

การพัฒนาเทคนิคจำแนกความถี่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง แบบไม่ทำลายผล
ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีและการวิเคราะห์ภาพถ่าย



นายธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2560

**DEVELOPMENT OF NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES
FOR MATURITY CLASSIFICATION OF THE DURIAN
MONTHONG VARIETY BY SPECTROSCOPY
AND IMAGE ANALYSIS**

Teerawat Chuenatsadongkot



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical and
Process System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2017**

การพัฒนาเทคนิคจำแนกความแ่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง แบบไม่ทำลายผล
ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีและการวิเคราะห์ภาพถ่าย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.กীরดี สุลักษณ์)

ประธานกรรมการ



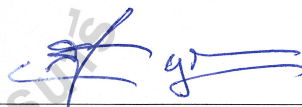
(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนาจ)

กรรมการ



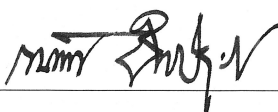
(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)

กรรมการ



(ผศ. ดร.ประกิต ทิมขำ)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต : การพัฒนาเทคนิคจำแนกความแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบ
ไม่ทำลายผลด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีและการวิเคราะห์ภาพถ่าย
(DEVELOPMENT OF NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES FOR MATURITY
CLASSIFICATION OF THE DURIAN MONTHONG VARIETY BY
SPECTROMETER AND IMAGE ANALYSIS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, 155 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบระยะความแก่ของ
ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้วิธีทางสเปกโตรสโคปี และ
วิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย ในการจำแนกความสุกแก่ของทุเรียนได้ใช้ค่าร้อยละน้ำหนักแห้งของเนื้อ
ทุเรียน และค่าอายุวันหลังดอกบานเป็นค่าอ้างอิงความสุกแก่ของผลทุเรียน จากการสร้างสมการ
ทำนายด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีและการวิเคราะห์ภาพถ่ายพบว่าการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8
ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน การตรวจสอบด้วยวิธีทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่
มองเห็นได้ สามารถจำแนกได้ถูกต้อง 83.0 เปอร์เซ็นต์ และวิธีการประมวลผลภาพถ่ายสามารถ
จำแนกได้ถูกต้อง 79.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ระยะ คือ ทุเรียนอ่อน กับ
ทุเรียนแก่ที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวด้วยค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง ผลการตรวจสอบพบว่า วิธี
ทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้สามารถจำแนกได้ถูกต้อง 91.2 เปอร์เซ็นต์ และวิธีการ
ประมวลผลภาพถ่ายสามารถจำแนกได้ถูกต้อง 89.2 เปอร์เซ็นต์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ศุภินันท์ ตรีอำนาจ

TEERAWAT CHUENATSADONGKOT : DEVELOPMENT OF NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES FOR MATURITY CLASSIFICATION OF THE DURIAN MONTHONG VARIETY BY SPECTROSCOPY AND IMAGE ANALYSIS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TAWARAT TREEAMNUK, D.Eng., 155 PP.

NON-DESTRUCTIVE/ SPECTROSCOPY/IMAGE ANALYSIS

The objective of this research was to study and development the non-destructive techniques for maturity classification of the durian monthong variety by spectroscopy and image analysis. The harvesting index i.e dry matter and day after bloom were used to classification of mature durian. Predictive equations for the maturity classification of durian were developed from spectroscopy and image analysis. From the equations found that the durian could classified into 8 age ranges from 100 to 135 days after bloom by VIS-NIR spectroscopy with accuracy of 83.0%, while the image analysis has the accuracy of 79.4%. For the results of the durian classify into two stages of immature and mature by dry matter index found that the VIS-NIR spectroscopy has the accuracy of classification of 91.2%, while classification by the image analysis has the accuracy of 89.2%.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature Teerawat chuenatsadongkot

Advisor's Signature Tawarat Treeamnuk

Co-Advisor's Signature Krawee Treeamnuk

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การอบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ขั้นตอนการทำวิจัยต่าง ๆ ให้คำแนะนำในการเขียน และ ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้คำปรึกษา และแก้ไขเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยไปตีพิมพ์วารสารวิชาการในระดับต่าง ๆจนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำ ในกระบวนการทำปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมทั้งชี้แนะแนวทางที่สามารถทำงานได้ สำเร็จลุล่วงได้ตามระยะเวลาที่กำหนด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุกฤษณ์ ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะ แนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร.สามารถ บุญอาจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องโดยสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกิต ทิมขำ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้เชี่ยวชาญในด้าน กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งตรงกับงานวิจัยนี้ ที่ได้ให้คำชี้แนะเกี่ยวกับการทำวิจัยเพื่อให้ได้ ผลการวิจัยออกมาสมบูรณ์ตามที่ต้องการ รวมทั้งทำการตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์ และชี้แนะ ส่วนที่ผิดพลาด ทำให้เนื้อหาสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนใน การทำวิจัย รวมถึง บุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างดี ตลอดจน ส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณ นางสาวปาลินี วงศ์ศรีชา และ เพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ จนกระทั่ง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 กรอบแนวคิด.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรัชมนวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทูเรียน.....	5
2.2.1 การแบ่งชั้นคุณภาพ.....	7
2.2.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพ.....	9
2.2.3 วิธีวิเคราะห์สำหรับผลทูเรียนที่แก่แล้ว.....	10
2.2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย.....	11
2.2.1 เทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดช่วงแสงที่มองเห็นได้.....	12
2.2.2 เทคนิคกระบวนการวิเคราะห์ผลเชิงภาพถ่าย.....	16
2.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	19
2.3.1 การสร้างสมการ Calibration.....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2	การทำ Validation.....	21
2.3.3	การวิเคราะห์ Discriminant Analysis.....	22
2.3.4	การวิเคราะห์ Multiple Regression.....	24
2.4	เทคนิคทางสถิติที่นำมาปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์.....	25
2.4.1	วิธีทางอนุพันธ์ (Derivative).....	25
2.4.2	Multiplicative scatter correction (MSC).....	26
2.5	ความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคทางสเปกโตรสโคปีมาใช้กับทุเรียน.....	27
3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	30
3.1	วัสดุและอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัย.....	30
3.2	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	31
3.2.1	การเตรียมตัวอย่าง.....	31
3.2.2	วัดค่าตัวแปรคุณลักษณะทางคุณภาพของทุเรียน พร้อมทั้งวัดค่าสมบัติด้านสีและด้านแสงของทุเรียนชุดตัวอย่าง.....	31
3.2.3	วิเคราะห์ค่าสมบัติที่ทดสอบได้ เพื่อนำไปใช้สร้าง สมการทำนาย พร้อมทั้งทดสอบความแม่นยำของสมการ.....	41
3.3	สถานที่ทำการศึกษาวิจัย.....	48
4	ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ข้อมูล.....	49
4.1	บทนำ.....	49
4.2	การทดสอบสมบัติต่างๆ แบบทำลายผลเพื่อใช้อ้างอิงระยะอายุของผลทุเรียน.....	49
4.2.1	ผลการทดสอบค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง.....	49
4.2.2	ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ.....	50
4.2.3	ผลการทดสอบค่าความแน่นเนื้อ.....	52
4.2.4	ผลการทดสอบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้.....	53
4.2.5	ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การทดสอบสมบัติต่างๆ แบบไม่ทำลายผลเพื่อใช้พัฒนาเป็น	
เทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย.....	57
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	57
4.3.2 ผลการทดสอบค่าสเปคตรัมของการดูดกลืนแสง.....	68
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกช่วงอายุของผลทุเรียน.....	69
4.4.1 ผลการจำแนกช่วงอายุทุเรียนด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	69
4.4.2 ผลการจำแนกช่วงอายุทุเรียนด้วยการใช้สเปคตรัมของการดูดกลืนแสง.....	72
4.4.3 ผลการทำนายอายุของทุเรียนด้วยสเปคตรัมของการดูดกลืนแสง	
โดยการวิเคราะห์ด้วย Unscramble software.....	76
5 บทสรุป.....	77
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	77
5.1.1 ค่าสมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพที่นำมาใช้สำหรับ	
พัฒนาเทคนิคตรวจสอบช่วงอายุของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง.....	77
5.1.2 การตรวจสอบอายุของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง	
ด้วยวิธีการประมวลผลภาพถ่าย.....	77
5.1.3 การตรวจสอบอายุของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง	
ด้วยวิธีทางสเปคโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็น.....	78
5.1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจสอบอายุ	
ของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง.....	78
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
รายการอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	84
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ.....	122
ภาคผนวก ค ฟังก์ชันการแปลงค่าสีด้วย excel.....	129

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ง บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา.....	132
ประวัติผู้เขียน.....	152

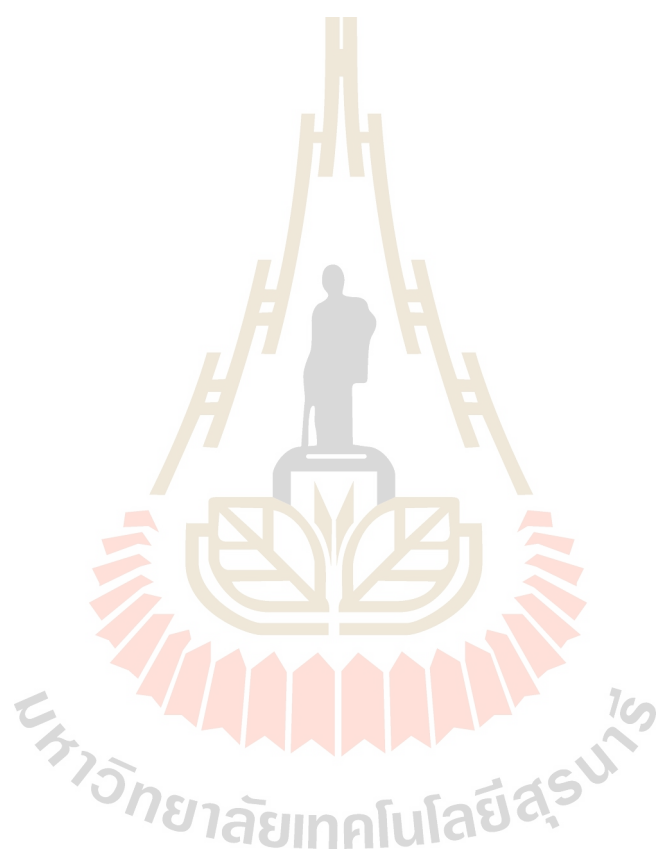


สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ของสีและค่าการดูดกลืนแสง.....	13
4.1 ค่าสมบัติทางกายภาพและเคมีของทุเรียนตั้งแต่ช่วงอายุ 100 ถึง 135 วันหลังดอกบาน.....	56
4.2 ค่าสีที่ปลายหนามทุเรียนตั้งแต่ช่วงอายุ 100 ถึง 135 วันหลังดอกบาน.....	61
4.3 ค่าสีที่โคนหนามทุเรียนตั้งแต่ช่วงอายุ 100 ถึง 135 วันหลังดอกบาน.....	66
4.4 ค่าความต่างระหว่างสีที่โคนหนามและปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	67
4.5 ค่า Eigenvalue ของการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	69
4.6 ค่า Wilks' Lambda ของการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	70
4.7 ผลของการแบ่งกลุ่มทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มตามอายุด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	71
4.8 ค่า Eigenvalue ของการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อนและแก่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	71
4.9 ค่า Wilks' Lambda ของการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อนและแก่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	72
4.10 ผลการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	72
4.11 ค่า Eigenvalue ของการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยสเปกตรัมการดูดกลืนแสง.....	73
4.12 ค่า Wilks' Lambda ของการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยสเปกตรัมการดูดกลืนแสง.....	73
4.13 ผลการแบ่งกลุ่มทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยการดูดกลืนแสงสเปกตรัม.....	74
4.14 ค่า Eigenvalue ของการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยสเปกตรัมการดูดกลืนแสง.....	75
4.15 ค่า Wilks' Lambda ของการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยสเปกตรัมการดูดกลืนแสง.....	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16 ผลการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก้ด้วยการดูดกลืนแสงสเปกตรัม.....	75
4.17 ผลการจำแนกระยะอายุของผลทุเรียนด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมต่างวิธี.....	76



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะพหุสมบรูณ์ของผลทุเรียน.....7
2.2	ความสัมพันธ์ของตัวแปรค่าสี $L^* a^* b^*$14
2.3	รูปแบบการวัดด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้.....15
2.4	ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล NIR20
2.5	การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธี Multiplicative scatter correction.....26
3.1	การตีความเลขเพื่อช่วยนับอายุวันหลังจากดอกบาน.....31
3.2	ชุดควบคุมแสงจากหลอดไฟ D65.....32
3.3	ภาพถ่ายทุเรียนที่ได้จากการถ่ายภาพภายในชุดควบคุมแสง.....33
3.4	หน้าต่างของโปรแกรม Image J สำหรับการวิเคราะห์ค่าสีจากภาพถ่าย.....33
3.5	การเลือกตำแหน่งในการวิเคราะห์ค่าสีด้วยโปรแกรม Image J.....34
3.6	ส่วนประกอบของชุดทดสอบ Spectrometer.....35
3.7	การวัดค่าสเปคตรัมและสีที่ปลายหนาม.....36
3.8	การชั่งน้ำหนักของทุเรียนในน้ำเพื่อนำมาคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะ.....37
3.9	การชั่งน้ำหนักของเนื้อทุเรียนในน้ำเพื่อนำมาคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะ.....38
3.10	การจัดวางชิ้นเนื้อทุเรียนบนแท่นวางของเครื่อง Penetrometer.....38
3.11	การชั่งน้ำหนักของเนื้อทุเรียนสี่เหลี่ยมภายในเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง.....39
3.12	การจัดวาง moisture can ภายในตู้อบสำหรับการอบแห้ง.....40
3.13	เครื่อง Refractrometer และค่าที่ได้จากเครื่อง Refractrometer.....40
3.14	การใช้เครื่อง Calorimeter PH สำหรับวัดค่าความเป็นกรด – เบสของน้ำทุเรียน.....41
3.15	ข้อมูลค่าสีจากภาพถ่ายสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS.....42
3.16	ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS.....42
3.17	การเลือกตัวแปรเข้าสู่หน้าต่างคำสั่ง Discriminant Analysis.....43
3.18	การกำหนด Define Range ให้กับ Grouping Variable.....43
3.19	การตั้งค่า Statistics สำหรับการวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Discriminant Analysis.....44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 การตั้งค่า Classification สำหรับวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Discriminant Analysis.....	45
3.21 การตั้งค่า Method สำหรับวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Discriminant Analysis.....	46
3.22 การตั้งค่า Save สำหรับวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Discriminant Analysis.....	47
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง กับอายุวันหลังจากดอกบานที่เพิ่มขึ้น.....	50
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	51
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเฉพาะเนื้อ กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	52
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแน่นเนื้อ กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	53
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรของแข็งที่ละลายน้ำได้ กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	54
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อทุเรียน กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	55
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย L* กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	58
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย a* กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	59
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย b* กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	60
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย Hue angle กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	61
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่โคนหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย L* กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	62
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่โคนหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย a* กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	63
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่โคนหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย b* กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	64
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่โคนหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย Hue angle กับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างระหว่างสีที่โคนหนามและปลายหนาม จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกับอายุวันหลังจากดอกบาน.....	67
4.16 ค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่บริเวณปลายหนาม ทุเรียนพันธุ์หมอนทองช่วงอายุ 100 – 135 วันหลังจากดอกบาน.....	68



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

VIS	=	Visible Infrared Spectroscopy
NIR	=	Near Infrared Spectroscopy
%DM	=	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง (Dry Matter Percentage)
W_1	=	น้ำหนักเนื้อทุเรียนก่อนที่จะผ่านการอบ (kg)
W_2	=	น้ำหนักเนื้อทุเรียนหลังจากที่ผ่านการอบมาแล้ว (kg)
DAB	=	อายุวันหลังดอกบาน (Day After Bloom)
MSC	=	Multiplicative Scatter Correction
SNV	=	Standard Normal Variate
FTIR	=	Fourier transform infrared spectroscopy
SEP	=	Standard Error of Prediction
RMSEP	=	Root Mean Square Error of Prediction
SG	=	ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
TSS	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid)
DA	=	Discriminant Analysis
PLSR	=	Partial Least Squares Regression
PLS-DA	=	Partial Least Squares Discriminant Analysis

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งในเกษตรกรรมนั้นแบ่งออกเป็นหลายประเภทด้วยกัน เช่น พืชสวน และพืชไร่ เป็นต้น เมื่อก้าวกันถึงพืชสวนที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยนั้น จะมีอยู่มากชนิดหลายสายพันธุ์ด้วยกัน ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ “ทุเรียน” โดยทุเรียนนั้นถือเป็น พืชสวนที่มีการเพาะปลูกอยู่จำนวนมากในประเทศไทย โดยมีเนื้อที่ในการปลูกรวมกว่า 795,811 ไร่ เป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้ว 654,288 ไร่ (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรีกรมวิชาการเกษตร, 2558) โดยให้ผลผลิตรวม 726,891 ตัน นอกจากนั้นแล้วทุเรียนยังเป็นผลไม้ที่มีการส่งออกเป็นหลักปริมาณในการส่งออกทุเรียนของประเทศไทยนั้น ก่อให้เกิดมูลค่าที่สูงมาก ในปี 2557 นั้น ประเทศไทยมีการส่งออกทุเรียนสด จำนวน 369,602 ตัน คิดเป็นมูลค่ามากถึง 12,436 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) ซึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้ประเทศไทยนั้น มีปริมาณการส่งออกที่สูงมาก เพราะทุเรียนไทยมีคุณภาพที่ดี จึงได้รับความนิยมและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วโลก

แต่ทว่าในการยอมรับที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นการยอมรับถึงทุเรียนในผลที่มีคุณภาพดีเท่านั้น ไม่ได้ให้การยอมรับในผลทุเรียนที่มีคุณภาพไม่ดี ซึ่งปัญหาในการค้าขายทุเรียนตามตลาดผลไม้ รวมทั้งการส่งออกทุเรียนที่ไม่ได้คุณภาพนั้น ส่งผลให้เกิดปัญหาตามมา คือจะทำให้ตลาดผู้บริโภคเสียหาย เพราะผู้บริโภคจะหันไปมองหาตลาดแห่งใหม่ที่มีคุณภาพมากกว่าแทน ซึ่งส่งผลในระยะยาวต่อเศรษฐกิจการค้าขายและส่งออกผลไม้ในประเทศอย่างแน่นอน อย่างไรก็ตามในอดีตที่ผ่านมา ผู้บริโภค ยังคงประสบปัญหาจากการส่งออกทุเรียนที่ไม่ได้คุณภาพ และทุเรียนอ่อนปะปนเข้าไปกับทุเรียนที่มีคุณภาพอยู่เป็นจำนวนมาก สาเหตุหลักของปัญหานี้ เกิดจากการคัดเลือกที่ผิดพลาด ทั้งจากชาวสวนและจากผู้ค้า ซึ่งกระบวนการในการคัดเลือกลักษณะก็เป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาด เพราะว่าในปัจจุบันนี้การเก็บเกี่ยวทุเรียนที่แก่พอเหมาะและการคัดเลือกคุณภาพของทุเรียน นั้นใช้การคัดเลือกโดยอาศัยจากประสบการณ์และความชำนาญของผู้คัดเลือก โดยวิธีการที่ผู้คัดเลือกใช้ในการพิจารณาเพื่อคัดทุเรียนที่พบได้ทั่วไป คือ การนับอายุวันหลังจากที่ดอกบาน การดูที่ปากปลิงทุเรียนแก่จัดปากปลิงจะพองโตเห็นรอยชัดเจน ดูหนามผลทุเรียนแก่

ปลายหนามจะออกสีน้ำตาลเข้ม ดูขั้วผลขั้วทุเรียนแก่จะเป็นสปริงส่วนขั้วผลทุเรียนอ่อนจะไม่ใช่สปริง ดูสีผลด้านบนผลทุเรียนแก่สีจะมันและแห้ง ดูร่องพูทุเรียนแก่ร่องพูเป็นสีน้ำตาลปนเหลือง เคาะที่หนามเมื่อทุเรียนแก่มีเสียงดังหลวมๆและโปรงมากกว่าตอนผลอ่อน เป็นต้น จะเห็นได้ว่าวิธีการดังกล่าวมานั้น เป็นวิธีการที่อาศัยการตัดสินใจของตัวบุคคลเป็นหลักและไม่มีหลักฐานที่จะนำมาใช้อ้างอิงในความถูกต้องได้ และวิธีการเหล่านี้ยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกอีกด้วย ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ในการพิจารณาถึงคุณภาพและอายุของผลทุเรียน (ประกิต ทิมจำ, 2557)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงมีความจำเป็นต้องนำวิธีการตรวจวัดคุณภาพของผลผลิตเกษตรและความสุก-แก่ของผลไม้โดยไม่ทำลายผลเข้ามาใช้ในการตรวจวัด หนึ่งในวิธีที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางและทั่วโลกให้การยอมรับก็คือ การใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดมาวิเคราะห์คุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร ยกตัวอย่างงานวิจัยที่นำเทคนิคนี้มาใช้คือ การตรวจสอบปริมาณสารวานิลลินในฝักวานิลลาบ่มอย่างไม่ทำลายด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปี ซึ่งการวิจัยนี้ พบว่าเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ มีความแม่นยำเพียงพอต่อการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณวานิลลินในฝักวานิลลาบ่มอย่างไม่ทำลายและมีความรวดเร็วในการตรวจวัดที่ค่อนข้างสูง (พีรณัฐ ทวีชลพิสิฐ และ คณะ, 2556) เนื่องจากการใช้เทคนิคทางสเปกโตรสโคปีให้ผลการทำนายที่แม่นยำ จึงส่งผลให้ในปัจจุบันมีการนำเทคนิคดังกล่าวนี้ไปใช้กับผลผลิตเกษตรอย่างแพร่หลาย (สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2548)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาวิธีการตรวจสอบความแก่ของทุเรียน ด้วยการนำเทคนิคสเปกโตรสโคปีย่านใกล้ที่ระยะคลื่นแสงที่มองเห็น และเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายผลของทุเรียน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาเทคนิควิธีในการตรวจวัดความแก่ของทุเรียนแบบไม่ทำลายผลของทุเรียน ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ และการประมวลผลภาพถ่าย
- 2) เพื่อประเมินความแม่นยำในการตรวจสอบความแก่ทุเรียนของเทคนิคที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) เทคนิคในการตรวจวัดความแก่ของทุเรียนที่ทำการพัฒนานั้น สามารถใช้ในการตรวจทุเรียนพันธุ์หมอนทองเท่านั้น
- 2) ในการตรวจวัดความแม่นยำของเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นมาี้ ทุเรียนที่นำมาใช้วัด จะมีน้ำหนัก 2 – 4 กิโลกรัม และทุเรียนจะต้องมีความแห้ง ไม่มีน้ำเกาะติดที่บริเวณเปลือก

1.4 กรอบแนวคิด

การตรวจวัดความสุก-แก่ของผลทุเรียนถือเป็นกระบวนการที่สำคัญในการเก็บเกี่ยวผลทุเรียนจากต้น และยังเป็นกระบวนการที่สำคัญในการคัดเลือกทุเรียนเพื่อนำไปขายในแหล่งจำหน่ายต่าง ๆ อีกด้วย เนื่องจากการเก็บเกี่ยวทุเรียนนั้นเป็นการเก็บเกี่ยวครั้งละเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ทุเรียนที่ทำการเก็บเกี่ยวมานั้น มีความแตกต่างทางคุณภาพของผลอยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพทางด้านอายุของผลที่ไม่ตรงไปตามที่ต้องการ และด้านคุณภาพของผลที่ต้องปลอดจากโรคและแมลง ศัตรูพืชต่าง ๆ ซึ่งในการเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมากนั้นก่อให้เกิดปัญหาคือมีผลที่ไม่ได้คุณภาพปะปนเข้าไปด้วย ทำให้ผู้บริโภคต้องได้รับผลที่ไม่มีคุณภาพไปบริโภค เพราะเหตุดังกล่าว ปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อชื่อเสียงและความน่าเชื่อถือของตลาดส่งออกผลไม้อย่างมาก ปัจจุบันนี้วิธีการที่ชาวสวนและผู้ค้าใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและความสุก-แก่ของผลทุเรียนมักใช้การตรวจสอบโดยการดูลักษณะทางกายภาพภายนอกของผล เช่น ลูกที่เปลือก ลูกที่ขนาดและสีของหนาม ลูกที่ลักษณะก้านและปลิงของผล และฟังที่เสียงเมื่อทำการเคาะที่ผล เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นการตรวจสอบด้วยประสาทสัมผัสแล้วทำการตัดสินใจด้วยวิจรณ์ญาณของผู้ตรวจสอบ ซึ่งผู้ตรวจสอบแต่ละคนก็จะมีมาตรฐานในการตัดสินใจที่ต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงก่อให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบและคัดเลือกอยู่มาก

เนื่องจากการค้าขายจำหน่ายทุเรียนนั้น รูปลักษณะภายนอกของทุเรียนก็เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจในการเลือกซื้อ การรักษาลักษณะรูปร่างภายนอกของผลให้คงเดิมจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงนำไปสู่เทคนิคในการตรวจสอบผลโดยที่ไม่ต้องมีการทำลายผล ซึ่งมีอยู่มากหลายเทคนิควิธีด้วยกันในการตรวจสอบ จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา เทคนิคที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของทุเรียน คือการใช้เทคนิคทางสเปกโตรสโคปีในการตรวจสอบ สาเหตุที่ใช้เทคนิคนี้เพราะว่า แสงสเปกโตรสโคปีสามารถฉายทะลุผิวเข้าไปเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติภายในผลได้ ซึ่งจากคุณสมบัติที่วัดได้ จะสามารถนำมาหาความสัมพันธ์เพื่อสร้างโมเดลในการทำนายความสุก-แก่และตรวจดูคุณภาพของผลได้ ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะทำการพัฒนาเทคนิคทางสเปกโตรสโคปีเพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและความสุก-แก่ของทุเรียน

ให้มีคุณภาพที่ดีมากยิ่งขึ้นและสามารถนำผลที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปใช้ได้จริงในแวดวง
เกษตรกร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้เทคนิคการวัดความแก่ของทุเรียนแบบไม่ทำลายผล ที่มีความแม่นยำ
- 2) ได้ผลงานวิชาการที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับชาติหรือลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง



บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทูเรียน

ทูเรียน เป็นผลไม้เมืองร้อน ได้รับความนิยมในการบริโภคที่สูงมาก จนได้ชื่อว่าเป็นราชาของผลไม้ ทูเรียนมีแหล่งกำเนิดในสุมาตรา หรือบอร์เนียว มาลายา ในภายหลังได้แพร่เข้ามาใน ไทย พม่า ฟิลิปปินส์ ในประเทศไทยนั้นมีการเพาะปลูกทูเรียนอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ ทูเรียนปลูก ทูเรียนคอน ทูเรียนนกก ทูเรียนป่า ในทางการค้าหรือที่พบเห็นกันได้ทั่วไปตามท้องตลาดจะเป็นทูเรียนปลูก ทั้งหมด ส่วนทูเรียนชนิดอื่นที่ไม่ได้รับความนิยมในทางการค้ามีเหลืออยู่น้อยมาก เมื่อทำการจำแนก ทูเรียนออกตามสายพันธุ์จะพบว่ามียู่มากมายหลายพันธุ์มาก ซึ่งในประเทศไทยนั้นในปัจจุบันนิยม ปลูกมาก 4 พันธุ์ คือ หมอนทอง ชะนี ก้านยาว และ กระจุก ซึ่งแต่ละพันธุ์มีลักษณะดังนี้

1. พันธุ์กระจุก ผลจะมีขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ผลมีลักษณะ ค่อนข้างกลมด้านหัวและด้านท้ายผลค่อนข้างแบน ก้นผลบวมเล็กน้อย หนามเล็กสั้น และถี่ ขั้วค่อนข้างเล็กและสั้น ลักษณะของพูเต็มสมบูรณ์ ร่องพูค่อนข้างลึก เนื้อ ละเอียดอ่อนนุ่มสีเหลืองอ่อน เนื้อค่อนข้างบาง รสชาติหวานไม่ค่อยมัน
2. พันธุ์ชะนี ผลมีขนาดปานกลางถึงใหญ่ น้ำหนักประมาณ 2.5-3 กิโลกรัม ผลมีรูปทรง หวด กล่าวคือ กลางผลป่อง หัวเรียว ก้นตัด ร่องพูค่อนข้างลึกเห็นได้ชัด ขั้วผลใหญ่และ สั้น เนื้อละเอียด สีเหลืองจัดเกือบเป็นสีจำปา ปริมาณมาก รสชาติหวานมัน เมล็ด ค่อนข้างเล็กและมีจำนวนเมล็ดน้อย
3. พันธุ์หมอนทอง ผลมีขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 3-4 กิโลกรัม ทรงผลค่อนข้างยาวมี บ่าผล ปลายผลแหลม พูมักไม่ค่อยเต็มทุกพู หนามแหลมสูง ฐานหนามเป็นเหลี่ยม ระหว่างหนามใหญ่จะมีหนามเล็กวางแซมอยู่ทั่วไป ซึ่งเรียกหนามชนิดนี้ว่า เขี้ยว ก้าน ผลใหญ่แข็งแรง ช่วงกลางก้านผลจนถึงปากปลิงจะอ้วนใหญ่เป็นทรงกระบอก เนื้อ หนาสีเหลืองอ่อนละเอียด เนื้อค่อนข้างแห้งไม่และติดมือ รสชาติหวานมัน เมล็ดน้อย และลีบเป็นส่วนใหญ่
4. พันธุ์ก้านยาว ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักประมาณ 3 กิโลกรัม ทรงผลกลมเห็นพูไม่ ชัดเจน พูเต็มทุกพู หนามเล็กถี่สั้นสม่ำเสมอทั้งผล ก้านผลใหญ่และยาวกว่าพันธุ์อื่นๆ

- เนื้อละเอียดสีเหลืองหนาปานกลาง รสชาติหวานมัน เมล็ดมากค่อนข้างใหญ่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

ในการบริโภคหรือรับประทานทุเรียนนั้น จะบริโภคในผลที่สุกแล้ว เพราะในผลที่สุกจะมีรสชาติที่หวานและมันมากที่สุด ส่วนผลที่ยังไม่สุกนั้นเนื้อจะค่อนข้างแข็งและรสชาติจะออกหวานไม่มาก การเลือกซื้อทุเรียนเพื่อนำมาบริโภคนั้น ยังคงเป็นปัญหาใหญ่สำหรับผู้บริโภค เพราะในการเลือกทุเรียนเพื่อดูว่าผลไหนอ่อน ผลไหนแก่ นั้น สามารถเลือกได้ยาก เพราะลักษณะของผลทุเรียนจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย หลักการสังเกตทุเรียนผลที่แก่แล้วอย่างง่าย คือ

- สังเกตก้านผล ก้านผลจะแข็งและมีสีเขียวเข้มขึ้น เมื่อลูบจะรู้สึกสากมือ เมื่อจับก้านผลแล้วแกว่งผลทุเรียน จะรู้สึกว่าก้านผลทุเรียนยืดหยุ่นมากขึ้น ก้านผลบริเวณปากปลิงจะบวมโต เห็นรอยต่อชัดเจน
- สังเกตหนาม ปลายหนามแห้ง มีสีน้ำตาลเข้ม เปราะและหักง่าย ดังนั้น เมื่อมองจากด้านบนของผลจะเห็นหนามเป็นสีเขียว หนามมีลักษณะกว้างออก ร่องหนามห่าง เวลาบีบปลายหนามเข้าหากันจะรู้สึกว่ายืดหยุ่น
- สังเกตรอยแยกระหว่างพู ผลทุเรียนที่แก่จัดจะสังเกตเห็นรอยแยกบนพูได้อย่างชัดเจน ยกเว้นบางพันธุ์ที่ปรากฏไม่เด่นชัด เช่น พันธุ์ก้านยาว
- การชิมปลิง ผลทุเรียนที่แก่จัด เมื่อตัดขั้วผลหรือปลิงออก จะพบน้ำใสซึ่งไม่ขุ่นเหนียวเหมือนในทุเรียนอ่อน และเมื่อใช้ลิ้นแตะชิมดูจะมีรสหวาน
- การเคาะเปลือกหรือกรีดหนาม เมื่อเคาะ เปลือก ผลทุเรียนที่แก่จัดจะมีเสียงดังหลวม ๆ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเปลือกและ เนื้อภายในผล เสียงหนักหรือเบาแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของต้นทุเรียน
- การปล่อยให้ทุเรียนร่วง ปกติดอกทุเรียน แต่ละรุ่นในแต่ละต้นจะบานไม่พร้อมกัน และมีช่วงต่างกันไม่เกิน 10 วัน ดังนั้น เมื่อมีผลทุเรียนในต้นเริ่มแก่ สุก และร่วง ก็เป็นสัญญาณเตือนว่า ผลทุเรียนที่เหลือในรุ่นนั้นแก่แล้วสามารถเก็บเกี่ยวได้
- การนับอายุ โดยนับอายุผลเป็นจำนวนวัน หลังดอกบาน เช่น พันธุ์ชะนี ใช้เวลา 100 - 105 วัน เป็นต้น การนับวันหรืออายุของผลจะแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละปี และในแต่ละท้องถิ่น ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ เช่น ถ้าปีใดมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูง ผลทุเรียนจะแก่เร็วกว่าปีที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า

จากวิธีที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการใช้ประสบการณ์ของผู้คัดเลือกในการตรวจสอบและคัดแยกระยะเวลาแก่ของผลทุเรียน (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, 2552) ซึ่งจะส่งให้มีความผิดพลาดได้

ง่าย เนื่องจากตัวบุคคลหรือผู้คัดเลือกแต่ละบุคคลมีประสบการณ์ในการคัดแยกระยะเวลาแก่ของทุเรียนที่แตกต่างกันออกไป ทั้งการศึกษาวิธีการคัดเลือกเหล่านี้จากการบอกกล่าวต่อกันมา ยังเกิดความผิดพลาดไปได้มาก ส่งผลให้วิธีที่ใช้ในการคัดแยกนั้นมีความแปรเปลี่ยนและเกิดความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้น เพื่อต้องการให้เกษตรกรหรือผู้คัดเลือกทั้งหมด มีการใช้วิธีตรวจสอบและคัดแยกระยะเวลาแก่ของผลทุเรียนเป็นวิธีเดียวกัน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์จึงได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพของทุเรียนขึ้นมา (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2557)

2.1.1 การแบ่งชั้นคุณภาพ

ผลทุเรียนตามมาตรฐานสินค้าเกษตรนี้ แบ่งเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ดังนี้

2.1.1.1 ชั้นพิเศษ (Extra Class)

ผลทุเรียนในชั้นนี้จะต้องมีคุณภาพดีที่สุด มีลักษณะหนามสมบูรณ์ ต้องมีจำนวนพูสมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.1 ไม่น้อยกว่า 4 พูไม่มีความผิดปกติด้านรูปทรงและไม่มีตำหนิ ในกรณีที่มีความผิดปกติหรือตำหนิต้องมองเห็นได้ไม่ชัดเจน และไม่มีผลกระทบต่อลักษณะภายนอกคุณภาพของเนื้อทุเรียน คุณภาพระหว่างการผลิตและการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ



รูปที่ 2.1 ลักษณะพูสมบูรณ์ของผลทุเรียน

2.1.1.2 ชั้นหนึ่ง (Class I)

ผลทุเรียนในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดี อาจมีความผิดปกติหรือตำหนิได้เล็กน้อย ดังนี้

1. ความผิดปกติเล็กน้อยด้านรูปทรง โดยมีจำนวนพูสมบูรณ์ไม่น้อยกว่า 3 พู และพูไม่สมบูรณ์อีก 2 พูและไม่ทำให้รูปทรงผลทุเรียนเสียไป
2. ตำหนิเล็กน้อยซึ่งเกิดจากกระบวนการก่อนและหลังจากการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง เช่น รอยแผลเป็นตื้นๆ และหนามหักหรือซ้ำ โดยขนาดของตำหนิโดยรวมต้องไม่เกิน 10% ของพื้นที่ผิวของผลทุเรียนความผิดปกติหรือตำหนิจะต้องไม่มีผลกระทบต่อลักษณะภายนอก คุณภาพของเนื้อทุเรียน คุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

2.1.1.3 ชั้นสอง (Class II)

ผลทุเรียนในชั้นนี้รวมผลทุเรียนที่มีคุณภาพไม่เข้าชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพตามข้อกำหนดขั้นต่ำที่กำหนด ดังต่อไปนี้

1. ความผิดปกติด้านรูปทรง โดยจำนวนพูสมบูรณ์ไม่น้อยกว่า 2 พู และพูไม่สมบูรณ์อีก 2 พู และไม่ทำให้รูปทรงทุเรียนเสียไป
2. ตำหนิเล็กน้อยซึ่งเกิดจากกระบวนการก่อนและหลังจากการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง เช่น รอยแผลเป็นตื้นๆและหนามหักหรือซ้ำ โดยขนาดของตำหนิโดยรวมต้องไม่เกิน 10% ของพื้นที่ผิวของผลทุเรียนความผิดปกติหรือตำหนิจะต้องไม่มีผลกระทบต่อลักษณะภายนอก คุณภาพของเนื้อทุเรียนคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ

นิยามของคุณภาพทุเรียนที่ใช้สำหรับแบ่งชั้นคุณภาพ ผลทุเรียนทุกชั้นคุณภาพต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะมีข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละชั้นคุณภาพและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามที่ระบุไว้

1. เป็นทุเรียนทั้งผลที่มีข้าวผล
2. ตรงตามพันธุ์
3. สด
4. สะอาด ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
5. ไม่มีรอยแตกที่เปลือก
6. ไม่มีศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อลักษณะภายนอกของผลทุเรียน
7. ไม่มีร่องรอยความเสียหายเนื่องมาจากศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อทุเรียน
8. ไม่มี ความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ และ/หรืออุณหภูมิสูง

9. ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม และ/หรือรสชาติที่ผิดปกติ

10. เมื่อผลทุเรียนสุก ไม่มีความผิดปกติของเนื้อ ได้แก่ แกน เต้าเผา ใส ซึ่ม ถ้ำมีอย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันต้องไม่เกิน 5% ของส่วนที่บริโภคได้

ที่สำคัญผลทุเรียนต้องแก่ได้ที่ขึ้นกับพันธุ์ ฤดูกาล และแหล่งที่ปลูก มีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวการบรรจุและการขนส่งอย่างระมัดระวัง เพื่อให้อยู่ในสภาพที่ยอมรับได้เมื่อถึงปลายทาง

นอกจากจะมีการนิยามถึงคุณภาพแล้ว ทางกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ยังได้มีการนิยามเรื่องขนาดของผลทุเรียนที่มีความเหมาะสมต่อการค้า โดยผลทุเรียนที่เป็นพันธุ์ทางการค้าทั่วไปต้องมีน้ำหนักต่อผล ดังนี้

1. พันธุ์ชะนี ไม่น้อยกว่า 1.5 kg (กิโลกรัม) และไม่มากกว่า 4.5 kg
2. พันธุ์หมอนทอง ไม่น้อยกว่า 1.5 kg และไม่มากกว่า 6 kg
3. พันธุ์ก้านยาว ไม่น้อยกว่า 1.5 kg และไม่มากกว่า 4 kg
4. พันธุ์กระดุมทอง ไม่น้อยกว่า 1.3 kg และไม่มากกว่า 4 kg

2.1.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพ

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพและขนาดที่ยอมรับให้มีได้ในแต่ละภาชนะบรรจุ สำหรับผลทุเรียนที่ไม่เป็นไปตามคุณภาพที่ระบุไว้ มีดังนี้

2.1.2.1 ชั้นพิเศษ (Extra Class)

ความคลาดเคลื่อนยอมรับให้มีได้ไม่เกิน 10% โดยจำนวนหรือน้ำหนักของผลทุเรียนที่มีคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นพิเศษ แต่เป็นไปตามคุณภาพชั้นที่หนึ่ง หรือคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคุณภาพชั้นหนึ่ง (ข้อ 2.1.2.2) ทั้งนี้ไม่ให้ความคลาดเคลื่อนของจำนวนพู

2.1.2.2 ชั้นหนึ่ง (Class I)

ความคลาดเคลื่อนยอมรับให้มีได้ไม่เกิน 10% โดยจำนวนหรือน้ำหนักของผลทุเรียนที่มีคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นหนึ่ง แต่เป็นไปตามคุณภาพชั้นสอง หรือคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคุณภาพชั้นสอง (ข้อ 2.1.2.3) ทั้งนี้ไม่ให้ความคลาดเคลื่อนของจำนวนพู

2.1.2.3 ชั้นสอง (Class II)

ความคลาดเคลื่อนยอมรับให้มีได้ไม่เกิน 10% โดยจำนวนหรือน้ำหนักของ

ผลทุเรียนที่มีคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดชั้นสอง หรือไม่ได้ตามข้อกำหนดขั้นต่ำ แต่ต้องไม่มีผลเน่าเสียหรือมีลักษณะอื่นที่ไม่เหมาะสมต่อการบริโภค

2.1.3 วิธีวิเคราะห์สำหรับผลทุเรียนที่แก่แล้ว

ในการค้าขายทุเรียนทั้งการค้าภายในประเทศและการส่งออกทุเรียนไปต่างประเทศนอกจากต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลทุเรียนแล้ว ยังต้องคำนึงถึงสิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งคือ ความแก่ของผลทุเรียนนั่นเอง โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวผลทุเรียนต้องทำการเก็บเกี่ยวในผลที่มีความแก่แล้วเท่านั้น เพราะถ้าทำการเก็บเกี่ยวสำหรับผลที่ยังอยู่ในระยะอ่อน ผลทุเรียนจะไม่สามารถเจริญเติบโตไปถึงระยะสุกงอมได้ นั่นเอง จากเหตุดังกล่าวจึงมีการกำหนดวิธีวิเคราะห์สำหรับผลทุเรียนที่แก่แล้วขึ้นมา ดังนี้

2.1.3.1 ตรวจสอบลักษณะภายนอกของผลทุเรียนแก่ได้ที่

1. ก้านผลแข็ง สีเข้ม เมื่อสัมผัสผิวก้านผลจะรู้สึกสากมือ บริเวณรอยต่อระหว่างก้านผล ซึ่งเรียกว่าปลิงจะบวมโต
2. ปลายหนามแห้ง มีสีน้ำตาล ร่องหนามห่าง เมื่อบีบปลายหนามเข้าหากันจะรู้สึกถึงความยืดหยุ่นมาก
3. สังเกตเห็นรอยแนวยาวบริเวณกลางพูได้ชัดเจน ยกเว้นพันธุ์ก้านยาว

2.1.3.2 ตรวจสอบลักษณะภายในของผลทุเรียนแก่ได้ที่ของแต่ละพันธุ์

1. กระดุมทอง : เนื้อมีสีเหลือง เมล็ดสีน้ำตาล โดยมีจำนวนวันสุกหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพธรรมชาติประมาณ 4-5 วัน
2. ชะนี: เนื้อมีสีเหลือง เมล็ดสีน้ำตาลปนครีม โดยมีจำนวนวันสุกหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพธรรมชาติประมาณ 4-5 วัน
3. หมอนทอง: เนื้อมีสีเหลืองอ่อน เมล็ดสีน้ำตาลปนครีม โดยมีจำนวนวันสุกหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพธรรมชาติประมาณ 6-9 วัน

2.1.3.3 คำนวณหาน้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียน

สำหรับค่าน้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียน เป็นค่าที่นำมาใช้เป็นเกณฑ์สำหรับ

