายโพลีเพื่อป้องกันมะม่วงช้ำ

2.1.4.8 การเก็บรักษา

การเก็บรักษามะม่วงเพื่อให้มะม่วงที่เก็บเกี่ยวแล้ว สามารถมีอายุได้ยาวนานขึ้นกว่าอยู่ในสภาพปกติ ช่วยเก็บรักษาผลผลิตที่มากเกินไป ขายไม่หมด หรือราคาผลผลิตต่ำถ้ามีการเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ขายในช่วงมีผลผลิตน้อยก็จะทำให้ได้ราคาสูงขึ้นได้ ดังนั้นการเก็บรักษามะม่วงจะเป็นวิถีทางที่ลดปัญหาราคามะม่วงตกต่ำให้แก่ชาวสวนได้ การเก็บรักษามะม่วงนั้นมะม่วงจะต้องแก่ มีคุณภาพดี สะอาด ปราศจากโรคและแมลงทำลาย ผลไม่บอบช้ำหรือมีบาดแผล

2.1.4.9 อุณหภูมิ

การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้มะม่วงลดการหายใจ การสูญเสียน้ำ ลดการสร้างและการทำงานของเอทิลีน และการลดการเน่าเสียเนื่องจากการทำลายของเชื้อ โรคการใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปมีผลทำให้มะม่วงได้รับความเสียหาย (Chilling injury) โดยมะม่วงที่ได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำ ในมะม่วงดิบผิวและเนื้อบางส่วนมีสีคล้ำ เป็นสีม่วง หรือเน่าได้ บางครั้งมะม่วงดิบอาจจะไม่แสดงอาการที่ผิวแต่อาจจะแสดงอาการที่เนื้อใกล้เมล็ด อาจจะทำให้มะม่วงผิดปกติรสชาติผิดปกติ และเนื้อสีที่พัฒนาไม่สมบูรณ์ ความรุนแรงของอาการ (Chilling injury) ขึ้นตามความยาวนานของอุณหภูมิ ถ้ายาวนานก็เสียหายมาก สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอยู่ระหว่าง 12-13 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้ 2-4 สัปดาห์ ในมะม่วงบางพันธุ์สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-13 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดความเสียหายและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานภายในกำหนดเวลาอีกด้วย เช่น มะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสได้นาน 20 วัน หนังกกลางวันเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ได้นาน 28 วัน อกร่องที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสได้นาน 20 วัน พันธุ์พิมเสนมันและแรดที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียสได้นาน 28 วัน และพันธุ์ทองคำที่อุณหภูมิ 9-10 องศาเซลเซียสได้นาน 28 วัน สำหรับการเก็บรักษามะม่วงนอกจากจะทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาควรอยู่ที่ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่านี้จะส่งผลทำให้สูญเสียน้ำมาก ซึ่งจะทำให้ผลมะม่วงเหี่ยวแห้ง

2.1.4.10 การเคลือบผิว

การเคลือบผิวจะช่วยให้มะม่วงสูญเสียน้ำน้อยลง ป้องกันการเหี่ยว ผิวเป็นมันงาม อายุการวางตลาดยาวนานขึ้น สารที่ใช้เคลือบผิว (Wax) จะเป็นตัวจำกัดการเปลี่ยนแปลงแก๊สระหว่างผลมะม่วงกับบรรยากาศรอบๆ ผลมะม่วง ทำให้ผลมะม่วงมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในเพิ่มขึ้นและมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้มะม่วงสุกช้า ถ้าสารที่ใช้เคลือบผิวมากเกินไป จะไม่มีผลต่อการชะลอการสุกของ

มะม่วงและถ้าสารเคลือบหนาเกินไปก็จะทำให้มะม่วงไม่สุกหรือสุกผิดปกติ อาจจะมีการผสมสารฆ่าเชื้อโรคร่วมกับสารเคลือบผิวด้วย

สารที่ใช้เคลือบผิวอาจจะได้จากการสกัดสารเคลือบผิวของพืชที่มีอยู่โดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ก็ได้ ลักษณะของสารเคลือบผิวอาจจะอยู่ในลักษณะผงหรือของเหลว ดังนั้นวิธีการเตรียมสารเคลือบผิวเพื่อใช้งานจึงต้องปฏิบัติตามคำแนะนำการใช้สารเคลือบของแต่ละยี่ห้อ หลังจากใช้สารเคลือบผิวแล้วจะต้องมีการขัดผิวผลมะม่วง มิฉะนั้นผิวของผลมะม่วงจะค้ำนไม่สวย

2.1.4.11 การบ่มมะม่วง

สำหรับมะม่วงพันธุ์ที่ใช้รับประทานผลสุก การจำหน่ายในตลาดผู้บริโภคได้ทันที การบ่มทำให้มะม่วงสุกได้เร็ว และสุกในเวลาพร้อมๆ กัน สามารถขายผลผลิตได้รวดเร็ว ลดการเหี่ยวบนผลมะม่วง และที่สำคัญทำให้มะม่วงมีสีผิวสม่ำเสมอคือจุดลูกค้า

เพื่อให้มะม่วงที่บ่มแล้วมีคุณภาพดีนั้น มะม่วงที่จะทำการบ่มนั้นจะต้องแก่จัดมิฉะนั้นมะม่วงที่บ่มสุกแล้วจะมีรสชาติเปรี้ยวหรือไม่มีกลิ่นหวานดี ผิวเหี่ยวขุ่นไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การบ่มที่ปฏิบัติอยู่ในปัจจุบันที่ผลมะม่วงเป็นการค้ำนเข้าของสวนนิยมใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ซึ่งทำปฏิกิริยากับไอน้ำในบรรยากาศ แล้วปลดปล่อยแก๊สอะเซทิลีนออกมาทำให้มะม่วงสุกเร็วเช่นเดียวกับแก๊สเอทิลีน ปริมาณการใช้ถ่านแคลเซียมคาร์ไบด์ขนาดเม็ดถั่วลิสง ซึ่งได้มีการทุบแบ่งแล้ว ห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ ปริมาณ 30-50 กรัม สามารถใช้บ่มมะม่วงได้ในปริมาณน้ำหนัก 3-5 กิโลกรัม สอดท่อถ่านแก๊สตามชั้นของมะม่วงที่บรรจุไว้ในคုံหรือลังไม้ที่มีฝาปิดหรือกองมะม่วงที่มีพลาสติกผ้าใบคลุม เพื่อป้องกันแก๊สอะเซทิลีนออกมา หลังบ่มไว้ด้วยแก๊ส 2-3 วัน จึงตรวจดูว่ามะม่วงสุกหรือยัง การบ่มด้วยแก๊สจะต้องระวังอย่าให้แก๊สมากเกินไป เพราะจะทำให้มะม่วงเกิดความเสียหายหรือมะม่วงที่สุกจะมีกลิ่นถ่านแก๊สได้

ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำวิธีการบ่มด้วยแก๊สเอทิลีนมาใช้ แต่การบ่มวิธีนี้จะต้องมีห้องปิดสนิทแล้วปล่อยแก๊สเอทิลีนเข้าไปในห้องบ่มจนได้ความเข้มข้น 200 ppm. (0.02 เปอร์เซ็นต์) แล้วจึงปิดถังแก๊สเอทิลีน ช่วงเวลาการบ่มนาน 24 ชั่วโมง แล้วเปิดห้องบ่มเพื่อป้องกันการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าหากมะม่วงยังไม่สุกปิดห้องบ่มแก๊สเอทิลีนในห้องบ่มอีกครั้งนำผลมะม่วงออกมาจากห้องบ่มตามสีผิวที่ต้องการ การบ่มวิธีนี้อุณหภูมิประมาณ 28-31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการบ่มด้วยวิธีนี้จะทำให้มะม่วงสุกมีสีผิวสวยคุณภาพดีน่ารับประทาน

2.1.4.12 การรับรองคุณภาพ

การผลิตมะม่วงคุณภาพดีนั้นหลังจากที่มีการคัดขนาดผลต่างๆ เรียบร้อยแล้วเพื่อรองรับคุณภาพ

ผลผลิตของผลมะม่วงที่ผ่านขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวมาจนครบทุกขั้นตอนแล้วควรจะต้องปฏิบัติดังนี้

1. ติดสติ๊กเกอร์ที่บอกชื่อสวนผู้ผลิต หรือสัญลักษณ์ที่ผลมะม่วงทุกผล เพื่อเป็นการรับรอง คุณภาพมะม่วงแล้ว ยังเป็นการสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภคได้ การรับรองคุณภาพช่วย ให้ผลผลิตได้ราคาสูง ผลผลิตย่อมเป็นที่ต้องการของตลาดโดยทั่วไป
2. บอกข้อมูลมะม่วง ได้แก่ พันธุ์มะม่วงที่บรรจุในกล่อง ขนาดผล น้ำหนักผลต่อกล่อง แข็งหรือคะกร้าพลาสติก ชื่อและที่อยู่เจ้าของสวนผู้ผลิต สำหรับมะม่วงสุกที่ผ่านการบ่มแล้ว ควรบอกช่วงเวลาเหมาะสมในการรับประทานได้เป็นการดี

2.2 เครื่อง NIR Spectrophotometer

หลักการวัดของเครื่อง NIR Spectrophotometer มีด้วยกัน 2 แบบคือ Reflectance และ Transmittance (วารุณี ฐานะแพทย์, 2545)

สารประกอบทุกชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสง พลังงานที่ดูดกลืนสามารถวัดได้โดยทางอ้อม ด้วยการวัดปริมาณพลังงานที่ถูกส่งผ่านตัวอย่างหรือพลังงานแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากตัวอย่าง พิจารณาตัวอย่างที่โปร่งแสงวางอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดแสง (Light source) และอุปกรณ์วัดแสง (Detector) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะแสดงการวัดแบบ Transmittance



รูปที่ 2.6 การวัดแบบ Transmittance

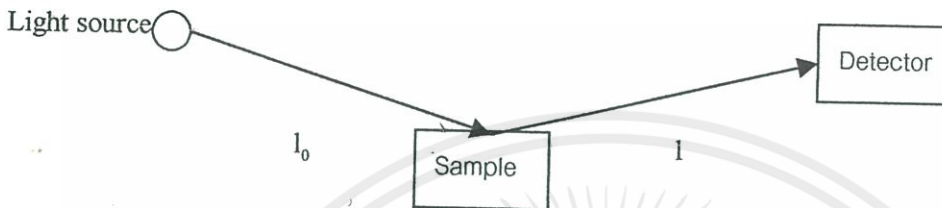
I_0 ความเข้มแสงเริ่มต้น

I ความเข้มแสงหลังจากส่งผ่านตัวอย่าง

สำหรับกรณีที่ตัวอย่างมีลักษณะไม่โปร่งแสง (Opaque sample) แสงจากแหล่งกำเนิดจะไม่สามารถทะลุผ่านตัวอย่างได้และบางส่วนจะถูกดูดกลืนในขณะที่บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับออกมาดัง

แสดงในรูปรูปที่ 2.7 การวัดในลักษณะนี้สามารถวัดจากปริมาณพลังงานที่ถูกดูดกลืนหรือวัดจากปริมาณพลังงานของแสงที่สะท้อนออกมา (เป็นพลังงานที่เหลืออยู่ในแสง) โดยที่

$$\text{Reflectance (R)} = I/I_0 \quad \text{และ} \quad \text{Absorbance} = \log I/R$$



รูปที่ 2.7 การวัดแบบ Reflectance

เมื่อพิจารณาที่ผิวของตัวอย่าง ณ ตำแหน่งที่แสงสะท้อน แสงบางส่วนจะสะท้อนออกมาตรง ๆ โดยไม่ได้ทะลุเข้าไปในตัวอย่าง แสงบางส่วนนี้จะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างเลยแสงในส่วนนี้เรียกว่า Specular reflectance แต่จะมีแสงบางส่วนที่ทะลุผ่านเข้าไปในตัวอย่างต่ำกว่าผิว แสงในส่วนนี้จะมีข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างอยู่ และเป็นแสงที่ต้องการวัดเรียกว่า Diffuse reflectance ตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่าง Specular reflectance และ Diffuse reflectance เช่น ผู้ชายคนหนึ่งยืนอยู่หน้ากระจกเงาจะเห็นภาพตัวของเขาทั้งหมดในกระจก เนื่องจากว่าแสงที่ส่องจากตัวผู้ชายนี้ไปยังกระจกสะท้อนกลับออกมาโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะนี้คือ Specular reflectance คราวนี้ถ้าผู้ชายคนเดียวกันยืนอยู่หน้าผนังตึกและพยายามมองเงาสะท้อนของตัวเอง เขาจะไม่สามารถมองเห็นได้ทั้งนี้เนื่องจากว่าแสงที่ส่องออกจากตัวของเขาไปยังตึกจะถูกเปลี่ยนแปลงไปโดยผนังก่อนที่จะสะท้อนออกมาในแบบ Diffuse reflectance แสงในส่วนนี้จะมีข้อมูลเกี่ยวกับผนังตึก เช่น สี ลักษณะของผนัง เป็นต้น โดยที่ข้อมูลในแสงก่อนกระทบผนังตึกจะแตกต่างกับแสงหลังจากสะท้อนออกจากผนัง

ความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืนเป็นฟังก์ชันของโครงสร้างทางโมเลกุลของสารประกอบนั้น ๆ ดังนั้นการดูดกลืนแสงจะเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารประกอบนั้น ๆ นั่นคือ สารประกอบแต่ละสารจะมี Absorption spectrum ที่แตกต่างกัน โดยที่ Absorption spectrum เป็นพล็อตระหว่างการดูดกลืนแสง กับความยาวคลื่น

การดูดกลืนที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ (หน่วยเป็นนาโนเมตร nm) มีการนิยามโดย Beer Lambert Law ดังนี้

$$A = \log I/T = abc$$

โดยที่ A = Absorbance

T = Transmittance

a = Absorption coefficient ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละสารประกอบ

b = pathlength หรือ ความหนาของตัวอย่างในกรณีนี้

c = ความเข้มข้น (concentration) ของสารประกอบที่ถูกกลืนแสง

การนำสมการนี้ไปใช้หาความเข้มข้นของตัวอย่างโดยการวัด absorbance นั้นจะต้องทราบความหนาของตัวอย่างที่ถูกต้องและจะต้องหาค่า Absorption coefficient โดยหาจากกลุ่มตัวอย่างที่ทราบค่าความเข้มข้น โดยพลอตกราฟระหว่าง absorbance (A) และความเข้มข้น (c) จะได้กราฟเส้นตรงผ่านจุด origin โดยมีความชันเท่ากับ ab เนื่องจากเราทราบค่า b ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า a ได้โดยง่ายเมื่อจัดเรียงสมการใหม่จะได้

$$c = A/ab$$

ซึ่งสอดคล้องกับสมการ multiregression ที่นิยมใช้ในการทำการ calibration ที่อยู่ในรูป

$$Y = B_0 + B_i(\log 1/T_i) + E$$

โดยที่ Y = เปอร์เซนต์ความเข้มข้นของสารประกอบที่ถูกกลืนแสง

B_0 = ค่า intercept จาก regression

B_i = สัมประสิทธิ์ regression

i = index ของความยาวคลื่นที่ใช้ที่ตรงกับ T_i

E = random error

ในสมการค่า B แต่ละค่าเปรียบเทียบกับผลคูณระหว่าง pathlength (b) กับ absorption coefficient (a)

2.3 การศึกษา NIR Spectroscopy ของมะม่วง

ในการทำโครงการนี้ ได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการนำเอาเทคนิค NIR มาใช้ตรวจสอบคุณภาพภายในของมะม่วงซึ่งมีอยู่หลายเรื่องที่น่าสนใจ อาทิเช่น

2.3.1 การหา Total Soluble Solids ของมะม่วงบนเกาะ Okinawa โดยใช้ NIRS ซึ่งเป็นผลงานการศึกษาของ Tanabe and Kouno ในการศึกษาที่ได้นำเอา NIRS ไปใช้หาค่า Soluble Solids ที่มีอยู่ในมะม่วงพันธุ์ต่าง ๆ เนื่องจากว่าบนเกาะ Okinawa มีมะม่วงที่มีคุณภาพดี ราคาแพง แต่กระบวนการคัดคุณภาพเป็นกระบวนการที่ทำให้ผู้บริโภคไม่มั่นใจในคุณภาพของมะม่วงเพราะว่ามีการคัดคุณภาพโดยอาศัยประสบการณ์ของคนซึ่งไม่มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นการนำเอา NIR มาใช้ในกระบวนการดังกล่าวจะเป็นการเพิ่มความมั่นใจในคุณภาพของมะม่วงให้กับผู้บริโภคซึ่งจะต้องซื้อมะม่วงราคาแพงและได้มะม่วงคุณภาพดีสมกับราคา

มะม่วงที่ใช้ในการศึกษาคือมะม่วงพันธุ์ Keitt, Sensation และพันธุ์ Irwin ใช้ตัวอย่าง 88 ตัวอย่างในแต่ละพันธุ์ แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1. กลุ่มปรับเทียบ (Calibration) และกลุ่มที่ 2 กลุ่มทำนาย (Prediction) ใช้เครื่อง NIR Nireco รุ่น 6500 ถ้าแสง NIR จะถูกฉายออกมาเป็นช่วง ๆ จาก 700 – 1000 นาโนเมตร ช่วงละ 2 นาโนเมตร การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ Software NSAS ของบริษัท Nireco เส้น Calibration curve หาได้โดยใช้ Secondary differentiated spectrum

จากผลการศึกษาของ Tanabe and Kouno ได้ ค่า MR (Multiple Correlation Coefficient) ระหว่าง NIRS และการวิเคราะห์ทางเคมีของมะม่วงพันธุ์ Keitt และ Sensation คือ 0.94 และ 0.91 ตามลำดับและค่า SEC (Standard Error of Calibration) คือ 0.57 และ 0.64 ค่า SEP (Standard Error of Prediction) คือ 0.88 และ 0.48 ผลลัพธ์ของ NIRS มีความเป็นไปได้สูงในการทำนายค่า Soluble Solids ที่มีอยู่ในมะม่วงพันธุ์ Keitt และ Sensation การนำ NIR มาช่วยวิเคราะห์หาค่า Total Soluble Solids นั้นไม่สามารถที่จะนำการ calibration ของแต่ละพันธุ์มาใช้ร่วมกันได้ กล่าวคือถ้าเราจะวิเคราะห์มะม่วงพันธุ์ Sensation เราไม่สามารถจะนำค่า Calibration ของมะม่วงพันธุ์ Irwin มาใช้ได้ เนื่องจากมะม่วงแต่ละพันธุ์นั้นมีลักษณะและคุณสมบัติภายในที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถที่จะนำมาวิเคราะห์ร่วมกันได้

2.3.2 การประเมินคุณภาพของสับปรดและมะม่วงแบบไม่ทำลายโดยใช้ Near Infra-red Spectroscopy (Non-Invasive Assessment of Pineapple and Mango Fruit Quality using Near Infra-red Spectroscopy) เป็นผลงานการศึกษาของ Guthrie and Walsh (1997) การศึกษาเกี่ยวกับมะม่วงนั้นเป็นการนำเอา NIR มาใช้วัดค่า DM (Dry matter) ของเนื้อมะม่วงซึ่งในการศึกษานี้จะวัดค่า DM จากเนื้อมะม่วงบริเวณที่ทำกร scan เท่านั้น เนื่องจากว่ามะม่วงเป็นผลไม้ที่มีผลแบบเมล็ดเดี่ยวและมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านองค์ประกอบทางเคมีภายในผลมะม่วงน้อยมาก จะมีการสะสมแป้งและจะกลายเป็นน้ำตาล ระหว่างที่มะม่วงกำลังสุก ดังนั้นเราสามารถหาค่า DM เป็นค่าที่บ่งบอกว่ามะม่วงมีคุณภาพเหมาะที่

จะรับประทานหรือไม่ เพราะค่า DM คือค่าที่จะบ่งบอกถึงปริมาณแป้งที่สะสมอยู่ในมะม่วง โดยทดลอง ในมะม่วงพันธุ์ Kensington ที่ปลูกใน Queensland เก็บเกี่ยวในระยะแก่จัด ที่อุณหภูมิ 23 °C ใช้เครื่อง NIR รุ่น 6500 SILVER SPRING, MD ใช้ Software NSAS (version 3.25) ในการวิเคราะห์ผล ใช้ wave number ช่วง 400-2500 นาโนเมตร วัดทุก ๆ 2 นาโนเมตร ทำการ scan 50 ครั้งต่อตัวอย่าง ภายในเวลา 1 นาที การปรับเทียบใช้สมการ MLR (Multiple linear regression) จะมีค่า $R^2=0.9$, $SEC=0.85\%$ และ bias 0.39

สำหรับการใช้สมการ MPLS (Multiple partial lest square) มาวิเคราะห์ค่าปรับเทียบจะได้ค่า $R^2=0.98$, $SEC=0.54$ และ $SECV=1.19$ จากการทดลองของ Guthrie และ Walsh สรุปได้ว่าสามารถที่จะนำเอาเทคนิค NIR ไปใช้ในการคัดคุณภาพของมะม่วงได้โดยใช้วัดค่า Dry matter

2.3.3 การใช้ประโยชน์ NIRS กับผลไม้เขตร้อน: ช่วงความยาวคลื่นและเครื่องมือสำหรับการประเมินคุณภาพของผลมะม่วงสด เป็นผลการศึกษาของ Sirinapa et al (2001) ในการทดลองนี้ได้ใช้มะม่วงฟลิปปินส์ พันธุ์คาราบาว จำนวน 200 ผล การทดลองนี้เป็นการประเมินคุณภาพของผลมะม่วงสด โดยไม่ทำลาย โดยเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการซึ่งสร้างจากค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้น ตั้งแต่ 700-1100 นาโนเมตร และ ในช่วงความยาวคลื่นยาวตั้งแต่ 1100-2500 นาโนเมตร รวมทั้งเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องมือวัดค่าการดูดกลืนแสง NIR ชนิดพกพา (FT20) กับชนิดที่ใช้ในงานวิจัย (NIRS6500) พบว่า

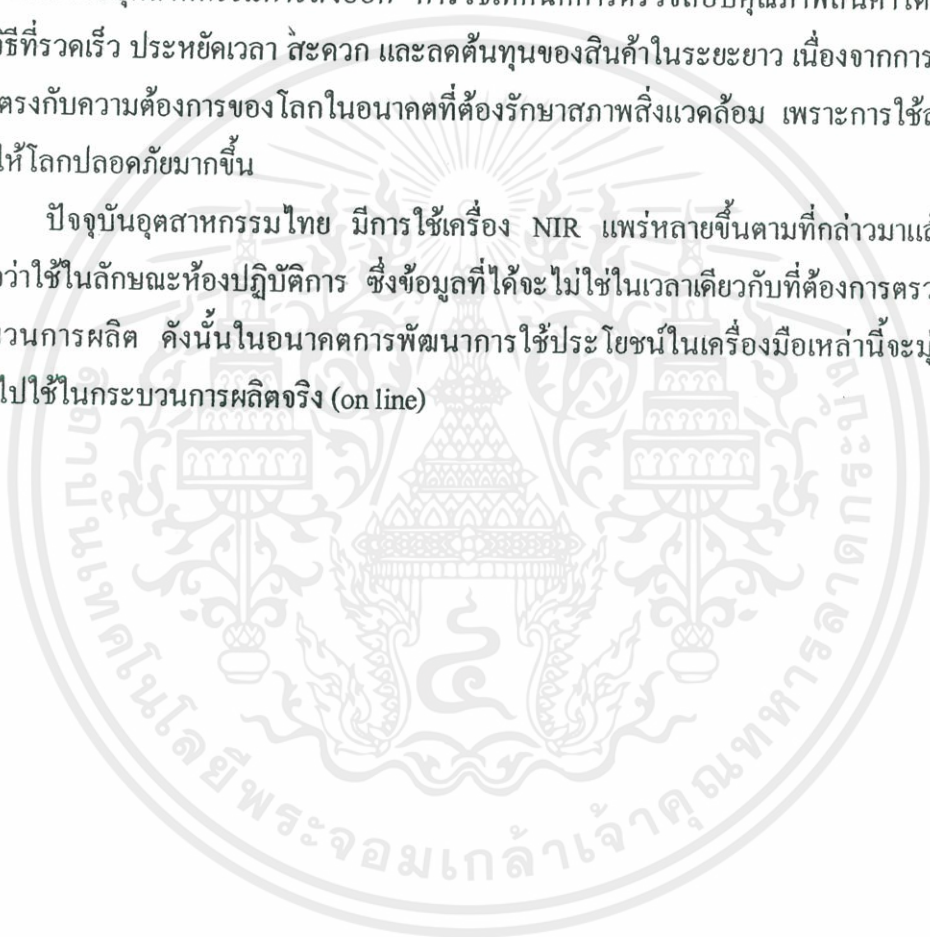
1. แสง NIR ในช่วงความยาวคลื่นสั้นเป็นช่วงคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพของผลมะม่วงสดแบบไม่ทำลาย เนื่องจากแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่นสั้นสามารถทะลุทะลวงเข้าสู่ผลมะม่วงได้ดีกว่าช่วงความยาวคลื่นยาว
2. สมการทำนายที่สร้างจากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัด โดยเครื่องมือชนิดพกพามีความแม่นยำเท่าเทียมกับสมการทำนายที่สร้างจากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัด โดยเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูงสำหรับใช้ในระดับงานวิจัย

และจากการทดลองสรุปได้ว่า เทคโนโลยี NIR Spectros (Near Infrared Spectroscopy) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถประเมินองค์ประกอบคุณภาพของผลมะม่วงสด ได้แก่ ค่า Brix และ Dry matter ซึ่งเป็นดัชนีความหวานและดัชนีความแก่ของผลมะม่วงได้อย่างแม่นยำโดยไม่ต้องทำลาย

2.4 แนวโน้มในอนาคตของการศึกษางานวิจัยและพัฒนา (วารุณี ธนะแพทย์, 2545)

งานวิจัยและพัฒนาในการศึกษาเทคนิคการตรวจสอบสินค้าโดยไม่ทำลายคงจะมีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งด้านพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งาน ทั้งในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และปริมาณ (qualitative and quantitative analysis) พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ของประเทศ ตามนโยบายของรัฐ ได้มุ่งสู่รายได้จากการส่งออก ดังนั้น การควบคุมและการประกันคุณภาพของสินค้า จึงมีความจำเป็นยิ่งต่ออุตสาหกรรมส่งออก การใช้เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย เป็นวิธีที่รวดเร็ว ประหยัดเวลา สะดวก และลดต้นทุนของสินค้าในระยะยาว เนื่องจากการใช้สารเคมีน้อย ซึ่งตรงกับความต้องการของโลกในอนาคตที่ต้องรักษาสภาพสิ่งแวดล้อม เพราะการใช้สารเคมีน้อยลง ก็ทำให้โลกปลอดภัยมากขึ้น

ปัจจุบันอุตสาหกรรมไทย มีการใช้เครื่อง NIR แพร่หลายขึ้นตามที่กล่าวมาแล้วส่วนใหญ่จะเข้าใจว่าใช้ในลักษณะห้องปฏิบัติการ ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจไม่ใช่ในเวลาเดียวกับที่ต้องการตรวจสอบจริงในกระบวนการผลิต ดังนั้นในอนาคตการพัฒนาการใช้ประโยชน์ในเครื่องมือเหล่านี้จะมุ่งเข้าสู่ลักษณะที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง (on line)



บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การดำเนินการทดลอง

การทดลองใช้มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ จำนวน 151 ผล แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดดังนี้

1. การตรวจสอบ Texttrue Properties ของมะม่วง โดยวิธี NIR Spectroscopy 100 ผล จากสวนมะม่วงที่ จังหวัดนครปฐม (เก็บ ณ วันที่ 21 มกราคม 2545) อายุการเก็บเกี่ยว 70%, 80%, 90% และ 100%
2. การตรวจสอบ รสชาติของมะม่วง โดยวิธี NIR Spectroscopy 51 ผล จากสวนมะม่วงที่ จังหวัดนครปฐม (เก็บ ณ วันที่ 13 มีนาคม 2545) อายุการเก็บเกี่ยว 70% และ 80%

ก่อนการทดลองจะต้องทำความสะอาดผิวมะม่วง โดยการเช็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษทำความสะอาด หลังจากนั้นเขียนหมายเลขที่ผิวมะม่วงแต่ละผล ในแต่ละด้าน (ด้าน A และ B) ดังรูปที่

3.1 พร้อมทั้งสังเกตลักษณะทางกายภาพของมะม่วง การทดลองแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

การทดลองชุดที่ 1 การตรวจสอบ Texttrue Properties ของมะม่วง โดยวิธี NIR Spectroscopy โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น

- อายุการเก็บเกี่ยว 70% จำนวน 10 ผล
- อายุการเก็บเกี่ยว 80 % จำนวน 32 ผล
- อายุการเก็บเกี่ยว 90 % จำนวน 50 ผล
- อายุการเก็บเกี่ยว 100 % จำนวน 8 ผล

ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะคุณภาพของผลมะม่วง

การทดลองที่ 1 : ขนาด น้ำหนัก ลักษณะผิวเปลือกของผลมะม่วงและลักษณะเนื้อมะม่วง

การทดลองที่ 2 : ปริมาตรและความหนาแน่นของผลมะม่วง

ตอนที่ 2 Near-Infrared (NIR) Spectroscopy

การทดลองที่ 3 : การวัด NIR Spectrum ของผลมะม่วง

ตอนที่ 3 ศึกษาเนื้อสัมผัสของผลมะม่วงด้วย Universal Testing Machine

การทดลองที่ 4 : ทดสอบด้วยวิธี Compression Test , Relaxation Test และ Recovery

Test

การทดลองที่ 5 : ทดสอบด้วยวิธี Puncture Test

การทดลองชุดที่ 2 การตรวจสอบรสชาติของมะม่วง โดยวิธี NIR Spectroscopy

การทดลองที่ 6 : ของแข็งที่ละลายได้ (Soluble Solids) ในน้ำมะม่วง

การทดลองที่ 7 : Acidity ของน้ำมะม่วง

การทดลองที่ 8 : การวัด NIR Spectrum ของน้ำมะม่วง

การทดลองชุดที่ 1 การตรวจสอบ Texture Properties ของมะม่วง โดยวิธี NIR Spectroscopy

ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะคุณภาพของมะม่วง

การทดลองที่ 1 : ขนาด น้ำหนักและพิจารณาลักษณะผิวเปลือกของผลมะม่วง

อุปกรณ์

- | | | |
|--|---|---------|
| 1. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ | 1 | อัน |
| 2. เครื่องชั่งไฟฟ้า (Yamato รุ่น HB 3000 Max 3100 g) | 1 | เครื่อง |

วิธีการ

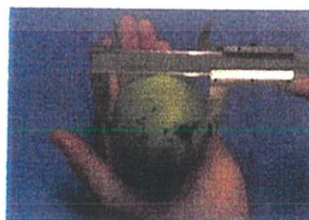
1. พิจารณาลักษณะผิวเปลือกของผลมะม่วง แล้วบันทึกผลในตารางที่ 1 ภาคผนวก ก.
2. วัดขนาดด้านกว้าง, ด้านยาวและด้านหนา โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ดังรูปที่ 3.1 บันทึกผลในตารางที่ 2 ภาคผนวก ก.
3. ชั่งน้ำหนักมะม่วงแต่ละผล โดยเครื่องชั่ง ไฟฟ้าบันทึกผลในตารางที่ 2 ภาคผนวก ก.



a



b



c

รูปที่ 3.1 แสดงการวัดขนาดผลมะม่วง a : ด้านกว้าง, b : ด้านยาว, c : ด้านหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 : ปริมาตรและความหนาแน่นของมะม่วง

อุปกรณ์

1. กล่องพลาสติกสีเหลือง	1	ใบ
2. น้ำกลั่น		
3. ขาดังพร้อมมือหนีบผลมะม่วง	1	ชุด
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า (Yamato รุ่น HB 3000 Max 3100 g)	1	เครื่อง
5. มะม่วง	100	ผล

วิธีการ

1. วัดอุณหภูมิห้อง
2. ชั่งผลมะม่วงในอากาศ (M_1)
3. วางกล่องพลาสติกสีเหลืองขนาด ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่บนเครื่องชั่งไฟฟ้า ปรับค่าของเครื่องชั่งให้เท่ากับศูนย์
4. จุ่มผลมะม่วงที่หนีบด้วยมือหนีบที่ติดอยู่ที่ขาดัง จุ่มลงในกล่องพลาสติกสีเหลืองที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ให้จมลงในน้ำกลั่นทั้งหมด แล้วบันทึกค่าน้ำหนัก (M_2) ซึ่งค่าน้ำหนักนี้เป็น น้ำหนักน้ำกลั่นที่ถูกแทนที่ด้วยผลมะม่วง
5. คำนวณปริมาตรของมะม่วง (V_m) จาก

$$V_m = M_1 / \rho_1 \quad (\text{cm}^3)$$

ρ_1 = ความหนาแน่นของน้ำกลั่น (g/cm^3) ดูจากตารางที่ 2 ภาคผนวก ก.

