



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาคุษุบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)

ปริญญา

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง คุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยา และแสงที่สัมพันธ์กับการคัดคุณภาพของผล
แก้วมังกร
Physical, Mechanical, Physiological, and Light Properties of Dragon Fruits as Related to
Quality Grading

นามผู้วิจัย นางจิตทิพย์ วานิชขัง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(Professor Pictiaw (Paul) Chen, Ph.D)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์สาขชล เกตุษา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

คุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยาและแสงที่สัมพันธ์กับการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกร

Physical, Mechanical, Physiological, and Light Properties of Dragon Fruits as Related to
Quality Grading

โดย

นางใจทิพย์ วานิชชัง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)

พ.ศ. 2553

ใจทิพย์ วานิชช่วง 2553: คุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยาและแสงที่สัมพันธ์กับ
การคัดคุณภาพของผลแก้วมังกร ปริญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บ
เกี่ยว) สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D
175 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติ
ทางสรีระวิทยา และคุณสมบัติการสะท้อนแสงที่สัมพันธ์กับการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกร
ทำการศึกษาแก้วมังกร 2 พันธุ์ คือพันธุ์เนื้อขาว (*Hylocereus undatus*) และพันธุ์เนื้อแดง
(*Hylocereus polyrhizus*) จากสวนในจังหวัดชลบุรี โดยเก็บเกี่ยว วันที่ 23-40 หลังดอกบาน

จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางสรีระวิทยา
และ คุณสมบัติการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรเปลี่ยนแปลงตามวันหลังดอกบาน ช่วงที่
เจริญเติบโตเต็มที่อายุ 28-30 วันหลังดอกบานจะมีคุณภาพดีที่สุด ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง
 $\text{Log}(R_{680}/R_{550})$ มีความสัมพันธ์กับความสุกแก่มากที่สุด ดังนั้น เมื่อใช้คุณสมบัติเหล่านี้ ในการ
แบ่งกลุ่มแก้วมังกรตามความสุกแก่และตามพันธุ์ ได้ความถูกต้อง 94.9 และ 91.4% ในพันธุ์เนื้อแดง
และพันธุ์เนื้อขาว ตามลำดับโดยใช้เทคนิค Discriminant analysis และดัชนีการสุกแก่ (Multivariate
Maturity Index: MMI) ของผลแก้วมังกรถูกสร้างจากวันหลังดอกบาน คุณสมบัติที่การตรวจวัดต้อง
ทำลายตัวอย่าง (Destructive) โดยใช้ Principal Component Analysis (PCA) สามารถทำนายค่า MMI
ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง และรวมทั้ง 2 พันธุ์ได้โดยใช้ Partial Least Square Regression (PLSR)
จากคุณสมบัติของแก้วมังกรที่การตรวจวัดโดยไม่ทำลายตัวอย่าง (Non destructive) 3 คุณสมบัติ คือ
ค่าสี a, b และ $\text{Log}(R_{680}/R_{550})$ ส่วนพันธุ์เนื้อขาว ต้องใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงช่วง 400-700
นาโนเมตร โดยให้ผลการทำนายที่ไม่แตกต่างจากการทำนายด้วยคุณสมบัติทางกายภาพ และค่าการ
สะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร โดยคุณสมบัติแบบไม่ทำลายนี้สามารถนำมาประยุกต์สร้าง
อุปกรณ์คัดคุณภาพของผลแก้วมังกรได้

Jaitip Wanitchang 2010: Physical Mechanical Physiological and Light Properties of Dragon Fruits as Related to Quality Grading. Doctor of Philosophy (Postharvest Technology), Major Field: Postharvest Technology, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Anupun Terdwongworakul Ph.D. 175 pages.

The objective of this research was to investigate the physical, mechanical, physiological, and light properties of dragon fruits that related to quality grading. The dragon fruit of concern included both varieties *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. The fruits were harvested at 23-40 days after fruit setting.

The study revealed that the physical properties, mechanical properties, physiological properties, and light properties were related to days after fruit set (DAFS). The best quality performed at the mature stage which was 28-30 DAFS. Light reflectance ratio Log (R680/R550) showed the highest correlation with the maturity. All of the mention properties can be used to classify dragon fruit according to the maturity stage and varieties by using discriminant analysis with 94.9 and 91.4 % correctly classified in *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*, respectively. The multivariate maturity index (MMI) was performed with destructive propertied and DAFS by using principal component analysis (PCA). The Partial Least Square Regression Model with color values a, b and Log (R680/R550) can predict not only MMI of *Hylocereus polyrhizus* but also MMI of both varieties precisely. Whereas MMI of *Hylocereus undatus* used visible spectrum at 400-700 nm as predictors. The prediction result was not significantly different from the model with physical properties and visible spectrum at 400-700 nm as predictors. So these nondestructive properties can be used in the design of the quality grading machine for dragon fruit.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบชี้แนะแนวทาง และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และ Professor Dr. Pictiaw Chen กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และข้าพเจ้าขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูง แก่ ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จริโมภาส ผู้ล่งลับ ซึ่งได้กรุณาชี้แนะทาง ให้ความรู้ ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย

พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. รังสิณี โสธรวิทย์ ประธานการสอบและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สนธิสุข ชีรชัยชยติ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษา และวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสับสนุนทุนการศึกษา และงบประมาณวิจัย

ขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่ช่วยสนับสนุนให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จิตติพัทธ์ วานิชชัง

สิงหาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	15
อุปกรณ์	15
วิธีการ	15
ผลและวิจารณ์	27
สรุป	121
ข้อเสนอแนะ	123
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	124
ภาคผนวก	130
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	175

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว (<i>Hylocereus undatus</i>)
2	ขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)
3	น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่นของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว
4	น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่นของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง
5	อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว
6	อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง
7	ค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว
8	ค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง
9	ค่า TSS ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวที่ตำแหน่งต่างๆ ของผล
10	ค่า TSS ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่ตำแหน่งต่างๆ ของผล
11	ค่าอัตราส่วน TSS ต่อ TA ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว
12	ค่าอัตราส่วน TSS ต่อ TA ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง
13	ค่าสีของผลแก้วมังกรในหน่วย Hunter Lab ตามวันหลังดอกบาน
14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ความแตกต่างของ คุณสมบัติของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์แบ่งตามระยะการสุกแก่ 3 ระดับ
15	คุณสมบัติของแก้วมังกรจำแนกตามพันธุ์และระยะการสุกแก่
16	Test of Equality of group means
17	Eigenvalue ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม
18	ค่า Wilks' Lambda ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม
19	Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม
20	Classification Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	Functions at Group Centroids ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม	92
22	Classification result ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม	94
23	คุณสมบัติของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงแยกตามกลุ่ม Calibration และ Validation set	95
24	ค่าการสะท้อนแสง ช่วง 400-700 นาโนเมตรของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง	96
25	คุณสมบัติของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวแยกตามกลุ่ม Calibration และ Validation set	97
26	ค่าการสะท้อนแสง ช่วง 400-700 นาโนเมตรของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว	98
27	คุณสมบัติของแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์แยกตามกลุ่ม Calibration และ Validation	100
28	ค่าการสะท้อนแสง ช่วง 400-700 นาโนเมตรของแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์	101
29	แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายคุณสมบัติของแก้วมังกรแบบทำลาย โดยใช้คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลายในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง	103
30	แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายคุณสมบัติของแก้วมังกรแบบทำลาย โดยใช้คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลายในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว	104
31	แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายคุณสมบัติของแก้วมังกรแบบทำลาย โดยใช้คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลายสำหรับแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	105
32	แสดงค่า X-Loading ของ PC1 และ PC2 เมื่อทำ PCA ของคุณสมบัติแบบทำลายและวันหลังดอกบานของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง	106
33	แสดงค่า X-Loading ของ PC1 และ PC2 เมื่อทำ PCA ของคุณสมบัติแบบทำลายและวันหลังดอกบานของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว	106
34	แสดงค่า X-Loading ของ PC1 และ PC2 เมื่อทำ PCA ของคุณสมบัติแบบทำลายและวันหลังดอกบานของแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์	107
35	แสดงตัวแปร (Predictors) ใน PLSR model สำหรับทำนายค่า MMI	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
36 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายค่า MMI_R ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง โดยใช้คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลาย	112
37 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายค่า MMI_R ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว โดยใช้คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลาย	114
38 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายค่า MMI ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ โดยใช้คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลาย	116
39 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ PLSR model prediction สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง	118
40 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ PLSR model prediction สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว	119
41 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ PLSR model prediction สำหรับแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์	120
 ตารางผนวกที่	
1 ค่า TSS ปริมาณ NaOH และค่า %TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว	131
2 ค่า TSS ปริมาณ NaOH และค่า %TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง	140
3 การเปรียบเทียบ MMI_R prediction ของ model ทั้ง 8	146
4 การเปรียบเทียบ MMI_W prediction ของ model ทั้ง 8	148
5 การเปรียบเทียบ MMI_WR prediction ของ model ทั้ง 8	150
6 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ model 1	155
7 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ model 3	155
8 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ model 4	156
9 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ model 5	156
10 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ model 6	157

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
11	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ model 7	157
12	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ model 8	158
13	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ Model 1	158
14	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ Model 3	159
15	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ Model 4	159
16	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ Model 5	160
17	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ Model 6	160
18	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ Model 7	161
19	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ Model 8	161
20	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ Model 1	162
21	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ Model 2	162
22	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ Model 4	163
23	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ Model 5	163
24	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ Model 6	164
25	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ Model 7	164
25	การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ Model 8	165

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงการวัดขนาดของผลแก้วมังกร	17
2 แสดงลักษณะการวัดค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกร	18
3 การวัดความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรทั้งเปลือก (Fruit firmness)	19
4 การวัดความแน่นเนื้อของเนื้อแก้วมังกร (Flesh firmness)	20
5 กราฟแรงและการเปลี่ยนรูปแสดงตำแหน่ง 30% ของแรงกดสูงสุด	20
6 การเตรียมชิ้นแก้วมังกรสำหรับการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	22
7 การวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง Refractometer	22
8 ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว (<i>Hylocereus undatus</i>) ที่อายุ 23-40 วันหลัง ดอกบาน	28
9 ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) ที่อายุ 23-40 วันหลัง ดอกบาน	30
10 ขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลัง ดอกบาน	34
11 ขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงตามวันหลัง ดอกบาน	36
12 เปรียบเทียบอัตราส่วนความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	37
13 เปรียบเทียบค่า % Sphericity ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	38
14 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ตามวันหลังดอกบาน	41
15 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ตามวันหลัง ดอกบาน	41
16 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวช่วง 23-26 วันหลัง ดอกบาน	44
17 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวช่วง 27-30 วันหลัง ดอกบาน	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวช่วง 32-40 วันหลังดอกบาน	46
19	น้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน	47
20	ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน	49
21	ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงช่วง 27-30 วันหลังดอกบาน	50
22	ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงช่วง 32-40 วันหลังดอกบาน	51
23	น้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงตามวันหลังดอกบาน	52
24	อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ตามวันหลังดอกบาน	53
25	การวัดค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรด้วยเครื่อง Universal Testing Machine	54
26	ค่าความแน่นเนื้อผล (Fruit firmness) ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	57
27	ค่าความแน่นเนื้อ (Flesh firmness) ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	58
28	การเตรียมชิ้นเนื้อแก้วมังกรสำหรับตรวจวัดค่า TSS	59
29	ค่า TSS ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวที่ตำแหน่งต่างๆของผล ตามวันหลังดอกบาน	61
30	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเปลือก (color a) กับค่า TSS ของผลแก้วมังกร	62
31	ค่า TSS ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงที่ตำแหน่งต่างๆของผล	64
32	เปรียบเทียบค่า TSS เฉลี่ยของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
33 การเปลี่ยนแปลงค่า TSS และ TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน	67
34 การเปลี่ยนแปลงค่า TSS และ TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงตามวันหลังดอกบาน	69
35 เปรียบเทียบค่า TA ของแก้วมังกร 2 พันธุ์	69
36 ค่า TSS/TA ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	70
37 การตรวจวัดค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรด้วยเครื่องวัดสี Hunter color flex	71
38 ค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวทั้งผลในช่วง 400-700 nm	72
39 ค่าการสะท้อนแสงในช่วง 400-700 นาโนเมตร ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน เมื่อทำการ Normalized ด้วยค่าการสะท้อนแสงที่ 550 นาโนเมตร	73
40 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง (R/R550) ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน ช่วง 600-700 นาโนเมตร	73
41 ลักษณะชั้นเนื้อแก้วมังกรสำหรับวัดค่าการสะท้อนแสงด้วยเครื่อง Hunter color flex	74
42 ค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวในช่วง 400-700 nm	75
43 ค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงช่วง 400-700 nm	75
44 ค่าการสะท้อนแสงในช่วง 400-700 นาโนเมตร ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงตามวันหลังดอกบาน เมื่อทำการ Normalized ด้วยค่าการสะท้อนแสงที่ 550 นาโนเมตร	76
45 เปรียบเทียบอัตราส่วนการสะท้อนแสง (R) ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง	77
46 ค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงในช่วง 400-700 nm	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
47	เปรียบเทียบค่า R680/R550 ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	79
48	เปรียบเทียบค่า $\log(R680/R550)$ ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	80
49	เปรียบเทียบค่าสี L ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	82
50	เปรียบเทียบค่าสี a ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	83
51	เปรียบเทียบค่าสี b ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	83
52	Scatter plot ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรตาม Function 1 และ 2	93
53	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MMI_R และวันหลังดอกบานของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง	108
54	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MMI_W และวันหลังดอกบานของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว	109
55	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MMI และวันหลังดอกบานของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์	110

คำอธิบายสัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ

TSS	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้
TA	=	ปริมาณกรดทั้งหมด
PCA	=	Principal Component Analysis
PLSR	=	Partial Least Square Regression
SEC	=	Standard Error of Calibration
SEP	=	Standard Error of Prediction
RPD	=	Ratio of standard error of Prediction to standard Deviation
R	=	Light Reflectance

คุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยาและแสงที่สัมพันธ์กับการคัดคุณภาพ
ของผลแก้วมังกร

Physical, Mechanical, Physiological, and Light Properties of Dragon Fruits as
Related to Quality Grading

คำนำ

แก้วมังกรจัดเป็นผลไม้ชนิดใหม่อีกชนิดหนึ่งซึ่งกำลังเป็นที่นิยมเพาะปลูกกันอย่างแพร่หลาย สามารถปลูกได้ง่าย ทนทาน เป็นพืชในตระกูลเดียวกับตะบองเพชร ผลมีสีแดง ส่วนเนื้อมี 2 สี คือ พันธุ์เนื้อขาว (*Hylocereus undatus*) และพันธุ์เนื้อแดง (*Hylocereus polyrhizus*) แก้วมังกรเป็นผลไม้บริสุทธิ์ปลอดภัยจากสารพิษ มีกากใยอาหารสูง แคลอรีต่ำ อุดมไปด้วยวิตามินซีและคลอโรฟิลล์ ประเทศในกลุ่มอาเซียนนำเข้าแก้วมังกรจำนวนมาก โดยนำเข้าจากประเทศอิสราเอลมากที่สุด ถึง 42 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นประเทศเวียดนาม 40 เปอร์เซ็นต์ และจากประเทศไทยเพียง 18 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น การที่จะเพิ่มส่วนแบ่งการตลาดของแก้วมังกรในตลาดอาเซียนจะต้องให้ความสนใจกับคุณภาพของแก้วมังกร (Humphreys, 2005) ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานของแก้วมังกรเพื่อการส่งออก ส่วนใหญ่กำหนดคุณภาพตามน้ำหนักผล คือ เกรดเอใหญ่ น้ำหนัก 526 กรัมขึ้นไป เกรดเอน้ำหนัก 451-525 กรัม เกรดบี น้ำหนัก 376-450 กรัม เกรดเล็ก น้ำหนัก 301-375 กรัม และเกรดจ๊วน้ำหนัก 226-300 กรัม (นฤมล, 2537) คุณภาพของแก้วมังกรไม่ได้ขึ้นกับพันธุ์เท่านั้นยังขึ้นกับระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (Merten, 2003)

สมบัติความแน่นเนื้อของผลไม้สัมพันธ์กับอายุการเก็บเกี่ยวของผลไม้หลายชนิด โดยค่าความแน่นเนื้อของผลจะลดลงเมื่อผลไม้เริ่มแก่ และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลไม้เริ่มสุกแก่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ที่มีบาดแผลหรือรอยขีด (Chen, 1996) ค่าความแน่นเนื้อของผลไม้สามารถตรวจวัดได้หลายวิธี ทั้งแบบที่มีการทำลายตัวอย่าง (Destructive) และแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Nondestructive) (Abbott, 1999) ส่วนสมบัติทางสรีระวิทยาของผลไม้ ได้แก่ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solids) ค่าปริมาณกรดทั้งหมด (Total acid) และค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดทั้งหมด ก็นิยมใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวผลไม้หลายชนิดเช่นเดียวกัน โดยค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ

ผลไม้สุกแก่ ในทางตรงกันข้ามค่าปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลง ทำให้ผลไม้มีรสหวานเมื่อสุกแก่ (Kader, 1999) นอกจากนี้ ค่าการสะท้อนแสงของผลไม้อีกเป็นสมบัติหนึ่งที่ใช้คัดแยกความสุกแก่ได้ การสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 600 และ 660 นาโนเมตรสามารถใช้คัดแยกสัมพันธู์ชามุติของ อีสราเอลได้โดยมีความแตกต่างของการสะท้อนแสงระหว่างส้มโตเต็มที่และส้มอ่อนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนำมาพัฒนาเป็นเครื่องคัดแยกส้ม (Peleg, 1985)

จากที่กล่าวมาข้างต้น คุณภาพของแก้วมังกรสามารถวัดได้จากสมบัติหลายอย่าง ดังนั้น ถ้ามีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยาและแสงของผลแก้วมังกร แล้วนำคุณสมบัติเหล่านี้มาวิเคราะห์ในแบบตัวแปรพหุคูณ (Multivariate data analysis) ก็จะทำให้ได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคุณสมบัติดังกล่าวกับตัวแปรคุณภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรแบบไม่ทำลาย เนื่องจากคุณสมบัติบางตัวที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลแก้วมังกร ได้แก่ คุณสมบัติทางสรีระวิทยา คือ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และค่าปริมาณกรด ซึ่งเป็นสมบัติที่การตรวจวัดจะต้องทำลายตัวอย่างเท่านั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมือเกี่ยวกับเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ไทยอีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา

1. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยาและแสงของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว (*Hylocereus undatus*) และพันธุ์เนื้อแดง (*Hylocereus polyrhizus*) ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ
2. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยาและแสงกับการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดคุณสมบัติของผลแก้วมังกรแบบไม่ทำลาย

การตรวจเอกสาร

ข้อมูลทั่วไปของแก้วมังกร

แก้วมังกร เป็นพืชในตระกูลเดียวกับตะบองเพชร จัดเป็นต้นไม้ผลเลื้อย สีเขียวสวยงาม มังกร มีแหล่งกำเนิดในทวีปอเมริกาและเอเชีย (สุรพงษ์, 2541) มีชื่อภาษาอังกฤษหลายชื่อส่วนใหญ่เรียก Dragon fruit บางคนเรียก Night-blooming cereus หรือ Strawberry pear ซึ่งเรียกตามพฤติกรรมการบานของดอกและลักษณะผลเป็นหลัก (กาญจนา, 2548) ในภาษาเวียดนาม เรียกชื่อ Thangloy ในภาษาสเปน เรียก Pitaya roja และ ในภาษาฝรั่งเศส เรียก la pitahaya rouge (Paull, 2006) แก้วมังกรอยู่ในวงศ์ (Family) Cactaceae ถ้าเป็นแก้วมังกร เนื้อสีขาวเปลือกสีชมพู มีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Hylocereus undatus* ส่วนพันธุ์เนื้อสีม่วงเข้มเปลือกสีชมพู ชื่อ *Hylocereus polyrhizus* และ พันธุ์เนื้อสีขาวเปลือกสีเหลือง ชื่อ *Selenicereus megalanthus* จะเห็นว่าแก้วมังกร 2 ชนิดแรกอยู่ในตระกูล (Genus) เดียวกัน ส่วนชนิดหลังอยู่ต่างตระกูลกัน (กาญจนา, 2548) มีการสันนิษฐานว่า ชาวฝรั่งเศสได้นำพันธุ์แก้วมังกรจากประเทศในแถบอเมริกากลางมาปลูกในเวียดนาม ประมาณ 100 กว่า ปีมาแล้ว จนชาวเวียดนามถือเป็นต้นไม้ท้องถิ่น มีการเพาะปลูกกันมาก และได้แพร่ไปยังประเทศต่างๆ ในแถบเอเชีย เช่น ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ออสเตรเลีย ได้วันและญี่ปุ่น ด้วยความที่เป็นผลไม้ที่บริสุทธิ์ ปลอดภัยจากสารพิษ มีกากใยอาหารสูง แคลอรีต่ำอุดมไปด้วยวิตามินซี และคลอโรฟิลล์ เมล็ดของแก้วมังกรอุดมไปด้วยไขมันไม่อิ่มตัว สามารถต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น รับประทานแล้วนอกจากจะดับร้อนผ่อนคลายแล้วยังทำให้ผิวพรรณสดชื่น จึงนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย ทั้งปลูกง่ายให้ผลผลิตเร็ว เมื่อแก้วมังกรเติบโตและแก่ได้ที่แล้ว คือ หลังจากดอกบานไปแล้ว 30 วัน หรือจากผลเริ่มเปลี่ยนสีแล้ว 3-4 วัน จะถึงระยะการเก็บเกี่ยว รวมระยะเวลาการเก็บเกี่ยวประมาณ 45-50 วันตั้งแต่เริ่มออกดอก ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อม การเจริญเติบโตตั้งแต่เป็นคุ่มดอกจนถึงดอกบาน ใช้เวลาประมาณ 15-18 วัน (นฤมล, 2537) ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับแก้วมังกรอยู่ที่ 28-30 วันหลังดอกบาน (Nerd et al., 1999; McMahon, 2003; Luders and McMahon, 2004)

การเจริญเติบโตของผลแก้วมังกรเป็นแบบ Single sigmoid curve ระยะเวลาตั้งแต่ติดผลถึงสุกแก่ประมาณ 31-34 วันหลังดอกบาน น้ำหนักเนื้อรวมเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงผลอายุ 28-31 วัน โดยมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเปลือก ความหนาเปลือกจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงผลมีอายุ

28-31 วันเช่นกัน การเปลี่ยนสีผิวผลเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียว (GG 48B) เป็นสีม่วงแดง (RP58A) เมื่อผลมีอายุ 25-28 วัน และเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง (RP58B) ทั้งผลเมื่อผลอายุ 31 วัน ส่วนสีของเนื้อผลเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผลมีอายุ 22 วัน และสีเข้มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระยะสุกแก่เต็มที่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) เพิ่มขึ้นตามอายุผล ส่วนปริมาณกรดในน้ำคั้น (Total acidity, TA) มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้าม กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้ ยังพบว่า สิ่งที่สามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวผลได้ คือ จำนวนวันหลังดอกบาน สีผิวผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดในน้ำคั้น (TA) และระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงที่ผลมีอายุ 31 วันหลังดอกบาน (ปริญญา และ ฉลองชัย, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ To *et al.* (2002) ซึ่งได้ศึกษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลแก้วมังกร ระหว่างปี 1998-2000 ในประเทศเวียดนาม ระบุว่า เวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวแก้วมังกรเพื่อให้มีคุณภาพคืออยู่ที่ 28-30 วันหลังดอกบาน โดยพิจารณาจากสี ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และค่าปริมาณกรดในน้ำคั้น นอกจากนี้ การพ่นสารที่มีส่วนผสมของ gibberellic acid, α -naphthalene acetic acid (NAA) and β -NAA ในอัตราส่วน 8, 150 และ 400 ppm. ตามลำดับ ให้กับผลแก้วมังกรในวันที่ 11 หลังดอกบาน จะช่วยเพิ่มน้ำหนักผล ค่า TSS และค่าความแน่นเนื้อ นอกจากนี้ผลแก้วมังกรที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน (Heat treatment, HT) เพื่อกำจัดแมลงวันผลไม้ ที่อุณหภูมิ 46.5° C นาน 20 และ 40 นาที และที่อุณหภูมิ 48.5° C นาน 50, 70 และ 90 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ต่ำเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับผลที่ไม่ได้ผ่านการอบลมร้อนพบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาผลแก้วมังกรมีการสูญเสียน้ำหนัก 2.2% โดยที่ HT ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก ส่วนสีของผลแก้วมังกรมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยมีสีแดงเข้มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บ (Hue angle declined) แต่การทำ HT ไม่มีผลต่อค่าสี ส่วนค่าความแน่นเนื้อ (Flesh firmness) ของแก้วมังกรจะลดลง ซึ่งมีผลมาจากทั้งระยะเวลาที่เก็บรักษาและผลของ HT โดยตัวอย่างที่ทำ HT ที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าความแน่นเนื้อลดลงมากกว่า (Hoa *et al.*, 2006) การสุกแก่และพฤติกรรมหลังเก็บเกี่ยวของผลแก้วมังกร *Hylocereus species* (Cactaceae) พันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดง มีการเจริญเติบโตของผลเป็นแบบ Sigmoidal โดยการเจริญจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากที่ผลเปลี่ยนสี การเปลี่ยนสีของผลเริ่มที่ 24-25 วันหลังดอกบาน ในพันธุ์เนื้อขาว และที่ 26-27 วันหลังดอกบานในพันธุ์เนื้อแดง และหลังจากที่ผลเริ่มเปลี่ยนสีเพียง 4-5 วัน ผลจะเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งหมด ส่วนการเปลี่ยนแปลงภายในผลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยส่วนเปลือก (Peel) การเปลี่ยนแปลงจะค่อยๆ ลดลง ในขณะที่ส่วนของเนื้อ (Pulp) จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น รวมทั้งค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณแป้ง (Starch) และยาง (Mucilage) จะลดลง นอกจากนี้ค่าปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นและลดลง (Surge in acidity) เมื่อผลเริ่มเปลี่ยนสี ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่า กระบวนการสุกเริ่มเกิดขึ้น แก้วมังกรเป็นผลไม้ในกลุ่ม Non climacteric ถ้าเก็บเกี่ยวใกล้ช่วงการเปลี่ยนสีทั้งหมด (Close to full color) จะเก็บรักษาได้นาน 2 สัปดาห์ที่ 14°C และ 1 สัปดาห์ ที่ 20°C (Nerd *et al.*, 1999)

ได้มีการศึกษาอิทธิพลของการพรางแสงที่มีผลต่อการออกดอกของแก้วมังกรและการผลิตแก้วมังกรนอกฤดู เมื่อทำการตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ของน้ำคั้นจากผลที่มีอายุ 30 วันหลังดอกบาน โดยใช้เนื้อทั้งผลรวมกัน พบว่า ดัชนีที่พรางแสง 70% เป็นเวลา 144 วัน มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด เท่ากับ 12.07°Brix รองลงมาได้แก่ ดัชนีที่พรางแสง 50% เป็นเวลา 144 วันเท่ากับ 11.50°Brix โดยดัชนีที่พรางแสง 50% เป็นเวลา 60 วัน และดัชนีที่พรางแสง 60% เป็นเวลา 144 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เท่ากัน คือ 11.33°Brix และดัชนีที่ไม่ได้รับการพรางแสง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.67°Brix ส่วนดัชนีที่พรางแสง 70% เป็นเวลา 60 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุดเท่ากับ 9.4°Brix (ปริญญา, 2548) ผลแก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดง ที่อายุ 20, 23, 27, 31 และ 33 วันหลังดอกบาน มีค่าความแน่นเนื้อของผล (Fruit firmness) ลดลงตามวันหลังดอกบาน ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงที่ 680 และ 550 นาโนเมตร (R550/R680) ช่วงที่ผลเจริญเติบโตเต็มที่มีค่าประมาณ 4 และ 8 ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดง และค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดในน้ำคั้น (TSS/TA) มีความสัมพันธ์กับวันหลังดอกบาน โดยมีค่า $R^2 > 0.91$ ทั้ง 2 พันธุ์ (ใจทิพย์ และ บัณฑิต, 2551) นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ เทคนิค Near Infrared Spectroscopy ทำนายค่าปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลแก้วมังกรได้แบบไม่ทำลายตัวอย่าง ผลแก้วมังกรมีค่าปริมาณกรดในน้ำคั้นเฉลี่ย 0.311, 0.223 และ 0.189% และมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีค่าเฉลี่ย 11.66, 11.98 และ 12.41°Brix ที่ 42, 45 และ 48 วันหลังออกดอก ตามลำดับ (อาทิตย์, 2549)

สมบัติทางกายภาพของผลผลิตเกษตร (Physical properties of agricultural produce)

สมบัติทางกายภาพของผลผลิตเกษตร ได้แก่ ขนาด น้ำหนัก รูปร่าง ปริมาตร พื้นที่ผิว ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ความชื้น ช่องว่างและสี เป็นสมบัติที่สามารถตรวจวัดได้ง่ายๆ โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง มีความสำคัญต่อการซื้อขายผลผลิต และการออกแบบเครื่องจักรกลหลังการเก็บเกี่ยว (Mohsenin, 1986) โดยผู้บริโภคมองเห็นและสัมผัสกับผลผลิต และตัดสินใจซื้อ

ความหนาแน่นเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญชนิดหนึ่งของวัสดุเกษตร หาได้จาก อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุกับปริมาตรที่สมนัยกัน (บัณฑิต, 2549) ผลไม้ที่มีขนาดใหญ่แต่น้ำหนักน้อย ค่าความหนาแน่นก็จะน้อยตามไปด้วย ตรงกันข้ามผลไม้ที่มีขนาดเล็กแต่น้ำหนักมากก็จะมีค่าความหนาแน่นมาก ในการคัดแยกความสุกแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงที่แก่จะจมน้ำเนื่องจากมีค่าความหนาแน่นมากกว่า ในขณะที่มะม่วงอ่อนจะลอยน้ำ จึงสามารถใช้ค่าความหนาแน่นในการคัดแยกความสุกแก่ของผลมะม่วงได้ แตงโมที่มีความสมบูรณ์ดี (เนื้อแตงโมต่อเนื่องสม่ำเสมอ) กับแตงโมไส้ลึ้ม (เนื้อมีรอยแตกแยกเกิดโพรงอากาศภายใน) มีความหนาแน่นต่างกัน (Kato, 1997) นอกจากนี้ น้ำหนักและขนาดของผลผลิตผลจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับราคาของผลผลิต ขนาดสามารถระบุได้ด้วยตัวแปรต่างๆ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางหลัก (Major diameter) เส้นผ่านศูนย์กลางรอง (Minor diameter) ความยาว ความกว้าง ความหนา หรือตัวแปรหลายตัวผสมกัน เส้นรอบรูป พื้นที่ภาพฉาย (Projected area) ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับน้ำหนักผล ในมังคุด (สยาม, 2546) รวมทั้งในฝรั่ง (ดลหทัย, 2545) ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางหลักและรองของเงาะ เป็นความสัมพันธ์เชิงเอ็กโปเนนเชียล กับน้ำหนักผล (บัณฑิต และ คณะ, 2549)

มะม่วงเป็นไม้ผลเมืองร้อนที่ตลาดโลกมีความต้องการสูง โดยที่รสชาติ ลักษณะปรากฏ และอายุการวางจำหน่ายของมะม่วงขึ้นกับความสุกแก่ของมะม่วงขณะเก็บเกี่ยว คือถ้าเก็บเกี่ยวก่อนที่ผลจะสุกแก่ (Before maturity stage) เมื่อผลสุกจะไม่สม่ำเสมอและความหวานจะลดลง แต่ถ้าเก็บเกี่ยวหลังสุกแก่ (Late maturity stage) จะทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลงและมีโอกาสเกิดโรคหลังเก็บเกี่ยวได้ง่าย ความสุกแก่ของมะม่วงจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สีผิว รูปร่าง และขนาดผล (Jha *et al.*, 2005) การตรวจวัดความสุกแก่ของมะม่วง มีความสำคัญต่อการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้มะม่วงที่มีคุณภาพดี ระหว่างการเจริญเติบโต ขนาดของผลมะม่วงจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในขณะที่ความกลมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67-0.70 และในระหว่างการเก็บรักษาขนาดและความกลมของผลมะม่วงจะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากผลเหี่ยว (Jha *et al.*, 2006) มีนักวิจัยพยายามกำหนดมาตรฐานการสุกของผลมะม่วงกับน้ำหนักจำเพาะ (Tandon *et al.*, 1988). ในส่วนของแก้วมังกรนั้น ขนาดของผลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งด้านยาวและด้านกว้าง ตั้งแต่เริ่มติดผลจนกระทั่งผลเริ่มเปลี่ยนสี และขนาดผลเริ่มคงที่จนกระทั่งผลเปลี่ยนสีทั้งหมด ส่วนน้ำหนักผลจะเพิ่มขึ้นถึง 80% ของน้ำหนักทั้งหมดก่อนที่เปลือกจะเริ่มเปลี่ยนสี โดยน้ำหนักเปลือกจะลดลงและน้ำหนักเนื้อจะเพิ่มขึ้นและในช่วงที่ผลแก่จัดน้ำหนักผลจะลดลงเนื่องจากการสูญเสียความชื้นของเปลือก (Nerd *et al.*, 1999)

สมบัติเชิงกลของผลผลิตเกษตร (Mechanical properties of agricultural produce)

คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) มีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัส (Texture) ของผลผลิต ซึ่งทำการตรวจสอบได้โดยการทดสอบการทิ่มทะลุ (Puncture) การกดอัด (Compression) และการเฉือน (Shear) หรืออาจทำการวัดแรงกระทำที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น (Creep test) การกระแทก (Impact) การใช้เสียงธรรมดา (Sonic) และการใช้เสียงที่มีความถี่สูง (Ultrasonic) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลผลิตภายใต้แรงกระทำเชิงกลต่างๆ เหล่านี้ ผักและผลไม้จะแสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปซึ่งขึ้นกับขนาดของแรงและอัตราเร็วของแรงที่กระทำ เช่นเดียวกันกับความแน่นเนื้อของผักผลไม้ที่สามารถวัดได้โดยการกด (Compression) หรือทิ่มทะลุ (Puncture) โดยใช้หัวกดแบบต่างๆ ด้วยแรงกระทำและระยะการกดต่างๆ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการวัดที่ต้องการ ซึ่งอาจจะระบุค่าความแน่นเนื้อจากแรงกดสูงสุด หรือแรงกดที่ทำให้ผลผลิตเสียรูป (Rupture) โดยค่าแรงกดสูงสุดมักจะใช้ระบุค่าความแน่นเนื้อของผลไม้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ (Magness-Taylor penetrometer) หรืออาจจะระบุค่าความแน่นเนื้อจากความชันของเส้นกราฟระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป (Force – Deformation curve) ที่ได้จากเครื่องวัด ในหน่วยของแรงต่อระยะทาง (F/D โดย F=แรง และ D=ระยะการกด) ซึ่งคล้ายกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic modulus) ของผลผลิต ซึ่งในงานวัสดุวิศวกรรมนิยมใช้ค่านี้ในการระบุค่าความแน่นเนื้อซึ่งถือว่าเป็นการวัดค่าความแน่นเนื้อแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Abbott, 1999) โดยทั่วไปความแน่นเนื้อเป็นสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งที่ใช้ประเมินคุณภาพของผักผลไม้ สำหรับผลิตภัณฑ์การเกษตรหลายอย่างความแน่นเนื้อสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของการเจริญเติบโต ตามปกติค่าความแน่นเนื้อของผลไม้จะลดลงทีละน้อยเมื่อมันโตเต็มที่มากขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมันสุก ผลไม้ที่สุกเกินไปหรือผลไม้ที่เน่าเสียจะนิ่ม ดังนั้นความแน่นเนื้อสามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เกษตรออกเป็นกลุ่มๆ ตามความสุกแก่ได้ หรือแยกพวกที่สุกเกินไปและเสียหายจากพวกที่ดี (Chen, 1996) มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความแน่นเนื้อของผลไม้กับความสุกแก่ ตัวอย่างเช่น Jarimopas and Kittawee (2007) ได้ศึกษาสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และโชคอนันต์ 2 วิธี คือ 1) การวัดค่าความแน่นเนื้อโดยการกดมะม่วงด้วยหัวกดขนาด 6 มิลลิเมตร และคำนวณค่าความแน่นเนื้อจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงและการยุบตัวของผล 2) การวัดความแน่นเนื้อจากการกระแทก โดยหาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งกับเวลา พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของผลมีค่าคงที่จากผลอ่อนจนกระทั่งผลเริ่มแก่ และค่าจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลแก่จัด ค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์จะมีค่ามากกว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ Jha *et al* (2006) ได้ศึกษาความแน่นเนื้อของผลมะม่วงในช่วงที่สุกแก่และระหว่างการ

เก็บรักษา โดยใช้เครื่อง Texture analyzer ต่อกับหัวกดขนาด 2 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดขณะผ่านมะม่วงที่ 30 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าแรงกดสูงสุดที่เกิดขึ้นในหน่วยนิวตันจะเป็นค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วง พบว่า ในช่วงการเจริญเติบโตค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงค่อนข้างคงที่และจะลดลงเมื่อถึงระยะสุกแก่ จากประมาณ 32.96 เป็น 22.39 นิวตัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของเพคตินที่เปลือก และในระหว่างการเก็บรักษาค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงก็ลดลงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ค่าความแน่นเนื้อยังเป็นคุณสมบัติที่ใช้กำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว ใช้ควบคุมคุณภาพของผลผลิตระหว่างการเก็บรักษา (Ketsa and Daengkanit, 1999) วิธีการวัดค่าความแน่นเนื้อที่ใช้กันในอดีตจะต้องทำลายตัวอย่าง โดยการใช้หัวกดที่มโลหะในเนื้อของผลผลิตเพื่อวัดค่าแรงกระทำ เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบมือถือที่รู้จักกันในชื่อ Magness –Taylor fruit penetration tester ซึ่งมีประโยชน์มากเพราะสามารถนำไปทดสอบกับผลผลิตที่อยู่บนต้นในสวนได้ แต่ในการใช้งานเครื่องมือนี้ขึ้นกับประสบการณ์และความชำนาญของผู้ใช้เนื่องจากต้องกดด้วยแรงที่สม่ำเสมอในอัตราคงที่ ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องวัดแรงเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine: UTM) ซึ่งสามารถกำหนดขนาดของแรงและอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกด และแสดงค่าเป็นกราฟของแรงกระทำและการเคลื่อนที่ หรือการยุบตัว โดยมีการใช้หัวกดขนาด 8 และ 11 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าค่าที่ได้มีความแม่นยำน้อยลงถ้าผลไม้มีการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเคลือบผิว การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บในบรรยากาศควบคุม (CA storage) แสดงให้เห็นว่าขนาดและรูปแบบของหัวกดมีอิทธิพลต่อค่าความแน่นเนื้อ Sousa *et al.*, (2003) จึงได้ทดลองใช้หัวกดขนาด 2, 8 และ 11 มิลลิเมตร กับเครื่อง Texture analysis TAX-T2 ใช้ load cell ขนาด 5 กิโลกรัมแรง หัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที และกดลงไปที่ระยะ 8 มิลลิเมตร ทำการทดลองกับผลแอปเปิ้ล โดยคำนวณค่าความแน่นเนื้อจากพื้นที่ใต้กราฟที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้กับการทดสอบชิม (Sensory test) พบว่า หัวกดขนาด 2 มิลลิเมตร สามารถใช้วัดการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของผลไม้ทั้งที่มีเปลือก และไม่มีเปลือกได้ดีกว่าแบบอื่น และให้ค่าแรงกดสูงสุดมากกว่า นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบหัวกด 2 แบบ คือแบบหัวทรงกระบอกตรง (Perfect cylinder probe) และแบบหัวมน (Round end probe) พบว่า หัวกดแบบหัวทรงกระบอกตรงจะให้พื้นที่ใต้กราฟมากกว่า และมีค่าความลาดชันของเส้นกราฟระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปมากกว่าหัวกดแบบมนในทุกๆขนาดของหัวกด ในส่วนของมะเชือเทศ ได้มีการศึกษาค่าความแน่นเนื้อและค่าสีของมะเชือเทศที่ผู้บริโภครับ พบว่าค่าความแน่นเนื้อและค่าสีของผลมะเชือเทศมีความสำคัญต่อการระบุระดับความสุกแก่ ค่าความแน่นเนื้อของผลมะเชือเทศที่เหมาะสมสำหรับการวางขายในตลาดขายส่งควรมีค่ามากกว่า 1.45 N/mm ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อของผลมะเชือเทศที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในครัวเรือนควรมีค่ามากกว่า 1.28 N/mm ส่วนค่าสีของมะเชือเทศใน

หน่วยของ Minolta a^*/b^* พบว่ามีค่าผันแปรน้อยช่วงที่ผลยังมีสีเขียวอยู่ แต่ในช่วงที่มะเขือเทศเริ่มเปลี่ยนสี ค่า Minolta a^*/b^* จะมากกว่า 0.08 ส่วนช่วงที่มะเขือเทศมีสีแดงและเป็นที่ต้องการของตลาด ค่า Minolta a^*/b^* จะอยู่ในช่วง 0.60-0.95 และสุดท้ายช่วงที่มะเขือเทศสุกแก่เต็มที่ที่มีสีแดงจัด ค่า Minolta a^*/b^* จะมีค่า 0.95-1.21 (Batu, 2004) การศึกษาคุณสมบัติทางสรีรวิทยาและคุณสมบัติเชิงกลหลังการเก็บเกี่ยวของส้ม โดยการหาค่าทนแรงดึงของเปลือกและค่าพลังงานที่ต้องการ (Peel tensile strength and cutting energy) ค่าสีของผล ค่าน้ำหนักสูญเสีย ค่าแรงกดสูงสุด (Bio-yield point) ค่าความแน่นเนื้อ ของผลส้มที่เก็บในอุณหภูมิห้องและที่เก็บในห้องเย็น จากการศึกษาพบว่า ค่าทนแรงดึงของเปลือกและค่าพลังงานที่ต้องการ ค่าแรงกดสูงสุด และค่าความแน่นเนื้อ ลดลงตามช่วงเวลาเก็บทั้งที่เก็บในอุณหภูมิห้องและที่เก็บในห้องเย็น ส่วนค่าสีของผลส้มมีการเปลี่ยนแปลงตามสมการ Forth-order polynomial ตลอดระยะเวลาการเก็บ และเมื่อถึงวันที่ 17 ของการเก็บผลส้มจะสูญเสียน้ำหนัก 19.4 และ 7.3 % ของน้ำหนักทั้งหมดเมื่อเก็บในอุณหภูมิห้องและในห้องเย็น ตามลำดับ (Singh and Reddy, 2006)

การศึกษาศสมบัติความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกร 2 พันธุ์ คือแก้วมังกรเนื้อขาว และแก้วมังกรเนื้อแดง แบบมีเปลือก และแบบไม่มีเปลือกโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine, UTM: Lloyd EZ-20 กับหัวกด ขนาด 8 มิลลิเมตร 2 แบบ คือ แบบทรงกระบอกหัวตัด และแบบทรงกระบอกหัวมน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกด 30 มิลลิเมตรต่อนาที และกดลงไปทีละระดับ 10 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแน่นเนื้อแบบมีเปลือก (Fruit firmness) ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อใช้หัวกดทั้ง 2 แบบมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยค่าความแน่นเนื้อแบบมีเปลือกจะลดลงจากเริ่มต้นจนเริ่มคงที่ที่ 27 หลังดอกบาน โดยมีค่าลดลงจากประมาณ 18 N/mm เป็นประมาณ 6 N/mm ส่วนค่าความแน่นเนื้อของแก้วมังกรที่ไม่มีเปลือก (Flesh firmness) จากหัวกดแบบหัวตัดจะให้ค่ามากกว่าหัวกดแบบมน โดยค่าจะลดลงจาก 5 N/mm เป็น 3 N/mm ที่ 20-25 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นค่าจะลดลงเล็กน้อยในแก้วมังกรเนื้อขาว ส่วนแก้วมังกรเนื้อแดงจะมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าเล็กน้อย โดยหัวกดแบบหัวตัดให้ค่ามากกว่าแบบหัวมนเช่นเดียวกัน และที่ 25 วันหลังดอกบานค่าความแน่นเนื้อเริ่มคงที่ ส่วนหัวกดแบบมนเริ่มคงที่ที่ 27 วันหลังดอกบาน (ใจทิพย์ และบัณฑิต, 2551)

ในขณะที่ Nerd *et al.* (1999) ได้ทดลองหาค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกร โดยใช้ Penetrometer (Faccini, Alfonsine, Italy) กับหัวกดขนาด 2.5 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกร ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อผลเริ่มเปลี่ยนสี และลดลงเหลือน้อยกว่า 1 Kg/cm² โดยผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าพันธุ์เนื้อขาว

สมบัติทางสรีระวิทยาของผลิตผลเกษตร (Physiological properties of agricultural produce)

ผลไม้หลายชนิดสะสมอาหารในรูปของน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ เช่น องุ่น และ ลำไย ยิ่งมีอายุมากขึ้นการสะสมน้ำตาลก็ยิ่งมีมากขึ้น ปริมาณน้ำตาลในผลจึงเป็นดัชนีความบิบูรณ์ (Maturity index) และดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvesting index) ที่ดี การวัดปริมาณน้ำตาลทำได้โดยใช้ Hand refractometer วัดหาปริมาณ Soluble solids ในน้ำคั้น ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารประกอบต่างๆ ที่ละลายน้ำได้ หรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ผลไม้ส่วนใหญ่เมื่อยังอ่อนมักมีรสเปรี้ยว เนื่องจากการสะสมกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ เมื่อผลพัฒนาปริมาณกรดจะลดลง จึงใช้เป็นดัชนีความบิบูรณ์ได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ปริมาณกรดอย่างเดียวหรือน้ำตาลอย่างเดียว เป็นดัชนีอาจมีความสอดคล้องกับวัยไม่ค่อยดีนัก การศึกษาในหลายพืช พบว่า การใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลกับกรด (Sugar and acid ratio) มีความสัมพันธ์กับวัยของผลไม้มากกว่า (จริงแท้, 2538) ซึ่งสอดคล้องกับ Paull (2006) ที่แนะนำว่า แก้วมังกรที่มีค่าอัตราส่วนของค่าปริมาณแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมด (TSS/TA ratio) เท่ากับ 40 เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว ในการหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าปริมาณกรดทั้งหมดนั้น จำเป็นจะต้องทำลายตัวอย่าง มีนักวิจัยพยายามศึกษาคุณสมบัติของผลมะเขือเทศแบบไม่ทำลายโดยใช้ Vis/NIR spectroscopy โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสเปกตรัม ช่วง 350-2500 นาโนเมตร กับคุณสมบัติทางสรีระวิทยาได้แก่ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ค่าความเป็นกรดในน้ำคั้น (pH) และค่าความแน่นเนื้อ โดยใช้ Principal Component Regression (PCR) และ Partial Least Square Regression (PLS) ในการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ พบว่า มีความสัมพันธ์ที่ดีมาก สามารถทำนายคุณสมบัติของมะเขือเทศได้ในระดับดี มีค่า Standard Error of Prediction (SEP) ต่ำ เท่ากับ 0.19°Brix, 0.09 pH และ 16.017 N สำหรับ Compression force และ 1.18 N สำหรับ Puncture force (He *et al.*, 2005) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วงที่ผลกำลังเจริญและในช่วงที่ผลสุกโดยช่วงแรกค่า TSS เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ระหว่าง 6.90-8.10°Brix แต่หลังจากที่ผลเริ่มสุกแก่ ค่า TSS เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 8.10 เป็น 13.00°Brix ส่วนค่า TSS ของมะม่วงที่เก็บรักษาไว้จะเพิ่มขึ้นถึง 19.73°Brix โดยช่วงท้ายๆ ค่าจะลดลงเล็กน้อยและคงที่ที่ประมาณ 15°Brix มะม่วงที่เก็บเกี่ยวที่ค่า TSS มากกว่า 8°Brix จะมีคุณภาพดีและมีอายุการวางจำหน่ายนาน (Jha *et al.*, 2006) นอกจากนี้ได้มีความพยายามในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆ เพื่อกำหนดเป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้มะม่วงที่มีคุณภาพดี โดยการนำเทคนิคของ Nondestructive เข้ามาช่วยในการวัดความสุกแก่ของมะม่วงด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในหน่วยของ Hunter Lab กับค่า TSS ของมะม่วงและนำผลได้จากการทำนายค่าความสุกของมะม่วงไปทดสอบการชิม พบว่า ค่าสีสามารถ

ทำนายมะม่วงที่ความสุกแก่ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ (Jha *et al.*, 2007) นอกจากมะม่วงแล้วได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลส้มที่เก็บในห้องเย็น 6°C ด้วยการตรวจวัดค่าความแน่นเนื้อ ค่า TSS ค่า TA และค่า pH ของผลส้ม ที่เก็บรักษาไว้ 100 วัน จากการศึกษา พบว่า ผลส้มมีการเปลี่ยนแปลงค่า TA ในระหว่างการเก็บรักษาโดยมีค่าลดลง ส่วนค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนมีค่าสูงสุดเมื่อเก็บไป 30 วัน หลังจากนั้นค่า pH มีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนค่า TSS เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนมีค่าสูงสุดที่ 10 วัน ก่อนที่จะลดลง และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยส่วนค่าความแน่นเนื้อของผลส้มมีค่าค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาที่เก็บ (Calabria *et al.*, 2002)

สมบัติการสะท้อนแสงของผลผลิตเกษตร (Light reflectance properties of agricultural produce)

เมื่อลำแสงสว่างตกลงบนวัตถุหนึ่ง ส่วนหนึ่งของลำแสงตกกระทบจะถูกสะท้อนกลับโดยพื้นผิวของวัตถุนั้น ส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านเข้าไปในวัตถุ ที่ซึ่งถ้าไม่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุ ก็อาจจะถูกสะท้อนกลับไปสู่พื้นผิว หรือส่งผ่านวัตถุออกไป ส่วนของรังสีที่ถูกดูดกลืนอาจจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบรังสีอื่น เช่น แสงฟลูออเรสเซนซ์ การเปล่งรังสีแสงสว่างล่าช้า (Delayed light emission) ซึ่งหมายถึง แสงสว่างที่ถูกปล่อยออกจากตัวอย่างหลังจากเอาต้นกำเนิดแสงออกไปแล้ว ปริมาณของพลังงานแสงในการสะท้อน การส่งผ่าน การดูดกลืน การเปล่งรังสี ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุและรังสีตกกระทบ ดังนั้นการหาคุณสมบัติเชิงแสงของวัตถุ สามารถจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุนั้นได้ (บัณฑิต, 2549) มีการใช้คุณสมบัติการยอมให้แสงส่องผ่าน (Transmittance) และการสะท้อนแสง (Reflectance) ของผลผลิตเกษตรในการคัดแยกด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic sorting) และการคัดคุณภาพ เช่น การคัดความสุกแก่ นอกจากนี้ยังใช้ในการตรวจวัดสีผิวและการตรวจตรวจสอบคุณสมบัติภายในของผักและผลไม้อีกด้วย เช่น การตรวจวัดสีของมะเขือเทศ ความเสียหายของข้าวสาลี ความสุกแก่ของผลไม้ ระดับการขัดสีของข้าวสาร การเปลี่ยนสีภายในของมันฝรั่ง จุดเลือดในไข่ การทำลายของแมลงในข้าวสาลี ความชื้นของเมล็ด ความเสียหายภายในผลของเชอร์รี่และข้าวโพด เป็นต้น (Mohsenin, 1984) การคัดคุณภาพของผลมังคุด (Jarimopas *et al.*, 2008) คุณสมบัติการสะท้อนแสงของมันฝรั่งแตกต่างกับก้อนดินที่ติดมากับมันฝรั่งมาก ซึ่งสามารถนำคุณสมบัตินี้มาใช้ในการคัดแยกมันฝรั่งออกจากก้อนดินได้ (Palmer, 1961) เส้นกราฟการสะท้อนแสงของผลมะนาว (Lemon) ที่ระดับความสุกแก่ต่าง ๆ แสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถนำหลักการนี้มาใช้ในการออกแบบเครื่องคัดแยกสีสำหรับผลมะนาวได้ (Powers *et al.*, 1953) การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง

