รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Image Analysis และ Texture Analysis Technique

Study of Physical Properties to Predict the Maturity of Pomelo Using Image Analysis and Texture Analysis Technique

คณะผู้วิจัย

1. ทรงธรรม ไชยพงษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160

2. อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล

ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2550

RCH
QK
495
.R98
ท1374

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 79650
วัน,เดือน,ปี 10 เม.ย. 2551

b.11907974
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่กรุณาสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยแก่โครงการ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะศึกษาให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพโดยมุ่งเน้นที่คุณสมบัติที่มองเห็นได้ภายนอกของส้มโอ และคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสโดยมุ่งเน้นที่คุณสมบัติการรับแรงกดของเปลือกส้มโอ เพื่อสร้าง Algorithm เพื่อใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test)

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้ Image Analysis Technique พบว่าความถ่วงจำเพาะและจำนวนต่อมน้ำมันบนผิวของผลส้มโอแปรผกผันกับอายุการเก็บเกี่ยว แต่ขนาดต่อมน้ำมันที่ผิวของผลส้มโอแปรผันตรงกับอายุการเก็บเกี่ยว และจากการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้ Texture Analysis Technique พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดแปรผันตรงกับอายุการเก็บเกี่ยว แต่ปริมาณกรดทั้งหมดและความแน่นเนื้อแปรผกผันกับอายุการเก็บเกี่ยว เมื่อใช้การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) วิธี Original และ Cross-Validated สามารถทำนายดัชนีความสุกแก่ของส้มโอได้ถูกต้อง 96.0 % และ 89.3 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The Aim of this research was to study the physical properties and texture properties of pomelo, specially the outside observe properties and compressive resistance, to create the algorithm of relationship between physical properties and maturity index to predict the maturity of pomelo for Apply to non-destructive test.

The physical properties from image analysis technique, results showed that specific gravity and number of oil gland reveres variation to pomelo harvesting age, but size of oil gland direct variation to pomelo harvesting age. The physical properties from texture analysis technique, result showed that total soluble solid and ratio of total soluble solid and titration acidity direct variation to pomelo harvesting age, but titration acidity and firmness reverse variation to pomelo harvesting age. When using discriminant analysis, for original and cross-validated, the accuracy percentage to predict pomelo maturity was 96.0 % and 89.3 % respectively

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	(4)
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจเอกสาร	3
ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	8
อุปกรณ์และวิธีการ	9
อุปกรณ์	9
1. อุปกรณ์ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Image Analysis Technique	9
2. อุปกรณ์ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Texture Analysis Technique	11
3. อุปกรณ์สร้าง Algorithm เพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติภายนอกกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ	11
วิธีการ	13
1. วิธีการการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Image Analysis Technique	13
2. วิธีการการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Texture Analysis Technique	13
3. วิธีการสร้าง Algorithm เพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติภายนอกกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ	14
4. ส้มโอพันธ์ขาวน้ำผึ้งอายุเก็บเกี่ยว 150, 165, 180, 195 และ 210 วัน หลังจากดอกบาน	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลและวิจารณ์	15
1. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Image Analysis Technique	15
2. ผลทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Texture Analysis Technique	19
3. ผลการสร้าง Algorithm เพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติภายนอกกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ	22
สรุป	26
บรรณานุกรม	28
ภาคผนวก	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความแน่นเนื้อผลไม้ต่างๆ	8
2	คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง	17
3	คุณสมบัติทางกายภาพที่วัดโดยใช้ Image Analysis Technique	17
4	คุณสมบัติทางกายภาพที่วัดโดยใช้ Texture Analysis Technique	20
5	Classification Function Coefficients	23
6	Classification Results[b,c]	25

ตารางผนวกที่		
1	คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้กับอายุของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและขาวทองดี	5
2	ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้อายุต่างๆ	8
3	เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ยี่ห้อ Lloyd รุ่น TA Plus	10
4	หัวกด Plunger ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm	10
5	Outside Caliper	11
6	ชุดเครื่องมือไตเตรท (ก) บิวเรต (Burets) และขาตั้ง (Stand) (ข) ปิเปต (Pipets)	12
7	ผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง	12
8	น้ำส้มโอคั้นที่กรองได้จากเครื่องปั่นน้ำผลไม้	15
9	สารละลายน้ำส้มโอปริมาณ 20 ml ในขวดรูปชมพู่ก่อนทำการไตเตรต	15
10	สารละลายน้ำส้มโอปริมาณ 20 ml ในขวดรูปชมพู่หลังทำการไตเตรต	16
11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับความถ่วงจำเพาะ	17
12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับขนาดของต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอ	18
13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับจำนวนต่อมน้ำมันที่ผิวส้มโอ	18
14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของต่อมน้ำมันกับจำนวนต่อมน้ำมันที่ผิวส้มโอ	19
15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำส้มโอ	20
16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับปริมาณกรดในน้ำส้มโอ	21
17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดในน้ำส้มโอ	21
18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับความแน่นเนื้อ	22
19	Canonical Discriminant Functions	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ส้มโอเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติดีและเป็นที่นิยมของคนทั่วไป นอกจากนี้ยังส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศมีทั้งตลาดเก่า ได้แก่ ฮ่องกง จีน และประเทศแถบยุโรป ส่วนตลาดใหม่ ได้แก่ ประเทศแคนาดา สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สิงคโปร์ ตะวันออกกลาง และเอเชียใต้ ซึ่งสามารถนำเงินเข้าประเทศได้ปีละหลายสิบล้านบาท โดยในปี พ.ศ. 2547 ส้มโอมีปริมาณการส่งออก 7,313 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกถึง 102 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์) จนทำให้มีการขยายพื้นที่ปลูกส้มโอมากขึ้นทุกปี รวมถึงพื้นที่ของจังหวัดชุมพร ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญของประเทศ

ส้มโอเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการส่งออกของประเทศ เนื่องจากมีรสชาติอร่อย มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเป็นที่ต้องการของตลาดในและต่างประเทศ นอกจากนั้นส้มโอมีผิวเปลือกหนาทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ทนทานต่อการกระทบกระเทือนระหว่างขนส่งทางไกลได้ดี อีกทั้งการเก็บรักษาแบบธรรมดาที่ระยะเวลาไม่นานจนเกินไปก็ไม่ทำให้คุณภาพในด้านรสชาติเสียไป แต่ในทางตรงกันข้ามส้มโอจะให้รสชาติที่ดีขึ้น กล่าวคือส้มโอยิ่งสุกจะยิ่งมีรสหวานเหมาะแก่การรับประทานนั่นเอง ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวส้มโอจึงเป็นพืชที่เหมาะสมที่จะเร่งทำการวิจัยและพัฒนาเพื่อการส่งออก ซึ่งตรงกับเป้าประสงค์เชิงยุทธศาสตร์ ในการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรตามแผนการบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2548 – 2551 ตามความเห็นชอบของคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2548 เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของสินค้าเกษตรเพื่อให้มีมาตรฐานคุณภาพ และศักยภาพทางการตลาดสูง รวมถึงมีโอกาสในการเพิ่มมูลค่าอีกด้วย ทั้งยังตรงกับยุทธศาสตร์เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของประเทศ ประเด็นการวิจัยแบบบูรณาการตามยุทธศาสตร์ชาติประจำปี พ.ศ. 2549 ในด้านการศึกษาเพื่อสร้างนวัตกรรม และองค์ความรู้ใหม่ และนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนและเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมหลักได้ ในการพัฒนาส้มโอเพื่อการส่งออกนั้นพบว่าประเทศไทยยังมีปัญหาหลายด้านที่ต้องดำเนินการวิจัยและพัฒนาในด้านวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะในเรื่องรสชาติและความหวานของส้มโอที่ส่งออกรวมถึงส้มโอในท้องตลาด ในปัจจุบันการคัดคุณภาพของส้มโอเพื่อให้ได้รสชาติและความหวานเป็นที่ถูกใจของผู้บริโภคนั้น ยังคงใช้การคาดคะเนจากการพิจารณาลักษณะภายนอกของส้มโอ เช่น พิจารณาจากสีของส้มโอ หรือต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกของส้มโอ โดยผู้มีประสบการณ์และความชำนาญ ซึ่งจากวิธีการดังกล่าวนั้น จะพบว่ามีบ่อยครั้งที่ผู้บริโภคเกิดความผิดหวังกับรสชาติของส้มโอเนื่องจากมีรสเปรี้ยว ขม ยังไม่สุกหรือไม่หวานนั่นเอง ซึ่งบ่งชี้ว่าวิธีการคัดคุณภาพจากการคาดคะเนนั้นไม่ได้มาตรฐานและไม่สามารถตอบปัญหาเรื่องรสชาติที่ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้บริโภคเกิดความพอใจได้ การศึกษาในเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อทำนายรสชาติและความหวานของส้มโอนี้ จึงเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาในการคัดคุณภาพรสชาติของส้มโอทั้งที่วางขายในท้องตลาดและเพื่อการส่งออกได้ ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ในการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เป็นสถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ มีหน้าที่ในการจัดการเรียนการสอน การวิจัย การบริการวิชาการสู่สังคมโดยมุ่งเน้นทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และได้มีสวนส้มโอ ซึ่งเป็นสวนทดลองของสาขาวิชาพืชสวน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา รวมทั้งยังเป็นการสร้างโอกาสและสร้างงานในชุมชน เป็นการกระจายรายได้สู่ชาวบ้าน และเสริมสร้างเศรษฐกิจชุมชนอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

โครงการย่อยที่ 1 : การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Image Analysis Technique

เพื่อศึกษาให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพโดยมุ่งเน้นที่คุณสมบัติที่มองเห็นได้ภายนอกของส้มโอ และหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพนั้นกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ โดยใช้วิธี Image Analysis ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test)

โครงการย่อยที่ 2 : การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Texture Analysis Technique