6. คำนวณค่าความหนาแน่นของมะม่วง (ρ_m) จาก

$$\rho_m = M_1 / V_m \quad (\text{g/cm}^3)$$

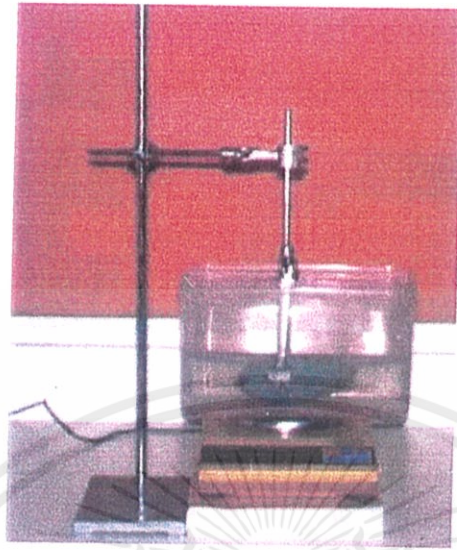
7. คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของมะม่วง (SG) จาก

$$SG = \rho_m / \rho_w$$

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)

8. บันทึกผลในตารางที่ 2 ภาคผนวก ก.

* ต้องทำการวัดอุณหภูมิน้ำขณะที่ทำการทดลอง เนื่องจากต้องคิดค่า ความหนาแน่นของน้ำกลั่น ณ อุณหภูมินั้น ๆ



รูปที่ 3.2 การหาปริมาณและความหนาแน่นของผลมะม่วง

ตอนที่ 2 Near-Infrared (NIR) Spectroscopy

การทดลองที่ 3 : การวัด NIR Spectroscopy ของมะม่วง

อุปกรณ์

1. เครื่อง NIR Spectrometer ยี่ห้อ BUCHI รุ่น NIR Flex N-400	1	เครื่อง
2. ถังดำ	1	กล่อง
3. เทอร์โมมิเตอร์	2	อัน
4. Fiber optic probe	1	อัน
5. มะม่วง (หลังการเก็บเกี่ยว 1 วัน)	100	ผล
6. กระดาษซับ (kimwipes)	1	กล่อง

วิธีการ

1. ปรับ air condition ที่อุณหภูมิคงที่ 22 °C
2. วางมะม่วงไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องและทำการบันทึกค่าอุณหภูมิทุกระยะ
3. ติดตั้ง probe ให้อยู่ในถังดำเพื่อที่จะทำการทดลอง
4. เปิดเครื่อง NIR Spectroscopy เข้าสู่โปรแกรมการวัดใช้ Software ที่ชื่อ NIRCAL Software V4.0 ทำการวัด reference ของช่วงจำนวนคลื่น (4500-10000 cm^{-1})
5. การวัด NIR Spectrum ของผลมะม่วง



รูปที่ 3.3 การจัดวางเครื่อง NIR Spectrophotometer และอุปกรณ์ในขณะทดสอบ

- 5.1 นำผลมะม่วงด้านที่ทำเครื่องหมายไว้วางชิดกับ probe ให้แนบสนิทและต้องไม่
ให้มะม่วงขยับ โดยวางในกล่องดำ ดังรูปที่ 3.3
- 5.2 scan ผลมะม่วง โดยใช้คำสั่งทาง computer โดย scan 5 ครั้งต่อ 1 ตำแหน่ง ต่อ
1 ด้านของผลมะม่วง ช่วงจำนวนคลื่น $4500-10000\text{ cm}^{-1}$ หลังจาก scan ด้านที่ 1
(ด้าน A) เสร็จแล้วจึง scan ด้านที่ 2 (ด้าน B) โดยทำการทดลองซ้ำเหมือนด้านที่ 1
นำผลมะม่วงที่ scan เสร็จแล้วออกมาและเก็บข้อมูลที่ได้อไว้ในเครื่อง computer
- 5.3 ทำความสะอาด probe ที่ใช้ด้วยกระดาษซับให้สะอาด
- 5.4 scan มะม่วงตามขั้นตอนการทดลองที่ 5.1-5.4 จนครบทุกผล
- 5.5 บันทึกค่าผลการทดลองที่ได้ไว้ใน computer เพื่อที่จะนำไปทำการ calibrate ต่อไป

* ต้องทำการ reference ทุก ๆ 4 ชั่วโมงเพื่อขจัดปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิ

ตอนที่ 3 ศึกษาเนื้อสัมผัสของมะม่วงด้วย Universal Testing Machine

การทดลองที่ 4 : ทดสอบด้วยวิธี Compression Test, Relaxation Test และ Recovery Test

ขบวนการทดสอบมี 3 ขั้นตอนคือ

4.1 Double Cycle Load

กดมะม่วงด้วย Plate ที่เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็ว 10 mm/min จนถึง Load ที่ maximum คือ 2 N แล้วควบคุมให้แผ่น Plate เคลื่อนที่ขึ้นจนเหลือ Load ที่ minimum คือ 1 N ทำการกดซ้ำอีกครั้งจน
ได้ Load ที่ maximum

4.2 Relaxation Test

หลังจากกดซ้ำครั้งที่ 2 จนได้ค่า Load ที่ maximum แล้วปล่อยให้ plate เคลื่อนที่ขึ้นด้วยแรงคืนตัวของมะม่วง จนกระทั่ง Load ที่ 1.5 N

4.3 Recovery Test

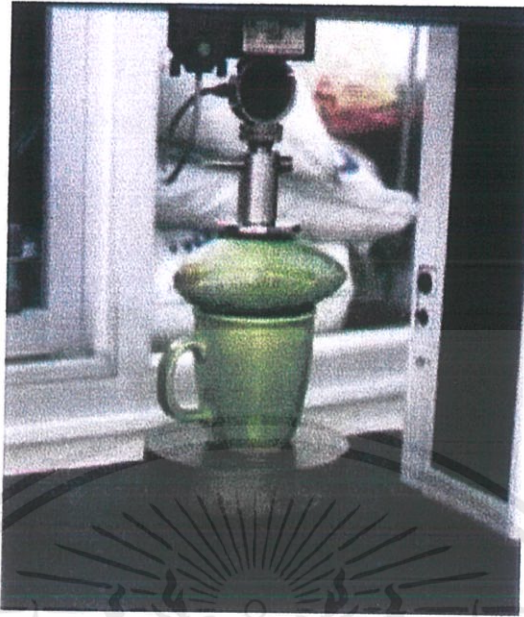
ควบคุมให้ plate เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็ว 10 mm/min จนพื้นผลไม้แล้วหยุด ค่าที่ได้จากการทดลองจะถูกบันทึกใน computer และนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

อุปกรณ์

1. Universal Testing Machine (UTM LLOYD รุ่น LR 5 K)	1	เครื่อง
2. Computer Software R Control V.3.23		
3. แผ่นเรียบที่ใช้สำหรับกด (Flat plate) ต่อไปจะเรียกว่า plate กด หนา 10 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm ทำด้วย Stainless steel	1	อัน
4. Load cell ขนาด 100 N	1	อัน
5. ภาชนะรองรับมะม่วง	1	อัน
6. มะม่วง (หลังการเก็บเกี่ยว 2 วัน)	100	ผล

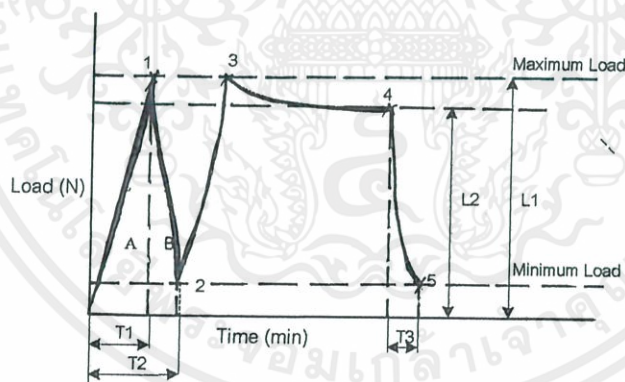
วิธีการ

1. ติดตั้ง plate กด และ Load cell เข้ากับเครื่อง UTM ให้เรียบร้อย
2. เปิดเครื่อง UTM และเข้าไปยัง โปรแกรมการทดสอบใน Software R Control V3.23
3. นำมะม่วงมาวางบนภาชนะรองรับดังรูปที่ 3.4
4. เริ่มทำการทดสอบตามขบวนการคือ Double Cycle Load, Relaxation Test และ Recovery Test
5. เลื่อน plate ให้ออกห่างจากมะม่วงและทำการเปลี่ยนด้านทดสอบมะม่วงเป็นด้านตรงข้าม
6. ทำซ้ำข้อ 4-5
7. เปลี่ยนมะม่วงเป็นลูกถัดไปและทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อ 3-7
8. ค่าที่ได้จากการทดลองจะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและเวลาในการทดสอบดังรูปที่ 3.5 ซึ่งต้องนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.4 ลักษณะการวางมะม่วงขณะทำการทดลอง

Compression Test (ดูรูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับเวลาทดสอบ โดยวิธี Compression Test

ค่าที่ได้จากกราฟ

T_1 = เวลาจากจุดเริ่มต้นถึงจุดที่ 1 (min)

T_2 = เวลาจากจุดเริ่มต้นถึงจุดที่ 2 (min)

T_3 = เวลาจากจุดที่ 4 ถึงจุดสิ้นสุดที่จุดที่ 5 (min)

A = พื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุดที่ 1 (Nmm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$B =$ พื้นที่ใต้กราฟจากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 2 (Nmm)

$L1 =$ Maximum Load (N)

$L1-L2 =$ Relaxation Load (N)

คำนวณ Texture Properties ดังนี้ (Panmanas, 2000)

$$\text{- Hardness (N/mm)} = \frac{L1}{T1 \times 10}$$

$$\text{- Deformation (N/mm)} = \frac{1N}{\text{การเสียรูปที่ 1N}}$$

$$\text{- Relaxation (\%)} = \frac{L1 - L2}{L1} \times 100$$

$$\text{- Recovery (\%)} = \frac{T3 \times 10}{T1 \times 10} \times 100$$

$$\text{- Degree of Elasticity} = \frac{(T2 \times 10) - (T1 \times 10)}{T1 \times 10}$$

$$\text{- Energy Absorption (Nmm)} = \text{พื้นที่ A} - \text{พื้นที่ B}$$

* ความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของหัวกดเท่ากับ 10 mm/min

การทดลองที่ 5 : ทดสอบด้วยวิธี Puncture Test

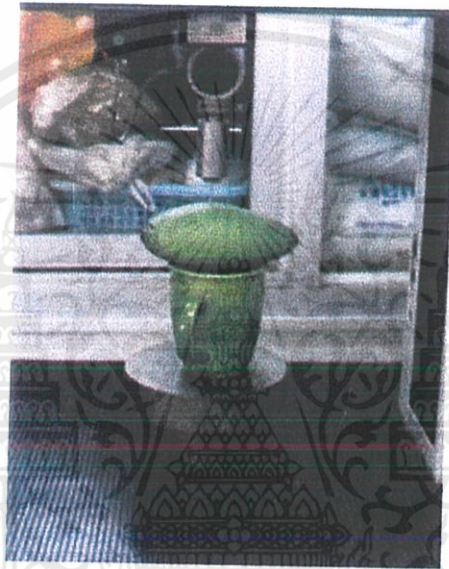
อุปกรณ์

- | | | |
|--|-----|---------|
| 1. Universal Testing Machine (UTM LLOYD รุ่น LR 5 K) | 1 | เครื่อง |
| 2. Computer Software R Control V.3.23 | | |
| 4. หัวกดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm ยาว 20 mm ทำด้วย Standless steel | 1 | อัน |
| 4. Load cell ขนาด 100 N | 1 | อัน |
| 5. ภาชนะรองรับมะม่วง | 1 | อัน |
| 6. มะม่วง (หลังการเก็บเกี่ยว 2 วัน) | 100 | ผล |

วิธีการ

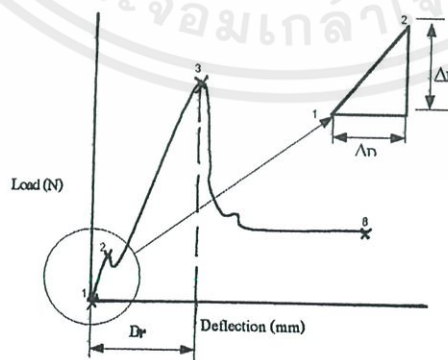
1. ติดตั้งหัวกดและ Load cell เข้าเครื่อง UTM ให้เรียบร้อย
2. เปิดเครื่อง UTM และเข้าไปในโปรแกรมทดสอบ R Control V3.23 เพื่อควบคุมการทดสอบเครื่อง UTM
3. นำมะม่วงวางบนภาชนะรองรับดังรูปที่ 3.6 ให้มะม่วงส่วนที่หนาที่สุดอยู่ตรงกลางพอดี
4. เริ่มทำการทดสอบ กดมะม่วงด้วยหัวกดที่เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็ว 10 mm/min จนทะลุ

- เปลือกและแทงลงไปเนื้อลึก 1 cm เก็บข้อมูลไว้ในเครื่อง computer
5. เลื่อนหัวคอกออกจากมะม่วงและทำการเปลี่ยนด้านการทดสอบมะม่วงเป็นด้านตรงข้าม
 6. ทำซ้ำข้อ 4-5
 7. เปลี่ยนมะม่วงเป็นลูกต่อไปแล้วทำการทดสอบซ้ำเหมือนข้อ 3-6
 8. ค่าที่ได้จากการทดลองจะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและDeformation ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งต้องนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3.6 ลักษณะการวางมะม่วงขณะทำการทดลอง

Puncture Test (ดูรูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเสียรูปของมะม่วง
ทดสอบโดยวิธี Puncture Test

ค่าที่ได้จากกราฟ

ΔD = การเสีรูปร่างจากจุดเริ่มถึงจุดที่ 2 (mm)

ΔF = แรงที่เปลี่ยนแปลงจากจุดเริ่มต้นถึงจุดที่ 2 (N)

D_r = การเสีรูปร่างเมื่อแทงทะลุเปลือกกวัดจากจุดเริ่มต้นถึงจุด (mm)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางหัวกด (mm)

จุดที่ 1 = จุดเริ่มต้น

จุดที่ 2 = Bioyield point

จุดที่ 3 = Rupture point

จุดที่ 8 = จุดที่หยุดการทดลองที่หัวกด กดลงไป 5 mm (30 sec)

คำนวณ Texture Properties ดังนี้ (Panmanas, 2000)

$$\text{- Firmness (N/mm)} = \frac{\Delta F}{\Delta D}$$

$$\text{- Apparent modulus of elasticity (N/mm}^2\text{)} = \frac{\Delta F}{\Delta D d}$$

$$\text{- Bioyield force (N)} = \text{ค่าแรงที่จุดที่ 2}$$

$$\text{- Toughness (Nmm)} = \text{พื้นที่ใต้กราฟจากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 3}$$

$$\text{- Penetrating force (N)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟจากจุดที่ 8 ถึง จุดที่ 3}}$$

(การเปลี่ยนรูปจุดที่ 8 - การเปลี่ยนรูปจุดที่ 3)

$$\text{- Penetrating energy (Nmm)} = \text{พื้นที่ใต้กราฟจากจุดที่ 8 ถึงจุดที่ 3}$$

การทดลองจุดที่ 2 การตรวจสอบรสชาติของมะม่วง โดยวิธี NIR Spectroscopy

การทดลองที่ 6 : ของแข็งที่ละลายได้ (Soluble Solids) ในน้ำมะม่วง
อุปกรณ์

1. Digital Refractometer (Atago PR-32 Palatte)	1	เครื่อง
2. บีกเกอร์ขนาด 50 ml.	10	ใบ
3. บีกเกอร์ขนาด 25 ml.	12	ใบ
4. ตะแกรงที่ขูดผลไม้	7	อัน
5. ตะแกรง (สำหรับกรองน้ำผลไม้)	8	อัน
6. มะม่วง (หลังการเก็บเกี่ยว 1 วัน)	51	ผล

วิธีการ

1. แบ่งผลมะม่วงออกเป็น 2 ส่วนตามที่กำหนดด้านเอาไว้ (ด้าน A, B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สังเกตลักษณะภายในเนื้อผลที่ปรากฏบันทึกผลที่ได้ในตารางที่ 5 ภาคผนวก ก
3. นำเนื้อมะม่วงแต่ละส่วนมาคั้นน้ำด้วยการ นำเนื้อมะม่วงชูดให้เป็นฝอย ๆ แล้วใส่ในตะแกรงกรองเอาเฉพาะน้ำ ใส่ในบีกเกอร์แล้วแบ่งออกเป็นด้านละ 2 ส่วน (A1,A2,B1,B2)
4. หยอดตัวอย่างน้ำมะม่วงที่คั้นได้แต่ละส่วนลงบน Refractometer บันทึกผลในตารางที่ 6 ภาคผนวก ก.

การทดลองที่ 5 : Acidity ของน้ำมะม่วงแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

5.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย Sodium Hydroxide 0.1 N

อุปกรณ์

1. Sodium Hydroxide (NaOH)	4	g
2. บีกเกอร์ขนาด 250 ml	1	ใบ
3. ขวดลีซา ขนาด 4 liter	1	ใบ
4. แท่งแก้ว	1	แท่ง
5. ขวด volumatic flash ขนาด 1000 ml	1	ใบ
6. เครื่องชั่ง (Yamato รุ่น HB 3000 Max 3100 g)	1	เครื่อง
7. น้ำกลั่น	1	ลิตร

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนัก Sodium Hydroxide 4 g
2. ละลาย Sodium Hydroxide 4 g ในน้ำให้ได้ 1000 ml ในขวด volumetic flash
3. เทสารละลาย Sodium Hydroxide ที่ละลายแล้วไว้ในขวดลีซา ปิดฝา
4. ทำซ้ำข้อ 1- 3 ให้ได้สารละลาย Sodium Hydroxide 1 ลิตร

5.2 ขั้นตอนการทำ Titratable Acidity เตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ในการทำ Titratable Acidity

อุปกรณ์

- | | | |
|---|---|-----|
| 1. ชุดอุปกรณ์การทำ Titratable Acidity ดังรูปที่ 3.8 | 1 | ชุด |
| 2. บีกเกอร์ขนาด 50 ml | 4 | ใบ |
| 3. น้ำกลั่น | | |
| 4. สารละลาย Sodium Hydroxide | | |
| 5. phenolphthalein | | |
| 6. น้ำมะม่วง | | |

วิธีการ

1. เติมสารละลาย Sodium Hydroxide 0.1 N ลงในโถ หลังจากนั้นบีบให้สารละลายขึ้นไปในแท่งแก้วจนเต็ม 100 ml ซึ่งบนแท่งแก้วจะมีตัวเลขบอกปริมาณของสารละลายอยู่
2. ควบน้ำมะม่วงในกระบอกตวง ให้ได้ปริมาณ 2 ml
3. ควบน้ำกลั่นให้ได้ปริมาณ 20 ml
4. เทน้ำกลั่นและน้ำมะม่วงลงในขวดลูกชมพู่ ผสมให้น้ำกลั่นและน้ำมะม่วงเข้ากัน
5. หยด phenolphthalein ลงไปในขวดลูกชมพู่ที่มีน้ำกลั่นและน้ำมะม่วงผสมกันอยู่ 2 หยด แล้วเขย่าเบา ๆ ให้เข้ากัน
6. เปิดก๊อกให้สารละลาย Sodium Hydroxide ที่อยู่ในแท่งแก้วหยดลงไป ในขวดลูกชมพู่ ในขณะนั้นให้เขย่าไปเรื่อย ๆ
7. ทำตามในข้อ 6 ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสังเกตเห็นว่าน้ำกลั่นและน้ำมะม่วงที่อยู่ในขวด ลูกชมพู่ เปลี่ยนเป็นสีม่วง แล้วให้ปิดก๊อกเพื่อไม่ให้สารละลาย Sodium Hydroxide ที่อยู่ในแท่งแก้วไหลลงมาอีก*
8. อ่านค่าปริมาณของสารละลาย Sodium Hydroxide ที่ถูกใช้ไปบนแท่งแก้ว นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณของกรดในน้ำมะม่วงตามสมการแล้วบันทึก %Acidity ในตารางที่ 6 ภาคผนวก ก

$$Z = \frac{(V \times N \times \text{Meq.Wt} \times 100)}{Y}$$

เมื่อ Z = เปอร์เซ็นต์ของ Acid ในน้ำมะม่วง

V = ปริมาตรของสารละลาย Sodium Hydroxide ที่ใช้ (ml)

N = Sodium Hydroxide 0.1 N

Meq.Wt = น้ำหนักโมเลกุลของ Acid สำหรับ Citric Acid มีค่า 0.064 mg

* ข้อควรระวังในการทำขั้นตอนนี้คือ ต้องคอยสังเกตให้ตื่อน้ำมะม่วงเปลี่ยนสีเมื่อไหร่แล้วให้ปิดวาล์วทันที

การทดลองที่ 6 : NIR Spectrum ของน้ำมะม่วง

อุปกรณ์

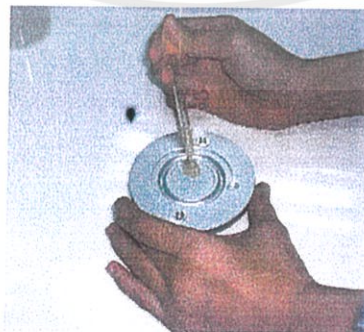
- | | | |
|--|---|---------|
| 1. เครื่อง NIR Spectrometer | | |
| ยี่ห้อ BRAN LUEBBE รุ่น Infra Alyzer 500 | 1 | เครื่อง |
| 2. เทอร์โมมิเตอร์ | 2 | อัน |
| 3. British cup | 1 | อัน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- | | | |
|---------------------------|---|-------|
| 4. น้ำมะม่วง | | |
| 5. กระดาษซับ (kimwipes) | 1 | กล่อง |
| 6. บีกเกอร์เล็กขนาด 25 ml | 8 | ใบ |
| 7. น้ำกลั่น | | |
| 8. ปีบเป็ท | 1 | อัน |

วิธีการ

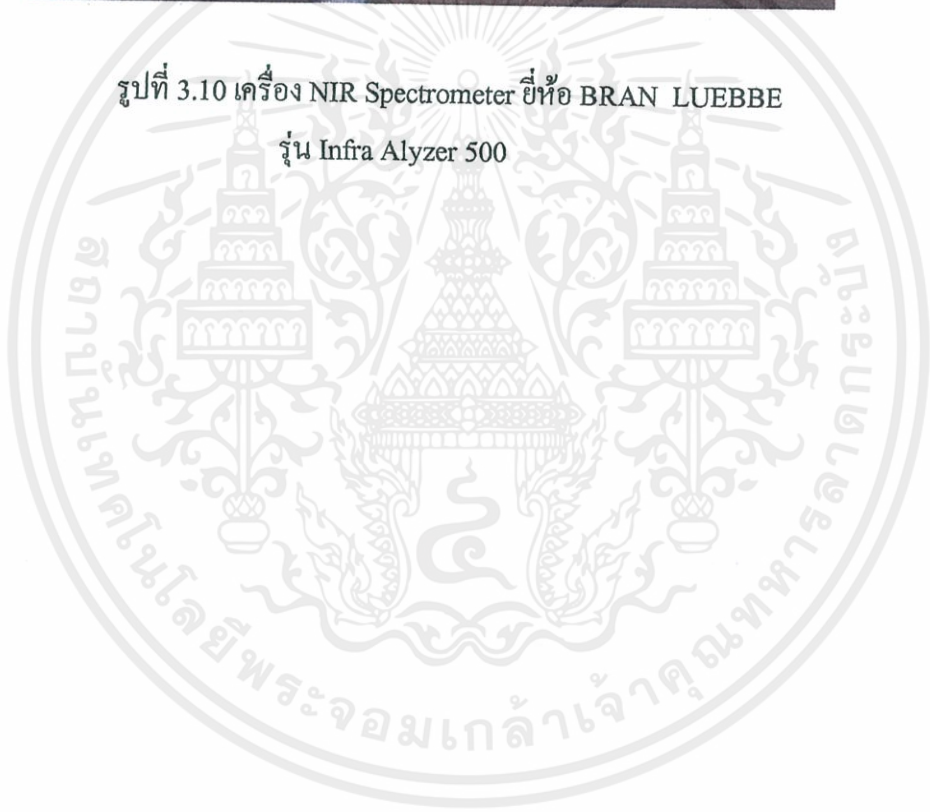
1. ปรับ air condition ที่อุณหภูมิคงที่ 24°C
2. เปิดเครื่อง NIR Spectroscopy เข้าสู่โปรแกรมการวัด ทำการวัด reference ด้วย Polystyrene ก่อนทำการทดลอง ใช้ช่วงความยาวคลื่น 1100 - 2500 nm
3. การวัด NIR Spectrum ของผลมะม่วง
 - 3.1 แบ่งน้ำมะม่วงแต่ละด้าน (ด้าน A, B) ออกเป็น 2 ส่วน (A1, A2, B1, B2)
 - 3.2 หยคน้ำมะม่วงลงใน British cup 1 - 2 หยด
 - 3.3 ใช้แผ่นกระจกปิดลงบน British cup ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศในน้ำมะม่วง ดังรูปที่ 3.9
 - 3.4 เตรียมตัวอย่างเสร็จ นำไปใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง NIR Spectrometer
 - 3.5 scan น้ำมะม่วงโดยใช้คำสั่งทาง Computer โดย scan 1 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่างที่ ช่วงความยาวคลื่น 1100 - 2500 nm
 - 3.6 เสร็จ 1 ตัวอย่าง ทำความสะอาด British cup และ แผ่น cell ด้วยน้ำกลั่นแล้ว เช็ดให้แห้งด้วยกระดาษซับ (kimwipes)
 - 3.7 ทำตามข้อ 3.2 - 3.6 จนครบทุกตัวอย่าง
 - 3.8 บันทึกผลที่ได้ใน Computer เพื่อที่จะนำไปทำการ Calibration ต่อไป
4. ผลที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.22



รูปที่ 3.9 ลักษณะการเตรียมตัวอย่างน้ำมะม่วงก่อนการทดลอง



รูปที่ 3.10 เครื่อง NIR Spectrometer ยี่ห้อ BRAN LUEBBE
รุ่น Infra Alyzer 500



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

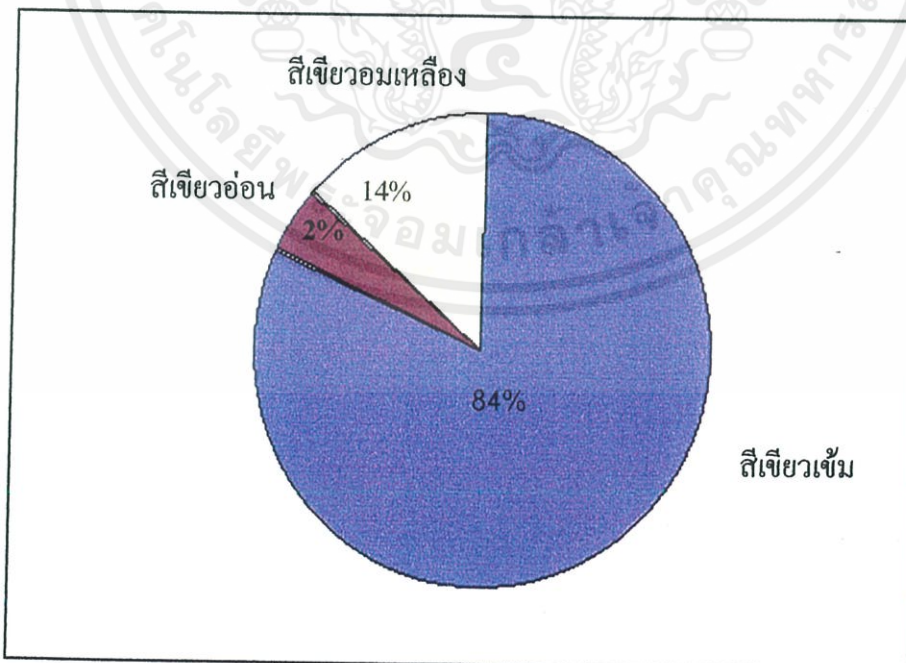
จากการทดลองศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะคุณภาพของมะม่วงในการทดลองพบว่าเมื่อพิจารณาผิวเปลือกของมะม่วงแล้วไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อภายในแต่สีเปลือกจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อภายในผลมะม่วง สามารถที่จะวิจารณ์ผลจากการทดลองทางกายภาพ ได้ดังนี้

1. องค์ประกอบทางกายภาพ

1.1 การจำแนกมะม่วงตามลักษณะสีผิวเปลือกภายนอก โดยใช้วิธีการสังเกต

ตารางที่ 4.1 จำแนกมะม่วงตามลักษณะสีผิวเปลือก

สี	จำนวน (ผล)
เขียวเข้ม	84
เขียวอ่อน	2
เขียวอมเหลือง	14

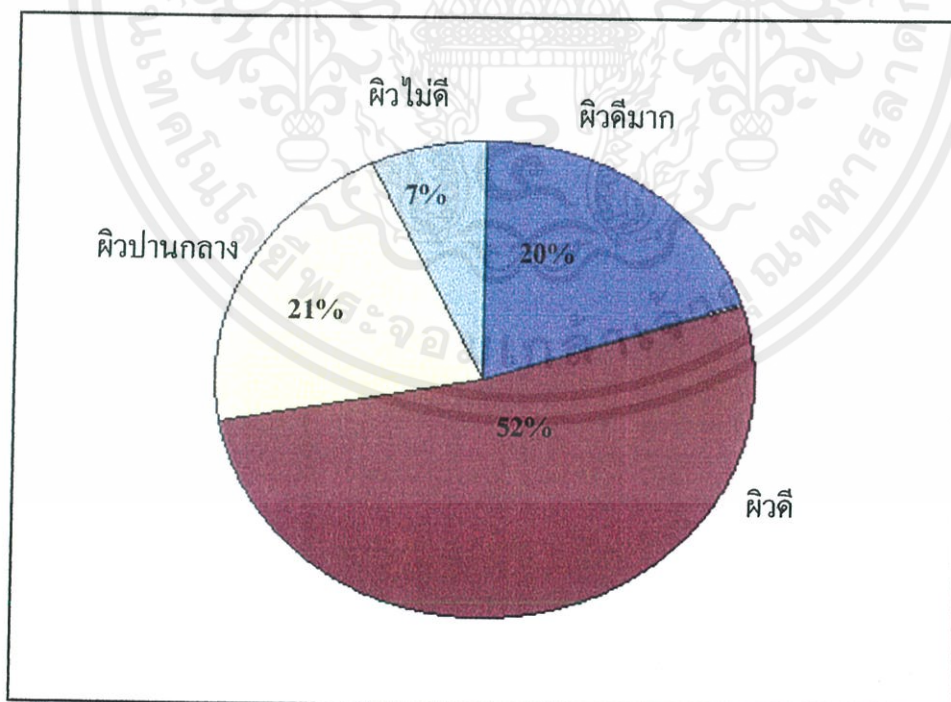


รูปที่ 4.1 จำแนกมะม่วงตามลักษณะสีเปลือก

1.2 การจำแนกมะม่วงตามลักษณะผิวภายนอก โดยใช้การวิธีสังเกต

ตารางที่ 4.2 จำแนกมะม่วงตามลักษณะผิวภายนอก (จำนวน 100 ผล)

ระดับ	ลักษณะผิวภายนอก	จำนวน (ผล)	รวม (ผล)
ผิวดีมาก	ผิวเรียบ	20	20
ผิวดี	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล	37	52
	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ	15	
ผิวปานกลาง	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล มียางเล็กน้อย	7	21
	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย	12	
	ผิวเรียบ สีเปลือกไม่สม่ำเสมอ	2	
ผิวไม่ดี	ผิวมีรอยแผลสีน้ำตาล	1	7
	ผิวไม่สม่ำเสมอ มีจุดสีน้ำตาล	1	
	ผิวไม่สม่ำเสมอ	3	
	ผิวตกกระสีน้ำตาล	2	