(Reflectance ratio) กับค่าความแน่นเนื้อของผลพีช โดยหาค่าเฉลี่ยของสีและค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นที่เลือก ได้แก่ที่ความยาวคลื่น 525, 550, 600, 625, 650 และ 675 นาโนเมตร พบว่า มีความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างค่าความแน่นเนื้อกับค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R_{675}/R_{600} ในผลพีช 3 พันธุ์ แต่ค่า R^2 ยังไม่สูงนัก (Long and Webb, 1973) สัมพันธ์ Shamuti ผลอ่อน และผลแก่มีค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น ช่วง 600 ถึง 660 นาโนเมตร ต่างกันถึง 70% ซึ่งสามารถนำค่าความสัมพันธ์นี้มาใช้ในการออกแบบเครื่องคัดแยกสีออกจากกันได้ (Peleg, 1985) คลื่นแสงช่วงที่ตามองเห็น (Visible spectrum) จะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อการกำหนดคุณภาพของผักผลไม้ การสะท้อนแสงจากผลิตผลจะส่งข้อมูลไปยังผู้ซื้อ เพื่อตัดสินคุณภาพของผลิตผลจากภาพที่เห็นด้วยสายตา โดยแสงช่วงที่ตามองเห็นนี้จะสะท้อนแสงออกเป็นสีรุ้ง 7 สีตามความยาวคลื่น (Abbott, 1999) การจำแนกสีของสตรอเบอรี่ ได้ใช้ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงช่วง 650 และ 525 นาโนเมตร โดยเรียกค่านี้ว่า อัตราส่วนของความสุกแก่ (Maturity ratio) โดยทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ของสีแดงบนผิวของสตรอเบอรี่ กับค่าอัตราส่วนของความสุกแก่ และเครื่องคัดแยกที่ออกแบบสามารถคัดแยกสีของผลสตรอเบอรี่ จากความสัมพันธ์นี้ได้ โดยสามารถคัดแยกผลสตรอเบอรี่ที่สุกและไม่สุกออกจากกันได้ ในการที่เลือกใช้อัตราส่วนการสะท้อนแสงเป็นเกณฑ์ในการคัดคุณภาพของผลิตผลนี้จะมีปัญหาในการคัดแยกน้อยกว่าการใช้ขนาด รูปร่าง ลักษณะปรากฏ สีและความชื้นเป็นเกณฑ์ ในการคัดแยก สำหรับเครื่องคัดแยกผักผลไม้ที่เป็นระบบอัตโนมัติที่เคยมีการรายงานไว้ (Bulley, 1973) นอกจากนี้ยังสามารถใช้คุณสมบัติทางกายภาพ 6 ด้านของผลพีช เพื่อระบุความสุกแก่ของผลได้โดยเฉพาะค่าความแน่นเนื้อที่ตรวจวัดด้วยเครื่องวัด Magness Taylor พร้อมหัวกดขนาด 5/16 นิ้ว จะให้ค่าถูกต้องมากกว่าคุณสมบัติอื่นๆ ที่เหลืออีก 5 ด้าน คือ สีของเปลือก สีของเนื้อ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในเนื้อ ปริมาณกรดในน้ำคั้น และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Rood, 1957) ค่าการสะท้อนแสงนี้สามารถใช้ประมาณค่า chlorophyll, carotenoid และ anthocyanin แบบไม่ทำลายได้โดยการทดลองได้ใช้ผลแอปเปิ้ล 5 พันธุ์ ที่มีสีต่างๆ กัน พบว่าผลแอปเปิ้ลที่ไม่มี anthocyanin ค่าการสะท้อนแสงช่วง 550 (R_{550}) และ 700 (R_{700}) นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กันดี ($R^2 > 0.95$) สำหรับผลแอปเปิ้ลที่มีค่า chlorophyll มากกว่า 5 nmol/cm^2 ค่าการสะท้อนแสงช่วงใกล้ 678 (R_{678}) นาโนเมตร ไม่มีการตอบสนอง (Insensitive) ในขณะที่ค่าการสะท้อนแสงช่วง 550-650 นาโนเมตร และ 690-705 นาโนเมตร มีการตอบสนองดี นอกจากนี้ค่า Reflectance ratio ในช่วง R_{800}/R_{700} และ R_{800}/R_{640} จะมีการตอบสนองต่อค่า Chlorophyll ในช่วง $0.4-11.0 \text{ nmol/cm}^2$ ($R^2 > 0.93$) ค่าการสะท้อนแสงช่วง 520-530 นาโนเมตร จะตอบสนองต่อค่า Carotenoid ค่าดัชนีการสะท้อนแสงที่ $R_{800}(1/R_{520}-1/R_{700})$ สามารถใช้ในการประมาณค่า Carotenoid ช่วง $0.6-4.5 \text{ nmol/cm}^2$ ส่วนดัชนีการสะท้อน

แสง ที่ใช้ประเมินค่าอัตราส่วนของ Carotenoid และ Chlorophyll คือ ค่าการสะท้อนแสงช่วง (R480-R678)/R800 ค่าการสะท้อนแสงในช่วงสีเขียวจะตอบสนองต่อค่า Anthocyanin ได้ดี โดยค่าดัชนีการสะท้อนแสงที่ R800(1/R550-1/R700) สามารถใช้ประมาณค่า Anthocyanin ที่เปลือกช่วง 2.5-50.0 nmol/cm² ($R^2 > 0.93$) ได้ (Merzlyak *et al.*, 2003)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม (Mettler Toledo : PB 3002-S Switzerland)
2. เครื่องวัดสี (Spectrophotometer Hunter ColorFlex model CFLX45-2 Reston, VA, USA)
3. เครื่องวัดความเป็นกรด (pH meter Mettler Toledo GmbH MP 120, Switzerland)
4. เครื่องวัดความหวาน (Refractometer ATAGO PAL-1, Japan)
5. เครื่องวัดแรงกด (Universal Testing Machine Lloyd model EZ-20, England)
6. เครื่องสกัดน้ำผลไม้ (Juice extractor Moulinex model BDK1T5, China)
7. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
8. เครื่องแก้ว
9. สารเคมี
10. อุปกรณ์งานบ้านงานครัว เช่น มีด เขียง
11. ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดงที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ ตามแผนการทดลอง จำนวน 13 ครั้งๆ ละ 20 ผล

วิธีการ

วางแผนการเก็บเกี่ยวผลแก้วมังกรจากสวนที่ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งปลูกแก้วมังกรทั้งพันธุ์เนื้อขาว (*Hylocereus undatus*) และพันธุ์เนื้อแดง (*Hylocereus polyrhizus*) โดยทำเครื่องหมายแก้วมังกรที่ดอกบานในคืนก่อน และเริ่มต้นนับวันหลังดอกบานเป็นวันที่ 1 เพื่อวางแผนการเก็บเกี่ยวในวันที่ 23 ถึงวันที่ 40 หลังจากดอกบาน โดยวันที่ 23-30 จะเก็บเกี่ยวทุกวัน หลังจากนั้นจะเก็บเกี่ยวเว้นวัน เนื่องจากการพัฒนาของผลเกิดขึ้นเร็วในช่วงแรก หลังจากนั้นจะช้า เก็บเกี่ยวครั้งละ 20 ผลทำเหมือนกันทั้งสองพันธุ์

การวัดคุณสมบัติของผลแก้วมังกร

1. การวัดคุณสมบัติทางกายภาพของผลแก้วมังกรที่เก็บเกี่ยวจากสวน เมื่อผลแก้วมังกรมาถึงห้องปฏิบัติการจะเริ่มทำการทดลองทันที โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- 1.1 วัดขนาดของผลแก้วมังกรทั้งด้านยาวและด้านกว้าง โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์
- 1.2 ชั่งน้ำหนักผลแก้วมังกรทั้งผล ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม
- 1.3 หาปริมาตรของผลแก้วมังกร โดยการแทนที่น้ำตามวิธีการของ Mohsenin, (1986)
- 1.4 หาความหนาแน่นของผลแก้วมังกร (Density) โดยคำนวณ จากสูตร

$$D = M/V \dots\dots\dots (1)$$

D = ความหนาแน่น หน่วย กรัมต่อมิลลิลิตร

M = น้ำหนักผลแก้วมังกร หน่วย กรัม

V = ปริมาตรของผลแก้วมังกร หน่วย มิลลิลิตร

- 1.5 หาค่าอัตราส่วนความยาว (L) ต่อความกว้าง (W) ของผลแก้วมังกรแต่ละผล

$$\text{อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง} = L/W \dots\dots\dots (2)$$

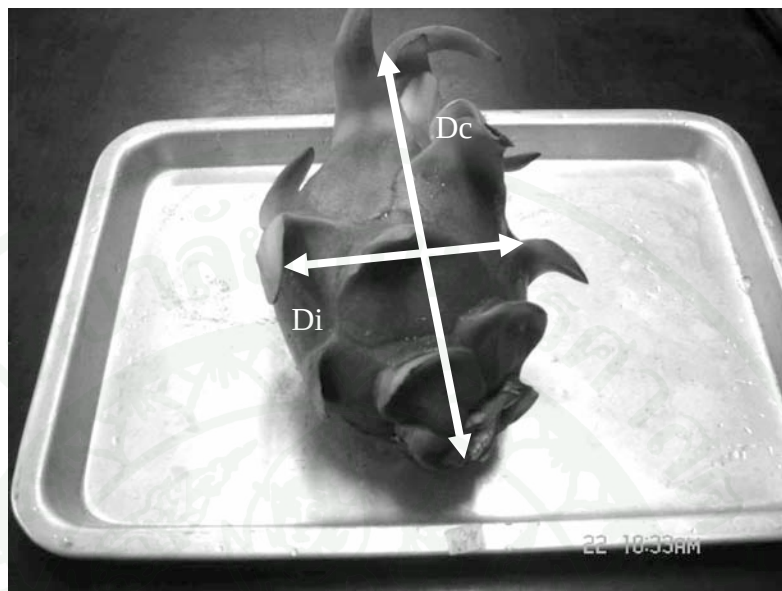
- 1.6 หารูปร่างของผลแก้วมังกร จากการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความกลม (%Sphericity) ของผลแก้วมังกร ตามวิธีการของ Mohsenin (1986) คำนวณค่า Sphericity จากสูตร

$$\% \text{ Sphericity} = 100 * (D_i / D_c) \dots\dots\dots (3)$$

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่ใหญ่ที่สุดที่อยู่ภายในผลได้

D_c = เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่เล็กที่สุดที่ล้อมรอบผลได้

ตำแหน่งการวัดขนาดของผลแก้วมังกรแสดงให้เห็นในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการวัดขนาดของผลแก้วมังกร

2. การวัดสมบัติการสะท้อนแสงโดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer Hunter ColorFlex) ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

2.1 เปิดเครื่องวัดสี เลือกฟังก์ชันการทำงานที่ แสงตอนกลางวัน (Day light :D65) เลือกมุมการวัดที่ 10 องศา มีช่องเปิดสำหรับแสงผ่านและสำหรับวางตัวอย่างขนาด 31.8 มิลลิเมตร ทิศทางของแสงและตัวอย่างเป็นมุม $45^{\circ}/0^{\circ}$ เลือกหน่วยการวัดเป็น Hunter Lab ซึ่งจะให้ค่าสีในหน่วย L, a และ b และได้ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ด้วย

2.2 ทำการ สอบเทียบเครื่อง (Calibrate) ด้วยแผ่นมาตรฐานสีดำ และสีขาวที่มีมากับเครื่อง

2.3 วางผลแก้วมังกรตามแนวนอนที่ช่องวางตัวอย่าง

2.4 นำกล้องที่ภายในทาสีดำครอบเครื่องวัด เพื่อลดแสงรบกวนจากภายนอก ก่อนที่จะให้เครื่องอ่าน ลักษณะการวัดค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรแสดงให้เห็นในภาพที่ 2

2.5 แก้วมังกรแต่ละผลจะทำการวัด 4 ครั้ง โดยหมุนผลแก้วมังกรจากตำแหน่งเดิมไป 90 องศา

2.6 เครื่องวัดสีจะแสดงค่าสี L, a และ b โดย L แสดงค่าความสว่าง $L=100$ สว่างมาก $L=0$

มีค่าสี a แสดงค่าแดง-เขียว โดยค่า + แสดงสีแดง ค่า - แสดงค่าสีเขียว ค่าสี b แสดงค่าเหลือง-น้ำเงิน โดยค่า + แสดงสีเหลือง ค่า - แสดงค่าสีน้ำเงิน และแสดงค่าการสะท้อนแสง (%Reflectance) ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร โดยมีค่าเพิ่มขึ้นทุกความยาวคลื่น 10 นาโนเมตร

2.7 การวัดค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้วมังกร จะทำหลังจากวัดความแน่นเนื้อแล้ว โดยจะต้องตัดเนื้อแก้วมังกรบริเวณกึ่งกลางผลเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 มิลลิเมตรเพื่อใส่ในถ้วยตัวอย่างสำหรับการวัดค่า

2.8 การวัดค่าการสะท้อนแสงของเนื้อจะวัดผลละ 1 ครั้ง เนื่องจากชิ้นตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก ในแต่ละวันที่เก็บเกี่ยวจะวัดจำนวน 20 ผล



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการวัดค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกร

3. การวัดคุณสมบัติเชิงกล ทำโดยการวัดค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรทั้งเปลือก (Fruit firmness) และค่าความแน่นเนื้อของเนื้อแก้วมังกร (Flesh firmness) โดยมีวิธีการ ดังนี้

3.1 ผ่าครึ่งผลแก้วมังกรทั้งเปลือกตามความยาวของผล จะได้แก้วมังกร 2 ชิ้น สำหรับการวัดค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรทั้งเปลือก 1 ชิ้น และ ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อแก้วมังกร 1 ชิ้น

3.2 เตรียมเครื่องวัดแรงกด (Universal Testing Machine Lloyd EZ 20) ใช้ Load cell

ขนาด 500 นิวตัน และหัวกดแบบทรงกระบอก ขนาด 8 มิลลิเมตรติดตั้งกับ เครื่อง ตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ 30 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน (ASAE Standard, 1998) กดลงไปทีละระยะ 10 มิลลิเมตร

3.3 วางผลแก้วมังกรที่ผ่าครึ่งขึ้นที่มีเปลือกโดยวางราบกับถาด กดส่วนที่สูงที่สุดบริเวณกึ่งกลางผล กดเพียง 1 ครั้งต่อผล ดังภาพที่ 3

3.4 ส่วนแก้วมังกรอีกครั้งที่เหลือ ลอกเปลือกออกและวางผลแก้วมังกรราบกับถาด กดส่วนที่สูงที่สุดบริเวณกึ่งกลางผล กดเพียง 1 ครั้งต่อผล ดังภาพที่ 4

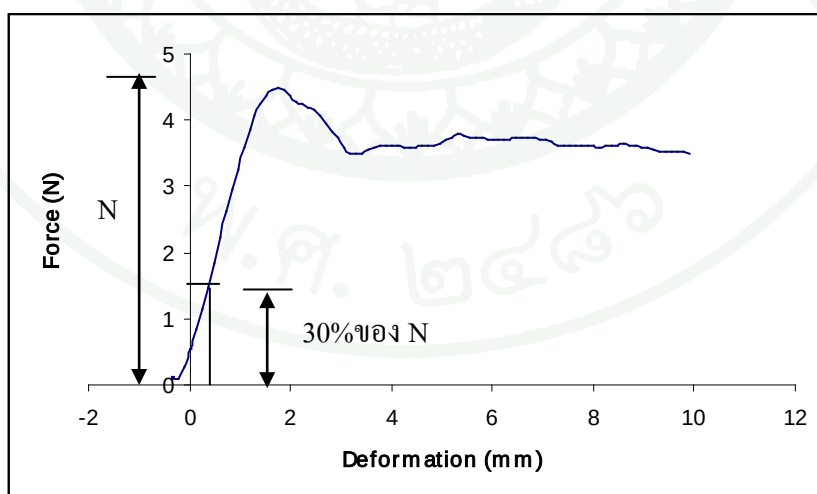


ภาพที่ 3 การวัดค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรทั้งเปลือก (Fruit firmness)



ภาพที่ 4 การวัดค่าความแน่นเนื้อของเนื้อแก้วมังกร (Flesh firmness)

3.5 ในการกดแต่ละครั้งจะได้กราฟระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป (Force-Deformation Curve) คำนวณค่าความแน่นเนื้อจากค่าความลาดชันของกราฟระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป (Force-Deformation Curve) ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงกดสูงสุด ตามมาตรฐาน (ASAE Standard, 1998) (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 กราฟแรงและการเปลี่ยนรูปแสดงตำแหน่ง 30% ของแรงกดสูงสุด

3.6 ตัวอย่างผลแก้วมังกรที่วัดค่าความแน่นเนื้อแล้ว จะลอกเปลือกออกและชั่งน้ำหนักของเนื้อ (Flesh) และเปลือก (Peel) ของแต่ละผล เพื่อหาอัตราส่วนน้ำหนักของเนื้อต่อเปลือก และคำนวณค่าส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ (%Recovery)

$$\text{อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อต่อเปลือก} = F/P \dots\dots\dots (4)$$

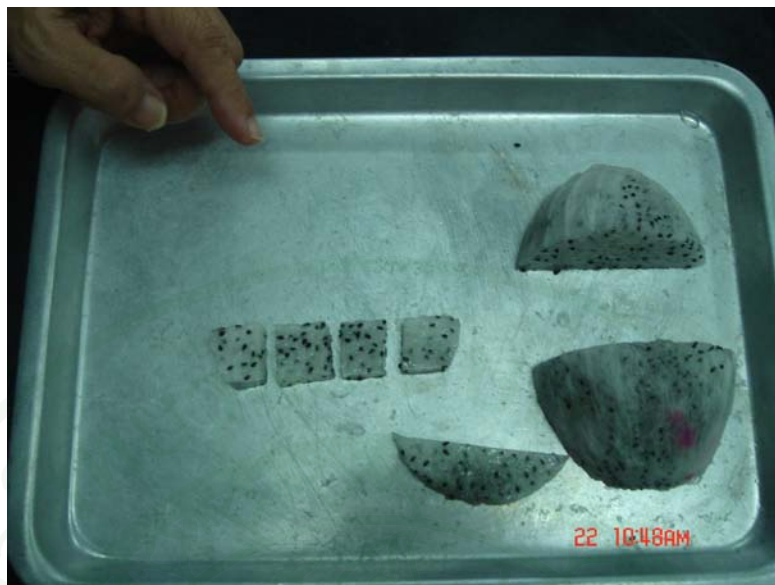
$$\% \text{ Recovery} = 100 * F / (F+P) \dots\dots\dots (5)$$

4. การวัดคุณสมบัติทางสรีระวิทยา เนื้อแก้วมังกรที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมาจะนำมาวัดคุณสมบัติทางสรีระวิทยาที่ระบุถึงคุณภาพของแก้วมังกร ได้แก่ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solids: TSS °Brix) และค่าปริมาณกรด (Total Acidity: TA %) โดยมีวิธีการ ดังนี้

4.1 การวัดค่า TSS ด้วยเครื่องวัดค่าความหวาน (Hand refractometer ATAGO)

4.1.1 ผลแก้วมังกรที่แบ่งครึ่งผลและลอกเปลือกออก แล้วจะถูกตัดบริเวณกลางผลตามความกว้างของผลให้มีความหนาประมาณ 10 มิลลิเมตร จากนั้นแบ่งออกเป็น 4 ชิ้น ซึ่งจะได้เนื้อแก้วมังกร บริเวณด้านในถึงกลางผล 2 ชิ้น และบริเวณรอบนอก 2 ชิ้น ซึ่งชิ้นกลาง 2 ชิ้นจะต้องตัดส่วนที่เป็นขอบออกด้วย เพื่อให้ได้เฉพาะส่วนกลางผลเท่านั้น ดังภาพที่ 6

4.1.2 ใช้ผ้าขาวบางบีบคั้นน้ำจากชิ้นแก้วมังกรที่แบ่ง ให้น้ำคั้นหยดลงบนเครื่อง Refractometer และอ่านค่าจากเครื่อง โดยทำทีละชิ้น ใน 1 ผลจะวัด 4 ชิ้น ทำการทดลอง 20 ผล ทำการเปรียบเทียบเครื่องด้วยน้ำกลั่น ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 การเตรียมชิ้นแก้วมังกรสำหรับการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้



ภาพที่ 7 การวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง Refractometer

4.2 การตรวจวัดค่า TA ทำโดยวิธีการไทเตรทน้ำคั้นจากผลแก้วมังกร ด้วย 0.1 N NaOH จนถึงจุด pH 8.2 ตรวจวัดด้วยเครื่องวัด pH (pH meter) ทำตามวิธีการของ Crisosto (2007).

4.2.1 เนื้อแก้วมังกรที่เหลือทั้งหมดจะนำเข้าเครื่องสกัด เพื่อสกัดแยกน้ำออกจากเนื้อแก้วมังกร และกรองให้เหลือเฉพาะน้ำคั้นด้วยสำลี

4.2.2 ชั่งน้ำหนักน้ำแก้วมังกรที่ได้ จำนวน 6 กรัม ใส่บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำมิลลิลิตร

4.2.3 ไทเตรท น้ำคั้นแก้วมังกรด้วย 0.1 N NaOH จนถึง pH 8.2

4.2.4 อ่านค่าปริมาณ NaOH ที่ใช้ไปในการไทเตรทเป็นมิลลิลิตร

4.2.5 คำนวณค่าปริมาณกรด จากสูตร

$$TA\% = \frac{(ml \text{ NaOH used}) * (0.1 \text{ Normality NaOH}) * 0.064 * 100}{g \text{ of sample}} \dots (6)$$

4.2.6 ทำการไทเตรทน้ำคั้นจากแก้วมังกรผลละ 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสร้างสมการประเมินความแก่

นำคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยา และแสง ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

1. วิเคราะห์ค่าทางสถิติเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยา และแสง ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ กับระยะการสุกแก่ 3 ระยะ คือระยะอ่อน (Immature stage) ที่ช่วงวันที่ 23-27 หลังดอกบาน ระยะโตเต็มที่ (Mature stage) ช่วงวันที่ 28-30 หลังดอกบาน และระยะแก่ (Over mature stage) ช่วงวันที่ 31-40 หลังดอกบาน ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ใช้แก้วมังกรพันธุ์ละ 260 ผล รวม 520 ผล โดยการเปรียบเทียบค่า F จาก Analysis of variance (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window 10 กำหนดให้ ความสุกแก่ (Maturity) เป็นตัวแปรตาม (Independent variable) และให้คุณสมบัติอื่นๆ ทั้ง 12 ค่าเป็นตัวแปรอิสระ (Dependent variable) ทำการวิเคราะห์ค่า Post Hoc Test เพื่อดูค่า Homogeneous Subsets โดยใช้ Duncan multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวแปรอิสระที่มีค่า F มากที่สุดแสดงว่ามีสัมพันธ์กับความสุกแก่มากที่สุด จะใช้ตัวแปรนี้เป็นค่าอ้างอิงความสุกแก่ในการวิเคราะห์ต่อไป

2. วิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสร้างโมเดลจำแนกกลุ่มของแก้วมังกรตามระยะการสุกแก่ เป็น Immature, Mature และ Over mature ด้วยเทคนิค Discriminant Analysis. โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window 10 กำหนดให้มีการจำแนกกลุ่มเป็น 6 กลุ่ม กลุ่ม 1, 2 และ 3 สำหรับพันธุ์เนื้อขาว และ 4, 5 และ 6 สำหรับพันธุ์เนื้อแดง คุณสมบัติที่ใช้ในการจำแนกทั้ง 12 คุณสมบัติ ได้แก่ Density, Sphericity, TSS, TA, TSS/TA ratio, Fruit firmness, Flesh firmness, Color L, a, b และ Log (R680/R550) ตัวอย่างแก้วมังกรที่ใช้ในกลุ่ม Immature, Mature และ Over mature เท่ากับ 100, 60 และ 100 รวม 260 ผลในแต่ละพันธุ์ รวมตัวอย่างทั้งหมด 520 ผล ทำการวิเคราะห์ Test of Equality of group means เพื่อดูว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยดูจากค่า Wilks' Lambda และค่า Significant ทำการวิเคราะห์ค่า Eigenvalue, % of variance และ ค่า Canonical Correlation ของ Function ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม เพื่อดูว่าแต่ละ Function มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากน้อยเพียงไร นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ Structure Matrix เพื่อดูค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับแปร Canonical โดยตัวแปรที่มีค่ามากที่สุดเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function นั้นๆ และสุดท้ายจะมีการวิเคราะห์ผลการทำนายในการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง (Classification correction)

3. วิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสร้างโมเดลทำนายเชิงปริมาณด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) ใช้โปรแกรม Uncrambler V 9.6 (Camo, Norway) ให้คุณสมบัติที่การตรวจวัดต้องทำลายตัวอย่าง (Destructive) และวันหลังดอกบาน รวม 7 ตัวแปร ได้แก่ ค่า TSS, TA, TSS/TA ratio, % Recovery, Fruit firmness, Flesh firmness และ DAFS เป็นตัวแปรตาม (Y) และให้คุณสมบัติที่การตรวจวัดไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (Non destructive) รวม 36 ตัวแปร ได้แก่ ค่า Density, Sphericity, Color L, a, b และ Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตร วัดทุกๆ 10 นาโนเมตรเป็นตัวแปรอิสระ(X) ทำการวิเคราะห์ทั้งแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง พันธุ์เนื้อขาว และวิเคราะห์รวมทั้ง 2 พันธุ์ ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น Calibration set และ Validation set ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 เพื่อหา Model สำหรับทำนายค่าความสุกแก่ของผลแก้วมังกรจากคุณสมบัติที่เป็น Destructive เลือก Model ที่สามารถทำนายได้ดีที่สุดจากค่า Correlation coefficient (R^2), ค่า Standard Error of Prediction (SEP) และค่า Bias โดย Model ที่ดีจะมีค่า R^2 สูง ค่า SEP และ Bias ต่ำ และในการเปรียบเทียบ Model แต่ละ Model ว่ามีความสามารถในการทำนายแตกต่างกันหรือไม่นั้น จะต้องทำการเปรียบเทียบค่า Standard deviation of prediction of validation set ตามที่แนะนำโดย Snedecor and Cochran (1967) ว่าให้เลือก Model ที่ดีที่สุด 1 Model และเลือก Model อื่นที่น่าสนใจ

มาเปรียบเทียบ จะได้ ค่า SEP1/SEP2 จาก Model ทั้ง 2 จากนั้น คำนวณค่า Correlation of error จาก Model ทั้ง 2 และนำค่า Correlation มาคำนวณค่า K จากสมการ

$$K = 1 + \frac{2(1-r^2)t_{(N_p-2),0.025}^2}{N_p-2} \dots\dots\dots(7)$$

โดย $t_{(N_p-2),0.025}$ เป็นค่า t ที่ 2.5% ของ n-2 degree of freedom

ค่า N_p คือจำนวน ตัวอย่าง

จากนั้นนำค่า K มาหาค่า L จากสมการ

$$L = \sqrt{K + \sqrt{(K^2 - 1)}} \dots\dots\dots(8)$$

และนำค่า L ไปคูณ และหารกับค่า Standard deviation ของ Model ทั้ง 2 ที่ต้องการเปรียบเทียบ จะได้ค่า upper and lower limits of 95% confidence ซึ่งถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ค่า Standard deviation ของ model ที่เปรียบเทียบ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เลือก Model ที่ให้ค่าทำนายที่ดีที่สุด

4. วิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสร้างตัวแปรใหม่ที่เป็นตัวแทนของคุณสมบัติที่เป็น Destructive และวันหลังดอกบาน ได้แก่ ค่า TSS, TA, TSS/TA ratio, % Recovery, Fruit firmness, Flesh firmness และ DAFS โดยใช้เทคนิค Principal Component Analysis (PCA) โดยใช้โปรแกรม Uncrambler V 9.7 (Camo, Norway) ก่อนการวิเคราะห์ PCA จะต้องทำการปรับค่า ตัวแปรทุกตัว (Weighting) ก่อนโดยการหารด้วยค่า standard deviation เมื่อวิเคราะห์ PCA แล้ว ตัวแปรใหม่ที่ได้จะอยู่ในรูปของ PC1 และ PC2 ซึ่งเป็นตัวแทนของตัวแปรเดิม โดยตัวแปรใหม่ที่สามารถอธิบายตัวแปรเดิมได้มากที่สุด จะถูกกำหนดให้เป็นดัชนีการเก็บ (Multivariate Maturity Index: MMI) โดยค่า MMI จะได้จากค่า X- loading ของตัวแปรทั้ง 7 ตัว ทำการวิเคราะห์หาค่า MMI_R สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง MMI_W สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว และ MMI_WR สำหรับแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

5. วิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสร้างโมเดลทำนายดัชนีการเก็บเกี่ยวด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) อีกครั้ง โดยให้ MMI เป็นตัวแปร Y และ สมบัติที่เป็น Nondestructive ทั้งหมดเป็นตัวแปร X การวิเคราะห์จะพยายามลดตัวแปรที่ใช้ทำนาย ลง เพื่อให้ได้ model ที่ง่าย เพราะการใช้ตัวแปรในการทำนายมากการนำไปพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดจะมีความซับซ้อนมากขึ้น การพิจารณาเลือก model ใช้วิธีการเปรียบเทียบค่า SEP ของ model set ตามที่แนะนำโดย Snedecor and Cochran (1967) เช่นกัน



ผลและวิจารณ์

จากการเก็บเกี่ยวผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว (*Hylocereus undatus*) ตั้งแต่อายุ 23 วันจนถึง 40 วัน หลังดอกบาน พบว่า ผลแก้วมังกร จะเปลี่ยนแปลงขนาดของผล และสีผิวจากผลสีเขียว ในวันที่ 23 และ 24 หลังดอกบาน และเริ่มมีผิวสีแดงในวันที่ 25 โดยที่กลีบเลี้ยงยังมีสีเขียวอยู่ จนกระทั่งวันที่ 28 ผลจะเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งหมด จนถึงวันที่ 40 หลังดอกบาน โดยที่สีเขียวที่กลีบเลี้ยงจะค่อยๆ ลดลง ในขณะที่ผลเริ่มเปลี่ยนสีขนาดของผลก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นกันดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Nerd *et al.* (1999) ที่ทำการทดลองกับแก้วมังกรในประเทศอิสราเอล โดยการเปลี่ยนแปลงของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง (*Hylocereus polyrhizus*) เกิดขึ้นทำนองเดียวกับพันธุ์เนื้อขาว เปลือกของผลแก้วมังกรเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง โดยเริ่มมีสีแดงที่ 26 วันหลังดอกบาน และเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งหมดในวันที่ 29 หลังดอกบาน โดยที่กลีบเลี้ยงยังมีสีเขียว จนกระทั่งวันที่ 34 สีเขียวของกลีบเลี้ยงลดลง และเมื่ออายุมากขึ้นผลจะแตกเนื่องจากเปลือกบางลง ลักษณะของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ที่อายุ 23-40 วันหลังดอกบาน แสดงให้เห็นดังภาพที่ 9 ซึ่ง Merten (2003); Luder and McMahon (2004) ได้แนะนำว่า เวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวแก้วมังกรอยู่ที่ 28-30 วันหลังดอกบาน (Mature stage) โดยถ้าเก็บเกี่ยวก่อน 28 วัน ผลแก้วมังกรจะยังไม่อ่อน (Immature stage) แต่ถ้าเก็บเกี่ยวหลัง 30 วัน ผลแก้วมังกรจะแก่จัด (Over mature stage)



a) 23 วัน



b) 24 วัน



c) 25 วัน



d) 26 วัน



e) 27 วัน



f) 28 วัน



g) 29 วัน



h) 30 วัน

ภาพที่ 8 ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว (*Hylocereus undatus*) ที่อายุ 23-40 วันหลังดอกบาน



i) 32 วัน



j) 34 วัน



k) 36 วัน



l) 38 วัน



m) 40 วัน

ภาพที่ 8 (ต่อ)



a) 23 วัน



b) 24 วัน



c) 25 วัน



d) 26 วัน



e) 27 วัน



f) 28 วัน



g) 29 วัน



h) 30 วัน

ภาพที่ 9 ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง (*Hylocereus polyrhizus*) อายุ 23-40 วันหลังดอกบาน



i) 32 วัน



j) 34 วัน



k) 36 วัน



l) 38 วัน



m) 40 วัน

ภาพที่ 9 (ต่อ)

สมบัติทางกายภาพของผลแก้วมังกร

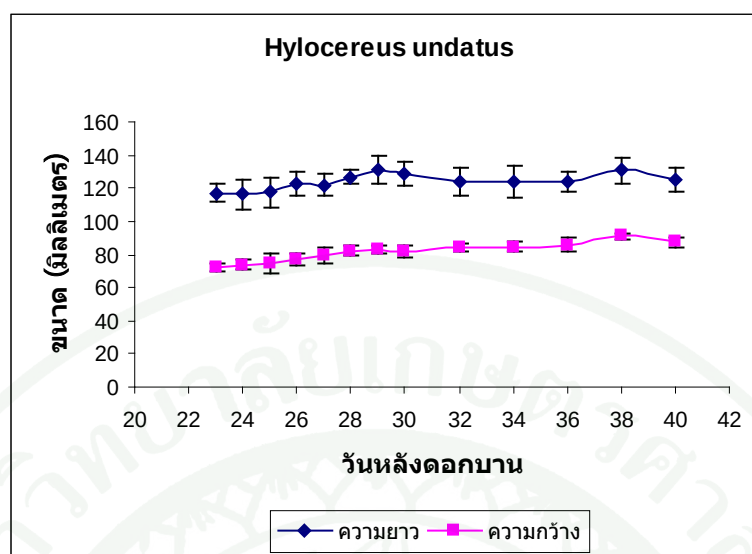
เมื่อวัดขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกร (ตารางที่ 1) พบว่า แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีขนาดใหญ่กว่าแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง โดยพันธุ์เนื้อขาวขนาดผลจะมีความยาวเฉลี่ย 116-131 มิลลิเมตร และมีความกว้าง เฉลี่ย 72-91 มิลลิเมตร โดยอัตราส่วนของความยาวต่อความกว้าง (L/W) มีค่า 1.43-1.63 ลักษณะผลเป็นวงรี (Oblong) ผลที่อ่อนจะมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างมากกว่าผลแก่ นั่นคือ เมื่อผลแก่การเจริญเติบโตด้านกว้างจะมากกว่าด้านยาว จากการคำนวณรูปร่างของผลจากเปอร์เซ็นต์ความกลม (% Sphericity) พบว่า ผลแก้วมังกรมีค่า Sphericity เท่ากับ 61-70 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับมะม่วงที่มีค่า Sphericity เท่ากับ 67-70 เปอร์เซ็นต์ (Jha *et al.*, 2005) ในขณะที่ผลแอปเปิ้ล มีค่า เปอร์เซ็นต์ความกลม 89-92 ส่วนลูกแพร์ พีช เชอร์รี่ และบลูเบอร์รี่มีค่า 89, 93, 95 และ 90 ตามลำดับ (Mohsenin, 1986).

ตารางที่ 1 ขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว (*Hylocereus undatus*)

วันหลังดอกบาน	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	อัตราส่วน ยาว:กว้าง	Sphericity (%)
23	117 ± 6*	72 ± 3	1.63	61.28
24	116 ± 9	74 ± 3	1.57	63.50
25	118 ± 9	75 ± 6	1.57	63.52
26	122 ± 7	77 ± 3	1.59	63.09
27	122 ± 7	79 ± 5	1.54	65.06
28	127 ± 4	82 ± 3	1.54	64.84
29	131 ± 8	83 ± 3	1.58	63.31
30	129 ± 7	82 ± 4	1.58	63.48
32	124 ± 9	84 ± 2	1.48	67.65
34	124 ± 9	85 ± 4	1.46	68.46
36	124 ± 6	86 ± 4	1.45	69.13
38	131 ± 8	91 ± 2	1.44	69.50
40	125 ± 7	88 ± 3	1.43	70.05

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

จากภาพที่ 10 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน ผลแก้วมังกรจะเจริญเติบโตทั้งด้านยาว และด้านกว้าง จากวันที่ 23-29 หลังดอกบาน หลังจากนั้นการขยายด้านยาวจะลดลง ส่วนด้านกว้างยังคงขยาย และหลังจากวันที่ 38 ผลแก้วมังกรจะมีขนาดลดลงทั้ง 2 ด้าน



ภาพที่ 10 ขนาดความยาว และความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน

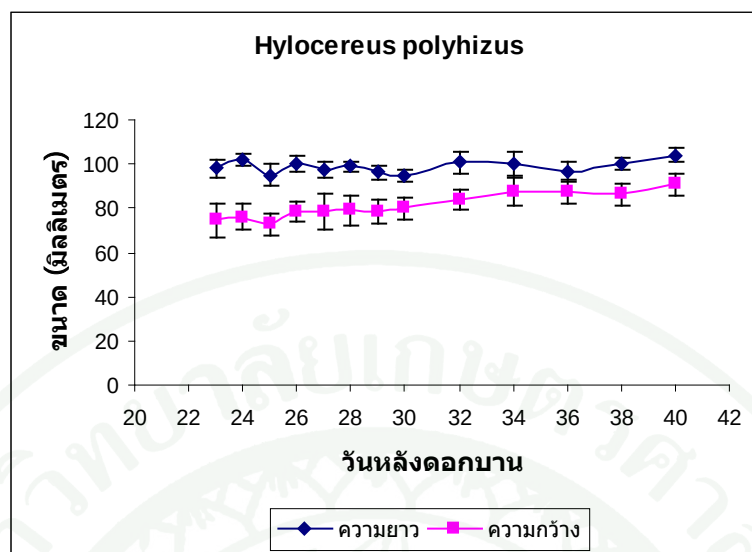
ส่วนพันธุ์เนื้อแดงมีขนาดความยาวเฉลี่ย 95-102 มิลลิเมตร และมีความกว้างเฉลี่ย 73-87 มิลลิเมตร อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างมีค่า 1.11-1.34 ซึ่งน้อยกว่าพันธุ์เนื้อขาว แสดงว่าผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงจะมีขนาดผลเล็ก ลักษณะค่อนข้างกลม หรือมีค่า % Sphericity เท่ากับ 75-87 ซึ่งมากกว่าพันธุ์เนื้อขาว (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง (*Hylocereus polyrhizus*)

วันหลังดอกบาน	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	อัตราส่วน ยาว:กว้าง	Sphericity (%)
23	98 ± 4*	74 ± 8	1.32	75.92
24	102 ± 3	76 ± 6	1.34	74.77
25	95 ± 5	73 ± 5	1.30	76.67
26	100 ± 3	79 ± 4	1.27	78.48
27	97 ± 4	79 ± 8	1.23	80.99
28	99 ± 2	79 ± 7	1.25	79.76
29	96 ± 3	79 ± 5	1.22	81.92
30	95 ± 3	80 ± 5	1.18	84.61
32	101 ± 5	84 ± 4	1.20	83.64
34	100 ± 6	87 ± 6	1.15	86.95
36	97 ± 4	87 ± 5	1.11	89.99
38	100 ± 3	86 ± 5	1.16	86.05
40	104 ± 3	91 ± 5	1.15	87.26

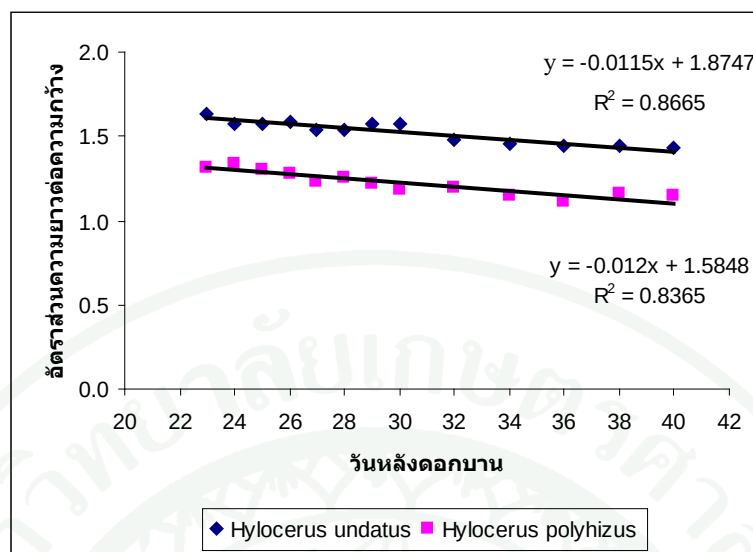
* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

จากภาพที่ 11 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ตามวันหลังดอกบาน ผลแก้วมังกรจะเจริญเติบโตด้านกว้างมากกว่าด้านยาว โดยผลจะขยายทางด้านกว้างใกล้เคียงกับด้านยาว ในวันที่ 36 หลังดอกบาน จะเห็นว่า ลักษณะการเจริญเติบโตทางด้านยาวและด้านกว้างของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทำให้มีค่าความกลมที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงเป็นคุณสมบัติที่สามารถนำมาจำแนกแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ออกจากกันได้ในเรื่องการคัดบรรจุ



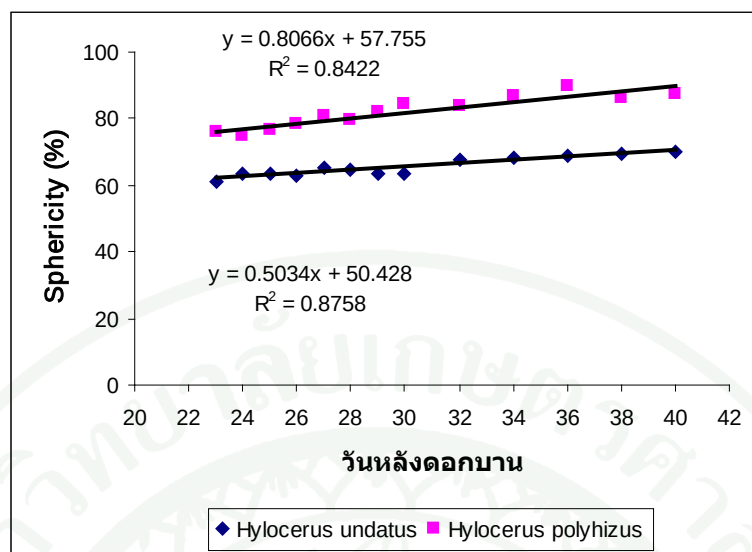
ภาพที่ 11 ขนาดความยาว และความกว้างของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ตามวันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 12 เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L/W) ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ จะเห็นว่า แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีขนาดเป็นวงรี (Oblong) มากกว่า พันธุ์เนื้อแดง และมีขนาดผลใหญ่กว่า ค่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของผลจะลดลง ตามจำนวนวันหลังดอกบานที่เพิ่มขึ้น เหมือนกัน ทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า L/W (Y) กับวันหลังดอกบาน (X) จะได้ ความสัมพันธ์ในรูปของสมการเส้นตรง $Y = -0.0115X + 1.8747$ ในพันธุ์เนื้อขาว และ สมการเส้นตรง $Y = -0.012X + 1.5848$ ในพันธุ์เนื้อแดง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.87 และ 0.84 ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและเนื้อแดง ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าความชันของสมการเส้นตรงทั้ง 2 เส้นยังมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า อัตราการลดลงของอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์อยู่ในอัตราเดียวกัน



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบอัตราส่วนความยาวและความกว้างของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

จากภาพที่ 13 การเปรียบเทียบค่า % Sphericity ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงมีค่า % Sphericity มากกว่าพันธุ์เนื้อขาว และค่า % Sphericity จะเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน แก้วมังกรที่เจริญเติบโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมเพิ่มขึ้นและ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Sphericity (Y) กับวันหลังดอกบาน (X) จะได้ความสัมพันธ์ กันในรูปแบบของสมการเส้นตรง $Y=0.5034X+50.428$ ในพันธุ์เนื้อขาว และสมการเส้นตรง $Y=0.8066X+57.756$ ในพันธุ์เนื้อแดง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8758 และ 0.8422 ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว และพันธุ์เนื้อแดงตามลำดับ โดยค่า % Sphericity ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงมีการเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากกว่าพันธุ์เนื้อขาว พิจารณาจากค่าความชันของเส้นกราฟ นั่นคือ แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงที่สูงกว่าจะมีรูปร่างกลมมากกว่าพันธุ์เนื้อขาว และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นผลค่อนข้างกลม ได้เร็วกว่าพันธุ์เนื้อขาว ซึ่งสามารถนำมาเป็นเกณฑ์ในการคัดแยกแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ได้เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบค่า % Sphericity ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

จากการทดลองหาน้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่นของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว (ตารางที่ 3) พบว่า ผลแก้วมังกรจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน จะมีน้ำหนักน้อยที่สุดที่ 23 วันหลังดอกบาน ซึ่งจะมีน้ำหนักประมาณ 320 ± 24 กรัม และจะมีน้ำหนักมากที่สุดที่ 38 วันหลังดอกบาน โดยหนักประมาณ 532 ± 38 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับที่ Nerd et al (1999) ได้พบว่าในขณะที่ผลแก้วมังกรเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature) เมื่อผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งหมด ที่อายุ 28-30 วันหลังดอกบานจะมีน้ำหนัก ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสูงสุด ในทำนองเดียวกันกับการเพิ่มปริมาตร โดยผลแก้วมังกรจะมีปริมาตรอยู่ที่ 315 ± 28 ถึง 506 ± 43 มิลลิลิตร และความหนาแน่นประมาณ 1.00 ± 0.04 ถึง 1.09 ± 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน และจะมีค่ามากที่สุดที่ 32 วันหลังดอกบาน แสดงว่าผลแก้วมังกรเจริญเต็มที่

ตารางที่ 3 น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่นของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

วันหลังดอกบาน	น้ำหนัก กรัม	ปริมาตร มิลลิลิตร	ความหนาแน่น กรัม/มิลลิลิตร
23	320 ± 24*	315 ± 28	1.02 ± 0.02
24	330 ± 33	331 ± 37	1.00 ± 0.04
25	335 ± 41	332 ± 47	1.01 ± 0.03
26	384 ± 40	369 ± 40	1.03 ± 0.04
27	393 ± 62	376 ± 65	1.05 ± 0.02
28	433 ± 41	414 ± 39	1.04 ± 0.01
29	448 ± 49	425 ± 49	1.06 ± 0.02
30	453 ± 36	426 ± 37	1.06 ± 0.01
32	438 ± 38	402 ± 39	1.09 ± 0.02
34	487 ± 41	453 ± 40	1.08 ± 0.01
36	476 ± 47	451 ± 47	1.06 ± 0.01
38	532 ± 38	506 ± 43	1.05 ± 0.02
40	491 ± 41	462 ± 42	1.06 ± 0.01

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

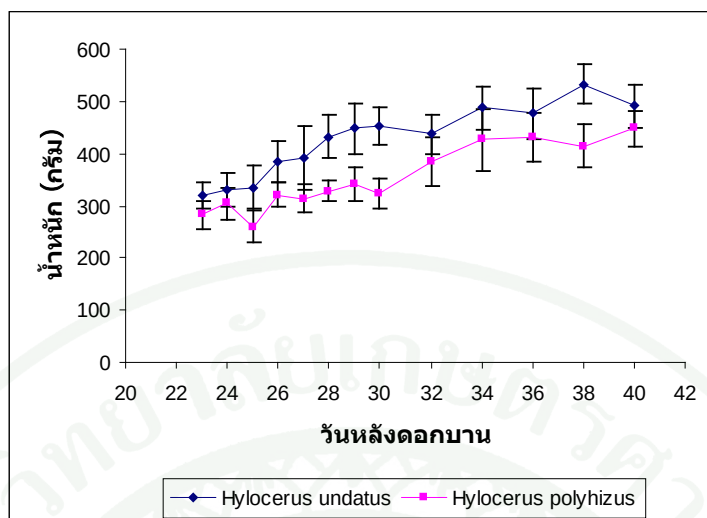
ส่วนน้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่นของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง (ตารางที่ 4) พบว่าน้ำหนักของผลแก้วมังกรจะเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน จากประมาณ 260±32 กรัม ในวันที่ 25 หลังดอกบานเป็นประมาณ 448±35 กรัม ในวันที่ 40 หลังดอกบาน ทำนองเดียวกับปริมาตรของผลแก้วมังกรจะเพิ่มจาก ประมาณ 255±35 มิลลิลิตร เป็นประมาณ 422±40 มิลลิลิตร ทำให้ความหนาแน่นของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงมีค่าประมาณ 0.98-1.08 กรัมต่อมิลลิลิตร จะเห็นว่าแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น ตามวันหลังดอกบานในทำนองเดียวกัน

ตารางที่ 4 น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่นของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

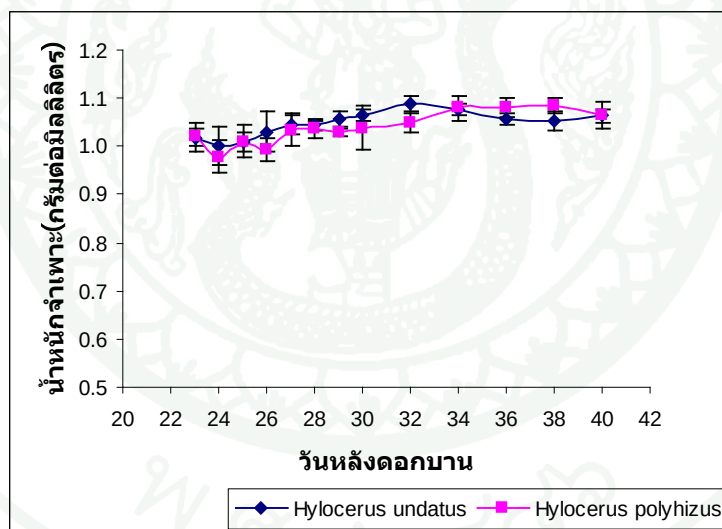
วันหลังดอกบาน	น้ำหนัก กรัม	ปริมาตร มิลลิลิตร	ความหนาแน่น กรัม/มิลลิลิตร
23	282 ± 28*	294 ± 71	1.02 ± 0.03
24	304 ± 30	312 ± 35	0.98 ± 0.03
25	260 ± 32	255 ± 35	1.01 ± 0.02
26	321 ± 23	324 ± 26	0.99 ± 0.02
27	314 ± 26	305 ± 29	1.03 ± 0.03
28	328 ± 20	317 ± 22	1.04 ± 0.02
29	342 ± 32	322 ± 30	1.03 ± 0.01
30	323 ± 29	311 ± 27	1.04 ± 0.05
32	385 ± 46	366 ± 43	1.05 ± 0.02
34	427 ± 60	397 ± 63	1.08 ± 0.03
36	431 ± 46	399 ± 48	1.08 ± 0.02
38	414 ± 41	382 ± 38	1.08 ± 0.02
40	448 ± 35	422 ± 40	1.06 ± 0.03

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ (ภาพที่ 14) พบว่าแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักในช่วง 23-30 วันหลังดอกบานมากกว่าพันธุ์เนื้อแดง แต่หลังจากวันที่ 30 หลังดอกบาน ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงจะมีน้ำหนักเพิ่มมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ (ภาพที่ 15) พบว่าแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน โดยในช่วงอ่อน (Immature) พันธุ์เนื้อขาวจะมีค่ามากกว่า แต่ในช่วงที่แก่ (Over mature) พันธุ์เนื้อแดงจะมีค่ามากกว่า



