



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)

ปริญญา

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง สมบัติทางกายภาพ ทางกล สรีรวิทยา และแสงที่มีผลต่อการสุกแก่ของมะม่วงไทย

Physical, Mechanical, Physiological and Optical Properties of Thai Mango as
Related to Maturity

نامผู้วิจัย นายผดุงศักดิ์ วานิชชัง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์สายชล เกตุษา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทจี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สมบัติทางกายภาพ ทางกล สรีรวิทยา และแสงที่มีผลต่อการสุกแก่ของมะม่วงไทย

Physical, Mechanical, Physiological and Optical Properties of Thai Mango as Related to Maturity

โดย

นายผดุงศักดิ์ วานิชชัง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)

พ.ศ. ๒๕๕๔

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผดุงศักดิ์ วานิชชัง 2554: สมบัติทางกายภาพ ทางกล สรีรวิทยา และแสงที่มีผลต่อการสุก
แก่ของมะม่วงไทย ปริญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) สาขา
เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.
287 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยา และแสง ที่มี
ผลต่อการสุกแก่ของมะม่วง 4 สายพันธุ์ คือ น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ เขียวเสวย และมหาชนก เพื่อ
สร้างสมการในการทำนายการสุกแก่ของมะม่วง และเพื่อสร้างสมการในการคัดแยกมะม่วงเป็น
กลุ่มการสุกแก่โดยใช้สมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยา และแสง

จากการศึกษาพบว่า สมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยา และแสงของมะม่วง
เปลี่ยนแปลงตามวันหลังติดผล ในปีแรกใช้มะม่วง 4 พันธุ์ วิเคราะห์โดยใช้ PLSR และ
Discriminant Analysis ใช้สมบัติแบบไม่ทำลายเป็นตัวทำนายความสุกแก่ของมะม่วงเป็น 3 กลุ่ม
คือ Immature, Mature และ Overmature สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงทั้ง 4 พันธุ์ได้ถูกต้อง
มากกว่า 80% ในปีที่สองใช้มะม่วง 2 พันธุ์คือ น้ำดอกไม้ และ โชคอนันต์ วิเคราะห์ Discriminant
โดยใช้ตัวทำนายสมบัติแบบไม่ทำลายทั้ง 5 โมเดลในการทำนายสมบัติแบบทำลายที่แบ่งเป็น 3
ระยะการสุกแก่ สามารถทำนายมะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ได้ถูกต้องมากที่สุด คือ 95 และ 94.3 %
ตามลำดับ ขณะที่การวิเคราะห์ Discriminant โดยใช้ตัวทำนายสมบัติแบบไม่ทำลาย 36 ตัวแปร
ทำนายความสุกแก่ของมะม่วงที่แบ่งเป็น 4 กลุ่มโดยใช้ Cluster Analysis และวันหลังติดผล
สามารถทำนายความสุกแก่ของมะม่วงทั้งสองพันธุ์ที่แบ่งเป็น 4 กลุ่มได้ถูกต้อง 84.3 และ 93.3%
ตามลำดับ และเมื่อลดตัวแปรลงเหลือ 35 ตัว สามารถทำนายได้ถูกต้อง 84.0 และ 89.0%
ตามลำดับ ตัวแปรแบบไม่ทำลายที่สามารถใช้ทำนายมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีที่สุด คือ น้ำหนัก
จำเพาะ ขนาด ความกลม และอัตราส่วน R640/R530 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ คือ น้ำหนักจำเพาะ
ขนาด ความกลม ค่าดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก และค่าดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะ
เสียง โดยสมบัติแบบไม่ทำลายนี้สามารถนำไปพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดการสุกแก่ของมะม่วงได้

Padungsak Wanitchang 2011: Physical, Mechanical, Physiological and Optical Properties of Thai Mango as Related to Maturity. Doctor of Philosophy (Postharvest Technology), Major Field: Postharvest Technology, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Anupun Terdwongworakul, Ph.D. 287 pages.

The objective of this research was to investigate the physical, mechanical, physiological and optical properties of 4 Thai mangoes included Nam Dokmai, Chok Anan, Maha Chanok and Keiw Savoey cultivars as related to maturity. To formulate the mango maturity and to classify mango fruit according to the maturity stage by using the physical, mechanical, physiological and optical properties.

The study revealed that the physical, mechanical, physiological and optical properties were related to days after fruit set. In the first year of study 4 mangoes cultivar were used. The PLSR and discriminant analysis using nondestructive properties to classify the maturity in 3 stages as Immature, Mature and Overmature. The discriminant analysis showed %correctly classified more than 80. In the second year of study 2 mangoes cultivar were used: Nam Dokmai and Chok Anan. The discriminant analysis using 5 models of nondestructive properties to classify the maturity in 3 stages. The result showed highest %correctly classified as 95 and 94.3, respectively. The reduction of parameter decrease % correctly classification. The cluster analysis using nondestructive properties to classify the maturity in 4 stages. The discriminant analysis using 36 parameter of nondestructive properties can be classify the maturity in 4 stages as 84.3 and 93.3 %correctly classified, respectively. After reduced SG gave nearly the same results with 84.0 and 89.0% correctly classified, respectively. The best applicable nondestructive parameter of Nam Dokmai were SG, size, sphericity and R640/R530. While, Chok Anan were SG, size, sphericity, impact firmness index and acoustic firmness index. These nondestructive properties can be used in the modification of the maturity devices for mango.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบชี้แนะแนวทาง และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และ Professor Dr.Pictiaw Chen กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อแนะนำต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และข้าพเจ้าขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูง แก่ ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จริโมภาส ผู้ล่งลับ ซึ่งได้กรุณาชี้แนะทาง ให้ความรู้ ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์วิชา หมั่นทำการ ประธานการสอบและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนธิสุข ธีรชัยชยดี ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และโครงการพัฒนานักศึกษาศึกษา และวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสับสนุนทุนการศึกษา และงบประมาณวิจัย

ขอขอบคุณทุกๆท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่ช่วยสนับสนุนให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผดุงศักดิ์ วานิชชัง

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	46
อุปกรณ์	46
วิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	60
สรุป	246
ข้อเสนอแนะ	249
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	250
ภาคผนวก	260
ภาคผนวก ก มาตรฐานมะม่วงของประเทศไทย	261
ภาคผนวก ข การผลิตมะม่วงอย่างถูกต้องและเหมาะสม	266
ภาคผนวก ค มาตรฐานผักผลไม้และอาหารที่ตลาดต้องการ	271
ภาคผนวก ง บทความดีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ	278
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	287

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล 77-115 วัน	61
2	สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล 77-115 วัน	63
3	สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล 77-115 วัน	65
4	ค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล 77-115 วัน	67
5	สมบัติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เป็น Destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation	70
6	สมบัติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เป็น Non destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation	71
7	ค่าทางสถิติของ PLSR models ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สำหรับทำนายสมบัติที่เป็น Destructive parameter ด้วยสมบัติที่เป็น Non destructive properties	72
8	สมบัติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จำแนกตามความสุกแก่	74
9	Eigenvalues ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม	74
10	Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม	75
11	Classifications Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม	76
12	Classification result ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม	77
13	สมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล 71-109 วัน	78
14	สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล 71-109 วัน	80
15	สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล 71-109 วัน	82
16	ค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล 71-109 วัน	84
17	สมบัติของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เป็น Destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation	87
18	สมบัติของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เป็น Non destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ค่าทางสถิติของ PLSR models ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์สำหรับทำนายสมบัติที่เป็น Destructive parameter ด้วยสมบัติที่เป็น Non destructive properties	89
20	สมบัติของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์จำแนกตามความสุกแก่	91
21	Eigenvalues ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม	91
22	Structure matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม	92
23	Classification Function Coefficients* ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม	93
24	Classification result ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม	94
25	สมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล 93-125 วัน	95
26	สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล 93-125 วัน	97
27	สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล 93-125 วัน	99
28	ค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล 93-131 วัน	101
29	สมบัติของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่เป็น Destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation	104
30	สมบัติของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่เป็น Non destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation	105
31	ค่าทางสถิติของ PLSR models ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกสำหรับทำนายสมบัติที่เป็น Destructive parameter ด้วยสมบัติที่เป็น Non destructive properties	106
32	สมบัติของมะม่วงพันธุ์มหาชนกจำแนกตามความสุกแก่	108
33	Eigenvalues ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็น 3 กลุ่ม	108
34	Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็น 3 กลุ่ม	109
35	Classifications Function Coefficient* ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็น 3 กลุ่ม	110
36	Classification result ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็น 3 กลุ่ม	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
37	สมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล 77-111 วัน	112
38	สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล 77-111 วัน	114
39	สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล 77-111 วัน	116
40	ค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล 77-111 วัน	118
41	สมบัติของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่เป็น Destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation	121
42	สมบัติของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่เป็น Non destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation	121
43	ค่าทางสถิติของ PLSR models ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยสำหรับทำนายสมบัติที่เป็น Destructive parameter ด้วยสมบัติที่เป็น Non destructive properties	123
44	สมบัติของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยจำแนกตามความสุกแก่	124
45	Eigenvalues ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม	125
46	Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม	125
47	Classifications Function Coefficient* ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเป็น 3กลุ่ม	126
48	Classification result ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม	128
49	ค่า TSS, TA และ TSS/TA ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	131
50	ค่า SG, Size และ Sphericity ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	133
51	ค่า Compression Firmness ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	135
52	ค่า Impact index Firmness ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	138
53	ค่า Acoustic index Firmness ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	141
54	ค่า L, a และ b ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	144
55	สมบัติของมะม่วงที่ใช้ในการทำนายคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ในปีที่สอง	147

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
56	ระยะเวลาและจำนวนผลมะม่วงเมื่อแบ่งกลุ่มตามความแก่เป็น 3 กลุ่มตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	147
57	Destructive propertiesของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และวันหลังติดผลเมื่อแบ่งเป็น 3 กลุ่มในปีที่สอง	148
58	Non destructive properties ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อแบ่งเป็น 3 กลุ่มในปีที่สอง	150
59	เปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มในปีที่สอง	152
60	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในModel 1*	153
61	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในModel 1	154
62	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในModel 1	156
63	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในModel 1	157
64	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในModel 2*	158
65	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในModel 2	159
66	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในModel 2	160
67	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในModel 2	161

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
68	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*	162
69	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3	163
70	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3	164
71	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3	165
72	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*	166
73	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4	167
74	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4	167
75	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4	169
76	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*	170
77	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5	171
78	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5	173
79	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5	174

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
80	เปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ เป็น 3 กลุ่ม ใน Models ต่างๆ	176
81	แสดงจำนวนผลของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จากการแบ่งกลุ่มตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้ Cluster Analysis จากสมบัติที่เป็น Destructives และวันหลังติดผล	179
82	ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 36 ตัวแปร จำแนกตามวิธีการแบ่งกลุ่ม	182
83	ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 35 ตัวแปร	186
84	Eigenvalue ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis (Model _C) TSS, TA, DAFS	187
85	Structure matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis (Model _C) TSS, TA, DAFS	188
86	Classification function* coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis (Model _C) TSS, TA, DAFS	189
87	ค่า Compression Firmness ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	192
88	ค่า Impact Firmness index ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	194
89	ค่า Acoustic Firmness index ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	197
90	ค่า SG, Size และ Sphericity ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	199
91	ค่า TSS, TA และ TSS/TA ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	202
92	ค่า L, a และ b ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	205
93	สมบัติของมะม่วงที่ใช้ในการทำนายคุณภาพของมะม่วงโชคอนันต์ในปีที่สอง	208
94	ระยะเวลาและจำนวนผลมะม่วงเมื่อแบ่งกลุ่มตามความแก่เป็น 3 กลุ่มตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	208

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
95	Destructive propertiesของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์และวันหลังติดผลเมื่อแบ่งเป็น 3 กลุ่มในปีที่สอง	209
96	เปรียบเทียบค่า Eigenvalue ของ function 1 และ % correctly classified ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม	210
97	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*	211
98	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*	212
99	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*	213
100	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*	215
101	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*	216
102	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*	217
103	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*	218
104	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*	219
105	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*	220
106	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*	221

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
107	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*	222
108	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*	223
109	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*	224
110	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*	224
111	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*	225
112	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*	226
102	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*	217
113	ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*	227
114	ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5	229
115	ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*	230
116	Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*	231
117	เปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่มใน Models ต่างๆ	233

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
118	แสดงจำนวนผลของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์จากการแบ่งกลุ่มตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้ Cluster Analysis จากสมบัติที่เป็น Destructives และวันหลังติดผล	235
119	ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 36 ตัวแปร จำแนกตามวิธีการแบ่งกลุ่ม	238
120	ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 35 ตัวแปร	242
121	Eigenvalue ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis (CA_L)	243
122	Structure matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis (Model _C)	244
123	Classification function* coefficientsของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis (Model _C)	245

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การติดป้ายช่อดอกเพื่อนับอายุการเก็บเกี่ยวมะม่วงในสวนของเกษตรกร	48
2	การวัดขนาด และน้ำหนักจำเพาะของมะม่วงด้วยการแทนที่น้ำ	50
3	การวัดค่าระดับสี L, a, b โดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer Hunter Color Flex 450)	51
4	การวัดหาความถี่ต้นพ้องโดยการเคาะผลมะม่วง	52
5	การวัดหาความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดแรงกระแทกแบบมวลเบา	53
6	การวัดหาความแน่นเนื้อเครื่องวัดแรงกด(Universal Testing Machine Lloyd EZ 20)	54
7	การวัดหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ TSS ด้วยเครื่อง Refractometer	55
8	การตรวจวัดค่า TA โดยวิธีการไตเตรทน้ำคั้นจากผลมะม่วง ด้วย 0.1 N NaOH	56
9	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล	62
10	การเปลี่ยนแปลงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล	64
11	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล	66
12	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล	68
13	ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล	69
14	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล	79
15	การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล	81
16	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล	83
17	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล	85
18	ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล	96
20	การเปลี่ยนแปลงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล	98
21	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล	100
22	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล	102
23	ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ของมะม่วงพันธุ์มหาชนก ตามวันหลังติดผล	103
24	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล	113
25	การเปลี่ยนแปลงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล	115
26	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล	117
27	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล	119
28	ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย	119
29	ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อายุ 77, 99 และ 111 วันหลังติดผล	129
30	ค่า TSS, TA และ TSS/TA ratio ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	132
31	ค่า SG, Size และ Sphericity ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	134
32	ค่า Fruit firmness ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	137
33	ค่า Impact index firmness ที่ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	139
34	ค่า Fruit firmness (Acoustic index) ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในปีที่สอง	142
35	ค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	145
36	ค่า Visible Spectrum ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	145
37	ค่าอัตราส่วน R640/R530 ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	146
38	ผลมะม่วงโชคอนันต์ที่อายุ 69, 91 และ 99 วันหลังติดผลในปีที่สอง	190

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
39	ค่า Fruit firmness ของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	193
40	ค่า Fruit firmness (Impact index) ที่ตำแหน่งต่างๆของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	195
41	ค่า Fruit firmness (Acoustics index) ที่ตำแหน่งต่างๆของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	197
42	ค่า SG, Size และ Sphericity ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	200
43	การเปลี่ยนแปลงค่า TSS, TA และ TSS/TA ratio ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	203
44	การเปลี่ยนค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	206
45	Visible spectrum ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ช่วง 400-700 นาโนเมตรในปีที่สอง	206
46	Reflectance ratio (R640/R530) ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง	207

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

L	=	lightness axis in Hunter L, a, b color scale
a	=	redness–greenness coordinate in Hunter L, a, b color scale
b	=	yellowness–blueness coordinate in Hunter L, a, b color scale
R	=	diffuse reflectance
DAFS	=	days after fruit set
SPHERE	=	sphericity
SG	=	specific gravity
A	=	the maximum acceleration of impact response (mm/s^2)
t	=	the time taken from a change in acceleration to the maximum acceleration of impact response (s)
TA	=	total acidity (%)
TSS	=	total soluble solids (_Brix)
FC	=	compression firmness at center
AC_C	=	acoustic Firmness index at center
IM_C	=	impact Firmness index at center

สมบัติทางกายภาพ ทางกล สรีรวิทยา และแสงที่มีผลต่อการสุกแก่ของมะม่วงไทย

Physical, Mechanical, Physiological and Optical Properties of Thai Mango as Related to Maturity

คำนำ

มะม่วงเป็นผลไม้เมืองร้อนที่มีความสำคัญและเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. ประเทศไทยปลูกมะม่วงมานานและมีพันธุ์ปลูกมากกว่า 100 พันธุ์ มะม่วงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้ดี ปลูกได้เกือบทั้งประเทศ จึงเป็นผลไม้ที่มีผู้นิยมปลูกและรับประทานมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2551 ประเทศไทยมีพื้นที่ให้ผลผลิต 1,906,960 ไร่ และมีผลผลิต 2,374,165 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตรายย่อยในแถบภูมิภาคเอเชีย ประเทศไทยส่งออกมะม่วงไปยังต่างประเทศปีละประมาณ 15 ล้านเหรียญสหรัฐ โดยส่งออกในรูปแบบของมะม่วงสดและแช่แข็ง มะม่วงกระป๋อง น้ำมะม่วง และมะม่วงแปรรูปอื่นๆ เช่น มะม่วงกวน อบแห้ง มะม่วงดอง ตลาดส่งออกหลักของมะม่วงสดและแช่แข็งคือ มาเลเซีย ญี่ปุ่น สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา และฮ่องกง ส่วนมะม่วงกระป๋องมีตลาดส่งออกหลัก คือ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย สหราชอาณาจักร เยอรมนี และเนเธอร์แลนด์ ประเทศคู่แข่งในการส่งออกที่สำคัญของไทยสำหรับมะม่วงสด คือ ฟิลิปปินส์ เม็กซิโก ออสเตรเลีย ไต้หวัน และสหรัฐอเมริกา ปัญหาสำคัญในการส่งออกคือ คุณภาพของมะม่วง การบริโภคมะม่วงภายในประเทศ สามารถทำได้ทั้งในรูปผลสด ผลสุก และมะม่วงแปรรูปทั้งในรูปแบบมะม่วงหมักดอง แช่อิ่ม และน้ำผลไม้ คุณภาพด้านรสชาติ ลักษณะปรากฏทางกายภาพ และอายุการเก็บมีผลมาจากความแก่ขณะทำการเก็บเกี่ยว เมื่อทำการเก็บเกี่ยวมะม่วงก่อนที่จะแก่จะมีผลทำให้การสุกไม่สม่ำเสมอ อาจแสดงอาการเหี่ยว และมีระดับความหวานต่ำ การบ่มมะม่วงที่ยังแก่ไม่เพียงพอเพื่อทำให้สุกโดยใช้เอทิลีน หรือ อเซทิลีน ไม่สามารถทำให้การสุกสมบูรณ์ทั้งในส่วนของคน กิ่งเนื้อ และรสชาติ ในทางตรงกันข้ามการเก็บเกี่ยวมะม่วงช้าจนมะม่วงแก่เกินไปจะทำให้อายุในการเก็บรักษาลดลงและอาจถูกเข้าทำลายโดยแมลงและเชื้อโรค โดยทั่วไปมะม่วงจะทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะความแก่ทางสรีรศาสตร์ เพื่อให้ได้รับคุณภาพที่เหมาะสม ปกติการเก็บเกี่ยวจะเริ่มขึ้นเมื่อสังเกตเห็นมีมะม่วงจำนวนหนึ่งเริ่มสุกและเริ่มมีการร่วงหล่น (Kalra et al., 1995)

ลักษณะทางกายภาพ เช่น สีผิวเปลือก รูปร่าง ขนาด และการขยายของไหลผล บางครั้งก็มีการกำหนดความแก่ของมะม่วงโดยใช้น้ำหนักจำเพาะ (Tandon *et al.*, 1988) และความแน่นเนื้อ จะมีความสัมพันธ์กับการแก่ของมะม่วง (Samson, 1980) แต่การวัดด้วยวิธีการดังกล่าวก็ยังไม่มีความแม่นยำในการกำหนดการแก่ของมะม่วง (Tandon *et al.*, 1983, 1986) สมบัติทางเคมีบางประการ เช่น ค่าความหวาน ความเป็นกรด ปริมาณแป้ง สารประกอบยางสังเคราะห์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ และน้ำหนักแห้ง ก็ถูกนำมาใช้ในการกำหนดการแก่ของมะม่วง (Jha *et al.*, 2006) มะม่วงที่มีค่าความหวานสูงกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ (Rameshwar, 1993) และค่าความเป็นกรดประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จะถือว่ามะม่วงมีการสุกแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้แล้ว แต่อย่างไรก็ตามผู้บริโภคส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญของคุณภาพ น้ำหนัก และกลิ่นรสเป็นตัวชี้การแก่ซึ่งมักจะมีการผิดพลาดเกิดขึ้นได้ (Jha, and Masuoka, 2000) การใช้สมบัติทางเคมีต้องมีการทำลายผลผลิต ต้องใช้เวลาในการตรวจวัด และยังมีค่าใช้จ่ายสูงด้วย นอกจากนี้ยังต้องอาศัยความชำนาญของผู้ตรวจวัด ถ้าหากผู้ตรวจวัด ไม่มีความชำนาญหรือไม่ตั้งใจก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่ายซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายตามมา ชาวสวนมะม่วงในภาคตะวันออกของประเทศไทยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ นวล สีเปลือก และ รูปร่างของผลมะม่วงเป็นตัวชี้วัดความสุกแก่ของมะม่วง (ผดุงศักดิ์, 2549) ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่ายเพราะยังต้องอาศัยคนที่มีความชำนาญในการทำงาน ผลจากการเก็บเกี่ยวผิดพลาดจะทำให้ต้องมีการคัดแยกมะม่วงที่ยังแก่ไม่เพียงพอออกไป ซึ่งนอกจากจะสูญเสียมะม่วง ยังต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่าย รวมทั้งสูญเสียความน่าเชื่อถือ และการยอมรับจากลูกค้า จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาการประยุกต์ใช้สมบัติแบบไม่ทำลายที่เป็นทางกายภาพ ทางกล และเชิงแสง ในการทำนายความแก่ของมะม่วง ผลจากการวิจัยครั้งนี้ จะได้ความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆของมะม่วงทั้งที่ต้องทำลายและไม่ต้องทำลายผลผลิต ได้สมบัติที่มีความเหมาะสมในการนำมาทำนายการสุกแก่ของมะม่วงเพื่อนำข้อมูลไปสู่การประยุกต์ ออกแบบเครื่องมือตรวจวัดการแก่ของมะม่วงโดยไม่ทำลายผลผลิต ซึ่งจะใช้เวลาน้อยลงและมีความสะดวกในการวัด ไม่จำเป็นต้องใช้คนที่มีความชำนาญสูงในการตรวจวัด ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับทั้งเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วง ผู้จัดจำหน่าย และผู้ส่งออก ที่จะสามารถตรวจสอบคุณภาพได้อย่างถูกต้องเหมาะสมก็จะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพผลไม้ในประเทศไทยให้สูงขึ้น สามารถลดการสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวซึ่งจะส่งผลให้ยกระดับการผลิตเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีผลตอบแทนสูงขึ้น อันจะส่งผลให้เกษตรกรผู้ผลิตมะม่วงและผลไม้มีรายได้จากการผลิตทางการเกษตรมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยา และแสง ที่สัมพันธ์ต่อการสึกแ่งของมะม่วง 4 สายพันธุ์ คือ น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ เขียวเสวย และมหาชนก
2. เพื่อสร้างสมการในการทำนายการสึกแ่งของมะม่วงโดยใช้สมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยา และแสง
3. เพื่อสร้างสมการในการคัดแยกมะม่วงเป็นกลุ่มการสึกแ่งโดยใช้สมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยา และแสง

การตรวจเอกสาร

มะม่วงเป็นผลไม้เมืองร้อนที่มีความสำคัญและเป็นที่ต้องการสูงมากในตลาดโลกและได้รับความสนใจในการปลูกทั้งในเขตร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. ผลผลิตมะม่วงในโลกในปี ค.ศ. 2004 มีปริมาณถึง 26.5×10^6 ตัน (FAOSTAT, 2005) ประเทศไทยปลูกมะม่วงมานานและมีพันธุ์ปลูกมากกว่า 100 พันธุ์ มะม่วงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้ดี ปลูกได้เกือบทั่วประเทศ จึงเป็นผลไม้ที่มีผู้นิยมปลูกและรับประทานมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย ประเทศไทยมีเนื้อที่ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2549-2551 จาก 1,765,423 ไร่ เป็น 1,906,960 ไร่ และมีผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 2,093,223 ตัน เป็น 2,374,165 ตัน โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตรายย่อยในแถบภูมิภาคเอเชีย ใช้บริโภคในประเทศร้อยละ 98 ในรูปผลสด ในปี พ.ศ. 2550 มีมูลค่าส่งออกกว่า 1,000 ล้านบาท มะม่วงส่วนที่เป็นการค้าของโลกในปี 2551 มีประมาณ 1,081 ล้านบาท ประเทศไทยมีส่วนแบ่งในตลาดโลก 4.02 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการใช้ในประเทศ 2,672 ล้านบาท มีการส่งออกรวม 41,617 ตันสด โดยแบ่งเป็นมะม่วงสด 15,476 ตัน มูลค่า 357 ล้านบาท มะม่วงกระป๋อง 17,210 ตัน มูลค่า 666 ล้านบาท มะม่วงอบแห้ง 587 ตัน มูลค่า 270 ล้านบาท และมะม่วงแช่แข็ง 3,061 ตัน มูลค่า 270 ล้านบาท ตลาดส่งออกหลักของมะม่วงสดคือ ญี่ปุ่น มาเลเซีย และเกาหลี ส่วนมะม่วงกระป๋องมีตลาดส่งออกหลัก คือ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย สหราชอาณาจักร เยอรมนี และสหรัฐอเมริกา มะม่วงอบแห้งมีตลาดส่งออกหลักคือสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น มะม่วงแช่แข็งมีตลาดส่งออกหลัก คือ ญี่ปุ่น และเนเธอร์แลนด์ ประเทศคู่แข่งในการส่งออกที่สำคัญของไทยสำหรับมะม่วงสด คือ ฟิลิปปินส์ และอินเดีย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552)

มะม่วงในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ สามารถแบ่งตามลักษณะการนำมารับประทานได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ มะม่วงสำหรับรับประทานผลดิบ เช่น พันธุ์พิมเสนมัน แรด เขียวเสวย หนองแขง ฟาลัน เป็นต้น มะม่วงสำหรับรับประทานผลสุก เช่น พันธุ์อกร่อง อกร่องพิกุลทอง น้ำดอกไม้ หนังกกลางวัน ทองคำ เป็นต้น และมะม่วงที่ปลูกเพื่อการแปรรูปเป็นมะม่วงดอง มะม่วงบรรจุกระป๋อง น้ำมะม่วงคั้น มะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงแห้ง เช่น แก้ว สามปี โชคอนันต์ และมหาชนก เป็นต้น โดยทั่วไปมะม่วงจะออกดอกติดผลในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ยกเว้นพันธุ์มะม่วงทะวายที่สามารถติดผลนอกฤดูการปกติ มะม่วงน้ำดอกไม้ เป็นมะม่วงประเภทรับประทานผลสุก มีผู้นิยมปลูกกันมาก มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ใบใหญ่เป็นคลื่น ทรงพุ่มโปร่ง ส่วนมากมีนิสัยออกดอกทะวาย ออกดอกดก ติดผลปาน

กลาง ให้ผลทุกปี ผลมีขนาดใหญ่หนักประมาณ 400 กรัม ผลอ่อนเกือบกลมหัวใหญ่ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เนื้อมากเมล็ดเล็กมีผิวบาง เมื่อดิบมีรสเปรี้ยว ผิวสีเขียวปนขาว เนื้อแน่น เมื่อผลสุกมีผิวสีเหลือง กลิ่นหอม เนื้อละเอียด มีเสี้ยนน้อย รสหวาน มะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีเปลือกบางจึงเข้าได้ง่ายและไม่ค่อยต้านทานโรคแอนแทรกโนส อายุตั้งแต่ออกดอกจนถึงผลแก่ประมาณ 115 วัน เป็นมะม่วงที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ออกดอกง่ายสามารถบังคับให้ออกก่อนฤดูได้เป็นอย่างดีและเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศ พันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือ น้ำดอกไม้เบอร์ 4 และน้ำดอกไม้สีทอง (บ้านมะม่วง, 2554) มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (Nam Dokmai) มีลักษณะสรีระวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวที่น่าสนใจ คืออายุการเก็บเกี่ยว (harvesting index) 100 วัน น้ำหนักผล (fruit weight) 300 กรัม สีเนื้อผลดิบ (flesh color of green fruit) YG 13 B ไม่มีเส้นใยในเนื้อ (fiber) สีเปลือกผลดิบ (skin color of green fruit) YG 144 B สีเปลือกผลสุก (skin color of ripe fruit) YG 11 B ความหวานเนื้อ 22 องศาบริกซ์ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้อายุ 90 วันหลังติดผลมีความแน่นเนื้อ 15.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อผลอายุ 99 และ 108 วันหลังติดผลความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงเหลือ 11.3 และ 9.6 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ โดยคุณภาพสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้อยู่ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังจากติดผล ในช่วงเวลาที่เก็บเกี่ยวผลมะม่วงนี้มีความถ่วงจำเพาะ 1.03-1.04 มีความแน่นเนื้อผล 12.30-9.60 ปอนด์ มีอัตราส่วนของค่าความหวานและค่าความเป็นกรด(TSS/TA) 6.01-10.10 ผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในช่วงเวลานี้เมื่อผลสุกมีอัตราส่วนค่าความหวานและค่าความเป็นกรด (TSS/TA) มากกว่า 16 สีเนื้ออยู่ในระดับ 10 YR 8/10 moderate orange yellow และปริมาณ เบต้าแคโรทีน 3,498-3,788 mg/100g. (ดวงตรา และคณะ, 2527) มะม่วงโชคอนันต์ เป็นมะม่วงรับประทานผลสุกเช่นกัน สามารถออกดอกและติดผลได้ตลอดทั้งปีแม้กระทั่งในฤดูฝน มีการเจริญเติบโตค่อนข้างดี ออกดอกง่าย พบว่าทุกครั้งที่มีการแตกใบอ่อน และใบอ่อนเริ่มแก่จะมีการแทงช่อดอกออกมาเสมอ มีเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงและไม่ค่อยร่วง ลักษณะของผลคล้ายมะม่วงพิมเสนมัน เปลือกผลหนา เนื้อแข็ง เมื่อสุกเนื้อแน่นละเอียดไม่มีเสี้ยน เนื้อสีเหลืองทอง มีกลิ่นคล้ายมะม่วงสามปี รสชาติหวาน เมล็ดลีบหรือเมล็ดบาง น้ำหนักผลประมาณ 300-400 กรัม ผลสุกแล้วสามารถเก็บไว้ได้นาน 5-7 วันโดยที่เนื้อยังไม่ละ ผลแก่เก็บทิ้งไว้ 15 วันก็ยังกินได้ ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวประมาณ 110-120 วัน (บ้านมะม่วง, 2554) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (Chok Anan) มีลักษณะสรีระวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวที่น่าสนใจ คืออายุการเก็บเกี่ยว (harvesting index) 110-120 วันหลังออกดอก น้ำหนักผล (fruit weight) 209 กรัม สีเนื้อผลดิบ (flesh color of green fruit) YO 22 A ไม่มีเส้นใยในเนื้อ (fiber) สีเปลือกผลดิบ (skin color of green fruit) YGG 144 A สีเปลือกผลสุก (skin color of ripe fruit) YO 21 C ความหวานเนื้อ 20 องศาบริกซ์ (กรม

วิชาการเกษตร, 2553) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์อายุ 91 วันหลังติดผลจะมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 สามารถเก็บเกี่ยวได้ และใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์จะมีความแน่นเนื้อลดลงตามระดับความอ่อนแก่เพิ่มขึ้น โดยจะเริ่มเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 91 วันหลังติดผล และมีความแน่นเนื้อระหว่าง 25-26.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงอาจใช้ความแน่นเนื้อเป็นดัชนีบ่งชี้ความแก่ของผลมะม่วงได้ (นิพนธ์, 2534) มะม่วงมหาชนก เป็นมะม่วงที่ได้จากการผสมระหว่างมะม่วงพันธุ์ชั้นแซทกับมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน (มนตรี, 2542) มะม่วงมหาชนกจะมีใบขนาดใหญ่ หนา ใบอ่อนมีสีแดง ปลายใบแหลม ใบแก่มีสีเขียวเข้มแต่ไม่ดำ ดอก ก้านช่อมีสีแดง ช่อดอกใหญ่ มีดอกสมบูรณ์เพศสูง ออกดอกตั้งแต่พฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ทำให้ฤดูกาลเก็บเกี่ยวสามารถขยายได้ยาวนานขึ้น ผลยาวคล้ายพันธุ์หนังกลางวันแต่สั้นกว่า ผลมีขนาดปานกลางน้ำหนักผลประมาณ 350-500 กรัม ผลอ่อนสีเปลือกมีสีเขียว เปลือกหนา เนื้อเมื่อดิบมีสีขาวออกเขียว เมื่อแก่เปลือกผลจะมีสีเขียวและอาจมีสีแดงอยู่ด้วย และเมื่อสุกเนื้อจะมีสีเหลืองถึงเหลืองส้ม เนื้อละเอียดและแน่น เมื่อดิบมีรสเปรี้ยวมากและมีกลิ่นขมแต่เมื่อสุกมีรสหวานอมเปรี้ยวไม่หวานจัด เมล็ดมีขนาดเล็กและบาง มีคุณสมบัติที่เด่นคือรสชาติ สีของเปลือกและเนื้อผล จึงมีแนวโน้มที่ดีทางการตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ(ระวี และเปรมปรีช, 2542) มะม่วงเขียวเสวยเป็นมะม่วงที่ได้รับความนิยมสูงในปัจจุบัน ผลใช้รับประทานดิบคุณภาพดีมาก รสชาติหวานตรงกับความต้องการของคนไทย การเจริญเติบโตและการแตกกิ่งค่อนข้างช้า ผลมีลักษณะค่อนข้างกลมรียาววงอเล็กน้อย โดยมีส่วนหัวใหญ่หนาและเรียวยาวสู่ส่วนปลาย ลักษณะของผลสีเขียวเข้ม เนื้อภายในมีสีขาวละเอียด กรอบ มีเนื้อมาก เสี้ยนค่อนข้างน้อย น้ำหนักของผลประมาณ 350 กรัม เมื่ออ่อนจะมีรสเปรี้ยว เปลือกหนา และเหนียว ผลไม่แตกง่าย มีต่อมไม่ชัด แก่จัดจะมีรสหวานมัน เมื่อสุกเปลือกจะมีสีเขียวปนเหลือง ลักษณะของเนื้อภายในเหลือง รสหวานจัด อายุตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งผลแก่ประมาณ 105 วัน เป็นมะม่วงที่ไม่ทนทานต่อสภาพการถูกน้ำท่วมขัง หากถูกน้ำท่วมขังเพียง 3 วันเท่านั้นต้นก็จะเหี่ยวเฉา ข้อเสียคือจะมียางไหลตามกิ่งและลำต้น แต่มีความต้านทานต่อโรคและแมลงได้ดี(บ้านมะม่วง, 2554)

มะม่วงเป็นผลไม้ที่สามารถสุกได้หลังการเก็บเกี่ยว (climacteric fruit) (Lizada, 1991) กระบวนการสุกของผลไม้เป็นการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสรีระวิทยา ทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งมีปฏิกิริยาต่างๆทั้งที่เป็นการสังเคราะห์ และการสลายเกิดขึ้นมากมายภายในเซลล์และเนื้อเยื่อของผลไม้ทั้งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ แป้ง กรด การใช้อาหารสะสม การเปลี่ยนรูปของสารประกอบฟีนอล การเปลี่ยนรูปของสารประกอบเพคติน การเริ่มเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มและการอ่อนตัวของผนังเซลล์ (दनัย, 2540) การเจริญเติบโตของผลเริ่มขึ้นหลังจากที่ช่อดอกบานเต็มที่แล้ว ดอก

สมบูรณ์เพศที่ได้รับการผสมเกสรจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวขนาดเท่าหัวไม้ขีดไฟ ซึ่งผลขนาดนี้ในข้อหนึ่งจะมีเป็นจำนวนตั้งแต่ 10 ผลขึ้นไป ผลที่ได้รับการผสมที่ไม่สมบูรณ์ก็จะมีอาการเจริญเติบโตช้าไม่สามารถที่จะแย่งอาหารและสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตไว้ได้เพียงพอจนในที่สุดผลอาจจะร่วงหล่นจนหมด ส่วนผลที่ได้รับการผสมที่สมบูรณ์ก็จะมีอาการเจริญเติบโตต่อไป (สนั่น, 2527) ผลมะม่วงมีการเจริญเติบโตเป็นแบบซิกมอยด์ (sigmoid shape, s-shape) ในลักษณะเดียวกับการเจริญเติบโตของเซลล์ เนื้อเยื่อ หรือสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยอัตราการเจริญเติบโตของผลไม่ว่าจะเป็นน้ำหนัก ปริมาตร ความยาว และความกว้างของผลจะมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามอายุของผล และจะลดลงเมื่อผลเริ่มแก่จนกระทั่งผลอยู่ในระยะเก็บเกี่ยวซึ่งจะมีอัตราการเจริญเติบโตคงที่ การเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นในผลมะม่วงที่กำลังพัฒนา และการพัฒนาของผลตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่เต็มที่แบ่งการเจริญเติบโตของผลออกเป็น 4 ระยะคือ (วิจิตร, 2529)

1. ระยะที่เปลือกผลมีสีเขียว (juvenile) ใช้เวลา 21 วันหลังจากไข่ได้รับการปฏิสนธิ การเจริญเติบโตของเซลล์ของรังไข่จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว มีอัตราหายใจและอัตราการเจริญเติบโตสูง ปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อสูงที่สุด ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน และกรดเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ อัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนต่ำ
2. ระยะที่เปลือกผลมีสีเขียวแก่ (adolescent) ระยะนี้นับตั้งแต่วันที่ 21-49 วันหลังการปฏิสนธิ โดยขนาดของผลจะขยายออกโตเต็มที่ มีการสร้างกลีบและรสชาติ มีอัตราการหายใจปานกลาง อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำ และเปอร์เซ็นต์น้ำตาลกลูโคสลดลง ในขณะที่แรงดันออสโมติก และน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้ง กรด และไนโตรเจนยังคงมีปริมาณสูง อัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้น
3. ระยะที่สีของเปลือกผลเปลี่ยนจากสีเขียวแก่เป็นสีเขียวมเหลือง (climacteric) ระยะนี้นับตั้งแต่วันที่ 49-77 วันหลังการปฏิสนธิ ซึ่งถือเป็นระยะวิกฤตในการเจริญเติบโตของผลโดยมีอัตราการหายใจต่ำที่สุด แป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลด้วยอัตราคงที่ ปริมาณกรดและไนโตรเจนลดต่ำลง อัตราส่วนคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนสูงขึ้นและมีเปอร์เซ็นต์ซูโครสสูงที่สุดเมื่อถึงจุดที่เรียกว่า climacteric peak ผลจะมีคุณภาพในการรับประทานสูงสุด และต่อจากจุดนี้ไปผลจะเริ่มเข้าสู่ช่วงระยะเวลาการเสื่อมสภาพ (senescence)

4. ระยะที่ผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างเด่นชัด (senescence) ใช้เวลาตั้งแต่ 77 วันหลังจากการปฏิสนธิเป็นต้นไปจะใช้เวลามากน้อยขึ้นกับพันธุ์ ในระยะนี้เนื้อผลจะค่อยๆอ่อนตัวลง ต่อมาเนื้อเยื่อผลเริ่มสลาย ตัวและในที่สุดจะเน่าตายไป โดยอัตราการหายใจของผลจะสูงขึ้นแล้วจะลดลง การเจริญเติบโตของผลไม่เด่นชัด แรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำตาลลดลงจนถึงระยะต่ำสุด น้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นและลดลงตามจังหวะการลดลงของการหายใจ ในขณะที่ซูโครสและแป้งลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปริมาณกรดและไนโตรเจนในผลลดลง และอัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีลักษณะเช่นเดียวกันกับมะม่วงที่ปลูกในประเทศไทยหลายพันธุ์ เช่นพันธุ์น้ำดอกไม้ (ดวงตรา, 2526), พันธุ์เขียวเสวย (เสาวลักษณ์, 2530) พันธุ์หนังกลางวัน (วุฒิคุณ, 2530 และ อารี, 2536) เป็นต้น จากการศึกษาคุณภาพของผลมะม่วงสุกและการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและเคมีหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีอายุ 14 15 และ 16 สัปดาห์ หลังจากเก็บเกี่ยว พบว่าอายุของผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวมีผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพของผลสุก ผลมะม่วงเก็บเกี่ยวที่ความแก่มากเมื่อผลสุกพบว่าใช้เวลาในการสุกน้อยกว่า มีการพัฒนาของสีดีกว่า มีค่าความหวานมากกว่า แต่มีความแน่นเนื้อน้อยกว่า (สายชล และคณะ, 2535) ส่วนรูปร่างของผลมะม่วงทั้งความกว้าง ความยาว และ ความหนาของผลเพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้น โดยจะมีการเจริญเติบโตแบบ single sigmoid curve (Pantastico, 1975) โดยสามารถดูได้จากภายนอกจะพบว่าผลมะม่วงเมื่อแก่เพิ่มขึ้นจะมีแก้มผลอูมขึ้น (Mendoza, 1984)

การเก็บเกี่ยวมะม่วง

การเก็บผลมะม่วงเป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง ต้องเก็บให้ถูกต้องเพื่อให้ผลมะม่วงที่ได้มีคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของตลาดไม่อ่อนเกินไปหรือปล่อยไวจนสุกอมเกินไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะม่วงและความใกล้ชิดไกลของตลาดเป็นสำคัญ การเก็บเกี่ยวมะม่วงที่ไม่แก่คุณภาพและรสชาติย่อมไม่ดี ถ้าปล่อยให้ผลแก่เกินไปจนหิวเหลืองหรือสุกคาต้นจะบอบช้ำง่ายและเน่าเร็ว ผลที่แก่สุกเกินไปมักเป็นวันใส่ๆล้าๆเนื้อข้างตรงส่วนที่ติดกับเปลือกเมล็ด มะม่วงกินดิบควรเก็บเกี่ยวเมื่อเข้าระยะ“เข้าไคล”อายุประมาณ 80-90 วัน (นับจากดอกบาน) แต่ขึ้นอยู่กับพันธุ์มะม่วงนั้นๆด้วย ส่วนมะม่วงกินสุกควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุผลได้ประมาณ 100-110 วัน (นับจากดอกบาน) แต่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ด้วยหรือดูจากการขึ้น“นวล”ที่ผิวผล ปกติวันจะค่อยๆปรากฏจากส่วนปลายของผลก่อนและค่อยๆขึ้นเข้าไปหาส่วนหัวของผล ข้อสังเกตง่ายๆว่ามะม่วงจะแก่เมื่อใดนั้นสิ่งที่น่าสังเกต 2

ประการคือ แก้มผลทั้ง 2 ข้างพองโตเต็มที่ สีผิวเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีขาวจาง สังเกตจากผิวของผล มะม่วงมีสีขาวนวลหรือไขปกคลุมผลจากนั้นเก็บตัวอย่างผลมะม่วงมา 2-3 ผล เพื่อทดสอบโดยนำ มะม่วงมาแช่น้ำดูหากผลมะม่วงจมน้ำแสดงว่าแก่จัด ถ้าลอยแสดงว่ายังอ่อนอยู่พอเก็บได้และเวลา เก็บต้องอย่าให้ซั้มนั้นจะเน่าและเสียได้ง่ายเวลามะม่วงสุก เกษตรกรสามารถนับอายุของมะม่วง เพื่อการเก็บเกี่ยวได้ดังนี้ มะม่วงเขียวเสวยมีอายุเก็บเกี่ยว 110 วันหลังออกดอก มะม่วงน้ำดอกไม้มี อายุเก็บเกี่ยว 100 วันหลังดอกบานเต็มที่ มะม่วงหนังกลางวันมีอายุเก็บเกี่ยว 110-115 วันหลังดอก บานเต็มที่ มะม่วงทองคำมีอายุเก็บเกี่ยว 102 วันหลังดอกบานเต็มที่ มะม่วงฟ้าลั่นมีอายุเก็บเกี่ยว 70 วันหลังติดผล 50% มะม่วงแรดมีอายุเก็บเกี่ยว 77 วันหลังติดผล 50% และมะม่วงพิมเสนมีอายุ เก็บเกี่ยว 95 วันหลังดอกบานเต็มที่ สิ่งที่ต้องระวังอีกประการหนึ่ง คือ อย่าให้ยางมะม่วงไหลและ จับที่ผลจะทำให้เป็นตำหนิไม่สวยงาม ไม่น่าซื้อหรืออาจทำให้มะม่วงเน่าและซั้ได้ง่าย โดยเฉพาะ อย่างยิ่งมะม่วงที่มีเปลือกบาง หรือที่รับประทานผลสุก เช่น มะม่วงอกร่อง (วัฒนา, 2553)

การเก็บเกี่ยวผลให้ทำการเก็บเกี่ยวอย่างระมัดระวัง หากสามารถใช้มือเก็บผลได้โดยตรงจะ ดีที่สุด ถ้าอยู่สูงขึ้นไปจำเป็นต้องใช้ตระกร้อสอย วิธีการเก็บมะม่วงที่ถูกต้องคือ ใช้ใบมีดที่มีความ คมติดที่ปากตระกร้อ หรือใช้กรรไกรด้ามยาว (อีเต็ง) ใช้สอยมะม่วงที่อยู่สูงได้ เวลาตัดน้ำยางจะไม่ ทะลักไหลโดนผลมะม่วงได้โดยอย่าเด็ดก้านขั้วผลออกหมดเพราะน้ำยางจะไหลออกติดผลทำให้ผล ไม่สวย เมื่อตัดมาแล้วค่อยนำมาเด็ดก้านผลออกโดยเด็ดให้ตะแกรงหรือคว่ำผลลงก่อนจึงค่อยเด็ดก้าน ผลออกแล้วนำไปคว่ำเอาหัวลงบนพื้น ยางจะไหลออกไปโดยไม่ถูกผลและที่ก้นภาชนะต้องมีวัสดุ นิ่มๆรองอยู่ เช่น กระสอบป่าน หรือใบตองแห้ง เมื่อยางแห้งแล้วจึงนำไปบ่มให้สุกเพื่อจำหน่าย ต่อไป ในกรณีที่ต้องการป้องกันกำจัดโรครา (โรคแอนแทรคโนส) ที่ติดมากับผิวมะม่วง การส่ง ออกไปจำหน่ายต่างประเทศควรนำมะม่วงไปแช่น้ำอุ่น 52 องศาเซลเซียส และผสมสารละลาย “เบ โนมิล” (เบทเลท) ความเข้มข้น 5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร แช่มะม่วงไว้นานประมาณ 5 นาทีจึงนำ ออกผึ่งให้แห้งบรรจุภาชนะเพื่อส่งจำหน่ายต่อไป (สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร, 2553)

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลมะม่วง

1. การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของผล ผลมะม่วงเป็นผลที่มีขนาดใหญ่ เป็นผลเดี่ยว และเนื้อผลสามารถใช้รับประทานได้ รวมทั้งมีชั้นแข็งหุ้มเมล็ดไว้ (Salunkhe and Desai, 1984) โดย Hulme (1971) ได้อธิบายลักษณะของผลมะม่วงโดยแบ่งผลออกเป็น 3 ส่วน คือ

1.1 เปลือกผลชั้นนอก (exocarp) มีลักษณะค่อนข้างแข็งและเหนียว มีต่อมมองเห็นเป็นจุดๆ

1.2 เนื้อผล (mesocarp) เป็นส่วนที่ไว้รับประทานความหนาของเนื้อจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์

1.3 เนื้อหุ้มเมล็ด (endocarp) มีลักษณะเป็นเส้นแข็งคล้ายไม้ ด้านในมีลักษณะเป็นแผ่นบางใส

2. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ปริมาตร และความถ่วงจำเพาะ หลังจากการเพิ่มขนาดของผลที่เพิ่มขึ้นจะมีการลำเลียงน้ำและสารอาหารจากต้นสู่ผลเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะมีการสะสมของแป้งเป็นส่วนใหญ่ทำให้ผลมีน้ำหนักและปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงมากกว่า 1.00 และจมลงในน้ำ ซึ่งในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องคำนวณหาความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงโดยตรงแต่จะใช้วิธีสังเกตจากการจมและการลอยในน้ำของผล ผลมะม่วงแก่บางพันธุ์มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.00 จึงสามารถลอยน้ำได้ ผลมะม่วงแก่ที่ลอยน้ำพบว่ามีช่องว่างระหว่างเมล็ดมากและเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกที่แข็ง เช่น มะม่วงเขียวเสวย มะม่วงแรด มะม่วงพิมเสนมัน มะม่วงมะลิลาและมะม่วงหนองแซง ส่วนผลมะม่วงแก่ที่จมน้ำจะมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกน้อย เช่น มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงหนังกกลางวัน มะม่วงทองคำ มะม่วงลิ้นงูเห่า และมะม่วงมันแก้ว (สายชล, 2533 และ Pantastico, 1975) ผลมะม่วงบางพันธุ์เมื่อเริ่มแก่ก็จะจมน้ำ จึงอาจทำให้ผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวแล้วไม่แก่เต็มที่ และเมื่อผลมะม่วงสุกจะมีรสชาติค่อนข้างเปรี้ยว ดังนั้นในทางปฏิบัติจะเติมเกลือแกงร้อยละ 2.0-2.5 ลงในน้ำที่ใช้ลอยผลมะม่วง ทำให้ผลมะม่วงที่แก่จัดเท่านั้นที่จมน้ำ ส่วนผลที่ยังไม่แก่เต็มที่ จะลอยปริมาณน้ำ

3. การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ มะม่วงส่วนใหญ่ความแน่นเนื้อในช่วงผลอ่อนถึงผลแก่จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อลดลงบ้างในช่วงผลแก่ โดยมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของมะม่วงหลายพันธุ์ เช่น มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีอายุต่างๆกันมีความแน่นเนื้อของผลในวันเก็บเกี่ยวแตกต่างกันโดยผลที่มีอายุ 84-90 วันมีค่าความแน่นเนื้อค่อนข้างสูงคือ 20.90-15.40 ปอนด์ ค่าความแน่นเนื้อค่อยลดลงจนกระทั่งเท่ากับ 9.60 ปอนด์เมื่ออายุ 111 วัน (ดวงตรา, 2527) ผลมะม่วงเก็บเกี่ยวที่อายุ 14 15 และ 16 สัปดาห์หลังการติดผลมีความแน่นเนื้อ 0.95 0.89 และ 0.78 กิโลกรัมตามลำดับ ผลมะม่วงอายุน้อยมีความแน่นเนื้อ

มากกว่ามะม่วงอายุมากเพราะผลมะม่วงอายุน้อยมีเพคตินมากกว่า เพคตินในผลมะม่วงดิบมีโมเลกุลขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ เพคตินชนิดนี้ทำให้แต่ละเซลล์ยึดเกาะกันอย่างแน่นระหว่างผลยังดิบอยู่ ผลมะม่วงมีความแน่นเนื้อลดลงมากระหว่างการสุกเพราะเพคตินมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลให้เล็กลงและมีการละลายน้ำเพิ่มขึ้นทำให้เซลล์ยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อจึงเกิดขึ้น รวมทั้งมีเอนไซม์ polygalacturonase (PG), pectinesterase (PE) และ cellulase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ (สายซล และคณะ, 2535) มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลอ่อนจะมีความแน่นเนื้อค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้นความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลเข้าสู่ระยะการแก่โดยมีค่าเท่ากับ 25.0-26.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (นิพนธ์, 2534) การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อเมื่อผลไม้ดิบเนื้อผลจะแข็ง แต่เมื่อผลไม้สุกเนื้อผลจะอ่อนนุ่มลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคติน โดยสารเพคตินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์โดยอยู่ในส่วนที่เรียกว่า มิดเดิลลามลลา (middle lamella) ทำหน้าที่เชื่อมเซลล์หนึ่งกับอีกเซลล์หนึ่งให้ติดกัน สารเพคตินที่อยู่ในผนังเซลล์ของผลไม้ดิบจะอยู่ในรูปของโปรโตเพคติน (protopectin) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เมื่อผลไม้สุกโปรโตเพคตินจะสลายตัวจนกระทั่งอยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ โดยกระบวนการสลายสารประกอบเพคตินจะอาศัยกระบวนการดีโพลิเมอไรเซชัน (depolymerization) และดีเอสเทอร์ิฟิเคชัน (deesterification) ซึ่งมีเอนไซม์ polygalacturonase (PG) และ pectin esterase (PE) ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาการสลายโพลิเมอร์ของโปรโตเพคตินและไฮโดรไลซ์เอาหมู่เททิลออกจากโมเลกุลของเพคตินได้เป็นกรดเพคติก (คณัย, 2540) และมีการเปลี่ยนแปลงของสารเซลล์ูโลสอันเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์เซลล์ูเลส ซึ่งสามารถย่อยเซลล์ูโลสได้ในขณะที่ผลไม้สุก (จริงแท้, 2538) บทบาทของเอนไซม์จะแตกต่างกันไปขึ้นกับพันธุ์ เช่น มะม่วงน้ำดอกไม้ที่วางให้สุกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PG และ β -galactosidase เพิ่มขึ้นระหว่างการสุกของผล แต่เอนไซม์ PE จะมีกิจกรรมลดลงต่ำลง (Ketsa *et al.*, 1999) แต่ในผลมะม่วงพันธุ์อัลฟองโซ เมื่อปล่อยให้สุกที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5 พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PE, PG และเซลล์ูเลส มีค่าเพิ่มขึ้นระหว่างการสุกของผล (Selvaraj and Kumar, 1989) ในระหว่างการสุกโครงสร้างของผนังเซลล์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง โดยโมเลกุลของเพคตินและเฮมิเซลล์ูโลสถูกเอนไซม์บางชนิดย่อยสลายทำให้แรงยึดเกาะกันของโมเลกุลต่างๆลดลง สำหรับมะม่วงการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อจะมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ชั้นเนื้อผลด้านในของมะม่วงก่อนออกสู่เนื้อผลด้านนอก (Lazan *et al.*, 1986) ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ PE ที่พบมากในผลดิบ และเอนไซม์ PG ซึ่งส่วนใหญ่พบในระยะการสุกของผลมะม่วง (Gomez-Lim, 1993)

4. ความชื้นและน้ำหนักแห้งของเนื้อผล โดยทั่วไปเมื่อผลมะม่วงแก่เพิ่มขึ้นความชื้นจะลดลงส่งผลให้น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น (Mendoza, 1984) จากการวิจัยพบว่ามะม่วงพันธุ์อัลฟองโซ และ คาสซิฮารี จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเก็บเกี่ยว รวมทั้งมีปริมาณแป้ง น้ำตาล และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต ในขณะที่ปริมาณความชื้นลดลงตลอดการเจริญเติบโต

5. การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกอย่างหนึ่ง ซึ่งสีต้นของผลไม่มีความสำคัญมากในการแสดงคุณภาพของผลไม้ประการหนึ่ง สีของผลไม้ที่ปรากฏอยู่นั้นเกิดจากกลุ่มของรงควัตถุ (pigment) ต่างๆที่มีอยู่ในเซลล์พืช โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและปริมาณของรงควัตถุตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผลิตผลแต่ละชนิด รงควัตถุหลักที่พบมากในผลไม้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) มีสีเขียว แคโรทีนอยด์ (carotenoid) มีสีเหลืองจนถึงสีแดง และฟลาโวนอยด์ (flavonoid) มีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีม่วงและน้ำเงิน ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีรงควัตถุที่สำคัญได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีน (carotene) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ตามลำดับ การเปลี่ยนสีของเปลือกผลเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (दनय, 2540) โดยเยื่อคลอโรพลาสต์ (chroloplast membrane) เริ่มเสื่อมเมื่อผลมีอายุมากขึ้น หรือคลอโรพลาสต์จะเปลี่ยนไปเป็นโครโมพลาสต์ (chromoplasts) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดในระดับโครงสร้างของเม็ดสีในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงข้างต้นเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) มีผลทำให้คลอโรฟิลล์สลายตัวในขณะเดียวกัน osmiophilic globules จะมีขนาดใหญ่และเพิ่มจำนวนมากขึ้นมีผลทำให้ระดับของแคโรทีนอยด์เพิ่มสูงขึ้น (Gross, 1987) ส่วนของเนื้อผลเมื่อผลสุก ปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ แคโรทีนอยด์ของเนื้อผลมะม่วงระหว่างการสุกส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเบต้า-แคโรทีน (John *et al.*, 1970) ในระหว่างการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลสเพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้คลอโรฟิลล์สลายตัวและมีการสังเคราะห์เบต้า-แคโรทีนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เมื่อผลสุกเปลือกของผลจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (Ketsa *et al.*, 1999) สีเปลือกของมะม่วงมหาชนกจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นรวมทั้งมีสีแดงที่เปลือกเพิ่มขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในเปลือกผลมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดการพัฒนาของผล ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณเบต้าแคโรทีนของเปลือกและเนื้อในช่วง 91-133 วันหลังดอกบานมีค่าเพิ่มขึ้น (สรพมจก, 2545) มะม่วงพันธุ์คาสซิฮารี มีการสังเคราะห์เบต้า-แคโรทีนเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเจริญเติบโตของผล โดยผลที่มีอายุ 85 90 และ 95 วันหลังติดผลเมื่อนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องพบว่า ผลมะม่วง

ทุกอายุมีปริมาณเบต้า-แคโรทีนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น (Kalra and Tandon, 1983) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้นเมื่อผลมีความแก่เพิ่มขึ้น ซึ่งในมะม่วงพันธุ์อัลฟองโซ และไพรี ใช้เวลาตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนาน 110-125 วัน ผลแก่จะมีสีผิวเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อน และสีเนื้อเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง (Pantastico, 1975) เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์ไทยหลายพันธุ์ คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ (ดวงตรา, 2526) มะม่วงหิมพานต์ (วุฒิกุล, 2530 และอารี, 2536) และพันธุ์ทองคำ (สายชล และคณะ, 2534)

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลมะม่วง

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด ในพืชส่วนใหญ่จะพบกรดอินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกรดที่อยู่ในวัฏจักรเครปส์ (Krebs' cycle) ซึ่งถูกสร้างขึ้นในระหว่างการเกิดกระบวนการหายใจภายในเซลล์กรดที่พบในปริมาณมากในผักและผลไม้มักอยู่ในรูปของเกลือของกรดอินทรีย์เช่น กรดซิตริก และกรดมาลิก เป็นต้น โดยกรดซิตริกซึ่งพบมากในผลมะม่วงมักถูกเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลในปริมาณมาก โดยในช่วงผลอ่อนจะมีการสะสมของกรดมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนและการเคลื่อนย้ายกรดอินทรีย์จากส่วนต่างๆของพืช (Kays, 1991) ปริมาณกรดในผลไม้จะผันแปรขึ้นกับอายุของผลโดยผลอ่อนจะมีปริมาณกรดมากกว่าผลที่แก่ (สายชล, 2528) ในมะม่วงพันธุ์เคียทท์ (Keitt)จะมีกรดลดลงเมื่อผลมะม่วงแก่เพิ่มขึ้นโดยกรดซิตริกเป็นกรดหลักที่มีปริมาณลดลงมากที่สุดและพบว่ากรดมาลิกมีปริมาณน้อยในช่วงผลแก่ แต่จะลดลงมากในช่วงผลสุกสอดคล้องกับที่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์มาลเลต ดีไฮโดรจิเนส (malate dehydrogenase) เพิ่มขึ้นระหว่างผลสุกโดยเกิดในช่วงอัตราการหายใจสูงสุด (climacteric peak) (Medlicott and Thompson, 1985) ปริมาณกรดซิตริกในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีอายุ 84-90 วันหลังติดผลมีค่าสูงกว่าผลที่มีอายุ 91-111 วันหลังติดผลโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.46-1.43 เปอร์เซ็นต์ และ 1.28-1.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดภายในเนื้อผลลดลงตามอายุของผลที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่อผลสุกปริมาณกรดมีค่าลดลงต่ำกว่าขณะเก็บเกี่ยว เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดในผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุต่างกัน ขณะผลสุกพบว่า ผลที่มีอายุมากขึ้นปริมาณกรดมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ (ดวงตรา, 2527) ขณะที่ปริมาณกรดในผลมะม่วงพันธุ์ดาสซิวรี ที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 85 90 และ 95 วันหลังการติดผลมีค่าลดลงเมื่ออายุของผลเพิ่มมากขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 1.18 0.72 และ 0.69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อผลสุกพบว่าปริมาณกรดของผลมีแนวโน้มลดลง (Kalra and Tandon, 1983) เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์อื่นๆ เช่น พันธุ์อัลฟองโซ (Lakshminarayana, 1973)

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล น้ำตาลในผักและผลไม้ที่สำคัญมี 3 ชนิด คือน้ำตาลซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucose) และฟรุกโตส (fructose) ซึ่งพบสะสมอยู่ในแวคิวโอลเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดในผลิตภัณฑ์ต่างๆแตกต่างกันออกไป บางชนิดมีซูโครสอยู่มากในขณะที่บางส่วนไม่มีซูโครสอยู่เลยทำให้รสชาติความหวานของผักและผลไม้ต่างชนิดกันไป (จริงแท้, 2538) ซึ่งในการศึกษามักจะรวมน้ำตาล กลูโคส และฟรุกโตสเข้าด้วยกันเรียกว่าน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) ในผลไม้ส่วนใหญ่จะมีน้ำตาลกลูโคสมากกว่าฟรุกโตส โดยน้ำตาลกลูโคสจะได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง (दनय, 2534) การสลายตัวของแป้งมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids, TSS) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงเพิ่มสูงขึ้นแล้วทำให้ผลมะม่วงเมื่อสุกมีรสหวาน (Vazques-Salinas and Lakshminarayana, 1985) แต่ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS ของผลมะม่วงขึ้นอยู่กับระยะความแก่ของผลและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว (Medlicott *et al.*, 1990b) โดยผลมะม่วงที่มีอายุน้อยมีการสะสมแป้งน้อยกว่าผลที่มีอายุมากทำให้เมื่อผลสุกแป้งจึงเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลได้น้อยกว่าผลที่มีอายุมาก (สายชล และคณะ, 2534) มะม่วงพันธุ์คาสซารี ที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 85 90 และ 95 วันหลังติดผลมีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มมากขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 7.5 9.2 และ 11.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อผลสุกปริมาณ TSS ของผลในทุกอายุเพิ่มขึ้นเป็น 19.5 20.6 และ 21.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Kalra and Tandon, 1983) ในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีอายุมากขึ้น เมื่อผลสุกปริมาณ TSS ของผลจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยผลที่มีอายุ 84-90 วันหลังติดผล มีปริมาณ TSS เมื่อผลสุกประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลที่มีอายุ 93-111 วันหลังการติดผลมีปริมาณ TSS เมื่อผลสุกประมาณ 20-21 เปอร์เซ็นต์ (ดวงตรา, 2527) เช่นเดียวกับในมะม่วงพันธุ์ Chiin Hwang No. 1 ที่มีอายุ 91 105 และ 119 วันหลังดอกบานเมื่อผลสุกจะมีปริมาณ TSS และปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นตามอายุของผลที่เพิ่มมากขึ้น (Ueda *et al.*, 2001) และมะม่วงพันธุ์หนังกวางวันมีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นโดยมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TSS ในช่วงแรกค่อนข้างน้อยเป็นเพราะมะม่วงมีการสะสมแป้งมากกว่าน้ำตาลแต่เมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นแป้งจะสลายไปเป็นน้ำตาลส่งผลให้มีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้น (วุฒิคุณ, 2530)

3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง แป้งมีสะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ภายในเม็ดพลาสติด (plastid) ที่เรียกว่าอะมัยโลพลาส (amyloplast) เพื่อเป็นแหล่งอาหารสำรอง ในผลไม้สุกแป้งจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาลทำให้ผลไม้มีรสหวาน ผลไม้บางชนิดแป้งแทบทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ในมะม่วงแป้งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วงแรกเพราะเป็นช่วงที่แป้งบางส่วนถูกใช้ในการเจริญเติบโตของเยื่อเจริญ (embryo) ในเมล็ด และแป้งจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเมล็ดแข็งตัวและผลมีการเจริญเติบโตช้าลง ปริมาณแป้งจึงถูกใช้น้อยดังนั้นปริมาณแป้งจึงมีการสะสมเพิ่มขึ้น

เมื่อผลมะม่วงเริ่มแก่ขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในมะม่วงหนังกลางวัน (วุฒิคุณ, 2530) พันธุ์ทองคำ (สายชล และคณะ, 2534) และพันธุ์เขียวเสวย (เสาวลักษณ์, 2530) ที่พบว่าเซลล์ของผลจะมีการสะสมแป้งเพิ่มมากขึ้นเมื่อเซลล์หยุดการแบ่งเซลล์รวมทั้งมีการใช้น้ำตาลในการสังเคราะห์แป้งทำให้มีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้น

4. การเปลี่ยนแปลงรงควัตถุเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารสีต่างๆของผลมะม่วง เช่นการสลายของคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และฟลาโวนอยด์ โดยรงควัตถุแต่ละกลุ่มมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

4.1 คลอโรฟิลล์ เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีเขียวทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช กระจายตัวอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งพบในส่วนไซโตพลาสซึมของเซลล์ ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงในผลไม้ ส่วนใหญ่จะมีชนิดของคลอโรฟิลล์อยู่สองชนิดคือ คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) จัดเป็นรงควัตถุกลุ่มแรกทำหน้าที่สังเคราะห์แสงโดยตรง ส่วนรงควัตถุชนิดอื่นต้องรับแสงแล้วส่งต่อให้คลอโรฟิลล์เอ เรียกว่าเป็นรงควัตถุเสริม ในพืชชั้นสูงทั่วไปจะมีคลอโรฟิลล์เอมากกว่าคลอโรฟิลล์บีประมาณ 2-3 เท่า คลอโรฟิลล์เอมีการดูดกลืนแสงมากในช่วง 420 และ 660 นาโนเมตร คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b) เป็นคลอโรฟิลล์ที่มีสีเหลืองอมเขียว คลอโรฟิลล์บีมีการดูดกลืนแสงในช่วง 435-643 นาโนเมตร โดยทั่วไปคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของการพัฒนาของผล (दनัย, 2534 และ Gross, 1987) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้นและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา โดยในระหว่างการชราภาพหรือการเสื่อมสภาพของพืช การสลายตัวจะเกิดขึ้นมากกว่าทำให้คลอโรฟิลล์หมดไปที่สุด ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวหายไป ตามปกติจะเกิดร่วมกับการเกิดรงควัตถุชนิดอื่นๆเช่น แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินจะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของแคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมาได้ (Kays, 1991)

4.2 แคโรทีนอยด์ เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีเหลืองจนถึงสีแดงอยู่ภายในเม็ดคลอโรพลาสต์ในเซลล์พืช แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุเสริมในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยต้องถ่ายทอดพลังงานจากแสงที่ได้รับไปให้คลอโรฟิลล์เอ เพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงต่อไป แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวประกอบด้วยสองกลุ่มใหญ่ๆคือ แคโรทีน ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีออกซิเจน และแซนโทฟิลล์ ซึ่งมีออกซิเจนรวมอยู่ในโมเลกุลด้วย (दनัย,

2040 และ Gross 1987) รงควัสดุในกลุ่มนี้ที่พบมากที่สุดได้แก่ เบต้า-แคโรทีน มีช่วงดูดกลืนแสงที่ 425, 450 และ 480 นาโนเมตร อัลฟา-แคโรทีนมีช่วงดูดกลืนแสงที่ 425, 450 และ 475 นาโนเมตร ไวโอลาแซนธอลมีช่วงดูดกลืนแสงที่ 425, 450 และ 475 นาโนเมตร ฟูโคแซนธอลมีช่วงดูดกลืนแสงที่ 425, 450 และ 475 นาโนเมตร ลูทีนเป็นแซนโทฟิลล์มีช่วงดูดกลืนแสงที่ 425, 445 และ 475 นาโนเมตร และไลโคพีน เป็นแคโรทีนอยด์มีสีแดง ในผักและผลไม้ทั่วไปมักจะมีรงควัตถุแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยแต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ เมื่อผักและผลไม้เสื่อมสภาพลงคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปสีของแคโรทีนอยด์จึงปรากฏให้เห็น ถึงแม้แคโรทีนอยด์จะเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวแต่มีคุณสมบัติค่อนข้างเสถียรกว่ารงควัตถุในกลุ่มคลอโรฟิลล์และแอนโทไซยานิน โดยเฉพาะเบต้า-แคโรทีนจะมีปริมาณคงตัวมากกว่าตัวอื่น (จริงแท้, 2541) ดังนั้นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์จะมีการเปลี่ยนแปลงและสลายตัวได้ยาก การสลายตัวของแคโรทีนอยด์จะเกิดขึ้นพร้อมกับการเสื่อมสภาพหรือมีการสะสมสารพิษเมื่อมีอายุมากขึ้น การสร้างและการสลายตัวของแคโรทีนอยด์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในและภายนอกเช่น ระดับฮอร์โมนพืช แสง ออกซิเจน ปุ๋ย และการปฏิบัติต่อต้นพืช (คณัย, 2540 และ จริงแท้, 2538)

4.3 แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุที่สามารถละลายน้ำได้ พบมากในแวคิวโอลของเซลล์ที่ผิวของส่วนต่างๆของพืช เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีแดงไปจนถึงสีม่วงและสีน้ำเงิน อยู่ในกลุ่มของรงควัตถุที่มีชื่อว่าฟลาโวนอยด์ โดยจะบดบังสีเขียวของคลอโรฟิลล์และสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ (จริงแท้, 2538 และ Gross, 1987) ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานิน คือ แสง Faragher and Chalmers(1977) ได้ศึกษาการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในเปลือกผลแอปเปิ้ลพันธุ์โจนาธาน พบว่ามีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ PAL โดยเมื่อให้แสงอุลต้าไวโอเลต จะมีการสะสมรงควัตถุแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น โดยกิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดหลังจากได้รับแสงแล้ว 30 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดลง ส่วนแอนโทไซยานินจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณสูงสุดในชั่วโมงที่ 20 หลังจากได้รับแสงซึ่งในเวลานี้กิจกรรมของเอนไซม์ PAL จะมีค่าต่ำสุดสำหรับสภาพที่ไม่ได้รับแสงพบว่า เปลือกผลของแอปเปิ้ลจะไม่มีการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ปัจจัยที่สองคืออุณหภูมิ Faragher (1983) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสะสมแอนโทไซยานินในเปลือกผลแอปเปิ้ลพันธุ์โจนาธาน พบว่าก่อนการเก็บเกี่ยวผลจะมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงขึ้นซึ่งเกิดควบคู่กับการลดลงของอุณหภูมิ และเมื่อเก็บเกี่ยวผลมาไว้ในสภาพที่มีแสงอย่างต่อเนื่อง ผลดิบและผลสุกจะต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสะสมแอนโทไซยานินแตกต่างกันคือ 12 และ 16-24 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งในสภาพอุณหภูมิต่ำจะมีระดับของเอนไซม์ PAL สูงกว่าในสภาพอุณหภูมิสูง และยังพบว่าในผลสุกจะมีระดับเอนไซม์

ดังกล่าวสูงกว่าในผลดิบ ปัจจัยที่สามคือ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช หรือฮอร์โมนพืช และ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่สังเคราะห์ขึ้น โดยฮอร์โมนพืชในปริมาณเล็กน้อยก็สามารถแสดงผลในการส่งเสริม ยับยั้ง หรือชะลอการเจริญเติบโตของพืชได้ นอกจากนี้ยังอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอื่นๆในกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชได้ (จ่านงค์, 2536)

4.4 แร่ธาตุและสารอาหาร (mineral and nutrition) แร่ธาตุอาหารที่สำคัญได้แก่น้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของโมเลกุลของแอนโธไซยานิน โดยแอนโธไซยานินเกิดการรวมตัวของแอนโธไซยานิดินกับน้ำตาล พบว่าปริมาณรงควัตถุนี้มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลในระหว่างการสุกของผล (Saure, 1990) คาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าในสภาพอากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 15% จะทำให้เกิดโรค brown stain ซึ่งทำความเสียหายให้ผักกาดหอม โดยในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ PPO ให้สูงขึ้น (Siriphanich and Kader, 1985) ขณะที่ไนโตรเจนมีผลทำให้การสะสมแอนโธไซยานินในพืชลดลง โดยไปส่งเสริมให้มีการเจริญเติบโตทางใบมากขึ้น การมีใบมากทำให้ผลได้รับแสงน้อยลงซึ่งมีผลต่อการสร้างแอนโธไซยานิน รวมทั้งพบว่าจะมีผลทำให้มีการสังเคราะห์กรดอมิโนและโปรตีนมากขึ้นซึ่งอาจไปมีผลต่อการสังเคราะห์น้ำตาลและแอนโธไซยานินที่ลดลง (Gross, 1987)

4.5 ความเครียดมีผลต่อการสังเคราะห์แอนโธไซยานินและเอนไซม์ PAL ในพืช โดยผลแอปเปิ้ลที่ถูกเด็ดออกจากต้นจะเกิดความเครียดมากกว่าผลที่ติดอยู่บนต้น ทำให้มีการสร้างเอทิลีนมากซึ่งมีผลไปกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ทำให้มีการสังเคราะห์แอนโธไซยานินได้เร็วกว่าผลที่ติดอยู่กับต้น (Faragher and Brohier, 1984) นอกจากนั้นความเป็นกรด-ด่างก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสีของแอนโธไซยานิน ในผลไม้เมื่อแก่จัดหรือสุกปริมาณกรดมีค่าน้อยลงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้สีของผลไม้เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยในสภาพที่เป็นกรดแอนโธไซยานินจะมีสีค่อนข้างแดง แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นจนถึงระดับที่เป็นกลางจะมีสีน้ำเงินถึงสีม่วง (จริงแท้, 2538)

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลมะม่วง

1. การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่มีความสำคัญมากที่สุดกระบวนการหนึ่งในสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นกระบวนการที่พลังงานซึ่งอยู่ในรูปของอาหารสะสมถูกเปลี่ยนอยู่ในรูปของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีสำหรับกิจกรรมต่างๆ เช่น การเจริญเติบโต การเคลื่อนย้ายอาหาร และการขยายพันธุ์ แม้แต่ในส่วนของสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีการเจริญเติบโตแล้วก็ยังต้องการพลังงานในการรักษาชีวิตให้คงอยู่ เช่น การรักษาคุณสมบัติในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ อาหารสะสมในพืชได้จากการสังเคราะห์แสงแต่อาจอยู่ในรูปต่างๆ กันเช่น น้ำตาล แป้ง และไขมัน ดังนั้นกระบวนการหายใจจึงเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่อาหารถูกออกซิไดซ์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนถูกใช้ไปในสมการการหายใจที่ใช้กลูโคสเป็นสับสเตรท (จริงแท้, 2538) ผลไม้โดยทั่วไปจะมีอัตราการหายใจสูงที่สุดในขณะที่ยังอ่อนอยู่ซึ่งเป็นช่วงที่มีการแบ่งเซลล์มาก หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลงตามอายุที่มากขึ้น ผลไม้ประเภท climacteric จะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อผลเข้าสู่การสุก (Akamine and Goo, 1973) โดยการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ pre-climacteric เป็นช่วงที่มีอัตราการหายใจต่ำ climacteric rise เป็นช่วงที่มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น climacteric peak เป็นช่วงที่มีอัตราการหายใจสูงสุด และ post-climacteric เป็นช่วงที่มีอัตราการหายใจซึ่งเกิดขึ้นหลังจากมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น การที่ผลไม้มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการสุก เนื่องจากระหว่างการสุกมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น การเปลี่ยนสี การอ่อนนุ่ม และการสร้างกลิ่น (Kada, 1985, Biale and Young, 1988) ดังนั้นในผลไม้พวกนี้สามารถเก็บแล้วนำมาบ่มให้สุกได้ในภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น มะม่วง มะเขือเทศ ละครุด กล้วย และทุเรียน (จิรา, 2531) ส่วนผลไม้ประเภทที่ไม่มีการสุกเมื่อแก่จัด (non-climacteric) หลังจากผลแก่จัดอัตราการหายใจจะลดต่ำลงในระยะเก็บเกี่ยว ส่วนหลังการเก็บเกี่ยวแล้วผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คืออัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงระยะเสื่อมสลาย รสชาติคงที่อายุเก็บรักษาค่อนข้างยาว ดังนั้นถ้าเก็บเกี่ยวผลที่ยังไม่แก่จัดเต็มที่ จะทำให้ได้ผลที่มีรสเหมือนเดิมตลอดไป จึงต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่จัด เช่น ส้ม สับปะรด มะนาว เงาะ ลำไย ลิ้นจี่ และแตงกวา (Kays, 1991) การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งทำให้ผลไม้ประเภท climacteric จำเป็นต้องมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษ จนถึงช่วงที่มีอัตราการหายใจสูงสุด (climacteric peak) ซึ่งจะใช้เวลาสั้นหรือมากขึ้นกับความแก่ของผลไม้บ้าง และสภาพแวดล้อมของห้องเก็บรักษาผลไม้ เช่น อุณหภูมิ และการหมุนเวียนของอากาศ (दनัย, 2540) โดยทั่วไปอัตราการหายใจของผลมะม่วงจะสูงในช่วงผลอ่อน (Wills *et al.*, 1998)

เนื่องเป็นช่วงที่มีการเจริญของเชื้อเจริญจึงทำให้อัตราการหายใจสูงโดยจะมีการแบ่งเซลล์สูง จากนั้นจะมีอัตราการหายใจลดลงเนื่องจากการขยายตัวของเซลล์เพิ่มขึ้น และการแบ่งเซลล์ลดลง โดยจะมีการเจริญเติบโตของรังไข่เพิ่มขึ้น การลดลงของอัตราการหายใจจะเริ่มคงที่ในช่วงผลเข้าสู่ระยะการแก่ โดยจะมีการหยุดการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ซึ่งผลจะมีการเจริญเติบโตคงที่ (Ernest and Theodore, 1973) จากผลการทดลองพบว่าผลมะม่วงพันธุ์ไพรี ที่มีอายุน้อยเกิดอัตราการหายใจสูงสุด (climacteric peak) ในวันที่ 12 หลังการเก็บเกี่ยว ส่วนผลที่แก่เกิดอัตราการหายใจสูงสุด (climacteric peak) ในวันที่ 9 หลังจากเก็บเกี่ยว (Kishnamurthy and Subramanyam, 1970) มะม่วงพันธุ์มหาชนกจะมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนสูงในช่วงผลอ่อนและลดลงเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นโดยมีค่าอัตราการหายใจ 85.5 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม. ชั่วโมงขณะเก็บเกี่ยว (สรรมงคล, 2545) ในมะม่วงต่างพันธุ์กันระยะเวลาในการเกิดอัตราการหายใจสูงสุด (climacteric peak) ก็ต่างกัน เช่นมะม่วงพันธุ์ Kent, Haden มีการเกิดอัตราการหายใจสูงสุด (climacteric peak) ในวันที่ 9 และ 11 ของการเก็บรักษาตามลำดับ (Burg and Burg, 1962 อ้างโดย Mitra, 1997)

2. การเปลี่ยนแปลงการผลิตเอทิลีน เอทิลีน (ethylene) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อยจัดเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน ปริมาณการผลิตเอทิลีนในผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ นั้นแตกต่างกันออกไป มะม่วงจัดอยู่ในกลุ่มที่มีปริมาณปานกลางเช่นเดียวกับทุเรียน มังคุด น้อยหน่า กล้วยหอม และมะเขือเทศ (จริงแท้, 2538) ในช่วงอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น (climacteric rise) จะมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการสุก ปริมาณของเอทิลีนระหว่างการเก็บเกี่ยวมีผลต่อคุณภาพของมะม่วงสุก (Lelel *et al.*, 2003) ในช่วงการเจริญและการพัฒนาของผลอัตราการผลิตเอทิลีนจะต่ำมาก จนกระทั่งเมื่อผลไม้เริ่มสุกการผลิตเอทิลีนจึงเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว ความเข้มข้นภายในก็สูงขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทิลีนอาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจก็ได้ โดยผลไม้ประเภท climacteric มีการผลิตเอทิลีนอยู่สองระบบ คือ ระบบที่ 1 การสร้างเอทิลีนตามปกติที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อทั่วไป ระบบนี้ทำให้ความเข้มข้นของเอทิลีนถึงระดับสูงพอที่จะชักนำให้เกิดการหายใจเพิ่มขึ้น ระบบที่ 2 เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการสุก กลไกที่เอทิลีนเร่งการสุกของผลไม้เกิดขึ้นโดยเอทิลีนช่วยเลื่อนจุดเริ่มต้นของการสุกและเลื่อนจุดที่มีอัตราการหายใจสูงสุด (climacteric peak) ให้เกิดเร็วขึ้น (Lieberman, 1979; Yang, 1985) สำหรับผลมะม่วงในขณะที่ยังผลอ่อนจะมีปริมาณเอทิลีนสูงมากในขณะที่เมื่อผลแก่เต็มที่จะมีการผลิตเอทิลีนต่ำมาก (Wills *et al.*, 1998) การผลิตเอทิลีนของมะม่วงพันธุ์คาราบาวจะมีปริมาณสูงในช่วงผลอ่อนหลังจากนั้นจะลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 13 หลังดอกบาน

ซึ่งเป็นช่วงที่ผลแก่เต็มที่ เป็นเพราะในช่วงผลอ่อนมีปริมาณออกซินในผลสูงจึงเร่งการผลิตเอทิลีน และเร่งอัตราการหายใจตามมาด้วยการแบ่งเซลล์และการเจริญของเยื่อเจริญ หลังจากนั้นจึงหยุดการแบ่งเซลล์เป็นผลให้การผลิตเอทิลีนลดลง (Mendoza, 1984)

การสุกแก่ (maturity and ripeness)