จำแนกทุเรียนที่อยู่ในระยะอ่อน กับทุเรียนที่อยู่ในระยะแก่ออกจากกัน โดยผลทุเรียนที่มีค่าน้ำหนักเนื้อแห้งต่ำกว่าเกณฑ์จะถูกกำหนดให้อยู่ในระยะอ่อน ในทางตรงข้ามถ้ามีค่าน้ำหนักเนื้อแห้งสูงกว่าเกณฑ์จะถูกกำหนดให้อยู่ในระยะแก่ ในทุเรียนแต่ละสายพันธุ์จะมีเกณฑ์ที่ต่างกันไป ดังต่อไปนี้

1. กระจุมทอง: มีน้ำหนักเนื้อแห้งขั้นต่ำ 27%
2. ชะนี: มีน้ำหนักเนื้อแห้งขั้นต่ำ 30 %
3. หมอนทอง: มีน้ำหนักเนื้อแห้งขั้นต่ำ 32%
4. พวงมณี: มีน้ำหนักเนื้อแห้งขั้นต่ำ 30%

แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบค่าน้ำหนักเนื้อแห้งจำเป็นต้องเกิดการทำลายผลของทุเรียน หรือปอกเปลือกของทุเรียนเพื่อนำเนื้อมาอบเพื่อคำนวณค่า ซึ่งโดยลักษณะนิสัยของผู้บริโภคหรือผู้ซื้อ ไม่มีผู้บริโภคท่านใดต้องการซื้อผลที่ถูกทำลายแล้วกลับไปอย่างแน่นอน จึงทำให้เกิดการวิจัยทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเหล่านั้นกับระยะการเจริญเติบโตของผลหรือความแก่ของผลทุเรียน เพื่อนำสมบัติเหล่านั้นมาใช้เป็นตัวแปรในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายผล สมบัติที่ได้มีการนำมาวิจัยทดสอบมีอยู่หลายประเภท ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติเสียง สมบัติแสง สมบัติเชิงกล สมบัติทางสรีระวิทยา (Phothisonothai, 2010)

2.2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive)

เป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพและความสุก-แก่ของผลไม้ ข้อมูลที่ได้มาสามารถนำไปประเมินเพื่อใช้คัดเลือกผลไม้ได้ทั้งการซื้อขายและการส่งออกผลไม้ โดยการตรวจสอบจะไม่มีผลกระทบหรือเกิดความเสียหายต่อผล หรือคุณค่าของผลนั้นๆ ซึ่งมีหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้อยู่หลากหลายวิธี เช่น รังสี แสง คลื่นเสียง แม่เหล็กและไฟฟ้า เป็นต้น การทดสอบโดยไม่ทำลายในแต่ละวิธีมีข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบต่างกันไป เช่น ความสามารถในการทดสอบ ความเหมาะสม ความไวในการทดสอบและต้นทุนในการทดสอบที่แตกต่างกันไป (สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, 2552)

ในปัจจุบันเทคนิคที่ประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในทางการค้า โดยเฉพาะทางด้านการเกษตรคือ เทคนิคสเปคโตรสโคปี ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีพื้นฐานมาจากการตรวจวัดสมบัติที่เกี่ยวข้องกับพันธะในโมเลกุลที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรด จึงมีความสามารถในการวัดสมบัติทางเคมีของผลผลิตทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี (ศราวุธ ภูไพบจิตรกุล, 2551) นอกจากนี้ยังมีอยู่อีกหนึ่งเทคนิค ที่เรียกว่า เทคนิคการประมวลผลเชิงภาพถ่าย เทคนิคนี้ก็เป็นตรวจสอบแบบไม่ทำลายเช่นกัน วิธีการของเทคนิคนี้จะใช้การถ่ายภาพเป็นหลัก จากนั้นจะนำภาพถ่ายมา

วิเคราะห์เป็นตัวแปรเพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนาย หรือใช้ดูแนวโน้มของค่านั่นเอง เทคนิคการประมวลผลเชิงภาพถ่ายก็เป็นอีกเทคนิคที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันอย่างมาก (ไพโรจน์ คล้ายเพ็ชร, 2556)

2.2.1 เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible Infrared spectroscopy)

UV-VIS Spectrometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ โดยช่วง UV-VIS จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 190 - 780 นาโนเมตร การวิเคราะห์โดยใช้ UV-VIS spectrometer จะอาศัยหลักการพื้นฐาน คือเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV-VIS อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุล จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น เมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างได้รับพลังงานในช่วงคลื่นแสงที่ตรงกับ electronic transition ของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล พลังงานจะถูกดูดกลืนและอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลจะมี higher energy orbital

เครื่อง spectrometer จะทำการบันทึกความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืนแสงและปริมาณการดูดกลืนแสงในแต่ละความยาวคลื่นเอาไว้ เพื่อนำค่าที่บันทึกไว้ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrometer สามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง ทางด้านคุณภาพและปริมาณ โดย ความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสามารถใช้ในการแยกและระบุชนิดของสาร ในขณะที่ปริมาณการดูดกลืนแสง จะใช้ในการบอกปริมาณของสารที่นำมาวิเคราะห์

ความสัมพันธ์ของสีแต่ละสี กับค่าการดูดกลืนแสง สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงคุณภาพ และใช้ในการบ่งบอกอายุวันของผลผลิตทางการเกษตรได้ ด้วยการวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของสี ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลได้ (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2554) ความสัมพันธ์ของสีกับค่าการดูดกลืนแสงนั้น มีความสำคัญมาก โดยความสัมพันธ์ดังกล่าว จะแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 โดยมีนักวิจัยได้ใช้ spectrometer และสมบัติด้านสีเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตทางการเกษตรดังนี้

Jha (2007) ได้ทำการวิจัยโดยการใช้ spectrometer มาทำการวัดสีผิวเฉลี่ยและสเปกตรัมการสะท้อนแสงของมะม่วง โดยหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ความแน่นเนื้อของมะม่วง และทำการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ โดยใช้ค่า

สะท้อนระหว่าง 440 ถึง 480 นาโนเมตร ผลที่ได้คือสามารถที่จะพัฒนาโมเดลทำนายค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อของการเก็บเกี่ยวโดยใช้แสงสะท้อนสีเขียวส่วนหนึ่งของสเปกตรัมที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของสีและค่าการดูดกลืนแสง

Wavelength of absorbance maximum (nm)	Color Absorbed	Complementary color
<380	Ultraviolet	-
380 – 435	Violet	Yellow - Green
435 – 480	Blue	Yellow
490 – 500	Blue-green	Orange
500 – 560	Green	Purple
560 – 580	Yellow-green	Violet
580 – 595	Yellow	Blue
595 – 650	Orange	Green-blue
650 – 780	Red	Blue - Green
>780	Near-Infrared	-

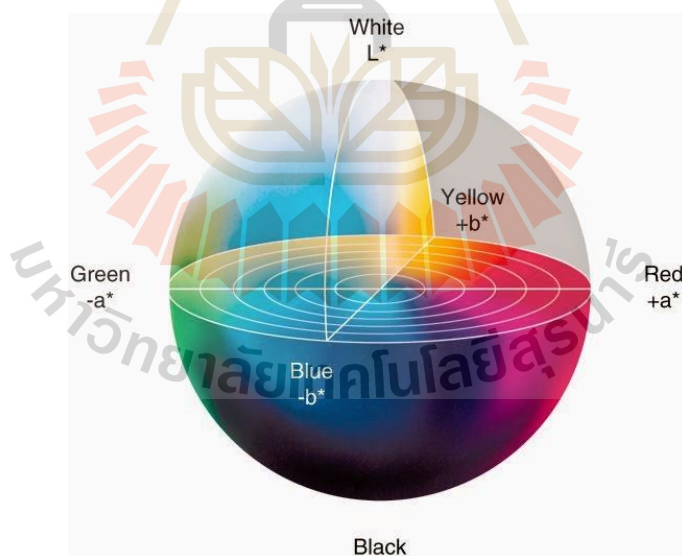
ที่มา : สุภาพร แสงศรีจันทร์(2558)

ศักยะ สมบัติไพรวิน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ กระวี ตรีอำนาจ (2555) ได้ทำวิจัยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพของมะม่วงหู้ดดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวด้วยการวัดค่าสี พร้อมทั้งทำการคัดแยกกระยะความสุขของมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าเมื่อผลมะม่วงมีการสุกเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้มีค่าลดลง ส่วนค่าปริมาณของแข็งที่

สามารถละลาย, ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าสีพบว่า ความสว่าง (L) มีความสว่างขึ้น ค่าสีเขียว – แดง (a) โน้มไปทางค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ค่าสีน้ำเงิน – เหลือง (b) โน้มไปทางค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นอนและเวลาในการเก็บรักษา สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงได้ 3 ระยะ คือ วันที่ 1 - 3 อยู่ในระยะเริ่มสุก วันที่ 4 - 7 อยู่ในระยะสุก และวันที่ 8 - 12 เป็นระยะสุกงอม

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน เทคนิค UV- VIS spectroscopy ได้ถูกนำไปใช้งานต่าง อย่างมากมายแพร่หลาย แม้ว่าทุกวันนี้ เครื่องมือที่นำเทคนิคนี้ไปใช้จะมีความแตกต่างจาก เครื่องมือตัวแรกเป็นอย่างมากแต่เครื่องมือเหล่านี้ ก็ยังคงทำงานอยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน คือ สมบัติในการดูดกลืนแสงของสาร เมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะ ไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า (Wang et al., 2015)

นอกจากนั้นแล้ว spectrometer ยังสามารถวัดค่าความเป็นสีได้ โดยแสดงออกมาเป็นตัวแปรของสีในหน่วย คือตัวแปร $L^* a^* b^*$ ซึ่งตัวแปรค่าสีแต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 2.2



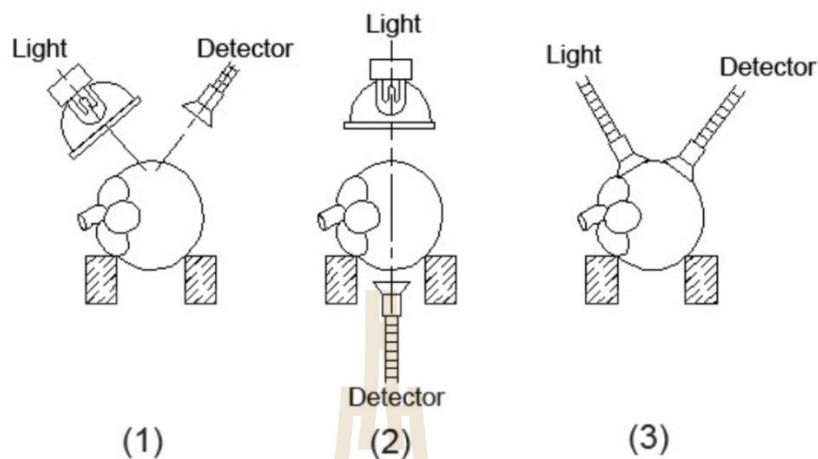
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรค่าสี $L^* a^* b^*$

ที่มา : Aurelio Mahiques Cuesta (2016)

2.2.1.1 รูปแบบที่วัดภูมิปฏิกิริยาต่อแสงอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี

เมื่อเครื่องฉายแสงผ่านลงมา ตัวอย่างจะเกิดการกระทำกับสารได้หลาย

รูปแบบ ดังนั้นการจัดวางตัวอย่างในการใช้เทคนิคอินฟราเรด เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมี จะมีอยู่หลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.3 ได้แก่



รูปที่ 2.3 (1) Reflectance, (2) transmittance, (3) interactance

ที่มา : อาทิตย์ จันทรหิรัญ และ คณะ (2551)

1. Reflectance แสดงจะตกกระทบที่ผิวของตัวอย่างและแพร่กระจายในปริมาณหนึ่งก่อนวัดปริมาณแสงสะท้อนกลับออกมาโดย detector
2. Transmittance แสดงจะตกกระทบตัวอย่างด้านหนึ่งโดยที่ detector จะวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาจากตัวอย่างในด้านตรงกันข้าม
3. Interactance กระบวนการนี้เกิดในกรณีที่ใช้หัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optics probe) แสงจะออกมาจากส่วนวงแหวนด้านนอกของหัววัดมาตกกระทบตัวอย่าง และแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างจะถูกส่งไปยังที่ detector บริเวณส่วนกลางของใยแก้วนำ

ในการวัดค่าส่วนใหญ่นิยมใช้รูปแบบการวัด Reflectance วัดค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมาเปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่ส่องเข้าไป และรูปแบบ Transmittance ที่วัดความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่ส่องเข้าไป ซึ่งรูปแบบในการวัดทั้ง 2 รูปแบบนั้น มีประสิทธิภาพเหมือนกัน แต่การเลือกรูปแบบในการวัดและช่วงของสเปกตรัมที่ใช้งานให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ

สิรินาถ น้อยพิทักษ์, อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล และ กฤษณา กฤษณพุกต์ (2555) ได้ทำการวิจัยการใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีในการประเมินความฝาดของพลับพันธ์ P2 แบบไม่ทำลายผล งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่อง Spectrophotometer 2 ชนิด ที่มีโหมดการวัดแบบส่องผ่าน (Transmission) และแบบอินเตอร์แอคแตนซ์ (Interactance) เพื่อประเมินค่าความฝาดในผลพลับ โดยวิเคราะห์สร้างสมการทำนายเชิงปริมาณด้วยวิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) พบว่า โหมดการวัดแบบ Interactance มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมกับการทำนายค่าความฝาดในผลพลับมากกว่าเครื่อง NIR แบบ Transmission โดยให้ค่า R สูงสุดเท่ากับ 0.95 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.17 เนื่องจากแทนนิน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดความฝาดในผลพลับส่วนใหญ่จะมีการกระจายตัวใกล้เคียงเปลือก ทำให้ข้อมูลสเปกตรัมจากการวัดแบบ Interactance มีความเหมาะสมมากกว่าแบบ Transmission ที่มีข้อมูลสเปกตรัมของเนื้อผลส่วนอื่นที่อาจไม่มีแทนนิน ด้วย

2.2.2 เทคนิคกระบวนการวิเคราะห์ผลเชิงภาพถ่าย (Image analysis)

การวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย เป็นการนำข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลมาผ่านการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆของภาพ ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติของภาพด้วยการประมวลผลทางภาพถ่าย ซึ่งขั้นตอนการประมวลผลมีหลายขั้นตอน เช่น การปรับปรุงภาพ และการแยกภาพ เป็นต้น จากนั้นนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ และเมื่อผ่านการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์จะได้ผลออกมาในรูปแบบตัวแปรทางสถิติ เทคนิคนี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์คุณภาพระหว่างการผลิตแบบต่อเนื่องได้ เนื่องจากเมื่อทำการพัฒนาเทคนิคนี้จนมีประสิทธิภาพมากพอ เทคนิคนี้จะมีความรวดเร็วในการตรวจสอบมาก

การมองเห็นของมนุษย์ต่อวัตถุที่มีสีนั้น จะเป็นการมองเห็นที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นถ้าวัตถุที่มีสีที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ การวัดสีจะบอกลักษณะของสี ให้เป็นที่เข้าใจในระดับสากลได้ ซึ่งมีหลายวิธีแต่ระบบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ ระบบ Munsell และ ระบบ CIE โดยความแตกต่างระหว่างระบบทั้ง 2 ที่กล่าวมาคือ ระบบ Munsell จะเป็นระบบการวัดสีโดยอาศัยการดูหรืออาศัยสมบัติการมองเห็นสี คือ ความสว่าง และความอิ่มตัวของแสง ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ ความคิดของมนุษย์ในการวัดสี ส่วนในระบบ CIE เป็นระบบการวัดสีในรูปของวัตถุแบบไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสี โดยจะทำการกำหนดตัวแปรของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน พร้อมฟังก์ชันที่ใช้ปรับค่าสี อย่างไรก็ตาม การวัดค่าสีแต่ละครั้งจะเกิดผลกระทบจากความสว่างของแสง รวมทั้งการสะท้อนของแสง จึงต้องมีการแก้ปัญหาในส่วนนี้ CIE จึงให้นิยามคุณสมบัติความยาวคลื่นของความสว่างมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจงด้วยอนุกรมมิติ โดยทั่วไปจะ

มีแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน คือ D65 ค่าที่แสดงออกมาจะเป็นค่าเฉลี่ยของแสงตอนกลางวัน นอกจากนั้น CIE ยังได้กำหนดลักษณะของแบบจำลองสีไว้ 2 แบบ ที่ไม่ขึ้นอยู่กับสิ่งกำเนิดแสงสว่าง คือระบบ $L^* a^* b^*$ (CIELAB) และระบบ $L^* u^* v^*$ (CIELUV)

ในเรื่องของการถ่ายภาพระบบการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายนี้ถูกพัฒนาเพื่อตอบสนองต่อเซลล์รับภาพที่มีความละเอียดต่ำ ซึ่งพื้นฐานของระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายจะประกอบไปด้วย กล้องดิจิทัล แหล่งกำเนิดแสง และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ภาพ

2.2.2.1 การประมวลผลภาพ

ขั้นตอนการประมวลผลภาพ นำภาพถ่ายที่เรียนที่ได้มาวิเคราะห์เป็นค่าสีในหน่วย RGB ด้วยโปรแกรม ImageJ จากนั้นแปลงหน่วยสีจาก RGB เป็น $L^* a^* b^*$ ในขั้นตอนของกระบวนการแปลงหน่วยสีทำการอ้างอิงจากวิธีมาตรฐานของ CIE (1995) โดยเริ่มจากแปลงค่า RGB ให้เป็น sRGB (standard RGB) ขั้นตอนแรกนำค่า RGB ไปหารด้วย 255 โดยจะได้เป็นค่า NR, NG และ NB เพื่อปรับให้เป็นพื้นฐาน จากนั้นทำการคำนวณค่า sRGB ด้วยสมการ (2.1)-(2.3)

$$r = \begin{cases} [(NR + 0.055) / 1.005]^{2.4}, NR > 0.04045 \\ NR / 12.92, NR \leq 0.04045 \end{cases} \quad (2.1)$$

$$g = \begin{cases} [(NG + 0.055) / 1.005]^{2.4}, NG > 0.04045 \\ NG / 12.92, NG \leq 0.04045 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$b = \begin{cases} [(NB + 0.055) / 1.005]^{2.4}, NB > 0.04045 \\ NB / 12.92, NB \leq 0.04045 \end{cases} \quad (2.3)$$

โดย NR , NG และ NB คือ ค่า RGB ที่ปรับค่าแล้ว ส่วนค่า r , g และ b คือค่า sRGB จากนั้นนำ sRGB ที่ได้ไปคำนวณเพื่อแปลงค่าให้เข้าสู่ปริภูมิสี XYZ ด้วยสมการ(2.4)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

จากนั้นนำค่า XYZ ไปหารด้วย $X_n Y_n Z_n$ โดยที่ค่า X_n, Y_n และ Z_n คือค่า tri-stimulus อ้างอิงของวัตถุสีขาวตามมาตรฐานของ CIE สำหรับแสง D65, 2° โดยค่า $X_n = 95.047, Y_n = 100$ และ $Z_n = 108.883$ จากนั้นคำนวณค่า $L^*a^*b^*$ ตามสมการ(2.5) - (2.10)

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \begin{cases} 7.787x + \frac{16}{116}, & x \leq 0.008856 \\ x^{1/3}, & x > 0.008856 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \begin{cases} 7.787y + \frac{16}{116}, & y \leq 0.008856 \\ y^{1/3}, & y > 0.008856 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \begin{cases} 7.787z + \frac{16}{116}, & z \leq 0.008856 \\ z^{1/3}, & z > 0.008856 \end{cases} \quad (2.7)$$

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (2.8)$$

$$a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (2.9)$$

$$b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (2.10)$$

นอกจากนี้ยังได้ทำการคำนวณค่าความต่างของสี (DELTA E) ระหว่างสี 2 สีที่ต้องการทราบถึงความแตกต่าง ทำการคำนวณดังสมการ (2.11)

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (2.11)$$

โดยที่ ΔE = ความต่างของสีระหว่างสีทั้งสองสี

L_1^*, a_1^*, b_1^* = ค่าสีในหน่วย CLELAB ในตำแหน่งที่ 1 (ค่าที่ 1)

L_2^*, a_2^*, b_2^* = ค่าสีในหน่วย CLELAB ในตำแหน่งที่ 2 (ค่าที่ 2)

เมื่อคำนวณค่าตามสมการ (2.8) - (2.10) เสร็จสิ้น จะได้เป็นค่าตัวแปรทางสถิติ L^* a^* b^* ออกมาเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ในปัจจุบันมีการนำเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายมาใช้กับงานตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตและชิ้นงานอยู่บ้าง เนื่องจากเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายนั้น สามารถทำการตรวจสอบผลผลิตแบบไม่มีการทำลายได้ และยังมีความเร็วในการตรวจสอบมาก ซึ่งในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการประมวลผลภาพถ่าย ยกตัวอย่างงานวิจัยที่นำวิธีนี้มาใช้

ศศิภา เต็กอวยพร (2554) ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบด้วยระบบการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย ซึ่งงานวิจัยนี้ พบว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกคุณภาพของขนมปังกรอบได้ โดยสามารถแบ่งคุณภาพของขนมปังกรอบได้ออกเป็น 5 เกรดที่มีความแตกต่างกัน โดยมีความถูกต้องของผลการคัดเลือกที่อยู่ในเกณฑ์ดี จะเห็นได้ว่าผลที่ได้บ่งบอกว่าเทคนิคเหล่านี้สามารถนำมาใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

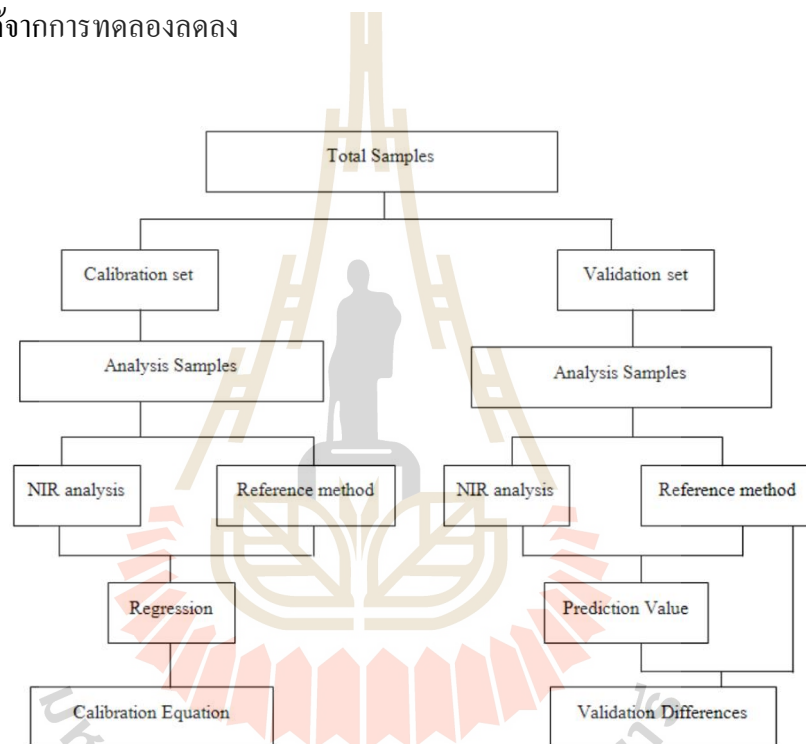
สุวรรณ เอกรัมย์, จินตพร กลิ่นสุข, ศุมาพร เกษมสำราญ และ วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน (2559) ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิคการวัดสี โดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางการประมวลผลภาพเพื่อใช้วัดสีซึ่งเทคนิคดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาเพื่อการวัดสีแบบเวลาจริงได้ โดยทำการประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าวเพื่อวัดสีผลผลิตทางการเกษตร โดยใช้ฝักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 15 ตัวอย่างเป็นตัวอย่งทดสอบ ทำการวัดสีเทียบกับเครื่องวัดสี HunterLab รุ่น ColorQuest XE ผลที่ได้พบว่าค่า L^* , a^* และ b^* จากการวัดสีด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพมีค่าคลาดเคลื่อนจากเครื่องวัดสี HunterLab น้อยต่ำกว่า $\pm 3\%$ ผลที่ได้บ่งชี้ได้ว่าการประมวลผลภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัดสีผลผลิตทางการเกษตรและอาหารได้

2.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการสร้างสมการทำนาย และ ขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องของสมการ การสร้างสมการทำนายเพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ทำนายค่าสมบัติและคุณภาพต่างๆ ของผลผลิตทางการเกษตรนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ Calibration มาตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการ

ทำนายค่าคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้ เรียกว่า การทำ Validation เพื่อทดสอบสมการที่สร้างว่ามีความแม่นยำเพียงพอหรือไม่เมื่อทำการทดสอบแล้วจึงนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 2.4

การสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาสร้างสมการที่ใช้ทำนายก็เป็นเรื่องที่สำคัญมากนัก เพราะในการสุ่มตัวอย่างจะต้องมีความครอบคลุมในผลทั้งหมด โดยจะต้องมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอนาคตด้วย ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีจะต้องมีค่าครอบคลุมปริมาณทั้งต่ำสุดและสูงสุดของตัวอย่าง ถ้าการสุ่มตัวอย่างทำได้ครอบคลุมทั้งค่าสูงสุดและต่ำสุด จะทำให้ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดลองลดลง



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสเปกโตรสโคปีเพื่อพัฒนาสมการทำนาย
ที่มา : Kawano (2002)

2.3.1 การสร้างสมการ Calibration

การหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์คุณภาพ มีวิธีการหา: วิธีหลักคือ

2.3.1.1 Wavelength selection

เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเฉพาะความยาวคลื่น ที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่จะทำการวิเคราะห์เทคนิคในการคัดเลือกมีหลายแบบเช่น

1) เลือกจากความชำนาญหรือเอกสารอ้างอิง ที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่นที่คาดว่า น่าจะสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์

2) ใช้สถิติในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กันเช่น Multiple regression หรือการสร้าง correlogram เป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X คือความยาวคลื่น กับ แกน Y คือค่า correlation อย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่าง optical data ณ ความยาวคลื่นนั้น กับค่าวิเคราะห์ที่หามาได้ด้วยวิธี reference measurement ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยสามารถคัดเลือกความยาวคลื่นที่มีความเป็นไปได้ที่จะสัมพันธ์กับค่าที่วิเคราะห์

วิธีการสร้างสมการ Calibration แบบ Wavelength selection อาศัยหลัก และวิธีการทางสถิติมาช่วยในการสร้างสมการ เช่น Simple linear regression, Multiple linear regression เป็นต้นแต่การเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากความยาวคลื่นทั้งหมด ไม่ใช่เรื่องง่าย และ อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ ค่าข้อมูลที่ไม่ถูกต้องอาจเกิดปัญหาทำให้ได้ค่าทำนายที่ต่ำกว่า หรือสูงกว่า ค่าที่แท้จริงอันเนื่องมาจากความผิดพลาดจากการสร้างสมการ หรือเกิดปัญหาเมื่อจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการน้อย และทำให้ได้สมการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการทำให้ได้ ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

2.3.1.2 Full spectrum analysis

การใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีในทุกความยาวคลื่น เป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วย แก้ไขปัญหาดังกล่าวมาข้างต้น อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาอยู่บ้างคือ การที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปการใช้วิธี ทางสถิติ ในการจัดกลุ่มแยกประเภทตัวแปร ที่มีความเกี่ยวข้องกัน และทำการสร้างตัวแปรใหม่ที่ อาจเกิดขึ้นมาจากตัวแปรเดิม จะช่วยให้ปัญหาต่างๆ ได้ วิธีการทางสถิติที่นิยม ใช้ คือ Principle Components Regression (CR), Partial Least Square Regression (PLLSR) เป็นต้น

2.3.2 การทำ Validation

หลังจากที่ได้สร้างสมการแล้ว ต้องมีการทดสอบความประสิทธิผลของสมการนั้น ก่อน นำไปใช้งานจริง ซึ่งการทดสอบสมการที่นิยม มีดังนี้ คือ

2.3.2.1 Leave-one-out Classification

เป็นวิธีวิเคราะห์เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจัดกลุ่ม มีวิธีการ คือ จากตัวอย่าง 1 ชุดขนาด n ตัวอย่าง ให้ใช้ข้อมูล 1 - 1 ตัวอย่าง ในการสร้างฟังก์ชันจำแนกกลุ่ม ส่วนตัวอย่างที่เหลือ 1 ตัวอย่างไว้ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องในการจัดกลุ่ม มีขั้นตอน ดังนี้

1) การคำนวณครั้งที่ 1 จะใช้ข้อมูลตัวอย่างที่ 2 - n ในการสร้างฟังก์ชัน

จำแนกกลุ่ม และใช้ตัวอย่างที่ 1 ในการตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์กลุ่ม

2) การคำนวณครั้งที่ 2 จะใช้ข้อมูลตัวอย่างที่ 1 และ 3 - n ในการสร้างฟังก์ชัน จำแนกกลุ่ม และใช้ตัวอย่างที่ 2 ในการตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์กลุ่ม

3) การคำนวณครั้งที่ n จะใช้ข้อมูลตัวอย่างที่ 1 และ n - 1 ในการสร้างฟังก์ชัน จำแนกกลุ่มและใช้ตัวอย่างที่ n ในการตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์กลุ่มจึงต้องมีการ คำนวณทั้งหมด n ครั้ง แล้วจึงจะคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจัดกลุ่มในการพิจารณาว่า ตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มมากหรือน้อยอย่างไร โดยจะพิจารณาจากค่า สัมประสิทธิ์ที่ได้ในสมการที่อยู่ในรูปที่ปรับแล้ว (Standardized canonical discriminant function Coefficient)

2.3.2.2 Full cross validation

เป็นการทดสอบสมการภายใน ความหมายคือ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ ก็คือ ตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมด ที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีนั่นเอง มีขั้นตอนดังนี้

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

2.3.3 การวิเคราะห์ Discriminant Analysis

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาทั้งหมด จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย วิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) เป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการจำแนกประชากรหรือค่าตัวแปรทั้งหมดออกเป็นกลุ่มๆ โดยทำการทดสอบว่า ตัวแปรอิสระต่างๆ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากเพียงพอที่จะสามารถจำแนกประชากรออกเป็นกลุ่มๆ ได้หรือไม่ ซึ่งถ้าตัวแปรอิสระหรือตัวแปรจำแนก มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือตัวแปรจำแนกกลุ่มประชากรในแต่ละกลุ่มจะมีคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการเป็นสมาชิกของกลุ่ม (เพ็ญแข แสงแก้ว, 2554) โดยทั่วไปการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Discriminant Analysis เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์จำแนกกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ด้วยการวิเคราะห์จากตัวแปรตาม 1 ตัว และตัว

แปรอิสระตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้นอกจากจะสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้แล้ว ยังสามารถบอกธรรมชาติบางอย่างของการจำแนกกลุ่มได้ด้วย เช่น บอกได้ว่าตัวแปรใดจำแนกได้ดีมากน้อยกว่ากัน นั่นคือ สามารถบอกประสิทธิภาพ หรือน้ำหนักในการจำแนกของตัวแปรเหล่านั้น การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเป็นการใช้ตัวแปรพยากรณ์หรือตัวแปรอิสระที่รวมกันพยากรณ์ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติที่คล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

ในการวิเคราะห์ จำแนกประเภทนอกจากจะทำให้ได้สมการจำแนกประเภทที่ประกอบด้วยตัวแปรอิสระที่สามารถ นำมาแบ่งกลุ่มของตัวแปรตามได้แล้วยังทำให้เราทราบว่า ตัวแปรอิสระตัวใดที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากที่สุด อีกทั้งจะทำให้เราประเมินได้ว่า สมการจำแนกประเภทที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถ จำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละเท่าใด ผลจากการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะให้สมการที่นำมาใช้ในการทำนายการเป็นสมาชิกของกลุ่ม สมการที่ได้นี้เราเรียกว่า สมการจำแนกประเภท (Discriminant function) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่ได้ในสมการจำแนกประเภทนี้จะทำให้เราทราบถึงน้ำหนัก ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระต่างๆ กับการเป็นสมาชิกของกลุ่ม การวิเคราะห์ที่ใช้สำหรับการจำแนกเป็นวิธีทางสถิติในการนำตัวแปรหลายๆ ตัวมาพิจารณา แล้วจัดสร้างเป็นสมการของกลุ่มตัว แทนที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้สำหรับการพิจารณา จากนั้นนำสมการที่ได้ไปใช้ในการทำนายเพื่อการจำแนก เรียกว่า Fisher's Discriminant Analysis หรือ Linear Discriminant Analysis โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อคัดแยกกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มหรือมากกว่า
2. เพื่อกำหนดเป็นกลุ่มโดยอาศัยความสัมพันธ์ของตัวแปรหลายๆ ตัวแปร
3. เพื่อหาตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดในการคัดแยก

การวิเคราะห์สำหรับการคัดแยกจะกระทำได้อีกหลังจากได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในกลุ่ม เสียก่อนดังนี้

4. หากคุณสมบัติหลักเพื่อสร้างเป็นสมการที่เป็นตัวแทนของกลุ่ม
5. ใช้สมการที่เป็นตัวแทนของกลุ่มดังกล่าวในการจำแนกหรือคัดแยก

ขั้นตอนของการจำแนกกลุ่มจะต้องทราบจำนวนกลุ่มหลังจากนั้นให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะมีผลหรือมีอิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่ม
2. เลือกตัวอย่างแต่ละกลุ่มเพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่ม

3. เก็บรวบรวมข้อมูลของตัวแปรอิสระที่เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1
4. สร้างเกณฑ์หรือสร้างสมการจำแนกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่เก็บจากขั้นที่ 2 และ 3 สำหรับ สมการที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มจะอยู่ในรูปเชิงเส้น ดังนี้

$$D = W_{1Z_1} + W_{2Z_2} + W_{3Z_3} + \dots + W_{iZ_i} \quad (2.12)$$

เมื่อ D คือตัวแปรตามหรือเรียกว่า Discriminant score
 W_i คือค่าสัมประสิทธิ์ของสมการจำแนกกลุ่ม
 Z_i คือตัวแปรอิสระหรือเรียกว่า ตัวแปรจำแนกกลุ่ม

5. นำเกณฑ์หรือฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่ได้ในขั้นตอนที่ 4 มาทำนายกลุ่มของตัวอย่างที่เข้า มาใหม่

2.3.4 การวิเคราะห์ Multiple Regression

การวิเคราะห์ Multiple Regression มีวิธีวิเคราะห์ดังนี้

2.3.4.1 Enter Method เป็นการนำตัวแปรทั้งหมดทุกตัวเข้าในสมการ (Fit Model)

แล้วพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ต่อไป

2.3.4.2 การวิเคราะห์ Regression โดยทำการพิจารณาตัวแปรอิสระบางตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม หรือ เป็นการหาสมการที่เหมาะสม โดยมีวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ ดังนี้

2.3.4.2.1 Forward Method เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเฉพาะที่

มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุด เข้ามาในสมการก่อนแล้ว Fit สมการและทำการวิเคราะห์สมการ โดยใช้ Overall F-Test จาก Model สมการที่ fit ในขั้นตอนนั้น และวิเคราะห์ partial t-test จากตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการทุกตัว และทำการวิเคราะห์ตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการทุกตัวและตัวแปรอิสระที่อยู่นอกสมการที่เหลืออีก 1 ตัว เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระที่อยู่ภายนอกสมการที่ดีที่สุดเข้าในสมการ โดยพิจารณาค่า Maximum Partial t-test หรือ Minimum P-value (เฉพาะ $p < 0.05$) ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป จนไม่มีตัวแปรอิสระที่สำคัญต่อตัวแปรตาม ($p > 0.05$) จะหยุดทำ และดูสมการครั้งสุดท้าย ใช้สมการนั้น

2.3.4.2.2 Backward method เป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีทั้งหมดให้

เข้ามาในสมการแล้วตัด ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อตัวแปร Y น้อยที่สุดออกจากสมการ (เฉพาะ $p > 0.05$ เท่านั้น) แล้ว Fit สมการใหม่ แล้วตัดตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ต่อ Y น้อยที่สุดออกจากสมการเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป จนเหลือแต่ตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการมีค่า Partial t-test $p\text{-value} < 0.05$ ทุกตัว

2.3.4.2.3 Stepwise method เป็นการผสมผสานระหว่าง Forward

และ Backward method โดยพิจารณาตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ต่อ Y มากที่สุดเข้ามาในสมการ พิจารณาจาก Simple Correlation ระหว่างตัวแปรอิสระกับ Y มากที่สุดเข้ามาในสมการ พิจารณาจาก Simple Correlation ระหว่างตัวแปรอิสระกับ Y ที่สูงที่สุด ทำการ Fit Model แล้วทำการคัดเลือก ตัวแปรอิสระใหม่เข้ามาในสมการอีก (เหมือนกับ Forward Method) ในการวิเคราะห์ Model แต่ละครั้ง ถ้าพบว่ามีตัวแปรที่คัดเลือกมาในสมการไม่มีความสัมพันธ์ต่อ Y (ดูจาก Partial t-test) ตัวแปรอิสระนั้นจะถูกตัดออกจากสมการ

2.4 เทคนิคทางสถิติที่นำมาปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

ปัจจัยภายนอกต่างๆ มีผลต่อสเปกตรัมเป็นอย่างมาก ซึ่งจะส่งผลให้สเปกตรัมเกิดความกระเจิงและมีความคลาดเคลื่อนมาก จากเหตุดังกล่าว จึงนิยมที่จะมีการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ วิธีการที่ใช้ปรับแต่งสเปกตรัมมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

2.4.1 วิธีทางอนุพันธ์ (Derivative)

เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัม เพื่อแก้ปัญหาฟิสิกที่มีฐานกว้าง เนื่องจากการซ้อนทับกันของพีค และอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัมที่เกิดจากการกระเจิงแสง เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสงเปลี่ยนทิศทางซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ การอัดตัว และการกระจายตัวของตัวอย่างภายในเซลล์บรรจุที่แตกต่างกัน รวมทั้งความชันภายในตัวอย่าง ที่แตกต่างกันด้วย

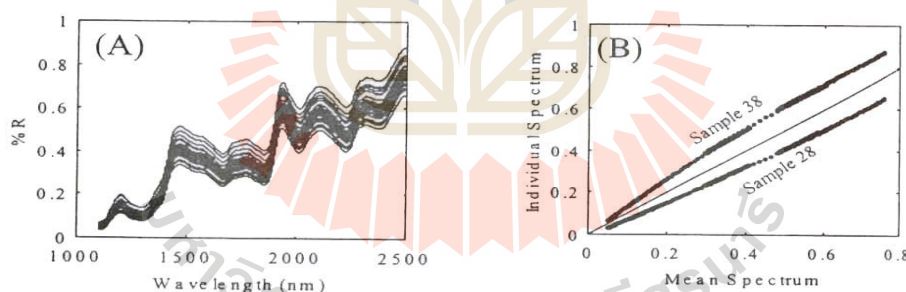
2.4.1.1 First derivative เป็นการหาความชันของสเปกตรัมซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือการเลื่อนตัวของสเปกตรัมแกน Y เนื่องจากอิทธิพลของความชันและขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน การทำ First derivative ทำให้การแปลความหมายยากดังนั้นจึงนิยมใช้ Second derivative มากกว่า First derivative

2.4.1.2 Second derivative การใช้ Second derivative จะเป็นการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสเปกตรัมที่ได้จะมีรูปร่างที่แตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้น การหาการเปลี่ยนแปลงของความชันสามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ สเปกตรัมที่ผ่านการ

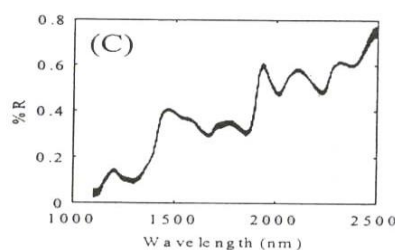
ปรับแต่งด้วยวิธี Second derivative ที่ได้จะมีจุดยอดที่เป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ตรงด้านซ้ายที่มีค่ามากที่สุดและตรงกับจุดยอดเริ่มต้น การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Second derivative จึงเป็นที่นิยมมากกว่าวิธี First derivative (อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล, 2545)

2.4.2 Multiplicative scatter correction (MSC)

วิธีการของ MSC เป็นการทำการหามุมสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย มีขั้นตอนคือในแต่ละตัวอย่างต้องหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาลบออกจากสเปกตรัมเพื่อลดผลที่เกิดจากการเลือนตัวของสเปกตรัม และต้องหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาหาร ค่า $\log(1/R)$ ของทุกๆจุดเพื่อปรับความชันของสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป ดังนั้น ได้มีการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC มาปรับแต่งสเปกตรัม เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสง ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดค่าผิดพลาด ในการปรับค่าสเปกตรัมด้วยวิธี MSC จะส่งผลให้ค่าที่ได้เมื่อผ่านกระบวนการปรับแต่งแล้ว มีการบีบให้สเปกตรัมเข้าสู่ค่ากลางมากที่สุด เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล (อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล, 2545) ดังรูปที่ 2.5



(A) สเปกตรัมก่อนปรับแต่ง (B) การพลอตระหว่างสเปกตรัมตัวอย่างกับสเปกตรัมเฉลี่ย



(C) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC

รูปที่ 2.5 การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative scatter correction

ที่มา: อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล (2545)

จากเทคนิคทางสถิติที่นำมาปรับแต่งข้อมูลจะเห็นได้ว่าแต่ละเทคนิคก็มีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไป จึงได้มีการค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องเทคนิคที่ใช้ปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ พบว่ามีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นถึงความแม่นยำของสมการทำนายที่พัฒนาโดยเทคนิคเหล่านี้

อารีรัตน์ อัมศิลป์, ปิยรัตน์ สิริชัยกิจ และ รจนา ประสิทธิ์ (2555) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากพันธุ์อื่น ๆ ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปี โดยทำการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีมาสร้างสมการสำหรับทำนายการจำแนกกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากกลุ่มข้าวปริมาณอะมิโลสต่ำปานกลาง และสูงด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด พบว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถจำแนกสเปกตรัมข้าวกล้องที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มปริมาณอะมิโลสต่ำ ปานกลาง และสูง พบว่าสมการทำนายที่พัฒนาโดยวิธี Multiplicative scatter correction มีความแม่นยำมากกว่าเทคนิค Standard normal variate

อาทิตย์ จันท์หิรัญ, วารุณี ธนะแพสย์, สุมาพร เกษมสำราญ และ สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ (2551) ได้ทำการวิจัยโดยการใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นสำหรับการหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุด โดยการวัดตัวอย่างแบบใช้วิธีทะลุผ่านในช่วงความยาวคลื่น 650 - 955 นาโนเมตร จากการวัดตัวอย่างผลมังคุด 200 ลูก ได้สเปกตรัมและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%Brix) จากนั้นทำการสร้างสมการทดสอบ แล้วทำการประเมินความแม่นยำของสมการทดสอบที่สร้างขึ้นมา พบว่า สมการทำนายที่พัฒนาโดยวิธี Multiplicative scatter correction มีความแม่นยำมากกว่าเทคนิควิธีทางอนุพันธ์

2.5 ความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคทางสเปกโตรสโคปีมาใช้กับทุเรียน

ในปัจจุบันนี้มีการนำเทคนิค NIRS และ VIS มาใช้กับงานตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตเกษตรอยู่มาก เนื่องจากทั้งเทคนิค NIRS และ VIS นั้น สามารถทำการตรวจสอบผลผลิต แบบไม่มีการทำลายให้ผลเสียหายได้ และยังมีความเร็วในการตรวจที่สูงมาก ซึ่งในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวกับเทคนิค NIRS และ VIS อยู่เป็นจำนวนมาก โดย Timkhun and Terdwongworakul (2012) ได้ทำการวิจัยพัฒนาเทคนิคในการจำแนกระยะความแก่ของทุเรียน โดยใช้เทคนิค VIS เข้ามาช่วยตรวจสอบ พบว่าสามารถพัฒนาโมเดลทำนายที่มีความแม่นยำในการจำแนกที่สูงถึง 94.7% ซึ่งจากผลที่ได้บ่งชี้ให้เห็นว่าเทคนิคเหล่านี้สามารถนำมาใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

ชนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง และ วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน (2555) ได้ทำการวิจัยโดยใช้วิธีสเปกโตรสโคปีมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของข้าวหอมมะลิและข้าวปทุมธานี 1 งานวิจัย

นี้จะมุ่งศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ในการจำแนกความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยจะวิเคราะห์ที่ช่วงความยาวคลื่น $850 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ พบว่าสเปกตรัมของผลตอบสนองตลอดความยาวคลื่นมีความแตกต่างกันระหว่างข้าวสองสายพันธุ์ที่ช่วงความยาวคลื่น $3000 - 3050 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งช่วงค่าดังกล่าวแสดงโครงสร้างทางเคมีในกลุ่มอะโรมาติก และ C-H ซึ่งในกรณีนี้อาจบ่งชี้ถึง 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งเป็นสารระเหยที่ให้ความหอมในข้าวหอมมะลิ ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้าวสองสายพันธุ์ด้วยย่านสเปกตรัมนี้ยืนยันความถูกต้อง โดยใช้เทคนิค Cluster Analysis โดยจากการตรวจสอบแล้วสามารถยืนยันได้ว่าวิธีนี้มีความแม่นยำที่สูง

ณัชชา ชัยพันธ์วิริยาพร, คนัย บุญเกียรติ, พิเชษฐ์ น้อยมณี และ ปาริชาติ เทียนจุมพล (2555) ได้ทำการวิจัยใช้วิธีทางสเปกโตรสโกปีมาใช้ในการตรวจสอบอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด โดยช่วงคลื่นที่ใช้วิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 700 – 1100 นาโนเมตร โดยจะประเมินระดับความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และเปอร์เซ็นต์การร่วนไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ แล้วจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมกับเปอร์เซ็นต์การร่วนไหลของสารอิเล็กโทรไลต์บริเวณแก้มผล (ปอกเปลือก) ด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) เพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐาน พบว่า สมการเทียบมาตรฐานอาการไส้สีน้ำตาล แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (SEC) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (SEP) และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (bias) เท่ากับ 0.81, 8.48, 8.96 และ -2.24% ตามลำดับ ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ในการตรวจหาอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าเทคนิคทางสเปกโตรสโกปี มีความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพที่ดีมาก และสามารถนำมาใช้ได้จริงในการตรวจสอบ ในผลไม้ชนิดต่างๆ หลายชนิด ซึ่งทุเรียนก็เป็นหนึ่งในผลไม้ที่มีความน่าสนใจในการนำมาตรวจสอบเช่นกัน เหตุเพราะทุเรียนก็สามารถที่จะทำการวัดค่าคุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางชีวภาพได้เหมือนกับผลไม้ชนิดอื่น เพื่อนำคุณสมบัติต่างๆที่วัดได้มาใช้ในการสร้างสมการทำนาย

การจำแนกช่วงอายุของทุเรียน โดยเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านแสงที่มองเห็นได้ จะใช้หลักการวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ช่วงความยาวคลื่น ด้วยชุดเครื่องมือวัดค่าการดูดกลืนแสงมาทำการวัดที่ตำแหน่งกลางพูอก และพูรอง ของทุเรียนในแต่ละผล และนำค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ได้ มาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับค่าตัวแปรสำคัญทางคุณภาพ ในช่วงอายุความสุก-แก่ของทุเรียนแต่ละช่วง เพื่อนำมาสร้างสมการที่ใช้ทำนายช่วงอายุของทุเรียนนั่นเอง ส่วนเทคนิคการวัดสีด้วยการดูดกลืนแสง จะทำการวัดด้วยหลักการเช่นเดียวกับเทคนิค

สเปกโตรสโคปีช่วงแสงที่มองเห็นได้ แต่ค่าที่ได้จะแสดงออกมาเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงความเป็นสีต่างๆ ตามระบบสี Hunter Lab และ CIE LAB ในกระบวนการวัดจะเลือกวัดสีเปลือกและสีเนื้อที่พวอก พวละ 3 ตำแหน่ง ทำการอ่านและบันทึกค่าที่ได้แบบ (L^* , a^* , b^*) โดยค่าที่ได้จะแสดงออกมาเป็นค่าความสว่างของสีเปลือกและเนื้อ (L_{peel} , L_{flesh}), ค่าสีแดงเปลือกและเนื้อ (a_{peel} , a_{flesh}), ค่าสีเหลืองเปลือกและเนื้อ (b_{peel} , b_{flesh})

ความเป็นไปได้ที่จะนำเทคนิคทางสเปกโตรสโคปี ไปใช้ในการตรวจสอบความแก่ของทุเรียนจึงมีความเป็นไปได้ ถึงแม้ว่าในอดีตได้มีการวิจัยศึกษาเทคนิควิธีที่ใช้ทำนายความแก่ของทุเรียนอยู่บ้าง ไม่ว่าจะเป็นเทคนิค Vibration, Ultrasound ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ก็มีความสามารถในการทำนายที่แม่นยำอย่างมาก แต่เทคนิคเหล่านี้มีข้อด้อยคือ การพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานได้จริงในการตรวจสอบความสุก-แก่ของทุเรียนแบบไม่ทำลายนั้นทำได้ยาก เนื่องจาก เครื่องที่ใช้ทดสอบด้วยเทคนิคเหล่านี้ล้วนมีขนาดใหญ่ ยากต่อการเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้งานได้ในสภาพสวนของทุเรียนทั่วไป ทั้งการที่จะพัฒนาเครื่องให้มีขนาดที่เล็กนั้นจะต้องใช้ต้นทุนที่สูงมากอีกด้วย จากปัญหาในจุดนี้เทคนิคทางสเปกโตรสโคปี มีข้อได้เปรียบอย่างมาก เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่อง spectrophotometer ที่มีขนาดเล็ก เพื่อนำไปใช้งานที่หลากหลาย ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถพัฒนาเครื่องขนาดเล็กแบบพกพาเพื่อนำไปใช้ลงพื้นที่ตรวจสอบทุเรียนได้ถึงสวนทุเรียนทั่วไป แม้ว่าในปัจจุบันเครื่อง spectrophotometer ขนาดเล็กนั้นจะยังมีราคาที่สูงอยู่ แต่ก็ถือว่าไม่ได้สูงมากจนเกินไปและมีความคุ้มค่าต่อการนำมาพัฒนาเพื่อใช้งาน อีกทั้งในอนาคตมีแนวโน้มที่ราคาเครื่องจะถูกลงอีกด้วย นอกจากนั้นแล้วเทคนิคทางสเปกโตรสโคปียังมีข้อดีตรงที่มีความรวดเร็วในการทำนาย และไม่มีการทำลายผลของทุเรียนที่ทำกรตรวจสอบเลยแม้แต่น้อย เทคนิคนี้จึงเป็นเทคนิคที่ควรค่าต่อการนำมาใช้งาน และมีความเป็นไปได้ที่มากในการนำไปใช้งานได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการทดสอบค่าตัวแปรคุณสมบัติต่างๆ เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบทุเรียนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงมีความต้องการที่จะทำการพัฒนาวิธีการในการตรวจสอบความแก่ของทุเรียน ด้วยการนำเทคนิคสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ และการวิเคราะห์ภาพถ่าย มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายผลของทุเรียน

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัย

- 3.1.1 ชุดทดสอบ spectrometer มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้
 - 3.1.1.1 Light source DH-2000
 - 3.1.1.2 OCEAN USB2000+UV/VIS Spectrometer
 - 3.1.1.3 QR200-7-VIS-NIR Reflection Probes
- 3.1.2 คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม SpectraSuite สำหรับวิเคราะห์สเปกตรัม
- 3.1.3 อุปกรณ์วัดค่า ได้แก่
 - 3.1.3.1 Refractometer ATAGO พิกัดสูงสุด 30°Brix
 - 3.1.3.2 Calorimeter PH meter OAKTON รุ่น pH700
 - 3.1.3.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลความละเอียด 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BSA224S-CW
 - 3.1.3.4 เครื่องปั่นผลไม้
 - 3.1.3.5 ตู้อบลมร้อน FRANCE ETUVES รุ่น XU058
 - 3.1.3.6 หลอดไฟ Ralight D65/11 W
 - 3.1.3.7 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
 - 3.1.3.8 กระจบกดวง บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ และฝ้ากรอง
 - 3.1.3.9 กล้องดิจิทัล FUJI X-A2
 - 3.1.3.10 เครื่องวัดค่าความแน่นเนื้อ Penetrometer (Chatillon-DFGS50)
- 3.1.4 ตัวอย่างทุเรียนที่นำมาใช้ทดสอบจำนวน 160 ผล

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในการเตรียมตัวอย่างทุเรียนสำหรับการทดสอบค่าตัวแปรต่าง ๆ นั้น ทำได้โดยการนับอายุวันหลังจากดอกบาน 8 ช่วงอายุ คือ 100 105 110 115 120 125 130 135 วันหลังจากดอกบาน โดยต้องเตรียมทุเรียน 20 ผลต่อช่วงอายุ รวมทั้งหมดใช้ทุเรียน 160 ผล เมื่อครบกำหนดรอบอายุวันที่ต้องการแล้ว ทำการตัดทุเรียนจากต้น แล้วนำตัวอย่างทุเรียนจำนวน 20 ผลนั้นมาเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืนก่อนที่จะทำการทดสอบเพื่อปรับสภาพให้ทุเรียนทุกผลอยู่ในสภาพเดียวกัน รวมทั้งทุเรียนทุกผลจะต้องแห้งสนิทไม่มีความชื้นเกาะติดบริเวณเปลือก

3.2.2 วัดค่าตัวแปรคุณลักษณะทางคุณภาพของทุเรียน พร้อมทั้งวัดค่าสมบัติด้านสีและด้านแสงของทุเรียนชุดตัวอย่าง ได้แก่

3.2.2.1 การเก็บค่าอายุวันหลังจากดอกบาน

ในการเก็บค่าอายุวันหลังจากดอกบาน ใช้ทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากสวนอำเภอแกลง จังหวัดระยอง เป็นทุเรียนที่อยู่ในช่วงฤดูกาลตั้งแต่เดือนเมษายน – มิถุนายน โดยทำเครื่องหมายที่ช่อดอกเพื่อนับอายุวันหลังจากที่ดอกบาน (รูปที่ 3.1) สุ่มเก็บทุเรียนที่ 8 ช่วงอายุ ได้แก่ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังจากดอกบาน ในแต่ละช่วงอายุจะสุ่มเก็บทุเรียนเป็นจำนวน 20 ผล



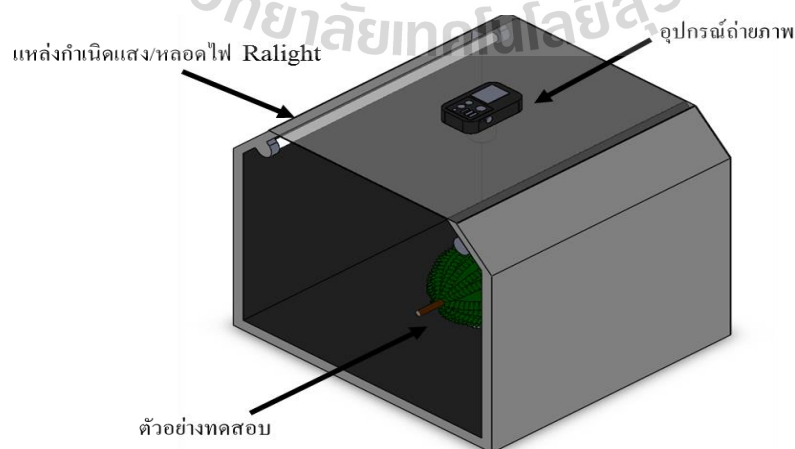
รูปที่ 3.1 การติดหมายเลขเพื่อช่วยนับอายุวันหลังจากดอกบาน

3.2.2.2 ถ่ายภาพทุเรียนภายในชุดควบคุมแสง

ในการถ่ายภาพทุเรียนเพื่อนำมาวิเคราะห์นั้น ทำโดยการถ่ายภาพทุเรียนที่ พูของผลทุเรียนจำนวน 3 พูต่อทุเรียนหนึ่งผล โดยแบ่งเป็นที่พูเอก 1 พู และพูรองอีก 2 พู ในส่วน ของการถ่ายภาพใช้กล้องดิจิทัล FUJI รุ่น X-A2 ในการถ่ายภาพ องค์กรประกอบสำหรับการถ่ายภาพ แต่ละภาพ จะต้องเหมือนกันทุกครั้ง โดยประกอบด้วย 5 องค์กรประกอบหลักในการปรับตั้งค่า ได้แก่

1. ไม่มีการใช้ zoom เพื่อขยายภาพ
2. ตั้งค่าความเร็วชัตเตอร์ 1/60 วินาที
3. ตั้งค่ารูรับแสง f/5
4. ตั้งค่าความไวแสง ISO 500
5. ไม่มีการใช้แฟลช

จากนั้นทำการควบคุมแสงสว่างด้วยกล่องควบคุมแสง ดังรูปที่ 3.2 โดย กล่องควบคุมแสงจะต้องมีความทึบแสง เพื่อป้องกันไม่ให้มีแสงภายนอกหรือปัจจัยภายนอกเข้ามา รบกวนในกระบวนการถ่ายภาพ ภายในกล่องควบคุมแสงจะมีแสงเฉพาะสำหรับการถ่ายภาพ ซึ่งเป็นแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหรือหลอดไฟ Ralight D65/18W ซึ่งเป็นหลอดไฟที่ใช้เป็น มาตรฐานในการตรวจสอบสี ตามมาตรฐาน ISO 3664 : 2016 ในการติดตั้งหลอดไฟทำการติดตั้ง ทั้งหมด 2 หลอด ระยะระหว่างหลอดไฟทั้ง 2 ห่างกัน 60 เซนติเมตรในแนวยาว และติดตั้งให้มี ระยะห่างจากแท่นวางทุเรียนเพื่อถ่ายรูปเป็นระยะ 35 เซนติเมตร โดยติดตั้งให้แสงทำมุมกับแท่นวาง เป็นมุม 45 องศา ส่วนของการถ่ายภาพนั้นกำหนดให้เลนส์กล้องอยู่ห่างจากทุเรียนเป็นระยะ 30 เซนติเมตร พื้นหลังในการถ่ายภาพจัดให้เป็นสีดำทั้งหมด (Mendoza, 2006) ภาพที่ได้เป็นภาพที่มีจุด โฟกัสที่เปลือกทุเรียนอย่างชัดเจน และมีพื้นหลังของภาพเป็นสีดำสนิท ดังแสดงในรูปที่ 3.3

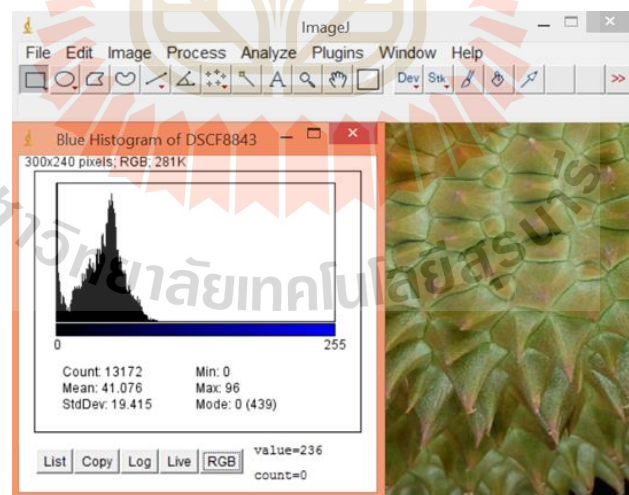


รูปที่ 3.2 ชุดควบคุมแสงจากหลอดไฟ D65



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายทุเรียนที่ได้จากการถ่ายภาพภายในชุดควบคุมแสง

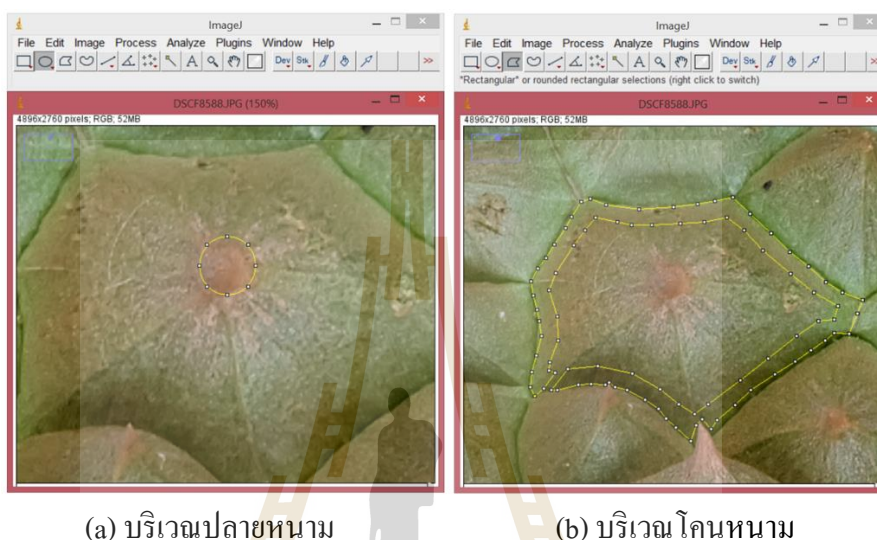
จากนั้นเมื่อได้ภาพถ่ายแล้ว นำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Image J ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ค่าที่ได้ผ่านการประมวลผลจะแสดงออกมาเป็นค่าสีในหน่วยสี RGB จากนั้นทำการแปลงค่าสีในหน่วย RGB ให้เป็นค่าสีในหน่วย CIELAB ด้วยสมการที่ (2.1) – (2.10) หรือสามารถสร้างฟังก์ชันสำหรับแปลงหน่วยด้วยโปรแกรม Microsoft excel ดังแสดงในภาคผนวก ค



รูปที่ 3.4 หน้าต่างของโปรแกรม Image J สำหรับการวิเคราะห์ค่าสีจากภาพถ่าย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายและประมวลผลภาพถ่าย ออกมาเป็นค่าสีเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ 1. วิเคราะห์ค่าสีที่บริเวณปลายหนาม 2. วิเคราะห์ค่าสีที่

บริเวณโคนหนาม ทำการสุ่มเลือกหนามทุเรียนมาวิเคราะห์เป็นจำนวน 10 หนาม ต่อภาพถ่ายทุเรียน 1 ภาพ (ทุเรียน 1 พู) เพื่อเป็นการแทนความหมายของหนามทุเรียนทั้งพู วิธีการวิเคราะห์ค่าสีทั้งที่บริเวณปลายหนามและโคนหนาม จะใช้โปรแกรม Image J มาทำการเลือกวิเคราะห์ค่าเฉพาะบริเวณที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเลือกตำแหน่งในการวิเคราะห์ค่าสีด้วย โปรแกรม Image J

3.2.2.3 ค่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่เปลือกและค่าสีที่เปลือก

ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เปลือกผลทุเรียน ด้วยชุดทดสอบ Spectrometer โดยชุดทดสอบ Spectrometer จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ได้แก่ 1. แหล่งกำเนิดแสง Light source DH-2000 2. ตัวรับและแปลงสัญญาณ USB2000 UV/VIS OCEAN OPTIC Spectrometer 3. สายไฟเบอร์ออปติก UV/VIS Detector fiber 4. โปรแกรมประมวลผล Spectra Suite โดยทำการวัดในช่วงแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ที่ความยาวคลื่น 190 – 780 นาโนเมตร ก่อนทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงทุกครั้งต้องทำการวัดค่าอ้างอิงจากเทปลอนสีขาวก่อน เพื่อให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องและไม่คลาดเคลื่อน เมื่ออ้างอิงค่าจากเทปลอนเสร็จสิ้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เปลือกของผลทุเรียน ตำแหน่งที่ต้องการวัดค่า คือ ที่บริเวณปลายหนามของเปลือก (รูปที่ 3.7) โดยสุ่มเลือกหนามจากกลางพูเอก 3 หนาม และสุ่มเลือกหนามจากพูรองอีก 2 พู พูละ 3 หนาม รวมทั้งหมดสำหรับทุเรียน 1 ผลจะทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงทั้งหมด 9 หนาม (ประกิต ทิมขำ, 2557) การดูดกลืนแสงที่ได้เมื่อนำมาประมวลผลผ่าน โปรแกรม Spectra suite จะแสดงผลออกมาเป็นสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่เทียบกับความยาวคลื่นที่ 190 -780 นาโน

เมตร โดยจะแสดงออกมาทั้งเป็นรูปแบบตัวเลขของค่าการดูดกลืนแสงและแสดงเป็นรูปกราฟ ออกมา นอกจากนั้นการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Spectrometer ยังสามารถแสดงผลออกมาเป็นค่า สีที่บริเวณเปลือกผลได้อีกด้วย ซึ่งแสดงเป็นค่าพารามิเตอร์สีต่างๆ คือ ตัวแปร L^* แสดงถึงความ สว่าง ตัวแปร a^* แสดงถึงความแดงหรือสีเขียว และ ตัวแปร b^* แสดงถึงความเหลือง หรือสีน้ำเงิน



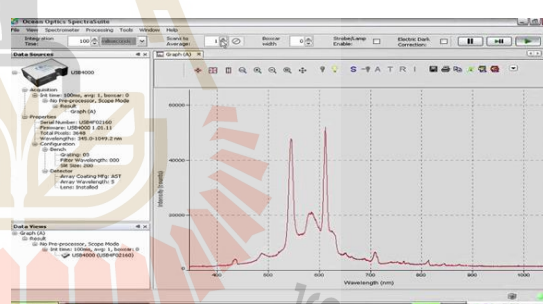
(a) Light source DH-2000



(b) USB2000 UV-VIS OCEAN OPTIC Spectrometer

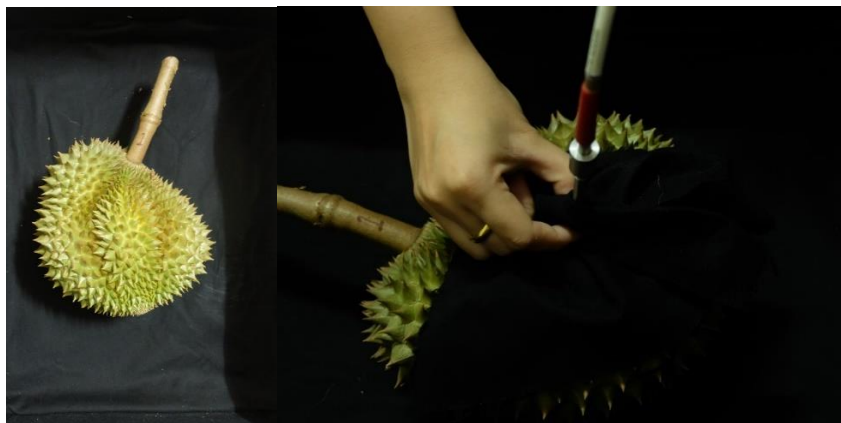


(c) UV/VIS Detector fiber



(d) SpectraSuite software

รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบของชุดทดสอบ Spectrometer



รูปที่ 3.7 การวัดค่าสเปคตริ่มและสีที่ปลายหนาม

3.2.2.4 ค่าความถ่วงจำเพาะทิ้งผลทุเรียน

การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ สามารถทำได้โดยใช้วิธีแทนที่น้ำ (Mohsenin, 1996) โดยการชั่งน้ำหนักของผลทุเรียนในอากาศก่อน จากนั้นนำน้ำใส่ในภาชนะสำหรับชั่ง นำภาชนะไปวางไว้ที่เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำผลทุเรียนวางลงในน้ำแล้วกดให้จมพอดีกับผิวน้ำ โดยต้องกดให้จมลงไปใต้น้ำทั้งบริเวณเปลือกผลและก้านของผลทุเรียน เปลือกของทุเรียนจะต้องไม่มีการโดนหรือกระทบกับอุปกรณ์ที่ใช้ใส่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 จากนั้นทำการคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะ ดังสมการ(3.1)

$$\text{Specific Gravity (SG)} = \left[\frac{\text{Weight of durian in air}}{\text{Weight of durian in water}} \right] \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.8 การชั่งน้ำหนักของทุเรียนในน้ำเพื่อนำมาคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะ

3.2.2.5 ค่าความถ่วงจำเพาะเฉพาะที่เนื้อทุเรียน

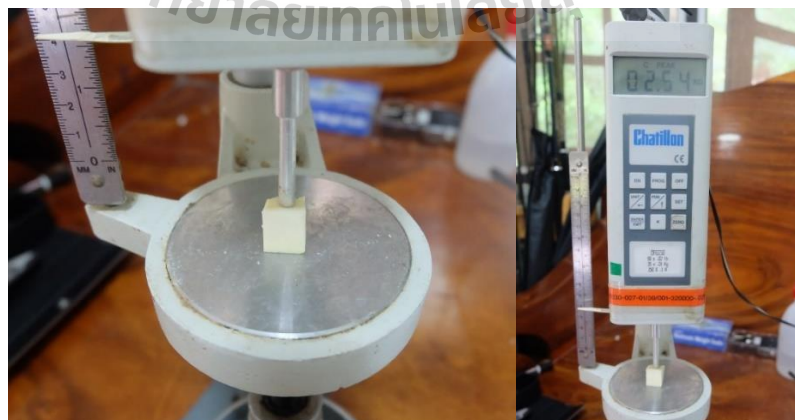
ในการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะที่เนื้อของทุเรียน จะใช้วิธีการเดียวกับการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของทุเรียนทั้งผล คือใช้วิธีแทนที่น้ำเพื่อหาค่าเช่นเดียวกัน แต่จะเลือกแค่เฉพาะเนื้อทุเรียนมาชั่งน้ำหนัก โดยเนื้อที่นำมาชั่งน้ำหนักจะต้องผ่านการหุ้มด้วยพลาสติกแรปให้มิดชิดเพื่อป้องกันไม่ให้มีน้ำรั่วซึมเข้าไปยังเนื้อทุเรียน วิธีทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของเนื้อ คือนำเนื้อที่ห่อด้วยพลาสติกแรปเรียบร้อยแล้ว ไปชั่งน้ำหนักเปล่าๆ ในอากาศ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักในน้ำด้วยการนำเนื้อทุเรียนที่ห่อหุ้มด้วยพลาสติกแรปไปวางลงในน้ำแล้วกดให้จมพอดีกับผิวน้ำ ดังรูปที่ 3.9 จากนั้นทำการคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะ ดังสมการ(3.1)



รูปที่ 3.9 การชั่งน้ำหนักของเนื้อทุเรียนในน้ำเพื่อนำมาคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะ

3.2.2.6 ค่าความแน่นเนื้อ

ทำการวัดความแน่นเนื้อที่เนื้อของทุเรียนในทุกๆผล โดยใช้เครื่อง Penetrometer (Chatillon-DFGS50) ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าหัวกดเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร ในการวัดจะกดลงไปเป็นระยะ 5.0 มิลลิเมตร การนำเนื้อทุเรียนมาทดสอบนั้นจะเลือกใช้เนื้อทุเรียนที่กลางพุ่มทั้งพอกและพอรอง พูละ 1 ชิ้น โดยนำเนื้อมาหั่นเป็นรูปทรงลูกบาศก์ที่มีขนาดความยาวแต่ละด้าน 10 มิลลิเมตร จากนั้นนำเนื้อทุเรียนที่ผ่านการหั่นเรียบร้อยแล้ว ไปวางบนแท่นกด และวางในพื้นที่สำหรับการรับแรงจากหัวกด ค่าที่อ่านได้จะแสดงผ่านหน้าจอเป็นแบบตัวเลข (Fuggate, 2010) อ่านและบันทึกค่าที่ได้ จะได้ค่าความแน่นเนื้อหน่วยเป็น kg/cm^2



รูปที่ 3.10 การจัดวางชิ้นเนื้อทุเรียนบนแท่นวางของเครื่อง Penetrometer

3.2.2.7 ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง

ในการทดสอบจะทำการสุ่มเนื้อทุเรียนจากกลางพูของหลายๆ มาสับให้เป็นชิ้นละเอียด ในปริมาณ 20 กรัมต่อทุเรียนหนึ่งผล โดยทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BSA224S-CW) ดังรูปที่ 3.11 จากนั้นนำเนื้อทุเรียนที่ผ่านการสับมาแล้วไปแยกใส่ไว้ใน moisture can โดยแยกเป็นเนื้อทุเรียนแต่ละผลไว้ จากนั้นนำไปเข้าตู้อบลมร้อน โดยทำการวาง moisture can เป็น 2 ชั้น จำนวนชั้นละ 10 ถ้วย ดังรูปที่ 3.12 (FRANCE ETUVES รุ่น XU058) ทำการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่เพื่อให้ให้น้ำหนักที่ได้นั้นเป็นน้ำหนักที่แห้งอย่างแน่นอน จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักโดยสมการ(3.2) (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

$$\%DM = \left[\frac{w_2}{w_1} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

%DM = เปอร์เซนต์น้ำหนักเนื้อแห้ง (%)

W_1 = น้ำหนักของเนื้อทุเรียนก่อนอบแห้ง (g)

W_2 = น้ำหนักของเนื้อทุเรียนหลังอบแห้ง (g)



รูปที่ 3.11 การชั่งน้ำหนักของเนื้อทุเรียนสับละเอียดด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.12 การจัดวาง moisture can ภายในตู้อบสำหรับการอบแห้ง

3.2.2.8 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ทำการวัดค่าโดยการนำผลทุเรียนแต่ละผลมาปอกเพื่อเลือกนำเฉพาะเนื้อมาทำการปั่นให้ละเอียด ด้วยเครื่องปั่นผลไม้ จากนั้นนำเนื้อที่ผ่านการปั่นละเอียดไปผ่านผ้ากรองเพื่อกรองส่วนเนื้อละเอียดออกให้เหลือเพียงน้ำทุเรียน ทำการนำสารละลายน้ำทุเรียนที่ได้นั้นวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วย Hand refractometer (ATAGO, SINCE 1940) ดังรูปที่ 3.13 ทำการอ่านและบันทึกค่า ค่าที่อ่านได้จาก Hand refractometer จะแสดงในหน่วย °Brix



รูปที่ 3.13 เครื่อง Refractometer และค่าที่ได้จากเครื่อง Refractometer

3.2.2.9 ค่าความเป็นกรด-เบส

ทำการปั่นเนื้อทุเรียนปริมาณ 100 กรัมด้วยเครื่องปั่นผลไม้ จากนั้นนำมากรองด้วยผ้ากรองเพื่อคัดแยกน้ำออกจากเนื้อของทุเรียน เพื่อนำมาวัดด้วยเครื่อง pH meter (๑๐

ภัสสร ศิริจริยวัตร, 2558) ดังรูปที่ 3.14 จากนั้นสังเกตที่หน้าจอแสดงผล รอจนกว่าที่หน้าจอจะขึ้นคำว่า Ready หรือก็คือค่าที่วัดมีความนิ่งและเสถียรแล้ว จึงทำการอ่านค่าความเป็นกรด – เบสของเนื้อทุเรียนในผลนั้นๆ



รูปที่ 3.14 การใช้เครื่อง pH meter สำหรับวัดค่าความเป็นกรด – เบสของน้ำทุเรียน

3.2.3 วิเคราะห์ค่าสมบัติที่ทดสอบได้ เพื่อนำไปใช้สร้างสมการทำนาย พร้อมทั้งทดสอบความแม่นยำของสมการ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด ทำได้โดยการนำข้อมูลมาจัดเรียงตามกลุ่มอายุวันหลังดอกบานที่ทดสอบ จากนั้นส่งข้อมูลที่ผ่านการจัดเรียงแล้ว เข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์ค่าทางสถิติ IBM SPSS version 22 สำหรับการวิเคราะห์จะใช้วิธีการวิเคราะห์เพื่อจำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ (สมประสงค์ เสนาวรัตน์, 2553)

3.2.3.1 สร้างไฟล์ข้อมูล โดยการนำค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาใช้วิเคราะห์ในที่นี้กำหนดให้มีตัวแปรตาม 1 ตัว มีชื่อว่า group และตัวแปรอิสระ คือ ตัวแปรค่าสีทั้งหมด ดังรูปที่ 3.15 ส่วนการนำค่าสเปคตรัมของการดูดกลืนแสงมาใช้วิเคราะห์จะกำหนดให้มีตัวแปรตาม 1 ตัว คือ group และตัวแปรอิสระ คือ ค่าสเปคตรัมการดูดกลืนแสงทั้งหมด ดังรูปที่ 3.16

	L_END	a_END	b_END	L_BOTTOM	a_BOTTOM	b_BOTTOM	E	group
1	37.39	3.25	17.00	54.67	-4.03	27.33	21.82	1.00
2	37.66	4.13	16.50	54.14	-5.94	25.25	21.82	1.00
3	36.93	6.40	17.90	54.26	-4.65	27.43	21.82	1.00
4	34.26	7.10	18.50	55.32	-5.69	25.43	16.71	1.00
5	39.52	4.20	16.30	53.39	-5.23	27.25	16.71	1.00
6	35.13	4.33	18.20	55.04	-3.92	26.68	16.71	1.00
7	37.45	4.93	16.10	54.81	-3.84	26.37	17.18	1.00
8	38.52	6.78	17.40	55.34	-4.57	25.74	17.18	1.00
9	34.67	4.41	16.50	54.17	-4.82	27.42	17.18	1.00
10	38.35	7.90	17.70	54.04	-5.24	26.96	16.18	1.00
11	36.96	2.31	18.90	54.45	-4.19	27.47	16.18	1.00
12	36.32	10.66	17.90	55.39	-5.66	26.83	16.18	1.00
13	37.86	11.01	16.20	54.85	-5.60	26.92	15.50	1.00
14	38.26	8.82	19.70	54.38	-5.89	25.82	15.50	1.00
15	38.11	12.59	15.70	54.66	-5.18	27.11	15.50	1.00
16	37.44	6.72	18.80	54.51	-6.53	27.51	20.46	1.00
17	35.88	5.28	18.60	53.74	-5.91	25.91	20.46	1.00
18	38.76	4.27	17.20	53.97	-3.87	27.71	20.46	1.00
19	36.66	9.10	18.70	54.07	-5.59	25.87	17.40	1.00
20	34.38	9.79	16.00	53.41	-5.44	25.79	17.40	1.00
21	36.97	10.02	17.10	54.37	-5.26	27.39	17.40	1.00
22	38.25	8.17	19.70	53.67	-6.02	25.24	17.32	1.00
23	39.89	11.43	17.50	54.79	-5.11	27.86	17.32	1.00
24	37.31	9.48	18.80	54.02	-6.23	25.61	17.32	1.00
25	38.65	6.00	16.10	54.93	-5.70	26.44	16.78	1.00
26	38.27	10.85	18.80	55.37	-4.45	27.35	16.78	1.00
27	39.58	7.06	17.60	55.19	-5.05	25.34	16.78	1.00
28	38.22	3.24	16.90	54.72	-3.82	27.68	20.20	1.00

รูปที่ 3.15 ข้อมูลค่าสีจากภาพถ่ายสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

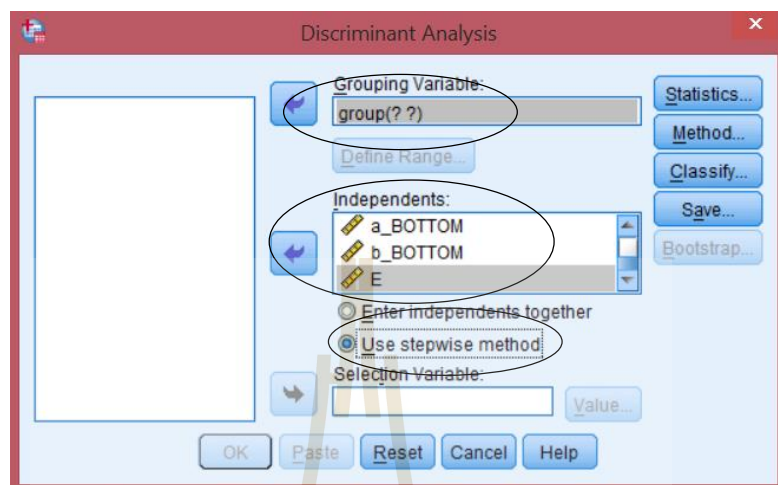
	group	w300	w302	w204	w306	w308	w310	w312	w314	w316	w31
1	1.00	.30	.35	.40	.37	.34	.29	.30	.34	.37	
2	1.00	.30	.35	.37	.37	.34	.29	.30	.34	.37	
3	1.00	.30	.34	.37	.37	.34	.29	.30	.34	.37	
4	1.00	.30	.34	.36	.37	.34	.27	.30	.34	.33	
5	1.00	.23	.21	.20	.22	.18	.20	.23	.29	.27	
6	1.00	.23	.21	.20	.22	.18	.20	.23	.29	.27	
7	1.00	.23	.21	.20	.22	.18	.20	.23	.29	.27	
8	1.00	.23	.21	.20	.22	.18	.20	.23	.29	.26	
9	1.00	.23	.21	.20	.22	.18	.20	.23	.28	.26	
10	1.00	.30	.35	.44	.41	.35	.29	.30	.42	.37	
11	1.00	.30	.35	.40	.37	.34	.29	.30	.34	.37	
12	1.00	.30	.35	.37	.37	.34	.29	.30	.34	.37	
13	1.00	.30	.34	.37	.37	.34	.29	.30	.34	.37	
14	1.00	.30	.34	.36	.37	.34	.27	.30	.34	.33	
15	1.00	.30	.34	.32	.37	.33	.27	.30	.34	.32	
16	1.00	.30	.34	.32	.37	.33	.26	.30	.34	.29	
17	1.00	.30	.34	.32	.36	.33	.26	.30	.34	.28	
18	1.00	.30	.34	.32	.35	.30	.26	.30	.34	.28	
19	1.00	.30	.34	.31	.35	.30	.26	.30	.32	.28	
20	1.00	.30	.34	.31	.35	.30	.25	.30	.32	.28	
21	1.00	.30	.34	.31	.33	.30	.25	.30	.32	.27	
22	1.00	.30	.34	.31	.33	.30	.25	.30	.32	.27	
23	1.00	.30	.34	.31	.33	.30	.25	.30	.32	.27	
24	1.00	.30	.34	.31	.33	.30	.25	.30	.32	.27	
25	1.00	.30	.34	.31	.33	.30	.25	.30	.32	.27	
26	1.00	.30	.34	.31	.31	.30	.25	.30	.32	.27	
27	1.00	.30	.34	.31	.31	.30	.25	.30	.32	.27	
28	1.00	.30	.34	.30	.34	.30	.26	.30	.32	.27	

รูปที่ 3.16 ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

3.2.3.2 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดเงื่อนไขเบื้องต้น โดยการเลือก

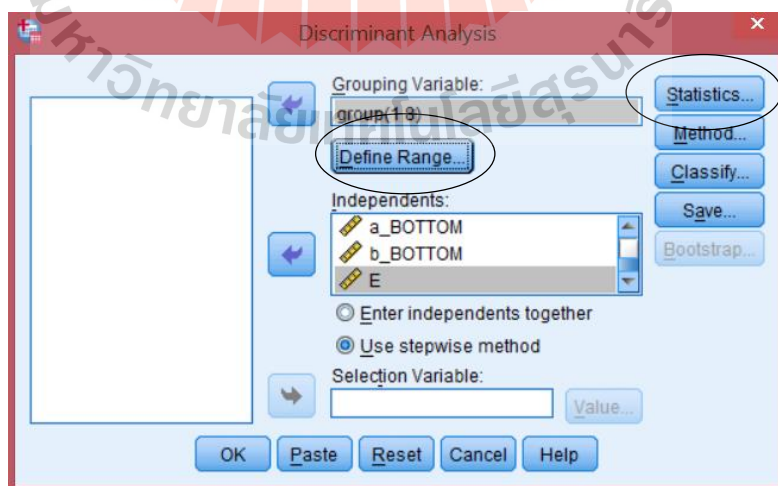
Analyze --> Classify --> Discriminant จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Discriminant Analysis ขึ้นมา ให้เลือกตัวแปร group เข้าช่อง Grouping Variable จากนั้นให้เลือกตัวแปรค่าสีจากการวิเคราะห์

ภาพถ่ายทั้งหมด เข้าช่อง Independents จากนั้นคลิกเลือก Use Stepwise Method (เลือกสมการทำนายที่ดีที่สุด) (ดังรูปที่ 3.17)



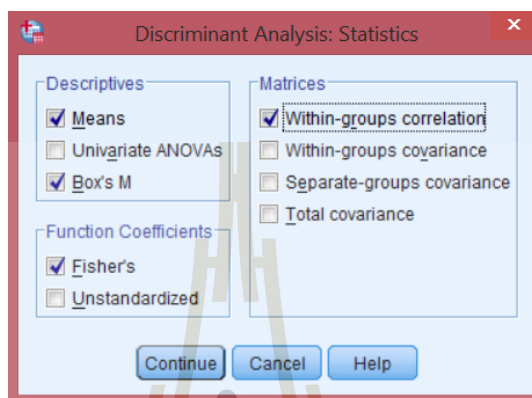
รูปที่ 3.17 การเลือกตัวแปรเข้าสู่หน้าต่างคำสั่ง Discriminant Analysis

3.2.3.3 ที่หน้าต่าง Discriminant Analysis คลิก Define Range จะปรากฏหน้าต่าง Discriminant Analyze: Define Range ขึ้นมา ให้ใส่เลข “1” ในช่อง Minimum และใส่เลข “8” ในช่อง Maximum และคลิก Continue แล้วตัวแปรตามจะเปลี่ยนจาก group(??) เป็น group(1, 8) หน้าต่าง Discriminant Analysis แสดงผลดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การกำหนด Define Range ให้กับ Grouping Variable

3.2.3.4 จากรูปที่ 3.18 คลิกเลือก Statistics จะปรากฏหน้าต่าง Discriminant Analysis Statistics ขึ้นมาและมีกลุ่มสถิติให้เลือก 3 กลุ่ม ได้แก่ Descriptives (สถิติพรรณนา), Function Coefficients (สัมประสิทธิ์ของสมการ) และ Matrices (เมตริกซ์) ให้ทำเครื่องหมาย เลือกสถิติที่ต้องการแต่ละกลุ่มเป็นทางเลือกที่จะเลือกอย่างน้อย 1 อย่าง (ดังรูปที่ 3.19)



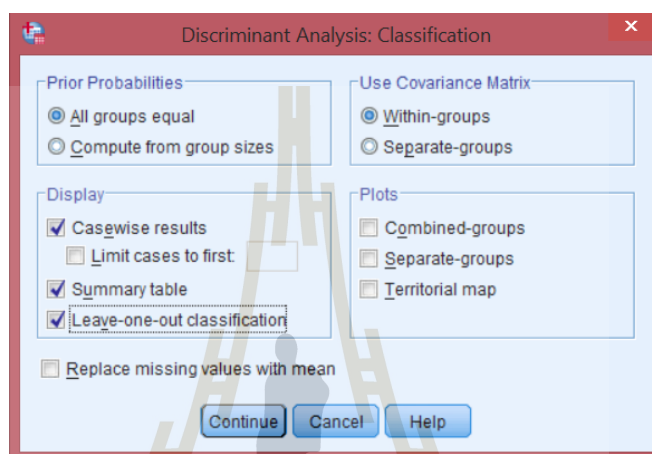
รูปที่ 3.19 การตั้งค่า Statistics สำหรับวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Discriminant Analysis

โดยรายละเอียดของสถิติที่เลือกข้างต้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