เพื่อศึกษาให้ทราบถึงคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสโดยมุ่งเน้นที่คุณสมบัติการรับแรงกดของเปลือกส้มโอ และหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสนั้นกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test)

โครงการย่อยที่ 3 : การสร้าง Algorithm เพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติภายนอกกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อสร้าง Algorithm เพื่อใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพภายนอกกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test)

ตรวจเอกสาร

ส้มโอเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีมูลค่าการส่งออกไปยังต่างประเทศได้ปีละหลายสิบล้านบาท โดยในปี พ.ศ. 2547 ส้มโอมีปริมาณการส่งออก 7,313 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกถึง 102 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

ลักษณะทั่วไปของส้มโอ

ส้มโอ หรือ Pomelo (*Citrus maxima Merr.*) มีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง พุ่มสูง 5-8 เมตร แตกกิ่งก้านสาขาที่เรือนยอดของต้น ลำต้นมีสีน้ำตาลและมีหนามเล็ก ๆ ใบเป็นใบประกอบมีใบย่อย 1 ใบ แผ่นใบเหมือนมะกรูดใบ มี 2 ส่วน ส่วนบนรูปกลมปลายเว้า ส่วนล่างเป็นก้านใบที่ขยายแผ่ออกมีขนาดเล็กกว่าส่วนแรก ดอก ออกเป็นช่อสั้นหรือดอกเดี่ยวตามบริเวณง่ามใบดอกสีขาวอมเขียวมี 5 กลีบ กลางดอกมีเกสร 20 - 25 อัน มีกลิ่นหอมสดชื่น ผลส้มโอที่ใช้ในการศึกษาเป็นส้มโอพันธุ์ขาวทองดี เนื่องจากเป็นหนึ่งในหกของส้มโอพันธุ์ค้าหลักในประเทศและต่างประเทศมีรสชาติเป็นที่นิยมของตลาดส่วนใหญ่และสามารถหาได้ง่ายในจังหวัดชุมพร มีลักษณะกลมแป้นหมายถึงทรงกลมคล้ายลูกฟุตบอลแต่ส่วนขั้วและก้นยุบลงทำให้ป่องตรงกลางคล้าย ๆ กับใช้มือกดลูกโป่งด้านบนและด้านล่างให้ตรงกลางป่อง ต้นขั้วผลมีจีบเล็กน้อย ก้นผลเรียบถึงเว้าเล็กน้อย ผิวภายนอกของเปลือกส้มโอค่อนข้างเรียบ ต่อมน้ำมันละเอียดอยู่ชิดกัน เปลือกค่อนข้างบาง ด้านในของเปลือกมีสีชมพูเรื่อ ๆ ผลหนึ่งมีกลีบผลประมาณ 14-16 กลีบ ผนังกลีบมีสีชมพูอ่อน กุ้งมีสีชมพูเบียดกันแน่น นิ่มฉ่ำน้ำ รสหวานอมเปรี้ยว เมล็ดมีขนาดเล็ก (วรรณวาท, 2545)

การประมาณความสุกแก่ (Maturity) ของส้มโอ

จากอดีตจนถึงปัจจุบันวิธีการตรวจวัดความสุกแก่ของผลส้มโอสามารถจำแนกได้ดังนี้

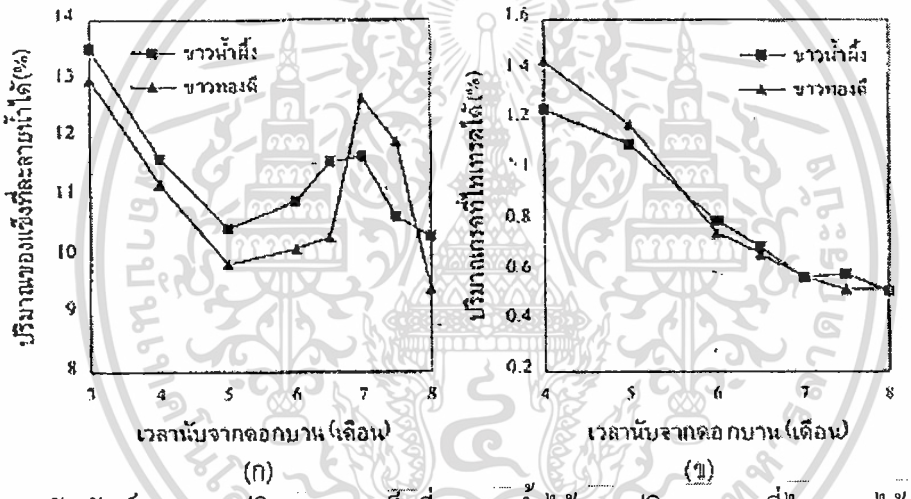
1. การนับอายุของผล โดยเริ่มนับตั้งแต่หลังวันดอกบานจนกระทั่งผลแก่ ซึ่งการนับอายุผลในกรณีที่มีจำนวนมากจะกระทำได้ไม่สะดวกและอาจสับสนได้ (มงคล, 2536; วิเศษ, 2540)

2. การพิจารณาจากลักษณะผิวของเปลือก เมื่อส้มโอแก่สีผิวของเปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวอ่อนหรือสีเหลือง ผิวผลมีเนื้อนวล ต่อมน้ำมันรอบจุดสีน้ำตาลที่บริเวณก้นผลจะห่าง สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อพื้นที่ของส้มโอแต่ละพันธุ์ พบว่า ส้มโอพันธุ์ขาวทองดีมีจำนวนต่อมน้ำมันต่อพื้นที่มากที่สุด (237.07 oil glands/cm^2)

จริงแท้ (2542) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด และของแข็งที่ละลายน้ำได้กับอายุผลของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง และพันธุ์ขาวทองดี จากการทดลองพบว่าปริมาณกรดมีแนวโน้มลดลง ส่วนของแข็งที่ละลายน้ำได้มีลักษณะลดลงในช่วง 3-5 เดือนแรกนับจากดอกบาน แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งอายุ 7 เดือนนับจากดอกบาน หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันทั้งสองพันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยงานวิจัยนี้ เข้าข่ายการวัดความสุกแก่ของส้มโอตามวิธีมาตรฐาน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของ (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้กับอายุของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและขาวทองดี

กรกฎ และ นพดล (2545) ได้พัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งโดยการวัดขนาดหรือความหนาแน่นของต่อมน้ำมันที่ผิวของผลส้มโอ โดยส้มโอที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน 9 อายุ (ตั้งแต่ 3.5 - 7.5 เดือน) อายุละ 9 - 21 ผล ได้ถ่ายภาพผิวจากบริเวณกลางผลจากด้านต่าง ๆ จำนวน 6 - 18 ภาพ/ผล ด้วยกล้องดิจิตอล จากนั้นประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมเพื่อคำนวณขนาดเฉลี่ยและความหนาแน่นของต่อมน้ำมัน เวลาที่ใช้ประมวลผลเฉลี่ยเป็น 0.06 วินาที/ภาพ จากการทดสอบวัยของผลส้มโอ พบว่า เมื่ออายุผลมากขึ้น ขนาดและความหนาแน่นเฉลี่ยของต่อมน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงแบบสมการกำลังสอง ตามลำดับ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.86 โดยขนาดของต่อมน้ำมันของผลแก่ควรมีค่ามากกว่า 0.91 mm^2 และความหนาแน่นเฉลี่ยควรมีค่าน้อยกว่า 26.47 oil glands/cm^2 ตามลำดับ โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบวัยของผลส้มโอด้วยวิธีมาตรฐาน นั่นคือ การวัดปริมาณกรด และอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด ซึ่งการทดสอบวัยของผลส้มโอด้วยวิธีมาตรฐานพบว่า ปริมาณกรด และอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นตามอายุด้วยสมการกำลังสองเช่นกันโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.96 และ 0.94 ตามลำดับ ผลการสุ่มทดสอบส้มโอแก่จำนวน 22 ผล โดยถ่ายภาพจำนวน 8 ภาพ/ผล แล้วทำการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอที่ได้ทำการพัฒนา พบว่ามีส้มโอแก่จำนวน 18 ผล คิดเป็น 81.82 %

<u>การวิเคราะห์ความสุกแก่ของส้มโอด้วยวิธีมาตรฐาน</u>

การวิเคราะห์ความสุกแก่ด้วยวิธีมาตรฐานทำได้โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการอันได้แก่ การวัดความหวานหรือวัดปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง Refractometer ซึ่งจะได้ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) โดยมีหน่วยเป็น บริกซ์ (Brix) และวัดปริมาณกรดซิตริก ด้วยวิธีไตเตรท ซึ่งจะได้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) ตามวิธีของ AOAC (1990)

1. การวัดปริมาณน้ำตาลในน้ำส้มโอ
    1.1 นำเครื่อง Refractometer มาปรับเทียบให้สามารถอ่านค่าได้ถูกต้องโดยหยดน้ำกลั่น 1 หยด แล้วนำมาส่องกับแสงไฟ ปรับเทียบค่าให้เท่ากับ 0
    1.2 นำเนื้อส้มโอมาคั้นน้ำแล้วหยดน้ำคั้น 1 หยด ลงบน Refractometer
    1.3 นำเครื่อง Refractometer มาส่องกับแสงไฟ อ่านค่าที่ได้และบันทึกผล
    1.4 ทำความสะอาดบริเวณที่หยดสาร
    1.5 ทำซ้ำ 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย
2. การวัดปริมาณกรดในน้ำส้มโอ
    2.1 นำเนื้อส้มโอปริมาณ 20 g. แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 80 g.
    2.2 นำตัวอย่างปั่นให้ละเอียดแล้วกรองให้เหลือแต่น้ำส้มโอ
    2.3 นำตัวอย่าง 60 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ขวด ขวดละ 20 มิลลิลิตร
    2.4 หยด ฟีนอฟทาลีน ความเข้มข้น 1% จำนวน 2 หยด
    2.5 ทำการไตเตรทด้วยสารละลาย NaOH ที่รู้ค่าความเข้มข้นแน่นอน โดยหยดสารละลาย NaOH จนถึงจุดสิ้นสุด (End Point) คือจุดที่สีของน้ำส้มโอเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน
    2.6 จดปริมาณสาร NaOH ที่ใช้เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณกรดในน้ำส้มโอจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$TA = \frac{V \times N}{P}$$