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ตามวันหลังดอกบาน



ภาพที่ 15 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ตามวันหลังดอกบาน

เมื่อทำการลอกเปลือกผลแก้วมังกรออกและชั่งน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกร เพื่อหาอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อและน้ำหนักเปลือก (ตารางที่ 5) พบว่าน้ำหนักเนื้อของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน ส่วนน้ำหนักเปลือกจะลดลง โดยน้ำหนักเนื้อจะเพิ่มจากประมาณ 105 ± 12 กรัม เป็นประมาณ 369 ± 33 กรัม ส่วนน้ำหนักเปลือกจะลดลงจากประมาณ 215 ± 18 กรัม เป็นประมาณ 122 ± 16 กรัมจากวันที่ 23 ถึงวันที่ 40 หลังดอกบาน และเมื่อคิดอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและน้ำหนักเปลือก พบว่า จะมีค่าเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงวันที่ 23-26 , 27-30 และ 32-40 วันหลังดอกบาน จะมีค่าอัตราส่วนน้ำหนักของเนื้อต่อเปลือกเป็น 0.49-0.63, 1.39-1.90 และ 2.38-3.03 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าช่วงแรกที่ผลแก้วมังกรยังอ่อน (Immature stage) จะมีน้ำหนักเปลือกมากกว่าน้ำหนักเนื้อ หลังจากนั้นจะมีการพัฒนาของส่วนที่เป็นเนื้อเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเนื้อจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลทำให้ขนาดของผลและน้ำหนักเนื้อเพิ่มขึ้นในขณะที่ส่วนของเปลือกจะไม่มีการพัฒนาเมื่อขนาดของผลขยายส่วนของเปลือกจึงบางลงทำให้ช่วงที่ 2 น้ำหนักเนื้อจึงมากกว่าเปลือกไม่เกิน 2 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับที่ Nerd *et al.* , (1999) ได้ศึกษาไว้ว่าน้ำหนักผลจะเพิ่มขึ้นถึง 80% ของน้ำหนักทั้งหมดก่อนที่เปลือกจะเริ่มเปลี่ยนสี ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่ผลแก้วมังกรเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage) หลังจากนั้น ส่วนของเปลือกจะลดลงมากทำให้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักเปลือกเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เมื่อผลเริ่มแก่จัด (Over mature stage) และมีโอกาสที่ผลจะแตก เนื่องจากเปลือกบางลงมาก สอดคล้องกับที่ปริญา (2548) ได้ศึกษาไว้ว่าในช่วงวันที่ 30 หลังดอกบานผลแก้วมังกรจะมีส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ 63.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อต่อเปลือก จะมีค่าเท่ากับ 1.76 และความหนาของเปลือกจะลดลงจนเหลือเพียง 0.29 เซนติเมตร

ตารางที่ 5 อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

วันหลังดอกบาน	น้ำหนักเนื้อ กรัม	น้ำหนักเปลือก กรัม	อัตราส่วนน้ำหนัก เนื้อ:เปลือก
23	105 ± 12*	215 ± 18	0.49
24	111 ± 16	219 ± 24	0.51
25	130 ± 23	205 ± 25	0.63
26	130 ± 23	255 ± 34	0.51
27	228 ± 50	164 ± 19	1.39
28	276 ± 28	157 ± 23	1.76
29	289 ± 27	159 ± 32	1.82
30	297 ± 26	156 ± 21	1.90
32	308 ± 27	129 ± 19	2.38
34	334 ± 26	153 ± 19	2.17
36	348 ± 42	128 ± 16	2.71
38	383 ± 29	149 ± 18	2.58
40	369 ± 33	122 ± 16	3.03

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

จากภาพที่ 16 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวช่วงวันที่ 23-26 หลังดอกบาน ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกน้อยกว่า 1 มีส่วนของเปลือกมากกว่าส่วนของเนื้อ เป็นช่วงที่ผลอ่อน เปลือกเป็นสีเขียว โดยที่เปลือกด้านในเริ่มมีสีแดงปรากฏให้เห็นช่วงวันที่ 25 หลังดอกบาน และวันที่ 26 ผิวเปลือกด้านในจะเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งหมด ในขณะที่ผิวเปลือกด้านนอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดง ช่วงนี้เนื้อจะมีขามากรวมทั้งเมล็ดสีดำภายในเนื้อก็มีมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเนื้อ ผลแก้วมังกรในช่วงนี้ยังไม่สามารถรับประทานได้



a) 23 วัน



b) 24 วัน



c) 25 วัน



d) 26 วัน

ภาพที่ 16 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 17 เมื่อผลแก้วมังกรพัฒนาต่อไปช่วงวันที่ 27-30 หลังดอกบาน ช่วงนี้การพัฒนาเกิดขึ้นเร็วมาก ส่วนของเนื้อเพิ่มมากขึ้นและส่วนของเปลือกเริ่มลดลง เปลือกภายนอกเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งหมด อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกเพิ่มขึ้นถึง 1.9 ในวันที่ 30 หลังดอกบาน เป็นช่วงที่แนะนำว่าสามารถเก็บเกี่ยวได้เนื่องจากผลแก้วมังกรเจริญเติบโตเต็มที่ (Nerd *et al.*, 1999)



a) 27 วัน



b) 28 วัน



c) 29 วัน



d) 30 วัน

ภาพที่ 17 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว ช่วง 27-30 วันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 18 ลักษณะของเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรยังคงเปลี่ยนแปลงช่วง 32-40 วัน เปลือกจะบางลงมากอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อและเปลือกเพิ่มเป็น 2-3 ผลแก้วมังกรเข้าสู่ช่วงที่ผลแก่จัด (Over mature stage) ผลมีขนาดใหญ่มากมีน้ำหนักมากที่สุด เริ่มปรากฏลักษณะใสๆ ในเนื้อ (Translucence) และเปลือกบางลงมากมีโอกาที่จะเกิดความเสียหายจากการทำลายของเชื้อโรคและนก รวมทั้งเปลือกแตก จึงควรเก็บเกี่ยวผลแก้วมังกรก่อนที่จะถึงช่วงนี้



a) 32 วัน



b) 34 วัน



c) 36 วัน



d) 38 วัน

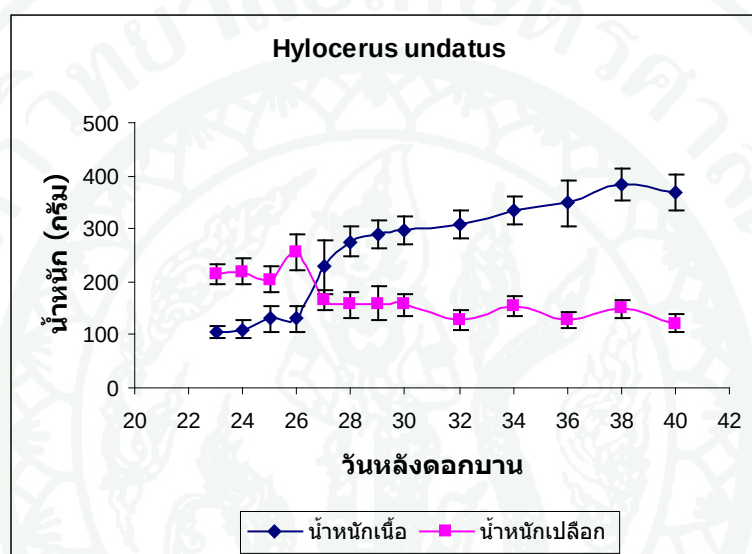


e) 40 วัน



ภาพที่ 18 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวช่วง 32-40 วันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 19 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว ตามวันหลังดอกบาน พบว่า ช่วงวันที่ 23-26 หลังดอกบาน น้ำหนักเปลือกจะมากกว่าน้ำหนักเนื้อ และวันที่ 27 น้ำหนักเนื้อจะเพิ่มขึ้นจนมีน้ำหนักมากกว่าเปลือก โดยน้ำหนักเนื้อจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วช่วงวันที่ 26-28 หลังดอกบาน และหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ส่วนน้ำหนักเปลือกจะลดลงมากช่วงวันที่ 26-27 หลังดอกบาน หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ



ภาพที่ 19 น้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน

อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง เปลี่ยนแปลงไปตามวันหลังดอกบาน (ตารางที่ 6) โดยน้ำหนักเนื้อจะเพิ่มขึ้นแต่น้ำหนักเปลือกจะลดลง น้ำหนักเนื้อจะเพิ่มขึ้นจาก 103 ± 16 กรัม เป็น 361 ± 33 กรัม แต่น้ำหนักเปลือกจะลดลงจาก 179 ± 24 กรัม เป็น 87 ± 11 กรัม จากวันที่ 23-40 วันหลังดอกบาน และ เมื่อคำนวณอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อและเปลือก พบว่าสามารถแบ่งเป็น 3 ช่วงเช่นเดียวกับพันธุ์เนื้อขาว โดยช่วงแรกๆที่ 23-26 วัน ช่วงที่สองวันที่ 27-30 วัน และช่วงที่สาม วันที่ 32-40 วันหลังดอกบาน อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกมีค่า 0.5-0.7, 1.0-1.5 และ 2.7-4.2 ตามลำดับ ลักษณะของเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงแสดงให้เห็นในภาพที่ 20-22

ตารางที่ 6 อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

วันหลังดอกบาน	น้ำหนักเนื้อ (กรัม)	น้ำหนักเปลือก (กรัม)	อัตราส่วนเนื้อ:เปลือก
23	103 ± 16*	179 ± 24	0.58
24	106 ± 15	198 ± 21	0.54
25	104 ± 17	156 ± 29	0.67
26	136 ± 14	185 ± 23	0.74
27	158 ± 15	156 ± 20	1.01
28	180 ± 28	147 ± 22	1.22
29	201 ± 25	141 ± 34	1.43
30	193 ± 27	130 ± 23	1.49
32	280 ± 41	104 ± 15	2.68
34	327 ± 39	99 ± 26	3.30
36	356 ± 42	75 ± 9	4.73
38	337 ± 35	77 ± 23	4.37
40	361 ± 33	87 ± 11	4.15

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากภาพที่ 20 แสดงลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน จะเห็นว่า เนื้อส่วนใหญ่ยังเป็นสีขาวมีเพียงจุดแดงเล็กๆ ปรากฏในบางผลเท่านั้น และในวันที่ 23 จุดสีแดงจะเพิ่มขึ้นจนเป็นสีแดงทั้งผลในวันที่ 26 หลังดอกบาน ส่วนของเปลือกจะมีความหนาและค่อยๆ ลดลง ในขณะที่สีของเปลือกภายนอกส่วนใหญ่ยังมีสีเขียวและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงบ้าง โดยสีที่เปลือกจะมีการเปลี่ยนน้อยกว่าที่เนื้อ ในช่วงนี้น้ำหนักของเนื้อจะน้อยกว่าน้ำหนักของเปลือก และเนื้อยังไม่สามารถรับประทานได้ เนื่องจากมียางเหนียว



a) 23 วัน



b) 24 วัน



c) 25 วัน



d) 26 วัน

ภาพที่ 20 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 21 เมื่อผลแก้วมังกรมีอายุมากขึ้นในช่วง 27-30 วันหลังดอกบาน เนื้อแก้วมังกรจะเปลี่ยนเป็นสีแดง ผลมีขนาดและน้ำหนักเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปลือกเริ่มบางลงและเปลี่ยนเป็นสีแดง โดยที่กลีบเลี้ยงยังมีสีเขียวอยู่ ในวันที่ 28 หลังดอกบาน และในวันที่ 30 ผลแก้วมังกรจะมีความสมบูรณ์เต็มที่ เปลือกและเนื้อเป็นสีแดงทั้งหมดส่วนปลายกลีบยังคงเป็นสีเขียว เปลือกบางลงจนมีน้ำหนักน้อยกว่าเนื้อถึง 1.5 เท่า จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงและเนื้อขาวเป็นไปในแบบเดียวกัน



a) 27 วัน



b) 28 วัน



c) 30 วัน



d) 30 วัน

ภาพที่ 21 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ช่วง 27-30 วันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 22 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ที่ช่วงอายุ 32-40 วัน หลังดอกบาน หรือช่วงที่ผลแก้วมังกรเริ่มแก่ลักษณะเนื้อจะมีสีแดงเข้มและเปลือกบางลงมาก อัตราส่วนน้ำหนักของเนื้อและเปลือกอยู่ที่ 2.7-4.2 โดยในวันท้ายๆ ของการทดลองมีบางผลเริ่มแตกเนื่องจากเปลือกที่บางมาก นั่นเอง



a) 32 วัน



b) 34 วัน



c) 36 วัน



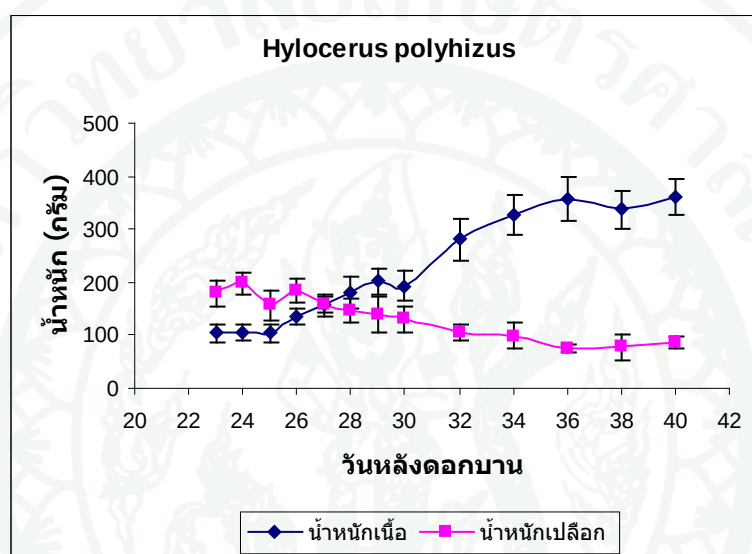
d) 38 วัน



e) 38 วัน

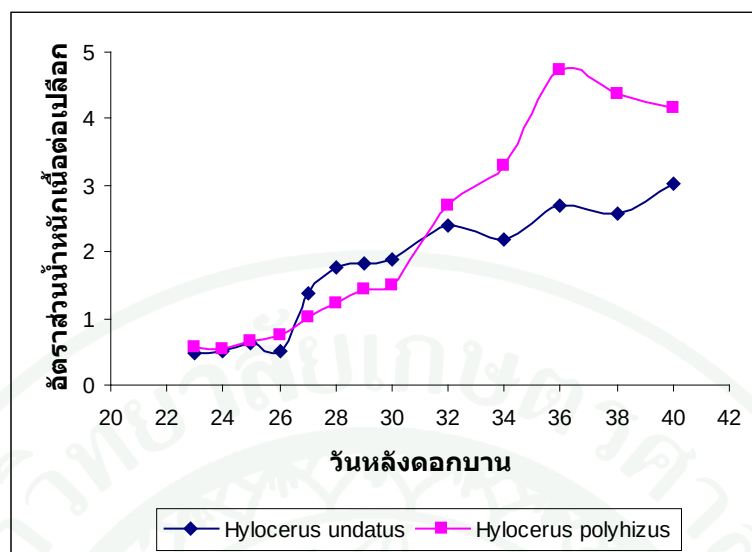
ภาพที่ 22 ลักษณะเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ช่วง 32-38 วันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อและน้ำหนักเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ในช่วงวันที่ 23-26 หลังดอกบาน ส่วนของเปลือกจะมีน้ำหนักมากกว่าเนื้อ และหลังจากวันที่ 27 น้ำหนักของเนื้อจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ส่วนของเปลือกจะค่อยๆ ลดลงจนถึงวันที่ 40 ในส่วนของน้ำหนักเนื้อนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 30 หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงวันที่ 36 หลังจากนั้นจะคงที่



ภาพที่ 23 น้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงตามวันหลังดอกบาน

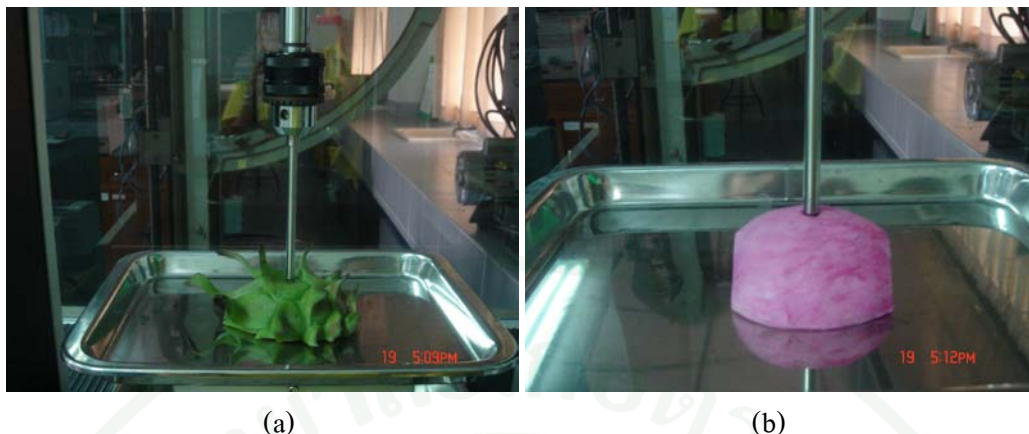
จากภาพที่ 24 เปรียบเทียบอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ พบว่า การเจริญเติบโตและการพัฒนาการของเนื้อแก้วมังกร จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังวันที่ 26 หลังดอกบาน โดยผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อและเปลือกเพิ่มขึ้น มากกว่าพันธุ์เนื้อแดง แต่หลังจากวันที่ 30 หลังดอกบานอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อและเปลือกในผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงจะมากกว่าพันธุ์เนื้อขาว แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาและการขนส่งผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะทำได้ง่ายกว่า เกิดการสูญเสียน้อยกว่า เนื่องจากมีอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกน้อยกว่าหรือมีเปลือกที่หนากว่านั่นเอง



ภาพที่ 24 อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ ตามวันหลังดอกบาน

สมบัติเชิงกลของผลแก้วมังกร

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของผลแก้วมังกร ได้ทดลองหาค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกร โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine: Lloyd EZ 20 ติดหัวกดแบบหัวมนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 มิลลิเมตรต่อนาที (ASAE standard, 1998) กดลงที่ผลแก้วมังกรเป็นระยะทาง 10 มิลลิเมตร แล้วคำนวณค่าความลาดชันของกราฟแรงและการเปลี่ยนรูป (Force-Deformation Graph) ที่ 30% ของแรงกดสูงสุด ในหน่วย N/mm ทำการทดลอง 2 แบบ คือ หาค่าความแน่นเนื้อทั้งเปลือก เรียกว่า Fruit firmness และหาค่าความแน่นเนื้อเฉพาะเนื้อไม่มีเปลือก เรียกว่า Flesh firmness วิธีการวัดค่าความแน่นเนื้อทั้ง 2 แบบแสดงให้เห็น ในภาพที่ 25



(a)

(b)

ภาพที่ 25 การวัดค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

(a) Fruit firmness และ (b) Flesh firmness

จากการทดลองหาค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวที่อายุ 23-40 วันหลังดอกบาน โดยทดลองวันละ 20 ผล (ตารางที่ 7) พบว่าผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีค่า Fruit firmness สูงสุดเท่ากับ 15.3 ± 1.1 N/mm ที่อายุ 23 วันหลังดอกบาน และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่า 6.1 ± 0.6 N/mm ในวันที่ 26 วันหลังดอกบาน จากนั้นค่าความแน่นเนื้อจะค่อยๆ ลดลงจนเหลือประมาณ 4.7 ± 0.8 ในวันที่ 38 และกลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 40 หลังดอกบาน ในส่วนของค่า Flesh firmness ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวก็แสดงผลไปในทางเดียวกัน เพียงแต่ค่า Flesh firmness จะน้อยกว่าเท่านั้นเอง ค่าFlesh firmness สูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.4 ± 0.5 N/mm ในวันที่ 23 และลดลงเหลือ 1.5 N/mm ในวันที่ 26 หลังจากนั้นค่า Flesh firmness จะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเนื้อจากคาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาล จนมีค่าเท่ากับ 1.1 N/mm ในวันที่ 36 ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย จากการที่ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวมีค่าความแน่นเนื้อ Fruit firmness ค่อนข้างสูง เนื่องจากการมีเปลือกที่หนากว่านั่นเอง

ตารางที่ 7 ค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

วันหลังดอกบาน	Fruit firmness (N/mm)	Flesh firmness (N/mm)
23	15.3 ± 1.1*	2.4 ± 0.5
24	13.5 ± 2.0	1.8 ± 0.3
25	10.8 ± 2.9	2.0 ± 0.4
26	6.1 ± 0.6	1.5 ± 0.3
27	5.1 ± 0.8	1.8 ± 0.4
28	5.7 ± 0.5	1.6 ± 0.4
29	5.6 ± 0.5	1.8 ± 0.5
30	5.5 ± 0.5	1.3 ± 0.4
32	5.2 ± 0.5	1.5 ± 0.5
34	5.7 ± 1.1	1.5 ± 0.4
36	4.9 ± 0.7	1.1 ± 0.2
38	4.7 ± 0.8	1.3 ± 0.2
40	5.1 ± 0.9	1.4 ± 0.4

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

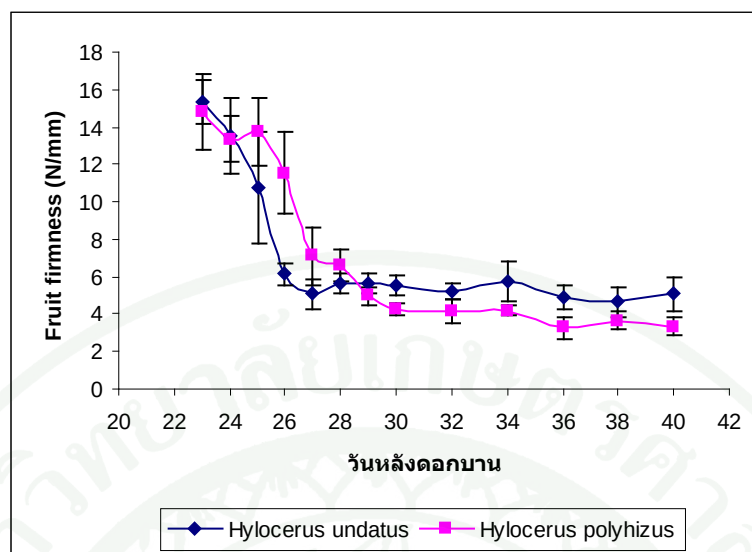
ส่วนค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง (ตารางที่ 8) พบว่า ค่าFruit firmness ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 14.8 ± 2.0 N/mm ในวันที่ 23 หลังดอกบาน และลดลงอย่างรวดเร็วจนเหลือ 7.1 ± 1.5 N/mm ในวันที่ 27 จากนั้นจะค่อยๆลดลงจนมีค่าเท่ากับ 3.3 ± 0.5 N/mm ในวันสุดท้ายของการทดลอง จะเห็นว่าค่า Fruit firmness ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีค่ามากกว่าพันธุ์เนื้อแดง เนื่องจากแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงมีเปลือกที่บางมาก นั่นเอง ส่วนค่าFlesh firmness ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงนั้นมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.3 ± 0.5 N/mm ในวันที่ 23 และลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 1.8 ± 0.4 N/mm ในวันที่ 27 หลังดอกบาน จากนั้นค่อยๆลดลงจนมีค่าประมาณ 1.3 ± 0.3 N/mm ในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยค่าFlesh firmness ของทั้ง 2 พันธุ์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าความแน่นเนื้อ (Flesh firmness) ของแก้วมังกรพันธุ์นี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความแน่นเนื้อของผลมะเขือเทศสำหรับใช้ประกอบอาหารในครัวเรือนซึ่งจะมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่า 1.28 N/mm (Batu, 2004)

ตารางที่ 8 ค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

วันหลังดอกบาน	Fruit firmness (N/mm)	Flesh firmness (N/mm)
23	14.8 ± 2.0*	3.3 ± 0.5
24	13.4 ± 1.2	3.2 ± 0.6
25	13.7 ± 1.8	3.3 ± 0.5
26	11.5 ± 2.2	2.7 ± 0.5
27	7.1 ± 1.5	1.8 ± 0.4
28	6.6 ± 0.8	1.8 ± 0.5
29	5.0 ± 0.5	1.6 ± 0.3
30	4.3 ± 0.3	1.4 ± 0.3
32	4.1 ± 0.7	1.3 ± 0.3
34	4.2 ± 0.3	1.2 ± 0.2
36	3.3 ± 0.6	1.0 ± 0.2
38	3.6 ± 0.5	1.1 ± 0.3
40	3.3 ± 0.5	1.3 ± 0.3

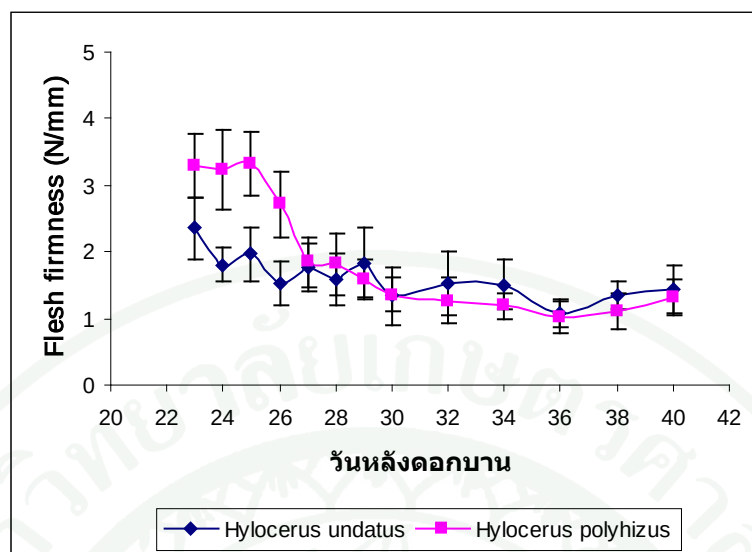
* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

จากภาพที่ 26 เปรียบเทียบค่า Fruit firmness ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ จะเห็นว่าในช่วงแรกค่า Fruit firmness ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงจะมีค่ามากกว่าพันธุ์เนื้อขาวเล็กน้อย และค่า Fruit firmness ของทั้ง 2 พันธุ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว จากวันที่ 23 ถึงวันที่ 26 ในพันธุ์เนื้อขาว และวันที่ 27 ในพันธุ์เนื้อแดง ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าว แก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ยังอยู่ในช่วง Immature ผลยังมีสีเขียว และเริ่มปรากฏสีแดง เป็นช่วง First color ตามที่ Nerd *et al.* (1999) ได้กล่าวไว้และหลังจากนั้นค่าความแน่นเนื้อจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในพันธุ์เนื้อขาว แต่ในพันธุ์เนื้อแดง ค่าความแน่นเนื้อยังลดลงอีก 2 ช่วง ถึงวันที่ 30 และ 34 ก่อนที่จะคงที่ โดยหลังจากวันที่ 28 หลังดอกบานผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงจะมีค่าความแน่นเนื้อผล (Fruit firmness) ต่ำกว่าพันธุ์เนื้อขาว เนื่องจากมีเปลือกที่บางกว่านั่นเอง



ภาพที่ 26 ค่าความแน่นเนื้อผล (Fruit firmness) ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

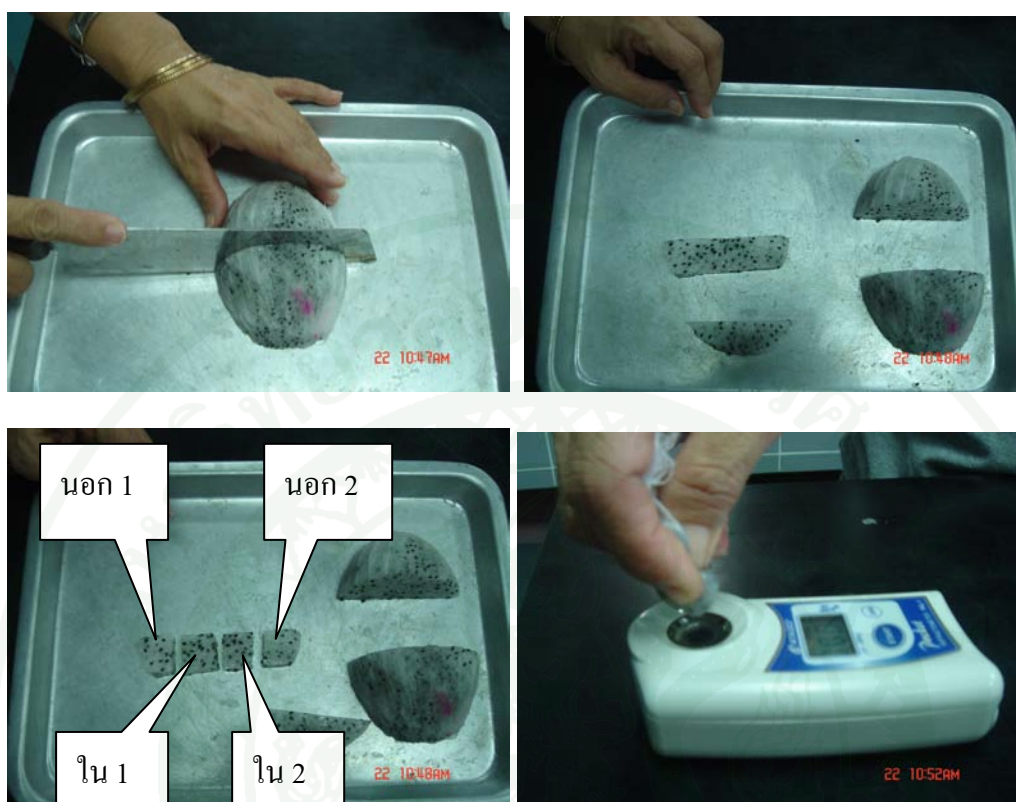
จากภาพที่ 27 เปรียบเทียบค่า Flesh firmness ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ พบว่า ช่วงวันที่ 23-27 หลังดอกบาน แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงมีค่า Flesh firmness มากกว่าพันธุ์เนื้อขาวมาก หลังจากนั้นพันธุ์เนื้อขาวจะมีค่ามากกว่าเล็กน้อย ค่า Flesh firmness ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์จะลดลงมากในช่วง 23-27 วันหลังดอกบาน จากนั้นจึงค่อยๆ ลดลง ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อและเปลือกของผลแก้วมังกร จะเห็นว่า การหาค่าความแน่นเนื้อทั้ง Fruit firmness และ Flesh firmness ตัวอย่างจะถูกทำลายโดยการที่ต้องกดลงไปทีระดับ 10 มิลลิเมตร เท่าๆ กัน



ภาพที่ 27 ค่าความแน่นเนื้อ (Flesh firmness) ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

สมบัติทางสรีรวิทยาของผลแก้วมังกร

จากการทดลองหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากน้ำคั้นของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว ที่ตำแหน่งต่างๆ ของผล โดยเมื่อผ่าครึ่งผลแก้วมังกร ลอกเปลือกออก และตัดผลตามความกว้าง บริเวณกึ่งกลางของผล และแบ่งเป็น 4 ชิ้น บริเวณด้านใน 2 ชิ้นและด้านนอก 2 ชิ้น ตามการตัดขวางของผล การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับวัดค่า TSS ด้วยเครื่อง Refractometer แสดงให้เห็นในภาพที่ 28 การวัดค่า TSS จากน้ำคั้นจากเนื้อแก้วมังกรจะคั้นน้ำที่ละชิ้น โดยบีบน้ำผ่านผ้าขาวบาง ลงบนเครื่อง Refractometer เพื่ออ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ของผลแก้วมังกรที่ตำแหน่งต่างๆ ของผล (ตารางที่ 9) พบว่าค่า TSS ของน้ำคั้นจะเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน โดยบริเวณด้านในหรือกึ่งกลางผลจะมีค่า TSS สูงกว่าบริเวณด้านนอก หรือขอบนอกของผลในทุกตัวอย่าง ค่า TSS จะเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน โดย ช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน จะมีค่า TSS ต่ำที่สุดและเพิ่มขึ้น ช่วง 27-30 วันหลังดอกบาน และมีค่ามากที่สุด ช่วง 32-40 วัน โดยมีค่า TSS บริเวณ ด้านใน เท่ากับ 8.0-15.0, 16.6-19.2, และ 19.8-20.2°Brix ตามลำดับ และบริเวณด้านนอกมีค่า TSS เท่ากับ 7.6-12.6, 13.1-14.6 และ 14.1-14.9°Brix ตามลำดับ ในช่วงที่ผลไม้เริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลทำให้มีค่าความหวานเพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2538)



ภาพที่ 28 การเตรียมชิ้นเนื้อแก้วมังกรสำหรับตรวจวัดค่า TSS

ตารางที่ 9 ค่า TSS ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวที่ตำแหน่งต่างๆ ของผล

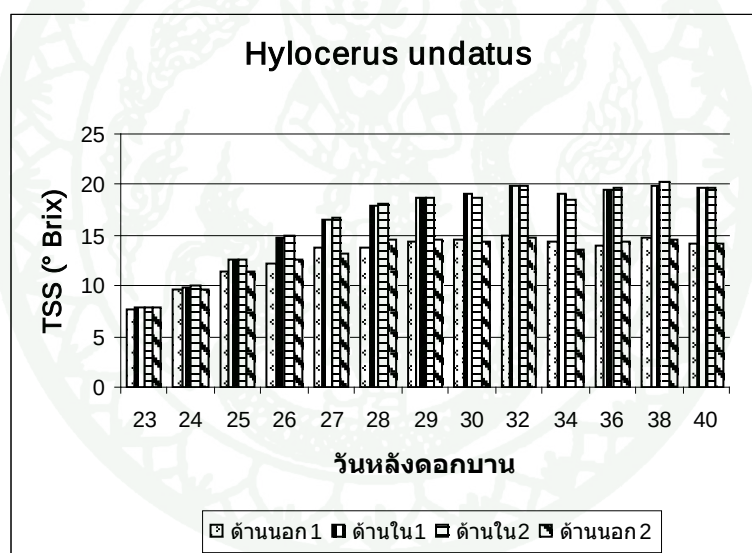
วันหลังดอกบาน	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS:°Brix)			
	ด้านนอก 1**	ด้านใน 1	ด้านใน 2	ด้านนอก 2
23	7.6 ± 0.7*	8.0 ± 0.8	8.0 ± 0.8	7.9 ± 0.8
24	9.6 ± 1.3	9.8 ± 1.4	10.0 ± 1.3	9.7 ± 1.0
25	11.3 ± 1.4	12.5 ± 1.8	12.6 ± 1.6	11.4 ± 1.4
26	12.1 ± 1.5	14.7 ± 1.2	15.0 ± 1.5	12.6 ± 1.9
27	13.9 ± 1.2	16.6 ± 0.6	16.7 ± 0.6	13.1 ± 1.2
28	13.8 ± 1.1	17.8 ± 0.6	18.2 ± 0.7	14.5 ± 1.3
29	14.4 ± 1.1	18.7 ± 1.1	18.8 ± 1.0	14.6 ± 1.1
30	14.6 ± 1.4	19.2 ± 0.8	18.7 ± 1.0	14.3 ± 1.1
32	14.9 ± 1.0	19.8 ± 1.2	19.9 ± 1.2	14.8 ± 1.1
34	14.3 ± 1.1	19.1 ± 0.8	18.5 ± 0.8	13.5 ± 1.2
36	14.1 ± 1.1	19.5 ± 1.2	19.7 ± 1.1	14.3 ± 1.3
38	14.7 ± 0.7	19.9 ± 1.0	20.2 ± 0.7	14.6 ± 1.0
40	14.2 ± 0.8	19.7 ± 0.8	19.6 ± 1.2	14.1 ± 0.8

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

** ขั้วผล

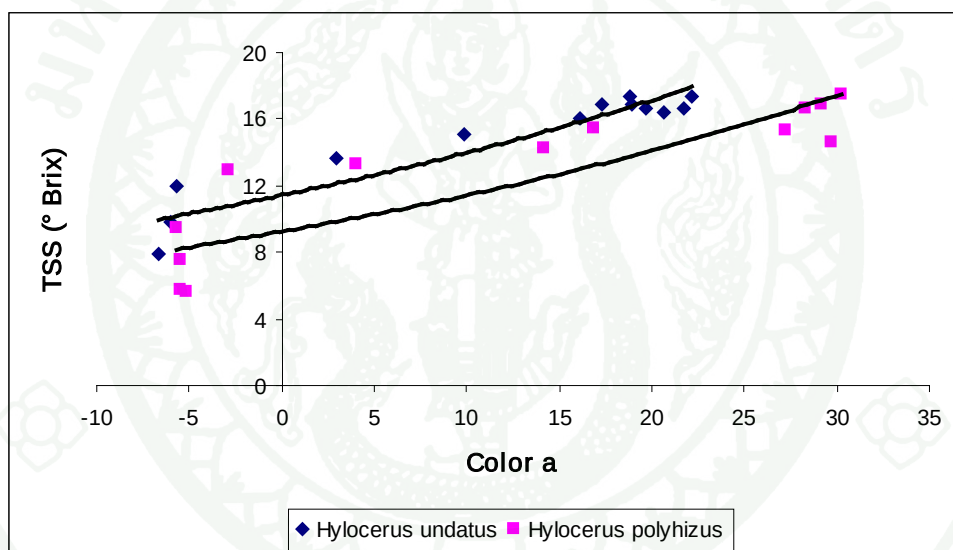
□□ | □□
นอก1 ใน1 ใน2 นอก 2

จากภาพที่ 29 แสดงให้เห็นค่า TSS ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว ที่ตำแหน่งต่างๆ ของผล ตามวันหลังดอกบาน จะเห็นว่าค่า TSS จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยบริเวณด้านในค่า TSS จะสูงกว่าบริเวณด้านนอก ค่า TSS จะเพิ่มขึ้นจากประมาณ 8°Brix ที่ 23 วันหลังดอกบาน และเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 15°Brix ที่ 26 วัน และเพิ่มเป็นประมาณ 20°Brix ที่ 32 วัน ส่วนบริเวณด้านนอกของผลค่า TSS จะน้อยกว่าด้านใน มีค่าสูงสุดประมาณ 15°Brix ช่วง 29-32 วันหลังดอกบาน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่า TSS ของผลแก้วมังกรเพิ่มขึ้นเมื่อผลเริ่มเปลี่ยนสี และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผลเปลี่ยนสีเป็นแดงทั้งหมด ค่าสีของเปลือกสัมพันธ์กับค่า TSS ดังภาพที่ 30 และในทำนองเดียวกันกับค่าความแน่นเนื้อ Fruit firmness และ Flesh firmness ของผลแก้วมังกรลดลง เมื่อค่า TSS เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 29 ค่า TSS ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวที่ตำแหน่งต่างๆของผล ตามวันหลังดอกบาน

ค่า TSS ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่ตำแหน่งต่างๆของผล (ตารางที่ 10) พบว่า ค่า TSS จะเพิ่มขึ้นจากประมาณ $5.6 \pm 0.9^{\circ}\text{Brix}$ เป็น $20.2 \pm 0.9^{\circ}\text{Brix}$ จากช่วง 23-40 วันหลังดอกบาน โดยค่าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จาก 23-27 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยบริเวณด้านในของผลจะมีค่า TSS มากกว่าด้านนอก ค่า TSS ของแก้วมังกรเนื้อแดง มีค่าเท่ากับ 5.8- 13.9, 13.9-17.1 และ $17.4-20.2^{\circ}\text{Brix}$ ช่วงวันที่ 23-27, 28-30, และ 32-40 หลังดอกบาน ตามลำดับ ที่บริเวณด้านใน ส่วนบริเวณด้านนอก ค่า TSS มีค่าเท่ากับ 5.6-12.1, 12.3-14.3 และ $13.0-14.5^{\circ}\text{Brix}$ ตามลำดับ จะเห็นว่าค่า TSS ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ช่วงที่เปลือกมีสีเขียว (ค่าสี a เป็นลบ)จะมีค่าน้อย และเพิ่มขึ้นตามสีของเปลือกที่เปลี่ยนเป็นสีแดง (ค่าสี a เป็นบวก) ดังภาพที่ 30



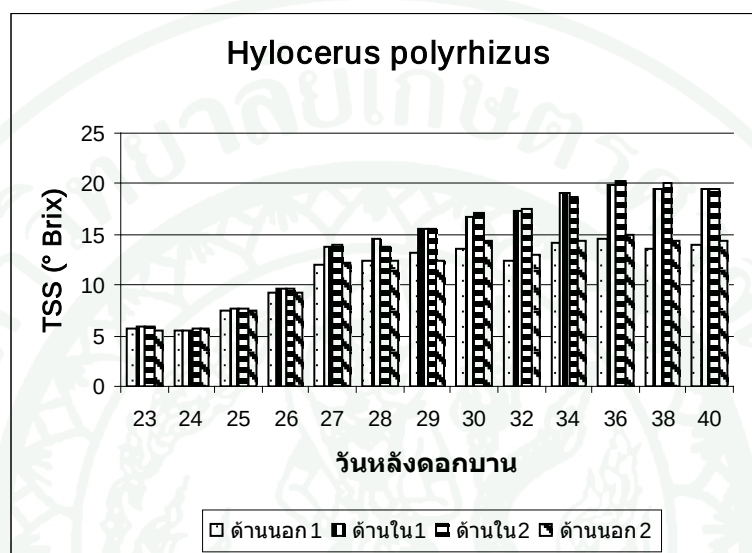
ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเปลือก (color a) กับค่า TSS ของผลแก้วมังกร

ตารางที่ 10 ค่า TSS ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่ตำแหน่งต่างๆ ของผล

วันหลังดอกบาน	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)			
	ด้านนอก1	ด้านใน1	ด้านใน2	ด้านนอก2
23	5.7 ±1.0*	5.9 ±0.8	5.8 ±0.8	5.6 ±0.9
24	5.6 ±0.6	5.6 ±0.5	5.7 ±0.5	5.7 ±0.7
25	7.5 ±1.2	7.7 ±1.4	7.7 ±1.3	7.5 ±1.2
26	9.2 ±1.6	9.7 ±1.7	9.7 ±1.7	9.3 ±1.5
27	11.9 ±1.5	13.8 ±1.6	13.9 ±1.6	12.1 ±1.3
28	12.4 ±1.4	14.7 ±1.1	13.9 ±1.5	12.3 ±1.3
29	13.2 ±1.4	15.6 ±1.4	15.5 ±1.4	12.5 ±1.4
30	13.6 ±0.8	16.7 ±1.0	17.1 ±1.2	14.3 ±0.9
32	12.3 ±1.6	17.4 ±1.8	17.6 ±1.8	13.0 ±1.4
34	14.2 ±1.0	19.0 ±1.2	18.8 ±1.3	14.4 ±1.0
36	14.6 ±1.1	19.9 ±1.1	20.2 ±0.9	15.0 ±1.5
38	13.5 ±1.4	19.4 ±1.8	20.1 ±1.5	14.5 ±1.5
40	13.9 ±1.6	19.4 ±1.1	19.5 ±1.4	14.5 ±1.7

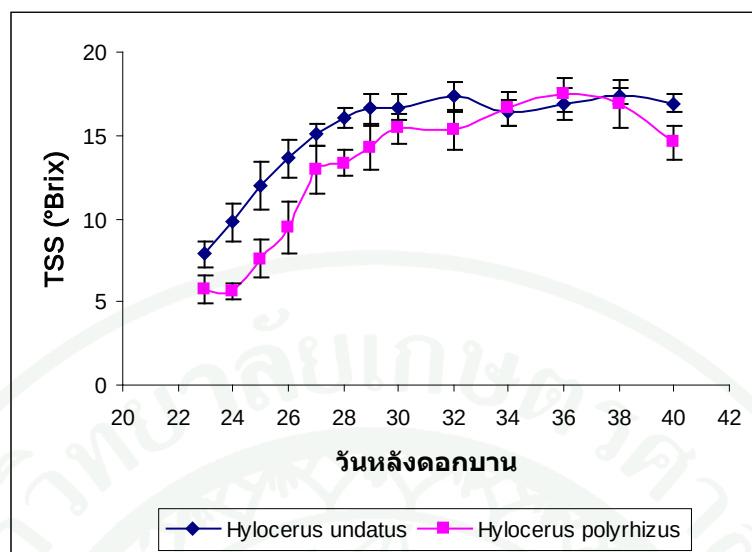
*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

จากภาพที่ 31 ค่า TSS ของเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงที่ตำแหน่งต่างๆของผล จะเห็นว่า ช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน ค่า TSS ที่ตำแหน่งต่างๆของผลยังไม่แตกต่างกันมาก แต่พอวันที่ 27 เป็นต้นไปค่า TSS บริเวณด้านในจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าบริเวณด้านนอกอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 31 ค่า TSS ของเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงที่ตำแหน่งต่างๆของผล

จากภาพที่ 32 เมื่อเปรียบเทียบค่า TSS เฉลี่ยของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ โดยพันธุ์เนื้อขาวจะมีค่าสูงสุดเร็วกว่าพันธุ์เนื้อแดง จะเห็นว่า แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวมีค่า TSS เฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์เนื้อแดง ตั้งแต่ช่วง 23-34 วันหลังดอกบาน และหลังจากนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันและแตกต่างกันเล็กน้อย ในช่วงท้ายของการทดลอง โดยค่า TSS ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดงมีค่าเฉลี่ยที่ 18 และ 16 °Brix ตามลำดับ ในช่วงที่ผลเปลี่ยนเป็นสีแดง ซึ่งค่า TSS ที่ได้้นี้มากกว่าที่ ปริญา (2548) และ อาทิตย์ (2549) ได้ศึกษาไว้ เนื่องจากเป็นแก้วมังกรที่มาจากคนละแหล่ง สภาพแวดล้อม การปลูกที่ต่างกันมีผลต่อคุณภาพของแก้วมังกร (นฤมล, 2537)



ภาพที่ 32 เปรียบเทียบค่า TSS เฉลี่ยของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

การตรวจวัดค่าปริมาณกรดทั้งหมด (%Total acidity : % TA) ของน้ำคั้นจากผลแก้วมังกร ทำโดยนำเนื้อแก้วมังกรที่เหลือทั้งหมดเข้าเครื่องสกัด เพื่อแยกน้ำออกจากเนื้อ และกรองน้ำที่แยกได้ด้วยสำลีอีกครั้งก่อนนำน้ำที่ได้ไปไตเตรทด้วย 0.1 N NaOH จนได้ pH เท่ากับ 8.2 วัดด้วย pH meter และนำค่าปริมาณ NaOH ที่ใช้ไปคำนวณค่าปริมาณกรดทั้งหมด (ตารางที่ 11) พบว่า ค่า % TA ของแก้วมังกรช่วง 23-26 วันหลังดอกบานมีค่ามาก และหลังจากนั้นค่าจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าเท่ากับ 0.2 % ในวันสุดท้ายของการทดลอง ค่า TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวมีค่าเท่ากับ 1.7-1.0, 0.7-0.4 และ 0.3-0.2 % ช่วง 23-26, 27-30 และ 32-40 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ จะเห็นว่าค่า %TA ของแก้วมังกรจะมีค่ามากช่วงที่เปลือกมีสีเขียว และมีค่าลดลงเมื่อผลเริ่มเปลี่ยนสี จนมีค่าต่ำที่สุดเมื่อผลมีสีแดงทั้งหมด ช่วงที่ค่า TA เปลี่ยนหรือลดลงจะถือว่าผลเริ่มสุกแก่ (Nerd et al, 1999) เมื่อหาค่าอัตราส่วน TSS/TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว พบว่า ค่า TSS/TA ช่วงแรกจะมีค่าต่ำ และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายและจะมีค่า TSS/TA เท่ากับ 39.1 °Brix/% ที่ 29 วันหลังดอกบาน โดยที่ Paull (2006) ได้แนะนำว่าดัชนีที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวแก้วมังกรคือ ควรมีค่า TSS/TA ประมาณ 40 °Brix/% และปริญญา (2548) ได้หาอัตราส่วนของค่า TSS/TA ของแก้วมังกรที่ 30 วันหลังดอกบานกับแก้วมังกรที่พรางแสงต่างกัน พบว่า ดัชนีที่พรางแสง 70 % เป็นเวลา 144 วัน มีอัตราส่วนระหว่าง TSS/TA มากที่สุด คือ 38.46 % รองลงมาได้แก่ ดัชนีที่พรางแสง 50 % เป็นเวลา 144 วัน ดัชนีที่พรางแสง 70 % เป็นเวลา 60 วัน และดัชนีที่พรางแสง 60 % เป็นเวลา 144 วัน มีค่าอัตราส่วนระหว่าง TSS/TA เท่ากับ 31.75 28.71 และ 28.24°Brix/% ส่วนดัชนีที่ไม่ได้พรางแสง มีค่า

อัตราส่วนระหว่าง TSS/TA เท่ากับ 27.81 °Brix/% โดยต้นที่พรางแสง 50 % เป็นเวลา 60 วัน และ 50 % เป็นเวลา 144 วันมีค่าอัตราส่วนระหว่าง TSS/TA น้อยที่สุด คือ 21.06 °Brix/%

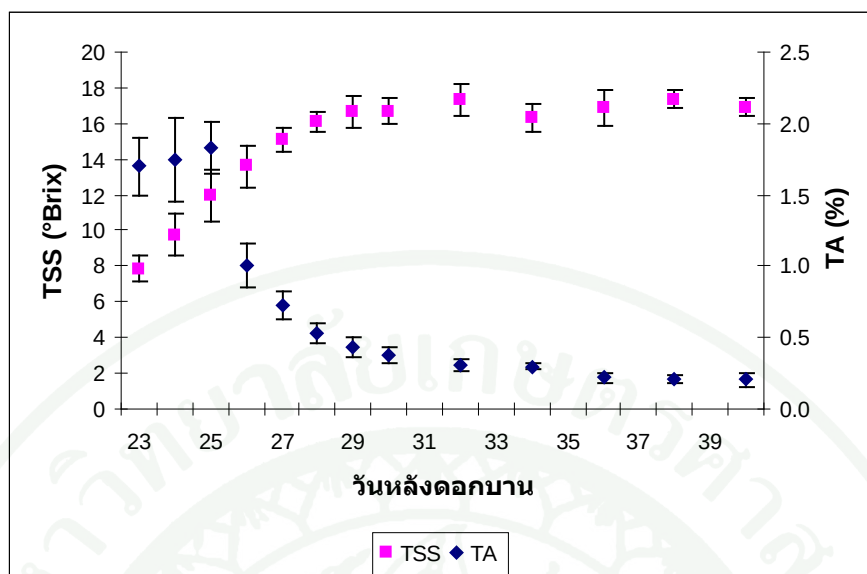
ตารางที่ 11 ค่าอัตราส่วน TSS ต่อ TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

วันหลังดอกบาน	TSS(° Brix)	TA(%)**	TSS/TA (°Brix/ %)
23	7.8 ±0.7*	1.7 ±0.2	4.6 ±0.3
24	9.8 ±1.2	1.7 ±0.2	5.7 ±0.7
25	12.0 ±1.4	1.8 ±0.2	6.6 ±1.2
26	13.6 ±1.2	1.0 ±0.2	15.5 ±7.6
27	15.1 ±0.6	0.7 ±0.1	21.3 ±3.8
28	16.1 ±0.6	0.5 ±0.1	31.1 ±4.1
29	16.6 ±0.9	0.4 ±0.1	39.1 ±7.1
30	16.7 ±0.7	0.4 ±0.1	45.0 ±7.8
32	17.3 ±0.9	0.3 ± 0.0	56.9 ±9.8
34	16.4 ±0.8	0.3 ± 0.0	55.2 ±4.3
36	16.9 ±1.0	0.2 ± 0.0	79.4 ±14.0
38	17.3 ±0.5	0.2 ± 0.0	84.4 ±12.6
40	16.9 ±0.5	0.2 ± 0.0	87.2 ±24.0

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

**ปริมาณ NaOH ที่ใช้คำนวณค่า%TA แสดงในตารางผนวกที่ 1

จากภาพที่ 33 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TSS และค่า TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว จะเห็นว่า ค่า TSS จะเพิ่มอย่างรวดเร็ว ในช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน จาก $7.8 \pm 0.7^{\circ}\text{Brix}$ เป็นประมาณ $13.6 \pm 1.2^{\circ}\text{Brix}$ และหลังจากนั้นจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึง $16.7 \pm 0.7^{\circ}\text{Brix}$ ในช่วง 30 วันหลังดอกบาน และจะมีการเปลี่ยนแปลงค่า TSS เพียงเล็กน้อยหลังจากนั้น ส่วนค่า TA ของผลแก้วมังกรช่วง 23-25 วันหลังดอกบานค่าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จาก 1.7 เป็น 1.8 % และหลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเหลือ 0.7 % ในวันที่ 27 และจะค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องจนวันที่ 36 ค่า TA จึงเริ่มคงที่ที่ 0.2 %