- (1) Mean เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวนข้อมูลที่น่าเสนอโดยแยกกลุ่มตัวแปรและนำเสนอในภาพรวมด้วย
- (2) Univariate ANOVAs เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของกลุ่มในแต่ละตัวแปร
- (3) Box's M เป็นการนำเสนอผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) ข้อที่ 2 ซึ่งเป็นการทดสอบเกี่ยวกับความเท่ากันของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากร (Tests of Equal Population Covariance Matrices)
- (4) ในช่องของ Fisher's เป็นการนำเสนอค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในการจำแนกกลุ่ม (Classification Function Coefficients) หรือสัมประสิทธิ์การถดถอย ตามวิธีของ Fisher's Linear Discriminant Function
- (5) ในช่องของ Unstandardized เป็นการนำเสนอค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรคาโนนิกอล (Canonical Discriminant Function Coefficients) ในรูปของคะแนนดิบ เพิ่มเติมจากการนำเสนอในรูปแบบของคะแนนมาตรฐาน
- (6) ในช่องของ Matrices เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับเมตริกซ์สหสัมพันธ์

และเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่มีทั้งภายในกลุ่มระหว่างกลุ่มและรวมกลุ่มเข้าด้วยกัน (Total)

3.2.3.5 จากรูปที่ 3.19 ให้คลิก Continue จะกลับมาที่หน้าต่าง Discriminant Analysis ให้เลือก Classify โดยในเมนูย่อยของ Discriminant Analysis: Classification จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน (ดังรูปที่ 3.20)



รูปที่ 3.20 การตั้งค่า Classification สำหรับวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Discriminant Analysis

โดยรายละเอียดจากรูปที่ 3.20 สามารถอธิบายได้ดังนี้

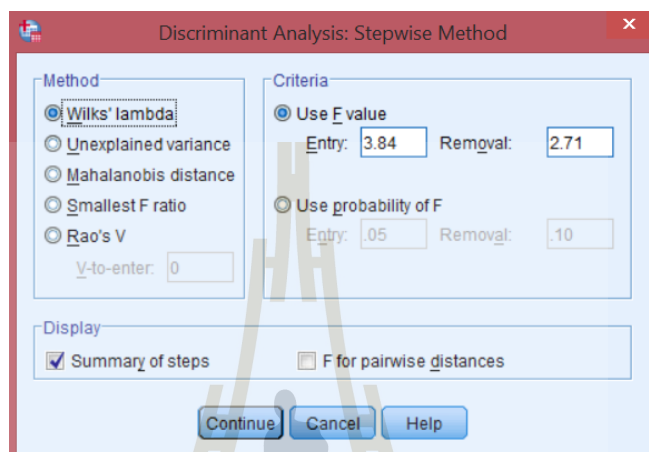
ส่วนที่ 1 Prior Probabilities เป็นการกำหนดโอกาสหรือความน่าจะเป็นของการเป็นกลุ่มต่าง ๆ ไว้ล่วงหน้าโดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ให้โอกาสเท่ากันทุกกลุ่ม (All group equal) หรือคำนวณจากขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Compute from group sizes) ในที่นี้กำหนดให้ทุกกลุ่มมีโอกาสเท่ากัน

ส่วนที่ 2 Display เป็นส่วนของการนำเสนอผล โดยให้เลือกรูปแบบการนำเสนอผลที่มีหลายแบบให้เลือก

ส่วนที่ 3 Use Covariance Matrix เป็นการใช้เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ซึ่งต้องเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งจาก Within-group กับ Separate-group

ส่วนที่ 4 Plots เป็นส่วนที่นำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปของแผนภาพ ซึ่งมีทั้งแบบรวมกลุ่ม (Combined-groups) แบบแยกกลุ่ม (Separate-group) และแบบเขตแดน (Territorial map) ซึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มโดยใช้ตัวเลขกลุ่ม (เช่น 1,2,3..) เป็นสัญลักษณ์ในการแบ่งพรมแดนรายใดหรือหน่วยวิเคราะห์ใดตกอยู่ในพรมแดนก็เป็นสมาชิกของกลุ่มนั้น

3.2.3.6 จากรูปที่ 3.20 ให้คลิก Continue จะกลับมาที่หน้าต่าง Discriminant Analysis ให้เลือก Method จะปรากฏหน้าต่าง Discriminant Analysis: Stepwise Method และในเมนูย่อยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (ดังรูปที่ 3.21) คือ วิธีการคัดเลือกตัวแปร (Method) เกณฑ์ในการคัดเลือกตัวแปร (Criteria) และการแสดงผล (Display)



รูปที่ 3.21 การตั้งค่า Method สำหรับวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Discriminant Analysis

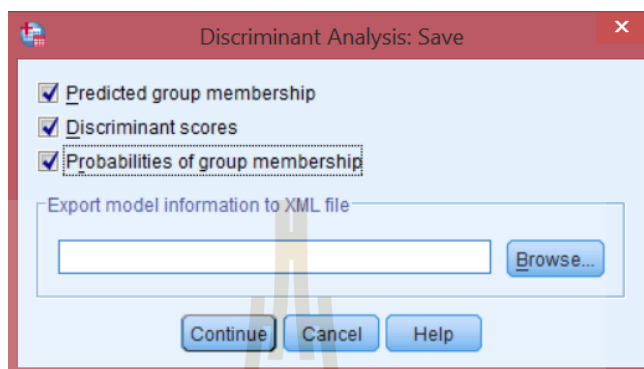
ในส่วนของเมนูย่อย Method มีเกณฑ์ในการคัดเลือกตัวแปรอยู่หลายวิธี โดยในโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22 มีวิธีการให้เลือก 5 วิธี คือ

1. Wilks' lambda
2. Unexplained variance
3. Mahalanobis distance
4. Smallest F ratio
5. Rao's V

วิธีการคัดเลือกตัวแปรที่กล่าวมานั้นวิธี Wilks' lambda เป็นวิธีที่เป็นค่าโดยปริยายที่ให้ไว้โดยโปรแกรม SPSS และเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูง

ส่วนเกณฑ์ในการคัดเลือกตัวแปรมีอยู่ 2 วิธี คือ ใช้ค่า F และใช้ค่าความน่าจะเป็นของ F โดยที่เกณฑ์ใช้ค่า F เป็นวิธีที่โปรแกรมกำหนดให้เป็นเกณฑ์โดยปริยายในโปรแกรม SPSS

3.2.3.7 จากรูปที่ 3.21 คลิก Continue จะกลับมาหน้าต่าง Discriminant Analysis ให้เลือก Save จะปรากฏหน้าต่าง Discriminant Analysis: Save ขึ้นมา จากนั้นให้เลือกว่าจะบันทึกข้อมูลอะไรบ้าง (ดังรูปที่ 3.22)



รูปที่ 3.22 การตั้งค่า Save สำหรับวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Discriminant Analysis

รายละเอียดของรายการในหน้าต่าง Discriminant Analysis: Save คือ

- (1) การเป็นสมาชิกของกลุ่มซึ่งได้จากการทำนาย (Predicted group membership) จะระบุความเป็นสมาชิกของกลุ่มต่าง ๆ โดยการทำนายจากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม
- (2) นำเสนอคะแนนจำแนก (Discriminant scores)
- (3) หลังจากวิเคราะห์จำแนกเรียบร้อยแล้วก็จะนำเสนอโอกาสหรือความน่าจะเป็นในการเป็นสมาชิกกลุ่มต่าง ๆ ของแต่ละบุคคลหรือแต่ละหน่วยวิเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 รายการนั้นจะไม่ปรากฏใน Output แต่กลับไปปรากฏใน SPSS for Windows Data Editor หรือใน file ข้อมูล ซึ่งจะสร้างตัวแรกต่อท้ายจากตัวแปรเดิม

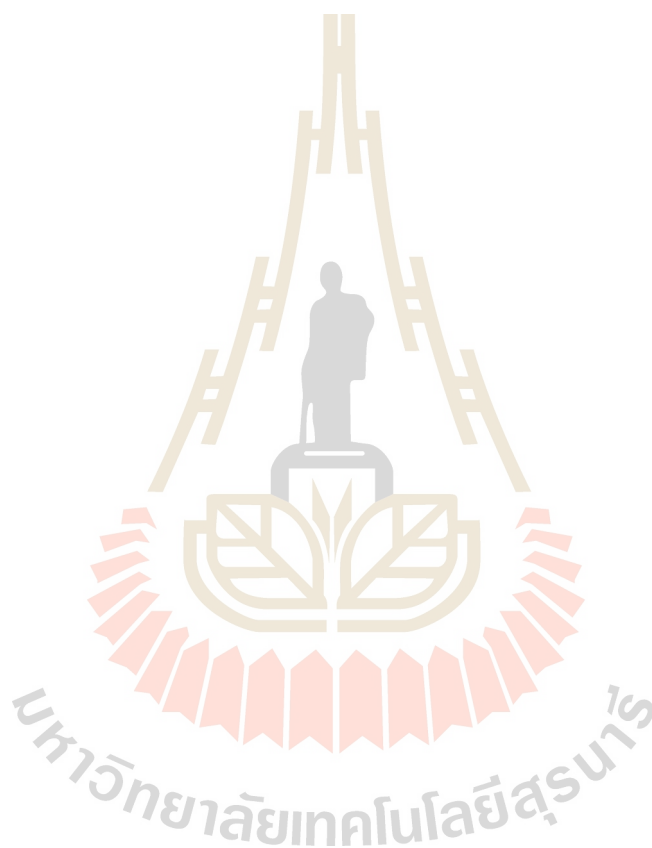
3.2.3.8 จากภาพประกอบ 3.22 ให้เลือกคลิก Continue จะกลับมาที่หน้าต่าง Discriminant Analysis จากนั้นให้เลือก Ok จากนั้นจะปรากฏผลการวิเคราะห์ในหน้าต่าง Output ขึ้นมา

3.3 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย

3.3.1 สถานที่ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ บริเวณสวนทุเรียนใน อำเภอกาหลง จังหวัดระยอง

3.3.2 สถานที่ในการทำปฏิบัติการเก็บค่าตัวแปรต่างๆ บริเวณสวนทุเรียนใน อำเภอกาหลง จังหวัดระยอง

3.3.3 สถานที่ในการวิเคราะห์ข้อมูล ห้องปฏิบัติการ อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และอาคารปฏิบัติการจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



บทที่ 4

ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลของการทดสอบค่าสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และค่าสีที่เปลือกผลทุเรียนที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของผลทุเรียน เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กับการเติบโตของผลทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญ เลือกนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ไปพัฒนาเทคนิคจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง แบบไม่ทำลายผล(Non-destructive) ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปี รวมทั้งการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย นอกจากนี้ยังได้นำเสนอผลจากการวิเคราะห์ค่าสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และค่าตัวแปรของค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรมทางสถิติ

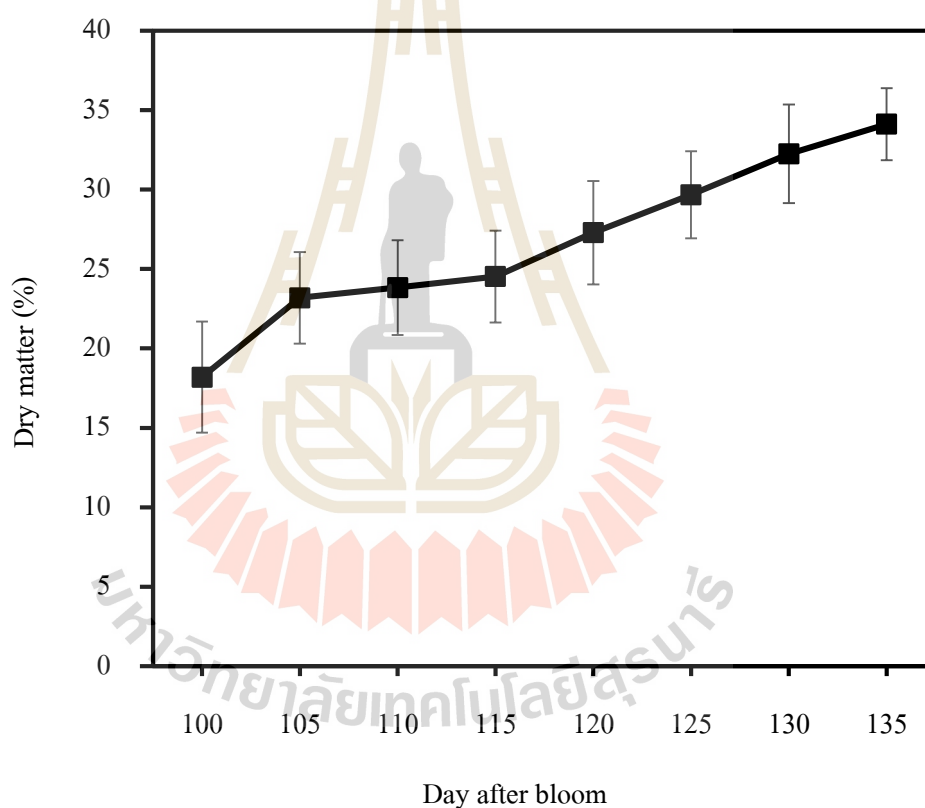
จากการศึกษาถึงตัวแปรทางสมบัติต่างๆ ที่มีผลกับระยะอายุของผลทุเรียนหรือระยะความแก่ของทุเรียน มีตัวแปรที่สำคัญเป็นจำนวนมาก ในการทดสอบค่านี้จะเลือกทดสอบค่ากับตัวแปรที่ถูกศึกษาและมีการอ้างอิงถึงตัวแปรนั้นภายในวารสารทางวิชาการ และงานวิจัยที่มีระดับความน่าเชื่อถืออยู่เป็นจำนวนมาก โดยตัวแปรที่ทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือตัวแปรที่ใช้อ้างอิงถึงความแก่ของผลทุเรียน ซึ่งจำเป็นต้องทำลายผลทุเรียนเพื่อทำการทดสอบค่าตัวแปรประเภทนี้ ส่วนตัวแปรอีกประเภทหนึ่ง คือตัวแปรที่สามารถทำการทดสอบค่าได้โดยไม่ต้องทำลายผลทุเรียนในขณะที่ทดสอบ ค่าจากตัวแปรประเภทนี้มีความสำคัญต่อการนำไปพัฒนาเป็นเทคนิคในการจำแนกระยะความแก่ของทุเรียนแบบไม่ทำลายผลทุเรียน เพราะตัวแปรแบบไม่ทำลายผลนี้จะทำให้ผลคงความสมบูรณ์เอาไว้ได้ ผลจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือเข้าสู่กระบวนการทางการค้าได้จริง ดังนั้นจึงได้แสดงผลการทดสอบค่าตัวแปร โดยแบ่งออกเป็นสองประเภทที่สำคัญ ดังนี้

4.2 การทดสอบสมบัติต่างๆ แบบทำลายผลเพื่อใช้อ้างอิงระยะอายุของผลทุเรียน

4.2.1 ผลการทดสอบค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง

ผลการทดสอบค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง พบว่าค่าร้อยละน้ำหนักแห้งนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบาน (Day after bloom) ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากแนวโน้มที่ได้พบว่ามีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฟิรพงษ์ แสงวานวงศ์กุล (2541) ซึ่งเมื่อนำ

ค่าน้ำหนักแห้งในแต่ละช่วงอายุวันหลังดอกบานมาเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของทุเรียนหอมทองที่มีความแก่ ต้องมีค่าร้อยละน้ำหนักแห้งไม่น้อยกว่า 32 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2556) ซึ่งจากตัวอย่างทุเรียนที่นำมาทดสอบพบว่าตั้งแต่ช่วงระยะ 130 วันหลังดอกบานเป็นต้นไป ถึงจะมีค่าร้อยละน้ำหนักแห้งที่มากกว่า 32 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่าร้อยละน้ำหนักแห้งทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าร้อยละน้ำหนักแห้งที่ช่วงอายุ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

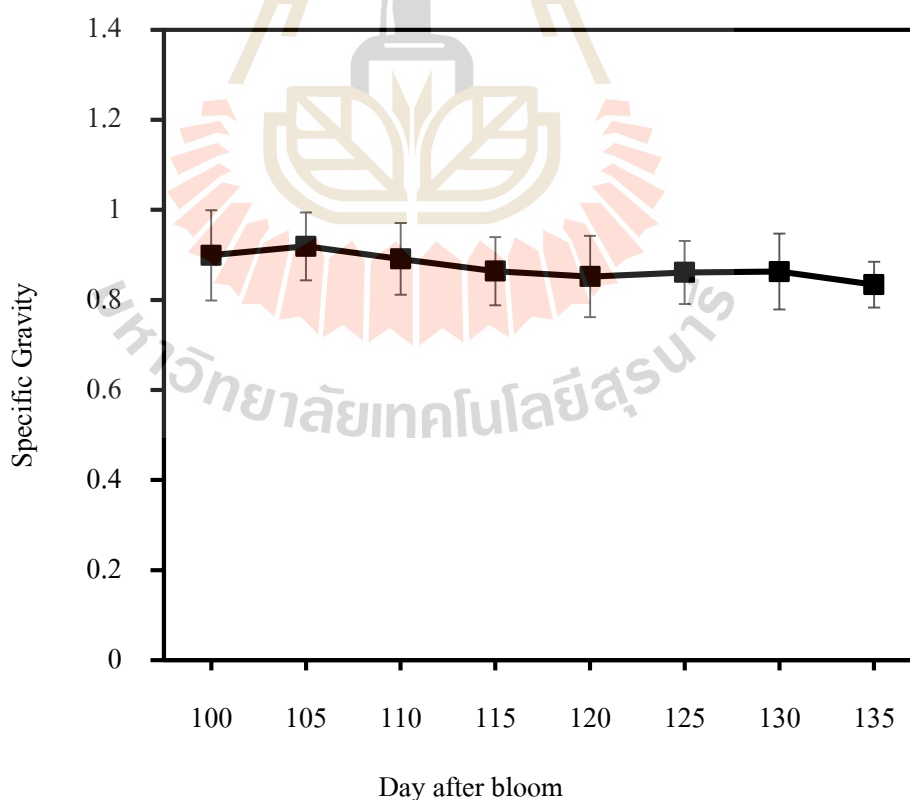


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง กับอายุวันหลังจากดอกบาน

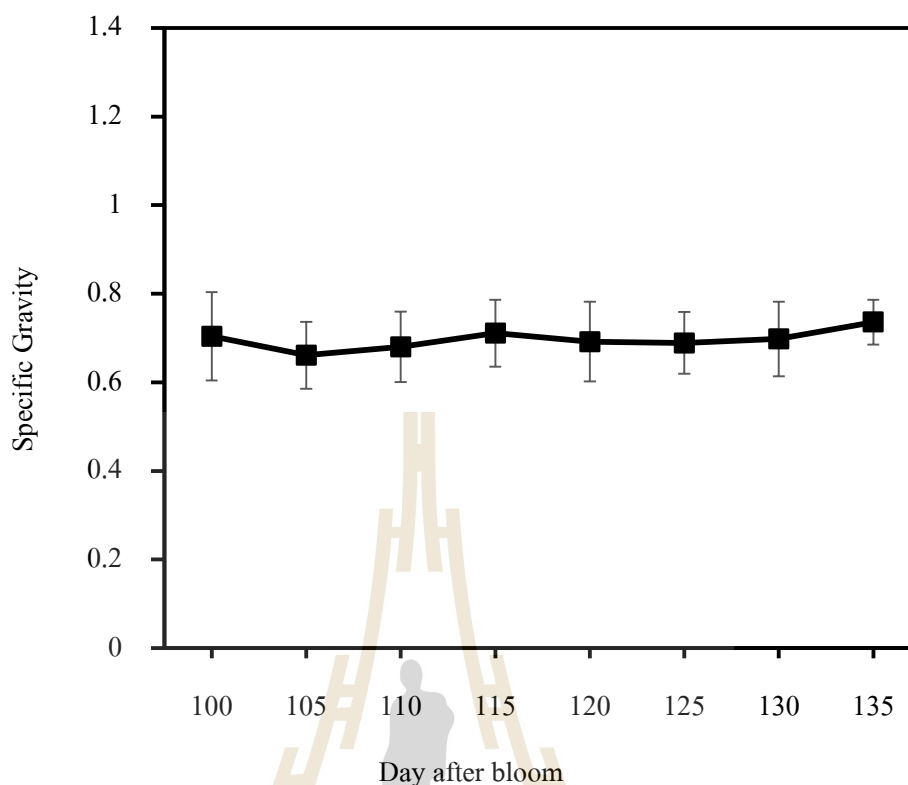
4.2.2 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ

ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของทั้งผลทุเรียน และการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะเฉพาะที่เนื้อของทุเรียนเท่านั้น จากการทดสอบพบว่าความถ่วงจำเพาะทั้งผลนั้นมีแนวโน้มที่ลดลง

เล็กน้อย ไม่เกิดการลดลงอย่างชัดเจนมากนัก ตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ประกิต ทิมขำ (2557) ค่าที่ได้สามารถบ่งชี้ได้ว่า ความความถ่วงจำเพาะของทั้งผลทุเรียนนั้นไม่ได้ขึ้นตรงกับอายุหรือการเติบโตของผลทุเรียน แต่จะมีปัจจัยอื่นๆเข้ามามีผลกระทบด้วย เช่นเดียวกันกับค่าความถ่วงจำเพาะเฉพาะที่เนื้อของทุเรียนมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนนักตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ค่าที่ได้สามารถบ่งชี้ได้ว่าความความถ่วงจำเพาะของเนื้อทุเรียนนั้นไม่ได้ขึ้นตรงกับอายุหรือการเติบโตของผลทุเรียน แต่จะมีปัจจัยอื่นๆเข้ามามีผลกระทบด้วยเช่นกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่าความถ่วงจำเพาะทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะทั้งผลทุเรียนที่ช่วงอายุ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นเดียวกันกับค่าความถ่วงจำเพาะเฉพาะที่เนื้อของทุเรียนที่ช่วงอายุ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



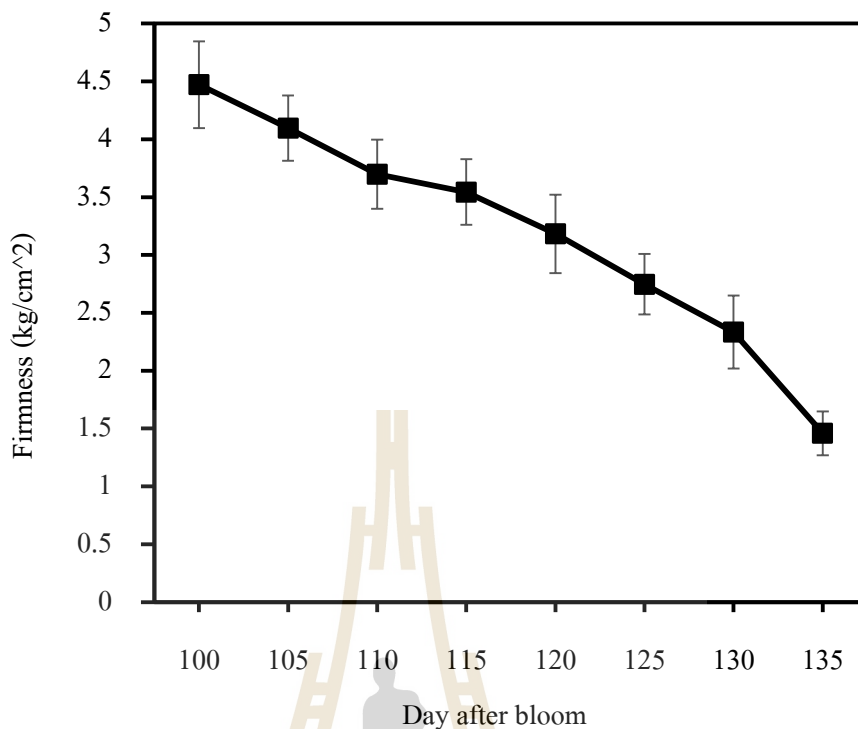
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะทั้งผล กับอายุวันหลังจากดอกบาน



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเฉพาะเนื้อ กับอายุวันหลังจากดอกบาน

4.2.3 ผลการทดสอบค่าความแน่นเนื้อ

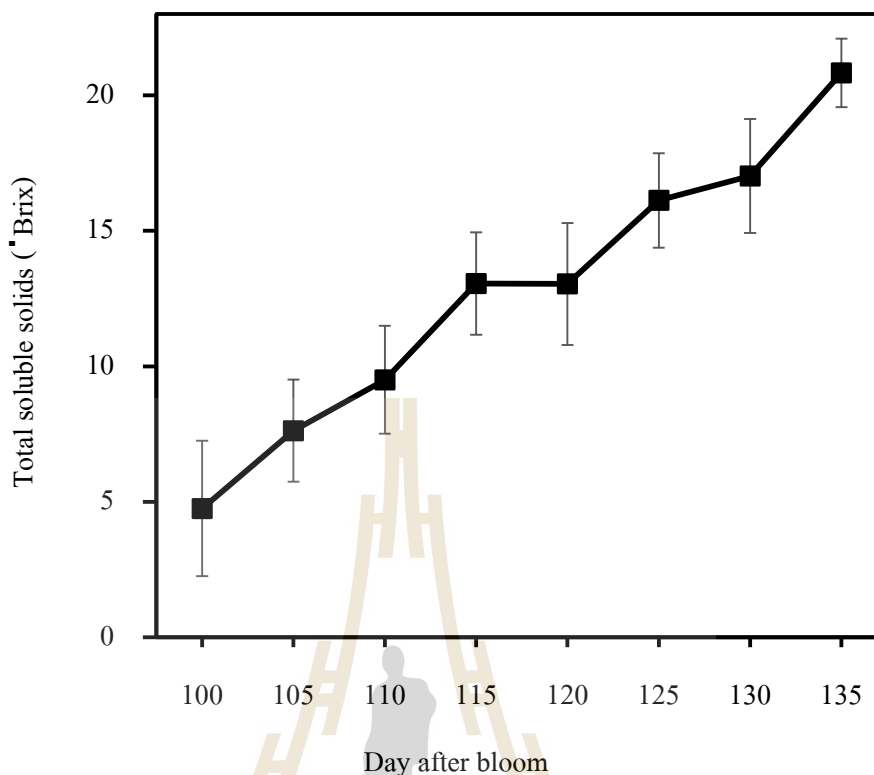
ผลการทดสอบค่าความแน่นเนื้อ(Firmness) พบว่าค่าความแน่นเนื้อนั้นมีค่าลดลงตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แนวโน้มของค่าความแน่นเนื้อมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงของลักษณะเนื้อทุเรียนตามธรรมชาติ และมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริชัย กัลยาณรัตน์ (2548) ที่กล่าวไว้ว่าเนื้อผลไม้จะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มมากขึ้น เมื่อมีความแก่เพิ่มมากขึ้น โดยเนื้อทุเรียนนั้นจะมีความอ่อนนุ่มมากขึ้นเมื่อทุเรียนมีความสุกมากขึ้นนั่นเอง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่าความแน่นเนื้อทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความแน่นเนื้อแต่ละช่วงอายุวันหลังดอกบาน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแน่นเนื้อกับอายุวันหลังจากดอกบาน

4.2.4 ผลการทดสอบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

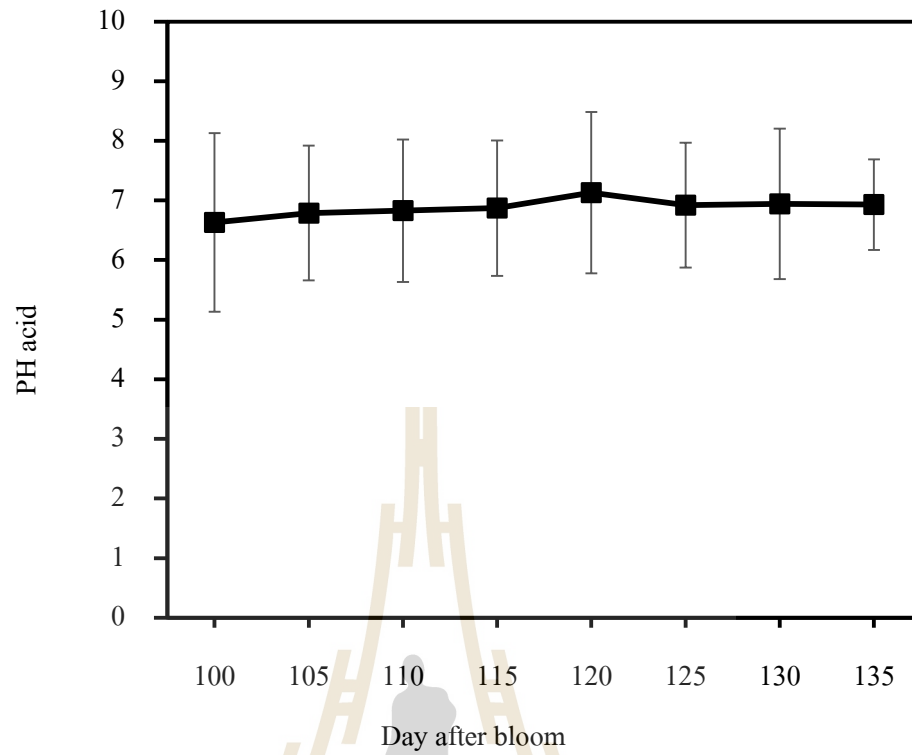
ผลการทดสอบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) พบว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งจากแนวโน้มที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Subhadrbandhu and Ketsa (2001) ซึ่งจากการที่ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นสามารถอธิบายได้ว่าเนื้อทุเรียนเมื่อมีความสุกมากขึ้นเนื้อจะมีความหวานมากขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้กับอายุวันหลังจากดอกบาน

4.2.5 ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง

ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่าค่าที่ทดสอบได้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าการเปลี่ยนจากกรดอ่อน เข้าสู่ค่ากลาง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งจากแนวโน้มของค่าความเป็นกรดที่ได้ สามารถบ่งชี้ได้ว่าค่าความเป็นกรดก็เป็นอีกหนึ่งสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินระยะการเจริญเติบโตของผลทุเรียนหรือผลไม้ได้ เป็นไปตามงานวิจัยของ Anthon and Barrett (2011) จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่าง ทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ช่วงอายุ 100 105 วันหลังดอกบาน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ที่ช่วงอายุ 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อทุเรียน กับอายุวันหลังจากดอกบาน



ตารางที่ 4.1 ค่าสมบัติทางกายภาพและเคมีของทุเรียนตั้งแต่ช่วงอายุ 100 ถึง 135 วันหลังดอกบาน

DAB (days)	Properties ^{1,2}					
	Specific gravity _peel	Specific gravity _flesh	Dry matter (%)	Firmness(kg ² /cm)	TSS (·Brix)	pH
100	0.899 ± 0.023 ^a	0.704 ± 0.033 ^b	18.19 ± 2.50 ^a	4.47 ± 0.36 ^a	5.87 ± 2.28 ^a	6.63 ± 0.11 ^a
105	0.919 ± 0.025 ^a	0.661 ± 0.035 ^c	23.18 ± 1.89 ^b	4.09 ± 0.37 ^b	7.62 ± 2.17 ^b	6.78 ± 0.07 ^b
110	0.891 ± 0.035 ^a	0.680 ± 0.023 ^d	23.82 ± 1.99 ^c	3.69 ± 0.24 ^c	9.50 ± 2.19 ^c	6.82 ± 0.15 ^c
115	0.864 ± 0.029 ^b	0.711 ± 0.032 ^b	24.52 ± 1.89 ^d	3.59 ± 0.28 ^c	13.05 ± 1.95 ^d	6.87 ± 0.05 ^d
120	0.852 ± 0.031 ^{bc}	0.692 ± 0.023 ^{bc}	27.28 ± 2.25 ^e	3.18 ± 0.36 ^d	13.03 ± 1.16 ^d	6.88 ± 0.05 ^d
125	0.861 ± 0.054 ^b	0.689 ± 0.029 ^c	29.67 ± 1.74 ^f	2.74 ± 0.25 ^e	16.12 ± 1.34 ^e	6.91 ± 0.06 ^e
130	0.863 ± 0.026 ^b	0.698 ± 0.059 ^b	32.24 ± 2.10 ^g	2.33 ± 0.45 ^f	17.02 ± 2.83 ^e	6.94 ± 0.05 ^e
135	0.834 ± 0.030 ^c	0.736 ± 0.037 ^a	34.10 ± 1.26 ^h	1.45 ± 0.78 ^g	20.82 ± 3.18 ^f	6.93 ± 0.04 ^e

1. ตัวเลขด้านหลังเครื่องหมายบวก-ลบแสดงถึงค่า SD

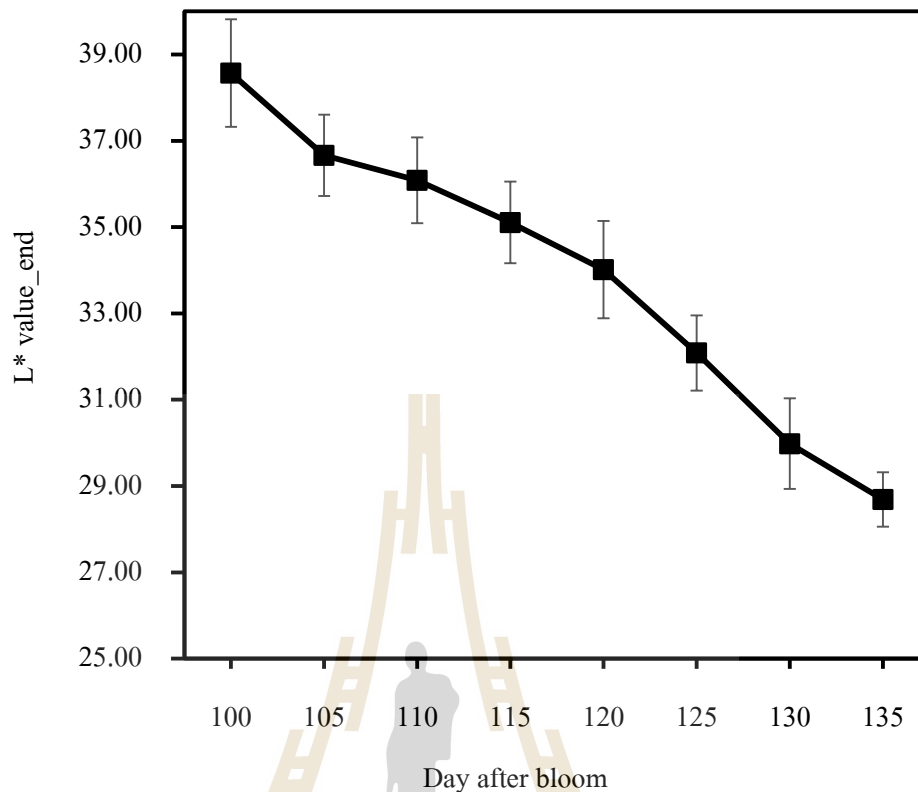
2. ค่าตัวอักษรที่แสดงอยู่ด้านหลังของค่าเฉลี่ยแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5%

4.3 การทดสอบสมบัติต่างๆ แบบไม่ทำลายผลเพื่อใช้พัฒนาเป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ภาพถ่าย

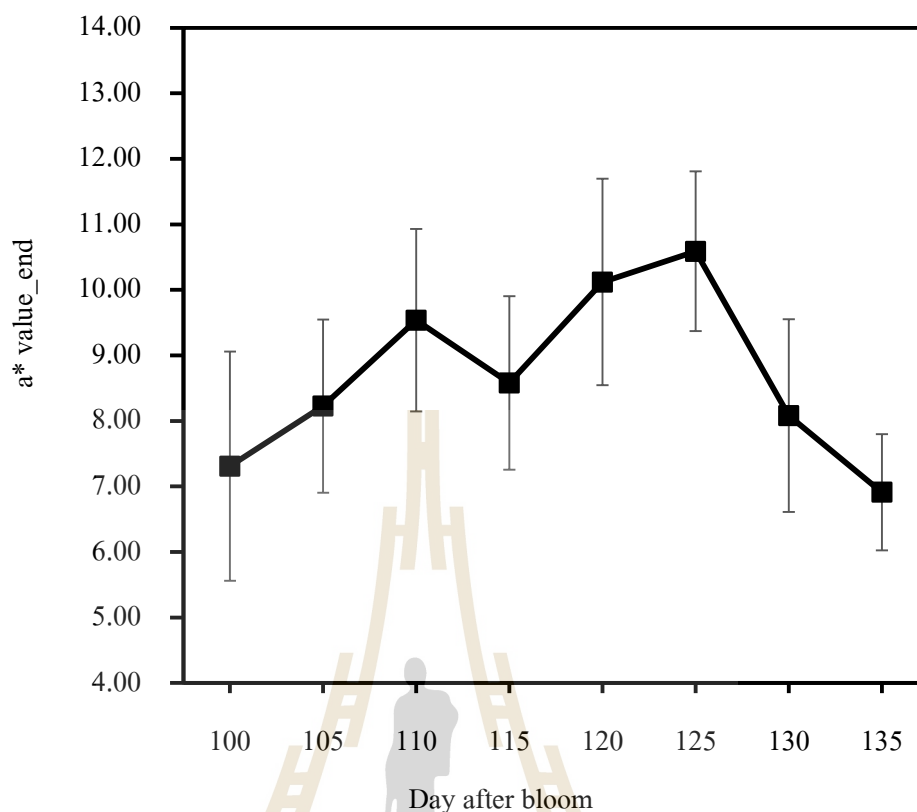
สมบัติทางกล และค่าสีที่เปลือกผลทุเรียนที่มีสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของผลทุเรียน เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กับการเติบโตของผลทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญ เลือกนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ไปพัฒนาเทคนิคจำแนกความแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง แบบไม่ทำลายผล(Non-destructive) ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปี รวมทั้งการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย นอกจากนั้นยังได้นำเสนอผลจากการวิเคราะห์ค่าสมบัติทางกายภาพสมบัติทางกล และค่าตัวแปรของค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรมทางสถิติ ผลที่ได้จากการทดสอบค่าด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพถ่าย แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าสี L^* a^* b^* และ Hue angle กับอายุวันหลังจากดอกบานดังในรูปที่ 4.7 – 4.10 โดยในการวิเคราะห์ค่าจะเลือกวิเคราะห์เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ ทำการวิเคราะห์ที่ปลายหนามของทุเรียน และวิเคราะห์ที่โคนหนามของทุเรียน

ผลการวิเคราะห์ภาพถ่าย พบว่า ค่า L^* ที่ตำแหน่งปลายหนามจะมีค่าลดลงตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แนวโน้มของค่า L^* ปลายหนามมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงของสีที่ปลายหนามของทุเรียนตามธรรมชาติ โดยสีที่ปลายหนามทุเรียนนั้นจะมีความสว่างที่มากในช่วงแรกและสีจะค่อยๆ มีความเข้มมากขึ้นเมื่อทุเรียนมีอายุมากขึ้นหรือมีความสุกมากขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่า L^* ปลายหนามทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่า L^* ปลายหนามที่ช่วงอายุ 100 105 110 115 120-125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



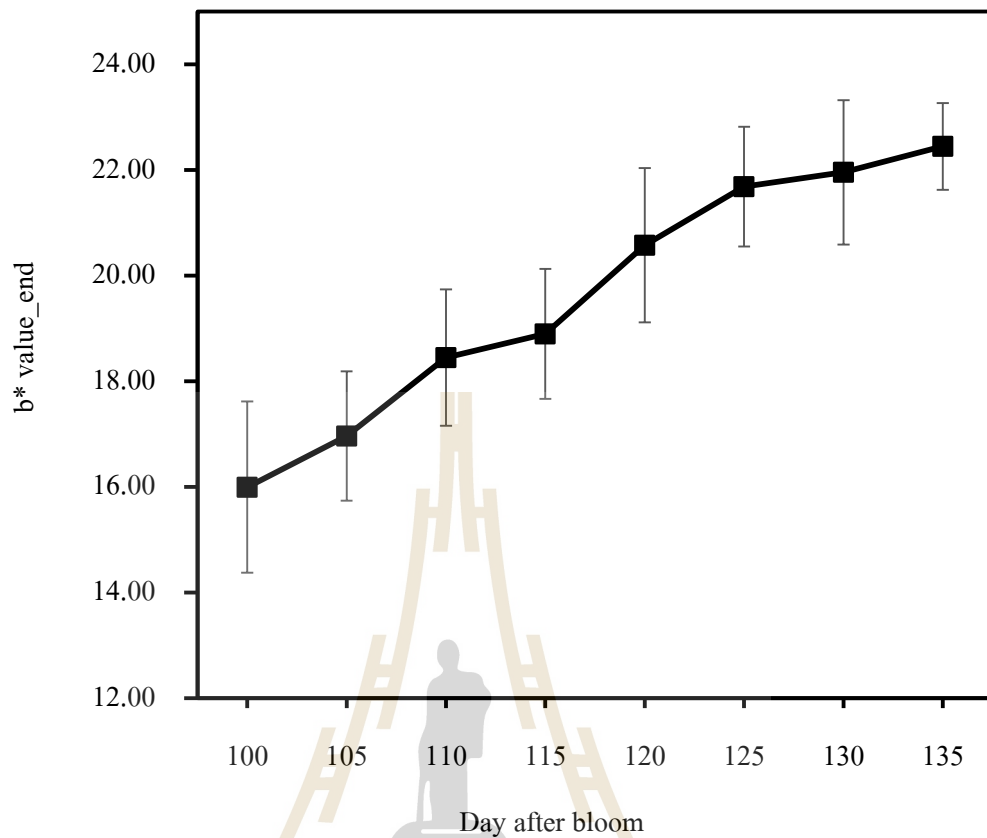
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L^* ที่ปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย กับอายุวันหลังจากดอกบาน

ผลการวิเคราะห์ค่า a^* ปลายหนาม พบว่าค่าที่ทดสอบได้จะมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนมากนักตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากค่าที่ได้สามารถบ่งชี้ได้ว่า a^* ที่ตำแหน่งปลายหนามทุเรียนนั้น ไม่ได้ขึ้นตรงกับอายุหรือการเติบโตของผลทุเรียน แต่จะมีปัจจัยอื่นๆเข้ามามีผลกระทบด้วย จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่า a^* ปลายหนาม ทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่า a^* ปลายหนามในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่กลับไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนตามอายุวันหลังดอกบาน



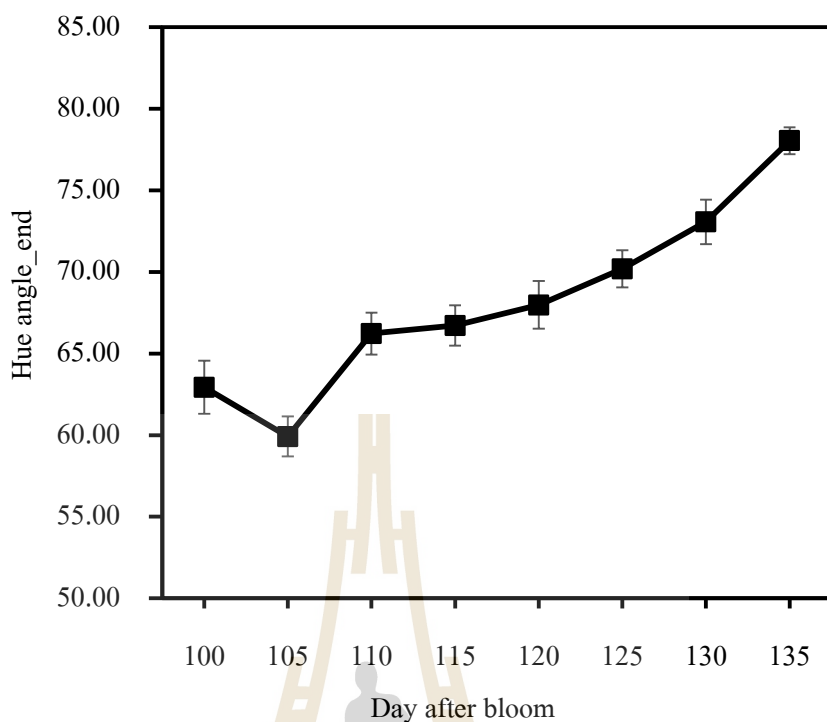
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a^* ที่ปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย กับอายุวันหลังจากดอกบาน