โดยที่ TA คือปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (g/ml)

V คือปริมาณของ NaOH (ml)

N คือความเข้มข้นของ NaOH

P คือปริมาณน้ำคั้นที่ใช้ในการทดลอง (ml)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Harker *et al.* (1996) กล่าวว่าความแน่นเนื้อของผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญอย่างมากในการจัดการซื้อขายของผักและผลไม้ Chen *et al.* (1996) กล่าวว่าความแน่นเนื้อเป็นลักษณะทางกายภาพอย่างหนึ่งซึ่งบ่อยครั้งจะถูกใช้ประเมินคุณภาพของผักผลไม้ ในผลิตภัณฑ์การเกษตรหลายอย่างความแน่นเนื้อสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของการเจริญเติบโตทั่ว ๆ ไป ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลงทีละน้อยเมื่อมันโตเต็มที่มากขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมันสุก ผลไม้ที่เสียหายหรือสุกเกินไปจะนิ่ม ดังนั้นความแน่นเนื้อสามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับคัดเลือกผลิตภัณฑ์เกษตรออกเป็นกลุ่มความเติบโตสมบูรณ์ต่าง ๆ ได้ หรือแยกสุกเกินไปและพวกเสียหายจากพวกดีได้เช่นการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีความแน่นเนื้อผล 12.30-9.60 ปอนด์จาก 96–111 วัน (ภาพที่ 2) (ดวงตรา และคณะ, 2527)

Reyes *et al.* (1996) ได้ศึกษาแยกมะละกอออกเป็น 5 ระดับ ตามระดับสีผิวจากเขียวถึงสีเหลืองสามในสี่ส่วน ซึ่งมีความแน่นเนื้อลดลงจาก 129–16.5 นิวตัน Delwiche (1996) ได้ทำการแบ่งความแน่นเนื้อของ Bartlett pear ออกเป็น 3 ช่วงคือนิ่มความแน่นเนื้อน้อยกว่า 44 นิวตัน แน่นความแน่นเนื้ออยู่ระหว่าง 44 นิวตันถึงน้อยกว่า 70 นิวตัน แข็งความแน่นเนื้อมากกว่าหรือเท่ากับ 70 นิวตัน Zhang (1994) ระบุว่าเมื่อเก็บผลพีชไว้ที่ 23 องศาเซลเซียลเป็นเวลา 0, 1 และ 2 วันความแน่นเนื้อของลูกพีชพันธุ์ Ruston Red มีค่า 100.1, 79.6 และ 48.9 นิวตัน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis มาใช้ในการพิจารณาลักษณะภายนอกดังกล่าว เพื่อสร้างเกณฑ์ในการพิจารณาความสุกแก่ของส้มโอให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน

วิธีการวิเคราะห์ด้วยภาพ (Image Analysis) เป็นวิธีการใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลจากภาพถ่ายโดยใช้ข้อมูลจากลักษณะที่เราพิจารณาซึ่งต้องอาศัยฐานข้อมูลเพื่อเป็นมาตรฐานในการประมวลผล ดังนั้นการที่จะทำนายความสุกแก่ของส้มโอด้วยวิธีดังกล่าวจึงต้องศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพโดยมุ่งเน้นที่ลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้กับความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Regression จากข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพภายนอกของส้มโอเพื่อหา Algorithm แทนความสัมพันธ์ดังกล่าว

ส่วนวิธีการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสออกมาเป็นตัวเลขเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเนื้อสัมผัสกับความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Regression จากข้อมูลคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสภายนอกของส้มโอเพื่อหา Algorithm แทนความสัมพันธ์ดังกล่าวเช่นกัน

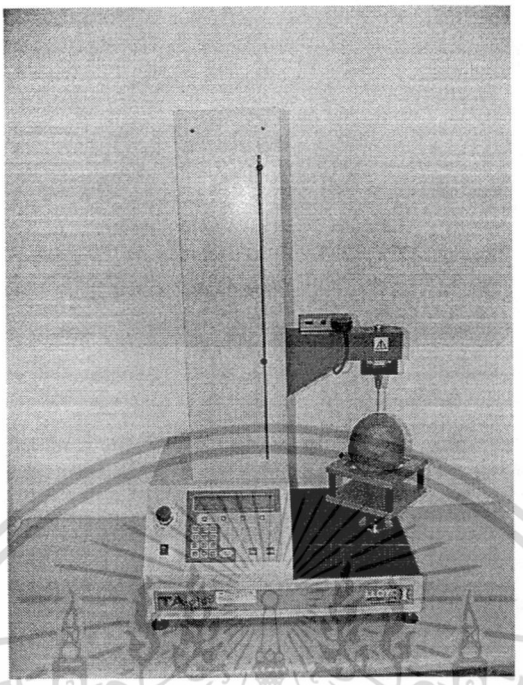
ทั้งนี้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ Algorithm แทนความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้น สามารถวิเคราะห์ได้โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของ Algorithm กับผลการทดสอบความสุกแก่ของผลส้มโอด้วยวิธีมาตรฐาน โดยที่การวิเคราะห์ความสุกแก่ของส้มโอด้วยวิธีมาตรฐานนั้นทำได้โดยการวัดปริมาณกรด และอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดความสุกแก่ของส้มโอ

อุปกรณ์และวิธีการ

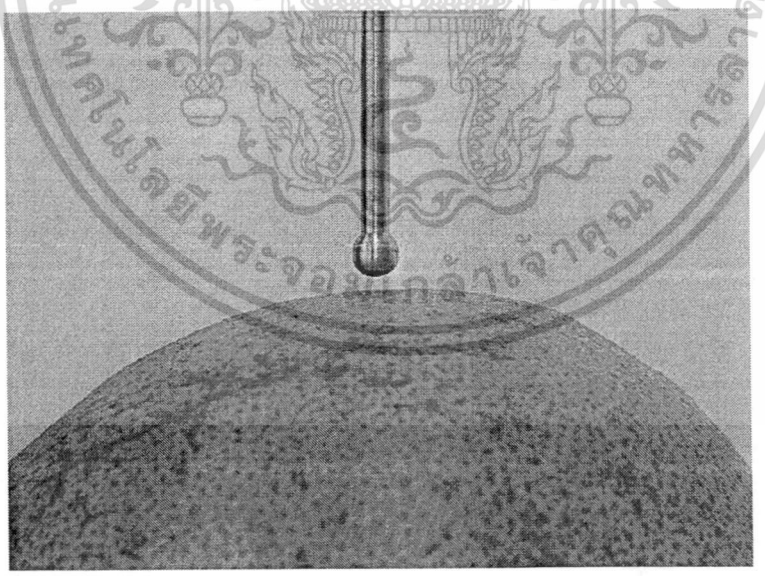
อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Image Analysis Technique
   - 1.1 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ยี่ห้อ Lloyd รุ่นTA Plus
   - 1.2 หัวกด Plunger ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm
   - 1.3 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล ยี่ห้อ Panasonic รุ่น DMC-FZ10
   - 1.4 ไม้บรรทัด
   - 1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลข ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น BX 5000
   - 1.6 Outside Caliper
   - 1.7 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ยี่ห้อ Philip รุ่น CUCINA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

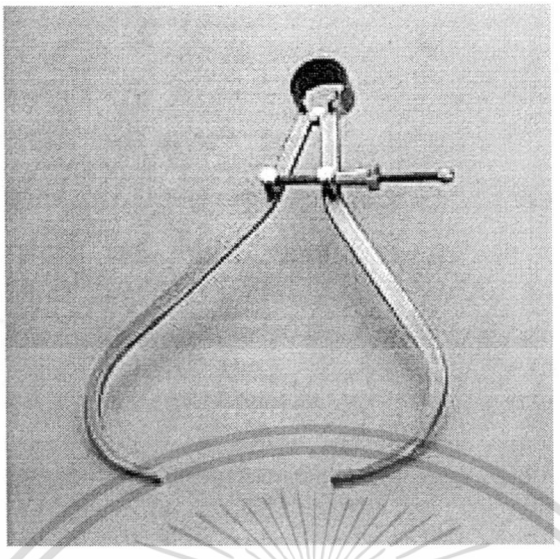


ภาพที่ 3 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ยี่ห้อ Lloyd รุ่นTA Plus



ภาพที่ 4 หัวกด Plunger ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 Outside Caliper

2. อุปกรณ์ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Texture Analysis Technique

2.1 ขวดรูปชมพู่ขนาด 25 ml

2.2 บีกเกอร์ขนาด 200 ml

2.3 น้ำกลั่น

2.4 หลอดหยด

2.5 ปิเปต (Pipets)

2.6 ชุดเครื่องมือไตเตรท ประกอบด้วย บิวเรต (Burets) และขาตั้ง (Stand)

2.7 Hand Reflectometer

2.8 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N

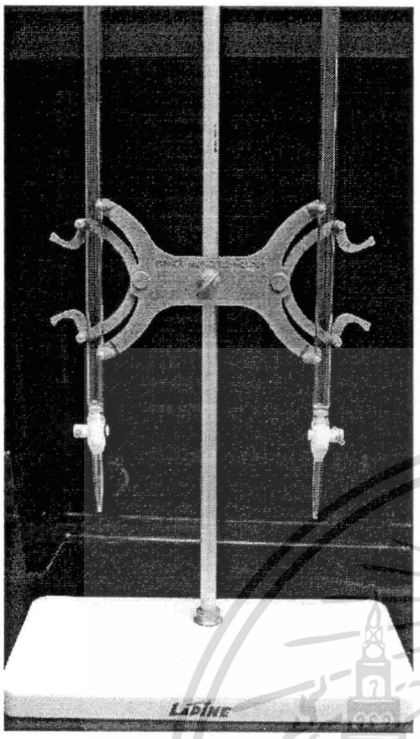
2.9 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ($C_{20}H_{14}O_4$) ความเข้มข้น 0.1 % ในแอลกอฮอล์ 95 %