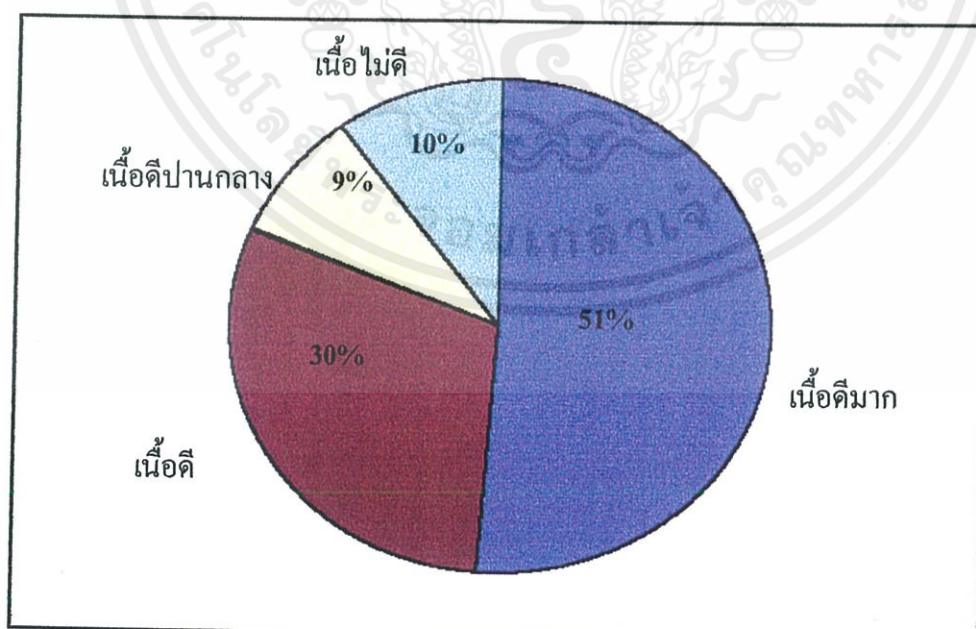


รูปที่ 4.2 จำแนกมะม่วงตามลักษณะผิวภายนอก

1.3 การจำแนกมะม่วงตามลักษณะเนื้อภายใน โดยใช้วิธีการสังเกต

ตารางที่ 4.3 จำแนกมะม่วงตามลักษณะเนื้อภายในของมะม่วง (จำนวน 100 ผล)

ระดับ	ลักษณะเนื้อภายใน	จำนวน (ผล)	รวม (ผล)
เนื้อดีมาก	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น	46	51
	สีเหลืองอมส้ม เนื้อนุ่มมาก (มะม่วงสุก)	2	
	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก (มะม่วงสุก)	3	
เนื้อดี	สีขาวนวล เนื้อแน่น	30	30
เนื้อดีปานกลาง	สีขาว เนื้อแน่น	2	9
	สีเหลืองซีด เนื้อแน่น	2	
	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น	5	
เนื้อไม่ดี	สีเหลืองนวล เนื้อนุ่ม	1	10
	สีขาวปนเหลือง เนื้อแน่น	7	
	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก มีเส้นใยสีดำ	1	
	สีเหลืองอมส้ม เนื้อนุ่มมาก ขอบเปลือกขำ	1	



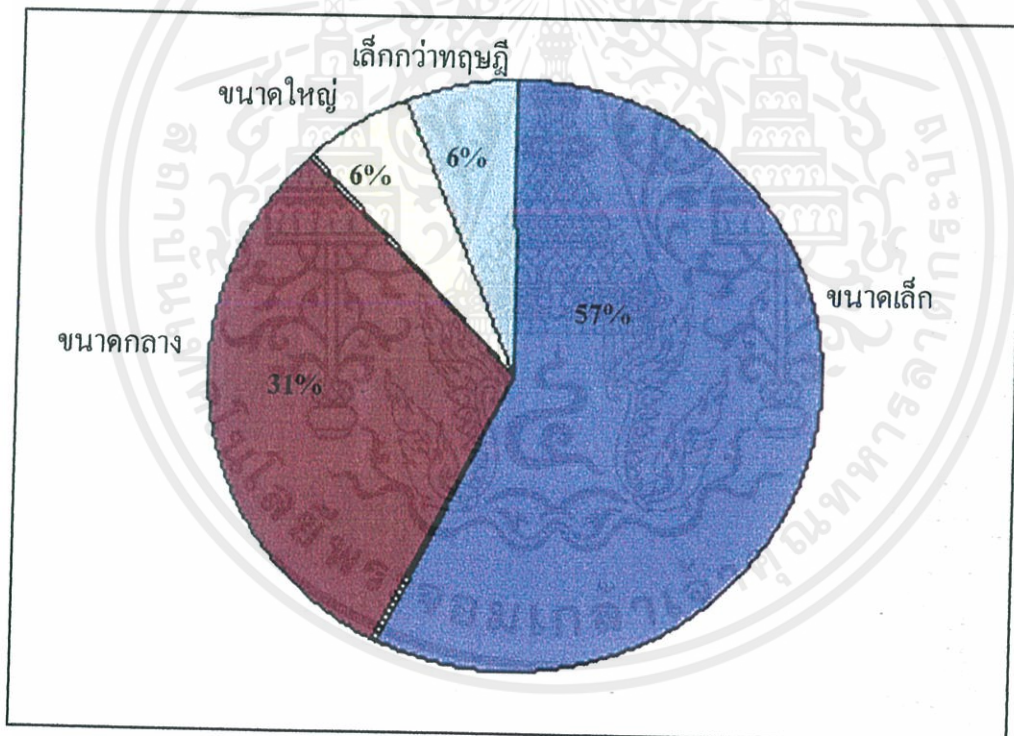
รูปที่ 4.3 จำแนกมะม่วงตามลักษณะเนื้อภายในของมะม่วง

1.4 การจำแนกมะม่วง โดยการชั่งน้ำหนักของผลมะม่วงตามทฤษฎีสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ (มนู ไป่สมบุรณ์) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การจำแนกมะม่วง โดยการชั่งน้ำหนักของผลมะม่วง (จำนวน 100 ผล)

ระดับ	น้ำหนัก (g)	จำนวน (ผล)
ขนาดเล็ก	250-300	57
ขนาดกลาง	301-359	31
ขนาดใหญ่	360-420	6

ขนาดน้อยกว่า 250 กรัม 6 ผล ซึ่งเป็นขนาดที่เล็กกว่าทฤษฎีดังกล่าว



รูปที่ 4.4 จำแนกมะม่วง โดยการชั่งน้ำหนัก

2. คุณสมบัติของมะม่วงที่อายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ

จากการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของมะม่วงที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน คุณสมบัติก็จะแตกต่างกันไปด้วยซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่ 70% และมะม่วงที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่ 100% คุณสมบัติต่าง ๆ จะแตกต่างกัน (ดูตารางที่ 4.6 และ 4.9) ซึ่งมีบางอย่างที่สังเกตได้ด้วยการตาและการสัมผัส นั่นก็คือสีเปลือก ลักษณะความแน่นเนื้อที่ต่างกัน

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงทั้งหมด 151 ผล

การทดลอง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
น้ำหนักและ ขนาดของ มะม่วง	- น้ำหนัก (g)	296.36	435.22	223.8	41.83	100
	- ความกว้าง (mm)	69.51	80.9	61.22	3.22	100
	- ความยาว (mm)	137.64	154.95	123.43	6.85	100
	- ความหนา (mm)	62.89	76.1	56.93	3.37	100
	Shape factor					
	- ยาว/กว้าง	1.98	2.21	1.71	0.09	100
- ยาว/น้ำหนัก	2.19	2.45	1.93	0.11	100	
ปริมาตรและ ความหนา แน่นของ มะม่วง	- ปริมาตร (cm ³)	303.01	444.52	227.96	41.42	100
	- ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.98	1.02	0.68	0.034	100
	- ความถ่วงจำเพาะ	0.81	1.02	0.68	0.034	100
รสชาติของ มะม่วง	%Brix	9.54	14.2	7.6	1.58	51
	%Acidity	2.52	4.1	1.02	0.74	51

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 70 %

การทดลอง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
น้ำหนักและ ขนาดของ มะม่วง	- น้ำหนัก (g)	318.58	390.08	252.14	49.59	10
	- ความกว้าง (mm)	71.79	74.91	68.07	2.72	10
	- ความยาว (mm)	140.24	151.25	129.85	6.44	10
	- ความหนา (mm)	65.11	70.97	58.79	4.35	10
	Shape factor					
	- ยาว/กว้าง	1.96	2.07	1.74	0.11	10
- ยาว/น้ำหนัก	2.16	2.33	1.94	0.16	10	
ปริมาตรและ ความหนา แน่นของ มะม่วง	- ปริมาตร (cm ³)	324.59	393.41	257.43	48.56	10
	- ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.98	1.01	0.97	0.01	10
	- ความถ่วงจำเพาะ	0.98	1.01	0.97	0.01	10

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 80 %

การทดลอง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
น้ำหนักและ ขนาดของ มะม่วง	- น้ำหนัก (g)	281.39	353.11	223.8	32.53	32
	- ความกว้าง (mm)	68.12	75.32	61.22	2.64	32
	- ความยาว (mm)	136.44	154.95	123.43	7.49	32
	- ความหนา (mm)	61.94	65.9	56.93	2.48	32
	Shape factor					
	- ยาว/กว้าง	2.004	2.162	1.799	0.092	32
- ยาว/น้ำหนัก	2.204	2.419	1.927	0.106	32	
ปริมาตรและ ความหนา แน่นของ มะม่วง	- ปริมาตร (cm ³)	289.98	359.57	227.96	32.12	32
	- ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.97	1.00	0.68	0.0081	32
	- ความถ่วงจำเพาะ	0.97	1.00	0.68	0.0538	32

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 90 %

การทดลอง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
น้ำหนักและ ขนาดของ มะม่วง	- น้ำหนัก (g)	295.77	435.22	242.43	37.84	50
	- ความกว้าง (mm)	69.60	80.9	64.3	3.13	50
	- ความยาว (mm)	137.72	153.79	124.07	6.75	50
	- ความหนา (mm)	62.74	76.1	58.86	3.41	50
	Shape factor					
	- ยาว/กว้าง	1.98	2.21	1.71	0.09	50
- ยาว/น้ำหนัก	2.19	2.45	1.95	0.11	50	
ปริมาตรและ ความหนา แน่นของ มะม่วง	- ปริมาตร (cm ³)	302.06	444.52	251.71	38.92	50
	- ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.98	1.01	0.90	0.017	50
	- ความถ่วงจำเพาะ	0.98	1.01	0.90	0.017	50

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 100%

การทดลอง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
น้ำหนักและ ขนาดของ มะม่วง	- น้ำหนัก (g)	332.08	421.92	254.11	60.71	8
	- ความกว้าง (mm)	71.79	74.91	68.07	2.72	8
	- ความยาว (mm)	140.24	151.25	129.85	6.44	8
	- ความหนา (mm)	65.11	70.97	58.79	4.35	8
	Shape factor					
	- ยาว/กว้าง	1.96	2.07	1.74	0.11	8
- ยาว/น้ำหนัก	2.16	2.33	1.94	0.16	8	
ปริมาตรและ ความหนา แน่นของ มะม่วง	- ปริมาตร (cm ³)	334.14	427.16	260.63	59.19	8
	- ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.99	1.02	0.97	0.02	8
	- ความถ่วงจำเพาะ	0.99	1.02	0.97	0.02	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงทั้งหมด

เนื้อสัมผัสของ มะม่วง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
Compression Test	- Deformation at 1 N (N/mm)	7.4841	17.65	1.01	2.35	100
	- Hardness (N/mm)	9.583	18.05	1.78	2.41	100
	- Degree of Elasticity	0.291	0.462	0.143	0.056	100
	- Energy Absorption (Nmm)	0.058	0.309	0.004	0.035	100
	- Relaxation (%)	23.39	28	17.76	1.968	100
	- Recovery (%)	0.0037	0.0063	0.0012	0.001	100
Puncture Test	- Initial firmness (N/mm)	5.673	11.28	1.238	1.517	100
	- Average firmness (N/mm)	8.626	10.82	1.664	1.663	100
	- Toughness (Nmm)	40.436	83.87	11.74	8.058	100
	- Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	2.849	5.641	0.619	0.738	100
	- Penetrating force (N)	9.886	14.36	2.425	1.470	96
	- Penetrating energy (Nmm)	66.06	91.04	2.19	10.95	96
	- Bioyield force (N)	1.631	2.331	0.049	0.394	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงอายุเก็บเกี่ยว 70%

เนื้อสัมผัสของ มะม่วง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
Compression Test	- Deformation at 1 N (N/mm)	11.481	17.65	6.67	2.64	10
	- Hardness (N/mm)	13.431	18.05	8.72	2.13	10
	- Degree of Elasticity	0.371	0.461	0.281	0.05	10
	- Energy Absorption (Nmm)	0.122	0.309	0.065	0.067	10
	- Relaxation (%)	26.04	28	23.24	1.12	10
	- Recovery (%)	0.0053	0.0063	0.0045	0.0005	10
Puncture Test	- Initial firmness (N/mm)	7.49	11.28	5.62	1.36	10
	- Average firmness (N/mm)	9.21	10.71	5.69	1.09	10
	- Toughness (Nmm)	52.57	83.87	42.17	9.06	10
	- Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	3.75	5.641	2.81	0.66	10
	- Penetrating force (N)	11.81	14.36	10.32	0.99	10
	- Penetrating energy (Nmm)	75.54	91.04	58.35	8.93	10
	- Bioyield force (N)	1.98	2.23	1.85	0.09	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงอายุเก็บเกี่ยว 80%

เนื้อสัมผัสของ มะม่วง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
Compression Test	- Deformation at 1 N (N/mm)	8.296	12	4.35	1.51	32
	- Hardness (N/mm)	10.696	15.69	6.95	1.48	32
	- Degree of Elasticity	0.307	0.438	0.207	0.045	32
	- Energy Absorption (Nmm)	0.056	0.101	0.011	0.019	32
	- Relaxation (%)	24.58	26.78	21.14	1.02	32
	- Recovery (%)	0.00412	0.0058	0.0019	0.0008	32
Puncture Test	- Initial firmness (N/mm)	6.405	7.911	4.93	0.598	32
	- Average firmness (N/mm)	9.298	10.82	7.864	0.633	32
	- Toughness (Nmm)	43.49	57.74	35.08	4.705	32
	- Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	3.194	3.956	2.465	0.296	32
	- Penetrating force (N)	10.62	11.88	9.258	0.622	32
	- Penetrating energy (Nmm)	71.79	84.4	61.33	5.11	32
	- Bioyield force (N)	0.081	2.016	1.584	0.081	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงอายุเก็บเกี่ยว 90%

เนื้อสัมผัสของ มะม่วง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
Compression Test	- Deformation at 1 N (N/mm)	6.673	12.00	2.857	1.459	50
	- Hardness (N/mm)	8.756	13.21	4.68	1.381	50
	- Degree of Elasticity	0.029	0.4	0.142	0.044	50
	- Energy Absorption (Nmm)	0.049	0.1286	0.0038	0.0194	50
	- Relaxation (%)	22.69	25.47	19.39	1.259	50
	- Recovery (%)	0.0033	0.0051	0.0015	0.0007	50
Puncture Test	- Initial firmness (N/mm)	5.254	10.08	1.238	1.264	50
	- Average firmness (N/mm)	8.691	10.5	4.096	0.969	50
	- Toughness (Nmm)	38.13	49.78	25.95	4.371	50
	- Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	2.629	5.038	0.619	0.625	50
	- Penetrating force (N)	9.376	10.7	7.078	0.756	50
	- Penetrating energy (Nmm)	62.55	73.11	45.19	5.435	50
	- Bioyield force (N)	1.565	2.331	0.725	0.289	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติของ Texture Properties ของมะม่วงอายุเก็บเกี่ยว 100%

เนื้อสัมผัสของ มะม่วง	ข้อมูล	การวิเคราะห์ทางสถิติ				จำนวน (ผล)
		\bar{X}	Maximum	Minimum	SD	
Compression Test	- Deformation at 1 N (N/mm)	4.314	6.122	1.01	1.289	8
	- Hardness (N/mm)	5.486	7.134	1.78	1.363	8
	- Degree of Elasticity	0.262	0.369	0.171	0.054	8
	- Energy Absorption (Nmm)	0.031	0.0521	0.0041	0.0136	8
	- Relaxation (%)	19.78	22.63	17.76	1.532	8
	- Recovery (%)	0.0024	0.0037	0.0012	0.0007	8
Puncture Test	- Initial firmness (N/mm)	3.078	5.375	1.924	1.030	8
	- Average firmness (N/mm)	4.799	9.078	1.664	3.047	8
	- Toughness (Nmm)	27.43	39.61	11.74	9.285	8
	- Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	1.735	3.245	0.962	0.703	8
	- Penetrating force (N)	5.539	7.759	2.425	1.968	4
	- Penetrating energy (Nmm)	33	54.85	12.19	15.227	4
	- Bioyield force (N)	0.706	1.506	0.049	0.389	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเปรียบเทียบทางสถิติของค่า Texture Properties

จากการทดลองจะพบว่าอายุการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันทำให้ Texture Properties ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.15 และ 4.16 การเปรียบเทียบทางสถิติของค่า Texture Properties ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ CRD (Completely Randomized Design) เนื่องจากว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธี CRD เหมาะสำหรับการทดลองที่จำนวนตัวอย่างไม่เท่ากัน

ตารางที่ 4.15 ตารางเปรียบเทียบทางสถิติของค่า Texture Properties โดยวิธี Compression Test

Properties	SOV	df	S.S	M.S	F-value
Deformation at 1 N (N/mm)	%ความแก่	3	588.34	196.11	75.09**
	Error	196	511.88	2.61	
	Total	199	1100.22		
Hardness (N/mm)	%ความแก่	3	712.25	237.42	104.77**
	Error	196	444.14	2.27	
	Total	199	1156.39		
Degree of elasticity	%ความแก่	3	0.205	0.068	32.21**
	Error	196	0.416	0.002	
	Total	199	0.620		
Energy absorption (Nmm)	%ความแก่	3	0.115	0.038	55.39**
	Error	196	0.136	0.0007	
	Total	199	0.251		
Relaxation (%)	%ความแก่	3	488.59	162.86	113.18**
	Error	196	282.05	1.44	
	Total	199	770.63		
Recovery (%)	%ความแก่	3	0.000105	3.504×10^{-6}	68.43**
	Error	196	0.0001	5.121×10^{-7}	
	Total	199	0.00021		

** ที่ %ความแก่ต่างกันส่งผลให้คุณสมบัติต่างๆที่ระยษณัยสำคัญ 99 %

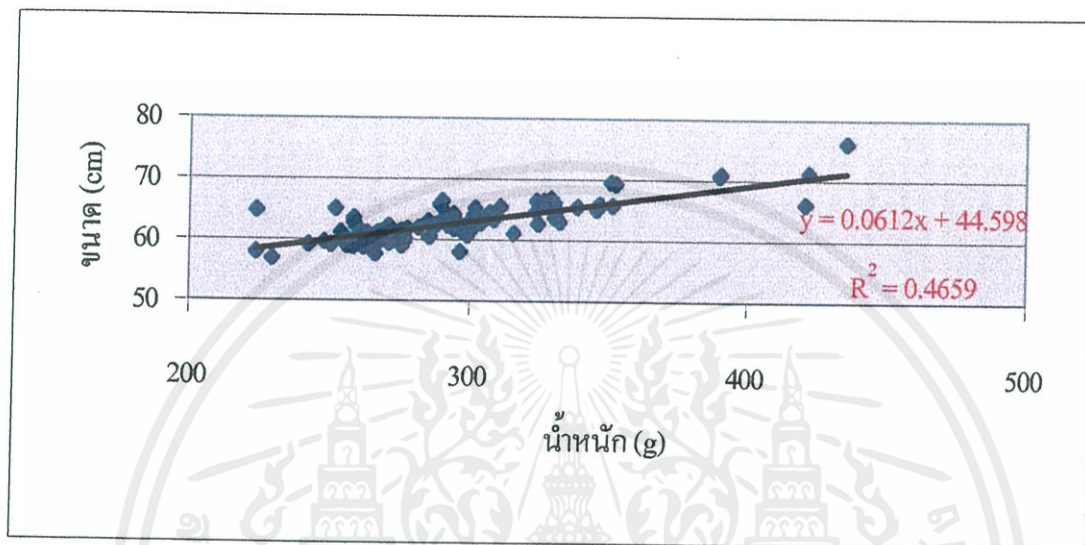
ตารางที่ 4.16 ตารางเปรียบเทียบทางสถิติของค่า Texture Properties โดยวิธี Puncture Test

Properties	SOV	df	S.S	M.S	F-value
Initial firmness (N/mm)	%ความแก่	3	226.24	75.41	63.81**
	Error	196	231.62	1.18	
	Total	199	457.85		
Average firmness (N/mm)	%ความแก่	3	270.47	90.157	63.13**
	Error	196	279.93	1.48	
	Total	199	550.41		
Toughness (Nmm)	%ความแก่	3	6783.6	2261.2	72.19**
	Error	196	6138.47	31.32	
	Total	199	12922.07		
Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	%ความแก่	3	48.46	16.15	52.96**
	Error	196	59.79	0.31	
	Total	199	108.25		
Penetrating force (N)	%ความแก่	3	914.08	304.69	239.41**
	Error	196	249.45	1.27	
	Total	199	1163.53		
Penetrating energy (Nmm)	%ความแก่	3	44348.27	14782.76	240.13**
	Error	196	12066.04	61.56	
	Total	199	56414.32		
Bioyield force (N)	%ความแก่	3	19.74	6.58	115.42**
	Error	196	11.17	0.057	
	Total	199	30.91		

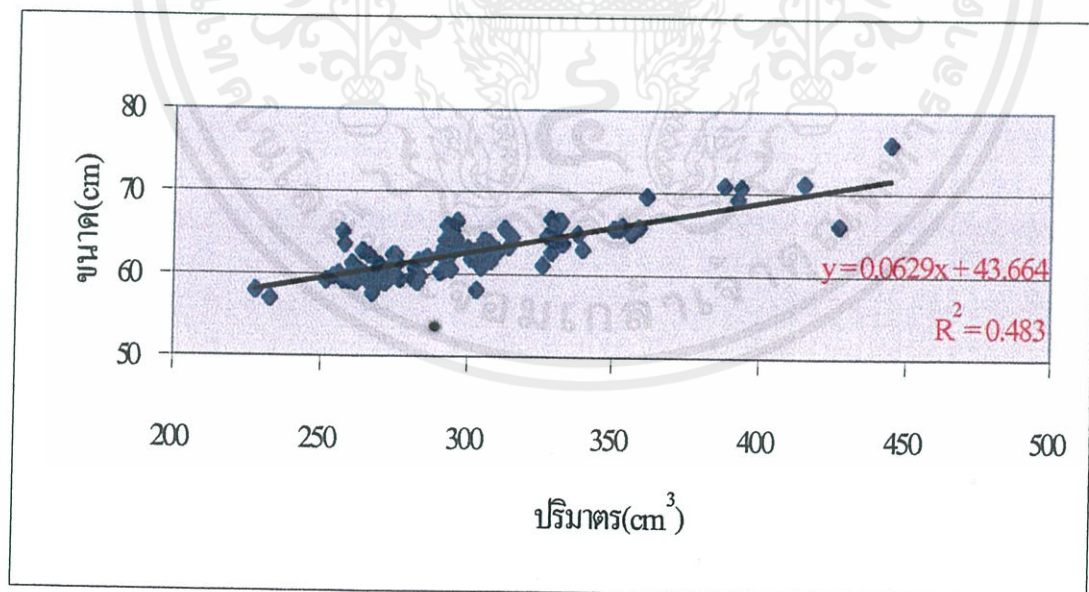
** ที่ %ความแก่ต่างกันส่งผลให้คุณสมบัติต่างที่ระบายนัยสำคัญ 99 %

3. การหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ จากการทดลอง

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและน้ำหนัก, ขนาดและปริมาตรจำเพาะการหาความสัมพันธ์ดังกล่าวใช้ขนาดด้านความหนา เพราะว่าเป็นด้านที่รับน้ำหนักมากที่สุด



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและน้ำหนัก

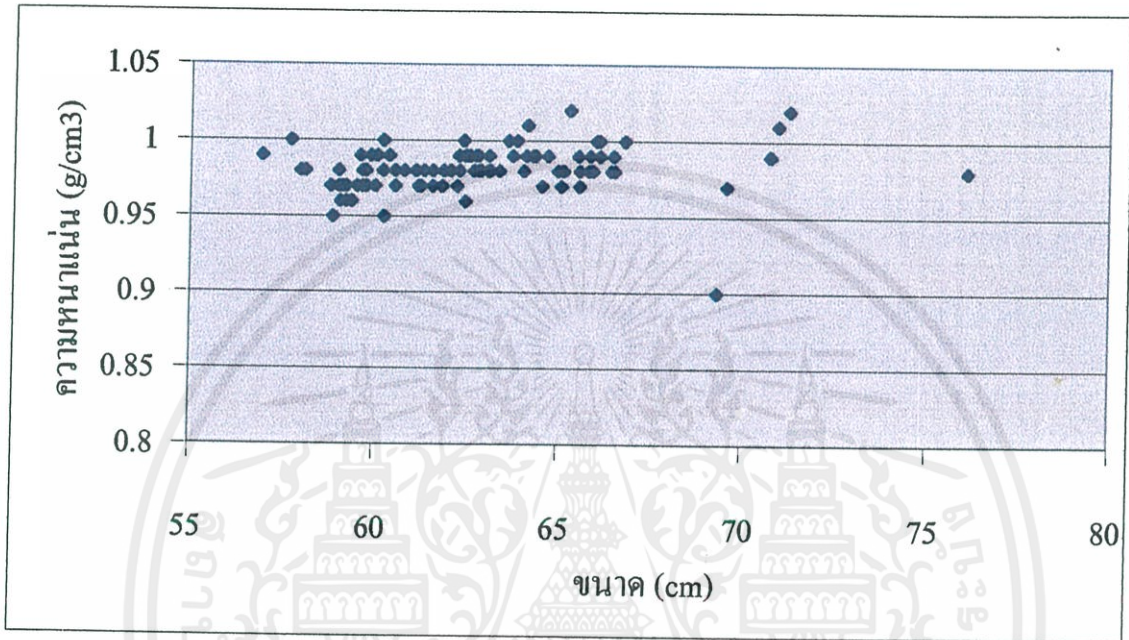


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและปริมาตร

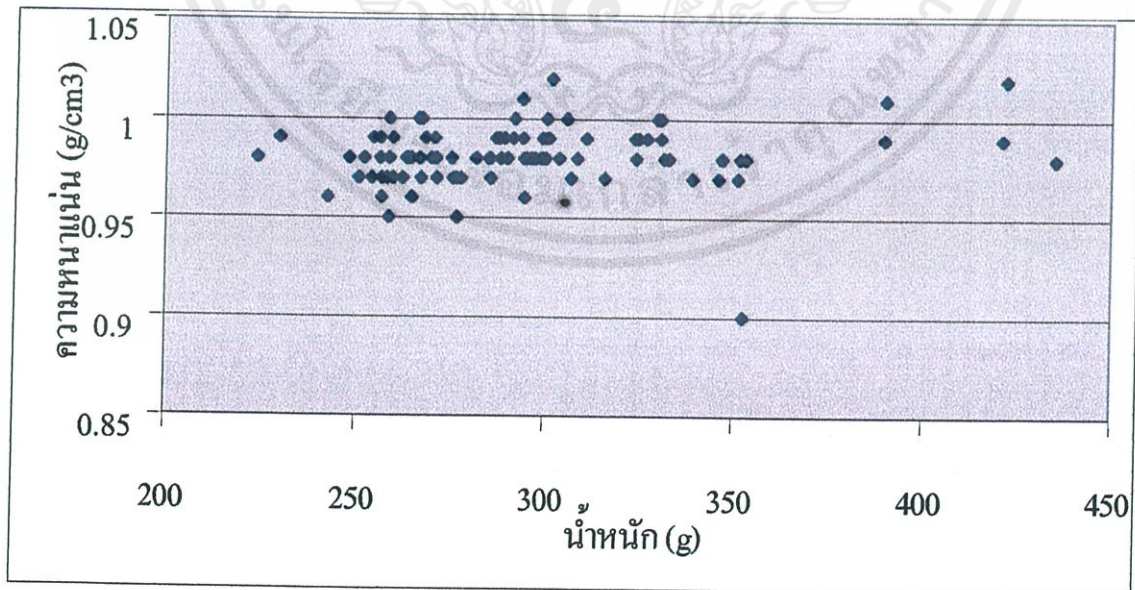
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดผล

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นกับขนาดของผลไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 4.7 และความหนาแน่นกับน้ำหนักผลก็ไม่มีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 4.8 แต่จะพบว่าความหนาแน่นส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง $0.99 - 1.00 \text{ g/cm}^3$



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและขนาด



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและน้ำหนัก

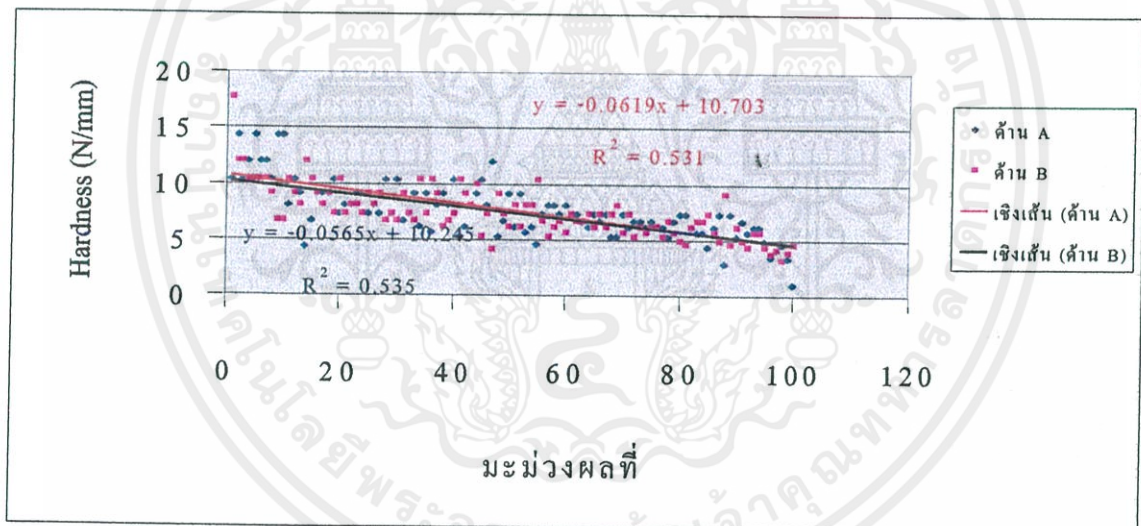
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะเนื้อสัมผัสและอายุการเก็บเกี่ยว

อายุการเก็บเกี่ยว 70% จำนวน	10	ผล (ผลที่ 1- 10)
อายุการเก็บเกี่ยว 80% จำนวน	32	ผล (ผลที่ 11 – 42)
อายุการเก็บเกี่ยว 90% จำนวน	50	ผล (ผลที่ 43 – 92)
อายุการเก็บเกี่ยว 100% จำนวน	8	ผล (ผลที่ 93 – 100)

3.3.1 Hardness คือค่าที่แสดงถึงความสามารถในการรับแรงของผลมะม่วง ว่าสามารถที่จะรับแรงได้มากน้อยแค่ไหน ซึ่งจะเห็นว่ามะม่วงที่ลักษณะเนื้อแน่นค่า Hardness ก็จะมาก ตรงข้ามกับมะม่วงที่มีเนื้อนิ่ม Hardness ก็จะมีค่าน้อย สรุปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