ผลการวิเคราะห์ค่า b^* ที่ตำแหน่งปลายหนามจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.9 แนวโน้มของค่า b^* ปลายหนามมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงของสีที่ปลายหนามของทุเรียนตามธรรมชาติ โดยสีที่ปลายหนามทุเรียนนั้นจะมีความเป็นสีเหลืองมากยิ่งขึ้นเมื่อทุเรียนมีอายุมากขึ้นหรือมีความสุกมากขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่า b^* ปลายหนามทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่า b^* ปลายหนาม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี b^* ที่ปลายจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย กับอายุวันหลังจากดอกบาน

ผลการวิเคราะห์ค่า Hue angle ที่ตำแหน่งปลายหนามจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้น ยกเว้นค่า Hue angle ปลายหนามในช่วง 105 วันหลังดอกบาน ที่มีค่าลดลงเล็กน้อย สาเหตุของการที่ค่ามีการลดลงเกิดจากการที่ในช่วงที่ 105 วันหลังดอกบาน ค่า a^* ปลายหนามซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่า Hue angle ปลายหนาม มีความผิดพลาดค่ามีการโดดจากค่าในช่วงวันอื่นอยู่มาก ส่งผลให้ค่า Hue angle ปลายหนามมีแนวโน้มที่คลาดเคลื่อนไปในช่วง 105 วันหลังดอกบาน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่า Hue angle ปลายหนามทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบานว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่า Hue angle ปลายหนาม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



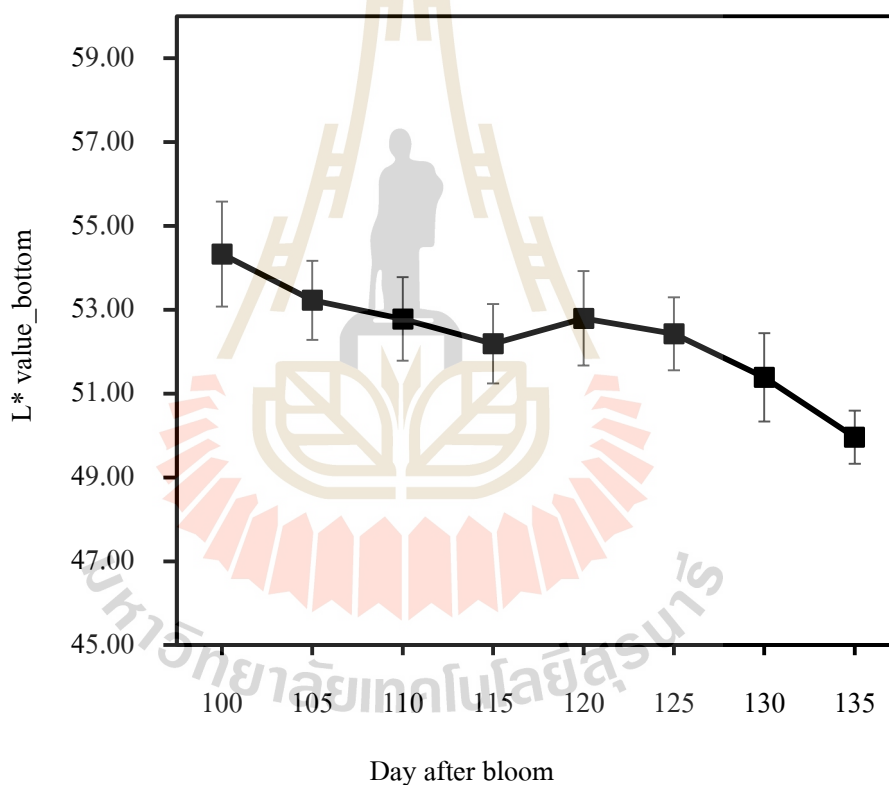
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Hue angle ที่ปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย กับอายุวันหลังจากดอกบาน

ตารางที่ 4.2 ค่าสีที่ปลายหนามทุเรียนตั้งแต่ช่วงอายุ 100 ถึง 135 วันหลังดอกบาน

DAB (days)	Color value ^{1,2}			
	L* _end	a* _end	b* _end	Hue angle_end
100	38.57 ± 1.45 ^a	7.31 ± 3.12 ^a	16.01 ± 1.22 ^a	62.93 ± 2.34 ^a
105	36.66 ± 1.45 ^b	8.23 ± 2.45 ^b	16.96 ± 1.30 ^b	59.92 ± 3.03 ^a
110	36.09 ± 1.33 ^c	9.54 ± 3.63 ^c	18.45 ± 1.53 ^c	66.22 ± 2.89 ^b
115	35.11 ± 1.10 ^d	8.58 ± 2.25 ^b	18.90 ± 1.27 ^d	66.72 ± 2.66 ^{bc}
120	34.01 ± 1.32 ^e	10.12 ± 2.66 ^c	20.58 ± 1.56 ^e	67.98 ± 3.41 ^{cd}
125	32.08 ± 1.20 ^f	13.04 ± 2.79 ^d	21.69 ± 1.50 ^f	70.19 ± 2.33 ^{de}
130	29.98 ± 1.27 ^g	8.08 ± 3.12 ^b	21.96 ± 1.18 ^f	73.07 ± 2.71 ^e
135	28.69 ± 1.49 ^h	6.91 ± 2.83 ^a	22.45 ± 1.59 ^g	78.04 ± 3.14 ^f

1. ตัวเลขด้านหลังเครื่องหมายบวก-ลบแสดงถึงค่า SD
2. ค่าตัวอักษรที่แสดงอยู่ด้านหลังของค่าเฉลี่ยแสดงถึง ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5%

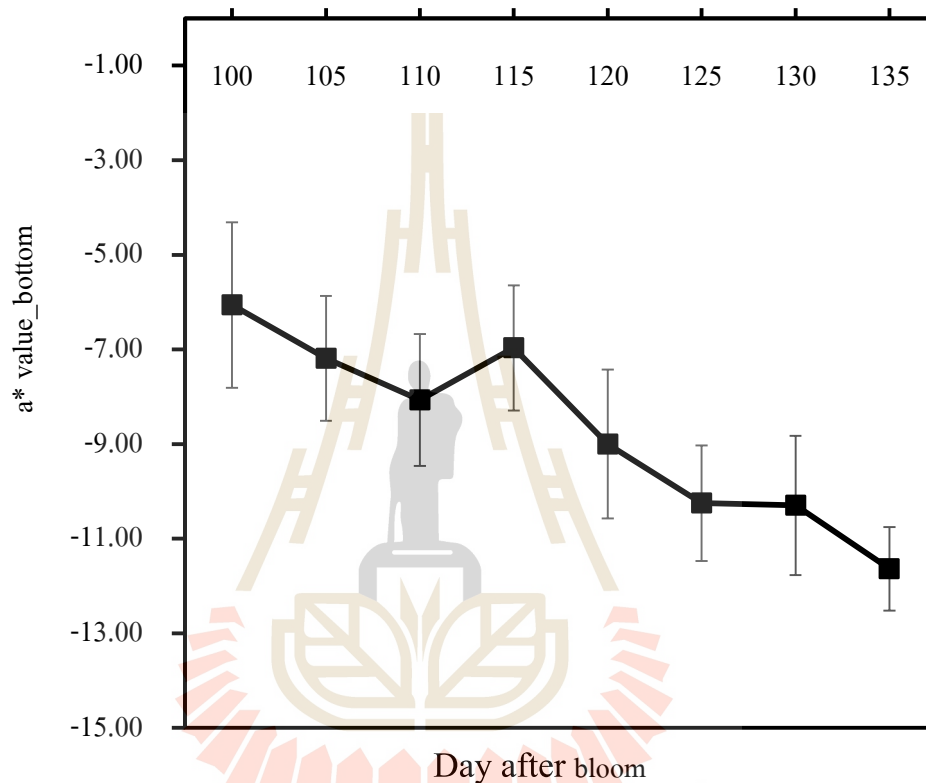
ผลการวิเคราะห์ภาพถ่าย พบว่า ค่า L^* ที่ตำแหน่งโคนหนามจะมีค่าลดลงตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.11 แนวโน้มของค่า L^* โคนหนามมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงของสีที่โคนหนามของทุเรียนตามธรรมชาติ โดยสีที่โคนหนามทุเรียนนั้นจะมีความสว่างที่มากในช่วงแรกและสีจะค่อยๆ มีความเข้มมากขึ้นเมื่อทุเรียนมีอายุมากขึ้นหรือมีความสุกมากขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่า L^* โคนหนามทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่า L^* โคนหนาม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L^* ที่โคนหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย กับอายุวันหลังจากดอกบาน

ผลการวิเคราะห์ค่า a^* โคนหนามหนาม พบว่าค่าที่ทดสอบได้จะมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนมากนักตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จากค่าที่ได้สามารถบ่งชี้ได้ว่า a^* ที่ตำแหน่งโคนหนามทุเรียนนั้นไม่ได้ขึ้นตรงกับอายุหรือการเติบโตของผล

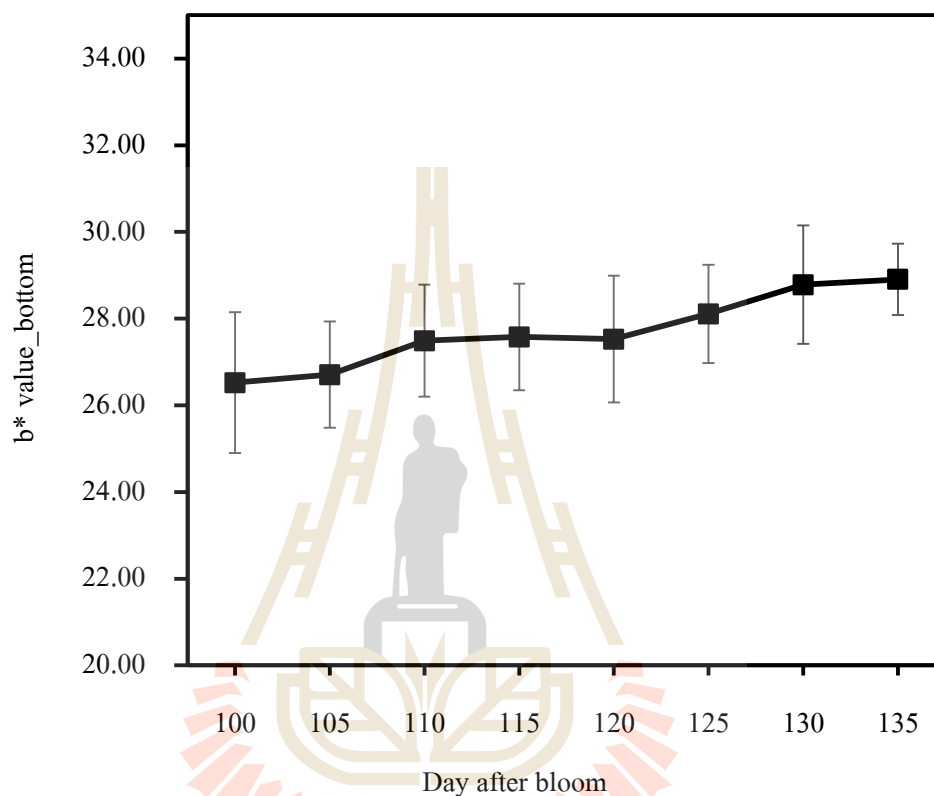
ทุเรียน แต่จะมีปัจจัยอื่นๆเข้ามามีผลกระทบด้วย จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่า a^* โคนหนาม ทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่า a^* โคนหนาม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a^* ที่โคนหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย กับอายุวันหลังจากดอกบาน

ผลการวิเคราะห์ค่า b^* ที่ตำแหน่งโคนหนามจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 แนวโน้มของค่า b^* โคนหนามมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงของสีที่โคนหนามของทุเรียนตามธรรมชาติ โดยสีที่โคนหนามทุเรียนนั้นจะมีความเป็นสีเหลืองมากยิ่งขึ้นเมื่อทุเรียนมีอายุมากขึ้นหรือมีความสุกมากขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่า b^* โคนหนามทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่า b^* โคนหนามที่ช่วงอายุ 100 และ 105 วันหลังดอก

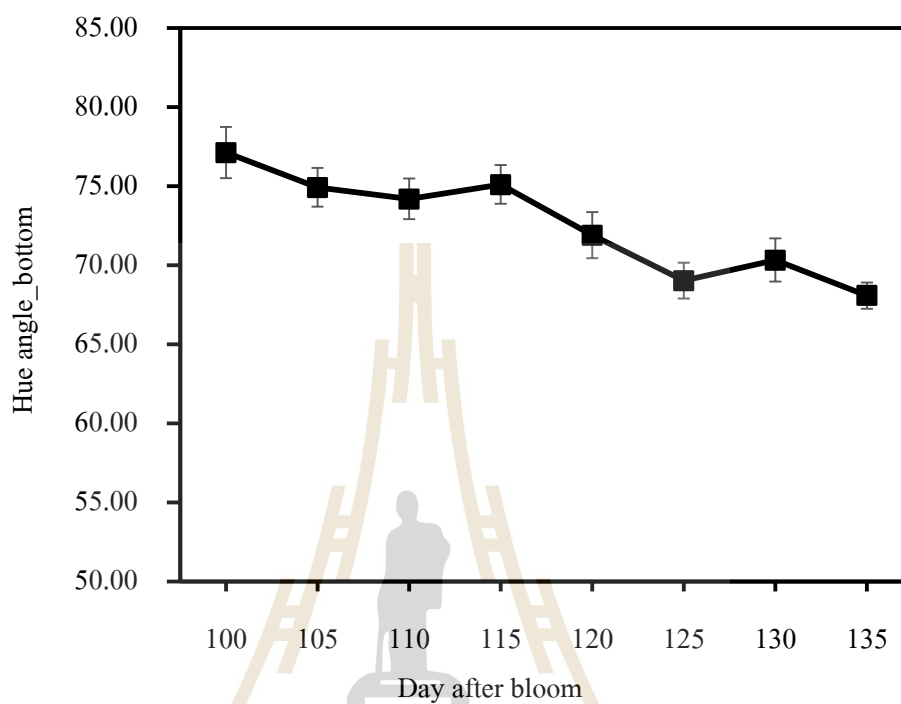
บาน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ที่ช่วงอายุ 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่โคนจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย b* กับอายุวันหลังจากดอกบาน

ผลการวิเคราะห์ค่า Hue angle ที่ตำแหน่งโคนหนามจะมีค่าลดลงตามอายุวัน หลังจากดอกทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผล เพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่า Hue angle โคนหนามทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่า Hue angle โคนหนามที่ช่วงอายุ 100 และ 135 วันหลังดอกบาน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ที่ช่วงอายุ 105 110 115

120 และ 125 วันหลังดอกบาน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



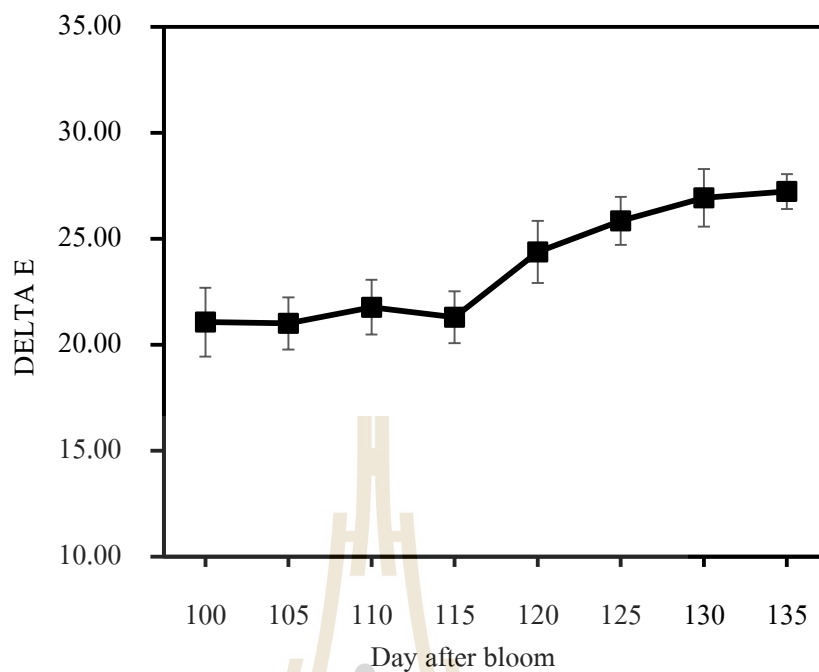
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Hue angle ที่โค่นนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย กับอายุวันหลังจากดอกบาน

ตารางที่ 4.3 ค่าสีที่โคนหนามทุเรียนตั้งแต่ช่วงอายุ 100 ถึง 135 วันหลังดอกบาน

DAB (days)	Color value ^{1,2}			
	L*_bottom	a*_bottom	b*_bottom	Hue angle_bottom
100	54.33 ± 1.53 ^a	-6.06 ± 2.29 ^a	26.52 ± 1.89 ^a	77.13 ± 2.73 ^a
105	53.23 ± 1.55 ^b	-7.19 ± 2.07 ^c	26.71 ± 1.81 ^b	74.93 ± 2.29 ^c
110	52.78 ± 1.53 ^c	-8.07 ± 2.38 ^d	27.86 ± 1.58 ^d	74.20 ± 2.29 ^d
115	52.19 ± 1.52 ^d	-6.97 ± 1.94 ^b	27.58 ± 1.67 ^c	75.11 ± 1.86 ^b
120	52.79 ± 1.52 ^c	-9.00 ± 1.63 ^e	27.53 ± 1.44 ^c	71.90 ± 1.21 ^e
125	52.83 ± 1.59 ^c	-12.47 ± 1.84 ^h	28.11 ± 1.38 ^c	69.03 ± 1.46 ^g
130	51.77 ± 1.52 ^c	-10.30 ± 2.01 ^f	28.78 ± 1.54 ^f	70.33 ± 1.83 ^f
135	51.23 ± 1.79 ^f	-11.24 ± 1.79 ^g	28.90 ± 1.52 ^f	68.08 ± 1.40 ^h

1. ตัวเลขด้านล่างเครื่องหมายบวก-ลบแสดงถึงค่า SD
2. ค่าตัวอักษรที่แสดงอยู่ด้านล่างของค่าเฉลี่ยแสดงถึง ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5%

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าสีที่ตำแหน่งปลายหนาม และที่ตำแหน่ง โคนหนามเสร็จสิ้น ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างสีที่ปลายหนามและ โคนหนาม(DELTA E) ผลการวิเคราะห์ค่าความต่างระหว่างสีที่ปลายหนามและ โคนหนามจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังจากดอก ทุเรียนบานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.15 แนวโน้มของค่าความแตกต่างระหว่างสี ที่ปลายหนามและ โคนหนามจะมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงของสีที่หนามของทุเรียนตาม ธรรมชาติ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อบ่งชี้ถึงความแตกต่างของค่าความแตกต่างระหว่างสีที่ ปลายหนามและ โคนหนามทั้ง 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ว่าในแต่ละช่วงอายุมี ความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการ Duncan method ได้ผลดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่าความแตกต่างระหว่างสีที่ปลายหนามและ โคนหนาม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมี นัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างระหว่างสีที่โคนหนามและปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกับอายุวันหลังจากดอกบาน

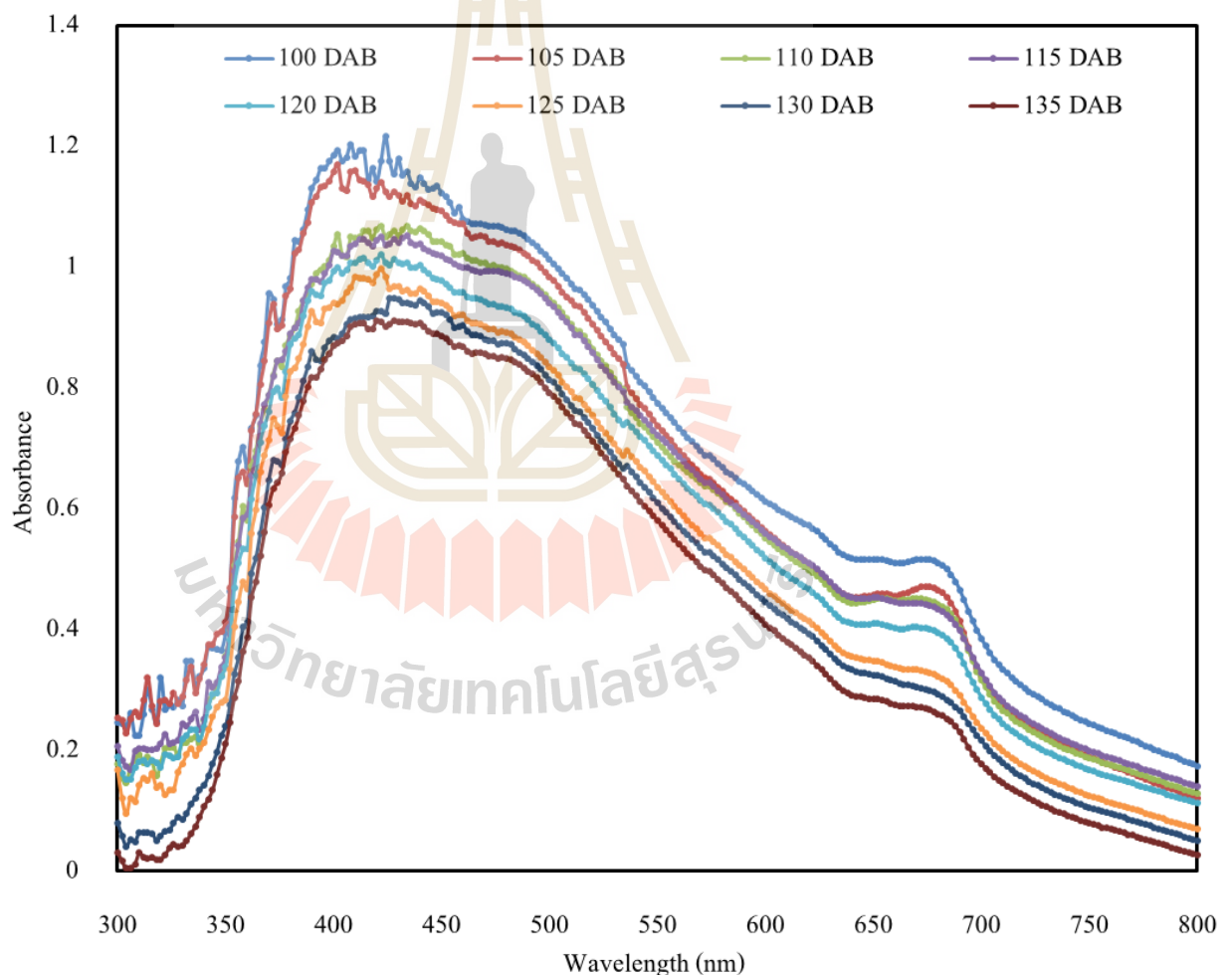
ตารางที่ 4.4 ค่าความต่างระหว่างสีที่โคนหนามและปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย

DAB (days)	Color value ^{1,2}
	DELTA E
100	21.07 ± 1.82 ^a
105	21.01 ± 1.81 ^a
110	21.77 ± 1.71 ^c
115	21.30 ± 1.69 ^b
120	24.39 ± 1.69 ^d
125	25.85 ± 1.49 ^e
130	26.93 ± 1.56 ^f
135	27.23 ± 1.64 ^g

1. ตัวเลขด้านหลังเครื่องหมายบวก-ลบแสดงถึงค่า SD
2. ค่าตัวอักษรที่แสดงอยู่ด้านหลังของค่าเฉลี่ยแสดงถึง ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5%

4.3.2 ผลการทดสอบค่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง

เมื่อทำการทดสอบค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งปลายหนามของทุเรียน พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงนั้น มีการเปลี่ยนแปลงและสัมพันธ์กับอายุวันหลังดอกบานของผลทุเรียน โดยค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงจะมีค่าลดลงตามช่วงอายุวันหลังดอกบาน 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งจากแนวโน้มที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประกิต ทิมขำ (2557) นอกจากนั้นยังได้ทำการปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการกระเจิงของแสง ด้วยวิธี Standard Normal Variate ทำให้ผลกระทบที่เกิดจากการกระเจิงของแสงมีน้อยลง ค่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่ได้จึงมีความน่าเชื่อถือที่มากขึ้น



รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่บริเวณปลายหนามทุเรียนพันธุ์หมอนทองช่วงอายุ 100 – 135 วันหลังจากดอกบาน

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกช่วงอายุของผลทุเรียน

การวิเคราะห์เพื่อทำการจำแนกทุเรียน ทำการวิเคราะห์เพื่อจำแนกทุเรียนเป็น 2 ประเภท สำคัญ ได้แก่ การวิเคราะห์เพื่อจำแนกทุเรียนออกเป็นแต่ละช่วงอายุ ตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน และการวิเคราะห์เพื่อจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะทุเรียนอ่อน กับระยะทุเรียนแก่ โดยใช้มาตรฐานร้อยละน้ำหนักแห้ง (ทุเรียนแก่มีค่าน้ำหนักเนื้อแห้งตั้งแต่ 32% เป็นต้นไป) เข้ามาเป็นตัวแปรสำคัญในการจำแนก ในส่วนของวิธีการตรวจสอบจะทำได้โดยใช้ 2 วิธีการตรวจสอบคือ การวิเคราะห์ภาพถ่าย และการใช้สเปคตรัมของการดูดกลืนแสง ดังนั้น ในการแสดงผลการวิเคราะห์เพื่อจำแนกทุเรียนนั้น จะแสดงผลเป็น 2 หัวข้อ ตามวิธีการตรวจสอบค่า ดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการจำแนกช่วงอายุทุเรียนด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย

4.4.1.1 ผลการจำแนกช่วงอายุทุเรียนด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย

การจำแนกกลุ่มของทุเรียนตั้งแต่ช่วงอายุที่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ซึ่งจากการจำแนกออกเป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน จึงทำให้มี Function ที่ใช้วิเคราะห์ทั้งหมด 7 Function ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ได้แสดงค่า Eigen value ของตั้งแต่ Function 1 – 7 เท่ากับ 31.572 2.258 0.868 0.510 0.259 0.107 และ 0.044 และได้แสดงค่า %Variance ของตั้งแต่ Function 1 – 7 เท่ากับ 88.6 6.3 2.4 1.4 0.7 0.3 และ 0.1 ตามลำดับ จากค่าดังกล่าว สามารถแสดงให้เห็นว่า Function ที่ 1 มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด นอกจากนั้นยังได้ทำการวิเคราะห์ค่า Wilks' Lambda ของแต่ละ Function ได้ผลว่า Function ทั้ง 7 นั้นสามารถใช้ในการแบ่งกลุ่มทุเรียนได้โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่า Eigenvalue ของการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	31.572 ^a	88.6	88.6	.985
2	2.258 ^a	6.3	95.0	.833
3	.868 ^a	2.4	97.4	.682
4	.510 ^a	1.4	98.8	.581
5	.259 ^a	.7	99.6	.454
6	.107 ^a	.3	99.9	.312
7	.044 ^a	.1	100.0	.206

a. First 7 canonical discriminant functions were used in the analysis.

ตารางที่ 4.6 ค่า Wilks' Lambda ของการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1 through 7	.002	8697.073	56	.000
2 through 7	.075	3712.261	42	.000
3 through 7	.243	2022.102	30	.000
4 through 7	.455	1127.550	20	.000
5 through 7	.687	537.786	12	.000
6 through 7	.865	208.034	6	.000
7	.958	61.973	2	.000

ผลการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มทุเรียนออกเป็น 8 ช่วงอายุวันหลังดอกบาน โดยใช้ค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย $L^* a^* b^*$ Hue angle และ Delta E เป็นค่าตัวแปรอิสระที่ไม่เกิดการทำลายผลทุเรียน และกำหนดให้อายุวันหลังดอกบาน (Day after bloom) เป็นตัวแปรตาม จากนั้นทำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มทุเรียนด้วยวิธี Discriminant analysis การคัดเลือกตัวแปรเลือกใช้วิธี Stepwise ความสามารถในการทำนายกลุ่มของทุเรียนได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.7 โดยสามารถทำนายทุเรียนที่ 8 ช่วงอายุวันหลังดอกบาน คือ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน ได้ถูกต้องที่ 74.2 72.6 69.8 78.9 68.4 72.1 83.3 และ 83.9% ความสามารถโดยรวมในการทำนายคือ 79.4%

ตารางที่ 4.7 ผลของการแบ่งกลุ่มทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มตามอายุด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

STAGE	Classified Group (%)								Total
	100	105	110	115	120	125	130	135	
100	74.4	20.8	4.8	0	0	0	0	0	100.0
105	15.2	72.6	12.2	0	0	0	0	0	100.0
110	0	10.7	69.8	19.5	0	0	0	0	100.0
115	0	0	12.4	78.9	5.5	3.2	0	0	100.0
120	0	0	0	6.8	68.4	24.8	0.6	0	100.0
125	0	0	0	0	20.0	72.1	7.9	0	100.0
130	0	0	0	0	0	4.9	83.3	11.8	100.0
135	0	0	0	0	0	1.1	15.0	83.9	100.0
Total correctly classified group (%)								79.4	

4.4.1.2 ผลการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะทุเรียนอ่อนและแก่ด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย

การจำแนกกลุ่มของทุเรียนออกเป็นระยะอ่อนและระยะแก่ ซึ่งจากการจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม จึงทำให้มี Function ที่ใช้วิเคราะห์เพียง 1 Function เท่านั้นดังแสดงในตารางที่ 4.8 ได้แสดงค่า Eigen value ของตั้งแต่ Function เท่ากับ 1.065 นอกจากนั้นยังได้ทำการวิเคราะห์ค่า Wilks' Lambda ของแต่ละ Function ได้ผลว่า Function ที่ได้มานั้นสามารถใช้ในการแบ่งกลุ่มทุเรียนได้โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ค่า Eigenvalue ของการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1.065 ^a	100.0	100.0	.718

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

ตารางที่ 4.9 ค่า Wilks' Lambda ของการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	.484	1039.225	9	.000

ผลการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มทุเรียนออกเป็น 2 ช่วงระยะความอ่อนและแก่ โดยใช้ค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย $L^* a^* b^*$ Hue angle และ Delta E เป็นค่าตัวแปรอิสระที่ไม่เกิดการทำลายผลทุเรียน และกำหนดให้ค่าร้อยละของน้ำหนักแห้ง (Dry matter) เป็นตัวแปรตาม จากนั้นทำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มทุเรียนด้วยวิธี Discriminant analysis การคัดเลือกตัวแปรเลือกใช้วิธี Stepwise ความสามารถในการทำนายกลุ่มของทุเรียนได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.10 โดยสามารถทำนายทุเรียนออกเป็นระยะอ่อนและระยะแก่ ได้ถูกต้องที่ 88.2 และ 93.1% ตามลำดับ ความสามารถโดยรวมในการทำนายคือ 89.2%

ตารางที่ 4.10 ผลการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Stage	Classified Group (%)		total
	immature	mature	
Immature	88.2	11.8	100
Mature	6.9	93.1	100
Total correctly classified group (%)			89.2

4.4.2 ผลการจำแนกช่วงอายุทุเรียนด้วยการใช้สเปกตรัมของการดูดกลืนแสง การวิเคราะห์เพื่อทำนายอายุของทุเรียนด้วยสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง ส่วนของการวิเคราะห์สเปกตรัม ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ 2 โปรแกรม ได้แก่ โปรแกรม SPSS Statistic version 22 ซึ่งแสดงผลออกมาในหัวข้อ 4.4.2.1 กับ 4.4.2.2 และโปรแกรม The Unscrambles ซึ่งแสดงผลออกมาในหัวข้อ 4.4.2.3

4.4.2.1 ผลการจำแนกช่วงอายุทุเรียนด้วยการใช้สเปกตรัมของการดูดกลืนแสง โดยการวิเคราะห์ด้วย IBM SPSS statistic

จากการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มของทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่ม ตั้งแต่ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 อายุวันหลังดอกบาน โดยวิธีการใช้สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่ช่วงคลื่น 300 – 800 นาโนเมตร ที่ทำการวัดได้ที่ตำแหน่งปลายหนามของผลทุเรียน จากการ

วิเคราะห์เพื่อจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่ม จึงทำให้มี Function ที่ใช้วิเคราะห์ทั้งหมด 7 Function ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ได้แสดงค่า Eigen value ของตั้งแต่ Function 1 – 7 เท่ากับ 28.387 10.953 2.840 2.198 1.583 1.231 และ 0.872 และได้แสดงค่า %Variance ของตั้งแต่ Function 1 – 7 เท่ากับ 59.1 22.8 5.9 4.6 3.3 2.6 และ 1.8% ตามลำดับ จากค่าดังกล่าว สามารถแสดงให้เห็นว่า Function ที่ 1 มีผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด นอกจากนั้นยังได้ทำการวิเคราะห์ค่า Wilks' Lambda ของแต่ละ Function ได้ผลว่า Function ทั้ง 7 นั้นสามารถใช้ในการแบ่งกลุ่มทุเรียนได้โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ค่า Eigenvalue ของการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยสเปคตรัมการดูคลื่นแสง

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	28.387 ^a	59.1	59.1	.983
2	10.953 ^a	22.8	81.8	.957
3	2.840 ^a	5.9	87.8	.860
4	2.198 ^a	4.6	92.3	.829
5	1.583 ^a	3.3	95.6	.783
6	1.231 ^a	2.6	98.2	.743
7	.872 ^a	1.8	100.0	.683

a. First 7 canonical discriminant functions were used in the analysis.

ตารางที่ 4.12 ค่า Wilks' Lambda ของการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยสเปคตรัมการดูคลื่นแสง

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1 through 7	.000	15047.349	490	.000
2 through 7	.001	10314.580	414	.000
3 through 7	.008	6841.257	340	.000
4 through 7	.029	4957.447	268	.000
5 through 7	.093	3330.022	198	.000
6 through 7	.239	2001.598	130	.000
7	.534	878.144	64	.000

ผลการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มทุเรียนออกเป็น 8 ช่วงอายุวันหลังดอกบาน โดยวิธีการใช้สเปคตรัมของการดูคลื่นแสงในช่วงคลื่น 300 – 800 นาโนเมตร ที่ทำการวัดได้ที่ตำแหน่งปลายหนามของผลทุเรียนเป็นตัวแปรอิสระ และกำหนดให้อายุวันหลังดอกบาน (Day after bloom) เป็นตัวแปรตาม ทำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มทุเรียนด้วยวิธี Discriminant analysis การคัดเลือกตัวแปรเลือกใช้วิธี Stepwise ความสามารถในการทำนายกลุ่มของทุเรียนได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.13 โดยสามารถทำนายทุเรียนที่ 8 ช่วงอายุวันหลังดอกบาน คือ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังดอกบาน ได้ถูกต้องที่ 88.3 86.1 88.3 82.2 75.6 75.6 89.4 และ 78.3% ความสามารถโดยรวมในการทำนายคือ 83.0%

ตารางที่ 4.13 ผลการแบ่งกลุ่มทุเรียนออกเป็น 8 กลุ่มด้วยการดูคลื่นแสงสเปคตรัม

STAGE	Classified Group (%)								Total
	100	105	110	115	120	125	130	135	
100	88.3	11.7	0	0	0	0	0	0	100.0
105	13.9	86.1	0	0	0	0	0	0	100.0
110	0	3.9	88.3	0	7.8	0	0	0	100.0
115	0	6.7	7.2	82.2	3.9	0	0	0	100.0
120	0	1.1	12.2	11.1	75.6	0	0	0	100.0
125	0	0	1.7	1.1	13.3	75.6	8.3	0	100.0
130	0	0	0	0	0	10.6	89.4	0	100.0
135	0	0	0	0	0	0	21.7	78.3	100.0
Total correctly classified group (%)								83.0	

4.4.2.2 ผลการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะทุเรียนอ่อนและแก่ด้วยสเปคตรัมของการดูคลื่นแสงโดยการวิเคราะห์ด้วย IBM SPSS statistic

การจำแนกกลุ่มของทุเรียนออกเป็นระยะอ่อนและระยะแก่ ซึ่งจากการจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม โดยวิธีการใช้สเปคตรัมของการดูคลื่นแสงในช่วงคลื่น 300 – 800 นาโนเมตร ที่ทำการวัดได้ที่ตำแหน่งปลายหนามของผลทุเรียน จึงทำให้มี Function ที่ใช้วิเคราะห์เพียง 1 Function ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ได้แสดงค่า Eigen value ของตั้งแต่ Function เท่ากับ 1.980 นอกจากนั้นยังได้ทำการวิเคราะห์ค่า Wilks' Lambda ของแต่ละ Function ได้ผลว่า Function ที่ได้มา

นั้นสามารถใช้ในการแบ่งกลุ่มทุเรียนได้โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 ค่า Eigenvalue ของการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยสเปกตรัมการดูคกลิ่นแสง

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1.980 ^a	100.0	100.0	.815

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

ตารางที่ 4.15 ค่า Wilks' Lambda ของการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยสเปกตรัมการดูคกลิ่นแสง

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	.336	1553.754	30	.000

ผลการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มทุเรียนออกเป็น 2 ช่วงระยะความอ่อนและแก่ โดยวิธีการใช้สเปกตรัมของการดูคกลิ่นแสงที่ช่วงคลื่น 300 – 800 นาโนเมตร ที่ทำการวัดได้ที่ตำแหน่งปลายหนามของผลทุเรียนเป็นตัวแปรอิสระ และกำหนดให้ค่าร้อยละของน้ำหนักแห้ง (Dry matter) เป็นตัวแปรตาม ทำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มทุเรียนด้วยวิธี Discriminant analysis การคัดเลือกตัวแปรเลือกใช้วิธี Stepwise ความสามารถในการทำนายกลุ่มของทุเรียนได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.16 โดยสามารถทำนายทุเรียนออกเป็นระยะอ่อนและระยะแก่ ได้ถูกต้องที่ 93.7 และ 81.7% ตามลำดับ ความสามารถโดยรวมในการทำนายคือ 91.2%

ตารางที่ 4.16 ผลการจำแนกทุเรียนออกเป็นระยะอ่อน และแก่ด้วยการดูคกลิ่นแสงสเปกตรัม

Stage	Classified Group (%)		total
	immature	mature	
Immature	93.7	6.3	100
Mature	18.3	81.7	100
Total correctly classified group (%)			91.2

4.4.3 ผลการทำนายอายุของทุเรียนด้วยสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงโดยการวิเคราะห์ด้วย Unscramble software

การทำนายอายุของผลทุเรียน เริ่มจากการแบ่งกลุ่มตัวอย่างสำหรับทำ calibration และ validation โดยแบ่งข้อมูลจากผลทุเรียนในแต่ละช่วงวันที่ทดสอบออกเป็นกลุ่ม calibration (n=15) และกลุ่ม validation (n=5) ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี PLS-DA หรือ Partial Least Squares Discriminant Analysis ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.17 ซึ่งจากผลดังกล่าว จะทราบได้ว่าการใช้ค่าสเปกตรัมที่ไม่มีการปรับแต่ง หรือ Original spectrum มาทำการวิเคราะห์ จะได้ค่าความแม่นยำในการทำนายที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 91.0% และมีค่าความผิดพลาดของการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 1.582 ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโมเดลอื่นๆ ด้วยเหตุนี้เพื่อต้องการเพิ่มความแม่นยำในการทำนาย จึงได้ทำการปรับสเปกตรัม จากการปรับแต่งก็จะพบว่า เมื่อใช้วิธี Smoothing moving average เข้ามาปรับแต่ง จะมีค่าความแม่นยำในการทำนายที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น เท่ากับ 91.1% และมีค่าความผิดพลาดของการทำนายที่ลดลงเล็กน้อยเช่นกัน เท่ากับ 1.581 จากนั้นเมื่อใช้วิธีการ Multiplicative Scatter Correction (MSC) ปรับแต่งสเปกตรัม จะได้ค่าความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นเป็นค่าเท่ากับ 93.4% และมีความผิดพลาดของการทำนายที่ลดลง เท่ากับ 1.361 นอกจากนั้นยังได้นำวิธีการ Standard Normal Variate (SNV) เข้ามาใช้ปรับแต่งสเปกตรัม โดยจะได้ค่าความแม่นยำในการทำนายที่สูงถึง 93.7% และมีค่าความผิดพลาดของการทำนายเพียง 1.328 เท่านั้น ซึ่งเมื่อนำโมเดลทำนายที่พัฒนาด้วยวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมต่างกันมาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Standard Normal Variate ให้ความแม่นยำในการทำนายสูงที่สุด ส่วนโมเดลทำนายที่ใช้ค่าสเปกตรัมที่ไม่มีการปรับแต่งจะมีความแม่นยำต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.17 ผลการจำแนกระยะอายุของผลทุเรียนด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมต่างวิธี

Spectrum model	Predicted maturity	
	Correctly classified (%)	RMSEP
Original spectrum	91.0	1.582
Smoothing spectrum (moving average)	91.1	1.581
MSC spectrum	93.4	1.361
SNV spectrum	93.7	1.328

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาตัวแปรสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีที่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการเจริญเติบโตของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง เพื่อใช้สำหรับอ้างอิงถึงระยะอายุของผลทุเรียนที่จะส่งผลต่อการพัฒนาเทคนิควิธีสำหรับตรวจสอบระยะความอ่อน-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบไม่ทำลายผลของทุเรียนด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ และการใช้วิธีประมวลผลภาพถ่าย รวมทั้งประเมินถึงประสิทธิภาพของเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ได้พัฒนา พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่พัฒนาด้วยวิธีทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็น และเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย เทคนิคใดมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบมากกว่า โดยมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนหรือไม่ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ค่าสมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพที่นำมาใช้สำหรับพัฒนาเทคนิคตรวจสอบช่วงอายุของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

การพัฒนาเทคนิควิธีการตรวจสอบอายุของทุเรียนพันธุ์หมอนทองนั้น ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติต่างๆเพื่อที่จะนำมาพัฒนาวิธีตรวจสอบให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยตัวแปรที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ตัวแปรที่ใช้อ้างอิงถึงระยะอายุของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกเพื่อนำมาใช้ 2 ตัวแปร ได้แก่ ค่าอายุวันหลังจากดอกบานของทุเรียน และค่าร้อยละน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียน ส่วนตัวแปรอีกชนิดหนึ่ง เป็นค่าที่ใช้แทนการตรวจสอบแบบไม่ทำลายผลของทุเรียน ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ ค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย ($L^* a^* b^*$ Hue angle และ Delta E) และค่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง ที่ช่วงความยาวคลื่น 300 – 800 นาโนเมตร

5.1.2 การตรวจสอบอายุของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีการประมวลผลภาพถ่าย
ผลการตรวจสอบระยะความอ่อน-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีการประมวลผลภาพถ่าย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน และจำแนกทุเรียนออกเป็นเป็น 2 ระยะ คือ ทุเรียนในระยะ

อ่อน กับทุเรียนในระยะแก่แล้ว ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าสีที่ได้มาจากภาพถ่าย $L^* a^* b^*$ Hue angle และ Delta E เป็นตัวแปรอิสระ จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรพหุคูณด้วยวิธี Discriminant analysis ทำการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธี Stepwise และประมวลผลออกมาในรูปแบบ Leave one out cross validation โดยในการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 ช่วงอายุวันหลังดอกบาน จะทำการกำหนดให้ค่าอายุวันหลังดอกบานของทุเรียนเป็นตัวแปรตาม สามารถจำแนกได้ที่มีความถูกต้อง 79.4% ส่วนการจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ช่วงระยะอ่อน และระยะแก่ จะทำการกำหนดให้ค่าร้อยละน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนเป็นตัวแปรตาม สามารถจำแนกได้ที่มีความถูกต้อง 89.2%

5.1.3 การตรวจสอบอายุของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็น

ผลการตรวจสอบระยะความอ่อน-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน การจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ระยะ คือ ทุเรียนอ่อน และทุเรียนแก่ และการสร้างสมการทำนายอายุทุเรียน โดยใช้ค่าสเปกตรัมความยาวคลื่นตั้งแต่ช่วง 300 – 800 นาโนเมตร พบว่าสามารถจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 ช่วงอายุได้ความถูกต้อง 83.0% ส่วนการจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ช่วงคือทุเรียนอ่อนและทุเรียนแก่ ด้วยค่าร้อยละน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนพบว่า สามารถจำแนกได้ที่มีความถูกต้อง 91.2% ส่วนสมการทำนายอายุผลของทุเรียนพบ่วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย Standard Normal Variate ให้ความแม่นยำในการทำนายที่ 93.7% มีความแม่นยำสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการ MSC, Smoothing และ Original spectrum

5.1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจสอบอายุของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

จากผลการตรวจสอบอายุของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย และวิธีทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ สามารถนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกัน โดยจากการจำแนกทุเรียนออกเป็น 8 ช่วงอายุตั้งแต่ 100 – 135 วันหลังดอกบาน ได้ผลว่า การตรวจสอบด้วยวิธีทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ สามารถจำแนกได้ถูกต้อง 83.0% และวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายสามารถจำแนกได้ถูกต้อง 79.4% ส่วนผลจากการจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ระยะ คือ ทุเรียนอ่อน กับทุเรียนแก่ ได้ผลการตรวจสอบว่า การตรวจสอบด้วยวิธีทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ สามารถจำแนกได้ถูกต้อง 91.2% และวิธีการวิเคราะห์

ภาพถ่ายสามารถจำแนกได้ถูกต้อง 89.2% จากผลดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่าวิธีการตรวจสอบอายุของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายเล็กน้อย สิ่งสำคัญที่ได้จากข้อสรุปของผลการเปรียบเทียบดังกล่าว เนื่องจากวิธีทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้ มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเมื่อกลับไปพิจารณาถึงเรื่องต้นทุนของการทดสอบแล้ว การวิเคราะห์ภาพถ่ายใช้ต้นทุนของอุปกรณ์ทดสอบที่น้อยกว่าการวัดค่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอยู่มาก ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงมีความคุ้มค่าที่จะนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายไปพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปใช้งานได้จริงกับการตรวจสอบอายุของทุเรียนพันธุ์หมอนทองได้ในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากผลการประเมินถึงต้นทุนของอุปกรณ์ในการทดสอบด้วยการประมวลผลภาพถ่ายแล้วพบว่าวิธีการประมวลผลภาพถ่ายมีความคุ้มค่าที่จะนำวิธีนี้ไปใช้งานต่อไปได้ แต่เนื่องจากผลการจำแนกอายุของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้ยังมีความถูกต้องที่น้อยกว่าวิธีทางสเปกโตรสโคปีย่านแสงที่มองเห็นได้อยู่เล็กน้อย ดังนั้น จึงต้องทำการพัฒนาประสิทธิภาพของวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายให้มากขึ้น นอกจากนั้นในขั้นตอนของการประมวลผลภาพถ่าย เป็นการนำภาพถ่ายมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบค่าสี โดยสามารถทำได้เพียงครั้งละ 1 ตำแหน่งของภาพถ่ายเท่านั้น จึงทำให้เกิดความล่าช้าในขั้นตอนนี้อยู่มาก ดังนั้นจึงควรที่จะพัฒนาวิธีการหรือเขียนโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายให้มีความรวดเร็วที่มากขึ้น และไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ลดลง

รายการอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2551). คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ทูเรียน. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. 9 – 17 น.
- จริงแท้ ศิริพานิช. (2550). ผลของน้ำต่อมาตรฐานน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. งบประมาณ 2549 โครงการวิจัยรหัส ก-ย(ค) 4.49.
- ณัชชา ชัยพันธ์วิริยาพร, ดนัย บุญเกียรติ, พิเศษฐ์ น้อยมณี และ ปาริชาติ เทียนจุมพล. (2555). การตรวจสอบอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. ว. วิทย. กษ. 43 : 3 (พิเศษ). 477 - 480 น.
- ประกิต ทิมขำ. (2557). การศึกษาการตรวจสอบความแก่ของทุเรียนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยแปรพหุคูณ. วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 25 - 38 น.
- ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง และ วีระศักดิ์ เลิศศิริโยธิน. (2555). การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของ ข้าวหอมมะลิและข้าวปทุมธานี 1 โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13.
- พีรณัฐ ทวีชลพิสิฐ, วรณพร พงษ์อภัย, รณฤทธิ์ ฤทธิธรรม, เกลิมชัย วงษ์อารี, ชิตินา วงษ์ชรี และ กานดา เลิศดลาลัย. (2556). การตรวจสอบปริมาณสารวานิลลินในฝักวานิลลาบ่มอย่างไม่ทำลายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. ว. วิทย. กษ. 44(2) (พิเศษ): 281 - 284 น.
- พีรพงษ์ แสงวนวงศ์กุล. (2541). การเจริญเติบโตและการพัฒนาผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองและอิทธิพลของเอทีฟอนในระยะก่อนการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 50 – 61 น.
- เพ็ญแข แสงแก้ว. (2554). สถิติเพื่อการวิจัยโดยใช้คอมพิวเตอร์ (SPSS Version 10.0). โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี้พับบลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ
- ไพโรจน์ คล้ายเพชร. (2556). วิธีการวัดสีแผ่นพิมพ์ชนับด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์สีพื้น. วิทยานิพนธ์ดุสิตบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 5 – 23 น.