3. อุปกรณ์อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสมการเพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติภายนอกกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ

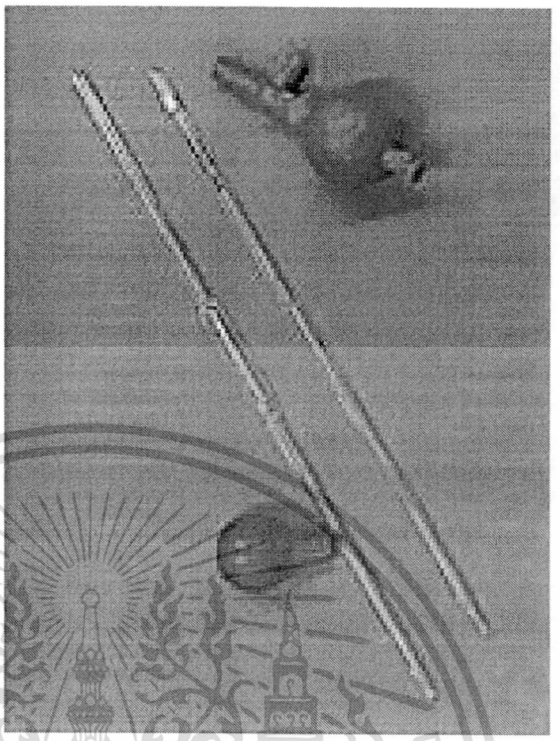
3.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

3.2 โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS 15.0 Evaluation Version

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



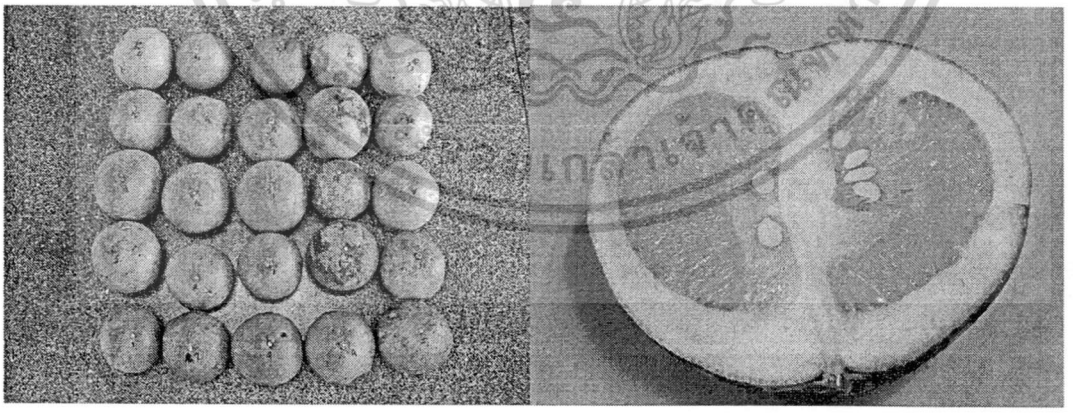
(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 ชุดเครื่องมือไตเตรท (ก) บิวเรต (Burets) และขาตั้ง (Stand) (ข) ปิเปต (Pipets)

4. ส้มโอพันธ์ขาวน้ำผึ้งอายุเก็บเกี่ยว 150, 165, 180, 195 และ 210 วัน หลังจากดอกบาน



ภาพที่ 7 ผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

1. วิธีการการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Image Analysis Technique

1.1 ติดสัญลักษณ์ที่ดอกส้มโอที่สวนเกษตรกรเพื่อนับอายุหลังดอกบาน

1.2 เก็บเกี่ยวผลส้มโออายุ 150 วันหลังจากดอกบาน

1.3 เขียนหมายเลข วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง ชั่งน้ำหนักในอากาศ และชั่งน้ำหนักในน้ำ บันทึกค่า

1.4 ถ่ายภาพผิวของผลส้มโอและไม้บรรทัด ใช้การถ่ายภาพระยะใกล้ ตั้งกล้องบนขาตั้งกล้องและวางผลส้มโอในจุดจะถ่ายที่เดิมทุกครั้ง โดยถ่ายภาพส้มโอ 3 ภาพห่างกัน 120 องศาต่อส้มโอ 1 ผล

1.5 เปิดภาพในโปรแกรมดูภาพ วัดขนาดต่อมน้ำมันเทียบกับไม้บรรทัด ตัดภาพให้มีขนาด 1 cm x 1 cm นับจำนวนต่อมน้ำมัน บันทึกค่า

1.6 ทำซ้ำข้อ 1.2 – 1.5 แต่เปลี่ยนเป็นส้มโออายุ 165, 180, 195 และ 210 วัน

2. วิธีการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Texture Analysis Technique

2.1 ติดตั้งหัวกด Plunger เข้ากับเครื่อง UTM แล้วใช้การกดแบบเกือบสถิตย์ (Quasi Static Compression) บันทึกค่าแรงกดทะลุผิวเปลือกและระยะทางที่ใช้โดยกด 3 จุดห่างกัน 120 องศาต่อส้มโอ 1 ผล ทำซ้ำ 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

2.2 ปอกเปลือกผลส้มโอ แกะเนื้อส้มโอปริมาณ 20 g. แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 80 g นำตัวอย่างปั่นให้ละเอียดแล้วกรองให้เหลือแต่น้ำส้มโอ นำตัวอย่าง 60 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ขวด ขวดละ 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอฟทาลีน ความเข้มข้น 1% จำนวน 2 หยด ทำการไตเตรทด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 N โดยหยดสารละลาย NaOH จนถึงจุดสิ้นสุด (End Point) คือจุดที่สีของน้ำส้มโอเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน จดปริมาณสาร NaOH ที่ใช้

2.3 ทำการวัดปริมาณน้ำตาลในน้ำส้มโอ โดยนำเครื่อง Refractometer มาปรับเทียบให้สามารถอ่านค่าได้ถูกต้องโดยหยดน้ำกลั่น 1 หยด แล้วนำมาส่องกับแสงไฟ ปรับเทียบค่าให้เท่ากับศูนย์ แล้วนำเนื้อส้มโอมาคั้นน้ำแล้วหยดน้ำคั้น 1 หยด ลงบน Refractometer นำเครื่อง Refractometer มาส่องกับแสงไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านค่าที่ได้และบันทึกผล ทำความสะอาดบริเวณที่หยดสาร ทำซ้ำ 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

2.4 ทำซ้ำข้อ 2.1 - 2.3 แต่เปลี่ยนเป็นส้มโออายุ 165, 180, 195 และ 210 วัน

3. วิธีการสร้าง Algorithm เพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติภายนอกกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ

3.1 เปิดโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS 15.0 Evaluation Version

3.2 ป้อนข้อมูลของอายุการเก็บเกี่ยว เช่น ถ่วงจำเพาะ เป็นต้น

3.3 ที่ Menu เลือก Analyze > Classify > Discriminant…

3.4 เลือกอายุการเก็บเกี่ยวเป็นตัวแปรตาม และให้ความถ่วงจำเพาะ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด อัตราส่วนของถ่วงจำเพาะและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความแน่นเนื้อ ขนาดต่อมน้ำมัน และปริมาณต่อมน้ำมันเป็นตัวแปรอิสระ

3.5 เลือก Use stepwise method

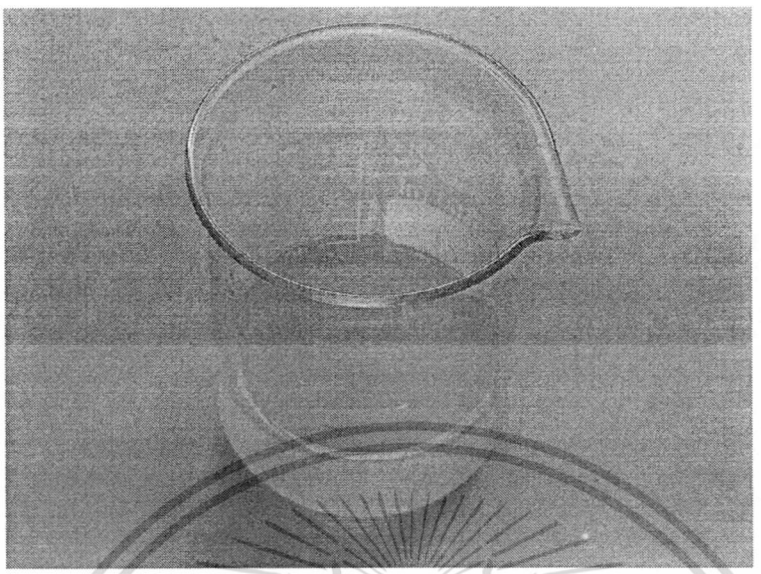
3.6 ที่ Statistic เลือก Descriptive > Means, Function Coefficient > Fisher's, Matrixes > With-in Groups Corelation

3.7 ที่ Method เลือก Method > Wilk's Lambda, Criteria > Use F Value, Display > ทุกอัน

3.8 ที่ Classify เลือก Prior Probabilities > All group, Use Covariance Matrix > With-in Groups, Display > Leave one out classification, Plots > Combined Groups