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงค่า TSS และ TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน

ค่า TSS และ TA ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงมีการเปลี่ยนแปลงไปตามวันหลังดอกบาน (ตารางที่ 12) ค่า TSS เพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน ในทางตรงกันข้ามค่า TA จะลดลง โดยค่า TA จะเพิ่มขึ้นจาก $0.3 \pm 0.1\%$ ในวันที่ 23 เป็น $0.9 \pm 0.2\%$ ในวันที่ 26 หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลง จนมีค่าเท่ากับ $0.1 \pm 0.0\%$ ในวันสุดท้ายของการทดลอง เมื่อนำค่า TSS และค่า TA มาหาค่าอัตราส่วน TSS/TA พบว่ามีค่าเพิ่มจาก $11.2 \pm 2.7^\circ\text{Brix}/\%$ ในวันที่ 26 เป็น $49.2 \pm 12.8^\circ\text{Brix}/\%$ ในวันที่ 30 หลังดอกบาน และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าเท่ากับ $113 \pm 25.8^\circ\text{Brix}/\%$ ในวันสุดท้ายของการทดลอง จะเห็นว่าค่า TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงจะมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์เนื้อขาว

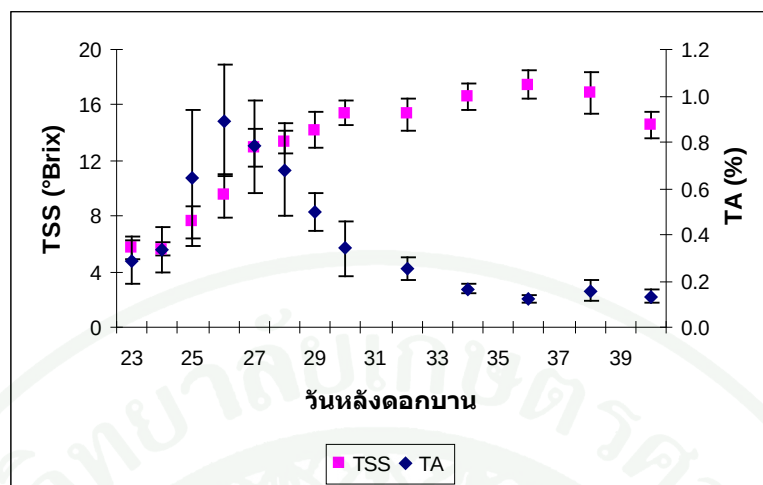
ตารางที่ 12 ค่าอัตราส่วน TSS ต่อ TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

วันหลังดอกบาน	TSS (°Brix)	TA (%)**	TSS/TA (°Brix/ %)
23	5.7±0.8*	0.3±0.1	21.8±5.6
24	5.6±0.5	0.3±0.1	17.8±4.4
25	7.6±1.1	0.6±0.3	13.9±5.4
26	9.5±1.6	0.9±0.2	11.2±2.7
27	12.9±1.4	0.8±0.2	17.9±5.9
28	13.3±0.8	0.7±0.2	21.8±8.7
29	14.2±1.3	0.5±0.1	29.8±8.9
30	15.4±0.9	0.3±0.1	49.2±12.8
32	15.4±1.2	0.3±0.1	63.8±20.8
34	16.6±1.0	0.2±0.0	101.4±16.2
36	17.4±1.0	0.1±0.0	142.4±23.7
38	16.9±1.4	0.2±0.0	116.4±37.9
40	14.6±1.0	0.1±0.0	113.8±25.8

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 20 ผล

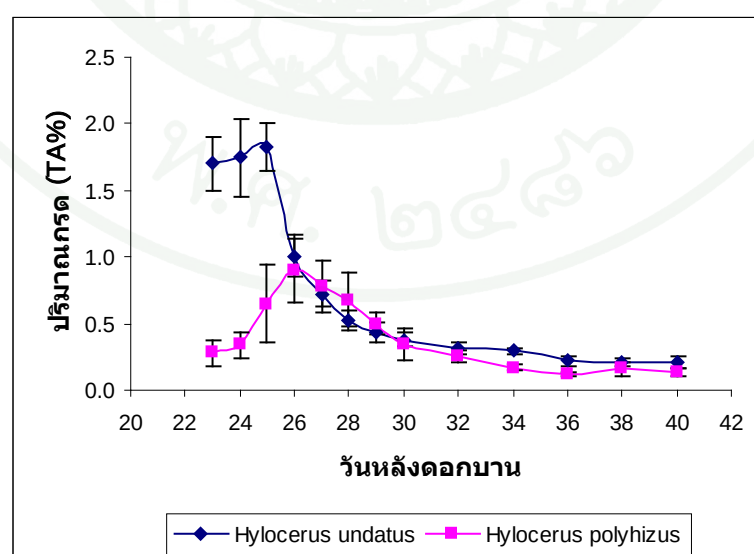
**ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการคำนวณค่า %TA คูณในตารางผนวกที่ 2

จากภาพที่ 34 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TSS และ TA ตามวันหลังดอกบาน จะเห็นว่า ค่า TSS จะเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วช่วงวันที่ 23-27 หลังดอกบาน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตรงกันข้ามกับค่า TA ซึ่งจะเพิ่มขึ้นจากวันที่ 23-26 หลังจากนั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง



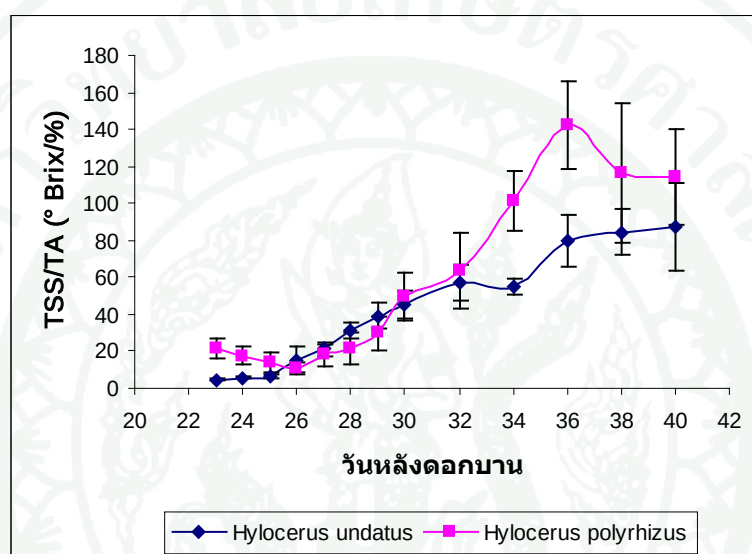
ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงค่า TSS และ TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงตามวันหลังดอกบาน

จากภาพที่ 35 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TA ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ จะเห็นว่า ช่วง 23-26 วันหลังดอกบาน แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีค่า TA มากกว่าพันธุ์เนื้อแดงมาก และหลังจากนั้นค่า TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะลดลงจนคงที่ที่ประมาณ 0.1-0.2% แต่ของพันธุ์เนื้อแดงจะเพิ่มขึ้นและมีค่าเท่ากันในวันที่ 26 หลังจากนั้น ค่าTA ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์จะมีค่าลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 35 เปรียบเทียบค่า TA ของแก้วมังกร 2 พันธุ์

จากภาพที่ 36 เปรียบเทียบค่า TSS/TA ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ จะเห็นว่า ค่า TSS/TA ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็ว จากวันที่ 26 จนถึงวันที่ 32 หลังดอกบาน จากนั้น ค่าTSS/TA ของแก้วมังกรเนื้อแดงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงสุดที่ 36 วันหลังดอกบาน ก่อนที่จะลดลง ส่วนแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว การเพิ่มขึ้นของค่า TSS/TA จะน้อยกว่า จึงทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่าการบริโภคแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงจะหวานกว่าพันธุ์เนื้อขาว



ภาพที่ 36 ค่าTSS/TA ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

คุณสมบัติการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกร (Light reflectance properties of dragon fruits)

การวัดคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรทำโดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer : Hunter color flex 450) เริ่มจากการวางผลแก้วมังกรที่ต้องการวัดค่าการสะท้อนแสงบนช่องสำหรับวางตัวอย่างและครอบด้วยกล่องซึ่งภายในบุกระดาษสีดำ ดังภาพที่ 37 สำหรับผลแก้วมังกรแต่ละผลจะทำการวัด 4 ครั้ง โดยหมุนผลไป 90 องศาในแต่ละครั้ง ในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจะวัดค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรจำนวน 20 ผล เครื่องวัดจะให้ค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรที่ความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร แสดงให้เห็นในภาพที่ 38 นอกจากนี้ยังแสดงค่าสีของแก้วมังกรในหน่วยของ Hunter Lab ด้วย โดยค่า L แสดงค่าความสว่าง L=100 หมายถึง สว่างมาก L=0 หมายถึงมืด ค่า a แสดงค่าสีแดง-เขียว ถ้า a เป็น + แสดงค่าสีไปทาง

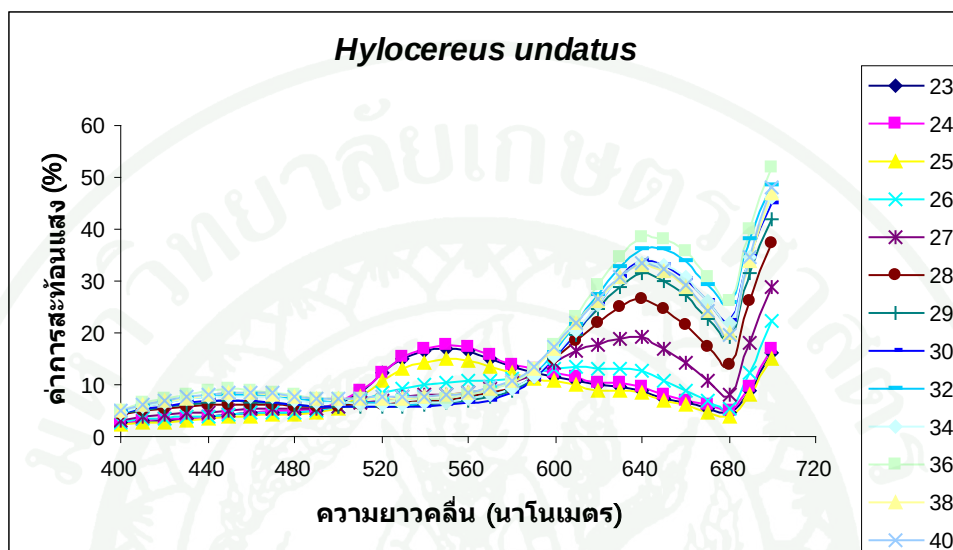
แดง ถ้า a เป็น - แสดงค่าสีไปทางเขียว ส่วนค่า b แสดงค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ถ้า b เป็น + แสดงค่าสีไปทางเหลือง ถ้าค่า b เป็น - แสดงค่าสีไปทางน้ำเงิน



ภาพที่ 37 การตรวจวัดค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรด้วยเครื่องวัดสี Hunter color flex

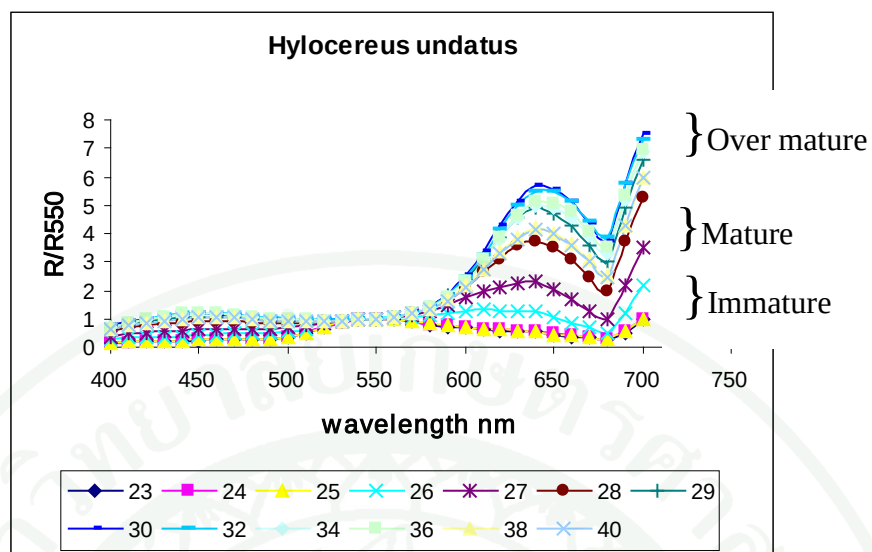
จากภาพที่ 38 ค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวทั้งผลช่วง 400-700 นาโนเมตร ของผลแก้วมังกรที่เก็บเกี่ยวช่วง 23-40 วันหลังดอกบาน จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โดยช่วง 23-25 วัน ค่าการสะท้อนแสงช่วง 550 นาโนเมตรจะมีค่าสูงกว่าช่วงอื่นๆ และหลังจากวันที่ 25 หลังการเก็บเกี่ยวค่าการสะท้อนแสงที่ 550 นาโนเมตร จะลดลงอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่หลังวันที่ 28 หลังดอกบาน แต่ที่ความยาวคลื่นช่วง 600-700 นาโนเมตร ค่าการสะท้อนแสง จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง วันที่ 30 และหลังจากนั้นค่าการสะท้อนแสง มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทำนองเดียวกับค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร แต่ค่าการสะท้อนแสงจะน้อยกว่าที่ 700 นาโนเมตร ส่วนค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจาก 27 วันหลังดอกบานและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยช่วง 30 -40 วันหลังดอกบาน แสดงให้เห็นว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรที่เด่นชัดใน 4 ช่วงของความยาว คลื่น คือ ช่วง 550, 650, 680 และ 700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการสะท้อนของแสง ในช่วงของสีเขียว เหลือง ส้ม และแดง ตามลำดับ นอกจากนี้การสะท้อนของแสงช่วง 680 นาโนเมตร ยังเป็นช่วงการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll absorption) (Kramer and Smith, 1947, Norris, 1958) ผลแก้วมังกรช่วง 23-25 วันมีค่าการสะท้อนแสงสูงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร และหลังจากนั้นค่าการสะท้อนแสงในช่วงนี้จะลดลง เนื่องจากผลเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดง ส่งผลให้ค่าการสะท้อนแสงช่วง 650 และ 700 นาโนเมตร มีค่าสูงขึ้น ส่วนที่ความยาวคลื่น 680 นา

โนเมตร ค่าการสะท้อนแสงจะค่อยๆเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อผลแก้วมังกรเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดง การดูดกลืนคลอโรฟิลล์ลดลงส่งผลให้ค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้น

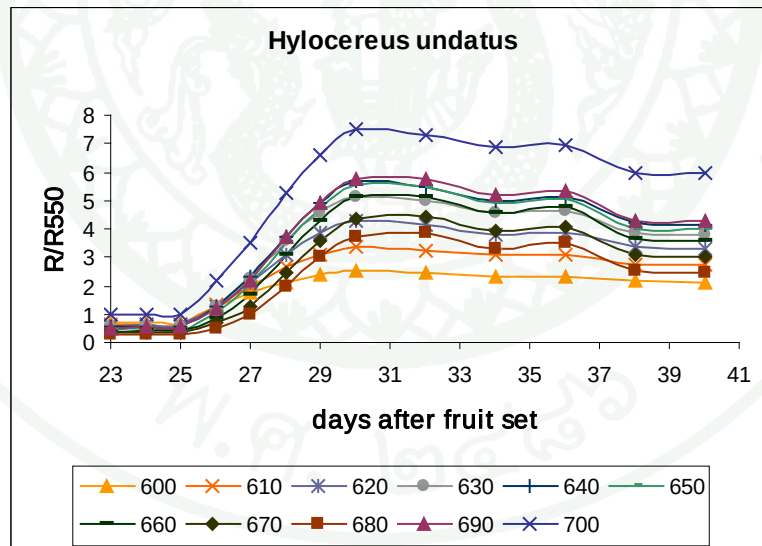


ภาพที่ 38 ค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกร พันธุ์เนื้อขาวทั้งผลในช่วง 400-700 nm

จากค่าการสะท้อนแสงช่วง visible spectrum ดังกล่าว ยังไม่สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกร จึงทดลองทำ normalization spectrum ทั้งหมด โดยการหาร spectrum หรือ ค่า Reflectance (R) ช่วง 400-700 นาโนเมตร ด้วย spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตร โดยทำทีละค่า คือ R/R400, R/R410, R/R420, R/R430 จนกระทั่งสุดท้ายที่ R/R700 จากการทดลอง พบว่า เมื่อทำการ Normalized ค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน ที่ความยาวคลื่น 400- 700 นาโนเมตร ด้วย ค่าการสะท้อนแสงที่ 550 นาโนเมตร (R/R550) มีการเปลี่ยนแปลงของ Spectrum ที่ช่วงความยาวคลื่น 600 ถึง 700 นาโนเมตรที่เห็นได้อย่างชัดเจน โดยการแบ่งออกเป็นกลุ่มตามวันหลังดอกบาน เป็น Immature stage, Mature stage และ Over mature stage ดังภาพที่ 39 และเมื่อนำค่า R/R550 ช่วง 600-700 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับวันหลังดอกบาน พบว่า ช่วง 23-25 วันหลังดอกบาน จะมีค่าคงที่ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งครั้งที่อีกครั้งที่ประมาณ 30 วันหลังดอกบาน โดยที่ 700 นาโนเมตร (R700/R550)จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเท่ากับ 7.5 และมีค่าลดลงตามลำดับ จนที่ 600 นาโนเมตร (R600/R550) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เท่ากับ 2.5 ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 39 ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว ตามวันหลังดอกบาน เมื่อทำการ Normalized ด้วย ค่าการสะท้อนแสงที่ 550 นาโนเมตร



ภาพที่ 40 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง ($R/R550$) ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวตามวันหลังดอกบาน ช่วง 600-700 นาโนเมตร

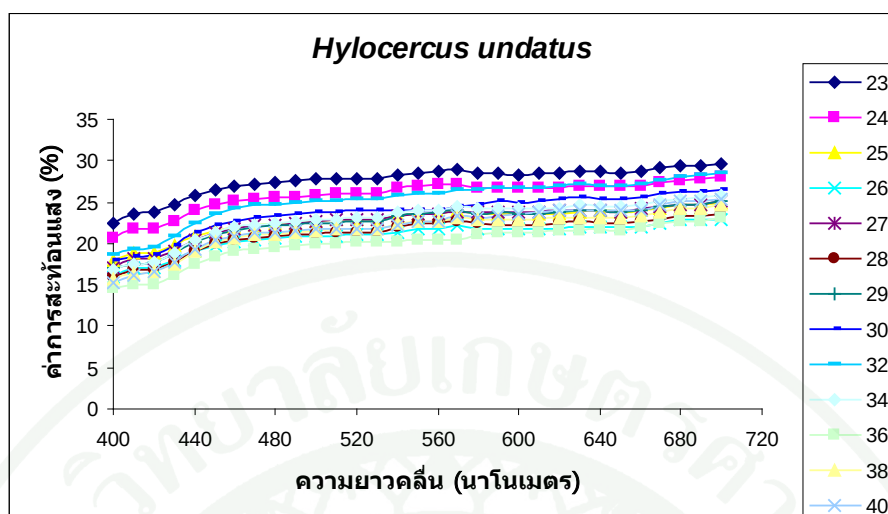
นอกจากวัดค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรแล้วยังได้วัดค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้วมังกรด้วย โดยใช้เครื่องมือเดิมแต่จะต้องตัดชิ้นแก้วมังกรเป็นรูปทรงกระบอก ดังภาพที่ 41 เพื่อให้สามารถใส่ชิ้นแก้วมังกรลงในถ้วยใส่ตัวอย่างสำหรับการวัดค่าได้ โดยในแต่ละผลจะวัดสีเนื้อด้านในบริเวณกึ่งกลางผล และวัดผลละ 1 ครั้งเท่านั้น เนื่องจากชิ้นตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก



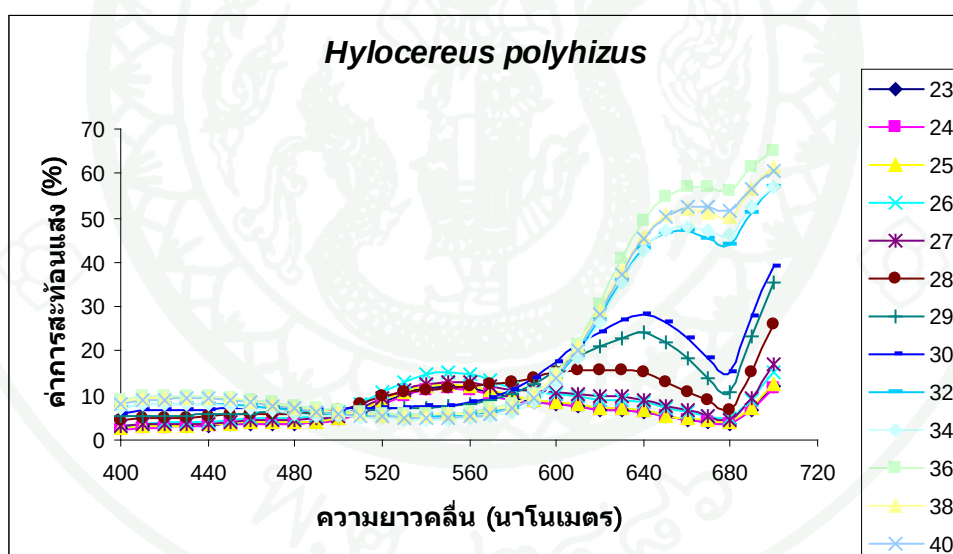
ภาพที่ 41 ลักษณะชิ้นเนื้อแก้วมังกรสำหรับวัดค่าการสะท้อนแสงด้วยเครื่อง Hunter color flex

จากภาพที่ 42 ค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของผลแก้วมังกรที่เก็บเกี่ยว 23-40 วันหลังดอกบาน จะเห็นว่า ค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้วมังกรมีค่าค่อนข้างคงที่ ตลอดช่วง 400-700 นาโนเมตร โดยมีค่าการสะท้อนแสงอยู่ระหว่าง 15-23% เนื่องจากเนื้อแก้วมังกรมีสีขาว นั่นเอง

ค่าการสะท้อนแสง ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ที่เก็บเกี่ยว 23-40 วันหลังดอกบาน ที่ความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร จะมีลักษณะคล้ายกับค่าการสะท้อนแสงของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวแต่มีความแตกต่างระหว่างระยะการเจริญเติบโตที่เด่นชัดกว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงมาก ที่ความยาวคลื่นช่วง 550, 650, 680 และ 700 นาโนเมตร โดยผลแก้วมังกรที่เก็บเกี่ยว 23-28 วันหลังดอกบาน ค่าการสะท้อนแสงช่วง 550 นาโนเมตรจะมีค่ามากและจะลดลงเมื่อผลแก้วมังกรมีอายุมากขึ้น ตรงกันข้ามกับค่าการสะท้อนแสงช่วง 650, 680 และ 700 นาโนเมตร ซึ่งจะมีค่าน้อยช่วงที่เก็บเกี่ยวที่ 23-28 วัน และค่าการสะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้น เมื่อแก้วมังกรมีอายุมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 43

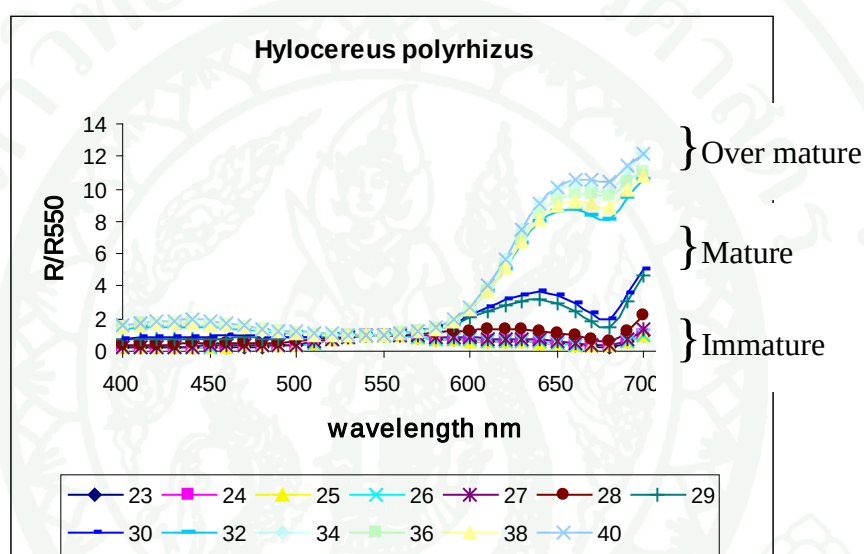


ภาพที่ 42 ค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้มังกรพันธุ์เนื้อขาว ในช่วง 400-700 nm



ภาพที่ 43 ค่าการสะท้อนแสงของผลแก้มังกรพันธุ์เนื้อแดง ช่วง 400-700 นาโนเมตร

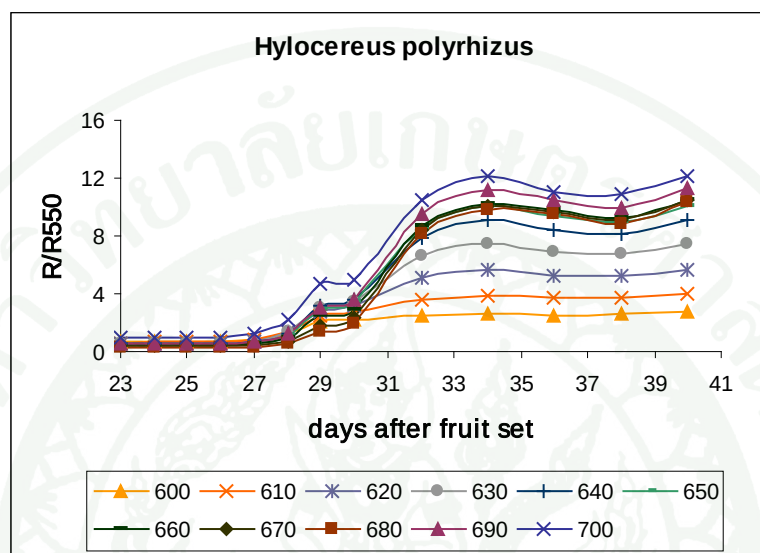
ได้ทดลองทำ normalization spectrum เช่นเดียวกับที่ทำในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว พบว่าเมื่อนำค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ไปหารค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ให้ผลทำนองเดียวกับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว คือ มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงมากในช่วง 600-700 นาโนเมตร โดยเห็นการเปลี่ยนแปลงของ ค่า R/R550 แบ่งกลุ่มๆ ตามวันหลังดอกบาน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต จาก immature stage, mature stage และ over mature stage ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ตามวันหลังดอกบาน เมื่อทำการ Normalized ด้วย ค่าการสะท้อนแสงที่ 550 นาโนเมตร

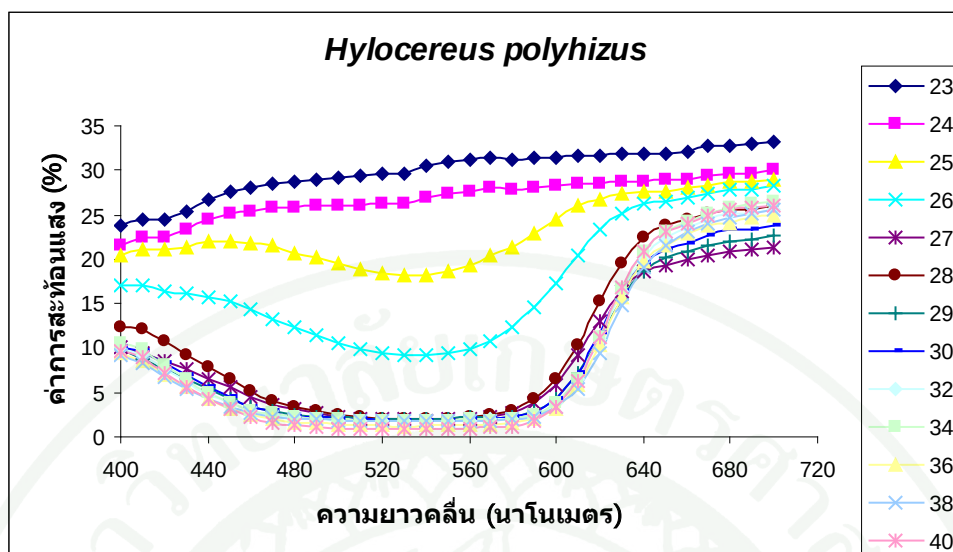
ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง (R/R550) ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงตามวันหลังดอกบาน ที่ความยาวคลื่น 600 -700 นาโนเมตรตามวันหลังดอกบาน พบว่าช่วงที่ผลอ่อน (immature stage) ที่ 23-27 วันหลังดอกบาน ค่า R/R550 จะมีค่าน้อยและค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้นค่าจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (mature stage) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่ผลเริ่มสุกแก่ (over mature stage) ก่อนที่จะคงที่ในช่วงท้ายของการเจริญเติบโต ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงที่ 700 นาโนเมตร (R700/R550) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงวันที่ 32 หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เช่นเดียวกับค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงที่ 650 นาโนเมตร (R650/R550) แต่มีค่าน้อยกว่าเท่านั้น ส่วนค่าการสะท้อนแสงที่ 680 นาโนเมตร (R680/R550) จะมีค่าค่อนข้างคงที่ ช่วง 23-27 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นค่าการสะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงวันที่ 30 และค่า

การสะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากช่วงวันที่ 30 -32 หลังดอกบาน ต่อจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง หรือที่ 40 หลังดอกบาน ดังแสดงในภาพที่ 45



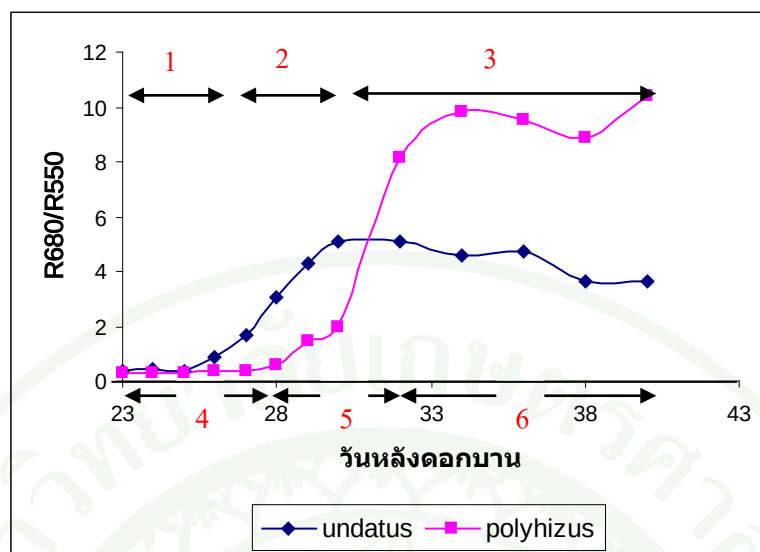
ภาพที่ 45 เปรียบเทียบอัตราส่วนการสะท้อนแสง (R) ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

จากภาพที่ 46 ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตรของเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ตามวันหลังดอกบาน จะเห็นว่าค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้วมังกร ช่วงวันที่ 23-24 หลังดอกบาน มีค่าค่อนข้างคงที่หลังจากนั้น ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร จะมีค่าลดลงตามวัน หลังดอกบาน ที่ช่วง ความยาวคลื่น 480-580 นาโนเมตร จะลดลงมากที่สุด โดยเริ่มลดลงตั้งแต่วันที่ 25 หลังดอกบาน และหลังจากวันที่ 27-40 ค่าการสะท้อนแสงจะมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 46 ค่าการสะท้อนแสงของเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ช่วง 400-700 นาโนเมตร

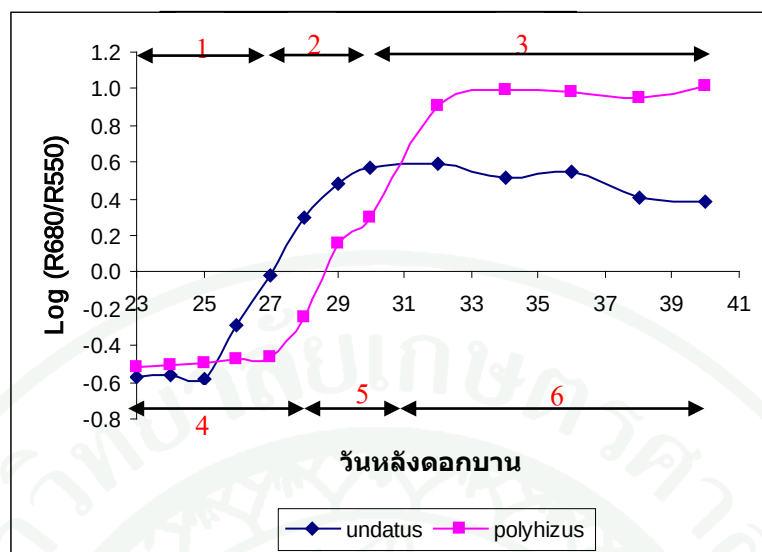
จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ (R/R550) ในแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากช่วง 600-700 นาโนเมตร โดยเห็นการแบ่งกลุ่มตามระยะการสุกแก่เป็น 3 กลุ่มได้ชัดเจน ภาพที่ 39 สำหรับพันธุ์เนื้อขาว และภาพที่ 44 สำหรับพันธุ์เนื้อแดง จึงได้นำค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R600/R550 ถึง R700/R550 ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มาเปรียบเทียบกับวันหลังดอกบาน เพื่อหาค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงที่สามารถเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์สำหรับแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ได้ จากการทดลอง พบว่า ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R680/R550 ในแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ มีความแตกต่างกันน้อย ในช่วง immature และ mature stage ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 47 โดยในช่วง immature มีค่าประมาณ 0.5 และ เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 4-6 ในช่วง mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและเนื้อแดง ตามลำดับ หลังจากนั้นแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีค่าคงที่ ในช่วง over mature ในขณะที่พันธุ์เนื้อแดงจะมีค่าเพิ่มขึ้นก่อนที่จะคงที่ที่ประมาณ 10 โดยในช่วงนี้ค่าลดลงเล็กน้อยก่อนที่จะเพิ่มขึ้นและค่า R680/R550 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.91 และ 4.44 ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดงตามลำดับ



ภาพที่ 47 เปรียบเทียบค่า R680/R550 ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ (1,2 และ 3 = Immature, Mature และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว 4, 5 และ 6 = Immature, Mature และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

จึงได้ทดลองคำนวณค่า $\log(R680/R550)$ ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ อีกครั้ง พบว่า ให้ค่าการจำแนกของระยะการเจริญเติบโต เป็น Immature, Mature และ Over mature ได้ดีขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่า $\log(R680/R550)$ ระหว่าง -0.4 ถึง 1.0 โดยในช่วงของ Immature มีค่าระหว่าง -0.4 ถึง 0 และจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็นประมาณ 0.6 และ 1.0 ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดง ตามลำดับในช่วง Mature ก่อนที่จะมีค่าคงที่ในช่วง over mature ดังภาพที่ 48 และค่า $\log(R680/R550)$ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 และ 0.68 ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดงตามลำดับ

นอกจากนั้นการทำให้เป็นค่า $\log(R680/R550)$ ยังช่วยให้แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าที่สัมพันธ์กับอายุเก็บเกี่ยวมีลักษณะใกล้เคียงโค้งซิกมอยด์ (sigmoid curve) มากขึ้น โดยเฉพาะในพันธุ์เนื้อแดงสำหรับช่วงที่เป็น over mature ดังนั้น ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง $\log(R680/R550)$ น่าจะสามารถนำมาใช้ในการคัดคุณภาพของแก้วมังกรได้ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วงที่ผลมีการเปลี่ยนสี



ภาพที่ 48 เปรียบเทียบค่า log R680/550 ของเนื้อแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ (1,2 และ 3 = Immature, Mature และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว 4, 5 และ 6 = Immature, Mature และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

ในขณะที่วัดค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกรนั้น เครื่องวัดจะให้ค่าสีในหน่วยของ Hunter L, a, b ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 13 ค่าสี L ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ ตลอดช่วง 23-40 วัน หลังดอกบานมีค่าประมาณ 29.9-34.6 และ 28.5-32.9 ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดง ตามลำดับ จะเห็นว่าแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มีค่าความสว่างไม่มากนัก โดยพันธุ์เนื้อขาวมีความสว่างมากกว่าพันธุ์เนื้อแดงเล็กน้อย และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนค่า a ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์จะมีค่าเป็นลบตั้งแต่ 23 วันหลังดอกบาน จนถึง 25 และ 27 วัน ในพันธุ์เนื้อขาวและเนื้อแดงตามลำดับ ซึ่งในช่วงนี้แก้วมังกรจะเป็นสีเขียว โดยค่าสี a จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเป็นค่าบวก นั่นคือ มีการเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดง หลังจากนั้นค่าสี a จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 22.2 และ 30.3 ในวันที่ 32 และ 36 ในพันธุ์เนื้อขาวและแดง ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าจะลดลงเล็กน้อย จะเห็นว่าแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงจะมีค่า a มากกว่าพันธุ์เนื้อขาว ส่วนค่าสี b ในแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มีค่าเป็น + โดยค่าค่อยๆ ลดลงตามวันหลังดอกบาน โดยมีค่า 15.0-6.9 และ 11.6-2.2 ในพันธุ์เนื้อขาวและแดง ตามลำดับ แสดงว่าแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวมีสีออกเหลืองมากกว่าพันธุ์เนื้อแดง

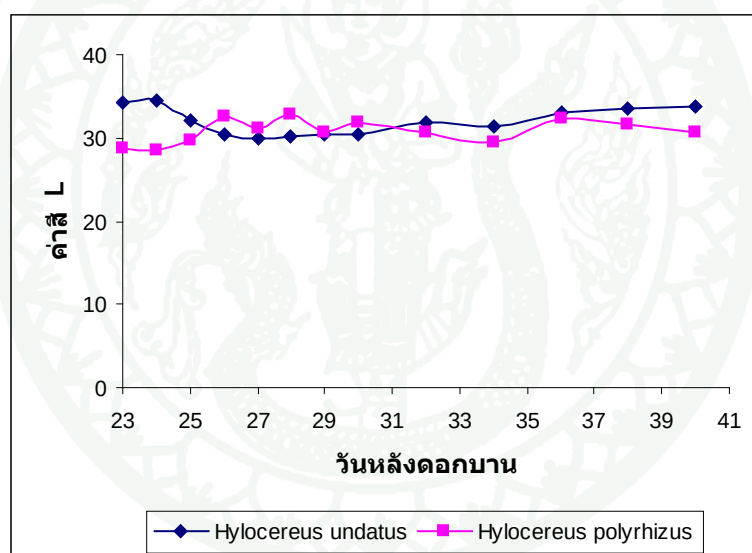
ตารางที่ 13 ค่าสีของผลแก้วมังกรในหน่วย Hunter Lab ตามวันหลังดอกบาน

Days	<i>Hylocereus undatus</i>			<i>Hylocereus polyrhizus</i>		
After fruit						
set	L	a	b	L	a	b
23	34.2	-6.6	15.0	28.8	-5.5	11.6
24	34.6	-6.1	15.2	28.5	-5.1	11.4
25	32.0	-5.7	14.2	29.8	-5.4	11.8
26	30.4	2.9	11.3	32.7	-5.7	12.7
27	29.9	9.9	9.4	31.2	-2.9	12.2
28	30.3	16.1	7.6	32.9	4.0	11.0
29	30.4	19.7	6.9	30.6	14.1	8.2
30	30.3	21.7	6.3	31.9	16.8	7.5
32	31.9	22.2	5.9	30.6	27.2	4.1
34	31.3	20.6	5.7	29.4	28.3	3.4
36	33.1	18.9	6.7	32.4	30.3	2.9
38	33.4	18.8	6.5	31.6	29.2	2.9
40	33.9	17.3	6.9	30.7	29.7	2.2

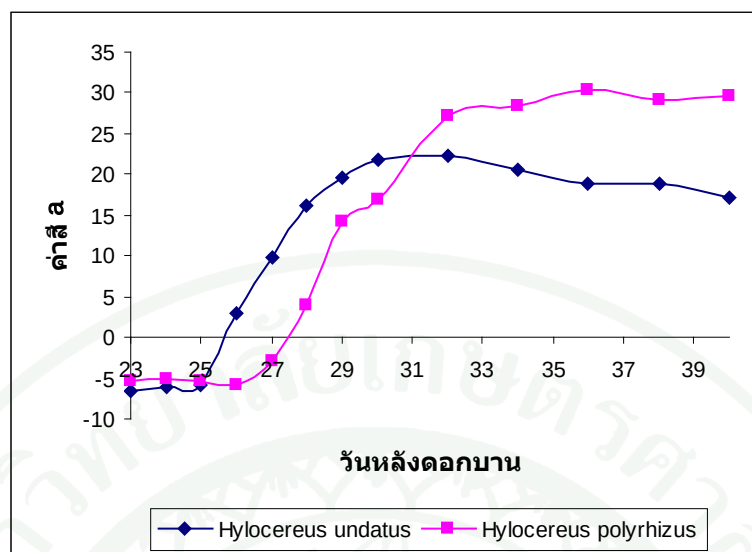
เมื่อเปรียบเทียบค่า L ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ จะเห็นว่า แก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มีค่าสี L ใกล้เคียงกันตลอดช่วง 23-40 วันหลังดอกบาน จะแตกต่างกันเล็กน้อยช่วง 23-25 หลังดอกบาน เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 49 ส่วนค่าสี a ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ จะเห็นว่าช่วงแรกแก้วมังกรมีค่าสี a เป็นลบ แล้วจึงเปลี่ยนเป็นบวก คือมีการเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดง และมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นจนคงที่ โดยแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดงเริ่มเปลี่ยนค่าสี a จากลบเป็นบวกที่ 25 และ 27 วันหลังดอกบานตามลำดับ และแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีค่าสีแดงมากกว่าพันธุ์เนื้อแดงจนวันที่ 31 จากนั้นจะคงที่ ในขณะที่พันธุ์เนื้อแดงจะมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าสีแดงมากกว่าพันธุ์เนื้อขาวเมื่อแก่เต็มที่ ดังภาพที่ 50 ในขณะที่ค่าสี b ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวมีค่า b มากกว่าพันธุ์เนื้อแดงช่วงวันที่ 23-25 หลังดอกบาน และค่าสี b จะลดลงต่ำกว่าพันธุ์เนื้อแดง จนวันที่ 32 จึงมีค่ามากกว่าอีกครั้ง สังเกตจากภาพที่ 51 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสี b ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มีลักษณะ

คล้ายๆกัน โดยสามารถแบ่งเป็น 3 ช่วง คือช่วงแรกจะคงที่ ช่วงที่สองจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว และช่วงที่สามกลับมามากขึ้นอีกครั้ง

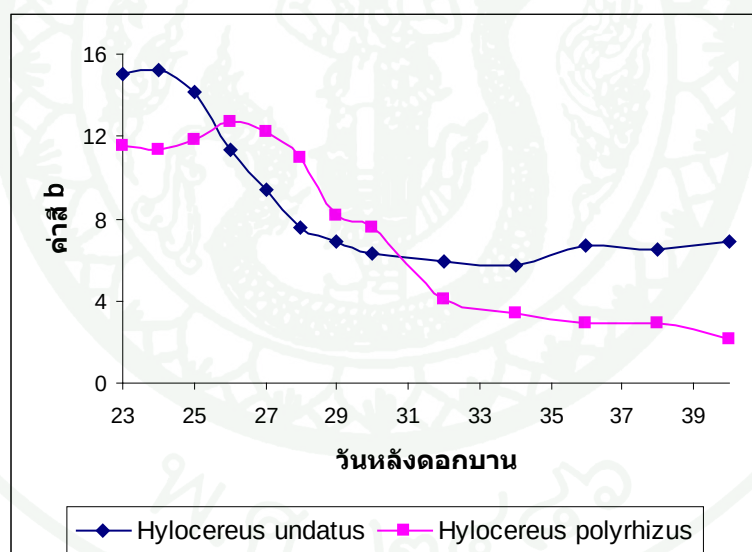
จากการเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ จะเห็นว่า ค่าสี a มีการเปลี่ยนแปลง หรือมีความสัมพันธ์ กับวันหลังดอกบานมากที่สุด โดยพันธุ์เนื้อขาวจะเปลี่ยนเป็นสี a ที่ 26 วันหลังดอกบาน ในขณะที่พันธุ์เนื้อแดงจะเปลี่ยนที่ 28 วันหลังดอกบาน และพันธุ์เนื้อขาวจะมีผิวสีแดง หรือมีค่า a มากกว่าพันธุ์เนื้อแดงช่วง 26-31 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นพันธุ์เนื้อแดงจะมีผิวสีแดงเข้มมากกว่าพันธุ์เนื้อขาว ดังนั้น จึงน่าจะนำค่าสี a มาใช้ในการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรได้



ภาพที่ 49 เปรียบเทียบค่าสี L ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์



ภาพที่ 50 เปรียบเทียบค่าสี a ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์



ภาพที่ 51 เปรียบเทียบค่าสี b ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างสมบัติของผลแก้วมังกรตามอายุเก็บเกี่ยว

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ตามวันหลังดอกบาน ตั้งแต่ 23-40 วัน สามารถแบ่งระยะการสุกแก่ (Maturity stage) เป็น 3 ระยะ คือระยะอ่อน (immature stage), ระยะ โตเต็มที่ (mature stage) และระยะแก่ (over mature stage) ซึ่งตรงกับวันที่ 23-27, 28-30 และ 32-40 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ ตามที่ Merten (2003); Lauder and McMahon (2004) ได้แนะนำไว้ จากตารางที่ 14 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแตกต่างของคุณสมบัติต่างๆ ตามอายุเก็บเกี่ยว พบว่าสมบัติทางกายภาพ เชิงกล ทางแสง และสรีระวิทยา ทั้ง 12 คุณสมบัตินี้ได้ศึกษามาส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างกันอันเนื่องมาจากอายุเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นค่าสี L เท่านั้น ที่ไม่แตกต่างกัน คือ ค่า TSS จะเพิ่มขึ้น ตามระยะการสุกแก่ ส่วนค่า TA จะลดลง ตามการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของผักผลไม้ (จริงแท้, 2538) ค่าTSS ที่ระยะการสุกแก่ทั้ง 3 ระดับ มีค่าเฉลี่ยที่ 9.98 ± 3.36 , 15.37 ± 1.56 และ 16.76 ± 1.20 °Brix ส่วน TA มีค่า 0.99 ± 0.58 , 0.49 ± 0.16 และ $0.21 \pm 0.07\%$ ตามลำดับ ทำให้ค่าอัตราส่วนของ TSS/TA หรือค่า Taste มีค่าเท่ากับ 13.69 ± 7.37 , 35.49 ± 12.89 และ 91.74 ± 35.80 โดยช่วงที่แก้วมังกรเจริญเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยวจะมีค่า TSS/TA เท่ากับ 40 เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว (Paull, 2006) ค่าสี a จะเปลี่ยนจากสีเขียวช่วงอ่อนและจะมีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อผลเจริญเต็มที่จนกระทั่งสุกแก่ โดยมีค่าเฉลี่ยของสีเป็น -3.16 ± 5.30 , 16.26 ± 7.21 และ 24.68 ± 5.14 ในขณะที่ค่า b จะลดลงตามระยะการเจริญเติบโตมีค่าเฉลี่ย 12.54 ± 2.19 , 7.63 ± 2.05 และ 4.67 ± 1.67 ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง Log (R680/R550) มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตมีค่าเฉลี่ย -0.45 ± 0.19 , 0.24 ± 0.33 และ 0.73 ± 0.27 ส่วนค่าความแน่นเนื้อจะลดลงตามความสุกแก่ โดย Fruit firmness มีค่าเฉลี่ย 11.07 ± 3.91 , 5.45 ± 0.90 และ 4.46 ± 1.05 N/mm ในส่วนของ Flesh firmness มีค่าเฉลี่ย 2.33 ± 0.75 , 1.64 ± 0.43 และ 1.28 ± 0.34 N/mm ตามลำดับ ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่รูปทรงของผลแก้วมังกรในแต่ละกลุ่ม คือค่า % Sphericity มีค่าเฉลี่ย 70.56 ± 8.50 , 73.60 ± 10.43 และ 78.06 ± 10.16 ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักทั้งหมด (Wt ratio) หรือค่าส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ (%Recovery) มีการเพิ่มขึ้นตามระยะการสุกแก่มีค่าเฉลี่ย 40.26 ± 8.93 , 61.40 ± 6.63 และ 75.31 ± 5.22 ตามลำดับ และค่าความหนาแน่น (Density) มีค่าเฉลี่ย 1.02 ± 0.03 , 1.05 ± 0.05 และ 1.07 ± 0.02 ตามลำดับ ยกเว้นค่าสี L มีค่าเฉลี่ย 31.19 ± 3.99 , 31.20 ± 3.45 และ 31.66 ± 2.54 โดยมีค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 3 ระยะการสุกแก่ คุณสมบัตินี้ของแก้วมังกรที่กล่าวมานี้ มีคุณสมบัติที่การตรวจวัดจะต้องทำลายตัวอย่าง (Destructive) ได้แก่ ค่า TSS, TA, TSS/TA, Fruit firmness, Flesh firmness

และ %Recovery ส่วนคุณสมบัติที่ใช้วิธีการตรวจวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Nondestructive) ได้แก่ ค่าสี L, a, b, Light reflectance ช่วง 400-700 nm , รูปร่าง หรือ ค่าความกลม (Sphericity) ค่าความหนาแน่น และค่า light reflectance log (R680/R550)

จากค่า F-value ในตารางที่ 14 พบว่า คุณสมบัติของแก้วมังกรที่มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมีค่าเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ คือ ค่าสี a, ค่า Recovery, log (R680/R550), ค่าสี b, TSS/TA, TSS, ค่า Fruit firmness, ค่า TA, ค่า Flesh firmness, ค่า Density, ค่า Sphericity และค่าสี L ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ความแตกต่างของคุณสมบัติของแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์แบ่งตามระยะการสุกแก่ 3 ระดับ

คุณสมบัติ	ระยะการสุกแก่			F -value
	ระยะอ่อน	ระยะโตเต็มที่	ระยะแก่	
	(Immature stage) (23-27days)	(Mature stage) (28-30days)	(Over mature stage) (32-40 days)	
TSS °Brix	9.98 ± 3.36a*	15.37 ± 1.56b	16.76± 1.20c	454.80
TA %	0.99 ± 0.58a	0.49 ± 0.16b	0.21 ± 0.07c	225.34
TSS/TA °Brix/%	13.69 ± 7.37a	35.49 ± 12.89b	91.74 ± 35.80c	578.98
Recovery %	40.26 ± 8.93a	61.40 ± 6.63b	75.31 ± 5.22c	1,210.02
Fruit firmness	11.07 ± 3.91c	5.45 ± 0.90b	4.46 ± 1.05a	373.21
Flesh firmness	2.33 ± 0.75c	1.64 ± 0.43b	1.28 ± 0.34a	185.17
Density (g/ml)	1.02 ± 0.03a	1.05 ± 0.05b	1.07 ± 0.02c	113.47
Sphericity %	70.56 ± 8.5a	73.60 ± 10.43b	78.06 ± 10.16c	30.58
L	31.19 ± 3.99a	31.20 ± 3.45a	31.66 ± 2.54a	1.19
a	-3.16 ± 5.30a	16.26 ± 7.21b	24.68 ± 5.14c	1,217.66
b	12.54 ± 2.19a	7.63 ± 2.05b	4.67 ± 1.67c	809.66
Log (R680/R550)	-0.45 ± 0.19a	0.24 ± 0.33b	0.73 ± 0.27c	1,062.72

*ตัวอักษรในแถวเดียวกันแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในกรณีที่จำแนกกลุ่มของแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์ จำนวน 520 ผล ออกเป็น 6 กลุ่ม ตามพันธุ์ และตามระดับการสุกแก่ จากคุณสมบัติของแก้วมังกรทั้ง 12 คุณสมบัติ ได้ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของแก้วมังกรทั้ง 6 กลุ่ม แสดงให้เห็นในตารางที่ 15 โดยที่ 1, 2 และ 3 เป็นระยะการสุกแก่ 3 ระดับ คือ Immature, Mature และ Over mature สำหรับพันธุ์เนื้อขาว ส่วน 4, 5 และ 6 สำหรับพันธุ์เนื้อแดง โดยแก้วมังกรทั้ง 6 กลุ่มจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 15 คุณสมบัติของแก้วมังกรจำแนกตามพันธุ์และระยะการสุกแก่

Maturity stage	TSS	TA	TSS/TA	Density	Sphericity	Recovery
1*	11.65±2.81b	1.40±0.49d	10.44±6.78a	1.02±0.03b	63.45±4.38a	39.36±10.27a
2*	16.47±0.79d	0.45±0.09b	38.37±8.62c	1.05±0.02c	64.01±3.47a	65.14±3.56c
3*	16.97±0.82d	0.25±0.06a	72.63±19.58d	1.07±0.02d	69.21±4.79b	71.86±3.39d
4**	8.32±3.03a	0.58±0.31c	16.94±6.46b	1.01±0.03a	77.67±4.90c	41.16±7.28a
5**	14.27±1.34c	0.52±0.20bc	32.62±15.53c	1.04±0.07c	83.20±4.48d	57.65±6.89b
6**	16.56±1.46d	0.17±0.6a	110.86±37.98e	1.07±0.2d	86.91±5.14e	78.78±4.38e

* เป็นระยะการสุกแก่ 1,2,3 Immature, Mature, และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

**เป็นระยะการสุกแก่ 4,5,6 Immature, Mature, และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง
ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 15 (ต่อ)

Maturity stage	Fruit firmness	Flesh firmness	L	a	b	Log (R680/R550)
1*	10.16±4.37c	1.89±0.45d	32.27±3.77c	-1.34±6.81b	13.19±2.55f	-0.41±0.25b
2*	5.60±0.50b	1.59±0.49c	30.35±2.80a	19.29±5.27d	6.86±1.21c	0.43±0.21d
3*	5.22±0.82b	1.38±0.37b	32.26±2.28c	20.62±3.50d	6.06±0.87b	0.49±0.14e
4**	11.98±3.16d	2.77±0.74e	30.11±3.92a	-4.97±1.88a	11.91±1.51e	-0.49±0.06a
5**	5.30±1.15b	1.69±0.36c	32.06±3.84bc	13.24±7.65c	8.40±2.41d	0.05±0.31c
6**	3.71±0.62a	1.18±0.28a	31.07±2.67ab	28.75±2.74e	3.28±0.97a	0.97±0.09f

* เป็นระยะการสุกแก่ 1,2,3 Immature, Mature, และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

**เป็นระยะการสุกแก่ 4,5,6 Immature, Mature, และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

ตัวอักษรในคอลัมน์เดียวกันแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

จากการวิเคราะห์ Discriminant analysis เพื่อสร้างสมการสำหรับจำแนกกลุ่มเป็น 6 กลุ่ม ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ จาก Test of equality of group means (ตารางที่ 16) จะเห็นว่า คุณสมบัติที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยคุณสมบัติที่มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่ม เรียงจากมากไปหาน้อยพิจารณาจากค่า F และค่า Wilks' Lambda ได้แก่ Log (R680/R550), ค่าสี a, Recovery, ค่าสี b, Sphericity, TSS/TA, TSS, TA, Fruit firmness, Flesh firmness, Density และ ค่าสี L ตามลำดับ

ตารางที่ 16 Test of equality of group means

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
TSS	.271	275.924	5	514	.000
TA	.276	269.637	5	514	.000
TSS/TA	.226	352.208	5	514	.000
Density	.684	47.545	5	514	.000
Sphericity	.206	395.095	5	514	.000
Recovery	.148	592.318	5	514	.000
Fruit firmness	.375	171.347	5	514	.000
Flesh firmness	.429	136.747	5	514	.000
L	.929	7.826	5	514	.000
a	.123	732.629	5	514	.000
b	.177	478.727	5	514	.000
Log (R680/R550)	.101	915.78	5	514	.000

จากการที่มีการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม จึงมี Function ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 5 Function ดังตารางที่ 17 ค่า Eigenvalue ของ Function 1-5 มีค่า 11.910, 6.647, 1.796, 0.719 และ 0.128 และมีค่า % of variance เท่ากับ 56.2, 31.4, 8.5, 3.4 และ 0.6 ตามลำดับ โดยมีค่า Canonical Correlation มีค่า 0.960, 0.932, 0.801, 0.647 และ 0.336 ตามลำดับ แสดงว่า Function 1 และ 2 มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากกว่า Function 3-5 และเมื่อทำการทดสอบค่า Wilks' Lambda ของ Function ทั้ง 5 ดังตารางที่ 18 พบว่า ทั้ง 5 Function สามารถใช้แยกกลุ่มทั้ง 6 กลุ่มได้โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 17 Eigenvalue ของการจำแนกกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	15.599	62.7	62.7	0.969
2	6.505	26.1	88.9	0.931
3	1.971	7.9	96.8	0.814
4	0.634	2.5	99.3	0.623
5	0.169	0.7	100.0	0.380

ตารางที่ 18 ค่า Wilks' Lambda ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกร เป็น 6 กลุ่ม

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1 through 5	0.00	3345.771	60	.000
2 through 5	0.023	1913.015	44	.000
3 through 5	0.176	885.063	30	.000
4 through 5	0.524	329.789	18	.000
5	0.856	79.454	7	.000

จากตารางที่ 19 การวิเคราะห์ค่า Structure Matrix ของ Function ทั้ง 5 พบว่า Log (R680/R550), ค่าสี a, Recovery, ค่าสี b, และ TSS/TA มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 ส่วนค่า Sphericity มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2

ตารางที่ 19 Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกร เป็น 6 กลุ่ม

Properties	Function				
	1	2	3	4	5
Log (R680/R550)	0.754*	0.035	-0.012	0.073	0.375
a	0.666*	0.087	0.073	0.489	0.053
Recovery	0.600*	0.007	-0.250	0.185	-0.222
b	-0.538*	0.081	0.183	-0.187	-0.183
TSS/TA	0.452*	-0.121	0.067	-0.402	-0.450
Sphericity	0.221	-0.671*	0.268	-0.345	-0.158
TA	-0.312	0.259	0.580*	-0.084	-0.141
Fruit firmness	-0.305	-0.062	-0.005	-0.540*	0.213
TSS	0.369	0.247	-0.087	0.475*	0.340
L	0.006	0.055	0.059	0.078	-0.521*
Flesh firmness	0.253	-0.173	-0.177	-0.256	0.458*
Desity ^a	0.166	0.050	-0.042	0.107	-0.210*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions Variables ordered by absolute size of correlation within function.

* Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

a This variable not used in the analysis.

ตารางที่ 20 แสดงค่า Classification function coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มแก้วมังกร เป็น 6 กลุ่ม 6 สมการ โดยเมื่อแทนค่าคุณสมบัติต่างๆ ทั้ง 11 ค่าในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่าแก้วมังกรอยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 20 Classification Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม

	Maturity					
	1*	2*	3*	4**	5**	6**
TSS	8.675	9.898	9.252	7.086	7.551	6.258
TA	-2.676	-9.942	-11.853	-22.532	-13.051	-1.384
TSS/TA	-0.458	-0.545	-0.500	-0.558	-0.567	-0.400
Density	972.960	970.047	981.216	979.487	983.805	981.775
Sphericity	3.261	3.123	3.329	4.220	4.290	4.237
Recovery	1.495	2.076	2.254	1.742	1.823	2.298
Fruit firmness	11.720	13.911	13.968	11.373	11.592	12.732
Flesh firmness	12.844	11.590	10.593	15.215	12.913	10.399
L	1.140	1.724	2.563	2.435	2.436	2.766
a	2.058	2.075	1.465	0.510	1.401	1.425
b	7.595	5.433	3.245	3.461	3.993	2.241
Log (R680/R550)	-23.786	-9.831	-9.129	-29.287	-19.245	10.752
(Constant)	-821.633	-861.045	-888.438	-866.559	-894.990	-933.761

* เป็นระยะการสุกแก่ 1,2,3 Immature, Mature, และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

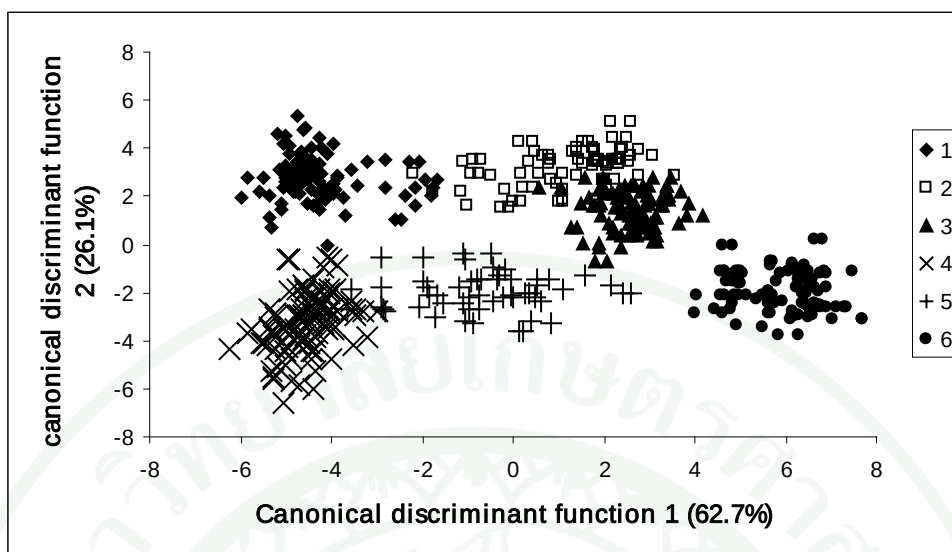
**เป็นระยะการสุกแก่ 4,5,6 Immature, Mature, และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

จากภาพที่ 52 Scatter plot ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกร ตาม Function 1 และ 2 จะเห็นว่า สามารถแบ่งกลุ่มแก้วมังกร เป็น 6 กลุ่ม โดย Group centroids ของแต่ละกลุ่มแสดงให้เห็นในตาราง ที่ 21 โดย Function 1 สามารถแบ่งกลุ่มแก้วมังกรตามระยะการสุกแก่ เป็น Immature stage กลุ่ม 1 และ 4 มีค่า -4.108 และ -4.574, Mature stage กลุ่ม 2 และ 5 มีค่า 1.250 และ -0.803 และ Over mature stage กลุ่ม 3 และ 6 มีค่า 2.525 และ 5.889 นั้นหมายความว่า ค่า Log (R680/R550), ค่าสี a, %recovery, ค่าสี b, และค่า TSS/TA ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Function 1 สูง ตามค่าในตารางที่ 19 จึงเป็นค่าที่สะท้อนความแตกต่างระหว่างระยะการเจริญเติบโตได้ดี ส่วน Function 2 สามารถ แบ่งกลุ่มแก้วมังกรออกตามพันธุ์ได้ โดยกลุ่ม 1, 2 และ 3 ซึ่งเป็นพันธุ์เนื้อขาว มีค่า 2.758, 3.205 และ 1.695 ส่วนกลุ่ม 4, 5 และ 6 ซึ่งเป็นพันธุ์เนื้อแดง มีค่า -3.296, -1.921 และ -1.928 ตามลำดับ ตาม ตารางที่ 19 พบว่าค่า Sphericity ซึ่งสัมพันธ์กับ Function 2 สามารถใช้เป็นค่าในการจำแนกพันธุ์ได้

ตารางที่ 21 Functions at Group Centroids ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกร 6 กลุ่ม

MATURITY*	Function				
	1	2	3	4	5
1	-4.108	2.758	1.829	-0.278	-0.117
2	1.250	3.205	-1.269	0.518	0.886
3	2.525	1.695	-1.667	-0.294	-0.544
4	-4.574	-3.296	-1.005	-0.556	0.154
5	-0.803	-1.921	0.341	2.026	-0.269
6	5.889	-1.928	1.400	-0.400	0.137

* เป็นระยะการสุกแก่ 1,2,3 Immature, Mature, และ Overmature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว
เป็นระยะการสุกแก่ 4,5,6 Immature, Mature, และ Overmature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง



ภาพที่ 52 Scatter plot ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกร ตาม Function 1 และ 2
(1, 2, 3 หมายถึงระยะ Immature, Mature, และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว
4, 5, 6 หมายถึงระยะ Immature, Mature, และ Over mature ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง)

จากตารางที่ 22 ผลการแบ่งกลุ่มแก้วมังกร เป็น 6 กลุ่ม พบว่าการแบ่งกลุ่ม Cross-validation ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว เป็นกลุ่ม 1 (Immature) กลุ่ม 2 (Mature) และกลุ่ม 3 (Over mature) มีเปอร์เซ็นต์การแบ่งกลุ่มถูกต้อง เป็น 95.0, 93.3 และ 86.0 ตามลำดับ ส่วนการแบ่งกลุ่มของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง เป็นกลุ่ม 4 (Immature) กลุ่ม 5 (Mature) และกลุ่ม 6 (Over mature) มีเปอร์เซ็นต์การแบ่งกลุ่มถูกต้อง เป็น 100.0, 86.7 และ 98.0 ตามลำดับโดยมีค่าเฉลี่ยของการแบ่งกลุ่มถูกต้องของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว และพันธุ์เนื้อแดง เท่ากับ 91.4 และ 94.9% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรพันธุ์ทั้ง 2 พันธุ์ทำได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยพันธุ์เนื้อแดงมีความแม่นยำมากกว่า

ตารางที่ 22 Classification result ของการแบ่งกลุ่มแก้วมังกรเป็น 6 กลุ่ม

Actual maturity group	%Correct Classified	Predicted maturity group						Total
		1	2	3	4	5	6	
1	95.0	95	5					100
2	93.3		56	4				60
3	86.0		14	86				100
Total	91.4							260
4	100.0				100			100
5	86.7			2	4	52	2	60
6	98.0			2			98	100
Total	94.9							260

ผลการวิเคราะห์สร้างสมการทำนายความสุกแก่เชิงปริมาณ

จะเห็นว่าในการแบ่งกลุ่มของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ตามความสุกแก่เป็น 6 กลุ่มนั้น ต้องใช้คุณสมบัติต่างๆ ทั้งที่เป็น Destructive และ Non destructive จึงพยายามหาวิธีในการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกร โดยการทำนายคุณสมบัติที่เป็น Destructive ด้วยตัวแปรที่เป็น Nondestructive ดังนั้นจึงวิเคราะห์สร้างสมการทำนายความสุกแก่เชิงปริมาณด้วยวิธี Partial least squares regression (PLSR) โดยได้แบ่งแก้วมังกรเป็น 2 กลุ่มในสัดส่วน 3 ต่อ 1 ของทุกช่วงวันหลังดอกบานเป็น Calibration set และ Validation set จำนวน 195 และ 65 ผล ในแต่ละพันธุ์โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดง ในตารางที่ 23 และ 24 สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ตารางที่ 25 และ 26 สำหรับพันธุ์เนื้อขาว และตารางที่ 27 และ 28 รวมทั้ง 2 พันธุ์

คุณสมบัติของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มีความแตกต่างกัน ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ค่า TSS, TA, TSS/TA, Recovery, Fruit firmness และ Flesh firmness เป็นคุณสมบัติที่เป็นการตรวจวัดต้องทำลายตัวอย่าง (Destructive) รวมทั้งวันหลังดอกบานด้วย เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อคุณภาพของแก้วมังกร ส่วนคุณสมบัติที่เหลือ ได้แก่ Density, Sphericity, ค่าสี L, a, b และค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร จัดเป็นคุณสมบัติที่เป็นการตรวจวัดไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

(Non destructive) ซึ่งในกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษานี้มีคุณสมบัติที่มีความแตกต่างกันมากจะสังเกตได้จาก ค่า %CV ซึ่งมีค่าค่อนข้างมากยกเว้น ค่า Density มีค่าต่ำที่สุด ดังตารางที่ 23-28

ตารางที่ 23 คุณสมบัติของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง แยกตามกลุ่ม Calibration และ Validation sets

Properties	Unit	Calibration (n=195)					Validation (n=65)				
		Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
Destructive											
Date	day	23.00	40.00	30.15	5.27	17.49	23.00	40.00	30.15	5.30	17.58
TSS	Brix	4.20	18.48	12.79	4.27	33.41	5.20	18.48	13.07	4.39	33.58
TA	%	0.10	1.23	0.40	0.29	71.64	0.11	1.17	0.43	0.30	69.05
TSS/TA	Brix/%	7.42	185.16	57.40	50.43	87.86	7.16	161.06	54.53	48.98	89.81
Wt_ratio	%	27.73	85.12	59.25	17.93	30.27	32.47	83.52	59.99	17.02	28.36
Fruit											
firmness	N/mm	2.13	17.51	7.32	4.42	60.31	2.98	16.16	7.06	4.02	56.89
Flesh											
firmness	N/mm	0.65	4.33	1.90	0.91	48.00	0.75	3.72	1.94	0.78	40.38
Nondestructive											
Density	g/ml	0.95	1.12	1.04	0.04	4.23	0.93	1.11	1.04	0.04	3.84
Sphericity	%	67.66	97.33	82.49	6.43	7.79	67.01	97.33	82.54	6.22	7.54
L		21.61	41.02	30.95	3.56	11.51	23.37	41.02	30.88	3.49	11.30
a		-7.12	35.12	12.37	15.66	126.53	-6.66	31.86	11.67	14.75	126.34
b		1.20	16.02	7.74	4.14	53.49	1.86	14.44	7.88	4.12	52.29
logR680/550		-0.59	1.15	0.19	0.67	345.20	-0.58	1.14	0.20	0.67	339.76

ตารางที่ 24 ค่าการสะท้อนแสง ช่วง 400-700 นาโนเมตร ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

Spectrum nm	Calibration (n=195)					Validation (n=65)				
	Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
400	1.07	12.03	5.31	2.61	49.16	0.93	11.59	5.42	2.80	51.56
410	1.60	12.92	5.87	2.75	46.81	1.40	12.32	5.99	2.96	49.42
420	1.64	12.98	6.00	2.78	46.38	1.58	12.49	6.10	2.97	48.58
430	1.71	13.69	6.11	2.82	46.14	1.62	12.95	6.21	3.00	48.41
440	1.71	13.97	6.18	2.77	44.85	1.64	13.23	6.27	2.97	47.34
450	1.94	13.57	6.25	2.53	40.52	1.79	13.18	6.34	2.77	43.73
460	2.07	12.72	6.18	2.27	36.69	1.92	12.85	6.27	2.55	40.63
470	2.09	11.68	6.03	2.03	33.68	1.94	12.22	6.12	2.34	38.25
480	2.07	11.01	5.71	1.75	30.65	1.96	11.15	5.79	2.05	35.45
490	2.23	10.48	5.59	1.50	26.91	2.08	10.23	5.66	1.77	31.36
500	2.69	10.76	5.82	1.37	23.58	2.45	9.71	5.86	1.57	26.80
510	3.65	12.52	6.48	1.71	26.33	3.22	10.61	6.48	1.67	25.79
520	3.52	16.21	7.48	2.68	35.86	3.51	13.07	7.39	2.39	32.32
530	3.36	19.59	8.28	3.62	43.76	3.39	15.80	8.12	3.18	39.18
540	3.47	21.77	8.86	4.17	47.09	3.51	17.45	8.68	3.67	42.28
550	3.51	22.39	9.18	4.38	47.68	3.47	18.22	9.00	3.89	43.19
560	3.85	21.89	9.31	4.11	44.18	3.78	17.74	9.17	3.67	40.07
570	4.25	20.20	9.32	3.50	37.55	4.07	16.32	9.25	3.23	34.89
580	5.01	20.75	9.45	2.87	30.35	4.57	17.37	9.44	2.91	30.86
590	5.09	23.87	10.49	2.79	26.65	4.63	20.02	10.58	3.32	31.35
600	4.72	27.19	12.50	3.80	30.38	4.30	25.99	12.73	4.76	37.38
610	4.43	32.49	15.34	6.18	40.27	4.09	33.75	15.71	7.31	46.53
620	4.04	38.88	18.63	9.79	52.55	3.79	42.10	19.07	10.81	56.72
630	4.07	48.76	22.44	13.86	61.76	3.73	48.67	22.87	14.65	64.04
640	3.63	56.26	25.35	17.66	69.67	3.37	56.71	25.77	18.22	70.69

ตารางที่ 24 (ต่อ)

Spectrum nm	Calibration (n=195)					Validation (n=65)				
	Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
650	3.06	62.05	26.25	20.49	78.07	2.91	62.69	26.58	20.76	78.11
660	2.69	65.22	25.92	21.76	83.95	2.54	64.92	26.01	21.68	83.35
670	2.48	66.28	24.54	22.11	90.09	2.32	64.11	24.33	21.65	88.99
680	2.22	66.67	23.39	22.30	95.37	1.97	63.24	22.99	21.62	94.07
690	4.21	69.34	29.51	22.50	76.22	3.58	69.58	29.72	22.46	75.55
700	7.56	71.19	36.10	21.40	59.30	6.68	73.55	36.72	21.91	59.65

ตารางที่ 25 คุณสมบัติของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว แยกตามกลุ่ม Calibration และ Validation sets

Properties	Unit	Calibration (n=195)					Validation (n=65)				
		Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
Destructive											
Date	day	23.00	40.00	30.15	5.27	17.49	23.00	40.00	30.15	5.30	17.58
TSS	Brix	6.65	18.70	14.80	3.11	21.01	7.28	18.70	14.83	3.16	21.30
TA	%	0.13	2.33	0.74	0.62	84.00	0.17	2.03	0.72	0.59	81.43
TSS/TA	Brix/%	4.11	135.16	41.03	31.08	75.76	4.17	109.57	40.13	28.85	71.87
Wt_ratio	%	25.18	78.31	57.95	16.29	28.12	28.11	78.59	57.36	16.68	29.08
Fruit											
firmness	N/mm	3.25	18.18	7.20	3.58	49.74	3.48	16.43	7.23	3.77	52.16
Flesh											
firmness	N/mm	0.73	2.99	1.65	0.48	29.10	0.52	2.94	1.53	0.48	31.65
Nondestructive											
Density	g/ml	0.94	1.15	1.05	0.03	3.24	0.97	1.11	1.05	0.03	2.97
Sphericity	%	54.64	85.12	65.60	5.29	8.06	55.35	77.92	66.39	4.56	6.87
L		22.39	40.24	31.80	3.16	9.93	25.53	42.38	31.90	3.11	9.74
a		-7.63	27.67	11.53	11.61	100.68	-8.27	28.03	12.85	12.25	95.29
b		4.67	17.57	9.07	3.79	41.78	4.91	18.12	8.74	3.77	43.12
logR680/550		-0.65	0.83	0.13	0.47	351.52	-0.63	0.68	0.11	0.48	430.30

ตารางที่ 26 ค่าการสะท้อนแสง ช่วง 400-700 นาโนเมตร ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

Spectrum	Calibration (n=195)					Validation (n=65)				
	Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
400	1.28	7.20	3.91	1.30	33.21	1.19	7.78	3.86	1.35	35.02
410	1.60	7.80	4.72	1.60	33.88	1.63	8.20	4.67	1.59	33.96
420	1.84	8.79	5.22	1.85	35.34	1.79	8.19	5.16	1.81	35.09
430	1.98	9.65	5.71	2.04	35.74	1.92	9.02	5.65	2.00	35.35
440	2.15	10.17	6.09	2.16	35.39	2.20	9.70	6.04	2.10	34.78
450	2.33	10.77	6.44	2.16	33.59	2.43	10.18	6.39	2.10	32.91
460	2.60	10.85	6.54	2.06	31.47	2.57	10.16	6.50	1.99	30.64
470	2.73	10.37	6.44	1.87	28.96	2.64	9.68	6.43	1.81	28.13
480	2.84	9.57	6.13	1.61	26.27	2.71	9.10	6.13	1.57	25.54
490	3.04	8.98	6.01	1.37	22.80	2.99	8.84	6.03	1.35	22.32
500	3.63	9.56	6.27	1.21	19.34	3.55	8.99	6.32	1.22	19.31
510	3.73	12.96	6.93	1.56	22.46	3.90	11.38	7.05	1.60	22.69
520	3.95	17.98	7.89	2.69	34.14	4.01	15.99	8.09	2.73	33.71
530	4.05	22.09	8.61	3.78	43.88	4.20	19.74	8.88	3.79	42.67
540	4.14	23.87	9.11	4.30	47.25	4.36	21.57	9.41	4.30	45.73
550	4.29	24.66	9.46	4.47	47.25	4.52	22.44	9.79	4.49	45.90
560	4.68	24.10	9.74	4.15	42.59	4.89	21.91	10.05	4.19	41.74
570	5.04	22.01	10.04	3.33	33.19	5.40	20.04	10.30	3.43	33.30
580	5.63	19.39	10.59	2.39	22.52	6.29	17.76	10.76	2.53	23.49
590	6.63	18.02	12.12	1.99	16.46	7.92	17.89	12.19	2.07	17.00
600	7.86	20.60	14.62	3.02	20.67	7.45	20.23	14.57	2.96	20.28
610	7.47	27.33	17.70	5.27	29.77	6.95	25.11	17.52	5.16	29.45
620	6.77	34.88	20.57	7.97	38.75	6.18	31.69	20.31	7.90	38.89
630	6.65	42.22	23.52	10.39	44.18	6.06	38.48	23.21	10.36	44.66
640	6.24	47.04	25.11	12.14	48.35	5.71	43.51	24.75	12.15	49.09

ตารางที่ 26 (ต่อ)

Spectrum nm	Calibration (n=195)					Validation (n=65)				
	Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
650	5.23	47.31	23.90	12.72	53.23	4.53	43.82	23.51	12.71	54.05
660	4.57	44.35	21.67	12.12	55.91	4.09	41.77	21.35	12.11	56.69
670	3.61	39.69	18.15	10.60	58.42	3.21	36.69	17.91	10.59	59.13
680	2.80	37.13	15.12	9.41	62.26	2.61	32.46	14.94	9.35	62.58
690	6.24	49.22	25.51	12.88	50.48	5.62	46.31	25.15	12.93	51.42
700	11.02	61.17	35.86	14.51	40.47	11.02	59.58	35.35	14.68	41.52

ตารางที่ 27 คุณสมบัติของแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์ แยกตามกลุ่ม Calibration และ Validation sets

Properties	Unit	Calibration (n=195)					Validation (n=65)				
		Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
Destructive											
Date	day	23.00	40.00	30.15	5.27	17.47	23.00	40.00	30.15	5.28	17.51
TSS	Brix	4.20	18.70	13.79	3.86	28.02	5.20	18.48	13.95	3.91	28.02
TA	%	0.10	2.33	0.57	0.51	90.08	0.11	2.03	0.58	0.49	84.36
TSS/TA	Brix/%	4.11	185.16	49.21	42.63	86.63	4.17	161.06	47.33	40.68	85.95
Wt_ratio	%	25.18	85.12	58.60	17.12	29.22	28.11	83.52	58.69	16.84	28.69
Fruit											
firmness	N/mm	2.13	18.18	7.26	4.02	55.31	2.98	16.43	7.15	3.88	54.33
Flesh											
firmness	N/mm	0.52	4.33	1.77	0.72	40.84	0.74	4.29	1.76	0.73	41.64
Nondestructive											
Density	g/ml	0.93	1.15	1.04	0.04	4.30	0.94	1.11	1.05	0.03	3.34
Sphericity	%	54.64	97.33	74.04	10.30	13.91	55.35	97.33	74.46	9.76	13.11
L		21.61	42.38	31.42	3.32	10.57	22.39	41.02	31.22	3.58	11.48
a		-8.27	35.12	12.06	13.77	114.15	-7.63	31.86	11.90	13.46	113.09
b		1.20	18.12	8.41	4.03	47.88	1.86	17.21	8.27	3.91	47.27
logR680/550		-0.41	1.10	0.34	0.52	153.58	-0.39	1.08	0.33	0.53	160.28

ตารางที่ 28 ค่าการสะท้อนแสง ช่วง 400-700 นาโนเมตร ของแก้วมั่งกรรวมทั้ง 2 พันธุ์

Spectrum	Calibration (n=390)					Validation (n=130)				
	Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
400	1.07	12.03	4.61	2.18	47.19	0.93	11.59	4.64	2.32	50.08
410	1.60	12.92	5.30	2.32	43.77	1.40	12.32	5.33	2.45	46.07
420	1.64	12.98	5.61	2.39	42.61	1.58	12.49	5.63	2.49	44.27
430	1.71	13.69	5.91	2.47	41.73	1.62	12.95	5.93	2.56	43.12
440	1.71	13.97	6.13	2.48	40.42	1.64	13.23	6.15	2.56	41.66
450	1.94	13.57	6.34	2.35	37.10	1.79	13.18	6.36	2.45	38.51
460	2.07	12.72	6.36	2.17	34.12	1.92	12.85	6.39	2.28	35.72
470	2.09	11.68	6.24	1.96	31.41	1.94	12.22	6.28	2.09	33.30
480	2.07	11.01	5.92	1.69	28.60	1.96	11.15	5.96	1.83	30.64
490	2.23	10.48	5.80	1.45	25.04	2.08	10.23	5.84	1.58	27.03
500	2.69	10.76	6.04	1.31	21.72	2.45	9.71	6.09	1.42	23.31
510	3.65	12.96	6.71	1.65	24.55	3.22	11.38	6.76	1.65	24.46
520	3.52	17.98	7.68	2.69	35.03	3.51	15.99	7.74	2.58	33.30
530	3.36	22.09	8.45	3.70	43.82	3.39	19.74	8.50	3.51	41.25
540	3.47	23.87	8.98	4.23	47.14	3.51	21.57	9.04	4.00	44.23
550	3.51	24.66	9.32	4.42	47.43	3.47	22.44	9.39	4.20	44.74
560	3.85	24.10	9.53	4.13	43.37	3.78	21.91	9.61	3.95	41.13
570	4.25	22.01	9.68	3.43	35.45	4.07	20.04	9.77	3.36	34.36
580	5.01	20.75	10.02	2.70	26.90	4.57	17.76	10.10	2.80	27.69
590	5.09	23.87	11.30	2.56	22.63	4.63	20.02	11.39	2.87	25.22
600	4.72	27.19	13.56	3.59	26.46	4.30	25.99	13.65	4.05	29.69
610	4.43	32.49	16.52	5.85	35.44	4.09	33.75	16.61	6.37	38.32
620	4.04	38.88	19.60	8.97	45.75	3.79	42.10	19.69	9.45	48.01
630	4.07	48.76	22.98	12.24	53.28	3.73	48.67	23.04	12.64	54.86
640	3.63	56.26	25.23	15.14	59.99	3.37	56.71	25.26	15.43	61.09

ตารางที่ 28 (ต่อ)

Spectrum nm	Calibration (n=195)					Validation (n=65)				
	Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
650	3.06	62.05	25.07	17.07	68.10	2.91	62.69	25.04	17.22	68.74
660	2.69	65.22	23.80	17.72	74.46	2.54	64.92	23.68	17.64	74.51
670	2.48	66.28	21.35	17.61	82.50	2.32	64.11	21.12	17.28	81.82
680	2.22	66.67	19.25	17.59	91.36	1.97	63.24	18.96	17.08	90.05
690	4.21	69.34	27.51	18.41	66.94	3.58	69.58	27.44	18.40	67.05
700	7.56	71.19	35.98	18.26	50.76	6.68	73.55	36.04	18.59	51.57

ค่า TSS, TA, TSS/TA และค่าความแน่นเนื้อ เป็นคุณสมบัติที่ผู้บริโภคริโภคใช้ในการตัดสินใจซื้อผลไม้ โดยเฉพาะแก้วมังกร ผู้บริโภคส่วนใหญ่ ต้องการผลไม้ที่มีค่าความหวานมาก และมีปริมาณกรดน้อย ดังนั้น การที่สามารถคัดคุณภาพของผลแก้วมังกร ตามที่ตลาดต้องการโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงทดลองใช้ การวิเคราะห์ PLSR (Partial Least Square Regression Analysis) โดยกำหนดให้คุณสมบัติที่เป็น Destructive และวันหลังดอกบาน (DAFS) เป็นตัวแปร Y หรือ Predicted properties ส่วนคุณสมบัติอื่นๆที่เหลือรวมทั้งค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งเป็น Non destructive เป็นตัวแปร X หรือ Predictor properties รวมทั้งหมด 36 ตัวแปร ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 29, 30 และ 31 สำหรับพันธุ์เนื้อแดง เนื้อขาวและรวมทั้ง 2 พันธุ์

จากการวิเคราะห์ PLSR กับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ในกลุ่ม Calibration พบว่า PLSR model ที่ทำนายค่า DAFS ให้ผลการทำนายที่มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็นการทำนายค่า %Recovery, TSS/TA ratio, Fruit firmness, TSS, Flesh firmness และค่า TA โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.88, 0.86, 0.85, 0.83, 0.80, 0.69, และ 0.55 ตามลำดับ และเมื่อนำ Calibration model ไปทำนายในกลุ่ม Validation พบว่า ผลการทำนายมีค่า R^2 ลดลง และมีค่า SEP เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า RPD (Ratio of standard error of prediction to standard deviation) เพื่อเลือก model ที่ดีที่สุด ตามข้อเสนอแนะของ William and Sobering (1993) พบว่า PLSR model ที่ทำนายค่า DAFS มีค่า RPD มากที่สุด รองลงมาเป็น Recovery, TSS, TSS/TA, fruit firmness, flesh firmness และ TA โดยมีค่า 2.86, 2.45, 2.38, 2.15, 2.07, 1.50 และ 1.36 ตามลำดับ ดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายคุณสมบัติของแก้วมังกรแบบทำลาย โดยใช้คุณสมบัติที่ทำได้แบบไม่ทำลายในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

Prediction	Calibration (n=195)		Validation (n=65)			RPD
	R ²	SEC	R ²	SEP	Bias	
DAFS	0.88	1.83	0.88	1.85	-0.08	2.86
Recovery	0.86	6.76	0.83	6.96	-0.31	2.45
TSS/TA	0.85	19.38	0.78	22.77	0.99	2.15
Fruit firmness	0.83	1.82	0.76	1.94	0.27	2.07
TSS	0.80	1.91	0.82	1.84	-0.24	2.38
Flesh firmness	0.69	0.51	0.55	0.52	-0.05	1.50
TA	0.55	0.19	0.43	0.22	-0.02	1.36

ส่วนการวิเคราะห์ PLSR ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว พบว่า Calibration model ของการทำนายค่า DAFS ให้ค่า R² สูงสุดรองลงมาเป็นการทำนายค่า TA, %Recovery, TSS, TSS/TA ratio, Fruit firmness และ Flesh firmness โดยมีค่า R² เท่ากับ 0.94, 0.93, 0.88, 0.85, 0.83, 0.81, และ 0.22 ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า RPD เพื่อเลือก model ที่ดีที่สุด พบว่า Model ที่ทำนายค่า DAFS ให้ค่า RPD สูงที่สุด รองลงมาเป็น Model ทำนายค่า %Recovery, TA, TSS/TA ratio, TSS, Fruit firmness และ Flesh firmness โดยมีค่า 4.02, 3.08, 3.01, 2.67, 2.44, 2.01, และ 1.16 ตามลำดับ (ตารางที่ 30) จากการที่ William and Sobering (1993) แนะนำว่า model ที่ใช้ทำนายค่าที่ดี ควรมีค่า RPD มากกว่า 3.00 ดังนั้น ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว สามารถใช้คุณสมบัติที่เป็น Nondestructive ได้แก่ Density, Sphericity, ค่าสี L, a, b และค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ทำนายค่า DAFS, %Recovery และค่า TA ได้

ตารางที่ 30 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายคุณสมบัติของแก้วมังกรแบบทำลาย โดยใช้คุณสมบัติที่ทำได้แบบไม่ทำลายในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

Prediction	Calibration (n=195)		Validation (n=65)			RPD
	R ²	SEC	R ²	SEP	Bias	
DAFS	0.94	1.33	0.94	1.32	0.006	4.02
Recovery	0.88	5.75	0.89	5.41	1.04	3.08
TSS/TA	0.83	12.70	0.85	10.77	2.29	2.67
Fruit firmness	0.81	1.57	0.75	1.88	0.062	2.01
TSS	0.85	1.22	0.83	1.29	0.002	2.44
Flesh firmness	0.22	0.42	0.19	0.42	0.125	1.16
TA	0.93	0.16	0.88	0.20	0.014	3.01

เมื่อวิเคราะห์ PLSR กับผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ในกลุ่ม Calibration พบว่า PLSR model ที่ทำนาย ค่า Recovery มีค่า R² สูงสุด รองลงมาเป็น model ที่ทำนายค่า DAFS, TSS/TA, Fruit firmness, TSS, TA และ Flesh firmness โดยมีค่า 0.87, 0.86, 0.81, 0.80, 0.78, 0.76 และ 0.55 ตามลำดับ และมีค่า SEC เท่ากับ 6.20%, 1.98 วัน, 18.58°Brix/% , 1.78 N/mm, 1.81°Brix, 0.25% และ 0.49 N/mm ตามลำดับ และเมื่อนำ PLSR models ที่ได้ไปทำนายกับกลุ่ม Validation ให้ผลการทำนายที่ดี โดยการทำนายค่า Recovery มีค่า R² สูงสุด รองลงมาเป็น model ที่ทำนายค่า DAFS, TSS, TSS/TA, fruit firmness, TA และ flesh firmness โดยมีค่า 0.87, 0.84, 0.81, 0.78, 0.76, 0.66 และ 0.55 ตามลำดับ และมีค่า SEP เท่ากับ 6.01%, 2.09 วัน, 1.69°Brix, 18.74°Brix/%, 1.88 N/mm, 0.28% และ 0.46 N/mm ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า RPD (Ratio of standard error of prediction to standard deviation) เพื่อเลือก model ที่ดีที่สุด ตามข้อเสนอแนะของ William and Sobering (1993) พบว่า PLSR model ที่ทำนายค่า Recovery มีค่า RPD มากที่สุด รองลงมาเป็น DAFS, TSS, TSS/TA, fruit firmness, TA และ flesh firmness โดยมีค่า 2.80, 2.53, 2.31, 2.17, 2.06, 1.73 และ 1.49 ตามลำดับ ดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายคุณสมบัติของแก้วมังกรแบบทำลาย โดยใช้คุณสมบัติที่ทำได้แบบไม่ทำลายสำหรับแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

Prediction	Calibration (n=390)		Validation (n=130)			RPD
	R ²	SEC	R ²	SEP	Bias	
DAFS	0.86	1.98	0.84	2.09	0.04	2.53
Recovery	0.87	6.20	0.87	6.01	0.06	2.80
TSS/TA	0.81	18.58	0.78	18.74	2.32	2.17
Fruit firmness	0.80	1.78	0.76	1.88	0.04	2.06
TSS	0.78	1.81	0.81	1.69	-0.12	2.31
Flesh firmness	0.55	0.49	0.55	0.46	0.03	1.49
TA	0.76	0.25	0.66	0.28	-0.02	1.73

PLSR model ทั้ง 7 models ที่ใช้ทำนายค่า DAFS, Recovery, TSS, TA, TSS/TA, Fruit firmness และ Flesh firmness ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง พันธุ์เนื้อขาว และรวมทั้ง 2 พันธุ์ มีค่า RPD แตกต่างกันมาก แต่คุณสมบัติทั้ง 6 ค่ารวมทั้งวันหลังดอกบาน มีผลต่อคุณภาพของแก้วมังกรทุกค่า การที่จะเลือกทำนายคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งไม่น่าจะให้ผลในการคัดคุณภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์ ดังนั้น จึงพยายามรวมตัวแปรทั้ง 7 ให้เป็นตัวแปรใหม่ โดยใช้เทคนิคของ Principal Component Analysis (PCA) ลดตัวแปรทั้ง 7 ตัวให้อยู่ในรูปของ PC1 และ PC2 จากการวิเคราะห์ PCA พบว่า PC1 สามารถอธิบายตัวแปรดั้งเดิมทั้งหมดได้ถึง 78%, 77% และ 75% ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง เนื้อขาว และ รวมทั้ง 2 พันธุ์ ตามลำดับ โดยมีค่า X-Loading ของ PC1 และ PC2 เมื่อ weight หรือหารด้วย ค่า standard deviation แล้ว แสดงให้เห็นในตารางที่ 32 สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง ตารางที่ 33 สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว และตารางที่ 34 สำหรับแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

จากตารางที่ 32 ค่า PC1 ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงสามารถเป็นตัวแทนของ Destructive properties และ DAFS ดังนั้นจึงอาจเรียก PC1 ว่า Multivariate Maturity Index (MMI_R) โดยที่ $MMI_R = -0.406 \cdot DAFS - 0.40 \cdot TSS + 0.253 \cdot TA - 0.378 \cdot TSS/TA - 0.415 \cdot Recovery + 0.392 \cdot \text{Fruit firmness} + 0.378 \cdot \text{Flesh firmness}$

ตารางที่ 32 แสดงค่า X-Loading ของ PC1 และ PC2 เมื่อทำ PCA ของคุณสมบัติแบบทำลาย และวัน หลังดอกบานของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

Properties	PC1	PC2
DAFS	-0.406	-0.081
TSS	-0.400	0.278
TA	0.253	0.775
TSS/TA	-0.378	-0.351
Recovery	-0.415	0.032
Fruit firmness	0.392	-0.316
Flesh firmness	0.378	-0.301

จากตารางที่ 33 ค่า PC1 สามารถเป็นตัวแทนของ Destructive properties และ DAFS ของ แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว ดังนั้นจึงอาจเรียก PC1 ว่า Multivariate Maturity Index (MMI_W) โดยที่ $MMI_W = 0.385 \cdot DAFS + 0.400 \cdot TSS - 0.407 \cdot TA + 0.390 \cdot TSS/TA + 0.402 \cdot Recovery - 0.373 \cdot \text{Fruit firmness} - 0.269 \cdot \text{Flesh firmness}$

ตารางที่ 33 แสดงค่า X-Loading ของ PC1 และ PC2 เมื่อทำ PCA ของคุณสมบัติแบบทำลาย และวันหลังดอกบานของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

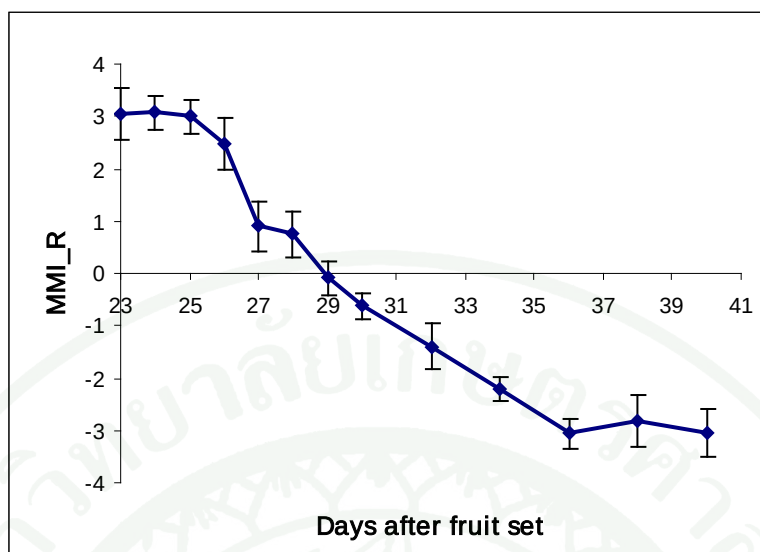
Properties	PC1	PC2
DAFS	0.385	0.148
TSS	0.400	0.088
TA	-0.407	-0.119
TSS/TA	0.390	0.087
Recovery	0.402	0.244
Fruit firmness	-0.373	0.052
Flesh firmness	-0.269	0.942

จากตารางที่ 34 ค่า PC1 สามารถเป็นตัวแทนของ Destructive properties และ DAFS ของ แก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ ดังนั้นจึงอาจเรียก PC1 ว่า Multivariate Maturity Index (MMI_WR) โดยที่ $MMI_WR = 0.403*DAFS + 0.395*TSS - 0.307*TA + 0.378*TSS/TA + 0.418*Recovery - 0.394 * Fruit\ firmness - 0.337 * Flesh\ firmness$

ตารางที่ 34 แสดงค่า X-Loading ของ PC1 และ PC2 เมื่อทำ PCA ของคุณสมบัติแบบทำลาย และวันหลังดอกบานของแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์

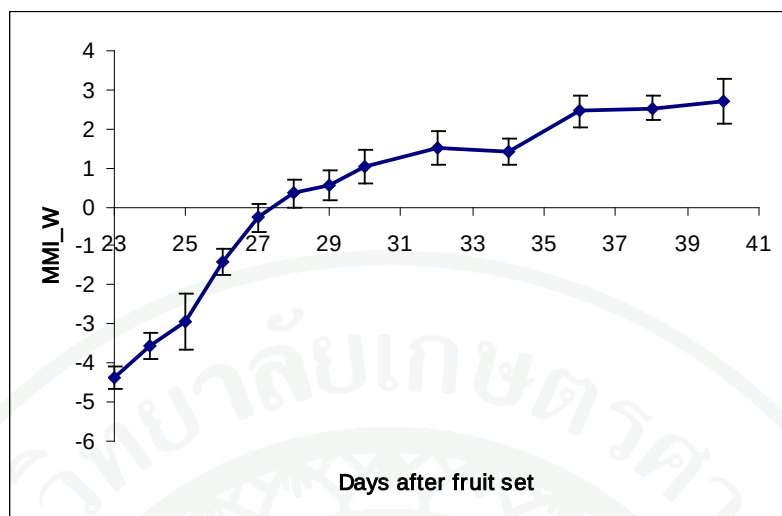
Properties	PC1	PC2
DAFS	0.403	-0.147
TSS	0.395	0.318
TA	-0.307	0.655
TSS/TA	0.378	-0.277
Recovery	0.418	-0.091
Fruit firmness	-0.394	-0.229
Flesh firmness	-0.337	-0.557

จากการที่เรียกค่า PC1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ PCA ว่าเป็นค่า MMI_R สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเมื่อนำค่า PC score (PC1) ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ กับวันหลังดอกบาน พบว่าในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง มีความสัมพันธ์เชิงลบ คือ ค่า MMI_R จะลดลง ตามวันหลังดอกบาน โดยในระยะอ่อน (Immature stage) ค่า MMI_R จะมีค่าประมาณ 3 และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆจนมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อผลแก้วมังกรเข้าสู่ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage) มีค่าประมาณ -1 หลังจากนั้นค่าจะลดลงเป็น เท่ากับ -3 เมื่อผลแก้วมังกรสุกแก่เต็มที่ (Over mature stage) ดังภาพที่ 53 แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ค่า MMI_R เป็นดัชนีในการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงได้



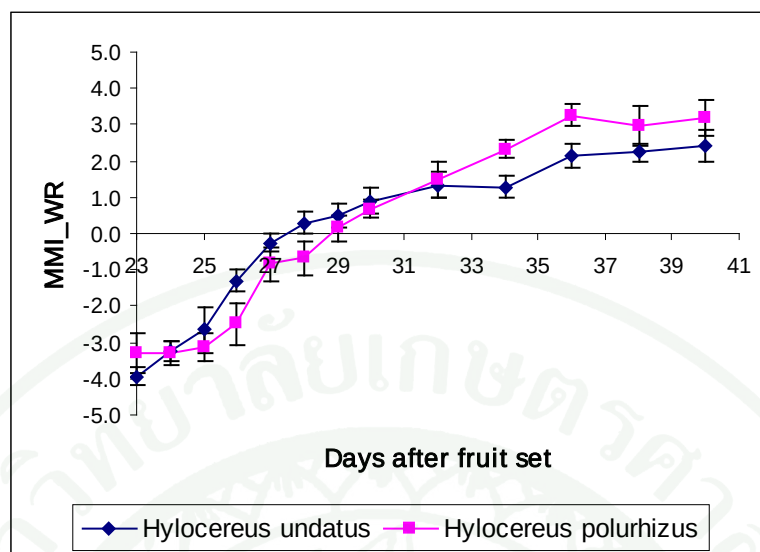
ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MMI_R และวันหลังดอกบาน ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

เมื่อนำค่า MMI_W ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวมาหาความสัมพันธ์ กับวันหลังดอกบาน พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวก คือ ค่า MMI จะเพิ่มขึ้น ตามวันหลังดอกบาน โดยในระยะอ่อน (Immature stage) ค่า MMI_W จะมีค่าเป็นลบและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าบวก เมื่อผลแก้วมังกรเข้าสู่ระยะ เจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage) มีค่าประมาณ 1 หลังจากนั้นค่าจะเพิ่มมากขึ้นถึง 3-4 เมื่อผลแก้วมังกรสุกแก่เต็มที่ (Over mature stage) ดังภาพที่ 54 แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ค่า MMI เป็นดัชนีในการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวได้



ภาพที่ 54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MMI_W และวันหลังดอกบาน ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

เมื่อนำค่า MMI_WR ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์มาหาความสัมพันธ์ กับวันหลังดอกบาน พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวก คือค่า MMI_WR จะเพิ่มขึ้น ตามวันหลังดอกบาน เหมือนกันทั้ง 2 พันธุ์ โดยในระยะอ่อน (Immature stage) ค่า MMI_WR จะเป็นลบและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าบวก เมื่อผลแก้วมังกรเข้าสู่ระยะ เจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage) มีค่าประมาณ 1 หลังจากนั้นค่าจะเพิ่มมากขึ้นถึง 3-4 เมื่อผลแก้วมังกรสุกแก่เต็มที่ (Over mature stage) ดังภาพที่ 55 แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ค่า MMI_WR เป็นดัชนีในการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์ได้



ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MMI และวันหลังดอกบาน ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์

การสร้างสมการ PLSR model เพื่อทำนายค่า MMI โดยการใช้ตัวแปรที่เป็นคุณสมบัติของผลแก้วมังกรที่สามารถหาได้แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (ตารางที่ 35) ทำการทดลองทั้งหมด 8 Models โดยที่พยายามลดตัวแปรที่ใช้ในการทำนายลง เพื่อให้ Model มีความซับซ้อนน้อยลงเหมาะสมกับการนำไปพัฒนาอุปกรณ์หรือวิธีการตรวจวัดคุณภาพของแก้วมังกรแบบไม่ทำลายตัว การลดตัวแปรลงในแต่ละ model พิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้ทำมาก่อนหน้านี้ และความเป็นได้ในการนำไปพัฒนาต่อยอดต่อไป คือ ใน Model 1 เมื่อใช้ตัวแปร ทั้ง 36 ตัวแปร ได้แก่ ค่า Density, ค่า Sphericity, ค่าสี L, a, b และค่า Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตร Model 2 ตัดตัวแปรที่เป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ Density และ Sphericity ออกเหลือตัวแปรเพียง 34 ตัวแปร Model 3 ตัดตัวแปรที่เป็นค่าสี L,a,b ออกเหลือเพียงค่า Light reflectance ที่เป็น Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตร เหลือเพียง 31 ตัวแปร Model 4 ใช้ตัวแปรเหมือนกับ Model 1 แต่ใช้ค่า Log (R680/R550) แทนค่า Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตร เหลือตัวแปรเพียง 6 ตัว Model 5 ลดตัวแปรลงอีกโดยตัดค่า Log (R680/R550) เหลือตัวแปร 5 ตัว Model 6 ลดตัวแปรลงอีกโดยการตัดค่า Density และ Sphericity เหลือเพียงค่าสี L, a, b Model 7 นำค่า Log (R680/R550) แทนค่าสี L และ Model 8 ใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียว คือค่า Density