- ศักยะ สมบัติไพรวรรณ, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ กระวี ตรีอำนรรค. (2555). การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13.
- ศิริชัย กัลยาณรัตน์. (2548). ผลของ solilicilic ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. โครงการพัฒนานักศึกษาด้านเทคโนโลยีและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ปีที่ 4.
- ศราวุธ ภูไพบิจิตรกุล. (2551). เทคนิคปฏิบัติการใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในการวิเคราะห์ทางเคมี. แหล่งที่มา : <http://www.mwit.ac.th/~sarawoot/chem40235.html>. 13 สิงหาคม 2559.
- ศศิภา เต็กอวยพร. (2554). การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบด้วยระบบการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย. วิทยานิพนธ์คุณวุฒิปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร. 18 – 27 น.
- ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี. (2552). ข้อมูลประวัติของทุเรียน. แหล่งที่มา : http://doa.go.th/hrc/chantaburi/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=65. 10 สิงหาคม 2559.
- สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ออนไลน์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2554). การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี. แหล่งที่มา : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-biology1/Chapter8/Part3.html>. 31 สิงหาคม 2559.
- สนธิสุข ชีระชัยชุกติ. (2552). การตรวจสอบคุณภาพผลไม้โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า 3(1): 44 – 52 น.
- สมประสงค์ เสนารัตน์. (2553). การจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Discriminant Analysis. วิทยานิพนธ์นิสิตหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปริญญาโท สาขาวิชาวิจัยและประเมินผล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2 – 25 น.
- สิรินาถ น้อยพิทักษ์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ กฤษณา กฤษณพุกต์. (2555). การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการประเมินความฝาดของพลับพลาพันธุ์ P2 แบบไม่ทำลาย. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.
- สุภาพร แสงศรีจันทร์. (2558). UV-Visible Spectroscopy- UV-Vis. เอกสารการสอนรายวิชา Analytical Chemistry สาขาเคมีวิเคราะห์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 16 น.
- สุวรรณ เอกรัมย์, จินตพร กลิ่นสุข และ วีระศักดิ์ เลิศศิริโยธิน. (2559). การวัดสีผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ. ว. วิทย์. กษ. 47 : 3 (พิเศษ) : 417-420 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). ศูนย์ข้อมูลผลไม้ ทูเรียน. แหล่งที่มา :

<http://www.oae.go.th/fruits/index.php/2013-01-25-03-34-09?id=156> . 31 สิงหาคม 2559.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2556). มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 3-2556
ทูเรียน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 14 น.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2557). มาตรฐานสินค้าเกษตรทูเรียน.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 3-14 น.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. (2545). การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. ใน เอกสารประกอบการ
อบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อ
การแข่งขันในเวทีการค้าโลก, 27-28 พฤศจิกายน 2545, ณ อาคารวิทยบริการ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 67-98 น.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. (2558). เทคนิคทางวิศวกรรมแบบไม่ทำลายสำหรับผลผลิตเกษตร.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 45 – 50 น.

อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, วารุณี ธนะแพสย์, สุมาพร เกษมสำราญ และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. (2551). การ
ใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นสำหรับการหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ
ได้ในผลมังคุด. รายงานวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อารีรัตน์ อิมสิลป์, ปิยรัตน์ สิริธัญกิจ และ รจนา ประสิทธิ์. (2555). การจำแนกข้าวหอมมะลิออกจาก
ข้าวพันธุ์อื่นด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยราช
ภัฏสวนดุสิต.

อาทิตย์ สิริจรรย์วัตร. (2558). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงสุกตัดแต่งในระหว่างการเก็บ
รักษาแบบแช่เย็น. KHON KAEN AGR. J. 43 SUPPL. 1 : (2015).

Anthon, G.E. and Barrett, D.M. (2011). Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters
during extended vine holding of ripe processing tomatoes. Journal of Food and Agriculture
91 (2011), pp. 1175–1181.

Aurelio Mahiques Cuesta. (2016). An investigation into different post-harvest treatments (MAP)
on Green Bell Peppers (*Capsicum annuum* L. cv. Cupra). Submitted as part requirement
for the Degree of BSc (Hons) Horticulture, Writtle College and the University of Essex.
April 2016, pp. 9.

CIE. (1995). Industrial colour-difference evaluation (Technical Report). Publication CIENo. 116.
Vienna: Central Bureau of the Commission Internationale de L'Eclairage.

- Fuggate, P., Wongs-Aree C., Noichinda, S. and Kanlayanarat, S. (2010). Quality and volatile attributes of attached and detached 'pluk mai lie' papaya during fruit ripening. *Scientia Horticulturae*. 126, pp. 120-129.
- Jha S. N. (2007). Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering* 78 (2007), pp. 22–26.
- Kawano, S. (2002). In H.W.Siesler, et al., eds., *Near-Infrared Spectroscopy : Theory, Instruments, and Applications*. WILEYVCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, pp. 269-287.
- Mendozaa, F., Dejmekb, P. and Aguilera, J.M. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology* 41 (2006), pp. 285–295.
- Mohsenin, N. N. (1996). *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Phothisonothai, M. (2010). NONDESTRUCTIVE MATURITY CLASSIFICATION OF DURIAN BASED ON FRACTAL FEATURES. 10th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA 2010).
- Subhadrbandhu, S. and Ketsa, S. (2001). *Durian King of Topical Fruit*, Daphne Brasell Associates, Thordon, Wellington, New Zealand, pp. 122-126.
- Timkhun, P. and Terdwongworakul, A. (2012). Non-destructive classification of durian maturity of 'Monthong' cultivar by means of visible spectroscopy of the spine. *Journal of Food Engineering* 112 (2012), pp. 263–267.
- Wang, H., Peng, J., Xie, C., Bao, Y. and He, Y. (2015). Fruit Quality Evaluation Using Spectroscopy Technology : A Review. *Sensors* 2015, 15, pp. 11889-11927.



ภาคผนวก ก

ตารางผลการวิเคราะห์ข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ ก1 Test of Equality of Group Means ของการจำแนกทุเรียน 8 กลุ่ม

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
Firmness	.171	994.876	7	1432	.000
SGผล	.615	128.003	7	1432	.000
SGเนื้อ	.659	105.947	7	1432	.000
TSS	.170	1000.932	7	1432	.000
PH	.425	276.802	7	1432	.000
HUE_end	.961	8.312	7	1432	.000
Hue_bottom	.233	671.575	7	1432	.000
L_END	.122	1471.408	7	1432	.000
a_END	.713	82.458	7	1432	.000
b_END	.103	1780.811	7	1432	.000
L_BOTTOM	.297	483.246	7	1432	.000
a_BOTTOM	.182	916.923	7	1432	.000
b_BOTTOM	.375	340.296	7	1432	.000
w300	.265	566.963	7	1432	.000
w302	.245	631.504	7	1432	.000
w304	.207	784.716	7	1432	.000
w306	.195	843.243	7	1432	.000
w308	.205	794.359	7	1432	.000
w310	.217	737.749	7	1432	.000
w312	.201	814.433	7	1432	.000
w314	.175	963.476	7	1432	.000
w316	.205	793.607	7	1432	.000
w318	.202	805.995	7	1432	.000
w320	.190	874.815	7	1432	.000
w322	.196	841.804	7	1432	.000
w324	.204	797.223	7	1432	.000
w326	.209	776.053	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w328	.199	822.909	7	1432	.000
w330	.178	941.847	7	1432	.000
w332	.200	818.693	7	1432	.000
w334	.199	824.022	7	1432	.000
w336	.215	748.776	7	1432	.000
w338	.235	666.092	7	1432	.000
w340	.232	677.730	7	1432	.000
w342	.174	969.590	7	1432	.000
w344	.228	691.806	7	1432	.000
w346	.240	648.252	7	1432	.000
w348	.296	485.424	7	1432	.000
w350	.328	418.202	7	1432	.000
w352	.288	504.798	7	1432	.000
w354	.193	856.101	7	1432	.000
w356	.186	894.516	7	1432	.000
w358	.244	634.464	7	1432	.000
w360	.223	712.266	7	1432	.000
w362	.216	743.333	7	1432	.000
w364	.204	798.414	7	1432	.000
w366	.200	816.882	7	1432	.000
w368	.234	669.790	7	1432	.000
w370	.279	528.770	7	1432	.000
w372	.178	945.528	7	1432	.000
w374	.209	776.263	7	1432	.000
w376	.371	346.613	7	1432	.000
w378	.327	420.722	7	1432	.000
w380	.216	742.817	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w382	.263	573.552	7	1432	.000
w384	.425	276.860	7	1432	.000
w386	.428	273.686	7	1432	.000
w388	.439	261.208	7	1432	.000
w390	.445	255.244	7	1432	.000
w392	.511	196.043	7	1432	.000
w394	.508	198.355	7	1432	.000
w396	.493	210.652	7	1432	.000
w398	.477	224.538	7	1432	.000
w400	.495	208.731	7	1432	.000
w402	.428	273.243	7	1432	.000
w404	.522	187.156	7	1432	.000
w406	.508	198.300	7	1432	.000
w408	.484	218.041	7	1432	.000
w410	.478	223.748	7	1432	.000
w412	.468	232.918	7	1432	.000
w414	.457	242.693	7	1432	.000
w416	.475	225.875	7	1432	.000
w418	.453	247.336	7	1432	.000
w420	.452	248.296	7	1432	.000
w422	.449	251.327	7	1432	.000
w424	.430	270.854	7	1432	.000
w426	.365	355.744	7	1432	.000
w428	.339	398.756	7	1432	.000
w430	.334	407.438	7	1432	.000
w432	.346	386.671	7	1432	.000
w434	.306	464.475	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w436	.288	505.244	7	1432	.000
w438	.287	507.078	7	1432	.000
w440	.274	541.053	7	1432	.000
w442	.251	609.826	7	1432	.000
w444	.248	618.869	7	1432	.000
w446	.230	683.856	7	1432	.000
w448	.235	667.404	7	1432	.000
w450	.231	682.365	7	1432	.000
w452	.223	712.299	7	1432	.000
w454	.232	675.953	7	1432	.000
w456	.228	694.121	7	1432	.000
w458	.207	783.019	7	1432	.000
w460	.175	967.496	7	1432	.000
w462	.177	954.450	7	1432	.000
w464	.181	928.539	7	1432	.000
w466	.180	930.458	7	1432	.000
w468	.170	999.387	7	1432	.000
w470	.160	1073.001	7	1432	.000
w472	.164	1045.689	7	1432	.000
w474	.164	1040.233	7	1432	.000
w476	.166	1030.357	7	1432	.000
w478	.163	1049.248	7	1432	.000
w480	.169	1008.478	7	1432	.000
w482	.169	1004.055	7	1432	.000
w484	.168	1016.256	7	1432	.000
w486	.169	1006.518	7	1432	.000
w488	.166	1025.445	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w490	.163	1051.340	7	1432	.000
w492	.163	1053.689	7	1432	.000
w494	.161	1065.702	7	1432	.000
w496	.163	1050.310	7	1432	.000
w498	.161	1065.945	7	1432	.000
w500	.164	1044.695	7	1432	.000
w502	.162	1055.411	7	1432	.000
w504	.158	1088.992	7	1432	.000
w506	.156	1104.171	7	1432	.000
w508	.154	1127.684	7	1432	.000
w510	.151	1154.166	7	1432	.000
w512	.149	1171.202	7	1432	.000
w514	.148	1178.780	7	1432	.000
w516	.146	1194.581	7	1432	.000
w518	.146	1200.045	7	1432	.000
w520	.145	1209.180	7	1432	.000
w522	.145	1204.393	7	1432	.000
w524	.144	1220.839	7	1432	.000
w526	.143	1225.249	7	1432	.000
w528	.142	1239.433	7	1432	.000
w530	.138	1274.376	7	1432	.000
w532	.136	1305.130	7	1432	.000
w534	.135	1308.365	7	1432	.000
w536	.161	1063.398	7	1432	.000
w538	.158	1086.954	7	1432	.000
w540	.159	1083.406	7	1432	.000
w542	.159	1078.985	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w544	.156	1107.672	7	1432	.000
w546	.155	1116.711	7	1432	.000
w548	.157	1098.203	7	1432	.000
w550	.159	1078.953	7	1432	.000
w552	.161	1069.736	7	1432	.000
w554	.162	1056.382	7	1432	.000
w556	.164	1044.036	7	1432	.000
w558	.166	1024.548	7	1432	.000
w560	.165	1034.115	7	1432	.000
w562	.163	1048.873	7	1432	.000
w564	.164	1046.385	7	1432	.000
w566	.166	1027.994	7	1432	.000
w568	.169	1003.539	7	1432	.000
w570	.174	969.242	7	1432	.000
w572	.177	950.990	7	1432	.000
w574	.178	946.978	7	1432	.000
w576	.179	937.193	7	1432	.000
w578	.181	923.920	7	1432	.000
w580	.181	924.190	7	1432	.000
w582	.180	931.805	7	1432	.000
w584	.183	916.055	7	1432	.000
w586	.183	911.461	7	1432	.000
w588	.183	913.515	7	1432	.000
w590	.181	923.004	7	1432	.000
w592	.181	922.830	7	1432	.000
w594	.182	918.701	7	1432	.000
w596	.182	918.400	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w598	.184	910.000	7	1432	.000
w600	.183	910.803	7	1432	.000
w602	.183	911.313	7	1432	.000
w604	.184	906.860	7	1432	.000
w606	.186	896.240	7	1432	.000
w608	.187	889.592	7	1432	.000
w610	.188	886.333	7	1432	.000
w612	.190	871.674	7	1432	.000
w614	.191	867.132	7	1432	.000
w616	.192	860.662	7	1432	.000
w618	.193	856.191	7	1432	.000
w620	.195	844.790	7	1432	.000
w622	.194	848.378	7	1432	.000
w624	.192	861.347	7	1432	.000
w626	.191	867.001	7	1432	.000
w628	.191	868.837	7	1432	.000
w630	.189	876.046	7	1432	.000
w632	.189	876.162	7	1432	.000
w634	.188	886.113	7	1432	.000
w636	.188	882.977	7	1432	.000
w638	.186	894.264	7	1432	.000
w640	.185	900.538	7	1432	.000
w642	.182	921.176	7	1432	.000
w644	.178	942.587	7	1432	.000
w646	.175	966.940	7	1432	.000
w648	.174	970.196	7	1432	.000
w650	.171	988.837	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w652	.165	1035.177	7	1432	.000
w654	.163	1047.783	7	1432	.000
w656	.163	1047.583	7	1432	.000
w658	.162	1054.981	7	1432	.000
w660	.161	1069.681	7	1432	.000
w662	.157	1099.865	7	1432	.000
w664	.153	1131.143	7	1432	.000
w666	.148	1174.655	7	1432	.000
w668	.147	1189.400	7	1432	.000
w670	.144	1220.652	7	1432	.000
w672	.139	1269.948	7	1432	.000
w674	.137	1285.491	7	1432	.000
w676	.135	1313.295	7	1432	.000
w678	.135	1309.170	7	1432	.000
w680	.135	1309.612	7	1432	.000
w682	.136	1301.822	7	1432	.000
w684	.139	1267.288	7	1432	.000
w686	.143	1224.893	7	1432	.000
w688	.151	1152.175	7	1432	.000
w690	.154	1122.657	7	1432	.000
w692	.160	1073.451	7	1432	.000
w694	.175	964.791	7	1432	.000
w696	.185	902.740	7	1432	.000
w698	.188	884.282	7	1432	.000
w700	.193	853.321	7	1432	.000
w702	.194	850.208	7	1432	.000
w704	.197	831.858	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w706	.203	801.306	7	1432	.000
w708	.207	785.153	7	1432	.000
w710	.211	766.368	7	1432	.000
w712	.212	758.440	7	1432	.000
w714	.218	735.655	7	1432	.000
w716	.219	729.146	7	1432	.000
w718	.220	726.395	7	1432	.000
w720	.219	729.077	7	1432	.000
w722	.219	727.618	7	1432	.000
w724	.220	724.280	7	1432	.000
w726	.223	712.240	7	1432	.000
w728	.225	706.053	7	1432	.000
w730	.224	708.807	7	1432	.000
w732	.227	698.020	7	1432	.000
w734	.229	689.419	7	1432	.000
w736	.230	683.392	7	1432	.000
w738	.233	674.552	7	1432	.000
w740	.235	665.444	7	1432	.000
w742	.235	665.765	7	1432	.000
w744	.237	658.609	7	1432	.000
w746	.239	650.889	7	1432	.000
w748	.241	643.461	7	1432	.000
w750	.243	638.077	7	1432	.000
w752	.227	697.761	7	1432	.000
w754	.251	610.651	7	1432	.000
w756	.246	626.943	7	1432	.000
w758	.245	629.649	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w760	.269	555.361	7	1432	.000
w762	.243	638.765	7	1432	.000
w764	.232	675.659	7	1432	.000
w766	.237	659.034	7	1432	.000
w768	.231	679.188	7	1432	.000
w770	.236	660.424	7	1432	.000
w772	.254	599.540	7	1432	.000
w774	.254	600.793	7	1432	.000
w776	.251	612.043	7	1432	.000
w778	.248	620.248	7	1432	.000
w780	.252	606.780	7	1432	.000
w782	.251	610.722	7	1432	.000
w784	.293	492.502	7	1432	.000
w786	.299	480.554	7	1432	.000
w788	.280	525.493	7	1432	.000
w790	.285	513.449	7	1432	.000
w792	.290	499.892	7	1432	.000
w794	.319	436.557	7	1432	.000
w796	.324	426.403	7	1432	.000
w798	.325	424.407	7	1432	.000
w800	.333	409.734	7	1432	.000

ตารางผนวกที่ ก2 Structure Matrix ของการจำแนกทุเรียน 8 กลุ่ม

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
b_END	-.341*	.083	-.035	.219	-.050	-.252	.277
L_END	.317*	.019	-.057	-.028	.137	-.084	-.060
w676 ^b	.301*	.090	.090	-.024	.116	-.063	-.033
w682 ^b	.299*	.087	.086	-.025	.117	-.063	-.030
w532 ^b	.299*	.016	.119	-.063	.050	-.037	-.124
w678 ^b	.299*	.089	.088	-.025	.116	-.063	-.032
w680 ^b	.299*	.088	.087	-.025	.117	-.064	-.030
w534	.298*	.018	.124	-.062	.052	-.037	-.125
w674 ^b	.297*	.092	.090	-.024	.117	-.062	-.033
w530 ^b	.297*	.015	.112	-.064	.050	-.034	-.121
w684 ^b	.295*	.088	.086	-.024	.117	-.063	-.033
w672 ^b	.293*	.094	.090	-.028	.118	-.060	-.032
w528 ^b	.293*	.015	.111	-.066	.050	-.039	-.118
w526 ^b	.291*	.017	.108	-.068	.052	-.037	-.114
w686 ^b	.290*	.089	.088	-.022	.121	-.065	-.031
w524 ^b	.290*	.018	.105	-.070	.050	-.034	-.114
w522 ^b	.288*	.017	.103	-.065	.049	-.031	-.117
w670 ^b	.287*	.095	.093	-.024	.127	-.055	-.031
w518 ^b	.285*	.023	.103	-.071	.050	-.019	-.121
w516 ^b	.285*	.026	.101	-.073	.045	-.014	-.126
w520 ^b	.285*	.019	.104	-.068	.049	-.027	-.116
w514 ^b	.284*	.027	.101	-.072	.042	-.012	-.131
w512 ^b	.283*	.027	.100	-.071	.042	-.009	-.131
w688 ^b	.281*	.094	.093	-.020	.133	-.054	-.030
w668 ^b	.281*	.096	.095	-.022	.135	-.049	-.030
w510	.280*	.026	.107	-.067	.047	-.007	-.134

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w666 ^b	.280 [*]	.096	.096	-.019	.144	-.039	-.034
w664 ^b	.278 [*]	.096	.095	-.012	.151	-.029	-.036
w546 ^b	.276 [*]	.069	.072	.080	.081	-.057	-.029
w690 ^b	.276 [*]	.097	.095	-.011	.150	-.040	-.031
w538 ^b	.276 [*]	.052	.059	.073	.078	-.044	-.021
w508 ^b	.275 [*]	.027	.113	-.068	.057	.001	-.139
w544 ^b	.275 [*]	.065	.073	.081	.081	-.057	-.029
w540 ^b	.274 [*]	.059	.067	.077	.079	-.051	-.022
w662 ^b	.273 [*]	.096	.096	-.006	.159	-.021	-.035
w548 ^b	.273 [*]	.071	.073	.081	.084	-.061	-.027
w506 ^b	.272 [*]	.029	.112	-.074	.055	.005	-.146
w536 ^b	.272 [*]	.048	.055	.071	.071	-.043	-.017
w504 ^b	.272 [*]	.027	.109	-.078	.048	.010	-.148
w542 ^b	.272 [*]	.063	.072	.083	.079	-.056	-.025
w470	.271 [*]	.011	.066	-.090	.015	.021	-.120
w550 ^b	.271 [*]	.076	.077	.077	.083	-.064	-.025
w552 ^b	.269 [*]	.078	.082	.083	.077	-.065	-.029
w564 ^b	.269 [*]	.095	.091	.063	.105	-.051	-.038
w692 ^b	.269 [*]	.097	.095	.007	.163	-.019	-.031
w494	.269 [*]	.016	.114	-.063	.035	.011	-.154
w562 ^b	.268 [*]	.092	.091	.071	.101	-.053	-.038
w498 ^b	.267 [*]	.024	.111	-.069	.049	.008	-.153
w478 ^b	.267 [*]	.016	.089	-.072	.034	.022	-.133
w472	.267 [*]	.014	.079	-.070	.032	.024	-.129
w490	.267 [*]	.016	.107	-.064	.040	.012	-.150
w554 ^b	.267 [*]	.080	.087	.086	.077	-.063	-.030

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w560 ^b	.267 [*]	.088	.089	.078	.095	-.058	-.036
w660 ^b	.267 [*]	.094	.095	.000	.162	-.015	-.034
w502 ^b	.267 [*]	.024	.107	-.074	.038	.010	-.148
w496	.267 [*]	.019	.113	-.065	.044	.015	-.155
w474	.266 [*]	.018	.081	-.074	.038	.021	-.129
w492 ^b	.266 [*]	.014	.111	-.064	.041	.013	-.149
w556 ^b	.266 [*]	.081	.089	.087	.081	-.063	-.030
w566 ^b	.266 [*]	.096	.092	.061	.107	-.051	-.033
w658 ^b	.265 [*]	.095	.097	.005	.161	-.016	-.033
w558 ^b	.265 [*]	.081	.089	.085	.089	-.062	-.032
w500 ^b	.265 [*]	.025	.110	-.071	.041	.006	-.150
w476	.265 [*]	.017	.095	-.069	.043	.016	-.135
w484 ^b	.264 [*]	.008	.102	-.062	.035	.011	-.140
w654 ^b	.264 [*]	.094	.099	.012	.159	-.018	-.034
w656 ^b	.264 [*]	.094	.099	.007	.159	-.018	-.032
w652 ^b	.263 [*]	.090	.100	.023	.160	-.017	-.032
w568 ^b	.263 [*]	.098	.091	.053	.111	-.048	-.032
w488 ^b	.263 [*]	.012	.106	-.061	.041	.015	-.146
w486 ^b	.263 [*]	.013	.101	-.065	.035	.010	-.142
w480	.262 [*]	.016	.089	-.067	.038	.025	-.133
w468	.262 [*]	.006	.052	-.087	.021	.024	-.096
w482	.261 [*]	.012	.094	-.063	.040	.026	-.139
w650 ^b	.260 [*]	.088	.098	.035	.169	-.013	-.028
w570 ^b	.259 [*]	.097	.089	.050	.114	-.047	-.033
TSS	-.259 [*]	-.010	.103	.146	-.102	-.075	-.129
w646 ^b	.258 [*]	.081	.101	.056	.181	-.005	-.032

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
Firmness	.258 [*]	.070	-.097	.047	.112	.113	-.003
w644 ^b	.257 [*]	.079	.099	.061	.187	-.001	-.033
w460	.257 [*]	.000	.011	-.111	-.012	.060	-.077
w648 ^b	.257 [*]	.083	.100	.047	.177	-.010	-.027
w572 ^b	.256 [*]	.098	.089	.044	.117	-.044	-.034
w462	.256 [*]	.014	.050	-.083	.022	.054	-.100
w574 ^b	.255 [*]	.098	.089	.042	.117	-.044	-.034
w602 ^b	.254 [*]	.080	.092	.061	.153	.000	-.037
w642 ^b	.254 [*]	.076	.097	.063	.189	.002	-.032
w592 ^b	.254 [*]	.091	.091	.042	.143	-.015	-.038
w596 ^b	.254 [*]	.086	.092	.049	.148	-.004	-.038
w342	.254 [*]	.047	-.089	.170	-.071	-.060	-.125
w604 ^b	.254 [*]	.079	.093	.063	.155	.000	-.038
w372	.254 [*]	-.025	-.110	.068	-.035	-.048	-.031
w600 ^b	.254 [*]	.082	.091	.057	.153	.002	-.038
w598 ^b	.253 [*]	.083	.092	.054	.152	-.001	-.038
w582 ^b	.253 [*]	.099	.090	.029	.124	-.032	-.034
w576 ^b	.253 [*]	.097	.088	.039	.117	-.042	-.033
w594 ^b	.253 [*]	.088	.091	.048	.146	-.009	-.038
w640 ^b	.253 [*]	.073	.095	.068	.189	.004	-.032
w590 ^b	.253 [*]	.093	.090	.035	.138	-.019	-.037
w638 ^b	.253 [*]	.071	.093	.070	.191	.002	-.035
w466	.252 [*]	.012	.049	-.086	.028	.035	-.094
w584 ^b	.252 [*]	.100	.087	.027	.127	-.028	-.035
w586 ^b	.252 [*]	.099	.087	.030	.130	-.025	-.036
w464	.252 [*]	.022	.049	-.080	.042	.038	-.101

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w314	.252 [*]	-.012	-.168	.125	-.133	-.058	-.079
w634 ^b	.252 [*]	.069	.093	.077	.190	.000	-.034
w694 ^b	.252 [*]	.086	.096	.041	.183	-.011	-.031
w636 ^b	.252 [*]	.069	.092	.074	.191	.000	-.034
w606 ^b	.252 [*]	.076	.093	.065	.159	.004	-.039
w578 ^b	.252 [*]	.098	.088	.033	.119	-.037	-.034
w580 ^b	.251 [*]	.097	.090	.030	.120	-.034	-.036
w632 ^b	.251 [*]	.069	.092	.075	.190	.002	-.036
w588 ^b	.251 [*]	.096	.090	.033	.133	-.020	-.036
w630 ^b	.250 [*]	.070	.092	.075	.188	.003	-.036
w608 ^b	.250 [*]	.076	.092	.067	.162	.003	-.037
w628 ^b	.249 [*]	.070	.090	.075	.186	.002	-.037
w610 ^b	.249 [*]	.075	.091	.068	.168	.004	-.034
w626 ^b	.249 [*]	.070	.091	.076	.185	.001	-.037
w624 ^b	.248 [*]	.069	.091	.076	.184	.002	-.037
w356	.247 [*]	.010	-.087	.054	.011	-.104	-.046
w696 ^b	.247 [*]	.085	.096	.058	.191	-.013	-.031
w698 ^b	.246 [*]	.081	.097	.074	.196	-.016	-.028
w614 ^b	.246 [*]	.076	.092	.072	.174	.005	-.034
w612 ^b	.246 [*]	.074	.091	.069	.172	.005	-.033
w620 ^b	.246 [*]	.071	.092	.076	.181	.002	-.035
w622 ^b	.246 [*]	.068	.090	.076	.184	.003	-.037
w616 ^b	.245 [*]	.075	.092	.075	.177	.006	-.035
w618 ^b	.245 [*]	.073	.092	.076	.178	.004	-.035
w702 ^b	.245 [*]	.073	.091	.096	.199	-.013	-.030
w700 ^b	.245 [*]	.076	.094	.087	.197	-.012	-.030

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w354	.242 [*]	.021	-.067	.044	.046	-.098	-.034
w704 ^b	.242 [*]	.070	.092	.101	.197	-.015	-.025
w320	.241 [*]	-.010	-.095	.192	.036	-.082	-.094
w330	.241 [*]	.125	-.161	.212	-.091	-.090	-.108
w706 ^b	.238 [*]	.067	.092	.104	.195	-.014	-.024
w306	.238 [*]	.017	-.155	.083	-.003	-.038	-.039
w708 ^b	.237 [*]	.066	.090	.105	.196	-.017	-.025
w322	.237 [*]	.081	-.037	.110	-.086	-.070	-.032
w710 ^b	.236 [*]	.063	.090	.107	.196	-.020	-.025
w712 ^b	.234 [*]	.064	.090	.105	.197	-.022	-.024
w366	.233 [*]	.059	-.104	.090	.048	-.110	-.095
w720 ^b	.233 [*]	.065	.094	.105	.193	-.028	-.032
w722 ^b	.232 [*]	.066	.094	.107	.192	-.031	-.029
w458	.232 [*]	-.027	.028	-.068	.049	.029	-.060
w724 ^b	.232 [*]	.066	.094	.108	.192	-.033	-.028
w324	.232 [*]	.055	-.076	.075	-.048	-.105	-.032
w328	.231 [*]	.043	-.154	.187	-.048	-.028	-.089
w718 ^b	.231 [*]	.064	.094	.107	.194	-.027	-.029
w364	.231 [*]	.074	-.086	.022	-.007	-.073	-.077
w334	.230 [*]	.007	-.169	.221	-.046	-.083	-.038
w716 ^b	.230 [*]	.063	.093	.107	.195	-.025	-.027
w714 ^b	.230 [*]	.062	.091	.105	.196	-.023	-.027
w730 ^b	.230 [*]	.065	.092	.105	.186	-.035	-.027
w332	.230 [*]	.015	-.167	.216	.007	-.104	-.046
w374	.229 [*]	.070	-.008	.023	.010	-.052	-.079
w326	.229 [*]	.036	-.071	.060	-.115	-.048	-.037

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w304	.229*	.039	-.053	.164	-.039	-.087	.005
w726 ^b	.229*	.066	.094	.106	.189	-.034	-.028
w728 ^b	.229*	.065	.093	.104	.188	-.035	-.027
w732 ^b	.229*	.064	.091	.107	.189	-.036	-.026
w312	.228*	.045	-.176	.170	-.121	-.075	-.092
w734 ^b	.228*	.065	.091	.106	.190	-.037	-.027
w308	.227*	.093	-.085	.086	-.145	-.058	-.067
w736 ^b	.226*	.065	.091	.104	.190	-.038	-.026
w362	.225*	.055	-.049	-.007	.010	-.042	-.073
w738 ^b	.225*	.064	.091	.106	.192	-.038	-.026
w316	.224*	.052	-.195	.180	-.068	-.086	-.104
w742 ^b	.224*	.064	.092	.102	.192	-.036	-.028
w740 ^b	.223*	.064	.092	.105	.190	-.038	-.026
w380	.223*	-.030	-.092	.097	.037	-.120	-.030
w744 ^b	.222*	.065	.092	.101	.192	-.037	-.027
w746 ^b	.221*	.067	.092	.101	.192	-.038	-.026
w452	.221*	-.031	.013	-.062	.070	.052	-.045
w748 ^b	.221*	.066	.092	.100	.192	-.039	-.025
w360	.220*	.040	.037	.036	.034	-.075	-.088
w750 ^b	.219*	.066	.093	.098	.191	-.039	-.025
w456	.218*	-.014	.036	-.061	.017	.027	-.071
w446	.217*	-.032	.020	-.053	.058	.014	-.042
w450	.216*	-.027	.015	-.061	.057	.044	-.042
w310	.215*	.113	-.132	.092	-.110	-.070	-.103
w454	.215*	-.018	.018	-.074	.067	.048	-.057
w448	.213*	-.039	.014	-.056	.073	.028	-.037

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w368	.213*	.029	-.075	.089	.042	-.075	-.071
w340	.212*	-.004	-.146	.090	-.058	-.063	-.048
w344	.212*	.047	-.149	.146	-.063	-.068	-.032
w358	.208*	.026	-.031	-.006	.074	-.041	-.083
w338	.207*	-.031	-.157	.193	-.047	-.035	-.036
w444	.206*	-.022	.005	-.067	.054	.042	-.037
w346	.206*	.032	-.157	.093	-.096	-.043	-.082
w442	.204*	-.024	-.002	-.067	.059	.043	-.030
w302	.204*	.024	-.094	.169	-.067	-.056	-.016
w382	.195*	-.064	-.058	.072	.052	-.106	-.003
w440	.192*	-.023	.006	-.054	.073	.021	-.024
w370	.189*	-.049	-.053	.064	.042	-.061	-.005
w438	.187*	-.012	.020	-.053	.061	.009	-.029
w436	.186*	-.019	.030	-.051	.068	.014	-.035
w352	.185*	.032	-.064	.049	-.031	-.073	-.030
w434	.178*	-.021	.030	-.032	.067	-.001	-.035
w348	.178*	.060	-.089	.097	-.106	-.039	-.016
w350	.168*	.047	-.042	.020	-.053	-.053	-.006
w378	.167*	-.042	-.027	.038	.108	-.085	-.041
w430	.166*	-.052	.007	.008	.092	-.011	.007
w428	.164*	-.049	.010	.003	.091	-.009	.011
w432	.163*	-.019	.028	-.021	.073	.001	-.026
w426	.155*	-.048	.007	.002	.091	.010	.009
w376	.151*	-.029	.043	.041	.116	-.074	-.053
b_BOTTOM	-.148*	.019	.063	-.123	.053	.141	-.038
w384	.133*	-.065	-.030	.034	.113	-.066	.005

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w424	.132*	-.055	-.027	.033	.113	-.059	-.036
w386	.132*	-.063	-.018	.058	.106	-.064	.010
w402	.130*	-.079	.004	.009	.118	-.084	.011
w418	.128*	-.044	-.017	.017	.097	-.048	-.039
w422	.127*	-.049	-.029	.024	.112	-.067	-.036
w388	.127*	-.068	-.024	.076	.120	-.073	.013
w420	.127*	-.049	-.020	.015	.103	-.055	-.043
w414	.125*	-.053	-.012	.022	.097	-.071	-.031
w412	.122*	-.061	-.011	.037	.100	-.075	-.030
w416	.121*	-.049	-.019	.015	.101	-.055	-.030
w410	.117*	-.077	-.016	.038	.106	-.070	-.024
w408	.115*	-.077	.000	.027	.113	-.069	.001
w404	.107*	-.067	.002	.041	.106	-.071	.004
a_BOTTOM	.227	.052	.416*	.010	.027	.113	.199
Hue_bottom	.188	.041	.402*	-.005	.047	.125	.159
L_BOTTOM	.158	-.058	-.280*	.083	.255	-.114	.083
a_END	-.012	.083	-.249*	.070	.033	-.013	-.111
HUE_end	-.012	-.010	.075*	-.009	-.033	-.003	.033
w318	.224	.076	-.122	.260*	-.066	-.138	-.076
w336	.218	.075	-.096	.240*	-.004	-.067	-.050
w300	.186	.073	-.173	.204*	-.051	-.046	-.075
w790 ^b	.164	.043	.068	.114	.289*	-.066	.026
w788 ^b	.167	.048	.071	.110	.288*	-.066	.021
w772 ^b	.187	.052	.077	.111	.286*	-.059	.008
w774 ^b	.193	.055	.086	.107	.284*	-.055	.005
w792 ^b	.155	.049	.063	.116	.279*	-.066	.024

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w776	.194	.066	.084	.108	.279*	-.058	.000
w786 ^b	.154	.043	.060	.110	.278*	-.063	.022
w778 ^b	.193	.074	.084	.105	.272*	-.059	.001
w800 ^b	.133	.037	.053	.108	.270*	-.067	.029
w794 ^b	.139	.041	.053	.110	.267*	-.062	.026
w784 ^b	.150	.053	.055	.110	.264*	-.057	.023
w766 ^b	.187	.070	.073	.111	.264*	-.053	.005
w782 ^b	.181	.080	.073	.108	.263*	-.057	.007
w796 ^b	.133	.043	.050	.109	.262*	-.064	.027
w780 ^b	.175	.079	.072	.108	.262*	-.058	.008
w798 ^b	.133	.042	.051	.111	.262*	-.063	.028
w758 ^b	.211	.057	.093	.100	.261*	-.051	-.012
w770 ^b	.196	.086	.086	.106	.253*	-.052	-.008
w764	.206	.078	.085	.103	.252*	-.049	-.011
w768 ^b	.191	.086	.078	.108	.250*	-.050	-.002
w754 ^b	.214	.058	.096	.094	.243*	-.052	-.017
w756 ^b	.213	.067	.093	.095	.239*	-.049	-.020
w752 ^b	.214	.081	.092	.103	.232*	-.049	-.018
w760 ^b	.205	.065	.095	.086	.227*	-.048	-.022
SG ^{นี้}	-.048	-.021	.187	.088	.226*	-.137	-.055
w762 ^b	.205	.087	.089	.094	.221*	-.044	-.022
PH	-.123	.102	-.033	.028	-.209*	.109	-.024
w392	.106	-.080	-.006	.048	.143*	-.062	.020
w396	.110	-.087	-.012	.048	.135*	-.074	.023
w398	.115	-.087	-.002	.047	.134*	-.069	.017
w400	.111	-.079	.008	.039	.132*	-.072	.011

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

Properties	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
w390	.123	-.084	-.029	.081	.131 [*]	-.061	.022
w394	.107	-.085	-.004	.034	.130 [*]	-.072	.016
w406	.109	-.075	-.007	.055	.115 [*]	-.066	.011
SGผล	.082	-.037	-.075	-.114	-.073	.157 [*]	-.038

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

b. This variable not used in the analysis.