3.9 เลือก OK

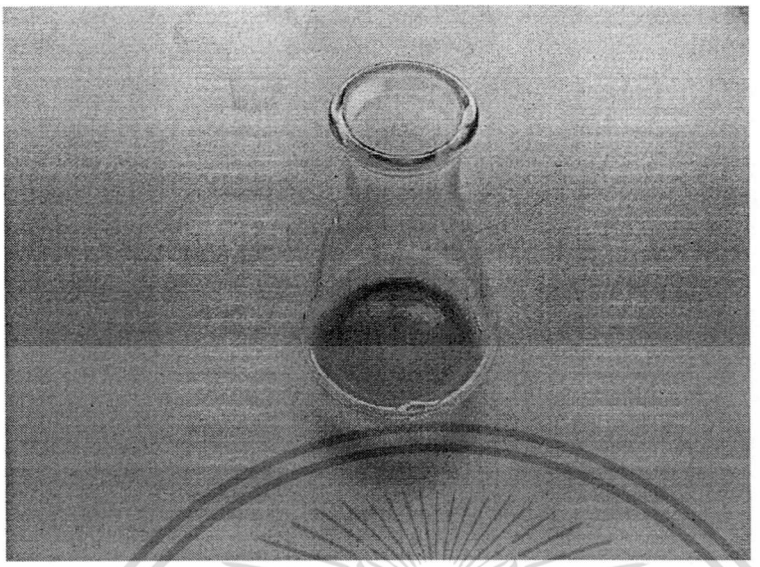
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 น้ำส้มโอคั้นที่กรองได้จากเครื่องปั่นน้ำผลไม้

ภาพที่ 9 สารละลายน้ำส้มโอปริมาณ 20 ml ในขวดรูปชมพู่ก่อนทำการไตเตรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 สารละลายน้ำส้มโอปริมาณ 20 ml ในขวดรูปชมพู่หลังทำการไตเตรต

ผลและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Image Analysis Technique

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นและคุณสมบัติทางกายภาพที่วัดโดยใช้ Image Analysis Technique ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งได้ผลดังตารางที่ 2 และ 3 พบว่าความถ่วงจำเพาะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 11 โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงคือ $y = -0.0005x + 0.8874$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (R^2) เท่ากับ 0.926 เช่นเดียวกันกับจำนวนต่อมน้ำมันบนผิวของผลส้มโอมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 13 โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงคือ $y = -31.244x + 54.763$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (R^2) เท่ากับ 0.927 แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต่อมน้ำมันที่ผิวของผลส้มโอมีแน้วโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 12 โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0026x + 0.4218$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (R^2) เท่ากับ 0.783 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของกรกฎ และ นพดล (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

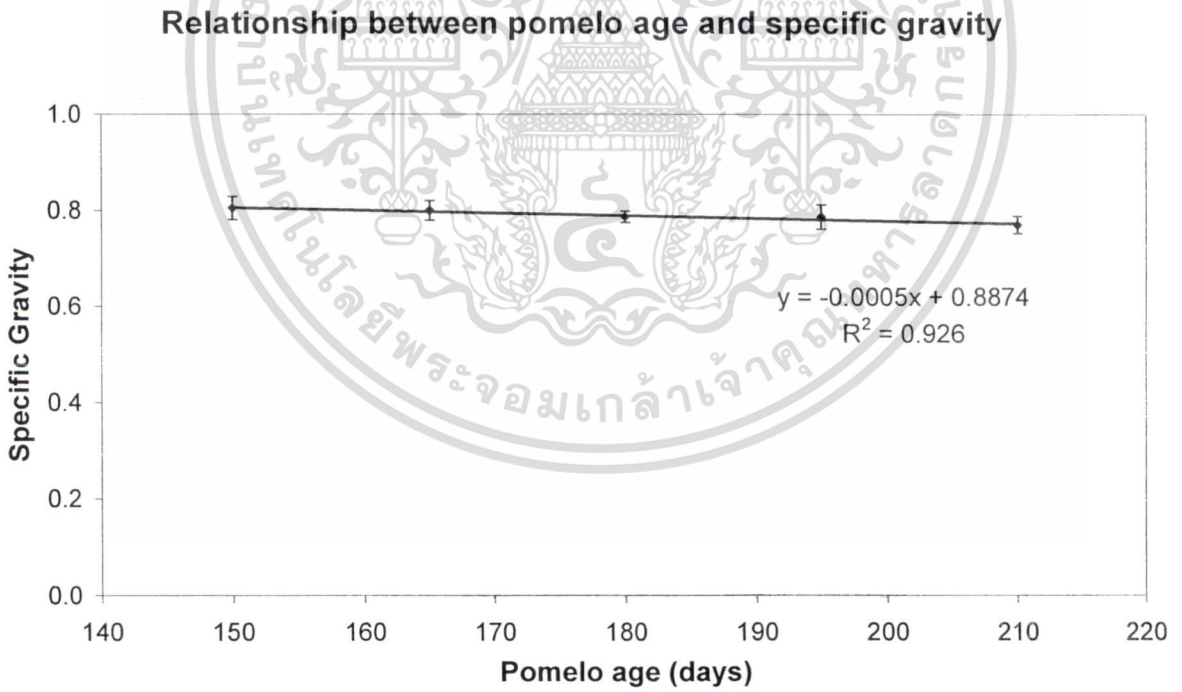
Properties	Diameter (cm)	High (cm)	Weight (g)
Mean±SD*	14.28±0.76	11.68±0.62	1,024.64±141.37

*Mean = ค่าเฉลี่ย

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

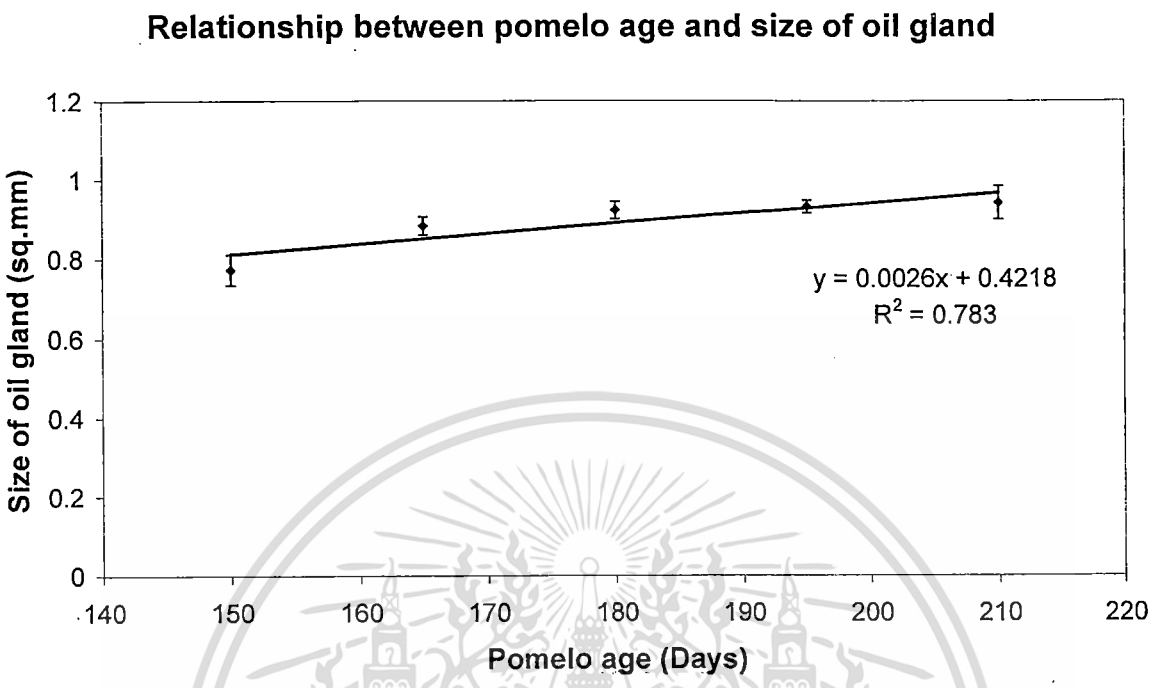
ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพที่วัดโดยใช้ Image Analysis Technique

Pomelo Age (Days)	Specific Gravity	Gland Size (sq.mm)	Number of Oil Gland
150	0.804±0.02	0.772±0.04	30.32±2.45
165	0.800±0.02	0.882±0.02	28.02±2.37
180	0.786±0.01	0.921±0.02	26.24±1.79
195	0.787±0.03	0.932±0.02	25.71±1.13
210	0.770±0.02	0.942±0.04	24.52±1.26