ตารางที่ 35 แสดงตัวแปร (Predictors) ใน PLSR model สำหรับทำนายค่า MMI

Model	Predictors
Model 1	Density, sphericity, L, a, b, spectrum 400-700 nm
Model 2	L,a,b, spectrum 400-700 nm
Model 3	spectrum 400-700 nm
Model 4	Density, sphericity, L, a, b, log (R680/R550)
Model 5	Density, sphericity, L, a, b,
Model 6	L, a, b
Model 7	a, b, log (R680/R550)
Model 8	Density

การสร้างสมการ PLSR model เพื่อทำนายค่า MMI_R สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง โดยการใช้ตัวแปรที่เป็นคุณสมบัติของผลแก้วมังกรที่สามารถหาได้แบบไม่ทำลายตัวอย่าง ทำการทดลองทั้งหมด 8 models (ตารางที่ 35) พบว่า ผลการทำนายค่า MMI_R ในกลุ่ม Validation set ของ Model 2 ให้ค่า R^2 สูงสุด = 0.92 และมีค่า SEP=0.65 ทำให้มีค่า RPD เพิ่มขึ้นเป็น 3.50 ซึ่งมากกว่า การทำนายคุณสมบัติของแก้วมังกรในกลุ่มที่ต้องทำลายตัวอย่าง ที่ได้ทำนายมาก่อนแล้ว รองลงมาเป็น Model 4, 7, 1, 5, 6, 3 และ 8 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.92, 0.89, 0.89, 0.89, 0.88, 0.81 และ 0.58 ตามลำดับ และมีค่า SEP=0.67, 0.74, 0.75, 0.77, 0.77, 1.00 และ 1.48 ตามลำดับ ทำให้มีค่า RPD เป็น 3.39, 3.08, 3.04, 2.99, 2.96, 2.29 และ 1.54 ตามลำดับ (ตารางที่ 36) จากที่ William and Sobering (1993) การแนะนำว่า PLSR model ที่ใช้ทำนายค่าที่ดี ควรมีค่า Ratio of standard error of prediction to standard deviation (RPD) มากกว่า 3.00 ดังนั้น การทำนายค่า MMI_R ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง สามารถใช้ Model 2, 4, 7 และ 1 ได้ โดย Model 7 มีการใช้ตัวแปร เพียง 3 ตัวเท่านั้น คือ ค่าสี a, b, และ log (R680/R550) ส่วน Model ที่เหลือไม่สามารถใช้ได้

ตารางที่ 36 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายค่า MMI_R ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง โดยใช้
คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลาย

Model**	No. of predictors	Factors	Calibration (n=390)		Validation (n=130)			RPD*
			R ²	SEC	R ²	SEP	Bias	
1	36	3	0.92	0.65	0.89	0.75	-0.011	3.04
2	34	4	0.91	0.71	0.92	0.65	0.032	3.50
3	31	1	0.86	0.88	0.81	1.00	-0.070	2.29
4	6	1	0.92	0.68	0.91	0.67	0.064	3.39
5	5	1	0.90	0.74	0.89	0.76	0.086	2.99
6	3	1	0.88	0.81	0.88	0.77	0.087	2.96
7	3	1	0.89	0.79	0.89	0.74	0.053	3.08
8	1	1	0.51	1.66	0.58	1.48	0.104	1.54

*ค่า Standard deviation of MMI=2.2844

** ตัวแปรใน PLSR model ได้แก่

Model1	Density, sphericity, L, a, b, spectrum 400-700 nm
Model 2	L,a,b, spectrum 400-700 nm
Model 3	spectrum 400-700 nm
Model 4	Density, sphericity, L, a, b, log (R680/R550)
Model 5	Density, sphericity, L, a, b,
Model 6	L, a, b
Model 7	a, b, log (R680/R550)
Model 8	Density

การสร้างสมการ PLSR model เพื่อทำนายค่า MMI_W สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว โดยทำการทดลองทั้งหมด 8 Models เช่นเดียวกัน พบว่า ผลการทำนายค่า MMI_W ในกลุ่ม Validation set ของ Model 2 ให้ค่า R^2 สูงสุด = 0.92 และมีค่า SEP=0.67 ทำให้มีค่า RPD เพิ่มขึ้นเป็น 3.46 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า การทำนายวันหลังคอกบานที่ได้ทำนายมาก่อนแล้ว รองลงมาเป็น Model 1, 3, 6, 7, 4, 5 และ 8 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.91, 0.91, 0.86, 0.86, 0.85, 0.81 และ 0.41 ตามลำดับ และมีค่า SEP=0.68, 0.70, 0.84, 0.86, 0.90, 1.00 และ 1.77 ตามลำดับ ทำให้มีค่า RPD เป็น 3.40, 3.33, 2.75, 2.69, 2.58, 2.33 และ 1.31 ตามลำดับ (ตารางที่ 37) จะเห็นว่า Model ที่สามารถใช้ทำนายคุณภาพของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว คือ Model 2, 1 และ 3 แต่ทั้ง 3 model ต้องใช้ตัวแปรมากถึง 31 ตัวแปรทำให้การตรวจวัดและการประมวลผลมีความสลับซับซ้อนมากขึ้น

ตารางที่ 37 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายค่า MMI_W ของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว โดยใช้คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลาย

Model**	No. of predictors	Factors	Calibration (n=390)		Validation (n=130)			RPD*
			R ²	SEC	R ²	SEP	Bias	
1	36	3	0.91	0.72	0.91	0.68	0.013	3.40
2	34	3	0.90	0.74	0.92	0.67	-0.044	3.46
3	31	4	0.89	0.77	0.91	0.70	-0.161	3.33
4	6	2	0.87	0.84	0.85	0.90	0.135	2.58
5	5	2	0.85	0.90	0.81	1.00	0.231	2.33
6	3	2	0.81	1.00	0.86	0.84	0.142	2.75
7	3	1	0.84	0.95	0.86	0.86	0.055	2.69
8	1	1	0.43	1.77	0.41	1.77	0.082	1.31

*ค่า Standard deviation of MMI_W=2.3171

** ตัวแปรใน PLSR model ได้แก่

Model1	Density, sphericity, L, a, b, spectrum 400-700 nm
Model 2	L,a,b, spectrum 400-700 nm
Model 3	spectrum 400-700 nm
Model 4	Density, sphericity, L, a, b, log (R680/R550)
Model 5	Density, sphericity, L, a, b,
Model 6	L, a, b
Model 7	a, b, log (R680/R550)
Model 8	Density

การสร้างสมการทำนายค่า MMI_WR ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ทำโดยใช้ตัวแปรที่เป็นคุณสมบัติของผลแก้วมังกรที่สามารถหาได้แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (ตารางที่ 35) ทำการทดลองทั้งหมด 8 Models เช่นเดียวกัน พบว่า Model 1 ซึ่งใช้ตัวแปร ทั้ง 36 ตัวแปร ได้แก่ ค่า Density, ค่า Sphericity, ค่าสี L, a, b และค่า Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตร การทำนายให้ค่า $R^2 = 0.89$ และมีค่า SEP=0.74 ทำให้มีค่า RPD เพิ่มขึ้นเป็น 3.03 มากกว่า การทำนายคุณสมบัติของแก้วมังกรในกลุ่มที่ต้องทำลายตัวอย่าง ที่ได้ทำนายมาก่อนแล้ว

ส่วน Model 2 เมื่อลดตัวแปรลงเหลือ 34 ตัวแปรโดยตัดค่า Density, และ ค่า Sphericity ออก พบว่าการทำนายให้ค่า SEP ลดลง มีผลให้ค่า RPD เพิ่มขึ้น เป็น 3.12 ส่วน Model 3 ลดตัวแปรลงเหลือเฉพาะค่า Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตรเท่านั้น พบว่า การทำนาย ให้ค่า R^2 เพิ่มขึ้น ค่า SEP ลดลง ได้ค่า RPD เพิ่มขึ้นเป็น 3.18 แสดงว่าการทำนายค่า MMI_WR ของผลแก้วมังกรสามารถใช้ค่า Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตรได้แต่มีค่าตัวแปรที่ใช้ถึง 31 ตัวแปร

จึงทดลองนำค่า Log (R680/R550) แทนค่า Visible spectrum ทำให้ตัวแปรลดลง เหลือ 6 ตัวแปร ใน Model 4 พบว่า การทำนายให้ค่า RPD ลดลงเหลือ 2.92 น้อยกว่า การทำนายโดยใช้ตัวแปร 36 ตัวแปรใน Model 1 นอกจากนั้นยังได้ทดลองลดตัวแปรที่ใช้ในการทำนายลงอีก โดย Model 5 ใช้ตัวแปรที่เป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่า Density, ค่า sphericity, ค่าสี L, a, และ b พบว่า ค่า RPD ลดลงเหลือ 2.70 และเมื่อลดตัวแปรลงเหลือเพียงค่าสี L, a และ b ใน Model 6 การทำนายมีผลให้ค่า RPD เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เป็น 2.80 และสุดท้ายใน Model 7 ทดลองใช้ตัวแปรเพียง 3 ตัวแปร คือ ค่าสี a, b และ log (R680/R550) พบว่า การทำนายให้ค่า RPD เพิ่มขึ้นเป็น 2.84 นอกจากนี้ใน Model 8 ซึ่งมีตัวแปรเพียงตัวเดียว คือ ค่า Density พบว่า ผลการทำนายไม่ดี ให้ค่า RPD=1.40 เท่านั้น แต่จาก William and Sobering (1993) การแนะนำว่า model ที่ใช้ทำนายค่าที่ดี ควรมีค่า RPD มากกว่า 3.00 ดังนั้น การทำนายค่า MMI ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ ควรใช้ค่า Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตร ใน Model 3 แต่เนื่องจากต้องใช้ตัวแปร ถึง 31 ตัวแปร เช่นเดียวกับการทำนายค่า MMI_W ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว การที่ต้องใช้ตัวแปรถึง 31 ตัวแปร ทำให้การตรวจวัดและการประมวลผลมีความสลับซับซ้อนมากขึ้น

ตารางที่ 38 แสดงค่าทางสถิติจากการทำนายค่า MMI ของผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ โดยใช้คุณสมบัติที่หาได้แบบไม่ทำลาย

Model**	No. of predictors	Factors	Calibration (n=390)		Validation (n=130)			RPD*
			R ²	SEC	R ²	SEP	Bias	
1	36	4	0.90	0.73	0.89	0.74	0.008	3.03
2	34	4	0.89	0.77	0.90	0.72	0.004	3.12
3	31	6	0.88	0.79	0.90	0.70	-0.026	3.18
4	6	2	0.88	0.80	0.88	0.77	-0.001	2.92
5	5	2	0.86	0.85	0.86	0.83	0.024	2.70
6	3	2	0.85	0.90	0.87	0.80	0.025	2.80
7	3	1	0.86	0.87	0.88	0.79	-0.006	2.84
8	1	1	0.47	1.68	0.49	1.60	-0.017	1.40

*ค่า Standard deviation of MMI_WR=2.24

** ตัวแปรใน PLSR model ได้แก่

Model1	Density, sphericity, L, a, b, spectrum 400-700 nm
Model 2	L,a,b, spectrum 400-700 nm
Model 3	spectrum 400-700 nm
Model 4	Density, sphericity, L, a, b, log (R680/R550)
Model 5	Density, sphericity, L, a, b,
Model 6	L, a, b
Model 7	a, b, log (R680/R550)
Model 8	Density

จึงทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบค่า SEP ของ Prediction model 2 model ตามวิธีการของ Snedecor and Cochran (1989) โดยการเปรียบเทียบค่าน้อยกว่า $SEP1/(SEP2*L)$ และมากกว่า $(SEP1*L)/SEP2$ ของค่า model ทั้ง 2 โดยการคำนวณค่า L และค่า k จาก

$$L = \sqrt{k + \sqrt{(k^2 - 1)}}$$

และ

$$k = 1 + \frac{2(1 - r^2)t_{(N_p - 2), 0.025}^2}{N_p - 2}$$

โดยที่ ค่า r^2 คือ ค่า Correlation coefficient ของ Prediction error ระหว่าง 2 Model ส่วน N_p คือ Prediction sample ส่วน $t_{(N_p - 2), 0.025}$ คือ ส่วนที่มากกว่า 2.5% percentile ของค่า t ที่ $N_p - 2$ degree of freedom ค่าที่เปรียบเทียบกันนี้ ถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า model ทั้ง 2 ให้ค่าการทำนายที่ไม่แตกต่างกัน (NS sig)

การทำนาย ค่า MMI_R ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงโดยใช้ PLSR model พบว่า Model ที่สามารถทำนายได้ และให้ค่า RPD มากที่สุด คือ Model 2 รองลงมา คือ Model 4, 7, 1, 5, 6, 3, และ 8 มีค่า RPD เท่ากับ 3.50, 3.39, 3.08, 3.04, 2.99, 2.96, 2.29 และ 1.54 ตามลำดับ จึงทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของ Model 2 ซึ่งถือว่าเป็น Model ที่ดีที่สุด กับ Model อื่นๆ พบว่า Model 1, 4, 5, และ 7 ให้ผลการทำนายที่ไม่แตกต่างกับ Model 2 (ตารางที่ 39) แสดงว่าการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงโดยการทำนายค่า MMI_R ทำได้โดยใช้ตัวแปร ที่สามารถตรวจวัดได้แบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง เพียง 3 ตัวแปร คือ ค่าสี a, ค่าสี b และค่า $\log(R680/R550)$ ทำให้การพัฒนาอุปกรณ์คัดคุณภาพของผลแก้วมังกรสามารถทำได้

ตารางที่ 39 การเปรียบเทียบ SEP ของ PLSR model prediction สำหรับแก้วมังกรพันธุ์แดง

Model	RPD	SEP	SEP1/SEP2	SEP1/(SEP2*L)	(SEP1*L)/SEP2	Result
2	3.5	0.65				
1	3.04	0.75	0.868	0.751	1.005	NS Diff.*
3	2.29	1.00	0.653	0.554	0.770	SIG Diff
4	3.39	0.67	0.968	0.821	1.141	NS Diff.
5	2.99	0.77	0.852	0.705	1.030	NS Diff.
6	2.96	0.77	0.844	0.733	0.973	SIG Diff
7	3.08	0.74	0.879	0.763	1.013	NS Diff.
8	1.54	1.48	0.440	0.347	0.558	SIG Diff

*NS Diff หมายถึง การเปรียบเทียบค่า SEP ของ Model 2 กับ Model อื่นๆ ให้ผลการทำนายไม่แตกต่างกัน (ผลการทำนายค่าของแต่ละ Model แสดงให้เห็นในตารางผนวกที่ 3 และตารางผนวกที่ 6-12)

การทำนาย ค่า MMI ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวโดยใช้ PLSR model พบว่า Model ที่สามารถทำนายได้ และให้ค่า RPD มากที่สุด คือ Model 2 รองลงมา คือ Model 1, 3, 6, 7, 4, 5, และ 8 มีค่า RPD เท่ากับ 3.46, 3.40, 3.33, 2.75, 2.69, 2.58, 2.33 และ 1.31 ตามลำดับ จึงทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของ Model 2 ซึ่งถือว่าเป็น Model ที่ดีที่สุด กับ Model อื่นๆ พบว่า Model 1, และ 3 ให้ผลการทำนายที่ไม่แตกต่างกับ Model 2 (ตารางที่ 40) แสดงว่าการคัดคุณภาพของผลแก้วมังกร พันธุ์เนื้อขาวโดยการทำนายค่า MMI_W ทำได้โดยใช้ตัวแปรที่เป็นค่าการสะท้อนแสง Visible spectrum ช่วง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งง่ายกว่าการใช้ PLSR model ทำนายค่า DAFS และค่า Recovery ซึ่งต้องใช้ Predictors ถึง 36 ตัวแปร (ตารางที่ 30) ทำให้การพัฒนาอุปกรณ์คัดคุณภาพของผลแก้วมังกรสามารถทำได้

ตารางที่ 40 การเปรียบเทียบ SEP ของ PLSR model prediction สำหรับแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

Model	RPD	SEP	SEP1/SEP2	SEP1/(SEP2*L)	(SEP1*L)/SEP2	Result
2	3.46	0.67				
1	3.40	0.68	0.984	0.837	1.156	NS Diff.*
3	3.33	0.70	0.963	0.816	1.137	NS Diff.
4	2.58	0.90	0.746	0.607	0.919	SIG Diff
5	2.33	1.00	0.672	0.540	0.836	SIG Diff
6	2.75	0.84	0.796	0.658	0.962	SIG Diff
7	2.69	0.86	0.778	0.655	0.925	SIG Diff
8	1.31	1.77	0.378	0.295	0.483	SIG Diff

*NS Diff หมายถึง การเปรียบเทียบค่า SEP ของ Model 3 กับ Model อื่นๆ ให้ผลการทำนายไม่แตกต่างกัน (ผลการทำนายค่าของแต่ละ Model แสดงให้เห็นในตารางผนวกที่ 4 และตารางผนวกที่ 13-19)

การทำนาย ค่า MMI_WR ของแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์ โดยใช้ PLSR model พบว่า Model ที่สามารถทำนายได้ และให้ค่า RPD มากที่สุด คือ Model 3 รองลงมา คือ Model 2, 1, 4, 7, 6, 5 และ 8 มีค่า RPD เท่ากับ 3.18, 3.12, 3.03, 2.92, 2.84, 2.80, 2.74, และ 1.40 ตามลำดับ จึงทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของ Model 3 ซึ่งถือว่าเป็น Model ที่ดีที่สุดกับ Model อื่นๆ พบว่า ทุก Model ให้ผลการทำนายที่ไม่แตกต่างกับ Model 3 ยกเว้น Model 8 (ตารางที่ 41) แสดงว่า การคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์ โดยการทำนายค่า MMI_WR ทำได้โดยใช้ตัวแปร ที่สามารถตรวจวัดได้แบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง เพียง 3 ตัวแปร คือ ค่าสี L, a และ b หรือ ค่าสี a, ค่าสี b และค่า Log (R680/R550) ทำให้การพัฒนาอุปกรณ์คัดคุณภาพของผลแก้วมังกรสามารถทำได้

ตารางที่ 41 การเปรียบเทียบ SEP ของ PLSR model prediction สำหรับแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์

Model	RPD	SEP	SEP1/SEP2	SEP1/(SEP2*L)	(SEP1*L)/SEP2	Result
3	3.12	0.704				
1	3.03	0.740	0.952	0.839	1.080	NS Diff.
2	3.12	0.718	0.980	0.874	1.099	NS Diff.
4	2.92	0.767	0.917	0.787	1.069	NS Diff.
5	2.70	0.830	0.849	0.720	1.000	NS Diff.
6	2.80	0.805	0.875	0.748	1.024	NS Diff.
7	2.84	0.790	0.891	0.770	1.032	NS Diff.
8	1.40	1.600	0.440	0.371	0.522	SIG Diff

*NS Diff หมายถึง การเปรียบเทียบค่า SEP ของ Model 3 กับ Model อื่นๆ ให้ผลการทำนายไม่แตกต่างกัน (ผลการทำนายค่าของแต่ละ Model แสดงให้เห็นในตารางผนวกที่ 5 และตารางผนวกที่ 20-26)

สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล แสง และสรีระวิทยาของแก้วมังกรที่สัมพันธ์กับการคัดคุณภาพ ได้ทำการศึกษากับแก้วมังกร 2 พันธุ์ คือพันธุ์เนื้อขาว (*Hylocereus undatus*) และพันธุ์เนื้อแดง (*Hylocereus polyrhizus*) ได้ข้อสรุป ดังนี้ คือ

1. แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวมีขนาดผลใหญ่กว่าพันธุ์เนื้อแดง โดยขนาดจะเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน รูปร่างผลเป็นวงรี (Oblong) มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง เท่ากับ 1.63-1.43 และ 1.34-1.11 และมีค่า % Sphericity เท่ากับ 61.28-70.05 และ 74.77-89.99 ในพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดง ตามลำดับ
2. แก้วมังกรช่วงที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Maturity stage) ที่อายุ 28-30 วันหลังดอกบาน จะมีความหนาแน่นประมาณ 1.04-1.06 กรัมต่อมิลลิกรัม และมีส่วนของเนื้อที่รับประทานได้ 63.8 และ 55.0 % ในพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดง ตามลำดับ
3. ค่าความแน่นเนื้อของผลแก้วมังกรที่มีเปลือก (Fruit firmness) และที่ไม่มีเปลือก (Flesh firmness) จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อผลสุกแก่ ค่าความแน่นเนื้อในช่วงที่เจริญเติบโตเต็มที่ และเหมาะสมที่จะเก็บเกี่ยวอยู่ที่ ประมาณ 6 N/mm และ ประมาณ 1.8 N/mm สำหรับ Fruit firmness และ Flesh firmness ในแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์
4. ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ในแก้วมังกรมีค่าเพิ่มขึ้นตามวันหลังดอกบาน และจะคงที่เมื่อผลเจริญเติบโตเต็มที่ โดยแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวจะมีค่า TSS มากกว่าพันธุ์เนื้อแดง ช่วงที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวจะมีค่า TSS มากกว่า 16 และ 13°Brix ในพันธุ์เนื้อขาวและเนื้อแดง ตามลำดับ
5. ค่าปริมาณกรดในน้ำคั้น (%TA) ของผลแก้วมังกรจะมีค่าลดลงตามวันหลังดอกบาน ช่วงที่แก่ (Over mature) จะมีค่าประมาณ 0.3-0.01 % ช่วงที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวผลแก้วมังกรทั้ง 2 พันธุ์จะมีค่า TA ประมาณ 0.5 % และมีค่าอัตราส่วนของ TSS/TA ประมาณ 30-40 °Brix/% ในพันธุ์เนื้อขาว และ 20-40°Brix/% ในพันธุ์เนื้อแดง
6. ค่าการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกร ช่วง Visible spectrum 400-700 นาโนเมตร มีการเปลี่ยนแปลงมากช่วงที่ผลเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดง โดยเฉพาะที่ความยาวคลื่น 550 และ 680 นาโนเมตร และอัตราส่วนการสะท้อนแสงช่วง 680 และ 550 (Reflectance ratio: Log R680/R550) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผลเปลี่ยนสี ช่วงที่ผลแก้วมังกรเจริญเติบโตเต็มที่ (Maturity) สามารถเก็บเกี่ยวได้ ค่า Log(R680/R550) มากกว่า 0

7. ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง Log (R680/550) มีความสัมพันธ์กับการสุกแก่มากที่สุดจากการวิเคราะห์ การแบ่งกลุ่ม โดยใช้ Discriminant Analysis
8. สามารถแบ่งกลุ่มของแก้วมังกรตามความสุกแก่และตามพันธุ์ เป็น 6 กลุ่ม โดยใช้ Discriminant Analysis จากคุณสมบัติของแก้วมังกร ทั้งทางกายภาพ ทางกล ทางแสง และทางสรีระวิทยา ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มได้ถูกต้องถึง 91.4 และ 94.9% ในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดง ตามลำดับ
9. การทำนายคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกลและทางสรีระวิทยาที่การตรวจวัดต้องทำลายตัวอย่าง ได้แก่ ค่า TSS, TA, TSS/TA, Recovery, Fruit firmness และ Flesh firmness รวมทั้งวันหลังดอกบาน โดยใช้คุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง ได้แก่ค่าความหนาแน่น ค่า Sphericity ค่าสี L, a, b, และค่าการสะท้อนแสง ช่วง Visible spectrum 400-700 นาโนเมตร ไม่สามารถทำได้
10. สามารถประเมินคุณภาพของผลแก้วมังกรจากคุณสมบัติที่การตรวจวัดต้องทำลายตัวอย่าง โดยการหาค่า Multivariate Maturity Index (MMI) ด้วย Principal Component Analysis (PCA) ได้
11. สามารถประเมินคุณภาพของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงโดยการทำนายค่า MMI_R จากค่าสี a, b และ log (R680/R550)
12. สามารถประเมินคุณภาพของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวโดยการทำนายค่า MMI_W จากค่าการสะท้อนแสงช่วง Visible spectrum 400-700 นาโนเมตร
13. สามารถประเมินคุณภาพของแก้วมังกรรวมทั้ง 2 พันธุ์ โดยใช้คุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง ของแก้วมังกร 3 คุณสมบัติ คือ ค่าสี a, b และ Log (R680/R550) ในการทำนายค่า MMI ได้โดยมีค่า Correlation coefficient, SEP และ Bias เท่ากับ 0.88, 0.77 และ -0.007 ตามลำดับ และมีค่า RPD = 2.91 โดยการทำนายให้ผลไม่แตกต่างจากการทำนายด้วย ค่าสี L a b และค่าการสะท้อนแสง ช่วง Visible spectrum 400-700 นาโนเมตร
14. สามารถตรวจวัดความสุกแก่ของผลแก้วมังกรแบบไม่ทำลายตัวอย่างได้ จาก ค่าสี a, b และ log (R680/R550) ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเครื่องมือคัดคุณภาพของผลแก้วมังกรได้

ข้อเสนอแนะ

1. ผลแก้วมังกรที่ใช้ในการศึกษามาจากสวน ในจังหวัดชลบุรี ซึ่งคุณสมบัติบางอย่าง เช่น ค่า TSS แตกต่างจากที่มีผู้ศึกษาไว้ ดังนั้น น่าจะมีการศึกษาคุณสมบัติของแก้วมังกร ในแหล่งปลูกที่ต่างกัน เพื่อวางแผนการผลิตแก้วมังกรคุณภาพดี เพื่อการส่งออก
2. จากความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และสรีรวิทยาของผลแก้วมังกรกับ คุณสมบัติการสะท้อนแสงที่ได้ น่าจะนำไปสู่การพัฒนาอุปกรณ์คัดคุณภาพของผลแก้วมังกรได้
3. ผลแก้วมังกรที่เก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายภายในประเทศ ชาวสวนมักจะเก็บเกี่ยวที่ 30-33 วัน หลังดอกบาน ซึ่งทำให้ผลสุกแก่เต็มที่มีเปลือกบางลงอายุการวางจำหน่ายจะสั้น จากการศึกษาพบว่า ผลแก้วมังกรสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ 28-30 วันหลังดอกบาน ซึ่งจะทำให้อายุการวางจำหน่ายเพิ่มขึ้นและสามารถส่งออกไปขายต่างประเทศได้ด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กาญจนา สุทธิกุล. 2548. เทคโนโลยีเรื่องแก้วมังกรผลไม้ที่ยังได้เรื่องได้ราวอยู่. *เคหการเกษตร* 29 (1):73-83.

จิ่งแท่ ศิริพานิช. 2538. *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.

ใจทิพย์ วานิชชัง และบัณฑิต จริโมภาส. 2551. สมบัติความแน่นเนื้อและการสะท้อนแสงของผลแก้วมังกร. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9* จัดโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วันที่ 31 มกราคม-1 กุมภาพันธ์ 2551 โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง, เชียงใหม่.

นฤมล มานีพพาน. 2537. *แก้วมังกร*. สำนักพิมพ์เพชรกระรัต, กรุงเทพฯ.

ดลหทัย ราชนุเคราะห์. 2545. *เครื่องคัดขนาดผลฝรั่ง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัณฑิต จริโมภาส. 2549. *เครื่องจักรกลคัดแยกหลังการเก็บเกี่ยว บรจุภัณฑ์ และเรือนบรรจุผลไม้*. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี้พับลิชชิง, กรุงเทพฯ.

บัณฑิต จริโมภาส, พิมพ์พรรณ ปรี่องาม, รุ่งฤดี พรสกุลเลิศชัย และวิเชฐ ศรีชลเพชร. 2549. การศึกษาเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ขายส่งเงาะสด ภายใต้สภาวะสั้นสะท้อนจำลอง. *การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 7 เรื่อง งานวิจัยเพื่อเพิ่มศักยภาพสินค้าเกษตรในตลาดโลก* จัดโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ร่วมกับสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระหว่าง วันที่ 23-24 มกราคม 2549.

ปริญญา เชื้อชูชาติ. 2548 อิทธิพลของการพรางแสงที่มีต่อการออกดอกของแก้วมังกรและการผลิต
แก้วมังกรนอกฤดู. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปริญญา เชื้อชูชาติ และ นลองชัย แบบประเสริฐ. 2548. ศึกษาการเจริญเติบโต และพัฒนาการของ
ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงและเปลือกแดง. บทความวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรพงษ์ โกสิยจินดา. 2541. แก้วมังกร. กสิกร 71(5).

สยาม คุ่มแสงทอง. 2546. การปรับปรุงเครื่องัดขนาดผลมังคุดแบบจานหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญา
โท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาทิตย์ พวงสมบัติ. 2549. การตรวจสอบคุณภาพภายในผลแก้วมังกรด้วยเทคนิค **Near Infrared Spectroscopy**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abbott, J.A. 1999. Quality measurement of fruit and vegetable. **Postharvest Biology and Technology** 15: 207-225.

American Society of Agricultural Engineers. 1998. Compression test of food materials of convex
shape. ASAE S368.3 Mar 95, St. Joseph, East Lansing, MI, USA.

Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. **Journal of Food Engineering** 61(3):471-475.

Bulley, N. R. 1973. Electronic color sorting of strawberries. **Canadian Agricultural Engineering** 15(2): 103-106.

Calabria, M., Dal Fabbro, I.M., and Vieira, M.A.P. 2002. Citrus mechanical properties decay
under cooled storage. **EurAgEng**. Budapest. Paper Number 02-PH-054.

Chen, P. 1996. Quality evaluation technology for agricultural products. **Proceedings International Conference Agricultural Machinery Engineering** 1: 171-204.

Crisos, C.H. 2007. **Establishings a Quality Control System. Pomology Department, UC Davis, California.** Available Source: <http://www.uckae.edu/postharv/> Feb20, 2007.

Hoa, T.T., Clark, C.J., Waddell, B.C. and Woolf, A.B. 2006. Postharvest quality of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) following disinfection hot air treatments. **Postharvest Biology and Technology** 41:899-909.

Humphreys, S. 2005. **Quality key to E.U. fruit export.** Available Source: <http://www.ILOVEPITAYA.com>. June10, 2005.

Jarimopas, B., P. Pushpariksha, S.P. Singh and J. Singh. 2008. Mechanical and light properties of mangosteen fruit as related to postharvest quality. **Journal of Testing and Evaluation** 36(2):1-7.

Jarimopas, B. and U. Kittawee. 2007. Firmness properties of mango. **International Journal of Food Property** 10(4): 899-909.

Jha, S.N., Sangeeta Chopra and A.R. P. Kingsly. 2005. Determination of sweetness of intact mango using visual spectral analysis. **Biosystem Engineering** 91(2): 157-161.

Jha, S. N., Sangeeta Chopra and A.R. P. Kingsly. 2006. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. **Journal of Food Engineering** 72: 73-76.

Jha, S. N., Sangeeta Chopra and A.R. P. Kingsly. 2007. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. **Journal of Food Engineering** 78: 22-26.

Kader, A.A. 1999. Fruit maturity, ripening and quality relationships. Proc. Int. Symp. On Pre- and Post Harvest Factors on Storage of Fruit. Ed. L. Michalczuk.

- Kato, K. 1997. Electrical density sorting and estimation of soluble solid content of watermelon. **Journal of Agricultural Engineering Research** 67(2):161-170.
- Ketsa, S. and T. Daengkanit. 1999. Firmness and activities of poly galacturonase, pectinase, β -galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stage of maturity. **Scientia Horticulture** 80: 181-188.
- Kramer, A. and H.R. Smith, 1947. Electrophotometric methods for measuring ripeness and color of canned peaches and apricots. **Food Tech** 1:527-539.
- Long, J.F. and B.K. Webb. 1973. Correlation of reflectance ratio of maturity for whole peaches. **Trans. ASAE** 16: 922-925.
- Luders, L. and G. McMahon. 2004. The Pitaya or Dragon Fruit. **Agnote** 778 no.D42 Agdex no. 238/10.
- McMahon, G. 2003. Pitaya (Dragon Fruit) **Fact Sheet** FF12. Northern Territory Government.
- Merten, S. 2003. A Review of Hylocereus Production in the United States. **J.PACD**:98-105.
- Merzlyak, M.N., A.E. Solovchenko and A.A. Gitelson. 2003. Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. **Post harvest Biology and Technology** 27:197-211.
- Mohsenin, N.N. 1984. **Electromagnetic Radiation Properties of Food and Agricultural Products**. Gordon and Breach Publishes. New York.
- Mohsenin, N.N., 1986. **Physical Properties of Plant and Animal Material**. Gordon and Breach Publishes. New York.

- Nerd, A., F. Gutman and Y. Mizrahi. 1999. Ripening and postharvest behavior of fruit of two *Hylocereus* species (Cactaceae) **Postharvest Biology and Technology** 17: 39-45.
- Norris, K.H. 1958. Measuring light transmittance properties of agricultural commodities. **Agr.Engr.** 39(10):640-643.
- Palmer, J. 1961. Electronic sorting of potatoes and clods by their reflectance . **J. of Agric. Engng.Res** 6(2): 104.
- Paull, R.E. 2006. **Dragon fruit**. Available source: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb> June 10, 2006
- Peleg, K. 1985. **Produce Handling Packaging and Distribution**. AVI Pub. Co. Connecticut.
- Powers, J.B., J.T. Gunn and F.C. Jacob. 1953. Electronic sorting of fruits and vegetables. **Agricultural Engineering** 34(3): 149-154.
- Rood, P. 1957. Development and evaluation of objective maturity indices for California freestone peach. **Oroc. Am. Soc. Hort. Sci** 70: 104-118.
- Singh, K.K. and B.S. Reddy. 2006. Post-harvest physio-mechanical properties of orange peel and fruit. **Journal of Food Engineering** 73(2): 112-120.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. 1989. **In Statistical Methods**. 8th ed. Iowa State University Press.
- Sousa, L., R. Almeida, P.B. Rodrigues and C.M. Oliverira. 2003. A small contribution to the mechanical assessment of fruit texture. **Rheo.pt** 3:1-6
- Tandon, D.K., S.K. Kalra and B. P.Singh. 1988. Ripening pattern of specific gravity graded Dashehari mangoes. **India Journal of Horticulture** 45(3): 219.

To, L.V., N. Ngu, N.D.Duc and H.T.T. Huong. 2002. Dragon fruit quality and storage life: effect of harvesting time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packing.

Acta Horti 575:611-621.

Wanitchang, J. and B. Jarimopas. 2007. Some physical, physiological properties of dragon fruit.

Proceedings International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology. Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand 21-24 January 2007.

William, P.C. and D.C. Sobering. 1993 Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instrument for analysis of whole grains and seeds. **Journal of Near Infrared Spectroscopy** 1, 25-32.

Yong He, Yun Zhang, Annia G. Pereira, Antihus H. Gomez, and Jun Wang. 2005. Nondestructive Determination of tomato fruit quality characteristics using Vis/NIR spectroscopy technique. **International Journal of Information Technology** 11(11): 97-108.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่า TSS ปริมาณ NaOH และค่า %TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว

No	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Ave	1	2	3	Av	
DW23	7.8	7.9	8.1	7.7	7.88	17.6	17.3	17.7	17.53	1.87
DW23	7.6	7.6	7.7	7.7	7.65	16.5	16.6	16.7	16.60	1.77
DW23	7.6	9.1	9.1	8.8	8.65	16.6	16.0	16.9	16.50	1.76
DW23	7.9	8.0	7.8	8.3	8.00	16.0	16.3	16.3	16.20	1.73
DW23	8.4	9.0	9.1	9.6	9.03	17.8	17.9	17.8	17.83	1.90
DW23	8.1	8.8	8.8	8.5	8.55	17.7	17.6	17.7	17.67	1.88
DW23	7.0	7.2	7.4	7.6	7.30	13.9	13.6	13.7	13.73	1.46
DW23	8.5	9.1	8.6	8.4	8.65	18.0	18.2	18.1	18.10	1.93
DW23	7.6	7.3	7.1	7.1	7.28	12.6	12.8	12.5	12.63	1.35
DW23	7.4	8.4	8.3	7.9	8.00	16.9	16.7	16.6	16.73	1.78
DW23	6.3	6.7	6.6	7.0	6.65	13.5	13.2	13.5	13.40	1.43
DW23	6.7	7.2	7.1	7.4	7.10	11.9	16.5	12.1	13.50	1.44
DW23	7.4	7.5	7.8	8.2	7.73	15.5	15.6	15.8	15.63	1.67
DW23	8.3	8.4	8.4	8.1	8.30	18.6	18.7	18.7	18.67	1.99
DW23	7.1	7.4	7.3	6.7	7.13	16.2	16.3	16.3	16.27	1.74
DW23	6.7	7.1	7.4	7.0	7.05	14.6	14.8	14.5	14.63	1.56
DW23	6.8	6.8	6.8	6.5	6.73	13.0	12.8	12.6	12.80	1.37
DW23	7.9	7.7	7.8	7.3	7.68	15.5	15.6	15.6	15.57	1.66
DW23	8.6	9.2	9.4	9.0	9.05	18.3	17.7	17.4	17.80	1.90
DW23	8.0	8.7	8.6	8.8	8.53	17.3	17.3	17.2	17.27	1.84
DW24	11.0	10.6	10.1	10.1	10.45	21.8	19.1	24.6	21.83	2.33
DW24	10.4	10.3	10.6	9.2	10.13	18.2	18.4	18.4	18.33	1.96
DW24	10.7	11.1	11.0	10.5	10.83	18.1	19.2	17.6	18.30	1.95
DW24	8.0	8.1	8.2	8.2	8.13	12.8	12.8	12.7	12.77	1.36
DW24	11.6	11.6	11.2	10.6	11.25	18.9	18.9	25.3	21.03	2.24
DW24	8.3	8.4	8.3	7.1	8.03	13.5	13.5	13.5	13.50	1.44
DW24	8.9	9.1	9.5	10.1	9.40	17.4	17.3	17.6	17.43	1.86
DW24	8.7	9.0	9.4	9.2	9.08	14.8	17.7	16.8	16.43	1.75

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DW24	11.0	10.1	10.4	9.5	10.25	16.8	16.9	17.0	16.90	1.80
DW24	9.1	10.3	10.0	10.6	10.00	16.1	16.4	16.1	16.20	1.73
DW24	9.2	8.9	9.5	9.6	9.30	16.5	16.6	16.3	16.47	1.76
DW24	10.3	10.7	11.4	11.4	10.95	16.0	16.0	15.9	15.97	1.70
DW24	10.7	11.1	11.0	9.8	10.65	15.7	15.6	15.8	15.70	1.67
DW24	10.1	10.8	11.5	11.0	10.85	18.9	19.1	19.0	19.00	2.03
DW24	12.0	12.6	12.7	10.6	11.98	16.8	16.4	16.8	16.67	1.78
DW24	9.6	10.2	10.4	10.2	10.10	16.2	16.3	16.2	16.23	1.73
DW24	8.5	8.1	8.8	8.6	8.50	15.2	15.3	15.3	15.27	1.63
DW24	8.8	9.7	9.5	9.1	9.28	16.0	16.1	16.0	16.03	1.71
DW24	8.0	8.2	8.9	8.7	8.45	13.4	12.9	13.0	13.10	1.40
DW24	7.7	7.5	7.4	9.0	7.90	9.8	10.0	10.0	9.93	1.06
DW25	11.1	12.5	13.1	13.0	12.43	18.0	17.9	18.0	17.97	1.92
DW25	11.6	12.9	12.8	10.8	12.03	17.6	17.6	17.5	17.57	1.87
DW25	11.6	13.2	13.3	12.0	12.53	16.6	16.5	16.6	16.57	1.77
DW25	12.5	14.3	13.9	12.2	13.23	16.5	16.6	16.6	16.57	1.77
DW25	11.8	11.4	11.0	10.3	11.13	18.8	18.7	18.2	18.57	1.98
DW25	12.2	14.4	14.3	12.7	13.40	14.4	14.5	14.5	14.47	1.54
DW25	10.2	11.2	11.8	10.1	10.83	19.0	19.0	18.9	18.97	2.02
DW25	11.6	12.6	12.9	11.0	12.03	19.9	19.9	19.9	19.90	2.12
DW25	13.1	15.8	14.5	13.4	14.20	14.5	14.9	14.6	14.67	1.56
DW25	12.1	13.7	14.3	11.4	12.88	14.5	14.5	14.5	14.50	1.55
DW25	13.0	14.8	14.4	12.3	13.63	16.7	16.5	16.8	16.67	1.78
DW25	8.4	8.9	9.0	8.3	8.65	16.6	16.2	16.9	16.57	1.77
DW25	12.5	14.3	14.1	13.0	13.48	16.4	16.5	16.5	16.47	1.76
DW25	9.4	10.6	10.7	10.2	10.23	17.6	17.6	17.8	17.67	1.88
DW25	9.7	11.5	12.9	11.3	11.35	19.4	19.2	19.2	19.27	2.06
DW25	11.1	11.6	11.9	11.5	11.53	18.3	18.3	18.1	18.23	1.94
DW25	12.1	11.4	10.6	10.0	11.03	17.5	17.0	17.0	17.17	1.83

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DW25	11.0	11.7	12.6	11.8	11.78	19.9	20.0	19.9	19.93	2.13
DW25	12.7	14.0	13.2	13.2	13.28	16.4	16.4	16.4	16.40	1.75
DW25	8.9	9.8	10.1	9.7	9.63	15.1	15.7	15.2	15.33	1.64
DW26	10.7	13.8	13.5	11.8	12.45	8.7	8.5	8.8	8.67	0.92
DW26	10.2	15.0	15.2	12.0	13.10	7.2	7.0	7.2	7.13	0.76
DW26	13.4	16.1	15.9	11.8	14.30	8.7	8.7	8.8	8.73	0.93
DW26	14.1	15.2	17.6	14.3	15.30	8.3	8.0	8.3	8.20	0.87
DW26	13.9	16.3	18.3	13.6	15.53	5.9	6.0	6.1	6.00	0.64
DW26	10.6	13.3	13.6	12.7	12.56	9.0	8.9	8.8	8.90	0.95
DW26	10.3	13.9	13.7	12.0	12.48	9.3	9.5	9.4	9.40	1.00
DW26	11.7	16.6	16.4	14.6	14.83	10.6	10.5	10.6	10.57	1.13
DW26	13.6	16.1	15.8	13.0	14.63	9.2	9.3	9.3	9.27	0.99
DW26	10.6	14.8	15.1	14.7	13.80	9.2	9.3	9.2	9.23	0.98
DW26	13.7	15.1	16.2	13.3	14.58	8.4	8.5	8.4	8.43	0.90
DW26	11.5	15.3	15.1	18.2	15.03	9.5	9.7	9.6	9.60	1.02
DW26	10.6	12.5	13.3	10.1	11.63	10.0	9.9	10.1	10.00	1.07
DW26	13.7	15.0	15.9	13.5	14.53	9.8	9.9	10.0	9.90	1.06
DW26	10.9	14.9	14.2	11.3	12.83	9.4	9.4	9.4	9.40	1.00
DW26	11.9	12.2	12.9	10.4	11.85	11.5	11.4	11.4	11.43	1.22
DW26	13.8	13.6	13.5	12.0	13.23	12.8	12.7	12.6	12.70	1.35
DW26	13.7	14.6	14.4	11.6	13.58	10.4	10.2	10.4	10.33	1.10
DW26	13.0	14.6	13.9	11.1	13.15	10.8	10.7	10.7	10.73	1.14
DW26	10.3	14.4	14.7	10.7	12.53	10.0	10.1	9.8	9.97	1.06
DW27	15.9	16.5	17.5	15.6	16.38	5.0	5.1	5.0	5.03	0.54
DW27	13.0	17.3	17.0	13.2	15.13	6.1	6.3	6.1	6.17	0.66
DW27	11.9	16.9	16.1	11.3	14.05	6.4	6.3	6.4	6.37	0.68
DW27	12.9	16.2	17.2	12.4	14.68	7.9	7.8	7.8	7.83	0.84
DW27	15.0	17.6	16.7	13.6	15.73	6.5	6.6	6.5	6.53	0.70
DW27	14.7	16.7	16.8	13.2	15.35	8.3	8.2	8.4	8.30	0.89

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DW27	14.5	17.0	17.3	12.6	15.35	6.0	6.1	6.1	6.07	0.65
DW27	14.0	16.7	16.6	11.8	14.78	6.7	6.8	7.1	6.87	0.73
DW27	13.2	15.4	16.0	13.9	14.63	7.4	7.3	7.5	7.40	0.79
DW27	13.4	15.9	15.8	13.6	14.68	7.0	7.2	7.3	7.17	0.76
DW27	15.9	16.5	17.5	15.6	16.38	5.0	5.1	5.0	5.03	0.54
DW27	13.0	17.3	17.0	13.2	15.13	6.1	6.3	6.1	6.17	0.66
DW27	11.9	16.9	16.1	11.3	14.05	6.4	6.3	6.4	6.37	0.68
DW27	12.9	16.2	17.2	12.4	14.68	7.9	7.8	7.8	7.83	0.84
DW27	15.0	17.6	16.7	13.6	15.73	6.5	6.6	6.5	6.53	0.70
DW27	14.7	16.7	16.8	13.2	15.35	8.3	8.2	8.4	8.30	0.89
DW27	14.5	17.0	17.3	12.6	15.35	6.0	6.1	6.1	6.07	0.65
DW27	14.0	16.7	16.6	11.8	14.78	6.7	6.8	7.1	6.87	0.73
DW27	13.2	15.4	16.0	13.9	14.63	7.4	7.3	7.5	7.40	0.79
DW27	13.4	15.9	15.8	13.6	14.68	7.0	7.2	7.3	7.17	0.76
DW28	13.9	18.6	19.1	16.2	16.95	4.5	4.6	4.5	4.53	0.48
DW28	12.4	17.3	18.5	14.5	15.68	5.2	5.1	5.2	5.17	0.55
DW28	13.7	18.4	18.5	13.0	15.90	4.3	4.3	4.4	4.33	0.46
DW28	13.6	17.1	17.0	12.2	14.98	4.5	4.5	4.4	4.47	0.48
DW28	12.6	17.9	17.5	15.9	15.98	5.0	5.1	5.1	5.07	0.54
DW28	13.4	18.0	17.9	15.4	16.18	4.8	4.8	4.9	4.83	0.52
DW28	14.6	18.5	19.0	14.7	16.70	4.4	4.1	4.1	4.20	0.45
DW28	13.2	17.1	18.0	14.5	15.70	6.6	6.6	6.7	6.63	0.71
DW28	14.6	18.1	18.6	15.5	16.70	5.0	4.9	4.9	4.93	0.53
DW28	16.1	17.2	17.6	12.9	15.95	5.1	5.1	5.2	5.13	0.55
DW28	13.9	18.6	19.1	16.2	16.95	4.5	4.6	4.5	4.53	0.48
DW28	12.4	17.3	18.5	14.5	15.68	5.2	5.1	5.2	5.17	0.55
DW28	13.7	18.4	18.5	13.0	15.90	4.3	4.3	4.4	4.33	0.46
DW28	13.6	17.1	17.0	12.2	14.98	4.5	4.5	4.4	4.47	0.48
DW28	12.6	17.9	17.5	15.9	15.98	5.0	5.1	5.1	5.07	0.54

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DW28	13.4	18.0	17.9	15.4	16.18	4.8	4.8	4.9	4.83	0.52
DW28	14.6	18.5	19.0	14.7	16.70	4.4	4.1	4.1	4.20	0.45
DW28	13.2	17.1	18.0	14.5	15.70	6.6	6.6	6.7	6.63	0.71
DW28	14.6	18.1	18.6	15.5	16.70	5.0	4.9	4.9	4.93	0.53
DW28	16.1	17.2	17.6	12.9	15.95	5.1	5.1	5.2	5.13	0.55
DW29	13.1	17.3	17.9	12.4	15.18	4.2	4.3	4.1	4.20	0.45
DW29	14.9	19.6	19.6	14.1	17.05	3.0	3.0	3.1	3.03	0.32
DW29	13.6	16.8	16.7	14.4	15.38	5.4	5.5	5.6	5.50	0.59
DW29	13.2	19.2	19.3	14.3	16.50	3.5	3.5	3.6	3.53	0.38
DW29	13.4	17.7	17.4	14.0	15.63	4.0	3.9	4.1	4.00	0.43
DW29	16.2	20.0	19.4	15.5	17.78	4.1	4.0	4.2	4.10	0.44
DW29	15.5	18.9	19.9	14.9	17.30	4.0	4.1	4.0	4.03	0.43
DW29	14.2	18.9	19.5	16.5	17.28	4.5	4.4	4.6	4.50	0.48
DW29	14.3	19.1	19.3	14.3	16.75	3.5	3.4	3.4	3.43	0.37
DW29	15.6	19.7	18.7	15.6	17.40	4.6	4.7	4.7	4.67	0.50
DW29	13.1	17.3	17.9	12.4	15.18	4.2	4.3	4.1	4.20	0.45
DW29	14.9	19.6	19.6	14.1	17.05	3.0	3.0	3.1	3.03	0.32
DW29	13.6	16.8	16.7	14.4	15.38	5.4	5.5	5.6	5.50	0.59
DW29	13.2	19.2	19.3	14.3	16.50	3.5	3.5	3.6	3.53	0.38
DW29	13.4	17.7	17.4	14.0	15.63	4.0	3.9	4.1	4.00	0.43
DW29	16.2	20.0	19.4	15.5	17.78	4.1	4.0	4.2	4.10	0.44
DW29	15.5	18.9	19.9	14.9	17.30	4.0	4.1	4.0	4.03	0.43
DW29	14.2	18.9	19.5	16.5	17.28	4.5	4.4	4.6	4.50	0.48
DW29	14.3	19.1	19.3	14.3	16.75	3.5	3.4	3.4	3.43	0.37
DW29	15.6	19.7	18.7	15.6	17.40	4.6	4.7	4.7	4.67	0.50
DW30	14.4	19.9	20.1	14.3	17.18	2.6	2.7	2.8	2.70	0.29
DW30	18.3	20.0	18.9	14.9	18.03	3.8	3.7	3.7	3.73	0.40
DW30	14.6	18.9	18.0	14.7	16.55	4.4	4.3	4.3	4.33	0.46
DW30	14.5	20.0	20.5	14.0	17.25	3.1	3.2	3.0	3.10	0.33

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DW30	13.6	17.2	17.1	14.1	15.50	4.0	4.1	4.2	4.10	0.44
DW30	14.5	19.0	18.6	14.0	16.53	3.6	3.5	3.5	3.53	0.38
DW30	14.7	19.4	18.4	15.7	17.05	3.5	3.5	3.5	3.50	0.37
DW30	13.0	19.5	19.4	16.2	17.03	3.0	3.0	3.1	3.03	0.32
DW30	14.2	19.4	18.0	12.9	16.13	3.5	3.6	3.5	3.53	0.38
DW30	14.1	18.5	17.9	12.5	15.75	4.0	4.1	4.0	4.03	0.43
DW30	14.4	19.9	20.1	14.3	17.18	2.6	2.7	2.8	2.70	0.29
DW30	18.3	20.0	18.9	14.9	18.03	3.8	3.7	3.7	3.73	0.40
DW30	14.6	18.9	18.0	14.7	16.55	4.4	4.3	4.3	4.33	0.46
DW30	14.5	20.0	20.5	14.0	17.25	3.1	3.2	3.0	3.10	0.33
DW30	13.6	17.2	17.1	14.1	15.50	4.0	4.1	4.2	4.10	0.44
DW30	14.5	19.0	18.6	14.0	16.53	3.6	3.5	3.5	3.53	0.38
DW30	14.7	19.4	18.4	15.7	17.05	3.5	3.5	3.5	3.50	0.37
DW30	13.0	19.5	19.4	16.2	17.03	3.0	3.0	3.1	3.03	0.32
DW30	14.2	19.4	18.0	12.9	16.13	3.5	3.6	3.5	3.53	0.38
DW30	14.1	18.5	17.9	12.5	15.75	4.0	4.1	4.0	4.03	0.43
DW32	15.1	20.7	20.8	15.2	17.95	2.5	2.5	2.6	2.53	0.27
DW32	15.4	20.6	19.4	15.8	17.80	2.8	2.9	2.8	2.83	0.30
DW32	17.3	20.9	20.7	15.3	18.55	2.8	2.7	2.6	2.70	0.29
DW32	14.7	19.8	19.5	15.6	17.40	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DW32	15.2	20.4	21.1	16.9	18.40	2.4	2.4	2.4	2.40	0.26
DW32	14.1	17.8	18.8	14.3	16.25	3.8	3.8	3.9	3.83	0.41
DW32	13.7	18.3	18.9	14.0	16.23	3.1	3.0	3.1	3.07	0.33
DW32	13.6	18.4	17.7	13.9	15.90	3.5	3.4	3.4	3.43	0.37
DW32	15.0	20.3	20.2	13.7	17.30	2.5	2.5	3.5	2.83	0.30
DW32	14.6	21.2	21.9	13.1	17.70	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DW32	15.1	20.7	20.8	15.2	17.95	2.5	2.5	2.6	2.53	0.27
DW32	15.4	20.6	19.4	15.8	17.80	2.8	2.9	2.8	2.83	0.30
DW32	17.3	20.9	20.7	15.3	18.55	2.8	2.7	2.6	2.70	0.29