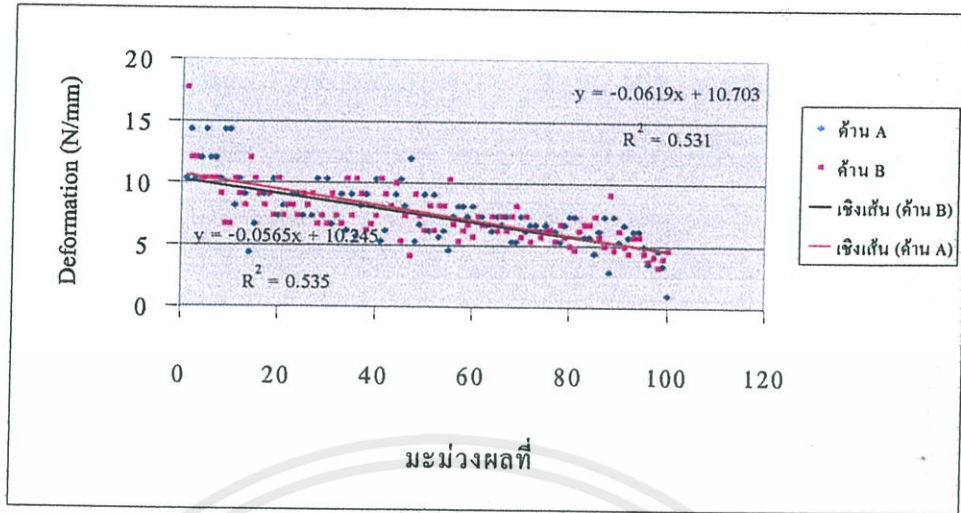
1. ค่าที่ได้จากทั้ง 2 ด้านในผลเดียวกันจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน
2. ค่า Hardness มีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บเกี่ยว สังเกตความสัมพันธ์ระหว่าง Hardness และ อายุการเก็บเกี่ยว ดังกราฟที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Hardness

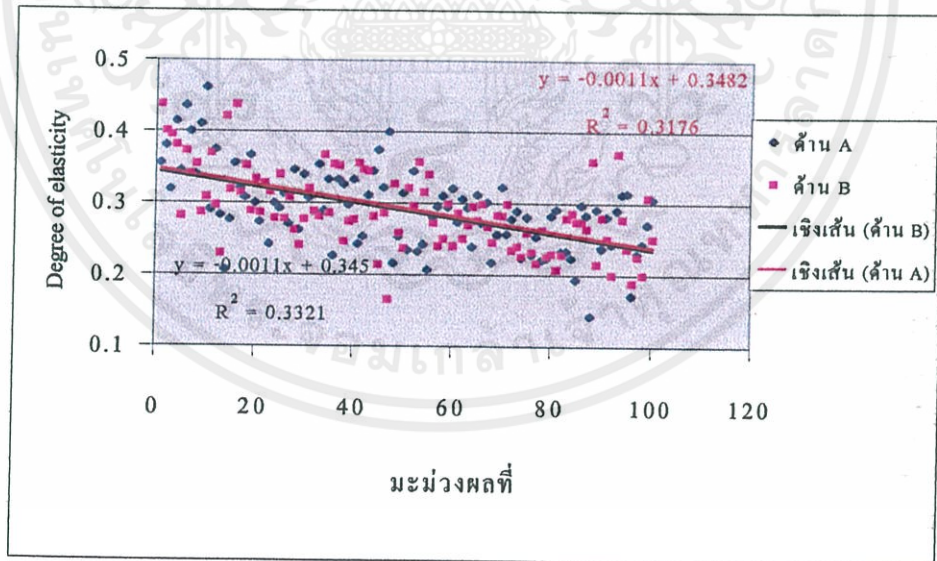
3.3.2 Deformation คือค่าที่แสดงถึงการเสียรูปของมะม่วงเมื่อได้รับแรงกด ในการทดลองใช้แรงกดที่ 1 N เพื่อหาค่า Deformation พบว่ามะม่วงที่มีเนื้อแน่นก็จะมีค่าน้อย

1. ค่าที่ได้จากทั้ง 2 ด้านในผลเดียวกันจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน
2. ค่า Deformation มีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บเกี่ยว สังเกตความสัมพันธ์ระหว่าง Deformation กับ อายุการเก็บเกี่ยวดังกราฟที่ 4.10



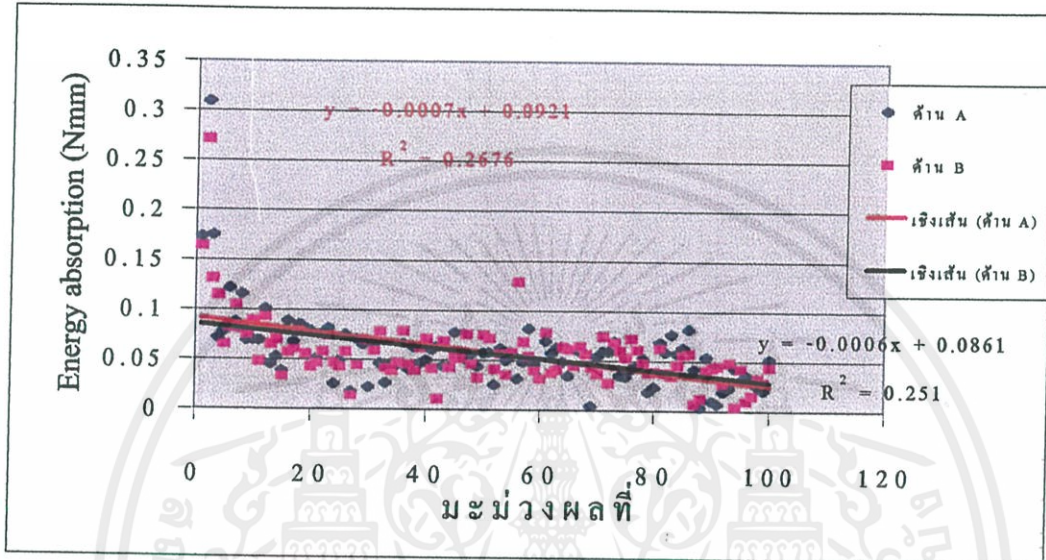
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Deformation at 1 N

3.3.3 Degree of elasticity คือความสามารถในการคืนรูปของมะม่วงหลังจากที่ได้รับแรงกด ถ้ามะม่วงที่มีเนื้อแน่นก็จะมีความสามารถในการคืนรูปได้มากเมื่อได้รับแรงกด สังเกตความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of elasticity กับ อายุการเก็บเกี่ยว ดังรูปที่ 4.11



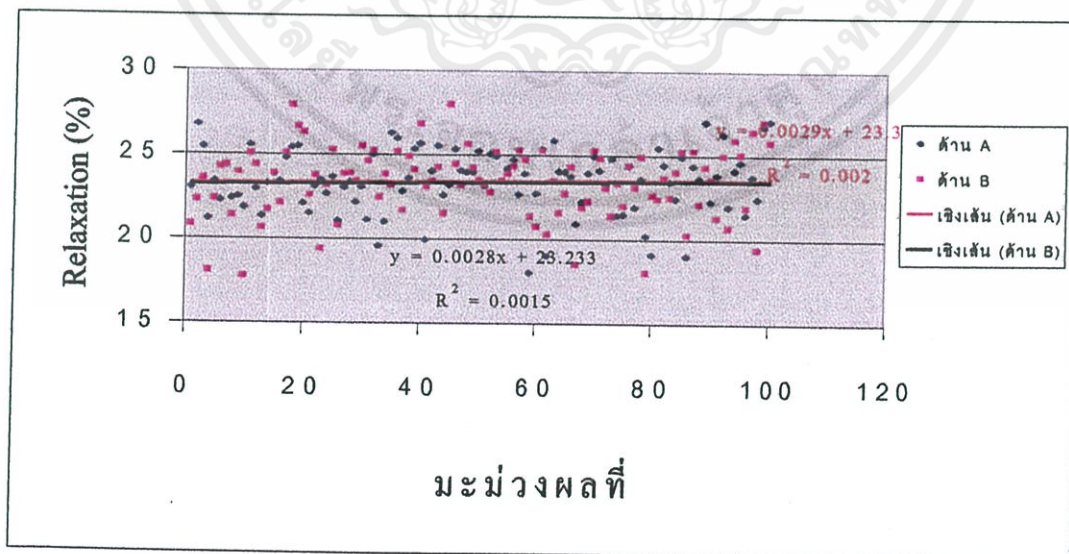
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Degree of elasticity

3.3.4 Energy absorption คือค่าพลังงานขมมะม่วงที่ดูดซับไว้ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างซึ่งถ้ามะม่วงดูดซับพลังงานได้ที่มากกระทำได้มากก็แสดงว่ามะม่วงสามารถทนต่อความเสียหายได้ดี ดังนั้นถ้ามะม่วงเนื้อแน่น ก็จะทนต่อความเสียหายได้ดีกว่า สังเกตความสัมพันธ์ Energy absorption กับ อายุ ดังรูปที่ 4.12



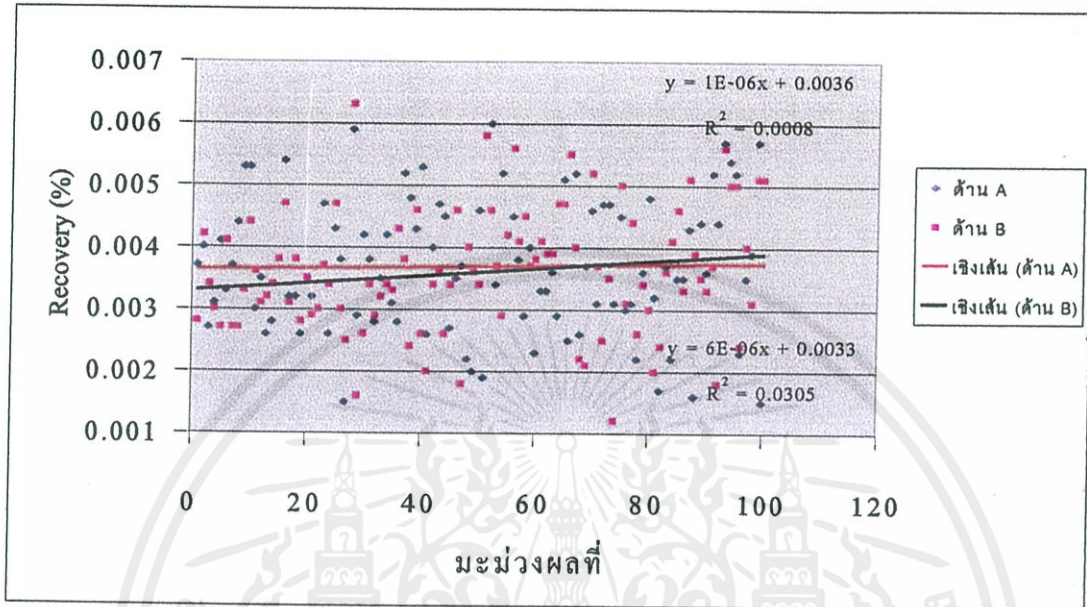
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวเกี่ยวกับ Energy absorption

3.3.5 Relaxation คือค่าที่บอกรถึงการคลายความเค้นหรือการกระจายแรงในผลมะม่วง สังเกตความสัมพันธ์ระหว่าง Relaxation กับ อายุ ดังรูปที่ 4.13



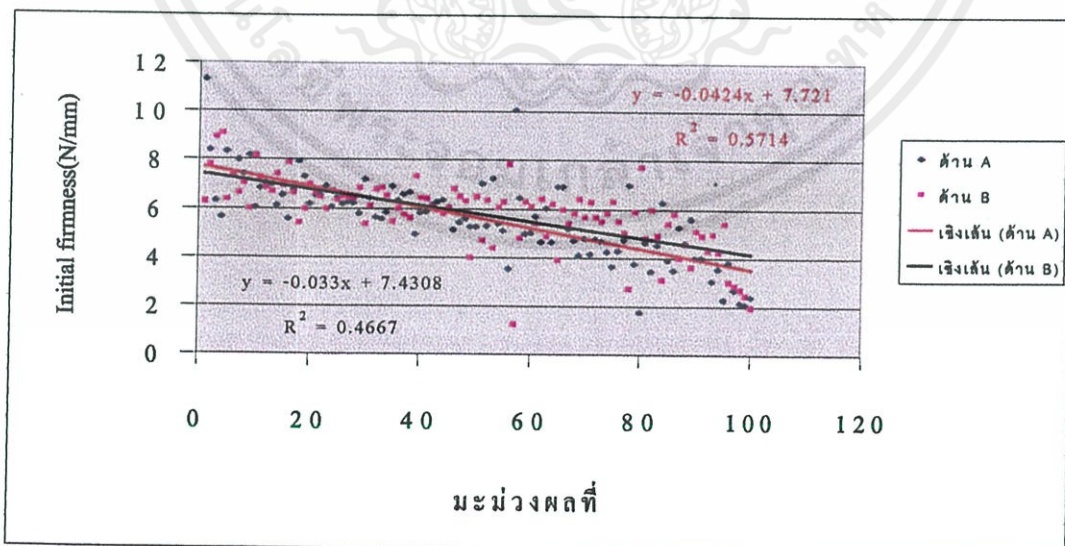
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวเกี่ยวกับ Relaxation

3.3.6 Recovery คือความสามารถในการคืนรูปของผลมะม่วงหลังจากที่ได้รับแรงกดตลอดการทดลอง ถ้ามะม่วงเนื้อนุ่มค่าดังกล่าวก็จะลดลง สังเกตความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.14



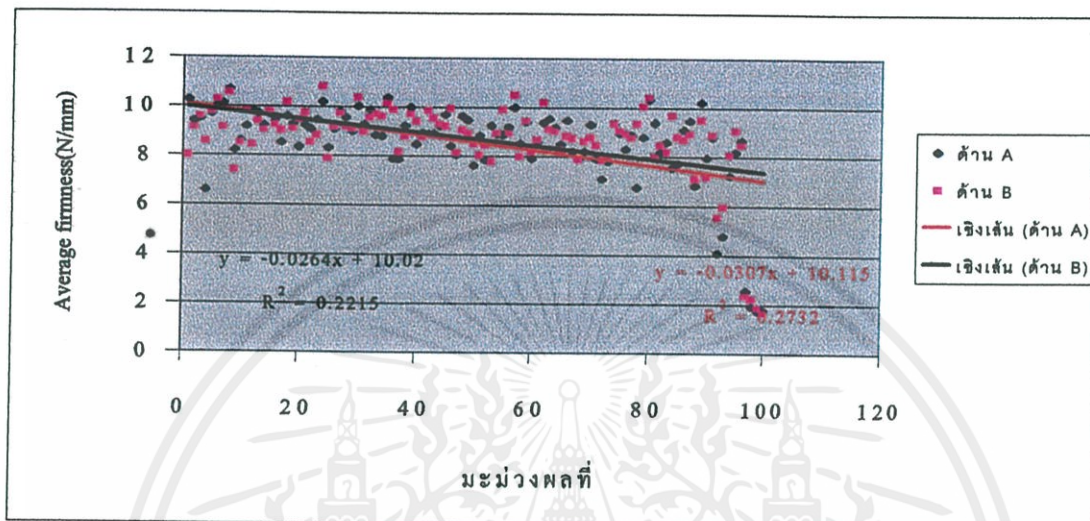
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Recovery

3.3.7 Initial firmness คือความแน่นเนื้อของมะม่วง มะม่วงที่มีความสดก็จะมีความแน่นเนื้อมากแต่มะม่วงที่มีความสุกค่าความแน่นเนื้อก็จะต่ำ สังเกตความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.15



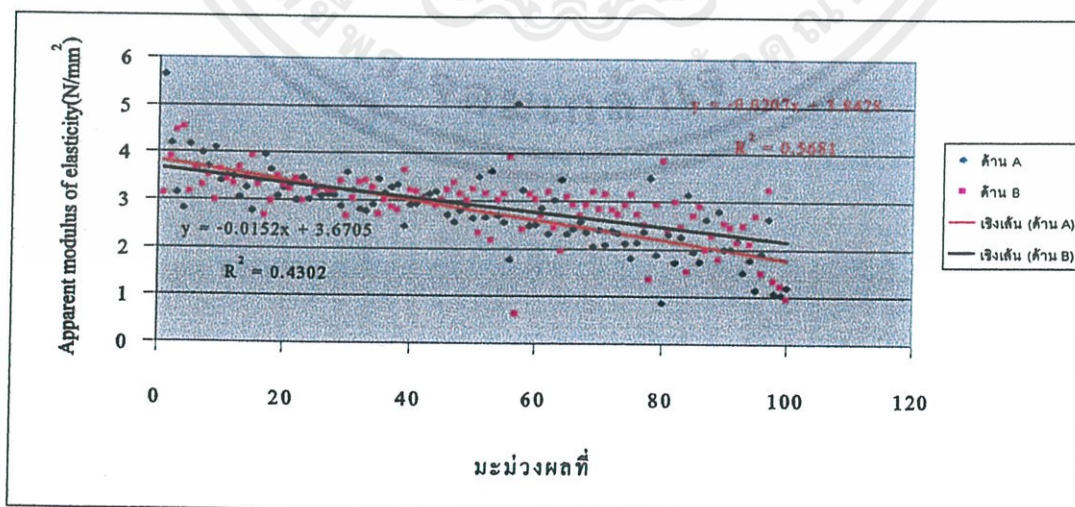
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Initial firmness

3.3.8 Average firmness คือค่าความแน่นเนื้อของมะม่วง ซึ่งจะอ้างอิงกราฟรูปที่ 3.5 คือค่าความแน่นเนื้อก่อนที่มะม่วงจะถึงจุด Bioyield point หรือจุดที่เนื้อภายในเสียหายนั่นเอง สังเกตความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.16



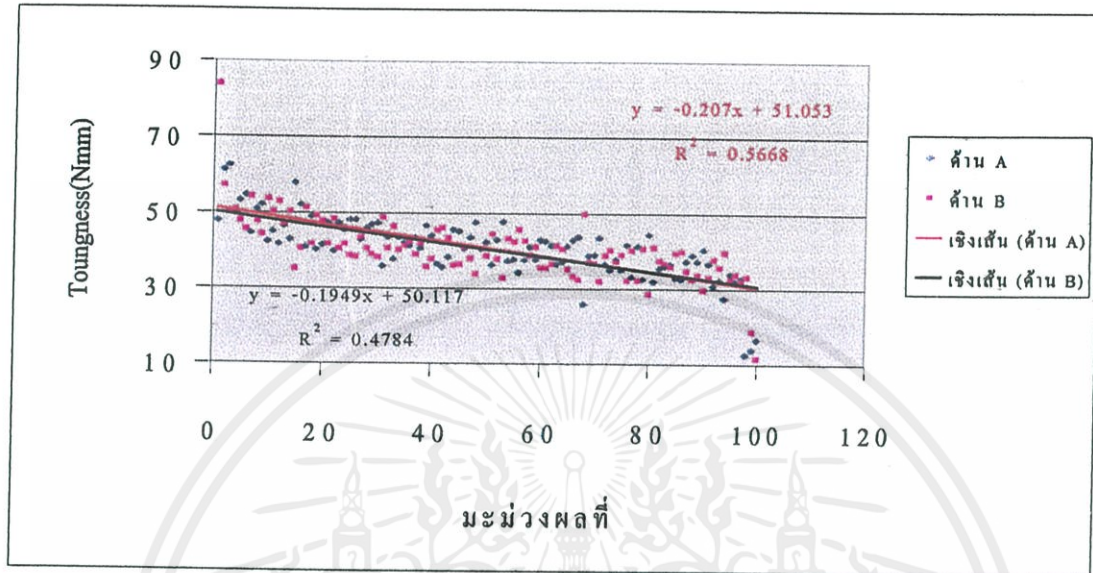
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Average firmness

3.3.9 Apparent modulus of elasticity คือค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยืดหยุ่นตัวของมะม่วง กล่าวคือการยืดหยุ่นตัวมากก็จะทนต่อความเสียหายได้ดี กว่าที่จะเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงอายุเก็บเกี่ยว 70 % และอายุเก็บเกี่ยว 100 % สังเกตความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.17



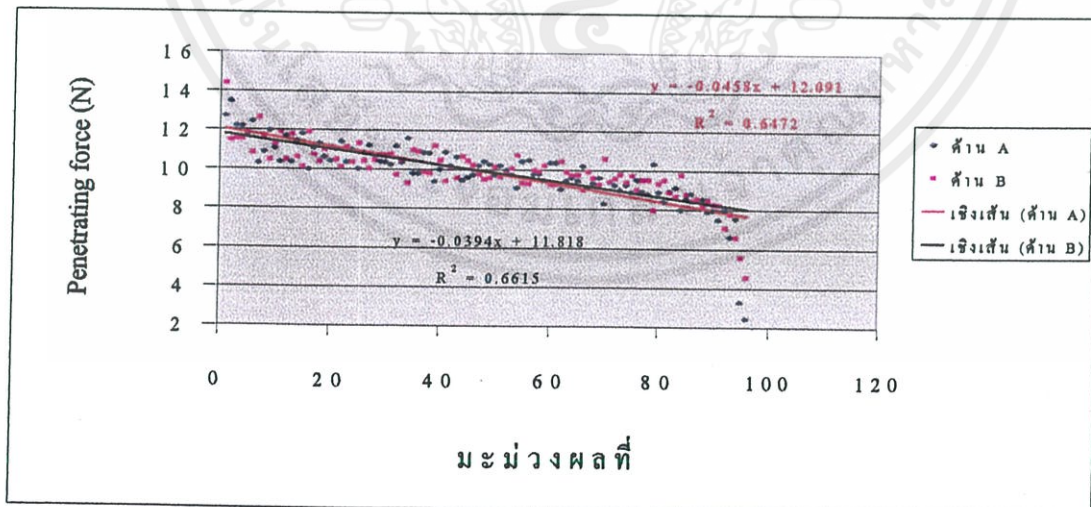
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Apparent modulus of elasticity

3.3.10 Toughness คือค่าที่แสดงถึงความทนต่อการเจาะทะลุของเปลือกมะม่วง ค่ายิ่งมากก็แสดงว่ามะม่วงนั้นมีเปลือกที่ทนต่อการเจาะทะลุ สังเกตความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.18



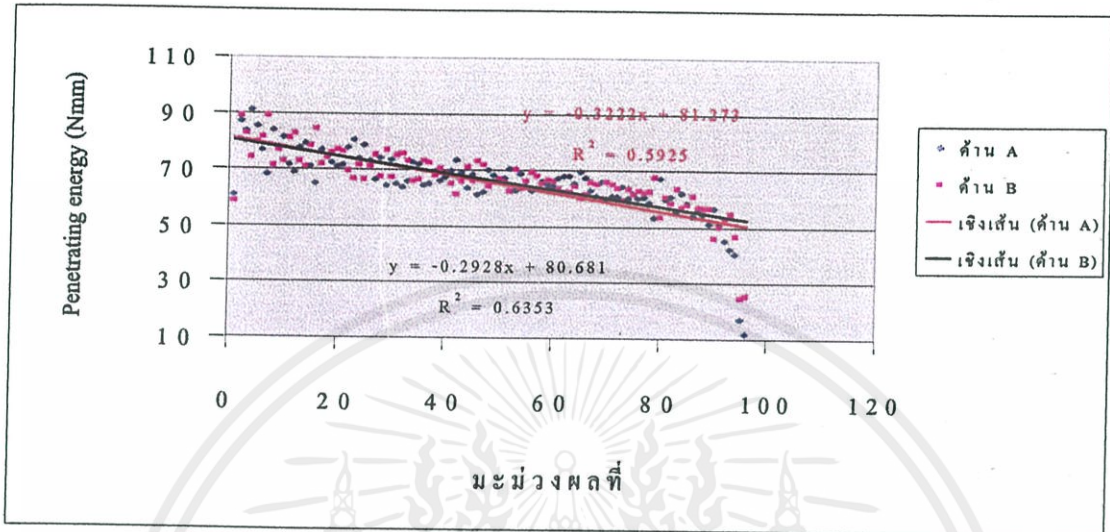
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Toughness

3.3.11 Penetrating force คือค่าที่แสดงถึงแรงที่สามารถเจาะทะลุเนื้อมะม่วงได้ ยิ่งมีค่ามากก็แสดงถึงความทนทานของเนื้อมะม่วง สังเกตความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.19



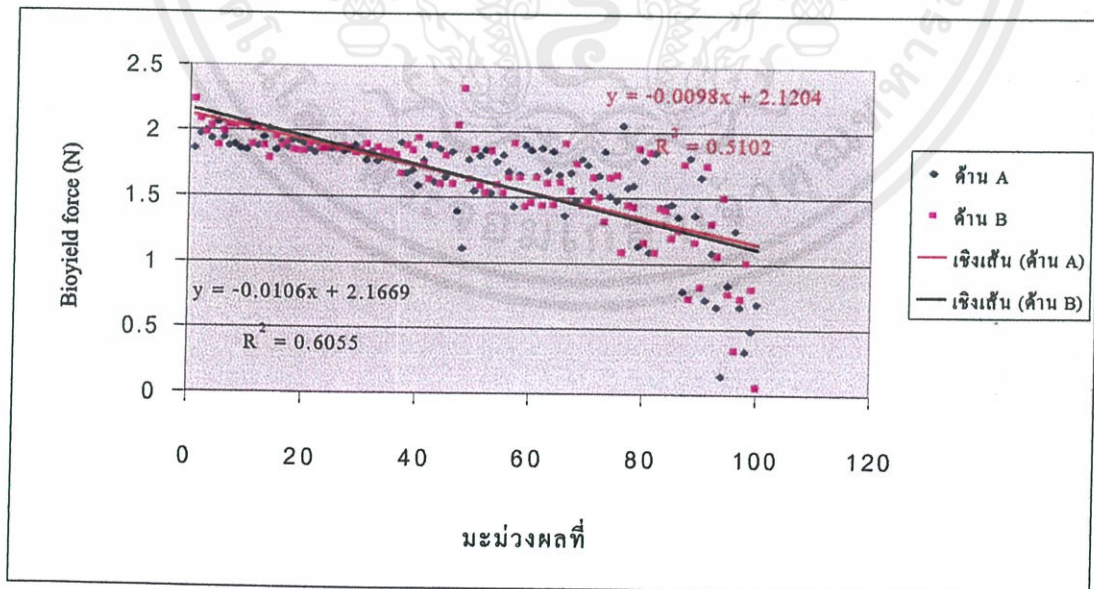
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Penetrating force

3.3.12 Penetrating energy คือพลังงานที่ใช้เจาะทะลุเนื้อมะม่วงถ้าต้องใช้พลังงานมากก็ แสดงว่ามะม่วงนั้นมีความทนทานมาก สังเกตความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Penetrating energy

3.3.13 Bioyield force คือค่าที่แสดงให้เห็นว่ามะม่วงสามารถที่จะรับแรงกระทำได้มากเท่าไรก่อนที่จะเนื้อจะเกิดการเสียหาย ค่ายิ่งมากก็แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของเนื้อมะม่วงเท่านั้น สังเกตความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับ Bioyield force

4. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantity) ของ NIR Spectroscopy

ขั้นตอนการ Calibration of Quantity ของผลมะม่วง

1. เปิดไฟล์ข้อมูล Spectrum เปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการ Scan ผลมะม่วง
2. นำค่า Properties ต่าง ๆ ใส่ลงในแต่ละ Spectrum ตามหมายเลขผลที่กำหนดไว้เพื่อใช้เป็นค่า Reference ซึ่งค่า Properties เหล่านี้ได้แก่ Texture Properties

Compression Test

- Hardness
- Degree of elasticity
- Energy absorption
- Relaxation
- Recovery

Puncture Test

- Initial firmness
- Average firmness
- Toughness
- Apparent modulus of elasticity
- Penetrating force
- Penetrating energy

3. สร้างสมการ Calibration ในแต่ละ Properties โดย
 - 3.1 ใช้วิธี PLS ที่ช่วงจำนวนคลื่น $4500 - 10000 \text{ cm}^{-1}$ สาเหตุเนื่องจากที่ช่วงจำนวนคลื่น $4000 - 10000 \text{ 1/cm}$ จะถูกดูดซับโดยสาร Fiber Optic ดังนั้นจึงเริ่มใช้ช่วงความยาวที่ $4500 - 10000 \text{ 1/cm}$ ในการทำ Project นี้เลือกใช้วิธี PLS เพราะเป็นวิธีการที่ทันสมัย เชื่อถือได้มากที่สุด และนิยมใช้กันมากที่สุด
 - 3.2 ทำการ Calibration ทุกช่วงคลื่น
 - 3.3 จัดกลุ่มของ Spectrum ให้เป็น 2 กลุ่ม คือ Calibration Set และ Validation Set (Prediction Set) โดยแบ่ง 2/3 ส่วนเป็น Calibration Set และ 1/3 ส่วนเป็น Validation Set
 - 3.4 เลือก Properties ที่จะนำมาทำการ Calibration

3.5 ทำการคำนวณหาสมการ Calibration โดยทำ Auto Calibration โดย Software NIR Cal V4.01

3.6 หลังจากทำการ Calibration แล้วจะได้ ผลมาเป็นค่าต่าง ๆ ดังนี้

- Standard Error of Estimate (SEE)
- Standard Error of Prediction (SEP)
- Bias
- Regression Coefficient (r)
- Consistency
- Q-Value
- สมการ Calibration $f(x)$

4. เลือก Properties ที่จะนำมาทำการ Calibration

5. ทำซ้ำข้อ 3.1 – 3.6 จนครบทุก Properties

6. บันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตารางที่ 4.17

หมายเหตุ การคำนวณหาสมการ Calibration โดยวิธี PLS ด้วย Auto Calibration จาก Software NIR Cal V4.01 จะอธิบายไว้ในภาคผนวก ข.

ผลการทำ Auto Calibration Spectrum ของผลมะม่วงแสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 วิธีการ Calibration Spectrum ของผลมะม่วง

ครั้งที่	Properties	Recovery
1	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. Smooth Average 3 Points 2. Normalization by Closure, 4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 [1/cm] (total 320/500) 3. First Derivative BCAP
	Wavelengths Calibration Set	4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 [1/cm] (total 320/500)

ครั้งที่	Properties	Deformation at 1 N
2	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. First Derivative BCAP 2. Normalization by Closure, 4440-9000 (total 381/500)
	Wavelengths Calibration Set	4440-9000 [1/cm](total 381/500)
3	Properties	Hardness
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. Second Derivative Smoothing
	Wavelengths Calibration Set	4008-9996 [1/cm] (total 500/500)
4	Properties	Relaxation
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. First Derivative BCAP 2. Normalization by Closure, 4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 (total 320/500)
	Wavelengths Calibration Set	4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 [1/cm] (total 320/500)
5	Properties	Degree of Elasticity
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. MSC full , 4440-9000 (total 381/500)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	Properties	Degree of Elasticity
5	Wavelengths Calibration Set	4440-9000 [1/cm] (total 381/500)
6	Properties	Energy Absorption
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. First Derivative BCAP 2. Normalization by Closure, 4440-9000 (total 381/500)
	Wavelengths Calibration Set	4440-9000 [1/cm] (total 381/500)
7	Properties	Average firmness
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. MSC full , 4008-9996 (total 500/500)
	Wavelengths Calibration Set	4008-9996 [1/cm] (total 500/500)
8	Properties	Penetrating force
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. First Derivative BCAP 2. Normalization by Closure, 4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 (total 320/500)
	Wavelengths Calibration Set	4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 [1/cm] (total 320/500)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	Properties	Initial firmness
9	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. First Derivative BCAP 2. Normalization by Closure, 4596-9996 (total 451/500)
	Wavelengths Calibration Set	4596-9996 [1/cm] (total 320/500)
10	Properties	Apparent modulus of elasticity
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. First Derivative BCAP 2. Normalization by Closure, 4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 (total 320/500)
	Wavelengths Calibration Set	4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 [1/cm] (total 320/500)
11	Properties	Toughness
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. MSC full , 4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 (total 320/500)
	Wavelengths Calibration Set	4392-4800, 5400-6600, 7800-9996 [1/cm] (total 320/500)
12	Properties	Vm (cm)
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. First Derivative BCAP 2. Normalization by Closure, 4440-9000 (total 381/500)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	Properties	Vm (cm)
12	Wavelengths Calibration Set	4440-9000 [1/cm] (total 381/500)
13	Properties	ρ_m (cm)
	Method	PLS
	Data Pretreatment Sequence	1. First Derivative BCAP 2. Normalization by Closure, 4440-9000 (total 381/500)
	Wavelengths Calibration Set	4440-9000 [1/cm] (total 381/500)

หมายเหตุ ความหมายของ Data pretreatment sequence ต่าง ๆ ในตารางอธิบายไว้ในภาคผนวก ข.