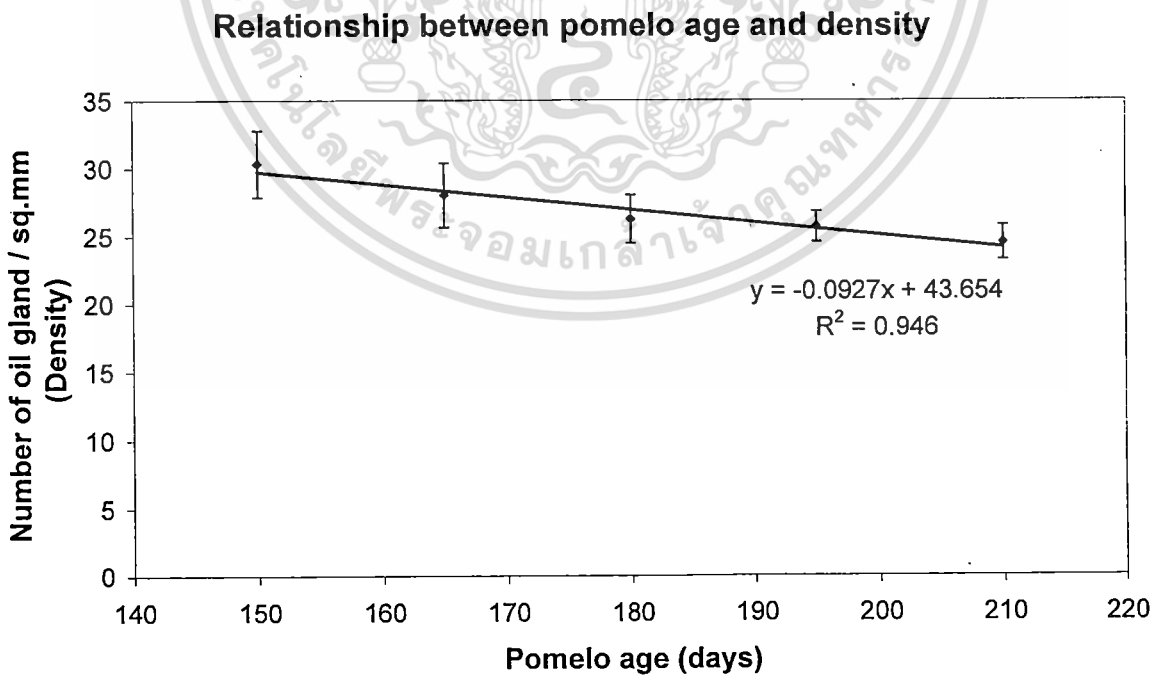


ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับความถ่วงจำเพาะ

79650
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

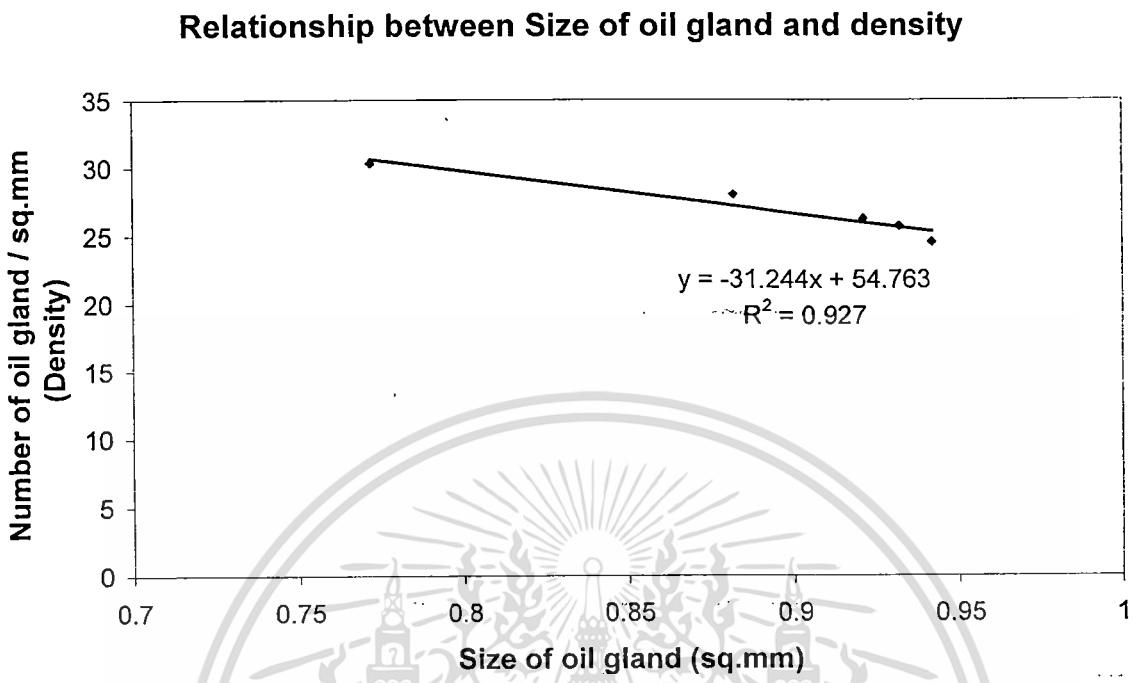


ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอ
กับขนาดของต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอ



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอ
กับจำนวนต่อมน้ำมันที่ผิวส้มโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของต่อมน้ำมันกับจำนวนต่อมน้ำมันที่ผิวส้มโอ

2. ผลการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ Texture Analysis Technique

จากการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้ Texture Analysis Technique ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 15 โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0196x + 10.027$ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (R^2) เท่ากับ 0.932 แต่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 16 โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงคือ $y = -0.0008x + 0.2527$ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (R^2) เท่ากับ 0.955 นอกจากนี้อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดมีแน้วโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 17 โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงคือ $y = 0.937x - 48.772$ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (R^2) เท่ากับ 0.982 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจริงแท้ (2542) และกรกฎ และ นพดล (2545)

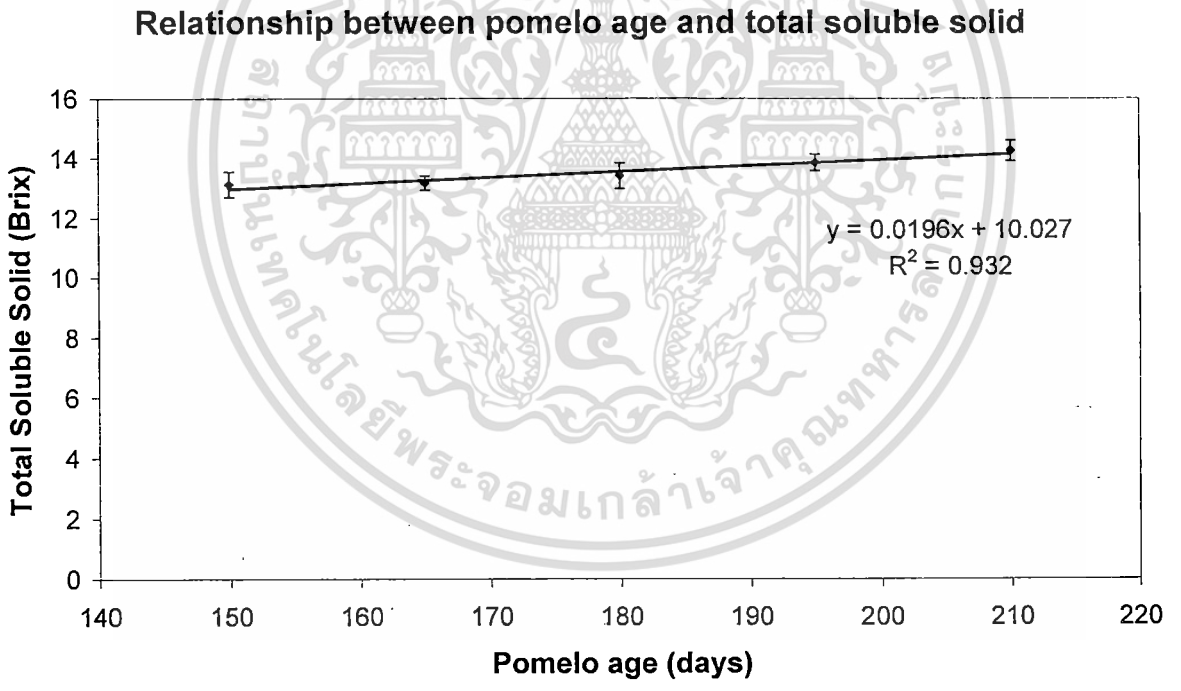
ความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 18 โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงคือ $y = -0.0065x + 9.4318$ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (R^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 0.988 สอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายคน(Harker *et al.*,1996; Chen *et al.*, 1996; ดวงตรา และคณะ, 2527; Reyes *et al.*,1996; Delwiche, 1996 และ Zhang,1994)

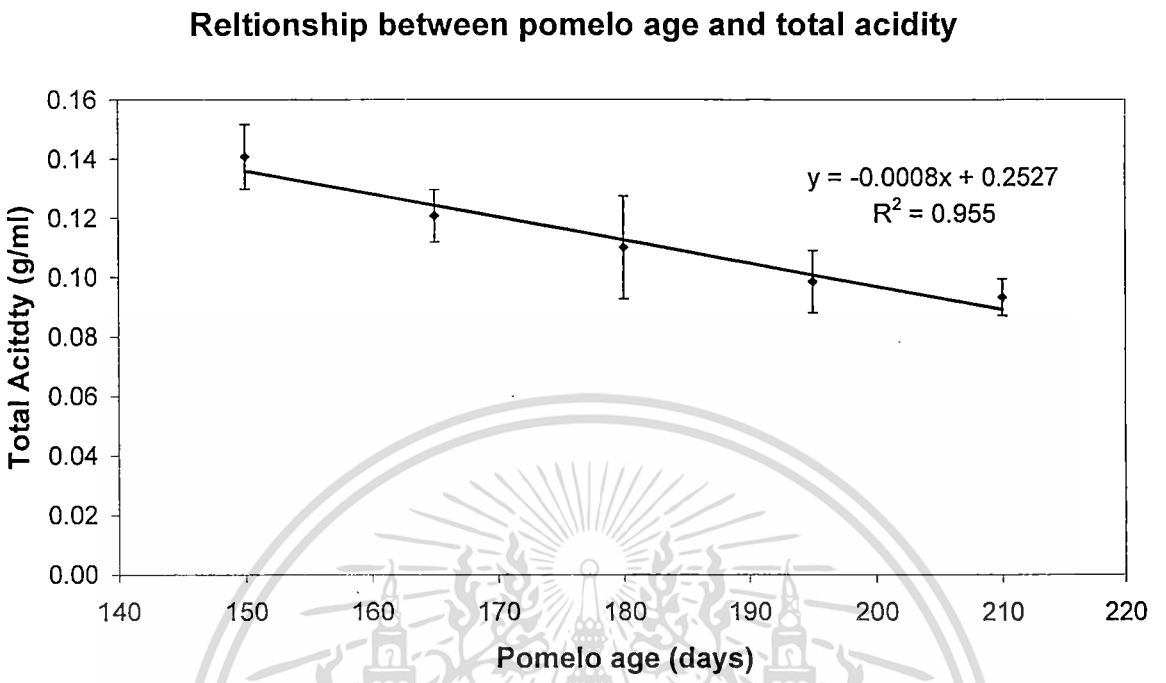
ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางกายภาพที่วัดโดยใช้ Texture Analysis Technique

Pomelo Age (Days)	Tss (Brix)	Ta (g/ml)	Tss/Ta	F/D (N/mm)
150	13.12±0.43	0.14±0.01	92.72±8.96	8.47±0.31
165	13.17±0.24	0.12±0.01	107.62±3.27	8.33±0.32
180	13.41±0.43	0.11±0.02	116.94±2.67	8.26±0.49
195	13.85±0.28	0.10±0.01	130.69±7.58	8.15±0.48
210	14.25±0.35	0.09±0.01	151.46±9.92	8.07±0.58