ช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อระดับความพึงพอใจของผู้บริโภค เพื่อให้ได้มะม่วงที่ยังมีคุณภาพตามความต้องการต้องเก็บเกี่ยวมะม่วงที่แก่พอดีจากผู้ผลิต แล้วไปสุกเมื่อถึงตลาดลูกค้าและผู้บริโภค (Kader and Mitcham, 2008) เพราะระดับการแก่ของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยวเป็นจุดวิกฤติของการพัฒนาคุณภาพ และรสชาติที่ดีของผลไม้เมื่อเก็บเกี่ยวขณะแก่เต็มที่ (Kader, 2008) จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเก็บเกี่ยวผลไม้ที่จะต้องมีการตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพ การปรากฏสีแดงที่ผิวของมะม่วงบางพันธุ์ไม่ใช่ดัชนีการสุกแก่ที่น่าเชื่อถือ เช่นเดียวกับการเปลี่ยนสีพื้นผิวจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวจางหรือเหลืองก็เป็นดัชนีการสุกแก่ที่ไม่น่าเชื่อถือเพราะมีความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์มะม่วง พันธุ์และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันมีผลต่อสมรรถนะและความแม่นยำในการชี้วัดความแก่ของมะม่วงแต่ละวิธี (Slaughter, 2009 and Kader, 2008) พบว่าสีของเนื้อเป็นตัวชี้วัดที่คงที่ที่สุดของมะม่วงหลายพันธุ์แต่เป็นวิธีตรวจวัดที่ต้องทำลาย จึงควรจะพัฒนาสัญญาณการตรวจวัดสีเนื้อมะม่วงโดยวิธีการไม่ทำลาย โดยเทียบกับลักษณะภายนอกเช่นรูปร่างของผลที่ระดับความแก่ต่ำสุดในสวน

การแก่ (maturity) เป็นระยะที่ทำการเก็บเกี่ยวขณะที่ผลไม้มีคุณภาพขั้นต่ำของการยอมรับของผู้บริโภคมะม่วงเป็นผลไม้ที่สามารถสุกได้ภายหลังการเก็บเกี่ยว การกำหนดคุณภาพการบริโภคไม่ได้อยู่ที่ช่วงระยะเวลาการแก่แต่ขึ้นอยู่กับช่วงการสุกซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เวลา 8-10 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Lakshminarayana, 1980) ซึ่งเป็นช่วงที่มีรสชาติและเนื้อสัมผัสถูกใจผู้บริโภค ส่วนการสุก (ripe) เป็นช่วงที่มะม่วงเหมาะต่อการบริโภคซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวว่ามะม่วงแก่หรือยัง การเก็บมะม่วงก่อนที่จะแก่จะทำให้มะม่วงมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การคัดแยกมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวตามความแก่ในโรงบรรจุ สามารถแยกมะม่วงที่ยังไม่แก่ มะม่วงเริ่มแก่ และมะม่วงแก่เต็มที่ เพื่อให้คุณภาพของมะม่วงมีความสม่ำเสมอในการสุกเมื่อไปถึงปลายทาง และมีความจำเป็นที่ต้องรู้ระยะเวลาการสุกเพื่อกำหนดกลยุทธ์หลังการเก็บเกี่ยวในการลำเลียงและการจำหน่ายในตลาด การสุกที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งลำเลียงไปยังตลาด มะม่วงจะมีเนื้อนิ่มขึ้นเมื่อ

เกิดการสุก และมะม่วงเนื้อนั้นจะต้องดูแลอย่างระมัดระวังจากการเสียหายทางกลระหว่างการขนส่ง (Slaughter, 2009)

ประเภทของตัวชี้วัดการสุกแก่

1. การสังเกตด้วยตา (visual)

1.1 ขนาดและรูปร่าง (size and shape) การสุกแก่ของผลไม้จะแสดงออกด้วยขนาดและรูปร่างสุดท้ายขณะเก็บเกี่ยว รูปร่างของผลสามารถใช้ตัดสินใจในการเก็บเกี่ยวเช่นการขยายของไหล่วผลเป็นตัวชี้วัดความแก่ของมะม่วง ส่วนขนาดของผลนั้นนิยมใช้แบ่งคุณภาพมาตรฐาน เช่น ขนาดใหญ่ก็จะแก่เกินและขนาดเล็กก็จะยังอ่อนเป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ได้รับความเชื่อถือมากนัก (Dhatt and Mahajan, 2007) สมบัติทางกายภาพที่ใช้กันสำหรับมะม่วงเช่นรูปร่างและนวลหรือผงที่ปรากฏขึ้นที่ผิวของผลไม้ การเปลี่ยนแปลงสีผิวผล ที่สำคัญคือการขยายไหล่วผลด้านติดกับขั้วผล ไหล่วผลที่กว้างขึ้นเป็นตัวชี้วัดการแก่ของมะม่วงแต่เกิดขึ้นเฉพาะบางพันธุ์เท่านั้น (Yahia, 1998)

1.2 สี (color) การสูญเสียสีเขียวของผลไม้หลายชนิดเป็นตัวชี้วัดความแก่ การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลไม้จากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวสว่างขึ้นเกิดจากการสูญเสียสีเขียวและการพัฒนาของเม็ดสี สีเหลือง แดง และม่วง สีพื้นของผิวผลไม้เป็นตัวยืนยันที่ไม่น่าเชื่อถือแต่สีแทรกของผิวที่เริ่มแสดงออกมาเป็นตัวชี้วัดที่ดีในการกำหนดการแก่ของผลไม้ การใช้เครื่องมือวัดความเข้มของสีเป็นวิธีที่สามารถวัดได้แม่นยำและสามารถนำไปใช้ในสายงานบรรจุผลไม้ได้ แต่การใช้คนตัดสินยังต้องขึ้นกับตัวคนที่มีความแตกต่างกันในเรื่องการรับรู้สี (Dhatt and Mahajan, 2007) การสูญเสียสีเขียวของมะม่วงบางพันธุ์จากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวจางลง เป็นสีเหลืองออกส้ม สีแดง หรือสีเหลือง ซึ่งเป็นสีแทรกที่แสดงออกมาเป็นเม็ดสีแอนโทไซยานิน การเปลี่ยนสีของมะม่วงจะเกิดจากการสูญเสีย คลอโรฟิลล์ และการเพิ่มขึ้นของเม็ดสี แคโรทีนอยด์ แซนโทฟิลล์ และแอนโทไซยานิน ในมะม่วงบางพันธุ์ ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ลดลงขณะที่แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น และแอนโทไซยานินคงที่หรือค่อยๆเพิ่มขึ้น การสูญเสียคลอโรฟิลล์จะเกิดขึ้นขณะที่มะม่วงเริ่มนิ่ม ดังนั้นในบางครั้งการใช้ตัวชี้วัดการแก่จึงไม่เพียงพอเพราะจะเห็นได้หลังมะม่วงนิ่มแล้ว มะม่วงจะมีความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ค่อนข้างสูงถึง 9 mg/100g มะม่วงจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือส้มได้เร็ว ระดับแคโรทีนอยด์ของมะม่วงแต่ละพันธุ์จะมีค่าแตกต่างกัน ทำให้สีผิวของมะม่วงแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน มะม่วงบางพันธุ์จะมีสีผิวสม่ำเสมอเช่นมะม่วงผิวสีเหลือง แต่มะม่วงบางพันธุ์จะมีสีผิว

ไม่สม่ำเสมอ บางพันธุ์ผิวจะไม่เปลี่ยนสีเขียว ตำแหน่งของผลบนต้นมีผลต่อการพัฒนาสีผล บัญชีในโตรเจนที่ใส่ให้กับมะม่วงจะทำให้มีผลต่อการพัฒนาสีเหลืองและสีแดง สีผิวของมะม่วงจึงยังไม่เพียงพอจะเป็นตัวชี้วัดความแก่เนื่องจากมะม่วงบางพันธุ์สุกขณะที่เปลือกยังเขียว บางพันธุ์ผิวเหลืองแต่ยังไม่แก่ หรือสีแดงที่ปรากฏที่ผิวของมะม่วงบางพันธุ์ก็ยังไม่สามารถระบุความแก่ได้ ส่วนสีของเนื้อมะม่วงส่วนใหญ่จะค่อนข้างสม่ำเสมอเมื่อผลไม้พัฒนาขึ้น แต่วิธีวัดสีเนื้อจะต้องทำลายผลจึงไม่สามารถทำนายความแก่ได้ แต่ก็มีการใช้กันในหลายพื้นที่ ในมะม่วงบางพันธุ์ที่ใช้สีเนื้อก็ไม่เพียงพอที่จะระบุความแก่ได้ และไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงภายนอก เช่น รูปร่างและสีของเนื้อจะมีการเปลี่ยนจากสีเขียวปนเหลืองไปเป็นสีเหลืองหรือส้ม (Yahia, 1998)

2. ตัวชี้วัดทางกายภาพ (physical indice)

2.1 ความแน่นเนื้อ (firmness) ผลไม้ที่แก่และสุกเกิดจากการที่ผนังเซลล์นุ่มขึ้น ความแน่นเนื้อสามารถคาดคะเนได้ด้วยการใช้นิ้วกดหรือบีบกด แต่การใช้เครื่องกดจะให้ความแม่นยำมากกว่า ความแน่นเนื้อสามารถใช้หาความแก่ขณะเก็บเกี่ยว (Dhatt and Mahajan, 2007)

2.2 น้ำหนักจำเพาะ (specific gravity) เมื่อผลไม้แก่ค่าน้ำหนักจำเพาะจะเพิ่มขึ้น เป็นวิธีที่ใช้ลำบากในการชี้ความแก่ขณะเก็บเกี่ยวแต่สามารถใช้คัดแยกผลไม้ออกเป็นผลไม้เกรดต่างๆได้ หลังการเก็บเกี่ยว การวัดน้ำหนักจำเพาะของผักและผลไม้โดยการวางผลไม้ในถังน้ำถ้าผลไม้ลอยก็แสดงว่าผลไม้ยังไม่แก่ แต่ผลที่จมน้ำจะแก่แล้ว เพื่อให้การคัดมีความแม่นยำขึ้นอีกระดับจะใช้สารละลายเกลือหรือน้ำตาลแทนการใช้น้ำ ดังนั้นผลที่จมน้ำจะลอยในสารละลายเกลือหรือน้ำตาล และที่จมน้ำในสารละลายเกลือและน้ำตาลก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นไปอีก (Dhatt and Mahajan, 2007) เมื่อมะม่วงแก่จะเกิดการสะสมของน้ำหนักแห้งทำให้มะม่วงแน่นขึ้น ดังนั้นน้ำหนักจำเพาะจึงสามารถเป็นตัวชี้วัดการสุกแก่ตัวหนึ่ง น้ำหนักจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆระหว่าง 0.97-1.04 ทำให้ไม่สามารถได้รับความน่าเชื่อถือเท่าไร (Yahia, 1998)

3. การวัดทางเคมี (chemical measurement) การวัดทางเคมีของผลไม้ เช่นการเปลี่ยนแปลงจากแป้งเป็นน้ำตาลระหว่างสุกแก่เป็นวิธีที่ง่ายในการตรวจวัดการแก่ของแอปเปิ้ลโดยดูปฏิกิริยาของแป้งและไอโอดีนว่าจะเป็นสีฟ้าหรือสีม่วง ความเข้มข้นของสีจะแสดงปริมาณแป้งที่ยังเหลืออยู่ในผลไม้ การวัดค่าความหวานของผลไม้โดยใช้เครื่องวัดความหวาน (refractrometer) จะสามารถชี้วัดความแก่ขณะเก็บเกี่ยว การวัดค่าความเป็นกรดด้วยการสกัดน้ำผลไม้แล้วไตเตรทด้วยค่า 0.1 N

NaOH หรือสัดส่วนของค่าความหวานและความเป็นกรดเป็นวิธีการวัดที่ดีกว่าการวัดด้วยความหวานหรือความเป็นกรดโดยลำพัง (Dhatt and Mahajan, 2007) ค่าความหวาน และค่าความเป็นกรด ระหว่างการแก่ ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นส่วนความเป็นกรดจะลดลง มะม่วงบางพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากที่จะใช้เป็นตัวชี้วัด ค่าความหวานจะใช้เป็นตัวชี้วัด โดยใช้คู่กับการเปลี่ยนแปลงให้ผลและการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ส่วนในตลาดต้องการมะม่วงที่เก็บเกี่ยวที่ความหวาน 9 -11 องศาบริกซ์ (Yahia, 1998)

4. ตัวชี้วัดจากการคำนวณ (calculated indices or computation)

4.1 การนับวัน (calendar date) การเก็บเกี่ยวมะม่วงจะทำการเก็บเกี่ยวประมาณ 12-16 สัปดาห์หลังติดผล การนับวันเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่สามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว การนับอายุส่วนใหญ่จะนับจากวันที่ดอกบานเต็มที่ และวันที่ติดผล และแนะนำให้ใช้เป็นเกณฑ์ต่ำสุดสำหรับการเก็บเกี่ยวในพื้นที่และพื้นที่ที่แตกต่างกัน แต่ก็ขึ้นกับสภาพแวดล้อม แต่ส่วนใหญ่จะใช้วันหลังดอกบาน (Yahia, 1998) การนับวันเป็นวิธีที่ไม่น่าเชื่อถือในการกำหนดความแก่ของผลไม้เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละปีไม่มีความสม่ำเสมอ ช่วงเวลาการออกดอกจะมีผลจากอุณหภูมิ จำนวนวันจากช่วงออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวสามารถคำนวณได้จากข้อมูลอุณหภูมิซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ปลูกผลไม้แต่ละคน (Dhatt and Mahajan, 2007)

4.2 หน่วยความร้อน (heat unit) การวัดอุณหภูมิประจำวัน หรือความร้อนในสภาพแวดล้อม ถ้าอากาศร้อนจะทำให้ผลไม้แก่เร็วขึ้น แต่ถ้าอากาศเย็นจะชะลอการแก่ของผลไม้ ดังนั้นในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนผลไม้ก็จะแก่เร็วกว่าพื้นที่ที่มีอากาศเย็น (Dhatt and Mahajan, 2007)

ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลมะม่วง

ปัจจุบันผู้บริโภคมะม่วงส่วนใหญ่จะตรวจสอบความแก่โดยดูจากความแน่นเนื้อ ความมันวาว รสชาติ เป็นต้น ซึ่งมักจะเกิดความผิดพลาดได้ง่าย (Jha *et al.*, 2004) การตรวจสอบความแก่มีความสำคัญมากในการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้รับผลไม้ที่มีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวที่ดี ความแก่จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะทางกายภาพ เช่นสีผิว รูปร่าง ขนาด และการขยายตัวของให้ผล และมีความพยายามที่จะกำหนดมาตรฐานความแก่ของมะม่วงโดยใช้ความถ่วงจำเพาะ (Tandon *et al.*, 1988) และความแน่นเนื้อ (Samson, 1980) แต่ก็มีแนวโน้มที่ไม่น่าเชื่อถือในตัวชี้วัดเหล่านี้กับมะม่วง

หลายๆพันธุ์ จึงใช้เป็นเกณฑ์หนึ่งในการทำนายความแก่เท่านั้น (Tandon and Kalra, 1983, 1986) ผลมะม่วงจะถูกเก็บเกี่ยวในขณะที่ผลยังมีสีเขียวเมื่อถึงระยะความแก่ทางสรีรวิทยา แต่ก่อนที่จะเริ่มถึงช่วงที่มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น (climacteric rise) เพื่อให้ได้ผลมะม่วงที่มีคุณภาพที่เหมาะสม ผลที่ยังไม่แก่จะแสดงอาการสุกไม่สม่ำเสมอ รสชาติและกลิ่นไม่ดีซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ได้รับการปฏิเสธจากผู้บริโภค ปกติการเก็บเกี่ยวจะเริ่มได้เมื่อมีผลมะม่วงสุกและร่วงสองถึงสามผล (Tandon *et al.*, 1995) การเก็บเกี่ยวมะม่วงที่ความแก่พอดีเมื่อมะม่วงสุกจะมีคุณภาพที่ดีเยี่ยม (Medlicott *et al.*, 1988) ความแก่ของผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวมีผลโดยตรงต่อคุณภาพภายนอกและคุณภาพภายในของผลผลิต รวมทั้งคุณภาพในการรับประทาน ผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ยังไม่แก่จัดเมื่อผลสุกจะทำให้ผลมะม่วงมีรสเปรี้ยว สีผิวและเนื้อไม่สวย ผลเหี่ยวมากและกลิ่นอาจจะไม่หอม ตรงกันข้ามกับผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสมเมื่อผลสุกจะทำให้มีรสหวาน สีผิวและเนื้อสดสวย ผลไม่เหี่ยวหรือเหี่ยวเพียงเล็กน้อยและมีกลิ่นหอม แต่ถ้าเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่แก่จัดมากเกินไปจะทำให้มะม่วงสุกมีคุณภาพไม่ดี เนื้อนิ่มมากและเนื้อใกล้บริเวณเมล็ดจะขำ คุณภาพในการรับประทานไม่ดี (สายชล, 2533) การเก็บเกี่ยวผลมะม่วงขณะที่ยังอ่อนจะทำให้การสุกไม่สม่ำเสมอ แต่ถ้าเก็บเกี่ยวมะม่วงช้าจนมะม่วงแก่เกินไปจะทำให้อายุในการเก็บรักษาลดลง และอาจถูกเข้าทำลายโดยแมลงและเชื้อโรค (Biale and Young, 1980) อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลมะม่วงแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่นแหล่งปลูก ฤดูกาลที่มะม่วงออกดอก และติดผลจนกระทั่งผลโต การให้ปุ๋ย ความชื้นในดิน การตกแต่งต้น การใช้สารเคมีพ่น และตำแหน่งของผลในทรงพุ่ม (วิจิตร, 2529) เช่นในพื้นที่เขตภาคตะวันออก มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองถ้าออกดอกช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายนเพื่อจะเก็บเกี่ยวได้ในเดือนกันยายนนับจากดอกโรยต้องใช้เวลา 85 วัน แต่ถ้าออกดอกปลายเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายนเพื่อเก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคมต้องใช้เวลาประมาณ 110-120 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2553) มะม่วงน้ำดอกไม้เก็บเกี่ยวที่อายุต่ำกว่า 90 วัน เมื่อผลสุกผิวผลเกิดการเหี่ยวโดยเฉพาะส่วนหัวผลบริเวณรอบๆที่ขั้วผลติดอยู่ เนื้อค่อนข้างแข็ง รสหวานอมเปรี้ยว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดการสูญเสียน้ำมาก ส่วนผลที่อายุมากกว่า 90-99 วันผิวของผลสุกค่อนข้างเรียบ เนื้อนิ่ม มีกลิ่น รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย และเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 99 วันขึ้นไปผิวของผลสุกจะเรียบ เนื้อนิ่ม กลิ่นหอม รสหวาน (ดวงตรา, 2527) ความแก่ของผลผลิตแยกออกได้เป็นความแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) ซึ่งเป็นช่วงที่ผลไม่มีการพัฒนาสูงสุดซึ่งได้แก่ช่วงที่ผลไม่สุกเต็มที่ ความแก่ทางสรีรวิทยามักจะตามมาด้วยความเสื่อมสลาย และความแก่ทางการค้า (commercial maturity) ซึ่งมีส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชเจริญเติบโตถึงระยะที่ตลาดต้องการความแก่ทางการค้าอาจจะไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับความแก่ทางสรีรวิทยา

เนื่องจากความแก่ทางการค้าอาจจะต้องการในระยะที่แก่พอดี แก่จัดเกือบสุก หรือสุก (สายชล, 2528)

ดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvesting index) เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความแก่ของผลไม้ ดัชนีการเก็บเกี่ยวจะเป็นสิ่งที่กำหนดว่า ควรจะเก็บเกี่ยวผลไม้เมื่อไหร่จึงจะได้คุณภาพดีที่สุด การใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการลดปัญหาการเข้าใจผิดในเรื่องความแก่ของผลไม้ และช่วยคุ้มครองผลประโยชน์ของทั้งผู้ผลิตผู้ขายและผู้ซื้อ ในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว (สายชล, 2528) การหาดัชนีการเก็บเกี่ยวของมะม่วงหาได้หลายวิธี คือ

1. การสังเกตด้วยตา (visual means) ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญจากประสบการณ์ เช่นการสังเกตสีผลไม้บางชนิด เมื่อแก่จะมีสีเปลี่ยนไป การดูสีมักจะใช้เทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน (color chart) ซึ่งใช้ได้กับ แอปเปิ้ล สาลี่ และสตอเบอรี่ เป็นต้น ในการเก็บเกี่ยวมะม่วงอาจใช้วิธีการดูขนาดที่ผิวผลโดยมะม่วงเกือบทุกพันธุ์เมื่อ ผลแก่จัดขนาดหรือไซที่ผิวจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะผลมะม่วงที่มีผิวสีเขียวเข้ม เมื่อใช้มือถูหรือผ้าเช็ดผิวของผลมะม่วงขนาดหรือไซบนผิวมะม่วงจะหลุดไปและเห็นเป็นรอยขนาดหรือไซที่ไม่โดนถูหรือเช็ดบนผิวของผลมะม่วง (Hulme, 1971; สายชล, 2533 และจริงแท้, 2538) ในอินเดียใช้วิธีดูจำนวนผลมะม่วงสุกที่ตกอยู่ที่โคนต้นโดยถ้ามีผลมะม่วงสุก 1-2 ลูกตกที่พื้น โคนต้นแสดงว่าผลมะม่วงบนต้นนั้นแก่แล้ว นอกจากนั้นยังดูจากขนาดบนผิวหรือดูจากน้ำยางใสที่ซึมออกมาเมื่อเด็ดขั้ว ถ้าผลแก่น้ำยางจะซึมออกมาหนาและแห้งอย่างรวดเร็ว (Mendoza, 1984)

2. การใช้วิธีทางกายภาพ (physical mean)

- 2.1 ขนาดและรูปร่างของผล การเจริญเติบโตของมะม่วงพันธุ์ดาสุหรือในระยะเวลาแรกจะมีขนาดประมาณ 2.6 มิลลิเมตรจากนั้นจะมีการแบ่งตัวและการยืดตัวของเซลล์และหลังจากการผสมเกสรแล้วประมาณ 14 วัน โดยเนื้อหุ้มเมล็ดจะเริ่มแข็งตัวหลังจากการผสมเกสรแล้ว 64 วัน ผลจะมีขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ 60 วันหลังติดผล สามารถเก็บเกี่ยวได้โดยมีคุณภาพดีที่สุดประมาณ 90 วันหลังติดผล และมีรูปแบบการเจริญเติบโตของผลเป็นแบบ single sigmoid curve เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (ดวงตรา, 2526) พันธุ์ทองดำ (สายชลและคณะ, 2534) และพันธุ์โชคอนันต์ (นิพนธ์, 2534) จากการศึกษาการเติบโตของมะม่วงหนังกวางวันเนื้อหุ้มเมล็ดเริ่มแข็งตัวใช้เวลาประมาณ 75 วันและผลแก่ใช้เวลาประมาณ 110 วันหลังจากดอกบานเต็มที่ ส่วนพันธุ์ทองดำ เนื้อหุ้มเมล็ด

แข็งตัวใช้เวลาประมาณ 85 วัน และผลแก่ใช้เวลาประมาณ 100 วันหลังดอกบานเต็มที่และเป็นช่วงที่ผลมีการเจริญคงที่ (วิจิตร และมนตรี, 2523)

2.2 น้ำหนัก ปริมาตร และความถ่วงจำเพาะ เมื่อผลมะม่วงมีอายุมากขึ้นผลมะม่วงจะมีน้ำหนักสด ปริมาตร และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้มีความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงมีค่าเพิ่มมากขึ้น (สายชลและคณะ, 2534) โดยมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้มีอายุผลตั้งแต่ 84 วันหลังติดผลขึ้นไปมีความถ่วงจำเพาะ 1.03-1.04 ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (ดวงตรา, 2526) ขณะที่มะม่วงพันธุ์หนังกลางวันที่มีอายุ 109 วันหลังติดผลขึ้นไปจะมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 สามารถเก็บเกี่ยวได้ (อารี, 2536) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์มีอายุ 91 วันหลังติดผลจะมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 สามารถเก็บเกี่ยวได้ (นิพนธ์, 2534) มะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่มีอายุ 84 วันหลังติดผลจะมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดได้ (เสาวลักษณ์, 2530) มะม่วงพันธุ์ทองคำกีสามารถใช้เวลาถ่วงจำเพาะเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้โดยมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 ในช่วงอายุ 97 วันหลังดอกบาน (สายชลและคณะ, 2534) ส่วนมะม่วงมหาชนกที่มีอายุตั้งแต่ 98-133 วันหลังดอกบาน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.005 หรือมากกว่าใช้เป็นตัวชี้วัดการเก็บเกี่ยวได้ (สรพมงคล, 2545)

2.3 การนับอายุ การนับอายุผลมะม่วงเป็นวิธีที่นิยมใช้หาความแก่ของผลมะม่วง อายุของผลมะม่วงอาจนับตั้งแต่วันช่อดอกบานร้อยละ 50 หรือบานเต็มที่ หรือตั้งแต่ผลขนาดเล็กเริ่มติดแล้วมีขนาดเท่าหัวไม้ขีดหรือเมล็ดถั่วเขียว (10-14 วันหลังดอกบาน) จนกระทั่งถึงวันที่เก็บเกี่ยวได้ การหาความแก่ที่เหมาะสมของผลมะม่วงโดยการนับอายุเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก แต่ต้องบันทึกอายุการเก็บเกี่ยวได้เป็นเวลาติดต่อกันมากกว่า 1 ฤดูกาลของการติดดอกออกผลจึงจะนำมาใช้ได้ผลดี (สายชล, 2533)

2.4 ความแน่นเนื้อของผล ผลไม้ที่อายุเพิ่มขึ้นจะมีความแน่นเนื้อลดลงตามลำดับ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้มีอายุ 90 วันหลังติดผลมีความแน่นเนื้อ 15.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อผลอายุ 99 และ 108 วันหลังติดผลความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงเหลือ 11.3 และ 9.6 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ (ดวงตรา, 2527) ส่วนมะม่วงพันธุ์ทองคำมีความแน่นเนื้อของผลในช่วง 19.26-19.80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเมื่อผลแก่เต็มที่โดยมีอายุการเก็บเกี่ยว 97-106 วันหลังดอกบาน (สายชลและคณะ, 2534) มะม่วงเขียวเสวยอายุ 5-14 สัปดาห์มีความแน่นเนื้อเกือบคงที่ในช่วง 33.14-34.65 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หลังจากนั้นความแน่นเนื้อมีค่าลดลงเมื่อผลเริ่มสุก (ชนะชัย, 2531) ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์จะมีความแน่นเนื้อลดลงตามระดับความอ่อนแก่เพิ่มขึ้นโดยจะเริ่มเก็บเกี่ยว

เมื่ออายุ 91 วันหลังติดผล และมีความแน่นเนื้อระหว่าง 25.0-26.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงอาจใช้ความแน่นเนื้อเป็นดัชนีบ่งชี้ความแก่ของผลไม่ได้ (นิพนธ์, 2534) ส่วนมะม่วงมหาชนกที่อายุตั้งแต่ 98-133 วันหลังดอกบาน มีค่าความแน่นเนื้อระหว่าง 23.0-24.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (สรพมงคล, 2545)

2.5 ความชื้นและน้ำหนักแห้งของผล การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งและการลดลงของความชื้นจะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้ง (Mendoza, 1984) ในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของขนาดผลรวมทั้งการสูญเสียความชื้นทำให้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณน้ำหนักแห้งจึงใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ดีในมะม่วงพันธุ์เคนซิงตัน ในออสเตรเลียจะใช้ปริมาณน้ำหนักแห้งเป็นดัชนีชี้วัดการเก็บเกี่ยวโดยจะเก็บเกี่ยวเมื่อผลมีน้ำหนักแห้ง 16 เปอร์เซ็นต์ (McLauchlan, 1998) และมะม่วงพันธุ์อัลฟองโซใช้น้ำหนักแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (Lakshminarayana *et al.*, 1970) ส่วนมะม่วงมหาชนกที่อายุตั้งแต่ 98-133 วันหลังดอกบานมีค่าน้ำหนักแห้งระหว่าง 18.8-19.4 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นระหว่าง 80.6-81.2 เปอร์เซ็นต์ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (สรพมงคล, 2545)

2.6 สีเปลือกและสีเนื้อของผล การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกในมะม่วงหลายพันธุ์ส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้ค่าสีเปลือกเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ เนื่องจากมีความผันแปรจากสภาพแวดล้อมมาก อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะม่วง โดยพบว่าในสภาพอุณหภูมิต่ำปริมาณเบตา-แคโรทีนจะมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิต่ำจะชักนำให้คลอโรฟิลล์สลายไปทำให้ผิวผลมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น (Meredith and Young, 1971) ส่วนสีแดงที่ผิวมีผลจากการสังเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ แสง ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อพบว่ามีการใช้สีเนื้อเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวสำหรับมะม่วงหลายพันธุ์ เช่นมะม่วงพันธุ์ อัลฟองโซและไฟรีจะใช้เวลาตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนาน 110-125 วัน ผลแก่จะมีสีผิวเปลี่ยนจากเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อน และสีเนื้อเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง ส่วนพันธุ์การาวาและพันธุ์ทอมมี แอทกินส์สีเนื้อเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองระหว่างการสุก

3. การใช้การวิเคราะห์ทางเคมี (chemical mean)

3.1 ปริมาณกรดในช่วงเวลา 7 สัปดาห์หลังติดผลของมะม่วงพันธุ์อัลฟองโซ มีปริมาณกรด 4.2 เปอร์เซ็นต์หลังจากนั้นปริมาณกรดจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 2.8 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นช่วง

ที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ (Lakshminarayana *et al.*, 1970) เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่มีปริมาณกรดจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงช่วงที่ผลแก่และเก็บเกี่ยวได้ (Pantastico, 1975) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์ไทย ได้แก่ มะม่วงพันธุ์หนึ่งกลางวันจะมีปริมาณกรดซิดิกเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีค่าสูงสุดในวันที่ 49 หลังติดผลโดยมีค่าเท่ากับ 3.46 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะลดลงจนกระทั่งผลแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อผลอายุ 98 วันหลังติดผลโดยมีค่าเท่ากับ 1.55 เปอร์เซ็นต์ (วุฒิคุณ, 2530) มะม่วงเขียวเสวยมีค่าปริมาณกรดน้อยกว่า 1.54 % ระหว่างอายุ 12-14 สัปดาห์ ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (ชนะชัย, 2531) ขณะที่มะม่วงพันธุ์ทองดำจะมีปริมาณกรดซิดิกที่ไต่เตรทได้ในผลมะม่วงที่อายุ 2 สัปดาห์แรกหลังดอกบานเท่ากับ 2.78 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นปริมาณกรดเริ่มลดลงเล็กน้อย ในช่วงสัปดาห์ที่ 3-6 ปริมาณกรดเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดเวลาหลังจากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือ 1.38 เปอร์เซ็นต์ในสัปดาห์ที่ 16 ซึ่งเป็นช่วงที่ผลแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้ (สายชลและคณะ, 2534) ส่วนมะม่วงมหาชนกที่อายุตั้งแต่ 98-133 วันหลังดอกบานมีค่าปริมาณกรดระหว่าง 1.66-1.67 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (สรรพมงคล, 2545)

3.2 ปริมาณน้ำตาล ผลไม้เมื่อยังไม่บรริบูรณ์หรือยังไม่สุกมักมีปริมาณกรดสูงและมีปริมาณน้ำตาลต่ำนอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟีนอลสะสมอยู่ในแควิโอล ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่เข้าไปในเซลล์ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ เมื่อเข้าระยะการสุกแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลจึงอาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ความแก่ของมะม่วงได้ (จริงแท้, 2538) ในระยะแรกที่ผลมะม่วงเจริญเติบโตจะพบว่า มีน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสน้อยมากแต่จะมีน้ำตาลทั้งสองเพิ่มขึ้นขณะผลเริ่มแก่และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งสุก (Fuchs *et al.*, 1980) ในขณะที่มะม่วงแก้ว หนึ่งกลางวัน สามปี และมะม่วงตลับนาก มีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับความแก่เพิ่มขึ้นโดยเก็บเกี่ยวเมื่อมีปริมาณ TSS เท่ากับ 3.2 4.0 3.4 และ 3.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (วิจิตร, 2529) มะม่วงเขียวเสวยอายุ 5-14 สัปดาห์มีค่าปริมาณน้ำตาล 9.8-11.8 % ขณะผลดิบ และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 15.0-15.1 % เมื่อผลเริ่มสุก ในสัปดาห์ที่ 15-16 ค่าปริมาณน้ำตาลมากกว่า 10 % ระหว่างอายุ 12-14 สัปดาห์ ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (ชนะชัย, 2531)

การสุกแก่ของผลไม้สามารถใช้คุณสมบัติทางเคมีบางประการเป็นตัวชี้วัดได้ เช่นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดหรือค่าความหวาน(TSS) มีค่า 8 องศาบริกส์ (Rameshwar, 1993) มะม่วงที่มีค่าความหวานมากกว่า 8 องศาบริกส์ และมีค่าความเป็นกรดประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอยู่ในช่วงแก่ (Lee, 1981) ค่าความหวานของมะม่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงสอง

ช่วง คือช่วงการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆระหว่าง 6.90-8.10 องศาบริกส์ แต่หลังจากระยะสุกแก่แล้วค่าความหวานจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 8.10-13.00 องศาบริกส์ ส่วนค่าความหวานของมะม่วงระหว่างการเก็บรักษาจะเพิ่มขึ้นระหว่างการบ่มจนถึง 19.73 องศา บริกส์ แล้วลดลงช้าๆจนเหลือ 15 องศาบริกส์ ค่าความหวานที่ลดลงอาจเกิดจากมะม่วงสุกเกินไปและเกิดการเน่า มะม่วงที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีความหวาน 8 องศาบริกส์ หรือมากกว่าจะสามารถยืดอายุการวางตลาดได้มากขึ้น (Jha *et al.*, 2005) มะม่วงที่สุกแก่เต็มที่จะมีค่าความหวานและค่าความเป็นกรดที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่าความหวาน ค่าความเป็นกรด และแม้แต่ค่าอัตราความหวานต่อความเป็นกรดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้ชี้วัดการสุกแก่ของมะม่วงได้โดยลำพัง แต่ขึ้นอยู่กับพันธุ์มะม่วง มะม่วงที่บริโภคผลสุกจะบริโภคเมื่อมีค่าความหวานสูงเช่นมะม่วงโชคอนันต์ น้ำดอกไม้ และมหาชนก ส่วนมะม่วงบริโภคผลดิบจะบริโภคเมื่อมีค่าความเป็นกรดต่ำเช่นมะม่วงเขียวเสวย (Vasquez-Caicedo *et al.*, 2002) จุลจิรา (2545) พบว่า ผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่อายุ 98, 105, 112, 119, 126, และ 133 วันหลังดอกบาน เมื่อวางไว้ให้สุกเองจะใช้เวลาในการสุก 7, 7, 7, 6, 5, และ 5 วันตามลำดับ โดยผลที่มีอายุ 98 และ 105 วันหลังดอกบานเมื่อสุกจะมีค่าความหวาน (TSS) อัตราส่วนค่าความหวานและค่าความเป็นกรด (TSS/TA) และคุณภาพการบริโภคต่ำกว่าผลที่มีอายุ 112-133 วันหลังดอกบาน นอกจากนั้นระหว่างการสุกผลที่มีอายุ 98-112 วันหลังดอกบาน มีการเกิดโรคน้อยกว่าผลที่มีอายุ 119-133 วันหลังดอกบาน จึงสรุปว่า ผลที่มีอายุ 112 วันหลังดอกบาน มีความแก่ที่เหมาะสมและมีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวที่ดี

3.3 ปริมาณแป้งในเนื้อผล ผลมะม่วงจะสะสมแป้งซึ่งอยู่ในรูปของโพลีแซคคาไรด์และมีสารเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคติน เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (दनัย, 2534) ในขณะที่ผลมีการเจริญเติบโตค่าความถ่วงจำเพาะของผลจะเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งและปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อผลแก่น้ำหนักแห้งและแป้งจะเริ่มคงที่และคงที่อยู่ในช่วงสองวันสุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยวได้ซึ่งนับว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดที่จะเก็บเกี่ยวผล (Salunkhe and Desai, 1984) หรืออาจดูจากสัดส่วนของแป้งกับกรดมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 4 จะเป็นระยะที่ผลแก่เต็มที่เหมาะสมที่จะเก็บเกี่ยวได้ (Pantastico, 1975) มะม่วงพันธุ์ทองดำมีการสะสมแป้งอยู่สูงในช่วง 3 สัปดาห์แรกและหลังจากสัปดาห์ที่ 10 มีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเก็บเกี่ยวคือ 14 สัปดาห์หลังดอกบาน (สายชลและคณะ., 2534) ส่วนมะม่วงเขียวเสวยมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อเนื้อหุ้มเมล็ดเริ่มแข็งตัว โดยควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลมีปริมาณแป้ง 140 มิลลิกรัม คลูโคสต่อกรัมน้ำหนักแห้งซึ่งมีอายุ 91 วันหลังติดผล หรือ 105 วันหลังจากดอกบาน ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (เสาวลักษณ์, 2530) ส่วนมะม่วงพันธุ์หนังกลางวันมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้นและมี

ปริมาณสูงสุดเมื่ออายุ 13 สัปดาห์หลังติดผลซึ่งเป็นระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ (วุฒิกุล, 2530) สำหรับการสะสมแป้งในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้พบว่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 9 หลังการติดผลจนถึงระยะที่ผลแก่โดยมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ระดับน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆตลอดการเจริญเติบโต (ดวงตรา, 2526) ส่วนมะม่วงมหาชนกที่อายุตั้งแต่ 98-133 วันหลังดอกบานมีค่าปริมาณแป้งระหว่าง 21.0-23.0 เปอร์เซนต์ ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (สรพมงคล, 2545)

3.4 ปริมาณรงควัตถุในเปลือกและเนื้อผล มะม่วงพันธุ์ฮาเดน เออร์วิน และทอมมี่ แอทกินส์ มีการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกโดยมีการเพิ่มของปริมาณแอนโทไซยานิน แคลโรทีนอยด์ทั้งหมดและเบตา-แคโรทีน ของเปลือกในช่วงที่ผลมีความแก่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 13-15 สัปดาห์หลังติดผล (Steven, 1980) ในส่วนของสีเนื้อในผลของมะม่วงพันธุ์คาราบาว (Lizada, 1991) พันธุ์ทอมมี่ แอทกินส์ และอัลฟองโซ (Mitra *et al.*, 1997) พบว่าในระหว่างการสุกของผลมะม่วงทั้งสองพันธุ์มีปริมาณแคลโรทีนอยด์ที่ทำให้เกิดสีเหลืองในเนื้อผลเพิ่ม มากขึ้น โดยเฉพาะเบตา-แคโรทีนซึ่งมีปริมาณมากที่สุด ในมะม่วงพันธุ์ทองดำจะสามารถใช้เบตา-แคโรทีนเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ โดยเก็บตั้งแต่ 97 วันหลังดอกบานซึ่งมีค่า 4.93-6.10 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดและมีระดับสีอยู่ในกลุ่มสีส้ม (สายชล และคณะ, 2534) ส่วนมะม่วงมหาชนกที่อายุตั้งแต่ 98-133 วันหลังดอกบานมีค่าปริมาณเบตา-แคโรทีนระหว่าง 0.34-0.38 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (สรพมงคล, 2545) และในมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเปลือกผลจะมีการพัฒนาสีโดยเริ่มจากสีเขียวอ่อนเป็นเขียวเข้มเพิ่มมากขึ้น และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเมื่ออายุของผลเพิ่มขึ้น (เสาวลักษณ์, 2530) ในขณะที่มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์สามารถดูการเปลี่ยนแปลงของสีผิวเปลือกเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ โดยจะเก็บเมื่อผลมะม่วงมีสีเขียวเข้มขึ้น (นิพนธ์, 2534)

4. การใช้วิธีทางสรีรวิทยา (physiological method)

4.1 อัตราการหายใจภายในผล มะม่วงหลังติดผลจนถึงเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจในช่วงที่มีการพัฒนาของผลประมาณ 1-4 สัปดาห์หลังติดผลจะมีอัตราการหายใจที่สูงมาก หลังจากนั้นจะมีอัตราการหายใจลดลงเรื่อยๆจนถึง 12 สัปดาห์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจึงเป็นระยะที่แก่เต็มที่ (Mendoza, 1984) ในขณะที่มะม่วงพันธุ์ลังกรา (Langra) จะมีอัตราการหายใจสูงในช่วง 4 สัปดาห์แรก และลดลงเมื่อผลแก่ (Singh *et al.*, 1937) เช่นเดียวกับพันธุ์อัลฟองโซอัตราการหายใจในช่วงผลอ่อนจะมีค่าสูง และลดลงคงที่เมื่อผลแก่ซึ่งสามารถใช้ค่าในช่วงนี้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ หลังจากนั้นจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นช่วงที่ผลเริ่มเข้าสู่ระยะการสุก

มะม่วงมหาชนกที่อายุตั้งแต่ 98-133 วันหลังดอกบานมีค่าอัตราการหายใจ 85.5 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ 100 กิโลกรัม.ชั่วโมง หรือน้อยกว่า ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (สรพ มงคล, 2545)

4.2 อัตราการผลิตเอทิลีน มะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทิลีนเช่นเดียวกับผลไม้ประเภท climacteric อื่นๆ โดยในช่วงแรกที่มีการผสมเกสรจะมีการผลิตเอทิลีนมาก โดยอัตราการผลิตเอทิลีนจะสูงในช่วงการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ หลังจากนั้นจะลดลง และคงที่ซึ่งค่าที่ได้ค่อนข้างต่ำมาก การหาค่าเพื่อใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวจึงค่อนข้างยาก แล้วในช่วงที่ผลเริ่มเข้าสู่ระยะการสุกปริมาณเอทิลีนก็จะสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง (Wills *et al.*, 1998)

5. สมบัติเชิงแสง

การแก่ของผลมะม่วงมีความสัมพันธ์กับขนาด รูปร่าง สี และความแน่นเนื้อ ขนาดของผลมะม่วงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงช่วงที่มะม่วงแก่ ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจะสังเกตได้ไม่ชัดเจน แต่เมื่อมีค่าความหวานสูงกว่า 8 องศาบริกซ์ จะเป็นตัวชี้วัดสำหรับการเก็บเกี่ยว ระหว่างการเก็บรักษา ขนาดและรูปร่างจะลดลงเนื่องจากการสูญเสียน้ำหนัก (Jha *et al.*, 2004) มะม่วงแต่ละพันธุ์จะมีขนาด น้ำหนัก และผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยมะม่วงมหาชนกจะมีขนาด น้ำหนัก และผลผลิตสูงสุดขณะที่มีเมล็ดเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับมะม่วงโชคอนันต์ น้ำดอกไม้ และเขียวเสวย แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตสดของมะม่วงมหาชนกไม่แตกต่างกับมะม่วงโชคอนันต์และน้ำดอกไม้ (Vasquez-Caicedo *et al.*, 2002) ความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแก่ ความสด และการบอบช้ำ และถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพผักและผลไม้มานาน (Studman and Boyd, 1994) การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์กับช่วงอายุการสุกแก่ของมะม่วง ในระยะแรกของการเจริญเติบโตค่าความแน่นเนื้อจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่หลังช่วงที่มะม่วงแก่ค่าความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลง (Jha *et al.*, 2004) ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพคตินที่ผิวเปลือก ระหว่างที่มะม่วงสุก (Kalra *et al.*, 1995) ความแน่นเนื้อจะมีค่าสูงสุดเมื่อมะม่วงมีค่าความหวาน 8-10 องศาบริกซ์ ที่อายุ 552 ชั่วโมงหลังวันเก็บเกี่ยววันแรก ความแน่นเนื้อของมะม่วงที่เก็บรักษาจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 168 ชั่วโมงของการเก็บรักษา (Jha *et al.*, 2004) ความแน่นเนื้อจะลดลงสูงมากเนื่องจากการเสื่อมเสียของผนังเซลล์ (Jha and Matsuoka, 2002) ค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้และโชคอนันต์จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงขณะที่มะม่วงยังไม่สุกแก่จนมะม่วงถึงระยะสุกแก่ค่าความแน่นเนื้อจะลดลงอย่างรวดเร็ว มะม่วงโชคอนันต์จะมีความแน่นเนื้อมากกว่ามะม่วง

น้ำดอกไม้ทุกระยะการเจริญเติบโต (Jarimopas and Kittawee, 2006) ค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงโชคอนันต์มีค่าสูงกว่าพันธุ์อื่นประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์อาจเกิดจากมีปริมาณเส้นใย และปริมาณเปคตินสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆ (Vasquez-Caicedo *et al.*, 2002)

ในช่วงเริ่มแรกของการเจริญเติบโตของผลมะม่วงจะมีค่าความสว่าง (L) ลดลงแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าสีเหลืองปรากฏออกมา ค่า a ซึ่งแสดงค่าสีเขียวของผิวมีค่าเพิ่มขึ้นจาก -7.70 เป็น -5.59 เมื่อเลาะระยะสุกแก่ ค่าสีเหลือง (b) ที่ผิวเปลือกจะลดลงในช่วงแรกและมีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังในระยะสุกแก่ แสดงว่าในช่วงที่มะม่วงยังอ่อนจะมีสีเขียวเข้มแต่เมื่อมะม่วงเริ่มสุกแก่จะมีสีเหลืองสว่าง (Jha *et al.*, 2004) Kudachikar *et al.*(2001) and Ueda *et al.*(2000) ได้แนะนำให้ใช้สีของเนื้อหรือ ปริมาณของแคโรทีนอยด์ในเนื้อเป็นตัวชี้วัดความแก่ของมะม่วง มะม่วงที่เก็บรักษาจะมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ชั่วโมงของการเก็บรักษาแล้วจะลดลงเนื่องจากผิวปรากฏจุดดำจากการถูกทำลายของเชื้อโรคที่ผิวเปลือก ส่วนค่าสีเขียวจะหมดไปหลัง 168 ชั่วโมงในการเก็บรักษาและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแทน จากนั้นค่าสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นจนถึง 240 ชั่วโมงในการเก็บรักษาแล้วจะมีค่าลดลงเนื่องจากผิวปรากฏจุดดำ (Jha *et al.*, 2004) ค่าสีของผิวเปลือกมะม่วงไม่มีความสัมพันธ์กับการสุกแก่ของมะม่วงทุกสายพันธุ์ ค่าความอิ่มตัวของสี(chroma) และค่าความเหลือง (yellowness) จะแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างสีผิวและสีเนื้อสูงสุด สีผิวเปลือกของมะม่วงโชคอนันต์จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มในช่วงสุกเต็มที่แต่ก็ยังมีส่วนสีเขียวยังเหลืออยู่ระหว่างการสุกแก่ (Vasquez-Caicedo *et al.*, 2002) ค่าการสะท้อนแสงของมะม่วงบางพันธุ์ที่ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ไม่แสดงลักษณะเด่นออกมาในเชิงปริมาณ แต่ค่าการสะท้อนแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ความยาวคลื่นหลัง 500 นาโนเมตร และมีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่นหลัง 550 นาโนเมตร แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆระหว่าง 550-670 นาโนเมตร ซึ่งแสดงลักษณะเด่นของความเป็นสีฟ้าในสีเขียว และแสดงข้อบกพร่องของสีแดงและมีค่าต่ำสุดที่ 670 นาโนเมตรแล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ค่าความยาวคลื่นที่สามารถทำนายค่าดัชนีสีเหลืองได้ดีที่สุดอยู่ระหว่าง 530-550 นาโนเมตร (Jha *et al.*, 2006). ส่วนค่าความยาวคลื่นที่สามารถทำนายค่าความหวานได้ดีที่สุดอยู่ระหว่าง 440-480 นาโนเมตร (Jha *et al.*, 2005). การสุกแก่ของผลไม้จะแสดงออกให้เห็นจากการเปลี่ยนแปลงของสี จากสีเขียวเป็นสีเหลืองซึ่งเกิดจากการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือก ค่าการสะท้อนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 550-700 นาโนเมตร แสดงความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับระดับคลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือก ผิวเปลือกที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงจะเป็นช่วงที่มีการสะท้อนแสงต่ำ ความสัมพันธ์สูงสุดระหว่างระดับคลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือกและการเปลี่ยนแปลงของการสะท้อนแสงเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 678 นาโนเมตร(ช่วงการดูดซับคลอโรฟิลล์) (Li *et al.*, 1997) ค่าการสะท้อนแสงของผลไม้ดิบที่แสดง

คุณลักษณะการดูดซับคลอโรฟิลล์ช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 500 นาโนเมตร และระหว่าง 600-700 นาโนเมตร ส่วนผลไม้มักจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงค่าการสะท้อนแสงต่อมาซึ่งเป็นช่วงการลดลงของคลอโรฟิลล์และการแสดงรงควัตถุ เช่น แคโรทีนอยด์ (Sumner and Mollon, 2000) Merzlyak *et al.* (2003) ได้แนะนำ ช่วงการประมาณค่าการสะท้อนแสงของการใช้คลอโรฟิลล์ ที่ความยาวคลื่น 640 และ 700 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ห่างจากช่วงการดูดซับรงควัตถุ อัตราการสะท้อนแสงสองอัตรา คือ R800/R700 และ R800/R640 แสดงค่าความสัมพันธ์สูงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ ($r^2=0.93$) ในช่วงการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุของผลไม้ทุกสายพันธุ์ การพัฒนาเทคนิคต่างๆ ในการตรวจสอบโดยไม่ทำลายเพื่อประมาณค่าแคโรทีนอยด์ โดยการดูดซับคลอโรฟิลล์ในผลไม้ที่ไม่มีแอนโทไซยานิน และโดยการดูดซับคลอโรฟิลล์และแอนโทไซยานิน ในผลไม้ที่มีแอนโทไซยานิน ในการพัฒนาดัชนีของแคโรทีนอยด์ในพืชพบช่วงความยาวคลื่นของปริมาณแคโรทีนอยด์บนพื้นหลังที่มีคลอโรฟิลล์สูง (Gitelson *et al.*, 2002). การใช้ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 425 และ 480 นาโนเมตร เพื่อประมาณแคโรทีนอยด์ในผลไม้ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงยังมีข้อสงสัยอยู่มาก ดังนั้นช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมของแคโรทีนอยด์บนพื้นหลังที่มีคลอโรฟิลล์คือช่วง 520-530 นาโนเมตร จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การใช้ค่าการสะท้อนแสงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการตรวจวัดแบบไม่ทำลายเพื่อหาปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และ แอนโทไซยานิน ที่ผิวเปลือกของผลไม้ทั้งลูก ระหว่างการพัฒนา (Merzlyak *et al.*, 2003)

การตรวจวัดความแก่ด้วยวิธีการไม่ทำลาย (nondestructive methods)

การตรวจประเมินคุณภาพของผลไม้สามารถทำได้ทั้งวิธีการทำลาย (destructive methods) และวิธีการไม่ทำลาย (nondestructive methods) ในปัจจุบันการตรวจประเมินคุณภาพด้วยวิธีการไม่ทำลายได้ถูกนำมาใช้และได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ (Iwamoto *et al.*, 1995; Jha and Matsuoka, 2000, 2004). เพราะมีความสะดวก ใช้เวลาน้อย และใช้ได้กับทั้งผักและผลไม้ คุณลักษณะทางกายภาพหลายอย่างของผักและผลไม้สามารถใช้เป็นวิธีการตรวจโดยไม่ต้องทำลาย (Kato, 1997; Lammertyn and Nicolai *et al.*, 1998; Lesage and Destain, 1996; Nussinovitch *et al.*, 1996). เช่น การใช้คลื่นแสงช่วง near-infrared (NIR) (Guthrie and Walsh, 1997; Saranwong *et al.*, 2001, 2003a, 2003b, 2004; Walsh *et al.*, 2004), การวิเคราะห์คลื่นแสงช่วง visual spectral (Jha *et al.*, 2005; Schmilovitch *et al.*, 2003), การนำเทคนิคคลื่นเสียงมาใช้ (acoustic and ultrasound techniques) (Mizrach *et al.*, 1999; Mizrach, 2000; Polderdijk *et al.*, 2000; Shmulevich *et al.*, 2003; Valente and Ferrandis, 2003) นอกจากนั้นก็มีการใช้วิธีวิเคราะห์ภาพถ่าย (image analysis)

แต่เครื่องมือดังกล่าวมีราคาสูงมากและไม่สามารถนำไปใช้ตรวจประเมินในสวนผลไม้ได้ การตรวจวัดความแก่ด้วยวิธีการไม่ทำลายสามารถจำแนกได้ ดังนี้

1. สมบัติด้านแสง (Optical properties) Abbott (1998) กล่าวว่าลักษณะปรากฏเป็นปัจจัยแรกที่ใช้ในการตัดสินใจด้านคุณภาพของผักและผลไม้ แสงสะท้อนจากผลผลิตจะเป็นข้อมูลสำหรับผู้ตรวจสอบ และผู้บริโภคในการตัดสินใจด้านคุณภาพของผลผลิต อย่างไรก็ตามการมองเห็นของมนุษย์จะจำกัดอยู่ในพื้นที่เล็กๆของ สเปกตรัม อัลเลอริมิเตอร์วัดแสงในรูปของช่วงสีไตรสติมุลัส ซึ่งสัมพันธ์กับการมองเห็นของมนุษย์ จำกัดอยู่ใน ช่วงแสงที่มองเห็นได้ คุณภาพบางอย่างตอบสนองกับช่วงความยาวคลื่นนอกช่วงสเปกตรัมที่มองเห็น สเปกโตรมิเตอร์ ใช้วัดความยาวคลื่นในช่วงอุลตราไวโอเรต และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์วัดความยาวคลื่นในช่วงใกล้อินฟราเรด เครื่องมือแต่ละอย่างจะมีความเหมาะสมกับการวัดในแต่ละช่วงความยาวคลื่น คุณสมบัติด้านแสงขึ้นกับการสะท้อนแสง การส่งสัญญาณ การดูดกลืน หรือการกระจายของแสงของผลผลิต เมื่อแสงสัมผัสกับผักและผลไม้ แสงประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์จะสะท้อนที่ผิวนอกทำให้แสดงความมันวาว ส่วนที่เหลืออีก 96 เปอร์เซ็นต์จะส่งสัญญาณผ่านผิวเข้าไปสู่โครงสร้างภายในของผลผลิต ซึ่งอาจเกิดการกระจายจากการเชื่อมประสานของเนื้อเยื่อ หรือการดูดซับโดยองค์ประกอบของเซลล์ (Birth, 1976) สีถูกใช้เป็นพื้นฐานในการคัดแยกคุณภาพทางการค้าของผลผลิตหลายอย่าง แต่ความเข้มข้นของสารสีหรือองค์ประกอบเฉพาะอื่นๆอาจจะชี้วัดคุณภาพได้ดีกว่า (Lancaster *et al.*, 1997) สีมีความสัมพันธ์โดยตรงอย่างมากต่อการยอมรับลักษณะที่ปรากฏ ความเข้มข้นของสารสีอาจมีความสัมพันธ์โดยตรงอย่างมากต่อความแก่ ส่วนความเข้มข้นขององค์ประกอบอื่นๆจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับรสชาติ สีสามารถอธิบายได้ในระบบต่างๆ (Clydesdale, 1978; Francis, 1980; Hunter and Harold, 1987; Minolta, 1994) เนื่องจากตามนุษย์สามารถเห็นแสงได้ในช่วงความถี่ที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าเท่านั้น ดังนั้นแสงจึงไม่ใช่สี แสงเป็นรังสีที่มากกระตุ้นเรตินาของตาทำให้เกิดการมองเห็น จากนั้นจึงถ่ายทอดไปยังสมองเพื่อตอบสนองต่อข้อมูลที่ส่งต่อมาจากตา เครื่องวัดสีจึงนำหลักการนี้มาเป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบด้วยวิธีไตรสติมุลัส (tristimulus method) เครื่องวัดสีแบบอัลเลอริมิเตอร์ใช้วิธีนี้ในการวัดแสงในแนวทางเดียวกับการที่มนุษย์ใช้ตา รับแสง อีกวิธีหนึ่งเรียกว่า สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้วิธีวัดสีโดยทำการแยกสเปกตรัมของแสง แล้วนำมาคำนวณค่าไตรสติมุลัสบนฐานของฟังก์ชันสมการของตามนุษย์ นอกจากค่าสีจะแสดงผลของข้อมูลเป็นตัวเลขแล้วยังแสดงค่าสีในระบบต่างๆได้อีกด้วย เครื่องมือที่ใช้วิธีสเปกโตรโฟโตเมตริกนี้ยังสามารถแสดงผลค่าสเปกตรัมได้โดยตรง ซึ่งจะทำให้รู้รายละเอียดของสีมากขึ้น โดยทั่วไปวัตถุจะดูดกลืนแสงบางส่วนที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดแสงไว้แล้วสะท้อนแสงส่วนที่เหลือออกมา แสง

ส่วนที่สะท้อนเข้าตามนุษย์ที่เรตินาโดยเซลล์รับแสงจะส่งผ่านข้อมูลสีของวัตถุไปแปลความหมายที่สมอง วัตถุแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนและการสะท้อนแสงในสัดส่วนที่ต่างกันตามสเปกตรัม และปริมาณความแตกต่างของการดูดกลืนและการสะท้อนนี้เองเป็นสาเหตุที่ทำให้วัตถุมีสีที่แตกต่างกัน

ค่าไตรสติมุลัส XYZ และค่า Yxy พัฒนามาจากระบบสี CIE (Commission Internationale del' Eclairage) ซึ่งมีแนวพื้นฐานมาจากทฤษฎี 3 องค์ประกอบในการมองเห็นของตามนุษย์ ประกอบด้วยเซลล์ไวแสงสามสีคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน และสีทั้งหมดที่เรามองเห็นเกิดจากการผสมของสามสีหลัก ความไวของสายตามนุษย์ต่อสีต่างๆตามมาตรฐานของ CIE 1931 ค่าไตรสติมุลัส XYZ ถูกคำนวณมาจากฟังก์ชันการมองเห็น แต่เนื่องจากค่าไตรสติมุลัส XYZ นำไปแปลความหมายของสีได้ค่อนข้างยาก CIE จึงนำเสนอค่าใหม่ในปี 1931 เป็นรูปกราฟสองมิติโดยไม่รวมความสว่างเข้ามาด้วยเรียกว่า วิธี Yxy (color space) ทั้งนี้ให้ Y แทนค่าความสว่าง ส่วนค่า x และ y เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสีที่ได้จากการคำนวณค่าไตรสติมุลัส XYZ ระบบสี $L^* a^* b^*$ บางครั้งเรียกว่า CIELAB เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมกันมากในการนำมาใช้วัดค่าสีและใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด เป็นระบบสีที่มีสเกลสม่ำเสมอซึ่งกำหนดโดย CIE ในปี 1976 เพื่อแก้ปัญหาการแปลค่าสีที่เกิดขึ้นในระบบไตรสติมุลัส เพราะพบว่าระยะห่างระหว่าง x และ y บนไดอะแกรมสีจะไม่สอดคล้องกับความแตกต่างของสีที่เกิดจากการมองเห็นจริง ในระบบสี $L^* a^* b^*$ นี้ค่า L^* หมายถึงความสว่าง ส่วน a^* และ b^* เป็นค่าสัมประสิทธิ์สี ค่า a^* และ b^* จะบอกทิศทางของสี เช่น $+a^*$ หมายถึงอยู่ในทิศของสีแดง $-a^*$ หมายถึงอยู่ในทิศของสีเขียว $+b^*$ หมายถึงอยู่ในทิศของสีเหลือง และ $-b^*$ หมายถึงอยู่ในทิศของสีน้ำเงิน พื้นที่ตรงกลางจะไม่สามารถแยกสีได้ (acromatic) เมื่อค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น ความอิ่มตัวของสีก็จะเพิ่มขึ้น ระบบสี $L^* C^* h^*$ ใช้ไดอะแกรมสีแบบเดียวกับระบบ $L^* a^* b^*$ แต่รูปร่างต่างกันที่เป็นรูปกรวยแหลมแทนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในระบบนี้ค่า L^* หมายถึงความสว่าง โดยค่า C^* หมายถึงค่าโครมา (chroma) และ h^* หมายถึงมุมของสี (hue angle) ค่า C^* จะมีค่าเป็น 0 ที่จุดศูนย์กลางและจะมีสีอิ่มตัวมากขึ้นเมื่อออกห่างจากจุดศูนย์กลางมากขึ้น ส่วนค่ามุมของสี h^* จะเริ่มนับค่าบนแกนด้าน $+a^*$ โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 0 องศาบนแกนด้าน $+a^*$ จะเป็นสีแดง เมื่อเป็นมุม 90 องศาจะเป็นแกน $+b^*$ สีเหลือง ที่มุม 180 องศา จะเป็นแกน $-a^*$ สีเขียว และเมื่อเป็นมุม 270 องศาจะมีค่า $-b^*$ สีน้ำเงิน การวัดสีด้วยค่าสี ฮันเตอร์แลป ได้รับการพัฒนาขึ้นระหว่างปี 1950-1960 เป็นการวัดที่มีระยะสเกลสีที่สม่ำเสมอมากกว่าการวัดค่าไตรสติมุลัสของสี XYZ ค่าสีฮันเตอร์แลป ถูกจัดการเป็นรูปลูกบาศก์ ค่า L วางตัวในแนวนอนถึงล่าง ค่า L มากที่สุดมีค่า 100 ซึ่งแสดงค่าสีขาว และค่าน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งแสดงค่าสีดำ ส่วนค่าแกน a และ b ไม่จำกัดค่า ค่า a เป็นบวกแสดงค่าสีแดง ส่วนค่าลบแสดงค่าสีเขียว ค่า b เป็นบวกแสดงค่าสีเหลือง

ส่วนค่าลบแสดงค่าสีฟ้า การวัดสีแบบนี้ยังสามารถแสดงค่าความแตกต่างของสีระหว่างสีมาตรฐานกับตัวอย่างที่วัดได้ของค่าสี L , a และ b (ΔL , Δa และ Δb) ค่า ΔL , Δa และ Δb ถูกนำมาใช้ควบคุมคุณภาพ โดยมีการกำหนดค่าการยอมรับ ถ้าค่าผลต่างมีค่าออกห่างจากค่าการยอมรับแสดงว่าค่ามาตรฐานมีความแตกต่างมากเกินไปกับค่าของตัวอย่าง เช่นถ้าค่า Δa ออกนอกค่าที่ยอมรับก็จะต้องมีการปรับอัตราส่วนค่าสีแดงและค่าสีเขียว ไม่ว่าตัวอย่างจะมีสีแดงหรือ เขียวกว่าค่ามาตรฐาน ถ้าค่า Δa เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างมีสีแดงมากกว่ามาตรฐาน ค่าความแตกต่างของสีรวม ΔE เป็นค่าเดียวที่แสดงความแตกต่างของค่าสี L , a และ b ระหว่างสีมาตรฐานและของตัวอย่าง ในบางกรณีที่เกิดการผิดพลาดทำให้ค่า ΔL , Δa และ Δb จะออกนอกค่าที่ยอมรับ แต่ค่า ΔE ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (HunterLab, 1996) การยืดเกาะทางเคมีจะดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นเฉพาะ ดังนั้นองค์ประกอบบางอย่างสามารถหาได้จากสเปกตราที่วัดได้โดย สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หรือ สเปกโตรมิเตอร์ ในช่วงแสงที่มองเห็นได้ตัวดูดกลืนหลักคือพวกรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน และส่วนประกอบอื่นๆ ส่วนน้ำ แป้ง ไขมัน และ โปรตีน จะถูกดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด (NIR) Williams and Norris (1987) ได้ลงรายการความยาวคลื่นหลักที่ดูดกลืนสำหรับ รงควัตถุ ไขมัน โปรตีน แป้ง และน้ำ เพื่อใช้ในการตรวจวัดคุณภาพและความสุกแก่ของผลผลิต วิธีการวิเคราะห์สเปกตราทั้งหมด (multi-wavelength or whole-spectra) ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ตรวจวัดค่าความหวาน ค่าความเป็นกรด ปริมาณแป้ง และการสุก แบบไม่ทำลาย สามารถหาค่าปริมาณแป้งและค่าความหวานของผลไม้ได้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล ส้ม กีวี มะม่วง แดง หัวหอม พืช มันฝรั่ง และมะเขือเทศ เป็นต้น ได้ค่า $r^2:0.93$

2. แรงกด (compression) เป็นคุณสมบัติทางกลมีความสัมพันธ์กับเนื้อเยื่อ คุณสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อ ทั้งการเจาะ การกด การเหวี่ยง การกระแทก การวัดคลื่นเสียงและคลื่นเหนือเสียง ได้รับการตรวจสอบ โดย Brown and Sarig (1994), Chen (1996) and Abbott *et al.* (1997) ความแน่นเนื้อสามารถประเมินได้จาก แรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปที่กำหนดให้ภายในผลิตภัณฑ์นั้น การเปลี่ยนรูปที่เกิดจากแรงมาตรฐาน และอัตราส่วนแรงต่อการเปลี่ยนรูปภายในวัสดุระหว่างถูกภาระเชิงกลกระทำ (Finney, 1969) ความแน่นเนื้อของผลไม้ควรที่จะถูกวัดภายใต้สภาวะความเครียดน้อยๆ ไม่ให้เกินจุดคลากของผลิตภัณฑ์ และสอดคล้องกับทฤษฎียืดหยุ่น (Bourne, 1967) Schomer and Olsen (1962) พบว่าความแน่นเนื้อเป็นสัดส่วนกับแรงกด และได้ทำการปรับปรุงเครื่องทดสอบแรงกดผลไม้ซึ่งมีความลึกของการแทงหัวกดเข้าไปในผลไม้เท่ากับ 1.4 มม. โดยมีหลอดไฟเล็กๆแจ้งแก่ผู้ทดสอบ การบอกความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง HIT (Hardness, Immaturity and Texture Meter) เป็นวิธีที่ไม่ทำลายหรือทำให้ตัวอย่างผลไม้ที่เอามาทดสอบเสียหาย ทำให้สามารถ

ตรวจสอบผลไม้ตัวอย่างที่เวลาต่างๆระหว่างการเก็บรักษา กระบวนการตรวจสอบระดับความสุก
 เพื่อการจำหน่ายและเวลาที่ดียิ่งที่สุดที่จะบริโภค เครื่อง HIT จะประเมินความแน่นเนื่องจากปริมาณการ
 เปลี่ยนรูปที่กำหนดที่เกิดจากแรงกดภายในช่วงยืดหยุ่น ซึ่งจะ ไม่ทำให้เกิดทั้งความเสียหายและการ
 เปลี่ยนรูปถาวรกับวัสดุตัวอย่าง เครื่องวัดปริมาณแรงด้วยเกจนาฬิกา (Dial gauge) โดยการกด
 ผลไม้กับหัวกดซึ่งจะถ่ายทอดแรงกระทำสู่สปริงภายในเครื่อง การหดตัวของสปริงจะสัมพันธ์กับ
 การเคลื่อนที่ของเข็มที่หน้าปัดเครื่องซึ่งระบุระดับความแน่น Manago (1991) ได้เปรียบเทียบ
 การใช้ Handy Hit กับเครื่องวัดความแน่นของผลไม้ที่ใช้กันทั่วไป โดยทดลองกับผลกีวี่ที่
 ระยะการสุกต่างๆพบว่า การใช้เครื่อง Handy Hit ในภาคสนามเป็นไปได้ การทดสอบแบบ Drop
 test เป็นการทดสอบโดยปล่อยผลไม้ที่มีความสูงระยะหนึ่งตกลงมากระแทกกับแก้วแรงที่ผิวหน้า
 เป็นพื้นเรียบ ซึ่งตรงข้ามกับแบบ Falling mass ที่จะปล่อยพื้นผิวซึ่งติดหัววัดความเร่งไว้กระแทกกับ
 ผลไม้ที่อยู่กับที่ อีกแบบหนึ่งคือแบบ pendulum แบ่งเป็น Simple pendulum และ Compound
 pendulum ซึ่งทั้ง 4 แบบข้างต้นเป็นแบบที่จำเป็นต้องใช้แรงโน้มถ่วงของโลกจึงทำให้ค่าแรงที่
 เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่กระทำกับผลไม้จึงจำเป็นต้องทราบค่าน้ำหนักที่แน่นอนและควบคุม
 ได้ ส่วนแบบ impact ram เป็นแบบที่ไม่ได้ใช้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแต่ใช้แรงซึ่ง
 เกิดจากสปริงหรือระบบนิวเมติกไปกระแทกกับผลไม้ซึ่งพียงอยู่กับแท่นรับผลไม้จึงทราบค่าแรงที่
 กระทำกับผลไม้แน่นอนและสม่ำเสมอทุกครั้ง (Peleg, 1985)

3. แรงกระแทก (Impact) การทดสอบแรงกระแทกได้มีการนำมาใช้ในหลายวิธีทั้งการเทียบ
 แรงต่อเวลา หรือแรงต่อสเปกตรัมของความถี่จากการปล่อยผลไม้ให้ตกกระทบเครื่องแปลงความถี่
 แรง หรือการปล่อยเครื่องแปลงความถี่แรงกระทบผลไม้ ปริมาณของแรงกระแทกจะมีความ
 สัมพันธ์กับความแน่นเนื้อ อัตราส่วนของแรงต่อเวลา สัมประสิทธิ์การคืนสู่สภาพเดิม เวลาสัมผัส
 และสเปกตรัมของความถี่ (Abbott, 1998 and Bajema *et al.*, 1998) ได้พัฒนาเครื่องทดสอบแรง
 กระแทกเพื่อใช้วิจัยความต้านทานการบอบช้ำ Delwiche *et al.* (1989) ได้พัฒนาระบบคัดแยกโดย
 ใช้ความแน่นเนื้อแบบแถวเดียวสามารถคัดแยกลูกแพร์ และพีชได้ 5 ผลต่อวินาที Delwiche and
 Sarig (1991) และ Sugiyama *et al.* (1994) ได้พัฒนาอุปกรณ์วัดแรงกระแทก โดยใช้วัดแรง
 กระแทกสูงสุด และสัมประสิทธิ์การคืนสู่สภาพเดิมสำหรับวัดค่าความแน่นเนื้อ McGlone and
 Schaare (1993) และ Patel *et al.* (1993) ได้รายงานว่าการใช้ความแน่นเนื้อจากการกระแทกเพื่อ
 การวิจัยการควบคุมคุณภาพ และการคัดแยก Nahir *et al.* (1986) รายงานว่าเมื่อนำมะเขือเทศปล่อย
 จากที่สูง 70 มิลลิเมตรตกลงสู่พื้นผิวเรียบแข็ง การตอบสนองของแรงมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับ
 น้ำหนักของผลไม้และค่าความแน่นเนื้อ Delwiche *et al.* (1987) ได้ศึกษาวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นเมื่อ

วัสดุเกษตรตกลงกระแทกสู่พื้นผิวเรียบแข็ง และพบว่าลักษณะแรงกระแทกมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับโมดูลัสความยืดหยุ่นของผลไม้และค่าความแน่นเนื้อที่อ่านได้จาก penetrometer Delwiche *et al.* (1987) ระบุว่าแรงที่ได้จากการกระแทกของลูกพีชเมื่อลูกพีชกระแทกกับพื้นผิวเรียบแข็งสามารถวิเคราะห์ทำนายค่าความแน่นเนื้อและบอกถึงระดับความบริบูรณ์ได้ลักษณะของแรงกระแทกมีความสัมพันธ์ที่ดีกับโมดูลัสความยืดหยุ่นและค่าความแน่นเนื้อจาก penetrometer และมีความสัมพันธ์ไม่ดีกับมวลและรัศมีความโค้งของผลไม้ ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้สามารถที่จะแยกแยะลูกพีชที่ยังไม่บริบูรณ์กับบริบูรณ์ได้จากการหาค่าเพื่อแบ่งระดับความบริบูรณ์แต่ผลจากการทำเครื่องคัดแยกมีปัญหาในเรื่องตำแหน่งลูกพีชที่ตกกระแทกสัมผัสกับแก้วแรงไม่มีความแน่นอน Delwiche *et al.* (1989) ได้สร้างระบบการคัดแยกแบบเรียงเดียวในการคัดวัสดุเกษตรและลูกแพร์ให้แยกเป็นแข็ง (hard firm) และนิ่ม (soft) มีความเร็วในการคัดแยก 5.1 ผลต่อวินาที มีการคัดแยกตามความแน่นเนื้อถูกต้อง 74% Meredith *et al.* (1990) รายงานว่าแรงสูงสุดที่ได้จากเครื่อง UTM (Universal Testing Machine) ซึ่งสามารถวัดความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์ที่ดีกับ coefficient of restitution ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์นี้กำหนดมาจากแรงกระแทกที่เกิดติดกัน 2 ครั้งโดยได้ค่าของแรงจาก load-cell tripod Zapp *et al.* (1990) ได้พัฒนาเครื่องมือวัดแรงกระแทก IS (instrumented sphere) แทนผลไม้เพื่อบันทึกค่าแรงกระแทกของผลไม้และพิจารณาการชนส่งลำเลียง การกระแทกของผลไม้บนพื้นผิวเรียบแข็งมีความใกล้เคียงกับการกระแทกของทรงกลมยืดหยุ่นและค่าความแน่นเนื้อของผลไม้มีความสัมพันธ์กับการตอบสนองของแรงกระแทก ปรากฏว่าเมื่อทดลองแบบปล่อยผลไม้ตก สัญญาณความเร่งที่เกิดขึ้นมีความใกล้เคียงกับสัญญาณที่ได้จากผลไม้จริง Bollen (1993) นำข้อมูลซึ่งได้จากเครื่องมือทรงกลมซึ่งเกิดจากการกระแทกปรากฏว่าเมื่อผลไม้เกิดการกระแทกที่ความสูงประมาณ 50 มิลลิเมตร มีโอกาส 20 เปอร์เซ็นต์ที่แอปเปิ้ลจะเกิดความซ้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกิน 1 ตารางเซนติเมตร McGlone and Schaare (1996) รายงานว่าปัญหาที่ติดตามมาของวิธีการปล่อยผลไม้ตกคือ แรงกระแทกที่เกิดขึ้นมีค่าขึ้นอยู่กับปัจจัยของน้ำหนักและรัศมีความโค้งของผลไม้ซึ่งมีค่าแปรปรวนค่อนข้างสูงจึงมีผลกระทบกับความถูกต้องของการวัดความแน่นเนื้อ Reyes *et al.* (1996) ได้ทำการสร้างหัววัดการกระแทกเพื่อแยกมะละกออกเป็น 5 ระดับความสุก ซึ่งสามารถแยกได้และมวลและรูปร่างของมะละกอยังไม่มีผลต่อหัววัดด้วยแต่หัววัดไม่สามารถแยกมะละกอผลที่ยังไม่บริบูรณ์จากมะละกอผลที่บริบูรณ์ได้ McGlone (1997) ระบุว่าผลกระทบของกิริยาที่ความสูงต่างๆไม่เกิน 50 มิลลิเมตรสามารถใช้ทฤษฎี Impact force analysis (IFA) ทำนายค่าความแน่นเนื้อโดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแน่นเนื้อที่ได้จาก penetrometer ปรากฏว่ามีความสัมพันธ์ที่ดี Abbott (1999) รายงานว่าสมบัติทางกลมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัส ส่วนประกอบของสมบัติความหนืดของเนื้อสัมผัสมีความสำคัญในการกำหนดความต้านทานการซ้ำ

และในการวัดแรงโดยวิธีของ MT (Magness Taylor) ลักษณะของห้วคของ MT จะไม่เป็นครึ่งทรงกลมหรือเรียบเพื่อที่จะวัดความแน่นเนื้อในการกดที่เป็นส่วนประกอบของแรงเฉือนและแรงกด Bourne (1982) กล่าวว่าในการเปรียบเทียบแรงที่ได้จาก MT ไม่สามารถที่จะแปลงค่าเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับห้วคขนาดหนึ่งกับขนาดอื่นๆได้ หรือเปลี่ยนค่าเป็นเรขาคณิตอื่น Bajema *et al.* (1998) ได้พัฒนาเครื่อง impact tester สำหรับค้นคว้าเพื่อลดความเหนียวของเนื้อเยื่อปรากฏว่าที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 5 องศาเซลเซียสและ strain rate สูงๆ สามารถลดความเหนียวของเนื้อเยื่อห้วมันได้ Steinmetz (1996) ระบุว่าการใช้หลายเซนเซอร์ในการวิเคราะห์แยกแยะดีกว่าใช้เซนเซอร์ตัวเดียวและ Yen and Wan (2002) ระบุว่าเมื่อใช้หลายพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ความสึกแก่ของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรความแม่นยำในการแยกแยะจะถูกต้องมากขึ้นกว่าใช้พารามิเตอร์เพียงตัวเดียว 10 เปอร์เซนต์ ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมีสมบัติความยืดหยุ่นหนืดซึ่งเป็นสมบัติรวมกันระหว่างสมบัติเหมือนของแข็งและสมบัติเหมือนของเหลว (Mohsenin, 1986) ถึงแม้ว่าผลไม้จะมีสมบัติความยืดหยุ่นหนืดแต่ผลกระทบของความหนืดมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการกระทำที่เร็วขึ้นและผลไม้จะมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้การกระทำที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็ว (Chen, 2001) เมื่อมีวัสดุยืดหยุ่นทรงกลมกระทำบนพื้นผิวเรียบแรงที่เกิดขึ้นขึ้นกับความเร็ว, มวล, รัศมีความโค้ง, ยังโมดูลัสและอัตราส่วนปริมาตรของทรงกลม (Chen *et al.*, 1996) ในการทดลองที่ใช้วิธี Drop test แรงกระทำที่ได้เป็นฟังก์ชันของมวลและรัศมีความโค้งของผลไม้ซึ่งมีความแปรปรวนมากในตัวแปรทั้งสองและส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการวัดความแน่นเนื้อ (Chen *et al.*, 1996) และแรงที่ได้จะมีอิทธิพลมาจากความเร็วและมวลของผลไม้มากกว่าโมดูลัสของผลไม้ (Chen, 2001) มีวิธีการที่ต่างออกไป คือกระแทกผลไม้ด้วยห้วกระแทกทรงกลมขนาดเล็กซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอน และรัศมีความโค้งและความ เร่งของห้วกระแทกประโยชน์ของวิธีนี้คือการตอบสนองแรงกระแทกเป็นอิสระจากมวลของผลไม้และมีผลกระทบน้อยมาจากรัศมีความโค้งของผลไม้ Ruiz-Altisent *et al.* (1993) พัฒนาระบบซึ่งใช้ Impact parameter ในการคัดแยกผลไม้ (apples, pears and avocados) ที่ระดับความแน่นเนื้อต่าง ๆ ผลการศึกษา (Chen *et al.*, 1996) เมื่อใช้น้ำหนักห้วกระแทกน้อยๆ (ประมาณ 10 กรัม) ซึ่งว่าสัญญาณที่ได้มีค่ามากขึ้นเมื่อน้ำหนักน้อยลง (จากน้ำหนักห้วกระแทก 50 กรัมลดลงเหลือ 10 กรัม) ค่าดัชนีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของผลไม้เนื่องจากน้ำหนักกระแทกที่น้อยลดลง ความเสียหายเนื่อง จากการกระแทกลดลง และยังชี้อีกว่าน้ำหนักน้อยๆนั้นจะถูกจำกัดอยู่เนื่องจากน้ำหนักของห้ววัดความเร่งและความสามารถในการควบคุมความเร็ว ความเร็วมีผลอย่างมากต่อดัชนีความแน่นเนื้อ เมื่อน้ำหนักห้วกระแทกน้อยๆ สายสัญญาณซึ่งต่อกับห้วกระแทกจะมีผลต่อการตกกระทบทำให้ตกกระทบไม่ตั้งฉากกับผิวของผลไม้และยังดึงห้วกระแทกให้ตกกระทบช้าลง

4. การสั่นของคลื่นเสียงและคลื่นความถี่เหนือเสียง (Sonic and ultrasonic vibration) คลื่นเสียง (Sonic or acoustic) การสั่นของคลื่นเสียงจะอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 20 Hz และ 15 kHz ส่วนคลื่นความถี่เหนือเสียง (ultrasonic) จะอยู่ในช่วงความถี่สูงกว่า ความถี่ที่สามารถได้ยินได้ (>20 kHz) คลื่นเสียงและคลื่นความถี่เหนือเสียงสามารถกระจาย สะท้อนกลับ หักเห หรือ แดกกระจาย บนพื้นผิวของวัสดุ ความเร็วการแพร่กระจาย และการสะท้อนกลับเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณสมบัติของเนื้อเยื่อของผลผลิตด้านพืชสวน เมื่อเสียงผ่านวัตถุจะทำให้เกิดเสียงสะท้อน ความถี่ของเสียงสะท้อนจะมีความสัมพันธ์กับ ความยืดหยุ่น แรงเสียดทานภายใน รูปร่าง ขนาด และความหนาแน่น เนื้อที่แน่นกว่าจะมีค่าความถี่ของเสียงสะท้อนสูงกว่าสำหรับผลผลิตที่มีรูปร่าง และขนาดเดียวกัน การวัดคลื่นเสียงเป็นการวัดแบบไม่ทำลายอย่างแท้จริงและมีความเหมาะสมในการวัดค่าความแน่นเนื้ออย่างรวดเร็ว การวัดคลื่นเสียงโดยทั่วไปจะแสดงคุณสมบัติทางกลของผลไม้ (Lu and Abbott, 1997) การวัดคลื่นเสียงเหมาะสมที่จะใช้หาค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อของผลไม้หลายๆผล แต่ไม่ใช่ทำนายค่าความแน่นเนื้อของผลไม้ผลเดียว (Abbott *et al.*, 1968, 1995; Saltveit *et al.*, 1985; Armstrong *et al.*, 1990; Peleg *et al.*, 1990; Stone *et al.*, 1994; Shmulevich *et al.*, 1995)

งานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดการสุกแก่และคุณภาพของมะม่วง

ที่ผ่านมาได้มีการวิจัยและพัฒนาวิธีการตรวจวัดคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลายซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี (Abbott *et al.*, 1997; Abbott, 1999; Butz *et al.*, 2005 and Chen, 1996) แต่มีบางวิธีเท่านั้นที่ถูกนำมาใช้ตรวจวัดคุณภาพผลไม้ในเชิงการค้า สมบัติของผลไม้ที่ถูกนำมาใช้ตรวจคุณภาพและการสุกแก่แบบไม่ทำลายในเชิงการค้าแล้วสำหรับมะม่วงส่วนใหญ่จะใช้สมบัติด้าน กลิ่น สี การจัดวางองค์ประกอบภายใน รูปร่าง ขนาด น้ำหนักจำเพาะ และความแน่นเนื้อ ซึ่งได้ผ่านการวิจัยมาแล้วและถูกนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ ในสายการผลิตของโรงงานบรรจุผลไม้ (slaughter, 2009) สมบัติของผลไม้แบบไม่ทำลายที่ถูกนำไปใช้ประกอบด้วย