จากการ Calibration ในตารางที่ 4.18 จะได้ค่าทางสถิติซึ่งค่าเหล่านี้จะนำมาใช้พิจารณาการยอมรับผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.18 และ

ตารางที่ 4.18 ค่าที่ได้จากการ Calibration ของมะม่วง

Properties	Bias	r		SEE	SEP
		C-Set	V-Set		
Recovery	-1.29038E-18	0.251105	0.0286461	0.0010057	0.00101278
Deformation at 1 N	9.65438E-15	0.367385	0.272037	2.39463	1.75524
Hardness	-1.86646E-15	0.523702	0.351678	2.20521	1.90987
Relaxation	-1.07E-14	0.397293	0.398654	1.76093	1.75335
Degree of Elasticity	8.36749E-17	0.250461	0.302214	0.0577912	0.0585792
Energy Absorption	-1.32098E-16	0.812997	0.661233	0.0211991	0.0255735

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	Bias	r		SEE	SEP
		C-Set	V-Set		
Average firmness	2.48821E-15	0.540095	0.50706	1.48246	1.24728
Penetrating force	-8.30788E-15	0.389005	0.242138	1.62445	3.1575
Initial firmness	-2.37E-14	0.341441	0.415868	1.39626	1.48797
Apparent modulus of elasticity	-6.76E-15	0.38718	0.374708	0.713054	0.647447
Penetrating energy	-1.44E-13	0.470103	0.534187	15.1725	14.7467
Toughness	3.64E-14	0.352344	0.376034	6.99601	7.12436
Vm (cm)	-5.90E-14	0.755671	0.661947	27.3906	30.4263
ρ_m (cm)	5.51797E-16	0.602647	0.481898	0.0099545	0.011795

ตารางที่ 4.19 ค่าที่ได้จากการ Calibration ของผลมะม่วง

Properties	Consistency	Q
Recovery	99.3074	0.0292339
Deformation at 1 N	136.428	0.067292
Hardness	115.464	0.079563
Relaxation	100.432	0.275386
Degree of Elasticity	98.6548	0.0825704
Energy Absorption	82.8946	0.167899
Average firmness	118.855	0.0979593
Penetrating force	51.4474	0.0289485
Initial firmness	93.8368	0.0836728
Apparent modulus of elasticity	110.133	0.0836022
Penetrating energy	102.887	0.0753661
Toughness	98.1985	0.107021

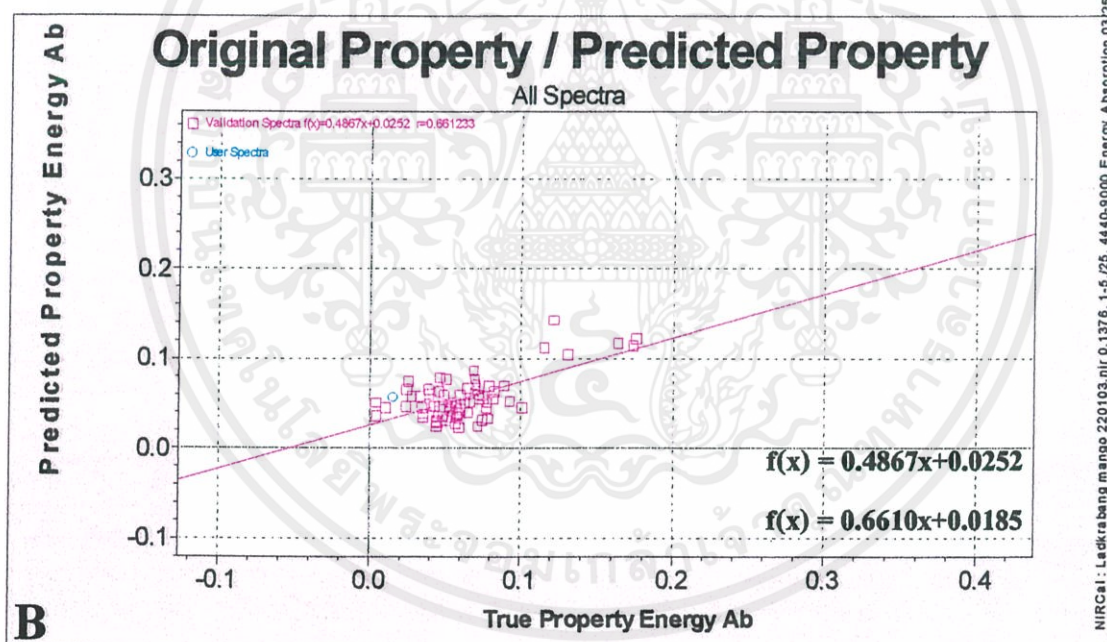
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	Consistency	Q
Vm (cm)	90.0227	0.272697
ρ_m (cm)	84.396	0.735119

หมายเหตุ C-Set ย่อมาจาก Calibration Set
V-Set ย่อมาจาก Validation Set

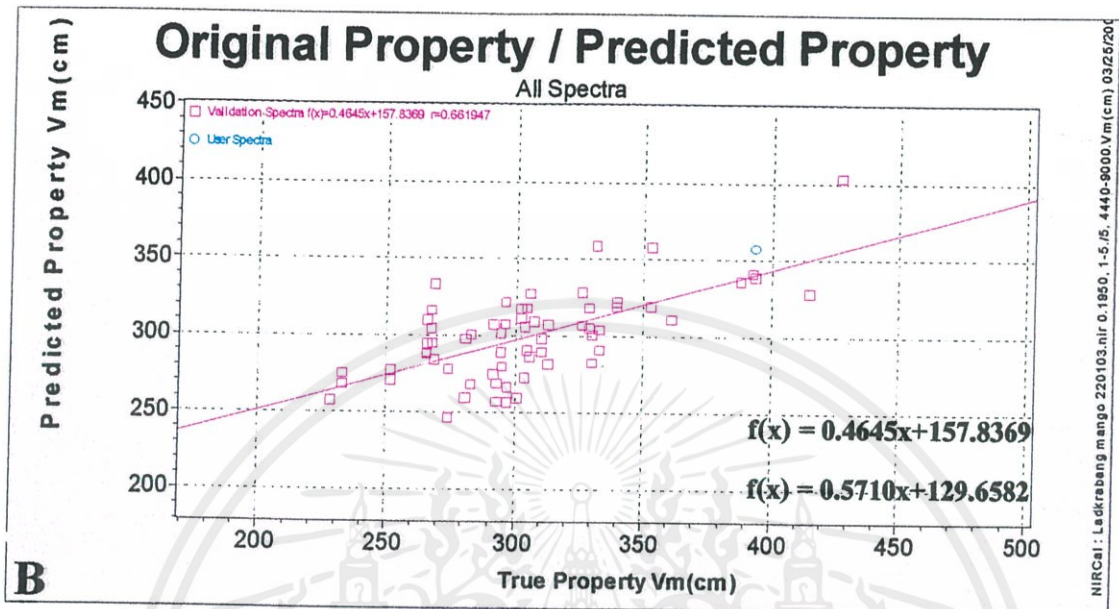
กราฟของสมการจากการ Calibration ของผลมะม่วงมีดังนี้

1. Energy Absorption



รูปที่ 4.22 สมการ Calibration of Energy Absorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. V_m (cm^3)รูปที่ 4.23 สมการ Calibration of V_m (cm^3)

การพิจารณาค่าต่าง ๆ ที่ได้จากผล

หลังจากที่ได้ผลแสดงค่าต่าง ๆ มาแล้ว จะพิจารณาค่าที่ดีที่สุดจากการทดลอง โดยจะพิจารณาค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่า r เราจะพิจารณาทั้ง Calibration Set และ Validation Set และจะต้องมีค่ามากกว่า 0.750000 หรือ 75 % ขึ้นไป จะถือว่าสมการที่ได้นั้นเชื่อถือได้และสามารถนำไปใช้งาน NIR Spectrometer ได้
2. ค่า Bias ค่านี้เราจะพิจารณาที่ Calibration Set ซึ่งควรมีค่าน้อย ๆ ยิ่งค่าน้อยเท่าไรยิ่งดี เพราะจะทำให้สมการที่ได้มีความแม่นยำสูง
3. ค่า SEE ควรจะมีค่าน้อย ยิ่งใกล้ 0 ยิ่งดี จะทำให้สมการที่ได้เชื่อถือได้สูง
4. ค่า SEP ควรจะมีค่าน้อย และใกล้เคียงกับค่า SEE จะทำให้สมการที่ได้เชื่อถือได้สูง
5. ค่า Consistency จะต้องอยู่ในช่วง 80-110 จึงจะยอมรับสมการที่ได้
6. ค่า Q-Value ค่านี้ควนจะทำให้เข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากว่าค่าเข้าใกล้ 1 มาก ๆ ก็แสดงว่าสมการที่เราทำการ Calibrate นั้น น่าเชื่อถือได้มาก

ในการพิจารณานั้นจะพิจารณาทั้ง 6 ค่า ไปพร้อม ๆ กัน และในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าค่า Q-Value มีค่าต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าข้อมูลของตัวอย่าง (Data of Sample) มีน้อยเกินไป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ และการพิจารณาค่าทางสถิติของข้อมูลผลมะม่วงจะได้สมการที่สามารถนำไปใช้ ในการทำนายผลการตรวจสอบคุณสมบัติของมะม่วงโดยใช้วิธี NIR Spectroscopy ดังนี้

1. สมการ Calibration ของ Energy absorption

$$f(x) = 0.6610x + 0.0185$$

2. สมการ Calibration ของ V_m (cm^3)

$$f(x) = 0.5710x + 129.6582$$



5. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantity) ของน้ำมะม่วง

ขั้นตอนการ Calibration of Quantity ของน้ำมะม่วง

1. เปิดไฟล์ข้อมูล Spectrum เปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการ Scan น้ำมะม่วง
2. นำค่า Properties ต่าง ๆ ใส่ลงในแต่ละ Spectrum ตามหมายเลขผลที่กำหนดไว้เพื่อใช้เป็นค่า Reference ซึ่งค่า Properties เหล่านี้ได้แก่ คุณสมบัติด้านรสชาติ
 - %Brix
 - %Acidity
3. สร้างสมการ Calibration ในแต่ละ Properties โดย
 - 3.1 เลือกวิธีการ Calibration ในการทำ Project นี้เลือกใช้วิธี MLR เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว เนื่องจากเวลาในการทำการทดลองนั้นมีจำกัด
 - 3.2 จัดกลุ่มของ Spectrum ให้เป็น 2 กลุ่ม คือ Calibration Set และ Validation Set (Prediction Set) โดยแบ่ง 2/3 ส่วนเป็น Calibration Set และ 1/3 ส่วนเป็น Validation Set
 - 3.3 ทำการ Calibration ทุกช่วงความยาวคลื่น
 - 3.4 เลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม เพื่อที่จะนำมาสร้างสมการ Calibration ในการทำครั้งนี้ได้เลือกช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 nm
 - 3.5 เลือก Properties ที่จะนำมาทำการ Calibration
 - 3.6 ทำการคำนวณหาสมการ Calibration โดยทำ Auto Calibration โดย Program SESAME V3.0
 - 3.7 หลังจากทำการ Calibration แล้วจะได้ Report มาเป็นค่าต่าง ๆ ดังนี้
 - Wevlength
 - Standard Error of Calibration (SEE)
 - Standard Error of Prediction (SEP)
 - Bias
 - Regression Coefficient (r)
4. เลือก Properties ที่จะนำมาทำการ Calibration
5. ทำซ้ำข้อ 3.1 – 3.7 จนครบทุก Properties
6. บันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าที่ได้จากการ Calibration ของมะม่วง

Properties	ครั้งที่	Method (MLR)	Wavelength	R	SEE	SEP	Bias
%Brix ผลมะม่วง	1	Second Derivative	1182 nm 1858 nm 2112 nm	0.847	0.919	1.019	0.192
	2	Second Derivative	1198 nm 1640 nm 2062 nm 2110 nm	0.881	0.828	1.028	-0.092
	3	Second Derivative	1188 nm 1640 nm 2060 nm 2110 nm 2386 nm	0.892	0.799	1.038	-0.025
	4	First Derivative	1666 nm 1874 nm 2150 nm	0.831	0.962	1.259	0.204
	5	First Derivative	1196 nm 1674 nm 1874 nm 2156 nm	0.855	0.907	1.176	-0.038
	6	First Derivative	1264 nm 1676 nm 1874 nm 2158 nm 2310 nm	0.865	0.886	1.198	0.046
	7	Normalization Second Derivative	1666 nm 1874 nm 2150 nm	0.836	0.949	1.247	0.196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	ครั้งที่	Method (MLR)	Wavelength	R	SEE	SEP	Bias
	8	Normalization	1666 nm	0.846	0.931	1.253	0.096
		Second Derivative	1874 nm				
			2150 nm				
			2232 nm				
	9	Normalization	1664 nm	0.896	0.785	1.174	-0.052
		Second Derivative	1828 nm				
			2070 nm				
			2148 nm				
			2462 nm				
	10	Normalization	1184 nm	0.859	0.885	1.116	0.024
		First Derivative	1646 nm				
			2114 nm				
11	Normalization	1186 nm	0.882	0.802	1.072	-0.095	
	First Derivative	1646 nm					
		2062 nm					
		2116 nm					
12	Normalization	1186 nm	0.894	0.792	1.119	-0.067	
	First Derivative	1646 nm					
		2062 nm					
		2116 nm					
		2384 nm					
%Brix น้ำมะม่วง	1	Second Derivative	1236 nm	0.983	0.296	0.274	0.054
			2262 nm				
		2378 nm					
	2	Second Derivative	1244 nm	0.985	0.279	*	*
		1946 nm					
		2262 nm					
		2378 nm					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	ครั้งที่	Method (MLR)	Wavelength	R	SEE	SEP	Bias
	3	Second Derivative	1384 nm 1538 nm 1582 nm 1742 nm 2262 nm	0.991	0.227	0.261	0.039
	4	First Derivative	2002 nm 2258 nm 2274 nm	0.986	0.273	0.335	0.047
	5	First Derivative	1646 nm 2002 nm 2260 nm 2276 nm	0.989	0.264	0.353	0.045
	6	First Derivative	1646 nm 2002 nm 2260 nm 2276 nm 2476 nm	0.98	0.25	0.385	0.026
	7	Normalization Second Derivative	1928 nm 2258 nm 2274 nm	0.984	0.282	0.353	0.62
	8	Normalization Second Derivative	2054 nm 2260 nm 2276 nm 2348 nm	0.987	0.255	0.360	0.075
	9	Normalization Second Derivative	1958 nm 2054 nm 2260 nm 2276 nm 2348 nm	0.989	0.244	0.396	0.092

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	ครั้งที่	Method (MLR)	Wavelength	R	SEE	SEP	Bias
	10	Normalization First Derivative	1920 nm 2262 nm 2378 nm	0.982	0.301	0.258	0.040
	11	Normalization First Derivative	1742 nm 1926 nm 2262 nm 2376 nm	0.984	0.283	*	*
	12	Normalization First Derivative	1580 nm 1742 nm 1930 nm 2262 nm 2372 nm	0.986	0.272	*	*
%Acidity ผลมะม่วง	1	Second Derivative	1750 nm 2098 nm 2342 nm	0.849	0.412	0.651	-0.265
	2	Second Derivative	1141 nm 1750 nm 2094 nm 2342 nm	0.871	0.387	0.627	-0.227
	3	Second Derivative	1178 nm 1636 nm 2108 nm 2340 nm 2420 nm	0.906	0.336	0.623	-0.237
	4	First Derivative	1278 nm 1890 nm 2350 nm	0.814	0.452	0.636	0.126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	ครั้งที่	Method (MLR)	Wavelength	R	SEE	SEP	Bias
	5	First Derivative	1282 nm 1890 nm 2330 nm 2350 nm	0.848	0.417	0.663	0.142
	6	First Derivative	1290 nm 1682 nm 1890 nm 2330 nm 2350 nm	0.866	0.397	0.591	-0.188
	7	Normalization Second Derivative	1224 nm 2328 nm 2354 nm	0.819	0.447	0.658	-0.171
	8	Normalization Second Derivative	1690 nm 1784 nm 1830 nm 2328 nm 2356 nm	0.873	0.387	0.746	-0.182
	9	Normalization Second Derivative	1690 nm 1784 nm 1830 nm 2328 nm 2356 nm	0.873	0.387	0.746	-0.182
	10	Normalization First Derivative	1200 nm 2180 nm 2342 nm	0.859	0.39	0.68	-0.214
	11	Normalization First Derivative	1200 nm 2180 nm 2182 nm 2342 nm	0.868	0.391	0.651	-0.227

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

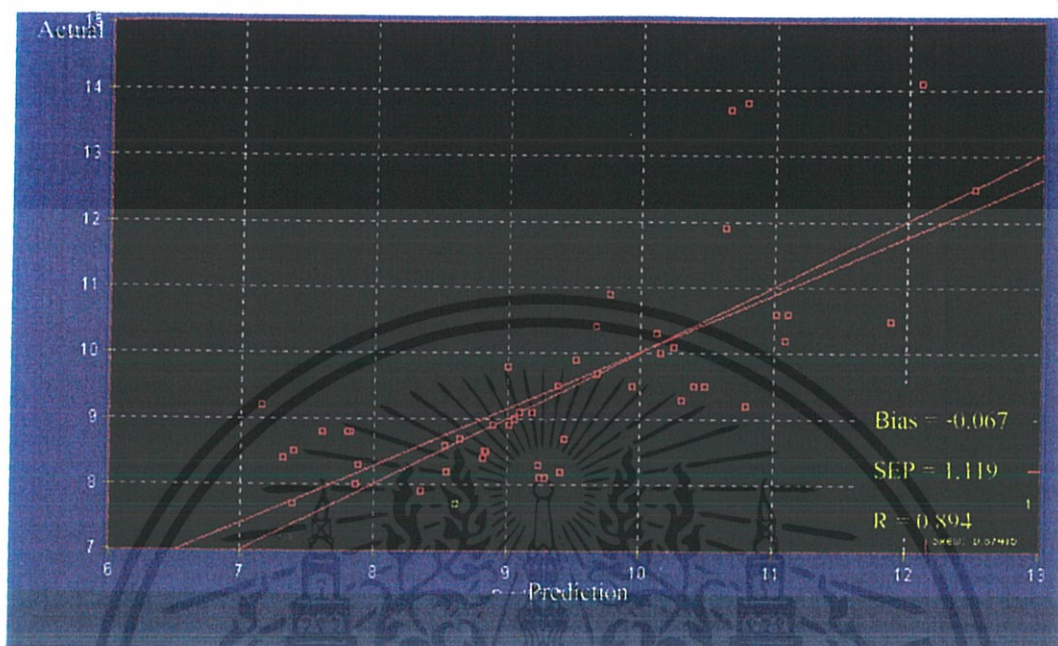
Properties	ครั้งที่	Method (MLR)	Wavelength	R	SEE	SEP	Bias
	12	Normalization First Derivative	1142 nm 1966 nm 2180 nm 2342 nm 2364 nm	0.903	0.342	0.59	-0.188
%Acidity น้ำมะม่วง	1	Second Derivative	1122 nm 2432 nm 2440 nm	0.522	40.90	24.74	0.007
	2	Second Derivative	1142 nm 2388 nm 2432 nm 2440 nm	0.578	39.96	61.72	2.597
	3	Second Derivative	1206 nm 2432 nm 2440 nm 2492 nm 2500 nm	0.578	39.96	61.72	53.25
	4	First Derivative	1150 nm 1408 nm 2370 nm	0.503	41.44	27.08	-0.141
	5	First Derivative	1150 nm 1408 nm 1690 nm 2370 nm	0.555	40.30	31.05	3.362
	6	First Derivative	1150 nm 1408 nm 1472 nm 1690 nm	0.571	40.21	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

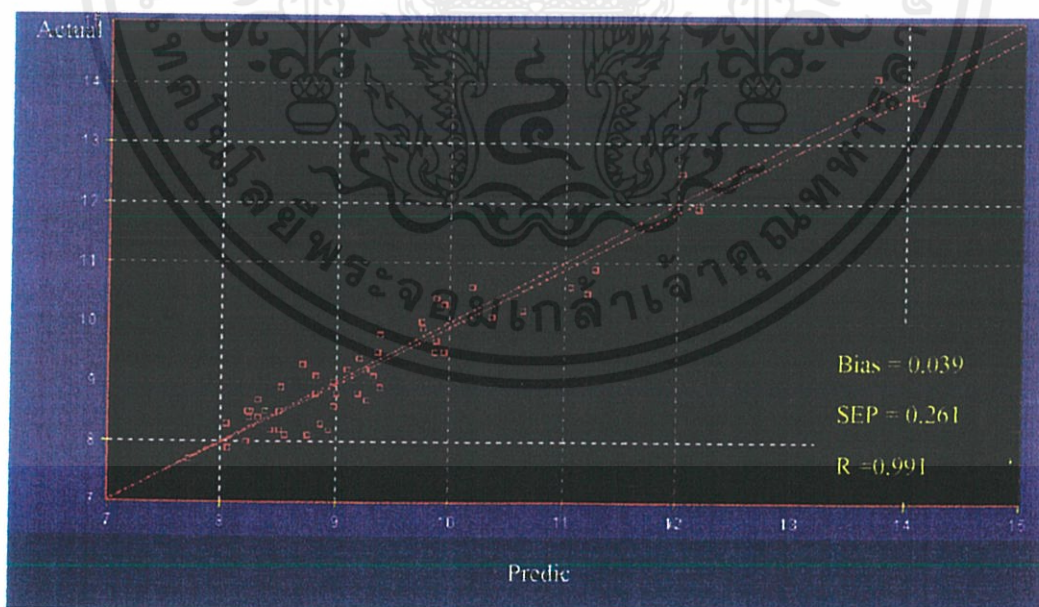
Properties	ครั้งที่	Method (MLR)	Wavelength	R	SEE	SEP	Bias
	7	Normalization Second Derivative	1150 nm 1410 nm 2372 nm	0.498	41.57	24.74	0.007
	8	Normalization Second Derivative	1150 nm 1410 nm 1692 nm 2370 nm	0.562	41.22	28.08	2.597
	9	Normalization Second Derivative	1150 nm 1408 nm 1692 nm 1708 nm 2370 nm	0.562	40.52	29.85	2.077
	10	Normalization First Derivative	1116 nm 2432 nm 2440 nm	0.506	41.35	32.54	14.17
	11	Normalization First Derivative	1136 nm 1316 nm 2432 nm 2440 nm	0.537	40.87	*	*
	12	Normalization First Derivative	1136 nm 1318 nm 2432 nm 2440 nm 2456 nm	0.548	40.97	29.77	11.4

หมายเหตุ * เนื่องจากการทดลองมีข้อผิดพลาดเรื่องการบันทึกข้อมูลจึงทำให้ไม่สามารถหาค่าได้

กราฟของสมการจากการ Calibration ของน้ำมะม่วงมีดังนี้



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของ % Brix ที่ได้จากผลมะม่วง



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของ % Brix ที่ได้จากน้ำมะม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาค่าต่าง ๆ ที่ได้จากผล

หลังจากที่ได้ผลแสดงค่าต่าง ๆ มาแล้ว จะพิจารณาค่าที่ดีที่สุดจากการทดลอง โดยจะพิจารณาค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่า r เราจะพิจารณาทั้ง Calibration Set และ Validation Set และจะต้องมีค่ามากกว่า 0.750000 หรือ 75 % ขึ้นไป จะถือว่าสมการที่ได้นั้นเชื่อถือได้และสามารถนำไปใช้ในงาน NIR Spectrometer ได้
2. ค่า Bias ค่านี้เราจะพิจารณาที่ Calibration Set ซึ่งควรมีค่าน้อย ๆ ยิ่งค่าน้อยเท่าไรยิ่งดี เพราะจะทำให้สมการที่ได้มีความแม่นยำสูง
3. ค่า SEE ควรจะมีค่าน้อย ยิ่งใกล้ 0 ยิ่งดี จะทำให้สมการที่ได้เชื่อถือได้สูง
4. ค่า SEP ควรจะมีค่าน้อย จะทำให้สมการที่ได้เชื่อถือได้สูง



บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. น้ำหนักของมะม่วงมีความสัมพันธ์กับขนาดของมะม่วง ตามสมการความสัมพันธ์

$$y = 0.0612x + 44.598$$

2. ขนาดของมะม่วงและปริมาตรของผลมะม่วงมีความสัมพันธ์กัน ตามสมการความสัมพันธ์

$$y = 0.0629x + 43.664$$

3. ขนาดของมะม่วงไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของมะม่วง
4. ผิวเปลือกภายนอกไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อผลภายในและรสชาติ
5. สีเปลือกมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อภายในและรสชาติ
6. ค่าคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของมะม่วงดังนี้
 - Hardness
 - Degree of elasticity
 - Energy absorption
 - Relaxation
 - Recovery

พบว่ามีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อภายในของมะม่วง (เนื้อแน่นและเนื้อนุ่มคุณสมบัติเหล่านี้ก็จะต่างกัน)

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ อายุการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อค่า Texture Properties ของ

Compression test วิเคราะห์ โดยวิธี LSD

อายุการเก็บเกี่ยว	Deformation (N/mm)	Hardness (N/mm)	Degree of elasticity	Energy absorption(Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
70%	11.481 a	13.431 a	0.3709 a	0.1223 a	26.039 a	0.00526 a
80%	8.296 b	10.696 b	0.3073 b	0.0564 b	24.579 b	0.00412 b
90%	6.673 c	8.756 c	0.2694 c	0.0496 c	22.689 c	0.00326 c
100%	4.314 d	5.487 d	0.2622 d	0.0305 d	19.78 d	0.00244 d

7. ค่าคุณสมบัติเนื้อสัมผัสดังนี้

- Initial firmness
- Average firmness
- Toughness
- Apparent modulus of elasticity
- Penetrating force
- Penetrating energy

พบว่ามีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อภายในของมะม่วง (เนื้อแน่นและเนื้อนุ่มคุณสมบัติเหล่านี้ก็จะต่างกัน)

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ อายุการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อค่า Texture Properties ของ Puncture test วิเคราะห์โดยวิธี LSD

อายุการเก็บเกี่ยว	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (N/mm)	Bioyield force (N)
70%	7.499 a	9.208 a	52.571 a	3.748 a	11.813 a	78.529 a	1.980 a
80%	6.405 b	9.298 b	43.498 b	3.193 b	10.624 b	71.791 b	1.854 b
90%	5.254 c	8.691 c	38.136 c	2.629 c	9.376 c	62.551 c	1.565 c
100%	3.079 d	4.799 d	27.431 d	1.735 d	2.769 d	16.501 d	0.706 d

8. ลักษณะสีของเนื้อภายในของมะม่วงมีความสัมพันธ์กับรสชาติ
9. NIR Spectroscopy สามารถที่จะนำมาตรวจสอบรสชาติของมะม่วงได้ %Acidity ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลและการพิจารณาค่าทางสถิติของข้อมูลของน้ำมะม่วงพบว่า % Brix ของผลมะม่วง มีค่า $R = 0.894$, $SEE = 0.79$, $SEP = 1.119$, $Bias = -0.067$, % Brix ของน้ำมะม่วง มีค่า $R = 0.991$, $SEE = 0.227$, $SEP = 0.261$, $Bias = 0.039$, % Acidity ของผลมะม่วง มีค่า $R = 0.906$, $SEE = 0.336$, $SEP = 0.623$, $Bias = -0.237$ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้
10. NIR Spectroscopy สามารถตรวจสอบ Energy absorption และปริมาณจำเพาะของมะม่วงได้ สมการที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้

1. สมการ Calibration ของ Energy absorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = 0.6610x + 0.0185$$

2. สมการ Calibration ของ V_m (cm^3)

$$f(x) = 0.5710x + 129.6582$$

11. ในการทำโครงการครั้งต่อไป ควรศึกษาการใช้เครื่องมือในการทดลองให้มีความชำนาญ เพื่อลดค่าความผิดพลาดในการใช้เครื่องมือ ซึ่งจะส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

การทดลองชุดที่ 1 การตรวจสอบ Texttrue Properties ของผลมะม่วง โดยวิธี NIR Spectroscopy

ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะคุณภาพของผลมะม่วง

ผลการทดลองที่ 1 : ขนาด น้ำหนัก ลักษณะผิวเปลือกของผลมะม่วงและลักษณะเนื้อมะม่วง

ผลการทดลองที่ 2 : ปริมาตรและความหนาแน่นของผลมะม่วง

ตารางที่ ก1. ลักษณะผิวเปลือกของผลมะม่วงบริเวณ Scan และลักษณะเนื้อมะม่วง

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
1	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
2	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล *	สีเหลืองซีด เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีเหลืองซีด เนื้อแน่น
3	A	ผิวเรียบ **	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ **	สีขาวนวล เนื้อแน่น
4	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
5	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีขาว เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีขาว เนื้อแน่น
6	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
7	A	ผิวเรียบ สีเปลือกไม่สม่ำเสมอ ***	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ สีเปลือกไม่สม่ำเสมอ ***	สีขาวนวล เนื้อแน่น
8	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล **	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล **	สีขาวนวล เนื้อแน่น

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
9	A	ผิวเรียบ สีเปลือกไม่สม่ำเสมอ*	สีเขวปนเหลือง เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเขวปนเหลือง เนื้อแน่น
10	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
11	A	ผิวมีรอยจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวน เนื้อแน่น
12	A	ผิวเรียบ*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
13	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
	B	มียางเล็กน้อย มีจุดสีน้ำตาล*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
14	A	ผิวมีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวน เนื้อแน่น
15	A	ผิวเรียบ*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย มีจุดสีน้ำตาล*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
16	A	ผิวมีรอยแผลสีน้ำตาล*	สีเขว เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเขว เนื้อแน่น
17	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
18	A	ผิวไม่สม่ำเสมอ*	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
19	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเขวนวน เนื้อแน่น
20	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวน เนื้อแน่น
21	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีเหลืองนวน เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
22	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อยมีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
23	A	ผิวเรียบ*	สีขาว เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีขาว เนื้อแน่น
24	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
25	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
26	A	ผิวไม่สม่ำเสมอ มีรอยจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวไม่สม่ำเสมอ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
27	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
28	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองซีด เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองซีด เนื้อแน่น
29	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีขาวปนเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวปนเหลืองนวล เนื้อแน่น
30	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
31	A	ผิวเรียบ***	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ***	สีขาวนวล เนื้อแน่น
32	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
33	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
34	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวลปนเหลือง เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวลปนเหลือง เนื้อแน่น
35	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวลเนื้อแน่น
36	A	ผิวมีรอยจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวลเนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
37	A	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
38	A	ผิวเรียบ * * *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล* * *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
39	A	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
40	A	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
41	A	ผิวเรียบ*	สีขาวปนเหลือง เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวปนเหลือง เนื้อแน่น
42	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
43	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
44	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
45	A	ผิวเรียบ* * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ* * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
46	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
47	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
48	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีดำ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
49	A	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
50	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวลปนขาว เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวลปนขาว เนื้อแน่น
51	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
52	A	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
53	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีดำ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
54	A	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีดำ *	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล *	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
55	A	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล *	สีเหลือง เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล *	สีเหลือง เนื้อแน่น
56	A	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
57	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองปนขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีเหลืองปนขาวนวล เนื้อแน่น
58	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย *	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
59	A	ผิวเรียบ มีจุดดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
60	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวลปนขาว เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวลปนขาว เนื้อแน่น
61	A	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
62	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
63	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
64	A	ผิวมีลักษณะตกกระสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
65	A	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
66	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
67	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
68	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวลเนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
69	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
70	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
71	A	ผิวเรียบ *	สีเหลือง เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลือง เนื้อแน่น
72	A	ผิวเรียบ มีจุดสีคำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีคำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
73	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
74	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวมีลักษณะตกกระสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
75	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
76	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
77	A	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
78	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
79	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
80	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
81	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
82	A	มีรอยขีดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
83	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
84	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองอ่อน เนื้อแน่น
85	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวลเนื้อแน่น
86	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
87	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล* * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล* * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
88	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
89	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล* * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
90	A	ผิวเรียบ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวมีลักษณะคกกระตื้นน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
91	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
92	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
93	A	ผิวเรียบ* * *	สีเหลืองนวล เนื้อนุ่ม
	B	ผิวเรียบ* * *	สีเหลืองนวล เนื้อนุ่ม
94	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล* * *	สีเหลืองอมส้ม เนื้อนุ่มมาก
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองอมส้มเนื้อนุ่มมาก
95	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล* * *	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล* * *	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
96	A	ผิวเรียบ *	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก มีเส้นใยสีดำ
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล * * *	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก มีเส้นใยสีดำ
97	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล *	สีเหลืองอมส้มขอบเปลือกมีรอยชำเนื้อนุ่ม
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล *	สีเหลืองอมส้มขอบเปลือกมีรอยชำเนื้อนุ่ม
98	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล * * *	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล * * *	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก
99	A	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก
	B	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองทอง เนื้อนุ่มมาก
100	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล * * *	สีเหลืองอมส้ม เนื้อนุ่มมาก
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล * * *	สีเหลืองอมส้ม เนื้อนุ่มมาก