ตารางผนวกที่ ก3 Test of Equality of Group Means ของการจำแนกทุเรียน 2 กลุ่ม

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
Firmness	.613	908.774	1	1438	.000
SGพล	.883	190.092	1	1438	.000
SGเนื้อ	.907	148.007	1	1438	.000
TSS	.689	649.119	1	1438	.000
PH	.886	184.344	1	1438	.000
HUE_end	.976	34.629	1	1438	.000
Hue_bottom	.814	328.830	1	1438	.000
L_END	.584	1022.946	1	1438	.000
a_END	.972	41.674	1	1438	.000
b_END	.686	659.235	1	1438	.000
L_BOTTOM	.710	588.000	1	1438	.000
a_BOTTOM	.774	420.231	1	1438	.000
b_BOTTOM	.733	524.817	1	1438	.000
w300	.556	1149.915	1	1438	.000
w302	.601	955.328	1	1438	.000
w304	.577	1052.588	1	1438	.000
w306	.567	1099.775	1	1438	.000
w308	.547	1191.338	1	1438	.000
w310	.525	1299.450	1	1438	.000
w312	.557	1145.822	1	1438	.000
w314	.597	969.144	1	1438	.000
w316	.547	1193.282	1	1438	.000
w318	.547	1189.213	1	1438	.000
w320	.600	958.006	1	1438	.000
w322	.559	1135.951	1	1438	.000
w324	.574	1065.920	1	1438	.000
w326	.587	1012.278	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w328	.547	1191.103	1	1438	.000
w330	.499	1442.752	1	1438	.000
w332	.578	1048.428	1	1438	.000
w334	.586	1016.461	1	1438	.000
w336	.542	1213.864	1	1438	.000
w338	.625	863.289	1	1438	.000
w340	.609	924.467	1	1438	.000
w342	.553	1163.473	1	1438	.000
w344	.559	1135.674	1	1438	.000
w346	.579	1043.479	1	1438	.000
w348	.592	991.806	1	1438	.000
w350	.639	812.773	1	1438	.000
w352	.615	900.691	1	1438	.000
w354	.589	1004.968	1	1438	.000
w356	.601	953.598	1	1438	.000
w358	.619	883.843	1	1438	.000
w360	.619	886.668	1	1438	.000
w362	.576	1056.914	1	1438	.000
w364	.553	1164.020	1	1438	.000
w366	.556	1148.822	1	1438	.000
w368	.594	983.109	1	1438	.000
w370	.692	641.140	1	1438	.000
w372	.608	927.333	1	1438	.000
w374	.576	1057.991	1	1438	.000
w376	.751	477.583	1	1438	.000
w378	.721	555.995	1	1438	.000
w380	.636	823.523	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w382	.701	613.957	1	1438	.000
w384	.798	364.058	1	1438	.000
w386	.797	367.047	1	1438	.000
w388	.807	344.150	1	1438	.000
w390	.828	299.273	1	1438	.000
w392	.865	224.560	1	1438	.000
w394	.873	209.951	1	1438	.000
w396	.865	224.301	1	1438	.000
w398	.858	237.380	1	1438	.000
w400	.861	231.723	1	1438	.000
w402	.828	298.604	1	1438	.000
w404	.857	239.386	1	1438	.000
w406	.855	243.103	1	1438	.000
w408	.848	257.067	1	1438	.000
w410	.847	259.826	1	1438	.000
w412	.825	305.962	1	1438	.000
w414	.812	333.403	1	1438	.000
w416	.813	330.410	1	1438	.000
w418	.796	367.498	1	1438	.000
w420	.802	355.652	1	1438	.000
w422	.800	359.189	1	1438	.000
w424	.796	367.545	1	1438	.000
w426	.753	471.569	1	1438	.000
w428	.743	496.995	1	1438	.000
w430	.744	494.635	1	1438	.000
w432	.725	544.790	1	1438	.000
w434	.710	586.950	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w436	.699	618.763	1	1438	.000
w438	.691	642.301	1	1438	.000
w440	.691	642.742	1	1438	.000
w442	.676	688.483	1	1438	.000
w444	.676	690.730	1	1438	.000
w446	.680	677.818	1	1438	.000
w448	.686	658.004	1	1438	.000
w450	.672	701.849	1	1438	.000
w452	.671	705.049	1	1438	.000
w454	.669	712.076	1	1438	.000
w456	.669	712.424	1	1438	.000
w458	.668	715.882	1	1438	.000
w460	.632	838.913	1	1438	.000
w462	.626	857.798	1	1438	.000
w464	.623	870.569	1	1438	.000
w466	.631	839.626	1	1438	.000
w468	.633	832.840	1	1438	.000
w470	.630	844.296	1	1438	.000
w472	.629	848.580	1	1438	.000
w474	.628	852.374	1	1438	.000
w476	.632	839.001	1	1438	.000
w478	.630	844.533	1	1438	.000
w480	.630	842.751	1	1438	.000
w482	.633	833.420	1	1438	.000
w484	.639	810.830	1	1438	.000
w486	.638	816.571	1	1438	.000
w488	.636	823.580	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w490	.635	826.665	1	1438	.000
w492	.638	817.438	1	1438	.000
w494	.635	825.350	1	1438	.000
w496	.634	831.610	1	1438	.000
w498	.630	844.852	1	1438	.000
w500	.630	842.805	1	1438	.000
w502	.630	844.626	1	1438	.000
w504	.626	859.334	1	1438	.000
w506	.624	867.139	1	1438	.000
w508	.624	867.617	1	1438	.000
w510	.624	867.921	1	1438	.000
w512	.623	868.724	1	1438	.000
w514	.623	871.539	1	1438	.000
w516	.621	876.812	1	1438	.000
w518	.622	873.545	1	1438	.000
w520	.623	868.560	1	1438	.000
w522	.624	867.035	1	1438	.000
w524	.623	870.063	1	1438	.000
w526	.623	868.574	1	1438	.000
w528	.624	867.232	1	1438	.000
w530	.623	868.576	1	1438	.000
w532	.624	866.575	1	1438	.000
w534	.626	859.523	1	1438	.000
w536	.576	1057.347	1	1438	.000
w538	.574	1066.757	1	1438	.000
w540	.572	1076.302	1	1438	.000
w542	.569	1087.222	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w544	.568	1095.051	1	1438	.000
w546	.566	1101.927	1	1438	.000
w548	.565	1105.497	1	1438	.000
w550	.566	1103.703	1	1438	.000
w552	.567	1100.300	1	1438	.000
w554	.566	1101.131	1	1438	.000
w556	.566	1101.787	1	1438	.000
w558	.566	1100.558	1	1438	.000
w560	.563	1117.673	1	1438	.000
w562	.561	1125.558	1	1438	.000
w564	.560	1127.780	1	1438	.000
w566	.562	1122.211	1	1438	.000
w568	.562	1121.312	1	1438	.000
w570	.562	1119.490	1	1438	.000
w572	.562	1120.372	1	1438	.000
w574	.562	1122.236	1	1438	.000
w576	.561	1126.175	1	1438	.000
w578	.561	1123.390	1	1438	.000
w580	.561	1123.325	1	1438	.000
w582	.563	1118.395	1	1438	.000
w584	.563	1116.780	1	1438	.000
w586	.562	1121.346	1	1438	.000
w588	.562	1119.157	1	1438	.000
w590	.562	1119.146	1	1438	.000
w592	.563	1117.581	1	1438	.000
w594	.565	1109.365	1	1438	.000
w596	.566	1101.140	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w598	.567	1096.661	1	1438	.000
w600	.568	1091.469	1	1438	.000
w602	.570	1083.295	1	1438	.000
w604	.572	1075.276	1	1438	.000
w606	.573	1069.797	1	1438	.000
w608	.575	1062.833	1	1438	.000
w610	.576	1059.203	1	1438	.000
w612	.577	1053.072	1	1438	.000
w614	.577	1053.168	1	1438	.000
w616	.577	1054.729	1	1438	.000
w618	.577	1055.658	1	1438	.000
w620	.578	1050.663	1	1438	.000
w622	.577	1053.985	1	1438	.000
w624	.576	1059.683	1	1438	.000
w626	.574	1065.846	1	1438	.000
w628	.573	1069.733	1	1438	.000
w630	.572	1074.323	1	1438	.000
w632	.574	1067.037	1	1438	.000
w634	.573	1072.505	1	1438	.000
w636	.573	1071.228	1	1438	.000
w638	.571	1080.809	1	1438	.000
w640	.570	1084.964	1	1438	.000
w642	.568	1092.655	1	1438	.000
w644	.567	1098.970	1	1438	.000
w646	.567	1096.779	1	1438	.000
w648	.566	1102.224	1	1438	.000
w650	.564	1110.523	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w652	.563	1116.177	1	1438	.000
w654	.563	1117.864	1	1438	.000
w656	.564	1111.179	1	1438	.000
w658	.563	1117.290	1	1438	.000
w660	.563	1117.284	1	1438	.000
w662	.562	1118.524	1	1438	.000
w664	.562	1119.715	1	1438	.000
w666	.562	1121.121	1	1438	.000
w668	.563	1116.232	1	1438	.000
w670	.564	1111.206	1	1438	.000
w672	.564	1110.884	1	1438	.000
w674	.565	1106.621	1	1438	.000
w676	.566	1102.530	1	1438	.000
w678	.567	1097.436	1	1438	.000
w680	.567	1097.020	1	1438	.000
w682	.568	1095.425	1	1438	.000
w684	.567	1099.963	1	1438	.000
w686	.566	1103.035	1	1438	.000
w688	.567	1097.179	1	1438	.000
w690	.564	1112.295	1	1438	.000
w692	.560	1132.042	1	1438	.000
w694	.565	1109.217	1	1438	.000
w696	.565	1106.428	1	1438	.000
w698	.568	1095.918	1	1438	.000
w700	.571	1079.174	1	1438	.000
w702	.573	1070.717	1	1438	.000
w704	.577	1054.681	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w706	.583	1028.015	1	1438	.000
w708	.586	1017.925	1	1438	.000
w710	.592	992.440	1	1438	.000
w712	.593	987.184	1	1438	.000
w714	.595	978.949	1	1438	.000
w716	.597	969.377	1	1438	.000
w718	.600	958.950	1	1438	.000
w720	.600	959.151	1	1438	.000
w722	.598	966.321	1	1438	.000
w724	.598	966.517	1	1438	.000
w726	.600	959.123	1	1438	.000
w728	.601	956.566	1	1438	.000
w730	.600	958.734	1	1438	.000
w732	.601	953.823	1	1438	.000
w734	.603	946.584	1	1438	.000
w736	.603	944.999	1	1438	.000
w738	.605	940.761	1	1438	.000
w740	.605	937.767	1	1438	.000
w742	.605	937.587	1	1438	.000
w744	.605	938.309	1	1438	.000
w746	.606	935.938	1	1438	.000
w748	.608	927.500	1	1438	.000
w750	.607	932.191	1	1438	.000
w752	.605	939.220	1	1438	.000
w754	.611	916.825	1	1438	.000
w756	.607	931.800	1	1438	.000
w758	.616	896.446	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
w760	.611	916.189	1	1438	.000
w762	.605	939.812	1	1438	.000
w764	.616	896.008	1	1438	.000
w766	.649	778.577	1	1438	.000
w768	.633	835.425	1	1438	.000
w770	.620	879.553	1	1438	.000
w772	.656	752.660	1	1438	.000
w774	.637	817.874	1	1438	.000
w776	.636	824.298	1	1438	.000
w778	.634	828.734	1	1438	.000
w780	.657	751.637	1	1438	.000
w782	.649	777.586	1	1438	.000
w784	.709	591.057	1	1438	.000
w786	.710	587.993	1	1438	.000
w788	.684	665.618	1	1438	.000
w790	.690	644.795	1	1438	.000
w792	.699	620.645	1	1438	.000
w794	.728	537.825	1	1438	.000
w796	.735	517.457	1	1438	.000
w798	.735	517.297	1	1438	.000
w800	.736	515.822	1	1438	.000

ตารางผนวกที่ ก4 Structure Matrix ของการจำแนกทุเรียน 2 กลุ่ม

Properties	Function1
w330	.704
w310	.669
w336	.646
w316	.641
w308	.640
w328	.640
w318	.640
w364	.633
w342	.633
w300	.629
w366	.629
w312	.628
w322	.625
w344	.625
w306	.615
w324	.605
w374	.603
w362	.603
w304	.602
w332	.600
w346	.599
L_END	.593
w564 ^a	.593
w568 ^a	.592
w562 ^a	.592
w334	.591
w566 ^a	.591

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w326	.590
w570 ^a	.590
w572 ^a	.589
w574 ^a	.588
w354	.588
w576 ^a	.588
w560 ^a	.587
w578 ^a	.586
w668 ^a	.585
w582 ^a	.585
w586 ^a	.585
w584 ^a	.585
w580 ^a	.585
w590 ^a	.584
w670 ^a	.584
w666 ^a	.584
w348	.584
w592 ^a	.584
w550 ^a	.584
w664 ^a	.584
w674 ^a	.584
w588 ^a	.584
w672 ^a	.583
w676 ^a	.583
w548 ^a	.583
w546 ^a	.583
w552 ^a	.583

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w678 ^a	.583
w554 ^a	.583
w680 ^a	.583
w556 ^a	.582
w594 ^a	.582
w558 ^a	.582
w682 ^a	.582
w368	.581
w684 ^a	.581
w692 ^a	.581
w658 ^a	.581
w690 ^a	.581
w654 ^a	.581
w662 ^a	.581
w686 ^a	.580
w660 ^a	.580
w596 ^a	.580
w544 ^a	.580
w688 ^a	.580
w656 ^a	.580
w652 ^a	.579
w598 ^a	.578
w314	.577
w542 ^a	.577
w600 ^a	.577
w540 ^a	.576
w650 ^a	.575

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w602 ^a	.575
w538 ^a	.574
w320	.574
w302	.573
w648 ^a	.573
w604 ^a	.573
w356	.573
w646 ^a	.572
w644 ^a	.572
w536 ^a	.571
w694 ^a	.571
w606 ^a	.571
w642 ^a	.569
w608 ^a	.568
w610 ^a	.567
w696 ^a	.567
w640 ^a	.566
w372	.565
w638 ^a	.565
w698 ^a	.565
w612 ^a	.564
w614 ^a	.564
w340	.564
w634 ^a	.562
w616 ^a	.562
w636 ^a	.562
w630 ^a	.561

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w618 ^a	.560
w632 ^a	.560
w628 ^a	.560
w626 ^a	.560
w624 ^a	.559
Firmness	.559
w620 ^a	.558
w700 ^a	.557
w622 ^a	.557
w352	.557
w702 ^a	.555
w360	.552
w358	.551
w704 ^a	.551
w706 ^a	.545
w338	.545
w708 ^a	.545
w710 ^a	.540
w712 ^a	.540
w752 ^a	.539
w724 ^a	.538
w730 ^a	.537
w714 ^a	.537
w722 ^a	.537
w720 ^a	.537
w716 ^a	.536
w728 ^a	.536

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w726 ^a	.536
w718 ^a	.536
w762 ^a	.536
w732 ^a	.535
w736 ^a	.534
w734 ^a	.534
w756 ^a	.534
w738 ^a	.533
w380	.532
w764 ^a	.532
w740 ^a	.531
w742 ^a	.531
w744 ^a	.531
w746 ^a	.530
w350	.529
w748 ^a	.528
w754 ^a	.528
w750 ^a	.527
w758 ^a	.526
w770 ^a	.526
w462 ^a	.524
w760 ^a	.524
w464 ^a	.524
w516 ^a	.524
w514 ^a	.522
w512 ^a	.522
w518 ^a	.522

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w508 ^a	.521
w510 ^a	.521
w474 ^a	.521
w520 ^a	.521
w524 ^a	.521
w472 ^a	.520
w522 ^a	.520
w506 ^a	.519
w470 ^a	.519
w526 ^a	.519
w478 ^a	.519
w530 ^a	.519
w528 ^a	.519
w768 ^a	.518
w460 ^a	.518
w468 ^a	.518
w532 ^a	.517
w476 ^a	.517
w504 ^a	.517
w480 ^a	.516
w466 ^a	.516
w534 ^a	.516
w498 ^a	.513
w482 ^a	.513
w778 ^a	.512
w500 ^a	.512
w776 ^a	.512

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w502 ^a	.512
w490 ^a	.510
w494 ^a	.510
w492 ^a	.509
w496 ^a	.509
w488 ^a	.509
w486 ^a	.508
w484 ^a	.508
w774 ^a	.506
w766 ^a	.505
w782 ^a	.502
w780 ^a	.496
w772 ^a	.495
w458 ^a	.481
w456 ^a	.476
b_END	-.476
w454 ^a	.476
w450 ^a	.476
w452 ^a	.475
TSS	-.472
w370	.470
w442 ^a	.469
w788 ^a	.468
w444 ^a	.464
w446 ^a	.463
w790 ^a	.462
w382	.460

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w448 ^a	.459
w438 ^a	.458
w440 ^a	.457
w792 ^a	.456
w784	.451
L_BOTTOM	.450
w786 ^a	.450
w436 ^a	.447
w378	.437
w434 ^a	.436
w794 ^a	.430
b_BOTTOM	-.425
w796 ^a	.424
w798 ^a	.423
w800 ^a	.422
w432 ^a	.418
w376	.405
w428 ^a	.398
w430 ^a	.389
w426 ^a	.385
a_BOTTOM	.380
w418 ^a	.358
w424	.356
w386	.355
w384	.354
w422 ^a	.352
w420 ^a	.350

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

Properties	Function1
w388	.344
w414	.339
w416	.337
Hue_bottom	.336
w412 ^a	.325
w390	.321
w402	.320
w410	.299
w408	.297
w406	.289
w404	.287
w398	.286
w400	.282
w392	.278
w396	.278
w394	.269
SGพล	.256
PH	-.252
SGเนื้อ	-.226
a_END	.120
HUE_end	-.109



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1 การแปลงค่าสีจากหน่วยสี RGB ไปเป็นหน่วยสี CIELAB

กำหนดให้ค่าสีที่ได้มาในหน่วย RGB มีค่าดังต่อไปนี้

$$R = 90 ; \quad G = 70 ; \quad B = 30$$

1.1 ทำการแปลงค่าสีหน่วย RGB ไปเป็น sRGB

1.1.1 นำค่าสีในหน่วย RGB ไปหารด้วย 255 จะได้มาเป็นค่า NR NG และ NB

$$NR = \frac{R}{255} \quad // \quad NR = \frac{90}{255} \quad // \quad NR = 0.3529$$

$$NG = \frac{G}{255} \quad // \quad NG = \frac{70}{255} \quad // \quad NG = 0.2745$$

$$NB = \frac{B}{255} \quad // \quad NB = \frac{30}{255} \quad // \quad NB = 0.1176$$

1.1.2 นำค่า NR NG และ NB ไปแปลงเป็น sRGB หรือ rgb

- ค่า r

$$r = \begin{cases} [(NR + 0.055) / 1.005]^{2.4}, & NR > 0.04045 \\ NR / 12.92, & NR \leq 0.04045 \end{cases}$$

จากค่า NR = 0.3529 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.04045 จึงเลือกใช้สมการตามเงื่อนไขที่ 1

$$r = [(NR + 0.055) / 1.005]^{2.4}$$

$$r = [(0.3529 + 0.055) / 1.005]^{2.4}$$

$$r = 0.1149$$

- ค่า g

$$g = \begin{cases} [(NG + 0.055) / 1.005]^{2.4}, & NG > 0.04045 \\ NG / 12.92, & NG \leq 0.04045 \end{cases}$$

จากค่า $NG = 0.2745$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.04045 จึงเลือกใช้สมการตามเงื่อนไขที่ 1

$$g = [(NG + 0.055) / 1.005]^{2.4}$$

$$g = [(0.2745 + 0.055) / 1.005]^{2.4}$$

$$g = 0.0688$$

- ค่า b

$$b = \begin{cases} [(NB + 0.055) / 1.005]^{2.4}, & NB > 0.04045 \\ NB / 12.92, & NB \leq 0.04045 \end{cases}$$

จากค่า $NB = 0.1176$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.04045 จึงเลือกใช้สมการตามเงื่อนไขที่ 1

$$b = [(NB + 0.055) / 1.005]^{2.4}$$

$$b = [(0.1176 + 0.055) / 1.005]^{2.4}$$

$$b = 0.0146$$

1.2 ทำการแปลงค่าสีหน่วย sRGB ไปเป็น XYZ

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.1149 \\ 0.0688 \\ 0.0146 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.4627 \\ 7.4692 \\ 2.4296 \end{bmatrix}$$

1.3 ทำการแปลงค่าสีหน่วย XYZ ไปเป็น CIELAB

1.3.1 นำค่าสีในหน่วย XYZ ไปหารด้วย X_n Y_n และ Z_n (ค่า tri-stimulus อ้างอิงของวัตถุสีขาวตามมาตรฐานของ CIE สำหรับแสง D65, 2°) โดยที่ $X_n = 95.047$, $Y_n = 100$ และ $Z_n = 108.883$

$$x = \frac{X}{X_n} \quad // \quad x = \frac{7.4627}{95.047} \quad // \quad x = 0.0785$$

$$y = \frac{Y}{Y_n} \quad // \quad y = \frac{7.4692}{100} \quad // \quad y = 0.0747$$

$$z = \frac{Z}{Z_n} \quad // \quad z = \frac{2.4296}{108.883} \quad // \quad z = 0.0223$$

1.3.2 นำค่าสี่ในหน่วย xyz ไปคำนวณด้วยสมการดังต่อไปนี้

- ค่า x

$$f(x) = \begin{cases} 7.787x + \frac{16}{116}, & x \leq 0.008856 \\ x^{1/3}, & x > 0.008856 \end{cases}$$

จากค่า $x = 0.0785$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.008856 จึงเลือกใช้สมการตามเงื่อนไขที่ 2

$$f(x) = x^{1/3} \quad // \quad f(x) = 0.0785^{1/3} \quad // \quad f(x) = 0.4282$$

- ค่า y

$$f(y) = \begin{cases} 7.787y + \frac{16}{116}, & y \leq 0.008856 \\ y^{1/3}, & y > 0.008856 \end{cases}$$

จากค่า $y = 0.0747$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.008856 จึงเลือกใช้สมการตามเงื่อนไขที่ 2

$$f(y) = y^{1/3} \quad // \quad f(y) = 0.0747^{1/3} \quad // \quad f(y) = 0.4212$$

- ค่า z

$$f(z) = \begin{cases} 7.787z + \frac{16}{116}, & z \leq 0.008856 \\ z^{1/3}, & z > 0.008856 \end{cases}$$

จากค่า $z = 0.0223$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.008856 จึงเลือกใช้สมการตามเงื่อนไขที่ 2

$$f(z) = z^{1/3} \quad // \quad f(z) = 0.0223^{1/3} \quad // \quad f(z) = 0.2815$$

1.3.3 คำนวณค่า CIELAB โดยนำ $f(x)$ $f(y)$ และ $f(z)$ ไปแทนค่า

ค่า L^*

$$L^* = 116f(y) - 16$$

$$L^* = (116 \times 0.4212) - 16$$

$$L^* = 32.8592$$

ค่า a^*

$$a^* = 500[f(x) - f(y)]$$

$$a^* = 500 \times [0.4282 - 0.4212]$$

$$a^* = 3.50$$

ค่า b^*

$$b^* = 200[f(y) - f(z)]$$

$$b^* = 200 \times [0.4212 - 0.2815]$$

$$b^* = 27.94$$

ดังนั้น การแปลงค่าสีจากหน่วยสี RGB โดยมีค่า $R = 90$ $G = 70$ $B = 30$ ไปเป็นหน่วยสี CIELAB
จะได้ค่า $L^* = 32.8592$ $a^* = 3.50$ $b^* = 27.94$

2 ค่าความแตกต่างระหว่างสีในหน่วย CIELAB

กำหนดให้ สีที่ 1 มีค่า $L^* = 40$ $a^* = 5$ $b^* = 20$

สีที่ 2 มีค่า $L^* = 35$ $a^* = 7.5$ $b^* = 25$

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

$$\Delta E = \sqrt{(35 - 40)^2 + (7.5 - 5)^2 + (25 - 20)^2}$$

$$\Delta E = 5.17$$





ภาคผนวก ค

ฟังก์ชันการแปลงค่าสี่ด้วย excel

การแปลงค่าสีด้วย Microsoft Office Excel

การแปลงค่าสีจากหน่วย RGB ให้เป็นหน่วย XYZ

```

var_R = (R / 255)//Where R = 0 ÷ 255
var_G = (G / 255) //Where G = 0 ÷ 255
var_B = (B / 255)//Where B = 0 ÷ 255
if (var_R > 0.04045)
    var_R = ((var_R + 0.055) / 1.055) ^ 2.4
elsevar_R = var_R / 12.92
if (var_G > 0.04045)
    var_G = ((var_G + 0.055) / 1.055) ^ 2.4
elsevar_G = var_G / 12.92
if (var_B > 0.04045)
    var_B = ((var_B + 0.055) / 1.055) ^ 2.4
elsevar_B = var_B / 12.92
var_R = var_R * 100
var_G = var_G * 100
var_B = var_B * 100
//Observer = 2°, Illuminant = D65
X = var_R * 0.4124 + var_G * 0.3576 + var_B * 0.1805
Y = var_R * 0.2126 + var_G * 0.7152 + var_B * 0.0722
Z = var_R * 0.0193 + var_G * 0.1192 + var_B * 0.9505

```

การแปลงค่าสีจากหน่วย XYZ ให้เป็นหน่วย CIELAB

```
//Observer= 2°, Illuminant= D65
var_X = X / ref_X //ref_X = 95.047
var_Y = Y / ref_Y //ref_Y = 100.000
var_Z = Z / ref_Z //ref_Z = 108.883
if ( var_X > 0.008856 )
    var_X = var_X ^ (1/3)
else var_X = (7.787 * var_X) + (16 / 116)
if (var_Y > 0.008856)
    var_Y = var_Y ^ (1/3)
else var_Y = (7.787 * var_Y) + (16 / 116)
if (var_Z > 0.008856)
    var_Z = var_Z ^ (1/3)
else var_Z = (7.787 * var_Z) + (16 / 116)
CIE-L* = (116 * var_Y) - 16
CIE-a* = 500 * (var_X - var_Y)
CIE-b* = 200 * (var_Y - var_Z)
```



ภาคผนวก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต, เทวรัตน์ ตริอำนาจรรค, และกระวี ตริอำนาจรรค. (2560). การจำแนกความสูง-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย. การประชุมวิชาการสมาคมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 15. หน้า 303-306. โรงแรมอวานี ขอนแก่น โฮเทล แอนคอนเวนชัน เซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น ระหว่างวันที่ 13-14 กรกฎาคม 2560.



การจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย
Classification of "Monthong" Durian Maturity by Image Processing Analysis

ธีรวัฒน์ ชื่นฉัตรยศ¹ กะวีร์ ตระวิฑูรย์ และ ทวีวัฒน์ ตระวิฑูรย์
Teerawat Chuenadongkol¹, Krawee Trocannuk¹ and Tawarat Trocannuk²

Abstract

The aim of this research was to application of image processing analysis for measure skin color of durian and then apply to evaluate durian maturity. In color measurement, durian peels were photographed in 3 views and the color value was analyzed using the image J software. The analyzed value was expressed as a color in RGB and then converted to CIELAB when the color value was taken to relate with physical and mechanical properties in terms of percent of dry matter and firmness. The results indicated that the values of color parameters (L*, a*, b*) of durian peel could be classify clearly 2 stage of durian maturity. Unsuitable durian for harvesting have the value L* in the range of 49.79 to 52.58, the value a* in the range -9.22 to -6.76, and the value b* in the range 24.63 to 28.76. The suitable durian for harvesting have the value L* lower than 49.55, the value a* in the range -8.67 to -5.17, the value b* higher than 27.54.

Keywords: "Monthong" cultivar of durian , Non-destructive techniques , Image processing analysis

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อประยุกต์วิธีการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายสำหรับตรวจวัดสีผิวเปลือกของทุเรียนแล้วนำมาใช้ในการจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียน ในการวัดค่าสีจะใช้การถ่ายภาพที่เปลือกของทุเรียน 3 มุมมอง จากนั้นวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้โปรแกรมอิมเมจ เจ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงค่าสีในหน่วย RGB จากนั้นนำมาคำนวณเพื่อแปลงค่าเป็นหน่วย CIELAB เมื่อได้ค่าสีจะนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าสมบัติกายภาพและทางกลเพื่ออ้างอิงถึงความสุก-แก่ของทุเรียน ได้แก่ ค่าร้อยละน้ำหนักแห้งและค่าความแน่นเนื้อ ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่าสามารถแบ่งความสุก-แก่ของทุเรียนออกเป็น 2 เกณฑ์ได้อย่างชัดเจน คือ ทุเรียนที่ไม่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากสีผิวเปลือก L* อยู่ในช่วง 49.79 ถึง 52.58 ค่า a* อยู่ในช่วง -9.22 ถึง -6.76 ค่า b* อยู่ในช่วง 24.63 ถึง 28.76 ส่วนทุเรียนที่สามารถเก็บเกี่ยวจากสีผิวเปลือก L* ต่ำกว่า 49.55 ค่า a* อยู่ในช่วง -8.67 ถึง -5.17 ค่า b* สูงกว่า 27.54

คำสำคัญ : ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง การตรวจวัดแบบไม่ทำลาย การวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย

บทนำ

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีการเพาะปลูกอยู่จำนวนมากในประเทศไทย มีเนื้อที่ในการปลูกประมาณ 795,811 ไร่ ให้อผลผลิตรวม 726,891 ตัน นอกจากนี้ทุเรียนยังเป็นผลไม้ส่งออกซึ่งมีมูลค่าในปี 2557 ประเทศไทยมีการส่งออกทุเรียนสด จำนวน 369,602 ตัน คิดเป็นมูลค่ามากถึง 12,436 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) สาเหตุหลักที่ทำให้ปริมาณการส่งออกที่สูงมากเพราะว่า ทุเรียนไทยมีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับจากผู้นิยมบริโภคทั่วโลก แต่พบว่าการยอมรับที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการยอมรับถึงทุเรียนในผลที่มีคุณภาพดีเท่านั้น ไม่ได้ให้การยอมรับในผลทุเรียนที่มีคุณภาพเลว สาเหตุหลักของปัญหาทุเรียนดีออกคุณภาพเกิดจากการคัดเลือกที่มีผลผลิตอันเนื่องมาจากผู้คัดเลือกทำการคัดเลือกคุณภาพโดยอาศัยจากประสบการณ์และศรัทธาผู้นำสวนสวน ซึ่งเป็นการตัดสินใจของส่วนบุคคลเป็นหลักและไม่ยึดหลักฐานที่จะนำมาใช้อ้างอิงในความถูกต้องได้ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาถึงคุณภาพและอายุของผลทุเรียน จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงเกิดงานวิจัยที่คิดค้นวิธีตรวจวัดคุณภาพและสุก-แก่ของทุเรียนโดยไม่ทำลายผล (ประกิจและอนุพันธ์, 2556) จึงทำให้ทราบว่ามีหลายหน่วยงานสามารถจำแนกการสุก-แก่ของทุเรียนได้ (ประกิจและอนุพันธ์, 2556) แต่เนื่องจากเปลือกทุเรียนไม่เรียบสม่ำเสมอและเครื่องมือวัดสีมาตรฐานมีราคาสูง การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง โดย ศศิภา(2554) ได้ทำ

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
²School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima 30000
³สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
⁴School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima 30000

การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์รณรงค์รณรงค์ระบบการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย ซึ่งงานวิจัยนี้ พบว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแบ่งคุณภาพของรณรงค์รณรงค์ได้ออกเป็น 5 เกณฑ์ที่มีความแตกต่างกัน โดยมีความถูกต้องของการคัดเลือกที่อยู่ในเกณฑ์ดี วิธีการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายจึงเป็นที่น่าสนใจในการนำมาใช้ประยุกต์ใช้กับผลผลิตทางการเกษตรที่มีการคัดแยกคุณภาพกล้วยดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำวิธีการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกรวมความสุก-แก่ของทุเรียน โดยแบ่งเป็น 2 เกณฑ์ คือ ทุเรียนที่ยังไม่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากสี และทุเรียนที่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยว

อุปกรณ์และวิธีการ

1 การวัดค่าสีและกระบวนการถ่ายภาพทุเรียน

ทำการถ่ายภาพทุเรียน 3 เมล่อน สีของสีคือสีตลอด ชื่อ FUJI รุ่น X-A2 ที่วางไว้ในกล่องควบคุมแสงสว่างซึ่งติดตั้งหลอดไฟ Ralight D65 ขนาด 18 W ซึ่งเป็นหลอดไฟมาตรฐานในการตรวจสอบสีตามมาตรฐาน ISO 3664 : 2016 จำนวน 2 หลอด ห่างจากพื้นวางทุเรียนเป็นระยะ 35 เซนติเมตร โดยติดตั้งให้แสงทำมุมกับพื้นวางเป็นมุม 45 องศา ส่วนของภาพถ่ายภาพนั้นกำหนดให้เลนส์กล้องอยู่ห่างจากทุเรียนเป็นระยะ 30 เซนติเมตร พื้นหลังในการถ่ายภาพจัดให้เป็นสีขาวทั้งหมด(Mendoza et al., 2006)

2 การประมวลผลภาพ

ภาพถ่ายทุเรียนที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าสีในหน่วย RGB ด้วยโปรแกรม ImageJ โดยค่าสีหน่วย RGB ดังกล่าว เป็นค่าที่ได้จากเครื่องมือมาได้จากพื้นที่สีค่าของกลางของทุเรียนแต่ละผล จากนั้นเข้าสู่กระบวนการแปลงหน่วยสีจาก RGB เป็น L* a* b* โดยเริ่มจากแปลงค่า RGB ให้เป็น sRGB(standard RGB) ขั้นตอนแรกนำค่า RGB ไปหารด้วย 255 ได้เป็นค่า NR NG และ NB เพื่อปรับให้เป็นพื้นฐาน จากนั้นทำการคำนวณค่า sRGB ด้วยสมการ(1)

$$r = \begin{cases} (NR + 0.055) / 1.055, NR > 0.04045 \\ NR / 12.92, NR \leq 0.04045 \end{cases} ; g = \begin{cases} (NG + 0.055) / 1.055, NG > 0.04045 \\ NG / 12.92, NG \leq 0.04045 \end{cases} ; b = \begin{cases} (NB + 0.055) / 1.055, NB > 0.04045 \\ NB / 12.92, NB \leq 0.04045 \end{cases} \quad (1)$$

จากนั้นนำค่า sRGB ที่ได้ไปคำนวณเพื่อแปลงค่าให้เข้าสู่ปริภูมิสี XYZ ด้วยสมการ (2)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3511567 & 0.1804373 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0195339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (2)$$

จากนั้นนำค่า X Y Z ไปหารด้วย Xn Yn Zn โดยที่ค่า Xn Yn และ Zn คือค่า tristimulus อ้างอิงของวัตถุสีขาวมาตรฐานของ CIE สำหรับแสง D65, 2° โดยค่า Xn = 95.047, Yn = 100 และ Zn = 108.883 จากนั้นคำนวณค่า L* a* b* ตามสมการ(3) ,(4) (สุวรรณ และคณะ, 2559)

$$r\left(\frac{X}{X_n}\right) = \begin{cases} 116\sqrt[3]{\frac{X}{X_n} + \frac{16}{116}}, X \leq 0.008856 \\ \frac{X}{Y_n}, X > 0.008856 \end{cases} ; r\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \begin{cases} 116\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n} + \frac{16}{116}}, Y \leq 0.008856 \\ \frac{Y}{Y_n}, Y > 0.008856 \end{cases} ; r\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \begin{cases} 116\sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n} + \frac{16}{116}}, Z \leq 0.008856 \\ \frac{Z}{Z_n}, Z > 0.008856 \end{cases} \quad (3)$$

$$L^* = 116r\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 ; a^* = 500 \left[r\left(\frac{X}{X_n}\right) - r\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] ; b^* = 200 \left[r\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - r\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (4)$$

3 การทดสอบค่าสมบัติทางกายภาพและทางกลเพื่ออ้างอิงอายุของทุเรียน

การตรวจวัดความสุก-แก่ของทุเรียนสีภาพถ่ายนั้นจะอ้างอิงตามค่าสมบัติทางกายภาพและทางกล 2 ตัวแปรด้วยกัน คือ ค่าร้อยละน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียน(%DM) และค่าความแน่นเนื้อของทุเรียน(firmness) โดยทำการเก็บข้อมูลที่

8 ช่วงอายุวันหลังจากดอกบาน คือ 100 105 110 115 120 125 130 และ 135 วันหลังจากดอกบาน โดยให้ทุเรียน 20 ผลต่อการทดสอบใน 1 ช่วงอายุวันหลังจากดอกบาน จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย วิธีในการทดสอบค่าร้อยละน้ำหนักแห้งของทุเรียน สามารถทำได้โดยนำเนื้อทุเรียนมาสับให้ละเอียดแล้วจึงใส่เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลความละเอียด 0.1 mg (Satorius, model BSA224S-CW, Germany) จำนวน 20 g จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (FRANCE ETUVES, model XU05B, France) ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 48 h ส่วนการทดสอบค่าความแน่นเนื้อทำได้โดยนำเนื้อทุเรียนมาหั่นให้มีหน้าตัด 2 ชิ้นที่ขนาดกันเพื่อเป็นพื้นที่สำหรับการวางบนแท่นกด และพื้นที่สำหรับการรับแรงจากหัวกดของเครื่อง Penetrometer (Chatillon-DFG650) ซึ่งแสดงค่าแรงกดที่ได้แบบดิจิทัล

ผลและวิจารณ์ผล

สมบัติทางกายภาพและทางกล

ค่า %DM และ ความแน่นเนื้อของทุเรียน มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบานเป็นแนวโน้มที่ชัดเจน โดยค่า %DM มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาวันหลังจากดอกบานที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแน่นเนื้อมีค่าลดลงตามอายุวันที่เพิ่มมากขึ้น ดังนี้แสดงใน Fig. 1

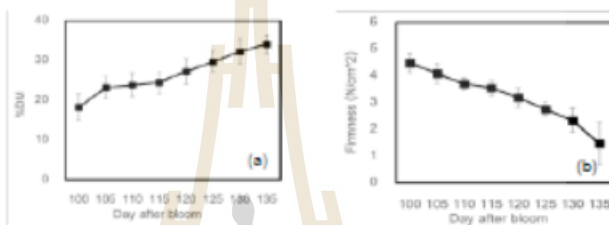


Figure 1 The relationships between the days after bloom and the property values a) Dry matter b) Firmness

ผลการทดสอบด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงภาพถ่าย

ผลที่ได้จากการทดสอบค่าสีของทุเรียนเชิงภาพถ่าย แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสีแปรค่าสี L* a* b* กับอายุวันหลังจากดอกบานดัง Fig. 2. นอกจากนี้ยังได้คำนวณค่าความต่างระหว่างสีที่ปลายหนามกับสีที่โคนหนาม (DELTA E) เพื่อให้เป็นสิ่วแปรวิเคราะห์อายุของทุเรียนด้วย จากการทดสอบได้พบว่าสีแปรค่าความต่างของสีมีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบาน และความแน่นเนื้อของทุเรียน ดังแสดงใน Fig. 3

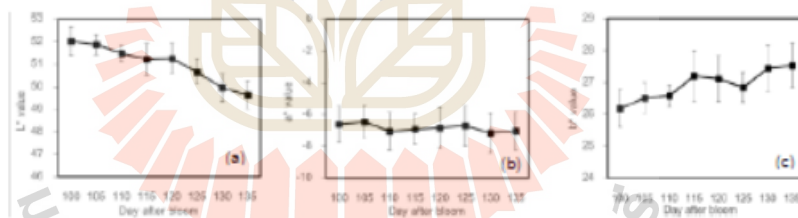


Figure 2 The relationships between the days after bloom and color value a) L* b) a* c) b*

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2556) ได้กำหนดให้ทุเรียนที่มีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับหรือมากกว่า 32% เป็นทุเรียนที่เหมาะต่อการเก็บเกี่ยว จากผลการทดสอบเมื่อนำค่าสีแปรค่าที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย ไปเทียบกับค่า %DM พบว่าเมื่อ %DM มีค่าน้อยกว่า 32% มีค่า L* อยู่ในช่วง 49.79 ถึง 52.58 ค่า a* อยู่ในช่วง -9.22 ถึง -6.76 ค่า b* อยู่ในช่วง 24.63 ถึง 28.76 และเมื่อค่า %DM มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 32% ค่า L* มีค่าต่ำกว่า 49.55 เป็นส่วนใหญ่ ค่า a* อยู่ในช่วง -8.67 ถึง -5.17 ค่า b* สูงกว่า 27.54 เป็นส่วนใหญ่ ส่วนค่าความต่างระหว่างสีที่ปลายหนามกับสีที่โคนหนาม(DELTA E) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ ค่า %DM พบว่า เมื่อ %DM มีค่าน้อยกว่า 32% ค่าความต่างของสีอยู่ในช่วง

13.21 ถึง 27.08 และเมื่อ %DM มีค่ามากกว่า 32% ค่าความต่างของสีอยู่ในช่วง 23.64 ถึง 31.11 และเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์สีพบว่าค่า a* ไม่สามารถใช้ในการจำแนกกลุ่มทุเรียนอ่อนและทุเรียนแก่ได้เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (Table 1) ส่วนค่า L* b* และ DELTA E มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายสีแนวโน้มที่จะนำไปใช้ในการตรวจสอบอายุของทุเรียนได้จึง เป็นการพัฒนาเทคนิควิธีการทดสอบอย่างต่อไป

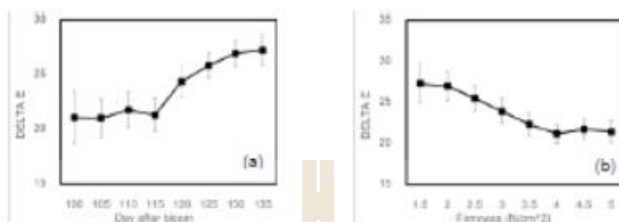


Figure 3 The relationships between DELTA E and a) the day after bloom b) Firmness

Table 1 Mean comparison of color parameters

%DM	Color parameters**			
	L*	a*	b*	DELTA E
<32	50.96 ^a	-7.02 ^a	26.30 ^a	24.20 ^a
≥32	48.14 ^b	-6.59 ^b	28.44 ^b	26.55 ^b

** Different letters in the same column indicate significant difference (p<0.05)

สรุป

ผลการเทียบค่าสีจากวิธีการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายกับค่าร้อยละน้ำหนักแห้งพบว่าทุเรียนที่ยังไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้มีค่า L* อยู่ในช่วง 49.79 ถึง 52.58 ค่า a* อยู่ในช่วง -9.22 ถึง -6.76 ค่า b* อยู่ในช่วง 24.63 ถึง 28.76 ส่วนทุเรียนที่สามารถเก็บเกี่ยวจากสีไม่ได้มีค่า L* ต่ำกว่า 49.55 เป็นส่วนใหญ่ ค่า a* อยู่ในช่วง -8.67 ถึง -5.17 ค่า b* สูงกว่า 27.54 โดยค่าที่ได้มีการแบ่งแยกค่าสีระหว่างทุเรียนที่ยังไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้กับทุเรียนที่สามารถเก็บเกี่ยวได้แล้วที่ค่อนข้างชัดเจน เทคนิคการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายสามารถจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการคัดแยกระดับความสุกแก่ของทุเรียนได้แต่สิ่งมีค่าพัฒนาเทคนิคทดสอบค่าให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสนับสนุนสถานที่เครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ปฤษฎิ์ พิณช้ำ และ อัญชลีณ์ ทองคงศิริกุล. 2556. การจำแนกความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์ "นางพญา" แบบไม่ทำลายด้วยสเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นด้วยวิธีไม่เป็นเชิงเส้น. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 19(1): 1-6.

ศศิภา เกิกวาทพร. 2554. การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดกับดัชนีการบ่มตัวของเมล็ดของทุเรียนพันธุ์นางพญา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยสุรนารี. หน้า 52-61.

สุพรรณ เอกจันทร์, จินตพร กิ่งสุระ และ วิเศษศักดิ์ เตชะศรีอินทร์. 2553. การศึกษาการแปรสภาพสีทุเรียนโศกด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ. ร. วิทยาลัยเกษตร 47(3 มีนาคม): 417-420.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2556. การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับทุเรียน. มาตรฐานสินค้าเกษตร มทส. 3-2556.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. ศูนย์ข้อมูลผลไม้ ทุเรียน. (ฉบับฉพาะฉบับนี้). แหล่งที่มา : <http://www.oac.go.th/infocenter/index.php/2013-01-25-02-34-0971และ156>. (31 สิงหาคม 2559).

Mondolaza, F., P. Dejmekle and J. M. Aguilera. 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology* 41: 285-295.