สมบัติด้านกลิ่น (aroma)

เมื่อผลไม้สุกความเข้มข้นของกลิ่นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การส่งกลิ่นออกมาจะทำให้ผู้บริโภคได้สัมผัสกลิ่นระหว่างบริโภคมะม่วงที่สุกดีแล้ว ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความชอบของผลไม้ กลิ่นระเหยจะปรากฏออกมาเมื่อผลไม้ได้รับความเสียหายทางกลจากการกระทบกระแทกระหว่างการเก็บเกี่ยวหรือการเคลื่อนย้ายลำเลียง ความเสียหายจากอุณหภูมิ เชื้อโรค และแมลง กลิ่นของผลไม้สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีการไม่ทำลายโดยเอาผลไม้ใส่ภาชนะปิดสนิท เช่นถุงพลาสติก หรือขวดแก้ว แล้วทำการวิเคราะห์กลิ่นของผลไม้ในภาชนะในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography, CG) และ แมสสเปกโตรสโกปี (mass spectroscopic, MS) ซึ่งได้รับการพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ หรือจมูกไฟฟ้า (electronic nose, enose) เพื่อใช้แยกแยะกลิ่นสำหรับการควบคุมคุณภาพผลไม้และการตรวจวัดกลิ่นนอกห้องปฏิบัติการ ได้มีการนำอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ในการวัดการสุกของผลแอปเปิ้ล (Brezmes *et al.*, 2001) ในกล้วย (Llobet *et al.*, 1999) ในบลูเบอรี่ (Simon *et al.*, 1996) ในองุ่น (Patterson, 2007) ในส้ม (Gomez *et al.*, 2007) ในลูกพีช (Benedetti *et al.*, 2008) และในมะเขือเทศ (Gomez *et al.*, 2006) เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ยังถูกนำไปใช้ในการตรวจวัดความเสียหายของผลไม้ เช่นความเสียหายจากการสะท้อนหนาวของส้ม (Tan *et al.*, 2005) การเสียหายทางกลในผลแอปเปิ้ล (Li *et al.*, 2007) และการเสียหายทางกลในบลูเบอรี่ (Simon *et al.*, 1996) แม้ว่าอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นการวัดแบบไม่ทำลายแต่ยังไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง เนื่องจากต้องใช้เวลาให้กลิ่นเกิดการระเหยออกมาในภาชนะ และเวลาในการวัด (slaughter, 2009)

นักวิจัยหลายคนได้มีการศึกษาเรื่องกลิ่นของมะม่วงพันธุ์ต่างๆ (Ackerman *et al.*, 1984; Bender *et al.*, 2000; MacLeod and Pieris, 1984; MacLeod and Snyder, 1985; Malundo *et al.*, 1996) Salim *et al.* (2005) สามารถแยกแยะมะม่วงพันธุ์ Harumanis ออกเป็นมะม่วงก่อนสุก สุก และสุกเกิน โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ ในช่วงแรกของการศึกษาอิเล็กทรอนิกส์ ได้มีการวัดกลิ่นของมะม่วงพันธุ์ Keitt และ Kent ด้วยอิเล็กทรอนิกส์โดยแบ่งมะม่วงดิบออกเป็น 5 ขนาด มะม่วงถูกใส่ในภาชนะพลาสติกแบบปิดหลังการเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้กลิ่นระเหยอยู่ในภาชนะปิด ปรากฏว่าอิเล็กทรอนิกส์สามารถแยกกลิ่นของมะม่วง Keitt ได้ทั้ง 5 ขนาด ส่วนมะม่วง Kent แยกได้ 3 ใน 5 ขนาด และยังสามารถแยกแยะกลิ่นของมะม่วง Keitt และ Kent ขณะสุกได้ด้วย ขณะที่ขนาดของผลเป็นตัวชี้วัดที่หยาบของการแก่ และเครื่องที่ใช้วัดกลิ่นเป็นเครื่องที่ตั้งกับที่ที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ทำให้ไม่สะดวกใน

การใช้งานนอกสถานที่ การพัฒนาเครื่องอีโนสแบบพกพาจะเป็นประโยชน์ในการใช้วัดการแก่ของมะม่วงได้ (slaughter, 2009)

สมบัติด้านสี (color)

การมองเห็นเป็นปัจจัยหลักที่ผู้บริโภคใช้ตัดสินใจซื้อผลไม้ สีเป็นลักษณะเด่นในการมองเห็น และถูกใช้เป็นตัวแบ่งคุณภาพของผลไม้ การมองเห็นสีจะเกิดจากการสะท้อนของแสงและการดูดกลืนแสงของวัตถุในช่วง สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า 380-780 นาโนเมตร ผลไม้ซึ่งเป็นวัตถุทึบแสงจะดูดกลืนแสงลงไปได้ผิวได้เพียงระยะสั้นๆแล้วสะท้อนกลับออกจากผิว ปัจจัยหลักในการสะท้อนของพลังงานแสงจากผลไม้เกิดจากความเข้มข้นของเม็ดสี (pigments) เช่น แครโทีนอยด์ แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ เบต้าเอทิน และคลอโรฟิลล์ที่ผิว (Gross, 1987, Mazza and Miniati, 1993) การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสีขณะที่ผลไม้กกำลังเจริญเติบโตมีผลทำให้สีผิวเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงมีการใช้สีของผลไม้เป็นตัวชี้วัดความแก่หรือความสุกของผลไม้

Malevski *et al.* (1977) พบว่า การใช้แคลอริมิเตอร์วัดสีผิวของมะม่วงพันธุ์ Haden เพื่อทำนายความแก่ยังไม่น่าเชื่อถือที่จะนำมาใช้ อย่างไรก็ตามปริมาณสีแดงและสีเหลืองสูงสุดที่ผิวของมะม่วงพันธุ์ Haden สามารถทำนายความแก่ที่ระดับ 33% ของผลและได้ค่า s_i b น้อยกว่า 16 และ 22% ของผลได้ค่า s_i a น้อยกว่า 0 หลังเก็บเกี่ยวแต่ไม่ใช่ช่วงสุก ขณะที่ Jha *et al.* (2005, 2006, 2007) ใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบเคลื่อนที่ได้วัดค่าเฉลี่ยสีผิว และช่วงคลื่นการสะท้อนแสง ของมะม่วง Dashehari โดยวัดที่หัวและท้ายผลขณะเก็บเกี่ยวทุก 2 วันเริ่มจากปลายเดือนพฤษภาคม หรือต้นเดือนมิถุนายนจนกระทั่งผลเริ่มสุกบนต้น หลังจากวัดค่าสีแล้วก็ทำการวัดค่าความหวาน และความแน่นเนื้อของผลมะม่วง พบว่าค่าความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงระหว่างค่าความหวานและค่า s_i a และ b มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.83 และค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่น 440-480 นาโนเมตรมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.83 นอกจากนั้นยังได้พัฒนาโมเดลสำหรับการทำนายค่าความแน่นเนื้อกับการสะท้อนแสงสีเขียวในช่วงคลื่น 530-550 นาโนเมตร ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.8 Ornelas-Paz *et al.* (2008) ได้วัดสีผิวของมะม่วง Manila และ Ataulfo ระหว่างการสุกโดยใช้แคลอริมิเตอร์วัดค่าแครโทีนอยด์ในเนื้อด้วย HPLC-MS พบว่าค่าสีผิวมีความสัมพันธ์กับปริมาณแครโทีนอยด์ในเนื้อมะม่วง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.76-0.81 เพราะเครื่องแคลอริมิเตอร์ออกแบบมาวัดสีและไม่เหมาะที่จะใช้วัดหาองค์ประกอบทาง

เคมี การทำนายปริมาณแคโรทีนอยด์น่าจะใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งมีข้อมูลช่วงคลื่นที่เหมาะสมกว่า

การวัดสีเนื้อมะม่วงโดยไม่ทำลาย Subedi *et al.* (2007) ได้ใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อทำนายสีของเนื้อผลมะม่วงพันธุ์ Kensington Pride และ Calypso ด้วยการวัดสีในช่วงที่มองเห็นได้และช่วง NIR ยังไม่สามารถพัฒนาโมเดลทำนายโดยตรงจากช่วงคลื่นที่มองเห็นได้เนื่องจากมีคลื่นรบกวนมาก ซึ่งแตกต่างจากงานของ slaughter (2006) ที่สามารถใช้สีเนื้อของลูกพีช 4 สายพันธุ์ในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.8

การจัดวางองค์ประกอบภายในของมะม่วง (internal composition)

การวัดเสียงสะท้อนแม่เหล็ก (magnetic resonance, MR) การวัดเสียงและภาพสะท้อนแม่เหล็ก (magnetic resonance imaging, MRI) เป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายซึ่งขึ้นกับปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่าง คาร์บอน และไฮโดรเจน กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความถี่วิทยุ ไฮโดรเจนจะปล่อยสัญญาณเสียงสะท้อนแม่เหล็กที่ดีที่สุด และปริมาณไฮโดรเจนในผลไม้เช่น น้ำ น้ำตาล และน้ำมัน จะสามารถใช้เสียงสะท้อนแม่เหล็ก (MR) ตรวจวัดคุณภาพได้ผลดี ส่วนช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อของผลไม้ไม่สามารถใช้การวัดเสียงและภาพสะท้อนแม่เหล็ก(MRI) วัดได้ผลดี โดยใช้วัดความบอบช้ำ ความเสียหายจากความเย็น และความเสียหายจากแมลงทำลาย (Mazucco *et al.*, 1993) ตัวอย่างเช่น Joyce *et al.* (1993) พบว่า สามารถใช้การวัดเสียงและภาพสะท้อนแม่เหล็ก (MRI) ตรวจวัดแบบไม่ทำลายมะม่วง Kensington Pride เพื่อแยกมะม่วงที่เนื้อได้รับความเสียหายจากการอบไอน้ำ เพราะพื้นที่ที่เสียหายจะมีช่องว่างอากาศ นอกจากนั้นยังสามารถใช้วัดเมล็ดในส้ม (Hernandez-Sanchez *et al.*, 2006) การเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ล (Chayaprasert and Stroshine, 2005) และเนื้อที่บวมในสับปะรดที่สุกเกินไป (Chen *et al.*, 1989) พบว่าสามารถใช้การวัดเสียงและภาพสะท้อนแม่เหล็ก (MRI) แยกมะเขือเทศสีแดงออกจากสีเขียวได้ แต่ใช้แยกมะเขือเทศที่ยังไม่แก่ออกจากมะเขือเทศแก่ได้ไม่ดี Chen *et al.* (1993) พบว่าสามารถใช้เสียงสะท้อนแม่เหล็ก(MR) วัดอัตราส่วนน้ำมันต่อน้ำในผล โอวไกโดเพื่อวัดความแก่ได้ Clark *et al.* (1997) ได้ใช้การวัดเสียงและภาพสะท้อนแม่เหล็ก(MRI) ในผักและผลไม้ และ Joyce *et al.* (2002) ใช้การวัดเสียงและภาพสะท้อนแม่เหล็ก (MRI) วัดมะม่วง Kensington Pride ระหว่างการสุกพบว่าค่าน้ำในเนื้อมะม่วงเพิ่มขึ้นเมื่อเนื้อผลสุก และพบว่าสัญญาณตรงกลางของเนื้อผลเพิ่มขึ้นระหว่างการสุก

การใช้สเปกตรัมช่วงใกล้อินฟราเรด (near infrared spectroscopy)

ได้มีการนำการวัดสเปกตรัมช่วงใกล้อินฟราเรด (near infrared spectroscopy, NIR) ตรวจวัดคุณภาพภายในของมะม่วงระหว่างการสุกในการทำนายปริมาณน้ำตาลจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 ระหว่าง 0.59-0.93 การทำนายปริมาณกรดได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 ระหว่าง 0.60-0.75 การทำนายความแน่นเนื้อได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 ระหว่าง 0.62-0.85 หรือทำนายน้ำหนักแห้งของมะม่วงได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 ระหว่าง 0.66-0.96 Saranwong *et al.* (2004) ได้ศึกษาใช้การวัดสเปกตรัมช่วงใกล้อินฟราเรด (NIR) วัดมะม่วงมหาชนกที่ระยะก่อนแก่ และแก่ ตรวจวัดปริมาณแป้งได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.86 และตรวจน้ำหนักแห้งได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.92 จากนั้นได้สร้างสมการโดยใช้ปริมาณแป้งและน้ำหนักแห้งทำนายปริมาณค่าความหวานของมะม่วงเมื่อสุกได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.85 Subedi *et al.* (2007) ได้ใช้ NIR ทำนายค่าความหวานของมะม่วง Kensington Pride และ Calypso ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.90 นอกจากนั้นยังพบว่าสมการสำหรับปริมาณน้ำหนักแห้งของมะม่วงพันธุ์หนึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปทำนายมะม่วงพันธุ์อื่นๆ และการใช้ค่า b ของเนื้อผลจะเป็นตัวชี้วัดความแก่ของมะม่วง Kensington Pride ได้ดีกว่าปริมาณน้ำหนักแห้งของมะม่วง 8 Subedi *et al.* (2007) ได้พัฒนาโมเดลทำนายทางอ้อมโดยใช้ NIR หาความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำ แป้ง ความหวาน และปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อผล พบว่า NIR ไม่สามารถใช้วัดมะม่วงพันธุ์อื่นได้ เมื่อนำผลมะม่วงสองพันธุ์มาตรวจวัดด้วย NIR ได้ผลดีมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.88 กับมะม่วงพันธุ์ Kensington Pride ได้ค่า RMSECV ระหว่าง 4.7-7.8 ค่าเฉลี่ยค่า b 25 และ 43 สำหรับมะม่วงที่ยังไม่แก่และผลที่เริ่มแก่ตามลำดับ

สมบัติความแน่นเนื้อ (firmness)

ความแน่นเนื้อของผลไม่มีความสำคัญต่อการวัดความแก่และการสุกของผลไม้หลายชนิด การวัดความแน่นเนื้อส่วนใหญ่จะเป็นการตรวจวัดแบบทำลายโดยใช้การกดทะลุผลไม้ เช่นวิธีของแมกเนส-เทเลอร์ เพนนิโตรเมตรี (Magness-Taylor penetrometry) ซึ่งใช้มากกว่า 80 ปี (Magness and Taylor, 1925) ได้มีการพัฒนาการตรวจวัดความแน่นเนื้อแบบไม่ทำลาย และนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในการคัดผลไม้อัตโนมัติทางการค้า (Aweta, 2008; Greefa, 2008; Sinclair, 2008) การตรวจวัดในกระบวนการคัดแยกจะใช้ทั้งการตอบสนองความเร่ง (acceleration response) (Chen *et al.*, 1985) หรือสัญญาณเสียง (acoustic signal) (Cooke, 1972) ซึ่งเป็นผลมาจาก

การใช้แรงกระแทกพลังงานต่ำ Jarimopas และ Kitthawee (2007) ได้ตรวจวัดความแน่นเนื้อแบบไม่ทำลายด้วยการใช้การกระแทกด้วยพลังงานต่ำกับมะม่วงน้ำดอกไม้ และมะม่วงโชคอนันต์ เปรียบเทียบกับวิธีการวัดความแน่นเนื้อด้วยการกดแบบมาตรฐานแบบทำลายตั้งแต่ 75 วันหลังติดผล ได้ค่าความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยการกระแทกและการกดเป็นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.94 ผลไม้จะมีค่าความแน่นเนื้อจากอ่อนจนถึงระยะการแก่และเริ่มนิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงเริ่มสุก Al-Haq and Sugiyama (2004) เปรียบเทียบการวัดความเร็วเสียงแบบไม่ทำลายกับมะม่วง Irwin กับวิธีการกดตามมาตรฐานระหว่างการสุกพบว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่ดีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.86 Hahn (2004) ใช้การตกกระแทกของมะม่วงพันธุ์ Kent ที่ความสูง 10 เซนติเมตรจากสายพานหนึ่งไปยังอีกสายพานหนึ่งเป็นวิธีแบบไม่ทำลายในการคัดผลไม้วางระหว่างการสุก การทดลองสามารถแยกมะม่วงเป็น แข็ง นุ่ม และนิ่มมาก ด้วยความแม่นยำ 90 เปอร์เซนต์ Mizrach *et al.* (1997) พัฒนาวีธีการวัดโดยใช้ คลื่นเสียงอัลตราซาวด์ (ultrasound acoustic wave) ในการวัดแบบไม่ทำลายเพื่อหาความแน่นเนื้อกับมะม่วง Tommy Atkins ระหว่างการสุกเทียบกับวิธีการมาตรฐานได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 มีค่า 0.94 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณกรด และค่าความหวานของผลไม้ระหว่างการสุก

การตรวจวัดความสุกแก่ของมะม่วงด้วยสมบัติแบบไม่ทำลายได้มีการใช้กันในงานจำกัดกับมะม่วงบางพันธุ์ที่มีการจำหน่ายในตลาดสหรัฐอเมริกา แต่ก็ยังมีการพัฒนาเครื่องมือวัดความสุกแก่ที่สามารถใช้ตรวจวัดในสวนผลไม้ได้ เครื่องมือที่ได้มีการพัฒนาใช้ตรวจวัดผลไม้ในสวนแล้วมีอยู่สองวิธี คือ การใช้อัลตราโซนิกวัดสีเนื้อซึ่งเป็นการวัดแบบทำลายผล วัดสีเนื้อของมะม่วงบางลูกเพื่อฝีกคนเก็บมะม่วงในสวนให้ใช้เทียบกับลักษณะภายนอกเช่น ขนาด รูปร่าง และสีผิวของเปลือกเพื่อกำหนดความแก่ของมะม่วงขณะเก็บเกี่ยวได้ อีกวิธีหนึ่งคือ การใช้สเปกตรัมช่วงใกล้อินฟราเรดซึ่งเป็นการวัดแบบไม่ทำลายผล วัดปริมาณน้ำหนักแห้งของมะม่วงเท่านั้น (Kader, 2008) จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่ายังไม่มีการศึกษาการใช้สมบัติแบบไม่ทำลายที่เป็นทางกายภาพ ทางกล และเชิงแสง ในการทำนายความแก่ของมะม่วง เพื่อนำข้อมูลไปสู่การประยุกต์ ออกแบบเครื่องมือตรวจวัดการแก่ของมะม่วงโดยไม่ทำลายผลผลิต ซึ่งจะใช้เวลาน้อยลงและมีความสะดวกในการวัดที่สามารถตรวจสอบคุณภาพได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ก็จะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพผลไม้ในประเทศไทยให้สูงขึ้น สามารถลดการสูญเสียจากการเก็บเกี่ยว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เวอร์เนียร์แคลิเปอร์
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม (Mettler Toledo : PB 3002-S, Switzerland)
3. ไม้บรรทัด
4. ชุดอุปกรณ์วัดสมบัติเชิงสะท้อน
5. ชุดอุปกรณ์วัดแรงกระแทกแบบมวลเบา
6. เครื่องวัดสี (Spectrophotometer Hunter Color Flex model CFLX45-2 Reston, VA, USA)
7. เครื่องวัดแรงกด (Universal Testing Machine Lloyd EZ 20, England)
8. เครื่องวัดความหวาน (Refractrometer ATAGO PAL-1, Japan)
9. เครื่องวัดความเป็นกรด (pH meter Mettler Toledo GmbH MP 120, Switzerland)
10. ชุดไตเตรทเพื่อหาค่าความเป็นกรด (TA)
11. เครื่องสกัดน้ำผลไม้ (Juice extractor Moulinex model BDKIT5, China)
12. สารเคมี
13. อุปกรณ์งานบ้านงานครัว
14. ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ มหาชนก และพันธุ์เขียวเสวย ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ ตามแผนการทดลอง จำนวน 20 ครั้งๆละ 20 ผล

วิธีการ

การทดลองครั้งนี้แบ่งการทดลองเป็นสองตอน โดยในตอนแรกจะศึกษาสมบัติของมะม่วงจำนวนสี่พันธุ์ คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงโชคอนันต์ มะม่วงมหาชนก และมะม่วงเขียวเสวย ซึ่งเป็นมะม่วงที่นิยมปลูกในภาคตะวันออก และมีสมบัติหลายอย่างที่แตกต่างกัน แล้วนำข้อมูลสมบัติของแต่ละพันธุ์มาจำแนกระยะเวลาการสุกแก่เป็นสามระยะ โดยใช้สมบัติแบบไม่ทำลายต่างๆมาทำนายสมบัติแบบทำลายของมะม่วงแต่ละพันธุ์ ส่วนในตอนที่สองจะศึกษาสมบัติของมะม่วงจำนวนสองพันธุ์ คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ และมะม่วงโชคอนันต์ แล้วนำข้อมูลสมบัติของแต่ละพันธุ์มาจำแนกระยะเวลาการสุกแก่เป็นสามระยะตามวันหลังติดผล และสี่ระยะตามวันหลังติดผล และ

การใช้ Cluster Analysis สมบัติแบบทำลาย แล้วใช้สมบัติแบบไม่ทำลายโมเดลต่างๆมาทำนายสมบัติแบบทำลายของมะม่วงแต่ละพันธุ์

ผลมะม่วง

วางแผนการเก็บเกี่ยวผลมะม่วง โดยเก็บเกี่ยวมะม่วงในปีแรก (พ.ศ. 2550) จำนวน 4 พันธุ์ ประกอบด้วยมะม่วงสามพันธุ์แรกคือ มะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บเกี่ยวระหว่าง 77-115 วันหลังติดผล มะม่วงเขียวเสวย เก็บเกี่ยวระหว่าง 77-115 วันหลังติดผล และมะม่วงโชคอนันต์ เก็บเกี่ยวระหว่าง 71-109 วันหลังติดผล จากสวนของเกษตรกรในอำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี มีระยะทางห่างจากสวนถึงห้องปฏิบัติการประมาณ 3 กิโลเมตร ส่วนมะม่วงมหาชนก เก็บเกี่ยวระหว่าง 93-125 วันหลังติดผล จากสวนของเกษตรกร ในอำเภอนนทบุรี จังหวัดชลบุรี มีระยะทางห่างจากสวนถึงห้องปฏิบัติการประมาณ 60 กิโลเมตร มะม่วงแต่ละพันธุ์จะถูกเก็บครั้งละ 20 ผล

ในช่วงที่สองเก็บเกี่ยวผลมะม่วงจากสวนมะม่วงของบริษัทเจริญโภคภัณฑ์ อำเภอนนทบุรี จังหวัดชลบุรี มีระยะทางห่างจากสวนถึงห้องปฏิบัติการประมาณ 70 กิโลเมตรซึ่งปลูกมะม่วงทั้งพันธุ์น้ำดอกไม้ และพันธุ์โชคอนันต์ โดยทำเครื่องหมายติดป้ายกำหนดอายุของมะม่วงตั้งแต่มะม่วงเริ่มติดผล เพื่อวางแผนการเก็บเกี่ยวมะม่วงขนาดสม่ำเสมอแต่ละพันธุ์จำนวน 20 ผลต่อวัน ทุก 2 วันตั้งแต่อายุ 69-109 วันหลังติดผลสำหรับมะม่วงโชคอนันต์ และตั้งแต่อายุ 77-115 วันสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้ ระหว่างการเจริญเติบโตมะม่วงน้ำดอกไม้ได้รับการห่อผลด้วยถุงกระดาษคาร์บอนเพื่อป้องกันโรค แมลง และแสงแดด ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ไม่มีการห่อผลโดยปล่อยให้รับแสงอย่างเต็มที่ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การติดป้ายช่อดอกเพื่อนับอายุการเก็บเกี่ยวมะม่วงในสวนของเกษตรกร

การตรวจวัดแบบไม่ทำลาย

การตรวจวัดคุณภาพมะม่วงแบบไม่ทำลาย มะม่วงถูกเก็บเกี่ยวในตอนเช้าแล้วเก็บใส่ภาชนะเพื่อการขนส่งโดยรถยนต์จากสวนมายังห้องปฏิบัติการระยะทาง 100 กิโลเมตร ใช้เวลาเดินทางประมาณ 1 ชั่วโมง ทำการตรวจวัดมะม่วงทั้งสองพันธุ์ที่สุ่มเก็บเกี่ยวผลขนาดใกล้เคียงกันมาจำนวน 400 ผล ในห้องปฏิบัติการปรับอากาศที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 67 เปอร์เซ็นต์

1. การวัดคุณสมบัติทางกายภาพของผลมะม่วงทั้งสี่พันธุ์ที่เก็บเกี่ยวจากสวน โดยเมื่อผลมะม่วงมาถึงห้องปฏิบัติการ จะทำการทดลองโดยมีขั้นตอน ดังนี้ (ภาพที่ 2)

1.1 วัดขนาดของผลมะม่วงทั้งสี่พันธุ์โดยใช้เวอร์เนียสแคลิเปอร์ วัด 4 จุด คือ ด้านยาว ด้านกว้าง 2 จุด และด้านหนา

1.2 ชั่งน้ำหนักผลมะม่วงทั้งผล ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม

1.3 หาปริมาตรของผลมะม่วง โดยการแทนที่น้ำตามวิธีการของ Mohsenin, (1986) ปริมาตรน้ำที่ดันเมื่อวางผลมะม่วงในน้ำ จะมีปริมาตรเท่ากับผลมะม่วง

1.4 หาความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วง (Specific Gravity) โดยคำนวณ จากสูตร

$$SG = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \dots\dots\dots (1)$$

SG = ความถ่วงจำเพาะ

W1 = น้ำหนักของผลมะม่วง หน่วย กรัม

W2 = น้ำหนักของภาชนะและผลมะม่วงในน้ำ หน่วย กรัม

W3 = น้ำหนักของภาชนะ หน่วย กรัม

1.5 หาขนาดของผลมะม่วง จากการคำนวณ

$$Size = (L \times W \times T)^{1/3} \dots\dots\dots (2)$$

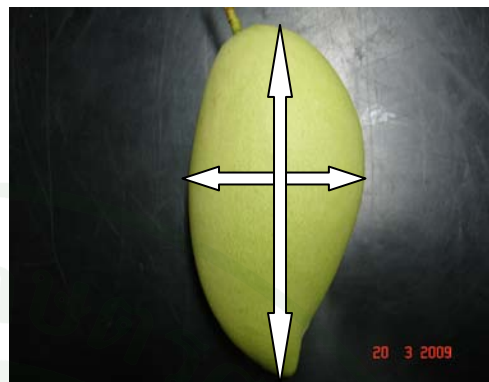
1.6 หารูปร่างของผลมะม่วง จากการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความกลม (%Sphericity) ของผลมะม่วง ตามวิธีการของ Mohsenin, 1986 คำนวณค่า Sphericity จากสูตร

$$\%Spherity = \frac{100 \times ((L \times W \times T)^{1/3})}{L} \dots\dots\dots (3)$$

L = ด้านยาวของผลมะม่วง หน่วย เซนติเมตร

W = ด้านกว้างของผลมะม่วง หน่วย เซนติเมตร

T = ด้านหนาของผลมะม่วง หน่วย เซนติเมตร



ภาพที่ 2 การวัดขนาด

2 วัดค่าระดับสี L, a, b โดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer Hunter Color Flex 450) ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้ (ภาพที่ 3)

2.1 เปิดเครื่องวัดสี เลือกฟังก์ชันการทำงานที่ แสงตอนกลางวัน (Day light :D65) มีมุมการวัดที่ 10 องศา มีช่องเปิดสำหรับแสงผ่านและสำหรับวางตัวอย่างขนาด 31.8 มิลลิเมตรทิศทางของแสงและตัวอย่างเป็นมุม $45^\circ/0^\circ$ เลือกหน่วยการวัดเป็น Hunter Lab ซึ่งจะทำให้ค่าสีในหน่วย L a และ b และได้ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ด้วย

2.2 ทำการ สอบเทียบเครื่อง (Calibrate) ด้วยแผ่นมาตรฐานสีดำ และสีขาวที่มีมากับเครื่อง

2.3 วางผลมะม่วงตามแนวนอนที่ช่องวางตัวอย่างโดยทำการวัดผลละ 6 จุด บริเวณข้อผล (stem) กลางผล และปลายผล (apex) ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

2.4 เครื่องวัดสีจะแสดงค่าสีในหน่วย L a b โดย L แสดงค่าความสว่าง $L=100$ สว่างมาก $L=0$ มืด ค่าสี a แสดงค่าแดง-เขียว โดยค่า+แสดงสีแดง ค่า- แสดงค่าสีเขียว ค่าสี b แสดงค่าเหลือง-น้ำเงิน โดยค่า+ แสดงสีเหลือง ค่า- แสดงค่าสีน้ำเงิน และแสดงค่าการสะท้อนแสง (%Reflectance) ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร โดยมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 10 นาโนเมตร

2.5 บันทึกค่าดัชนีสีขาวย ดัชนีสีเหลือง ดัชนีความสว่าง และค่าการสะท้อนแสงที่ระดับความยาวคลื่นต่างๆ



ภาพที่ 4 การวัดหาความถี่สั่นพ้องโดยการเคาะผลมะม่วง

4 วัดความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดแรงกระแทกแบบมวลเบา (Low mass impact tester) (Chen et al., 1996b) 3 จุดบริเวณขั้วผล (stem) กลางผล และปลายผล (apex) โดยมีขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 5)

4.1 ประกอบหัวกระแทกที่จะตกอย่างอิสระปลายหัวกลมขนาด 6 มม. มีน้ำหนัก 12 กรัม ติดอุปกรณ์วัดอัตราเร่งความถี่สูง (BBN Model 501, miniature) ความไว 1 mV/ms^{-2} ความเร่งสูงสุด 2050 m/s^2

4.2 วางผลมะม่วงบนฐานดินน้ำมันเพื่อรับแรงกระแทกจากหัวกระแทก

4.3 ปลดปล่อยหัวกระแทกควบคุมด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีระยะความสูงของปลายหัวกระแทกอยู่ห่างจากผิวมะม่วงที่วางอยู่ด้านล่าง 2 ซม. (Chen, et al, 1996c)

4.4 หลังกระแทกจดบันทึกค่า อัตราเร่ง(A) และเวลาในการกระแทก(t) นำไปคำนวณหาค่า A/t



ภาพที่ 5 การวัดหาความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดแรงกระแทกแบบมวลเบา

การตรวจวัดแบบทำลาย

5 นำอีกด้านของผลมะม่วงมาวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่องวัดแรงกด (Universal Testing Machine Lloyd EZ 20) 3 จุดบริเวณข้อผล (stem) กลางผล และปลายผล (apex) โดยมีขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 6)

5.1 เตรียมเครื่องวัดแรงกด (Universal Testing Machine Lloyd EZ 20) เลือกใช้ Load cell ขนาด 500 นิวตัน และหัวกดแบบมน ขนาด 6 มิลลิเมตรติดตั้งกับเครื่อง ตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ 25 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน (ASAE Standard, 1998)

5.2 วางผลมะม่วงบนพื้นกระเบื้องทรายขึ้นใช้หัวกดปลายกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. อัตราการกระ 25 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งหัวถูกกดทะลุถึงเนื้อ

5.3 ในการกดแต่ละครั้งจะได้กราฟแรงและการเปลี่ยนรูป (Force-Deformation Curve) คำนวณค่าความแน่นเนื่องจากค่าความลาดชันของกราฟแรงและการเปลี่ยนรูป (Force-Deformation Curve) ที่ 30 เปอร์เซนต์ ของแรงกดสูงสุด

5.4 ประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์หาค่าความแน่นเนื้อของมะม่วง



ภาพที่ 6 การวัดหาความแน่นเนื้อเครื่องวัดแรงกด (Universal Testing Machine Lloyd EZ 20)

6. การวัดคุณสมบัติทางสรีระวิทยา คุณสมบัติทางสรีระวิทยาที่ระบุถึงคุณภาพของมะม่วง ได้แก่ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid: TSS °Brix) และค่าปริมาณกรด (Total Acid: TA%) โดยมีวิธีการ ดังนี้

6.1 การตรวจวัดค่า TSS ใช้เครื่องวัดค่าความหวาน (Refractometer AGATO) (ภาพที่ 7)

6.1.1 ปอกเปลือกมะม่วงนำเนื้อมะม่วงที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมาไปคั้นโดยใช้ เครื่องคั้นน้ำผลไม้ กรองด้วยผ้าสี

6.1.2 ทำการปรับเทียบเครื่องด้วยน้ำกลั่น

6.1.3 หยดน้ำคั้นลงบนเครื่อง Refractometer และอ่านค่าจากเครื่อง ในการเก็บเกี่ยว แต่ละครั้งจะทำการทดลอง 20 ผล

6.2 การตรวจวัดค่า TA ทำโดยวิธีการไทเตรทน้ำคั้นจากผลมะม่วง ด้วย 0.1 N NaOH จนถึงจุด pH 8.2 โดยมีวิธีการ ดังนี้ (ภาพที่ 8)

6.2.1 นำเนื้อมะม่วงเข้าเครื่องสกัด เพื่อสกัดแยกน้ำออกจากเนื้อมะม่วง

6.2.2 ชั่งน้ำหนักน้ำมะม่วงที่สกัดได้ จำนวน 6 กรัม ใส่บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร

6.2.3 ไทเตรท น้ำคั้นมะม่วงด้วย 0.1 N NaOH จนถึง pH 8.2

6.2.4 อ่านค่าปริมาณ NaOH ที่ใช้ไปในการไทเตรทเป็นมิลลิลิตร

6.2.5 คำนวณค่าปริมาณกรด จากสูตร

$$TA(\%) = \frac{(mls \text{ NaOH}) \times (0.1 \text{ NaOH}) \times 0.064 \times 100}{6} \dots\dots\dots(6)$$

6.2.6 ทำการไทเตรทน้ำคั้นจากมะม่วงผลละ 3 ซ้ำ



ภาพที่ 7 การวัดหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ TSS ด้วยเครื่อง Refractometer



ภาพที่ 8 การตรวจวัดค่า TA โดยวิธีการไทเตรตน้ำคั้นจากผลมะม่วง ด้วย 0.1 N NaOH

การวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการประเมินความแก่ของมะม่วง

ตอนหนึ่ง

นำคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยา และแสง ของผลมะม่วงทั้ง 4 พันธุ์ที่ได้จากการทดลองมาหาค่าความสัมพันธ์ ดังนี้

1. การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค PLSR (Partial Least Square Regression Analysis) ใช้โปรแกรม Unscrambles V 9.6 (Camo, Norway) โดยกำหนดให้ สมบัติที่เป็นแบบต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) ได้แก่ ค่า TSS, TA, TSS/TA, Compression firmness และวันหลังดอกบานเป็นตัวแปร Y หรือ สมบัติที่ถูกทำนาย (Predicted properties) ส่วนสมบัติอื่นๆที่เหลือรวมทั้งค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร รวมทั้งหมด 37 ตัวแปร ซึ่งเป็นสมบัติที่เป็นแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) เป็นตัวแปร X หรือสมบัติที่ใช้ทำนาย (Predictor properties) ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น Calibration set และ Validation set ใน

อัตราส่วน 4 ต่อ 1 เพื่อหาโมเดลสำหรับการทำนายค่าการสุกแก่ของผลมะม่วงจากสมบัติที่เป็นแบบทำลายตัวอย่าง เลือกโมเดลที่สามารถทำนายได้ดีที่สุดจากค่า Correlation coefficient (R^2), ค่า Standard Error of Prediction (SEP) และค่า Bias โดยโมเดลที่ดีจะมีค่า R^2 สูง ค่า SEP และค่า Bias ต่ำ

2. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค Discriminant Analysis ใช้โปรแกรม SPSS for Window 10 โดยใช้คุณสมบัติแบบไม่ทำลาย (nondestructive) เป็นตัวทำนายความสุกแก่ของมะม่วงเป็น 3 กลุ่ม คือ Immature, Mature และ Overmature ทำการวิเคราะห์ Test of Equality of group means เพื่อดูว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยดูจากค่า F Test และค่า Significant ทำการวิเคราะห์หาค่า Eigenvalue, %of variance และค่า Canonical Correlation of Function ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มเพื่อดูว่าแต่ละ Function มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ Structure Matrix เพื่อดูความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวแปร และสุดท้ายมีการวิเคราะห์ผลการทำนายในการจำแนกกลุ่มโดยเปรียบเทียบค่า Canonical correlation และ Correctly classified by cross validation

ตอนสอง

นำคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล สรีระวิทยา และแสง ของผลมะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการทดลองมาหาค่าความสัมพันธ์ ดังนี้

1. แบ่งกลุ่มมะม่วงตามความสุกแก่ ตามวันนับอายุหลังติดผลเป็น 3 ระดับคือ Immature, Mature และ Overmature

2. ใช้ Discriminant Analysis จำแนกกลุ่มตามความสุกแก่เป็น 3 ระดับ ใช้โปรแกรม SPSS for Window 10 โดยใช้คุณสมบัติแบบไม่ทำลาย (nondestructive) เป็นตัวทำนาย (Predictors) ทำการวิเคราะห์ Test of Equality of group means เพื่อดูว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยดูจากค่า F Test และค่า Significant ทำการวิเคราะห์หาค่า Eigenvalue, %of variance และค่า Canonical Correlation of Function ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มเพื่อดูว่าแต่ละ Function มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ Structure Matrix เพื่อดูความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวแปร และสุดท้ายมีการวิเคราะห์ผลการทำนายใน

การจำแนกกลุ่มโดยเปรียบเทียบค่า Canonical correlation และ Correctly classified by cross validation

คุณสมบัติแบบไม่ทำลายที่นำมาใช้เป็นตัวทำนายถูกแบ่งออกเป็น 5 โมเดล คือ

โมเดล 1	36 ตัวแปร	SG, Size, Sphere, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)
โมเดล 2	9 ตัวแปร	SG, Size, Sphere, Impact index, Acoustic index, Color L, a, b and Light reflectance ratio at R640/R530
โมเดล 3	8 ตัวแปร	SG, Size, Sphere, Impact index, Acoustic index, Color L, a, b
โมเดล 4	6 ตัวแปร	SG, Size, Sphere, Impact index, Acoustic index, Light reflectance ratio at R640/R530
โมเดล 5	35 ตัวแปร	Size, Sphere, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

ในการวิเคราะห์ Discriminant โดยใช้ตัวทำนายสมบัติแบบไม่ทำลายทั้ง 5 โมเดลในการทำนายสมบัติแบบทำลายที่แบ่งเป็น 3 ระยะการสุกแก่ เพื่อเปรียบเทียบว่าตัวทำนายโมเดลใดที่สามารถแยกแยะได้อย่างถูกต้องมากที่สุด โดยเปรียบเทียบค่า Canonical correlation และ Correctly classified by cross validation

3. การแบ่งกลุ่มตัวอย่างใช้เทคนิค Cluster Analysis แบ่งกลุ่มของมะม่วงตามการสุกแก่เป็น 4 กลุ่ม ใช้โปรแกรม SPSS for Window 10 เลือกใช้วิธีการ Hierarchical Clustering ในการแบ่งกลุ่ม เลือก Ward's method (Richard and Dean, 2002; Alvin, 2002) โดยพิจารณาค่า Squared Euclidean distance แล้วหาความถี่ของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มตามสมบัติที่ตรวจวัดแบบทำลาย (destructive) แต่ละโมเดลซึ่งแบ่งเป็น 4 โมเดล คือ

Model_A ใช้ DAFS เป็นตัวแบ่งกลุ่ม

Model_B ใช้ ค่า TSS, TA เป็นตัวแบ่งกลุ่ม

Model_C ใช้ค่า TSS, TA, DAFS เป็นตัวแบ่งกลุ่ม

Model_D ใช้ค่า TSS, TA, DAFS, Fruit firmness (compression) เป็นตัวแบ่งกลุ่ม

นอกจากนี้ยังแบ่งแบ่งกลุ่มของมะม่วงตามการสุกแก่เป็น 4 กลุ่ม ตามวันหลังติดผลเพื่อใช้เปรียบเทียบความสามารถในการจำแนกกับการแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis

4. การวิเคราะห์ Discriminant ใช้โปรแกรม SPSS for Window 10 โดยใช้ตัวทำนายสมบัติแบบไม่ทำลาย จำนวน 36 ตัวแปร ได้แก่ SG, Size, Sphericity, Impaction index, Acoustics index, Spectrum 400-700 nm ทำนายความสุกแก่ของมะม่วงตามการแบ่งกลุ่มเป็น 4 กลุ่มโดยใช้ Cluster Analysis และวันหลังติดผล เพื่อเปรียบเทียบว่าตัวทำนายโมเดลใดที่สามารถแยกแยะได้อย่างถูกต้องมากที่สุด โดยเปรียบเทียบค่า Canonical correlation และ Correctly classified by cross validation และเพื่อให้สามารถนำผลการทำนายไปใช้ได้จริงจึงตัดตัวแปร SG ซึ่งการตรวจวัดมีความยุ่งยากมากออก เหลือตัวแปร 35 ตัวแปรทำนายความสุกแก่ของมะม่วงตามการแบ่งกลุ่มเป็น 4 กลุ่มโดยใช้ Cluster Analysis และวันหลังติดผล เพื่อเปรียบเทียบว่าตัวทำนายโมเดลใดที่สามารถแยกแยะได้อย่างถูกต้องมากที่สุด โดยเปรียบเทียบค่า Canonical correlation และ Correctly classified by cross validation และเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำนายเมื่อลดตัวแปรให้น้อยลง

ผลและวิจารณ์

ตอนที่ 1

เป็นผลการศึกษาสมบัติของมะม่วงครั้งแรกในปี 2550 โดยติดป้ายกำหนดอายุของมะม่วง ตั้งแต่มะม่วงเริ่มติดผล แล้วเก็บเกี่ยวมะม่วงจำนวน 4 พันธุ์ ประกอบด้วยมะม่วงสามพันธุ์แรกคือ มะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บเกี่ยวระหว่าง 77-115 วันหลังติดผล มะม่วงเขียวเสวย เก็บเกี่ยวระหว่าง 77-115 วันหลังติดผล และมะม่วงโชคอนันต์ เก็บเกี่ยวระหว่าง 71-109 วันหลังติดผล จากสวนของ เกษตรกรในอำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นสวนของเกษตรกรมีระยะทางห่างจากห้องปฏิบัติการ ในมหาวิทยาลัยประมาณ 3 กิโลเมตร ส่วนมะม่วงมหาชนก เก็บเกี่ยวระหว่าง 93-125 วันหลังติดผล จากสวนของเกษตรกร ในอำเภอนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี มีระยะทางห่างจากห้องปฏิบัติการ ประมาณ 70 กิโลเมตร มะม่วงแต่ละพันธุ์จะถูกเก็บครั้งละ 20 ผลใส่ภาชนะตะกร้าพลาสติกแล้วขน ย้ายโดยรถบรรทุกจากสวนถึงห้องปฏิบัติการ พักมะม่วงไว้ประมาณ 1 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ ก่อนทำการเก็บข้อมูลสมบัติแบบไม่ทำลายในวันแรก แล้วเก็บข้อมูลสมบัติแบบทำลายในวันที่สอง ให้เสร็จสิ้นภายใน 2 วันหลังเก็บเกี่ยว

สมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยาและแสงของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

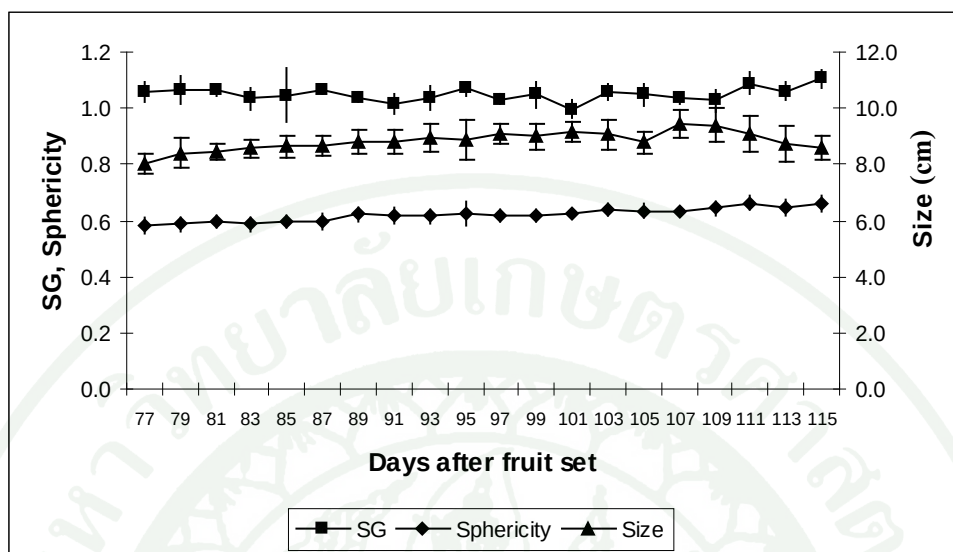
จากตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล พบว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมะม่วงน้ำดอกไม้จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆระหว่าง 8.02 ถึง 8.99 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล แล้วมีค่าค่อนข้างคงที่ระหว่าง 8.99 ถึง 9.09 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ค่าความกลมก็จะ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงแรกของการเจริญเติบโตระหว่าง 0.58 ถึง 0.62 ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเกิน 1.00 ตั้งแต่เริ่มเก็บเกี่ยว จนหยุดเก็บเกี่ยวโดยมีค่าระหว่าง 1.00 ถึง 1.10 โดยมีค่าขึ้นๆลงๆไม่แน่นอนตลอดช่วงการ เจริญเติบโต

จากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการ เจริญเติบโตแล้วมีค่าลดลงในช่วงท้ายเนื่องจากผลจะมีความยาวลดลงเมื่อแก่จัด ขณะที่ค่าความกลม มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ

แต่มีค่ามากกว่า 1.00 ตั้งแต่เริ่มเก็บเกี่ยว แสดงว่าเมื่อมะม่วงน้ำดอกไม้มีอายุมากขึ้นผลจะมีขนาดโตขึ้นในทุกๆด้าน โดยเฉพาะด้านหนาและกว้างจึงส่งผลให้ความกลมมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานของ Jha et al. (2006a) ที่พบว่า มะม่วงพันธุ์ Dashehari เมื่อแก่ผลจะมีขนาดโตขึ้น

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล 77-115 วัน

Days after fruit set	Size (cm)	SPHERE	Specific gravity
77	8.02 ±0.37	0.58±0.03	1.06±0.04
79	8.40 ±0.55	0.59±0.02	1.06±0.05
81	8.45±0.30	0.59±0.02	1.06±0.02
83	8.58±0.32	0.59±0.02	1.04±0.04
85	8.64±0.40	0.60±0.02	1.05±0.10
87	8.66±0.35	0.60±0.03	1.07±0.02
89	8.81±0.44	0.62±0.02	1.04±0.02
91	8.79±0.45	0.62±0.03	1.01±0.04
93	8.95±0.51	0.61±0.03	1.04±0.04
95	8.88±0.73	0.62±0.04	1.07±0.03
97	9.09±0.33	0.62±0.02	1.03±0.02
99	8.99±0.47	0.62±0.02	1.05±0.05
101	9.17±0.35	0.63±0.01	1.00±0.03
103	9.06±0.54	0.64±0.02	1.06±0.03
105	8.77±0.38	0.63±0.02	1.05±0.04
107	9.42±0.50	0.63±0.02	1.04±0.02
109	9.41±0.59	0.64±0.03	1.03±0.04
111	9.09±0.61	0.66±0.03	1.09±0.04
113	8.75±0.62	0.65±0.03	1.06±0.03
115	8.61±0.43	0.66±0.03	1.10±0.03



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล

จากตารางที่ 2 แสดงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ จากการกดมะม่วง 3 จุด ที่ขั้วผล (stem) กลางผล และปลายผล (apex) พบว่า ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าสูงสุด โดยมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกระหว่าง 20.28 ถึง 21.29 N/mm ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 21.29 ถึง 10.84 N/mm ขณะที่ค่าความแน่นเนื้อที่ขั้วผลมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกระหว่าง 17.16 ถึง 18.54 N/mm ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 18.54 ถึง 16.27 N/mm เช่นเดียวกับค่าความแน่นเนื้อปลายผลมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกระหว่าง 19.68 ถึง 20.22 N/mm ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 20.22 ถึง 6.32 N/mm ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปคติน โพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995) สอดคล้องกับงานของ Jarimopas *et al.* (2006) ที่เสนอแนะว่ามะม่วงน้ำดอกไม้จะแก่เต็มที่เมื่อมีอายุ 99 วันหลังติดผลมีความแน่นเนื้อ 28.54 N/mm หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากผลของความเครียดและความเค้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโต เช่นเดียวกับที่ ดวงตรา (2527) พบว่า มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จะมีค่าความแน่นเนื้อลดลงตามอายุที่มากขึ้น โดยผลอายุ 90 วันหลังติดผลมีความแน่นเนื้อ 15.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อผลอายุ 99 และ 108 วันหลังติดผลความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงเหลือ 11.3 และ 9.6 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ

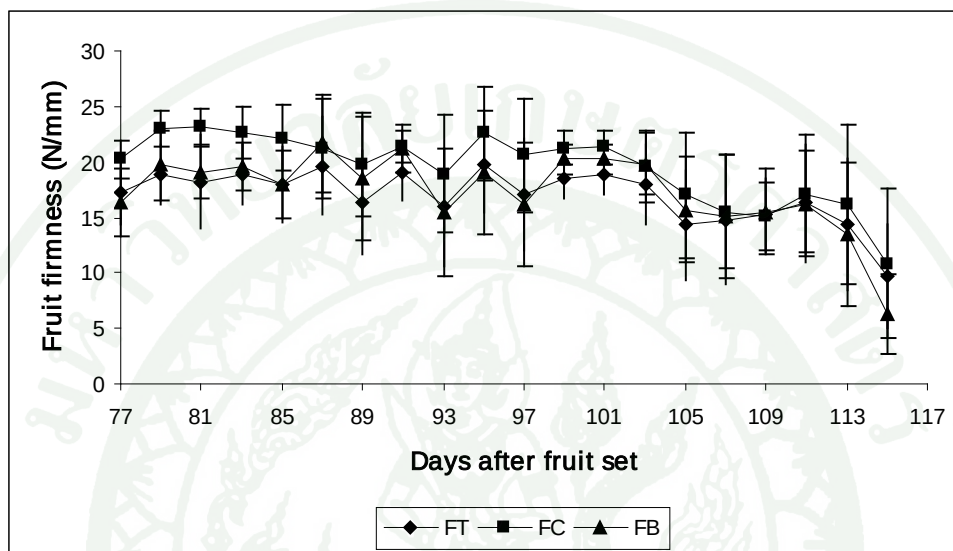
ตารางที่ 2 สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล 77-115 วัน

Days after fruit set	FT (N/mm)	FC (N/mm)	FB (N/mm)
77	17.16±2.82	20.28±1.71	16.33±3.02
79	18.86±2.62	23.01±1.54	19.68±3.09
81	18.22±4.17	23.09±1.61	18.99±2.31
83	18.80±2.69	22.65±2.26	19.62±2.16
85	17.96±3.50	22.17±2.98	17.97±3.05
87	19.61±4.42	21.14±4.49	21.67±4.40
89	16.35±4.65	19.73±4.63	18.55±5.54
91	19.12±2.65	21.39±1.49	21.20±2.23
93	15.93±5.28	18.94±5.29	15.44±5.77
95	19.85±4.32	22.56±4.16	19.07±5.61
97	17.07±5.00	20.61±5.12	16.18±5.53
99	18.54±1.83	21.29±1.48	20.22±1.35
101	18.93±1.82	21.31±1.48	20.22±1.34
103	17.95±3.54	19.58±3.21	19.84±2.77
105	14.34±4.97	17.01±5.69	15.70±4.73
107	14.75±5.82	15.48±5.13	15.06±5.62
109	15.20±3.37	15.05±3.10	15.52±3.85
111	16.27±5.26	17.10±5.33	16.23±4.76
113	14.31±5.94	16.15±7.20	13.45±6.51
115	16.27±4.64	10.84±6.77	6.32±3.59

หมายเหตุ: FT คือ ความแน่นเนื้อที่ชั่วผล FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล
 FB คือ ความแน่นเนื้อที่ปลายผล

จากภาพที่ 10 ค่าความแน่นเนื้อที่ชั่วผลและปลายผลจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆหลัง 99 วันหลังติดผล ส่วนค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆหลัง 99

วันหลังติดผลเช่นเดียวกัน แต่จะมีค่ามากกว่าที่ชั่วผลและปลายผลในช่วงแรกของการเจริญเติบโต หลัง 99 วันหลังติดผลจะมีค่าความแน่นเนื้อใกล้เคียงกันทั้งสามจุด



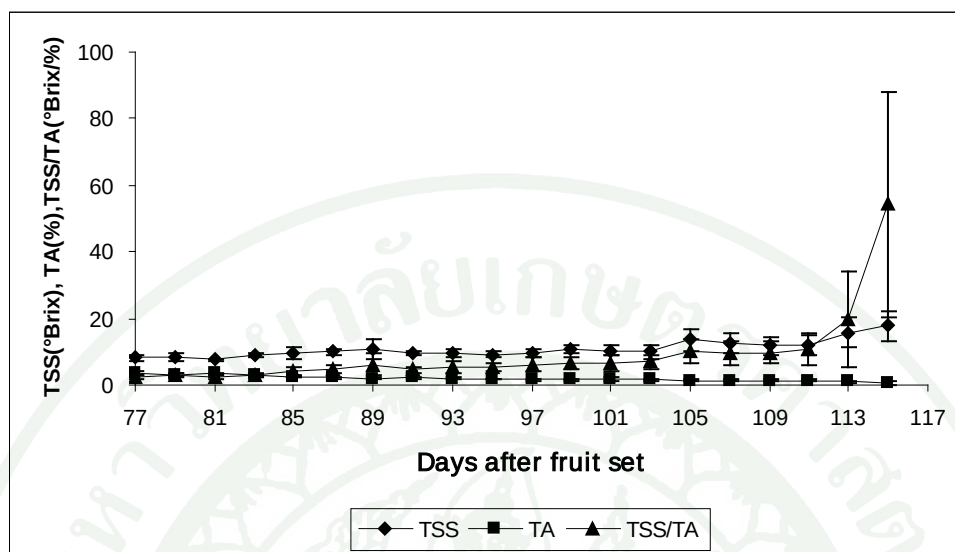
ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล

จากตารางที่ 3 แสดงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ จากการศึกษพบว่า ค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) ของมะม่วงน้ำดอกไม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆระหว่างการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 8.24 ถึง 10.69°Brix ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล แล้วมีค่าค่อนข้างคงที่ระหว่าง 10.69 ถึง 11.69°Brix ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล หลังจากนั้นค่าปริมาณน้ำตาลจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสูงกว่าปกติระหว่าง 10.69 ถึง 17.70°Brix ขณะที่ค่าปริมาณกรด (TA) ของมะม่วงน้ำดอกไม้จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 3.58-1.64 % ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าปริมาณกรดค่อยๆลดลงจาก 1.64-1.22% ในช่วงอายุ ผล 99-111 วันหลังติดผล แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือ 0.58% ค่าปริมาณกรดของมะม่วงที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อรสชาติของมะม่วง แต่ค่าปริมาณกรดของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีค่าสูงกว่าที่ Lee (1981) แนะนำว่ามะม่วงที่อยู่ในระยะผลแก่ควรมีค่าประมาณ 1 % แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) พบว่า อัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 2.36 ถึง 6.78 °Brix/% ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงมากกว่าช่วงแรกจาก 6.78 ถึง 10.73 °Brix/% ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 10.73 ถึง 54.20 °Brix/% หลัง 113 วันหลังติดผล

ตารางที่ 3 สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล 77-115 วัน

Days after fruit set	TSS (°Brix)	TA (%)	TSS/TA (°Brix/%)
77	8.24±0.77	3.58±0.49	2.36±0.55
79	8.38±1.12	2.98±0.32	2.87±0.68
81	7.55±0.35	3.33±0.53	2.33±0.44
83	9.04±0.70	2.89±0.35	3.19±0.54
85	9.64±2.04	2.65±0.55	3.91±1.62
87	9.90±1.03	2.18±0.41	4.76±1.32
89	10.98±3.07	1.92±0.37	6.26±3.34
91	9.55±0.84	2.17±0.40	4.58±1.06
93	9.47±1.14	1.98±0.41	5.12±1.82
95	9.18±1.03	1.81±0.28	5.22±1.29
97	9.49±1.30	1.58±0.27	6.28±1.90
99	10.69±0.98	1.64±0.31	6.78±1.69
101	10.38±1.53	1.80±0.81	6.53±2.31
103	10.13±2.06	1.54±0.32	6.89±2.24
105	13.47±3.24	1.38±0.29	10.36±3.66
107	12.65±2.93	1.38±0.26	9.64±3.48
109	11.70±2.42	1.26±0.27	9.84±3.48
111	11.96±2.98	1.22±0.30	10.73±4.83
113	15.76±4.57	1.04±0.42	19.50±14.38
115	17.70±4.38	0.58±0.62	54.20±33.82

จากภาพที่ 11 ค่าปริมาณน้ำตาลของมะม่วงน้ำดอกไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงแรกของการเจริญเติบโตแล้วมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ค่าปริมาณกรดจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลัง 111 วันหลังติดผล



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล

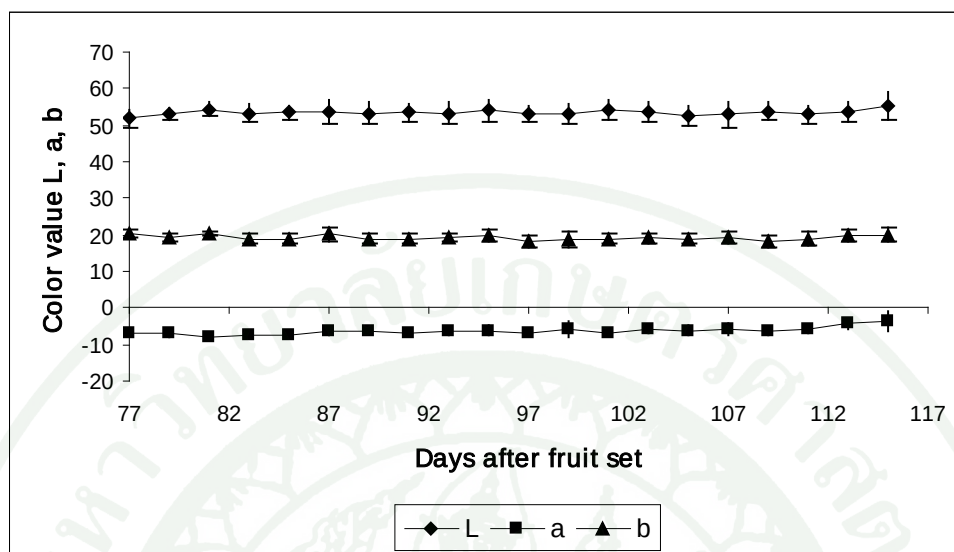
จากตารางที่ 4 แสดงค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ จากผลการทดลอง พบว่า ในช่วงแรกของการพัฒนาผลมะม่วง ค่าความสว่าง L จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่าง 51.78 ถึง 53.19 ในช่วง 77-99 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าคงที่ระหว่าง 53.19 ถึง 52.93 ในช่วง 99-111 วันหลังติดผล แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลัง 111 วันหลังติดผลระหว่าง 52.93 ถึง 55.25 ตามลำดับ ค่า a ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเขียวของผิวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดช่วงการเจริญเติบโตจาก -7.03 ถึง -3.65 แสดงว่าผิวเปลือกจะมีค่าสีเขียวลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่ค่าสีเหลืองของผิวเปลือกมะม่วง b จะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยและค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงของการเจริญเติบโตระหว่าง 20.23 ถึง 19.97 ผลการเปลี่ยนแปลงของสีแสดงการลดลงของสีเขียว และการปรากฏของสีเหลืองอ่อนๆ เมื่อมะม่วงเริ่มแก่ ซึ่งคล้ายกับ Li (1997) กล่าวว่าสัญญาณแรกๆ ที่แสดงว่ามะม่วงสุกแก่ คือการเปลี่ยนแปลงของสีจากเขียวเป็นเหลืองซึ่งเกิดจากการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในผิวเปลือกมะม่วง ซึ่งสอดคล้องกับ Kays (1991) ที่กล่าวว่า ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวหายไป ตามปกติจะเกิดร่วมกับการเกิดรงควัตถุชนิดอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน จะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของแคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมาได้

จากภาพที่ 12 จะเห็นว่ามะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าความสว่างที่ผิวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดอายุการเจริญเติบโตของผล ในขณะที่ค่าสีเขียวที่ผิวจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ส่วนค่าสีเหลืองที่ผิวซึ่งมีค่า

ค่อนข้างคงที่จะแสดงออกมาเนื่องจากการลดลงของค่าสีเขียวทำให้ผิวเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้
ที่ได้มีสีเขียวออกเหลืองสว่างหลังช่วงผลแก่

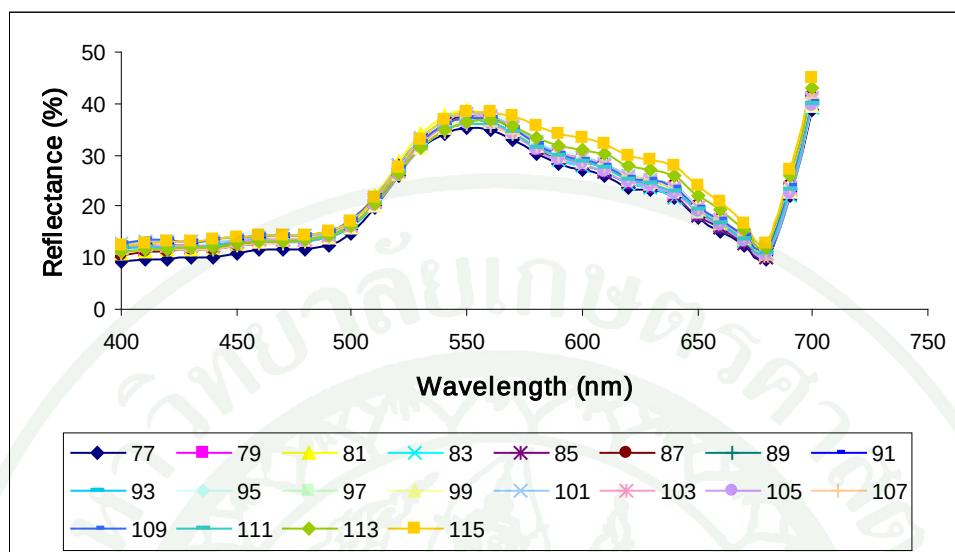
ตารางที่ 4 ค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล 77-115 วัน

Days after fruit set	L	a	b
77	51.78±2.41	-7.03±0.63	20.23±1.08
79	53.00±1.56	-7.17±0.72	19.33±0.91
81	54.32±1.93	-7.77±0.35	20.33±0.77
83	53.32±2.65	-7.67±0.42	18.90±1.33
85	53.44±1.84	-7.45±0.36	18.99±1.25
87	53.62±3.48	-6.36±1.20	20.11±1.91
89	53.33±2.93	-6.11±1.07	18.87±1.48
91	53.41±2.23	-6.80±0.70	18.96±1.17
93	53.34±2.79	-6.32±1.12	19.26±1.25
95	54.04±2.89	-6.30±1.33	19.88±1.71
97	53.18±2.36	-6.77±0.50	18.18±1.43
99	53.19±2.80	-5.74±2.01	18.80±2.13
101	54.17±2.64	-6.67±0.45	18.98±1.21
103	53.52±2.84	-6.03±1.07	19.21±1.41
105	52.67±2.78	-6.23±1.30	18.82±1.40
107	52.85±3.62	-5.68±1.60	19.41±1.61
109	53.84±2.32	-6.35±0.87	18.33±1.75
111	52.93±2.61	-5.94±0.77	18.93±1.82
113	53.81±2.69	-4.22±1.37	19.88±1.84
115	55.25±3.70	-3.65±2.68	19.97±2.00



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล

ค่าการสะท้อนแสงของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่น 400 และ 700 นาโนเมตรไม่แสดงการบ่งชี้อะไรที่ชัดเจนนัก ยกเว้นค่าการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร และมากกว่า 670 นาโนเมตร เมื่อมะม่วงมีอายุมากขึ้นค่าการสะท้อนแสงจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในทุกช่วงความยาวคลื่น และมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร โดยมะม่วงในระยะก่อนผลแก่ 77-99 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร แล้วลดลงในอัตราที่รวดเร็วมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 640-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร ส่วนมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในช่วงผลแก่จะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงด้วยอัตราที่ต่ำกว่ามะม่วงที่เก็บเกี่ยวขณะที่ผลยังอ่อนในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร แล้วลดลงในอัตราที่รวดเร็วมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 640-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร (ภาพที่ 13) แสดงว่ามะม่วงก่อนผลแก่ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตรจะมีค่าลดลง เมื่อมะม่วงเริ่มแก่จะมีค่าลดลงด้วยอัตราที่ต่ำกว่ามะม่วงที่เก็บเกี่ยวขณะที่ผลยังอ่อน



ภาพที่ 13 ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผล

การทํานายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

1. การทํานายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เชิงปริมาณ

สมบัติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทั้ง 400 ผล ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ค่า TSS, TA, TSS/TA, และ ค่าความแน่นเนื้อ รวมทั้งวันหลังติดผล เป็นสมบัติที่เป็นการตรวจวัดที่ต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อคุณภาพของมะม่วง ส่วนสมบัติที่เหลือได้แก่ ขนาด ความกลม ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าสี L, a, b และค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร จัดเป็นสมบัติที่เป็นการตรวจวัดแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) ซึ่งในกลุ่มที่ศึกษานี้มีสมบัติที่มีความแตกต่างกันมากจากค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 5 และ 6

สมบัติที่ผู้บริโภคนิยมใช้ในการตัดสินใจซื้อผลไม้โดยทั่วไปคือค่า TSS, TA, TSS/TA และค่าความแน่นเนื้อ โดยเฉพาะมะม่วงที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการรสชาติหวาน กลิ่นหอม เนื้อนุ่ม ดังนั้น การที่สามารถเก็บเกี่ยวมะม่วงตามที่ต้องการโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างจึงเป็นสิ่งสำคัญ จากตารางที่ 7 เป็นผลการวิเคราะห์ PLSR (Partial Least Square Regression Analysis) โดย

กำหนดให้ สมบัติที่เป็นแบบต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) และวันหลังดอกบาน เป็นตัวแปร Y หรือ สมบัติที่ถูกทำนาย (Predicted properties) ส่วนสมบัติอื่นๆที่เหลือรวมทั้งค่าการสะท้อนแสง ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร รวมทั้งหมด 37 ตัวแปร ซึ่งเป็นสมบัติที่เป็นแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) เป็นตัวแปร X หรือสมบัติที่ใช้ทำนาย (Predictor properties) จากการวิเคราะห์ PLSR กับผลมะม่วงกลุ่ม Calibration จำนวน 320 ผล พบว่า PLSR model ที่ทำนายค่า DAFS มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็นโมเดลที่ทำนายค่า TA, TSS/TA, TSS, และ FC โดยมีค่า 0.78, 0.60, 0.35, 0.32 และ 0.17 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่า SEC เท่ากับ 4.82 วัน, 0.52%, 4.15°Brix/%, 1.99°Brix และ 3.94 N/mm ตามลำดับ และเมื่อนำ PLSR models ที่ได้ไปทำนายกับกลุ่ม Validation จำนวน 80 ผล ให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกัน โดยการทำนายค่า DAFS มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็นโมเดลที่ทำนายค่า TA, TSS/TA, TSS, และ FC โดยมีค่า 0.71, 0.60, 0.31, 0.29 และ 0.21 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ มีค่า SEP เท่ากับ 5.57 วัน, 0.50%, 3.06°Brix/%, 2.15°Brix, และ 4.03 N/mm ตามลำดับ และมีค่า Bias 0.98, -0.03, 0.27, 0.11 และ -0.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 สมบัติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เป็น Destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation

Parameters	Calibration (n=320)				Validation (n=80)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
DAFS	77.00	111.00	94.00	10.39	77.00	111.00	94.00	10.45
TSS	6.88	21.65	10.14	2.42	6.75	21.92	10.22	2.56
TA	0.41	4.77	2.06	0.83	0.86	4.36	2.08	0.80
TSS/TA	1.76	52.86	6.28	5.14	1.95	17.59	6.02	3.69
FC	2.06	27.62	20.12	4.34	2.97	26.26	20.20	4.53

หมายเหตุ: FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล

ตารางที่ 6 สมบัติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เป็น Non destructive parameters
ในกลุ่ม Calibration และ Validation

Parameters	Calibration				Validation			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
Size	7.37	10.73	8.87	0.57	6.78	9.87	8.74	0.58
SPHERE	0.51	0.70	0.62	0.03	0.50	0.69	0.61	0.03
SG	0.92	1.16	1.04	0.04	0.96	1.14	1.05	0.04
L	46.37	60.68	53.37	2.60	45.49	58.86	53.15	2.83
a	-8.41	0.55	-6.60	1.17	-8.23	-0.97	-6.49	1.18
b	14.84	24.71	19.23	1.56	15.65	22.44	19.08	1.51
R400	7.41	15.78	11.60	1.60	7.57	15.32	11.70	1.83
R410	7.88	16.03	12.08	1.57	8.00	15.86	12.15	1.80
R420	8.05	16.01	12.12	1.52	8.07	15.77	12.17	1.72
R430	8.21	16.02	12.18	1.48	8.33	15.70	12.22	1.65
R440	8.41	16.17	12.33	1.46	8.43	15.80	12.34	1.62
R450	9.19	16.93	12.87	1.49	8.82	16.42	12.85	1.65
R460	9.57	17.89	13.31	1.51	9.17	16.81	13.26	1.67
R470	9.66	18.10	13.38	1.51	9.29	16.82	13.33	1.66
R480	9.85	18.49	13.55	1.52	9.51	17.00	13.48	1.67
R490	10.38	19.80	14.21	1.59	10.05	17.67	14.12	1.73
R500	12.10	23.28	16.45	1.83	11.56	20.50	16.29	1.96
R510	15.34	29.48	21.05	2.28	14.76	26.10	20.80	2.42
R520	19.84	36.67	27.19	2.73	19.00	32.96	26.86	2.90
R530	23.72	41.92	32.46	3.02	22.77	38.60	32.10	3.24
R540	26.22	44.95	35.72	3.23	25.20	41.88	35.37	3.44
R550	27.42	45.85	36.98	3.32	26.28	43.51	36.65	3.50
R560	27.52	45.40	36.78	3.35	26.42	44.04	36.47	3.50
R570	26.23	45.08	34.88	3.41	25.41	42.86	34.57	3.48
R580	24.15	43.40	31.82	3.30	23.63	39.73	31.52	3.34

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Parameters	Calibration				Validation			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
R590	22.73	42.17	29.78	3.23	22.39	37.76	29.49	3.26
R600	21.77	41.76	28.81	3.24	21.99	37.05	28.53	3.25
R610	20.57	40.88	27.53	3.22	21.25	35.75	27.26	3.20
R620	18.68	38.54	25.30	3.07	19.22	33.07	25.04	3.06
R630	18.09	37.89	24.57	3.01	18.45	32.24	24.31	3.00
R640	16.88	36.66	23.00	2.93	17.03	30.59	22.78	2.90
R650	13.76	32.33	19.25	2.64	13.89	26.10	19.07	2.58
R660	11.94	27.57	16.70	2.28	12.13	22.57	16.54	2.24
R670	10.18	21.23	13.69	1.73	10.53	17.94	13.58	1.68
R680	8.12	15.25	10.63	1.25	8.53	13.65	10.57	1.20
R690	17.80	33.94	23.19	2.75	17.67	29.77	22.92	2.73
R700	31.91	53.10	40.17	3.86	32.54	49.34	39.80	3.85

ตารางที่ 7 ค่าทางสถิติของ PLSR models ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สำหรับทำนายสมบัติที่เป็น
Destructive parameter ด้วยสมบัติที่เป็น Non destructive properties

Predicted parameters	Factors	Calibration (n=320)		Validation (n=80)		
		R ²	SEC	R ²	SEP	Bias
DAFS(day)	15	0.78	4.82	0.71	5.57	0.89
TSS(°Brix)	6	0.32	1.99	0.29	2.15	0.11
TA(%)	6	0.60	0.52	0.60	0.50	-0.03
TSS/TA(°Brix/%)	5	0.35	4.15	0.31	3.06	0.27
FC(N/mm)	2	0.17	3.94	0.21	4.03	-0.14

หมายเหตุ: FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล

2. การทำนายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เชิงคุณภาพ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลตั้งแต่ อายุ 77-115 วัน สามารถแบ่งระยะการแก่เป็น 3 ระยะ คือระยะก่อนผลแก่ ระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกิน พบว่า วันหลังติดผลมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ 87 ± 6.34 , 105 ± 4.01 และ 114 ± 1.01 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสมบัติแบบทำลายส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากอายุการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้น ค่าความแน่นเนื่องจากการกดในช่วงก่อนผลแก่และช่วงผลแก่มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นค่า TSS จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 9.28 ± 1.81 , 11.58 ± 2.64 และ 16.75 ± 4.53 °Brix ตามลำดับ ส่วนค่า TA จะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 2.46 ± 0.76 , 1.45 ± 0.46 และ 0.80 ± 0.57 % ตามลำดับ ทำให้ค่า TSS/TA มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 4.45 ± 3.59 , 9.04 ± 5.31 และ 36.86 ± 31.09 °Brix/% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความแน่นเนื่องจากการกดจะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 21.42 ± 3.70 , 18.12 ± 4.59 และ 13.48 ± 7.40 N/mm ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเฉลี่ย 1.04 ± 0.07 , 1.04 ± 0.08 และ 1.08 ± 0.04 ตามลำดับ ค่าขนาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงในช่วงผลแก่เกินโดยมีค่าเฉลี่ย 8.66 ± 0.52 , 9.13 ± 0.54 และ 8.68 ± 0.53 ตามลำดับ ทำให้ค่าความกลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วมีค่าไม่ต่างกันในช่วงผลแก่และผลแก่เกินโดยมีค่าเฉลี่ย 0.60 ± 0.03 , 0.64 ± 0.02 และ 0.65 ± 0.03 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสี L จะมีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงผลก่อนแก่และช่วงผลแก่แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกิน โดยมีค่าเฉลี่ย 53.35 ± 2.54 , 53.31 ± 2.81 และ 54.53 ± 3.27 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสีเขียว a จะมีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงผลก่อนแก่และช่วงผลแก่แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกินโดยมีค่าเฉลี่ย -6.89 ± 0.98 , -6.09 ± 1.26 และ -3.94 ± 2.12 ตามลำดับ และค่าสีเหลือง b จะมีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงผลก่อนแก่และช่วงผลแก่แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกิน โดยมีค่าเฉลี่ย 19.37 ± 1.46 , 18.93 ± 1.64 และ 19.92 ± 1.90 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากค่า F พบว่าสมบัติที่มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ DAFS, TA, TSS, TSS/TA, ค่าสี a, Sphericity, FC, Size, ค่าสี b, SG และ ค่าสี L ตามลำดับ

ตารางที่ 8 สมบัติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จำแนกตามความสุกแก่

Properties	Maturity stage			F	Sig.
	Immature	Mature	Over mature		
DAFS	87.00±6.34a	105.00±4.01b	114.00±1.01c	754.59	0.000
TSS	9.28±1.81a	11.58±2.64b	16.75±4.53c	160.72	0.000
TA	2.46±0.76c	1.45±0.46b	0.80±0.57a	169.79	0.000
TSS/TA	4.45±3.59a	9.04±5.31b	36.86±31.09c	158.85	0.000
FC	21.42±3.70c	18.12±4.59b	13.48±7.40a	62.05	0.000
SG	1.04±0.07a	1.04±0.08a	1.08±0.04a	6.21	0.002
Size	8.66±0.52a	9.13±0.54b	8.68±0.53a	35.56	0.000
SPHERE	0.60±0.03a	0.64±0.02b	0.65±0.03b	90.62	0.000
L	53.35±2.54a	53.31±2.81a	54.53±3.27b	3.48	0.032
a	-6.89±0.98a	-6.09±1.26a	-3.94±2.12b	99.21	0.000
b	19.37±1.46a	18.93±1.64a	19.92±1.90b	7.16	0.001

จากการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม จึงมี Function ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 2 Function ดังตารางที่ 9 ค่า Eigenvalue ของ Function 1-2 มีค่า 1.309 และ 0.387 และมีค่าเปอร์เซ็นต์ variance เท่ากับ 77.2 และ 22.8 ตามลำดับ โดยมีค่า Canonical correlation เท่ากับ 0.753 และ 0.528 ตามลำดับ แสดงว่า Function 1 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากกว่า Function 2

ตารางที่ 9 Eigenvalues ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม

Function	Eigenvalue	% of variance	Cumulative%	Canonical correlation
1	1.309	77.2	77.2	0.753
2	0.387	22.8	100.0	0.528

จากตารางที่ 10 การวิเคราะห์ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทั้ง 2 Function พบว่า ค่าสี่ a, Sphericity, R680, R670, R430, R450 และ R470 มีอิทธิพลในการ

แบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า Size, R640, ค่าสี b, R630, SG, R400, R410, ค่าสี L, R420, และ R510 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2

ตารางที่ 10 Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม

Properties	Function	
	1	2
a	0.587*	-0.354
SPHERE	0.579*	0.217
R680	0.325*	-0.256
R670	0.312*	-0.294
R430	0.128*	0.103
R450	0.098*	0.022
R470	0.097*	-0.020
SIZE	0.185	0.589*
R640	0.272	-0.319*
b	0.010	-0.305*
R630	0.245	-0.304*
SG	0.088	-0.233*
R400	0.150	0.215*
R410	0.134	0.185*
L	0.081	-0.152*
R420	0.119	0.136*
R510	-0.029	-0.094*

ตารางที่ 11 แสดงค่า Classifications Function Coefficient ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 11 Classifications Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม

Properties	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	238.376	237.571	244.813
SIZE	28.615	30.018	29.019
SPHERE	768.121	806.962	828.154
L	35.710	35.793	35.959
a	-27.859	-27.666	-27.438
b	-24.031	-24.176	-24.427
R400	52.909	56.870	62.399
R410	-37.796	-36.250	-36.537
R420	-154.573	-162.651	-173.610
R430	124.319	129.596	121.489
R450	67.283	59.335	70.129
R470	-86.259	-81.284	-73.824
R630	17.430	18.093	16.936
R640	-6.047	-6.852	-3.148
R670	-19.822	-19.873	-24.095
R680	36.731	37.998	39.702
R510	-21.847	-22.070	-26.296
(Constant)	-1024.306	-1062.261	-1077.907

ตารางที่ 12 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม พบว่า สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้อง 82.0 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 220 ผล ได้ถูกต้อง 194 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 23 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 3 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 88.2 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 110 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 25

ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 5 ผล ได้ค่า% Correctly Classified 78.6 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 24 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วง ผลก่อนแก่ 3 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่ 13 ผล ได้ค่า% Correctly Classified 60.0 %

ตารางที่ 12 Classification result ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม

Properties	%Correctly classified	Predicted groups			Actual
		Immature	Mature	Over mature	
Immature	88.2	194	23	3	220
Mature	78.6	25	110	5	140
Over mature	60.0	3	13	24	40
Total	82.0	222	146	32	400

สมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยาและแสงของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์

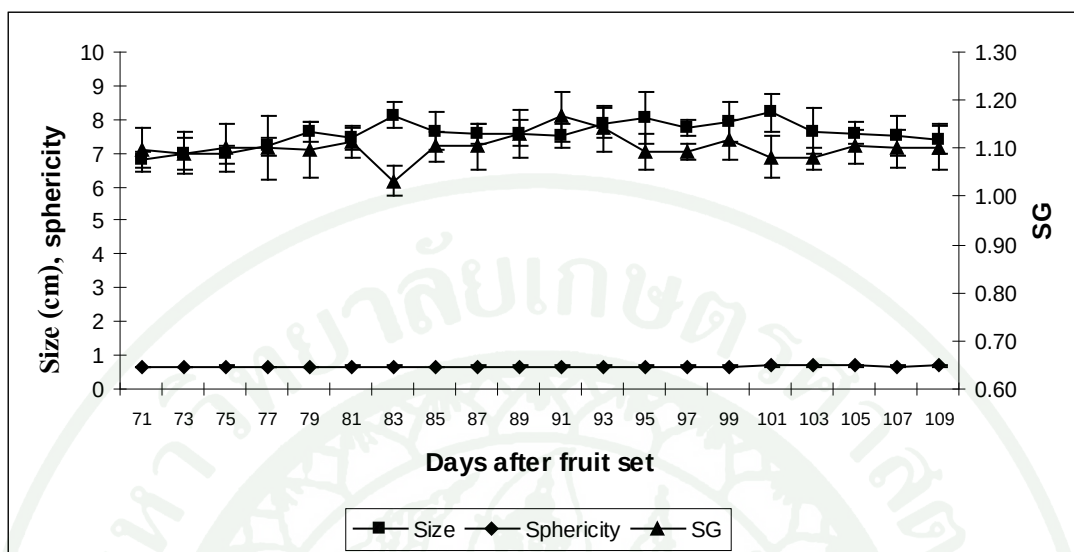
การเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (Chok Anan) ในปีแรก เริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่อายุ 71 วัน จนถึง 109 วันหลังติดผล จากตารางที่ 13 แสดงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตาม วันหลังติดผล พบว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมะม่วงโชคอนันต์จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่าง 6.81 ถึง 7.49 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 71-91 วันหลังติดผล แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราลดลง ระหว่าง 7.49 ถึง 7.94 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 91-99 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อย จาก 7.94 ถึง 7.40 เซนติเมตร ในขณะที่ค่าความกลมก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตระหว่าง 0.66 ถึง 0.67 ในช่วงอายุ 71-91 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยระหว่าง 0.67 ถึง 0.68 ในช่วงอายุ 91-99 วันหลังติดผล และ 0.68 ถึง 0.69 ในช่วงอายุ 99-109 วันหลังติดผล ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเกิน 1.00 ตั้งแต่เริ่มเก็บเกี่ยวจนหยุดเก็บเกี่ยว โดย มีค่าขึ้นๆลงๆ ไม่แน่นอนตลอดช่วงการเจริญเติบโต

จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตแล้วมีค่าลดลงในช่วงท้ายเนื่องจากผลจะมีความยาวลดลงเมื่อแก่จัด ขณะที่ค่าความกลม มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ

แต่มีค่ามากกว่า 1.00 ตั้งแต่เริ่มเก็บเกี่ยว แสดงว่าเมื่อมะม่วงโชคอนันต์มีอายุมากขึ้นผลจะมีขนาดโตขึ้นในทุกๆด้าน โดยเฉพาะด้านหนาและกว้างจึงส่งผลให้ความกลมมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานของ Jha *et al.* (2006a) ที่พบว่า มะม่วงพันธุ์ Dashehari เมื่อแก่ผลจะมีขนาดโตขึ้น

ตารางที่ 13 สมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล 71-109 วัน

Days after fruit set	Size(cm)	SPHERE	SG
71	6.81±0.21	0.66±0.01	1.10±0.05
73	6.96±0.48	0.67±0.01	1.09±0.04
75	6.95±0.27	0.66±0.02	1.10±0.05
77	7.19±0.27	0.65±0.03	1.10±0.07
79	7.61±0.30	0.66±0.02	1.10±0.06
81	7.44±0.36	0.67±0.02	1.11±0.03
83	8.11±0.39	0.67±0.02	1.03±0.03
85	7.66±0.54	0.65±0.01	1.10±0.03
87	7.59±0.30	0.67±0.03	1.10±0.05
89	7.60±0.40	0.66±0.04	1.13±0.05
91	7.49±0.36	0.67±0.02	1.17±0.05
93	7.89±0.47	0.67±0.02	1.14±0.05
95	8.06±0.79	0.68±0.03	1.09±0.04
97	7.76±0.22	0.68±0.03	1.09±0.02
99	7.94±0.60	0.68±0.03	1.12±0.04
101	8.20±0.56	0.68±0.03	1.08±0.04
103	7.66±0.70	0.68±0.02	1.08±0.02
105	7.58±0.33	0.69±0.02	1.11±0.04
107	7.50±0.60	0.67±0.02	1.10±0.04
109	7.40±0.44	0.69±0.03	1.10±0.05



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล

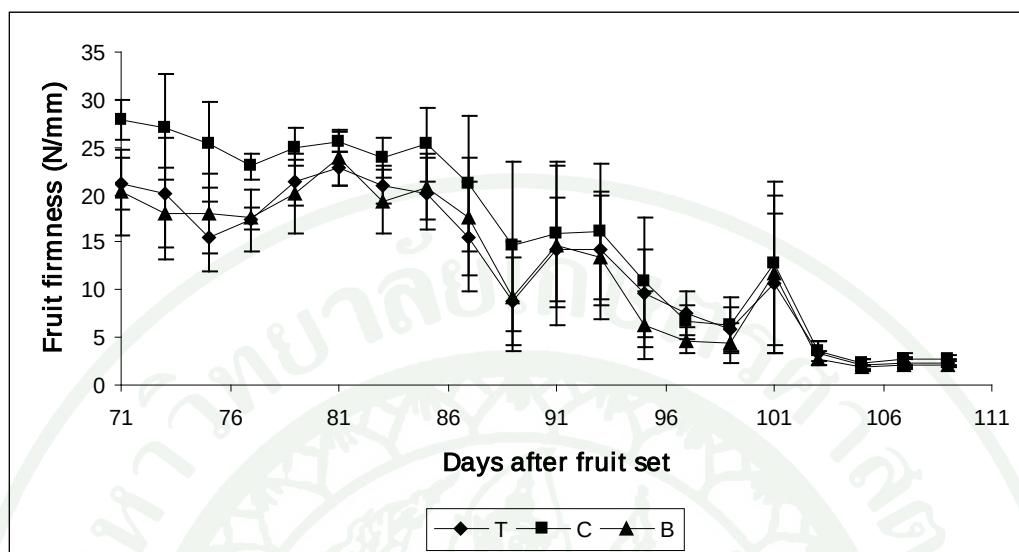
จากตารางที่ 14 แสดงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ จากการกดมะม่วง 3 จุด ที่ขั้วผล(stem) กลางผล และปลายผล (apex) พบว่า ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าสูงสุด โดยมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกระหว่าง 27.87 ถึง 25.27 N/mm ในช่วงอายุ 71-85 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 25.27 ถึง 10.84 N/mm ในช่วงอายุ 85-95 วันหลังติดผล และลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 10.84 ถึง 2.62 N/mm ในช่วงอายุ 95-109 วันหลังติดผล ขณะที่ค่าความแน่นเนื้อที่ขั้วผลมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกระหว่าง 21.18 ถึง 20.09 N/mm ในช่วงอายุ 71-85 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 20.09 ถึง 9.70 N/mm ในช่วงอายุ 85-95 วันหลังติดผล และลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 9.70 ถึง 2.28 N/mm ในช่วงอายุ 95-109 วันหลังติดผล เช่นเดียวกับค่าความแน่นเนื้อปลายผลมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกระหว่าง 20.24 ถึง 20.83 N/mm ในช่วงอายุ 71-85 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 20.83 ถึง 6.32 N/mm ในช่วงอายุ 85-95 วันหลังติดผล และลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 6.32 ถึง 2.10 N/mm ในช่วงอายุ 95-109 วันหลังติดผล ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปคตินโพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995) จากผลการทดลองความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วที่อายุ 85 วันหลังติดผลโดยมีค่าความแน่นเนื้อ 25.27N/mm ซึ่งเร็วกว่าที่ Jarimopas *et al.* (2006) ที่เสนอแนะว่ามะม่วงโชคอนันต์จะแก่เต็มที่เมื่อมีอายุ 91 วันหลังติดผลมีค่าความแน่นเนื้อ 33.22 N/mm หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากผลของความเครียดและความเค้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโต

ตารางที่ 14 สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล 71-109 วัน

Days after fruit set	FT(N/mm)	FC(N/mm)	FB(N/mm)
71	21.18±2.71	27.87±2.14	20.24±4.51
73	20.22±5.77	27.12±5.50	18.02±4.85
75	15.57±3.67	25.27±4.48	18.03±4.14
77	17.31±3.29	22.98±1.34	17.53±1.20
79	21.27±2.36	25.04±2.05	20.19±4.18
81	22.82±1.80	25.63±1.21	23.79±2.83
83	21.05±1.92	23.83±2.07	19.33±3.30
85	20.09±3.79	25.27±3.93	20.83±3.53
87	15.60±5.67	21.19±7.08	17.65±6.18
89	8.80±4.68	14.58±8.84	9.28±5.76
91	14.26±5.43	15.90±7.66	14.69±8.44
93	14.31±5.94	16.15±7.20	13.45±6.51
95	9.70±4.64	10.84±6.77	6.32±3.59
97	7.55±2.30	6.66±1.81	4.69±1.43
99	5.89±2.33	6.31±2.95	4.47±2.08
101	10.77±7.34	12.73±8.61	11.64±8.22
103	3.29±1.24	3.62±1.02	2.76±0.71
105	2.09±0.58	2.27±0.51	1.84±0.29
107	2.36±0.52	2.71±0.60	2.16±0.55
109	2.28±0.40	2.62±0.62	2.10±0.31

หมายเหตุ: FT คือ ความแน่นเนื้อที่ชั่วผล FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล
 FB คือ ความแน่นเนื้อที่ปลายผล

จากภาพที่ 15 ค่าความแน่นเนื้อที่ชั่วผลและปลายผลจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆหลัง 85 วันหลังติดผล ส่วนค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆหลัง 85 วันหลังติดผลเช่นเดียวกัน แต่จะมีค่ามากกว่าที่ชั่วผลและปลายผล



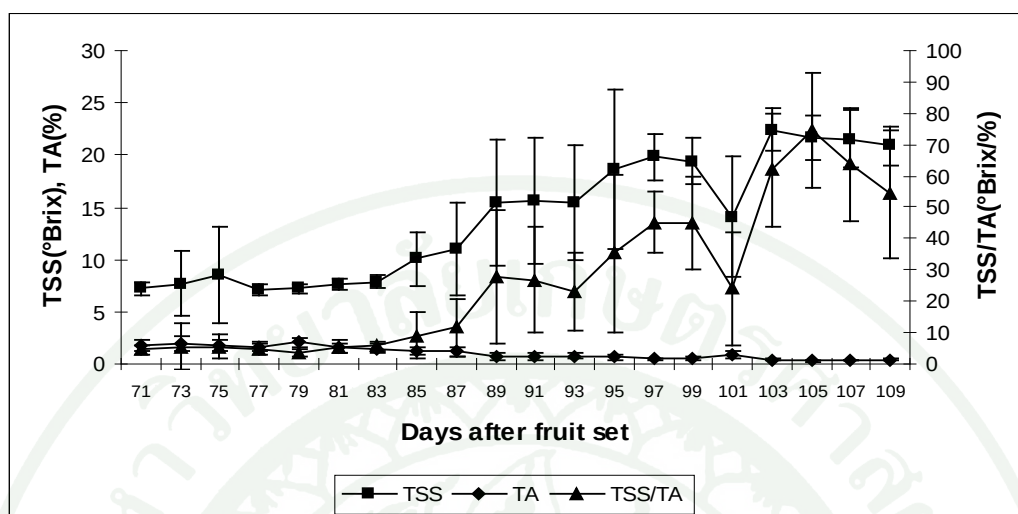
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล

จากตารางที่ 15 แสดงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ระหว่าง 71-109 วันหลังติดผล จากการศึกษพบว่าค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) ของมะม่วงโชคอนันต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่างการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 7.21 ถึง 7.90°Brix. ในช่วงอายุ 71-83 วันหลังติดผล แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 10.08 ถึง 18.67°Brix. ในช่วงอายุ 85-95 วันหลังติดผล หลังจากนั้นค่าปริมาณน้ำตาลจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นลดลงระหว่าง 19.82 ถึง 20.92°Brix. ขณะที่ค่าปริมาณกรด (TA) ของมะม่วงโชคอนันต์จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่าง 1.79-1.28 % ในช่วงอายุ 71-85 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าปริมาณกรดลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 1.19-0.67% ในช่วงอายุ 85-95 วันหลังติดผลและมีค่าต่ำกว่า 1.00 ที่อายุ 87 วันหลังติดผล แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือ 0.43% ซึ่งสอดคล้องกับที่ Lee (1981) แนะนำว่ามะม่วงที่อยู่ในระยะผลแก่ควรมีค่าประมาณ 1 % แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) พบว่า อัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 4.46 ถึง 9.16 °Brix/% ในช่วงอายุ 71-85 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงมากกว่าช่วงแรกจาก 9.16 ถึง 35.38 °Brix/% ในช่วงอายุ 85-95 วันหลังติดผลหลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่าง 35.38 ถึง 54.21 °Brix/% หลัง 95 วันหลังติดผล ซึ่งจะเห็นว่าค่าอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) จะมีค่าสูงมากเนื่องจากค่าความเป็นกรดมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าความหวานจึงทำให้มะม่วงโชคอนันต์มีรสชาติหวานเมื่อสุก

ตารางที่ 15 สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล 71-109 วัน

Days after fruit set	TSS (°Brix)	TA (%)	TSS/TA(°Brix/%)
71	7.21±0.67	1.79±0.53	4.46±1.60
73	7.70±3.14	1.93±0.70	5.56±7.40
75	8.53±4.64	1.74±0.56	5.50±3.86
77	7.16±0.52	1.62±0.46	4.82±1.63
79	7.24±0.41	2.10±0.46	3.65±1.10
81	7.63±0.57	1.53±0.46	5.48±1.94
83	7.90±0.59	1.50±0.39	5.67±1.72
85	10.08±2.58	1.28±0.32	9.16±7.30
87	11.06±4.41	1.19±0.41	11.55±9.32
89	15.47±6.06	0.78±0.34	27.57±21.25
91	15.60±6.04	0.75±0.32	26.84±17.07
93	15.48±5.55	0.78±0.23	23.04±12.47
95	18.67±7.61	0.67±0.29	35.38±25.12
97	19.82±2.18	0.46±0.10	45.25±9.78
99	19.36±2.22	0.49±0.18	44.83±14.92
101	14.08±5.80	0.81±0.36	24.15±17.94
103	22.44±1.99	0.39±0.12	61.99±18.14
105	21.67±2.08	0.31±0.08	74.52±18.14
107	21.56±2.80	0.36±0.08	63.68±18.18
109	20.92±1.89	0.43±0.14	54.21±20.21

จากภาพที่ 16 ค่าปริมาณน้ำตาลของมะม่วงโชคอนันต์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงแรกของการเจริญเติบโตแล้วมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 85-95 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ค่าปริมาณกรดจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลัง 85 วันหลังติดผล



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล

จากตารางที่ 16 แสดงค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ จากผลการทดลอง พบว่า ในช่วงแรกของการพัฒนาผลมะม่วง ค่าความสว่าง L จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่าง 46.29 ถึง 47.84 ในช่วง 71-85 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นระหว่าง 47.84 ถึง 55.46 ในช่วง 85-95 วันหลังติดผล แล้วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหลัง 95 วันหลังติดผลระหว่าง 55.46 ถึง 61.93 ตามลำดับ ค่า a ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเขียวของผิวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดช่วงการเจริญเติบโตจาก -7.28 ถึง -6.56 ในช่วง 71-85 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นระหว่าง -6.56 ถึง -0.27 ในช่วง 85-95 วันหลังติดผล แล้วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเป็นบวกหลัง 95 วันหลังติดผล ระหว่าง -0.27 ถึง 7.59 ตามลำดับ แสดงว่าผิวเปลือกจะมีค่าสีเขียวลดลงเรื่อยๆ จนเปลี่ยนเป็นค่าสีแดง ในขณะที่ค่าสีเหลืองของผิวเปลือกมะม่วง b จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่าง 17.84 ถึง 18.66 ในช่วง 71-87 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นระหว่าง 18.66 ถึง 23.83 ในช่วง 87-95 วันหลังติดผล แล้วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหลัง 97 วันหลังติดผลระหว่าง 23.83 ถึง 29.38 ตามลำดับ ผลการเปลี่ยนแปลงของสีแสดงการลดลงของสีเขียวจนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดง และการปรากฏของสีเหลืองเมื่อมะม่วงเริ่มแก่ซึ่งคล้ายกับ Li (1997) กล่าวว่าสัญญาณแรกๆ ที่แสดงว่ามะม่วงสุกแก่ คือการเปลี่ยนแปลงของสีจากเขียวเป็นเหลืองซึ่งเกิดจากการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในผิวเปลือกมะม่วง ซึ่งสอดคล้องกับ Kays (1991) ที่กล่าวว่า ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวหายไป ตามปกติจะเกิดร่วมกับการเกิดรงควัตถุชนิดอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน จะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของแคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมาได้

ตารางที่ 16 ค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล 71-109 วัน

Days after fruit set	L	a	b
71	46.29±1.74	-7.28±0.54	17.84±0.86
73	47.00±3.06	-6.89±1.68	18.56±2.14
75	46.95±2.28	-7.32±0.48	17.62±1.21
77	46.80±1.13	-7.33±0.39	17.22±0.67
79	46.83±1.48	-7.62±0.46	18.12±0.99
81	48.13±2.17	-7.48±0.50	18.58±1.01
83	47.56±1.81	-7.36±0.53	18.45±0.91
85	47.84±2.63	-6.56±0.83	17.58±1.37
87	49.35±2.59	-5.83±1.51	18.66±1.83
89	50.39±5.95	-4.07±4.72	20.08±4.48
91	53.40±5.21	-2.27±4.92	22.29±4.17
93	52.59±3.87	-3.51±3.12	20.90±3.14
95	55.46±5.53	-0.27±4.99	23.83±4.26
97	61.45±3.45	4.26±4.16	28.44±2.61
99	60.03±3.85	3.25±4.27	27.84±2.59
101	54.17±6.57	-1.41±5.63	22.82±4.88
103	62.73±3.49	4.98±4.18	29.28±2.70
105	62.93±2.43	9.01±2.22	30.31±1.84
107	64.21±2.67	10.66±1.85	31.50±1.83
109	61.93±4.56	7.59±3.62	29.38±2.10

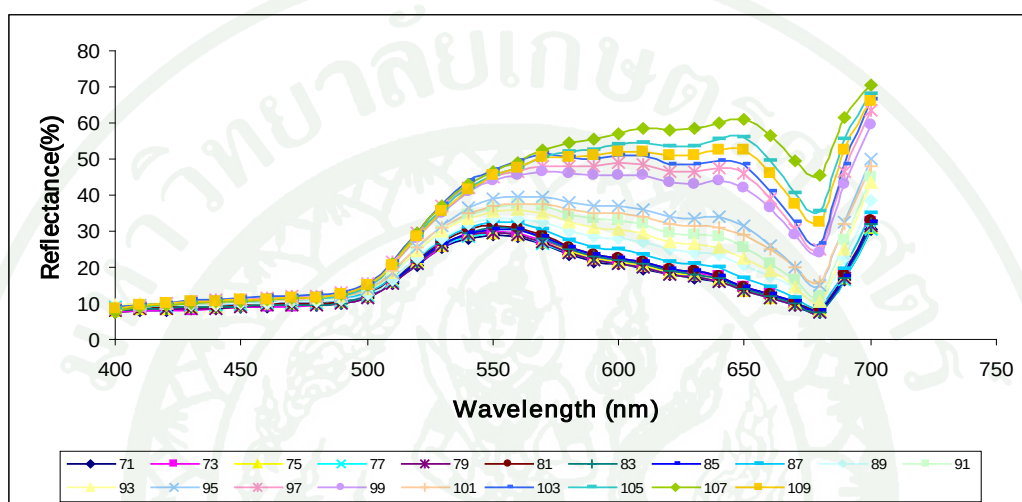
จากภาพที่ 17 จะเห็นว่ามะม่วงโชคอนันต์มีค่าความสว่างที่ผิวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดอายุการเจริญเติบโตของผล ขณะเดียวกันค่าสีเหลืองก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเช่นกัน ส่วนค่าสีเขียวที่ผิวจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ และเปลี่ยนเป็นสีแดงหลัง 97 วันหลังติดผล ค่าสีเหลืองที่ผิวจะแสดงออกมาขณะที่ค่าสีเขียวลดลงทำให้ผิวเปลือกของมะม่วงโชคอนันต์ที่ได้มีสีเหลืองสว่างปรากฏออกมาหลังช่วงผลแก่



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผล

ค่าการสะท้อนแสงของมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงความยาวคลื่น 400 และ 700 นาโนเมตร ไม่แสดงการบ่งชี้อะไรที่ชัดเจนนัก ยกเว้นค่าการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร และมากกว่า 670 นาโนเมตร เมื่อมะม่วงมีอายุมากขึ้นค่าการสะท้อนแสงจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในทุกช่วงความยาวคลื่น และมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร โดยมะม่วงในระยะก่อนผลแก่ 71-85 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 550-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร ส่วนมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในช่วงผลแก่ระหว่าง 85-95 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงด้วยอัตราที่ต่ำกว่ามะม่วงที่เก็บเกี่ยวขณะที่ผลยังอ่อนในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร แล้วลดลงในอัตราที่รวดเร็วมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 640-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร ขณะที่มะม่วงที่เก็บเกี่ยวในช่วงผลแก่เกินระหว่าง 95-109 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าคงที่และมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร แล้วลดลงในช่วงความยาวคลื่น 640-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร (ภาพที่ 18) แสดงว่ามะม่วงก่อน

ผลแก่ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตรจะมีค่าลดลง เมื่อมะม่วงเริ่มแก่ จะมีค่าลดลงด้วยอัตราที่ต่ำกว่ามะม่วงที่เก็บเกี่ยวขณะที่ผลยังอ่อน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงอยู่ในช่วงผลแก่เกิน



ภาพที่ 18 ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ตามวันหลังติดผล

การทํานายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์

1. การทํานายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เชิงปริมาณ

สมบัติของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ทั้ง 400 ผล ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ค่า TSS, TA, TSS/TA, และ ค่าความแน่นเนื้อ รวมทั้งวันหลังติดผล เป็นสมบัติที่เป็นการตรวจวัดที่ต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อคุณภาพของมะม่วง ส่วนสมบัติที่เหลือได้แก่ ขนาด ความกลม ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าสี L, a, b และค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร จัดเป็นสมบัติที่เป็นการตรวจวัดแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) ซึ่งในกลุ่มที่ศึกษานี้มีสมบัติที่มีความแตกต่างกันมากจากค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 17 และ 18

ตารางที่ 17 สมบัติของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เป็น Destructive parameters
ในกลุ่ม Calibration และ Validation

Parameters	Calibration(n=320)				Validation (n=80)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
DAFS	71.00	109.00	90.00	11.55	71.00	109.00	90.00	11.61
TSS	5.50	43.53	14.00	6.79	6.00	28.25	13.87	6.59
TA	0.20	3.06	1.05	0.69	0.20	2.70	1.03	0.65
TSS/TA	2.45	121.44	26.96	26.28	2.86	109.62	27.21	28.26
FC	1.34	33.57	16.06	10.30	1.72	30.84	15.42	10.11

สมบัติที่ผู้บริโภคนิยมใช้ในการตัดสินใจซื้อผลไม้โดยทั่วไปคือค่า TSS, TA, TSS/TA และค่าความแน่นเนื้อ โดยเฉพาะมะม่วงที่ผู้บริโภครุ่นใหญ่ต้องการรสชาติหวาน กลิ่นหอม เนื้อนุ่ม ดังนั้น การที่สามารถเก็บเกี่ยวมะม่วงตามที่ต้องการโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างจึงเป็นสิ่งสำคัญ จากตารางที่ 19 เป็นผลการวิเคราะห์ PLSR (Partial Least Square Regression Analysis) โดยกำหนดให้ สมบัติที่เป็นแบบต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) และวันหลังดอกบาน เป็นตัวแปร Y หรือ สมบัติที่ถูกทำนาย (Predicted properties) ส่วนสมบัติอื่นๆที่เหลือรวมทั้งค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร รวมทั้งหมด 37 ตัวแปร ซึ่งเป็นสมบัติที่เป็นแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) เป็นตัวแปร X หรือสมบัติที่ใช้ทำนาย (Predictor properties) จาก การวิเคราะห์ PLSR กับผลมะม่วงกลุ่ม Calibration จำนวน 320 ผล พบว่า PLSR model ที่ทำนายค่า FC มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็นโมเดลที่ทำนายค่า TSS, TSS/TA, DAFS, และ TA โดยมีค่า 0.85, 0.81, 0.81, 0.78 และ 0.77 ตามลำดับ และมีค่า SEC เท่ากับ 4.02 N/mm, 2.92°Brix, 11.39°Brix/%, 5.46 วัน, และ 0.33% ตามลำดับ และเมื่อนำ PLSR models ที่ได้ไปทำนายกับกลุ่ม Validation จำนวน 80 ผล ให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกัน โดยการทำนายค่า FC มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็นโมเดลที่ทำนายค่า TSS, TSS/TA, DAFS, และ TA โดยมีค่า 0.81, 0.81, 0.81, 0.79 และ 0.74 ตามลำดับ มีค่า SEP เท่ากับ 4.36 N/mm, 2.85°Brix, 12.23°Brix/%, 5.34 วัน, และ 0.33% ตามลำดับ และมีค่า Bias 0.73, 0.13, -0.07, -0.48 และ 0.02 ตามลำดับ

ตารางที่ 18 สมบัติของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เป็น Non destructive parameters ในกลุ่ม
Calibration และ Validation

Parameters	Calibration (n=320)				Validation (n=80)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
Size	5.79	9.40	7.60	0.58	6.22	9.15	7.47	0.57
SPHERE	0.58	0.75	0.67	0.03	0.61	0.74	0.67	0.02
SG	0.91	1.25	1.10	0.05	1.03	1.25	1.11	0.05
L	42.40	69.19	53.36	7.30	42.92	67.79	53.09	7.51
a	-8.78	15.27	-1.81	6.73	-8.39	13.56	-1.64	7.03
b	15.33	34.83	22.49	5.55	14.68	33.08	22.35	5.67
R400	5.41	11.98	8.40	1.20	4.93	11.91	8.36	1.21
R410	5.88	12.55	8.99	1.21	5.96	12.36	8.95	1.23
R420	6.12	12.83	9.30	1.23	6.45	12.85	9.25	1.31
R430	6.33	13.45	9.62	1.30	7.07	13.27	9.58	1.38
R440	6.45	13.81	9.85	1.34	7.36	13.52	9.79	1.43
R450	6.62	13.85	10.15	1.31	7.66	13.65	10.08	1.42
R460	6.78	14.02	10.47	1.35	7.93	13.86	10.37	1.45
R470	7.02	14.32	10.68	1.45	7.95	14.21	10.57	1.56
R480	7.17	14.53	10.79	1.48	7.99	14.32	10.68	1.59
R490	7.54	15.48	11.34	1.58	8.39	15.09	11.21	1.69
R500	9.13	19.06	13.45	2.02	9.81	18.70	13.25	2.14
R510	12.70	26.20	18.03	2.95	12.73	26.03	17.75	3.10
R520	16.72	35.56	24.47	4.14	17.20	35.39	24.11	4.35
R530	20.08	44.48	30.34	5.30	21.22	43.09	29.95	5.56
R540	22.30	51.49	34.51	6.64	23.59	48.25	34.14	6.92
R550	23.15	55.10	36.45	7.66	24.57	52.73	36.09	7.93
R560	23.09	57.47	36.99	8.77	24.31	55.90	36.65	9.02
R570	21.98	60.69	36.65	10.76	22.51	59.76	36.34	11.02
R580	20.14	62.14	34.90	12.25	20.20	60.34	34.62	12.52

ตารางที่ 18 สมบัติของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เป็น Non destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation(ต่อ)

Parameters	Calibration (n=320)				Validation (n=80)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
R590	18.51	62.95	33.78	13.32	18.66	60.81	33.51	13.60
R600	17.59	64.29	33.63	14.27	17.91	62.58	33.38	14.58
R610	16.48	64.99	32.89	14.90	17.01	63.56	32.67	15.25
R620	14.84	64.29	31.00	15.20	15.38	62.46	30.82	15.53
R630	14.29	64.60	30.55	15.53	14.87	62.55	30.36	15.86
R640	13.04	66.10	30.29	16.78	13.73	64.90	30.17	17.18
R650	10.64	67.29	28.15	18.02	11.24	65.93	28.15	18.50
R660	9.16	67.39	24.32	16.30	9.65	64.99	24.35	16.76
R670	7.70	66.43	19.72	13.95	8.02	63.35	19.77	14.40
R680	6.10	66.31	16.23	13.30	6.53	62.15	16.39	13.77
R690	13.74	70.16	30.24	16.72	13.89	67.69	30.13	17.20
R700	26.41	75.92	45.47	16.16	26.09	76.00	45.03	16.63

ตารางที่ 19 ค่าทางสถิติของ PLSR models ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์สำหรับทำนายสมบัติที่เป็น Destructive parameter ด้วยสมบัติที่เป็น Non destructive properties

Predicted parameters	Factors	Calibration (n=320)		Validation (n=80)		
		R ²	SEC	R ²	SEP	Bias
DAFS(day)	4	0.78	5.46	0.79	5.34	-0.48
TSS(°Brix)	6	0.81	2.92	0.81	2.85	0.13
TA(%)	10	0.77	0.33	0.74	0.33	0.02
TSS/TA(°Brix/%)	3	0.81	11.39	0.81	12.23	-0.07
FC(N/mm)	4	0.85	4.02	0.81	4.36	0.73

หมายเหตุ: FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล

2. การทำนายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เชิงคุณภาพ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลตั้งแต่ อายุ 77-115 วัน สามารถแบ่งระยะการแก่เป็น 3 ระยะ คือระยะก่อนผลแก่ ระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกิน พบว่า วันหลังติดผลมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ 80.00 ± 5.76 , 95.00 ± 2.84 และ 105.00 ± 2.8 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสมบัติแบบทำลายที่มีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากอายุการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนี้คือ ค่า TSS จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 9.00 ± 3.92 , 17.79 ± 5.42 และ $20.13 \pm 4.44^\circ\text{Brix}$ ตามลำดับ ส่วนค่า TA จะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 1.54 ± 0.59 , 0.63 ± 0.27 และ 0.46 ± 0.26 % ตามลำดับ ทำให้ค่า TSS/TA มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 8.63 ± 12.36 , 35.07 ± 18.74 และ $55.71 \pm 24.98^\circ\text{Brix}/\%$ ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความแน่นเนื่องจากการกดจะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 23.88 ± 5.75 , 11.16 ± 7.12 และ 4.79 ± 5.55 N/mm ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเฉลี่ย 1.11 ± 0.08 , 1.13 ± 0.06 และ 1.10 ± 0.04 ตามลำดับ ค่าขนาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงในช่วงผลแก่เกินโดยมีค่าเฉลี่ย 7.39 ± 0.53 , 7.83 ± 0.55 และ 7.67 ± 0.60 ตามลำดับ ทำให้ค่าความกลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วมีค่าไม่ต่างกันในช่วงผลแก่และผลแก่เกินโดยมีค่าเฉลี่ย 0.66 ± 0.02 , 0.68 ± 0.03 และ 0.68 ± 0.03 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสี L จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 47.71 ± 2.99 , 56.59 ± 5.64 และ 61.20 ± 5.49 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสีเขียว a จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย -6.77 ± 1.97 , 0.29 ± 5.23 และ 6.17 ± 5.62 ตามลำดับ และค่าสีเหลือง b จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 19.37 ± 1.46 , 24.66 ± 4.52 และ 28.66 ± 4.17 ตามลำดับ ดังตารางที่ 20

เมื่อพิจารณาจากค่า F พบว่าสมบัติที่มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ DAFS, FC, ค่าสี a, ค่าสี b, ค่าสี L, TSS, TSS/TA, TA, Sphericity, , Size, และ SG ตามลำดับ

ตารางที่ 20 สมบัติของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์จำแนกตามความสุกแก่

Properties	Maturity stages			F	Sig.
	Immature	Mature	Over mature		
DAFS	80.00±5.76a	95.00±2.84b	105.00±2.84c	1089.33	0.000
TSS	9.00±3.92a	17.79±5.42b	20.13±4.44c	255.64	0.000
TA	1.54±0.59c	0.63±0.27b	0.46±0.26a	239.15	0.000
TSS/TA	8.63±12.36a	35.07±18.74b	55.71±24.98c	244.69	0.000
FC	23.88±5.75c	11.16±7.12b	4.79±5.55a	370.19	0.000
SG	1.11±0.08a	1.13±0.06b	1.10±0.04a	6.08	0.003
Size	7.39±0.53a	7.83±0.55b	7.67±0.60b	22.83	0.000
SPHERE	0.66±0.02a	0.68±0.03b	0.68±0.03b	27.52	0.000
L	47.71±2.99a	56.59±5.64b	61.20±5.49c	340.26	0.000
a	-6.77±1.97a	0.29±5.23b	6.17±5.62c	352.16	0.000
b	18.27±1.99a	24.66±4.52b	28.66±4.17c	343.51	0.000

จากการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม จึงมี Function ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 2 Function ดังตารางที่ 21 ค่า Eigenvalue ของ Function 1-2 มีค่า 3.517 และ 0.561 และมีค่าเปอร์เซ็นต์ variance เท่ากับ 86.2 และ 13.8 ตามลำดับ โดยมีค่า Canonical correlation เท่ากับ 0.882 และ 0.599 ตามลำดับ แสดงว่า Function 1 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากกว่า Function 2

ตารางที่ 21 Eigenvalues ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม

Function	Eigenvalue	% of variance	Cumulative%	Canonical correlation
1	3.517	86.2	86.2	0.882
2	0.561	13.8	100.0	0.599

จากตารางที่ 22 การวิเคราะห์ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ทั้ง 2 Function พบว่า R610, ค่าสี a, ค่าสี b, ค่าสี L, R510, R500, R490, R480, R470, R440, R460,

R450, R430, R420, และ Size มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 ส่วนค่า SG, Sphericity, R410, และ R400 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 2

ตารางที่ 22 Structure matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม

Properties	Function	
	1	2
R610	0.725*	-0.132
a	0.705*	-0.206
b	0.701*	-0.083
L	0.698*	-0.010
R510	0.472*	0.088
R500	0.424*	0.145
R490	0.366*	0.173
R480	0.349*	0.181
R470	0.331*	0.180
R440	0.285*	0.156
R460	0.277*	0.184
R450	0.267*	0.189
R430	0.260*	0.160
R420	0.199*	0.161
SIZE	0.198*	0.024
SG	0.151	0.250*
SPHERE	-0.017	0.230*
R410	0.129	0.136*
R400	0.065	0.079*

ตารางที่ 23 แสดงค่า Classifications Function Coefficient ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ

เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงโชนั้นตั้งอยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 23 Classification Function Coefficients* ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชนั้นตั้งเป็น 3 กลุ่ม

Parameters	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	32.042	34.089	33.413
SIZE	923.862	953.366	968.178
SPHERE	366.910	376.525	364.571
L	253.513	250.961	250.485
A	-3.371	-2.545	-1.814
B	-234.697	-228.303	-229.811
R400	-18.262	-17.291	-11.239
R410	1.107	-1.390	.123
R420	22.001	25.226	17.597
R430	-87.950	-79.013	-83.843
R440	-43.752	-48.576	-36.737
R450	63.094	72.487	57.496
R460	-158.988	-177.023	-175.574
R470	-132.282	-136.545	-139.641
R480	5.771	21.064	33.458
R490	8.478	-5.322	-4.339
R500	116.938	137.432	127.407
R510	-90.451	-98.643	-92.281
R610	-14.062	-15.464	-15.057
(Constant)	-2746.501	-2804.410	-2769.162

*Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 24 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม พบว่า สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้อง 83.5 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 200 ผล ได้ถูกต้อง 188 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 10 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 94.0 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 66 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 14 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 20 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 66.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 80 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 80.0 %

ตารางที่ 24 Classification result ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม

Properties	%Correctly classified	Predicted groups			Actual
		Immature	Mature	Over mature	
Immature	94.0	188	10	2	200
Mature	66.0	14	66	20	100
Over mature	80.0	6	14	80	100
Total	83.5	208	90	102	400

สมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยาและแสงของมะม่วงพันธุ์มหาชนก

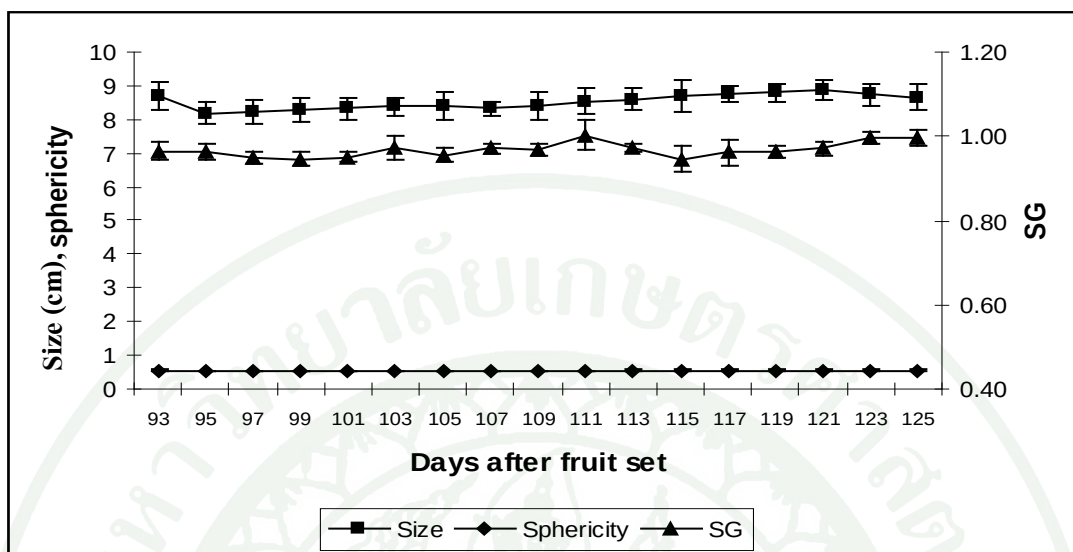
การเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์มหาชนก (Maha Chanok) ในปีแรก เริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่อายุ 93 วัน จนถึง 125 วันหลังติดผล จากตารางที่ 25 แสดงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล พบว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมะม่วงมหาชนกจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่าง 8.18 ถึง 8.38 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 93-103 วันหลังติดผล แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ระหว่าง 8.38 ถึง 8.79 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 103-119 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง เล็กน้อย จาก 8.79 ถึง 8.66 เซนติเมตร ในขณะที่ค่าความกลมก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตระหว่าง 0.53 ถึง 0.54 ในช่วงอายุ 93-103 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยระหว่าง 0.54 ถึง 0.56 ในช่วงอายุ 103-119 วันหลังติดผล และมีค่าคงที่ระหว่าง 0.56 ถึง

0.56 ในช่วงอายุ 119-125 วันหลังติดผล ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าค่อนข้างคงที่ระหว่างการเจริญเติบโตของผล จนถึงระยะผลแก่เกินจะมีค่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 0.96 ถึง 1.00

ตารางที่ 25 สมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล 93-125 วัน

Days after fruit set	Size(cm)	SPHERE	Specific gravity
93	8.70±0.41	0.55±0.02	0.97±0.02
95	8.18±0.33	0.53±0.02	0.96±0.02
97	8.21±0.35	0.54±0.02	0.95±0.02
99	8.30±0.36	0.53±0.02	0.95±0.02
101	8.34±0.32	0.53±0.02	0.95±0.01
103	8.38±0.25	0.54±0.02	0.97±0.03
105	8.41±0.41	0.54±0.02	0.96±0.01
107	8.32±0.20	0.54±0.01	0.97±0.01
109	8.39±0.40	0.55±0.01	0.97±0.01
111	8.54±0.37	0.55±0.02	1.00±0.04
113	8.59±0.32	0.56±0.01	0.97±0.01
115	8.71±0.45	0.56±0.02	0.95±0.03
117	8.75±0.26	0.56±0.02	0.96±0.03
119	8.79±0.25	0.56±0.01	0.96±0.01
121	8.88±0.32	0.56±0.01	0.97±0.02
123	8.75±0.33	0.55±0.02	1.00±0.01
125	8.66±0.40	0.56±0.02	1.00±0.02

จากภาพที่ 19 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตแล้วมีค่าลดลงในช่วงท้ายเนื่องจากผลจะมีความยาวลดลงเมื่อแก่จัด ขณะที่ค่าความกลมมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เริ่มเก็บเกี่ยวจนถึงระยะผลแก่จัด แสดงว่าเมื่อมะม่วงมหาชนกมีอายุมากขึ้นผลจะมีขนาดโตขึ้นในทุกๆ ด้านโดยเฉพาะด้านหนาและกว้างจึงส่งผลให้ความกลมมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานของ Jha *et al.* (2006a) ที่พบว่า มะม่วงพันธุ์ Dashehari เมื่อแก่ผลจะมีขนาดโตขึ้น



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล

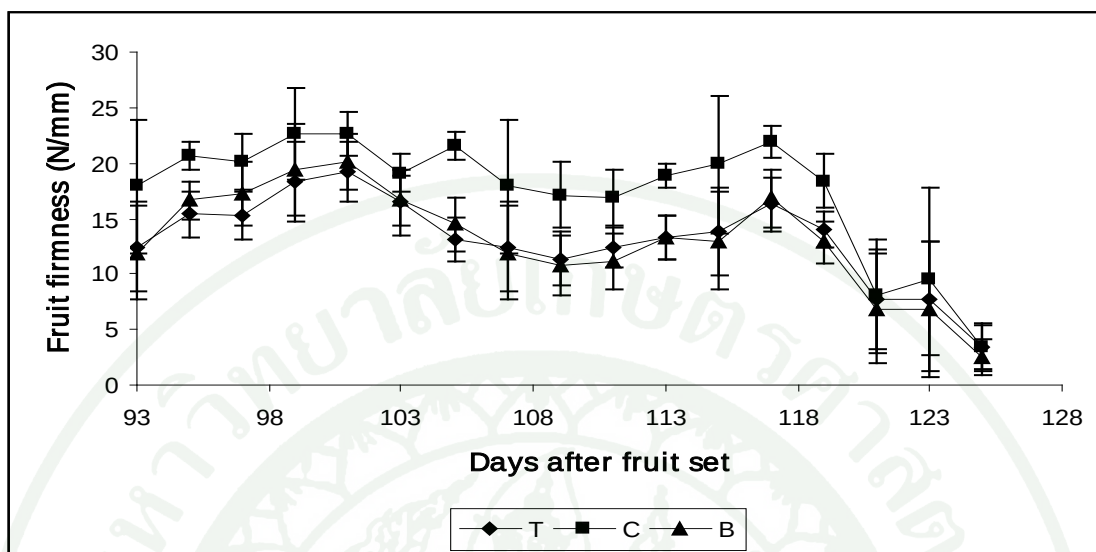
จากตารางที่ 26 แสดงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนก จากการกดมะม่วง 3 จุด ที่ขั้วผล(stem) กลางผล และปลายผล (apex) พบว่า ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าสูงสุด โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 17.88 ถึง 22.58 N/mm ในช่วงอายุ 93-101 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 22.58 ถึง 21.87 N/mm ในช่วงอายุ 101-117 วันหลังติดผล แล้วลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าระหว่าง 21.87 ถึง 3.46 N/mm ในช่วงอายุ 117-125 วันหลังติดผล ขณะที่ค่าความแน่นเนื้อที่ขั้วผลมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่าง 12.45 ถึง 19.24 N/mm ในช่วงอายุ 93-101 วันหลังติดผล แล้วลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าระหว่าง 19.24 ถึง 16.32 N/mm ในช่วงอายุ 101-117 วันหลังติดผล และลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าระหว่าง 16.32 ถึง 3.39 N/mm ในช่วงอายุ 117-125 วันหลังติดผล เช่นเดียวกับค่าความแน่นเนื้อปลายผลมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงแรกระหว่าง 11.91 ถึง 20.14 N/mm ในช่วงอายุ 93-101 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 20.14 ถึง 16.82 N/mm ในช่วงอายุ 103-117 วันหลังติดผล และลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าระหว่าง 16.82 ถึง 2.59 N/mm ในช่วงอายุ 117-125 วันหลังติดผล ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปคตินโพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995) จากผลการทดลองความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ที่อายุ 101 วันหลังติดผล ซึ่งใกล้เคียงกับงานของ สรรพมงคล (2545) ที่กล่าวว่าค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงมหาชนกจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลอายุได้ 98 วันหลังดอกบาน

ตารางที่ 26 สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล 93-125 วัน

Days after fruit set	FT(N/mm)	FC(N/mm)	FB(N/mm)
93	12.45±4.05	17.88±5.96	11.91±4.27
95	15.38±2.03	20.66±1.21	16.62±1.73
97	15.30±2.10	20.14±2.50	17.22±2.83
99	18.30±3.57	22.62±4.13	19.35±4.12
101	19.24±2.71	22.58±1.99	20.14±2.57
103	16.45±2.96	19.13±1.73	16.62±2.31
105	13.12±1.98	21.47±1.26	14.51±2.44
107	12.45±4.05	17.88±5.96	11.91±4.27
109	11.40±2.40	17.11±2.99	10.76±2.67
111	12.40±1.77	16.88±2.57	11.19±2.50
113	13.30±2.05	18.87±1.14	13.35±1.97
115	13.85±4.02	19.94±6.20	12.99±4.46
117	16.32±2.44	21.87±1.47	16.82±2.62
119	14.00±1.58	18.41±2.47	12.90±1.87
121	7.69±4.49	8.05±5.13	6.87±4.91
123	7.76±5.09	9.54±8.23	6.83±6.10
125	3.39±1.93	3.46±2.12	2.59±1.61

หมายเหตุ: FT คือ ความแน่นเนื้อที่ขั้วผล FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล
 FB คือ ความแน่นเนื้อที่ปลายผล

จากภาพที่ 20 ค่าความแน่นเนื้อที่ขั้วผลและปลายผลจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆหลัง 101 วันหลังติดผล ส่วนค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆหลัง 101 วันหลังติดผลเช่นเดียวกัน แต่จะมีค่ามากกว่าที่ขั้วผลและปลายผล ความแน่นเนื้อในช่วงผลแก่จัดมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากผลจะเริ่มมีการร่วงจากต้น



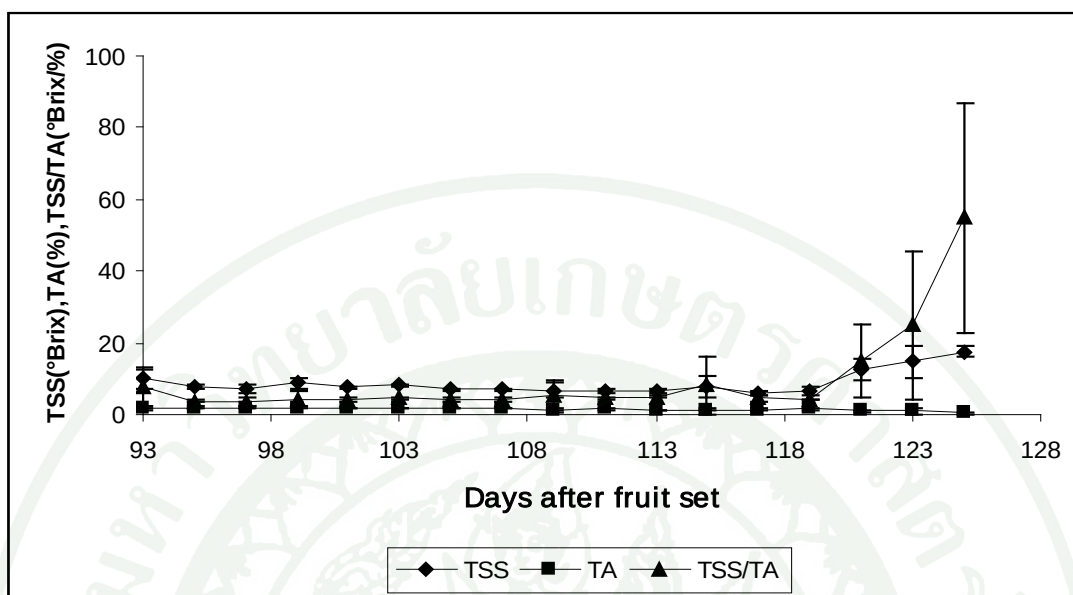
ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล

จากตารางที่ 27 แสดงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์มหาชนก ระหว่าง 93-125 วันหลังติดผล จากการศึกษพบว่าค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) ของมะม่วงมหาชนกจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่างการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 7.83 ถึง 7.51 °Brix ในช่วงอายุ 93-101 วันหลังติดผล และมีค่า 7.51 ถึง 6.71 °Brix ในช่วงอายุ 101-119 วันหลังติดผล หลังจากนั้นค่าปริมาณน้ำตาลจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 6.71 ถึง 17.49 °Brix ขณะที่ค่าปริมาณกรด (TA) ของมะม่วงมหาชนกจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 2.05 ถึง 1.86 % ในช่วงอายุ 93-101 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าปริมาณกรดลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 1.86 ถึง 1.78% ในช่วงอายุผล 101-119 วันหลังติดผล แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 1.78 ถึง 0.42% ในช่วงอายุผล 119-125 วันหลังติดผล ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ Lee (1981) แนะนำว่ามะม่วงที่อยู่ในระยะผลแก่ควรมีค่าประมาณ 1 % แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) พบว่า อัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 3.84 ถึง 4.10 °Brix/% ในช่วงอายุ 93-101 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงมากกว่าช่วงแรกจาก 4.10 ถึง 4.55 °Brix/% ในช่วงอายุ 101-117 วันหลังติดผลหลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 4.55 ถึง 54.89 °Brix/% ในช่วงอายุ 117-125 วันหลังติดผล ซึ่งจะเห็นว่าค่าอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) จะมีค่าสูงเนื่องจากค่าความเป็นกรดมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าความหวานจึงทำให้มะม่วงมหาชนกมีรสชาติหวานเมื่อสุก

ตารางที่ 27 สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล 93-125 วัน

Days after fruit set	TSS (°Brix)	TA (%)	TSS/TA(°Brix/%)
93	9.99±3.00	1.55±0.43	7.67±5.14
95	7.83±0.38	2.05±0.19	3.84±0.37
97	7.34±1.31	2.06±0.20	3.66±1.25
99	8.72±1.64	2.07±0.28	4.45±2.21
101	7.51±0.49	1.86±0.23	4.10±0.65
103	8.21±0.37	1.83±0.17	4.52±0.47
105	6.91±0.38	1.74±0.19	4.02±0.48
107	6.99±0.32	1.66±0.12	4.24±0.35
109	6.75±2.07	1.46±0.25	5.20±4.42
111	6.70±0.67	1.50±0.17	4.50±0.54
113	6.61±0.50	1.33±0.12	5.00±0.49
115	7.81±3.06	1.25±0.35	8.28±8.15
117	6.19±0.54	1.38±0.13	4.55±0.74
119	6.71±1.28	1.72±0.33	3.91±0.00
121	12.84±2.98	1.06±0.33	14.80±10.19
123	14.74±4.72	1.03±0.77	25.00±20.65
125	17.49±1.45	0.42±0.20	54.89±31.91

จากภาพที่ 21 ค่าปริมาณน้ำตาลของมะม่วงมหาชนกจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในช่วงแรกของการเจริญเติบโตแล้วมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 119-125 วันหลังติดผล แต่ค่าปริมาณกรดจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลัง 119 วันหลังติดผล



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล

จากตารางที่ 28 แสดงค่าสี L และ b ของมะม่วงพันธุ์มหาชนก จากผลการทดลอง พบว่า ในช่วงแรกของการพัฒนาผลมะม่วง ค่าความสว่าง L จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยค่อนข้างคงที่ ระหว่าง 53.86 ถึง 53.54 ในช่วง 93-103 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 53.54 ถึง 55.65 ในช่วง 103-119 วันหลังติดผล แล้วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหลัง 119 วันหลังติดผลระหว่าง 55.65 ถึง 61.52 ตามลำดับ ค่า a ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเขียวของผิวเปลือกมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่าง -6.09 ถึง -6.87 ในช่วง 93-103 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ระหว่าง -6.87 ถึง -6.83 ในช่วง 103-119 วันหลังติดผล แล้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าเป็นบวกระหว่าง 119-125 วันหลังติดผลระหว่าง -6.83 ถึง 11.13 ตามลำดับ แสดงว่าผิวเปลือกจะมีค่าสีเขียวลดลงเรื่อยๆ จนเปลี่ยนเป็นค่าสีแดง ในขณะที่ค่าสีเหลืองของผิวเปลือกมะม่วง b จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่าง 20.25 ถึง 19.17 ในช่วง 93-103 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 19.17 ถึง 19.60 ในช่วง 103-117 วันหลังติดผล แล้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 117-125 วันหลังติดผลระหว่าง 19.60 ถึง 28.44 ตามลำดับ ผลการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะม่วงมหาชนกแสดงการลดลงของสีเขียวจนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงสว่างขึ้นอย่างชัดเจน และการปรากฏของสีเหลืองเมื่อมะม่วงแก่จัด ซึ่งสอดคล้องกับ สรรพมงคล (2545) ที่กล่าวว่าสีผิวเปลือกของมะม่วงมหาชนกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับ Kays (1991) ที่กล่าวว่า ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวหายไป ตามปกติจะเกิดร่วมกับ

การเกิดตรงควัฒนุชนิดอื่นๆเช่น แคลโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน จะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บังไว้เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของแคลโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมาได้

ตารางที่ 28 ค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล 93-131 วัน

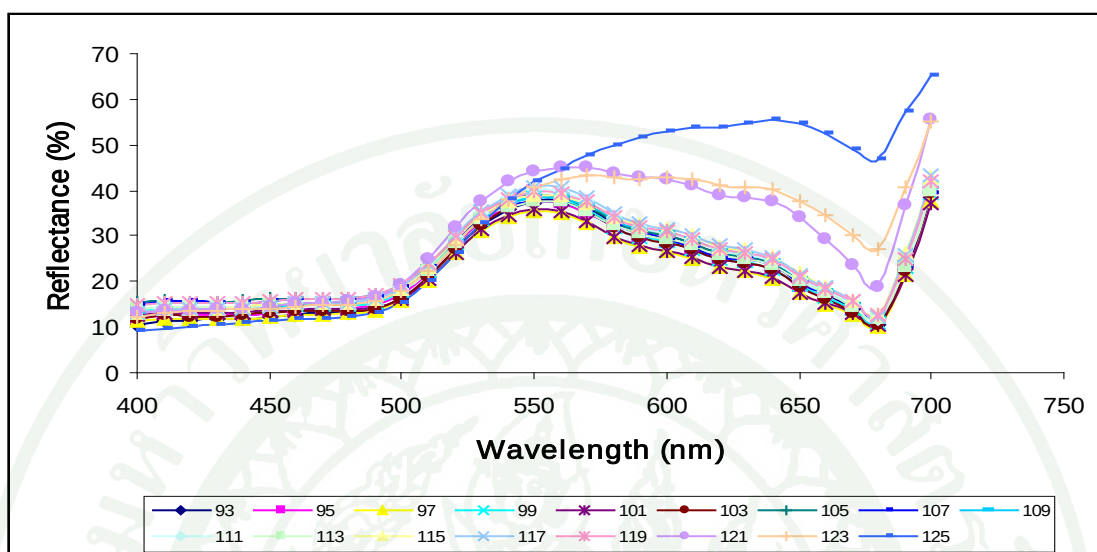
Days after fruit set	L	a	b
93	53.86±2.94	-6.09±1.25	20.25±1.99
95	53.78±1.94	-7.46±0.47	19.01±1.29
97	51.83±2.69	-7.30±0.75	18.35±1.87
99	54.19±2.44	-7.50±0.69	18.16±1.65
101	52.24±2.35	-7.19±0.52	17.31±2.26
103	53.54±1.79	-6.87±1.40	19.17±1.40
105	55.24±1.92	-7.18±0.63	17.25±1.62
107	54.47±1.99	-6.81±0.33	16.62±1.89
109	55.01±1.93	-6.61±0.91	18.71±1.80
111	55.58±2.10	-7.19±0.66	18.75±1.80
113	54.27±2.11	-6.62±0.50	17.56±1.92
115	55.43±3.05	-6.26±1.59	18.90±2.95
117	56.13±3.43	-6.96±0.85	19.60±2.65
119	55.65±3.01	-6.83±0.57	17.80±2.32
121	60.32±3.33	-1.13±3.58	23.56±2.40
123	58.86±4.91	2.67±7.31	22.69±4.86
125	61.52±3.33	11.13±5.43	28.44±3.41

จากภาพที่ 22 จะเห็นว่ามะม่วงมหาชนกมีค่าความสว่างที่ผิวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดอายุการเจริญเติบโตของผล ขณะเดียวกันค่าสีเหลืองก็จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงผลก่อนแก่และช่วงผลแก่แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลแก่จัดเช่นเดียวกับค่าสีเขียวที่มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงผลก่อนแก่และช่วงผลแก่แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลแก่จัด และเปลี่ยนเป็นสีแดงหลัง 121 วันหลังติดผล ค่าสีเหลืองที่ผิวจะแสดงออกมาขณะที่ค่าสีเขียวลดลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงทำให้ผิวเปลือกของมะม่วงมหาชนกที่ได้มีสีเหลืองและสีแดงสว่างปรากฏออกมาหลังช่วงผลแก่จัด



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามวันหลังติดผล

ค่าการสะท้อนแสงของมะม่วงมหาชนกในช่วงความยาวคลื่น 400 และ 700 นาโนเมตร ไม่แสดงการบ่งชี้อะไรที่ชัดเจนนัก ยกเว้นค่าการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร และมากกว่า 670 นาโนเมตร เมื่อมะม่วงมีอายุมากขึ้นค่าการสะท้อนแสงจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกช่วงความยาวคลื่น และมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร โดยมะม่วงในระยะก่อนผลแก่และผลแก่ระหว่าง 93-119 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ในช่วงความยาวคลื่น 550-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร ขณะที่มะม่วงมหาชนกที่เก็บเกี่ยวในช่วงผลแก่เกินระหว่าง 119-125 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าคงที่และมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร แล้วลดลงในช่วงความยาวคลื่น 640-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร (ภาพที่ 23) แสดงว่ามะม่วงก่อนผลแก่และผลแก่ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตรจะมีค่าลดลง เมื่อมะม่วงแก่จัดจะมีค่าลดลงด้วยอัตราที่ต่ำกว่ามะม่วงที่เก็บเกี่ยวขณะที่ผลแก่ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงอยู่ในช่วงผลแก่เกิน



ภาพที่ 23 ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ของมะม่วงพันธุ์มหาชนก ตามวันหลังติดผล

การทํานายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์มหาชนก

1. การทํานายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกเชิงปริมาณ

สมบัติของมะม่วงพันธุ์มหาชนกทั้ง 340 ผล ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ค่า TSS, TA, TSS/TA, และ ค่าความแน่นเนื้อ รวมทั้งวันหลังติดผล เป็นสมบัติที่เป็นการตรวจวัดที่ต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อคุณภาพของมะม่วง ส่วนสมบัติที่เหลือได้แก่ ขนาด ความกลม ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าสี L , a , b และค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร จัดเป็นสมบัติที่เป็นการตรวจวัดแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) ซึ่งในกลุ่มที่ศึกษานี้มีสมบัติที่มีความแตกต่างกันมากจากค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 29 และ 30

สมบัติที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจซื้อผลไม้โดยทั่วไปคือค่า TSS, TA, TSS/TA และค่าความแน่นเนื้อ โดยเฉพาะมะม่วงที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการรสชาติหวาน กลิ่นหอม เนื้อนุ่ม ดังนั้น การที่สามารถเก็บเกี่ยวมะม่วงตามที่ต้องการโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างจึงเป็นสิ่งสำคัญ

จากตารางที่ 31 เป็นผลการวิเคราะห์ PLSR (Partial Least Square Regression Analysis) โดยกำหนดให้ สมบัติที่เป็นแบบต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) และวันหลังดอกบาน เป็นตัวแปร Y หรือ สมบัติที่ถูกทำนาย (Predicted properties) ส่วนสมบัติอื่นๆที่เหลือรวมทั้งค่าการสะท้อนแสง ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร รวมทั้งหมด 37 ตัวแปร ซึ่งเป็นสมบัติที่เป็นแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) เป็นตัวแปร X หรือสมบัติที่ใช้ทำนาย (Predictor properties) จากการวิเคราะห์ PLSR กับผลมะม่วงกลุ่ม Calibration จำนวน 272 ผล พบว่า PLSR model ที่ทำนายค่า TSS มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็น โมเดลที่ทำนายค่า TSS/TA, FC, DAFS, และ TA โดยมีค่า 0.79, 0.79, 0.69, 0.63 และ 0.60 ตามลำดับ และมีค่า SEC เท่ากับ 1.68°Brix, 7.25°Brix/%, 3.61 N/mm, 5.99 วัน, และ 0.33% ตามลำดับ และเมื่อนำ PLSR models ที่ได้ไปทำนายกับกลุ่ม Validation จำนวน 68 ผล ให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกันยกเว้นค่า DAFS มีค่า R^2 ต่ำสุด โดยการทำนายค่า TSS มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็น โมเดลที่ทำนายค่า TSS/TA, FC, TA, และ DAFS โดยมีค่า 0.90, 0.85, 0.75, 0.75 และ 0.64 ตามลำดับ มีค่า SEP เท่ากับ 1.09°Brix, 6.06°Brix/%, 2.93 N/mm, 0.24%, และ 5.85 วัน ตามลำดับ และมีค่า Bias 0.27, 0.42, -1.28, -0.01 และ 0.81 ตามลำดับ

ตารางที่ 29 สมบัติของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่เป็น Destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation

Parameters	Calibration (n=272)				Validation (n=68)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
DAFS	93.00	125.00	109.00	9.82	93.00	125.00	109.00	9.87
TSS	5.43	20.42	8.87	3.69	5.82	19.30	8.45	3.51
TA	0.13	3.52	1.53	0.52	0.19	2.36	1.53	0.48
TSS/TA	2.60	127.75	9.69	15.92	3.09	101.88	9.05	15.52
FC	1.91	28.06	17.16	6.53	2.33	26.92	18.57	6.36

ตารางที่ 30 สมบัติของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่เป็น Non destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation

Parameters	Calibration (n=272)				Validation (n=68)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
Size	7.16	9.72	8.53	0.40	7.55	9.28	8.48	0.39
SPHERE	0.50	0.59	0.55	0.02	0.50	0.60	0.55	0.02
SG	0.87	1.09	0.97	0.03	0.92	1.04	0.97	0.03
L	46.14	67.79	55.38	3.85	49.18	64.08	55.52	3.14
a	-8.44	17.09	-4.92	5.42	-8.00	14.06	-5.08	5.19
b	12.83	31.88	19.51	3.64	13.48	31.44	19.65	3.86
R400	6.34	17.18	12.87	2.05	6.66	17.08	12.78	2.32
R410	6.78	17.61	13.49	2.02	7.03	17.33	13.43	2.26
R420	6.98	17.37	13.53	1.90	7.58	17.32	13.46	2.11
R430	7.16	17.30	13.58	1.80	8.16	17.09	13.51	1.99
R440	7.32	17.43	13.72	1.76	8.41	17.01	13.66	1.93
R450	7.41	18.45	14.14	1.80	8.64	17.51	14.11	1.94
R460	7.76	19.24	14.53	1.83	9.01	17.96	14.52	1.92
R470	8.13	19.52	14.67	1.81	9.36	18.05	14.66	1.86
R480	8.35	19.81	14.77	1.81	9.54	18.22	14.77	1.82
R490	9.06	21.02	15.44	1.90	10.04	19.26	15.46	1.82
R500	11.40	24.55	17.73	2.19	11.44	22.44	17.78	1.93
R510	14.30	30.57	22.34	2.72	16.09	28.28	22.44	2.25
R520	18.76	38.28	28.53	3.21	23.07	35.19	28.67	2.57
R530	22.86	44.83	33.89	3.52	27.77	40.56	34.07	2.75
R540	25.54	49.40	37.25	3.83	30.24	43.69	37.48	2.96
R550	27.14	52.26	38.90	4.15	31.32	46.08	39.14	3.28
R560	27.75	54.28	39.09	4.63	30.93	49.23	39.31	3.78
R570	26.96	57.14	37.59	5.65	28.77	52.24	37.76	4.83
R580	24.35	59.08	34.89	6.82	25.98	54.62	34.96	6.05

ตารางที่ 30 (ต่อ)

Parameters	Calibration (n=272)				Validation (n=68)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
R590	22.53	61.45	33.28	7.75	24.26	56.49	33.30	6.97
R600	21.46	63.42	32.46	8.41	23.23	57.60	32.45	7.59
R610	20.16	65.14	31.18	9.00	22.01	58.22	31.15	8.12
R620	18.52	66.04	29.08	9.56	20.27	58.21	29.03	8.63
R630	17.97	67.09	28.53	9.93	19.91	58.96	28.48	8.97
R640	16.57	68.26	27.26	10.53	18.55	60.05	27.21	9.62
R650	13.71	69.16	23.83	11.29	15.68	60.71	23.74	10.41
R660	11.86	69.49	21.09	11.22	13.78	59.76	20.95	10.13
R670	10.00	70.13	17.96	10.99	11.66	57.19	17.73	9.53
R680	7.80	70.91	14.99	11.26	8.32	56.56	14.71	9.57
R690	17.19	72.49	27.40	11.09	19.11	63.90	27.35	10.03
R700	30.78	74.37	43.59	9.28	32.46	68.70	43.61	8.46

ตารางที่ 31 ค่าทางสถิติของ PLSR models ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกสำหรับทำนายสมบัติที่เป็น
Destructive parameter ด้วยสมบัติที่เป็น Non destructive properties

Predicted parameters	Factors	Calibration (n=272)		Validation (n=68)		
		R ²	SEC	R ²	SEP	Bias
DAFS(day)	7	0.63	5.99	0.64	5.85	0.81
TSS(°Brix)	5	0.79	1.68	0.90	1.09	0.27
TA(%)	3	0.60	0.33	0.75	0.24	-0.01
TSS/TA(°Brix/%)	3	0.79	7.25	0.85	6.06	0.42
FC(N/mm)	5	0.69	3.61	0.75	2.93	-1.28

หมายเหตุ: FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล

2. การทำนายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกเชิงคุณภาพ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของมะม่วงมหาชนกตามวันหลังติดผลตั้งแต่อายุ 77-115 วัน สามารถแบ่งระยะการแก่เป็น 3 ระยะ คือระยะก่อนผลแก่ ระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกิน พบว่า วันหลังติดผลมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ 98.00 ± 3.43 , 112.00 ± 4.60 และ 123.00 ± 1.65 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสมบัติแบบทำลายที่มีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากอายุการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนี้คือ ค่า TSS จะมีค่าลดลงแล้วเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 8.27 ± 1.74 , 6.84 ± 1.47 และ $15.02 \pm 3.80^\circ\text{Brix}$ ตามลำดับ ส่วนค่า TA จะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 1.90 ± 0.32 , 1.50 ± 0.28 และ $0.84 \pm 0.57\%$ ตามลำดับ ทำให้ค่า TSS/TA มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกินโดยมีค่าเฉลี่ย 4.71 ± 2.69 , 4.96 ± 3.49 และ $31.56 \pm 28.16^\circ\text{Brix}/\%$ ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความแน่นเนื่องจากการกดจะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 20.50 ± 3.71 , 19.06 ± 3.89 และ $7.02 \pm 6.21\text{ N/mm}$ ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าไม่ต่างกันในช่วงผลก่อนแก่และผลแก่แล้วเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกิน โดยมีค่าเฉลี่ย 0.96 ± 0.02 , 0.96 ± 0.10 และ 1.01 ± 0.25 ตามลำดับ ค่าขนาดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ย 8.35 ± 0.37 , 8.62 ± 0.82 และ 8.76 ± 0.36 ตามลำดับ ทำให้ค่าความกลมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันโดยมีค่าเฉลี่ย 0.54 ± 0.02 , 0.55 ± 0.04 และ 0.56 ± 0.02 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสี L จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 53.24 ± 2.50 , 55.22 ± 2.52 และ 60.24 ± 4.02 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสีเขียว a จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย -7.06 ± 1.02 , -6.81 ± 0.87 และ 4.22 ± 7.59 ตามลำดับ และค่าสีเหลือง b จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 18.71 ± 1.97 , 18.15 ± 2.31 และ 24.90 ± 4.44 ตามลำดับ ดังตารางที่ 32

เมื่อพิจารณาจากค่า F พบว่าสมบัติที่มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ DAFS, TSS, ค่าสี a, FC, TA, ค่าสี b, ค่าสี L, TSS/TA, Size, Sphericity, และ SG ตามลำดับ โดยมีค่า 949.35, 322.09, 283.52, 215.05, 174.16, 143.99, 122.60, 119.83, 10.70, 10.13, และ 4.93 ตามลำดับ

ตารางที่ 32 สมบัติของมะม่วงพันธุ์มหาชนกจำแนกตามความสุกแก่

Parameters	Maturity stages			F	Sig.
	Immature	Mature	Over mature		
DAFS	98.00±3.43a	112.00±4.60b	123.00±1.65c	949.35	0.00
TSS	8.27±1.74b	6.84±1.47a	15.02±3.80c	322.09	0.00
TA	1.90±0.32c	1.50±0.28b	0.84±0.57a	174.16	0.00
TSS/TA	4.71±2.69a	4.96±3.49a	31.56±28.16b	119.83	0.00
FC	20.50±3.71c	19.06±3.89b	7.02±6.21a	215.05	0.00
SG	0.96±0.02a	0.96±0.10a	1.01±0.25b	4.93	0.01
SIZE	8.35±0.37a	8.62±0.82b	8.76±0.36b	10.70	0.00
SPHERE	0.54±0.02a	0.55±0.04b	0.56±0.02b	10.13	0.00
L	53.24±2.50a	55.22±2.52a	60.24±4.02c	122.60	0.00
a	-7.06±1.02a	-6.81±0.87a	4.22±7.59c	283.52	0.00
b	18.71±1.97a	18.15±2.31a	24.90±4.44b	143.99	0.00

จากการแบ่งกลุ่มมะม่วงมหาชนกเป็น 3 กลุ่ม จึงมี Function ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 2 Function ดังตารางที่ 33 ค่า Eigenvalue ของ Function 1-2 มีค่า 3.781 และ 0.779 และมีค่าเปอร์เซ็นต์ variance เท่ากับ 82.9 และ 17.1 ตามลำดับ โดยมีค่า Canonical correlation เท่ากับ 0.889 และ 0.662 ตามลำดับ แสดงว่า Function 1 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากกว่า Function 2

ตารางที่ 33 Eigenvalues ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็น 3 กลุ่ม

Function	Eigenvalue	% of variance	Cumulative%	Canonical correlation
1	3.781	82.9	82.9	0.889
2	0.779	17.1	100.0	0.662

จากตารางที่ 34 การวิเคราะห์ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนก ทั้ง 2 Function พบว่า ค่าสี a, R640, R580, ค่าสี b, ค่าสี L, และ SG มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมาก

ที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า R420, R440, R430, R410, R450, R460, R400, Size, และ Sphericity มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2

ตารางที่ 34 Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็น 3 กลุ่ม

Properties	Function	
	1	2
a	0.658*	-0.247
R640	0.636*	-0.106
R580	0.576*	0.008
b	0.455*	-0.306
L	0.431*	0.176
SG	0.087*	-0.032
R420	-0.094	0.720*
R440	-0.043	0.717*
R430	-0.055	0.711*
R410	-0.130	0.706*
R450	-0.060	0.705*
R460	-0.055	0.694*
R400	-0.140	0.691*
SIZE	0.099	0.185*
SPHERE	0.099	0.172*

ตารางที่ 35 แสดงค่า Classifications Function Coefficient ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงมหาชนกตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงมหาชนกอยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 35 Classifications Function Coefficient* ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็น 3 กลุ่ม

Parameters	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SIZE	91.359	93.950	94.198
SPHERE	1922.230	1973.031	1981.597
SG	91.449	94.014	104.820
L	261.953	262.725	262.169
a	-41.492	-40.847	-37.598
b	-283.695	-284.054	-287.646
R400	14.248	14.265	20.141
R410	64.786	63.602	58.698
R420	-145.298	-138.541	-150.454
R430	-92.347	-102.602	-74.427
R440	205.279	214.369	188.903
R450	-370.330	-374.157	-369.051
R580	-16.347	-16.098	-10.044
R640	29.188	28.728	25.536
(Constant)	-3345.874	-3432.787	-3419.862

*Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 36 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงมหาชนกตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม พบว่า สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงมหาชนกเป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้อง 85.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจำแนกมะม่วงมหาชนกในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 120 ผล ได้ถูกต้อง 102 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 17 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 1 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 85.0 % ขณะที่มะม่วงมหาชนกในช่วงผลแก่จำนวน 160 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 138 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 20 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 86.3 % ส่วนมะม่วงมหาชนกในช่วงผลแก่เกิน

จำนวน 60 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 50 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 2 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่ 8 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 83.3 %

ตารางที่ 36 Classification result ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็น 3 กลุ่ม

Properties	%Correctly classified	Predicted groups			Actual
		Immature	Mature	Over mature	
Immature	85.0	102	17	1	120
Mature	86.3	20	138	2	160
Over mature	83.3	2	8	50	60
Total	85.3	124	163	53	340

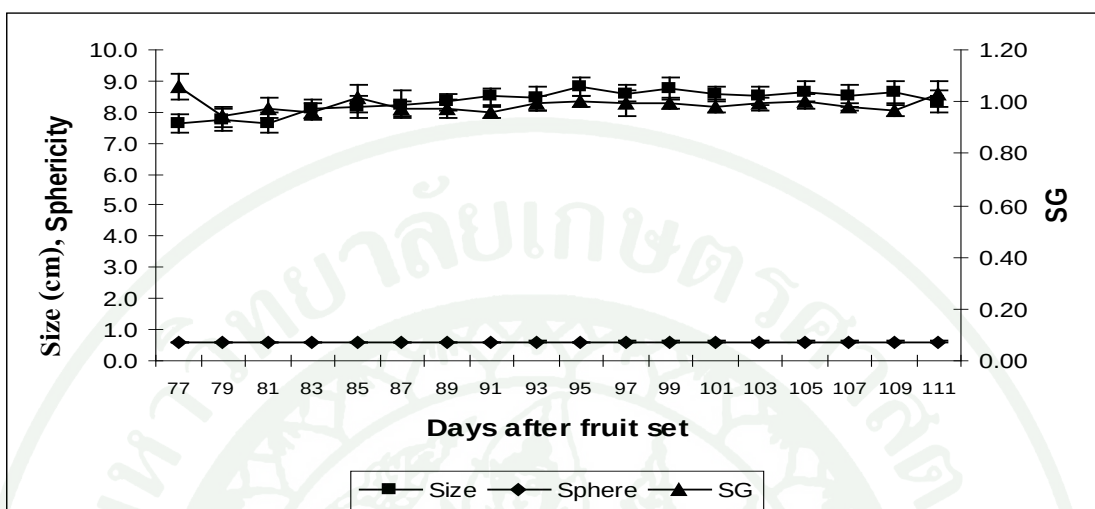
สมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางสรีรวิทยาและแสงของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย

การเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย (Kiew Savoey) ในปีแรก เริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่อายุ 77 วัน จนถึง 111 วันหลังติดผล จากตารางที่ 37 แสดงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวัน หลังติดผล พบว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมะม่วงเขียวเสวยจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆระหว่าง 7.62 ถึง 8.32 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 77-89 วันหลังติดผล แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่าง 8.32 ถึง 8.77 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 89-99 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจาก 8.77 ถึง 8.35 เซนติเมตร ในขณะที่ค่าความกลมมีค่าคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตระหว่าง 0.59 ถึง 0.59 ในช่วงอายุ 77-89 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยระหว่าง 0.59 ถึง 0.61 ในช่วงอายุ 89-99 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยระหว่าง 0.61 ถึง 0.62 ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆระหว่างการเจริญเติบโตของผล ระหว่าง 0.94 ถึง 0.97 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 77-89 วันหลังติดผล แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่าง 0.97 ถึง 0.99 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 89-99 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 0.99 ถึง 1.03 ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ เสาวลักษณ์ (2530) ที่กล่าวว่าความ ถ่วงจำเพาะของผลมีค่าใกล้เคียง 1.00 โดยต่ำกว่าเล็กน้อยตลอดการเติบโตของผล

ตารางที่ 37 สมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล 77-111 วัน

Days after fruit set	Size(cm)	Sphere	SG
77	7.62±0.29	0.59±0.02	1.06±0.05
79	7.74±0.38	0.59±0.02	0.94±0.04
81	7.66±0.32	0.58±0.02	0.98±0.04
83	8.10±0.31	0.59±0.01	0.96±0.03
85	8.16±0.37	0.59±0.02	1.01±0.05
87	8.23±0.44	0.60±0.02	0.97±0.03
89	8.32±0.28	0.59±0.01	0.97±0.04
91	8.49±0.29	0.60±0.02	0.96±0.02
93	8.43±0.40	0.60±0.03	1.00±0.03
95	8.84±0.30	0.60±0.01	1.00±0.02
97	8.60±0.28	0.61±0.02	1.00±0.05
99	8.77±0.36	0.61±0.02	0.99±0.02
101	8.58±0.25	0.61±0.02	0.98±0.03
103	8.52±0.31	0.62±0.02	0.99±0.02
105	8.66±0.33	0.61±0.03	1.00±0.03
107	8.54±0.37	0.61±0.03	0.98±0.02
109	8.62±0.36	0.61±0.02	0.97±0.02
111	8.35±0.36	0.62±0.02	1.03±0.05

จากภาพที่ 24 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตแล้วมีค่าลดลงในช่วงท้ายเนื่องจากผลจะมีความยาวลดลงเมื่อแก่จัด สอดคล้องกับงานของ Jha *et al.* (2006a) ที่พบว่า มะม่วงพันธุ์ Dashehari เมื่อแก่ผลจะมีขนาดโตขึ้น ขณะที่ค่าความกลมมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดช่วงการเจริญเติบโต ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมีค่าใกล้เคียง 1.00 ตั้งแต่เริ่มเก็บเกี่ยวจนถึงระยะผลแก่จัด แสดงว่าเมื่อมะม่วงเขียวเสวยมีอายุมากขึ้นผลจะมีขนาดโตขึ้นในทุกๆด้าน โดยเฉพาะด้านหนาและกว้างจึงส่งผลให้ความกลมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ เสาวลักษณ์ (2530) ที่กล่าวว่าความถ่วงจำเพาะของผลมีค่าใกล้เคียง 1.00 โดยต่ำกว่าเล็กน้อยตลอดการเติบโตของผล



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล

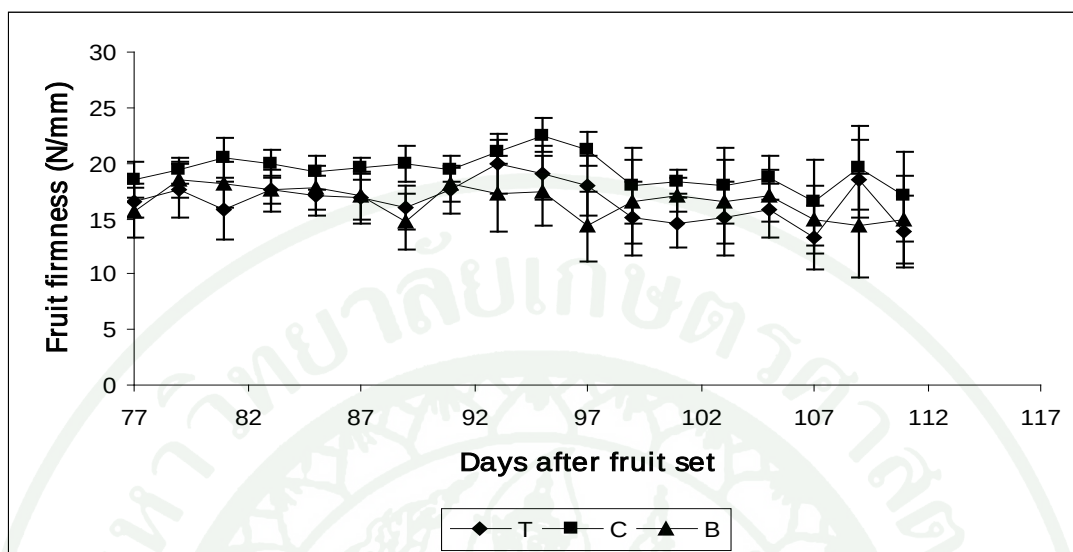
จากตารางที่ 38 แสดงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย จากการกดมะม่วง 3 จุด ที่ขั้วผล (stem) กลางผล และปลายผล (apex) พบว่า ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าสูงสุด โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 18.47 ถึง 19.95 N/mm ในช่วงอายุ 77-89 วันหลังติดผล แล้วลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าระหว่าง 19.95 ถึง 17.98 N/mm ในช่วงอายุ 89-99 วันหลังติดผล แล้วลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าระหว่าง 17.98 ถึง 17.03 N/mm ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล และมีค่าสูงสุด 22.51 N/mm ที่อายุ 95 วันหลังติดผล ขณะที่ค่าความแน่นเนื้อที่ขั้วผลมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 16.61 ถึง 16.88 N/mm ในช่วงอายุ 77-87 วันหลังติดผล แล้วมีค่าลดลงเล็กน้อยระหว่าง 16.04 ถึง 15.04 N/mm ในช่วงอายุ 89-99 วันหลังติดผล และลดลงอีกเล็กน้อย โดยมีค่าระหว่าง 15.04 ถึง 13.75 N/mm ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล เช่นเดียวกับค่าความแน่นเนื้อปลายผลมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงแรกระหว่าง 15.56 ถึง 16.98 N/mm ในช่วงอายุ 77-87 วันหลังติดผล แล้วมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าระหว่าง 16.98 ถึง 16.49 N/mm ในช่วงอายุ 87-99 วันหลังติดผล แล้วมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าระหว่าง 16.49 ถึง 14.94 N/mm ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปคติน โพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995) จากผลการทดลองความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ หลังอายุ 95 วันหลังติดผล ซึ่งใกล้เคียงกับงานของ เสาวลักษณ์ (2530) ที่กล่าวว่าค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงเขียวเสวยจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลอายุได้ 98 วันหลังดอกบาน

ตารางที่ 38 สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล 77-111 วัน

Days after fruit set	FT(N/mm)	FC(N/mm)	FB(N/mm)
77	16.61±1.54	18.47±1.58	15.56±2.24
79	17.54±2.50	19.32±1.24	18.42±1.48
81	15.75±2.61	20.45±1.80	18.11±2.06
83	17.53±1.86	19.94±1.30	17.66±1.24
85	17.13±1.79	19.14±1.45	17.78±2.05
87	16.88±2.31	19.51±1.05	16.98±2.06
89	16.04±1.95	19.95±1.57	14.70±2.47
91	17.64±2.11	19.47±1.22	18.06±1.58
93	19.90±2.65	20.97±1.08	17.31±3.39
95	19.11±2.45	22.51±1.54	17.47±3.13
97	17.99±2.74	21.26±1.52	14.30±3.20
99	15.04±3.34	17.98±3.47	16.49±3.73
101	14.62±2.20	18.34±1.13	17.15±1.50
103	15.04±3.34	17.98±3.47	16.49±3.73
105	15.73±2.40	18.73±1.98	17.09±2.30
107	13.32±2.91	16.45±3.82	14.94±3.07
109	18.58±3.44	19.58±3.82	14.40±4.67
111	13.75±3.23	17.03±4.02	14.94±3.95

หมายเหตุ: FT คือ ความแน่นเนื้อที่ขั้วผล FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล
 FB คือ ความแน่นเนื้อที่ปลายผล

จากภาพที่ 25 ค่าความแน่นเนื้อที่ขั้วผลและปลายผลจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆหลัง 95 วันหลังติดผล ส่วนค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆหลัง 95 วันหลังติดผลเช่นเดียวกัน แต่จะมีค่ามากกว่าที่ขั้วผลและปลายผล