หมายเหตุ สีเปลือกมะม่วง * สีเขียวเข้ม

* * สีเขียวอ่อน

* * * สีเขียวอมเหลือง

ตารางที่ ก2. ขนาด น้ำหนัก ปริมาตรและความหนาแน่นของมะม่วง

No.	ขนาด			M_1 (g)	M_L (g)	V_m (cm ³)	ρ_m (g/cm ³)	SG
	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)					
1	74.91	134.59	69.57	351.05	360.17	361.25	0.97	0.97
2	69.3	137.94	60.54	285.33	290.99	291.87	0.98	0.98
3	73.6	141.81	70.97	390.08	386.55	387.71	1.01	1.01
4	74.35	148.32	70.76	389.872	392.23	393.41	0.99	0.99
5	68.29	137.31	62.46	287.69	290.63	291.50	0.99	0.99
6	74.72	129.85	66.52	324.14	331.11	332.11	0.98	0.98
7	69.61	142.85	61.33	297.33	304.02	304.93	0.98	0.98
8	72.95	151.25	65.07	346	355.17	356.24	0.97	0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ขนาด			$M_1(g)$	$M_L(g)$	$V_m(cm^3)$	ρ_m (g/cm^3)	SG
	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)					
9	68.07	135.96	58.79	262.2	268.69	269.50	0.97	0.98
10	72.1	142.52	65.13	252.14	256.66	257.43	0.98	0.98
11	68.84	123.85	61.1	263.33	269.23	270.04	0.98	0.98
12	61.22	126.45	56.93	229.6	232.06	232.76	0.99	0.99
13	68.28	137.3	62.56	287.63	290.33	291.20	0.99	0.99
14	67.74	138.1	58.1	296.43	302.03	302.94	0.98	0.98
15	70.34	132.52	64.35	291.37	292.96	293.84	0.99	0.99
16	68.2	137.21	62.44	286.79	289.99	290.86	0.99	0.99
17	67.56	142.02	61.85	294.27	299.95	300.85	0.98	0.98
18	65.94	136.72	59.06	256.76	265.44	266.24	0.96	0.97
19	67.86	129.57	59.12	250.64	258.86	259.64	0.97	0.97
20	66.99	129.79	60.07	254.49	255.25	256.02	0.99	1.00
21	68.15	142.09	65.53	310.93	311.64	312.58	0.99	1.00
22	66.79	132.43	62.27	271.04	274.65	275.48	0.98	0.99
23	69.32	139.42	63.11	295.11	298.98	299.88	0.98	0.99
24	66.88	130.45	59.22	250.63	256.73	257.50	0.97	0.98
25	71.48	138.94	64.85	223.8	328.9	329.89	0.68	0.68
26	75.32	143.57	63.1	332.75	338.67	339.69	0.98	0.98
27	67.59	140.64	62.66	288.11	293.74	294.62	0.98	0.98
28	66.83	123.43	62.8	258.84	263.33	264.12	0.98	0.98
29	69.15	126.96	65.87	289.18	291.82	292.70	0.99	0.99
30	67.1	136.81	63.06	284.9	290.74	291.61	0.98	0.98
31	66.23	132.85	60.02	256.79	263.98	264.77	0.97	0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ขนาด			$M_1(g)$	$M_2(g)$	$V_m(cm^3)$	ρ_m (g/cm^3)	SG
	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)					
32	68.61	141.97	62.78	299.35	301.27	302.18	0.99	0.99
33	64.94	140.39	61.56	275.65	282.25	283.10	0.97	0.98
34	64.74	124.36	57.97	223.87	227.28	227.96	0.98	0.98
35	66.02	133.55	62.26	270.71	273.66	274.48	0.99	0.99
36	70.68	149.1	65.57	339.02	349.26	350.31	0.97	0.97
37	68.54	136.63	61.81	277.58	284.43	285.29	0.97	0.98
38	65.28	139	61.09	269.88	273.67	274.49	0.98	0.99
39	72.52	147.31	65.9	346.97	352.1	353.16	0.98	0.99
40	68.18	133.42	57.69	266.4	266.89	267.69	1.00	1.00
41	69.7	144.27	63.37	308.55	312.98	313.92	0.98	0.99
42	72.43	154.95	64.04	353.11	358.49	359.57	0.98	0.98
43	65.37	131.36	59.21	242.43	250.95	251.71	0.96	0.97
44	67.77	141.22	63.08	300.49	302.71	303.62	0.99	0.99
45	70.75	134.64	61.56	300.12	306.83	307.75	0.98	0.98
46	68.46	129.27	59.66	258.15	265.11	265.91	0.97	0.97
47	69.86	150.84	63.74	330.69	331.9	332.90	0.99	1.00
48	68.95	137.61	59.01	275.61	281.93	282.78	0.97	0.98
49	65.72	130.67	62.22	259.67	265.68	266.48	0.97	0.98
50	70.44	135.22	64.1	301.09	304.52	305.44	0.99	0.99
51	71.89	134.84	64.55	306.96	314.34	315.29	0.97	0.98
52	76.34	146.86	69.34	352.67	391.17	392.35	0.90	0.90
53	70.83	141.09	60.55	285.47	293.36	294.24	0.97	0.97
54	71.93	135.37	66.8	329.66	327.76	328.75	1.00	1.01
55	68.95	137.61	59.01	299.23	304.35	305.27	0.98	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ขนาด			$M_1(g)$	$M_L(g)$	$V_m(cm^3)$	ρ_m (g/cm^3)	SG
	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)					
56	72.25	151.19	65.83	351.56	357.82	358.90	0.98	0.98
57	72.64	138.5	66.49	326.98	330.32	331.31	0.99	0.99
58	69.6	137.52	60.79	298.93	303.52	304.43	0.98	0.98
59	72.53	147.35	65.93	346.99	352.15	353.21	0.98	0.99
60	73.85	141.49	64.98	331.61	336.97	337.98	0.98	0.98
61	65.81	136.26	59.76	263.55	268.08	268.89	0.98	0.98
62	70.24	142.52	64.71	323.89	326.23	327.21	0.99	0.99
63	66.68	134.21	59.6	256.37	258.5	259.28	0.99	0.99
64	73.3	125.04	60.26	276.7	289.6	290.47	0.95	0.96
65	69.01	139.97	62.85	275.26	281.18	282.03	0.98	0.98
66	70.23	139.11	62.44	294.61	305.87	306.79	0.96	0.96
67	71.01	134.98	63.86	305.85	306.33	307.25	1.00	1.00
68	67.25	139.74	59.37	264.73	276.03	276.86	0.96	0.96
69	65.63	135.17	59.01	256.36	261.19	261.98	0.98	0.98
70	65.91	144.55	59.51	271.24	280.23	281.07	0.97	0.97
71	66.62	136.15	59.89	268.36	271.21	272.03	0.99	0.99
72	64.3	133.92	60.38	259.7	262.11	262.90	0.99	0.99
73	68.86	133.43	62.38	291.8	291.73	292.61	1.00	1.00
74	69.87	139.02	62.39	300.43	300.85	301.76	1.00	1.00
75	68.93	134.97	64.29	294.07	295.05	295.94	0.99	1.00
76	65.77	124.07	63.62	258.7	257.32	258.09	1.00	1.01
77	67.12	134.24	60.54	264.51	270.15	270.96	0.98	0.98
78	69.01	139.97	62.85	303.84	309.33	310.26	0.98	0.98
79	80.9	149.22	76.1	435.22	443.19	444.52	0.98	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

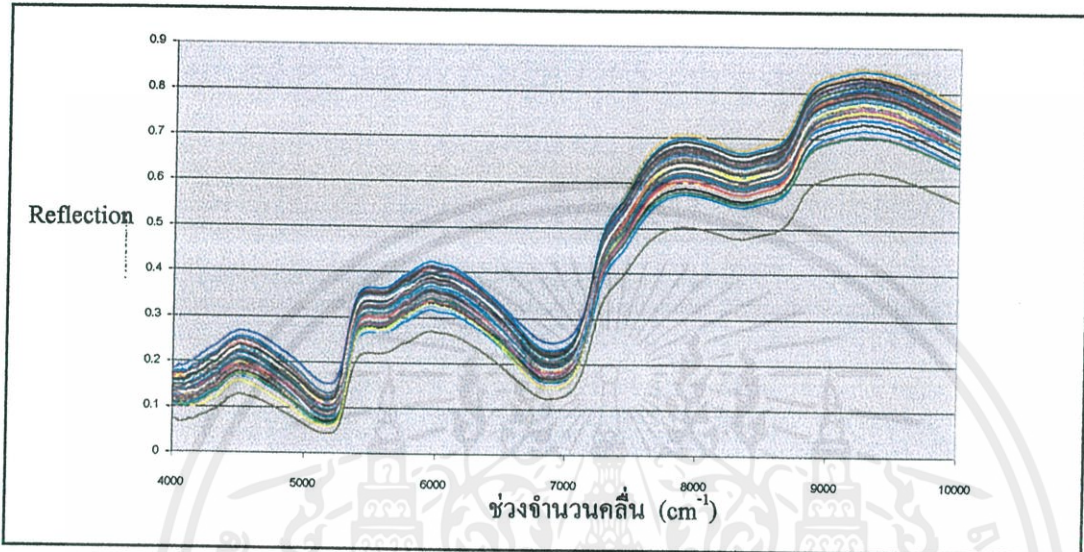
No.	ขนาด			$M_1(g)$	$M_2(g)$	$V_m(cm^3)$	ρ_m (g/cm^3)	SG
	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)					
80	74.25	148.02	70.74	389.72	392.23	393.41	0.99	0.99
81	69.68	153.79	62.73	324.85	327.81	328.80	0.99	0.99
82	68.28	135.58	59.77	276.47	282.79	283.64	0.97	0.98
83	68.43	130.91	61.22	267.11	275.06	275.89	0.97	0.97
84	66.82	135.16	60.22	266.74	272.4	273.22	0.98	0.98
85	71.98	127.09	63.12	290.04	295.87	296.76	0.98	0.98
86	72.01	142.52	66.43	289.85	295.12	296.01	0.98	0.98
87	67.84	131.07	60.23	267.25	267.28	268.08	1.00	1.00
88	66.2	125.94	59.67	248.12	253.6	254.36	0.98	0.98
89	70.99	134.96	63.85	305.82	306.23	307.15	1.00	1.00
90	72.95	146.25	65.57	346.73	351.25	352.31	0.98	0.99
91	67.79	137.95	58.86	258.71	271.07	271.89	0.95	0.95
92	68.38	137.57	64.14	293.83	291.32	292.20	1.01	1.01
93	71.9	141.34	66.03	329.99	330.53	331.52	1.00	1.00
94	67.23	135.34	62.04	281.49	285.5	286.36	0.98	0.99
95	72	142.42	66.13	420.92	425.88	427.16	0.99	0.99
96	72.2	143.96	61.18	315.87	324.95	325.93	0.97	0.97
97	67.32	130.69	61.25	254.11	259.85	260.63	0.97	0.98
98	71.91	141.32	66.11	330.69	330.63	331.62	1.00	1.00
99	70.75	132.47	65.3	301.66	293.88	294.76	1.02	1.03
100	80.07	142.24	71.27	421.92	413.88	415.13	1.02	1.02

หมายเหตุ น้ำที่ใช้ในการทดลองมีอุณหภูมิ 25 °C มีความหนาแน่น 0.997 g/cm³

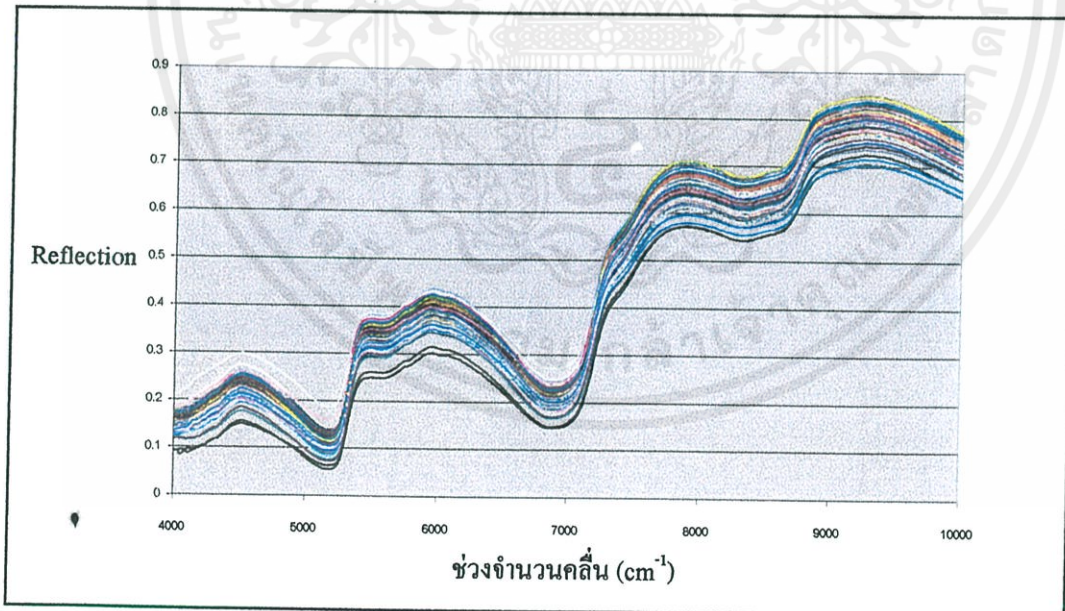
จากตารางที่ A-4 (อินทรชิต หอวิจิตร 2540)

ตอนที่ 2 Near-Infrared (NIR) Spectroscopy

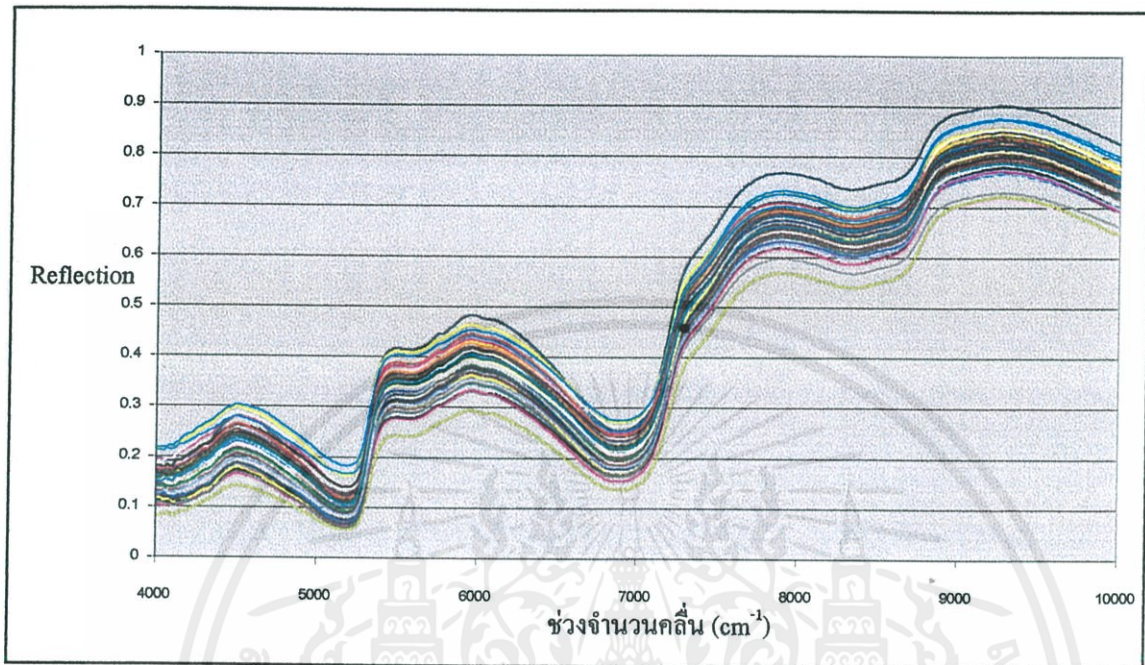
ผลการทดลองที่ 3 : การวัด NIR Spectrum ของผลมะม่วง



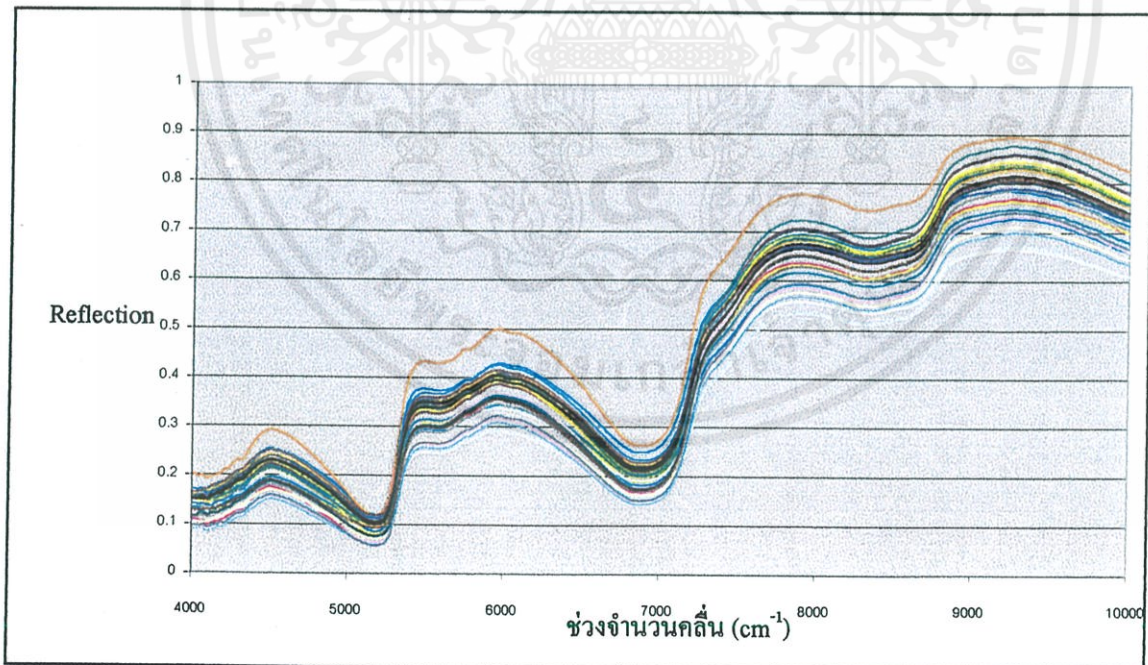
รูปที่ ก1. NIR Spectrum ของผลมะม่วงความแก่ 70 %



รูปที่ ก2. NIR Spectrum ของผลมะม่วงความแก่ 80 %



รูปที่ ก3. NIR Spectrum ของผลมะม่วงความแก่ 90 %



รูปที่ ก4. NIR Spectrum ของผลมะม่วงความแก่ 100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ศึกษาเนื้อสัมผัสของผลมะม่วงด้วย Universal Testing Machine

ผลการทดลองที่ 4 : ทดสอบด้วยวิธี Compression Test , Relaxation Test และ Recovery Test

ตารางที่ ก3. ผลการทดสอบ Texture Properties ของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 70%, 80%, 90% และ 100% ทดสอบโดยวิธี Compression Test

No.	ด้าน	Hardness (N/mn)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
1	A	13.140	10.340	0.3556	0.1734	23.04	0.0037
	B	18.050	17.650	0.4375	0.1635	20.80	0.0028
2	A	14.350	14.290	0.3810	0.3090	26.78	0.0040
	B	14.78	12.000	0.400	0.2705	22.26	0.0042
3	A	12.720	10.340	0.3191	0.1750	25.46	0.0027
	B	15.480	12.000	0.3947	0.1309	23.54	0.0034
4	A	14.480	12.000	0.4146	0.0715	21.20	0.0031
	B	13.570	10.340	0.3810	0.1140	18.07	0.0030
5	A	14.560	14.290	0.3455	0.0780	23.39	0.0041
	B	12.640	10.340	0.2813	0.0648	22.35	0.0027
6	A	15.02	12.000	0.4359	0.1215	22.27	0.0033
	B	11.570	10.340	0.3725	0.0811	24.25	0.0041
7	A	13.160	12.000	0.4000	0.0879	24.35	0.0037
	B	12.300	10.340	0.3404	0.1045	24.35	0.0027
8	A	12.490	10.340	0.3404	0.1155	22.41	0.0044
	B	12.060	9.091	0.3542	0.0809	21.35	0.0027
9	A	14.860	14.290	0.4103	0.0692	22.51	0.0053
	B	9.346	6.667	0.2857	0.0747	23.91	0.0033
10	A	15.310	14.290	0.4615	0.0701	21.85	0.0053
	B	8.724	6.667	0.3077	0.0886	17.76	0.0044

No.	ค้ำาน	Hardness (N/mm)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
11	A	10.990	8.108	0.2909	0.0695	25.57	0.0030
	B	12.920	10.340	0.3696	0.0478	25.04	0.0036
12	A	12.360	10.340	0.3750	0.1008	22.96	0.0035
	B	10.950	9.091	0.2963	0.0927	24.38	0.0031
13	A	11.790	9.091	0.2833	0.0455	21.35	0.0026
	B	11.090	8.108	0.2289	0.0650	20.63	0.0032
14	A	6.946	4.348	0.2069	0.0531	23.29	0.0028
	B	15.690	12.000	0.4211	0.0698	21.69	0.0034
15	A	9.079	6.667	0.2769	0.0390	23.85	0.0038
	B	13.520	10.340	0.3182	0.0334	23.86	0.0038
16	A	11.340	9.091	0.3556	0.0887	23.42	0.0054
	B	11.230	9.091	0.4375	0.0571	22.12	0.0047
17	A	11.310	9.091	0.3208	0.0683	24.81	0.0032
	B	11.060	8.108	0.3148	0.0604	25.10	0.0031
18	A	11.330	9.091	0.3077	0.0857	25.44	0.0032
	B	10.980	9.091	0.3519	0.0790	27.90	0.0038
19	A	12.170	10.340	0.3673	0.0813	25.52	0.0026
	B	10.110	7.317	0.2881	0.0552	26.67	0.0028
20	A	9.660	7.317	0.300	0.0788	22.11	0.0035
	B	12.590	10.340	0.3333	0.0423	26.33	0.0035
21	A	11.250	8.108	0.2742	0.0512	21.53	0.0032
	B	10.410	7.317	0.2857	0.0467	22.57	0.0029
22	A	10.610	8.108	0.3273	0.0768	23.13	0.0030
	B	10.860	8.108	0.3273	0.0575	23.75	0.0030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค้ำาน	Hardness (N/mm)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
23	A	11.220	9.091	0.2429	0.0816	23.48	0.0047
	B	10.230	8.108	0.3158	0.0743	19.39	0.0037
24	A	11.700	9.091	0.3000	0.0260	22.68	0.0026
	B	9.705	7.317	0.2787	0.0470	23.20	0.0034
25	A	10.080	7.317	0.2931	0.0488	23.68	0.0043
	B	11.270	9.091	0.3396	0.0432	25.29	0.0047
26	A	10.750	8.108	0.3133	0.0754	21.08	0.0038
	B	10.530	8.108	0.2778	0.0574	20.77	0.0030
27	A	10.000	7.317	0.2712	0.0181	23.07	0.0015
	B	11.260	9.091	0.3077	0.0141	23.85	0.0025
28	A	12.070	10.340	0.3469	0.0709	23.40	0.0059
	B	9.066	6.667	0.2615	0.0448	23.89	0.0063
29	A	10.040	7.317	0.2632	0.0655	22.19	0.0029
	B	10.850	7.317	0.2407	0.0703	23.44	0.0016
30	A	11.700	10.340	0.3400	0.0226	23.08	0.0042
	B	9.119	6.667	0.2769	0.0691	25.49	0.0026
31	A	8.828	6.667	0.3077	0.0656	21.14	0.0038
	B	11.900	9.091	0.3200	0.0588	24.61	0.0034
32	A	10.310	7.317	0.2881	0.0470	25.03	0.0028
	B	10.330	7.328	0.2883	0.0782	25.21	0.0029
33	A	11.560	9.091	0.3542	0.0268	19.59	0.0035
	B	9.078	6.667	0.2813	0.0418	22.46	0.0032
34	A	8.436	6.122	0.2899	0.0464	21.03	0.0042
	B	12.050	10.340	0.3673	0.0384	23.83	0.0034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค้ำาน	Hardness (N/mm)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
35	A	11.040	9.091	0.3333	0.0450	26.30	0.0031
	B	9.331	7.317	0.2857	0.0465	23.17	0.0033
36	A	8.036	5.660	0.2267	0.0668	26.01	0.0028
	B	12.320	10.340	0.3542	0.0789	25.16	0.0043
37	A	9.376	8.108	0.3333	0.0408	22.86	0.0052
	B	10.950	9.091	0.3519	0.0452	21.68	0.0038
38	A	11.470	9.091	0.3269	0.0626	23.60	0.0048
	B	8.799	6.122	0.2464	0.0393	24.88	0.0024
39	A	10.530	8.108	0.2982	0.0469	25.35	0.0043
	B	9.728	6.667	0.2742	0.0623	24.10	0.0046
40	A	11.060	10.340	0.3333	0.0501	25.67	0.0053
	B	9.192	7.317	0.2769	0.0711	26.82	0.0026
41	A	7.350	5.263	0.2436	0.0605	19.96	0.0026
	B	12.890	10.340	0.3556	0.0413	23.08	0.0020
42	A	8.172	6.122	0.2535	0.0642	24.06	0.0040
	B	11.970	9.091	0.3469	0.0108	23.42	0.0034
43	A	9.898	8.108	0.3115	0.0441	25.56	0.0047
	B	10.080	8.108	0.3448	0.0690	24.27	0.0036
44	A	10.760	9.091	0.3455	0.0429	22.63	0.0045
	B	8.973	10.000	0.2813	0.0427	21.52	0.0026
45	A	12.520	10.340	0.3750	0.0779	23.24	0.0027
	B	7.153	5.263	0.2143	0.0523	28.00	0.0034
46	A	10.170	8.108	0.3220	0.0563	25.37	0.0035
	B	9.441	7.317	0.2857	0.0514	24.44	0.0046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค้ำาน	Hardness (N/mm)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
47	A	13.210	12.000	0.4000	0.0510	24.07	0.0037
	B	6.342	4.110	0.1648	0.0754	23.20	0.0018
48	A	7.868	5.263	0.2162	0.0567	23.98	0.0022
	B	11.590	9.091	0.3269	0.0458	25.63	0.0040
49	A	9.314	6.667	0.2540	0.0438	23.99	0.0020
	B	10.110	7.317	0.2586	0.0325	24.21	0.0036
50	A	11.080	9.091	0.3148	0.0577	25.24	0.0046
	B	8.251	6.122	0.2361	0.0753	23.50	0.0034
51	A	8.566	6.122	0.2353	0.0580	23.18	0.0019
	B	10.660	8.108	0.3214	0.0717	23.21	0.0058
52	A	10.860	9.091	0.3455	0.0255	25.10	0.0060
	B	8.211	6.122	0.2958	0.0408	22.77	0.0046
53	A	8.168	5.660	0.2329	0.0625	24.95	0.0034
	B	10.640	8.108	0.3571	0.0571	25.16	0.0037
54	A	8.430	6.122	0.2429	0.0499	23.46	0.0052
	B	10.280	8.108	0.3158	0.0351	23.45	0.0029
55	A	6.846	4.615	0.2069	0.0563	24.21	0.0042
	B	11.680	10.340	0.3400	0.0576	23.90	0.0042
56	A	9.325	7.317	0.2813	0.0318	24.74	0.0045
	B	9.062	6.667	0.2727	0.1286	24.30	0.0056
57	A	10.650	8.108	0.2963	0.0481	22.69	0.0038
	B	7.679	5.263	0.2405	0.0682	25.28	0.0041
58	A	10.070	8.108	0.3103	0.082	23.91	0.0029
	B	8.233	6.122	0.2500	0.0536	24.71	0.0045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Hardness (N/mm)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
59	A	9.364	7.317	0.2951	0.0466	18.03	0.0040
	B	8.882	6.667	0.2985	0.0399	21.35	0.0037
60	A	10.510	8.108	0.3214	0.033	22.74	0.0023
	B	7.646	5.660	0.2400	0.0316	20.75	0.0038
61	A	9.599	7.317	0.2742	0.0696	25.38	0.0033
	B	8.534	7.317	0.2857	0.0777	25.29	0.0041
62	A	9.211	7.317	0.3065	0.0576	19.04	0.0033
	B	8.891	6.667	0.2500	0.0372	20.31	0.0039
63	A	8.840	6.667	0.2941	0.0632	25.89	0.0036
	B	9.215	6.667	0.2698	0.0409	23.46	0.0039
64	A	8.311	6.122	0.2394	0.0488	24.05	0.0029
	B	9.478	7.317	0.2951	0.0633	21.57	0.0047
65	A	9.300	7.317	0.3125	0.0349	24.03	0.0051
	B	8.470	6.122	0.2754	0.0610	22.71	0.0047
66	A	8.903	6.667	0.2727	0.0453	23.76	0.0025
	B	8.857	7.317	0.2985	0.0447	24.30	0.0055
67	A	9.364	7.317	0.3016	0.0594	20.95	0.0052
	B	8.096	6.122	0.2676	0.0639	18.52	0.0040
68	A	7.319	5.263	0.2179	0.0566	22.25	0.0026
	B	10.09	7.317	0.2456	0.0564	21.88	0.0022
69	A	7.593	5.263	0.2564	0.0046	23.96	0.0037
	B	9.759	8.108	0.2833	0.043	22.28	0.0021
70	A	9.676	7.317	0.3226	0.0542	24.99	0.0046
	B	7.552	5.660	0.2821	0.0365	25.26	0.0052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Hardness (N/mm)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
71	A	8.270	6.122	0.2576	0.0594	24.12	0.0031
	B	8.881	7.317	0.2985	0.0744	24.81	0.0037
72	A	9.658	6.667	0.2787	0.0595	23.31	0.0047
	B	7.350	5.283	0.2346	0.0274	23.07	0.0025
73	A	8.685	6.667	0.2899	0.0698	24.83	0.0047
	B	8.130	6.122	0.2394	0.0681	21.41	0.0035
74	A	8.436	6.122	0.2239	0.0356	21.46	0.0031
	B	8.351	5.660	0.2254	0.0596	23.35	0.0012
75	A	8.980	6.667	0.2813	0.0342	21.50	0.0045
	B	7.802	6.122	0.2588	0.0532	22.00	0.0050
76	A	8.389	6.122	0.2286	0.0424	24.39	0.0030
	B	8.389	6.222	0.2311	0.0723	24.39	0.0031
77	A	8.636	6.122	0.2537	0.0451	21.95	0.0031
	B	8.031	5.263	0.2162	0.0608	23.11	0.0044
78	A	7.616	5.263	0.2208	0.0523	23.61	0.0022
	B	8.971	6.667	0.2615	0.0484	24.92	0.0026
79	A	8.643	6.667	0.2239	0.019	20.25	0.0036
	B	7.931	5.660	0.2254	0.0381	18.04	0.0034
80	A	9.371	7.317	0.2833	0.0240	19.13	0.0048
	B	7.007	4.918	0.2289	0.0385	22.63	0.003
81	A	9.264	7.317	0.2923	0.0691	25.47	0.0032
	B	7.097	4.615	0.2073	0.0630	22.42	0.0020
82	A	7.942	6.122	0.2329	0.0588	24.48	0.0017
	B	8.365	6.122	0.2286	0.0376	23.65	0.0024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Hardness (N/mm)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
83	A	7.605	5.660	0.2338	0.0770	23.45	0.0037
	B	8.531	6.667	0.2794	0.0350	22.49	0.0036
84	A	7.645	5.660	0.2237	0.0580	22.45	0.0022
	B	8.373	6.667	0.2857	0.0457	24.02	0.0041
85	A	6.366	4.348	0.1935	0.0634	24.94	0.0035
	B	9.579	7.317	0.2742	0.0562	25.24	0.0046
86	A	8.116	6.122	0.2982	0.0820	19.06	0.0035
	B	7.823	5.660	0.2742	0.0573	20.29	0.0033
87	A	8.820	7.317	0.2836	0.0420	24.40	0.0043
	B	6.917	4.918	0.2644	0.0070	25.29	0.0051
88	A	4.680	2.857	0.1429	0.0038	23.68	0.0016
	B	11.030	9.091	0.3585	0.0124	22.11	0.0039
89	A	9.314	7.317	0.2923	0.0542	27.03	0.0044
	B	6.372	4.615	0.2151	0.0401	24.33	0.0035
90	A	7.252	5.263	0.2375	0.0103	22.29	0.0036
	B	7.835	6.122	0.2800	0.0431	23.56	0.0033
91	A	8.380	6.667	0.2817	0.0073	23.85	0.0052
	B	6.532	4.918	0.250	0.0451	21.30	0.0037
92	A	8.002	5.660	0.2432	0.0197	26.28	0.0044
	B	6.613	4.348	0.2000	0.0274	25.00	0.0018
93	A	7.040	6.122	0.2909	0.0238	21.99	0.0057
	B	6.794	5.660	0.3696	0.0480	20.72	0.0056
94	A	7.134	6.122	0.3133	0.0434	24.16	0.0054
	B	6.565	5.660	0.2778	0.0041	25.95	0.0050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค้ำาน	Hardness (N/mm)	Deformation at 1 N (N/mm)	Degree of Elasticity	Energy Absorption (Nmm)	Relaxation (%)	Recovery (%)
95	A	6.348	4.918	0.3148	0.0310	24.62	0.0052
	B	6.055	4.348	0.2361	0.0422	25.07	0.005
96	A	5.527	3.529	0.1714	0.0361	21.50	0.0023
	B	5.688	3.704	0.1881	0.0100	21.91	0.0024
97	A	5.659	4.110	0.2300	0.0294	23.76	0.0035
	B	5.421	4.110	0.2252	0.0157	26.44	0.0040
98	A	5.272	4.615	0.2432	0.0253	22.47	0.0039
	B	4.374	3.226	0.2000	0.0331	19.43	0.0031
99	A	3.888	3.371	0.2712	0.0209	26.76	0.0057
	B	4.461	3.896	0.3077	0.0284	26.99	0.0051
100	A	1.780	1.010	0.3065	0.0521	27.09	0.0015
	B	5.784	4.615	0.2500	0.0438	25.80	0.0051