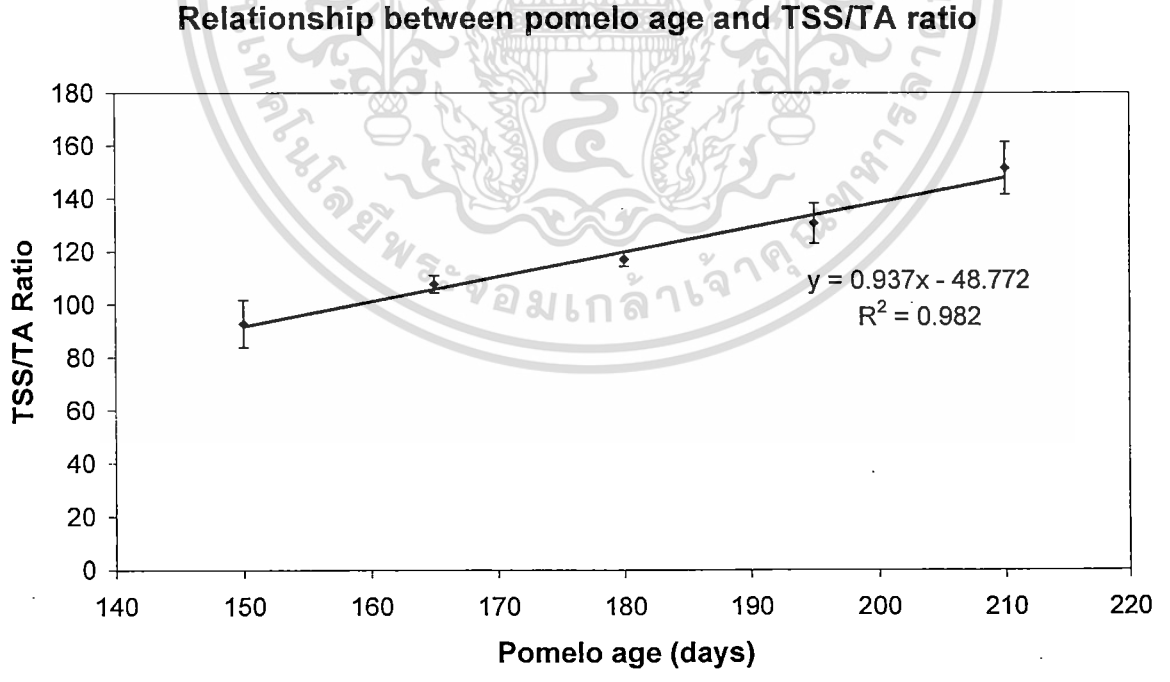


ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอ
กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำส้มโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

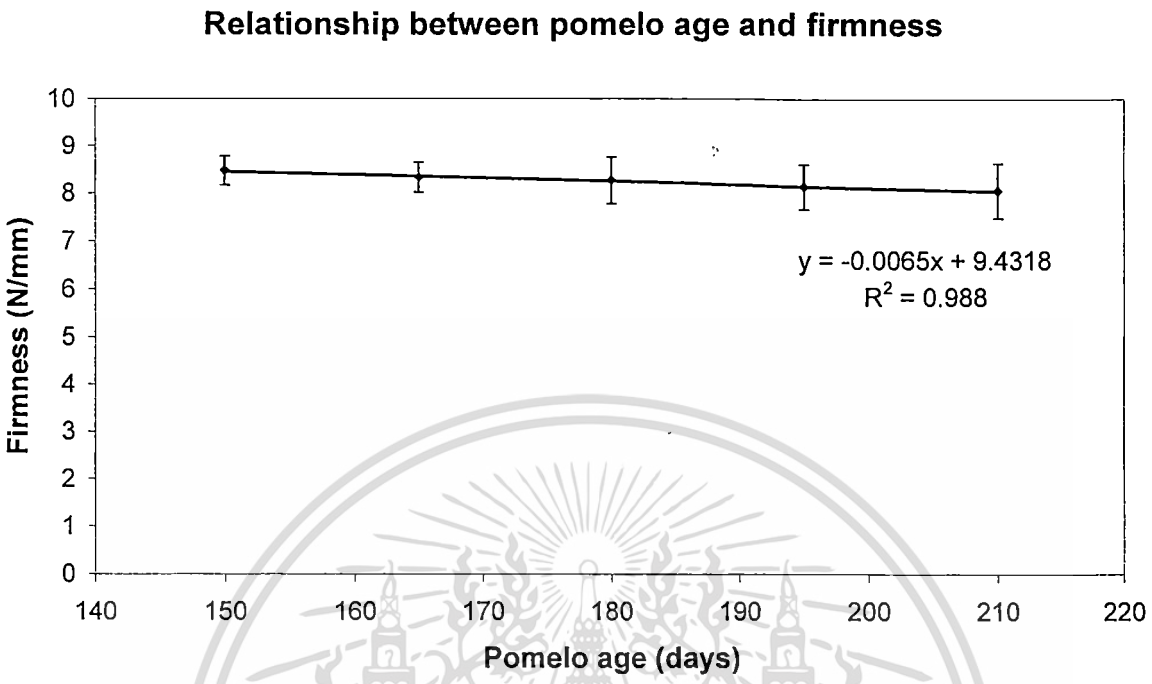


ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับปริมาณกรดในน้ำส้มโอ



ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอ
กับอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดในน้ำส้มโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอกับความแน่นเนื้อ

3. ผลการสร้าง Algorithm เพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติภายนอกกับดัชนีความสุกแก่ เพื่อทำนายความสุกแก่ของส้มโอ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 15.0 Evaluation Version ด้วยวิธี Discriminant Analysis พบว่า ตัวแปรที่มีผลกับการประมาณดัชนีความสุกแก่ของส้มโอคือ ปริมาณกรดทั้งหมด (A) อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดในน้ำส้มโอ (R) และขนาดของต่อมน้ำมัน (G) ดังแสดงในตารางที่ 4, ภาพที่ 18 และซึ่งจะได้สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุต่าง ๆ ดังนี้

3.1 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 150 วัน คือ

$$D = 1343.63A + 2.62R + 781.6G - 529.81$$

3.2 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 165 วัน คือ

$$D = 1191.08A + 2.81R + 875.66G - 607.95$$

3.3 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 180 วัน คือ

$$D = 1118.77A + 2.94R + 922.33G - 626.56$$

3.4 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 195 วัน คือ

$$D = 1071.48A + 3.18R + 983.37G - 717.06$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 210 วัน คือ

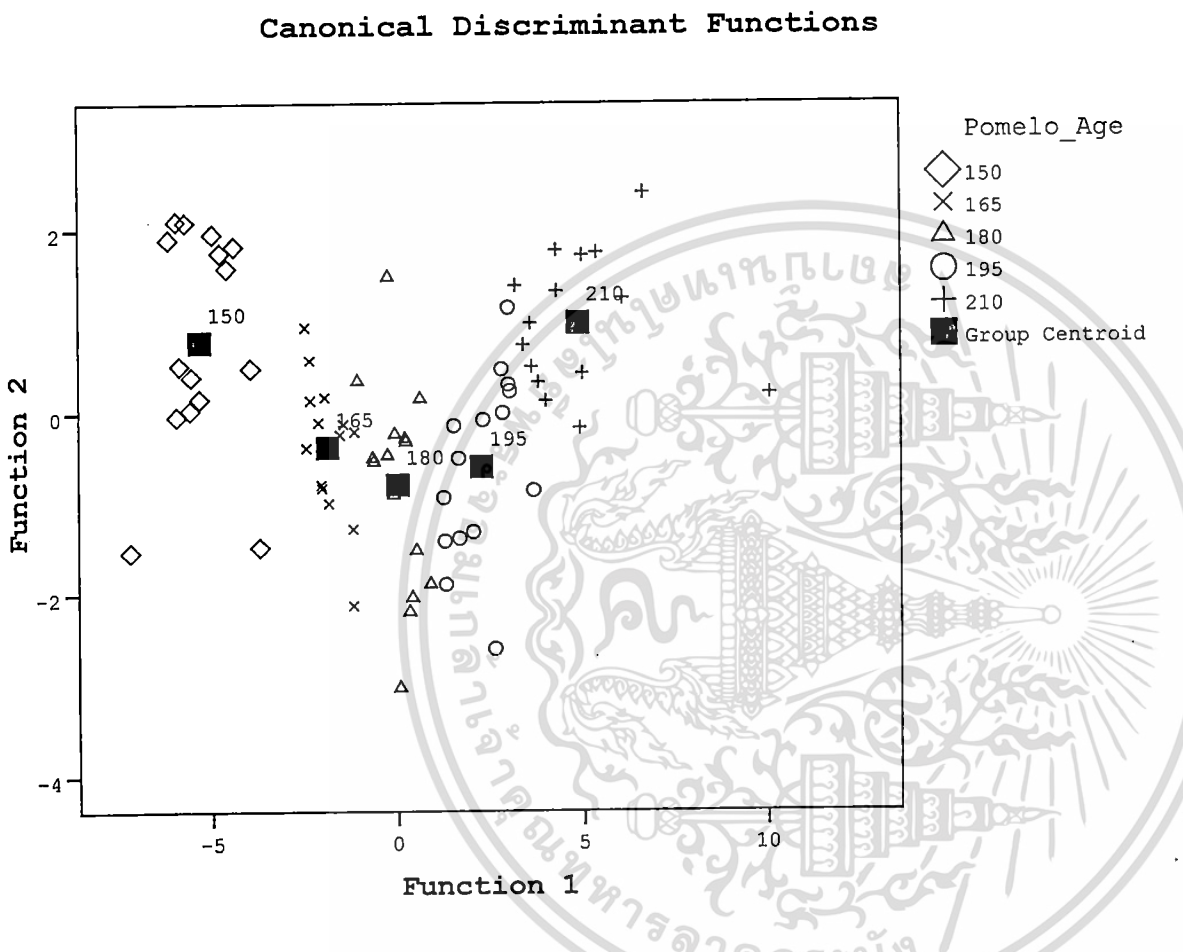
$$D = 1127.33A + 3.62R + 983.37G - 805.70$$