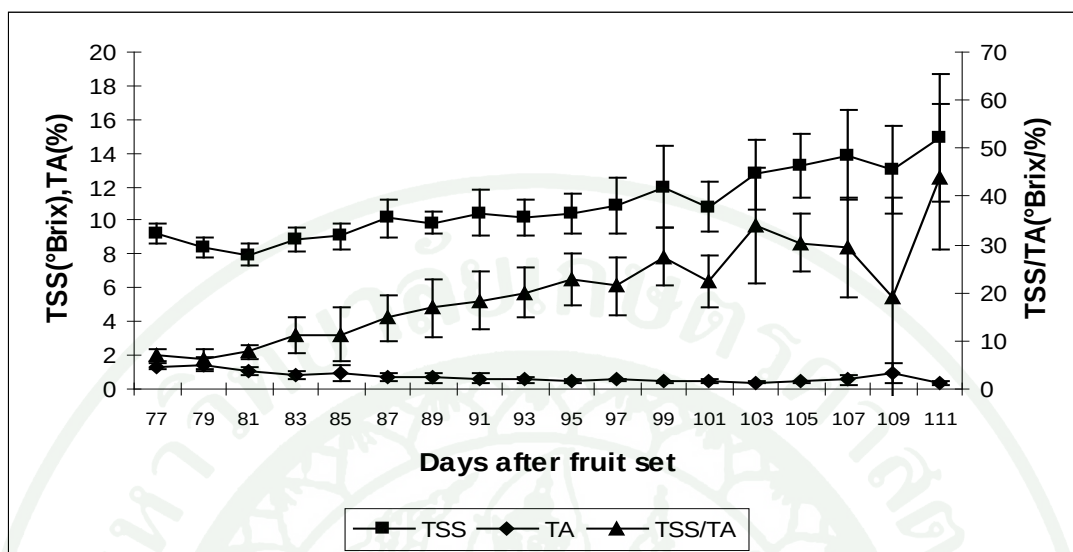
ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงสมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล

จากตารางที่ 39 แสดงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย ระหว่าง 93-125 วันหลังติดผล จากการศึกษพบว่าค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) ของมะม่วงเขียวเสวยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่างการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 9.19 ถึง 9.84°Brix. ในช่วงอายุ 77-89 วันหลังติดผล และมีค่า 9.84 ถึง 11.99°Brix. ในช่วงอายุ 89-99 วันหลังติดผล หลังจากนั้นค่าปริมาณน้ำตาลจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 11.99 ถึง 14.95°Brix. ขณะที่ค่าปริมาณกรด (TA) ของมะม่วงเขียวเสวยจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 1.33 ถึง 0.68 % ในช่วงอายุ 77-89 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าปริมาณกรดลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 0.68 ถึง 0.45% ในช่วงอายุผล 89-99 วันหลังติดผล แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 0.45 ถึง 0.35% ในช่วงอายุผล 99-111 วันหลังติดผล โดยมีค่าต่ำกว่า 1.00 ตั้งแต่อายุ 83 วันหลังติดผล ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ Lee (1981) แนะนำว่ามะม่วงที่อยู่ในระยะผลแก่ควรมีค่าประมาณ 1 % แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) พบว่า อัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 7.06 ถึง 16.82 °Brix/% ในช่วงอายุ 77-89 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงมากกว่าช่วงแรกจาก 16.82 ถึง 27.40 °Brix/% ในช่วงอายุ 89-99 วันหลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 27.40 ถึง 43.99 °Brix/% ในช่วงอายุ 99-111 วันหลังติดผล ซึ่งจะเห็นว่าค่าอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) จะมีค่าสูงเนื่องจากค่าความเป็นกรดมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าความหวาน จึงทำให้มะม่วงเขียวเสวยมีรสชาติหวานตั้งแต่เริ่มแก่ จึงสามารถบริโภคขณะผลดิบได้ดี

ตารางที่ 39 สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล 77-111 วัน

Days after fruit set	TSS (°Brix)	TA (%)	TSS/TA (°Brix/%)
77	9.19±0.58	1.33±0.21	7.06±1.23
79	8.36±0.60	1.44±0.40	6.31±2.12
81	7.99±0.67	1.06±0.19	7.74±1.43
83	8.85±0.71	0.86±0.24	11.18±3.81
85	9.07±0.80	0.96±0.43	11.35±5.50
87	10.12±1.17	0.75±0.26	14.77±4.63
89	9.84±0.67	0.68±0.30	16.82±6.02
91	10.46±1.38	0.64±0.26	18.33±5.95
93	10.18±1.12	0.54±0.14	20.05±5.09
95	10.41±1.20	0.48±0.11	22.73±5.40
97	10.87±1.62	0.53±0.11	21.39±6.04
99	11.99±2.40	0.45±0.08	27.40±6.06
101	10.82±1.49	0.50±0.10	22.37±5.35
103	12.77±2.08	0.41±0.12	33.85±12.03
105	13.22±1.90	0.45±0.08	30.35±6.04
107	13.89±2.70	0.54±0.32	29.41±10.22
109	13.01±2.59	0.97±0.61	19.15±20.60
111	14.95±3.77	0.35±0.06	43.99±15.15

จากภาพที่ 26 ค่าปริมาณน้ำตาลของมะม่วงเขียวเสวยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยตลอดช่วงการเจริญเติบโตของผลแต่ค่าปริมาณกรดจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต และมีค่าค่อนข้างต่ำโดยมีค่าต่ำกว่า 1.00 ตั้งแต่อายุ 83 วันหลังติดผล ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงการเจริญเติบโต และสามารถบริโภคมะม่วงเขียวเสวยได้ในขณะเป็นผลดิบโดยมีรสชาติหวานกรอบ



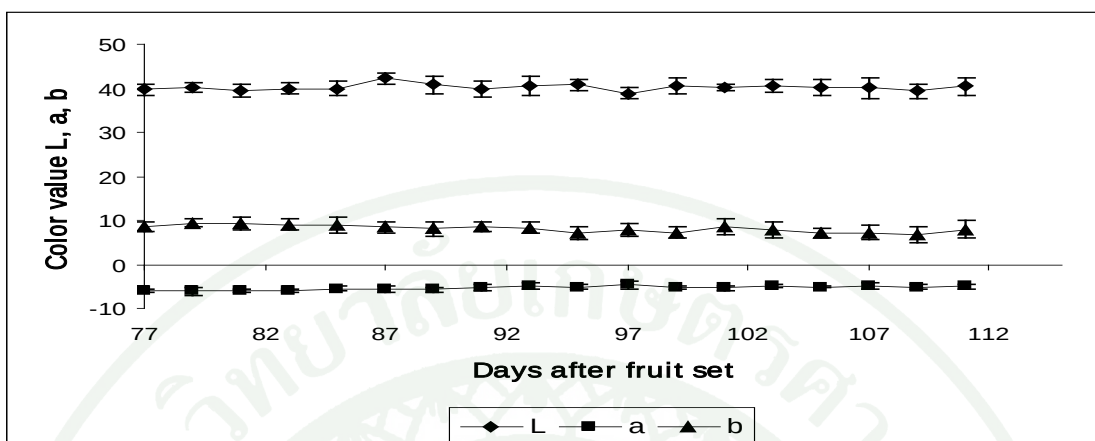
ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล

จากตารางที่ 40 แสดงค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย จากผลการทดลอง พบว่า ในช่วงแรกของการพัฒนาผลมะม่วง ค่าความสว่าง L จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 39.67 ถึง 40.78 ในช่วง 77-89 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยค่อนข้างคงที่ระหว่าง 40.78 ถึง 40.41 ในช่วง 89-99 วันหลังติดผล และยังคงมีค่าคงที่ระหว่าง 99-111 วันหลังติดผลระหว่าง 40.41 ถึง 40.42 ตามลำดับ ค่า a ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเขียวของผิวเปลือกมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่าง -5.84 ถึง -5.77 ในช่วง 77-89 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นระหว่าง -5.77 ถึง -5.29 ในช่วง 89-99 วันหลังติดผล แล้วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่าง 119-125 วันหลังติดผลระหว่าง -5.29 ถึง -5.03 ตามลำดับ แสดงว่าผิวเปลือกจะมีค่าสีเขียวลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่ค่าสีเหลืองของผิวเปลือกมะม่วง b จะมีค่าลดลงระหว่าง 8.43 ถึง 8.01 ในช่วง 77-89 วันหลังติดผล จากนั้นจะมีค่าลดลงอีกเล็กน้อยระหว่าง 8.01 ถึง 7.21 ในช่วง 89-99 วันหลังติดผล แล้วเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 7.21 ถึง 7.91 ในช่วงระหว่าง 99-111 วันหลังติดผล ตามลำดับ ผลการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะม่วงเขียวเสวยแสดงการลดลงของสีเขียว และการลดลงของสีเหลืองเมื่อมะม่วงแก่จัด ขณะที่ค่าความสว่างมีค่าคงที่ ทำให้มะม่วงมีผิวเปลือกสีเขียวเหมือนเดิม ซึ่งแตกต่างกับ เสาวลักษณ์ (2530) ที่กล่าวว่าสีผิวเปลือกของมะม่วงเขียวเสวยจะมีสีเขียวอ่อนแล้วค่อยๆเพิ่มความเข้มขึ้นเป็นสีเขียวเข้ม

ตารางที่ 40 ค่าสี L a และ b ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล 77-111 วัน

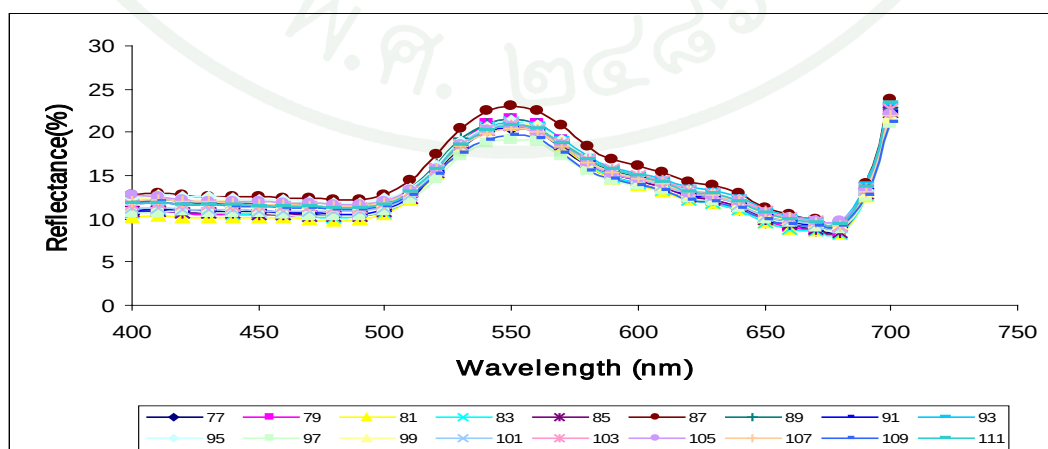
Days after fruit set	L	a	b
77	39.67±1.29	-5.84±0.37	8.43±1.05
79	40.31±1.11	-6.09±1.00	9.45±1.00
81	39.56±1.52	-5.99±0.51	9.27±1.44
83	39.88±1.33	-6.02±0.51	9.00±1.32
85	39.92±1.55	-5.53±0.47	8.88±1.80
87	42.31±1.32	-5.66±0.67	8.45±1.29
89	40.78±1.93	-5.77±0.62	8.01±1.76
91	39.89±1.77	-5.13±0.76	8.61±1.10
93	40.71±2.18	-4.90±0.83	8.36±1.36
95	40.81±1.19	-5.16±0.65	7.17±1.52
97	38.83±1.23	-4.71±0.88	7.76±1.42
99	40.41±1.79	-5.29±0.47	7.21±1.21
101	40.19±0.77	-5.43±0.49	8.56±1.78
103	40.41±1.42	-4.94±0.38	7.97±1.83
105	40.27±1.89	-5.10±0.36	7.05±1.18
107	40.12±2.32	-4.90±0.76	7.27±1.56
109	39.31±1.52	-5.13±0.48	6.83±1.86
111	40.42±1.97	-5.03±0.55	7.91±2.00

จากภาพที่ 27 จะเห็นว่ามะม่วงเขียวเสวยมีค่าความสว่างที่ผิวค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเจริญเติบโตของผล ขณะเดียวกันค่าสีเหลืองก็จะมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับค่าสีเขียวที่มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ทำให้ผิวเปลือกของมะม่วงเขียวเสวยที่ได้มีสีเหมือนเดิม



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยตามวันหลังติดผล

ค่าการสะท้อนแสงของมะม่วงเขียวเสวยในช่วงความยาวคลื่น 400 และ 700 นาโนเมตรไม่แสดงการบ่งชี้อะไรที่ชัดเจนนัก ยกเว้นค่าการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร และมากกว่า 670 นาโนเมตร เมื่อมะม่วงมีอายุมากขึ้นค่าการสะท้อนแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในทุกช่วงความยาวคลื่น โดยมะม่วงในทุกระยะของการพัฒนาผลระหว่าง 93-125 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ในช่วงความยาวคลื่น 550-680 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 28 ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย

การทำนายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย

1. การทำนายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเชิงปริมาณ

สมบัติของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยทั้ง 360 ผล ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ค่า TSS, TA, TSS/TA, และ ค่าความแน่นเนื้อ รวมทั้งวันหลังติดผล เป็นสมบัติที่เป็นการตรวจวัดที่ต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อคุณภาพของมะม่วง ส่วนสมบัติที่เหลือได้แก่ ขนาด ความกลม ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าสี L, a, b และค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร จัดเป็นสมบัติที่เป็นการตรวจวัดแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) ซึ่งในกลุ่มที่ศึกษานี้มีสมบัติที่มีความแตกต่างกันมากจากค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 41 และ 42

สมบัติที่ผู้บริโภคนิยมใช้ในการตัดสินใจซื้อผลไม้โดยทั่วไปคือค่า TSS, TA, TSS/TA และค่าความแน่นเนื้อ โดยเฉพาะมะม่วงที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการรสชาติหวาน กลิ่นหอม เนื้อนุ่ม ดังนั้น การที่สามารถเก็บเกี่ยวมะม่วงตามที่ต้องการโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างจึงเป็นสิ่งสำคัญ จากตารางที่ 43 เป็นผลการวิเคราะห์ PLSR (Partial Least Square Regression Analysis) โดยกำหนดให้ สมบัติที่เป็นแบบต้องทำลายตัวอย่าง (destructive) และวันหลังดอกบาน เป็นตัวแปร Y หรือ สมบัติที่ถูกทำนาย (Predicted properties) ส่วนสมบัติอื่นๆที่เหลือรวมทั้งค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร รวมทั้งหมด 37 ตัวแปร ซึ่งเป็นสมบัติที่เป็นแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive) เป็นตัวแปร X หรือสมบัติที่ใช้ทำนาย (Predictor properties) จากการวิเคราะห์ PLSR กับผลมะม่วงกลุ่ม Calibration จำนวน 288 ผล พบว่า PLSR model ที่ทำนายค่า DAFS มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็นโมเดลที่ทำนายค่า TSS/TA, TSS, TA, และ FC โดยมีค่า 0.76, 0.70, 0.66, 0.62 และ 0.22 ตามลำดับ และมีค่า SEC เท่ากับ 5.12 วัน, 6.35°Brix/%, 1.44°Brix, 0.24%, และ 2.30 N/mm ตามลำดับ และเมื่อนำ PLSR models ที่ได้ไปทำนายกับกลุ่ม Validation จำนวน 72 ผล ให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกันโดยการทำนายค่า DAFS มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมาเป็นโมเดลที่ทำนายค่า TSS/TA, TA, TSS, และ FC โดยมีค่า 0.68, 0.66, 0.62, 0.61 และ 0.25 ตามลำดับ มีค่า SEP เท่ากับ 5.92 วัน, 7.93°Brix/%, 0.23%, 1.93°Brix, และ 2.65 N/mm, ตามลำดับ และมีค่า Bias -0.75, -1.01, 0.02, -0.11 และ 0.21 ตามลำดับ

ตารางที่ 41 สมบัติของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่เป็น Destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation

Parameters	Calibration (n=288)				Validation (n=72)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
DAFS	77.00	111.00	94.00	10.39	77.00	111.00	94.00	10.45
TSS	6.97	23.73	10.85	2.46	7.50	21.27	11.02	3.07
TA	0.20	3.34	0.75	0.48	0.25	2.18	0.71	0.38
TSS/TA	3.11	103.88	21.30	16.75	3.57	92.15	19.97	11.54
FC	4.33	26.33	19.31	2.59	6.10	25.64	19.16	3.05

ตารางที่ 42 สมบัติของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่เป็น Non destructive parameters ในกลุ่ม Calibration และ Validation

Properties	Calibration (n=288)				Validation(n=72)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
SIZE	6.68	9.70	8.36	0.47	6.68	9.34	8.27	0.54
SPHERE	0.51	1.02	0.60	0.02	0.55	0.67	0.61	0.06
SG	0.86	1.16	0.99	0.04	0.90	1.13	0.99	0.04
L	35.42	45.61	40.26	1.75	36.74	44.66	40.00	1.64
a	-7.06	-2.94	-5.38	0.74	-7.03	-2.97	-5.33	0.74
b	4.65	13.96	8.12	1.66	4.80	12.26	8.13	1.65
R400	6.86	15.30	11.53	1.54	7.88	13.90	11.30	1.37
R410	7.16	15.32	11.74	1.54	8.10	14.11	11.51	1.40
R420	7.21	14.81	11.52	1.46	8.01	13.88	11.30	1.36
R430	7.30	14.67	11.43	1.42	8.04	13.81	11.23	1.34
R440	7.34	14.52	11.32	1.39	8.08	13.69	11.12	1.31
R450	7.51	14.40	11.30	1.34	8.28	13.62	11.11	1.27
R460	7.57	14.34	11.24	1.31	8.36	13.57	11.05	1.24
R470	7.72	14.22	11.12	1.28	8.44	13.39	10.94	1.21

ตารางที่ 42 (ต่อ)

Properties	Calibration (n=288)				Validation(n=72)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
R480	7.69	14.03	11.01	1.24	8.45	13.28	10.83	1.19
R490	7.84	13.94	11.02	1.20	8.65	13.24	10.85	1.15
R500	8.70	14.29	11.50	1.17	9.47	13.66	11.33	1.11
R510	10.13	16.63	12.99	1.21	10.65	15.58	12.79	1.12
R520	12.04	20.79	15.75	1.41	12.90	19.15	15.51	1.28
R530	13.92	24.53	18.60	1.67	15.22	22.64	18.32	1.51
R540	15.10	26.69	20.42	1.85	16.66	24.84	20.14	1.68
R550	15.56	27.01	20.96	1.88	17.16	25.66	20.69	1.75
R560	15.44	26.36	20.49	1.83	16.93	25.30	20.23	1.72
R570	14.34	24.15	18.77	1.70	15.61	23.55	18.54	1.63
R580	13.15	21.47	16.67	1.51	14.05	20.93	16.46	1.44
R590	12.35	19.77	15.35	1.39	13.07	19.40	15.16	1.35
R600	12.01	19.14	14.67	1.34	12.55	18.59	14.48	1.32
R610	11.39	18.42	13.96	1.28	11.94	17.78	13.79	1.27
R620	10.59	17.14	12.91	1.18	10.90	16.49	12.76	1.19
R630	10.22	16.56	12.56	1.14	10.64	15.95	12.41	1.16
R640	9.39	15.80	11.76	1.08	9.89	14.93	11.62	1.10
R650	8.16	13.86	10.32	0.95	8.45	12.83	10.22	0.98
R660	7.68	12.72	9.70	0.86	7.90	11.85	9.59	0.89
R670	7.50	11.62	9.34	0.77	7.55	10.99	9.23	0.79
R680	7.41	11.02	9.02	0.74	7.44	10.20	8.93	0.71
R690	11.15	17.11	13.20	1.02	11.38	16.19	13.05	1.01
R700	17.90	30.75	22.41	2.04	19.06	27.81	22.13	1.95

ตารางที่ 43 ค่าทางสถิติของ PLSR models ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยสำหรับทำนายสมบัติที่เป็น Destructive parameter ด้วยสมบัติที่เป็น Non destructive properties

Predicted parameters	Factors	Calibration (n=288)		Validation (n=72)		
		R ²	SEC	R ²	SEP	Bias
DAFS(day)	10	0.76	5.12	0.68	5.92	-0.75
TSS(°Brix)	11	0.66	1.44	0.61	1.93	-0.11
TA(%)	11	0.62	0.24	0.62	0.23	0.02
TSS/TA(°Brix/%)	11	0.70	6.35	0.66	7.93	-1.01
FC(N/mm)	8	0.22	2.30	0.25	2.65	0.21

หมายเหตุ: FC คือ ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล

2. การทำนายความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเชิงคุณภาพ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของมะม่วงเขียวเสวยตามวันหลังติดผล ตั้งแต่ อายุ 77-111 วัน สามารถแบ่งระยะการแก่เป็น 3 ระยะ คือระยะก่อนผลแก่ ระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกิน พบว่า วันหลังติดผลมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ 82.00 ± 3.43 , 94.00 ± 3.43 และ 106.00 ± 3.43 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสมบัติแบบทำลายส่วนใหญ่ ที่มีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากอายุการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนี้คือ ค่า TSS จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 8.94 ± 1.03 , 10.64 ± 1.61 และ 13.12 ± 2.78 °Brix ตามลำดับ ส่วนค่า TA จะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 1.07 ± 0.39 , 0.55 ± 0.20 และ 0.54 ± 0.35 % ตามลำดับ ทำให้ค่า TSS/TA มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 9.74 ± 4.55 , 21.12 ± 6.61 และ 29.85 ± 14.82 °Brix/% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อจากการกดจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่แล้วลดลงในช่วงผลแก่เกินโดยมีค่าเฉลี่ย 19.47 ± 1.53 , 20.36 ± 2.36 และ 18.02 ± 3.33 N/mm ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเฉลี่ย 0.99 ± 0.08 , 1.01 ± 0.22 และ 1.00 ± 0.08 ตามลำดับ ค่าขนาดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 7.92 ± 0.43 , 8.58 ± 0.37 และ 8.54 ± 0.34 ตามลำดับ แต่ค่าความกลมมีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเฉลี่ย 0.60 ± 0.04 , 0.60 ± 0.02 และ 0.60 ± 0.02 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสี L จะมีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเฉลี่ย 40.27 ± 1.63 ,

40.24±1.83 และ 40.12±1.73 ตามลำดับ แต่ค่าสีเขียว a จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับ โดยมีค่าเฉลี่ย -5.85±0.64, -5.16±0.78 และ -5.09±0.54 ตามลำดับ ส่วนค่าสีเหลือง b จะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับ โดยมีค่าเฉลี่ย 8.91±1.37, 7.85±1.49 และ 7.60±1.79 ตามลำดับ ดังตารางที่ 44

เมื่อพิจารณาจากค่า F พบว่าสมบัติที่มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ DAFS, TSS, TSS/TA, Size, TA, ค่าสี a, FC, ค่าสี b, Sphericity, ค่าสี L, และ SG ตามลำดับ โดยมีค่า 1468.80, 140.09, 128.93, 113.59, 104.50, 49.07, 26.39, 23.96, 0.42, 0.26, และ 0.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 44 สมบัติของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยจำแนกตามความสุกแก่

Parameters	Maturity stages			F	Sig.
	Immature	Mature	Over mature		
DAFS	82.00±3.43a	94.00±3.43b	106.00±3.43c	1468.80	0.00
TSS	8.94±1.03a	10.64±1.61b	13.12±2.78c	140.09	0.00
TA	1.07±0.39b	0.55±0.20a	0.54±0.35a	104.50	0.00
TSS/TA	9.74±4.55a	21.12±6.61b	29.85±14.82c	128.93	0.00
FC	19.47±1.53b	20.36±2.36c	18.02±3.33a	26.39	0.00
SG	0.99±0.08a	1.01±0.22a	1.00±0.08a	0.20	0.82
SIZE	7.92±0.43a	8.58±0.37b	8.54±0.34b	113.59	0.00
SPHERE	0.60±0.04a	0.60±0.02a	0.60±0.02a	0.42	0.66
L	40.27±1.63a	40.24±1.83a	40.12±1.73a	0.26	0.77
a	-5.85±0.64a	-5.16±0.78b	-5.09±0.54b	49.07	0.00
b	8.91±1.37b	7.85±1.49a	7.60±1.79a	23.96	0.00

จากการแบ่งกลุ่มมะม่วงเขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม จึงมี Function ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 2 Function ดังตารางที่ 45 ค่า Eigenvalue ของ Function 1-2 มีค่า 1.703 และ 0.839 และมีค่าเปอร์เซ็นต์ variance เท่ากับ 67.0 และ 33.0 ตามลำดับ โดยมีค่า Canonical correlation เท่ากับ 0.794 และ 0.675 ตามลำดับ แสดงว่า Function 1 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากกว่า Function 2

ตารางที่ 45 Eigenvalues ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม

Function	Eigenvalue	% of variance	Cumulative%	Canonical correlation
1	1.703	67.0	67.0	0.794
2	0.839	33.0	100.0	0.675

จากตารางที่ 46 การวิเคราะห์ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย ทั้ง 2 Function พบว่า ค่าสี b, R400, R550, R540, R530, Sphericity, ค่าสี L, และ R520 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า Size, ค่าสี a, R450, R470, R480, R460, R440, R430, R420, R410, R600, R590, และ SG มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2

ตารางที่ 47 แสดงค่า Classifications Function Coefficient ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงเขียวเสวยตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงเขียวเสวยอยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 46 Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม

Properties	Function	
	1	2
b	0.236*	-0.216
R400	-0.177*	0.127
R550	0.125*	-0.063
R540	0.119*	-0.079
R530	0.070*	-0.068
SPHERE	-0.036*	0.012
L	0.029*	0.004
R520	0.021*	0.001
SIZE	-0.427	0.623*
a	-0.316	0.353*
R450	-0.149	0.183*

ตารางที่ 46 (ต่อ)

Properties	Function	
	1	2
R470	-0.167	0.182*
R480	-0.168	0.181*
R460	-0.153	0.179*
R440	-0.147	0.176*
R430	-0.139	0.175*
R420	-0.134	0.168*
R410	-0.142	0.164*
R600	-0.026	0.052*
R590	-0.008	0.036*
SG	0.000	0.036*

ตารางที่ 47 Classifications Function Coefficient* ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม

Parameters	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SIZE	52.738	57.460	56.732
SPHERE	567.797	579.060	577.669
SG	26.424	25.938	25.275
L	3006.675	3005.556	3005.531
A	248.290	248.188	235.957
B	-325.728	-324.074	-327.894
R400	-3.459	-5.753	2.905
R410	-11.547	-10.696	-1.675
R420	-27.078	-22.260	-37.709

ตารางที่ 47 (ต่อ)

Parameters	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
R430	80.172	74.961	68.527
R440	-321.393	-324.775	-328.351
R450	103.817	110.572	97.971
R460	-190.732	-186.606	-188.814
R470	-7.685	-2.333	11.519
R480	-891.823	-901.368	-890.571
R520	47.846	56.562	34.613
R530	-198.743	-206.123	-189.779
R540	-610.377	-615.976	-612.447
R550	-493.985	-488.671	-504.293
R590	-375.033	-377.095	-369.994
R600	-900.094	-898.105	-888.302
(Constant)	-29537.700	-29564.838	-29566.828

*Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 48 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงเขียวเสวยตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม พบว่า สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงเขียวเสวยเป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้อง 80.3 % และทำนายช่วงมะม่วงแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจำแนกมะม่วงเขียวเสวยในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 120 ผล ได้ถูกต้อง 96 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 15 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 9 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 80.0 % ขณะที่มะม่วงเขียวเสวยในช่วงผลแก่จำนวน 120 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 97 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 13 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 10 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 80.8 % ส่วนมะม่วงเขียวเสวยในช่วงผลแก่เกินจำนวน 120 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 96 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 11 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่ 13 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 80.0 %

ตารางที่ 48 Classification result ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม

Properties	%Correctly classified	Predicted groups			Actual
		Immature	Mature	Over mature	
Immature	80.0	96	15	9	120
Mature	80.8	13	97	10	120
Over mature	80.0	11	13	96	120
Total	80.3	120	125	115	360

ตอนที่ 2

การศึกษาสมบัติของมะม่วงในปีที่สองได้ศึกษากับมะม่วงสองพันธุ์คือ มะม่วงน้ำดอกไม้และมะม่วงโชคอนันต์ โดยได้ศึกษาสมบัติความแน่นเนื่องจากการวัดแรงกระแทก และความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียงเพิ่มเติม ซึ่งเป็นสมบัติแบบไม่ทำลายตัวอย่างที่มีแนวโน้มจะสามารถพัฒนาไปประยุกต์ใช้ได้ดีกว่าความแน่นเนื่องจากการกดซึ่งเป็นสมบัติแบบทำลายตัวอย่างในปีแรก

สมบัติของมะม่วงน้ำดอกไม้

การเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (Nam Dokmai) เริ่มตั้งแต่อายุ 77 วันจนถึง 115 วันหลังติดผล โดยผลมะม่วงน้ำดอกไม้จะได้รับการห่อด้วยถุงกระดาษเคลือบคาร์บอนด้านในตลอดช่วงที่ทำการเก็บเกี่ยว พบว่า ผลมะม่วงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลที่มีขนาดโตขึ้นโดยเฉพาะไหล่ผลจะกว้างขึ้นและปลายผลจะขยายและงอนน้อยลง สีของผิวเปลือกจะมีสีเขียวลดลง และเริ่มมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงผลแก่ (ภาพที่ 29) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Jha *et al.* (2006a) ที่ได้ทำการศึกษากับมะม่วงพันธุ์ Dashehari ที่พบว่ามะม่วงจะมีผิวสีเขียวในช่วงแรกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในช่วงผลแก่ และสอดคล้องกับงานของ สายชล และสุนทร (2535) ที่ได้ทำการศึกษากับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ที่พบว่าผลมะม่วงดิบเมื่อสุกมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวจางหรือซีดเป็นสีเหลือง มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงที่นิยมบริโภคทั้งภายในประเทศและสามารถส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศ เป็นมะม่วงที่มีรสเปรี้ยวมากในช่วงผลอ่อนและจะมีรสหวานเมื่ออยู่ในช่วงผลสุก ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมบริโภคในลักษณะผลสุก



มะม่วงน้ำดอกไม้อายุ 77 วันหลังติดผล



มะม่วงน้ำดอกไม้อายุ 99 วันหลังติดผล



มะม่วงน้ำดอกไม้อายุ 111 วันหลังติดผล

ภาพที่ 29 ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อายุ 77, 99 และ 111 วันหลังติดผล

สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงน้ำดอกไม้

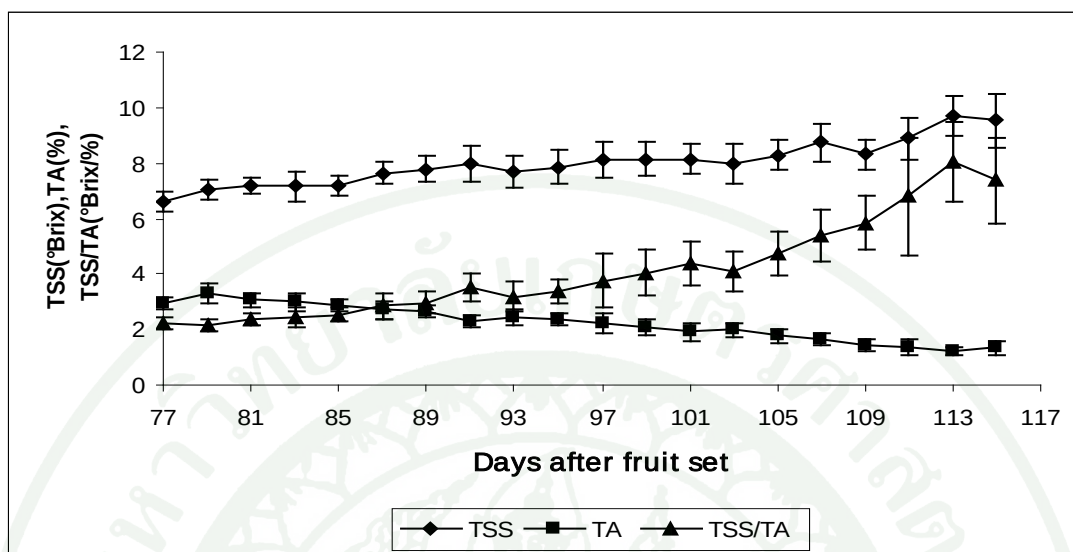
การตรวจวัดค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) โดยปอกเปลือกมะม่วงออกให้หมด นำเนื้อมะม่วงทั้งผลที่ได้มาคั้นน้ำโดยใช้เครื่องคั้นน้ำผลไม้แล้วกรองด้วยผ้าสี ก่อนวัดทำการปรับเทียบเครื่องด้วยน้ำกลั่นอ่านค่าจากเครื่องได้ 0.00 จากนั้นหยดน้ำคั้นลงบนเครื่อง Refractometer และอ่านค่าจากเครื่อง ในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจะทำการทดลอง 20 ผล ขณะที่การตรวจวัดค่าปริมาณกรด (TA) โดย ชั่งน้ำหนักน้ำมะม่วงที่สกัดได้ จำนวน 6 กรัม ใส่บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร ไตเตรทน้ำคั้นมะม่วงด้วย 0.1 N NaOH จนเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน อ่านค่าปริมาณ NaOH ที่ใช้ไปในการไตเตรทเป็นมิลลิลิตร จากผลการทดลอง พบว่าค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) ที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่าง 6.60 – 9.68 °Brix. Rameshwar (1993) กล่าวว่า มะม่วงโดยทั่วไปเมื่อถึงช่วงอายุผลแก่จะมีค่าปริมาณน้ำตาลมากกว่า 8°Brix ขณะที่ ดวงตรา และคณะ (2527) พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้จะมีคุณภาพดีที่สุดเมื่อเก็บเกี่ยวระหว่าง 99-111 วันหลังติดผล ดังนั้นจึงสามารถแบ่งระดับการแก่ของมะม่วงตามอายุการเก็บเกี่ยวออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ระยะก่อนผลแก่ (77-99 DAFS), ระยะผลแก่ (99-111 DAFS), และระยะผลแก่เกิน (111-115 DAFS) จากการศึกษาพบว่าค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) ของมะม่วงน้ำดอกไม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะก่อนผลแก่ (immature)

โดยมีค่าระหว่าง $6.60-8.12^{\circ}\text{Brix}$. จนกระทั่งถึงระยะผลแก่ (mature) จะมีค่าปริมาณน้ำตาลมากกว่า 8°Brix ซึ่งอยู่ในช่วงที่มะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีอายุ 99 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยระหว่าง $8.14-8.89^{\circ}\text{Brix}$ ระหว่างระยะผลแก่ 99-111 วันหลังติดผล หลังจากระยะผลแก่แล้วค่าปริมาณน้ำตาลจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสูงกว่าปกติระหว่าง $8.89-9.68^{\circ}\text{Brix}$. ซึ่งอยู่ในระยะผลแก่เกินไป (over mature) (ตารางที่ 49) ขณะที่ค่าปริมาณกรด (TA) ของมะม่วงน้ำดอกไม้จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการพัฒนาเจริญเติบโตในระยะก่อนผลแก่ (immature) โดยมีค่าระหว่าง $3.29-2.24\%$ ในช่วงอายุ 77-99 วันหลังติดผล จนกระทั่งถึงระยะผลแก่จะมีค่าปริมาณกรดค่อยๆ ลดลงจาก $2.07-1.38\%$ ในช่วงอายุผล 99-111 วันหลังติดผล แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือ 1.33% ในระยะผลแก่เกินไป (ตารางที่ 49). ค่าปริมาณกรดของมะม่วงที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อรสชาติของมะม่วง แต่ค่าปริมาณกรดของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีค่าสูงกว่าที่ Lee (1981) และแนะนำมะม่วงที่อยู่ในระยะผลแก่ควรมีค่าประมาณ 1% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) พบว่า อัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จาก $2.16-3.76$ ในระยะผลก่อนผลแก่ระหว่าง 77-99 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างระยะผลแก่ (99-111 DAFS) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก $4.04-6.79$ แต่จะมีค่าลดลงหลัง 113 วันหลังติดผลระหว่าง $8.05-7.39$ มะม่วงที่เก็บเกี่ยวที่ค่าปริมาณน้ำตาล 8.14°Brix จะมีคุณภาพและอายุการวางจำหน่ายดีกว่า ดังนั้นในช่วงอายุ 99 วันหลังติดผลน่าจะเป็นช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวเมื่อผลมะม่วงส่วนใหญ่อยู่ในช่วงแก่เต็มที่ และช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงผลมีอายุระหว่าง 99-111 วันหลังติดผล มะม่วงที่สุกเต็มที่จะมีค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดแตกต่างกัน ดังนั้นค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดหรือแม้แต่ค่าอัตราส่วนระหว่างค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดโดยลำพังยังไม่สามารถใช้ประเมินระยะเวลาการสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์อื่นได้ (Vasquez-Caicedo *et al.*, 2002)

จากภาพที่ 30 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำตาลที่มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ค่าปริมาณกรดจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ โดยปริมาณน้ำตาลจะมีค่า 8.14°Brix ในช่วงที่ผลมะม่วงมีอายุประมาณ 99 วันหลังติดผล ซึ่งยังมีค่าปริมาณกรดสูงอยู่ จึงทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้มีรสชาติออกหวานอมเปรี้ยว โดยในระยะก่อนผลแก่จะมีรสเปรี้ยวมาก แต่หลังจากระยะผลแก่ค่า TSS/TA จะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงกว่าช่วงแรกจึงทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้มีรสหวานมากขึ้น สอดคล้องกับงานของ ดวงตรา และคณะ (2527) ที่พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บเกี่ยวหลัง 99 วันหลังติดผลเมื่อสุกจะมีผิวเรียบ เนื้อนุ่ม กลิ่นหอม และมีรสหวาน

ตารางที่ 49 ค่า TSS, TA และ TSS/TA ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	TSS(°Brix)	TA (%)	TSS/TA (°Brix/%)
77	6.60±0.36	2.95±0.20	2.25±0.21
79	7.05±0.34	3.29±0.36	2.16±0.21
81	7.20±0.27	3.05±0.22	2.37±0.21
83	7.15±0.56	2.99±0.30	2.42±0.36
85	7.20±0.34	2.87±0.24	2.53±0.26
87	7.65±0.42	2.73±0.32	2.85±0.45
89	7.77±0.46	2.65±0.23	2.96±0.41
91	7.95±0.65	2.29±0.23	3.52±0.53
93	7.70±0.58	2.45±0.29	3.19±0.53
95	7.87±0.58	2.34±0.22	3.39±0.44
97	8.12±0.65	2.24±0.34	3.76±0.95
99	8.14±0.61	2.07±0.30	4.04±0.83
101	8.15±0.51	1.91±0.29	4.39±0.81
103	8.00±0.72	1.98±0.24	4.11±0.70
105	8.30±0.52	1.77±0.24	4.77±0.79
107	8.75±0.67	1.65±0.20	5.40±0.91
109	8.32±0.55	1.45±0.20	5.85±0.94
111	8.89±0.77	1.38±0.27	6.79±2.11
113	9.68±0.72	1.23±0.16	8.05±1.47
115	9.52±0.94	1.33±0.24	7.39±1.55



ภาพที่ 30 ค่า TSS, TA และ TSS/TA ratio ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลัง ติดผลในปีที่สอง

สมบัติทางกายภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

สมบัติทางกายภาพบางประการของมะม่วงเช่น ขนาดของผล ความกลม และน้ำหนักจำเพาะ มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโต ขนาดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะก่อนผลแก่ (immature) จาก 8.47 ถึง 9.55 เซนติเมตร แต่เมื่อมะม่วงมีค่าปริมาณน้ำตาลมากกว่า 8°Brix ในช่วงผลแก่จนถึงผลแก่เกินไปขนาดของผลจะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อย และค่อนข้างคงที่ระหว่าง 9.55- 9.61 เซนติเมตร (ตารางที่ 50) การเพิ่มขึ้นของขนาดน่าจะเกิดจากการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยาของผลมะม่วง และการเพิ่มขึ้นของขนาดที่ค่าปริมาณน้ำตาลมากกว่า 8°Brix น่าจะสามารถเป็นตัวชี้วัดในการเก็บเกี่ยวมะม่วงได้ทางหนึ่ง ขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าความกลม (sphericity) มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยระหว่างการเจริญเติบโต โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0.58 - 0.62 ค่าความกลมของผลมะม่วงจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในระยะก่อนผลแก่ระหว่าง 0.58-0.59 จนมะม่วงมีค่าปริมาณน้ำตาลมากกว่า 8°Brix ในช่วงผลแก่จนถึงผลแก่เกินไปค่าความกลมของผลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยระหว่าง 0.61-0.62 (ตารางที่ 50) เนื่องจากผลมะม่วงมีการพัฒนาอย่างสม่ำเสมอในทุกด้าน ดังนั้นค่าความกลมจึงไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก

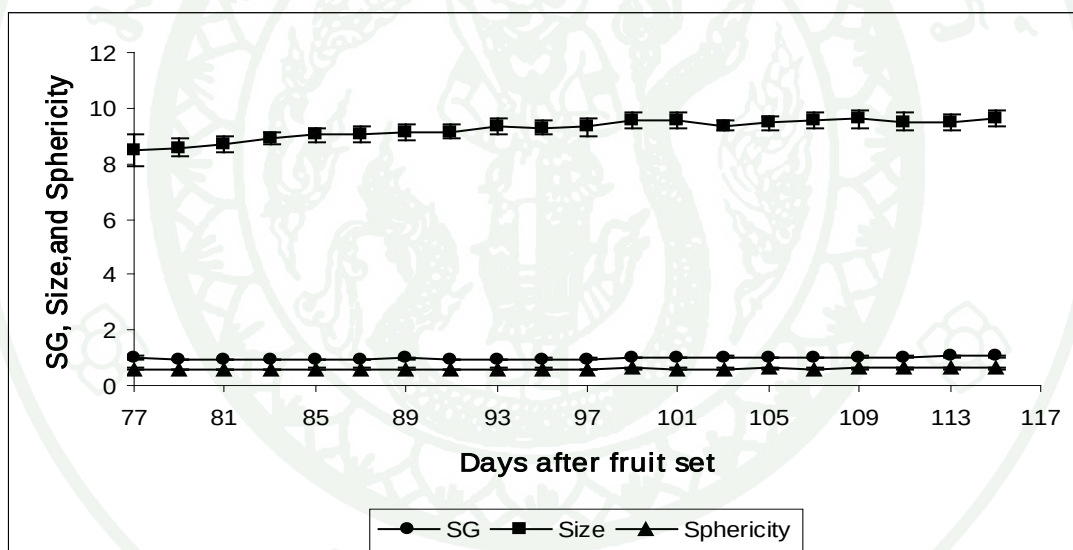
ตารางที่ 50 ค่า SG, Size และ Sphericity ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	SG	SIZE (cm)	SPHERE
77	1.00±0.05	8.47±0.57	0.58±0.04
79	0.94±0.01	8.57±0.32	0.58±0.02
81	0.94±0.02	8.71±0.29	0.58±0.03
83	0.94±0.01	8.93±0.21	0.58±0.02
85	0.93±0.02	9.04±0.25	0.59±0.03
87	0.93±0.01	9.08±0.28	0.59±0.02
89	0.99±0.03	9.12±0.32	0.59±0.02
91	0.94±0.01	9.15±0.24	0.59±0.01
93	0.95±0.01	9.34±0.29	0.59±0.03
95	0.96±0.01	9.29±0.26	0.60±0.02
97	0.96±0.01	9.31±0.31	0.59±0.02
99	1.01±0.02	9.55±0.30	0.61±0.03
101	1.02±0.01	9.55±0.27	0.60±0.03
103	1.01±0.04	9.37±0.19	0.60±0.02
105	1.03±0.01	9.46±0.25	0.61±0.03
107	1.01±0.01	9.56±0.28	0.61±0.02
109	1.02±0.03	9.62±0.33	0.63±0.03
111	1.04±0.02	9.51±0.33	0.62±0.02
113	1.06±0.03	9.47±0.30	0.63±0.03
115	1.07±0.04	9.61±0.28	0.62±0.02

ในขณะที่ค่าความถ่วงจำเพาะของมะม่วงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 0.94–1.01 ในช่วงก่อนผลแก่ และเมื่อมะม่วงมีค่าปริมาณน้ำตาลมากกว่า 8°Brix ค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเกิน 1.00 โดยมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.01–1.04 ในช่วงผลแก่ และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงผลแก่เกินระหว่าง 1.04–1.07 (ตารางที่ 50) ค่าความถ่วงจำเพาะที่มีค่าเกิน 1.00 ในช่วงที่มีค่าปริมาณน้ำตาล 8.14° Brix ซึ่งอยู่ในช่วงหลัง 99 วันหลังติดผลน่าจะใช้เป็นตัวชี้วัดการแก่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับที่ดวงตรา และคณะ (2527) ที่ระบุว่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.03–1.04 ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้

แต่อย่างไรก็ตามการวัดความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงในสวนทำได้ยากจึงอาจไม่สะดวกในทางปฏิบัติ

จากภาพที่ 31 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลและค่าความถ่วงจำเพาะที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความกลมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าเมื่อมะม่วงน้ำดอกไม้มีอายุมากขึ้นผลจะมีขนาดโตขึ้นในทุกๆด้านจึงส่งผลให้ค่าความกลมมีการเปลี่ยนแปลงน้อย สอดคล้องกับงานของ Jha *et al.* (2006a) ที่พบว่า มะม่วงพันธุ์ Dashehari เมื่อแก่ผลจะมีขนาดโตขึ้น แต่ความกลมไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ขณะที่เมื่อผลแก่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเกิน 1.00 ซึ่งแสดงว่าผลมะม่วงอยู่ในระยะการแก่ที่สามารถเก็บเกี่ยวได้



ภาพที่ 31 ค่า SG, SIZE และ Sphericity ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้

ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้จะวัดเปรียบเทียบกันสามวิธี การวัดความแน่นเนื้อจากการกด การวัดดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดแรงกระแทก และการวัดดัชนีความแน่นเนื้อจากการเจาะเสียง การวัดความแน่นเนื้อจากการกดโดยใช้เครื่องวัดแรงกด (Universal Testing Machine Lloyd EZ 20) เลือกใช้ Load cell ขนาด 500 นิวตัน และหัวกดแบบมนขนาด 6 มิลลิเมตรติดตั้งกับเครื่อง ตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ 25 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน (ASAE

Standard, 1998) กดลงบนผลมะม่วงที่วางบนพื้นทรายชั้นในกระบะ จนกระทั่งผิวถูกกดทะลุถึงเนื้อ ในการกดแต่ละครั้งจะได้กราฟแรงและการเปลี่ยนรูป (Force-Deformation Curve) คำนวณค่าความแน่นเนื่องจากค่าความลาดชันของกราฟแรงและการเปลี่ยนรูป (Force-Deformation Curve) ที่ 30 เปอร์เซนต์ ของแรงกดสูงสุด แล้วนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์หาค่าความแน่นเนื้อของมะม่วง

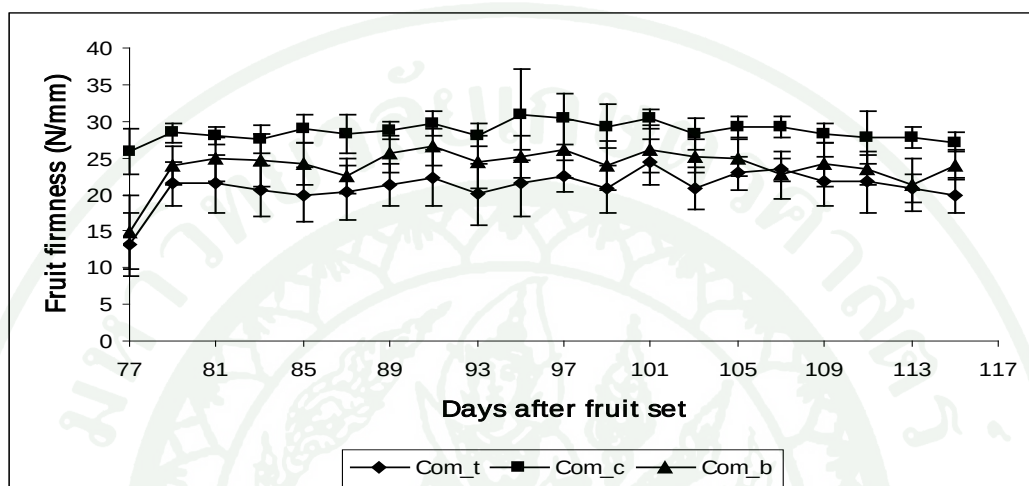
ตารางที่ 51 ค่า Compression Firmness ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit	Firmness (Compression : N/mm)				
	set	Top	Center	Bottom	Average
77		13.17±4.38	25.78±3.11	14.90±4.97	17.95±2.87
79		21.48±3.01	28.42±1.25	24.00±2.70	24.64±1.58
81		21.51±3.98	27.94±1.21	24.81±3.06	24.75±2.06
83		20.53±3.49	27.57±1.98	24.63±3.53	24.24±2.28
85		20.00±3.79	28.97±1.97	24.16±2.84	24.38±2.40
87		20.25±3.68	28.24±2.60	22.48±2.45	23.65±2.05
89		21.21±2.86	28.65±1.20	25.53±2.47	25.13±1.67
91		22.27±3.85	29.70±1.58	26.51±2.53	26.16±1.97
93		20.05±4.20	28.12±1.62	24.45±3.60	24.20±2.18
95		21.58±4.56	30.88±6.28	25.13±2.83	25.86±2.49
97		22.52±2.27	30.39±3.46	26.22±4.06	26.38±2.03
99		20.80±3.25	29.33±3.02	24.00±3.41	24.71±1.90
101		24.49±3.13	30.32±1.40	26.22±3.14	27.01±1.51
103		20.80±2.91	28.27±2.20	25.24±2.36	24.77±1.76
105		22.89±2.29	29.29±1.40	25.00±2.43	25.73±1.49
107		23.36±1.50	29.22±1.45	22.67±3.31	25.08±1.50
109		21.88±3.37	28.37±1.39	24.16±3.00	24.81±1.57
111		21.70±4.15	27.79±3.65	23.37±2.05	24.29±2.50
113		20.83±1.84	27.77±1.37	21.30±3.62	23.30±1.74
115		19.89±2.48	27.16±1.26	23.97±2.05	23.67±1.37

จากผลการทดลองวัดความแน่นเนื้อจากการกด (compression) ของมะม่วง 3 จุด ที่ขั้วผล (stem) กลางผล และปลายผล (apex) พบว่า ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าสูงสุดโดยมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกแล้วลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต โดยมีค่าระหว่าง 28.42-27.16 N/mm รองลงมาคือปลายผลจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกแล้วลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตเช่นกัน โดยมีค่าระหว่าง 24.81-23.97 N/mm ส่วนขั้วผลมีค่าต่ำสุดโดยมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกแล้วลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโต โดยมีค่าระหว่าง 21.48-19.89 N/mm ขณะที่ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยจากการกดผลมะม่วงที่วัดได้มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของผลในระยะก่อนผลแก่ (immature) และหลังจากช่วงระยะผลแก่และผลแก่เกินค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยจะเริ่มมีค่าลดลงระหว่าง 26.38 - 23.30 N/mm (ตารางที่ 51) ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพคตินโพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995) ความแน่นเนื้อเฉลี่ยที่เหมาะสมจะมีค่า 26.38 N/mm เมื่อมะม่วงมีค่าปริมาณน้ำตาล 8.14°Brix ขณะที่มะม่วงมีอายุ 99 วันหลังติดผล สอดคล้องกับงานของ Jha *et al.* (2006a) ที่ได้กล่าวว่า เมื่อมะม่วงมีความแน่นเนื้อสูงสุด มะม่วงจะมีค่าปริมาณน้ำตาลประมาณ 8.10°Brix ซึ่งมะม่วงจะมีความเนื้อแน่นในช่วงแก่เต็มที่ แต่จะเริ่มมีความแน่นเนื้อลดลงเมื่อถึงช่วงอายุแก่เกินไป และสอดคล้องกับงานของ Jarimopas *et al.* (2006) ที่เสนอแนะว่ามะม่วงน้ำดอกไม้จะแก่เต็มที่เมื่อมีอายุ 99 วันหลังติดผลมีความแน่นเนื้อ 28.54 N/mm หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากผลของความเครียดและความเค้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโต เช่นเดียวกับที่ ดวงตรา (2527) พบว่า มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จะมีค่าความแน่นเนื้อลดลงตามอายุที่มากขึ้น โดยผลอายุ 90 วันหลังติดผลมีความแน่นเนื้อ 15.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อผลอายุ 99 และ 108 วันหลังติดผลความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงเหลือ 11.3 และ 9.6 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ

จากภาพที่ 32 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อจากการกดที่มีค่าสูงในช่วงก่อนผลแก่แล้วมีค่าค่อยๆลดลงในช่วงผลแก่และผลแก่เกิน โดยความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่ามากที่สุด ส่วนขั้วผลจะมีค่าต่ำสุด จากผลการทดลอง ค่าความแน่นเนื้อจากการกดของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่วัดได้ จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงก่อนผลแก่จนกระทั่งถึงช่วงระยะผลแก่จัดจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากผลมะม่วงเริ่มสุก ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ เพคตินโพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995) เพราะผลมะม่วงอายุน้อยมีเพคตินมากกว่าผลอายุมาก เพคตินในผลมะม่วงดิบมีโมเลกุลขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ เพคตินชนิดนี้ทำให้แต่ละเซลล์ติดยึดเกาะกันอย่างแน่นระหว่างผลยังดิบอยู่ ผลมะม่วงมีความแน่นเนื้อลดลงมากระหว่างการสุกเพราะเพคตินมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลให้เล็กลง และมีการละลายน้ำ

เพิ่มขึ้นทำให้เซลล์ยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อจึงเกิดขึ้น (สายชล และคณะ, 2535)



ภาพที่ 32 ค่า Fruit firmness ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

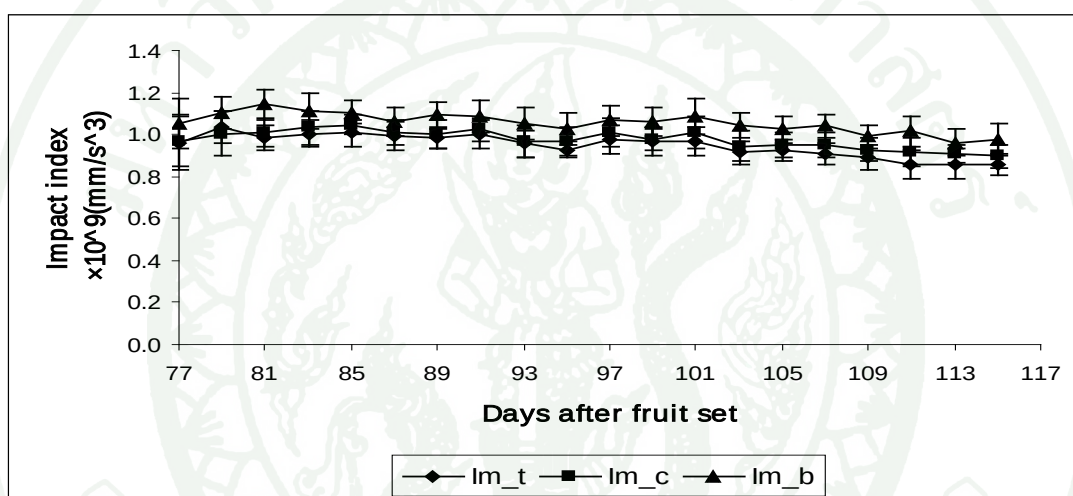
ขณะที่ค่าดัชนีความแน่นเนื้อที่วัดได้จากการวัดแรงกระแทก (impact) ทำการวัด 3 จุด เช่นกัน โดยวัดที่ขั้วผล(stem) กลางผล และปลายผล(apex) ใช้หัวกระแทกที่จะตกอย่างอิสระปลาย หัวกลมขนาด 6 มม. มีน้ำหนัก 12 กรัม ติดอุปกรณ์วัดอัตราเร่งความถี่สูง (BBN Model 501, miniature) ความไว 1 mV/ms^2 ความเร่งสูงสุด 2050 m/s^2 ปลอยหัวกระแทกควบคุมด้วย แม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีระยะความสูงของปลายหัวกระแทกอยู่ห่างจากผิวมะม่วงที่วางอยู่ด้านล่าง 2 ซม. ลงกระแทกผลมะม่วงที่วางไว้บนฐานดินน้ำมันเพื่อรับแรงกระแทกจากหัวกระแทก จากผลการ ทดลอง พบว่า ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดด้วยการกระแทกทางด้านปลายผลจะมีค่าสูงสุดโดย มีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง $1.14\text{-}0.97 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ รองลงมาคือตรง กลางผล จะมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตเช่นกันโดยมีค่าระหว่าง $1.05\text{-}0.90 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ ส่วนด้านขั้วผลมีค่าต่ำสุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตรงกลางผลโดยมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอด ช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง $1.04\text{-}0.86 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ ขณะที่ค่าดัชนีความแน่นเนื้อเฉลี่ยจะมี ค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตหรือระยะก่อนผลแก่ และเมื่อถึงระยะผลแก่และผล แก่เกินค่าดัชนีความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงจาก $1.00\text{-}0.91 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ (ตารางที่ 52) ซึ่งจะเห็นว่าค่า ดัชนีความแน่นเนื้อเฉลี่ยจากการวัดด้วยการกระแทกจะมีค่า $1.00 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ เมื่อมะม่วงมีค่าปริมาณ น้ำตาล 8.14°Brix ที่อายุผล 99 วันหลังติดผล สอดคล้องกับงานของ Jarimopas *et al.* (2006) ที่

เสนอแนะว่ามะม่วงน้ำดอกไม้จะแก่เต็มที่เมื่อมีอายุ 99 วันหลังติดผลมีค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดแรงกระแทก $0.93 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากผลของความเครียดและความเค้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโต

ตารางที่ 52 ค่า Impact index Firmness ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	Firmness (Impact index* 10^9 :mm/sec ³)			
	Top	Center	Bottom	Average
77	0.96±0.13	0.97±0.13	1.05±0.12	0.99±0.08
79	1.04±0.08	1.00±0.10	1.10±0.08	1.05±0.05
81	0.98±0.06	1.01±0.06	1.14±0.07	1.04±0.05
83	1.00±0.07	1.03±0.08	1.11±0.09	1.05±0.06
85	1.01±0.06	1.05±0.05	1.11±0.06	1.05±0.04
87	0.99±0.06	1.01±0.06	1.06±0.07	1.02±0.04
89	0.98±0.05	1.00±0.07	1.09±0.07	1.03±0.04
91	1.00±0.07	1.02±0.06	1.09±0.08	1.04±0.06
93	0.96±0.06	0.97±0.08	1.05±0.08	0.99±0.06
95	0.93±0.04	0.97±0.07	1.03±0.07	0.97±0.05
97	0.98±0.07	1.01±0.07	1.07±0.07	1.02±0.06
99	0.96±0.06	0.98±0.05	1.06±0.06	1.00±0.04
101	0.97±0.07	1.01±0.08	1.08±0.09	1.02±0.05
103	0.91±0.06	0.94±0.07	1.04±0.06	0.97±0.05
105	0.93±0.05	0.95±0.06	1.03±0.06	0.97±0.04
107	0.91±0.05	0.95±0.06	1.04±0.06	0.97±0.04
109	0.89±0.06	0.93±0.06	0.99±0.05	0.94±0.04
111	0.86±0.07	0.92±0.07	1.01±0.07	0.93±0.06
113	0.86±0.07	0.91±0.04	0.96±0.06	0.91±0.05
115	0.86±0.05	0.90±0.06	0.97±0.07	0.91±0.04

จากภาพที่ 33 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดแรงกระแทก ที่มีค่าสูงในช่วงก่อนผลแก่แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆในช่วงผลแก่และผลแก่เกินโดยความแน่นเนื้อที่ ปลาย ผลจะมีค่ามากที่สุด ส่วนที่ขั้วผลจะมีค่าต่ำสุด จากผลการทดลอง ค่าดัชนีความแน่นเนื้อของ มะม่วงน้ำดอกไม้ที่วัดได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงก่อนผลแก่ จนกระทั่งถึงช่วงระยะผลแก่จัดจะมี ค่าลด ลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากผลมะม่วงเริ่มสุก ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ของเปคตินโพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995)



ภาพที่ 33 ค่า Impact index firmness ที่ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

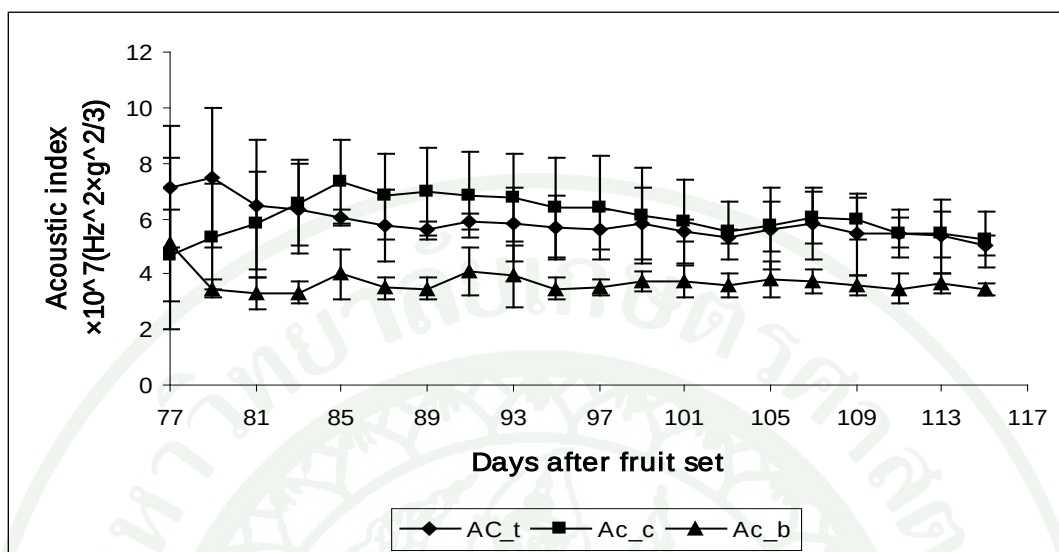
นอกจากนี้ ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดด้วยการเคาะเสียง (acoustic) ซึ่งทำการทดลอง โดยมะม่วงถูกจับห้อยในแนวดิ่ง และถูกเคาะในแนวนอนด้วยแท่งสแตนเลสที่มีหัวกลม จำนวน 3 จุด บริเวณขั้วผล (stem) กลางผล และปลายผล (apex) สัญญาณเสียงที่ได้จะถูกป้อนเข้าโปรแกรม โดยผ่านไมโครโฟนวงจรรับ ขยาย และ กรองสัญญาณเสียงก่อนเข้าสู่การ์ดเสียงของเครื่อง คอมพิวเตอร์เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วเปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นค่าความถี่ สั้นพ้อง โดยใช้ fast Fourier transform algorithm ในโปรแกรม MathLab ให้ค่า resolution 15 Hz ต่อจุด และทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์หาค่า stiffness coefficient ค่าดัชนีความ แน่นเนื้อ จากการวัดความแน่นเนื้อด้วยการเคาะเสียง พบว่า ค่าดัชนีความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมี ค่าสูงสุดโดยมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง $7.32-5.22 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ รองลงมาคือด้านขั้วผล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตรงกลางผลจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการ เจริญเติบโตเช่นกันโดยมีค่าระหว่าง $7.13-5.06 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ ส่วนด้านปลายผลมีค่าต่ำสุดและมีค่าต่ำ

กว่าตรงกลางและด้านข้างผล โดยมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง $5.11-3.44 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ ขณะที่ค่าดัชนีความแน่นเนื้อเนื้อจะมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตหรือระยะก่อนผลแก่แล้วค่อยๆลดลงระหว่าง $5.64-5.22 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ และเมื่อถึงระยะผลแก่และผลแก่เกินไป ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงเรื่อยๆจาก $5.22 - 4.57 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ ซึ่งจะเห็นว่าค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดด้วยการเคาะเสียงจะมีค่า $5.22 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ เมื่อมะม่วงมีค่าปริมาณน้ำตาล 8.14°Brix ที่อายุผล 99 วันหลังติดผล (ตารางที่ 53) เสียงเคาะของผลมะม่วงจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เมื่อเมล็ดมะม่วงมีการพัฒนาและช่องว่างระหว่างเนื้อเมล็ดและเปลือกหุ้มเปลี่ยนแปลง (Marcus *et al.*, 2005)

จากภาพที่ 34 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการเคาะเสียงที่มีค่าสูงในช่วงก่อนผลแก่แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆในช่วงผลแก่และผลแก่เกินไป โดยความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่ามากที่สุด ส่วนที่ปลายผลจะมีค่าต่ำสุด จากผลการทดลอง ค่าดัชนีความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่วัดได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงก่อนผลแก่ จนกระทั่งถึงช่วงระยะผลแก่จัดจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากผลมะม่วงเริ่มสุก ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปคติน โพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Katra *et al.*, 1995)

ตารางที่ 53 ค่า Acoustic index Firmness ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	Firmness (Acoustic index $\times 10^7 : \text{Hz}^2 \cdot \text{m}^{2/3}$)			
	Top	Center	Bottom	Average
77	7.13 $\pm$ 2.20	4.67 $\pm$ 1.64	5.11 $\pm$ 3.07	5.64 $\pm$ 1.51
79	7.46 $\pm$ 2.52	5.35 $\pm$ 1.92	3.48 $\pm$ 0.34	5.43 $\pm$ 1.05
81	6.49 $\pm$ 2.35	5.81 $\pm$ 1.90	3.32 $\pm$ 0.58	5.21 $\pm$ 1.06
83	6.34 $\pm$ 1.62	6.56 $\pm$ 1.55	3.33 $\pm$ 0.39	5.41 $\pm$ 0.85
85	6.03 $\pm$ 0.32	7.32 $\pm$ 1.50	3.99 $\pm$ 0.88	5.78 $\pm$ 0.62
87	5.78 $\pm$ 1.29	6.79 $\pm$ 1.53	3.49 $\pm$ 0.41	5.35 $\pm$ 0.72
89	5.59 $\pm$ 0.31	6.96 $\pm$ 1.57	3.48 $\pm$ 0.40	5.34 $\pm$ 0.58
91	5.91 $\pm$ 0.29	6.84 $\pm$ 1.54	4.10 $\pm$ 0.84	5.62 $\pm$ 0.58
93	5.80 $\pm$ 1.35	6.78 $\pm$ 1.59	3.94 $\pm$ 1.11	5.51 $\pm$ 0.73
95	5.67 $\pm$ 1.13	6.38 $\pm$ 1.77	3.47 $\pm$ 0.41	5.18 $\pm$ 0.67
97	5.61 $\pm$ 0.74	6.37 $\pm$ 1.88	3.53 $\pm$ 0.28	5.17 $\pm$ 0.59
99	5.83 $\pm$ 1.30	6.09 $\pm$ 1.71	3.73 $\pm$ 0.36	5.22 $\pm$ 0.80
101	5.56 $\pm$ 0.40	5.88 $\pm$ 1.53	3.73 $\pm$ 0.61	5.06 $\pm$ 0.59
103	5.33 $\pm$ 0.24	5.56 $\pm$ 1.06	3.58 $\pm$ 0.42	4.82 $\pm$ 0.38
105	5.64 $\pm$ 1.44	5.73 $\pm$ 0.90	3.82 $\pm$ 0.63	5.06 $\pm$ 0.57
107	5.81 $\pm$ 1.31	6.03 $\pm$ 0.95	3.71 $\pm$ 0.43	5.18 $\pm$ 0.53
109	5.43 $\pm$ 1.49	5.99 $\pm$ 0.78	3.61 $\pm$ 0.36	5.01 $\pm$ 0.60
111	5.48 $\pm$ 0.54	5.46 $\pm$ 0.87	3.47 $\pm$ 0.54	4.80 $\pm$ 0.43
113	5.36 $\pm$ 1.31	5.45 $\pm$ 0.84	3.64 $\pm$ 0.35	4.82 $\pm$ 0.61
115	5.06 $\pm$ 0.35	5.22 $\pm$ 1.01	3.44 $\pm$ 0.24	4.57 $\pm$ 0.39



ภาพที่ 34 ค่า Fruit firmness (Acoustic index) ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในปีที่สอง

สมบัติด้านสีของมะม่วงน้ำดอกไม้

การวัดค่าระดับสี L, a, b โดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer Hunter Color Flex 450) โดยเลือกพื้นที่การทำงานที่แสงตอนกลางวัน (Day light :D65) มีมุมการวัดที่ 10 องศา มีช่องเปิดสำหรับแสงผ่านและสำหรับวางตัวอย่างขนาด 31.8 มิลลิเมตรทิศทางของแสงและตัวอย่างเป็นมุม 45°/0° เลือกหน่วยการวัดเป็น Hunter Lab ซึ่งจะทำให้ค่าสีในหน่วย L a และ b และได้ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ทำการสอบเทียบเครื่อง (Calibrate) ด้วยแผ่นมาตรฐานสีดำและสีขาวที่มีมากับเครื่อง วางผลมะม่วงตามแนวนอนที่ช่องวางตัวอย่างโดยทำการวัดผลละ 6 จุด บริเวณขั้วผล(stem) กลางผล และปลายผล(apex) ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง บันทึกค่าดัชนีสีชาวดัชนีสีเหลือง ดัชนีความสว่าง และค่าการสะท้อนแสงที่ระดับความยาวคลื่นต่างๆ จากผลการทดลอง พบว่า ในช่วงแรกของการพัฒนาผลมะม่วงในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) ค่าความสว่าง L จะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงระหว่าง 60.98-69.98 จากนั้นจะมีค่าคงที่ในระยะผลแก่แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกินที่ 71.18 และ 71.45 ตามลำดับ ค่า a ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเขียวของผิวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก -6.72 เป็น -2.98 ระหว่างระยะก่อนผลแก่ เมื่อถึงระยะผลแก่ก็ยังมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก -2.45 เป็น -0.74 และยังมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าถึง 0.76 เมื่อสิ้นสุดระยะผลแก่เกิน แสดงว่าผิวเปลือกจะมีค่าสีเขียวลดลงและแสดงค่าสีแดงเพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันค่าสีเหลืองของผิวเปลือกมะม่วง b ก็จะมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นในระยะก่อนผลแก่จาก 24.50 ถึง

25.37 แล้วมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกินจาก 24.77 ถึง 24.37 (ตารางที่ 54) ค่าสีเหลืองที่ค่อนข้างคงที่ที่น่าจะเกิดจากการห่อผลด้วยถุงกระดาษเคลือบคาร์บอนสีดำด้านในทำให้คลอโรฟิลล์ของผลมะม่วงภายในถุงเมื่อไม่ถูกแสงก็จะเริ่มสลายตัวไป ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดน้อยลงดังนั้นพอผลแก่สีเขียวของคลอโรฟิลล์จึงแทบไม่มีก็จะทำให้สีเหลืองทองแสดงออกมาตั้งแต่มะม่วงยังอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ ผลการเปลี่ยนแปลงของสีแสดงการลดลงของสีเขียว และการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองอ่อนๆเมื่อมะม่วงเริ่มแก่ซึ่งคล้ายกับ Li (1997) กล่าวว่าสัญญาณแรกที่แสดงว่ามะม่วงสุกแก่ คือการเปลี่ยนแปลงของสีจากเขียวเป็นเหลืองซึ่งเกิดจากการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในผิวเปลือกมะม่วง ซึ่งสอดคล้องกับ Kays (1991) ที่กล่าวว่า ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวหายไป ตามปกติจะเกิดร่วมกับการเกิดรงควัตถุชนิดอื่นๆเช่น แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน จะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของแคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมาได้

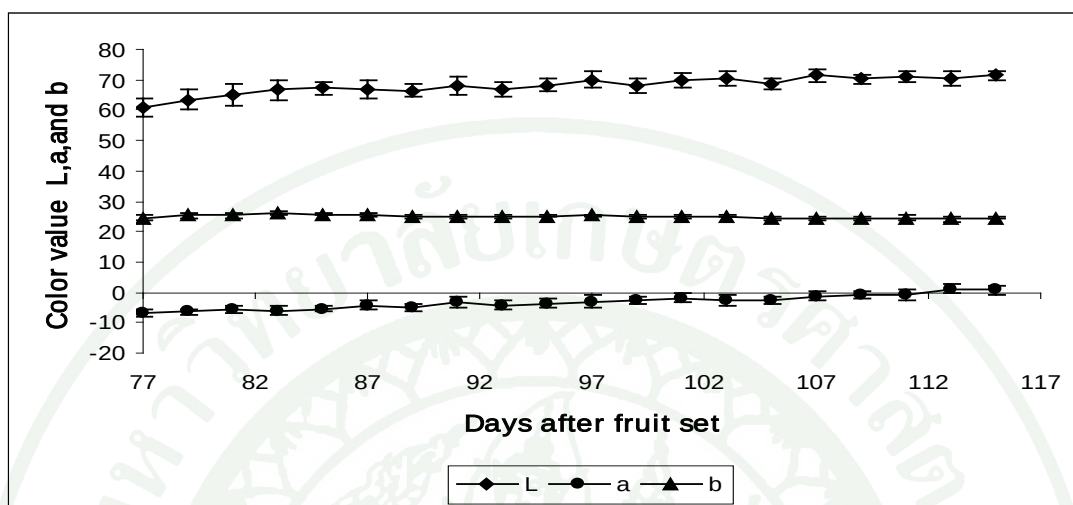
จากภาพที่ 35 จะเห็นว่ามะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าความสว่างที่ผิวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดอายุการเจริญเติบโตของผล ขณะเดียวกันค่าสีเขียวที่ผิวก็จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากมะม่วงถูกห่อผลด้วยถุงกระดาษเคลือบคาร์บอนด้านในทำให้ผิวมะม่วงไม่ถูกกับแสงแดดโดยตรง ส่งผลให้คลอโรฟิลล์ของผลมะม่วงสลายตัวไป สีเขียวของผิวเปลือกจึงลดลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงในช่วงผลแก่เกิน ขณะเดียวกันสีเหลืองที่ผิวก็จะแสดงออกมาเร็วกว่าปกติทำให้ผิวเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ได้มีสีเหลืองทองสว่างหลังช่วงผลแก่ และจะมีสีแดงเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกิน ซึ่งแตกต่างจากผลมะม่วงที่ไม่ได้ห่อด้วยถุงกระดาษที่ผิวเปลือกยังคงมีสีเขียวสว่างปกติ

ค่าการสะท้อนแสงของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่น 400 และ 700 นาโนเมตรไม่แสดงการบ่งชี้อะไรที่ชัดเจนนัก ยกเว้นค่าการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร และมากกว่า 670 นาโนเมตร เมื่อมะม่วงมีอายุมากขึ้นค่าการสะท้อนแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกช่วงความยาวคลื่น และมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร โดยมะม่วงในระยะก่อนผลแก่ 77-99 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร แล้วลดลงในอัตราที่รวดเร็วมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 640-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร ส่วนมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในช่วงผลแก่จะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นใน

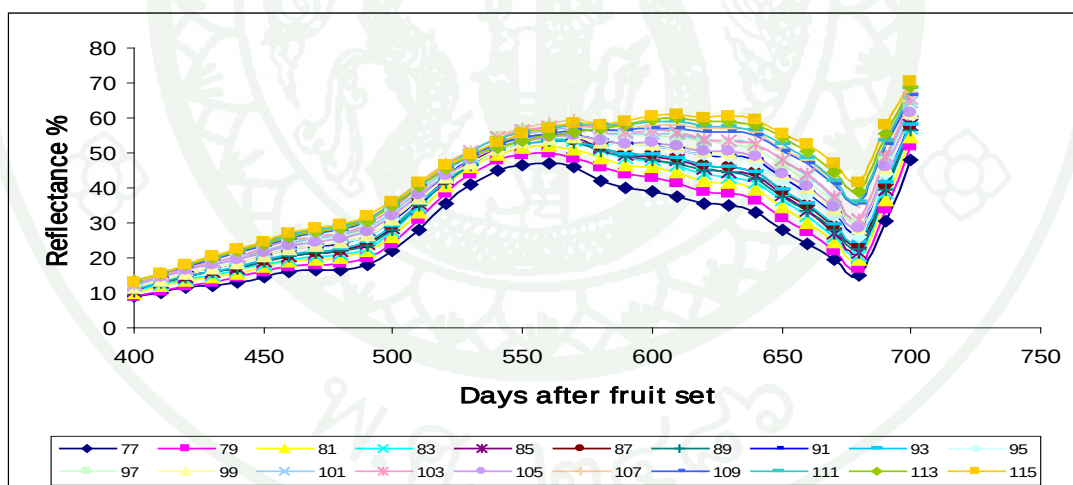
อัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าคงที่ในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร แล้วลดลงในอัตราที่รวดเร็วมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 640-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร ขณะที่ในช่วงผลแก่เกินค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตรจะมีค่าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 36) แสดงว่ามะม่วงก่อนผลแก่ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตรจะมีค่าลดลง เมื่อมะม่วงเริ่มแก่จะมีค่าค่อนข้างคงที่ และเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกิน

ตารางที่ 54 ค่า L, a และ b ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	L	a	b
77	60.98±3.06	-6.72±1.00	24.50±0.93
79	63.36±3.22	-6.30±0.86	25.26±0.71
81	64.98±3.42	-5.81±1.17	25.37±0.84
83	66.61±3.24	-5.97±1.47	26.03±0.78
85	67.23±2.27	-5.37±0.94	25.73±0.45
87	66.92±3.17	-4.35±1.50	25.42±0.76
89	66.46±2.17	-4.85±1.09	25.05±0.51
91	68.23±3.08	-3.51±1.81	25.12±0.61
93	66.85±2.19	-4.25±1.42	25.02±0.45
95	68.20±2.19	-3.65±1.54	24.93±0.30
97	69.98±2.66	-2.98±1.88	25.37±0.34
99	68.00±2.34	-2.45±1.24	24.77±0.45
101	69.74±2.36	-1.91±1.49	25.03±0.62
103	70.52±2.51	-2.56±1.59	25.12±0.36
105	68.43±1.82	-2.74±1.08	24.38±0.57
107	71.32±1.87	-1.26±1.44	24.44±0.56
109	70.28±1.50	-0.88±1.18	24.17±0.56
111	71.18±1.84	-0.74±1.73	24.50±0.72
113	70.49±2.48	1.05±1.44	24.10±0.99
115	71.45±1.43	0.76±1.32	24.37±0.33



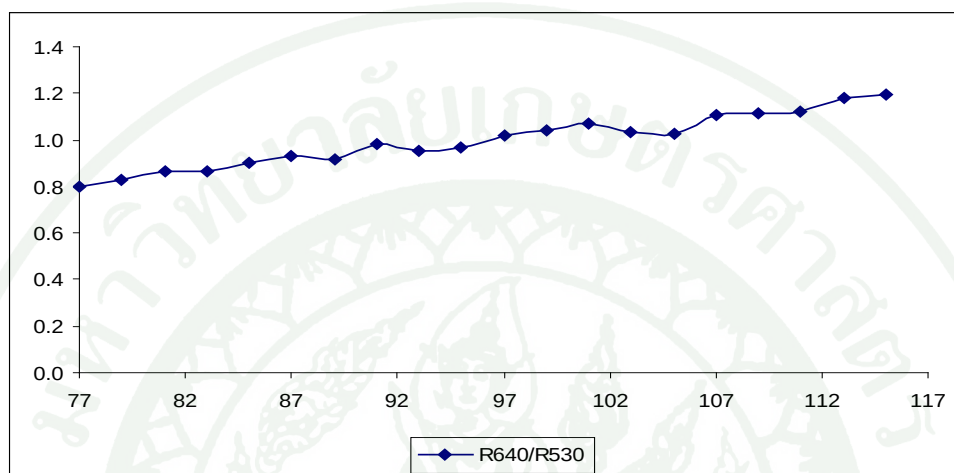
ภาพที่ 35 ค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง



ภาพที่ 36 ค่า Visible Spectrum ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

แต่เมื่อทำการปรับค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่แสดงการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ (Merzlyak *et al.*, 2003) ด้วยค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่แสดงค่าแคโรทีนอยด์บนพื้นหลังของคลอโรฟิลล์ (Merzlyak *et al.*, 2003) ได้ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 แล้วนำไปหาความสัมพันธ์กับวันหลังติดผล (DAFS) พบว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่ดีมาก ($R^2 = 0.9606$) โดยค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง

R640/R530 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตของผลมะม่วง (ภาพที่ 37) จึงน่าจะใช้เป็นตัวชี้วัดแบบไม่ทำลายอีกตัวหนึ่งที่จะนำไปทำนายความแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้



ภาพที่ 37 ค่าอัตราส่วน R640/R530 ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

การวิเคราะห์ผลการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามระดับการแก่

สมบัติแบบไม่ทำลายที่ใช้ในการทำนายคุณภาพของมะม่วงถูกแบ่งเป็น 5 โมเดล โมเดลที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 36 ตัวแปรคือ น้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โมเดลที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 9 ตัวแปรคือ น้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าสี L, a, b และ ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 โมเดลที่ 3 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 8 ตัวแปรคือ น้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าสี L, a, b โมเดลที่ 4 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 6 ตัวแปรคือ น้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 และ โมเดล 5 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 35 ตัวแปรคือ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร (ตารางที่ 55)

ตารางที่ 55 สมบัติของมะม่วงที่ใช้ในทำนายคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ในปีที่สอง

Model	No. of Predictors	Properties
1	36	SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)
2	9	SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color L, a, b and Light reflectance ratio at R640/R530
3	8	SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color L, a, b
4	6	SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance ratio at R640/R530
5	35	SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

ตารางที่ 56 แสดงการแบ่งช่วงอายุการแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นสามช่วงโดยใช้การนับวันหลังติดผลเป็น ระยะก่อนผลแก่ (immature stage) 77-99 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 220 ผล ระยะผลแก่ (mature stage) 99-111 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 140 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) 111-115 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 40 ผล

ตารางที่ 56 ระยะเวลาและจำนวนผลมะม่วงเมื่อแบ่งกลุ่มตามความแก่เป็น 3 กลุ่มตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

พันธุ์มะม่วง	ระยะเวลา	Maturity stages		
		Immature	Mature	Over mature
น้ำดอกไม้	วันหลังติดผล	77-99	99-111	111-115
	จำนวนผล	220	140	40

ตารางที่ 57 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลตั้งแต่อายุ 77-115 วัน สามารถแบ่งระยะการแก่เป็น 3 ระยะ คือระยะก่อนผลแก่ ระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกิน พบว่า วันหลังติดผลมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ 87 ± 6.34 , 105 ± 4.01 และ 114 ± 1.01 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสมบัติแบบทำลาย

ส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากอายุการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นค่าความแน่นเนื่องจากการกดในช่วงก่อนผลแก่และช่วงผลแก่มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นคือ ค่า TSS จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 7.48 ± 0.65 , 8.36 ± 0.69 และ 9.60 ± 0.83 % ตามลำดับ ส่วนค่า TA จะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 2.71 ± 0.43 , 1.74 ± 0.35 และ 1.28 ± 0.21 % ตามลำดับ ทำให้ค่า TSS/TA มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 2.85 ± 0.69 , 5.05 ± 1.44 และ 7.72 ± 1.53 % ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความแน่นเนื่องจากการกดจะมีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงก่อนผลแก่และระยะผลแก่แล้วจะมีค่าลดลงในช่วงผลแก่เกินโดยมีค่า 28.61 ± 3.03 , 28.94 ± 2.33 และ 27.47 ± 1.34 N/mm ตามลำดับ

ตารางที่ 57 Destructive propertiesของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และวันหลังติดผลเมื่อแบ่งเป็น 3 กลุ่มในปีที่สอง

Properties	Immature	Mature	Over mature
DAFS	$87.00 \pm 6.34a^*$	$105.00 \pm 4.01b$	$114.00 \pm 1.01c$
TSS	$7.48 \pm 0.65a$	$8.36 \pm 0.69b$	$9.60 \pm 0.83c$
TA	$2.71 \pm 0.43c$	$1.74 \pm 0.35b$	$1.28 \pm 0.21a$
TSS/TA	$2.85 \pm 0.69a$	$5.05 \pm 1.44b$	$7.72 \pm 1.53c$
FC	$28.61 \pm 3.03b$	$28.94 \pm 2.33b$	$27.47 \pm 1.34a$

*ตัวอักษรในแถวเดียวกันแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 58 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามวันหลังติดผลตั้งแต่อายุ 77-115 วัน สามารถแบ่งระยะการแก่เป็น 3 ระยะ คือระยะก่อนผลแก่ ระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกิน พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากอายุการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 510-590 นาโนเมตร ในช่วงผลแก่และช่วงผลแก่เกินมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นคือ ค่า SG จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 0.95 ± 0.03 , 1.02 ± 0.02 และ 1.06 ± 0.03 ตามลำดับ ค่า Size จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 9.00 ± 0.42 , 9.52 ± 0.29 และ 9.54 ± 0.30 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำให้ค่า Sphere มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 0.59 ± 0.03 , 0.61 ± 0.03 และ 0.63 ± 0.03 % ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความแน่นเนื่องจากการกระแทกจะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่า 1.00 ± 0.08 , 0.95 ± 0.07 และ

$0.90 \pm 0.05 \times 10^9 \text{ mm/sec}^3$ ตามลำดับ และค่าความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียงจะมีค่าลดลงตามระยะการแกว่งสามระดับโดยมีค่า 6.35 ± 1.80 , 5.82 ± 1.16 และ $5.34 \pm 0.92 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ ตามลำดับ ส่วนค่าความสว่าง L จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแกว่งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 66.35 ± 3.64 , 69.93 ± 2.35 และ 70.97 ± 2.06 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสีเขียว a จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแกว่งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย -4.89 ± 1.79 , -1.79 ± 1.58 และ 0.90 ± 1.37 ตามลำดับ ส่วนค่าสีเหลือง b จะมีค่าลดลงตามระยะการแกว่งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 25.25 ± 0.74 , 24.63 ± 0.64 และ 24.23 ± 0.74 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแกว่งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 0.91 ± 0.09 , 1.07 ± 0.08 และ 1.19 ± 0.07 ตามลำดับ ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 400-500 นาโนเมตร จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแกว่งสามระดับ ส่วนค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 510-590 นาโนเมตร จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงผลก่อนแกว่งถึงระยะผลแกว่งแล้วมีค่าไม่แตกต่างกันในระยะผลแกว่งถึงระยะผลแกว่งเกิน หลังจากนั้นค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 600-700 นาโนเมตร จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแกว่งสามระดับเช่นเดิม

จากการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม แล้วแบ่งกลุ่มสมบัติแบบไม่ทำลายที่ใช้ในการทำนายคุณภาพของมะม่วงเป็น 5 โมเดล โมเดลที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 36 ตัวแปร โมเดลที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 9 ตัวแปร โมเดลที่ 3 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 8 ตัวแปร โมเดลที่ 4 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 6 ตัวแปร โมเดลที่ 5 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 35 ตัวแปร จากผลการทำนาย พบว่า ค่า Eigenvalue ของโมเดล 1 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือโมเดล 5, 2, 3 และ 4 คือ 5.658, 4.057, 3.934, 3.666, และ 3.518 ตามลำดับ และมีค่าความผันแปรของข้อมูล (% of Variance) เท่ากับ 93.5, 96.2, 96.7, 98.2, และ 91.2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อลดจำนวนตัวแปรลงจะทำให้ค่า % of Variance มีค่าสูงกว่า ได้ค่า Canonical correlation เท่ากับ 0.922, 0.893, 0.886, 0.882, และ 0.896 ตามลำดับ และโมเดล 1 มีค่า % Correctly classified in cross validation มากที่สุด รองลงมาคือโมเดล 5 คือ 95.0, 91.0, 90.3, 88.5, และ 91.5 ตามลำดับ ซึ่งพอสรุปได้ว่า โมเดล 1 โดยใช้ตัวแปรในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 95.0 % รองลงมาคือโมเดล 5 ที่ลดตัวแปรน้ำหนักจำเพาะออกไปมีค่าการทำนายถูกต้อง 91.5 % (ตารางที่ 59)

ตารางที่ 58 Non destructive properties ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อแบ่งเป็น 3 กลุ่มในปีที่สอง

Properties	Immature	Mature	Over mature
SG	0.95±0.03a	1.02±0.02b	1.06±0.03c
SIZE	9.00±0.42a	9.52±0.29b	9.54±0.30c
SPHERE	0.59±0.03a	0.61±0.03b	0.63±0.03c
IM_C	1.00±0.08c	0.95±0.07b	0.90±0.05a
AC-C	6.35±1.80c	5.82±1.16b	5.34±0.92a
L	66.35±3.64a	69.93±2.35b	70.97±2.06c
a	-4.89±1.79a	-1.79±1.58b	0.90±1.37c
b	25.25±0.74c	24.63±0.64b	24.23±0.74a
R640/R530	0.91±0.09a	1.07±0.08b	1.19±0.07c
R400	10.69±1.30a	12.52±1.06b	13.27±1.11c
R410	12.68±1.69a	14.89±1.32b	15.59±1.35c
R420	14.28±2.08a	16.97±1.63b	17.99±1.72c
R430	15.59±2.50a	18.81±1.97b	20.16±2.12c
R440	16.87±2.84a	20.62±2.26b	22.19±2.48c
R450	18.68±3.11a	22.76±2.43b	24.30±2.74c
R460	20.32±3.39a	24.82±2.59b	26.33±2.95c
R470	21.11±3.65a	26.06±2.77b	27.83±3.10c
R480	21.73±3.82a	27.08±2.89b	28.97±3.25c
R490	23.51±4.09a	29.18±3.07b	31.15±3.40c

ตารางที่ 58 Non destructive properties ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อแบ่งเป็น 3 กลุ่ม(ต่อ)

Properties	Immature	Mature	Over mature
R500	27.99±4.45a	33.63±3.20b	35.49±3.47c
R510	34.70±4.54a	39.66±3.10b	40.99±3.26b
R520	41.62±4.21a	45.29±2.79b	46.04±2.89b
R530	46.77±3.85a	49.27±2.58b	49.47±2.50b
R540	50.83±3.94a	53.04±2.66b	52.40±2.40b
R550	52.68±4.02a	55.09±2.67b	54.52±2.44b
R560	53.30±4.28a	56.23±2.87b	55.93±2.48b
R570	52.73±4.88a	56.85±3.32b	57.20±2.67b
R580	50.49±5.63a	55.94±3.73b	57.63±2.85b
R590	48.81±6.01a	55.51±4.09b	58.54±3.23b
R600	48.27±6.43a	55.94±4.52b	59.78±3.56c
R610	47.17±6.79a	55.71±4.95b	60.36±3.92c
R620	45.01±7.07a	54.25±5.35b	59.63±4.34c
R630	44.46±7.18a	54.03±5.50b	59.87±4.55c
R640	42.91±7.39a	52.95±5.70b	58.88±4.83c
R650	37.74±7.53a	48.38±6.13b	55.01±5.42c
R660	33.57±7.35a	44.41±6.35b	51.62±5.87c
R670	27.89±6.78a	38.28±6.30b	45.74±6.27c
R680	22.49±6.29a	32.46±6.36b	40.28±6.86c
R690	39.62±6.92a	49.81±6.14b	56.80±5.84c
R700	56.98±6.15a	65.07±4.74b	69.79±3.90c

*ตัวอักษรในแถวเดียวกันแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 59 เปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มในปีที่สอง

Model	Function 1			%Correctly classified in cross validation
	Eigenvalue	% of Variance	Canonical correlation	
1	5.658	93.5	0.922	95.0
2	3.934	96.2	0.893	91.0
3	3.666	96.7	0.886	90.3
4	3.518	98.2	0.882	88.5
5	4.057	91.2	0.896	91.5

ตารางที่ 60 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปร ในโมเดล 1 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 36 ตัวแปรซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงน้ำดอกไม้ให้มีหน่วย เดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 คือ ค่าการสะท้อนแสง R480 มีค่า 13.039 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 คือ ค่าการสะท้อนแสง R430 มีค่า -13.030

ตารางที่ 60 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.564	-0.068
SIZE	-0.051	0.149
SPHERE	0.097	-0.084
IM_C	-0.060	0.256
AC_C	-0.090	-0.140
R400	-0.697	0.693
R410	2.649	2.243
R420	-2.391	0.675
R430	0.746	-13.030
R450	-7.835	9.022
R480	13.039	-1.579
R500	-4.764	4.001
R530	1.831	-8.965
R540	-7.199	10.206
R550	4.936	-2.900

* Model 1 ประกอบด้วย 36 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

ตารางที่ 61 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนายใน Model 1 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่ คือ ค่า SG, R400, R480, R450, R430, R420, R410, R500, SIZE, SPHERE, Impact firmness, R530, และ Acoustic firmness มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า R550 และ R540 มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 ส่วนตัวแปรที่เหลือไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 61 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.605*	-0.099
R680a	0.390*	-0.040
R670a	0.387*	-0.031
R660a	0.374*	-0.022
R650a	0.361*	-0.015
R690a	0.358*	0.008
R400	0.356*	0.073
R480	0.354*	0.108
R640a	0.350*	0.004
R490a	0.349*	0.111
R630a	0.345*	0.004
R470a	0.345*	0.104
R620a	0.337*	0.008
R440a	0.332*	0.061
R450	0.331*	0.087
R460a	0.330*	0.105
R430	0.330*	0.064
R420	0.328*	0.085
R410	0.326*	0.119
R500	0.325*	0.113
R610a	0.320*	0.017
R700a	0.312*	0.054
R600a	0.305*	0.027
SIZE	0.287*	0.265
R590a	0.286*	0.036

ตารางที่ 61 (ต่อ)

Predictors	Function	
	1	2
R510a	0.278*	0.115
R580a	0.247*	0.091
SPHERE	0.228*	-0.045
R520a	0.220*	0.117
R570a	0.201*	0.151
IM_C	-0.193*	0.125
R530	0.156*	0.131
AC_C	-0.094*	0.050
R550	0.129	0.208*
R540	0.117	0.206*
R560a	0.159	0.190*

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 62 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 1 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 62 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความ
แก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	1304.255	1386.931	1437.726
SIZE	95.032	94.785	93.601
SPHERE	1190.208	1202.982	1218.309
IM_C	222.081	221.561	212.271
AC_C	2.008	1.692	1.760
R400	51.505	49.587	47.057
R410	-75.568	-67.319	-66.683
R420	61.934	57.041	53.489
R430	-80.602	-83.864	-70.806
R450	92.104	83.371	70.454
R480	35.573	50.674	59.964
R500	-118.069	-122.198	-127.043
R530	76.159	76.243	83.287
R540	-69.644	-75.904	-87.053
R550	55.329	60.509	65.469
(Constant)	-2190.358	-2252.635	-2286.759

*Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 63 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความ
แก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้าง
สมการจำแนกกลุ่ม(original) มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผล ในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้
ถูกต้อง 215 ผล คิดเป็นร้อยละ 97.7 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ
2.3 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 137 ผล คิดเป็น
ร้อยละ 97.9 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 1 ผล คิดเป็นร้อยละ 0.7 และอยู่ในช่วง
ผลแก่เกิน 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 1.4 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถ

ทำนายได้ถูกต้อง 35 ผล คิดเป็นร้อยละ 87.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ 12.5 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 213 ผล คิดเป็นร้อยละ 96.8 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 7 ผล คิดเป็นร้อยละ 3.2 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 134 ผล คิดเป็นร้อยละ 95.7 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 4 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.9 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 1.4 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 33 ผล คิดเป็นร้อยละ 82.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 7 ผล คิดเป็นร้อยละ 17.5 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1 ค่าการทำนายถูกต้องจะมีค่าสูงและมีค่าคลงเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 96.8% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 95.0%

ตารางที่ 63 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1

		Predicted Group Membership				Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	215	5	0	220
		Mature	1	137	2	140
		Over mature	0	5	35	40
	%	Immature	97.7	2.3	0	100.0
		Mature	0.7	97.9	1.4	100.0
		Over mature	0	12.5	87.5	100.0
Cross-validated	Count	Immature	213	7	0	220
		Mature	4	134	2	140
		Over mature	0	7	33	40
	%	Immature	96.8	3.2	0	100.0
		Mature	2.9	95.7	1.4	100.0
		Over mature	0	17.5	82.5	100.0

^a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

^b 96.8% of original grouped cases correctly classified.

^c 95.0% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 64 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 2 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 9 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงน้ำดอกไม้ให้มีหน่วยเดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 คือ ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 มีค่า 2.576 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 คือ ค่าสีเขียว a มีค่า 4.426

ตารางที่ 64 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.630	-0.037
SIZE	0.054	-0.487
SPHERE	0.081	-0.077
IM_C	-0.171	-0.203
AC_C	-0.104	0.191
R640/R530	2.576	-4.002
L	-0.544	-0.106
a	-1.590	4.426
b	-0.235	0.303

* Model 2 ประกอบด้วย 9 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color value L, a, b and Light reflectance ratio at R640/R530

ตารางที่ 65 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่ คือ ค่า

SG, a, R640/R530, L, Sphere, b, Impact firmness, และ Acoustic firmness มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า SIZE มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2

ตารางที่ 65 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.726*	0.007
a	0.595*	0.255
R640/R530	0.583*	0.103
L	0.309*	-0.238
SPHERE	0.274*	0.015
b	-0.266*	0.001
IM_C	-0.233*	-0.152
AC_C	-0.113*	-0.057
SIZE	0.341	-0.495*

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

ตารางที่ 66 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 2 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 66 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความ
แก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	1653.620	1730.761	1777.753
SIZE	6.542	7.735	6.282
SPHERE	739.643	751.668	754.351
IM_C	199.152	192.931	184.354
AC_C	-1.841	-2.133	-2.110
R640/R530	8283.608	8408.455	8409.724
L	-35.282	-35.845	-36.262
a	-373.725	-378.263	-376.748
b	34.203	32.868	32.736
(Constant)	-5080.102	-5234.352	-5232.680

Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 67 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความ
แก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้าง
สมการจำแนกกลุ่ม(original) มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้
ถูกต้อง 211 ผล คิดเป็นร้อยละ 95.9 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 9 ผล คิดเป็นร้อยละ
4.1 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 127 ผล คิดเป็น
ร้อยละ 90.7 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 4 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.9 และอยู่ในช่วง
ผลแก่เกิน 9 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.4 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถ
ทำนายได้ถูกต้อง 34 ผล คิดเป็นร้อยละ 85.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 6 ผล คิดเป็น
ร้อยละ 15.0 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผล
แก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 208 ผล คิดเป็นร้อยละ 94.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่
12 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.5 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้
ถูกต้อง 125 ผล คิดเป็นร้อยละ 89.3 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล คิดเป็นร้อย
ละ 4.3 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 9 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.4 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน

40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 31 ผล คิดเป็นร้อยละ 77.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผล
แก่ 9 ผล คิดเป็นร้อยละ 22.5 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2 ค่าการทำนาย
ถูกต้องจะมีค่าลดลง และมีค่าลดลงอีกเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะ
ทำนายถูกต้องเฉลี่ย 93.0% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 91.0%

ตารางที่ 67 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดย
ใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2

			Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	211	9	0	220
		Mature	4	127	9	140
		Over mature	0	6	34	40
	%	Immature	95.9	4.1	.0	100.0
		Mature	2.9	90.7	6.4	100.0
		Over mature	.0	15.0	85.0	100.0
Cross-validated	Count	Immature	208	12	0	220
		Mature	6	125	9	140
		Over mature	0	9	31	40
	%	Immature	94.5	5.5	.0	100.0
		Mature	4.3	89.3	6.4	100.0
		Over mature	.0	22.5	77.5	100.0

a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b 93.0% of original grouped cases correctly classified.

c 91.0% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 68 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของ
การแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 3 ประกอบด้วยตัว
แปรที่ใช้ในการทำนาย 8 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงน้ำดอกไม้ให้มี

หน่วย เดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 คือ SG มีค่า 0.644 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 คือ ค่าสีเขียว a มีค่า -1.194

ตารางที่ 68 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.644	0.108
SIZE	0.136	0.691
SPHERE	0.105	0.134
IM_C	-0.169	0.218
AC_C	-0.089	-0.193
L	-0.025	1.011
a	0.546	-1.194
b	-0.208	-0.305

* Model 3 ประกอบด้วย 8 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color value L, a, and b

ตารางที่ 69 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่ คือ ค่า SG, a, L, SPHERE, b, Impact firmness, และ Acoustic firmness มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า SIZE มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2

ตารางที่ 69 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.752*	0.087
a	0.618*	-0.203
L	0.319*	0.303
SPHERE	0.284*	0.019
b	-0.276*	-0.035
IM_C	-0.242*	0.137
AC_C	-0.117*	0.048
SIZE	0.350	0.591*

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

ตารางที่ 70 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 3 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 71 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม(original) มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 208 ผล คิดเป็นร้อยละ 94.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 12 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.5 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 125 ผล คิดเป็นร้อยละ 89.3 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล คิดเป็นร้อยละ 4.3 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 9 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.4 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 34 ผล คิดเป็นร้อยละ 85.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 6 ผล คิดเป็น

ร้อยละ 15.0 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผล
แก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 205 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.2 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่
15 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.8 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้
ถูกต้อง 124 ผล คิดเป็นร้อยละ 88.6 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 7 ผล คิดเป็นร้อย
ละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 9 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.4 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน
40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 32 ผล คิดเป็นร้อยละ 80.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผล
แก่ 8 ผล คิดเป็นร้อยละ 20.0 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3 ค่าการทำนาย
ถูกต้องจะมีค่าลดลง และมีค่าลดลงอีกเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะ
ทำนายถูกต้องเฉลี่ย 91.8% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 90.3%

ตารางที่ 70 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความ
แก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	1567.208	1643.048	1690.026
SIZE	66.186	68.278	66.834
SPHERE	966.719	982.166	984.884
IM_C	233.673	227.972	219.400
AC_C	1.197	.952	.975
L	11.138	11.275	10.865
a	-28.377	-27.709	-26.141
b	46.996	45.854	45.724
(Constant)	-2482.619	-2557.982	-2555.502

Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 71 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3

			Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	208	12	-	220
		Mature	6	125	9	140
		Over mature	-	6	34	40
	%	Immature	94.5	5.5	-	100.0
		Mature	4.3	89.3	6.4	100.0
		Over mature	-	15.0	85.0	100.0
Cross-validated	Count	Immature	205	15	-	220
		Mature	7	124	9	140
		Over mature	-	8	32	40
	%	Immature	93.2	6.8	-	100.0
		Mature	5.0	88.6	6.4	100.0
		Over mature	-	20.0	80.0	100.0

^a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

^b 91.8% of original grouped cases correctly classified.

^c 90.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 72 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 4 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 6 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงน้ำดอกไม้ให้มีหน่วยเดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 คือ ค่า SG มีค่า 0.712 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 2 คือ ค่า SIZE มีค่า 1.110

ตารางที่ 72 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.712	0.002
SIZE	0.099	1.110
SPHERE	0.106	0.066
IM_C	-0.183	0.307
AC_C	-0.093	-0.170
R640/R530	0.536	-0.589

* Model 4 ประกอบด้วย 6 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, and Light reflectance ratio at R640/R530

ตารางที่ 73 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่ คือ ค่า SG, R640/R530, SPHERE, Impact firmness, และ Acoustic firmness มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 ส่วนค่า SIZE มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2

ตารางที่ 74 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 4 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 73 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.768*	0.043
R640/R530	0.617*	-0.115
SPHERE	0.290*	-0.003
IM_C	-0.247*	0.217
AC_C	-0.120*	0.079
SIZE	0.359	0.792*

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

ตารางที่ 74 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	1206.616	1287.611	1341.299
SIZE	67.423	69.305	67.266
SPHERE	822.423	836.170	842.506
IM_C	247.490	241.223	232.528
AC_C	1.821	1.592	1.562
R640/R530	-59.355	-42.257	-23.386
(Constant)	-1223.580	-1339.006	-1393.721

Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 75 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม(original) มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 207 ผล คิดเป็นร้อยละ 94.1 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 13 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.9 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 124 ผล คิดเป็นร้อยละ 88.6 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล คิดเป็นร้อยละ 4.3 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 10 ผล คิดเป็นร้อยละ 7.1 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 27 ผล คิดเป็นร้อยละ 67.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 13 ผล คิดเป็นร้อยละ 32.5 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 206 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.6 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.4 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 123 ผล คิดเป็นร้อยละ 87.9 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 7 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 10 ผล คิดเป็นร้อยละ 7.1 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 25 ผล คิดเป็นร้อยละ 62.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 15 ผล คิดเป็นร้อยละ 37.5 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4 ค่าการทำนายถูกต้องจะมีค่าลดลง และมีค่าลดลงอีกเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 89.5% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 88.5%

ตารางที่ 76 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 5 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 35 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงน้ำดอกไม้ให้มีหน่วย เดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 คือ ค่าการสะท้อนแสง R480 มีค่า 14.935 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 คือ ค่าการสะท้อนแสง R430 มีค่า -13.005

ตารางที่ 75 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4

			Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	207	13	-	220
		Mature	6	124	10	140
		Over mature	-	13	27	40
	%	Immature	94.1	5.9	-	100.0
		Mature	4.3	88.6	7.1	100.0
		Over mature	-	32.5	67.5	100.0
Cross-validated	Count	Immature	206	14	-	220
		Mature	7	123	10	140
		Over mature	-	15	25	40
	%	Immature	93.6	6.4	-	100.0
		Mature	5.0	87.9	7.1	100.0
		Over mature	-	37.5	62.5	100.0

^a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

^b 89.5% of original grouped cases correctly classified.

^c 88.5% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 76 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*

Predictors	Function	
	1	2
SIZE	0.021	0.140
SPHERE	0.165	-0.097
IM_C	-0.095	0.264
AC_C	-0.159	-0.128
R400	-0.085	0.624
R410	1.853	2.298
R420	-2.192	0.711
R430	0.131	-13.005
R450	-7.929	9.272
R480	14.935	-2.203
R500	-5.718	4.279
R530	1.820	-9.042
R540	-8.161	10.570
R550	5.721	-3.154

* Model 5 ประกอบด้วย 35 predictors ได้แก่ SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

ตารางที่ 77 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำหลายส่วนใหญ่ คือ ค่า R400, R480, R450, R430, R420, R410, R500, Size, Sphere, Impact firmness, R530, และ Acoustic firmness มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า R550 และ R540 มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2

ตารางที่ 77 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้
ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5

Predictors	Function	
	1	2
R680a	0.462*	-0.060
R670a	0.457*	-0.052
R660a	0.442*	-0.041
R650a	0.430*	-0.035
R400	0.421*	0.055
R690a	0.420*	-0.010
R480	0.419*	0.090
R640a	0.417*	-0.015
R490a	0.413*	0.092
R470a	0.409*	0.086
R630a	0.409*	-0.014
R620a	0.399*	-0.010
R440a	0.393*	0.044
R460a	0.391*	0.088
R450	0.391*	0.070
R430	0.390*	0.047
R420	0.388*	0.068
R410	0.385*	0.103
R500	0.384*	0.096
R610a	0.380*	0.000
R700a	0.365*	0.039
R600a	0.363*	0.011
R590a	0.342*	0.021
SIZE	0.340*	0.250
R510a	0.330*	0.100

ตารางที่ 77 (ต่อ)

Predictors	Function	
	1	2
R580a	0.293*	0.078
SPHERE	0.269*	-0.057
R520a	0.261*	0.106
R570a	0.230*	0.142
IM_C	-0.228*	0.136
R530	0.185*	0.123
R560a	0.184*	0.183
AC_C	-0.111*	0.055
R550	0.153	0.201*
R540	0.140	0.200*

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 78 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 5 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ผู้นั้น

ตารางที่ 78 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความ
แก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SIZE	106.855	107.358	106.634
SPHERE	1296.609	1316.127	1335.598
IM_C	203.369	201.662	191.644
AC_C	.204	-.227	-.228
R400	84.328	84.491	83.239
R410	-120.316	-114.904	-116.011
R420	79.713	75.947	73.087
R430	-96.863	-101.156	-88.731
R450	116.245	109.042	97.065
R480	28.538	43.193	52.209
R500	-119.563	-123.786	-128.690
R530	71.265	71.039	77.892
R540	-64.990	-70.955	-81.922
R550	53.851	58.938	63.839
(Constant)	-1623.059	-1611.134	-1597.409

Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 79 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความ
แก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้าง
สมการจำแนกกลุ่ม(original) มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้
ถูกต้อง 208 ผล คิดเป็นร้อยละ 94.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 11 ผล คิดเป็นร้อยละ
5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 1 ผล คิดเป็นร้อยละ 0.5 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน
140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 133 ผล คิดเป็นร้อยละ 95.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วง
ผลก่อนแก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ 3.6 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 1.4 ส่วนมะม่วง
น้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 32 ผล คิดเป็นร้อยละ 80.0 โดย

มีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 8 ผล คิดเป็นร้อยละ 20.0 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 220 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 205 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.2 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.4 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 1 ผล คิดเป็นร้อยละ 0.5 ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 131 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.2 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 7 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 1.4 ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 30 ผล คิดเป็นร้อยละ 75.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 10 ผล คิดเป็นร้อยละ 25.0 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5 ค่าการทำนายถูกต้องจะมีค่าลดลง และมีค่าลดลงอีกเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 93.3% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 91.5%

ตารางที่ 79 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนายใน Model 5

			Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	208	11	1	220
		Mature	5	133	2	140
		Over mature	-	8	32	40
	%	Immature	94.5	5.0	.5	100.0
		Mature	3.6	95.0	1.4	100.0
		Over mature	-	20.0	80.0	100.0
Cross-validated	Count	Immature	205	14	1	220
		Mature	7	131	2	140
		Over mature	-	10	30	40
	%	Immature	93.2	6.4	.5	100.0
		Mature	5.0	93.6	1.4	100.0
		Over mature	-	25.0	75.0	100.0

a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b 93.3% of original grouped cases correctly classified.

c 91.5% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 80 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ เป็น 3 กลุ่ม ใน Models ต่างๆ พบว่า โมเดล 1 ใช้ตัวแปรในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 95.0 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 220 ผล ได้ถูกต้อง 213 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 7 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 96.8 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 134 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 4 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 95.7 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 33 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 7 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 82.5 % เมื่อลดตัวแปรในการทำนายลงเหลือ 9 ตัวแปรในโมเดล 2 สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 91.0 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 220 ผล ได้ถูกต้อง 208 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 94.5 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 125 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 9 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 89.3 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 31 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 9 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 77.5 % และเมื่อลดตัวแปรในการทำนายลงเหลือ 8 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 90.3 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 220 ผล ได้ถูกต้อง 208 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 93.2 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 124 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 7 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 9 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 88.6 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 32 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 8 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 80.0 % ในขณะที่เดียวกันเมื่อลดตัวแปรในการทำนายลงอีกเหลือเพียง 6 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 88.5 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน

220 ผล ได้ถูกต้อง 206 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 93.6 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 123 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 7 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 87.9 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 25 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 15 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 62.5 % แต่เมื่อใช้ตัวแปรในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรโดยไม่ใช้ตัวแปร SG สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 91.5 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 220 ผล ได้ถูกต้อง 205 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 1 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 93.2 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 131 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 7 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 93.6 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 30 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 10 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 75.0 % จากผลการทดลองจะเห็นว่าโมเดล 1 ทำนายได้ถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือโมเดล 5, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 80 เปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ เป็น 3 กลุ่ม ใน Models ต่างๆ

Models	Actual	%Correctly	Predicted groups			Total
	Groups	Classified	Immature	Mature	Over mature	
Model_1	Immature	96.8	213	7	0	220
	Mature	95.7	4	134	2	140
	Over mature	82.5	0	7	33	40
	Total	95.0				400
Model_2	Immature	94.5	208	12	0	220
	Mature	89.3	6	125	9	140
	Over mature	77.5	0	9	31	40
	Total	91.0				400

ตารางที่ 80 (ต่อ)

Models	Actual	%Correctly Classified	Predicted groups			Total
	Groups		Immature	Mature	Over mature	
Model_3	Immature	93.2	208	12	0	220
	Mature	88.6	7	124	9	140
	Over mature	80.0	0	8	32	40
	Total	90.3				400
Model_4	Immature	93.6	206	14	0	220
	Mature	87.9	7	123	0	140
	Over mature	62.5	0	15	25	40
	Total	88.5				400
Model_5	Immature	93.2	205	14	1	220
	Mature	93.6	7	131	2	140
	Over mature	75.0	0	10	30	40
	Total	91.5				400

ดวงตรา (1984) เสนอแนะว่า มะม่วงน้ำดอกไม้จะมีคุณภาพดีที่สุดเมื่อเก็บเกี่ยวระหว่าง 99-111 วันหลังติดผล และหลังจากนั้นมะม่วงจะสุกภายใน 4 วัน มะม่วงที่สุกจะมีผิวเรียบ เนื้อนุ่ม กลิ่นหอม และรสหวาน ซึ่งอาจจะมีอายุการวางตลาดน้อยเกินไป การเก็บเกี่ยวมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อายุต่ำกว่า 90 วัน เมื่อผลสุกผิวผลเกิดการเหี่ยว โดยเฉพาะบริเวณรอบๆ ขั้วผลเนื่องจากการสูญเสีย น้ำ มีเนื้อค่อนข้างแข็ง และมีรสหวานอมเปรี้ยว มีระยะเวลาในการสุกเพิ่มขึ้นเป็น 8 วัน ส่วนผลที่มีอายุมากกว่า 90 วันขึ้นไปผิวของผลสุกค่อนข้างเรียบ มีเนื้อนุ่ม มีกลิ่น และมีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย แต่มีระยะเวลาในการสุก 6 วัน ก็จะสามารถเก็บเกี่ยวมะม่วงได้เร็วขึ้นอีก 9 วัน และยังสามารถขยายเวลาในการสุกได้อีก 2 วัน แต่ยังมีคุณภาพดี ขณะเดียวกัน Lakshminarayana (1980) กล่าวว่า หลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงควรมีเวลาในการสุกประมาณ 8-10 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะได้คุณภาพและรสชาติตามที่ผู้บริโภคต้องการ ดังนั้นหากสามารถเก็บเกี่ยวมะม่วงได้เร็วขึ้นก็จะสามารถเพิ่มอายุการวางตลาดได้นานขึ้น สามารถขนส่งไปจำหน่ายได้ระยะทางไกลๆ หรือส่งออกโดยคุณภาพยังดีเมื่อถึงมือผู้บริโภค จึงได้ทดลองแบ่งมะม่วงออกเป็น 4 ช่วงโดยใช้วันหลังติดผล (DAFS) แบ่งเป็น ระยะก่อนก่อนผลแก่ (immature stage) 77-91 DAFS ระยะผลเริ่มแก่ (early

mature stage) 91-99 DAFS ระยะผลแก่จัด (late mature stage) 99-109 DAFS และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) 109-115 DAFS เปรียบเทียบกับการแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis เป็น 4 โมเดล คือ โมเดล A ; DAFS และสมบัติแบบทำลายเป็นอีกสามโมเดล คือ โมเดล B ; TSS, TA โมเดล C ; TSS, TA, DAFS และโมเดล D ; TSS, TA, DAFS, Compression firmness แล้วสร้างโมเดลสมบัติแบบไม่ทำลายมาทำนายความแม่นยำในการแบ่งเพื่อเลือกโมเดลที่เหมาะสม

การจำแนกความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็น 4 กลุ่ม

ตารางที่ 81 แสดงการแบ่งช่วงอายุการแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นสี่ช่วงโดยใช้การนับวันหลังติดผลเป็น ระยะก่อนผลแก่ (immature stage) 77-91 DAFS มีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุดถึง 140 ผล ระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) 91-99 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) 99-109 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 100 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) 109-115 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล อย่างไรก็ตามการนับวันหลังติดผลเพียงอย่างเดียวอาจไม่ใช่พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการแบ่งกลุ่มมะม่วง ค่า TSS และค่า TA ก็เป็นสมบัติที่สำคัญที่แสดงถึงความแตกต่างในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นจึงมีความต้องการนำค่า DAFS, TSS, TA และค่าความแน่นเนื่องจากการกด เป็นตัวกำหนดการแบ่งกลุ่มความแก่เริ่มต้น ซึ่งในที่นี้ได้ใช้เทคนิค Cluster Analysis จัดกลุ่มมะม่วงตามค่า DAFS, TSS, TA และค่าความแน่นเนื่องจากการกด เมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis วันหลังติดผลจะมีจำนวนผลมะม่วง 80 ผลในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) และระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) มีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุด 160 ผล ขณะที่เมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis ค่า TSS และ TA จะมีจำนวนผลมะม่วง 98 ผลในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) และระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) มีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุด 183 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 88 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) มีจำนวนผลมะม่วงน้อยมาก 31 ผล แต่เมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis ค่า TSS TA และ DAFS จะมีจำนวนผลมะม่วง 100 ผลในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) และระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 100 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) มีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุด 120 ผล และเมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis ค่า TSS TA DAFS และค่าความแน่นเนื่องจากการกดกลางผล จะมีจำนวนผลมะม่วง 116 ผลในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) และระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature

stage) มีจำนวนผลมะม่วง 78 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) มีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุด 126 ผล ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis จำนวนมะม่วงส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงผลแก่เกิน ยกเว้นการแบ่งโดยใช้ TSS และ TA ซึ่งมีจำนวนผลมะม่วงน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับ การแบ่งโดยใช้วันหลังติดผลจะเห็นว่าจำนวนผลมะม่วงในช่วงก่อนผลแก่จะมีจำนวนลดลง แต่จำนวนผลมะม่วงในช่วงผลแก่เกินส่วนใหญ่จะมีจำนวนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 81 แสดงจำนวนผลของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จากการแบ่งกลุ่มตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้ Cluster Analysis จากสมบัติที่เป็น Destructives และวันหลังติดผล

Cluster Analysis	Properties	Maturity stages			
		Immature	Early mature	Late mature	Over mature
Model _A	DAFS	140	80	100	80
	DAFS	80	80	80	160
Model _B	TSS, TA	98	183	88	31
Model _C	TSS,TA,DAFS	100	100	80	120
Model _D	TSS, TA, DAFS, FC	116	80	78	126

หมายเหตุ: FC คือ ค่าความแน่นเนื้อจากการกดตรงกลางผล

ตารางที่ 82 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นสี่ช่วงโดยใช้การนับวันหลังติดผลได้ถูกต้อง 86.8 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 140 ผล ได้ถูกต้อง 128 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 91.4 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 66 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 12 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 82.5 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 84 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 4 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 84.0 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 80 ผล

สามารถทำนายได้ถูกต้อง 69 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 11 ผล ได้ค่า %
Correctly Classified 86.3 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis วันหลังติดผลเป็นสีช่วงได้ถูกต้อง 85.5 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่เกินได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 148 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 92.5 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 68 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 11 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 1 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 85.0 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 65 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 11 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 4 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 81.3 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 61 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ 4 ผล ช่วงผลเริ่มแก่ 3 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 76.3 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA เป็นสีช่วงได้ถูกต้อง 79.8 % และทำนายช่วงมะม่วงผลเริ่มแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 183 ผล ได้ถูกต้อง 154 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 13 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 16 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 84.2 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 98 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 82 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 16 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 83.7 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 88 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 63 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 16 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 9 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 71.6 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 31 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 20 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 11 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 64.5 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA และ DAFS เป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 84.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่เกินได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 120 ผล ได้ถูกต้อง 110 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 10 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 91.7 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 83 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 17 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 83.0 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 85 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 11 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 4 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 85.0 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 59 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 6 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 15 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 73.8 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA, DAFS และ ค่าความแน่นเนื้อที่ตรงกลางผลเป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 83.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่เกินได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 126 ผล ได้ถูกต้อง 112 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 14 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 88.9 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 116 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 97 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 19 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 83.6 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 67 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 9 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 4 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 83.8 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 78 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 57 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ 1 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 5 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 15 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 73.1 %

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการแบ่งโดยใช้วันหลังติดผลจะสามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือ แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis โมเดล _A, โมเดล _C, โมเดล _D, และ โมเดล _B โดยมีค่า % Correctly Classified 86.8, 85.5, 84.3, 83.3, และ 79.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 82 ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 36 ตัวแปร จำแนกตามวิธีการแบ่งกลุ่ม

Cluster analysis	Actual group	Correctly classified (%)	Predicted groups				Total
			Immature	Early-mature	Late-mature	Over-mature	
(1) DAFS	Immature	91.4	128	12	0	0	140
	Early-mature	82.5	12	66	2	0	80
	Late-mature	84.0	0	4	84	12	100
	Over-mature	86.3	0	0	11	69	80
	Total	86.8	140	82	97	81	400
(2) Model A DAFS	Immature	85.0	68	11	1	0	80
	Early-mature	81.3	11	65	4	0	80
	Late-mature	76.3	4	3	61	12	80
	Over-mature	92.5	0	0	12	148	160
	Total	85.5	83	79	78	160	400
(3) Model B TSS, TA	Immature	83.7	82	16	0	0	98
	Early-mature	84.2	13	154	16	0	183
	Late-mature	71.6	0	16	63	9	88
	Over-mature	64.5	0	0	11	20	31
	Total	79.8	95	186	90	29	400
(4) Model C TSS,TA, DAFS	Immature	83.0	83	17	0	0	100
	Early mature	85.0	11	85	4	0	100
	Late mature	73.8	0	6	59	15	80
	Over mature	91.7	0	0	10	110	120
	Total	84.3	94	108	73	125	400

ตารางที่ 82 ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 36 ตัวแปร จำแนกตามวิธีการแบ่งกลุ่ม (ต่อ)

Cluster analysis	Actual group	Correctly classified (%)	Predicted groups				Total
			Immature	Early-mature	Late-mature	Over-mature	
(5)	Immature	83.6	97	19	0	0	116
Model D	Early mature	83.8	9	67	4	0	80
TSS,TA,	Late mature	73.1	1	5	57	15	78
DAFS,	Over mature	88.9	0	0	14	112	126
FC	Total	83.3	107	91	75	127	400

ตารางที่ 83 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นสี่ช่วงโดยใช้การนับวันหลังติดผลได้ถูกต้อง 79.8 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 140 ผล ได้ถูกต้อง 127 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 13 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 90.7 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 51 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 13 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 16 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 63.8 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 77 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 10 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 13 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 77.0.0 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 64 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 1 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 15 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 80.0 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis วันหลังติดผลเป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 82.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่เกินได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 138 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 22 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 86.3 %

ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 68 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 11 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 1 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 85.0 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 69 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 8 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 3 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 86.3 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 54 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ 4 ผล ช่วงผลเริ่มแก่ 3 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 19 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 67.5 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA เป็นที่ช่วงได้ถูกต้อง 78.3% และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 98 ผล ได้ถูกต้อง 82 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 16 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 83.7 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 183 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 152 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ 13 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 18 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 83.1 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 88 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 60 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 18 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 10 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 68.2 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 31 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 19 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 61.3 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA และ DAFS เป็นที่ช่วงได้ถูกต้อง 84.0 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่เกินได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 120 ผล ได้ถูกต้อง 108 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 2 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 10 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 90.0 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 87 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 13 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 87.0 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 80 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 12 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 8 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 80.0 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัด

จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 61 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 1 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 5 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 13 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 76.3 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA, DAFS และ ค่าความแน่นเนื้อที่ตรงกลางผลเป็นสีช่วงได้ถูกต้อง 80.5 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่เกินได้ถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 126 ผล ได้ถูกต้อง 111 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 1 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 14 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 88.1 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 116 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 98 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 18 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 84.5 % เช่นเดียวกับมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 59 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 9 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 73.8 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 78 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 54 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ 1 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 7 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 16 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 69.2 %

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis โมเดล _C จะสามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือ แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis โมเดล _A, โมเดล _D, การแบ่งโดยใช้วันหลังติดผล และ โมเดล _B โดยมีค่า % Correctly Classified 84.0, 82.3, 80.5, 79.8, และ 78.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 83 ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 35 ตัวแปร

Cluster analysis	Actual group	Correctly classified (%)	Predicted groups				Total
			Immature	Early-mature	Late-mature	Over-mature	
(1)	Immature	90.7	127	13	0	0	140
DAFS	Early-mature	63.8	13	51	16	0	80
	Late-mature	77.0	0	10	77	13	100
	Over-mature	80.0	0	1	15	64	80
	Total	79.8	140	75	108	77	400
(2)	Immature	85.0	68	11	1	0	80
Model A DAFS	Early-mature	86.3	8	69	3	0	80
	Late-mature	67.5	4	3	54	19	80
	Over-mature	86.3	0	0	22	138	160
	Total	82.3	80	83	78	157	400
(3)	Immature	83.7	82	16	0	0	98
Model B TSS,TA	Early-mature	83.1	13	152	18	0	183
	Late-mature	68.2	0	18	60	10	88
	Over-mature	61.3	0	0	12	19	31
	Total	78.3	95	186	90	29	400
(4)	Immature	87.0	87	13	0	0	100
Model C TSS,TA, DAFS	Early mature	80.0	12	80	8	0	100
	Late mature	76.3	1	5	61	13	80
	Over mature	90.0	0	2	10	108	120
	Total	84.0	99	100	79	121	400

ตารางที่ 83 ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 35 ตัวแปร (ต่อ)

Cluster analysis	Actual group	Correctly classified (%)	Predicted groups				Total
			Immature	Early-mature	Late-mature	Over-mature	
(5)	Immature	84.5	98	18	0	0	116
Model D	Early mature	73.8	9	59	12	0	80
TSS,TA,	Late mature	69.2	1	7	54	16	78
DAFS,	Over mature	88.1	0	1	14	111	126
FC	Total	80.5	108	85	80	127	400

จากการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 4 กลุ่ม จึงมี Function ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 3 Function ดังตารางที่ 84 ค่า Eigenvalue ของ Function 1-3 มีค่า 6.932, 0.387 และ 0.312 และมีค่า % of variance เท่ากับ 90.8, 5.1 และ 4.1 ตามลำดับ โดยมีค่า Canonical correlation เท่ากับ 0.935, 0.528 และ 0.487 ตามลำดับ แสดงว่า Function 1 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากกว่า Function 2 และ 3

ตารางที่ 84 Eigenvalue ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 4 กลุ่ม จากการวิเคราะห์ Cluster analysis (Model _C) TSS, TA, DAFS

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	6.932	90.8	90.8	0.935
2	0.387	5.1	95.9	0.528
3	0.312	4.1	100.0	0.487

จากตารางที่ 85 การวิเคราะห์ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทั้ง 3 Function พบว่า R400, R470, R420, R700, R430, R450, R410, R510, และ R530 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 ส่วนค่า AC_C, Size, และ R540 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมาก

ที่สุดใน Function 2 ขณะที่ค่า IM_C และ SPHERE มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 3

ตารางที่ 85 Structure matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis (Model_C) TSS, TA, DAFS

Predictors	Function		
	1	2	3
R400	0.436a	0.211	-0.152
R470	0.407a	0.108	0.020
R420	0.394a	0.173	-0.062
R700	0.393a	0.034	0.039
R430	0.393a	0.139	-0.041
R450	0.392a	0.111	0.000
R410	0.391a	0.189	-0.049
R510	0.330a	0.155	0.083
R530	0.194a	0.178	0.120
AC_C	-0.051	0.389a	-0.055
SIZE	0.351	0.387a	0.133
R540	0.162	0.202a	0.183
IM_C	-0.171	0.139	0.283a
SPHERE	0.210	-0.048	-0.241a

a Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

ตารางที่ 86 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ตามความแก่เป็น 4 กลุ่ม 4 สมการโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Cluster analysis (Model_C) TSS, TA, DAFS เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 86 Classification function* coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 4 กลุ่ม
จากการใช้ Cluster analysis (Model_C) TSS, TA, DAFS

Predictors	Maturity stages			
	Immature	Early mature	Late mature	Over mature
SIZE	123.245	126.339	126.510	127.379
SPHERE	1137.485	1165.440	1158.147	1186.368
IM_C	248.432	249.435	252.875	246.513
AC_C	0.652	1.114	0.678	0.796
R400	100.240	107.513	111.641	114.470
R410	-191.439	-200.820	-194.402	-201.866
R420	231.570	237.959	227.311	237.425
R430	-233.324	-233.529	-239.894	-243.957
R450	136.931	128.263	123.769	113.831
R470	26.491	30.525	42.674	55.745
R510	-169.812	-164.067	-164.097	-169.454
R530	119.987	114.063	108.436	110.463
R540	-7.430	-5.286	-1.863	-2.771
R700	18.556	18.042	18.538	18.926
(Constant)	-1927.672	-1947.422	-1935.831	-1953.994

*Fisher's linear discriminant functions

สมบัติของมะม่วงโชคอนันต์

การเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (Chok Anan) เริ่มตั้งแต่อายุ 75 วันจนถึง 113 วันหลังติดผล พบว่า ผลมะม่วงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลที่มีขนาดโตขึ้น โดยเฉพาะให้ผลจะกว้างขึ้นและปลายผลจะขยายและงอน้อยลง สีของผิวเปลือกจะมีสีเขียวลดลง และเริ่มมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงผลแก่ (ภาพที่ 38) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Jha *et al.* (2006a) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับมะม่วงพันธุ์ Dashehari ที่พบว่ามะม่วงจะมีผิวสีเขียวในช่วงแรกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในช่วงผลแก่ การเปลี่ยนสีผิวของผลมะม่วงเป็นกระบวนการที่เกิดเมื่อผลมะม่วงพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุก (จริงแท้, 2544) โดยมีการหายไปของสีเขียวและการปรากฏของสีอื่นขึ้นมาแทน น่าจะเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส ในการสลายของคลอโรฟิลล์ และมีการปรากฏของแคโรทีนอยด์ซึ่งมีสีเหลือง (สายชล, 2528) มะม่วงโชคอนันต์เป็นมะม่วงที่นิยมบริโภคทั้งภายในประเทศและสามารถส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศ ลักษณะของผลคล้ายมะม่วงพิมเสนมัน เนื้อแข็งเมื่อสุกมีเนื้อแน่น รสชาติหวาน ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมบริโภคในลักษณะผลสุก (ภาพที่ 38)



มะม่วงโชคอนันต์อายุ 75 วันหลังติดผล



มะม่วงโชคอนันต์อายุ 91 วันหลังติดผล



มะม่วงโชคอนันต์อายุ 99 วันหลังติดผล

ภาพที่ 38 ผลมะม่วงโชคอนันต์ที่อายุ 69, 91 และ 99 วันหลังติดผลในปีที่สอง

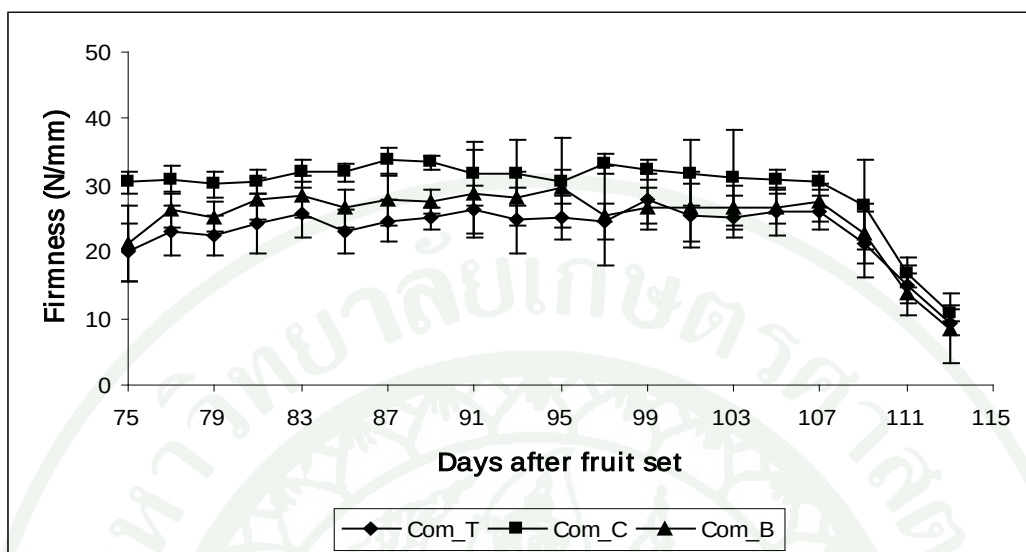
สมบัติความแน่นเนื้อของมะม่วงโชคอนันต์

จากผลการทดลองวัดความแน่นเนื้อจากการกด (compression) ของมะม่วงโชคอนันต์ 3 จุดที่ขั้วผล(stem) กลางผล และปลายผล (apex) พบว่า ค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าสูงสุดโดยมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกแล้วลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 33.71-10.84 N/mm รองลงมาคือปลายผลจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกแล้วลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตเช่นกัน โดยมีค่าระหว่าง 29.79-8.52 N/mm ส่วนขั้วผลมีค่าต่ำสุดโดยมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกแล้วลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง 27.98-9.37 N/mm ขณะที่ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยจากการกดผลมะม่วงที่วัดได้มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของผลในระยะก่อนผลแก่ (immature) และหลังจากช่วงระยะผลแก่และผลแก่เกินค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยจะเริ่มมีค่าลดลงระหว่าง 28.90 – 9.58 N/mm (ตารางที่ 87) ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปคติน โพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995) ความแน่นเนื้อเฉลี่ยที่เหมาะสมจะมีค่า 28.90 N/mm ขณะที่มะม่วงมีอายุ 91 วันหลังติดผล สอดคล้องกับงานของ นิพนธ์ (2534) ที่ได้กล่าวว่า มะม่วงโชคอนันต์จะมีความแน่นเนื้อลดลงตามระดับความอ่อนแก่เพิ่มขึ้นโดยจะเริ่มเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 91 วันหลังติดผล และมีความแน่นเนื้อระหว่าง 25.0-26.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงอาจใช้ความแน่นเนื้อเป็นดัชนีบ่งชี้ความแก่ของผลไม่ได้ และสอดคล้องกับงานของ Jarimopas *et al.* (2006) ที่เสนอแนะว่ามะม่วงโชคอนันต์จะแก่เต็มที่เมื่อมีอายุ 91 วันหลังติดผลมีค่าความแน่นเนื้อ 33.22 N/mm หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากผลของความเครียดและความเค้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโต

จากภาพที่ 39 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อจากการกดที่มีค่าสูงในช่วงก่อนผลแก่แล้วมีค่าค่อยๆลดลงในช่วงผลแก่และผลแก่เกิน โดยความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่ามากที่สุด ส่วนขั้วผลจะมีค่าต่ำสุด จากผลการทดลอง ค่าความแน่นเนื้อจากการกดของมะม่วงโชคอนันต์ที่วัดได้ จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงก่อนผลแก่จนกระทั่งถึงช่วงระยะผลแก่จัดจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากผลมะม่วงเริ่มสุก ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปคติน โพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995) เพราะผลมะม่วงอายุน้อยมีเปคตินมากกว่าผลอายุมาก เปคตินในผลมะม่วงดิบมีโมเลกุลขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ เปคตินชนิดนี้ทำให้แต่ละเซลล์ติดยึดเกาะกันอย่างแน่นระหว่างผลยังดิบอยู่ ผลมะม่วงมีความแน่นเนื้อลดลงมากระหว่างการสุกเพราะเปคตินมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลให้เล็กลง และมีการละลายน้ำเพิ่มขึ้นทำให้เซลล์ยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อจึงเกิดขึ้น (สายชล และคณะ, 2535)

ตารางที่ 87 ค่า Compression Firmness ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	Firmness (Compression :N/mm)			
	Top	Center	Bottom	Average
69	17.90±4.35	26.86±1.53	19.39±5.58	21.38±3.40
71	20.08±3.74	29.27±1.85	27.39±2.52	25.58±2.03
73	23.88±2.95	30.75±1.86	26.56±2.29	27.06±1.30
75	19.97±4.47	30.40±1.92	21.28±3.10	23.89±2.70
77	23.08±3.73	30.97±1.71	26.31±3.14	26.79±2.17
79	22.46±3.37	30.11±1.36	25.20±2.96	25.93±1.78
81	24.16±3.09	30.52±1.85	27.97±3.78	27.55±1.77
83	25.85±1.63	32.18±1.13	28.41±1.83	28.81±1.21
85	23.11±3.51	32.02±4.92	26.51±6.64	27.21±3.88
87	24.64±4.99	33.71±4.94	27.77±4.02	28.71±2.82
89	25.13±3.29	33.44±6.80	27.44±2.53	28.67±2.89
91	26.30±2.72	31.74±1.52	28.67±7.55	28.90±3.10
93	24.71±3.73	31.80±1.41	28.05±3.18	28.18±2.06
95	25.05±4.75	30.46±4.86	29.79±5.35	28.43±2.15
97	24.51±3.23	33.34±7.08	25.43±3.34	27.76±2.47
99	27.98±3.66	32.31±1.44	26.56±2.19	28.95±1.58
101	25.53±2.48	31.87±1.36	26.79±2.86	28.06±1.47
103	25.28±4.99	31.10±6.83	26.58±4.43	27.65±4.49
105	26.03±2.73	30.80±2.19	26.57±3.12	27.80±2.13
107	25.91±2.01	30.65±1.26	27.43±5.16	28.00±2.33
109	21.20±5.61	27.08±6.83	22.70±5.88	23.66±5.89
111	15.11±6.98	16.86±7.90	13.74±6.91	15.24±7.17
113	9.37±3.98	10.84±6.75	8.52±5.77	9.58±5.42



ภาพที่ 39 ค่า Fruit firmness ของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

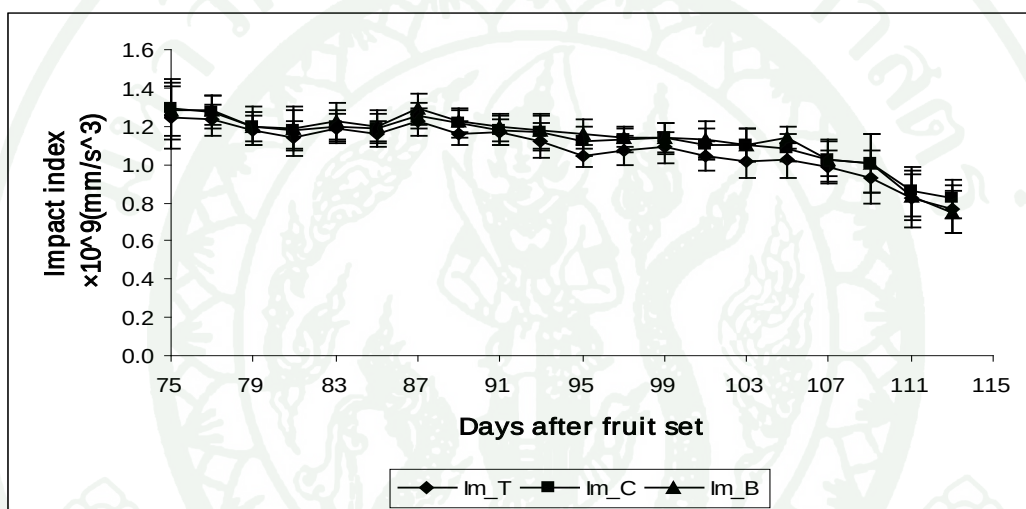
ขณะที่ค่าดัชนีความแน่นเนื้อที่วัดได้จากการวัดแรงกระแทก (impact) ทำการวัด 3 จุด เช่นกันโดยวัดที่ขั้วผล (stem) กลางผล และปลายผล (apex) ใช้หัวกระแทกที่จะตกอย่างอิสระปลาย หัวกลมขนาด 6 มม. มีน้ำหนัก 12 กรัม ติดอุปกรณ์วัดอัตราเร่งความถี่สูง (BBN Model 501, miniature) ความไว 1 mV/ms^{-2} ความเร่งสูงสุด 2050 m/s^2 ปลดปล่อยหัวกระแทกควบคุมด้วย แม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีระยะความสูงของปลายหัวกระแทกอยู่ห่างจากผิวมะม่วงที่วางอยู่ด้านล่าง 2 ซม. ลงกระแทกผลมะม่วงที่วางไว้บนฐานดินน้ำมันเพื่อรับแรงกระแทกจากหัวกระแทก จากผลการ ทดลอง พบว่า ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดด้วยการกระแทกทางด้านปลายผลจะมีค่าสูงสุดโดย มีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง $1.29\text{-}0.78 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ รองลงมาคือตรง กลางผล จะมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตเช่นกันโดยมีค่าระหว่าง $1.29\text{-}0.75 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ ส่วนด้านขั้วผลมีค่าต่ำสุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตรงกลางผลโดยมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอด ช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง $1.24\text{-}0.77 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ ขณะที่ค่าดัชนีความแน่นเนื้อเฉลี่ยจะมี ค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตหรือระยะก่อนผลแก่ และเมื่อถึงระยะผลแก่และผล แก่เกินค่าดัชนีความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงจาก $1.27\text{-}0.78 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ (ตารางที่ 88) ซึ่งจะเห็นว่าค่า ดัชนีความแน่นเนื้อเฉลี่ยจากการวัดด้วยการกระแทกจะมีค่า $1.18 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$ เมื่อมะม่วงมีอายุ 91 วันหลังติดผล สอดคล้องกับงานของ Jarimopas *et al.* (2006) ที่เสนอแนะว่ามะม่วงโชคอนันต์จะ แก่เต็มที่เมื่อมีอายุ 91 วันหลังติดผลมีค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดแรงกระแทก $0.93 \times 10^9 \text{ mm/s}^3$

หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากผลของความเครียดและความเค้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโต

ตารางที่ 88 ค่า Impact Firmness index ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	Firmness (Impact index*10 ⁹ : mm/s ³)			
	Top	Center	Bottom	Average
69	0.91±0.16	0.92±0.16	0.92±0.14	0.91±0.11
71	1.09±0.08	1.13±0.09	1.13±0.08	1.12±0.06
73	1.19±0.08	1.21±0.08	1.24±0.10	1.21±0.07
75	1.24±0.09	1.29±0.10	1.29±0.11	1.27±0.08
77	1.23±0.07	1.27±0.09	1.29±0.09	1.26±0.06
79	1.18±0.07	1.20±0.07	1.20±0.08	1.19±0.05
81	1.14±0.07	1.18±0.07	1.19±0.08	1.17±0.05
83	1.19±0.06	1.20±0.07	1.22±0.06	1.20±0.04
85	1.16±0.07	1.19±0.08	1.20±0.07	1.18±0.05
87	1.22±0.09	1.25±0.09	1.29±0.09	1.25±0.07
89	1.16±0.06	1.22±0.07	1.23±0.08	1.20±0.06
91	1.17±0.08	1.18±0.07	1.20±0.05	1.18±0.04
93	1.12±0.08	1.17±0.08	1.18±0.08	1.16±0.07
95	1.04±0.07	1.12±0.08	1.16±0.09	1.11±0.06
97	1.07±0.09	1.13±0.08	1.14±0.08	1.11±0.05
99	1.09±0.09	1.14±0.07	1.14±0.06	1.12±0.05
101	1.05±0.09	1.10±0.09	1.13±0.11	1.09±0.08
103	1.01±0.14	1.10±0.15	1.10±0.15	1.07±0.13
105	1.02±0.15	1.09±0.13	1.14±0.12	1.08±0.12
107	0.99±0.12	1.03±0.10	1.02±0.11	1.01±0.10
109	0.93±0.09	1.01±0.08	1.01±0.14	0.98±0.08
111	0.82±0.15	0.86±0.17	0.83±0.17	0.84±0.15
113	0.77±0.13	0.82±0.18	0.75±0.20	0.78±0.17

จากภาพที่ 40 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดแรงกระแทกที่มีค่าสูงในช่วงก่อนผลแก่แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆในช่วงผลแก่และผลแก่เกิน โดยความแน่นเนื้อที่ปลายผลจะมีค่ามากที่สุด ส่วนที่ขั้วผลจะมีค่าต่ำสุด จากผลการทดลอง ค่าดัชนีความแน่นเนื้อของมะม่วงโชคอนันต์ที่วัดได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงก่อนผลแก่ จนกระทั่งถึงช่วงระยะผลแก่จัดจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากผลมะม่วงเริ่มสุก ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปกตินโพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995)



ภาพที่ 40 ค่า Fruit firmness (Impact index) ที่ตำแหน่งต่างๆของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

นอกจากนี้ ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดด้วยการเคาะเสียง (acoustic) ซึ่งทำการทดลองโดยมะม่วงถูกจับห้อยในแนวดิ่ง และถูกเคาะในแนวนอนด้วยแท่งสแตนเลสที่มีหัวกลม จำนวน 3 จุด บริเวณขั้วผล(stem) กลางผล และปลายผล(apex) สัญญาณเสียงที่ได้จะถูกป้อนเข้าโปรแกรมโดยผ่านไมโครโฟนวงจรรับ ขยาย และ กรองสัญญาณเสียงก่อนเข้าสู่การวิเคราะห์ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วเปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นค่าความถี่ต้นพ้อง โดยใช้ fast Fourier transform algorithm ในโปรแกรม C++ ให้ค่า resolution 15 Hz ต่อจุด และทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์หาค่า stiffness coefficient ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดความแน่นเนื้อด้วยการเคาะเสียง พบว่า ค่าดัชนีความแน่นเนื้อตรงกลางผลจะมีค่าใกล้เคียงกับขั้วผลโดยมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง $8.71-3.93 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ และด้านขั้วผล จะมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตเช่นกันโดยมีค่าระหว่าง

$8.86-3.32 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ ส่วนด้านปลายผลมีค่าต่ำสุดและมีค่าต่ำกว่าตรงกลางและด้านขั้วผลโดยมีค่าลดลงเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยมีค่าระหว่าง $8.67-3.45 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ ขณะที่ค่าดัชนีความแน่นเนื้อเฉลี่ยจะมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตหรือระยะก่อนผลแก่แล้วค่อยๆลดลงระหว่าง $5.64-5.22 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ และเมื่อถึงระยะผลแก่และผลแก่เกินไป ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจะมีค่าลดลงเรื่อยๆจาก $5.22 - 4.57 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ ซึ่งจะเห็นว่าค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการวัดด้วยการเคาะเสียงจะมีค่า $8.44 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$ เมื่อมะม่วงมีอายุผล 91 วันหลังติดผล (ตารางที่ 89) เสียงเคาะของผลมะม่วงจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เมื่อเมล็ดมะม่วงมีการพัฒนาและช่องว่างระหว่างเนื้อเมล็ดและเปลือกหุ้มเปลี่ยนแปลง (Marcus *et al.*, 2005)

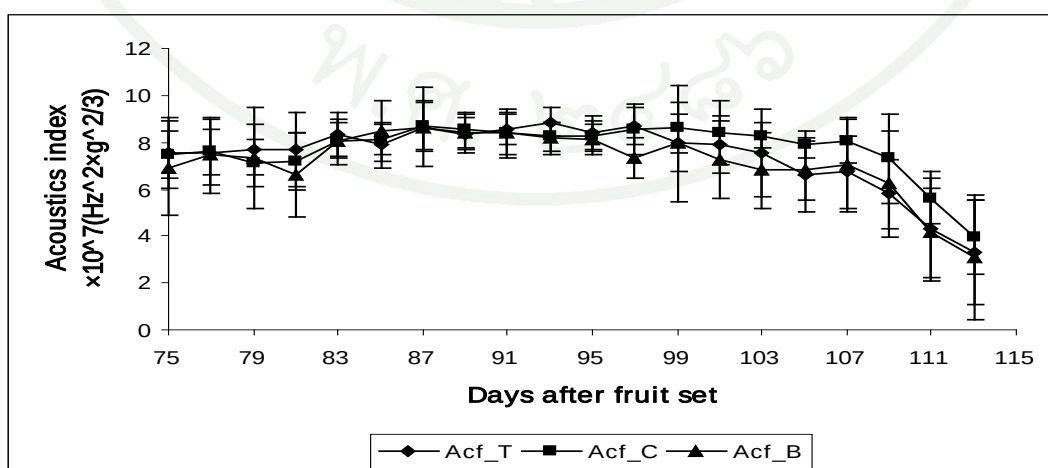
จากภาพที่ 41 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการเคาะเสียงที่มีค่าสูงในช่วงก่อนผลแก่แล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆในช่วงผลแก่และผลแก่เกินไป โดยความแน่นเนื้อตรงกลางผลและขั้วผลจะมีค่ามากที่สุด ส่วนที่ปลายผลจะมีค่าต่ำสุด จากผลการทดลอง ค่าดัชนีความแน่นเนื้อของมะม่วงโชคอนันต์ที่วัดได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงก่อนผลแก่ จนกระทั่งถึงช่วงระยะผลแก่จัดจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากผลมะม่วงเริ่มสุก ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปคตินโพลีเมอร์ที่ผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kalra *et al.*, 1995)

ตารางที่ 89 ค่า Acoustic Firmness index ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit	Firmness(Acoustic index* 10^7 : $\text{Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$)			
	Top	Center	Bottom	Average
69	5.92±1.53	5.38±1.02	3.77±2.00	5.02±1.00
71	6.39±1.40	6.15±0.99	5.96±1.60	6.16±0.84
73	7.34±1.08	7.03±1.03	5.94±2.16	6.77±1.13
75	7.54±1.55	7.49±1.22	6.92±1.79	7.32±1.31
77	7.56±0.97	7.59±0.75	7.45±0.97	7.53±0.78
79	7.72±0.98	7.11±0.64	7.32±1.26	7.38±0.73
81	7.68±1.02	7.20±1.03	6.62±1.70	7.17±1.07
83	8.34±0.80	8.06±0.74	8.04±0.69	8.15±0.49
85	7.89±0.65	8.14±0.93	8.48±1.02	8.17±0.64

ตารางที่ 89 ค่า Acoustic Firmness index ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง(ต่อ)

Days after fruit set	Firmness(Acoustic index*10 ⁷ : Hz ² *g ^{2/3})			
	Top	Center	Bottom	Average
87	8.64±0.61	8.71±0.60	8.64±0.70	8.67±0.49
89	8.36±0.73	8.52±0.65	8.38±0.65	8.42±0.59
91	8.58±0.79	8.37±1.09	8.38±0.87	8.44±0.81
93	8.86±1.23	8.24±1.05	8.17±2.50	8.42±0.94
95	8.43±1.22	8.29±1.34	8.10±1.67	8.27±1.12
97	8.67±1.88	8.53±0.53	7.32±1.60	8.17±0.94
99	7.99±1.59	8.62±0.55	7.94±1.27	8.18±0.91
101	7.91±1.53	8.40±0.94	7.26±2.01	7.86±0.95
103	7.57±1.45	8.28±1.91	6.80±2.24	7.55±1.60
105	6.62±2.22	7.90±1.11	6.79±1.91	7.10±1.56
107	6.73±2.23	8.03±1.58	7.03±2.63	7.26±1.36
109	5.80±1.99	7.30±1.70	6.22±2.18	6.44±1.23
111	4.28±1.28	5.64±2.21	4.15±1.96	4.69±1.59
113	3.32±1.14	3.93±1.58	3.09±1.25	3.45±0.86



ภาพที่ 41 ค่า Fruit firmness (Acoustics index) ที่ตำแหน่งต่างๆของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

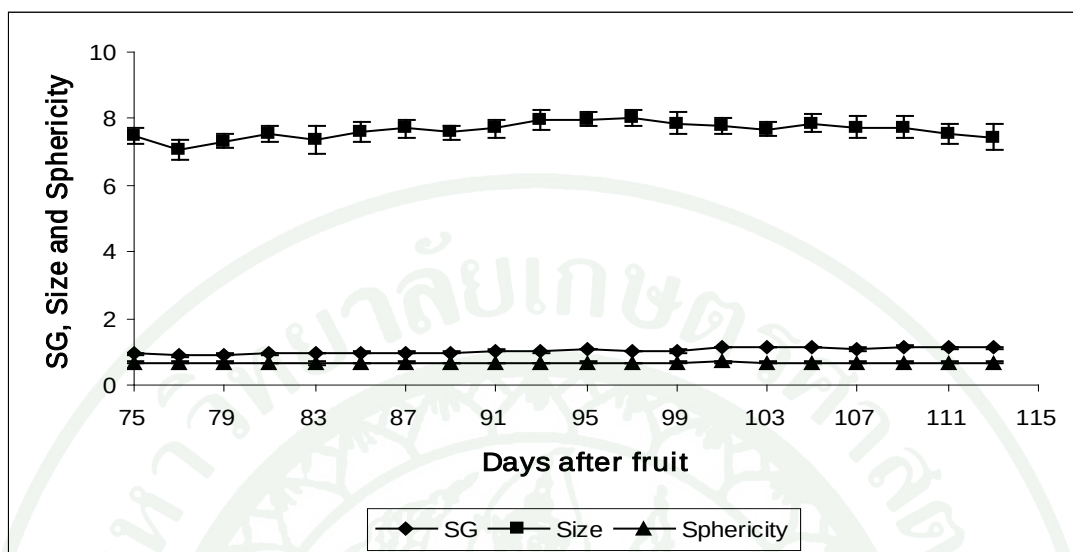
สมบัติทางกายภาพของมะม่วงโชคอนันต์

สมบัติทางกายภาพบางประการของมะม่วงเช่น น้ำหนักจำเพาะ ขนาดของผล และความกลม มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโต น้ำหนักจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดการเจริญเติบโตโดยมีค่า 0.90-0.99 ในช่วงก่อนผลแก่ที่อายุ 69-89 วันหลังติดผล แล้วมีค่ามากกว่า 1.00 ในช่วงผลแก่โดยมีค่าระหว่าง 1.04-1.05 ที่อายุ 91-99 วันหลังติดผล จากนั้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกในช่วงผลแก่จัดระหว่าง 1.05-1.11 ขณะที่ขนาดของผลมะม่วงโชคอนันต์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆระหว่างการเจริญเติบโตในระยะก่อนผลแก่ (immature) จาก 6.85 ถึง 7.70 เซนติเมตร แต่เมื่อมะม่วงมีอายุ 91 วันหลังติดผล ในช่วงผลแก่จนถึงผลแก่เกินไปขนาดของผลจะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อย และค่อนข้างคงที่ระหว่าง 7.70- 7.75 เซนติเมตร (ตารางที่ 90) การเพิ่มขึ้นของขนาดน่าจะเกิดจากการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยาของผลมะม่วง และการเพิ่มขึ้นของขนาดน่าจะสามารถเป็นตัวชี้วัดในการเก็บเกี่ยวมะม่วงได้ทางหนึ่ง ขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าความกลม (sphericity) มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยระหว่างการเจริญเติบโต โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0.69 - 0.66 ค่าความกลมของผลมะม่วงจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในระยะก่อนผลแก่ระหว่าง 0.68-0.66 ในช่วงผลแก่จนถึงผลแก่เกินไปค่าความกลมของผลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยระหว่าง 0.66-0.69 (ตารางที่ 90) เนื่องจากผลมะม่วงมีการพัฒนาอย่างสม่ำเสมอในทุกด้าน ดังนั้นค่าความกลมจึงไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก

จากภาพที่ 42 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะและขนาดของผลที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความกลมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าเมื่อมะม่วงโชคอนันต์มีอายุมากขึ้นผลจะมีขนาดโตขึ้นในทุกๆด้านจึงส่งผลให้ความกลมมีการเปลี่ยนแปลงน้อย สอดคล้องกับงานของ Jha *et al.* (2006a) ที่พบว่า มะม่วงพันธุ์ Dashahari เมื่อแก่ผลจะมีขนาดโตขึ้น แต่ความกลมไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ขณะที่เมื่อผลแก่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเกิน 1.00 ซึ่งแสดงว่าผลมะม่วงอยู่ในระยะการแก่ที่สามารถเก็บเกี่ยวได้

ตารางที่ 90 ค่า SG, Size และ Sphericity ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	SG	SIZE	SPHERE
69	0.90±0.02	6.85±0.23	0.68±0.02
71	0.95±0.03	6.87±0.32	0.67±0.02
73	0.93±0.01	7.15±0.21	0.68±0.02
75	0.93±0.01	7.50±0.21	0.67±0.02
77	0.89±0.01	7.06±0.43	0.68±0.04
79	0.92±0.01	7.32±0.30	0.67±0.02
81	0.93±0.02	7.55±0.28	0.67±0.03
83	0.94±0.02	7.38±0.19	0.67±0.02
85	0.98±0.02	7.63±0.27	0.66±0.02
87	0.98±0.03	7.70±0.30	0.67±0.02
89	0.99±0.01	7.58±0.23	0.66±0.02
91	1.04±0.01	7.70±0.24	0.66±0.02
93	1.00±0.06	7.96±0.33	0.67±0.03
95	1.07±0.02	7.99±0.24	0.68±0.02
97	1.02±0.01	8.04±0.20	0.67±0.01
99	1.05±0.02	7.86±0.27	0.68±0.03
101	1.13±0.04	7.77±0.33	0.69±0.03
103	1.15±0.04	7.69±0.33	0.68±0.02
105	1.14±0.05	7.86±0.29	0.67±0.02
107	1.07±0.03	7.73±0.39	0.69±0.02
109	1.16±0.03	7.75±0.31	0.68±0.02
111	1.11±0.03	7.53±0.39	0.68±0.02
113	1.11±0.03	7.43±0.39	0.68±0.01



ภาพที่ 42 ค่า SG, SIZE และ SPHERE ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

สมบัติทางสรีรวิทยาของมะม่วงโชคอนันต์

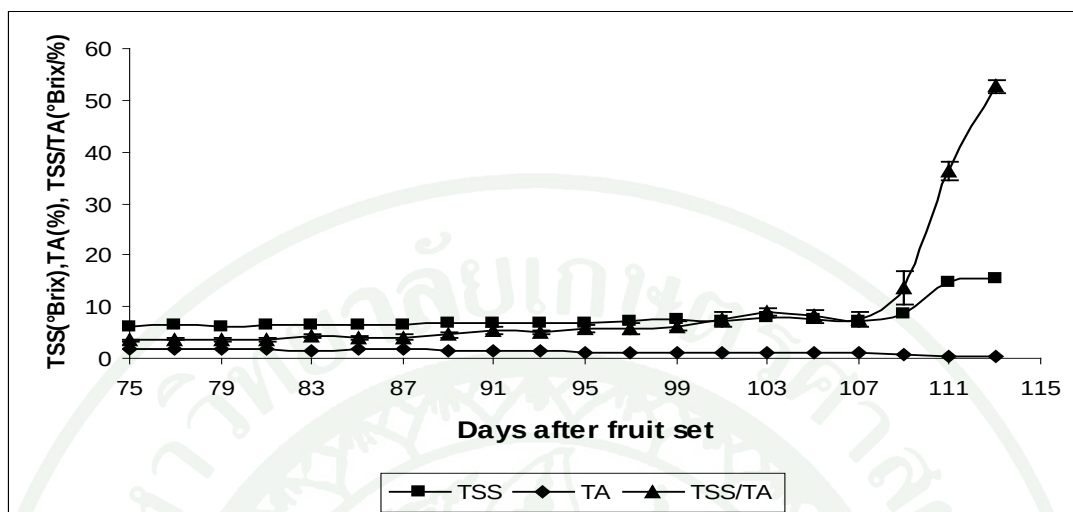
การตรวจวัดค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) โดยปอกเปลือกมะม่วงออกให้หมด นำเนื้อมะม่วงทั้งผลที่ได้มาคั้นน้ำโดยใช้เครื่องคั้นน้ำผลไม้แล้วกรองด้วยผ้าดี ก่อนวัดทำการปรับเทียบเครื่องด้วยน้ำกลั่นอ่านค่าจากเครื่องได้ 0.00 จากนั้นหยดน้ำคั้นลงบนเครื่อง Refractometer และอ่านค่าจากเครื่อง ในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจะทำการทดลอง 20 ผล ขณะที่การตรวจวัดค่าปริมาณกรด (TA) โดย ชั่งน้ำหนักน้ำมะม่วงที่สกัดได้ จำนวน 6 กรัม ใส่บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร ไตเตรทน้ำคั้นมะม่วงด้วย 0.1 N NaOH จนเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน อ่านค่าปริมาณ NaOH ที่ใช้ไปในการไตเตรทเป็นมิลลิลิตร จากผลการทดลอง พบว่าค่าปริมาณน้ำตาล (TSS) ของมะม่วงโชคอนันต์ที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆระหว่าง 6.45 – 15.39 °Brix. ระหว่างการเจริญเติบโตโดยในระยะก่อนผลแก่ (immature) มีค่าระหว่าง 6.45-6.87°Brix. จนกระทั่งถึงระยะผลแก่ (mature) จะมีค่าปริมาณน้ำตาลระหว่าง 6.87-7.38°Brix ซึ่งอยู่ในช่วงที่มะม่วงโชคอนันต์มีอายุ 91-99 วันหลังติดผลซึ่งจะเห็นว่าค่าปริมาณน้ำตาลมีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึง 111 วันหลังติดผลจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 7.38–15.39°Brix ในช่วงผลแก่เกิน 99-113 วันหลังติดผล (over mature) (ตารางที่ 91) ขณะที่ค่าปริมาณกรด (TA) ของมะม่วงโชคอนันต์จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเจริญเติบโตในระยะก่อนผลแก่ (immature) โดยมีค่าระหว่าง 2.13-1.28 % ในช่วงอายุ 69-91 วันหลังติดผล จนกระทั่งถึงระยะผลแก่จะมีค่าปริมาณกรดค่อยๆลดลงจาก 1.28-1.20% ในช่วงอายุ

ผล 91-99 วันหลังติดผล แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือ 0.31% ในระยะผลแก่เกินไปซึ่งจะเห็นว่าค่าปริมาณกรดมีค่าค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 91). ค่าปริมาณกรดของมะม่วงที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อรสชาติของมะม่วง โดยค่าปริมาณกรดของมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่มีค่าสูงกว่าที่ Lee (1981) แนะนำว่ามะม่วงที่อยู่ในระยะผลแก่ควรมีค่าประมาณ 1 % แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรด (TSS/TA) พบว่า อัตราส่วนค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจาก 3.04-4.53 ในระยะผลก่อนผลแก่ระหว่าง 69-91 วันหลังติดผล และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างระยะผลแก่ (91-99 DAFS) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.52-6.28 แล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงผลแก่เกินระหว่าง 5.52-52.65 แม้ว่ามะม่วงโชคอนันต์จะมีค่าปริมาณน้ำตาลค่อนข้างต่ำ แต่จะมีค่าปริมาณกรดต่ำเช่นกันจึงทำให้ค่ารสชาติ(TSS/TA) มีค่าค่อนข้างสูง และช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงผลมีอายุระหว่าง 99-111 วันหลังติดผล มะม่วงที่สุกเต็มที่จะมีค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดแตกต่างกัน ดังนั้นค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดหรือแม้แต่ค่าอัตราส่วนระหว่างค่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดโดยลำพังยังไม่สามารถใช้ประเมินระยะเวลาการสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์อื่นได้ (Vasquez-Caicedo *et al.*, 2002).