ผลการทดลองที่ 5 : ทดสอบด้วยวิธี Puncture Test

ตารางที่ ก4. ผลการทดสอบ Texture Properties ของมะม่วงอายุการเก็บเกี่ยว 70%, 80%, 90% และ 100% ทดสอบโดยวิธี Puncture Test

No.	ค้ำาน	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
1	A	1.861	11.280	10.270	47.71	5.641	12.70	60.85
	B	2.234	6.235	7.989	83.87	3.118	14.36	58.35
2	A	1.974	8.368	9.429	61.01	4.184	13.46	87.04
	B	2.082	7.754	9.144	56.97	3.877	11.44	88.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
3	A	1.991	6.279	9.501	62.27	3.140	12.18	83.42
	B	1.976	8.915	9.568	49.94	4.457	11.49	82.59
4	A	1.931	5.623	6.595	50.43	2.811	12.15	91.04
	B	2.028	9.062	8.569	50.53	4.531	11.50	74.05
5	A	2.062	8.331	9.714	52.91	4.166	11.69	85.37
	B	1.884	6.307	9.766	47.54	3.154	11.82	79.51
6	A	1.939	7.317	10.040	54.36	3.659	12.46	76.66
	B	1.984	7.288	10.270	45.41	3.644	10.80	81.48
7	A	1.885	7.967	10.120	44.59	3.983	10.32	68.27
	B	2.036	6.606	9.138	54.04	3.303	12.59	89.00
8	A	1.888	7.386	10.710	50.74	3.693	10.87	83.88
	B	2.032	7.011	10.570	47.37	3.506	11.68	71.40
9	A	1.860	8.171	8.222	52.05	4.086	11.98	78.03
	B	2.054	5.960	7.415	44.17	2.98	10.45	76.65
10	A	1.851	6.005	8.616	42.17	3.407	11.07	81.31
	B	2.057	8.122	8.516	53.35	3.620	11.25	72.77
11	A	2.016	6.815	9.201	44.91	3.511	10.36	71.47
	B	1.888	7.241	9.813	50.12	3.421	11.85	81.25
12	A	1.882	7.021	9.854	41.55	3.484	11.69	69.10
	B	2.016	6.842	8.434	52.72	3.335	10.47	82.65
13	A	1.953	6.969	9.733	46.34	3.055	10.38	77.85
	B	1.884	6.670	9.392	46.79	3.684	11.74	72.79
14	A	2.016	6.110	9.232	42.92	3.267	11.45	79.35
	B	1.787	7.369	9.046	50.06	3.451	10.58	70.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค้ำ	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
15	A	1.854	6.533	9.688	57.74	2.770	11.81	71.13
	B	1.946	6.902	9.760	35.08	3.926	10.09	78.35
16	A	1.909	5.540	9.488	52.03	3.366	9.992	64.80
	B	1.879	7.853	9.258	40.42	3.319	11.88	84.40
17	A	1.877	6.732	8.542	40.71	3.956	11.08	76.95
	B	1.905	6.639	9.031	51.18	2.678	10.70	71.94
18	A	1.928	7.911	9.601	48.81	3.647	11.31	74.40
	B	1.850	5.356	10.180	41.68	2.970	10.37	74.13
19	A	1.929	7.293	9.296	40.21	3.088	10.63	72.34
	B	1.847	5.941	9.111	49.09	3.482	10.96	76.09
20	A	1.908	6.176	8.359	41.47	3.265	10.43	71.09
	B	1.848	6.964	9.472	47.54	3.292	11.10	77.12
21	A	1.857	6.531	9.247	47.18	3.276	11.04	71.52
	B	1.898	6.584	9.740	41.70	3.219	10.47	76.41
22	A	1.839	6.552	9.086	39.87	3.002	11.42	77.76
	B	1.910	6.438	8.545	48.25	3.451	10.07	69.57
23	A	1.888	6.919	9.481	47.28	3.46	10.36	80.51
	B	1.860	5.951	8.843	40.42	2.976	11.12	66.68
24	A	1.884	6.048	10.200	45.27	3.024	11.01	73.87
	B	1.863	6.679	10.820	41.57	3.340	10.33	71.70
25	A	1.859	6.408	8.328	47.98	3.204	10.01	78.84
	B	1.884	6.315	7.888	38.63	3.158	11.30	66.52
26	A	1.878	6.173	9.084	48.09	3.087	10.85	73.27
	B	1.857	6.475	9.155	38.36	3.237	10.41	71.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
27	A	1.843	6.253	9.831	42.88	3.127	11.21	66.45
	B	1.885	6.369	9.745	43.18	3.185	10.03	75.25
28	A	1.860	6.210	9.568	45.72	3.105	10.71	74.26
	B	1.868	6.374	9.185	40.34	3.187	10.45	67.41
29	A	1.891	5.774	9.003	46.73	2.887	10.39	64.50
	B	1.832	6.799	9.088	39.04	3.399	10.73	77.10
30	A	1.855	7.175	10.030	47.11	3.587	10.36	73.68
	B	1.852	5.352	10.380	38.13	2.676	10.70	67.19
31	A	1.779	6.422	9.285	35.80	3.211	10.25	64.91
	B	1.899	6.086	8.992	48.68	3.043	10.75	75.33
32	A	1.845	5.619	9.877	43.52	2.809	11.20	63.81
	B	1.827	6.763	9.567	40.63	3.382	9.723	75.82
33	A	1.774	5.544	8.855	37.72	2.772	10.38	65.88
	B	1.877	6.824	9.725	46.17	3.412	10.47	73.15
34	A	1.804	5.838	8.823	43.53	2.919	11.59	72.77
	B	1.847	6.520	9.621	40.28	3.260	9.25	65.89
35	A	1.794	6.910	10.390	41.99	3.455	9.811	72.23
	B	1.836	5.422	10.170	41.24	2.711	10.98	66.42
36	A	1.781	6.315	7.888	41.14	3.158	9.80	64.75
	B	1.815	5.991	9.889	41.96	2.996	10.90	73.18
37	A	1.915	6.560	7.864	43.32	3.280	10.88	65.13
	B	1.672	5.733	8.171	39.03	2.867	9.82	72.66
38	A	1.68	6.66	9.247	40.60	3.330	10.83	69.63
	B	1.893	5.583	8.822	41.69	2.791	9.79	67.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
39	A	1.707	4.93	9.997	46.69	2.465	9.39	66.20
	B	1.855	7.298	9.725	35.57	3.649	11.18	70.58
40	A	1.584	5.822	8.492	43.99	2.911	10.03	67.36
	B	1.946	6.406	9.418	37.79	3.203	10.47	68.70
41	A	1.777	5.848	8.961	36.42	2.924	10.89	69.90
	B	1.745	6.374	8.785	45.36	3.187	9.40	65.28
42	A	1.894	6.123	8.927	35.68	3.061	10.21	73.77
	B	1.626	6.077	9.855	46.01	3.039	10.07	61.33
43	A	1.614	6.276	8.934	38.39	3.138	10.64	69.10
	B	1.891	5.921	9.543	43.22	2.960	9.55	65.89
44	A	1.866	6.367	9.230	45.48	3.183	9.45	63.62
	B	1.598	5.782	9.290	35.99	2.891	10.66	71.02
45	A	1.649	6.031	9.710	45.17	3.015	9.60	68.50
	B	1.813	6.027	9.237	36.27	3.014	10.44	66.12
46	A	1.847	5.114	8.417	40.65	2.712	9.74	61.28
	B	1.602	6.772	9.930	40.73	3.231	10.22	73.11
47	A	1.394	5.424	8.048	43.41	2.557	10.20	62.29
	B	2.049	6.462	8.142	37.84	3.386	9.73	71.87
48	A	1.105	5.598	9.640	47.42	2.799	10.42	69.98
	B	2.331	6.278	9.072	33.79	3.139	9.472	64.01
49	A	1.784	5.246	9.478	40.36	2.908	10.28	68.12
	B	1.636	3.958	8.941	40.55	2.996	9.59	65.75
50	A	1.549	5.257	7.628	42.32	2.629	9.74	66.76
	B	1.859	6.490	8.510	38.50	3.245	10.11	67.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
51	A	1.818	7.021	8.857	36.24	3.510	10.22	67.33
	B	1.582	4.651	8.056	44.29	2.325	9.61	66.17
52	A	1.859	5.291	7.858	42.85	2.646	9.98	70.66
	B	1.536	6.312	8.466	37.62	3.156	9.83	62.66
53	A	1.535	7.244	9.257	47.62	3.622	9.74	62.77
	B	1.849	4.350	7.788	32.83	2.175	10.05	70.29
54	A	1.774	5.379	8.913	37.27	2.689	9.06	68.89
	B	1.589	6.048	8.938	43.09	3.024	10.70	63.70
55	A	1.820	5.109	8.883	37.64	2.555	10.44	66.20
	B	1.532	6.266	9.898	42.33	3.133	9.30	66.22
56	A	1.693	3.531	9.208	34.26	1.766	10.48	62.76
	B	1.655	7.825	8.959	45.63	3.912	9.25	69.31
57	A	1.430	10.080	9.998	37.48	5.038	9.78	63.69
	B	1.912	1.238	10.500	42.36	0.619	9.94	67.95
58	A	1.674	6.442	8.544	40.95	3.221	9.80	65.88
	B	1.654	4.794	7.998	38.71	2.397	9.86	65.51
59	A	1.894	4.961	9.415	37.68	2.480	9.46	64.86
	B	1.431	6.268	9.439	41.02	3.134	10.20	66.40
60	A	1.859	4.992	7.918	42.77	2.496	10.38	64.50
	B	1.457	6.067	8.185	35.46	3.034	9.24	66.06
61	A	1.661	5.677	8.600	42.49	2.839	10.37	67.16
	B	1.65	5.369	8.672	35.47	2.684	9.23	63.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
62	A	1.874	4.622	9.385	41.47	2.311	9.012	67.97
	B	1.437	6.37	10.200	36.47	3.185	10.42	62.28
63	A	1.701	6.029	9.55	36.48	3.015	9.46	67.93
	B	1.608	4.846	9.116	41.17	2.423	9.88	62.21
64	A	1.851	4.625	9.195	37.18	3.458	9.62	65.38
	B	1.447	6.171	9.057	40.34	1.940	9.69	64.39
65	A	1.671	6.915	8.514	41.14	2.312	9.44	69.49
	B	1.614	3.88	8.311	34.93	3.085	9.75	60.21
66	A	1.360	6.919	9.481	42.77	2.418	10.21	67.42
	B	1.913	5.951	8.843	33.17	2.906	8.96	61.58
67	A	1.691	5.177	8.228	43.60	2.568	9.13	62.79
	B	1.547	5.382	8.757	32.27	2.691	9.88	65.75
68	A	1.477	4.681	7.919	25.95	2.341	9.32	60.96
	B	1.756	5.809	7.891	49.78	2.905	9.59	65.03
69	A	1.791	4.096	8.222	38.77	2.048	9.62	65.85
	B	1.439	6.371	8.628	36.78	3.185	9.24	60.25
70	A	1.75	4.794	9.307	38.84	2.397	8.28	60.00
	B	1.476	5.646	8.780	36.61	2.823	10.57	66.01
71	A	1.544	4.157	7.917	43.54	2.078	9.40	60.96
	B	1.650	6.264	8.481	31.86	3.132	9.40	65.03
72	A	1.669	4.763	7.108	36.55	2.382	9.24	60.72
	B	1.500	5.633	7.866	38.82	2.816	9.56	63.96
73	A	1.852	4.66	7.825	35.05	2.330	8.99	64.29
	B	1.316	5.462	8.000	40.20	2.731	9.78	59.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค้ำาน	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
74	A	1.510	4.241	9.365	37.80	2.121	9.26	60.36
	B	1.654	5.822	9.357	37.18	2.911	9.37	63.35
75	A	1.481	3.620	8.957	34.99	1.810	8.90	61.81
	B	1.669	6.284	9.061	38.90	3.142	9.70	61.45
76	A	2.053	4.270	8.322	41.60	2.135	9.53	60.26
	B	1.076	5.460	8.943	32.22	2.730	8.99	62.79
77	A	1.576	4.711	8.887	33.23	2.355	8.91	60.42
	B	1.447	4.994	8.781	40.14	2.497	9.48	62.10
78	A	1.589	6.969	6.754	41.25	3.485	8.79	58.69
	B	1.427	2.706	9.355	32.07	1.353	9.49	62.55
79	A	1.128	3.740	8.798	32.58	1.870	10.34	53.38
	B	1.875	5.877	10.050	40.59	2.938	7.93	67.81
80	A	1.784	1.749	10.350	44.41	0.8747	8.89	67.14
	B	1.151	7.696	10.400	28.53	3.848	9.32	53.62
81	A	1.088	4.622	9.385	31.91	2.311	8.42	59.95
	B	1.847	4.794	7.998	40.88	2.397	9.49	60.61
82	A	1.842	3.424	8.196	35.35	1.712	8.96	60.85
	B	1.077	5.969	8.469	37.31	2.985	8.89	58.35
83	A	1.427	4.500	8.600	36.06	2.250	9.12	55.60
	B	1.423	4.885	8.192	36.59	2.442	8.68	63.50
84	A	1.436	6.273	7.579	36.43	3.137	8.01	61.98
	B	1.405	3.064	9.680	35.93	1.532	9.77	57.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค้ำ	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
85	A	1.454	3.899	7.744	32.92	1.949	8.58	58.41
	B	1.193	5.382	8.803	39.43	2.691	8.76	57.85
86	A	1.351	3.462	9.112	32.60	1.731	8.82	53.72
	B	1.248	5.780	8.694	39.72	2.89	8.43	60.91
87	A	0.791	5.246	9.478	37.24	2.623	8.54	55.91
	B	1.759	3.958	8.941	34.69	1.979	8.55	57.03
88	A	1.810	4.617	6.840	39.04	2.308	8.55	54.65
	B	0.730	4.549	7.111	32.53	2.275	8.20	56.68
89	A	1.368	5.578	10.230	37.30	2.789	7.90	51.11
	B	1.163	3.576	9.504	33.59	1.788	8.47	56.58
90	A	1.661	4.002	7.970	40.31	2.001	7.98	56.60
	B	0.818	5.066	7.197	29.68	2.533	8.27	46.15
91	A	0.725	3.986	8.821	36.64	1.993	7.49	50.68
	B	1.738	4.875	8.885	32.93	2.438	8.21	50.23
92	A	1.076	4.343	4.096	30.9	2.172	7.99	45.19
	B	1.302	4.267	5.555	37.66	2.134	7.07	53.14
93	A	0.667	3.024	4.779	32.35	1.512	6.62	42.28
	B	1.059	4.951	5.975	35.63	2.476	7.75	54.85
94	A	0.138	3.521	7.258	27.62	1.761	7.58	40.52
	B	1.506	4.208	8.091	39.61	2.104	6.55	46.88
95	A	0.830	2.274	8.202	33.9	1.137	3.28	17.15
	B	0.765	5.375	9.078	32.49	2.688	5.55	24.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	Bioyield force (N)	Initial firmness (N/mm)	Average firmness (N/mm)	Toughness (Nmm)	Apparent modulus of elasticity (N/mm ²)	Penetrating force (N)	Penetrating energy (Nmm)
96	A	1.253	3.812	8.683	32.09	1.906	2.42	12.19
	B	0.334	2.968	8.507	33.81	1.484	4.53	25.42
97	A	0.666	2.671	2.576	32.75	2.629	*	*
	B	0.7257	2.812	2.360	32.03	3.245	*	*
98	A	0.327	2.158	1.937	12.61	1.079	*	*
	B	1.007	2.661	2.240	33.07	1.330	*	*
99	A	0.481	2.093	1.766	13.91	1.046	*	*
	B	0.804	2.430	1.872	18.61	1.215	*	*
100	A	0.689	2.381	1.794	16.67	1.190	*	*
	B	0.049	1.924	1.664	11.74	0.961	*	*

หมายเหตุ *ไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการผิดพลาดขณะทำการทดลอง จึงไม่สามารถหาค่าได้



การทดลองชุดที่ 2 การตรวจสอบรสชาติของน้ำมะม่วง โดยวิธี NIR Spectroscopy

ตารางที่ ก5. ลักษณะผิวเปลือกของผลมะม่วงบริเวณ Scan และลักษณะเนื้อมะม่วง

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
1	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
2	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
3	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
4	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
5	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาว เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาว เนื้อแน่น
6	A	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อยมีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
7	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ สีเปลือกไม่สม่ำเสมอ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
8	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล**	สีเหลืองปนขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล**	สีเหลืองปนขาวนวล เนื้อแน่น
9	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
10	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล***	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ***	สีขาวนวล เนื้อแน่น

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
11	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
12	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
13	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
14	A	ผิวมีจุดสีน้ำตาล* * *	สีขาวปนเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล* * *	สีขาวปนเหลืองนวล เนื้อแน่น
15	A	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
16	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
17	A	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
18	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
19	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล มียางเล็กน้อย*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
20	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
21	A	ผิวเรียบ* * *	สีขาวปนเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มียางเล็กน้อย* * *	สีขาวปนเหลืองนวล เนื้อแน่น
22	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
23	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
24	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
25	A	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีน้ำตาล * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
26	A	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
27	A	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
28	A	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
29	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวปนเหลือง เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีขาวปนเหลือง เนื้อแน่น
30	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
31	A	ผิวเรียบ * * *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ * * *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
32	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
33	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
34	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
35	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
36	A	ผิวเรียบ มีรอยจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
37	A	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
38	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ* *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ* *	สีขาวนวล เนื้อแน่น
39	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
40	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีขาวนวล เนื้อแน่น
41	A	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
42	A	ผิวเรียบ * * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ* * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
43	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ* *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
44	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ* *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ* *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
45	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ* * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ* * *	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
46	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ด้าน	ลักษณะผิวเปลือกมะม่วง	ลักษณะเนื้อมะม่วง
47	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
48	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
49	A	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีน้ำตาล*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
50	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
51	A	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น
	B	ผิวเรียบ มีจุดสีดำ*	สีเหลืองนวล เนื้อแน่น

ผลการทดลองที่ 4 : ของแข็งที่ละลายได้(Soluble Solids) ในน้ำมะม่วง

ผลการทดลองที่ 5 : Acidity ของน้ำมะม่วง

ตารางที่ ก6. ผลการทดลองค่าของแข็งที่ละลายได้(Soluble Solids) และค่า %Acidity ในน้ำมะม่วง

No.	%Brix				%Acidity			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
1	8.5	8.6	8.3	8.5	2.59	2.53	2.56	2.72
2	8.1	8.1	8.1	8.2	2.94	2.34	2.62	2.94
3	7.9	8.1	8.6	8.7	2.56	2.98	2.53	2.40
4	9.2	8.9	9.1	8.9	3.46	3.29	3.26	3.49
5	8.8	8.8	8.8	8.9	4.00	4.00	3.62	3.52
6	8.4	8.3	8.6	8.8	2.02	1.98	2.34	2.14
7	8.8	8.7	8.8	8.9	3.46	2.40	3.49	2.85
8	10.5	10.2	10.6	10.5	2.53	2.18	2.53	2.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	%Brix				%Acidity			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
9	8.5	8.5	8.5	8.6	3.04	3.20	3.14	3.20
10	8.8	8.9	8.5	8.5	2.91	3.36	3.8	3.65
11	9.5	9.0	9.1	9.8	3.26	2.94	3.04	2.98
12	8.1	8.0	7.9	8.3	4.00	4.10	3.71	3.68
13	8.9	8.7	9.5	9.1	4.10	3.62	3.90	3.68
14	9.5	9.5	9.8	9.7	2.49	2.49	2.53	2.78
15	7.9	7.8	7.7	7.7	2.66	3.01	2.94	2.85
16	8.2	8.2	8.2	8.2	2.05	2.08	2.30	2.53
17	7.7	7.7	7.9	7.6	3.74	4.06	4.00	3.62
18	8.8	8.7	8.6	8.8	2.34	2.30	2.46	2.40
19	8.2	8.3	8.1	8.2	3.23	3.39	3.62	3.26
20	8.4	8.4	8.4	8.5	3.17	3.26	3.40	3.42
21	8.0	8.2	8.1	8.1	2.72	2.82	2.64	2.85
22	12.4	12.2	12.0	11.8	1.60	1.57	1.66	1.98
23	9.4	9.6	9.5	9.4	1.38	1.47	1.38	1.47
24	9.5	9.4	9.5	9.7	2.62	2.69	2.75	2.82
25	13.8	14.0	14.0	14.1	1.12	1.02	1.22	1.02
26	10.4	10.6	10.6	10.5	2.08	2.14	2.14	2.05
27	9.0	9.2	9.1	9.3	2.05	2.08	1.98	1.92
28	12.8	12.5	12.5	12.4	1.34	1.38	1.47	1.47
29	9.9	10.1	9.7	9.7	1.95	2.05	2.02	1.95
30	8.2	8.2	8.3	8.3	2.82	2.85	2.91	2.85
31	9.2	9.0	9.1	8.8	2.40	2.34	2.34	2.46

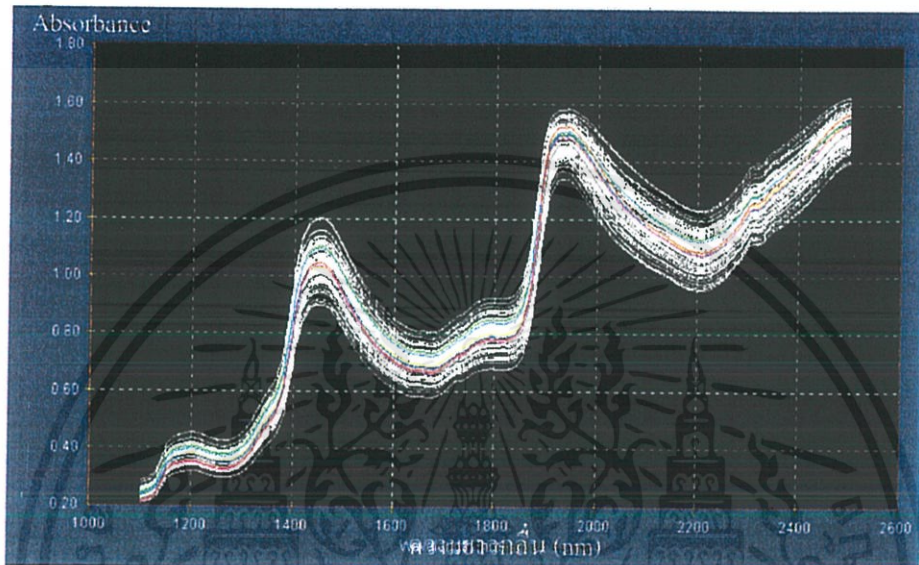
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	%Brix				%Acidity			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
32	9.0	9.1	9.5	9.4	2.94	3.23	3.04	2.98
33	8.0	8.0	8.5	8.4	3.23	3.23	3.04	2.94
34	8.6	8.4	8.7	8.6	2.62	2.75	2.30	2.53
35	8.3	8.2	8.2	8.3	3.23	3.17	3.14	3.04
36	8.4	8.2	8.4	8.5	2.56	2.53	2.53	2.66
37	9.2	9.1	9.0	9.1	2.72	2.62	2.40	2.43
38	10.3	10.3	10.4	10.5	1.44	1.34	1.34	1.25
39	9.9	9.8	9.5	9.5	1.98	1.98	2.21	2.24
40	10.7	10.6	10.2	10.1	1.57	1.66	1.63	1.66
41	10.1	10.1	10.0	10.0	1.70	1.79	1.82	1.82
42	9.3	9.5	9.5	9.9	2.75	2.72	2.91	2.94
43	9.4	9.2	9.9	9.9	1.66	1.57	1.57	1.54
44	8.7	8.9	8.9	8.9	3.26	3.26	3.17	3.26
45	14.2	14.2	14.1	14.1	1.31	1.25	1.18	1.25
46	13.7	13.7	13.7	13.8	1.44	1.44	1.47	1.41
47	8.8	8.7	9.1	9.2	2.08	2.21	1.98	2.08
48	11.1	10.1	11.6	11.7	1.89	1.98	1.79	1.89
49	10.1	10.1	9.9	9.6	2.11	2.21	2.34	2.40
50	10.3	10.4	10.8	10.9	1.98	1.98	2.08	2.21
51	10.3	10.3	10.5	10.5	2.82	2.94	3.07	3.10

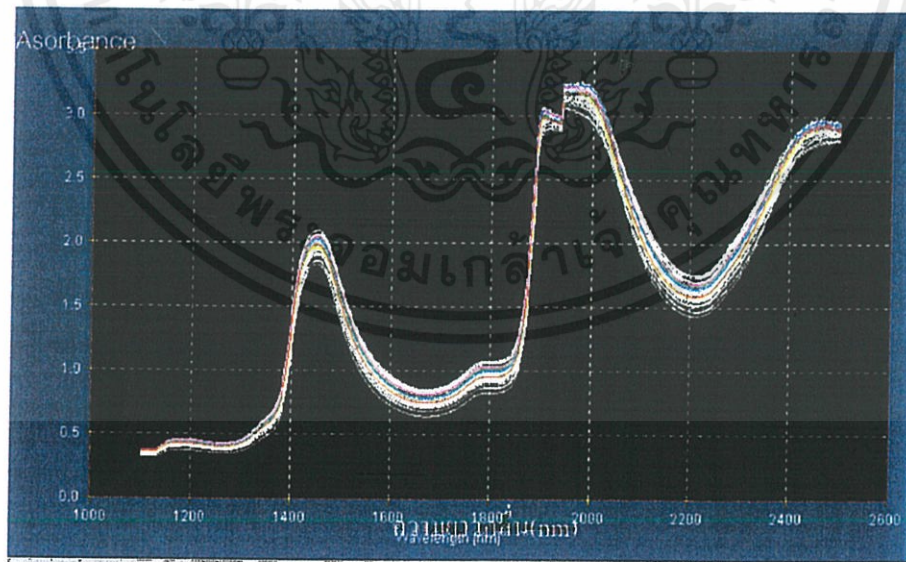
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 8 : ผลการวัด NIR Spectrum ของน้ำมะม่วง

ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลง ค่า Absorbance เมื่อ Wavelength เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ ก5. NIR Spectrum ของผลมะม่วง



รูปที่ ก6. NIR Spectrum ที่ได้จากการ scan น้ำมะม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณในการ Calibration โดย วิธี PLS Regression

ใช้ข้อมูล absorbance (X) ที่ 3 wavelength จาก (Reference) ตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง และมีตัวแปรตาม 1 ตัวแปร (y) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1

โดย X คือ Spectrophotometric absorbances

Y คือ ค่าความเข้มข้น

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงข้อมูลและค่า Average ของ X, y

ตัวอย่าง	X			y
	x1	x2	x3	
1	11.5	10	8	1
2	7	4.5	3	2
3	5.5	2	1	3
4	8	3.5	3	4
5	13.5	8	8	5
ค่าเฉลี่ย	9.1	5.6	4.6	3

ขั้นตอนการคำนวณ

1. หาค่า Average, \bar{x}, \bar{y} ก็จะได้ดังตารางภาคผนวกที่ 1
2. หาค่า $X_0 = X - \bar{X}$, $y_0 = y - \bar{y}$ ได้ดังตารางภาคผนวกที่ 2
3. คำนวณจำนวน Factor ที่เหมาะสม (A max) ดังนั้นจะได้ $a = 1, \dots, A_{max}$ ที่ Factor $a = 1$

3.1 คำนวณค่า Loading weight w_a จาก $w_a = C X'_{a-1} y_{a-1}$

โดย $C = (y'_{a-1} X_{a-1} X'_{a-1} y_{a-1})^{-0.5}$

จะได้ $C = (y'_0 X_0 X'_0 y_0)^{-0.5}$

โดย

$$y_0'X_0 = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.4 & 4.4 & 3.4 \\ -2.1 & -1.1 & -1.6 \\ -3.6 & -3.6 & -3.6 \\ -1.1 & -2.1 & -1.6 \\ 4.4 & 2.4 & 3.4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & -5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$X_0y_0 = \begin{bmatrix} 2.4 & -2.1 & -3.6 & -1.1 & 4.4 \\ 4.4 & -1.1 & -3.6 & -2.1 & 2.4 \\ 3.4 & -1.6 & -3.6 & -1.6 & 3.4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -2 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ -5 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 5 & -5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5 \\ -5 \\ 0 \end{bmatrix} = 50^{-0.5} = 0.141$$

$$w_2 = w_1 = CX_0'y_0$$

$$w_1 = 0.141 \begin{bmatrix} 5 \\ -5 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.71 \\ -0.71 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.2 ดังนั้น $w_1 = \begin{bmatrix} 0.71 & -0.71 & 0 \end{bmatrix}$

3.3 คำนวณ Scores $t_a = X_{a-1}w_a$ จะได้ $t_1 = X_0w_1$ ดังตารางภาคผนวกที่ 2

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงข้อมูล X_0, y_0 , และ t_1

Obj.no	X_0			y_0	t_1
1	2.4	4.4	3.4	-2	-1.4
2	-2.1	-1.1	-1.6	-1	-0.7
3	-3.6	-3.6	-3.6	0	0.0
4	-1.1	-2.1	-1.6	1	0.7
5	4.4	2.4	3.4	2	1.4

3.4 คำนวณ Spectral loading, p_a โดย

$$p_a = X'_{a-1} t_a / t_a' t_a \text{ จะได้ } p_1 = X'_0 t_1 / t_1' t_1$$

จะได้ $p_1 = [0.71 \ -0.71 \ 0]$ ซึ่งจะได้ว่า $w_1 = p_1$

3.5 คำนวณ The Chemical Loading, q_a โดย

$$q_a = y'_{a-1} t_a / t_a' t_a \text{ จะได้ } q_1 = y'_0 t_1 / t_1' t_1$$

จะได้ $q_1 = 1.4$

w_1, p_1 และ q_1 แสดงค่าดังตารางภาคผนวกที่ 3

3.6 สร้าง X, y residuals โดยใช้ E และ f เป็นตัวแทน

$$E = X_{a-1} - t_a p'_a$$

$$F = y_{a-1} - t_a q_a$$

ที่ Factor $a = 2$

4. แทนที่ X_{a-1} และ y_{a-1} ด้วย E และ f ตามลำดับ

ดังนั้น ได้ $X_1 = E$ และ $y_1 = f$ ดังตารางภาคผนวกที่ 4

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงข้อมูล w_1 , p_1 และ q_1 , b และ b_0

Factor a = 1				
w_1	0.71	-0.71	0	
p_1 และ q_1	0.71	-0.71	0	1.4
b และ b_0	1.0	-1.0	0	-0.5

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงข้อมูล X_0 , y_0

Obj.no	X_1			Y_1
1	3.4	3.4	3.4	0
2	-1.6	-1.6	-1.6	0
3	-3.6	-3.6	-3.6	0
4	-1.6	-1.6	-1.6	0
5	3.4	3.4	3.4	0

4.1 กำหนดค่าจากขั้นตอนที่ 1 เป็นค่านมา จนกระทั่ง $a = A_{max}$

5. กำหนด สมการ Calibration

$$y = 1 b_0 + X b \text{ โดย}$$

$$b = w (p' w)^{-1} q$$

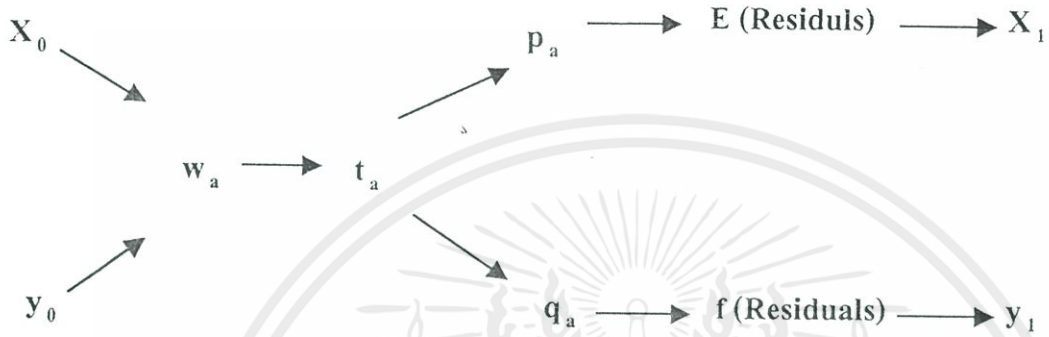
$$b_0 = \bar{y} - \bar{x}' b$$

แสดง Algorithm ดังรูปที่ 1

หมายเหตุ : 1. สมการในบทที่ 2 เทียบได้เป็นสมการในภาคผนวก

2. $C = g_x$ (ในบทที่2)

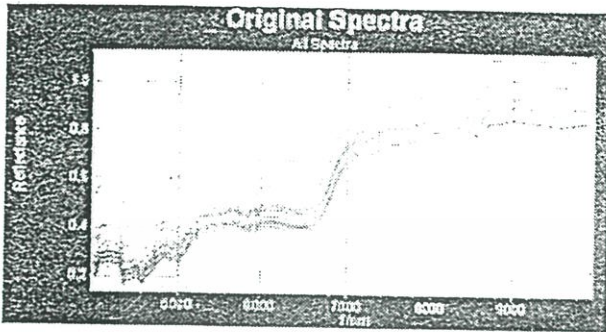
3. $' = T$ (ในบทที่2) หมายถึง การTranspost



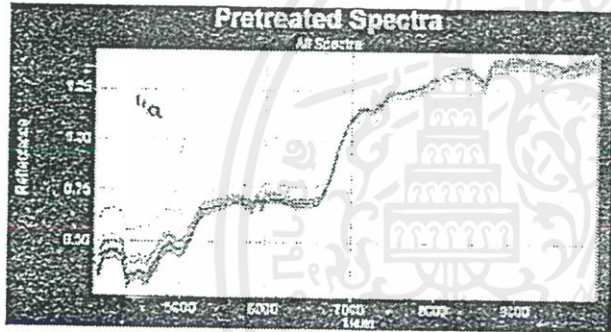
รูปภาคผนวกที่ 1 แสดง Algorithm ของ Caibration

13.1 Normalization

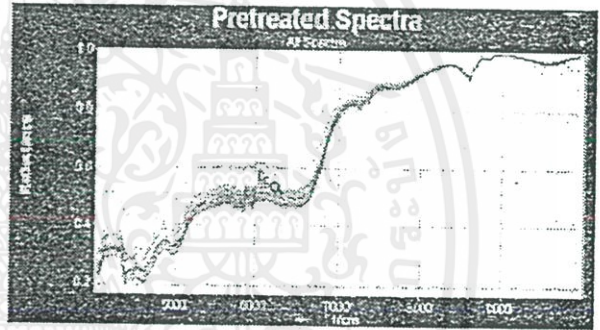
The aim of normalization is to reduce baseline variations.