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DW32	14.7	19.8	19.5	15.6	17.40	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DW32	15.2	20.4	21.1	16.9	18.40	2.4	2.4	2.4	2.40	0.26
DW32	14.1	17.8	18.8	14.3	16.25	3.8	3.8	3.9	3.83	0.41
DW32	13.7	18.3	18.9	14.0	16.23	3.1	3.0	3.1	3.07	0.33
DW32	13.6	18.4	17.7	13.9	15.90	3.5	3.4	3.4	3.43	0.37
DW32	15.0	20.3	20.2	13.7	17.30	2.5	2.5	3.5	2.83	0.30
DW32	14.6	21.2	21.9	13.1	17.70	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DW34	16.2	19.6	18.6	16.1	17.63	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DW34	13.6	18.7	19.1	14.0	16.35	2.5	2.4	2.5	2.47	0.26
DW34	13.1	18.7	18.6	13.5	15.98	2.7	2.7	2.7	2.70	0.29
DW34	13.7	17.7	17.2	12.4	15.25	2.6	2.6	2.6	2.60	0.28
DW34	14.3	19.0	18.7	12.3	16.08	3.0	3.0	3.0	3.00	0.32
DW34	14.8	19.4	18.5	14.3	16.75	3.1	3.1	3.1	3.10	0.33
DW34	15.0	18.5	17.3	11.6	15.60	2.7	3.7	2.7	3.03	0.32
DW34	14.7	20.4	19.4	14.1	17.15	3.0	2.8	2.9	2.90	0.31
DW34	15.4	20.0	19.7	13.5	17.15	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DW34	12.6	18.5	18.0	13.3	15.60	2.5	2.5	2.5	2.50	0.27
DW34	16.2	19.6	18.6	16.1	17.63	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DW34	13.6	18.7	19.1	14.0	16.35	2.5	2.4	2.5	2.47	0.26
DW34	13.1	18.7	18.6	13.5	15.98	2.7	2.7	2.7	2.70	0.29
DW34	13.7	17.7	17.2	12.4	15.25	2.6	2.6	2.6	2.60	0.28
DW34	14.3	19.0	18.7	12.3	16.08	3.0	3.0	3.0	3.00	0.32
DW34	14.8	19.4	18.5	14.3	16.75	3.1	3.1	3.1	3.10	0.33
DW34	15.0	18.5	17.3	11.6	15.60	2.7	3.7	2.7	3.03	0.32
DW34	14.7	20.4	19.4	14.1	17.15	3.0	2.8	2.9	2.90	0.31
DW34	15.4	20.0	19.7	13.5	17.15	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DW34	12.6	18.5	18.0	13.3	15.60	2.5	2.5	2.5	2.50	0.27
DW36	12.4	18.6	19.0	14.2	16.05	1.7	1.6	1.7	1.67	0.18
DW36	13.2	19.0	20.9	15.5	17.15	2.0	2.1	2.0	2.03	0.22

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DW36	13.8	20.1	20.0	14.7	17.15	2.2	2.3	2.2	2.23	0.24
DW36	14.5	20.2	19.6	13.4	16.93	2.0	1.9	1.8	1.90	0.20
DW36	13.5	18.2	18.5	13.9	16.03	2.0	1.8	1.8	1.87	0.20
DW36	15.3	19.6	20.8	16.0	17.93	2.0	2.0	2.0	2.00	0.21
DW36	13.8	17.9	18.0	12.7	15.60	2.2	2.3	2.2	2.23	0.24
DW36	13.5	18.7	19.0	13.3	16.13	2.2	2.3	2.1	2.20	0.23
DW36	14.3	21.6	19.7	12.9	17.13	2.6	2.7	2.6	2.63	0.28
DW36	16.4	20.6	21.3	16.5	18.70	1.6	1.6	1.6	1.60	0.17
DW36	12.4	18.6	19.0	14.2	16.05	1.7	1.6	1.7	1.67	0.18
DW36	13.2	19.0	20.9	15.5	17.15	2.0	2.1	2.0	2.03	0.22
DW36	13.8	20.1	20.0	14.7	17.15	2.2	2.3	2.2	2.23	0.24
DW36	14.5	20.2	19.6	13.4	16.93	2.0	1.9	1.8	1.90	0.20
DW36	13.5	18.2	18.5	13.9	16.03	2.0	1.8	1.8	1.87	0.20
DW36	15.3	19.6	20.8	16.0	17.93	2.0	2.0	2.0	2.00	0.21
DW36	13.8	17.9	18.0	12.7	15.60	2.2	2.3	2.2	2.23	0.24
DW36	13.5	18.7	19.0	13.3	16.13	2.2	2.3	2.1	2.20	0.23
DW36	14.3	21.6	19.7	12.9	17.13	2.6	2.7	2.6	2.63	0.28
DW36	16.4	20.6	21.3	16.5	18.70	1.6	1.6	1.6	1.60	0.17
DW38	14.3	19.2	20.2	14.9	17.15	1.9	2.1	1.9	1.97	0.21
DW38	13.6	19.3	19.8	15.4	17.03	2.2	2.2	2.3	2.23	0.24
DW38	13.8	19.0	19.8	12.8	16.35	2.0	1.8	1.8	1.87	0.20
DW38	13.8	20.6	19.0	14.6	17.00	2.3	2.2	2.3	2.27	0.24
DW38	15.2	19.6	20.7	14.8	17.58	1.8	1.8	1.8	1.80	0.19
DW38	15.3	19.5	20.5	14.9	17.55	1.9	1.8	1.8	1.83	0.20
DW38	15.4	21.1	19.5	13.0	17.25	1.9	1.9	1.9	1.90	0.20
DW38	15.5	21.6	21.6	14.0	18.18	1.5	1.5	1.5	1.50	0.16
DW38	14.8	18.4	20.3	16.1	17.40	2.2	2.3	2.2	2.23	0.24
DW38	15.1	20.4	20.4	15.4	17.83	1.9	2.0	2.0	1.97	0.21
DW38	14.3	19.2	20.2	14.9	17.15	1.9	2.1	1.9	1.97	0.21

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DW38	13.6	19.3	19.8	15.4	17.03	2.2	2.2	2.3	2.23	0.24
DW38	13.8	19.0	19.8	12.8	16.35	2.0	1.8	1.8	1.87	0.20
DW38	13.8	20.6	19.0	14.6	17.00	2.3	2.2	2.3	2.27	0.24
DW38	15.2	19.6	20.7	14.8	17.58	1.8	1.8	1.8	1.80	0.19
DW38	15.3	19.5	20.5	14.9	17.55	1.9	1.8	1.8	1.83	0.20
DW38	15.4	21.1	19.5	13.0	17.25	1.9	1.9	1.9	1.90	0.20
DW38	15.5	21.6	21.6	14.0	18.18	1.5	1.5	1.5	1.50	0.16
DW38	14.8	18.4	20.3	16.1	17.40	2.2	2.3	2.2	2.23	0.24
DW38	15.1	20.4	20.4	15.4	17.83	1.9	2.0	2.0	1.97	0.21
DW40	13.3	20.3	20.4	15.1	17.28	2.4	2.4	2.3	2.37	0.25
DW40	13.6	19.8	18.4	13.8	16.40	1.8	1.7	1.8	1.77	0.19
DW40	13.3	18.1	19.0	14.1	16.13	2.1	2.2	2.1	2.13	0.23
DW40	15.7	20.2	21.2	13.7	17.70	1.7	1.6	1.6	1.63	0.17
DW40	14.7	19.3	17.5	14.4	16.48	1.7	1.8	1.7	1.73	0.18
DW40	14.6	19.6	19.7	15.3	17.30	1.2	1.2	1.2	1.20	0.13
DW40	14.3	20.5	21.3	13.6	17.43	1.4	1.4	1.4	1.40	0.15
DW40	14.7	20.1	18.7	12.4	16.48	2.5	2.6	2.5	2.53	0.27
DW40	13.5	20.4	20.3	14.2	17.10	2.2	2.2	2.2	2.20	0.23
DW40	14.5	18.5	19.8	14.6	16.85	2.3	2.2	2.3	2.27	0.24
DW40	13.3	20.3	20.4	15.1	17.28	2.4	2.4	2.3	2.37	0.25
DW40	13.6	19.8	18.4	13.8	16.40	1.8	1.7	1.8	1.77	0.19
DW40	13.3	18.1	19.0	14.1	16.13	2.1	2.2	2.1	2.13	0.23
DW40	15.7	20.2	21.2	13.7	17.70	1.7	1.6	1.6	1.63	0.17
DW40	14.7	19.3	17.5	14.4	16.48	1.7	1.8	1.7	1.73	0.18
DW40	14.6	19.6	19.7	15.3	17.30	1.2	1.2	1.2	1.20	0.13
DW40	14.3	20.5	21.3	13.6	17.43	1.4	1.4	1.4	1.40	0.15
DW40	14.7	20.1	18.7	12.4	16.48	2.5	2.6	2.5	2.53	0.27
DW40	13.5	20.4	20.3	14.2	17.10	2.2	2.2	2.2	2.20	0.23
DW40	14.5	18.5	19.8	14.6	16.85	2.3	2.2	2.3	2.27	0.24

ตารางผนวกที่ 2 ค่า TSS ปริมาณ NaOH และค่า %TA ของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง

No	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Ave	1	2	3	AV	
DR23	5.4	5.5	5.2	5.1	5.30	2.6	2.5	2.5	2.53	0.27
DR23	5.5	5.6	5.9	5.8	5.70	1.8	1.9	1.9	1.87	0.20
DR23	5.1	5.2	5.0	5.4	5.18	2.6	2.5	2.5	2.53	0.27
DR23	5.5	5.3	5.4	5.1	5.33	3.5	3.2	3.2	3.30	0.35
DR23	5.7	6.1	6.0	5.9	5.93	3.0	3.1	3.0	3.03	0.32
DR23	4.9	5.0	5.2	5.0	5.03	2.2	2.1	2.1	2.13	0.23
DR23	5.1	5.3	5.5	5.2	5.28	1.9	2.0	2.0	1.97	0.21
DR23	4.1	4.4	4.3	4.0	4.20	2.3	2.2	2.3	2.25	0.24
DR23	5.6	5.5	6.5	6.3	5.98	4.2	3.9	3.9	4.00	0.43
DR23	5.4	5.4	5.2	4.8	5.20	1.8	1.8	1.9	1.83	0.20
DR23	4.9	5.2	5.5	4.8	5.10	3.1	2.6	2.8	2.83	0.30
DR23	6.8	6.9	7.0	6.4	6.78	2.6	2.7	2.7	2.67	0.28
DR23	5.5	6.0	5.7	5.6	5.70	2.1	2.1	2.1	2.10	0.22
DR23	4.9	6.0	5.4	4.5	5.20	5.5	5.6	5.5	5.53	0.59
DR23	9.1	8.2	7.8	7.9	8.25	3.7	3.5	3.4	3.53	0.38
DR23	5.3	6.5	6.7	6.0	6.13	2.6	2.3	2.3	2.40	0.26
DR23	5.7	6.5	6.1	6.2	6.13	2.2	2.3	2.0	2.17	0.23
DR23	6.3	6.6	5.7	6.2	6.20	2.3	2.0	2.0	2.10	0.22
DR23	5.4	6.1	6.2	4.9	5.65	2.2	2.3	2.3	2.27	0.24
DR23	6.8	6.2	6.5	6.6	6.53	1.9	2.0	1.9	1.93	0.21
DR24	5.3	5.8	5.5	5.2	5.45	2.9	2.9	2.9	2.90	0.31
DR24	6.4	6.4	6.4	6.4	6.40	2.8	2.9	2.9	2.87	0.31
DR24	4.9	4.7	5.0	4.8	4.85	2.0	3.1	2.0	2.37	0.25
DR24	5.4	5.4	5.7	4.6	5.28	2.2	2.1	2.2	2.17	0.23
DR24	6.4	5.3	6.1	5.8	5.90	3.5	3.5	3.5	3.50	0.37
DR24	4.9	5.0	5.0	4.9	4.95	3.0	3.1	3.1	3.07	0.33
DR24	5.4	5.9	5.6	6.5	5.85	3.2	3.3	3.3	3.27	0.35
DR24	6.0	5.7	5.3	6.0	5.75	4.4	4.4	4.4	4.40	0.47
DR24	6.4	6.5	6.0	6.1	6.25	3.7	3.6	3.7	3.67	0.39

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DR24	6.2	6.1	6.3	6.4	6.25	5.0	5.0	5.1	5.03	0.54
DR24	5.5	5.1	5.4	5.4	5.35	1.8	1.9	2.0	1.90	0.20
DR24	5.5	5.6	5.8	6.4	5.83	3.9	4.0	4.0	3.97	0.42
DR24	5.8	6.1	6.3	6.1	6.08	4.0	4.0	4.0	4.00	0.43
DR24	5.0	5.3	5.4	5.6	5.33	2.0	2.1	2.0	2.03	0.22
DR24	6.2	6.0	5.9	5.8	5.98	4.0	3.9	4.0	3.97	0.42
DR24	5.2	5.3	5.1	5.2	5.20	2.4	2.4	2.5	2.43	0.26
DR24	5.4	5.6	5.6	5.7	5.58	2.1	2.1	2.1	2.10	0.22
DR24	4.4	4.6	4.5	4.2	4.43	2.1	2.0	2.1	2.07	0.22
DR24	5.7	5.7	6.4	6.4	6.05	4.0	4.2	4.0	4.07	0.43
DR24	5.0	5.9	6.0	6.1	5.75	3.5	3.6	3.5	3.53	0.38
DR25	7.7	7.5	7.6	7.2	7.50	8.5	8.5	8.5	8.50	0.91
DR25	8.0	8.0	7.7	7.1	7.70	8.2	8.2	8.1	8.17	0.87
DR25	7.2	7.3	7.5	7.0	7.25	5.5	5.5	5.5	5.50	0.59
DR25	8.0	8.5	8.2	7.6	8.08	10.5	10.6	10.6	10.57	1.13
DR25	5.5	5.6	5.7	5.6	5.60	2.5	2.4	2.4	2.43	0.26
DR25	7.5	7.3	7.8	7.6	7.55	4.9	5.0	4.8	4.90	0.52
DR25	6.6	6.7	6.6	6.5	6.60	4.2	4.5	4.6	4.43	0.47
DR25	7.2	7.4	7.7	7.7	7.50	3.8	3.9	3.7	3.80	0.41
DR25	7.3	7.3	7.6	7.7	7.48	5.0	5.6	4.9	5.17	0.55
DR25	7.9	7.8	7.8	7.3	7.70	9.8	9.7	9.7	9.73	1.04
DR25	6.2	6.3	6.1	6.2	6.20	2.5	2.6	2.6	2.57	0.27
DR25	7.8	7.9	7.5	8.0	7.80	6.5	6.5	6.5	6.50	0.69
DR25	7.6	7.6	8.3	8.7	8.05	8.0	8.1	8.0	8.03	0.86
DR25	9.6	9.7	9.7	9.0	9.50	7.8	7.8	7.7	7.77	0.83
DR25	6.2	6.3	6.8	6.4	6.43	2.6	2.5	2.5	2.53	0.27
DR25	9.6	10.1	10.0	9.5	9.80	9.5	9.4	9.3	9.40	1.00
DR25	9.2	9.7	9.6	9.3	9.45	10.0	9.9	9.9	9.93	1.06
DR25	6.2	6.7	6.5	8.3	6.93	3.0	2.9	2.9	2.93	0.31

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DR25	6.3	6.4	5.7	5.8	6.05	3.5	3.4	3.4	3.43	0.37
DR25	8.5	8.9	9.2	7.2	8.45	5.0	5.1	5.0	5.03	0.54
DR26	8.3	8.1	7.9	8.0	8.08	8.7	8.5	8.8	8.67	0.92
DR26	10.3	11.5	11.1	10.4	10.83	6.0	6.1	5.9	6.00	0.64
DR26	7.1	7.1	6.9	7.0	7.03	4.4	4.4	4.7	4.50	0.48
DR26	6.4	7.5	8.7	7.6	7.55	6.5	6.8	6.8	6.70	0.71
DR26	6.1	7.2	7.3	7.2	6.95	5.2	5.0	5.0	5.07	0.54
DR26	11.9	12.9	12.4	11.8	12.25	9.5	9.6	9.5	9.53	1.02
DR26	10.3	11.1	11.0	10.0	10.60	8.7	8.9	9.0	8.87	0.95
DR26	10.6	11.2	11.1	10.9	10.95	11.5	11.5	11.6	11.53	1.23
DR26	9.3	10.6	12.5	10.4	10.70	10.8	11.0	11.0	10.93	1.17
DR26	8.9	9.6	9.5	9.3	9.33	10.8	10.8	10.7	10.77	1.15
DR26	8.1	8.4	9.0	7.9	8.35	6.0	6.2	6.0	6.07	0.65
DR26	8.2	8.0	7.9	7.1	7.80	4.1	4.0	4.5	4.20	0.45
DR26	9.4	9.5	10.6	10.0	9.88	9.0	9.2	9.1	9.10	0.97
DR26	9.0	9.1	8.7	8.5	8.83	8.4	8.3	8.3	8.33	0.89
DR26	9.1	8.9	8.3	8.8	8.78	8.4	8.3	8.1	8.27	0.88
DR26	9.0	9.7	9.4	9.4	9.38	10.5	10.9	10.9	10.77	1.15
DR26	11.6	12.0	11.3	11.1	11.50	8.6	8.5	8.5	8.53	0.91
DR26	9.3	9.3	9.5	9.0	9.28	9.0	9.1	9.0	9.03	0.96
DR26	9.0	9.7	9.6	9.4	9.43	10.5	10.7	10.6	10.60	1.13
DR26	11.6	12.2	12.1	11.4	11.83	10.2	10.1	10.0	10.10	1.08
DR27	11.1	12.9	12.3	11.2	11.88	5.5	5.7	5.6	5.60	0.60
DR27	12.8	13.7	12.9	11.8	12.80	10.4	10.5	10.6	10.50	1.12
DR27	13.4	14.7	15.0	13.6	14.18	7.4	7.3	7.5	7.40	0.79
DR27	13.1	14.6	14.0	12.4	13.53	5.4	5.5	5.4	5.43	0.58
DR27	11.6	14.5	15.0	12.6	13.43	8.4	8.5	8.3	8.40	0.90
DR27	10.8	13.5	14.0	10.9	12.30	8.3	8.4	8.4	8.37	0.89
DR27	13.5	15.9	16.3	13.3	14.75	5.3	5.5	5.4	5.40	0.58

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DR27	14.4	17.2	17.0	13.5	15.53	4.3	4.2	4.4	4.30	0.46
DR27	11.1	11.8	12.6	11.2	11.68	4.1	4.1	4.1	4.10	0.44
DR27	10.3	12.9	11.9	11.6	11.68	8.3	8.2	8.3	8.27	0.88
DR28	13.9	14.3	12.2	11.2	12.90	8.3	8.2	8.2	8.23	0.88
DR28	11.3	14.6	15.1	10.7	12.93	4.4	4.5	4.7	4.53	0.48
DR28	9.6	13.4	13.4	12.3	12.18	5.2	5.3	5.4	5.30	0.57
DR28	12.9	14.1	12.0	10.6	12.40	9.2	9.3	9.1	9.20	0.98
DR28	13.4	15.6	13.3	13.2	13.88	5.1	5.0	5.1	5.07	0.54
DR28	11.4	13.3	14.5	13.2	13.10	7.2	7.2	7.1	7.17	0.76
DR28	13.3	15.4	12.1	10.8	12.90	6.7	6.8	6.8	6.77	0.72
DR28	12.4	13.5	12.1	13.4	12.85	8.2	8.1	8.1	8.13	0.87
DR28	14.3	14.0	14.6	13.6	14.13	7.7	7.7	7.8	7.73	0.82
DR28	12.6	16.0	16.2	14.1	14.73	6.8	6.7	6.7	6.73	0.72
DR29	15.1	17.1	17.2	14.5	15.98	4.2	4.2	4.1	4.17	0.44
DR29	14.0	17.5	17.6	13.0	15.53	2.8	2.8	2.8	2.80	0.30
DR29	13.5	15.2	15.1	12.2	14.00	4.2	4.3	4.2	4.23	0.45
DR29	11.1	14.4	14.5	11.2	12.80	4.9	5.0	5.0	4.97	0.53
DR29	13.8	15.9	15.6	13.8	14.78	4.9	4.8	4.9	4.87	0.52
DR29	10.7	13.8	13.9	10.6	12.25	5.4	5.4	5.3	5.37	0.57
DR29	12.5	14.0	14.1	11.6	13.05	5.0	5.0	4.9	4.97	0.53
DR29	14.4	16.7	16.5	13.9	15.38	4.9	5.0	5.0	4.97	0.53
DR29	13.3	17.3	16.6	13.2	15.10	5.0	5.1	5.1	5.07	0.54
DR29	13.2	14.5	14.2	11.0	13.23	5.4	5.3	5.4	5.37	0.57
DR30	12.2	15.1	15.6	13.6	14.13	2.5	2.5	2.5	2.50	0.27
DR30	14.2	16.8	16.5	14.5	15.50	2.4	2.1	2.3	2.27	0.24
DR30	12.9	16.9	16.8	13.6	15.05	6.0	6.0	5.9	5.97	0.64
DR30	14.5	17.8	18.6	15.4	16.58	2.4	2.4	2.4	2.40	0.26
DR30	13.7	16.8	16.7	13.3	15.13	3.3	3.5	3.5	3.43	0.37
DR30	12.9	15.9	16.3	13.4	14.63	2.9	2.8	2.8	2.83	0.30

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DR30	13.9	16.7	17.1	15.1	15.70	2.6	2.5	2.6	2.57	0.27
DR30	12.9	16.0	15.8	13.4	14.53	2.3	2.4	2.4	2.37	0.25
DR30	14.4	18.5	19.6	15.3	16.95	3.6	3.6	3.6	3.60	0.38
DR30	14.4	16.5	17.5	15.4	15.95	3.9	3.9	4.0	3.93	0.42
DR32	13.9	19.9	19.6	13.1	16.63	1.6	1.6	1.6	1.60	0.17
DR32	11.0	15.9	16.0	12.0	13.73	2.6	2.6	2.7	2.63	0.28
DR32	11.4	16.4	15.4	11.2	13.60	2.7	2.7	2.7	2.70	0.29
DR32	11.9	17.5	18.2	13.6	15.30	2.7	2.8	2.8	2.77	0.30
DR32	10.3	14.2	15.3	10.9	12.68	2.3	2.3	2.3	2.30	0.25
DR32	14.5	18.9	19.8	14.5	16.93	1.5	1.4	1.5	1.47	0.16
DR32	12.3	18.8	18.8	14.6	16.13	2.7	2.6	2.6	2.63	0.28
DR32	10.9	15.6	16.0	11.8	13.58	2.6	2.6	2.6	2.60	0.28
DR32	14.7	18.5	19.2	14.6	16.75	2.6	2.5	2.5	2.53	0.27
DR32	12.4	17.8	17.7	13.4	15.33	2.7	2.7	2.7	2.70	0.29
DR34	13.0	18.4	17.3	12.6	15.33	1.7	1.8	1.7	1.73	0.18
DR34	15.8	21.2	20.9	16.0	18.48	1.8	1.9	1.8	1.83	0.20
DR34	14.1	18.7	18.6	14.4	16.45	1.8	1.8	1.7	1.77	0.19
DR34	14.1	20.2	20.1	14.8	17.30	1.2	1.3	1.2	1.23	0.13
DR34	15.4	18.5	18.9	15.7	17.13	1.6	1.6	1.6	1.60	0.17
DR34	13.7	18.7	18.6	14.1	16.28	1.4	1.4	1.4	1.40	0.15
DR34	13.9	19.5	19.6	15.0	17.00	1.4	1.5	1.5	1.47	0.16
DR34	14.7	18.8	18.9	13.7	16.53	1.4	1.4	1.4	1.40	0.15
DR34	12.8	16.7	16.2	13.8	14.88	1.8	1.8	1.8	1.80	0.19
DR34	14.8	19.4	18.7	13.6	16.63	1.4	1.4	1.4	1.40	0.15
DR36	14.8	21.0	21.2	15.2	18.05	1.2	1.3	1.2	1.23	0.13
DR36	15.1	19.0	19.4	14.6	17.03	1.1	1.1	1.1	1.10	0.12
DR36	14.7	20.4	20.8	14.9	17.70	1.4	1.4	1.4	1.40	0.15
DR36	15.1	20.5	20.9	16.8	18.33	1.2	1.0	1.0	1.07	0.11
DR36	15.5	20.3	20.6	17.0	18.35	1.1	1.1	1.1	1.10	0.12

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

No.	TSS (°Brix)					NaOH (ml)				%TA
	1	2	3	4	Av	1	2	3	Av	
DR36	15.0	19.5	20.0	13.9	17.10	1.0	1.0	1.0	1.00	0.11
DR36	11.7	17.6	18.1	12.4	14.95	1.3	1.3	1.3	1.30	0.14
DR36	14.6	20.9	21.1	14.5	17.78	0.9	0.9	0.9	0.90	0.10
DR36	14.7	20.5	20.4	16.6	18.05	1.3	1.3	1.3	1.30	0.14
DR36	14.8	19.3	19.8	13.9	16.95	1.3	1.3	1.3	1.30	0.14
DR38	15.2	19.7	20.1	15.8	17.70	1.5	1.5	1.4	1.47	0.16
DR38	13.1	19.9	20.6	15.6	17.30	1.7	1.6	1.6	1.63	0.17
DR38	12.6	18.6	17.8	12.7	15.43	1.6	1.7	1.7	1.67	0.18
DR38	12.5	19.0	19.3	12.8	15.90	2.5	2.5	2.4	2.47	0.26
DR38	10.9	14.7	17.6	11.7	13.73	1.7	1.8	1.8	1.77	0.19
DR38	14.2	19.4	20.3	15.6	17.38	1.2	1.2	1.2	1.20	0.13
DR38	12.7	20.3	20.6	15.0	17.15	1.2	1.2	1.2	1.20	0.13
DR38	13.6	20.6	21.4	14.4	17.50	0.9	0.8	1.0	0.90	0.10
DR38	14.6	21.0	22.3	16.0	18.48	1.1	1.1	1.1	1.10	0.12
DR38	15.6	21.0	21.3	14.9	18.20	1.4	1.4	1.4	1.40	0.15
DR40	17.1	19.7	19.6	16	18.10	1.1	1.1	1.2	1.13	0.12
DR40	13.6	19.6	19.9	14.2	16.83	1.4	1.4	1.4	1.40	0.15
DR40	15.1	20.9	21.0	15.7	18.18	1	1	1	1.00	0.11
DR40	12.8	20.4	21.3	14.3	17.20	1.7	1.6	1.8	1.70	0.18
DR40	13.7	19.0	18.8	14.6	16.53	1.3	1.3	1.3	1.30	0.14
DR40	13.5	20.1	19.7	13.1	16.60	0.9	0.9	0.9	0.90	0.10
DR40	11.0	17.0	16.0	11.1	13.78	1.6	1.6	1.6	1.60	0.17
DR40	13.5	18.9	19.2	14.3	16.48	1.1	1.1	1.1	1.10	0.12
DR40	13.9	18.6	19.8	14	16.58	1.2	1.1	1.2	1.17	0.12
DR40	14.9	19.9	20.0	17.2	18.00	1.2	1.2	1.2	1.20	0.13

ตารางผนวกที่ 3 การเปรียบเทียบ MMI_R prediction ของ model ทั้ง 8

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
R23_1	2.99	3.25	2.73	2.38	3.46	3.73	2.68	2.63	2.58
R23_1	3.25	2.63	2.63	2.34	2.57	2.55	2.51	2.45	1.13
R23_1	3.26	2.71	2.46	2.49	2.06	1.84	2.08	2.03	2.28
R23_1	3.20	2.04	2.65	2.24	2.01	1.84	2.62	2.58	-0.20
R23_1	2.14	2.97	2.65	2.52	3.10	3.17	2.72	2.70	1.30
R24_1	3.08	2.21	2.52	2.38	2.15	2.03	2.45	2.37	-0.89
R24_1	2.89	3.43	2.72	2.43	3.07	3.27	2.15	1.96	2.97
R24_1	2.38	2.57	2.45	2.49	2.77	2.76	2.62	2.79	2.70
R24_1	3.29	3.64	2.68	2.61	3.30	3.48	2.07	2.01	4.31
R24_1	2.94	3.23	2.47	2.15	3.40	3.66	2.49	2.51	3.29
R25_1	3.34	2.63	2.62	2.45	2.55	2.56	2.40	2.36	1.29
R25_1	3.14	2.60	2.64	2.51	2.42	2.40	2.45	2.38	1.93
R25_1	2.08	2.14	2.60	2.34	2.40	2.38	2.80	2.77	-0.31
R25_1	3.49	2.87	2.62	2.42	2.91	3.03	2.40	2.36	0.46
R25_1	2.82	1.84	2.66	2.37	1.68	1.44	2.50	2.38	-1.87
R26_1	2.76	2.71	2.57	2.24	2.29	2.24	2.37	2.24	3.12
R26_1	2.23	2.34	2.59	2.25	2.50	2.54	2.66	2.64	1.41
R26_1	2.70	2.63	2.59	2.16	2.81	2.95	2.74	2.70	3.21
R26_1	2.29	2.61	2.66	2.29	2.64	2.70	2.54	2.50	1.30
R26_1	1.46	2.53	2.41	2.33	2.17	2.05	2.25	2.19	1.38
R27_1	0.76	1.80	2.26	2.08	2.02	1.89	2.61	2.67	0.78
R27_1	0.74	1.81	1.50	2.17	1.39	1.03	1.20	1.58	0.55
R27_1	0.76	1.72	2.31	2.19	2.01	1.89	2.61	2.66	0.78
R27_1	0.74	1.83	1.55	2.37	1.41	1.03	1.20	1.62	0.55
R27_1	1.54	1.85	2.21	2.25	1.19	0.73	2.01	1.98	-0.27
R28_2	1.31	-0.17	-0.36	0.82	-0.24	-0.78	-0.60	0.23	-0.04
R28_2	0.76	1.06	1.63	0.02	2.18	2.60	2.27	1.84	1.96
R28_2	1.31	0.38	0.40	1.67	-0.19	-0.78	-0.60	0.30	-0.04
R28_2	0.76	1.67	1.67	1.15	2.40	2.60	2.27	2.13	1.96
R28_2	-0.17	0.62	0.42	1.12	0.46	0.04	0.41	0.79	-0.22

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
R29_2	0.09	-0.02	0.05	-0.03	0.21	0.13	0.26	0.14	0.03
R29_2	-0.21	0.64	0.35	0.63	0.68	0.66	0.10	0.26	1.51
R29_2	0.09	0.18	0.44	0.23	0.19	0.13	0.26	0.11	0.03
R29_2	-0.21	-0.01	0.07	-0.60	0.47	0.66	0.10	-0.02	1.51
R29_2	0.23	-0.80	0.28	-0.79	0.60	0.84	1.39	1.20	0.54
R30_2	-0.96	-0.59	-0.83	-0.32	-0.13	-0.53	-0.65	-0.05	0.03
R30_2	-0.60	-0.72	-0.07	-0.26	-0.83	-0.84	-0.03	-0.38	0.12
R30_2	-0.96	-1.46	-1.07	-1.84	-0.50	-0.53	-0.65	-0.55	0.03
R30_2	-0.60	-2.11	-1.10	-2.74	-0.85	-0.84	-0.03	-0.40	0.12
R30_2	-0.34	-2.69	-2.04	-3.49	-1.02	-0.79	-0.66	-0.90	-0.46
R32_3	-1.06	-0.64	-1.15	-1.27	-0.62	-0.16	-1.29	-1.58	0.30
R32_3	-1.43	-1.60	-1.74	-1.28	-1.93	-1.80	-2.14	-2.13	-1.36
R32_3	-1.06	-1.46	-1.79	-2.91	-0.61	-0.16	-1.29	-1.57	0.30
R32_3	-1.43	-2.11	-2.23	-2.14	-1.96	-1.80	-2.14	-2.16	-1.36
R32_3	-1.17	-1.25	-1.70	-1.56	-1.56	-1.37	-2.02	-2.15	0.86
R34_3	-2.67	-2.63	-2.48	-3.01	-2.49	-2.39	-2.29	-2.53	-1.56
R34_3	-1.96	-2.15	-2.37	-2.06	-2.43	-2.18	-2.38	-2.57	-1.59
R34_3	-2.67	-1.41	-1.56	-0.75	-2.55	-2.39	-2.29	-2.61	-1.56
R34_3	-1.96	-1.80	-2.09	-1.15	-2.31	-2.18	-2.38	-2.41	-1.59
R34_3	-2.35	-2.33	-2.44	-2.18	-2.54	-2.28	-2.19	-2.56	-2.69
R36_3	-3.40	-3.35	-2.86	-3.35	-2.94	-2.90	-2.27	-2.43	-2.00
R36_3	-2.76	-2.53	-2.58	-1.98	-2.69	-2.56	-2.39	-2.52	-2.29
R36_3	-3.40	-3.54	-3.13	-3.63	-2.95	-2.90	-2.27	-2.44	-2.00
R36_3	-2.76	-3.19	-2.80	-3.30	-2.47	-2.56	-2.39	-2.22	-2.29
R36_3	-2.78	-3.87	-3.01	-4.23	-3.08	-3.30	-2.63	-2.44	-0.98
R38_3	-1.97	-2.60	-2.22	-3.17	-2.18	-2.05	-1.90	-2.19	-1.98
R38_3	-3.48	-2.49	-2.61	-1.66	-3.05	-3.08	-2.91	-2.79	-1.24
R38_3	-1.97	-1.97	-1.90	-2.04	-2.27	-2.05	-1.90	-2.31	-1.98
R38_3	-3.48	-2.69	-2.83	-2.04	-3.03	-3.08	-2.91	-2.76	-1.24
R38_3	-2.99	-3.05	-3.30	-3.20	-2.61	-2.53	-3.02	-2.75	-1.03

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
R40_3	-2.55	-3.45	-2.59	-4.11	-2.53	-2.48	-1.97	-2.13	-1.23
R40_3	-2.91	-1.84	-2.11	-1.33	-2.57	-2.41	-2.61	-2.71	-1.40
R40_3	-2.55	-2.98	-2.72	-3.04	-2.67	-2.48	-1.97	-2.31	-1.23
R40_3	-2.91	-1.96	-2.38	-1.70	-2.67	-2.41	-2.61	-2.84	-1.40
R40_3	-3.00	-2.22	-2.80	-2.01	-2.67	-2.50	-2.99	-3.00	-1.41

ตารางผนวกที่ 4 การเปรียบเทียบ MMI_W prediction ของ model ทั้ง 8

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
W23_1	-4.78	-4.12	-3.95	-4.41	-3.56	-3.63	-3.66	-3.75	-2.22
W23_1	-4.48	-3.54	-3.69	-3.67	-3.33	-3.37	-3.93	-4.15	-0.96
W23_1	-3.83	-3.74	-3.61	-3.12	-3.63	-3.49	-2.82	-3.00	-1.70
W23_1	-4.17	-3.46	-3.61	-3.49	-3.04	-2.86	-2.77	-3.30	-0.50
W23_1	-4.23	-3.33	-3.61	-3.11	-3.17	-2.86	-2.79	-3.06	-0.46
W24_1	-3.96	-3.50	-3.37	-3.11	-3.45	-3.62	-3.36	-3.28	-3.42
W24_1	-3.85	-2.64	-3.50	-3.20	-2.67	-2.58	-2.89	-3.32	-3.66
W24_1	-3.30	-3.57	-3.56	-3.37	-3.12	-2.78	-2.32	-2.74	-0.37
W24_1	-3.79	-3.46	-3.74	-3.86	-3.28	-3.30	-3.78	-3.71	-3.24
W24_1	-3.50	-4.04	-3.56	-3.28	-3.76	-3.73	-3.50	-3.28	-0.53
W25_1	-2.45	-3.31	-3.54	-3.21	-3.22	-3.14	-3.01	-3.18	-2.59
W25_1	-1.88	-2.87	-3.47	-3.11	-2.52	-2.20	-2.76	-3.14	0.53
W25_1	-3.94	-2.76	-3.61	-2.97	-2.71	-2.28	-2.65	-2.92	-0.60
W25_1	-3.29	-3.14	-3.51	-3.87	-2.76	-2.73	-3.32	-3.58	-1.96
W25_1	-2.26	-2.67	-3.85	-3.49	-2.33	-1.86	-3.35	-3.28	1.15
W26_1	-1.08	-1.90	-2.17	-1.28	-2.51	-2.61	-2.83	-2.70	-0.74
W26_1	-0.97	-1.43	-0.98	-1.33	-2.05	-1.96	-1.52	-1.84	-1.20
W26_1	-1.42	-1.88	-2.17	-1.99	-1.87	-1.35	-1.31	-1.76	-0.04
W26_1	-1.54	-1.61	-1.72	-2.93	-0.70	0.24	0.00	-0.79	-0.30
W26_1	-1.41	-1.83	-1.95	-3.04	-0.76	0.13	0.18	-0.62	-0.28
W27_1	-0.34	-0.12	-0.41	0.15	-0.57	-0.72	-1.19	-0.49	-1.02

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
W27_1	-0.42	-0.01	-0.05	-0.65	0.28	0.96	0.44	0.17	1.79
W27_1	-0.34	0.00	-0.20	-0.04	-0.63	-0.72	-1.19	-0.57	-1.02
W27_1	-0.42	-0.56	-0.41	-1.50	0.03	0.96	0.44	-0.11	1.79
W27_1	-0.71	-0.73	-0.35	-1.02	-1.32	-0.98	-1.17	-1.07	0.42
W28_2	0.10	0.67	0.92	0.44	0.43	0.48	0.68	0.68	-0.20
W28_2	0.44	0.38	0.49	0.63	-0.03	-0.61	-0.34	0.23	-0.54
W28_2	0.10	0.36	0.53	0.26	0.44	0.48	0.68	0.68	-0.20
W28_2	0.44	0.07	0.50	-0.02	-0.48	-0.61	-0.34	-0.28	-0.54
W28_2	0.47	1.53	1.75	0.99	1.37	1.69	1.36	1.37	-0.85
W29_2	0.71	1.55	1.26	0.86	1.38	1.47	1.09	1.42	0.43
W29_2	0.96	1.83	2.04	1.69	1.96	1.88	1.53	2.21	1.47
W29_2	0.71	0.83	0.16	-0.05	1.46	1.47	1.09	1.51	0.43
W29_2	0.96	1.30	1.41	0.66	1.81	1.88	1.53	2.04	1.47
W29_2	0.63	1.08	1.62	1.58	0.76	0.52	0.69	1.32	-0.24
W30_2	1.47	1.78	1.17	0.29	2.77	2.84	1.57	2.36	1.68
W30_2	1.41	0.87	1.27	1.18	1.16	0.98	1.15	1.67	0.92
W30_2	1.47	2.16	1.77	0.85	2.68	2.84	1.57	2.26	1.68
W30_2	1.41	0.58	0.95	0.35	1.10	0.98	1.15	1.59	0.92
W30_2	0.83	1.17	1.91	0.87	1.40	1.24	2.00	2.41	0.36
W32_3	1.75	1.46	1.80	1.58	1.88	1.93	2.00	2.13	1.40
W32_3	1.81	2.78	1.69	1.38	3.51	3.61	2.45	2.43	2.88
W32_3	1.75	1.60	1.96	1.79	1.82	1.93	2.00	2.06	1.40
W32_3	1.81	2.67	1.51	1.18	3.53	3.61	2.45	2.45	2.88
W32_3	1.67	2.13	1.73	1.00	2.91	3.25	2.57	2.19	2.88
W34_3	0.99	2.39	2.19	1.96	2.55	2.69	2.45	2.06	0.48
W34_3	1.98	2.53	2.20	2.19	2.86	3.02	2.62	2.25	1.78
W34_3	0.99	2.05	1.54	1.38	2.75	2.69	2.45	2.29	0.48
W34_3	1.98	2.34	1.81	1.66	2.94	3.02	2.62	2.34	1.78
W34_3	1.31	0.28	0.99	1.63	0.48	0.19	1.43	1.68	1.99
W36_3	2.53	2.26	2.20	2.87	2.03	1.75	1.69	1.65	0.58

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
W36_3	2.24	1.96	2.24	2.74	1.81	1.57	2.23	2.04	0.93
W36_3	2.53	2.27	2.15	2.58	2.03	1.75	1.69	1.65	0.58
W36_3	2.24	1.47	1.77	2.15	1.64	1.57	2.23	1.85	0.93
W36_3	3.33	2.59	1.43	1.76	2.81	2.54	1.55	1.55	1.42
W38_3	2.14	0.76	0.91	0.76	0.39	0.62	0.65	0.32	-0.34
W38_3	2.40	1.33	1.77	1.33	1.46	1.75	2.55	1.61	-0.27
W38_3	2.14	0.91	1.10	1.09	0.56	0.62	0.65	0.52	-0.34
W38_3	2.40	1.84	2.07	2.27	1.93	1.75	2.55	2.14	-0.27
W38_3	2.48	1.62	2.11	2.20	1.07	1.01	1.59	1.36	0.12
W40_3	2.75	2.22	2.61	2.55	1.91	2.11	2.73	1.66	0.54
W40_3	2.46	2.26	2.75	2.48	1.44	1.70	1.90	1.19	-0.33
W40_3	2.75	2.48	2.89	2.94	1.92	2.11	2.73	1.66	0.54
W40_3	2.46	1.52	1.60	1.25	1.62	1.70	1.90	1.40	-0.33
W40_3	2.15	1.95	1.66	1.87	2.17	2.20	1.98	1.85	0.65

ตารางผนวกที่ 5 การเปรียบเทียบ MMI_WR prediction ของ model ทั้ง 8

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
R23_1	-3.21	-3.07	-2.68	-2.59	-3.00	-3.11	-2.61	-2.63	-2.78
R23_1	-3.47	-2.65	-2.75	-2.64	-2.57	-2.50	-2.54	-2.45	-1.30
R23_1	-3.43	-2.92	-2.95	-3.05	-2.86	-2.75	-2.32	-2.03	-2.47
R23_1	-3.48	-2.16	-2.69	-2.65	-2.13	-1.96	-2.58	-2.57	0.05
R23_1	-2.32	-2.94	-2.92	-2.88	-2.80	-2.72	-2.70	-2.71	-1.48
R24_1	-3.35	-2.17	-2.73	-2.40	-2.01	-1.79	-2.50	-2.36	0.75
R24_1	-3.10	-3.19	-2.74	-2.39	-3.09	-3.21	-2.36	-1.94	-3.17
R24_1	-2.60	-2.73	-2.56	-2.68	-2.79	-2.76	-2.43	-2.79	-2.89
R24_1	-3.51	-3.44	-2.71	-2.35	-3.48	-3.58	-2.27	-2.01	-4.54
R24_1	-3.15	-3.09	-2.53	-2.63	-3.02	-3.14	-2.40	-2.50	-3.50
R25_1	-3.35	-2.58	-2.62	-2.36	-2.50	-2.45	-2.40	-2.35	-1.46
R25_1	-3.32	-2.66	-2.70	-2.44	-2.66	-2.67	-2.47	-2.37	-2.12

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
R25_1	-2.08	-2.15	-2.61	-2.45	-2.07	-1.96	-2.64	-2.76	0.16
R25_1	-3.76	-2.65	-2.66	-2.57	-2.37	-2.27	-2.41	-2.35	-0.62
R25_1	-2.97	-1.86	-2.73	-2.56	-1.69	-1.42	-2.53	-2.37	1.76
R26_1	-2.87	-2.89	-2.77	-2.62	-2.98	-3.07	-2.47	-2.23	-3.32
R26_1	-2.14	-2.40	-2.49	-2.35	-2.39	-2.41	-2.50	-2.63	-1.58
R26_1	-2.74	-2.72	-2.47	-2.41	-2.85	-3.04	-2.55	-2.69	-3.42
R26_1	-2.21	-2.56	-2.59	-2.64	-2.46	-2.46	-2.47	-2.49	-1.47
R26_1	-1.33	-2.63	-2.77	-2.70	-2.54	-2.45	-2.36	-2.18	-1.55
R27_1	-0.74	-1.99	-2.35	-2.31	-2.11	-2.01	-2.40	-2.66	-0.95
R27_1	-0.77	-1.81	-1.92	-2.30	-1.51	-1.05	-1.10	-1.53	-0.72
R27_1	-0.74	-1.88	-2.26	-1.76	-2.09	-2.01	-2.40	-2.64	-0.95
R27_1	-0.77	-1.84	-1.96	-2.29	-1.55	-1.05	-1.10	-1.57	-0.72
R27_1	-1.49	-2.12	-2.82	-2.82	-2.04	-1.71	-2.22	-1.97	0.13
R28_2	-1.21	0.46	0.40	-0.74	0.31	1.00	0.95	-0.09	-0.11
R28_2	-0.67	-0.72	-0.76	0.37	-1.88	-2.34	-2.11	-1.74	-2.14
R28_2	-1.21	-0.04	-0.02	-0.76	0.24	1.00	0.95	-0.17	-0.11
R28_2	-0.67	-1.49	-1.44	-0.32	-2.17	-2.34	-2.11	-2.07	-2.14
R28_2	0.30	-0.44	-0.72	-0.44	-0.69	-0.20	-0.37	-0.70	0.07
R29_2	-0.05	0.31	-0.07	-0.60	-0.39	-0.34	-0.32	0.01	-0.19
R29_2	0.28	-0.31	-0.11	0.05	-0.61	-0.53	0.00	-0.12	-1.69
R29_2	-0.05	0.20	-0.13	0.17	-0.36	-0.34	-0.32	0.04	-0.19
R29_2	0.28	0.40	0.51	0.91	-0.33	-0.53	0.00	0.20	-1.69
R29_2	-0.19	0.88	0.42	0.62	-0.20	-0.51	-0.84	-1.02	-0.70
R30_2	1.02	1.05	0.99	0.81	0.21	0.77	0.87	0.20	-0.19
R30_2	0.66	0.78	0.25	0.32	0.36	0.12	0.07	0.57	-0.28
R30_2	1.02	1.96	1.72	1.20	0.71	0.77	0.87	0.75	-0.19
R30_2	0.66	2.26	1.60	0.76	0.38	0.12	0.07	0.60	-0.28
R30_2	0.39	2.93	2.47	1.26	1.43	1.14	1.01	1.16	0.31
R32_3	1.11	1.16	1.46	1.03	1.37	1.00	1.48	1.87	-0.46
R32_3	1.52	2.00	2.04	1.74	2.61	2.56	2.50	2.46	1.23

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
R32_3	1.11	1.95	2.24	2.50	1.36	1.00	1.48	1.86	-0.46
R32_3	1.52	2.46	2.41	1.91	2.64	2.56	2.50	2.49	1.23
R32_3	1.23	1.59	1.89	1.72	1.71	1.46	2.17	2.46	-1.03
R34_3	2.84	2.86	2.66	2.96	2.70	2.53	2.44	2.87	1.43
R34_3	2.06	2.32	2.45	2.87	3.09	2.83	2.71	2.92	1.47
R34_3	2.84	1.67	1.60	2.01	2.78	2.53	2.44	2.96	1.43
R34_3	2.06	2.06	2.02	1.24	2.93	2.83	2.71	2.75	1.47
R34_3	2.49	2.47	2.25	2.89	3.18	2.91	2.42	2.91	2.59
R36_3	3.64	3.38	3.04	3.30	3.19	3.03	2.63	2.79	1.88
R36_3	2.93	2.62	2.42	2.14	3.28	3.14	2.74	2.87	2.18
R36_3	3.64	3.41	3.09	3.31	3.20	3.03	2.63	2.80	1.88
R36_3	2.93	3.50	3.16	2.00	2.98	3.14	2.74	2.53	2.18
R36_3	2.95	4.10	3.82	3.61	2.93	3.01	2.97	2.77	0.85
R38_3	2.05	2.82	2.56	3.04	2.51	2.34	2.04	2.50	1.86
R38_3	3.71	2.68	2.69	2.36	3.35	3.31	3.30	3.14	1.11
R38_3	2.05	2.11	1.98	2.97	2.63	2.34	2.04	2.64	1.86
R38_3	3.71	2.81	2.82	2.00	3.32	3.31	3.30	3.11	1.11
R38_3	3.16	3.34	3.56	2.78	3.34	3.35	3.48	3.10	0.90
R40_3	2.65	3.60	3.33	3.79	2.64	2.44	2.25	2.44	1.10
R40_3	3.06	2.14	2.22	1.79	3.04	2.87	2.87	3.05	1.27
R40_3	2.65	2.81	2.62	2.96	2.82	2.44	2.25	2.65	1.10
R40_3	3.06	2.11	2.37	3.45	3.17	2.87	2.87	3.20	1.27
R40_3	3.17	2.51	2.73	2.55	3.32	3.20	3.30	3.37	1.29
W23_1	-4.30	-3.47	-3.24	-3.57	-3.12	-3.23	-3.19	-3.42	-1.91
W23_1	-4.04	-2.99	-3.10	-3.39	-2.75	-2.76	-3.29	-3.78	-0.74
W23_1	-3.48	-3.42	-3.14	-3.08	-3.05	-3.06	-2.87	-2.74	-1.42
W23_1	-3.78	-2.96	-3.05	-3.29	-2.58	-2.48	-2.86	-3.01	-0.32
W23_1	-3.83	-3.04	-3.14	-3.09	-2.73	-2.59	-2.86	-2.80	-0.27
W24_1	-3.59	-3.48	-2.97	-2.93	-3.30	-3.55	-3.01	-3.01	-3.03
W24_1	-3.51	-3.33	-3.01	-3.06	-3.30	-3.38	-2.86	-3.03	-3.25

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
W24_1	-3.02	-3.03	-3.05	-3.08	-2.62	-2.45	-2.64	-2.51	-0.19
W24_1	-3.44	-3.47	-3.12	-3.17	-3.30	-3.40	-3.06	-3.39	-2.86
W24_1	-3.19	-3.13	-3.12	-2.93	-2.80	-2.83	-3.11	-3.00	-0.34
W25_1	-2.23	-3.38	-3.08	-3.01	-3.18	-3.24	-2.92	-2.90	-2.26
W25_1	-1.71	-2.61	-3.01	-3.00	-2.32	-2.13	-2.85	-2.87	0.65
W25_1	-3.53	-2.95	-3.15	-2.80	-2.76	-2.58	-2.81	-2.66	-0.41
W25_1	-3.02	-3.01	-2.95	-3.21	-2.84	-2.88	-2.98	-3.27	-1.67
W25_1	-2.04	-2.56	-3.28	-3.00	-2.35	-2.08	-3.05	-2.99	1.22
W26_1	-1.01	-2.15	-2.30	-1.41	-2.30	-2.46	-2.72	-2.52	-0.53
W26_1	-0.93	-1.52	-1.31	-0.96	-1.83	-1.81	-1.67	-1.75	-0.97
W26_1	-1.34	-2.01	-2.03	-1.72	-1.78	-1.45	-1.59	-1.65	0.12
W26_1	-1.44	-1.59	-1.27	-2.18	-0.91	-0.19	-0.03	-0.80	-0.13
W26_1	-1.31	-1.77	-1.47	-2.31	-1.04	-0.40	-0.19	-0.65	-0.11
W27_1	-0.29	-0.87	-0.81	-0.34	-0.99	-1.22	-0.99	-0.60	-0.80
W27_1	-0.40	-0.10	-0.27	-0.90	0.22	0.78	0.39	0.01	1.82
W27_1	-0.29	-0.77	-0.72	-0.20	-1.04	-1.22	-0.99	-0.66	-0.80
W27_1	-0.40	-0.39	-0.47	-0.98	0.02	0.78	0.39	-0.22	1.82
W27_1	-0.63	-0.71	-0.91	-0.17	-1.25	-1.06	-1.25	-1.07	0.54
W28_2	0.09	0.24	0.48	0.35	0.26	0.31	0.55	0.41	-0.04
W28_2	0.36	0.11	0.21	0.46	-0.14	-0.64	-0.49	0.00	-0.35
W28_2	0.09	0.04	0.33	-0.03	0.26	0.31	0.55	0.42	-0.04
W28_2	0.36	-0.09	0.07	0.15	-0.51	-0.64	-0.49	-0.42	-0.35
W28_2	0.41	0.74	1.20	0.51	0.75	1.03	1.61	1.03	-0.64
W29_2	0.61	0.95	0.88	0.72	0.61	0.60	0.74	1.06	0.55
W29_2	0.83	1.90	1.86	1.37	1.72	1.70	1.65	1.72	1.52
W29_2	0.61	0.13	0.16	-0.16	0.67	0.60	0.74	1.14	0.55
W29_2	0.83	1.38	1.43	0.60	1.60	1.70	1.65	1.59	1.52
W29_2	0.57	0.93	1.24	1.00	0.68	0.50	0.85	0.95	-0.07
W30_2	1.27	1.54	1.47	0.68	2.05	2.15	1.98	1.85	1.71
W30_2	1.21	0.99	1.21	0.83	1.23	1.13	1.19	1.26	1.00

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Sample	Reference	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7	Model8
W30_2	1.27	1.73	1.65	0.53	1.98	2.15	1.98	1.77	1.71
W30_2	1.21	0.90	1.13	0.57	1.17	1.13	1.19	1.19	1.00
W30_2	0.73	1.41	2.02	1.26	1.59	1.54	1.98	1.90	0.49
W32_3	1.50	1.42	1.55	0.79	1.73	1.85	1.83	1.67	1.45
W32_3	1.57	2.50	1.98	1.80	2.45	2.57	1.93	1.92	2.83
W32_3	1.50	1.56	1.72	1.29	1.68	1.85	1.83	1.61	1.45
W32_3	1.57	2.33	1.88	1.78	2.47	2.57	1.93	1.94	2.83
W32_3	1.47	2.07	1.79	1.16	2.33	2.70	2.13	1.73	2.83
W34_3	0.92	1.88	2.09	1.86	1.70	1.86	2.02	1.61	0.60
W34_3	1.78	2.23	2.11	1.92	2.08	2.27	2.04	1.78	1.81
W34_3	0.92	1.49	1.71	1.15	1.86	1.86	2.02	1.79	0.60
W34_3	1.78	1.93	1.86	1.44	2.15	2.27	2.04	1.85	1.81
W34_3	1.19	0.87	0.89	1.39	1.04	0.82	0.65	1.28	2.00
W36_3	2.21	2.05	2.09	2.77	1.47	1.30	1.29	1.23	0.69
W36_3	2.01	1.98	2.13	2.86	1.59	1.45	1.52	1.58	1.01
W36_3	2.21	2.00	2.05	2.95	1.47	1.30	1.29	1.23	0.69
W36_3	2.01	1.38	1.59	1.87	1.45	1.45	1.52	1.42	1.01
W36_3	2.84	1.98	1.59	2.30	1.61	1.41	0.97	1.14	1.47
W38_3	1.92	0.21	0.42	0.69	0.03	0.22	0.43	0.12	-0.16
W38_3	2.15	0.88	1.45	0.94	1.07	1.36	1.83	1.24	-0.10
W38_3	1.92	0.41	0.63	0.89	0.18	0.22	0.43	0.28	-0.16
W38_3	2.15	1.60	2.09	2.51	1.45	1.36	1.83	1.67	-0.10
W38_3	2.19	1.34	1.59	2.39	0.86	0.84	1.09	1.01	0.26
W40_3	2.42	1.79	2.07	2.08	1.47	1.72	1.85	1.27	0.66
W40_3	2.24	1.57	1.90	1.96	0.89	1.15	1.49	0.87	-0.16
W40_3	2.42	1.97	2.21	2.48	1.47	1.72	1.85	1.28	0.66
W40_3	2.24	1.01	1.39	1.11	1.04	1.15	1.49	1.04	-0.16
W40_3	1.99	1.40	1.54	2.02	1.42	1.47	1.55	1.42	0.75

ตารางผนวกที่ 6 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ 1

Parameters	Model2	Model1
Bias	-0.032	0.011
SEP	0.651772	0.750477
r		0.8137
r ²		0.6621
1-r ²		0.3379
K		1.0428
K ²		1.0875
L		1.1570
SEP1/SEP2		0.8685
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.7506
(SEP1/SEP2) x L		1.0048
Result		NS Diff.