จากภาพที่ 43 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำตาลที่มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อมะม่วงโชคอนันต์มีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ค่าปริมาณกรดจะมีค่าลดลงเรื่อยๆโดยปริมาณน้ำตาลจะมีค่าค่อนข้างต่ำในช่วงผลแก่ระหว่าง 91-99 วันหลังติดผล แต่ค่าปริมาณกรดก็มีค่าต่ำด้วย จึงทำให้มะม่วงโชคอนันต์มีรสชาติดหวาน โดยในระยะก่อนผลแก่จะมีรสเปรี้ยวไม่มากนัก และหลังจากระยะผลแก่ค่า TSS/TA จะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงกว่าช่วงแรกจึงทำให้มะม่วงโชคอนันต์มีรสหวานมากขึ้น

ตารางที่ 91 ค่า TSS, TA และ TSS/TA ของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	TSS(°Brix)	TA(%)	TSS/TA(°Brix/%)
69	6.45±0.33	2.13±0.18	3.04±0.17
71	6.28±0.34	1.99±0.13	3.15±0.17
73	6.39±0.36	1.90±0.20	3.40±0.28
75	6.10±0.25	1.73±0.16	3.56±0.31
77	6.35±0.22	1.74±0.17	3.67±0.37
79	6.15±0.18	1.72±0.18	3.61±0.37
81	6.60±0.32	1.85±0.18	3.63±0.52
83	6.49±0.28	1.59±0.25	4.17±0.65
85	6.60±0.31	1.71±0.21	3.94±0.72
87	6.62±0.30	1.67±0.23	3.98±0.34
89	6.71±0.39	1.52±0.24	4.53±0.81
91	6.87±0.33	1.28±0.19	5.52±1.15
93	6.86±0.34	1.41±0.25	5.04±1.06
95	6.98±0.42	1.24±0.20	5.81±1.31
97	7.03±0.29	1.23±0.15	5.77±0.67
99	7.38±0.52	1.20±0.16	6.28±1.20
101	7.31±0.32	0.99±0.17	7.59±1.43
103	7.93±2.04	0.91±0.16	9.11±3.16
105	7.45±0.74	0.95±0.19	8.19±1.90
107	7.30±0.27	0.98±0.15	7.65±1.35
109	8.66±2.05	0.66±0.16	13.66±3.27
111	14.75±1.12	0.46±0.15	36.23±13.15
113	15.39±1.39	0.31±0.09	52.65±13.15



ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงค่า TSS, TA และ TSS/TA ratio ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

สมบัติด้านสีของมะม่วงโชคอนันต์

การวัดค่าระดับสี L, a, b โดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer Hunter Color Flex 450) โดยเลือกฟังก์ชันการทำงานที่แสงตอนกลางวัน (Day light :D65) มีมุมการวัดที่ 10 องศา มีช่องเปิดสำหรับแสงผ่านและสำหรับวางตัวอย่างขนาด 31.8 มิลลิเมตรทิศทางของแสงและตัวอย่างเป็นมุม 45°/0° เลือกหน่วยการวัดเป็น Hunter Lab ซึ่งจะทำให้ค่าสีในหน่วย L a และ b และได้ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 นาโนเมตร ทำการสอบเทียบเครื่อง (Calibrate) ด้วยแผ่นมาตรฐานสีดำและสีขาวที่มีมากับเครื่อง วางผลมะม่วงตามแนวนอนที่ช่องวางตัวอย่างโดยทำการวัดผลละ 6 จุด บริเวณขั้วผล(stem) กลางผล และปลายผล(apex) ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง บันทึกค่าดัชนีสีขาว ดัชนีสีเหลือง ดัชนีความสว่าง และค่าการสะท้อนแสงที่ระดับความยาวคลื่นต่างๆ จากผลการทดลอง พบว่า ในช่วงแรกของการพัฒนาผลมะม่วงในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) ค่าความสว่าง L จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 44.11-45.11 จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยในระยะผลแก่ระหว่าง 45.11-45.77 แล้วเพิ่มขึ้นในอัตราสูงกว่าในระยะผลแก่เกินระหว่าง 45.77-52.90 เช่นเดียวกับค่า a ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเขียวของผิวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก -8.26 เป็น -7.92 ระหว่างระยะก่อนผลแก่ เมื่อถึงระยะผลแก่ก็ยังมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก -7.92 เป็น -7.72 แล้วเพิ่มขึ้นในอัตราสูงกว่าในระยะผลแก่เกินระหว่าง -7.72 ถึง -4.09 แสดงว่าผิวเปลือกจะมีค่าสีเขียวลดลงและแสดงค่าสีแดงเพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันค่าสีเหลืองของผิวเปลือกมะม่วง b ก็จะมีค่า

ค่อนข้างคงที่ในระยะก่อนผลแก่ระหว่าง 17.12 - 17.14 แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงระยะผลแก่ระหว่าง 17.14-17.31 แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราสูงกว่าในระยะผลแก่เกินระหว่าง 17.31 – 22.09 (ตารางที่ 92) จะเห็นว่าค่าสีเหลืองค่อนข้างคงที่และเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่ ผลการเปลี่ยนแปลงของสีแสดงการลดลงของสีเขียว และการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองอ่อนๆเมื่อมะม่วงเริ่มแก่ซึ่งคล้ายกับ Li (1997) กล่าวว่าสัญญาณแรกที่แสดงว่ามะม่วงสุกแก่ คือการเปลี่ยนแปลงของสีจากเขียวเป็นเหลือง ซึ่งเกิดจากการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในผิวเปลือกมะม่วง ซึ่งสอดคล้องกับ Kays (1991) ที่กล่าวว่า ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวหายไป ตามปกติจะเกิดร่วมกับการเกิดรงควัตถุชนิดอื่นๆเช่น แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน จะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของแคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมาได้

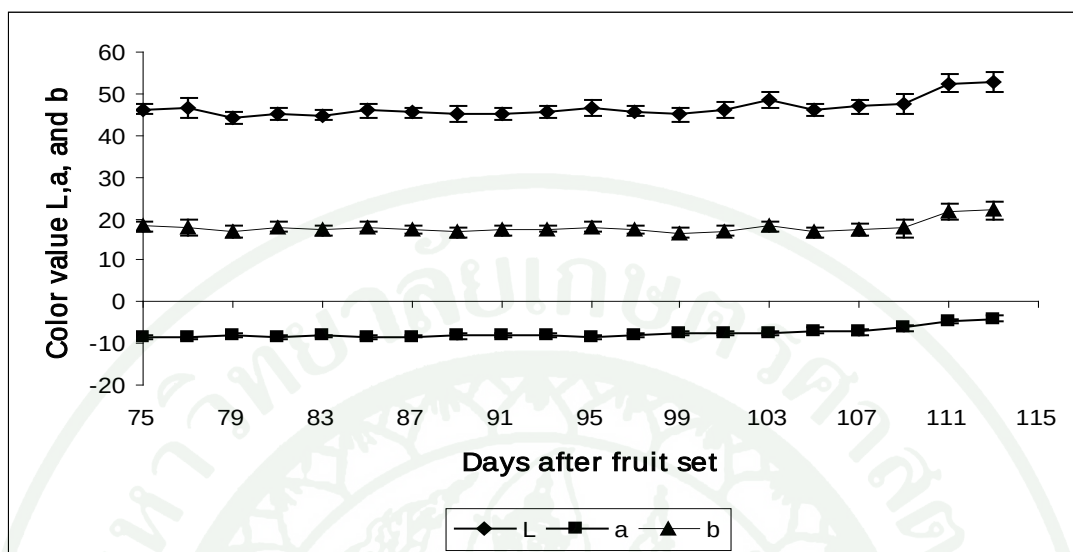
จากภาพที่ 44 จะเห็นว่ามะม่วงโชคอนันต์มีค่าความสว่างที่ผิวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดอายุการเจริญเติบโตของผล ขณะเดียวกันค่าสีเขียวที่ผิวก็จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ สีเขียวของผิวเปลือกจึงลดลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงในช่วงผลแก่เกิน ขณะเดียวกันสีเหลืองที่ผิวก็จะแสดงออกมาเร็วกว่าปกติ ทำให้ผิวเปลือกของมะม่วงโชคอนันต์ที่ได้มีสีเหลืองเข้มหลังช่วงผลแก่ และจะมีสีแดงเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกิน

ค่าการสะท้อนแสงของมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงความยาวคลื่น 400 และ 700 นาโนเมตร ไม่แสดงการบ่งชี้อะไรที่ชัดเจนนัก ยกเว้นค่าการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร และมากกว่า 670 นาโนเมตร เมื่อมะม่วงมีอายุมากขึ้นค่าการสะท้อนแสงจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในทุกช่วงความยาวคลื่น และมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร โดยมะม่วงในระยะก่อนผลแก่จนถึงผลแก่ระหว่าง 75-109 วันหลังติดผลจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 550-580 นาโนเมตร แล้วลดลงในอัตราที่น้อยลงในช่วงความยาวคลื่น 580-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร ส่วนมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในช่วงผลแก่เกินจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร จากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆในช่วงความยาวคลื่น 550-640 นาโนเมตร แล้วลดลงในอัตราที่รวดเร็วมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 640-680 นาโนเมตร หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง

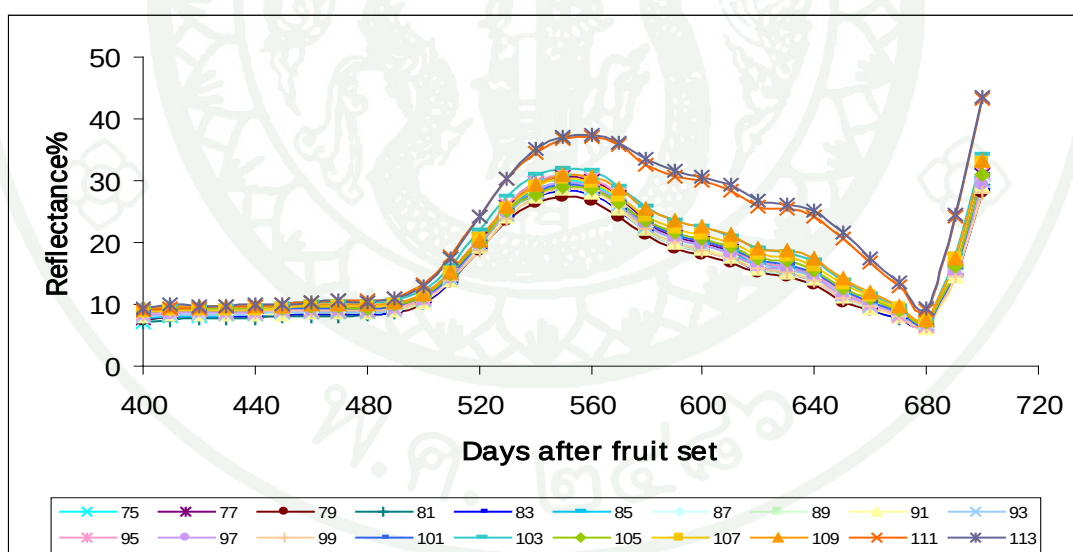
ความยาวคลื่น 680-700 นาโนเมตร (ภาพที่ 45) แสดงว่ามะม่วงก่อนผลแก่ถึงผลแก่ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-680 นาโนเมตรจะมีค่าน้อยกว่า เมื่อมะม่วงแก่เกินจะมีค่ามากกว่า และเพิ่มขึ้นในช่วงผลแก่เกิน

ตารางที่ 92 ค่า L, a และ b ของมะม่วงโศคนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

Days after fruit set	L	a	b
69	44.11±1.22	-8.26±0.46	17.35±1.14
71	44.18±2.20	-8.32±0.44	17.12±1.78
73	44.52±1.55	-8.09±0.56	16.87±1.52
75	46.28±1.37	-8.63±0.37	18.12±1.09
77	46.61±1.32	-8.71±0.33	17.85±1.15
79	44.17±1.61	-8.10±0.45	16.85±1.27
81	45.21±1.18	-8.59±0.38	18.07±0.97
83	44.85±1.94	-8.13±0.58	17.30±1.29
85	45.92±1.52	-8.45±0.46	17.97±1.11
87	45.48±1.30	-8.30±0.49	17.30±0.92
89	45.02±1.89	-8.17±0.60	16.75±1.35
91	45.11±1.29	-7.92±0.54	17.14±1.09
93	45.61±1.69	-7.98±0.52	17.60±1.23
95	46.73±1.73	-8.43±0.54	18.06±1.37
97	45.77±1.94	-8.10±0.43	17.31±1.30
99	45.12±1.53	-7.72±0.66	16.44±1.17
101	46.11±1.72	-7.42±0.68	17.12±1.42
103	48.32±2.32	-7.54±0.72	18.09±2.10
105	46.16±2.12	-6.93±0.60	16.77±1.92
107	46.86±2.30	-7.22±0.72	17.58±2.14
109	47.52±2.48	-6.16±1.05	17.70±1.57
111	52.54±3.60	-4.69±1.83	21.89±3.01
113	52.90±3.89	-4.09±2.69	22.09±3.24



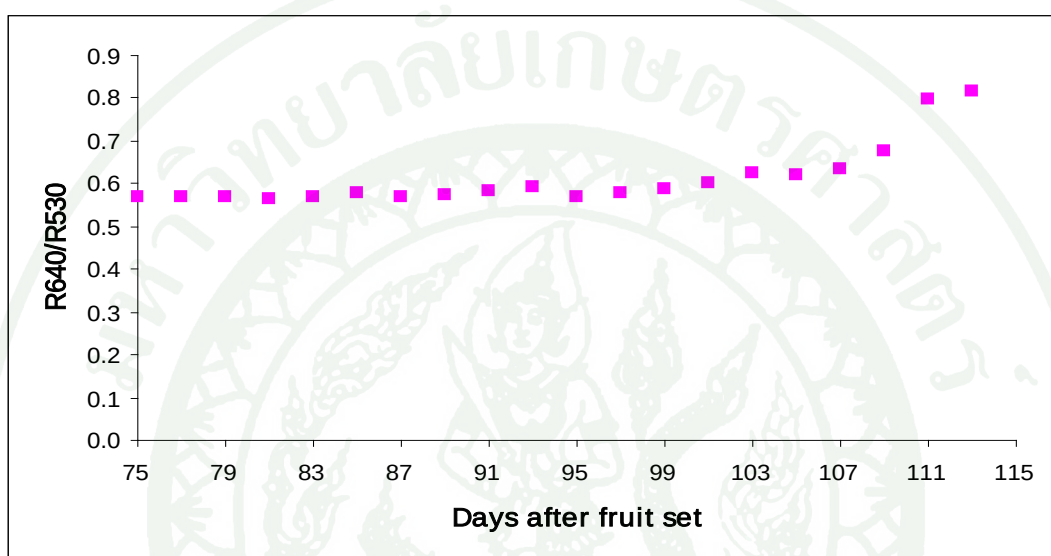
ภาพที่ 44 การเปลี่ยนค่าสี L, a และ b ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง



ภาพที่ 45 Visible spectrum ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ช่วง 400-700 นาโนเมตรในปีที่สอง

แต่เมื่อทำการปรับค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่แสดงการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ (Merzlyak *et al.*, 2003) ด้วยค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่แสดงค่าแคโรทีนอยด์บนพื้นหลังของคลอโรฟิลล์ (Merzlyak *et al.*, 2003) ได้ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 แล้วนำไปหาความสัมพันธ์กับวันหลังติด

ผล (DAFS) พบว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่ดี โดยค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดช่วงการเจริญเติบโตของผลมะม่วง (ภาพที่ 47) จึงน่าจะใช้เป็นตัวชี้วัดแบบไม่ทำลายอีกตัวหนึ่งที่จะนำไปทำนายความแก่ของมะม่วงโชคอนันต์ได้



ภาพที่ 46 Reflectance ratio (R640/R530) ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

การจำแนกความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม

สมบัติแบบไม่ทำลายที่ใช้ในการทำนายคุณภาพของมะม่วงถูกแบ่งเป็น 5 โมเดล โมเดลที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 36 ตัวแปรคือ น้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โมเดลที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 9 ตัวแปรคือ น้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าสี L, a, b และ ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 โมเดลที่ 3 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 8 ตัวแปรคือ น้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าสี L, a, b โมเดลที่ 4 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 6 ตัวแปรคือ น้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 และ โมเดล 5 ประกอบด้วยตัวแปร

ที่ใช้ในการทำนาย 35 ตัวแปรคือ ขนาด ความกลม ดัชนีความแน่นเนื่องจากการกระแทก ดัชนีความแน่นเนื่องจากการเคาะเสียง ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร (ตารางที่ 93)

ตารางที่ 93 สมบัติของมะม่วงที่ใช้ในการทำนายคุณภาพของมะม่วงโชคอนันต์ในปีที่สอง

Model	No. of Predictors	Properties
1	36	SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)
2	9	SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color L, a, b and Light reflectance ratio at R640/R530
3	8	SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color L, a, b
4	6	SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance ratio at R640/R530
5	35	SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

ตารางที่ 94 แสดงการแบ่งช่วงอายุการแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นสามช่วงโดยใช้การนับวันหลังติดผลเป็น ระยะก่อนผลแก่ (immature stage) 75-89 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 160 ผล ระยะผลแก่ (mature stage) 89-99 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 100 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) 99-113 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 140 ผล

ตารางที่ 94 ระยะเวลาและจำนวนผลมะม่วงเมื่อแบ่งกลุ่มตามความแก่เป็น 3 กลุ่มตามวันหลังติดผลในปีที่สอง

พันธุ์มะม่วง	ระยะเวลา	Maturity stages		
		Immature	Mature	Over mature
โชคอนันต์	วันหลังติดผล	75-89	89-99	99-113
	จำนวนผล	160	100	140

ตารางที่ 95 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของมะม่วงโชคอนันต์ตามวันหลังติดผลตั้งแต่อายุ 75-113 วัน สามารถแบ่งระยะการแก่เป็น 3 ระยะ คือระยะก่อนผลแก่ ระยะผลแก่ และระยะผลแก่เกิน พบว่า วันหลังติดผลมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ 82.00 ± 4.60 , 98.00 ± 4.60 และ 110.00 ± 2.25 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าสมบัติแบบทำลายส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากอายุการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นค่าความแน่นเนื่องจากการกด และค่า TSS/TA ในช่วงก่อนผลแก่และช่วงผลแก่มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนี้คือ ค่า TSS จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 6.45 ± 0.35 , 7.34 ± 1.30 และ $11.70 \pm 3.86\%$ ตามลำดับ ส่วนค่า TA จะมีค่าลดลงตามระยะการแก่ทั้งสามระดับโดยมีค่าเฉลี่ย 1.69 ± 0.22 , 1.15 ± 0.25 และ $0.58 \pm 0.31\%$ ตามลำดับ ทำให้ค่า TSS/TA มีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงก่อนผลแก่และระยะผลแก่แล้วจะมีค่าลดลงในช่วงผลแก่เกินโดยมีค่า 3.89 ± 0.62 , 6.84 ± 2.78 และ $33.12 \pm 29.04\%$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความแน่นเนื่องจากการกดจะมีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงก่อนผลแก่และระยะผลแก่แล้วจะมีค่าลดลงในช่วงผลแก่เกินโดยมีค่า 31.67 ± 3.82 , 31.57 ± 4.30 และ 21.55 ± 9.88 N/mm ตามลำดับ

ตารางที่ 95 Destructive properties ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์และวันหลังติดผลเมื่อแบ่งเป็น 3 กลุ่มในปีที่สอง

Properties	Immature	Mature	Over mature
DAFS	$82.00 \pm 4.60a^*$	$98.00 \pm 4.60b$	$110.00 \pm 2.25c$
TSS	$6.45 \pm 0.35a$	$7.34 \pm 1.30b$	$11.70 \pm 3.86c$
TA	$1.69 \pm 0.22c$	$1.15 \pm 0.25b$	$0.58 \pm 0.31a$
TSS/TA	$3.89 \pm 0.62a$	$6.84 \pm 2.78a$	$33.12 \pm 29.04b$
FC	$31.67 \pm 3.82b$	$31.57 \pm 4.30b$	$21.55 \pm 9.88a$

*ตัวอักษรในแถวเดียวกันแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม แล้วแบ่งกลุ่มสมบัติแบบไม่ทำลายที่ใช้ในการทำนายคุณภาพของมะม่วงเป็น 5 โมเดล โมเดลที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 36 ตัวแปร โมเดลที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 9 ตัวแปร โมเดลที่ 3 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 8 ตัวแปร โมเดลที่ 4 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 6 ตัวแปร โมเดลที่ 5 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 35 ตัวแปร จากผลการทำนาย พบว่า ค่า

Eigenvalue ของโมเดล 1 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือโมเดล 2, 3, 4, และ 5 คือ 7.281, 5.624, 5.551, 5.405, และ 3.420 ตามลำดับ และมีค่าความผันแปรของข้อมูล (% of Variance) เท่ากับ 91.6, 95.7, 95.6, 95.6, และ 81.2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อลดจำนวนตัวแปรลงจะทำให้ค่า % of Variance มีแนวโน้มสูงกว่า ได้ค่า Canonical correlation เท่ากับ 0.938, 0.921, 0.921, 0.919, และ 0.880 ตามลำดับ และโมเดล 1 มีค่า % Correctly classified in cross validation มากที่สุด รองลงมาคือโมเดล 4, 3, 2 และ 5 คือ 94.3, 90.8, 90.5, 90.0, และ 89.0 ตามลำดับ ซึ่งพอสรุปได้ว่า โมเดล 1 โดยใช้ตัวแปรในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 94.3 % รองลงมาคือโมเดล 4 ที่ลดตัวแปร Light reflectance ที่ 400-700 nm ออกไปมีค่าการทำนายถูกต้อง 90.8 % (ตารางที่ 96)

ตารางที่ 96 เปรียบเทียบค่า Eigenvalue ของ function 1 และ % correctly classified ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม

Model	Function 1			%Correctly classified in cross validation
	Eigenvalue	% of Variance	Canonical correlation	
1	7.281	91.6	0.938	94.3
2	5.624	95.7	0.921	90.0
3	5.551	95.6	0.921	90.5
4	5.405	95.6	0.919	90.8
5	3.420	81.2	0.880	89.0

ตารางที่ 97 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 1 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 36 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงโชคอนันต์ให้มีหน่วยเดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 คือ ค่า R490 มีค่า 11.441 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 คือ ค่า R480 มีค่า 16.148

ตารางที่ 98 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่ คือ ค่า

SG, Impact firmness, R400, R440, R410, R420, R450, R430, และ Sphere มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 ส่วนค่า size, R500, Acoustic firmness, R490, R470, R520, R480 และ R530 มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 2 ส่วนตัวแปรที่เหลือไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 97 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*

	Function	
	1	2
SG	0.893	-0.181
SIZE	0.188	0.502
SPHERE	0.076	-0.091
IM_C	-0.252	0.060
AC_C	-0.146	0.487
R400	0.039	0.846
R410	-0.479	-0.713
R420	-0.683	0.813
R430	3.067	1.720
R440	4.002	5.646
R450	-5.563	-14.101
R470	-6.131	-9.472
R480	-2.465	16.148
R490	11.441	3.695
R500	-2.996	-5.846
R520	1.178	1.192
R530	-1.041	0.391

* Model 1 ประกอบด้วย 36 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

ตารางที่ 98 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.742a	-0.043
IM_C	-0.294a	0.155
R400	0.290a	-0.051
R440	0.269a	-0.193
R410	0.260a	-0.117
R420	0.259a	-0.151
R450	0.258a	-0.251
R430	0.257a	-0.179
SPHERE	0.096a	-0.069
Size	0.112	0.532a
R500	0.218	-0.344a
AC_C	-0.077	0.332a
R490	0.259	-0.323a
R470	0.264	-0.296a
R520	0.154	-0.294a
R480	0.256	-0.290a
R530	0.148	-0.272a

* Model 1 ประกอบด้วย 36 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

a Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

ตารางที่ 99 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 1 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงโชคอนันต์อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 99 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความ
สูงแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	844.512	908.611	986.069
SIZE	79.108	83.635	82.447
SPHERE	1166.538	1169.833	1187.609
IM_C	173.203	167.502	160.319
AC_C	-4.174	-3.895	-4.792
R400	-34.691	-32.580	-34.480
R410	-144.129	-147.751	-147.844
R420	128.991	128.066	123.203
R430	276.132	293.587	301.607
R440	-114.244	-82.728	-81.066
R450	27.962	-31.765	-17.621
R470	-210.529	-259.576	-259.955
R480	-133.388	-104.718	-155.467
R490	340.070	394.242	428.553
R500	-160.521	-180.307	-178.158
R520	44.973	47.880	48.498
R530	-3.843	-4.910	-6.504
(Constant)	-1357.819	-1463.474	-1542.774

*Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 100 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม (original) มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 157 ผล คิดเป็นร้อยละ 98.1 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 3 ผล คิดเป็นร้อยละ 1.9 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 96 ผล คิดเป็นร้อยละ 96.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 129 ผล คิดเป็นร้อยละ 92.1 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 11 ผล คิดเป็นร้อยละ 7.9 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผล ในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 156 ผล คิดเป็นร้อยละ 97.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 4 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.5 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 95 ผล คิดเป็นร้อยละ 95.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 3 ผล คิดเป็นร้อยละ 3.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 126 ผล คิดเป็นร้อยละ 90.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 10.0 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1 ค่าการทำนายถูกต้องจะมีค่าสูงและมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 95.5% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 94.3%

ตารางที่ 100 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 1*

			Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	157	3	0	160
		Mature	2	96	2	100
		Over mature	0	11	129	140
	%	Immature	98.1	1.9	.0	100.0
		Mature	2.0	96.0	2.0	100.0
		Over mature	.0	7.9	92.1	100.0
Cross-validated	Count	Immature	156	4	0	160
		Mature	2	95	3	100
		Over mature	0	14	126	140
	%	Immature	97.5	2.5	.0	100.0
		Mature	2.0	95.0	3.0	100.0
		Over mature	.0	10.0	90.0	100.0

a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b 95.5% of original grouped cases correctly classified.

c 94.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 101 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 2 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 9 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงโชคอนันต์ให้มีหน่วยเดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 คือ ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง R640/R530 มีค่า 0.905 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 คือ ค่า SIZE มีค่า 0.789

ตารางที่ 101 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*

	Function	
	1	2
SG	0.903	-0.006
SIZE	0.209	0.789
SPHERE	0.111	-0.162
IM_C	-0.277	-0.198
AC_C	-0.098	0.347
L	0.244	-0.243
a	-0.487	-0.058
b	-0.567	0.299
R640/R530	0.905	-0.229

* Model 2 ประกอบด้วย 9 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color value L, a, b and Light reflectance ratio at R640/R530

ตารางที่ 102 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่ คือ ค่า SG, Impact firmness, และ Sphere มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า SIZE, Acoustic firmness, R640/R530, a, L, และ b มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 ส่วนตัวแปรที่เหลือไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 102 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.844a	0.075
IM_C	-0.336a	0.193
SPHERE	0.110a	-0.094
SIZE	0.120	0.884a
AC_C	-0.092	0.523a
R640/R530	0.288	-0.494a
a	0.320	-0.466a
L	0.221	-0.425a
b	0.106	-0.330a

* Model 2 ประกอบด้วย 9 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color value L, a, b and Light reflectance ratio at R640/R530

a Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

ตารางที่ 103 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 2 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงโชคอนันต์อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 104 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม (original) มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 150 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.8 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 10 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.3 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 92 ผล คิดเป็นร้อยละ 92.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถ

ทำนายได้ถูกต้อง 125 ผล คิดเป็นร้อยละ 89.3 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 15 ผล คิดเป็นร้อยละ 10.7 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผล ในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 146 ผล คิดเป็นร้อยละ 91.3 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 8.8 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 91 ผล คิดเป็นร้อยละ 91.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 3 ผล คิดเป็นร้อยละ 3.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 123 ผล คิดเป็นร้อยละ 87.9 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 17 ผล คิดเป็นร้อยละ 12.1 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2 ค่าการทำนายถูกต้องจะมีค่าสูงและมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 91.8% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 90.0%

ตารางที่ 103 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	941.387	1001.164	1066.917
SIZE	73.295	77.626	76.664
SPHERE	1278.319	1282.847	1304.985
IM_C	50.397	42.577	37.964
AC_C	-8.563	-8.468	-8.913
L	-20.993	-20.857	-20.484
a	-283.742	-284.866	-285.978
b	-58.958	-59.502	-60.446
R640/R530	6546.014	6575.749	6616.156
(Constant)	-3202.984	-3313.565	-3417.477

*Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 104 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 2*

			Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	150	10	0	160
		Mature	6	92	2	100
		Over mature	0	15	125	140
	%	Immature	93.8	6.3	.0	100.0
		Mature	6.0	92.0	2.0	100.0
		Over mature	.0	10.7	89.3	100.0
Cross-validated	Count	Immature	146	14	0	160
		Mature	6	91	3	100
		Over mature	0	17	123	140
	%	Immature	91.3	8.8	.0	100.0
		Mature	6.0	91.0	3.0	100.0
		Over mature	.0	12.1	87.9	100.0

a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b 91.8% of original grouped cases correctly classified.

c 90.0% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 105 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 3 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 8 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงโชคอนันต์ให้มีหน่วยเดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 คือ ค่า SG มีค่า 0.887 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 คือ ค่า SIZE มีค่า 0.789

ตารางที่ 105 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*

	Function	
	1	2
SG	0.887	-0.004
SIZE	0.210	0.789
SPHERE	0.105	-0.160
IM_C	-0.262	-0.201
AC_C	-0.083	0.344
L	0.495	-0.308
a	0.145	-0.218
b	-0.405	0.259

* Model 3 ประกอบด้วย 8 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color value L, a, and b

ตารางที่ 106 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่ คือ ค่า SG, Impact firmness, และ Sphere มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า SIZE, Acoustic firmness, a, L, และ b มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 ส่วนตัวแปรที่เหลือไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 107 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 3 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงโชคอนันต์อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 106 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.849a	0.072
IM_C	-0.338a	0.195
SPHERE	0.110a	-0.094
SIZE	0.121	0.884a
AC_C	-0.093	0.524a
a	0.322	-0.468a
L	0.222	-0.426a
b	0.107	-0.331a

* Model 3 ประกอบด้วย 8 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Color value L, a, and b

*a Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

ตารางที่ 108 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม (original) มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผล ในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 150 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.8 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 10 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.3 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 92 ผล คิดเป็นร้อยละ 92.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 3 ผล คิดเป็นร้อยละ 3.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 126 ผล คิดเป็นร้อยละ 90.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 10.0 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผล ในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 153 ผล คิดเป็นร้อยละ 95.6 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 6 ผล คิดเป็นร้อยละ 3.8 และช่วงผลแก่เกิน 1 ผล คิดเป็นร้อยละ 0.6 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 81 ผล คิดเป็นร้อยละ 81.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 14 ผล คิดเป็นร้อยละ

ละ 14.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 122 ผล คิดเป็นร้อยละ 87.1 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 4 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.9 อยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 10.0 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3 ค่าการทำนายถูกต้องจะมีค่าสูงและมีค่าคลงเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 92.0% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 90.5%

ตารางที่ 107 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	666.060	724.586	788.640
SIZE	72.452	76.779	75.812
SPHERE	1131.259	1135.118	1156.349
IM_C	121.484	113.987	109.813
AC_C	-3.581	-3.464	-3.878
L	27.002	27.356	28.025
a	-13.150	-13.045	-12.486
b	-18.655	-19.016	-19.710
(Constant)	-1529.336	-1624.676	-1707.769

*Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 109 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 4 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 6 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงโชคอนันต์ให้มีหน่วย เดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 คือ ค่า SG มีค่า 0.921 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 2 คือ ค่า SIZE มีค่า 0.805

ตารางที่ 108 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 3*

			Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	150	10	0	160
		Mature	5	92	3	100
		Over mature	0	14	126	140
	%	Immature	93.8	6.3	.0	100.0
		Mature	5.0	92.0	3.0	100.0
		Over mature	.0	10.0	90.0	100.0
Cross-validated	Count	Immature	148	12	0	160
		Mature	5	92	3	100
		Over mature	0	18	122	140
	%	Immature	92.5	7.5	.0	100.0
		Mature	5.0	92.0	3.0	100.0
		Over mature	.0	12.9	87.1	100.0

a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b 92.0% of original grouped cases correctly classified.

c 90.5% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 110 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำหลายส่วนใหญ่ คือ ค่า SG, Impact firmness, และ Sphere มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า SIZE, Acoustic firmness, และ R640/R530 มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 ส่วนตัวแปรที่เหลือไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 109 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*

	Function	
	1	2
SG	0.921	-0.043
SIZE	0.194	0.805
SPHERE	0.114	-0.165
IM_C	-0.258	-0.193
AC_C	-0.051	0.326
R640/R530	0.264	-0.272

* Model 4 ประกอบด้วย 6 predictors ได้แก่ SG, SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, and Light reflectance ratio at R640/R530

ตารางที่ 110 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*

Predictors	Function	
	1	2
SG	0.861a	0.056
IM_C	-0.342a	0.203
SPHERE	0.112a	-0.097
SIZE	0.124	0.889a
AC_C	-0.093	0.530a
R640/R530	0.294	-0.505a

* Model 4 ประกอบด้วย 6 predictors ได้แก่ SG, Size, Sphere, Impact index, Acoustic index, and Light reflectance ratio at R640/R530

*a Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

ตารางที่ 111 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 4 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงโชคอนันต์อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 111 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SG	659.986	719.313	785.552
SIZE	68.571	72.795	71.618
SPHERE	1261.176	1265.805	1287.974
IM_C	172.390	165.112	161.079
AC_C	-.626	-.471	-.809
R640/R530	373.299	378.590	393.445
(Constant)	-1199.230	-1289.734	-1369.270

Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 112 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม (original) มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผล ในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 149 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.1 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 11 ผล คิดเป็นร้อยละ 6.9 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 93 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 123 ผล คิดเป็นร้อยละ 87.9 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 17 ผล คิดเป็นร้อยละ 12.1 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผล ในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 147 ผล คิดเป็นร้อยละ 95.6 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 13 ผล คิดเป็นร้อยละ 3.8 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถ

ทำนายได้ถูกต้อง 93 ผล คิดเป็นร้อยละ 93.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.0 ส่วนมะม่วงไซคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 123 ผล คิดเป็นร้อยละ 87.9 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 17 ผล คิดเป็นร้อยละ 12.1 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4 ค่าการทำนายถูกต้องจะมีค่าสูงและมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 91.3% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 90.8%

ตารางที่ 112 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงไซคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 4*

		CLASS_3	Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	149	11	0	160
		Mature	5	93	2	100
		Over mature	0	17	123	140
	%	Immature	93.1	6.9	.0	100.0
		Mature	5.0	93.0	2.0	100.0
		Over mature	.0	12.1	87.9	100.0
Cross-validated	Count	Immature	147	13	0	160
		Mature	5	93	2	100
		Over mature	0	17	123	140
	%	Immature	91.9	8.1	.0	100.0
		Mature	5.0	93.0	2.0	100.0
		Over mature	.0	12.1	87.9	100.0

a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b 91.3% of original grouped cases correctly classified.

c 90.8% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 113 แสดงค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรในโมเดล 5 ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย 35 ตัวแปร ซึ่งได้รับการปรับให้ทุกค่าของสมบัติของมะม่วงโชคอนันต์ให้มีหน่วยเดียวกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการทำนาย พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด ใน Function 1 คือ ค่า R490 มีค่า 14.482 ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 คือ ค่า R480 มีค่า 14.574

ตารางที่ 113 ค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*

	Function	
	1	2
SIZE	0.199	0.548
SPHERE	0.166	-0.166
IM_C	-0.391	0.326
AC_C	0.253	0.430
R400	1.710	0.328
R410	1.592	-0.858
R420	-2.238	1.801
R430	-1.660	0.360
R440	8.018	2.966
R450	-10.592	-6.238
R470	-4.127	-11.359
R480	-.857	14.574
R490	14.482	1.748
R500	-6.806	-5.911
R520	4.466	8.150
R530	-4.524	-9.468
R550	1.541	4.288

* Model 5 ประกอบด้วย 35 predictors ได้แก่ SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

ตารางที่ 114 แสดงค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสูง แก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5 พบว่า ค่าสมบัติแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่ คือ ค่า R400, Impact firmness, R440, R410, R420, R430, R450 และ Sphere มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่ม มากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า SIZE, R500, R490, R470, R480, Acoustic firmness, R520, R530, และ R550 มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 ส่วนตัวแปรที่เหลือไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 115 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม 3 สมการ โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ในโมเดล 5 เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงโชคอนันต์อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 116 แสดงค่า Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5 พบว่า ในกรณีใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้าง สมการจำแนกกลุ่ม (original) มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 156 ผล คิดเป็นร้อยละ 97.5 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 3 ผล คิดเป็นร้อยละ 1.9 และช่วงผลแก่เกิน 1 ผล คิดเป็นร้อยละ 0.6 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 81 ผล คิดเป็นร้อยละ 81.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อน แก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 14.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 123 ผล คิดเป็นร้อยละ 87.9 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 3 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.1 อยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 10.0 แต่เมื่อทำนายโดยใช้ Cross-validated มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 160 ผลในช่วงก่อนผลแก่สามารถทำนายได้ถูกต้อง 153 ผล คิดเป็นร้อยละ 95.6 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 6 ผล คิดเป็นร้อยละ 3.8 และช่วงผลแก่เกิน 1 ผล คิดเป็นร้อยละ 0.6 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 81 ผล คิดเป็นร้อยละ 81.0 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล คิดเป็นร้อยละ 5.0 และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 14.0 ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 122 ผล คิดเป็นร้อยละ

87.1 โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 4 ผล คิดเป็นร้อยละ 2.9 อยู่ในช่วงผลแก่ 14 ผล คิดเป็นร้อยละ 10.0 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5 ค่าการทำนายถูกต้องจะมีค่าสูงและมีค่าคลงเล็กน้อยเมื่อใช้วิธี Cross-validated โดยเมื่อใช้วิธี Original จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 90.0% ขณะที่ใช้วิธี Cross-validated จะทำนายถูกต้องเฉลี่ย 89.0%

ตารางที่ 114 ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*

Predictors	Function	
	1	2
R400	0.417a	-0.163
IM_C	-0.416a	0.259
R440	0.377a	-0.284
R410	0.369a	-0.212
R420	0.366a	-0.242
R430	0.361a	-0.266
R450	0.358a	-0.333
SPHERE	0.134a	-0.102
SIZE	0.193	0.440a
R500	0.295	-0.402a
R490	0.356	-0.399a
R470	0.365	-0.376a
R480	0.353	-0.367a
AC_C	-0.092	0.334a
R520	0.205	-0.330a
R530	0.197	-0.307a
R550	0.215	-0.263a

* Model 5 ประกอบด้วย 35 predictors ได้แก่ SIZE, SPHERE, Impact index, Acoustic index, Light reflectance at 400-700 nm (with 10 nm intervals)

a Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

ตารางที่ 115 ค่า Classification Function* Coefficients ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตาม
ความสุกแก่เป็น 3 กลุ่มโดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*

Predictors	Maturity stages		
	Immature	Mature	Over mature
SIZE	70.273	74.888	72.162
SPHERE	1239.728	1246.178	1272.971
IM_C	163.142	159.318	148.678
AC_C	2.988	3.951	3.576
R400	16.867	23.485	25.745
R410	-69.079	-65.565	-60.156
R420	82.938	79.211	69.458
R430	68.793	63.600	59.235
R440	-48.038	-10.900	-3.740
R450	-46.455	-101.600	-104.098
R470	-17.573	-60.198	-34.988
R480	-71.818	-39.564	-83.620
R490	259.206	312.505	334.348
R500	-207.376	-236.032	-233.081
R520	67.725	80.991	75.412
R530	-23.462	-35.629	-29.800
R550	8.656	12.571	10.238
(Constant)	-985.135	-1035.691	-1034.816

Fisher's linear discriminant functions

ตารางที่ 116 Classification Results ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 3 กลุ่ม โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Model 5*

			Predicted Group Membership			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Original	Count	Immature	156	3	1	160
		Mature	5	81	14	100
		Over mature	3	14	123	140
	%	Immature	97.5	1.9	.6	100.0
		Mature	5.0	81.0	14.0	100.0
		Over mature	2.1	10.0	87.9	100.0
Cross-validated	Count	Immature	153	6	1	160
		Mature	5	81	14	100
		Over mature	4	14	122	140
	%	Immature	95.6	3.8	.6	100.0
		Mature	5.0	81.0	14.0	100.0
		Over mature	2.9	10.0	87.1	100.0

a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b 90.0% of original grouped cases correctly classified.

c 89.0% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 117 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ เป็น 3 กลุ่ม ใน Models ต่างๆ พบว่า โมเดล 1 ใช้ตัวแปรในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 94.3 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 156 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 4 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 97.5 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 95 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 2 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 3 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 95.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้

ถูกต้อง 126 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 14 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 90.0 % เมื่อลดตัวแปรในการทำนายลงเหลือ 9 ตัวแปรในโมเดล 2 สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 91.0 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 146 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 4 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 91.3 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 91 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 3 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 91.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 123 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 17 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 87.9 % และเมื่อลดตัวแปรในการทำนายลงเหลือ 8 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 90.3 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 148 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 92.5 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 92 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 3 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 92.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 122 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 18 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 87.1 % ในขณะเดียวกันเมื่อลดตัวแปรในการทำนายลงอีกเหลือเพียง 6 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 90.8 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล ได้ถูกต้อง 93 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 93.0 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 160 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 147 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 13 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 91.9 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 123 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 17 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 87.9 % แต่เมื่อใช้ตัวแปรในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรโดยไม่ใช้ตัวแปร SG สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่มได้ถูกต้องสูงถึง 89.0 % และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 153 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่ 6 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 1 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 95.6 % ขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่จำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 81 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล และอยู่

ในช่วงผลเกิน 14 ผลได้ค่า % Correctly Classified 81.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลเกินจำนวน 140 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 122 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 4 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 14 ผลได้ค่า % Correctly Classified 87.1 % จากผลการทดลองจะเห็นว่าโมเดล 1 ทำนายได้ถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือ โมเดล 2, 4, 3 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 117 เปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ เป็น 3 กลุ่ม ใน Models ต่างๆ

Models	Actual Groups	%Correctly Classified	Predicted groups			Total
			Immature	Mature	Over mature	
Model_1	Immature	97.5	156	4	0	160
	Mature	95.0	2	95	3	100
	Over mature	90.0	0	14	126	140
	Total	94.3	158	113	129	400
Model_2	Immature	91.3	146	4	0	160
	Mature	91.0	6	91	3	100
	Over mature	87.9	0	17	123	140
	Total	91.0	152	108	126	400
Model_3	Immature	92.5	148	12	0	160
	Mature	92.0	5	92	3	100
	Over mature	87.1	0	18	122	140
	Total	90.3	153	122	125	400
Model_4	Immature	91.9	147	13	0	160
	Mature	93.0	5	93	2	100
	Over mature	87.9	0	17	123	140
	Total	90.8	152	123	126	400
Model_5	Immature	95.6	153	6	1	160
	Mature	81.0	5	81	14	100
	Over mature	87.1	4	14	122	140
	Total	89.0	162	101	137	400

การจำแนกความสุกแก่ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็น 4 กลุ่ม

ตารางที่ 118 แสดงการแบ่งช่วงอายุการแก่ของมะม่วงโชคอนันต์เป็นสี่ช่วงโดยใช้การนับวันหลังติดผลเป็น ระยะก่อนผลแก่ (immature stage) 75-89 DAFS มีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุดถึง 140 ผล ระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) 89-101 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 120 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) 101-111 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 100 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) 111-113 DAFS มีจำนวนผลมะม่วง 40 ผล แต่เมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis วันหลังติดผล (Model_A) จะมีจำนวนผลมะม่วง 80 ผลในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) และระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) มีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุด 160 ผล ขณะที่เมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis ค่า TSS และ TA (Model_B) จะมีจำนวนผลมะม่วง 157 ผลในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) และระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) มีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุด 198 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) มีจำนวนผลมะม่วงน้อยเพียง 21 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 24 ผล แต่เมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis ค่า TSS TA และ DAFS (Model_C) จะมีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุด 160 ผลในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) และระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 80 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 118 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 42 ผล และเมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis ค่า TSS TA DAFS และค่าความแน่นเนื้อจากการกดกลางผล (Model_D) จะมีจำนวนผลมะม่วงมากที่สุด 172 ผลในระยะก่อนผลแก่ (immature stage) และระยะผลเริ่มแก่ (early mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 108 ผล ระยะผลแก่จัด (late mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 41 ผล และระยะผลแก่เกิน (over mature stage) มีจำนวนผลมะม่วง 79 ผล ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis จำนวนมะม่วงส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ยกเว้นการแบ่งโดยใช้ DAFS ซึ่งจำนวนผลมะม่วงส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงผลแก่เกิน และเมื่อเปรียบเทียบกับ การแบ่งโดยใช้วันหลังติดผลจะเห็นว่าจำนวนผลมะม่วงส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ แต่จำนวนผลมะม่วงในช่วงผลแก่เกินจะมีจำนวนน้อยที่สุด

ตารางที่ 118 แสดงจำนวนผลของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์จากการแบ่งกลุ่มตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้ Cluster Analysis จากสมบัติที่เป็น Destructives และวันหลังติดผล

Cluster Analysis	Properties	Maturity stages			
		Immature	Early mature	Late mature	Over mature
	DAFS	140	120	100	40
Model_A	DAFS	80	80	80	160
Model_B	TSS, TA	157	198	21	24
Model_C	TSS,TA,DAFS	160	80	118	42
Model_D	TSS, TA, DAFS, FC	172	108	41	79

หมายเหตุ: FC คือ ความแน่นเนื้อจากการกดตรงกลางผล

ตารางที่ 119 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็นสี่ช่วงโดยใช้การนับวันหลังติดผลได้ถูกต้อง 90.5 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 140 ผล ได้ถูกต้อง 134 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 6 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 95.7 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 120 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 111 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 7 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 92.5 % และมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 86 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 10 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 4 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 86.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 31 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 9 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 77.5 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis วันหลังติดผลเป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 91.0 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่จัดได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 80 ผล ได้ถูกต้อง 75

ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 3 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล ได้ค่า% Correctly Classified 93.8 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 68 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 12 ผล ได้ค่า% Correctly Classified 85.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 72 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 3 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 90.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 160 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 149 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 1 ผลและอยู่ในช่วงผลแก่จัด 10 ผลได้ค่า % Correctly Classified 93.1 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA เป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 87.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 157 ผล ได้ถูกต้อง 144 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 13 ผล ได้ค่า% Correctly Classified 91.7 % เช่นเดียวกับมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 198 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 180 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 15 ผล อยู่ในช่วงผลแก่จัด 1 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผลได้ค่า% Correctly Classified 90.9 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 21 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 8 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 8 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 5 ผลได้ค่า % Correctly Classified 38.1 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 24 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 17 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 1 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 4 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 70.8 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA และ DAFS เป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 93.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 156 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 4 ผล ได้ค่า% Correctly Classified 97.5 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 76 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 2 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 2 ผลได้ค่า% Correctly Classified 95.0 % และมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 118 ผล สามารถทำนายได้

ถูกต้อง 109 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 1 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 5 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 3 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 92.4% ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 42 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 32 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลแก่จัด 10 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 76.2 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 36 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA, DAFS และ ค่าความแน่นเนื้อที่ตรงกลางผลเป็นสีช่วงได้ถูกต้อง 86.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 172 ผล ได้ถูกต้อง 158 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 13 ผล อยู่ในช่วงผลแก่เกิน 1 ผล และได้ค่า % Correctly Classified 91.9 % ขณะที่มะม่วงน้ำโชคอนันต์ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 108 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 95 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 6 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 7 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 88.0 % ส่วนมะม่วงน้ำโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 41 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 30 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 1 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 10 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 73.2 % และมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 79 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 62 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 14 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 3 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 78.5 %

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis โมเดล _C จะสามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือ แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis โมเดล _A, วันหลังติดผล, Cluster Analysis โมเดล _B, และ โมเดล _D โดยมีค่า % Correctly Classified 93.3, 91.0, 90.5, 87.3, และ 86.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 119 ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงโศคนันต์ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 36 ตัวแปร จำแนกตามวิธีการแบ่งกลุ่ม

Cluster analysis	Actual group	Correctly classified (%)	Predicted groups				Total
			Im-mature	Early-mature	Late-mature	Over-mature	
(1) DAFS	Immature	95.7	134	6	0	0	140
	Early-mature	92.5	7	111	2	0	120
	Late-mature	86.0	0	10	86	4	100
	Over-mature	77.5	0	0	9	31	40
	Total	90.5					400
(2) Model_A DAFS	Immature	85.0	68	12	0	0	80
	Early-mature	90.0	5	72	3	0	80
	Late-mature	93.8	0	3	75	2	80
	Over-mature	93.1	0	1	10	149	160
	Total	91.0					400
(3) Model_B TSS,TA, DAFS	Immature	92.4	145	12	0	0	157
	Early-mature	89.9	16	178	2	2	198
	Late-mature	42.9	0	8	9	4	21
	Over-mature	70.8	1	4	2	17	24
	Total	87.3					400
(4) Model_C TSS,TA, DAFS, FC	Immature	97.5	156	4	0	0	160
	Early mature	95.0	2	76	2	0	80
	Late mature	92.4	1	5	109	3	118
	Over mature	76.2	0	0	10	32	42
	Total	93.3					400

ตารางที่ 119 (ต่อ)

Cluster analysis	Actual group	Correctly classified (%)	Predicted groups				Total
			Im-mature	Early-mature	Late-mature	Over-mature	
(5)	Immature	91.9	158	13	0	1	172
Model_D	Early mature	88.0	6	95	0	7	108
TSS,TA,	Late mature	73.2	0	1	30	10	41
DAFS,	Over mature	78.5	0	14	3	62	79
FC	Total	86.3					400

ตารางที่ 120 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรสามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็นสี่ช่วงโดยใช้การนับวันหลังติดผลได้ถูกต้อง 85.5 % และทำนายช่วงมะม่วงก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงก่อนผลแก่จำนวน 140 ผล ได้ถูกต้อง 133 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 7 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 95.0 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 120 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 98 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 10 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 12 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 81.7 % เช่นเดียวกับมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 100 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 80 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 1 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 15 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 4 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 80.0 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 40 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 31 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 2 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 7 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 77.5 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis วันหลังติดผลเป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 86.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่เกินได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 146 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 1 ผล และอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 9 ผล และอยู่

ในช่วงผลแก่จัด 4 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 91.3 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 63 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 17 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 78.8 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 67 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 5 ผล อยู่ในช่วงผลแก่จัด 7 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 1 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 83.8 % เช่นเดียวกับมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 69 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 4 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 7 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 86.3 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA เป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 87.3% และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 157 ผล ได้ถูกต้อง 144 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 13 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 91.7 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 198 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 180 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ 15 ผล อยู่ในช่วงผลแก่จัด 1 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 90.9 % เช่นเดียวกับมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 21 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 8 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 8 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 5 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 38.1 % ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 24 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 17 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ 1 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 4 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 2 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 70.8 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA และ DAFS เป็นสี่ช่วงได้ถูกต้อง 89.0 % และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลก่อนแก่จำนวน 160 ผล ได้ถูกต้อง 152 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 7 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 1 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 95.0 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 80 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 66 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 4 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 10 ผล ได้ค่า % Correctly Classified 82.5 % เช่นเดียวกับมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 118 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 106 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 4 ผล อยู่

ในช่วงผลแก่จัด 6 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผลได้ค่า % Correctly Classified 89.8 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 42 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 32 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 2 และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 8 ผลได้ค่า % Correctly Classified 76.2 %

ผลการทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ โดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives ในการทำนายทั้งหมด 35 ตัวแปรเป็น 4 กลุ่ม สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ที่แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis TSS, TA, DAFS และ ค่าความแน่นเนื้อที่ตรงกลางผลเป็นสีช่วงได้ถูกต้อง 84.0 % และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุดโดยสามารถจำแนกมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่เกินจำนวน 172 ผล ได้ถูกต้อง 157 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 13 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 2 ผลได้ค่า % Correctly Classified 91.3 % ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลเริ่มแก่จำนวน 108 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 88 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลก่อนแก่ 9 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 11 ผลได้ค่า % Correctly Classified 81.5 % เช่นเดียวกับมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 41 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 30 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 1 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่เกิน 10 ผลได้ค่า % Correctly Classified 73.2 % ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ในช่วงผลแก่จัดจำนวน 79 ผล สามารถทำนายได้ถูกต้อง 61 ผล โดยมีมะม่วงที่ทำนายผิดอยู่ในช่วงก่อนผลแก่ 4 ผล อยู่ในช่วงผลเริ่มแก่ 12 ผล และอยู่ในช่วงผลแก่จัด 2 ผลได้ค่า % Correctly Classified 77.2 %

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการแบ่งโดยใช้ Cluster Analysis โมเดล _C จะสามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือ แบ่งโดยใช้ Cluster Analysis โมเดล _B, โมเดล _A, การแบ่งโดยใช้วันหลังติดผล และ Cluster Analysis โมเดล _D โดยมีค่า % Correctly Classified 89.0, 87.3, 86.3, 85.5, และ 84.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 120 ผลการทำนายแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความสุกแก่เป็น 4 กลุ่มโดยใช้สมบัติที่เป็น Non destructives จำนวน 35 ตัวอย่าง

Cluster analysis	Actual group	Correctly classified (%)	Predicted groups				Total
			Im-mature	Early-mature	Late-mature	Over-mature	
(1) DAFS	Immature	95.0	133	7	0	0	140
	Early-mature	81.7	10	98	12	0	120
	Late-mature	80.0	1	15	80	4	100
	Over-mature	77.5	0	2	7	31	40
	Total	85.5					400
(2) Model_A DAFS	Immature	78.8	63	17	0	0	80
	Early-mature	83.8	5	67	7	1	80
	Late-mature	86.3	0	4	69	7	80
	Over-mature	91.3	1	9	4	146	160
	Total	86.3					400
(3) Model_B TSS,TA	Immature	91.7	144	13	0	0	157
	Early-mature	90.9	15	180	1	2	198
	Late-mature	38.1	0	8	8	5	21
	Over-mature	70.8	1	4	2	17	24
	Total	87.3					400
(4) Model_C TSS,TA, DAFS	Immature	95.0	152	7	1	0	160
	Early mature	82.5	4	66	10	0	80
	Late mature	89.8	4	6	106	2	118
	Over mature	76.2	2	0	8	32	42
	Total	89.0					400

ตารางที่ 120 (ต่อ)

Cluster analysis	Actual group	Correctly classified (%)	Predicted groups				Total
			Immature	Early-mature	Late-mature	Over-mature	
(5)	Immature	91.3	157	13	0	2	172
Model_D	Early mature	81.5	9	88	0	11	108
TSS,TA,	Late mature	73.2	0	1	30	10	41
DAFS,	Over mature	77.2	4	12	2	61	79
FC	Total	84.0					400

จากการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 4 กลุ่ม จึงมี Function ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 3 Function ดังตารางที่ 121 ค่า Eigenvalue ของ Function 1-3 มีค่า 3.352, 1.319 และ 0.648 และมีค่า % of variance เท่ากับ 63.0, 24.8 และ 12.2 ตามลำดับ โดยมีค่า Canonical correlation เท่ากับ 0.878, 0.754 และ 0.627 ตามลำดับ แสดงว่า Function 1 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากกว่า Function 2 และ Function 3

ตารางที่ 121 Eigenvalue ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis Model_C

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	3.352	63.0	63.0	0.878
2	1.319	24.8	87.8	0.754
3	0.648	12.2	100.0	0.627

จากตารางที่ 122 การวิเคราะห์ค่า Structure Matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ทั้ง 3 Function พบว่า IM_C, R470, R490, R400, R480, R440, R450, R430, R420, R410, และ R500 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 1 ส่วนค่า AC_C, Size, R530, และ R510 มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 2 ขณะที่ค่า Sphericity มีอิทธิพลในการแบ่งกลุ่มมากที่สุดใน Function 3

ตารางที่ 122 Structure matrix ของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 4 กลุ่ม จากการใช้ Cluster analysis (Model _C)

Predictors	Function		
	1	2	3
IM_C	-0.545a	0.271	-0.147
R470	0.420a	-0.216	-0.136
R490	0.418a	-0.255	-0.080
R400	0.417a	0.072	-0.282
R480	0.408a	-0.221	-0.094
R440	0.405a	-0.094	-0.192
R450	0.395a	-0.150	-0.179
R430	0.389a	-0.089	-0.197
R420	0.385a	-0.051	-0.212
R410	0.382a	-0.015	-0.222
R500	0.372a	-0.318	0.013
AC_C	-0.221	0.549a	-0.298
SIZE	0.139	0.452a	0.080
R530	0.307	-0.401a	0.266
R510	0.316	-0.350a	0.121
SPHERE	0.132	0.008	-0.143a

a Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

ตารางที่ 123 แสดงค่า Classification Function Coefficients ของสมการ Fisher's linear discriminant functions ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์ตามความแก่เป็น 4 กลุ่ม 4 สมการ โดยใช้ตัวแปรการทำนาย ใน Cluster analysis (Model _C) TSS, TA, DAFS เมื่อแทนค่าสมบัติต่างๆในสมการแล้ว สมการใดได้ค่ามากที่สุด แสดงว่ามะม่วงโชคอนันต์อยู่ในกลุ่มนั้น

ตารางที่ 123 Classification function* coefficientsของการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 4 กลุ่ม
จากการใช้ Cluster analysis (Model _C)

Predictors	Maturity stages			
	Immature	Early mature	Late mature	Over mature
SIZE	69.241	73.578	71.253	68.238
SPHERE	1214.653	1214.749	1248.882	1241.038
IM_C	166.071	160.307	153.191	145.260
AC_C	3.995	4.814	4.629	3.612
R400	17.030	23.571	24.533	23.487
R410	-58.525	-58.917	-53.094	-46.991
R420	99.377	96.770	87.102	78.496
R430	32.192	36.028	31.386	61.659
R440	-78.171	-36.398	-42.169	-44.902
R450	3.408	-71.215	-50.726	-105.911
R470	-49.879	-101.548	-53.775	-37.424
R480	-68.397	-11.239	-88.016	-75.239
R490	186.184	231.841	253.902	244.912
R500	-42.089	-71.025	-70.590	-44.327
R510	-54.585	-48.681	-46.981	-65.220
R530	34.784	34.969	33.570	37.903
(Constant)	-987.937	-1032.439	-1034.763	-1025.069

*Fisher's linear discriminant functions

สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล สรีรวิทยา และแสงที่มีผลต่อการสุกแก่ของ มะม่วงไทย ได้ทำการศึกษาเป็นสองช่วง ช่วงแรกศึกษากับมะม่วง 4 พันธุ์ คือ น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ มหาชนก และเขียวเสวย และในช่วงที่สองทำการศึกษา กับมะม่วง 2 พันธุ์ คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ และมะม่วงโชคอนันต์ ได้ข้อสรุป ดังนี้ คือ

สรุปผลช่วงแรก

1. มะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 400 ผลเก็บเกี่ยวระหว่าง 77-115 วันหลังติดผล ใช้ PLSR ทำนายวันหลังติดผล และค่าปริมาณกรด ได้ค่า R^2 0.71 และ 0.60 ตามลำดับ และได้ค่า SEP 5.57 และ 0.50 ตามลำดับ สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เป็น 3 กลุ่ม เป็นช่วงก่อนผลแก่ 220 ผล ช่วงผลแก่ 140 ผล และช่วงผลแก่เกิน 40 ผล ได้ถูกต้อง 82.0 % และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด 88.2 %
2. มะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บเกี่ยวในช่วงที่เหมาะสมระหว่าง 99-111 วันหลังติดผล มีขนาดระหว่าง 8.99-9.09 เซนติเมตร มีค่าความกลม 0.62-0.66 และค่าน้ำหนักจำเพาะระหว่าง 1.05-1.09 มีค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล 21.29-17.10 N/mm มีค่าปริมาณน้ำตาลระหว่าง 10.69-11.96 °Brix ค่าปริมาณกรด 1.64-1.22 % และค่าอัตราส่วน TSS/TA ระหว่าง 6.78-10.73 °Brix /% ขณะอ่อนจะมีรสเปรี้ยวเมื่อสุกแก่จะมีรสหวานอมเปรี้ยว ผลแก่จะมีเปลือกสีเขียวออกเหลืองสว่าง
3. มะม่วงโชคอนันต์จำนวน 400 ผลเก็บเกี่ยวระหว่าง 71-109 วันหลังติดผล ใช้ PLSR ทำนายปริมาณน้ำตาล อัตราส่วน TSS/TA และค่าความแน่นเนื้อ ได้ค่า R^2 0.81, 0.81 และ 0.81 ตามลำดับ และได้ค่า SEP 2.85, 12.23 และ 4.36 ตามลำดับ สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์เป็น 3 กลุ่ม เป็นช่วงก่อนผลแก่ 200 ผล ช่วงผลแก่ 100 ผล และช่วงผลแก่เกิน 100 ผล ได้ถูกต้อง 83.5 % และทำนายช่วงมะม่วงผลก่อนแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด 94.0 %
4. มะม่วงโชคอนันต์ที่เก็บเกี่ยวในช่วงที่เหมาะสมระหว่าง 91-99 วันหลังติดผล มีขนาดระหว่าง 7.49-7.94 เซนติเมตร มีค่าความกลม 0.67-0.68 และค่าน้ำหนักจำเพาะระหว่าง 1.17-1.12 มีค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล 15.90-12.73 N/mm มีค่าปริมาณน้ำตาลระหว่าง 15.60-19.36 °Brix ค่า

ปริมาณกรด 0.75-0.49 % และค่าอัตราส่วน TSS/TA ระหว่าง 26.84-44.83 °Brix /% ทำให้เมื่อสุกแล้วจะมีรสหวาน หลังช่วงผลแก่จะมีเปลือกสีเหลืองสว่างปรากฏออกมา

5. มะม่วงมหาชนกจำนวน 340 ผลเก็บเกี่ยวระหว่าง 93-125 วันหลังติดผล ใช้ PLSR ทำนายปริมาณน้ำตาล อัตราส่วน TSS/TA ปริมาณกรด และค่าความแน่นเนื้อ ได้ค่า R^2 0.90, 0.85, 0.75 และ 0.75 ตามลำดับ และได้ค่า SEP 1.09, 6.06, 0.24 และ 2.93 ตามลำดับ สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงมหาชนกเป็น 3 กลุ่ม เป็นช่วงก่อนผลแก่ 120 ผล ช่วงผลแก่ 160 ผล และช่วงผลแก่เกิน 60 ผล ได้ถูกต้อง 85.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด 86.3 %

6. มะม่วงมหาชนกที่เก็บเกี่ยวในช่วงที่เหมาะสมระหว่าง 103-119 วันหลังติดผล มีขนาดระหว่าง 8.38-8.79 เซนติเมตร มีค่าความกลม 0.54-0.56 และค่าน้ำหนักจำเพาะระหว่าง 0.97-0.96 มีค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล 19.13-18.41 N/mm มีค่าปริมาณน้ำตาลระหว่าง 6.61-6.71 °Brix ค่าปริมาณกรด 1.33-1.06 % และค่าอัตราส่วน TSS/TA ระหว่าง 5.00-3.91 °Brix /% ทำให้เมื่อสุกแล้วจะมีรสหวานอ่อนๆ หลังช่วงผลแก่จัดผิวเปลือกจะมีสีเหลืองและสีแดงสว่างปรากฏออกมา

7. มะม่วงเขียวเสวยจำนวน 360 ผลเก็บเกี่ยวระหว่าง 77-111 วันหลังติดผล ใช้ PLSR ทำนายวันหลังติดผล และอัตราส่วน TSS/TA ได้ค่า R^2 0.68 และ 0.66 ตามลำดับ และได้ค่า SEP 5.92 และ 7.93 ตามลำดับ สามารถทำนายการแบ่งกลุ่มมะม่วงเขียวเสวยเป็น 3 กลุ่ม เป็นช่วงก่อนผลแก่ 120 ผล ช่วงผลแก่ 120 ผล และช่วงผลแก่เกิน 120 ผล ได้ถูกต้อง 80.3 % และทำนายช่วงมะม่วงผลแก่ได้ถูกต้องมากที่สุด 80.8 %

8. มะม่วงเขียวเสวยที่เก็บเกี่ยวในช่วงที่เหมาะสมระหว่าง 89-99 วันหลังติดผล มีขนาดระหว่าง 8.32-8.77 เซนติเมตร มีค่าความกลม 0.59-0.61 และค่าน้ำหนักจำเพาะระหว่าง 0.97-0.99 มีค่าความแน่นเนื้อตรงกลางผล 19.95-17.98 N/mm มีค่าปริมาณน้ำตาลระหว่าง 9.84-11.99 °Brix ค่าปริมาณกรด 0.68-0.45 % และค่าอัตราส่วน TSS/TA ระหว่าง 16.82-27.40 °Brix /% ทำให้เมื่อยังอ่อนจะมีรสเปรี้ยวต่ำ เมื่อแก่จะมีรสหวานอ่อนๆ หลังช่วงผลแก่จัดผิวเปลือกจะมีสีเหมือนเดิมกับผลอ่อน

สรุปผลช่วงที่สอง

9. ลดตัวแปรในการทำนายมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเป็น 5 โมเดล สามารถทำนายการสุกแก่เป็น 3 กลุ่ม เป็นช่วงก่อนผลแก่ 220 ผล ช่วงผลแก่ 140 ผล และช่วงผลแก่เกิน 40 ผล โมเดล 1 สามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุด คือ 95 % เมื่อลดจำนวนตัวแปรลงผลการทำนายจะมีความถูกต้องลดลง

10. การแบ่งกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองโดยใช้ cluster analysis สามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้ วันหลังติดผล ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด แบ่งเป็นช่วงก่อนผลแก่ 100 ผล ช่วงผลเริ่มแก่ 100 ผล ช่วงผลแก่จัด 80 ผล และช่วงผลแก่เกิน 120 ผล เมื่อใช้ตัวแปร 36 ตัวสามารถทำนายได้ถูกต้อง 84.3 % และเมื่อลดตัวแปรลงเหลือ 35 ตัวสามารถทำนายได้ถูกต้อง 84.0%

11. สามารถตรวจวัดความสุกแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองแบบไม่ทำลายตัวอย่างได้จากค่าน้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม อัตราส่วน R640/R530 ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเครื่องมือคัดคุณภาพการสุกแก่ของมะม่วงได้

12. ลดตัวแปรในการทำนายมะม่วงโชคอนันต์เป็น 5 โมเดล สามารถทำนายการสุกแก่เป็น 3 กลุ่ม เป็นช่วงก่อนผลแก่ 160 ผล ช่วงผลแก่ 100 ผล และช่วงผลแก่เกิน 140 ผล โมเดล 1 สามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุด คือ 94.3 % เมื่อลดจำนวนตัวแปรลงผลการทำนายจะมีความถูกต้องลดลง

13. การแบ่งกลุ่มมะม่วงโชคอนันต์โดยใช้ cluster analysis สามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 4 กลุ่ม โดยใช้ วันหลังติดผล ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด แบ่งเป็นช่วงก่อนผลแก่ 160 ผล ช่วงผลเริ่มแก่ 80 ผล ช่วงผลแก่จัด 118 ผล และช่วงผลแก่เกิน 42 ผล เมื่อใช้ตัวแปร 36 ตัวสามารถทำนายได้ถูกต้อง 93.3 % และเมื่อลดตัวแปรลงเหลือ 35 ตัวสามารถทำนายได้ถูกต้อง 89.0%

14. สามารถตรวจวัดความสุกแก่ของมะม่วงโชคอนันต์แบบไม่ทำลายตัวอย่างได้จากค่าน้ำหนักจำเพาะ ขนาด ความกลม ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการกระแทก ค่าดัชนีความแน่นเนื้อจากการเคาะเสียง ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเครื่องมือคัดคุณภาพการสุกแก่ของมะม่วงได้

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการแบ่งมะม่วงออกเป็น 4 ช่วงประกอบด้วย ช่วงก่อนผลแก่ ช่วงผลเริ่มแก่ ช่วงผลแก่จัด และช่วงผลแก่เกิน ส่งผลให้สามารถทำการเก็บเกี่ยวมะม่วงได้เร็วขึ้น และสามารถขยายเวลาเก็บเกี่ยวมะม่วงออกไปจนมะม่วงแก่จัด จะทำให้สามารถเก็บเกี่ยวจำนวนผลมะม่วงได้มากขึ้น เมื่อต้องการส่งไปจำหน่ายระยะทางไกลๆก็สามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้นตั้งแต่ช่วงมะม่วงเริ่มแก่และมะม่วงจะสุกพอดีเมื่อส่งไปถึงลูกค้า และถ้าต้องการเก็บเกี่ยวขณะที่มีคุณภาพการบริโภคสูงเพื่อจำหน่ายตลาดใกล้ๆก็สามารถรอเก็บในช่วงผลแก่จัด นอกจากนั้นการเก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้นก็จะสามารถเพิ่มอายุการวางจำหน่ายได้นานขึ้น

2. จากความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพ ทางกล สรีรวิทยา และสมบัติการสะท้อนแสงของมะม่วงที่ได้นำจะสามารถนำไปพัฒนาเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ในการตรวจวัดคุณภาพของมะม่วงได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จิรา ณ หนองคาย. 2531. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก ผลไม้ และดอกไม้. แมสพับลิชชิง, กรุงเทพฯ. 272 น.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. 396 น.
- จุลจิรา การสมวาสน์. 2545. ผลของระยะความแก่และอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์ห่มหมอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 164 น.
- จำนง อุทัยบุตร. 2536. เอกสารประกอบการสอนวิชา 202716, สารสังเคราะห์ที่ใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 268 น.
- ดวงตรา กสานติกุล. 2526. การศึกษาการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 56 น.
- ดวงตรา กสานติกุล, สายชล เกตุษา และ สุรพงษ์ โกสิยจินดา. 2527. ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วารสารเกษตรศาสตร์, 18: 55-60.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2534. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผัก และผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 215 น.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 222 น.

ธนัชชัย พันธุ์เกษมสุข. 2531. การเจริญเติบโต ดัชนีการเก็บเกี่ยว การชะลอและเร่งการสุกของผล
มะม่วง (*Mangifera indica* L.) พันธุ์เขียวเสวย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

นิพนธ์ ประพันธ์เทพากุล. 2534. การเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์.
ปัญหาพิเศษปริญญาตรีสาขาไม้ผล ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. 32 น.

วิจิตร วังโน และ มนตรี วงศ์รักพานิช. 2523. การศึกษาสัณฐานวิทยาและการพัฒนาของผล. กรม
วิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 32 น.

วิจิตร วังโน. 2529. มะม่วง. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
301 น.

วุฒิคุณ กรร่า. 2530. การเติบโตและดัชนีการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 95 น.

สาขชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก และผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริม
และฝึกอบรมแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา
เขตกำแพงแสน, นครปฐม. 364 น.

สาขชล เกตุษา. 2533. การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติต่อผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว. รวมกลยุทธ์
มะม่วง. 65-68.

สาขชล เกตุษา, สมชาย รัตนมาลี และ ฉลองชัย แบบประเสริฐ. 2534. การเจริญเติบโต การ
เปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์ทองดำ. วารสาร
เกษตรศาสตร์. 25: 391-399.

สาขชล เกตุษา, และ สุนทร โปทา. 2535. คุณภาพของผลมะม่วงสุก และการเปลี่ยนแปลงหลังการ
เก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บเกี่ยวที่อายุต่างกัน. วารสารเกษตรศาสตร์
(วิทย). 26: 12-19.

สนั่น จำเลิศ. 2527. มะม่วงในระบบปลูกชิด. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 229 น.

เสาวลักษณ์ กังวานตระกูล. 2530. การเจริญเติบโตและดัชนีการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์
เขียวเสวย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 72 น.

สรรพมงคล บุญกัน. 2545. การเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาและเคมีในระหว่างการเจริญเติบโตของผล
มะม่วงพันธุ์มหาชนก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 125 น.

อารี ใจเพชร. 2536. การศึกษาการเจริญเติบโตและดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์หนัง
กลางวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 64 น.

Abbott, J.A. 1998. Quality measurement of fruit and vegetables. **Postharvest Biology and
Technology** 15(1999) 207-225.

Abbott, J.A., D.R. Massie, B.L. Upchurch and W.R. Hruschka. 1995. Nondestructive sonic
firmness measurement of apples. **Trans. ASAE** 38 (5), 1461–1466.

Abbott, J.A., N.F. Childers, G.S. Bachman, J.V. Fitzgerald and F.J. Matusik. 1968. Acoustic
vibration for detecting textural quality of apples. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 93, 725–
737.

Armstrong, P.R., H.R. Zapp and G.K. Brown. 1990. Impulsive excitation of acoustic vibrations
in apples for firmness determination. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 33, 1353– 1359.

Bajema, R.W., G.M. Hyde and A.L. Baritelle. 1998. Temperature and strain rate effects on the
dynamic failure properties of potato tuber tissue. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 41, 733–
740.

- Birth, G.S. 1976. How light interacts with foods. *In*: Gaffney, J.J. Jr. (ed.), **Quality Detection in Foods**. American Society for Agricultural Engineering, St. Joseph, MI, pp. 6–11.
- Clydesdale, F.M. 1978. Colorimetry-methodology and applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 10, 243–301.
- Dhatt, A.S. and B.V.C. Mahajan. 2007. **Horticultural Post Harvest Technology “Harvesting, Handling and Storage of Horticultural Crops”**. Punjab Horticultural Postharvest Technology Centre, Punjab Agricultural University Campus, Ludhiana.
- Delwiche, M.J. and Y. Sarig. 1991. A probe impact sensor for fruit firmness measurement. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 34, 187–192.
- Ernest K.A. and G. Theodore. 1973. Respiration and Ethylene production during ontogeny of fruits. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 98: 381–383.
- Faragher J.D. and D.J. Chalmers. 1977. Regulation of anthocyanin synthesis in apple skin. III. Involvement of phenylalanine ammonia-lyase. *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 133–141.
- Faragher J.D. 1983. Temperature regulation of anthocyanin synthesis in apple skin. III. Involvement of phenylalanine ammonia-lyase. *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 133–141.
- Faragher J.D. and R.L. Brohier. 1984. Anthocyanin accumulation in apple skin during ripening: relation by ethylene and phenylalanine ammonia-lyase. **Sci, Horticult.** 22: 89–96.
- Francis, F.J. 1980. Color quality evaluation of horticultural crops. **HortScience** 15, 14–15.
- Fuchs, Y., E. Pesis and G. Zauberman. 1980. Changes in amylase activity, starch and sugars content in mango fruit pulp. **Scientia Hort.** 13: 155–160.

- Gomez-Lim, M.A. 1993. Mango fruit ripening: physiology and molecular biology. **Acta,Hort.** 341: 485-486.
- Gross, J. 1987. **Pigments in Fruits.** Academic Press, California. 303 p.
- Hulme, A.C. 1971. **The Biochemistry of fruits and Their Products.** Academic Press, New York. 788 p.
- Hunter, R.S. and R.W. Harold. 1987. **The Measurement of Appearance.** Wiley-Interscience, New York.
- HunterLab. 1996. Hunter Lab Color Scale. **Applications Note**, August 1-15, 1996, Vol.8, No.9
- Iwato,M., S. Kawano and Y. Ozami. 1995. An overview of research and development of near-infrared spectroscopy in Japan. **Journal of Near-infrared Spectroscopy.**
- Jha,S.N. and T. Matsuoka. 2000. **Non-destructive techniques for quality evaluation of intact fruits and vegetables.** Food Science and technology research.
- Jha,S.N., S. Chopra and A.R.P. Kingsly. 2005. **Determining of sweetness of intact mango using visual spectral analysis.** Biosystem engineering.
- Jha,S.N., A.R.P. Kingsly and S. Chopra. 2006a. Physical and Mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. **Journal of food engineering.**
- Jha,S.N., A.R.P. Kingsly. and S. Chopra. 2006b. Non-destructive Determination of Firmness and Yellowness of Mango during Growth and Storage using Visual Spectroscopy. **Biosystem engineering.**

- Jha, S.N., S. Chopra and A.R.P. Kingsly. 2007. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. **Journal of food engineering**.
- Kalra, S.K., D.K. Tandon and B.P. Singh. 1995. In D.K. Salokhe and S.S.Kadam, **Handbook of Fruit Science and Technology Production**, Composition, Storage and Processing, New York: Marcel Dekker Inc.
- Kays, S.K. 1991. **Postharvest Physiology of Perishable Plant Products**. An AVI Book Published by Van Nostrand Reinhold, New York. 532 p.
- Ketsa, S., W. Phakawatmongkol and S. Subhadrabhandhu. 1999. Peel enzymatic activity and colour changes in ripening mango fruit. **Plant Physiol.** 154: 363-366.
- Lakshminarayana, S. 1973. Respiration and ripening patterns in the life cycle of the mango fruit. **J.Hort, Sci.** 48:227-233.
- Lakshminarayana, S. 1980. Mango(*Mangifera indica L.*): Introduction and Evaluation in Florida and its impact on the world industry. **Acta, Hort.** 217-223.
- Lancaster, J.E., C.E. Lister, P.F. Reay and C.M. Triggs. 1997. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruits and vegetables. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.** 122, 594-598.
- Lazan, H., Z. Mohd, L.K. Wah, J. Voon and G.R. Chplin. 1986. The potential role of polygalacturonase in pectin degradation and softening of mango fruit. **ASEAN Food Journal.** 2: 93-95.
- Lieberman, M. 1979. Biosynthesis and action of ethylene. Ann. Rev. **Plant Physiol.** 30:533-591.
- Lizada, M.C. 1991. Postharvest physiology of the mango. A Review. **Acta. Hort.** 291:437-452

- Lu, R., and J.A. Abbott. 1997. Finite element modeling of transient responses of apples to impulse excitation. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 40, 1395–1406.
- Mazza, G. and E. Miniati. 1993. **Anthocyanins in fruits, Vegetables, and Grains**. Boca Raton, FL, USA : CRC Press.
- McLauchlan, R. 1998. **Horticulture postharvest group biennial review**. Department of Primary Industries, Queensland. 32 p.
- McGlone, V.A., and P.N. Schaare. 1993. The application of impact response analysis in the New Zealand fruit industry. **Am. Soc. Agric. Eng.** Paper 93-6537.
- Medlicott, A.P. and A.K. Thompson. 1985. Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. **J. Sci. Food Agric.** 36:561-566.
- Mendoza, D.B., Er. B. Pantastico and F.B. Javier. 1973. Physio-chemical changes during growth and maturation of Carabao mangoes. **Husb. Agric. J.** 33(11) : 35-36.
- Mendoza, D.B. 1984. Mango : **Fruit development, Postharvest physiology and marketing in ASEAN**. ASEAN Postharvest Horticulture Training and Research Center, University of the Philippines at Los Banos, College, Laguna, Phillipines. 95 p.
- Meredith, F.I. and R.H. Young. 1971. Changes in lycopene and carotene content of 'Redblush' grapefruit exposed to high temperature. **J. Hort. Sci.** 6 : 233-234.
- Minolta, 1994. **Precise Color Communication**. Minolta Co, Ramsey, NJ.
- Mitra, S.K. and E.A. Baldwin. 1997. Mango : **Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits**. Biddle Ltd., Guildford. 112 p.

Pantastico, Er. B. 1975. **Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables**. The AVI Publishing company, Westport, Connecticut. 560 p.

Patel, N., V.A. McGlone, P.N., Schaare and H. Hall. 1993. 'BerryBounce': a technique for the rapid and nondestructive measurement of firmness in small fruit. **Int. Soc. Hortic. Sci.** 352, 189–198.

Rameshwar, A. K.L. Chadha and O.P. Pareek. 1993. **Advances in Horticultural Fruits Crops**. New Delhi: Malhotra Publishing House.

Salunkhe, D.K. and B.B. Desai. 1984. Postharvest Biotechnology of Fruits. Vols.1. **CRC Press**, Boca Raton, Florida, pp. 77-85.

Saltveit, M.E., S.K. Upadhyaya, J.F. Happ, R. Caveletto and M. O'Brien. 1985. Maturity determination of tomatoes using acoustic methods. **Am. Soc. Agric. Eng.** Paper 85-3536.

Samson, J.A. 1980. **Tropical Fruits**. London: Longman.

Sarangwong, S., J. Sornsrivichai and S. Kawano. 2001. Improvement of PLS calibration for brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. **Journal of Near-infrared Spectroscopy**.

Sarangwong, S., J. Sornsrivichai and S. Kawano. 2003a. On tree evaluation of harvesting quality of mango fruits using a hand held NIR instrument. **Journal of Near-infrared Spectroscopy**.

- Sarangwong, S., J. Sornsrivichai and S. Kawano. 2003b. Performance of portable NIR instrument for brix value determination of intact mango fruits. **Journal of Near-infrared Spectroscopy**.
- Sarangwong, S., J. Sornsrivichai and S. Kawano. 2004. **prediction of ripe stage eating quality of mango fruits from its harvest quality measured nondestructively by Near-infrared Spectroscopy** . Postharvest Biology and Technology.
- Saure, M.C. 1990. External control of anthocyanin formation in apple. **Scientia. Hort**,42:181-218.
- Shmulevich, I., N. Galili and N. Benichou. 1995. **Development of a nondestructive method for measuring the shelf-life of mango fruit. Proceedings Food Processing Automation IV Conference, Chicago, IL, 3–5 November**. American Society for Agricultural Engineering, St. Joseph, MI, pp. 275–287.
- Shmullevich, I., N. Galili and M.S. Howarth. 2003. **Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation** . Postharvest Biology and Technology.
- Stone, M.L., X. Zhang, G.H. Brusewitz and D.D. Chen. 1994. Watermelon maturity determination in the field with acoustic impedance techniques. **Am. Soc. Agric. Eng.** Paper 94-024.
- Siriphanich, J. and A.A. Kader. 1985. Effects of CO₂ on total phenolics, phenylalanine ammonia-lyase, polyphenol oxidase in lettuce tissue. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 110 : 249-253.
- Slaughter, D.C. 2009. **Nondestructive Maturity Assessment Methods for Mango: A Review of Literature and Identification of Future Research Needs**. Biological and Agricultural Engineering University of California, Davis, U.S.A.

Tandon, D.K., and S.K. Kalra. 1983. **Study on maturity of developing mango fruits cv. Dashehari** . Plant Physiology Biochemistry.

Tandon, D.K., and S.K. Kalra. 1986. Study on developing mango fruits to assess maturity .
Indian Journal of Horticulture.

Tandon, D.K., S.K. Kalra and B.P. Singh. 1983. Ripening pattern of specific gravity graded Dashehari mangos. **Indian Journal of Horticulture.**

Vasques-Caicedo, A.L., S. Neidhart, P. Pathomrungsriyounggul, P. Wiriacharee, A. Chattrakul, P. Suamsiri, P. Manochai, F. Bangerth and R. Carle. 2002. **Physical Chemical and Sensory Properties of nine Thai mango cultivars and evaluation of their technological and nutritional potential.** International symposium Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia Challengers for the 21 Century.

Wills, R., B. McGlasson, D. Graham and D. Joyce. 1998. **Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetable and Ornamentals.** Hyde Park Press, Acelaide, South Australia. 262 p.

Yahia, El-Hadi M. 1998. **Postharvest Handling of Mango.** Technical Report, Agricultural Technology Utilization and Transfer/RONCO.

Zapp, H.R., S.H. Ehlert, G.K. Brown, P.R. Armstrong and S.S. Sober. 1990. Advanced instrumented sphere (IS) for impact measurements. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 33, 955–960.