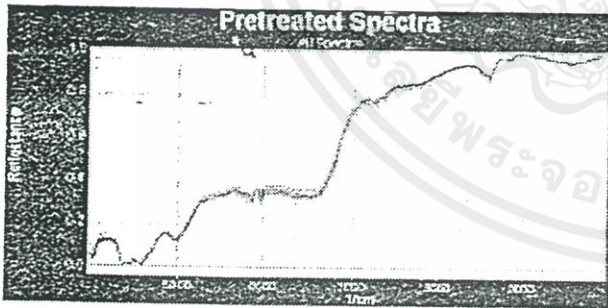
13.1.1 Normalization by Closure



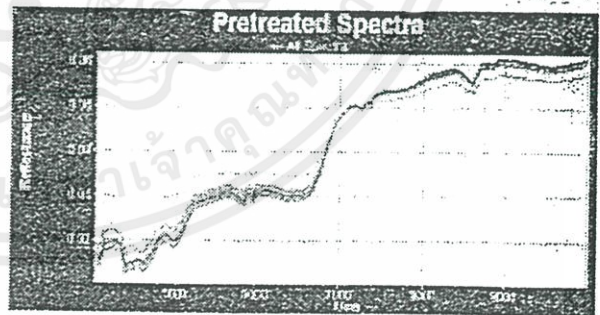
13.1.2 Normalization by Maxima



13.1.3 Normalization between 0 and 1



13.1.4 Normalization to Unit Length



The example shows the effect of the different normalization functions. It is possible to select that normalization function which gives the best results for a given data set.

13.1.5 Formulae

Normalization by Closure (Martens, Naes 1989, p. 337)

(*consideration of wavelength selection)

$$NC = \frac{N \cdot T}{\sum_{i=1}^N T_i}$$

Normalization by Maxima

(*consideration of wavelength selection)

$$N = \frac{T}{\max(T)}$$

Normalization between 0 and 1

(*consideration of wavelength selection)

$$S = \frac{S - \min(S)\bar{I}}{\max(S - \min(S)\bar{I})}$$

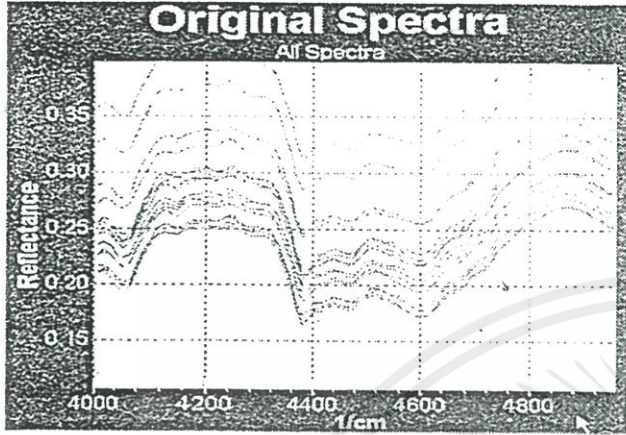
Vector Normalization to Unit Length

(*consideration of wavelength selection)

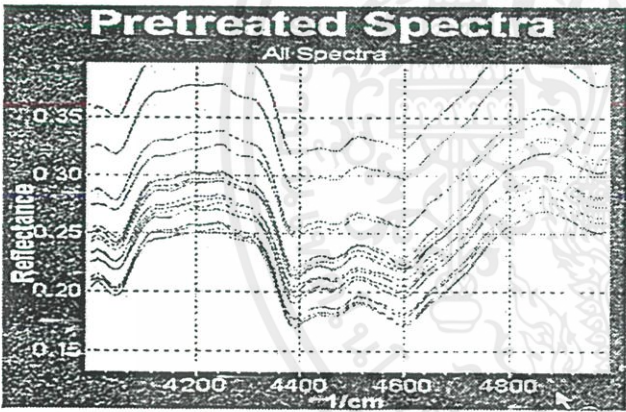
$$VN = \frac{T}{\|T\|} = \frac{T}{\sqrt{T_i^2 + T_{i+1}^2 + \dots + T_n^2}}$$

13.2 Smoothing

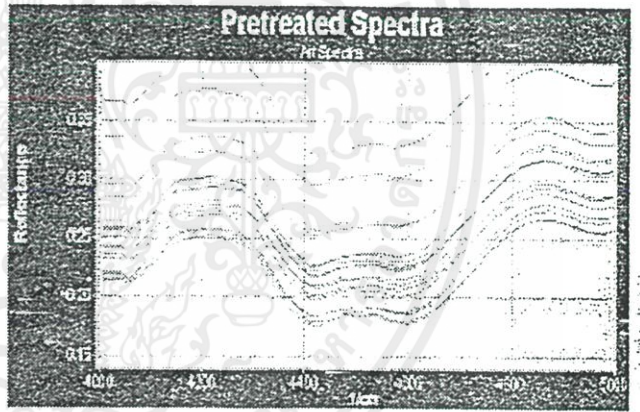
Smoothing is used in order to reduce the noise level in spectra. However when using smoothing the spectral resolution will be affected. The smoothing function should be chosen according to the original data.



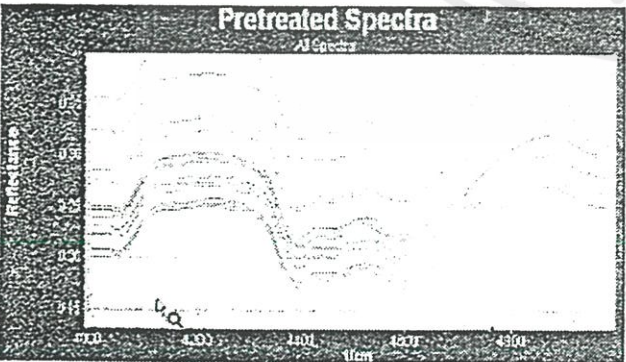
13.2.1 Average 3 Points 



13.2.2 Average 9 Points 



13.2.3 Savitzky-Golay 9 Points 





Please Note

Please chose the smoothing function carefully. No loss of spectral information should appear.

13.2.4 Formulae

Average 3 and 9 Points

$$gm_i = \frac{T_{i-1} + T_i + T_{i+1}}{3}$$

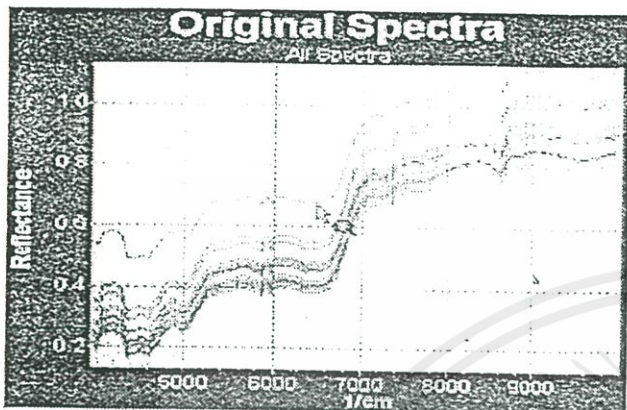
$$gm_i = \frac{T_{i-4} + T_{i-3} + T_{i-2} + T_{i-1} + T_i + T_{i+1} + T_{i+2} + T_{i+3} + T_{i+4}}{9}$$

Savitzky-Golay Smoothing (=zero-order derivative), 9 points, cubic

$$f_{\text{smooth}}(x_i) = \frac{-21f(x_{i+4}) + 14f(x_{i+3}) + 39f(x_{i+2}) + 54f(x_{i+1}) + 59f(x_i) + 54f(x_{i-1}) + 39f(x_{i-2}) + 14f(x_{i-3}) - 21f(x_{i-4})}{231}$$

13.3 1st Derivative

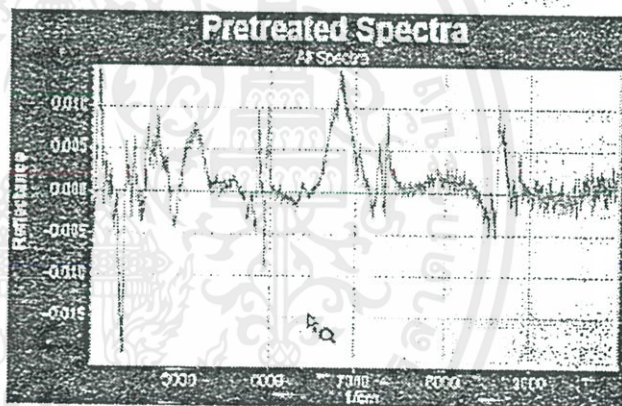
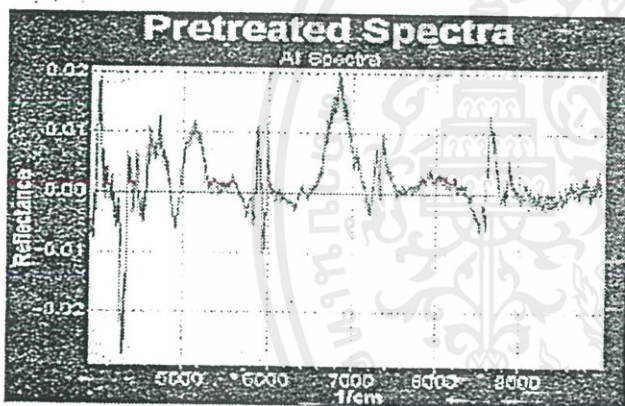
Derivative is used in order to reduce baseline effects. The first derivative will eliminate a linear ordinate offset. The second derivative will eliminate a sloping baseline.



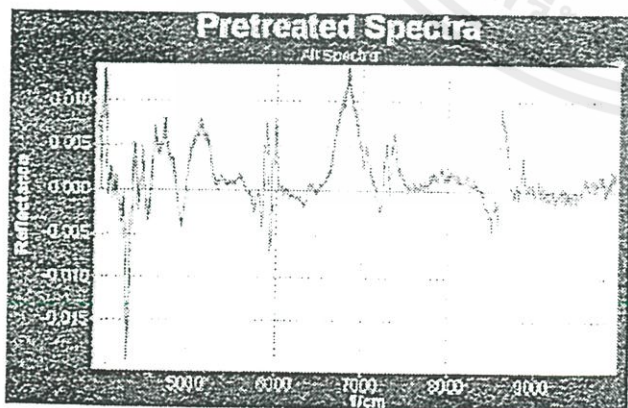
13.3.1 BCAP 4 Point, 1st Derivative



13.3.2 Taylor 3 Point 1st Derivative



13.3.3 Savitzky-Golay 9 Point 1st Derivative



13.3.4 Formulae

BCAP 1st Derivative

$$f'(x_i) = \frac{f(x_{i+2}) + f(x_{i+1}) - f(x_{i-1}) - f(x_{i-2})}{4}$$

Savitzky-Golay 1st Derivative, 9 Points

Savitzky-Golay derivative works with orthogonal polynoms (here cubic)

$$f'(x_i) = \frac{-86f(x_{i+4}) + 142f(x_{i+3}) + 193f(x_{i+2}) + 126f(x_{i+1}) - 126f(x_{i-1}) - 193f(x_{i-2}) - 142f(x_{i-3}) + 86f(x_{i-4})}{1188}$$

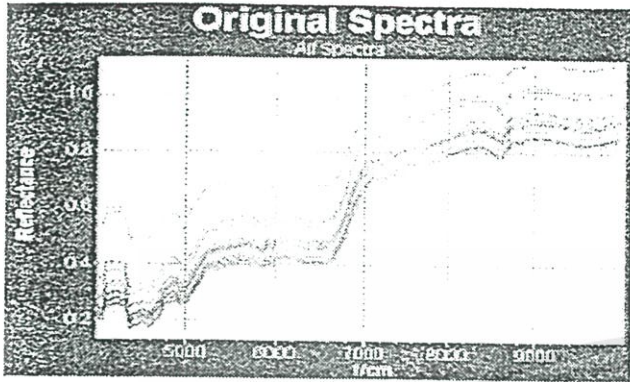
Literature:

Savitzky, Golay Analytical Chemistry Vol. 36, No. 8, July 1964, p.1627-1639, "Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures"

Taylor-Progression 1st Derivative

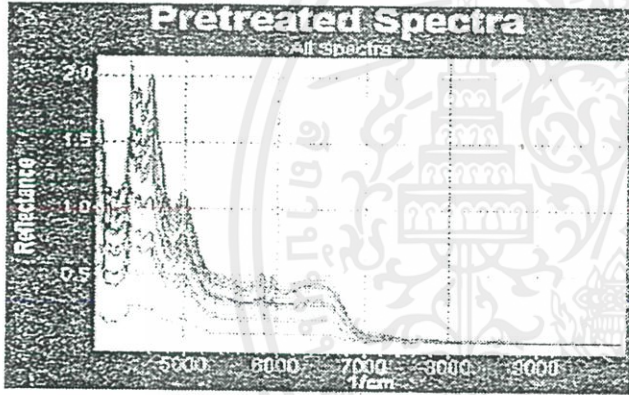
$$f'(x_i) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_{i-1}))}{h^2}; \text{centered}$$

13.7 Ordinate Transformations



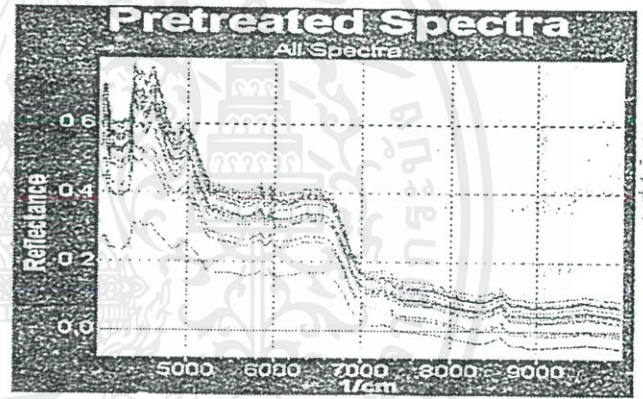
13.7.1 Kubelka-Munk Transformation

KM



13.7.2 Absorbance

log₁₀



13.7.3 Absorbance Inverse

10^x

This is simply the inverse function of the ordinate transformation into absorbance; i.e. an absorbance spectrum will be transformed into transmission/reflectance.

13.7.4 Formulae

Kubelka-Munk

$$KM = \frac{(1-T)^2}{2T}$$

Absorbance

$$A = \log (1 / T)$$

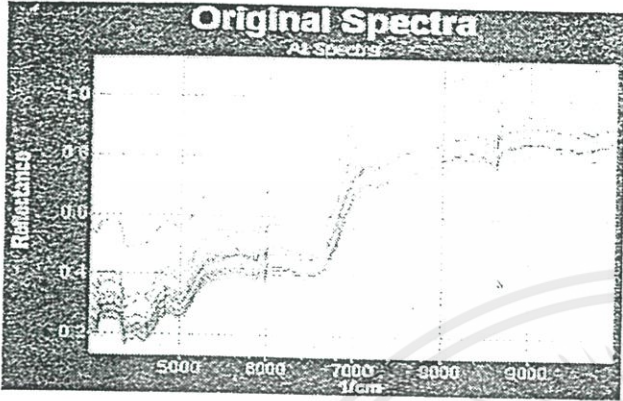
Implemented as:

$$\begin{aligned} A &= -\log_{10}(T) \\ &= -\frac{\log_e(T)}{\log_e(10)} \\ &= -0.434294481902 \log_e(T) \\ T &\in R^+ \end{aligned}$$

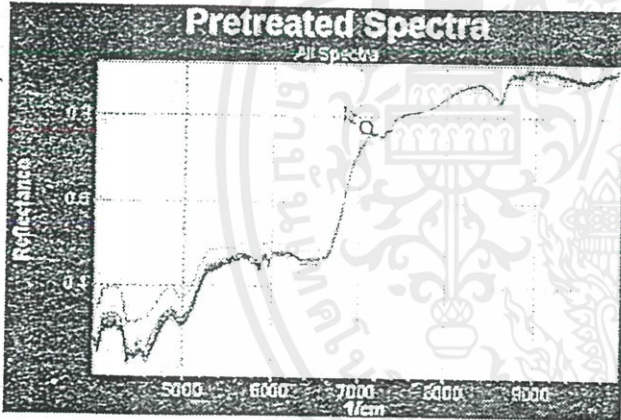


13.5 Multiplicative Scatter Correction (MSC)

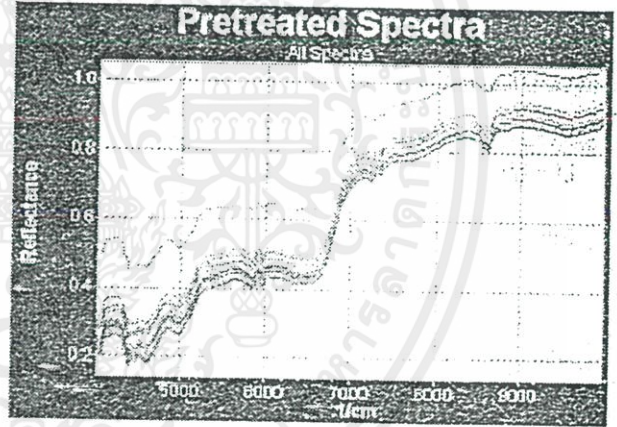
MSC is used in order to reduce or to increase baseline effects caused by scattering.



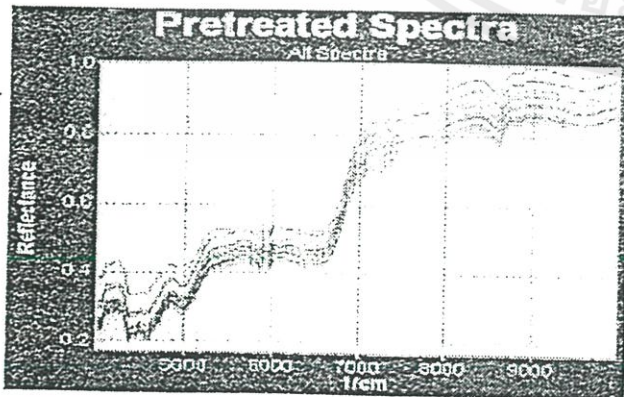
13.5.1 MSC Full



13.5.2 MSC Amplification



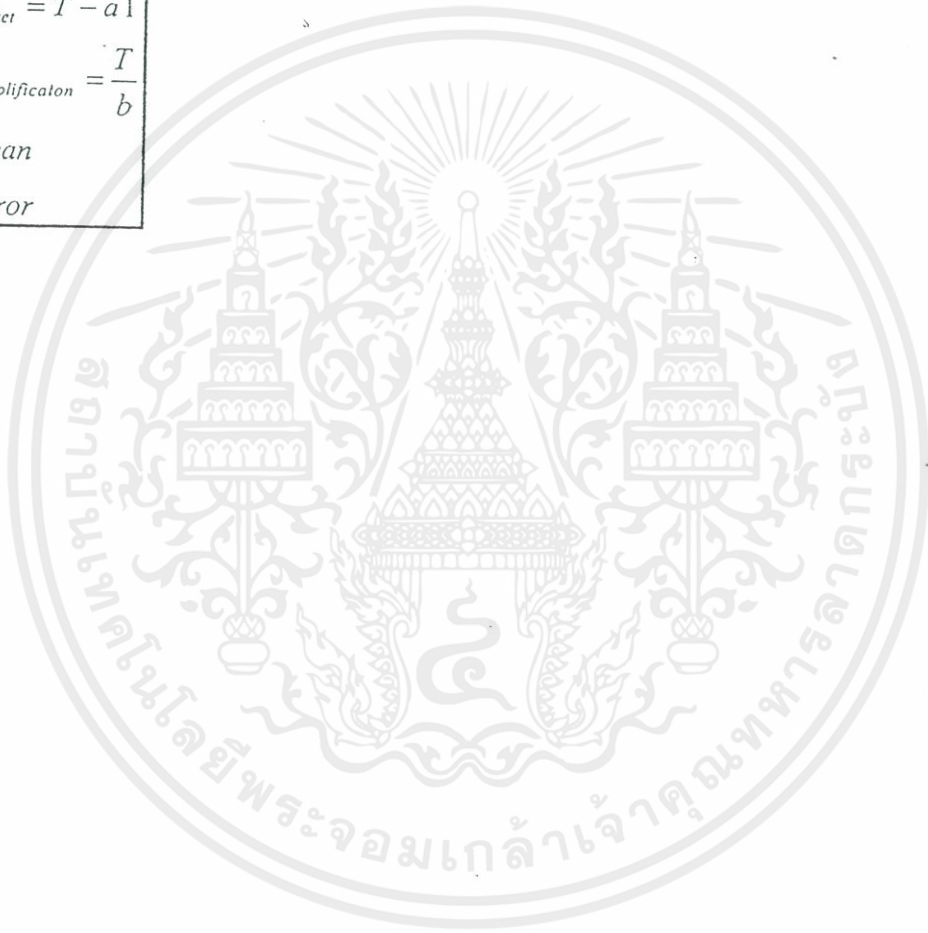
13.5.3 MSC Offset



13.5.4 Formulae

(*consideration of wavelength selection)

$$T = a\bar{l} + b\bar{T} + \bar{E}$$
$$MSC_{full} = \frac{T - a\bar{l}}{b}$$
$$MSC_{offset} = T - a\bar{l}$$
$$MSC_{amplificaton} = \frac{T}{b}$$
$$\bar{T} = Mean$$
$$\bar{E} = Error$$





ภาคผนวก ค.

ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธี MLR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ โดยวิธี Multiterm linear regression (MLR)

หากทำการพิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างจากหลายความยาวคลื่น จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีและถูกต้องมากกว่าการพิจารณาที่ความยาวคลื่นเดียว แต่การคำนวณที่หลายความยาวคลื่นก็ยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นด้วย ดังสมการ จะเห็นว่าตัวแปรตามยังคงมีตัวเดียวคือ Y แต่ตัวแปรอิสระ X มีถึง k ตัว เช่น ค่า $\log(1/R)$ ที่ความยาวคลื่น k ตำแหน่ง ในการคำนวณจะต้องทำการหาค่า b_0 และค่า b จำนวน k ค่า

สมการรีเกรซชัน

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

โมเดลรีเกรซชัน

$$Y_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + \dots + b_kX_{ki} + e_i$$

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์รีเกรซชันบางส่วน (partial regression coefficient)

การหาค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้จะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) ในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีไม่มากก็สามารถใช้วิธีการแก้สมการปกติได้ แต่หากตัวแปรอิสระมีมากควรจะใช้ระบบเมตริกซ์ในการแก้สมการ ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณ ทำให้สะดวก, รวดเร็ว ลดความยุ่งยากและความผิดพลาดในการคำนวณได้มาก

$$Y = X * B + F$$

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{21} & X_{31} & \dots & X_{k1} \\ X_{12} & X_{22} & X_{32} & \dots & X_{k2} \\ X_{13} & X_{23} & X_{33} & \dots & X_{k3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{1n} & X_{2n} & X_{3n} & \dots & X_{kn} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix}$$

$$b_0 = \bar{y} - \sum b_k \bar{x}_k$$

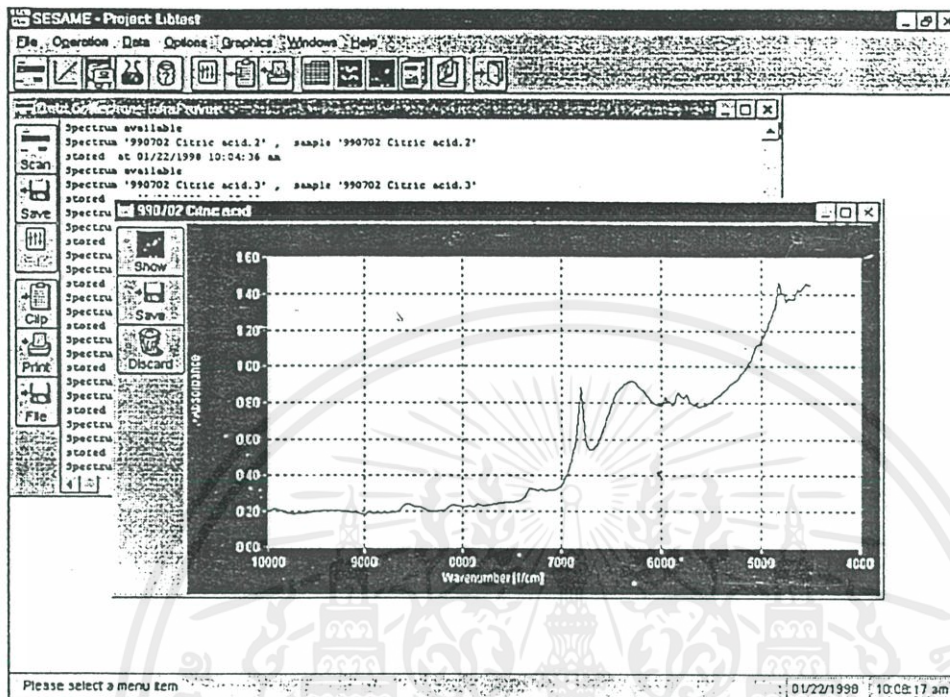
$$b = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

$$r = \sqrt{(b^T X^T Y) / (Y^T Y)}$$

$$RMSEC = \sqrt{\sum_{i=1}^n ((o_i - Y_i)^2 / (n - 1 - A))} ; n = \text{จำนวนตัวอย่าง}, A = \text{จำนวน component}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

You can examine the spectrum visually and access the Graphics Menu options. See page 159.



You must now either store or discard the spectrum before you can proceed to the next scan or other Data Collection options. Operator level users can only store the spectrum.

Storing or discarding the spectrum

To store the spectrum:

1. Click the SAVE icon in the Graphics window or select *Save Spectrum* from the Graphics Menu.
2. If you chose to store the spectra in a new series when you opened the Data Collection window, you will be now asked to enter a name and a comment for the series in which the spectrum will be stored. Afterwards select *OK*.
3. Enter information about the sample the spectrum was taken of. Select:
 - **Create** to create a new sample. The "Create New Sample" dialog box will open. Proceed as follows:
 1. Enter a name for the sample. For the first sample the default name is the series name followed by a number, for later samples it is the name of the previous sample. You can accept it or overwrite or edit it.
The name can be, for example, the name in the laboratory logbook or the product code followed by a number.
 2. If you like, type in a comment to make it easier to recognize the sample.

เอกสารอ้างอิง

- [1] พัทธก ทองเนียน, ไพลิน ชัยตรี, สาวิตรี นิลท้อย, “การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุด โดยวิธี NIR Spectroscopy”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
- [2] ภูวนาด นนทรีย์, “คู่มือการปลูกมะม่วง”, โครงการหนังสือเกษตรชุมชน, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2545
- [3] มนุ ไปสมบูรณ์, “การผลิตมะม่วงคุณภาพดี”, กลุ่มไม้ผลกองส่งเสริมเกษตรพืชสวน, ไม่ปรากฏปี, กรุงเทพฯ
- [4] วารุณี ชนะแพศย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ธงชัย สุวรรณดิษณณ์, “การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก”, สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545
- [5] วิจิตร วังโน, “การทำสวนมะม่วง”, คณาจารย์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2536
- [6] อินทรชิต หอวิจิตร, “อุณหพลศาสตร์ 1”, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2540
- [7] Aoki H, Akinawasaki S, Kouno T, Maeda H, Mizuno T, Tanabe T, “Determination of the Total Soluble Solids in Mango Fruit Produced on Okinawa by NIR Spectroscopy”, ไม่ปรากฏที่มา
- [8] Guthrie and Walsh, Non-Invasive Assessment of Pineapple and Mango Fruit Quality using Near Infra-red Spectroscopy, Australian Journal of Experiment Agriculture, 1997
- [9] Panmanas Sirisomboon, Munehiro Tanaka, Takayoshi Akinaga and Takayuki Kojima, “Evaluation of the Textural properties of Japanese pear”, Journal of Texture Studies 31, 2000