ตารางผนวกที่ 7 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ 3

Parameters	Model2	Model3
Bias	-0.032	0.080
SEP	0.651772	0.998232
r		0.7541
r ²		0.5687
1-r ²		0.4313
K		1.0547
K ²		1.1123
L		1.1789
SEP1/SEP2		0.6529
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.5538
(SEP1/SEP2) x L		0.7698
Result		SIG Diff

ตารางผนวกที่ 8 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ 4

Parameters	Model2	Model4
Bias	-0.032	-0.065
SEP	0.651772	0.673317
r	0.7551	
r ²	0.5702	
1-r ²	0.4298	
K	1.0545	
K ²	1.1119	
L	1.1786	
SEP1/SEP2	0.9680	
(SEP1/SEP2) x (1/L)	0.8213	
(SEP1/SEP2) x L	1.1409	
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 9 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ 5

Parameters	Model2	Model5
Bias	-0.032	-0.087
SEP	0.651772	0.765084
r	0.6518	
r ²	0.4249	
1-r ²	0.5751	
K	1.0729	
K ²	1.1511	
L	1.2090	
SEP1/SEP2	0.8519	
(SEP1/SEP2) x (1/L)	0.7046	
(SEP1/SEP2) x L	1.0299	
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 10 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ 6

Parameters	Model2	Model6
Bias	-0.032	-0.088
SEP	0.651772	0.771965
r		0.8258
r ²		0.6820
1-r ²		0.3180
K		1.0403
K ²		1.0823
L		1.1520
SEP1/SEP2		0.8443
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.7329
(SEP1/SEP2) x L		0.9726
Result		SIG Diff

ตารางผนวกที่ 11 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ 7

Parameters	Model2	Model7
Bias	-0.032	-0.054
SEP	0.651772	0.741506
r		0.8241
r ²		0.6791
1-r ²		0.3209
K		1.0407
K ²		1.0830
L		1.1527
SEP1/SEP2		0.8790
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.7625
(SEP1/SEP2) x L		1.0132
Result		NS Diff.

ตารางผนวกที่ 12 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_R Prediction Model 2 กับ 8

Parameters	Model3	Model1
Bias	-0.032	-0.104
SEP	0.651772	1.48147
r	0.3021	
r ²	0.0913	
1-r ²	0.9087	
K	1.1152	
K ²	1.2437	
L	1.2684	
SEP1/SEP2	0.4399	
(SEP1/SEP2) x (1/L)	0.3469	
(SEP1/SEP2) x L	0.5580	
Result	SIG Diff	

ตารางผนวกที่ 13 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ 1

Parameters	Model2	Model1
Bias	0.045	-0.012
SEP	0.669817	0.681024
r	0.7636	
r ²	0.5831	
1-r ²	0.4169	
K	1.0529	
K ²	1.1085	
L	1.1757	
SEP1/SEP2	0.9835	
(SEP1/SEP2) x (1/L)	0.8366	
(SEP1/SEP2) x L	1.1563	
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 14 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ 3

Parameters	Model2	Model3
Bias	0.045	0.161
SEP	0.669817	0.695204
r		0.7494
r ²		0.5615
1-r ²		0.4385
K		1.0556
K ²		1.1143
L		1.1805
SEP1/SEP2		0.9635
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.8162
(SEP1/SEP2) x L		1.1374
Result		NS Diff.

ตารางผนวกที่ 15 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ 4

Parameters	Model2	Model4
Bias	0.045	-0.136
SEP	0.669817	0.897352
r		0.5575
r ²		0.3108
1-r ²		0.6892
K		1.0874
K ²		1.1824
L		1.2306
SEP1/SEP2		0.7464
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.6066
(SEP1/SEP2) x L		0.9186
Result		SIG Diff

ตารางผนวกที่ 16 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ 5

Parameters	Model2	Model5
Bias	0.045	-0.231
SEP	0.669817	0.996533
r		0.4833
r ²		0.2335
1-r ²		0.7665
K		1.0972
K ²		1.2038
L		1.2444
SEP1/SEP2		0.6721
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.5401
(SEP1/SEP2) x L		0.8364
Result		SIG Diff

ตารางผนวกที่ 17 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ 6

Parameters	Model2	Model6
Bias	0.045	-0.143
SEP	0.669817	0.841849
r		0.6512
r ²		0.4240
1-r ²		0.5760
K		1.0730
K ²		1.1514
L		1.2092
SEP1/SEP2		0.7957
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.6580
(SEP1/SEP2) x L		0.9621
Result		SIG Diff

ตารางผนวกที่ 18 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ 7

Parameters	Model2	Model7
Bias	0.045	-0.055
SEP	0.669817	0.860469
r	0.7272	
r ²	0.5288	
1-r ²	0.4712	
K	1.0597	
K ²	1.1231	
L	1.1877	
SEP1/SEP2	0.7784	
(SEP1/SEP2) x (1/L)	0.6554	
(SEP1/SEP2) x L	0.9245	
Result	SIG Diff	

ตารางผนวกที่ 19 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_W Prediction Model 2 กับ 8

Parameters	Model2	Model8
Bias	0.045	-0.081
SEP	0.669817	1.774185
r	0.1710	
r ²	0.0293	
1-r ²	0.9707	
K	1.1231	
K ²	1.2613	
L	1.2784	
SEP1/SEP2	0.3775	
(SEP1/SEP2) x (1/L)	0.2953	
(SEP1/SEP2) x L	0.4826	
Result	SIG Diff	

ตารางผนวกที่ 20 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ 1

Parameters	Model3	Model1
Bias	0.026	-0.008
SEP	0.70435	0.740156
r		0.6910
r ²		0.4774
1-r ²		0.5226
K		1.0320
K ²		1.0650
L		1.1344
SEP1/SEP2		0.9516
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.8389
(SEP1/SEP2) x L		1.0795
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 21 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ 2

Parameters	Model 3	Model 2
Bias	0.026	-0.005
SEP	0.70435	0.718863
r		0.7546
r ²		0.5694
1-r ²		0.4306
K		1.0263
K ²		1.0534
L		1.1213
SEP1/SEP2		0.9798
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.8738
(SEP1/SEP2) x L		1.0987
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 22 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ 4

Parameters	Model 3	Model 4
Bias	0.026	0.001
SEP	0.70435	0.7679
r		0.4743
r ²		0.2249
1-r ²		0.7751
K		1.0474
K ²		1.0971
L		1.1658
SEP1/SEP2		0.9172
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.7868
(SEP1/SEP2) x L		1.0693
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 23 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ 5

Parameters	Model 3	Model 5
Bias	0.026	-0.024
SEP	0.70435	0.829893
r		0.3353
r ²		0.1124
1-r ²		0.8876
K		1.0543
K ²		1.1115
L		1.1782
SEP1/SEP2		0.8487
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.7203
(SEP1/SEP2) x L		1.0000
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 24 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ 6

Parameters	Model 3	Model 6
Bias	0.026	-0.025
SEP	0.70435	0.804895
r	0.4259	
r ²	0.1814	
1-r ²	0.8186	
K	1.0501	
K ²	1.1027	
L	1.1707	
SEP1/SEP2	0.8751	
(SEP1/SEP2) x (1/L)	0.7475	
(SEP1/SEP2) x L	1.0244	
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 25 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ 7

Parameters	Model 3	Model7
Bias	0.026	0.006
SEP	0.70435	0.790103
r	0.5391	
r ²	0.2906	
1-r ²	0.7094	
K	1.0434	
K ²	1.0887	
L	1.1581	
SEP1/SEP2	0.8915	
(SEP1/SEP2) x (1/L)	0.7698	
(SEP1/SEP2) x L	1.0324	
Result	NS Diff.	

ตารางผนวกที่ 26 การเปรียบเทียบค่า SEP ของ MMI_WR Prediction Model 3 กับ 8

parameters	model3	model8
Bias	0.026	0.017
SEP	0.70435	1.600508
r		0.1898
r^2		0.0360
$1-r^2$		0.9640
K		1.0590
K^2		1.1214
L		1.1863
SEP1/SEP2		0.4401
(SEP1/SEP2) x (1/L)		0.3710
(SEP1/SEP2) x L		0.5221
Result		SIG Diff

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Food Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jfoodengMaturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*Jaitip Wanitchang^a, Anupun Terdwongworakul^{b,*}, Padungsak Wanitchang^a, Sirinad Noypitak^b

^aThe Postgraduate and Research Development Project of Postharvest Technology, Graduate School, Kasetsart University, PHTIC, Kamphaengsaen, Nakhonpathom, Thailand
^bDepartment of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, PHTIC, Kamphaengsaen, Nakhonpathom, Thailand

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 January 2010
 Received in revised form 20 April 2010
 Accepted 20 April 2010
 Available online 2 June 2010

Keywords:

Dragon fruit
 Pitaya
 Non-destructive
 Maturity

ABSTRACT

The purpose of this research was to investigate maturity prediction of red flesh dragon fruit based on non-destructive measures. Specific weight, sphericity, color value *L*, *a*, *b* and light reflectance spectrum were linearly combined by partial least squares regression (PLSR) analysis. The PLSR models could predict days after fruit set, weight ratio and total soluble solids relatively well with standard deviation divided by standard error of prediction (RPD) of 2.86, 2.45 and 2.38, respectively. Date after fruit set, total soluble solids, total acid, ratio of total soluble solids and total acidity and weight ratio were transformed into a principal component 1 (PC1) by the principal component analysis and used to represent a single maturity index. The PLSR model with non-destructive parameters resulted in an improved performance in the prediction of the maturity index (PC1) with a RPD increase to 3.49. The model could be further simplified but retained a comparable accuracy by the application of a log (R680/R550) in place of the light reflectance spectrum.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Dragon fruit (*Hylocereus*) or pitaya in Latin America (Nerd and Mizrahi, 1997) is of a member of the cactus family and known to be rich in nutritional value, high in economical value and medicinal uses. Pitaya exists in different variations of color known as white, magenta, red and yellow (Grimaldo-Juarez et al., 2007). The red flesh variety is in particular richer in betalains which meet the increasing trade interest for antioxidant products and natural food colorants (Le Bellec et al., 2006). However the proper stage of maturity at harvest is the most important determinant of storage life and final fruit quality.

The majority of researches have been carried out in attempts to monitor tropical fruit maturity and related properties. A common destructive method for measurement of the maturity and growth of fruit is to analyze its soluble solids and acidity. Subhadrabandhu and Ketsa (2001) suggested that the soluble solids content of durian is parallel to aril firmness with respect to maturity development. The decrease in firmness coincides with an increase in water-soluble pectin. More mature durian aril has greater water-soluble pectin which increases faster than that of less mature durian aril (Ketsa and Daengkanit, 1999). Acidity is extensively studied as a parameter in the description of growth of guava (Mercado-Silva et al., 1998) and mango (Saranwong et al., 2004).

Slope of the force–deformation curve is another measure that has been used to determine fruit maturity. For example, Jarimopas

and Kittawee (2007) subjected mango to slow compression as a means of determination of the relationship between firmness and maturity. They found that the slope remained constant from immaturity to maturity but decreased as the fruit became over-mature. Alternatively, maturity of a fruit can be evaluated from the force response of the fruit at constant deformation compression. Takao and Ohmori (1994) successfully developed a hardness immaturity tester (HIT) based on experiments with kiwi fruit. With the dragon fruit, Hoa et al. (2006) and Nerd et al. (1999) used a penetrometer to measure the firmness of fruit.

As for non-destructive method, there have been reports on physical, mechanical, light and physiological properties of the fruit. For example, Kato (1997) showed the relationship between the density and the maturity of Japanese watermelon. The threshold of pleasantly sweet watermelon without cavities had a density equal or greater than 0.934. Specific weight is also a physical and physiological property that is recognized by horticulturists and post harvest technologists. It has been investigated by researchers to determine the maturity of mango (Jarimopas and Kittawee, 2007), mangosteen (Sornsirivichai et al., 1999) as well as dragon fruit (Wanitchang and Jarimopas, 2008).

The dynamic frequency response of pear dropped onto a flat plate was investigated and found to be able to predict pear firmness (Wang et al., 2007). Wang et al. (2006) reported use of acoustic impulse response to monitor firmness change of mandarin during storage.

Light reflectance properties of fruit were also investigated as a sorting parameter of fruit maturity. Sound and green oranges of Shamuti variety differed in the light spectrum between 600 and

* Corresponding author. Tel.: +66 86 7751723; fax: +66 34 351896.
 E-mail address: anupunter@yahoo.com (A. Terdwongworakul).

Nomenclature			
<i>L</i>	lightness axis in Hunter <i>L, a, b</i> color scale	TA	total acidity (%)
<i>a</i>	redness–greenness coordinate in Hunter <i>L, a, b</i> color scale	FLF	flesh firmness (N/mm)
<i>b</i>	yellowness–blueness coordinate in Hunter <i>L, a, b</i> color scale	TSS	total soluble solids (°Brix)
DAFS	number of days after fruit set	MMI	multivariate maturity index
<i>X</i>	major axis of dragon fruit (mm)	PLSR	partial least squares regression
<i>Y</i>	minor axis of dragon fruit (mm)	R_c^2	coefficient of determination of calibration
SPH	sphericity (%)	R_p^2	coefficient of determination of prediction
<i>W</i>	sample weight (g)	SECV	standard error of cross validation
<i>V</i>	sample volume (ml)	SEC	standard error of calibration
SW	specific weight (g/ml)	SEP	standard error of prediction
<i>F</i>	flesh weight (g)	RPD	ratio between the standard error of prediction and the sample standard deviation for the prediction set
WR	weight ratio (%)	PC1	principal component 1
FRF	fruit firmness (N/mm)	Bias	average difference between predicted and measured values

660 nm by 70% of reflectance. This reflectance difference was subsequently employed in the design of a device to segregate green oranges from good oranges (Peleg, 1985). With mangosteen, Jarimopas et al. (2008) measured the color of sound and defective fruit in terms of their tristimulus values. The corresponding chromaticity coordinates of a mangosteen were showed to be dependent on the maturity stage. Sweetness of mango naturally relates to its maturity. Jha et al. (2005) applied the multiple linear regressions to develop models for total soluble solids as indicators of sweetness of intact mangoes based on visible spectrum ranging from 440 to 480 nm. A high correlation between the predicted and the calibrated values of total soluble solids was established. Hoa et al. (2006) and Nerd et al. (1999) applied the hue angle system to evaluate skin and flesh color of dragon fruit.

Some essential physiological properties such as specific weight, total soluble solids content and acidity are commonly appreciated by consumers. However, no specific studies of mechanical, light and physiological properties of the Thai dragon fruit are known to exist. Therefore, the purpose of this research was to investigate those properties and to analyze their use as maturity indices in relation to non-destructive parameters as predictors. This could be used to ensure the commercial quality sorting of the dragon fruit.

2. Materials and methods

Dragon fruits of the red (*Hylocereus polyrhizus*) variety (red peel and red–purple pulp) were selected randomly from a commercial orchard in Chonburee province, Thailand. The fruit samples were tagged after fruit set and hand-harvested between the 23rd and 40th day after fruit set (DAFS) in June, 2007. The samples were harvested daily between the 23rd and 30th day and later that every two days until day forty, to follow the growth the rate, which was rapid at the early stages of the DAFS. Twenty individual fruits were selected for each harvesting day. The experiments were done immediately after the arrival of the samples in the laboratory conditioned at 25 °C and an average relative humidity of 67%.

2.1. Determination of light property

The each fruit sample was measured for light reflectance by spectrometer (Hunter *L, a, b* Color Flex model CFLX-45-2: D 65/10°, Reston, USA) at the equator of the sample. Four positions, 90 degree apart, along the fruit equator were exposed to the aperture for the measurement of each fruit. Twenty samples were duplicated. The Hunter *L, a, b* color scale was used to indicate the fruit color. The *L* value (lightness) is scaled between 0 (black) and 100

(white). The *a* value is from $-a$ (greenness) to $+a$ (redness) whereas the *b* value changes from $-b$ (blueness) to $+b$ (yellowness). The fruit color value *L, a, b* and the reflectance of the visible spectrum (400–700 nm) were recorded. The average value of four measurements was used for further analyses.

2.2. Determination of physical characteristics

Major (*X*) and minor (*Y*) axes of the fruit sample were measured and the percentage sphericity (SPH) was calculated from $SPH = (Y \times 100)/X$. Weight (*W*) of each sample was measured by electronic balance (Mettler Toledo PB 3002-S, Switzerland). Volume (*V*) of each above sample was measured by water displacement based on the platform scale technique as described by Mohsenin (1986). The specific weight (SW) was derived from $SW = W/V$. Each individual fruit was peeled and its flesh (*F*) was weighed and recorded. The weight ratio (WR) of *F* and *W* was expressed as the percent of recovery or the usable part from $WR = (F \times 100)/W$ (Chuachoochat and Babprasert, 1999).

2.3. Determination of mechanical property

The mechanical property in terms of firmness was measured at two opposite locations on the equator of each fruit. Each sample was axially cut in half. Each bisection with cut surface downward was slowly compressed on the peel surface with an 8 mm cylinder probe mounted on a Universal Testing Machine (Lloyd EZ 20, Segensworth East Fareham, Hampshire, UK) to a deformation of 10 mm at a loading rate of 30 mm/min (ASAE Standards, 1998). The average diameter of fruit was 82.5 mm. The fruit firmness (FRF) as defined by the slope of the force–deformation graph at 30% of the peak force was analyzed. The second fruit half was subsequently peeled and its flesh firmness (FLF) was assessed analogously. Next, the FRF and FLF readings were then averaged for further analyses. The measurements were duplicated twenty times.

2.4. Determination of physiological properties

Flesh of each half was cut perpendicular to the fruit axis to obtain apportion of 10 mm thickness of the equator area. The flesh portion was crushed to get juice for the measurement of total soluble solids (TSS) using a hand digital refractometer (ATAGO PAL-1, Japan). The excess juice was filtered through cotton sheets. Clear juice was titrated with 0.1 N NaOH to an end point of 8.2 pH (measured with pH meter Mettler Toledo GmbH MP 120, Switzer-

land) for the measurement of total acidity (TA). Again the two measurements were averaged. This procedure was once more repeated 20-fold.

2.5. Data analysis

As this research was aimed to sort dragon fruit into different maturity levels, DAFS and other destructive parameters e.g. TSS, TA, TSS/TA, WR, FRF, FLF were to be used as predicted references of maturity indices. Predictors were thus the non-destructive parameters e.g. SW, SPH, *L*, *a*, *b* and light reflectance from 400 to 700 nm.

Partial least squares regression (PLSR) analysis was performed to build a model for each predicted property. The samples were sorted based on each predicted property and approximately one fourth (65 samples) as a validation set with the remainder (195 samples) to constitute the calibration set. This resulted in samples with a range of similarly distributed maturity to be present in both sets and additionally a wider range in the calibration set than the validation set.

For each predicted property, the calibration set was used to build a calibration model with the application of PLSR in the Unscrambler V9.8 program (Camo, Oslo, Norway). The optimal number of PLSR factors was determined by full cross validation with the calibration sample having the lowest standard error of cross validation (SECV). The calibration model was assessed for the performance based on the coefficient of determination (R^2) and SECV.

The prediction performance of the model was validated by comparison of the measured values and model prediction values. The statistics for the performance assessment were the coefficient of determination of calibration (R_c^2), standard error of calibration (SEC), coefficient of determination of prediction (R_p^2), standard error of prediction (SEP), bias and the standard deviation of reference values in the validation set divided by SEP (RPD, ratio of standard error of prediction to sample standard deviation). The most suitable models proved to be the highest R_p^2 , the lowest SEP and the highest RPD (Williams and Sobering, 1993).

3. Results and discussion

3.1. Change of properties with days after fruit set

3.1.1. Destructive properties

The maturity stages were defined as immature (23–27 DAFS), mature (28–30 DAFS) and over-mature (31–40 DAFS) in accordance with the days after fruit set (Merten, 2003). Although the mentioned maturity stages were established in regard to dragon fruit in the United States, they were used as guidelines for dragon fruit in this experiment as there were similarities in the property changes. TSS of dragon fruit promptly increased with DAFS from 5 °Brix to 13.3 °Brix during the immature stage as displayed in Fig. 1a. TSS continued to rise to 15.3 °Brix as the fruit was mature and further increased to 17.5 °Brix at over-mature stage before dropping. The results coincided with the fact that during fruit development there are changes in the concentration of soluble solids and a number of non-structural carbohydrate components of the pulp. With consistent variability of the TSS value with the maturity stages it appeared to be a quite acceptable indicator for maturity as suggested by Nerd et al. (1999). Dragon fruit grown in California was found to have the brix reading fall between 13% and 16% on average with the highest value of 20% for the red fleshed variety. However for most consumers, fruit with a brix reading in excess of 12% or 13% appears to be acceptable (Merten, 2003).

TA of dragon fruit tended to increase during 23rd to 26th DAFS and constantly decreased until entering the over-mature stage (Fig. 1a). The highest TA was less than 1% which accounts for the good flavor and sweetness in dragon fruit. This was well in accordance with the findings of Nerd et al. (1999). TSS/TA ratio defined as the taste score remained at about 20 °Brix/% in the immature stages and grew to 50 °Brix/% at the end of mature stage with a peak of 142 °Brix/%. The ratio of flesh to total weight of dragon fruit (WR or recovery) remained less than 40% for the first four days of the immature stage and continuously increased to about 80% through the mature and over-mature stages (Fig. 1b). The maximum WR value coincided with TSS/TA. During maturing, the thickness of peel reduced whereas the fruit weight enhanced (Chuachoochat and Babprasert, 1999).

The FRF and FLF of dragon fruits (i.e. slope of force deformation curve) showed similar changes. They remained constant for three days in the immature stage and started to decrease with maturation and remaining constant in the over-mature stage (Fig. 1c). The FRF of red dragon fruit was roughly 13 N/mm in the immature stage and dropped to about 5 N/mm during maturing before leveling off towards the end of the over-mature stage. On the other hand, the FLF of red dragon fruit varied in a range of 1.0–3.5 N/mm. The change of firmness occurred during the fruit-maturing period on the plant but was minimal after harvest. At about the same time as the FLF approached a minimum, eating quality as depicted by TSS/TA reached a maximum at 33–37 DAFS. Sugiyama et al. (2005) indicated that in most of the fruit and vegetables, firmness could be used as the key factor in the assessment of the commercial acceptance of the produce and the determination of firmness of horticultural produce by means of non-destructive methods is of prime importance.

3.1.2. Non-destructive properties

The specific weight of dragon fruits slightly increased during fruit development. Changes in sphericity of the fruit occurred in a similar sigmoid trend to the specific weight (Fig. 2a). The fruit length always exceeded and additionally increased at a faster rate than the fruit diameter (Nerd et al., 1999) and thus resulted in an oblong fruit shape (Merten, 2003).

Color value 'L' remained relatively constant along DAFS while color value 'a' changed from −5 (greenness) during the immature stage to 30 (redness) in the over-mature stage. Color value 'b' (yellowness) remained constant in the immature stage and slightly decreased during fruit-maturing before remaining constant in the over-mature stage (Fig. 2b). This coincided with a report that skin color of fruit started to change from 25 to 30 DAFS (Nerd et al., 1999; Merten, 2003). The red color of pitaya fruit was characterized by betacyanin, which was a class of water-soluble pigments (Le Bellec et al., 2006; Wybraniec et al., 2007). The development of pigments in red fleshed pitaya occurred analogous to changes in skin color (Merten, 2003). The light reflectance at a wavelength of 400–700 nm of red flesh dragon fruits exhibited different patterns with the stages of maturity (Fig. 2c). At around 550 nm higher reflectance was observed in the immature stage which was related to the green color of the peel. During maturing fruit peel color changed to red (Nerd et al., 1999). On the contrary, at around 680 nm, which was known as chlorophyll absorbance peak, the light reflectance increased from the mature to the over-mature stages.

3.2. Prediction of maturity of dragon fruit with the application of non-destructive properties

The properties of dragon fruits in both calibration and validation set varied from the immature to the over-mature stages as shown in Table 1. The PLSR models with the application

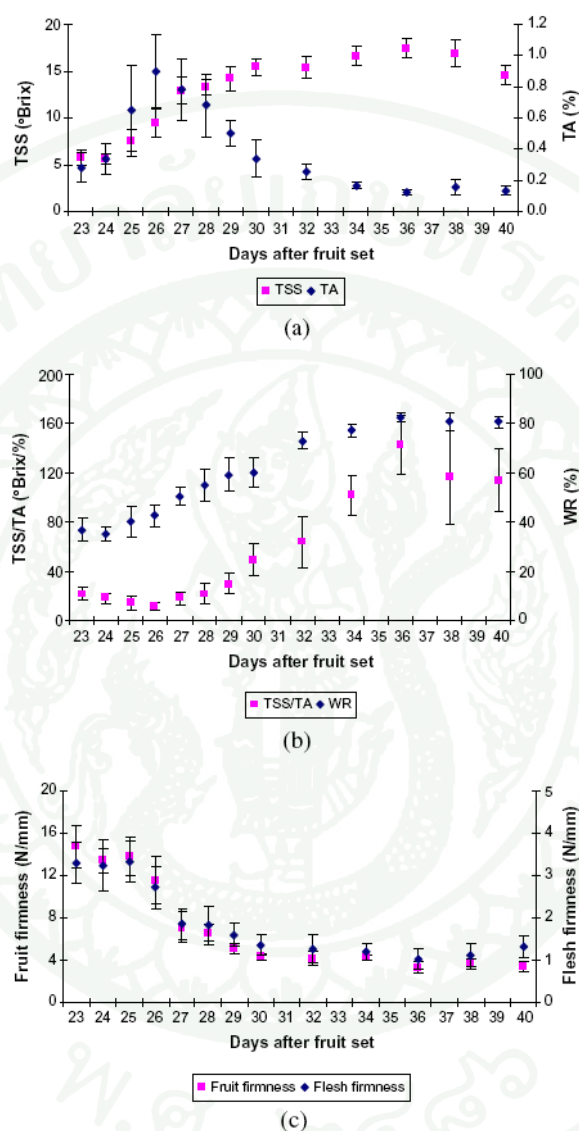


Fig. 1. Destructive properties of dragon fruits as related to days after fruit set (a) TSS and TA (b) TSS/TA ratio and wt. ratio (c) fruit and flesh firmness. (TSS: total soluble solids, TA: total acidity, WR: weight ratio of flesh to whole fruit).

of non-destructive parameters as the predictors were used to predict the destructive properties and DAFS. The results showed that the calibration model can predict DAFS with the largest RPD of 2.86 and R^2 , SEP and bias of 0.88, 1.85 and -0.008 , respectively (Table 2). Prediction of TA was the least accurate with a minimum RPD of 1.36. A partial explanation of this is that the change in TA was slight after a surge (Fig. 1a) prior to color change (Nerd et al., 1999).

For mechanical properties, the FRF prediction was better than the FLF as reflected in RPD values of 2.01 and 1.47, respectively

although both properties changed similarly with DAFS (Fig. 1c). The probable reason is that the FRF partially represented the peel characteristic which attributed to most of the variability in the non-destructive parameters.

The RPD value was one of the most frequently used measure for assessing the efficiency of NIR analysis. Efficient prediction was indicated by high value for RPD of at least 3 (Williams and Sobering, 1993). However all prediction models had RPD values of less than 3 (Table 2). Therefore these models could not be used to efficiently quantify the quality for sorting applications.

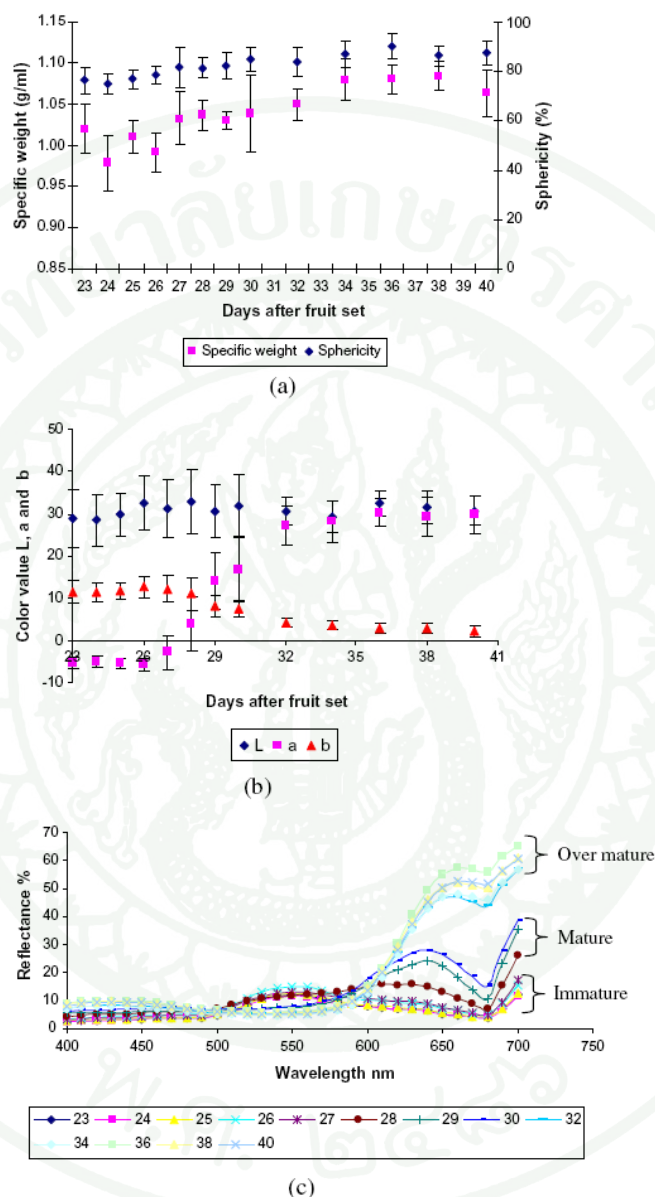


Fig. 2. Non-destructive properties of dragon fruits as related to days after fruit set (a) specific weight and sphericity (b) color value L, a and b and (c) light reflectance (immature: 23–27 days after fruit set (DAFS), Mature: 28–30 DAFS and over-mature: 31–40 DAFS).

3.3. Quality sorting index

As there are several predicted parameters for sorting the dragon fruit quality we next investigated a single parameter to quantify the quality sorting of red flesh dragon fruit.

Fig. 1 illustrates that destructive parameters accord with a change in dragon fruit maturity as represented by DAFS. Some of these destructive parameters were reliable indices for the maturity assessment. However, the implementation of only one of these parameters as a maturity index for the PLSR analysis was to

Table 1
Properties of dragon fruits in calibration and validation sets.

Properties	Unit	Calibration (n = 195)					Validation (n = 65)				
		Min	Max	Mean	SD	CV%	Min	Max	Mean	SD	CV%
Destructive parameters											
DAFS	Days	23.00	40.00	30.15	5.27	17.49	23.00	40.00	30.15	5.30	17.58
TSS	°Brix	4.20	18.48	12.79	4.27	33.41	5.20	18.48	13.07	4.39	33.58
TA	%	0.10	1.23	0.40	0.29	71.64	0.11	1.17	0.43	0.30	69.05
TSS/TA	°Brix/%	7.42	185.16	57.40	50.43	87.86	7.16	161.06	54.53	48.98	89.81
WR	%	27.73	85.12	59.25	17.93	30.27	32.47	83.52	59.99	17.02	28.36
FRF	N/mm	2.13	17.51	7.32	4.42	60.31	2.98	16.16	7.06	4.02	56.89
FLF	N/mm	0.65	4.33	1.90	0.91	48.00	0.75	3.72	1.94	0.78	40.38
Non-destructive parameters											
SW	g/ml	0.95	1.12	1.04	0.04	4.23	0.93	1.11	1.04	0.04	3.84
SPH	%	67.66	97.33	82.49	6.43	7.79	67.01	97.33	82.54	6.22	7.54
L	–	21.61	41.02	30.95	3.56	11.51	23.37	41.02	30.88	3.49	11.30
a	–	–7.12	35.12	12.37	15.66	126.53	–6.66	31.86	11.67	14.75	126.34
b	–	1.20	16.02	7.74	4.14	53.49	1.86	14.44	7.88	4.12	52.29

DAFS = days after fruit set; TSS = Total soluble solids; TA = Total acidity; WR = Weight ratio between flesh and the whole fruit; FRF = Fruit firmness represented by the slope of the force–deformation curve at 30% of the peak force; FLF = Flesh firmness; SW = Specific weight; SPH = Sphericity.

R^2_c = coefficient of determination of calibration.

R^2_p = coefficient of determination of prediction.

Table 2
PLSR models for prediction of destructive properties with non-destructive properties* of red flesh dragon fruits.

Prediction	Factors	Calibration (n = 195)		Validation (n = 65)			RPD
		R^2_c	SECV	R^2_p	SEP	Bias	
DAFS	3	0.88	1.83	0.88	1.85	–0.08	2.86
WR	1	0.86	6.76	0.83	6.96	–0.31	2.45
TSS	3	0.80	1.91	0.82	1.84	–0.24	2.38
TSS/TA	6	0.85	19.38	0.78	22.77	0.99	2.15
FRF	3	0.83	1.82	0.76	1.94	0.27	2.07
FLF	3	0.69	0.51	0.55	0.52	–0.05	1.50
TA	5	0.55	0.19	0.43	0.22	–0.02	1.36

DAFS = days after fruit set; TSS = total soluble solids; TA = total acidity; WR = weight ratio between flesh and the whole fruit; FRF = fruit firmness represented by the slope of the force–deformation curve at 30% of the peak force; FLF = flesh firmness. SECV = standard error of cross validation; SEP = Standard error of prediction; RPD = standard deviation of validation set divided by corresponding SEP.

R^2_c = coefficient of determination of calibration.

R^2_p = coefficient of determination of prediction.

* Non-destructive parameters including specific weight, sphericity, color L, a, and b and light reflectance from 400 to 700 nm.

disregard maturity related information of disparate destructive parameters. Thus a principal component analysis (PCA) was performed to transform DAFS and other destructive factors into a single parameter for maturity assessment. The PCA is a multivariate data analysis used to explain the variability of the original data with a few principal components (PCs). In PCA each parameter is weighed with the corresponding standard deviation to compensate for different scales of measurements.

The loading plot of PCA is displayed in Fig. 3. Principal component 1 (PC1) was found to capture 78% of the variability of DAFS and destructive parameters while PC2 accounted for 14% of inconsistencies. PC1 was subsequently used to represent the set of parameters measured at different maturity stages of dragon fruit and was hence designated as multivariate maturity index (MMI). The loading plot suggested that MMI (PC1) correlated with most of WR, DAFS and TSS (PC1 loading = –0.415, –0.406 and –0.400, respectively) but in a negative trend. The MMI incorporated the minimum variability of TA (PC1 loading = 0.253). The PCA results implied that the greater the MMI value, the lower the level of fruit maturity. Fig. 4 shows changes of the MMI over DAFS which is alike to the variations in FRF and FLF but is opposite to the changes in TSS.

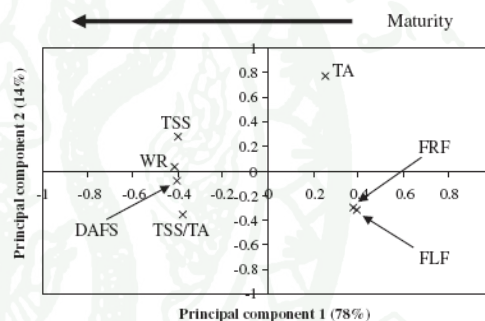


Fig. 3. Loading plot of destructive properties and DAFS of red flesh dragon fruits from principal component analysis showing relationship between initial properties and principal component 1 (PC1).

Further PLSR was performed to evaluate whether the MMI model would improve the prediction performance with the application of non-destructive parameters.

3.4. Prediction of multivariate maturity index

From Table 3, the non-destructive PLSR model for the prediction of the MMI (model No. 1) had the highest R^2_p of 0.92 with the SEP and bias of 0.65 and 0.003, respectively when predictors are SW, SPH, L, a, and b and reflectance from 400 to 700 nm. Moreover the RPD of 3.49 indicated a well improved performance of an efficient prediction. However this model was performed by the application of many non-destructive properties totaling 36 parameters.

The next step of investigation was to reduce the predictors because the large number of variables renders the sorting instrument complex. The measurement of a whole spectrum of light reflectance requires expensive instruments and makes the model overly elaborate. Thus simplified parameters of light reflectance, such as a combination of reflectance at each wavelength and a ratio in correlation with DAFS, was sought. After the analysis of all possible cases, it was found that the logarithm of reflectance ratio $\log(R680/R550)$ provided the best correlation. This can be partially explained by the fact that the reflectance at 550 nm is related to

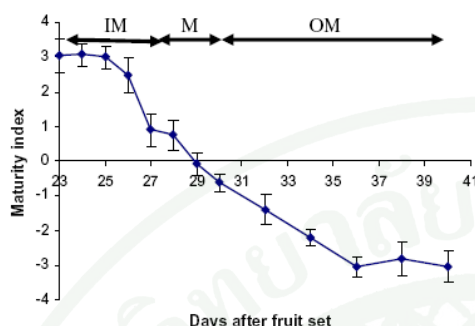


Fig. 4. Maturity index of red flesh dragon fruit as related to days after fruit set ($n = 260$) (IM = immature, M = mature, OM = over-mature).

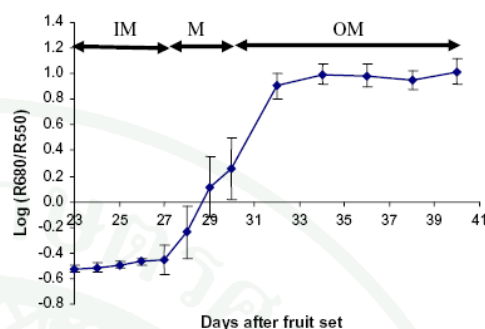


Fig. 5. Change of light reflectance ratio with days after fruit set (IM = immature, M = mature, OM = over-mature).

Table 3
Nondestructive PLSR models for prediction of multivariate maturity index of red flesh dragon fruits.

Model ^a	Factor	Calibration ($n = 165$)		Validation ($n = 65$)			RPD
		R^2_c	SECV	R^2_v	SEP	Bias	
1	3	0.92	0.68	0.92	0.65	0.003	3.49
2	1	0.91	0.70	0.91	0.70	-0.01	3.26
3	1	0.86	0.88	0.81	1.00	-0.08	2.28
4	1	0.89	0.79	0.89	0.74	0.05	3.08

^aModel 1: predictors including specific weight, sphericity, color value L , a , b and light reflectance from 400 to 700 nm.

Model 2: predictors including specific weight, sphericity, color value L , a , b and $\log(R680/R550)$.

Model 3: predictors including light reflectance from 400 to 700 nm.

Model 4: predictors including color value a , b and $\log(R680/R550)$.

the green color of the peel and the reflectance at 680 nm is associated with chlorophyll (Kramer and Smith, 1947). Therefore the $\log(R680/R550)$ signifies that by the standardization of each reflectance with at 550 nm, a change in chlorophyll (reflectance at 680 nm) becomes more distinct with DAFS. The logarithm of the reflectance ratio in addition linearizes the relationship.

Changes of light reflectance ratio in terms of $\log(R680/R550)$ with DAFS (Fig. 5) exhibited the same pattern; however converse values to the MMI (Fig. 4). The value was lower during the immature stage and higher during the over-mature stage. The light reflectance ratio in terms of $\log(R680/R550)$ was used instead of light reflectance from 400 to 700 nm. The new PLSR model was performed (model No. 2) with specific weight, sphericity, color L , a , and b and $\log(R680/R550)$ as predictors. The PLSR model incorporated $\log(R680/R550)$ instead of the whole spectrum and other non-destructive parameters (SW, SPH, L , a and b) showed a slight decrease in accuracy with RPD of 3.26 compared with RPD of 3.49 from the model based on the non-destructive parameters inclusive of the whole spectrum. The SEP was 0.70 with a -0.01 bias, whereas the RPD was 3.26. Although peel color change (hue angle) was shown to be accompanied by changes in TSS and TA, as reported by Nerd et al. (1999), as well as DAFS (Phebe et al., 2009) the PLSR model from light reflectance alone (Model Nos. 3 and 4 in Table 3) did not perform as well as the model with the combination of $\log(R680/R550)$ and other non-destructive parameters.

The scatter plots of reference and prediction quality index are shown with 36 parameters, model No. 1 (Fig. 6a) and with 6

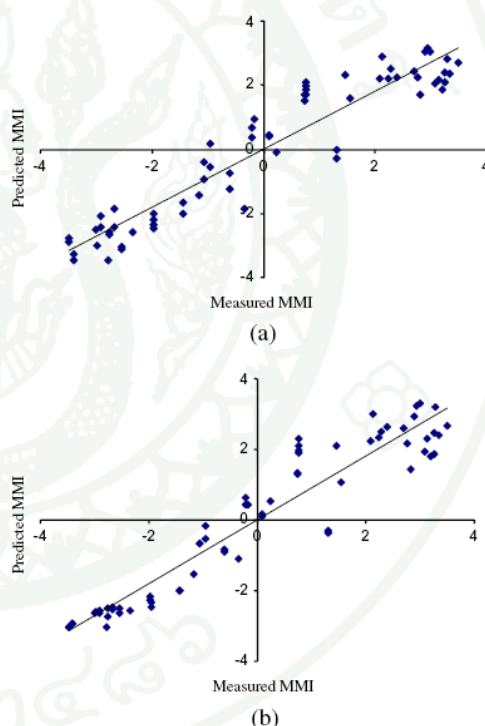


Fig. 6. Prediction on multivariate maturity index (MMI) of red flesh dragon fruit with scatter plot in model 1 (a) with nondestructive properties and light reflectance at 400–700 nm and model 2 (b) with non-destructive properties and $\log(R680/R550)$.

parameters, model No. 2 (Fig. 6b). The quality index prediction model with non-destructive parameters inclusive of SW, SPH, color L , a , and b and $\log(R680/R550)$ appeared to be an efficient predictor.

4. Conclusion

Non-destructive parameters could be used to predict the maturity indices of red flesh dragon fruit such as DAFS, TSS, TA, TSS/TA and WR with relatively high levels of accuracy based on PLSR. However with MMI (a multivariate maturity index) created from the original destructive parameters and DAFS by PCA, the prediction performance was improved. A simplified PLSR model was created with the application of log (R680/R550) in place of the whole spectrum of light reflectance) and non-destructive parameters which resulted in a comparably accurate prediction of MMI.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, Postharvest Technology Innovation Center (PHTIC), Postgraduate Education and Research Development Office, Special Research Unit for Postharvest Engineering, Processing and Packaging of Fruit under Kasetsart University Research and Development Institute Thailand and Center of Excellence on Food and Agricultural Machinery for their supports of this research. Finally we would like to dedicate this work to late Professor Bundit Jarimopas.

References

- ASAE Standards, 1998. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE 368.2 Mar. 95 American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, East Lansing, MI, USA, pp. 554–559.
- Chuachoochat, P., Babpraser, C., 1999. A Study on Fruit Growth and Development of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok (in Thai with English abstract).
- Grimaldo-Juarez, O., Terrazas, T., Garcia-Velasquez, A., Cruz-Villagas, M., Ponce-Medina, J.F., 2007. Morphometric analysis of 21 pitaya (*Hylocereus undatus*) genotypes. Journal of the Professional Association for Cactus Development 9, 99–117.
- Hoa, T.T., Clark, C.J., Waddell, B.C., Woolf, A.B., 2006. Postharvest quality of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) following disinfecting hot air treatments. Postharvest Biology and Technology 41 (1), 62–69.
- Jarimopas, B., Kittawee, U., 2007. Firmness properties of mango. International Journal of Food Property 10 (4), 899–909.
- Jarimopas, B., Pushpakrishna, P., Singh, S.P., 2008. Postharvest damages of mangosteen and quality grading using mechanical and optical properties as indicators. Journal of Testing and Evaluation 36 (2), 1–7.
- Jha, S.N., Chopra, S., Kingsly, A.R.P., 2005. Determination of sweetness of intact mango using visual spectral analysis. Biosystems Engineering 91 (2), 157–161.
- Kato, K., 1997. Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon. Journal of Agricultural Engineering Research 67 (2), 161–170.
- Ketsa, S., Daengkanit, T., 1999. Firmness and activities of poly galacturonase, pectinesterase, β -galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stages of maturity. Scientific Horticulture 80, 181–188.
- Kramer, A., Smith, H.R., 1947. Electrophotometric methods for measuring ripeness and color of canned peaches and apricots. Food Technology 1, 527–539.
- Le Bellec, F., Vaillant, F., Imbert, E., 2006. Pitaya (*Hylocereus* spp.): a new crop, a market with a future. Fruits 61 (4), 237–250.
- Mohsenin, N.N., 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Mercado-Silva, E., Benito-Bautista, P., Garcia-Velasco, M.A., 1998. Fruit development, harvest index and ripening changes of guava produced in central Mexico. Postharvest Biology and Technology 13 (2), 143–150.
- Merten, S., 2003. A review of *Hylocereus* production in the United States. Journal of the Professional Association for Cactus Development 5, 98–105.
- Nerd, A., Mizrahi, Y., 1997. Reproductive biology of fruit cacti. Horticulture Review 18, 322–346.
- Nerd, A., Gutman, F., Mizrahi, Y., 1999. Ripening and postharvest behavior of fruit of two *Hylocereus* species (Cactaceae). Postharvest Biology and Technology 17 (1), 39–45.
- Peleg, K., 1985. Produce Handling, Packaging and Distribution. AVI Pub. Co. Inc., Connecticut.
- Phebe, D., Chew, M.K., Suraini, A.A., Lai, O.M., Janna, O.A., 2009. Red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruit color and betanin content depend on maturity. International Food Research Journal 16 (2), 233–242.
- Saranwong, S., Somsrivichai, J., Kawano, S., 2004. Prediction of rope-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. Postharvest Biology and Technology 31 (2), 137–145.
- Somsrivichai, J., Podde, R., Saengnil, K., Yantarasi, T., 1999. Nondestructive method for sorting of gamboges and translucent pulp in mangosteen by specific gravity: precision and efficiency. In: Johnson, G.L., Le, V.T., Nguyen, D.D., Webb, M.C. (Eds.), ACIAR Proceedings 100: Quality Assurance in Agricultural Produce, pp. 158–163.
- Subhadrabandhu, S., Ketsa, S., 2001. Durian, King of Tropical Fruit. Daphne Brasell Associates, Thordon, Wellington, New Zealand.
- Sugiyama, J., Al-Haq, M.I., Tsuta, M., 2005. Application of portable acoustic firmness tester for fruits. In: Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production. FRUITIC 05, Montpellier France.
- Takao, H., Ohmori, S., 1994. Development of a device for nondestructive evaluation of fruit firmness. Japan Agricultural Research Quarterly 28 (1), 36–43.
- Wang, J., Gomez, A.H., Pereira, A.G., 2006. Acoustic impulse response for measuring the firmness of mandarin during storage. Journal of Food Quality 29 (4), 392–404.
- Wang, J., Ying, T.J., Cheng, K.C., 2007. Evaluation of pear firmness by dynamic characteristics of drop impact. Journal of the Science of Food and Agriculture 87 (8), 1449–1454.
- Wanitchang, J., Jarimopas, B., 2008. Firmness and light reflectance properties of dragon fruits. In: Proceeding of the Ninth National Conference of Thai Society of Agricultural Engineering on Technology for Sustainable Agriculture and Agro-industry, Chiangmai, Thailand.
- Williams, P.C., Sobering, D.C., 1993. Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. Journal of Near Infrared Spectroscopy 1, 25–32.
- Wybraniec, S., Nowak-Wydra, B., Mitka, K., Kowalski, P., Mizrahi, Y., 2007. Minor betanins in fruits of *Hylocereus* species. Phytochemistry 68, 251–259.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นาง ใจทิพย์ วานิชชัง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	28 มิถุนายน 2499
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วท.ม. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ MSc. (Agricultural Engineering) Asian Institutes of Technology
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-