ตารางที่ 5 Classification Function Coefficients

	Pomelo_Age				
	150	165	180	190	210
Total Acidity (A)	1343.631	1191.075	1118.770	1071.479	1127.332
TSS/TA Ratio (R)	2.616	2.809	2.942	3.182	3.621
Oil gland size (G)	781.600	875.660	922.327	961.106	983.371
(Constant)	-529.809	-607.949	-656.248	-717.057	-805.696

Fisher's linear discriminant functions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 19 Canonical Discriminant Functions

ตารางที่ 6 Classification Results[b,c]

		Pomelo_Age	Predicted Group Membership					Total
			150.00	165.00	180.00	195.00	210.00	
Original	Count	150.00	14	1	0	0	0	15
		165.00	0	14	1	0	0	15
		180.00	0	1	14	0	0	15
		195.00	0	0	0	15	0	15
		210.00	0	0	0	0	15	15
	%	150.00	93.3	6.7	.0	.0	.0	100.0
		165.00	.0	93.3	6.7	.0	.0	100.0
		180.00	.0	6.7	93.3	.0	.0	100.0
		195.00	.0	.0	.0	100.0	.0	100.0
		210.00	.0	.0	.0	.0	100.0	100.0
Cross-validated(a)	Count	150.00	14	1	0	0	0	15
		165.00	0	13	2	0	0	15
		180.00	0	2	13	0	0	15
		195.00	0	0	2	12	1	15
		210.00	0	0	0	0	15	15
	%	150.00	93.3	6.7	.0	.0	.0	100.0
		165.00	.0	86.7	13.3	.0	.0	100.0
		180.00	.0	13.3	86.7	.0	.0	100.0
		195.00	.0	.0	13.3	80.0	6.7	100.0
		210.00	.0	.0	.0	.0	100.0	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 96.0% of original grouped cases correctly classified.
c 89.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

โดยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำแนกกลุ่มแสดงในตารางที่ 6 เมื่อทำนายดัชนีความสุกแก่ของส้มโอโดยใช้ตัวแปร 3 ตัว คือ ปริมาณกรดทั้งหมด (A) อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดในน้ำส้มโอ (R) และ ขนาดของต่อมน้ำมัน (G)

เมื่อใช้วิธี Original (หรือการทำนายตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการทำนาย) พบว่า ทำนายดัชนีความสุกแก่ของส้มโออายุ 150 และ 165 วันได้ถูกต้อง 93.3 % ส่วนส้มโออายุ 180, 195 และ 210 วันทำนายได้ถูกต้อง 100 % เฉลี่ยแล้วทำนายดัชนีความสุกแก่ได้ถูกต้อง 96.0 %

แต่ถ้าใช้วิธี Cross-Validated (หรือการทำนายตัวอย่างที่ไม่ได้นำมาสร้างสมการทำนาย) พบว่า ทำนายดัชนีความสุกแก่ของส้มโออายุ 150 วันได้ถูกต้อง 93.3 %, ทำนายดัชนีความสุกแก่ของส้มโออายุ 165 และ 180 วันได้ถูกต้อง 86.7 % ส่วนส้มโออายุ 210 วันทำนายได้ถูกต้อง 100 % เฉลี่ยแล้วทำนายดัชนีความสุกแก่ได้ถูกต้อง 89.3 %

สรุป

1. ความถ่วงจำเพาะและจำนวนต่อมน้ำมันบนผิวของผลส้มโอมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต่อมน้ำมันที่ผิวของผลส้มโอมีแน้วโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น แต่ปริมาณกรดทั้งหมดและความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น

3. สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุต่าง ๆ ดังนี้

3.1 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 150 วัน คือ

$$D = 1343.63A + 2.62R + 781.6G - 529.81$$

3.2 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 165 วัน คือ

$$D = 1191.08A + 2.81R + 875.66G - 607.95$$

3.3 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 180 วัน คือ

$$D = 1118.77A + 2.94R + 922.33G - 626.56$$

3.4 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 195 วัน คือ

$$D = 1071.48A + 3.18R + 983.37G - 717.06$$

3.5 สมการทำนายดัชนีความสุกแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุ 210 วัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = 1127.33A + 3.62R + 983.37G - 805.70$$

เมื่อใช้การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) วิธี Original และ Cross-Validated สามารถทำนายดัชนีความสุกแก่ของส้มโอได้ถูกต้อง 96.0 % และ 89.3 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรกฎ วัฒนวิเชียร และ นพดล อรุณยะเดช, 2545. การวัดความแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง. **NECTEC Technical Journal** 3(12) พฤศจิกายน - กุมภาพันธ์ 2546.

กัลปพฤกษ์ ลีละวัฒน์. 2534. **การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลส้มโอ 7 พันธุ์.** ปัญหาพิเศษปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพาณิช. 2542. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักรพันธุ์ กินร. 2542. **การศึกษาการเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของผลไม้ไทยโดยวิธี Magness Taylor Pressure Tester เปรียบเทียบกับวิธี HIT.** โครงงานวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดวงตรา กสานติกุล สายชล เกตุษา และ สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2527. ดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. **ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย.).** 18: 55-60.

พรชัย เบญจวิไลโกศล และ ลันทนา วรรณกะลัศ. 2530. **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มงคล หลิม. 2536. **การผลิตส้ม.** ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรรณวาท แก้วคำแสน. 2545. กองส่งเสริมพืชสวน กองเกษตรสัมพันธ์.

วิเศษ อัครวิทยากุล. 2540. **การปลูกส้มโอ.** โครงการหนังสือเกษตรชุมชน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. **ปริมาณและมูลค่าสินค้าขาออกเกษตรกรรม**. URL: http://www.oae.go.th/statistic/export/QVExp.xls

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. **Official Method of Analysis**. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia, USA.

Chen, P., M. Ruiz-Altisent, and P. Barreiro. 1996. Effects of impaction mass on firmness sensing of fruits. **Transactions of the ASAE**. 39(3): 1019-1023.

Delwiche, M.J. 1987. Theory of fruit firmness forting by impact forces. **Transactions of the ASAE**. 30(4): 1160-1166.

Gonzalez, R.C. and R.E. Wood. 1992. **Digital Image Processing**. Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, USA.

Harker, F.R., J.H. Maindonald, and P.J. Jackson. 1996. Penetrometer measurement of apple and kiwifruit firmness: operator and instrument differences. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 121(5): 927-936

Reyes. M.U., R.E. Paull, M.R. Williamson and L.D. Gautz. 1996. Ripeness determination of solo' papaya (Carica papaya L.) by impact force. **Applied Engineering in Agriculture**. 12(6): 703-708.

Zhang, X., M.L. Stone, D. Chen, N.O. Maness and G.H. Brusewitz. 1994. Peach firmness determination by puncture resistance, drop impact and sonic impulse. **Transactions of the ASAE**. 37(2): 495-500.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น

No.	เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)	ความสูง (cm)	น้ำหนัก (kg)
1	15.00	11.80	1.15
2	14.20	11.20	1.05
3	14.50	12.40	1.15
4	14.60	11.40	1.10
5	14.40	11.50	1.06
6	15.40	12.00	1.19
7	14.20	11.90	1.06
8	14.30	11.60	1.03
9	14.60	11.50	1.06
10	14.70	11.90	1.04
11	14.50	10.60	1.00
12	13.90	11.30	0.95
13	14.00	11.40	1.00
14	13.50	11.40	0.94
15	13.70	11.50	0.89
16	14.80	11.60	1.10
17	14.20	10.10	0.99
18	13.90	11.30	0.93
19	13.70	11.00	0.93
20	13.70	11.70	0.91
21	14.60	12.40	1.09
22	13.90	11.80	0.91
23	14.10	11.50	1.02
24	13.80	9.90	0.93
25	13.80	10.90	0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น (ต่อ)

No.	เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)	ความสูง (cm)	น้ำหนัก (kg)
26	13.40	11.10	0.80
27	13.80	10.90	0.95
28	14.20	11.50	1.02
29	14.80	11.70	0.98
30	14.90	12.10	1.13
31	15.10	12.40	1.09
32	13.10	10.60	0.86
33	13.60	11.60	0.84
34	14.50	11.80	0.99
35	14.00	11.60	0.94
36	15.20	13.00	1.27
37	14.30	12.00	1.02
38	15.00	12.60	1.14
39	12.70	11.80	0.75
40	14.00	12.80	0.99
41	13.80	10.80	0.88
42	13.20	11.60	0.86
43	14.10	11.90	1.01
44	15.80	12.70	1.19
45	13.10	10.90	0.83
46	14.40	12.30	1.07
47	12.90	10.90	0.74
48	13.20	11.30	0.84
49	13.40	11.90	0.93
50	14.50	12.20	1.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น (ต่อ)

No.	เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)	ความสูง (cm)	น้ำหนัก (kg)
51	16.90	13.10	1.57
52	15.90	11.70	1.28
53	14.50	11.70	1.02
54	15.70	12.80	1.22
55	14.10	11.30	0.98
56	13.40	11.40	0.92
57	14.00	12.00	0.99
58	15.20	12.80	1.21
59	14.90	12.30	1.18
60	13.40	11.30	0.84
61	14.80	12.50	1.22
62	13.90	11.60	0.94
63	13.00	11.20	0.77
64	14.80	12.10	1.13
65	14.70	12.00	1.15
66	14.70	11.80	1.11
67	14.20	11.40	0.98
68	14.40	12.10	1.06
69	13.90	11.20	1.00
70	14.00	11.80	1.01
71	15.00	11.70	1.19
72	15.00	12.00	1.18
73	15.30	11.10	1.21
74	14.30	11.90	1.04
75	13.80	11.30	0.95
MEAN	14.28	11.68	1.02
SD	0.76	0.62	0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้