ภาคผนวก ก
มาตรฐานมะม่วงของประเทศไทย
(THAILAND STANDARD FOR MANGOS)

ข้อ 1 นิยาม (DEFINITION)

มาตรฐานนี้ใช้กับผลไม้ที่มีชื่อทางการค้าว่า “มะม่วง” (Mangos) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า “*Mangifera indica* L. อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae สำหรับการบริโภคสด

ข้อ 2 ข้อกำหนดเรื่องคุณภาพ (PROVISIONS CONCERNING QUALITY)

2.1 คุณภาพขั้นต่ำ (Minimum Requirements)

ทุกชั้นมาตรฐาน มะม่วงต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (เว้นแต่จะมีข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละชั้นและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามที่ระบุไว้)

- เป็นผลมะม่วงสดทั้งผล ถ้ามีขั้วผลติดอยู่ต้องมีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร
- เนื้อแน่นตรงตามสายพันธุ์
- มีรูปทรง สี และรสชาติปกติ ตรงตามพันธุ์
- ไม่มีรอยชำ หรือตำหนิ หรือรอยด่างที่เห็นเด่นชัด และไม่เน่าเสีย
- สะอาด และปราศจากสิ่งแปลกปลอม โดยการตรวจสอบด้วยสายตา
- ปลอดจากศัตรูพืช และความเสียหายอันเนื่องมาจากศัตรูพืช โดยการตรวจสอบด้วยสายตา
- ปลอดจากความชื้นที่ผิดปกติจากภายนอก ทั้งนี้ไม่รวมถึงหยดน้ำที่เกิดหลังการนำออกจากห้องเย็น
- ปลอดจากความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ
- ไม่มีกลิ่น และรสชาติผิดปกติจากสิ่งแปลกปลอมภายนอก

ผลมะม่วงต้องผ่านการเก็บเกี่ยวตามกระบวนการเก็บเกี่ยวและการดูแลภายหลังการเก็บเกี่ยวอย่างถูกต้อง เพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสมกับแต่ละพันธุ์ ผลมะม่วงต้องพัฒนาเต็มที่ และเมื่อสุกแล้วอยู่ในสภาพที่ยอมรับได้เมื่อถึงปลายทาง

2.2 การแบ่งชั้นคุณภาพ (Classification)

แบ่งเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ดังนี้

2.2.1 ชั้นพิเศษ (Extra Class)

ผลมะม่วงในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดีที่สุด ตรงตามพันธุ์ ผลต้องปลอดจากตำหนิ ยกเว้นตำหนิผิวเล็กน้อย โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณะทั่วไปของผลผลิต คุณภาพ และคุณภาพการเก็บรักษา รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ

2.2.2 ชั้นหนึ่ง (Class I)

ผลมะม่วงในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดี ตรงตามพันธุ์ มีตำหนิได้เล็กน้อยด้านรูปทรง สี และผิว ซึ่งเกิดจากการเสียดสี หรือแตกผา และรอยด่างที่เกิดจากยาง โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณะ คุณภาพ และคุณภาพการเก็บรักษา รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ ตำหนิผิวโดยรวมต่อผลต้องมีพื้นที่ไม่เกิน 4, 3 และ 2 ตารางเซนติเมตรของสำหรับผลมะม่วงขนาด 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

2.2.3 ชั้นสอง (Class II)

ชั้นนี้รวมผลมะม่วงที่ไม่เข้าชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพชั้นต่ำดังข้อ 2.1 มีตำหนิได้เล็กน้อยด้านรูปทรง สี และผิว ซึ่งเกิดจากการเสียดสี หรือแตกผา และรอยด่างที่เกิดจากยาง โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณะ คุณภาพ และคุณภาพการเก็บรักษา รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ ตำหนิผิวโดยรวมต่อผลต้องมีพื้นที่ไม่เกิน 6, 5 และ 4 ตารางเซนติเมตรของสำหรับผลมะม่วงขนาด 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

สำหรับมะม่วงชั้นหนึ่ง และชั้นสอง ยอมให้ผิวมีจุดสนิมประปราย และมีสีเหลืองเนื่องจากโดนแดดได้ไม่เกินร้อยละ 40 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดของแต่ละผล แต่ต้องไม่มีรอยไหม้

ข้อ 3 ข้อกำหนดเรื่องขนาด (PROVISIONS CONCERNING SIZING)

ขนาดของผลมะม่วงจะพิจารณาจากน้ำหนัก ตามตาราง ดังนี้

ขนาด	น้ำหนัก (กรัม)	ความแตกต่างของขนาดผลสูงสุดในแต่ละ ภาชนะบรรจุ (กรัม)
1	≥ 351	100
2	251-350	50
3	200-250	25

ข้อ 4. ข้อกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (PROVISIONS CONCERNING TOLERANCES) (ระดับคุณภาพที่รับได้)

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพ และขนาดในแต่ละภาชนะบรรจุ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เข้าชั้นที่ระบุไว้

4.1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพ (Quality Tolerance)

4.1.1 ชั้นพิเศษ (Extra Class)

ยอมให้มีผลมะม่วงที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นพิเศษ แต่เป็นไปตามคุณภาพของชั้นหนึ่ง หรือยกเว้นว่าคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของชั้นหนึ่ง ปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 5 ของจำนวนผลทั้งหมด หรือน้ำหนักรวม

4.1.2 ชั้นหนึ่ง (Class I)

ยอมให้มีผลมะม่วงที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นหนึ่ง แต่เป็นไปตามคุณภาพของชั้นสอง หรือยกเว้นว่าคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของชั้นสอง ปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของจำนวนผลทั้งหมด หรือน้ำหนักรวม

4.1.3 ชั้นสอง (Class II)

ยอมให้มีผลมะม่วงที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นสอง หรือไม่ได้คุณภาพขั้นต่ำ ปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของจำนวนผลทั้งหมด หรือน้ำหนักรวม โดยไม่มีผลเน่าเสีย

4.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องขนาด (Size Tolerances)

ยอมให้มีมะม่วงทุกชั้นในแต่ละภาชนะบรรจุมีขนาดที่เล็กหรือใหญ่กว่าเกณฑ์ปกติของแต่ละขนาดปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของจำนวนผลทั้งหมดหรือน้ำหนักรวม และความแตกต่างของขนาดในแต่ละภาชนะบรรจุต้องไม่มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามตาราง ดังนี้

ขนาด	เกณฑ์ปกติ(กรัม)	ขนาดที่เล็กหรือใหญ่กว่า เกณฑ์ปกติ(กรัม)	เกณฑ์ความแตกต่างของ ขนาดผลในแต่ละภาชนะ บรรจุ*(กรัม)
1	≥ 351	$251 - \geq 650$	150
2	251 - 350	200 - 400	75
3	200 - 250	175 - 275	37.5

* คำนวณจากข้อมูลในมาตรฐานมะม่วงของ Codex Alimentarius

ข้อ 5 ข้อกำหนดของการจัดเรียงเสนอ (PROVISION CONCERNING PRESENTATION)

5.1 ความสม่ำเสมอ (Uniformity)

มะม่วงที่บรรจุในแต่ละภาชนะบรรจุต้องสม่ำเสมอ มาจากแหล่งเดียวกัน และเป็นพันธุ์เดียวกัน มีคุณภาพ ขนาด และสีใกล้เคียงกัน ส่วนของผลที่มองเห็นในภาชนะบรรจุ ต้องเป็นตัวแทนของทั้งหมด

5.2 การบรรจุหีบห่อ (Packaging)

ต้องบรรจุในภาชนะบรรจุที่เก็บรักษามะม่วงได้เป็นอย่างดี วัสดุที่ใช้ในการบรรจุต้องสะอาด และมีคุณภาพ เพื่อป้องกันความเสียหายอันจะมีผลต่อมะม่วง การปิดผนึกต้องใช้หมึกพิมพ์หรือกาวที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

รายละเอียดบรรจุภัณฑ์ (Description of Containers)

บรรจุภัณฑ์จะต้องมีคุณภาพ ถูกสุขลักษณะ ถ่ายเทอากาศได้ และมีคุณสมบัติทนทานต่อการปฏิบัติการขนส่ง และรักษามะม่วงได้ บรรจุภัณฑ์ต้องปราศจากกลิ่นและวัตถุแปลกปลอม

ข้อ 6 เครื่องหมายหรือฉลาก (MARKING OR LABELLING)

6.1 บรรจุภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคสุดท้าย (Consumer Packages)

ประเภทของผลผลิต (Nature of Produce)

ให้ปิดฉลากคำว่า “มะม่วง” และชื่อพันธุ์

6.2 บรรจุภัณฑ์สำหรับขายส่ง (Non-Retail Containers)

ต้องประกอบด้วยข้อความดังต่อไปนี้ (จะระบุในเอกสารกำกับสินค้าหรือเป็นฉลากติดกับภาชนะบรรจุก็ได้)

6.2.1 ข้อมูลผู้ขายส่ง (Identification)

ต้องระบุชื่อ ที่อยู่ของผู้ขายส่ง ผู้บรรจุ และจะระบุหมายเลขรหัสสินค้าด้วยก็ได้

6.2.2 ประเภทของผลผลิต (Nature of Produce)

ให้ปิดฉลากคำว่า “มะม่วง” และชื่อพันธุ์

6.2.3 ข้อมูลแหล่งผลิต (Origin of Produce)

ต้องระบุประเทศไทย และจังหวัดแหล่งผลิตในประเทศด้วยก็ได้

6.2.4 ข้อมูลเชิงพาณิชย์ (Commercial Description)

(1) ชั้นคุณภาพ (Class)

(2) ขนาด (Size)

(3) น้ำหนักสุทธิ (Net Weight)

6.2.5 เครื่องหมายการตรวจสอบทางราชการ (Official Inspection Mark)

(ทางเลือก)

ข้อ 7 สุขลักษณะ (HYGIENE)

ผลิตในมาตรฐานนี้ ให้ดำเนินการไปตามหลักการเกษตรที่ดีที่เหมาะสม (Good Agricultural Practice: GAP)

ภาคผนวก ข

การผลิตมะม่วงอย่างถูกต้องและเหมาะสม

Good Agricultural Practice (GAP) for Mango

9. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

9.1 การเก็บรักษาผลสด

9.1.1 **ชะลอการเสื่อมคุณภาพ** ทั้งจากทางกายภาพและชีวภาพ เพื่อให้สามารถเก็บรักษาหรือมีอายุวางจำหน่ายได้นานเมื่อมะม่วงถึงโรงเรือนคัดบรรจุ ควรปฏิบัติดังนี้

- คัดเลือกเอาผลที่มีตำหนิออก เช่น ผลที่มีแผลหรือลักษณะที่ผิดปกติจากโรคเช่น แอนแทรกโนสและข้าวผลเน่าหรือตำหนิจากแมลง เช่น เพลี้ยไฟ เพลี้ยหอย ราดำ เป็นต้น เพื่อมิให้เป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าขึ้นในภายหลัง

- ตัดขั้วมะม่วงให้มีความยาวเหลือไม่เกิน 1 เซนติเมตร เพื่อให้ให้น้ำยางไหลพุ่งออกจากผล

- พักรอให้น้ำยางที่เหลือค่อยๆ ไหลออกจากผลจนแห้งด้วยการคว่ำผลลงบนตะแกรง ให้ไหลผลวางรองบนวัสดุที่ไม่คม หรือไม่ทำให้ผลมะม่วงเกิดแผลหรือชำ ปล่อยให้ให้น้ำยางไหลผ่านช่องระบายลงท่อรองรับจนกว่าน้ำยางแห้ง

- ล้างทำความสะอาดมะม่วงในน้ำที่สะอาด น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำที่ไหลหรือเปลี่ยนน้ำบ่อยครั้ง น้ำที่ใช้อาจผสมสารช่วยทำความสะอาดผลไม้ที่เป็นที่ยอมรับว่าไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัย และปลอดภัยต่อผู้บริโภค เช่น คลอรีน 75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

- ผึ่งให้น้ำที่เกาะบนผิวมะม่วงแห้ง

- คัดขนาดผลและระดับคุณภาพ

- บรรจุภาชนะหรือทำการปฏิบัติขั้นตอนต่อไปเพื่อการเก็บรักษา ขนส่ง หรือจำหน่าย

9.1.2 การป้องกันกำจัดศัตรูพืชหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออก

- กรณีเพื่อการส่งออก บางประเทศที่นำเข้าซึ่งเข้มงวดด้านกักกันพืชได้แก่ ญี่ปุ่น และนิวซีแลนด์ (ประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และเกาหลี ยังไม่อนุญาตให้นำเข้ามะม่วงสดจากประเทศไทย) ต้องการให้มีการกำจัดแมลงวันผลไม้และจุลินทรีย์ที่ติดมาตั้งแต่ในแปลงปลูก

- ก่อนส่งออกมะม่วงไปยังประเทศดังกล่าวข้างต้น ต้องใช้วิธีการกำจัดแมลงวันด้วยความร้อนกรรมวิธีอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์(modified vapor heat treatment, MVHT) เพื่อกำจัดไข่และตัวหนอนของแมลงวันผลไม้ 2 ชนิดได้แก่ oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*

(Hendel) และ Melon fly, *B. cucurbitae* (Coquillett) ที่อุณหภูมิผิวเมล็ดสูงถึง 47 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที โดยในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิผลมะม่วงถึง 43 องศาเซลเซียส อากาศร้อนต้องมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ และช่วงหลังจากผลมะม่วงอุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส อากาศร้อนต้องอยู่สภาพที่อึดอัดด้วยความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 95% หลังจากจากสิ้นสุดการให้ความร้อนแล้วต้องลดอุณหภูมิผลมะม่วงโดยเป่าด้วยลมหรือน้ำฉีดพ่นด้วยน้ำ

- การกำจัดแมลงวันผลไม้มะม่วงก่อนส่งออกด้วยกรรมวิธีอบไอน้ำ ปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์สามารถดำเนินการได้โดยนำมะม่วงไปทำการอบได้ที่ อาคารศูนย์พัฒนาการผลิตและควบคุมศัตรูพืชผลไม้เพื่อการส่งออก กองป้องกันและกำจัดศัตรูพืช กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพฯ

9.1.3 การยืดอายุมะม่วง

9.1.3.1 การห่อผล

- เพื่อลดการคายน้ำ ลดการกระแทก การเสียดสีและอาจป้องกันการติดต่อของโรค

- อาจใช้วัสดุห่ออย่างใดอย่างหนึ่งร่วมกับการบรรจุภัณฑ์ ก่อนการจำหน่าย ดังนี้

- ใช้โฟมตาข่ายเพื่อลดการกระแทก
- ใช้กระดาษห่อเพื่อลดการเสียดสี
- ใช้พลาสติกที่มีรูขนาดเล็กเพื่อลดการคายน้ำ และปรับสภาพแวดล้อมที่หุ้มห่อมะม่วงให้มีความชื้นสูงพอเหมาะโดยไม่เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ

9.1.3.2 การลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์

- เพื่อชะลอการหายใจและการคายน้ำทำให้ยืดอายุมะม่วงให้อยู่ในสภาพสดได้นานขึ้น

- สภาพที่เหมาะสมในการเก็บรักษาคือ อุณหภูมิระหว่าง 13-15°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95%

- หลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 13°C ในการเก็บรักษาเพราะอาจทำให้สีผิวของผลมะม่วงมีสีคล้ำหรือเปลี่ยนสี ผลนุ่มฉ่ำน้ำ ถ้ารุนแรงผลจะไม่สุกเนื่องจากอาการที่เรียกว่า สะท้านหนาว

- สร้างความทนทานต่อความเย็นโดยวิธีการค่อย ๆ ลดระดับอุณหภูมิลงเป็นช่วงระยะเพื่อให้มะม่วงเกิดการปรับตัวต่อสภาพอุณหภูมิที่ต่ำได้

9.1.3.3 การเคลือบผิว

- เพื่อให้ผิวมีความเงางามและลดการคายน้ำ ขณะเดียวกันยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษา
- สารที่ใช้เคลือบผิวอาจมีส่วนประกอบของ ไซคาร์บูนา ไบมันจากพืชหรือสัตว์
- สารเคลือบผิวที่ใช้ต้องปลอดภัยต่อผู้บริโภค และไม่มีผลเสียต่อคุณภาพของมะม่วงเช่น ทำให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนก๊าซในการหายใจของมะม่วงผิดปกติไป จนทำให้เกิดกลิ่นและรสที่ไม่พึงปรารถนา ประเทศในเอเชียและออสเตรเลียจึงไม่นิยมเคลือบผิวมะม่วงเพื่อลดความเสี่ยงดังกล่าว

9.1.3.4 การใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน

- เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ในอนาคตอาจมีการใช้สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนเพื่อชะลอการสุก สารดังกล่าว เช่น ไดอะโซเพนทาไดอิน(DACP)

9.2 การบ่ม เพื่อให้การสุกของมะม่วงสม่ำเสมอพร้อมสำหรับการจำหน่ายหรือบริโภคและลดความเสี่ยงจากการเน่า

9.2.1 วิธีการบ่ม อาจใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่ง ดังนี้

- การรมในห้องปิดสนิทด้วยแก๊สเอทิลีน โดยใช้ความเข้มข้น 0.01 ไมโครลิตรต่อลิตรที่ 20-25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ นาน 24 ชั่วโมง วิธีนี้สามารถลดเวลาในการสุกได้ 3 - 7 วัน
- การบ่มด้วยแก๊สอะเซทิลีน หรือถ่านแก๊ส ที่ห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ ในอัตรา 50 กรัม ต่อประมาณ 15 กิโลกรัม โดยต้องระวังอย่าให้ผลมะม่วงสัมผัสกับถ่านแก๊ส ทำการปิดคลุมด้วยผ้าใบ 1-2 คืบ ก่อนเปิดผ้าใบเพื่อให้มะม่วงเริ่มสุก
- การจุ่มในสารละลายเอธิฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่มี 2-chloroethyl phosphoric acid เป็น active ingredient นาน 2-3 นาที แล้วผึ่งให้แห้งเพื่อบ่มสุก ปิดคลุมด้วยผ้าใบ 1 คืบ จึงเปิดผ้าคลุม และปล่อยให้มะม่วงสุก

หมายเหตุ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองแม้เก็บแก่ แต่หลังจากบ่มถ่านแก๊ส 2 คืบ รสชาติจะยังเปรี้ยวจึงต้องรอให้บ่มสุกอีก 3 วัน มะม่วงจึงสุกและมีรสหวานจัด

9.2.2 การบ่มมะม่วงเพื่อแปรรูป

- แช่ในสารละลายเอธิฟอน หรือผสมเอธิฟอนในน้ำแล้วใส่บัวรดมะม่วงที่ใส่ในถังขนาดบรรจุ 5-7 ตัน ปิดด้วยผ้าใบพลาสติกเป็นเวลา 1 คืบ ทำการเปิดผ้าใบในวันรุ่งขึ้นและ

ปล่อยมะม่วงไว้อีกประมาณ 24 ชม. ก่อนทำการแปรรูป หากต้องใช้มะม่วงสุกมากในการแปรรูป อาจต้องเพิ่มระยะเวลาในการบ่มให้นานขึ้น

9.3 การบรรจุหีบห่อ

9.3.1 การคัดเลือกมะม่วง

- ทำการคัดเลือกมะม่วงโดยใช้ระดับความสุกและน้ำหนักผล ความสะอาด และตำหนิเป็นเกณฑ์เพื่อให้เกิด ความสะดวกและความสม่ำเสมอของการจัดเรียงเสมอในบรรจุภัณฑ์ และเป็นไปตามมาตรฐานมะม่วง

- ขนาดมะม่วงสำหรับแปรรูป มักใช้มะม่วงที่มีน้ำหนักผลอยู่ระหว่าง 170-350 กรัม หรือ 3-6 กิโลกรัม ผลมะม่วงต้องสะอาดไม่มีสิ่งปนเปื้อน เช่น น้ำมันโซล่า น้ำมันเครื่อง ดิน หิน กรวด ทราย

9.3.2 คุณลักษณะของภาชนะบรรจุมะม่วงเพื่อการส่งออก

- ขนาดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ต้องเหมาะสมกับความต้องการของตลาด มิติของบรรจุภัณฑ์ต้องเหมาะสมกับสภาพการขนส่ง โดยเฉพาะเมื่อต้องใช้กับเพallet ขนาดบรรจุที่นิยมใช้มีตั้งแต่ 2-15 กิโลกรัม

- บรรจุภัณฑ์ต้องให้การปกป้องผลผลิตไม่ให้เกิดการเสียหาย ทั้งกายภาพและเชิงกลมีความแข็งแรงและความทนทานต่อการขนส่ง สามารถรองรับน้ำหนักของมะม่วง และการวางซ้อนเรียงในขณะทำการขนย้ายจากต้นทางไปปลายทางได้

- กรณีของกล่องกระดาษลูกฟูก ความแข็งแรงของกล่องขึ้นกับชนิดของแป้งทำกาวและกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในกระบวนการผลิตกล่อง ชนิดกระดาษทำกล่องมะม่วงควรใช้กระดาษที่มีน้ำหนัก กระดาษสำหรับทำผิวชั้นนอก 200 กรัมต่อตารางเมตร และกระดาษทำผิวชั้นใน 230 กรัมต่อตารางเมตร ส่วนกระดาษทำลอนลูกฟูกควรอยู่ระหว่าง 125-160 กรัมต่อตารางเมตร

- บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ต้องไม่ทำให้มะม่วงเสื่อมคุณภาพ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระภาพที่ทำให้มะม่วงมีคุณลักษณะผิดไปจากธรรมชาติ จึงต้องมีระบบการระบายอากาศที่ดีพอที่จะไม่ทำให้มะม่วงเกิดการหายใจแบบขาดออกซิเจน

- บรรจุภัณฑ์ต้องสามารถทนความชื้นสูงได้ในกรณีที่ต้องเก็บมะม่วงในสภาพที่มีความชื้นสูง

- บรรจุภัณฑ์ที่ใช้จึงต้องสะอาด ปราศจากกลิ่นและวัตถุแปลกปลอม

- วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนหมึกพิมพ์หรือกาวต้องไม่ก่อให้เกิด

มลภาวะและอันตรายต่อผู้บริโภค

- บรรจุภัณฑ์ที่สวยงามสามารถส่งเสริมการขายได้
- บรรจุภัณฑ์ต้องสามารถทำลายได้ง่าย หรือสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้

ประโยชน์ใหม่ได้เพื่อไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและ/หรือเพิ่มต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำลาย

9.3.3 การบันทึกข้อมูล เกษตรกรควรบันทึกการปฏิบัติการในขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ ให้มีการตรวจสอบได้ หากเกิดข้อผิดพลาดบกพร่องขึ้นสามารถจัดการแก้ไขหรือปรับปรุงได้ทันที เช่น

- บันทึกสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน
- พันธุ์ วันปลูก วันแตกใบ วันแทงช่อ วันดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ ฯลฯ
- วันใส่ปุ๋ย สารเคมี และชนิดชีวอินทรีย์ พร้อมอัตราการใช้
- วันที่ และชนิดศัตรูพืชที่ระบาด
- ค่าใช้จ่าย ปริมาณผลผลิต และรายได้
- ปัญหา/อุปสรรคอื่น ๆ ในช่วงฤดูปลูก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผักผลไม้และอาหารที่ตลาดต้องการ

ชวนพิศ อรุณรังสิกุล

งานเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง
ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จ.นครปฐม

มาตรฐานสินค้าเกษตร

ในปัจจุบันอาจจะถือได้ว่ากฎระเบียบมาตรฐานผลผลิตประเภทต่างๆถูกค้ามีส่วนเป็นผู้กำหนด โดยเฉพาะเน้นไปที่คุณภาพสินค้า ไม่เพียงแต่รูปร่างลักษณะภายนอกที่เห็นเท่านั้น หากสินค้าที่ไม่ได้คุณภาพหรือไม่ได้มาตรฐานตามที่ถูกกำหนด ก็จะถูกปฏิเสธจากผู้รับซื้อ ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งธุรกิจตนเองและส่วนรวมของการส่งออกของประเทศ เพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหาดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการในการปฏิบัติดูแลที่ถูกต้องเหมาะสมทั้งขบวนการผลิต

ดังนั้น มาตรฐานสินค้าเกษตรในปัจจุบัน หมายถึง ข้อกำหนด ระเบียบ หรือแนวทางปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะต่างๆ ของตัวสินค้าเกษตรกรรม วิธี ระเบียบ หรือแนวทางปฏิบัติ รวมถึงการดำเนินการที่เกี่ยวกับสุขลักษณะ ความปลอดภัย โดยทั่วไปมาตรฐานเกิดขึ้นจากการกำหนดร่วมกันระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค แล้วจะต้องได้รับการยอมรับจากทั้ง 2 ฝ่าย มาตรฐานจะถูกนำมาใช้เป็นบรรทัดฐานในการดำเนินการทางการผลิตของสินค้าเกษตรนั้นๆ

จะเห็นได้ว่า มาตรฐานสินค้าเกษตรมีองค์ประกอบทั้งส่วนที่เป็นมาตรฐานคุณภาพในเชิงคุณลักษณะ เช่น พันธุ์ ขนาด รูปร่าง สี รสชาติ ความสมบูรณ์ของผลผลิต เป็นต้น และมาตรฐานของความปลอดภัย เช่น ปลอดภัยจากสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลผลิต หรือความปลอดภัยจากการปนเปื้อนสารเคมี หรือเชื้อโรคอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ ซึ่งรวมทั้งความปลอดภัยตลอดกระบวนการผลิต และระหว่างทางขนส่งก่อนถึงผู้บริโภค ความปลอดภัยดังกล่าวนี้ในปัจจุบันรวมถึงการปลอดจากโรคแมลงศัตรูพืช และปลอดจากโรคสัตว์ที่จะเป็นอันตรายต่อสัตว์อื่นด้วย

มาตรฐานสินค้าเกษตรที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จำแนกออกเป็นระดับต่างๆ ได้แก่ มาตรฐานระดับบุคคล ระดับกลุ่ม ระดับประเทศ จนถึงมาตรฐานระหว่างประเทศ ในปัจจุบันประเทศไทยมีมาตรฐานสินค้าเกษตรระดับประเทศ ซึ่งดำเนินการโดย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้แก่ มาตรฐานลำไย มาตรฐานสับปะรดสำหรับโรงงาน มาตรฐานกล้วยไม้ มาตรฐานทุเรียน มาตรฐาน

ข้าวหอมมะลิ มาตรฐานเงาะ มาตรฐานมะม่วง มาตรฐานมังคุด มาตรฐานลิ้นจี่ มาตรฐานส้มเปลือก
 ล่อน มาตรฐานส้มโอ มาตรฐานสับปะรดสำหรับบริโภค และได้มีการดำเนินการจัดทำมาตรฐาน
 สินค้าเกษตรอื่นๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ครอบคลุมสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศ รวมทั้ง มีการ
 กำหนดมาตรฐานวิธีการปฏิบัติด้วย ได้แก่ มาตรฐานวิธีการปฏิบัติสำหรับการผลิตลำไย กว๊ายไม้
 ทุเรียน สับปะรดโรงงาน ข้าว มะม่วง มังคุด ลิ้นจี่ ส้มเปลือกอ่อน เงาะ และส้มโอ ในส่วนของสินค้า
 ปศุสัตว์ ได้แก่ มาตรฐานฟาร์มเลี้ยงไก่ มาตรฐานฟาร์มสุกร และมาตรฐานฟาร์มโคนม และสำหรับ
 สินค้าประมง ได้แก่ มาตรฐานฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล

การควบคุมคุณภาพเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาการผลิตสินค้าเกษตรให้ตรงตาม
 มาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับสินค้าเกษตร การผลิตทางการเกษตรที่ถูกต้องและเหมาะสม (**Good
 Agricultural Practice: GAP**) เป็นแนวทางปฏิบัติงานในระบบผลิตเพื่อทำให้การผลิตได้คุณภาพที่
 ดีตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความปลอดภัยทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค ทั้งไม่ทำให้เกิด
 มลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีองค์ประกอบหลักๆ ได้แก่ การจัดการดิน การจัดการน้ำ การผลิตพืช
 การป้องกันกำจัดศัตรูพืช การเก็บเกี่ยวและแปรรูประดับฟาร์มและการเก็บรักษา การจัดการของเสีย
 สวัสดิภาพ สุขภาพ และความปลอดภัยผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งอนุรักษ์ความหลากหลายของพันธุ์สัตว์
 และพืชป่าและสภาพภูมิประเทศ

นอกจากนั้นสินค้าเกษตรที่ผ่านกรรมวิธีหรือขบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จะมีการ
 ควบคุมคุณภาพอีกระดับคือ การใช้หลักที่ดีในกระบวนการจัดการโรงงาน หรือ **GMP (Good
 Manufacturing Practices)** ซึ่งเป็นกฎหมายที่ควบคุมโดย กระทรวงสาธารณสุข โดยมีสาระสำคัญ
 6 หมวดหมู่ตามลำดับ ได้แก่ สถานที่ตั้งและอาคารผลิต เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์การผลิต
 การควบคุมกระบวนการผลิต การสุขาภิบาล การบำรุงรักษาและการทำความสะอาด บุคลากรและ
 สุขลักษณะผู้ปฏิบัติ ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิตเพื่อใช้ในการปฏิบัติในการผลิต
 บรรจุ และเก็บรักษาอาหารภายใต้สภาวะที่ถูกสุขลักษณะ ไม่มีสิ่งปนเปื้อนหรือไม่เป็นอันตรายต่อ
 สุขภาพ ปลอดภัยต่อการบริโภค ถือเป็นกลยุทธ์ของหลักประกันคุณภาพของโรงงานผลิตอาหารแต่
 ละแห่ง ที่จะสามารถผลิตอาหารให้ถูกสุขลักษณะและปลอดภัยต่อการบริโภค นอกจากนั้นยังมีการ
 ใช้หลักการวิเคราะห์อันตรายและควบคุมจุดวิกฤต หรือ **HACCP (Hazard Analysis Critical
 Control Point)** เป็นหลักการควบคุมคุณภาพตลอดกระบวนการผลิต ที่เน้นการตรวจสอบและ
 ควบคุมคุณภาพสินค้าเกษตรตั้งแต่วัตถุดิบ จนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายก่อนออกจากโรงงาน และถือเป็น
 หลักการที่มีความนิยมและเป็นความต้องการของลูกค้าในปัจจุบัน

ผู้ประกอบการส่งออกจะต้องศึกษากฎกติกาทางการค้า และกฎระเบียบของแต่ละประเทศอย่าง
 ละเอียด เพราะในแต่ละประเทศต่างมีมาตรฐานแตกต่างกัน เช่น มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร

ของประเทศกลุ่มสหภาพยุโรป ที่ตั้งมาตรฐานไว้สูงกว่ามาตรฐาน Codex ซึ่งเป็นขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO/WHO) เน้นการปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อโรคทางชีวภาพ และเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ โดยเฉพาะเชื้อ โรคอีโคไล (*E. coli*) และเชื้อ โรคซัลโมเนลลา (*Salmonella* sp.) ก่อให้เกิดโรคปัจจุบันทันด่วน เช่น เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรง ซึ่งทางกลุ่มประเทศผู้นำเข้าจะตรวจสอบเป็นพิเศษ

ผักผลไม้ที่นำเข้าประเทศญี่ปุ่นนั้น จะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากแตกต่างจากตลาดยุโรป เนื่องจากสินค้าสดทางการเกษตรต้องผ่านกระบวนการมกวันก่อนการอนุญาตให้กระจายสินค้าในประเทศ นอกเหนือจากมาตรฐานทั่วไปที่ EU เป็นผู้กำหนดและมาตรฐานความปลอดภัย HACCP แล้ว การที่สินค้าของบริษัทต่างๆ จะขายใน Supermarket ของประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปได้ ก็ต้องผ่านมาตรฐาน BRC หรือ **British Retail Consultant** ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เข้มงวดมาก โดยเฉพาะการทวนสอบไปยังแหล่งผลิต ได้แก่ มาตรฐานของสถานที่เพาะปลูกไปจนถึงการดำเนินการจัดการผลิตผลของโรงงาน ซึ่งมาตรฐานทั้งหมดนี้ เป็นมาตรการเพื่อให้ความคุ้มครองแก่ผู้บริโภคในประเทศคู่ค้า ที่ต้องการให้มีความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภคในประเทศของตน

มาตรฐานสินค้าเกษตรของประเทศไทย

มาตรฐานสินค้าเกษตรเป็นมาตรฐานกลางที่ผู้ผลิตและผู้ประกอบการต่างๆ สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการทำธุรกิจ เช่น การทำสัญญาซื้อขายตามมาตรฐาน มาตรฐานสินค้าเกษตร จะมีข้อกำหนดเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติดูแลที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ดำเนินการเพื่อปรับปรุงคุณภาพสินค้า ซึ่งประกอบด้วย ข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพขั้นต่ำ ข้อกำหนดเฉพาะ การแบ่งชั้นคุณภาพ สารพิษตกค้าง สุขลักษณะ เครื่องหมายหรือฉลากที่ระบุปริมาณ น้ำหนัก พันธุ์ และแหล่งผลิต เป็นสิ่งที่ช่วยให้ผู้บริโภคได้ตัดสินใจในการบริโภคสินค้า การประกาศใช้มาตรฐานสินค้าเกษตรของประเทศไทยซึ่งออกโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์นั้น ยังใช้เป็นมาตรฐานทั่วไปที่ผู้เกี่ยวข้องสามารถนำไปปฏิบัติ เนื่องจากมาตรฐานสินค้าเกษตรเป็นเรื่องใหม่สำหรับเกษตรกร การผลิตให้ได้มาตรฐานต้องใช้เวลา ขณะเดียวกันกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีการเตรียมความพร้อมในการตรวจสอบรับรองคุณภาพมาตรฐานและควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานการยกร่างมาตรฐานสินค้าเกษตรต่างๆ และปรับปรุงข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ดำเนินการโดยฝ่ายมาตรฐานสินค้าเกษตร สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และพืชที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ทำมาตรฐานสินค้าเกษตรของประเทศ

ไทยเสร็จในขณะนี้ ได้แก่ กัลยไม้ ลำไย ทุเรียน ข้าวหอมมะลิ ส้มโอ เงาะ มังคุด ลิ้นจี่ มะม่วง ส้มเปลือกกรอบ สับปะรด (สำหรับโรงงาน)

มาตรฐานและความตกลงระหว่างประเทศ

คณะกรรมการ **Codex** ภายใต้การกำกับดูแลโดย องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) ทำการกำหนดมาตรฐานอาหารที่ใช้อ้างอิงในธุรกิจการค้าผลิตผลทางการเกษตรและอาหารระหว่างประเทศ

มาตรฐาน Codex มีวัตถุประสงค์เพื่อคุ้มครองสุขภาพอนามัยของผู้บริโภค และทำให้เกิดความเป็นธรรมในด้านการค้าระหว่างประเทศนอกจากนั้นกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ยังใช้เป็นแนวทางในการกำหนดข้อบังคับ และมาตรฐานในประเทศด้วย ถือเป็นมาตรฐานอ้างอิงในการระงับกรณีพิพาททางการค้าระหว่างประเทศตามข้อตกลงขององค์การการค้าโลก (World Trade Organization : WTO) หลักเกณฑ์ทั่วไปของ Codex คือ การจัดทำหลักการนำการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) ไปใช้กำหนดมาตรการทางสุขอนามัยในมาตรฐานอาหาร ครอบคลุมทุกขั้นตอนในขบวนการวิเคราะห์ความเสี่ยง โดยคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้บริโภค และความเป็นธรรมทางการค้า ทำให้มีการนำค่ามาตรฐาน Codex ควบคุมคุณภาพสินค้าเกษตรเพื่อเป็นมาตรฐานสากล เป็นตัวกำหนดเกณฑ์พื้นฐานของการรับรองคุณภาพและรักษาระดับมาตรฐานสินค้าเกษตรของไทย ก่อนการออกสู่ตลาดต่างประเทศ

EUREPGAP คือ หลักปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practice : GAP) ซึ่งกลุ่มผู้ค้าปลีกในยุโรป (The Euro-Retail Produce Working Group : EUREP) ริเริ่มตั้งแต่เมื่อปี 2540 และได้กำหนดเป็นข้อตกลงว่าด้วยมาตรฐาน EUREPGAP ฉบับแรกสำหรับสินค้าผักและผลไม้สดเมื่อเดือนกันยายน 2544 ต่อมาจึงได้ออกมาตรฐาน EUREPGAP สำหรับสินค้าประเภทประมงและกาแฟในปี 2546 ล่าสุดนี้ได้มีการปรับปรุงแก้ไขมาตรฐาน EUREPGAP ฉบับใหม่สำหรับผักและผลไม้ สินค้าปศุสัตว์ รวมทั้งไม้ออก เมื่อมกราคม 2547 (<http://www.eurep.org>)

วัตถุประสงค์ในการกำหนดมาตรฐาน **EUREPGAP** เพื่อให้ผู้บริโภคในยุโรปได้รับความปลอดภัยจากการบริโภคอาหารที่ได้จากผลผลิตการเกษตร อีกทั้งกระบวนการผลิตต้องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ข้อกำหนด EUREPGAP จะมีแนวโน้มใช้มาตรฐานที่เข้มงวดขึ้น โดยผู้ค้าปลีกในยุโรปจะปฏิเสธการนำเข้าสินค้าเกษตรจากผู้ผลิตและผู้ส่งออกที่ไม่ได้มาตรฐาน EUREPGAP ตั้งแต่ปี 2546 เป็นต้นมา

หน่วยงานรับรอง (Certification Bodies : CBs) เป็นหน่วยงานที่ได้รับการแต่งตั้งจากกลุ่มผู้ค้าปลีกในยุโรปให้เป็นผู้ออกใบรับรอง EUREPGAP ซึ่งปัจจุบันมีอยู่หลายแห่งทั่วโลก สำหรับผู้ที่ได้รับการแต่งตั้งให้เป็นผู้ออกใบรับรอง EUREPGAP ในประเทศไทย คือ บริษัทเอสจีเอส ประเทศไทย (SGS (Thailand) Ltd.) ซึ่งเป็นสำนักงานตัวแทนของบริษัท SGS จากประเทศเนเธอร์แลนด์ ปัจจุบันผู้ผลิตสินค้าเกษตรจากทั่วโลกที่ได้รับใบรับรอง EUREPGAP แล้วมีประมาณ 3,900 ราย ในจำนวนนี้เป็นผู้ผลิตไทย 2 ราย

สาระสำคัญของมาตรฐาน EUREPGAP

สำหรับสินค้าประเภทผักผลไม้สด และ ไม้ดอก มีรายละเอียดสำคัญ เช่น

1. การตรวจทวนสอบหรือสอบกลับ (Traceability) สินค้าที่ทำจากผลผลิตทางด้านการเกษตรทุกชนิดต้องสามารถทวนสอบได้ว่าสินค้าเหล่านั้นมาจากแหล่งเพาะปลูกใด
2. การบันทึกข้อมูลและเก็บรักษาข้อมูล ผู้ผลิตต้องจดบันทึกข้อมูลต่างๆ ตั้งแต่เริ่มแรกของการเพาะปลูก การบำรุงรักษา การเก็บเกี่ยว รวมทั้งการบันทึกในส่วนของการดูแลจัดการหลังเก็บเกี่ยว จนกระทั่งสินค้าดังกล่าวถูกส่งถึงมือผู้บริโภค เพื่อให้สามารถทวนสอบย้อนกลับได้ว่าสินค้าดังกล่าวมีหลักปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) อย่างไร
3. การจัดการระบบผลิตในแปลง ตั้งแต่การใช้ทรัพยากรที่มีและปัจจัยการผลิตที่นำเข้ามาใช้ เช่น การคัดเลือก หรือจัดเตรียมพันธุ์ การจัดการดิน การเลือกใช้เทคนิคในการเพาะปลูกที่ลดการทำลายดินและอนุรักษ์บำรุงดิน การใช้ปุ๋ยและสารเคมี ต้องไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีต่อสิ่งแวดล้อมหรือต่อผลผลิต
4. สวัสดิการ ผู้ผลิตและผู้ใช้แรงงานที่อยู่ในภาคการเกษตร ควรได้รับการฝึกอบรมวิธีการปฏิบัติงานอย่างถูกต้อง เพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

ความตกลงภายใต้ WTO

ภายใต้กฎระเบียบการค้าขององค์การการค้าโลกว่าด้วยมาตรการสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช (Sanitary and Phytosanitary Measures: SPS) เป็นมาตรการเกี่ยวกับความปลอดภัยในชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และพืช ขององค์การการค้าโลก มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันไม่ให้ประเทศต่างๆ นำมาตรการ SPS ไปใช้ได้ตามใจชอบโดยไม่สมเหตุสมผล หรือใช้เป็นเครื่องมือที่ก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการค้าระหว่างประเทศ

ความตกลง SPS จะใช้บังคับกับมาตรการสุขอนามัย และสุขอนามัยพืชทุกประเภทที่อาจเกี่ยวข้องกับการค้า อาทิ กระบวนการ/ขั้นตอนการผลิต การตรวจสอบ การรับรอง กระบวนการ

รักษาต่างๆ หรือมาตรการสำหรับสินค้าขั้นสุดท้าย มาตรการบรรจุกัญช์ การปิดฉลากที่เกี่ยวข้อง โดยตรงกับความปลอดภัยของอาหาร ซึ่งรัฐบาลทุกประเทศมีสิทธิขั้นพื้นฐานในการกำหนดระดับของการคุ้มครอง หรือใช้มาตรการ SPS ในระดับที่จำเป็น เพื่อสร้างความมั่นใจต่อความปลอดภัยด้านอาหาร ปกป้องชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และพืช โดยไม่ใช่สิทธิขั้นพื้นฐานในการสร้างข้อจำกัดทางการค้า หรือนำไปสู่การกีดกันการค้าระหว่างประเทศ และต้องไม่เลือกปฏิบัติระหว่างประเทศสมาชิก มาตรการ SPS นั้น ควรสอดคล้องกับมาตรฐาน กรอบแนวทาง และคำแนะนำต่างๆ ที่องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศกำหนดขึ้น ได้แก่

(1) Codex Alimentarius ซึ่งกำกับดูแลเรื่องความปลอดภัยของอาหารในส่วนที่เกี่ยวข้องกับชีวิตและสุขภาพของมนุษย์

(2) International Plant Protection Convention (IPPC) กำกับดูแลเรื่องชีวิตและสุขภาพของพืช โดยมีหลักเกณฑ์สำคัญ 4 ประการ คือ

- หลักมาตรฐานสากล (Priority of International Standards) โดยเป็นมาตรการสุขอนามัยตามหลักสากล เป็นข้อกำหนดที่เกิดขึ้นใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นที่ยอมรับและมีข้อพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์มาสนับสนุน

- หลักความเท่าเทียมกัน (Concept of Equivalence) สมาชิกแต่ละประเทศสามารถใช้มาตรการสุขอนามัยที่แตกต่างกันในการคุ้มครองความปลอดภัยให้กับผู้บริโภคของตน ทั้งนี้สมาชิกต้องยินยอมนำเข้าสินค้าจากประเทศอื่น หากประเทศดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นว่า มาตรฐานสุขอนามัยที่ถือปฏิบัติอยู่นั้นให้ความปลอดภัย

- หลักการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) สมาชิกต้องมั่นใจต่อมาตรการสุขอนามัยที่นำมาใช้ ว่ามีวิธีการประเมินความเสี่ยงที่ชัดเจนและเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ พืช สัตว์

- หลักความโปร่งใส (Transparency) สมาชิกต้องใช้มาตรการสุขอนามัยอย่างโปร่งใส โดยนำมาตรฐานสากลมาใช้ ในกรณีที่น่ามาตรการที่มีใช้สากลมาใช้ ประเทศผู้ออกมาตรการนั้นต้องส่งระเบียบกฎเกณฑ์และวิธีการปฏิบัติให้สมาชิกอื่นๆ ได้ทราบและแสดงข้อคิดเห็นล่วงหน้าก่อนมีผลบังคับใช้ ยกเว้นกรณีฉุกเฉิน เช่น ป้องกันการระบาดของเชื้อโรคหรือศัตรูพืช

นอกจากนี้ยังมีความตกลงว่าด้วยอุปสรรคทางเทคนิคต่อการค้า (Technical Barrier to Trade : TBT) ที่เกี่ยวข้องกับสินค้าเกษตรและอาหาร ภายใต้อความตกลง TBT ที่กำกับดูแลเรื่องการออกกฎระเบียบด้านเทคนิคและมาตรฐานต่างๆ ของสินค้าทั้งเกษตรและอุตสาหกรรม รวมถึงข้อกำหนดในเรื่องการบรรจุหีบห่อ การทำเครื่องหมาย (marking) และการปิดฉลาก (labeling) ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ กระบวนการหรือวิธีการผลิต และสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนดโดย

องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ อย่างไรก็ตามมาตรฐานดังกล่าว เป็นลักษณะที่มีการปฏิบัติตามความสมัครใจ การประเมินความสอดคล้องกับข้อบังคับทางเทคนิคและมาตรฐาน ต้องไม่ก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการค้าระหว่างประเทศโดยไม่จำเป็น

โดยสรุป การกำหนดมาตรฐานสินค้า เช่น ปริมาณสารตกค้างที่อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเกินไป ข่อมสร้างอุปสรรคต่อการค้าระหว่างประเทศ หากประเทศผู้ส่งออกไม่สามารถทำได้ตามเกณฑ์ หรือประเทศผู้นำเข้ามีเจตนาแอบแฝงที่จะนำมาใช้เพื่อเป็นข้ออ้างในการกีดกันการนำเข้า อย่างไรก็ตามการใช้มาตรการดังกล่าว ต้องอยู่บนพื้นฐานข้อพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ และสอดคล้องกับมาตรฐานระหว่างประเทศ โดยต้องมีการประเมินค่าความเสี่ยงและกำหนดระดับที่เหมาะสมของการ คุ้มครองสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช

ภาคผนวก ง
บทความตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ

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/jfoodeng

Non-destructive maturity classification of mango based on physical, mechanical and optical properties

Padungsak Wanitchang^a, Anupun Terdwongworakul^{b,*}, Jaitip Wanitchang^c, Natrapee Nakawajana^b

^a The Postgraduate and Research Development Project of Postharvest Technology, Graduate School, Kasetsart University, PHTTC, Kamphaengsaen, Nakhonpathom, Thailand

^b Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakhonpathom, Thailand

^c Division of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawon-ok, Chonburi, Thailand

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 October 2010

Received in revised form 10 December 2010

Accepted 5 March 2011

Available online 11 March 2011

Keywords:

Discriminant analysis

Cluster analysis

Mango

Maturity

Classification

ABSTRACT

Mango is a popular tropical fruit and right maturity at harvest is important for eating quality and shelf life. Therefore, harvesting needs skilled pickers otherwise fruit of varying levels of maturity will be collected. This research investigated maturity classification of mango fruits (cv. Nam Dokmai) using physical, mechanical and optical properties. Variation in size, sphericity, specific gravity, total soluble solids, total acidity, surface color, acoustic response (stiffness coefficient based on the resonant frequency and the weight of the fruit), impact response (peak acceleration/corresponding time) were followed during a number of days after fruit set from 77 to 115 days. On discriminant analysis, mangoes of three maturity classes based on days after fruit set could be separated using non-destructive parameters (95%). Cluster analysis was applied based on destructive parameters (total soluble solids and total acidity) and days after fruit set to pre-allocate each fruit into four different maturity classes. The 89.0% accuracy of classification into four levels of maturity could be achieved by simplified non-destructive model. The best applicable variables of physical, mechanical and optical properties were SG, stiffness coefficient and diffuse reflectance at 670 nm, respectively.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The postharvest quality of mango fruit can be ascertained provided they are harvested when physiologically mature. Fruits harvested too early have poor quality as they are not ripened properly. On the other hand, harvesting at an over-mature stage leads to a short shelf life and disease vulnerability. Therefore evaluation of mango maturity at harvest is very important as far as marketing is concerned.

Typically mango maturity can be monitored with the numbers of days post full bloom or days after fruit set. Skin roughness, fruit firmness, shape, size, shoulder growth and peel color are also subjective parameters for maturity assessment. In an effort to establish reliable maturity indices, a number of physico-chemical properties have been investigated. The results indicate that as mango fruit develop towards mature stage, specific gravity increases, titratable acidity decreases (Kasantikul et al., 1984) and soluble solids content (SSC) increases (Peacock et al., 1986). Firmness of mango fruit (cv. Nam Dokmai and Chok Anan) has been studied and found to remain relatively unchanged from the immature to the fully mature stages, although firmness rapidly

decreased as the fruit ripened (Jarimopas and Kitthawee, 2007). There was a report on quantification of the mechanical characteristics of the textural profile of mango fruit, cv. Pelican (Al-Haq and Sugiyama, 2004). The results show that percent compression significantly affected the textural properties of mango. A maturity standard for mango was investigated based on specific gravity (Tandon et al., 1988). However their use as a criterion to predict maturity is limited as there is inconsistency in these parameters of mango varieties (Tandon and Kalra, 1983, 1986).

Recently full attention has been focused on non-destructive techniques for fruit quality evaluation. Encouraging results have been reported on the determination of fruit maturity and post-harvest qualities. In the application of impact response, two varieties of apples and pears of different ripeness were sorted by means of an impact tester (Jaren and Garcia-Pardo, 2002). Eleven response parameters were derived from the impact curves generated by dropping the impactor on each fruit. The discriminant analysis proved that pears can be appropriately classified into three classes of firmness. Further impact related investigation established the falling impact method was showed to be a feasible measurement for a non-destructive assessment of three levels of tomato maturity (Lien et al., 2009) and flesh firmness of kiwifruits (Ragni et al., 2010). In the report on tomatoes, the primitive impact indices and their derivatives were investigated with the linear discriminant analysis.

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

Nomenclature			
<i>L</i>	lightness axis in Hunter <i>L, a, b</i> color scale	<i>A</i>	the maximum acceleration of impact response (mm/s ²)
<i>a</i>	redness–greenness coordinate in Hunter <i>L, a, b</i> color scale	<i>t</i>	the time taken from a change in acceleration to the maximum acceleration of impact response (s)
<i>b</i>	yellowness–blueness coordinate in Hunter <i>L, a, b</i> color scale	TA	total acidity (%)
<i>R</i>	diffuse reflectance	TSS	total soluble solids (°Brix)
DAFS	days after fruit set	<i>x</i>	longest axis (mm)
SP	sphericity	<i>z</i>	longest axis normal to <i>x</i> and <i>z</i> (mm)
SG	specific gravity	<i>w</i>	weight in air (g)
		<i>f</i>	Resonant frequency of sound response (Hz)

Post-harvest softening and the sugar and acids contents of mango can be monitored and determined by use of ultrasonic measurements (Mizrach et al., 1997). Sugiyama et al. (2005) successfully utilized the acoustic transmission velocity to follow the decrease in firmness of ripened mangoes. Visible spectrometry is applied for the purpose of non-destructive determination of the chlorophyll content in apples (Zude, 2003). The specific index, derived by the ratio of partial transmittance at both 698 and 760 nm, and the partial least squares model built on the first order of the spectra proved to satisfactorily predict the fruit chlorophyll 'a' content of 'Elstar' apples. The visual range of wavelengths was also reportedly evaluated as to determine the pigmentation of mangoes during growth (Jha et al., 2006a). Maturity of mango as represented by a ratio of observed SSC and specified minimum value was also satisfactorily predicted with HunterLab colorimeter (Jha et al., 2007).

The present paper elaborates on the evaluation of non-destructive means of measurement of physical, mechanical, and optical properties of mango during growth and the subsequent application in multivariate models as to allow classification of mangoes by non-destructive means into maturity groups pre-assigned with respect to days after fruit set and the established destructive parameters.

2. Materials and methods

2.1. Fruit

Mango fruits (cv. Nam Dokmai) were procured from four rows of mango trees in the center of a commercial mango orchard in Chonburi province Thailand. The fruit bunches were tagged immediately upon observation of the fruit set. A set composed of 20 individual fruits were randomly selected and manually picked on alternate day from 77 to 115 days after fruit set (DAFS), as to cover variation of fruit growth from the immature to the over-mature stages (Fig. 1). Subsequent to the harvest, the samples were transported in an air-conditioned car to the laboratory (25 °C with approximately about 67% relative humidity) for immediate measurements.

2.2. Non-destructive measurements

2.2.1. Physical properties

Physical parameters obtained were size, sphericity and specific gravity. The size of fruit sample was given as a geometrical mean (Mohsenin, 1986) computed from lengths measured along three major axes with the application of vernier caliper (Mitutoyo 530–532, 150 mm ± 0.03 mm, Japan). The expression of size was as follows:

$$\text{Size} = (xyz)^{1/3}$$

where *x* = longest axis (stem–calyx axis in case of mango cv. Nam Dokmai), *y* = longest axis normal to *x* and *z* = longest axis normal to *x* and *y*.

Sphericity (SP) could be calculated by the following expression (Mohsenin, 1986).

$$\text{Sphericity} = \frac{(xyz)^{1/3}}{x}$$

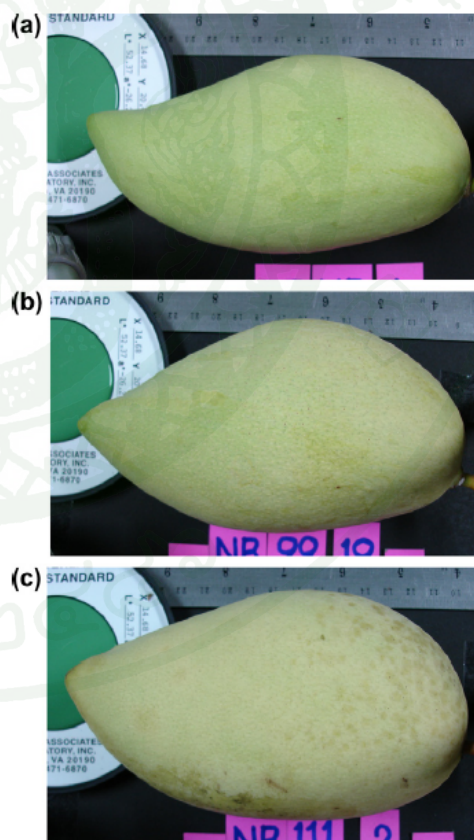


Fig. 1. Photographs of mango samples cv. Nam Dokmai at (a) 77 days after fruit set; (b) 99 days after fruit set and (c) 111 days after fruit set.

Determination of the specific gravity (SG) of the sample was conducted by means of the water displacement method and platform scale technique as explained by Mohsenin (1986). Each sample was weighed in air (w) by electronic balance (Mettler Toledo PB 3002-S, Switzerland). Based on Archimedes' principle, the weight of the displaced water was determined by the slow submergence of the fruit into approximately 2 L of clean tap water by means of a sinker rod to full fruit immersion. The weight of the container with the submerged fruit subtracted by the container weight was the weight of the displaced water. The specific gravity of each sample was calculated with the application of the expression described by Mohsenin (1986).

2.3. Optical properties

Color of mango samples were represented in terms of L , a , and b values and the diffuse reflectance of the visible spectrum (400–700 nm) by means of a spectrometer with dual-beam xenon flash lamp and spectral resolution of 10 nm (Hunter L , a , b Color Flex model CFLX-45-2: D 65/10°, Reston, USA). 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). Each fruit was measured on two opposite sides at top (near stem), center and bottom (near apex) positions. The average of six measurements was used for further analyses.

2.4. Acoustic properties

The whole fruit characteristic was measured by means of fruit response to an acoustic impulse. The measurement of the acoustic impulse response was conducted with the employment of a device as described by Boonmung et al. (2006). The mango was positioned with its stem and calyx aligned horizontally. The impulse was induced mechanically underneath the fruit by an impact rod at two opposite pulpy sides (cheek center of the fruit) (Sugiyama et al., 2005). The impulse signal was measured by a microphone diametrically opposite the tapped point. The signal amplification was performed with the aid of a sound card (Sigmatel 9750, 18-bit [analog-to-digital and digital-to-analog] Austin, TX) with a sampling rate of 32,000 samples per second for an interval of 66.7 ms. The signal was transformed to the frequency domain with a fast Fourier transform algorithm written in C++, resultant in a resolution of 15 Hz per point was attained. The distinct crest of the frequency spectrum was read as the resonant frequency (f) and the stiffness coefficient was computed to compensate for the variation of fruit mass as $f^2w^{2/3}$ (Cooke and Rand, 1973).

2.5. Impact response

The mango was taken to the low mass impact tester developed according to Chen et al. (1985) and modified with a smaller mass (Jarimopas and Kitthawee, 2007) for a local measurement on the fruit. The impact tester comprised a sectional cylindrical steel rod with a 6 mm diameter spherical tip with a weight of 12 g. Attached to the rod as one of its sections was a small high frequency accelerometer (BBN Model 501, miniature), with a sensitivity of 1 mV/ms⁻² and a peak operating acceleration of 2050 m/s². The impact rod was dropped from a height of 2 cm (Jarimopas and Kitthawee, 2007) onto the cheek center of each mango conformed and supported by moist fine sand in a container. The deceleration of the rod over the period of impact was sensed by an accelerometer. A change in acceleration against time that characterized firmness was derived as a ratio between the maximum acceleration (A) and the time taken from a change in acceleration to the maximum acceleration (t). The A/t value (Chen et al., 1996) was averaged over

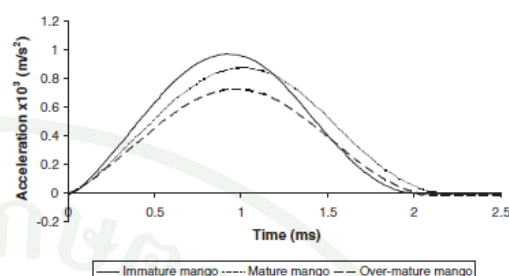


Fig. 2. Change in acceleration with time of three different mature mango samples.

two measurements on both cheeks. Fig. 2 depicts a change in A with respect to t of mango samples at three diverse levels of maturity.

2.6. Destructive measurements

2.6.1. Physiological properties

Juice was extracted from six flesh pieces proximate to the peel at the identical six positions selected for the color measurements post the skin removal (approximately 0.2 mm thickness) with a peeler. The juice was filtered through a muslin cloth and measured for total soluble solids (TSS) in °Brix with a digital refractometer (PR-32, Palette Series, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan). The total acidity (TA) was also determined from the juice by titrating with 0.1 N NaOH to an end point where the colored indicator, phenolphthalein, changed color. TA was reported as percentages of the citric acid equivalent.

2.7. Data analysis

Graders typically evaluate maturity by means of non-destructive inspection of a defined number of parameters. The classification index that models multiple non-destructive parameters was thus assumed to offer a robust classification of fruit maturity. The main purpose of the analysis was thus to introduce non-destructive parameters as the classifying variables in a linear discriminant analysis (SPSS version 9.0, Chicago, IL) to categorize the mangoes into a number of predefined maturity groups. The discriminant analysis is a multivariate technique used to create linear functions of several variables that enable the maximum difference between two or more groups and keep the variation within each group minimum. Canonical discriminant functions and their corresponding statistical results were evaluated. The performance of classification in terms of the percentage of correct classification was validated by leave-one-out cross validation.

The mango samples were initially segregated into three different maturity groups for classification analysis based on DAFS as follows: immature (77–99 DAFS), mature (99–111 DAFS) and over-mature (111–115 DAFS). Such a separation was suggested by Kasantikul et al. (1984) who stated that the best quality for consumption of mango (cv. Nam Dokmai) can be attained by harvesting between 99 and 111 DAFS.

As for the marketing aspect, it is more desirable to develop a model that is capable of classification of mangoes into four different classes of maturity i.e. immature, early-mature, late-mature and over-mature. However, as no report on categorization of mangoes into four maturity classes was known to exist at the time of

the present analysis, the systematic approach for this assignment was called for.

Cluster analysis (CA) is a multivariate technique with the primary purpose of the classification of objects into categories or clusters based on their similarities. The objective of CA is to determine an optimal non-supervised categorization for which similar observations or objects are found within each cluster, but the clusters are dissimilar to each other. Therefore, the CA was conducted to assign the mangoes into four maturity groups with combination of the destructive variables (TSS and TA) as well as DAFS (subsequently called CA-assigned groups). Various similarity measurements were tried to obtain different sets of four maturity groups for use as a class variable in the discriminant analysis.

A set of physical, mechanical, optical properties and their combination were introduced into the discriminant models to classify the samples into the predefined three groups (DAFS-assigned groups) and four cluster analysis groups (CA-assigned groups). The simplification of the models was subsequently carried out by reduction of the number of classifying variables with a stepwise method in search for the optimum model. The stepwise method selected variables into the model by retention of the

statistically significant variables and the removal of the insignificant variables.

3. Results and discussion

3.0.1. Change in physiological properties

During development (immature stage) TSS of mangoes increased gradually from 6.60 to 8.12 °Brix (Fig. 3). As the fruit matured a slower rate of increase in TSS from 8.14 to 8.80 °Brix was observed (mature stage). At the end of maturity TSS continued to increase but at a higher rate into the over-mature stage and finally dropped off. This change of TSS was generally similar to that of Jha et al. (2006b).

Conversely, TA content appeared to undergo a continuous decrease (Fig. 3) over the development (from 3.29% to 2.24%) and continued at a similar rate over maturity until it leveled off to 1.33% at 115 DAFS (over-mature stage). When a ratio TSS/TA was applied, the change over the whole period became more pronounced at each stage. A slight increase in TSS/TA was visible during the development and then the ratio rose more rapidly in an exponential fashion through the over-mature stage before declination (Fig. 3).

3.1. Change in physical properties

Before attainment of maturity, the size of mango fruits rose continuously and then seemed to sustain sizes of approximately 9.55 cm over the rest of the interval (Fig. 4). This trend of change was different from mango cv. Dashehari in which the change after maturity was noticeable when the size was in excess of 7 cm (Jha et al., 2006b).

The sphericity of the fruit was not significantly affected during growth towards maturity (Fig. 4). However, with the maturity of the fruit samples, a slight more pronounced increase on the cheek side (y and z axes) than on the calyx-stem axis (x axis) was detected. This change was reflected by a relatively small increase in the sphericity in the range of from 0.58 to 0.62 (Fig. 1 and Fig. 4). Additionally, the analysis of variance of the effect of three maturity levels on SP revealed a significant difference (p -value < 0.05). For the specific gravity, the value was lower than 1.0 over the period of growth (Fig. 4). At maturity (99 DAFS) the fruit gained more

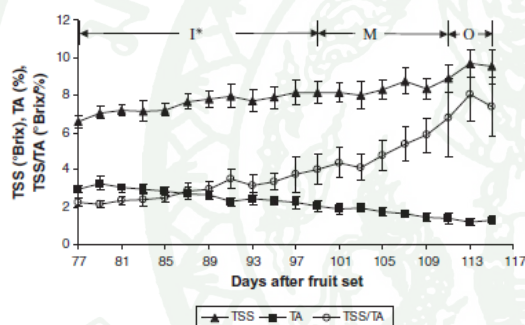


Fig. 3. Physiological properties of Nam Dokmai mango as related to days after fruit set. * Stages of maturity were I: immature stage (77–99 DAFS), M: mature stage (99–111 DAFS), and O: over-mature stage (111–115 DAFS) (TSS: Total soluble solids, TA: Total acid, DAFS: Days after fruit set).

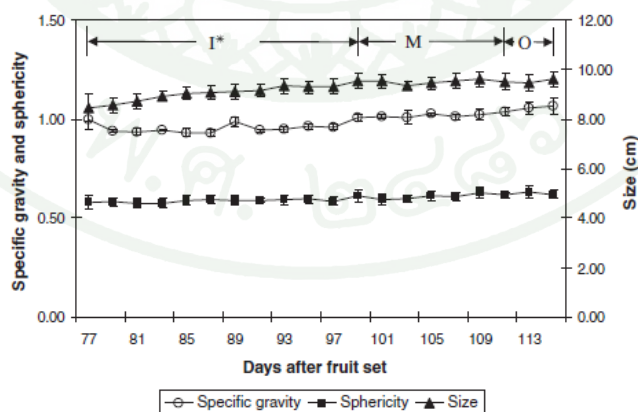


Fig. 4. Change in physical properties of Nam Dokmai mango with respect to days after fruit set. * Stages of maturity were I: immature stage (77–99 DAFS), M: mature stage (99–111 DAFS), and O: over-mature stage (111–115 DAFS) (DAFS: days after fruit set).

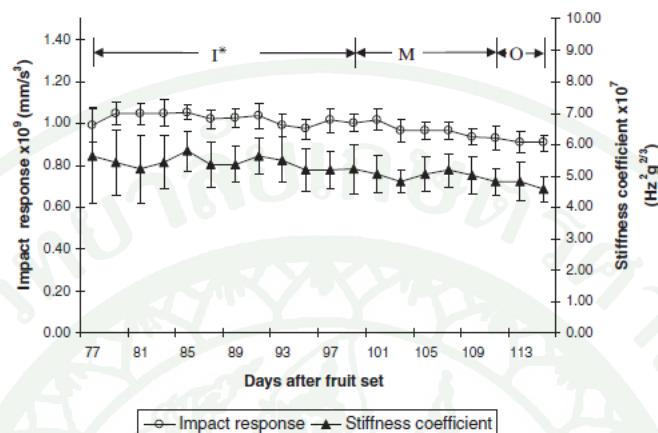


Fig. 5. Change in stiffness coefficient and impact response (acceleration/time) of Nam Dokmai mango with days after fruit set. * Stages of maturity were I: immature stage (77–99 DAFS), M: mature stage (99–111 DAFS), and O: over-mature stage (111–115 DAFS) (DAFS: Days after fruit set).

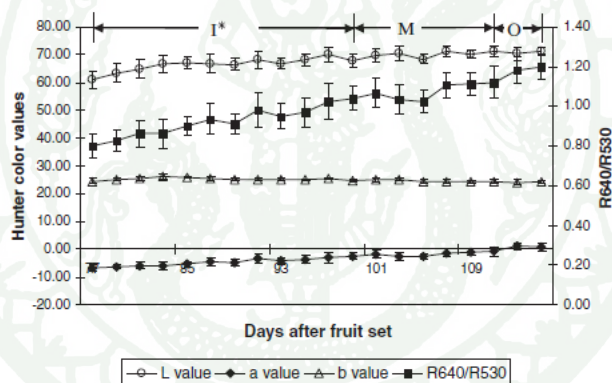


Fig. 6. Color and diffuse reflectance ratio (R640/R540) of Nam Dokmai mango as related to days after fruit set. * Stages of maturity were I: immature stage (77–99 DAFS), M: mature stage (99–111 DAFS), and O: over-mature stage (111–115 DAFS) (DAFS: Days after fruit set, R640: diffuse reflectance at 640 nm).

weight than the associated volume resulting in the specific gravity to be in excess of 1.0. The specific gravity continued to increase up to 1.07. The increase in specific gravity in excess of the threshold of 1.0 had also previously been reported (Kasantikul et al., 1984) at a shorter DAFS of 84.

3.2. Changes in mechanical and acoustic properties

Over the initial development (immature stage) the impact response (A/t) in Fig. 5 varied inconsistently. The A/t remained constant at the immature stage and was slightly lowered at the juncture of maturity. Once maturity was attained, a decrease in the A/t was apparent. The impact response has previously been shown to be closely associated with firmness and therefore to maturity (Garcia et al., 1988). The decrease in the A/t implied a lower presence of pectin in the cell wall and the middle lamella of the mature fruit (Subramanyam et al., 1976) which led to reduced firmness. This suggests that the impact response can poten-

tially be applied to monitor the firmness of mature mangoes more appropriately than that of immature fruit.

As for the whole fruit characteristics, the stiffness coefficient also changed inconsistently during the initial stage of development (Fig. 5). As the fruit approached the full mature stage, the stiffness coefficient decreased in a relative linear fashion from 5.22×10^7 to $4.56 \times 10^7 \text{ Hz}^2 \text{ g}^{-2/3}$.

3.3. Changes in optical properties

The mango fruits appeared to become lighter over the immature stage as illustrated in Fig. 6 (from Hunter L value of 60.98–69.98). The increase in the L value subsequently occurred at slower rate. The yellow color of the skin as denoted by the ' b ' value decreased constantly over the course of measurements (from 24.50 to 24.37). The green color on the fruit surface on the other hand reduced continuously as the ' a ' value increased from -6.72 to 0.76 . One of the most palpable signs of fruit maturing and ripening

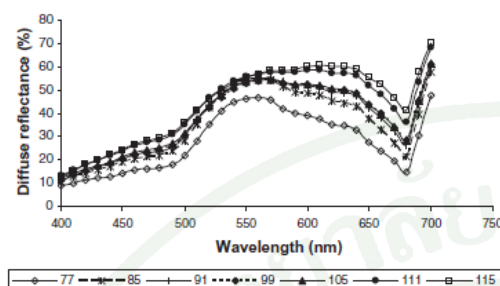


Fig. 7. Variation of light reflectance spectra of mangoes from 400 to 700 nm as affected by days after fruit set from 77 to 115 days.

was the general loss of green color. The results showed that the color of mango cv. Nam Dokmai developed from dark green into light orange (Kasantikul et al., 1984).

The change in spectra of light reflectance over the wavelength range between 400 and 700 nm with maturity development are illustrated in Fig. 7. Generally, the spectra were characterized by strong reflectance around 550 nm and weak reflectance around 680 nm. Maturity affected the spectra at 680 nm (Chlorophyll absorbance) greater than at 550 nm which was in contrast to those of mango cv. Dashehari as reported by Jha et al. (2006a) but close to those of apples (Merzlyak et al., 2003). The diffuse reflectance increased as the fruit was more mature with the distinct effect between 600 and 700 nm.

In search for a representative index of the diffuse reflectance spectrum, each reflectance was arbitrarily normalized by each individual reflectance to determine the reflectance ratio that correlated best with DAFS. It was determined that the best correlation ($R^2 = 0.96$) with DAFS was a reflectance ratio of R640/R530 which showed a consistent increase with DAFS as shown in Fig. 6. From visual inspection of the diffuse reflectance spectra (Fig. 7), the diffuse reflectance at 530 nm appeared to be least correlated to maturity as there was less variation and order in diffuse reflectance, especially in those measured from 85 to 115 DAFS. This is attributable to the report that standardization of the overall diffuse reflectance by a specific reflectance in a non-absorbent waveband offered high correlation with chlorophyll content (Everitt et al., 1985). The diffuse reflectance at 640 nm revealed a spectral characteristics related to chlorophyll *b* absorption appeared as a shoulder near 650 nm in Fig. 7 (Merzlyak et al., 2003).

3.4. Classification of mango maturity

The prediction of three maturity levels discriminant analysis showed that a model based on the mechanical properties (*A/t* and stiffness coefficient) gave poor classification performance at 60.5% correction (model A in Table 1). The classification accuracy was improved to 87.3% with a model of physical properties (SG, size and SP for model B in Table 1) and 86.0% on discriminant analysis of visible spectrum (model C in Table 1). However, the developed model with the inclusion of all non-destructive variables inclusive of the whole visible spectrum, which represented the color variable, yielded the best accuracy of 95%. The immature class was predicted with the highest level of accuracy, whilst the lowest accurateness was attained for the assessment of the over-mature class.

For the simplification of the model with the application of the stepwise method, the obtained model linearly combined SG, R680, R630, R700, R490, R450, R420, R410, R510, R580, R570,

Table 1

Cross-validated matrices showing performance of classification into three maturity sets based on non-destructive variables.

Model	Actual group	Correctly classified mangoes (%) ($p < 0.001$)	Predicted group		
			Immature mango	Mature mango	Over-mature mango
A*	Immature mango	84.5	186	31	3
	Mature mango	38.6	84	54	2
	Over-mature mango	5.0	8	30	2
	Total	60.5	278	115	7
B	Immature mango	90.9	200	19	1
	Mature mango	92.1	8	129	3
	Over-mature mango	50.0	0	20	20
	Total	87.3	208	168	24
C	Immature mango	90.5	199	21	0
	Mature mango	87.9	9	123	8
	Over-mature mango	55.0	0	18	22
	Total	86.0	208	162	30
D	Immature mango	96.8	213	7	0
	Mature mango	95.7	4	134	2
	Over-mature mango	82.5	0	7	33
	Total	95.0	217	148	35
E	Immature mango	99.1	218	2	0
	Mature mango	92.9	2	130	8
	Over-mature mango	87.5	0	5	35
	Total	95.8	220	137	43

* (A): Classifying variables are mechanical properties (i.e. *A/t* and stiffness coefficient); (B): Classifying variables are physical properties (i.e. SG, size and SP); (C): Classifying variables are optical properties (i.e. whole diffuse reflectance spectrum); (D): Classifying variables are SG, size, SP, *A/t*, stiffness coefficient and whole diffuse reflectance spectrum; (E): Classifying variables are SG, R680, R630, R700, R490, R450, R420, R410, R510, R580, R570, R530, and R560 in descending order of contribution; *A/t*: acceleration/time, SG: specific gravity, SP: sphericity, R410: diffuse reflectance at 410 nm.

R530 and R560 in descending order of significance. The performance of accuracy was sustained at 95.8% compared to that of the model of all non-destructive variables. SG was the most dominant parameter which to some extent is in agreement with a previous report (Narayana et al., 1999) which elaborated that a specific gravity was a criterion for the harvest of the optimum maturity of mango cv. Baneshan. The second most dominant parameter was the reflectance at 680 nm (R680), which was associated with chlorophyll (Kramer and Smith, 1947). The reflectance at 630 nm, which was the third dominant parameter, confirmed the aforementioned result that a reflectance ratio (R640/R530) was closely related to DAFS (R640 was adjacent to R630 given a spectral resolution of 10 nm). The factorial plot of both the first and second discriminant functions (Fig. 8) showed clearly the separation of the maturity classes along the first discriminant function which explained the variance of 90.0%. Those stepwise selected variables, with the exception of R560, were significant in the maturity differentiation into three classes along the first discriminant function. The separation between over-mature and mature mangoes were complemented along the second discriminant function which accounted for the 10% variance. The R560 was the contributing variable of the distinction in terms of the second discriminant function. The diffuse reflectance at approximately 560 nm was affected by the maturity variation though not to the identical degree as at 680 nm (Fig. 7).

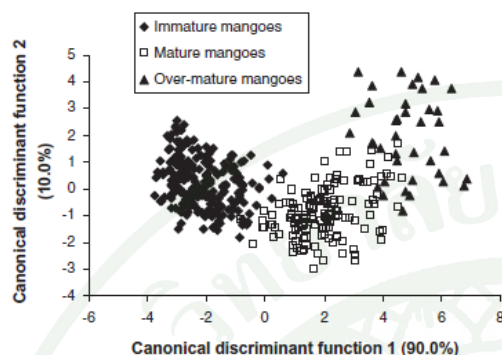


Fig. 8. Scatter plot of mango samples at three maturity levels with respect to canonical discriminant functions derived from variables selected by means of stepwise method.

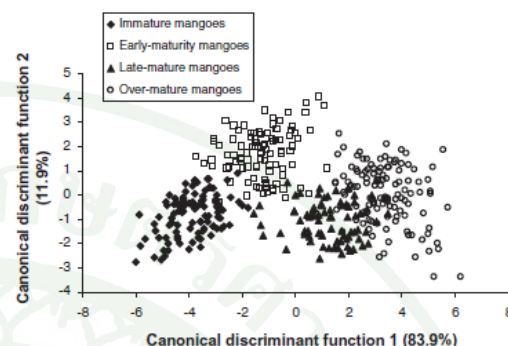


Fig. 9. Scatter plot of mango samples at four maturity levels with respect to canonical discriminant functions derived from variables selected by means of stepwise method.

Upon pre-division of mangoes into four maturity categories, the 400 mango samples were assigned fairly consistently into immature (100 fruits), early-mature (100 fruits), late-mature (80 fruits), and over-mature (120 fruits) clusters following the cluster analysis of the TSS, TA and DAFS with the application of the Ward's method of Euclidean distance measurement. A simplified model was focused on the classification of mango samples into four maturity groups. The results of discriminant analysis for the purpose of the construction of a model of selected non-destructive variables by means of stepwise method are summarized in Table 2.

The simplified discriminant model (Table 2) performed relatively well (89.0%) and excelled for the immature class (97.0%), but was poor for the late-mature class (78.8%). Fig. 9 shows the segregation of mango samples into four maturity classes as manifest to the first two discriminant functions. Analysis of Fig 9 reveals that the first discriminant function was effective in the separation of immature, late-mature, and over-mature mangoes. The variables selected by the stepwise method in the first discriminant function (responsible for 83.9% of variance) were SG, R670, R400, R490, R440, R420, R410, R610, R580 and R520 in descending order of significance. On the other hand, the stiffness coefficient, size, R540 and R550 attributed in descending order of significance to the classification in the second discriminant functions, which relates to the variance of 11.9%. The most significant variables in the classification were SG followed by R670 as

with the simplified model for three maturity classes. The results imply that spectral features between 400 and 610 nm, with the exception of 670 nm, are significant in the discrimination of mangoes into different maturity classes. The region of 400 to 550 nm signified combined chlorophyll and carotenoid adsorption (Merzlyak et al., 2003).

The second discriminant function appeared to be more sensitive than the first discriminant function in the differentiation of early-mature mango samples from both immature and late-mature samples (Fig. 9). This suggests that the stiffness coefficient, size, R540 and R550, which correlated with the second discriminant function, were complementary to the variables combined in the first discriminant function in the detection of the maturity variation of mango samples before attainment of the over-mature stage.

4. Conclusion

The discriminant analysis demonstrated that mango fruit can be classified into three DAFS-assigned classes of maturity based on non-destructive predictor variables. SG was shown to be the best contributing variable for the classification. Cluster analysis was executed to allocate each individual mango into four maturity classes with the employment of TSS, TA and DAFS as categorization parameters. With variable selection by means of a stepwise method, simplification of the model with a reduced number of the non-destructive variables could be achieved. The performance of the simplified model for the classification of four maturity levels excelled with an accuracy of 89.0% which was deemed appropriate for practical application. However, the validation of the model with a separate set of mango samples in later season needs to be further investigated. Finally, for the maturity classification of mangoes cv. Nam Dokmai, the best applicable variables of physical, mechanical, and optical properties were SG, stiffness coefficient, and diffuse reflectance at 670 nm, respectively.

Acknowledgements

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 and Center of

Table 2

Cross-validated matrices showing performance of classification based on non-destructive variables into four maturity sets assigned by cluster analysis of total soluble solids, total acidity and days after fruit set.

Model	Actual group	Correctly classified mangoes (%) ($p < 0.001$)	Predicted groups			
			I	E	L	O
F ^a	I	97.0	97	3	0	0
	E	90.0	6	90	4	0
	L	78.8	0	3	63	14
	O	88.3	0	1	13	106
	Total	89.0	103	97	80	120

^a Classifying variables (as selected by stepwise method) are SG, R670, R400, R490, R440, R420, R410, R610, R580 and R520 in descending order of contribution to the first discriminant function and stiffness coefficient, size, R540 and R550 for the second discriminant function and R530 for the third discriminant function; SG: specific gravity, SP: sphericity, R410: diffuse reflectance at 410 nm, I: immature mangoes, E: early-mature mangoes, L: late-mature mangoes, O: over-mature mangoes.

Excellence on Food Agricultural Machinery (Kasetsart University) for their supports of this research. Finally we would like to dedicate this work to late Professor Bundit Jarimopas.

References

- Al-Haq, M.I., Sugiyama, J., 2004. Effect of degree of compression on texture. *Journal of Texture Studies* 35, 341–352.
- Boonmang, S., Chomtee, B., Kanlayasiri, K., 2006. Evaluation of artificial neural networks for pineapple grading. *Journal of Texture Studies* 37, 568–579.
- Chen, P., Chen, S., Tang, S., 1985. Instrument for testing the response of fruits to impact. *ASAE Paper* 85, 3537.
- Chen, P., Ruiz-Altisent, M., Barreiro, P., 1996. Effects of impact mass on firmness sensing of fruits. *Transaction of the ASAE* 39 (3), 1019–1023.
- Cooke, J.R., Rand, R.H., 1973. A Mathematical study of resonance of intact fruits and vegetables using a three-media elastic sphere model. *Journal of Agricultural Engineering Research* 18 (2), 141–157.
- Everitt, J.H., Richardson, A.J., Gausman, H.W., 1985. Leaf reflectance-nitrogen-chlorophyll relations in buffelgrass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 51, 463–466.
- Garcia, C., Ruiz-Altisent, M., Chen, P., 1988. Impact parameters related to bruising in selected fruit. *ASAE (Paper No. 88–6027)*.
- Jaren, C., Garcia-Pardo, E., 2002. Using non-destructive impact testing for sorting fruits. *Journal of Food Engineering* 53, 89–95.
- Jarimopas, B., Kithawee, U., 2007. Firmness properties of mango. *International Journal of Food Property* 10 (4), 899–909.
- Jha, S.N., Kingsly, A.R.P., Chopra, S., 2006a. Non-destructive determination of firmness and yellowness of mango during growth and storage using visual spectroscopy. *Biosystems Engineering* 94 (3), 397–402.
- Jha, S.N., Kingsly, A.R.P., Chopra, S., 2006b. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. *Journal of Food Engineering* 73, 76.
- Jha, S.N., Chopra, S., Kingsly, A.R.P., 2007. Modeling of color values for non-destructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering* 22, 26.
- Kasantikul, D., Ketsa, S., Kosiyachinda, S., 1984. Harvesting indices of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Nam Dokmai. *Kasetsart University Journal (Natural Science)* 18, 55–60 (in Thai with English abstract).
- Kramer, A., Smith, H.R., 1947. Electrophotometric methods for measuring ripeness and color of canned peaches and apricots. *Food Technology* 1, 527–539.
- Lien, C.C., Ay, C., Ting, C.H., 2009. Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. *Journal of Food Engineering* 91, 402–407.
- Merzlyak, M.N., Solovchenko, A.E., Gitelson, A.A., 2003. Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 27, 88–103.
- Mizrach, A., Flitsanov, U., Fuchs, Y., 1997. An ultrasonic non-destructive method for measuring maturity of mango fruit. *Transactions of the ASAE* 40, 1107–1111.
- Mohsenin, N.N., 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Narayana, C.K., Pal, R.K., Roy, S.K., 1999. Specific gravity and its influence on maturity of mango cv. Baneshan. *Journal of Applied Horticulture* 1 (1), 41–43.
- Peacock, B.C., Murray, C., Kosiyachinda, S., Kasittrakul, M., Tansiriyakul, S., 1986. Influence of harvest maturity of mangoes on storage potential and ripe fruit quality. *ASEAN Food Journal* 2, 99–103.
- Ragni, L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., 2010. Impact device for measuring the flesh firmness of kiwi fruits. *Journal of Food Engineering* 96, 591–597.
- Subramanyam, H., Gouri, S., Krishnamurthy, S., 1976. Ripening behaviour of mango fruits graded on specific gravity basis. *Journal of Food Science and Technology* 13, 84–86.
- 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.
- Tandon, D.K., Kalra, S.K., 1983. Studies on maturity of developing mango fruit cv. Dashehari. *Plant Physiology Biochemistry* 10, 113.
- Tandon, D.K., Kalra, S.K., 1986. Studies on developing mango fruits to assess maturity. *Indian Journal of Horticulture* 43, 51.
- Tandon, D.K., Kalra, S.K., Singh, B.P., 1988. Ripening pattern of specific gravity graded Dashehari mangoes. *Indian Journal of Horticulture* 45 (3), 219.
- Zude, M., 2003. Comparison of indices and multivariate models to non-destructively predict the fruit chlorophyll by means of visible spectrometry in apple fruit. *Analytica Chimica Acta* 481, 119–126.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายผดุงศักดิ์ วานิชชัง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	3 กุมภาพันธ์ 2498
สถานที่เกิด	ร้อยเอ็ด
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วท.ม. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-