Teerawat Chuenatsadongkot, Tawarat Treeamnuak and Krawee Treeamnuak. (2560). **Comparison of the Ability to Evaluation of “Monthong” durian Maturity using Color Value from Spectrometer and Image Processing.** THE IRES 87th INTERNATIONAL CONFERENCE, 30 – 34 pp. Conference Place & Date: Tokyo, Japan 06-11-2017.



COMPARISON OF THE ABILITY TO EVALUATION OF "MONTHONG" DURIAN MATURITY USING COLOR VALUE FROM SPECTROMETER AND IMAGE PROCESSING

¹TEERAWAT CHUENATSADONGKOT, ²TAWARAT TREEAMNUK, ³KRAWEE TREEAMNUK

^{1,3}School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

²School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

E-mail: ¹Kob3435@gmail.com, ²tawarat@sut.ac.th, ³krawee@sut.ac.th

Abstract - Color is an important parameter for evaluating the quality of durian. The uneven skin of durian is difficult to measure with normal color instrument. Therefore, the aim of this research was to application of image processing analysis for measure spine tip color of "Monthong" durian and then apply to evaluate maturity. Color value of the spine tip of durian from image processing and spectrometer were investigated for classification of maturity. The maturity classification was divided into 5 levels i.e. 100 105 110 115 120 125 130 and 135 days after bloom. The results indicate that classification of durian by color value from spectrometer and image processing analysis give the correct classification of 80.4% and 78.6%, respectively.

Keywords - Monthong durian, Maturity, Color value, Image processing, Day after bloom

I INTRODUCTION

Durian is most important tropical fruits and export of durian from Thailand is the largest proportion of production. However, when the harvest season of the durian production in the current still having problems regarding out of quality. The problem with immature durian fruits is that the prematurely-cut durians will not be sweet and not as delicious even if they become ripe later. Thai durians are considered as the best in the world but, at the same time, immature durians are destroying the reputation of Thai durians.

It is important to classify immature of durian from mature of durian. There are many non-destructive techniques for maturity classification, such as maturity evaluation of durians based on resonant frequency. The stem tapping sound is used for evaluation, the fruits were tapped and the generated sound was sensed by the resonant frequency measuring device. This approach has the advantage of having fast processing but the result is also less accurate [1]. Measurements of frequency response to ultrasonic related with chemical properties and physical properties. This technique has the advantage of the result high accuracy but the machine a limit on the large size [2]. A microwave technique for maturity determination of durian, this non-destructive technique shows great promise for maturity determination of durian but this technique has limitations on the size of the machine as well [3].

The methods mentioned above it can be seen the problem about the instrument and tool that high cost and large. Another problem is found with the surface peel of the durian, which has a more thorn is barrier to measure with standard instrument. So, there is the innovation and develop the non-destructive techniques to solve these problems. This technique is

called image processing technique. The advantages of this technique are rapid processing, low cost and solve a problem of uneven surface of material [4]. In the currently, the image processing technique is used for evaluating the quality of product. Yam and Papadakis[5] evaluate the quality of pizza baked by microwave oven with image processing analysis. The method allows measurements and analysis of the color of food surfaces that are adequate for food engineering research. Although, it is not yet replacement for sophisticated color instruments, it is an attractive alternative due to its simplicity, versatility, and low cost. Thammabutraand Wattanavichean[6] analysis of durian maturation using image processing of fruit stem. It was found that the processing of measurement time was approximate 15 sec. image show that the image processing technique has results in the rapid processing, but the accuracy of the inspection is not quite high because of the size of the stem also depends on the environment that affects growth.

Color is one of variables that have a relationship with the maturity of many agricultural products. Jha et al.[7] used color to evaluate the ripening stage of mango, where on the basis of total soluble solids, a mango maturity index was predicted by a multiple linear regression model on the values of color (Hunter L a b) using a spectrometer to measure the color values. For evaluating maturity of durian "Monthong" variety Timkhun and Terd Wongworakul[8] was used non-destructive of spectrometer to classify 5 stages of maturity with total accuracy of 94.7%. They found that the color of spine tip of durian peel has relation with maturity. Therefore, the objective of this research was to application of image processing analysis for measure spine tip color of durian and then apply to evaluate

durian maturity and compares with the classification by color value from spectrometer.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Durian samples

"Montong" durians in an orchard in Rayong province were tagged when blossom for tracking days after bloom. A set of 20 fruits was randomly harvested each week starting from 100 to 135 days after bloom (DAB) covering 8 levels of maturity (100, 105, 110, 115, 120, 125, 130 and 135 DAB). Immediately after harvest, all samples were transported to the air-conditioned room where were kept at approximately 25°C overnight prior to further measurements.

B. Assessment of dry matter

Dry matter of the durian pulp was employed as a standard index of maturity [9]. To determine the dry matter, the pulp was taken from the middle segments of every locules, cut into small pieces, and thoroughly mixed. A sample of about 20 g of the mixed pulp was dried in a hot air oven at 70°C for 48 h. The of dry matter percentage (%DM) could be estimated by (1).

$$\%DM = \left[\frac{W_2}{W_1} \right] \times 100 \quad (1)$$

%DM = The dry matter percentage (%)

W_1 = the original mass of the pulp (g)

W_2 = the dried mass(g)

C. Color values from spectrometer

Measurement of Durian peel color value. It is measured at the end of spine. The measuring device consists of: (1) Light source DH-2000 (2) OCEAN USB2000+UV/VIS Spectrometer (3) (QR200-7-VIS-NIR Reflection Probes), (4) Polytetrafluoroethylene (Teflon) (5) Software spectra suite. The color value was conducted on three adjacent spines located in the middle part of the selected locule. Three fertile locules of each fruit, which were the locules that appeared fully filled along the length of the fruit were measured. The average of nine position of each fruit was subsequently submitted for multivariate data analysis shown in Fig. 1.

The human vision of the color of the object. It's a different vision. Color measurement devices have been developed to reduce errors due to light source and observer. Organizations that play an important role in defining the standard color is Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). The three coordinates of CIELAB represent the lightness of the color ($L^* = 0$ yields black and $L^* = 100$ indicates diffuse white; specular white may be higher), its position between red/magenta and green (a^* , negative values indicate green while positive values indicate magenta) and its position between yellow and blue

(b^* , negative values indicate blue and positive values indicate yellow). The asterisk (*) after L, a and b are pronounced star and are part of the full name, since they represent L^* , a^* and b^* , to distinguish them from Hunter's L, a, and b.

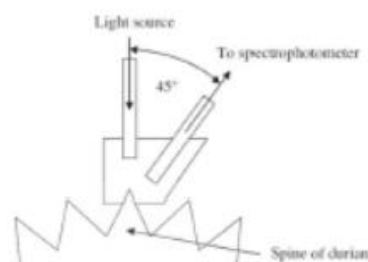


Figure1: Implement of color measurement system of the spine of durian [8].

D. Color values from image processing

Composition of photography will be the same every time take a photo. Each fruit of durian was positioned inside a box with black lining with two Ralight lamp (D65/18 W, 36 cm long) which is the standard lamp for ISO 3664: 2016 color detection were situated 35 cm above the sample and at an angle of 45° to the sample (Fig 2). The digital camera (Fuji X-A2) which was located vertically over the durian fruit of 30 cm. Images were taken using the following camera settings: $f = 4.5$ and speed 1/85, no zoom, no flash, resolution (4896x 2760) pixels, and the image file is saved as JPEG format. Additionally, light diffusers covering each lamp and electronic ballast assured a uniform illumination system [10]. The image obtained from the digital camera shown in Fig. 3.

The durian photos were analyzed as RGB values with the ImageJ software. However, in food research, color is frequently represented using the $L^*a^*b^*$ color space. The process of converting the color values from the RGB to $L^*a^*b^*$ unit. The conversion process from RGB to $L^*a^*b^*$ has three steps:

1) The nonlinear RGB values are transformed to linear sRGB values by (2), (3).

$$NR = \frac{R}{255}; \quad NG = \frac{G}{255}; \quad NB = \frac{B}{255} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} r &= \begin{cases} (NR + 0.055) / 1.005, NR > 0.04045 \\ NR / 12.92, NR \leq 0.04045 \end{cases} \\ g &= \begin{cases} (NG + 0.055) / 1.005, NG > 0.04045 \\ NG / 12.92, NG \leq 0.04045 \end{cases} \\ b &= \begin{cases} (NB + 0.055) / 1.005, NB > 0.04045 \\ NB / 12.92, NB \leq 0.04045 \end{cases} \quad (3) \end{aligned}$$

2) The rRGB values are converted to the CIE XYZ system by (4)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (4)$$

3) The CIE XYZ are converted to the CIELAB system by (5),(6)

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \begin{cases} 7.787x + \frac{16}{116}, & x \leq 0.008856 \\ x^y, & x > 0.008856 \end{cases}$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \begin{cases} 7.787y + \frac{16}{116}, & y \leq 0.008856 \\ y^y, & y > 0.008856 \end{cases}$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \begin{cases} 7.787z + \frac{16}{116}, & z \leq 0.008856 \\ z^y, & z > 0.008856 \end{cases} \quad (5)$$

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$a^* = 500\left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right]$$

$$b^* = 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right] \quad (6)$$

Calculate the Hue angle, therefore the equation (7)

$$Hue = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (7)$$

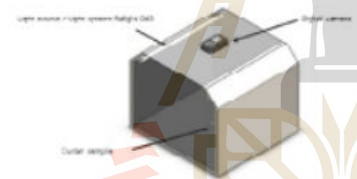


Figure 2: Light control unit for use in photography.



Figure 3: Durian photos (the images taken within the light control).

E. Comparison color value

At present, the device used to measure the color of the object has been developed. Each devices has different performance. There is a comparison in each of the method that the most effective way to measure. Since this study measured the color of durian peel by two methods, the spectrometer and the image processing. Therefore, the two methods of color measurement are compared in terms of precision and accuracy of the model for predicts the age of durian.

F. Statistical analyses

Acquired L*, a*, and b* values were imported to MS-excel software from the devices and then to the SPSS statistics software (IBM Corporation, Armonk, New York, United States, version 22) a statistical software package, for multivariate calibration. The maturity of durian was calculated using %DM from all 160 samples. They are classified of 8 levels of durian maturity i.e. 100 105 110 115 120 125 130 and 135 days after bloom by reference to standard %DM [11]. The performance of the models was validated on the prediction set by comparison of the measured values with the estimated values from the model. The statistics for assessment of performance consisted of the correlation coefficient of prediction and the root mean square error of prediction.

III. RESULT AND DISCUSSION

A. Change in dry matter with maturity stage

The %DM Relative to day after bloom is a pronounced trend. The %DM increased with an increase in day after bloom as shown in Fig. 4. In practice, durian with a minimum stage of maturity should contain at least 32 %DM for suitable durian for harvesting. From as Fig. 4, it was found that since the age of 125 day after bloom has been shown to have the %DM of more than 32 [12].

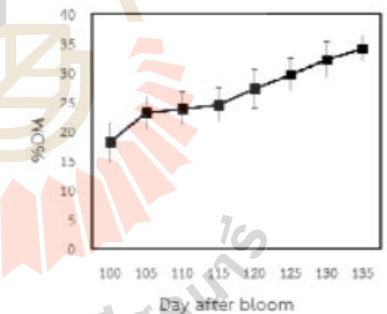


Figure 4: The relationships between the days after bloom and the property values Dry matter.

B. Change in color value

The results from the color value by image processing analysis and by spectrometer show the correlation between color values L* a* b* and Hue with day after bloom as shown in Fig. 5 (a) (b) (c) (d). Display the measured value from the average of spine tip in each result. It was found that the color value was measured at the spine tip correlate with day after bloom. L* b* and Hue angle have a very good correlate with the day after bloom. L* tends to decrease when the value of days after bloom increases (Figure 5 (a)). b* tends to increase when the value of days after bloom increases (Figure 5 (c)). However, when considering the a* value, it cannot be determined whether the a* values correlate with the day after bloom in any direction (Figure 6 (b)). Finally, the Hue angle value is likely to increase with the number of days after bloom (Figure 5 (d)).

C. Classification of durian maturity

The discriminant analysis was used to discriminate the durian into 8 levels (100-135 DAB). Analyzes were classify for the durian group by means of the discriminant analysis. The variables that could classify the durian range were L* b* and Hue angle. Classification of durian by spectrometer give the correct classification of 80.4%, as shown in Table 1. And classification of durian by the image processing analysis give the correct classification of 78.6%, as shown in Table 2. The result of group classification using spectrometer will be more accuracy than the image processing. Considering Fig. 5, it can be seen that the color values from spectrometer were correlated with day after bloom, the graph has a linear tendency more than a graph that shows the correlation between the color values from the image processing and the day after bloom. As a result, group classified by spectrometer is more accurate than classification by image processing, which the difference of accuracy just only 2.73%. When focus of equipment, tool and instrument indicate that color value from image processing is very cheaper than spectrometer and this technique can be application to machine or tool for separate of immature from mature durian. Modeling predicts maturation of durian by linear regression. Using spectrometer to prediction model for the day after bloom. The equation has reliability (R²) of 0.913 with the predicted standard error (SEP) of 2.87361 (Table 3). When using image processing to prediction model for the day after bloom. The equation has reliability (R²) of 0.906 with the predicted standard error (SEP) of 3.06749 (Table 3). Therefore, image processing is a potential method for classify the maturity of durian. Therefore, it is necessary to study the effect of harvesting time on the color changes at the spine tip and data analysis technique to get more accuracy prediction model.

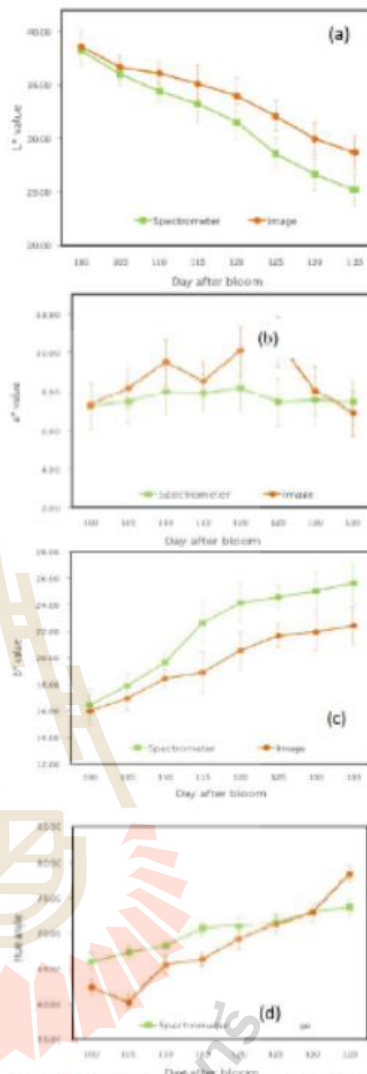


Figure 5: The relationships between color value (a) L*, (b) a*, (c) b*, (d) Hue angle

Comparison of the Ability to Evaluation of "Monthong" durian Maturity using Color Value from Spectrometer and Image Processing

STAGE	Classified Group (%)								Total
	100	105	110	115	120	125	130	135	
100	76.1	16.5	7.4	0	0	0	0	0	100.0
105	14.3	75.4	10.3	0	0	0	0	0	100.0
110	0	7.2	81.7	11.1	0	0	0	0	100.0
115	0	3.4	7.3	75.9	13.4	0	0	0	100.0
120	0	0	0.6	10.1	77.6	10.9	0.8	0	100.0
125	0	0	0	0	6.2	76.3	14.2	3.3	100.0
130	0	0	0	0	0	6.9	83.4	9.7	100.0
135	0	0	0	0	0	4.1	11.3	84.6	100.0
Total correctly classified group (%)								80.4	

Table 1 Classification Results from spectrometer.

STAGE	Classified Group (%)								Total
	100	105	110	115	120	125	130	135	
100	74.4	20.8	4.8	0	0	0	0	0	100.0
105	15.2	72.6	12.2	0	0	0	0	0	100.0
110	0	10.7	69.8	19.5	0	0	0	0	100.0
115	0	0	12.4	78.9	5.5	3.2	0	0	100.0
120	0	0	0	6.8	68.4	24.8	0.6	0	100.0
125	0	0	0	0	20.0	72.1	7.9	0	100.0
130	0	0	0	0	0	5.9	80.3	13.8	100.0
135	0	0	0	0	0	1.1	15.0	83.9	100.0
Total correctly classified group (%)								78.6	

Table 2 Classification Results from image processing.

METHOD	R	R ²	SEP
Spectrometer	0.956	0.913	2.87361
Image processing	0.952	0.906	3.06749

Table 3 Linear regression for evaluate day after bloom from spectrometer and image processing.

CONCLUSION

Classification to divide the durian into 8 levels of durian maturity i.e. 100 105 110 115 120 125 130 and 135 days after bloom. The result of group classification using color value from spectrometer more accuracy than classification by image processing 2.73%. The classification by color value from spectrometer and image processing have the correct classification of 80.4% and 78.6%, respectively.

REFERENCES

- [1] N. Neamsorn, and A. Terd Wongworakul, "Maturity index of 'Monthong' durian based on stem strength and acoustic frequency response", Proceedings of Japan-Thailand Joint Symposium on Nondestructive Evaluation Technology, May, 2004.
- [2] W. Kongrattanasri, S. Arungrasamee, B. Pungsiri, K. Chamnongthai, and M. Okada, "Nondestructive maturity determination of durian by force vibration and ultrasonic", International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems 9 (6), 703-719, Dec, 2001.
- [3] T. Ratspralon, P. Kumhom, and K. Chamnongthai, "Nondestructive maturity determination of durian by using microwave moisture sensing". IEEE International Conference on Industrial and Technology (ICIT), Bangkok, Thailand, Dec, 1999.
- [4] F. Pedreschi, J. Leon, D. Mery, and P. Moyano, "Development of a computer vision system to measure the color of potato chips", Food Research International 39 1092-1098, Mar, 2006.
- [5] L. K. Yan, and E. S. Papadakis, "A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces", Journal of Food Engineering 61 (2004) 137-142, May, 2004.
- [6] A. Thammabutra, and K. Wattanavichien, "Analysis of Monthong Durian Maturation Using Image Processing of Fruit Stem", Thesis Department of Horticulture College Kasetsart University, Bangkok, 2004.
- [7] S. N. Jha, S. Chopra, and A.R.P. Kingsby, "Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango", Journal of Food Engineering 78 (1), Oct, 2007.
- [8] P. Tinkhuan and A. Terd Wongworakul, "Non-destructive classification of durian maturity of 'Monthong' cultivar by means of visible spectroscopy of the spine", Journal of Food Engineering 112 (4), 263-267, Oct, 2012.
- [9] Suriphanch, J., Khurmpoon, L., "Dry matter as a possible maturity index of 'Monthong' durians". Thai Journal of Agricultural Science 37 (3), Sep, 2003.
- [10] Mendonza, F., P. Dejmekko, J. M. Aguilera, "Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis", Postharvest Biology and Technology 41 (3) 285-295, Sep, 2006.
- [11] National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standard, "Thai Agricultural Standard TAS 3-2003: Durian", Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand, 2013.
- [12] International Tropical Fruits Network, "Days from anthesis recommended as maturity indices for selected durian cultivars". Retrieved from: http://www.itfnet.org/igfruit/Templates%20English/durian_harv_post.htm, Date 10 Sep 2017, 2008.

Teerawat Chuenatsadongkot, Tawarat Treamnuk and Krawee Treamnuk. (2561). **Evaluation of “Monthong” durian maturity using color value from image analysis.** Thai Society of Agricultural Engineering Journal. Vol 24 No 2 (2018). 38 – 47 pp.





การประเมินความบรู๋ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Evaluation of "Monthong" durian maturity using color value from image analysis

ธีรวัฒน์ ชื่นอัครดงกค¹, เทวรัตน์ ศรีอำรรค^{2*}, กระวี ศรีอำรรค¹

Teerawat Chuenatsadongkot¹, Tawarat Treeamruk^{2*}, Krawee Treeamruk¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

¹School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

²School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

*Corresponding author: Tel: +66-44-224-583, Fax: +66-44-224-610, E-mail: tawaratg@ut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเปลือกกับความบรู๋ของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยประยุกต์เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายในการคำนวณค่าสีเปลือกทุเรียนที่บริเวณปลายหนาม จากนั้นนำค่าสีที่ได้ไปหาความสัมพันธ์กับดัชนีการเก็บเกี่ยวมาตรฐาน 2 ชนิดคือดัชนีมวลแห้ง และดัชนีวันหลังดอกบาน แล้วทำการจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ช่วงคือผลทุเรียนอ่อนไม่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวและผลทุเรียนที่มีความบรู๋เหมาะสมจะเก็บเกี่ยวได้ ผลจากการศึกษาพบว่าค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความสัมพันธ์กับดัชนีทั้งสองชนิด โดยสมการทำนายดัชนีมวลแห้งและดัชนีวันหลังดอกบานมีความน่าเชื่อถือ (R^2) 0.769 และ 0.906 ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์เพื่อจำแนกกลุ่มพบว่าหากใช้ดัชนีมวลแห้งสามารถจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 85.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการจำแนกกลุ่มด้วยดัชนีวันหลังดอกบานมีความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม 89.4 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ทุเรียนหมอนทอง, ความบรู๋, ค่าสี, การวิเคราะห์ภาพถ่าย

Abstract

The objective of this research was to find the relation between peel color and maturity of "Monthong" durian. The image analysis technique was used to calculate the color values at spine tip. Then the color values were used to make relation with the 2 types of harvesting index i.e. dry matter and day after bloom. The discriminant analysis was used to discrimination the durian into 2 groups i.e. immature (the durians are not suitable for harvest) and mature (the durians are suitable for harvest and ripening stage can be occur). The results of this study indicate that the calculated color values from the image have relation with the both index. The equations for predict the dry matter and day after bloom have coefficients of determination (R^2) 0.769 and 0.906 respectively. For discrimination of durian, the result show that the dry matter index gives the correct classification of 85.1%, while the day after bloom index give the correct classification of 89.4%.

Keywords: Monthong durian, Maturity, Color value, Image processing

1 บทนำ

ทุเรียนเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอันดับหนึ่งทั้งการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ในช่วงปี 2555 -2557 พบว่ามีปริมาณและมูลค่าการส่งออกที่เพิ่มสูงขึ้น

โดยเพิ่มจาก 351,124 ตัน มูลค่า 6,195 ล้านบาท เป็น 369,602 ตัน มูลค่า 12,436 ล้านบาท โดยมีตลาดคู่ค้าที่สำคัญคือ จีน ฮองกง และไต้หวัน (Office of Agricultural Economics, 2017) เนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีมูลค่าต่อโลกรวมสูงในช่วง

ต้นฤดูการผลิตซึ่งเกิดปัญหาการตัดทุเรียนอ่อนออกสู่ตลาด ซึ่งทุเรียนอ่อนเหล่านี้จะไม่สามารถพัฒนาไปเป็นทุเรียนสุกได้ จึงถือว่าเป็นทุเรียนด้อยคุณภาพ หากทุเรียนเหล่านี้ถูกจำหน่ายออกไปทั้งภายในและต่างประเทศจะส่งผลให้ภาพลักษณ์ของทุเรียนไทยเกิดความเสียหาย จากปัญหาดังกล่าวการตรวจสอบคุณภาพของทุเรียนก่อนออกจำหน่ายจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ โดยผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งเกษตรกร ผู้รวบรวมผลผลิต และพ่อค้าจะต้องตระหนักถึงคุณภาพของทุเรียน กระทั่งวงเกษตรได้ออกมาตรฐานทุเรียนคุณภาพโดยใช้ดัชนีเนื้อแห้งเป็นตัวกำหนดโดยทุเรียนพันธุ์หมอนทองต้องมีเนื้อแห้ง 32% พันธุ์ชะนี 30% พันธุ์กระแจะทอง 27% และ พันธุ์พวงมณี 30% (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2013) แต่วิธีการประเมินหาเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งต้องใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบ อีกทั้งยังเป็นการทำลายผลทุเรียนนอกจากนี้ผลทุเรียนตัวอย่างอาจไม่ใช้ตัวแทนที่แท้จริง อีกทั้งยังสามารถประเมินความบริบูรณ์ของทุเรียนได้คือการนับอายุของผลทุเรียนตั้งแต่วันหลังดอกบานซึ่งทุเรียนพันธุ์หมอนทองใช้เวลา 115-135 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละปี (Sriphanich, 2001) นอกจากนี้การแปรผันขึ้นต้นเนื้อแห้งและการนับวันหลังดอกบานแล้วยังมีดัชนีการเก็บเกี่ยวอื่นซึ่งต้องอาศัยความชำนาญของผู้ตรวจสอบประเมิน ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ จึงได้มีการวิจัยพยายามนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อการประเมินความบริบูรณ์ของทุเรียน เช่น วิธีการตรวจวัดความแก่ของทุเรียนด้วยความเร็วแสงซึ่งสามารถทำได้โดยเคาะที่เปลือกของทุเรียนเพื่อวัดค่าความถี่ วิธีการนี้ให้ผลในการประเมินผลที่รวดเร็ว และมีข้อเสียคือยังได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ค่อนข้างมาก (Terdwongworakul and Neamsom, 2006) วิธีการตรวจสอบความแก่ของทุเรียนด้วยอัตราไซนัส โดยจะใช้ประโยชน์จากคลื่นอัตราไซนัสมาหาความสัมพันธ์กับสมบัติทางเคมีต่างๆ วิธีการนี้ให้ผลที่ค่อนข้างแม่นยำ และมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของเครื่องที่มีขนาดใหญ่ ทั้งราคาของเครื่องสูงมาก (Kongratnaprasert, 2000) วิธีการตรวจสอบความแก่ของทุเรียนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งวิธีนี้ก็ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับเรื่องของขนาดเครื่องเช่นกัน ทำให้ไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้ในพื้นที่กับเกี่ยวผลผลิต (Rutpralom et al, 1999) จากวิธีที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าปัญหาที่พบหลัก ๆ คือ เครื่องมือที่นำมาใช้วัดประเมินความบริบูรณ์ของทุเรียน ยังมีราคาสูง ขนาดของเครื่องใหญ่เคลื่อนย้ายได้ยาก

ซึ่งเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวหรือดัชนีคุณภาพที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง โดย Jha (2007) ได้ทำงานวิจัยเพื่อการจำแนกระยะอายุของผล

มะม่วงโดยการวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสีแบบ spectrometer เพื่อมูลค่าที่ได้มาสร้างผลการทำนายอายุของมะม่วง ซึ่งผลการทำนายที่ได้มีความแม่นยำ 75.7% สำหรับการประเมินความบริบูรณ์ของทุเรียนนั้น Timkhum and Terdwongworakul (2012) และ Timkhum and Terdwongworakul (2013) ได้ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านแสงที่มองเห็นได้พบว่าวิธีนี้สามารถแยกระยะของทุเรียนพันธุ์หมอนทองออกเป็น 5 ช่วงได้อย่างแม่นยำถึง 83.3% และวิธีการนี้ชี้ให้เห็นว่าสีที่ปลายหนามของผลทุเรียนมีความสัมพันธ์กับความบริบูรณ์ของผลทุเรียน จึงสามารถประยุกต์ใช้เครื่องวัดสีที่ปลายหนามได้แต่ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้เทคนิคการวัดสเปกโทรสโกปี และเครื่องมือวัดสีมาตรฐานมีราคาที่สูงมาก นอกจากนี้ยังพบปัญหาว่าพื้นผิวเปลือกของทุเรียนไม่เรียบ มีลักษณะเป็นหนามแหลมซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการใช้เครื่องมือมาตรฐานในการวัดค่าสี ดังนั้นหากต้องการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบความบริบูรณ์ของผลทุเรียนแบบไม่ทำลายผลโดยใช้ค่าสี การใช้เครื่องมือวัดสีมาตรฐานจึงพบอุปสรรคเรื่องความไม่สะดวกต่อการใช้งานและเครื่องมือมีราคาแพง ทางคณะผู้วิจัยจึงเห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้โดยข้อดีของเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย คือความเร็วในการประมวลผล และอุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่ายและมีราคาไม่สูงนัก นอกจากนี้ยังแก้ปัญหาในส่วนของผิวของผลผลิตที่ไม่เรียบได้เช่นกัน (Pedreschi et al., 2006) ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายไปใช้สำหรับ ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารโดย Teakosyorn (2011) ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบด้วยระบบการวิเคราะห์ภาพถ่าย ให้ค่าออกมาเป็นตัวแปรค่าสี พบว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกคุณภาพของขนมปังกรอบได้ โดยมีความถูกต้องของผลการคัดเลือกที่อยู่ในเกณฑ์ดี และ Yam and Papadakis (2004) ทำการตรวจสอบคุณภาพของพืชชาที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย พบว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องที่ติดตั้งสามารถคัดแยกคุณภาพของอาหารได้เพื่อส่งต่อสำหรับงานวิจัยด้านอาหาร แต่ยังไม่เพียงพอในเชิงธุรกิจเพราะมีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องมือวัดสีมาตรฐานสำหรับทุเรียนนั้น Thammabhubtra and Wattaravichuan (2005) ได้นำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาใช้ตรวจสอบความแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยการประมวลผลภาพที่ก้านผล โดยทำการหาความแตกต่างระหว่างความกว้างของปากปลิงและก้านผล พบว่าใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 15 วินาที/ภาพ ซึ่ง

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายให้การประมวลผลที่รวดเร็ว แต่ยังไม่มีความแม่นยำของการตรวจประเมินที่ไม่สูงมากนัก เพราะขนาดของก้านผลนั้น ยังขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ส่งต่อการเจริญเติบโตด้วย ตัวแปรขนาดของก้านผลจึงไม่มีความสัมพันธ์กับอายุความแก่ของทุเรียนมากนัก

จากปัญหาในการวัดค่าสีด้วยเครื่องมือมาตรฐาน และข้อดีของการประมวลผลที่รวดเร็วและเครื่องมือที่ใช้มีราคาไม่แพงของเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการวัดค่าสีของปลายหนามทุเรียนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อนำมาใช้ในการประเมินความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเก็บตัวอย่างทดสอบตามอายุวันหลังจากดอกบาน

การเก็บตัวอย่างทดสอบใช้ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากสวนทุเรียนในจังหวัดระยอง โดยทำการติดเครื่องหมายที่สอดคล้องถึงผลแก่สำหรับนับอายุวันหลังจากดอกบานจำนวน 8 ช่วงอายุ ได้แก่ 100 105 110 115 120 125 130 135 วันหลังจากดอกบาน โดยสุ่มเก็บที่ช่วงละ 20 ผล จำนวนรวมทั้งหมด 160 ผล จากนั้นทำการเคลื่อนย้ายทุเรียนที่ติดมาเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C เป็นเวลา 1 คืนเพื่อทำการปรับสภาพทุเรียนทุกผลให้อยู่สภาพเดียวกันก่อนที่จะนำไปวัดค่าต่าง ๆ

2.2 การวัดค่าร้อยละน้ำหนักรีดแห้ง

นำเนื้อทุเรียนจากกลางทุเรียนของทุกลูก โดยความหมายก็คือเพื่อเป็นการสุ่มวัดค่าเนื้อจากทั้งหมด โดยนำเนื้อที่ได้มาสับให้ละเอียดแล้วชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่ีความละเอียด 0.1 mg (Salorius, model BSA2245-CW, Germany) จำนวน 20 g จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (FRANCE ETUVES, model XU058, France) ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 48 h หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ เพื่อนำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละน้ำหนักรีดแห้ง ดังสมการที่ (1) (Sriyacharn et al., 2007)

$$\%DM = \left[\frac{w_2}{w_1} \right] \times 100 \tag{1}$$

%DM - เปอร์เซ็นต์น้ำหนักรีดแห้ง (%)
 W₁ - น้ำหนักของเนื้อทุเรียนก่อนอบแห้ง (g)
 W₂ - น้ำหนักของเนื้อทุเรียนหลังอบแห้ง (g)

2.3 การวัดค่าสีด้วย spectrometer

การวัดค่าสีเปลือกผลทุเรียนที่ปลายหนามด้วยชุด Spectrometer (Ocean Optics, USB200+, USA) ซึ่งประกอบไปด้วย (1) Light source DH-2000 (2) ตัวรับและแปลงสัญญาณ Ocean Optics USB2000+UV/VIS Spectrometer (3) สายไฟเบอร์ออปติก (QR200-7-VIS-NIR Reflection Probes) (4) ฝาครอบปลายหนามทุเรียน (5) Notebook ซึ่งลงโปรแกรม Spectra Suite โดยทำการวัดในช่วงความยาวคลื่น 190 – 780 nm ก่อนที่จะทำการวัดทุกครั้งต้องทำการวัดค่าจากอุปกรณ์มาตรฐานก่อน (WS-1 Reflectance Standards) จากนั้นวัดค่าสีที่ปลายหนามผลทุเรียน (Figure 1) ที่ตำแหน่งกลางทุเรียน 3 จุด ที่รูปร่าง 2 พู และ 3 จุด รวมวัดค่าทั้งหมด 9 จุด ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าพารามิเตอร์สีต่างๆ คือ L* แสดงถึงความสว่างของสี, a* แสดงถึงความแดง, b* แสดงถึงความเขียว โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกวิเคราะห์ค่าสีในหน่วยของ CIELAB เมื่อได้ค่าทั้งหมด นำมาจัดเรียงเก็บใส่ลงในไฟล์ Excel เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

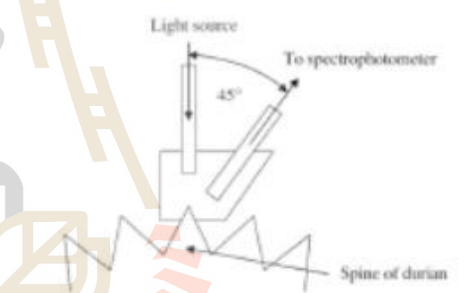


Figure 1 Implement of color measurement system of the spline of durian (Timkhum and Terd Wongvorakul, 2012).

2.4 การวิเคราะห์ภาพถ่ายและอายุการประมวลผลภาพถ่าย

การถ่ายภาพทุเรียนเพื่อนำมาวิเคราะห์นั้นต้องจัดองค์ประกอบในการถ่ายภาพให้เหมือนกันทุกครั้งทั้งการถ่ายภาพโดยการถ่ายภาพทุเรียนทุก ๆ พูในแต่ละผล ตัวกล้องดิจิทัล ยี่ห้อ FUJI รุ่น X-A2 ปรับตั้งค่ากล้องให้เหมือนกันทุกครั้ง ที่ f = 4.5 และ speed 1/85 ไม่มีการขยายภาพ ไม่ใช้แฟลช และบันทึกไฟล์ภาพเป็น JPEG format ความละเอียด 4896x2760 pixels ควบคุมแสงสว่างโดยติดตั้งหลอดไฟ Ralight D65 ขนาด 18W ซึ่งเป็นหลอดไฟในการตรวจสอบสีตามมาตรฐาน ISO 3664 : 2016 จำนวน 2 หลอด ห่างจากพื้นผิว

ทุเรียนเพื่อถ่ายรูปเป็นระยะ 35 cm โดยติดตั้งให้แสงทำมุมกับ
 แขนวางเป็นมุม 45° ส่วนของการถ่ายภาพนั้นกำหนดให้เลนส์
 ก้อยอยู่ห่างจากทุเรียนเป็นระยะ 30 cm ดังแสดงใน Figure 2
 พื้นที่ถังในการถ่ายภาพจัดให้เป็นสี่เหลี่ยม (Mendoza et al.,
 2549) ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพแสดงดัง Figure 3

จากนั้นนำค่า sRGB ที่ได้ไปคำนวณเพื่อแปลงค่าให้เข้าสู่
 ปริภูมิสี XYZ ด้วยสมการ (5)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.07221750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (5)$$

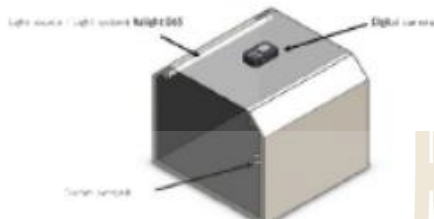


Figure 2 Light control unit for use in photography.



Figure 3 The durian images taken within the light control.

ขั้นตอนการประมวลผลภาพ นำภาพถ่ายทุเรียนที่ได้มา
 ในเคระห์เป็นค่าสีในหน่วย RGB ด้วยโปรแกรม ImageJ จากนั้น
 แปลงหน่วยสีจาก RGB เป็น L* a* b* ในขั้นตอนของ
 กระบวนการแปลงหน่วยสีทำการอ้างอิงจากวิธมาตรฐานของ CIE
 (1995) โดยเริ่มจากแปลงค่า RGB ให้เป็น sRGB (standard
 RGB) ขั้นตอนแรกนำค่า RGB ไปหารด้วย 255 โดยจะได้เป็นค่า
 NR NG และ NB เพื่อปรับให้อยู่บนพื้นฐาน จากนั้นทำการคำนวณ
 ค่า sRGB ด้วยสมการ(2)-(4)

จากนั้นนำค่า X Y Z ไปหารด้วย X_n Y_n Z_n โดยที่ค่า X_n Y_n
 และ Z_n คือค่า tri-stimulus อ้างอิงของวัตถุสีขาวตามมาตรฐาน
 ของ CIE สำหรับแสง D65, 2° โดยค่า X_n = 95.047, Y_n = 100
 และ Z_n = 108.883 จากนั้นคำนวณค่า L*a*b* ตามสมการ(6) -
 (11)

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \begin{cases} 7.787x + \frac{16}{116}, & x \leq 0.008856 \\ x^3, & x > 0.008856 \end{cases} \quad (6)$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \begin{cases} 7.787y + \frac{16}{116}, & y \leq 0.008856 \\ y^3, & y > 0.008856 \end{cases} \quad (7)$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \begin{cases} 7.787z + \frac{16}{116}, & z \leq 0.008856 \\ z^3, & z > 0.008856 \end{cases} \quad (8)$$

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (9)$$

$$a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (10)$$

$$b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (11)$$

เมื่อได้ค่าสีในระบบ CIELAB มาแล้ว ทำการคำนวณหาค่า
 Hue angle ตามสมการ (12) และทำค่าเปรียบเทียบกับค่าสีที่ได้จาก
 การวิเคราะห์ภาพถ่ายกับค่าที่ได้จากเครื่อง spectrometer

$$Hue = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (12)$$

2.5 การเลือกค่าเหมาะสำหรับวิเคราะห์ภาพถ่าย

จากกระบวนการถ่ายภาพ ซึ่งจะทำได้ภาพออกมาดังแสดง
 ใน Figure 3 นั้นสามารถนำภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์ค่าสีที่
 เฉพาะบางจุดของภาพถ่ายได้ โดยใช้โปรแกรม imageJ ทำการ
 เลือกจุดที่สนใจจะวิเคราะห์เท่านั้น เมื่อทำการศึกษาเชิงสถิติที่
 ชาวสวนหรือผู้คัดเลือกทั่วไปใช้ในการคัดแยกความแก่ของทุเรียน
 พบว่า หนึ่งในวิธีที่ใช้สำหรับคัดแยกระดับความแก่ของทุเรียนคือ

$$r = \begin{cases} (NR + 0.055) / 1.005, NR > 0.04045 \\ NR / 12.92, NR \leq 0.04045 \end{cases} \quad (2)$$

$$g = \begin{cases} (NG + 0.055) / 1.005, NG > 0.04045 \\ NG / 12.92, NG \leq 0.04045 \end{cases} \quad (3)$$

$$b = \begin{cases} (NB + 0.055) / 1.005, NB > 0.04045 \\ NB / 12.92, NB \leq 0.04045 \end{cases} \quad (4)$$

การดูสีที่เปลือกของทุเรียน แต่การดูสีที่เปลือกของทุเรียนก็ยังสามารถแยกออกเป็นหลายวิธี ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสีที่ร่องทุเรียน การเปลี่ยนแปลงของสีที่ปลายนามทุเรียน การเปลี่ยนแปลงสีที่โคนหนามของทุเรียน และการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างระหว่างสีที่ปลายนามกับโคนหนามของทุเรียน (Chanthaburi Horticultural Research Center, 2009) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่ปลายนามเป็นหลักตามที่ Timkhum and Terdwongworakul (2013) ได้แนะนำไว้

การวิเคราะห์สีที่ปลายนามจะสุ่มเลือกที่ตำแหน่งปลายสุดของหนาม ดังแสดงใน Figure 4 จำนวน 10 หนามต่อภาพถ่ายทุเรียน 1 ภาพ โดยความหมายของการสุ่มเลือกคือเพื่อให้ค่าที่ได้ครอบคลุมและเป็นตัวแทนของสีที่ปลายนามของทุเรียนทั้งหมด

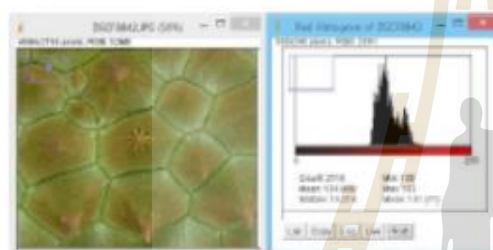


Figure 4 Positioning of collecting color value of the spine tip in the image.

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ

การนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ทำได้โดยการนำค่าอายุวันหลังจากดอกบาน ค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง ค่าสีที่ปลายนามทุเรียน และค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย มาทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการจำแนกกลุ่มเพื่อแบ่งเป็น 2 กลุ่มระหว่าง กลุ่มทุเรียนที่ยังไม่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากต้น และกลุ่มทุเรียนที่เริ่มเหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากต้น ด้วยวิธีการจำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistic version 22

การวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการทำนายค่าอายุวันหลังจากดอกบาน และค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง ได้อย่างอิงตามมาตรฐานร้อยละน้ำหนักแห้งและมาตรฐานค่าอายุวันหลังจากดอกบานที่กำหนดไว้ว่าทุเรียนที่มีความบริบูรณ์เพียงพอที่จะสามารถเก็บเกี่ยวได้ จะมีค่าร้อยละน้ำหนักแห้งมาก 32 ขึ้นไป (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2013)

และมีอายุวันหลังจากดอกบานตั้งแต่ 120 วันเป็นต้นไป (International Tropical Fruits Network, 2008)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง

ผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบานเป็นแนวโน้มที่ชัดเจน โดยค่าร้อยละน้ำหนักแห้งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาหลังจากดอกบานที่เพิ่มขึ้นจาก 100 วัน ไปจนถึง 135 วันหลังจากดอกบาน ดังแสดงใน Figure 5

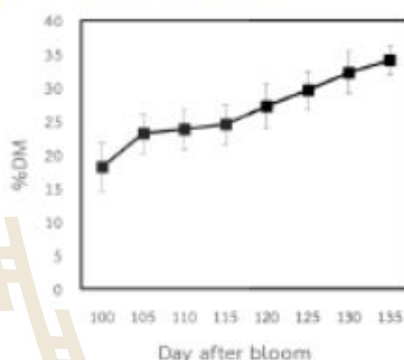


Figure 5 The relationships between the days after bloom and the dry matter value.

3.2 ผลการเทียบค่าสีระหว่างค่าจาก spectrometer กับการวิเคราะห์ภาพถ่าย

ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายทำให้ได้ค่าอาหารมีเคอร์รี่ L* a* b* เช่นเดียวกับค่าสีจาก spectrometer ซึ่งได้นำค่าสีทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบกัน ผลจากการเปรียบเทียบจะทำได้ทราบได้ว่าค่าสีที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีค่าเป็นไปแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าสีที่วัดได้จาก spectrometer ดังแสดงใน Figure 6 ซึ่งเห็นได้ว่าตัวแปรค่าสีทั้ง L* a* b* ที่วัดค่าได้จากวิธีวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าสี L* a* b* ที่วัดได้จากเครื่อง spectrometer โดยมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไป ค่า L* ที่วัดค่าได้จากวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความสัมพันธ์ที่ดีและมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับค่า L* ที่วัดค่าได้จาก spectrometer มากที่สุด (Figure 6(a)) รองลงมาคือค่า b* (Figure 6(b)) ส่วนค่า a* ที่วัดได้จากวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย มีความสัมพันธ์กับค่า a* ที่วัดค่าได้จาก spectrometer น้อยที่สุด มีการกระจายตัวค่อนข้างมาก (Figure 6(c))

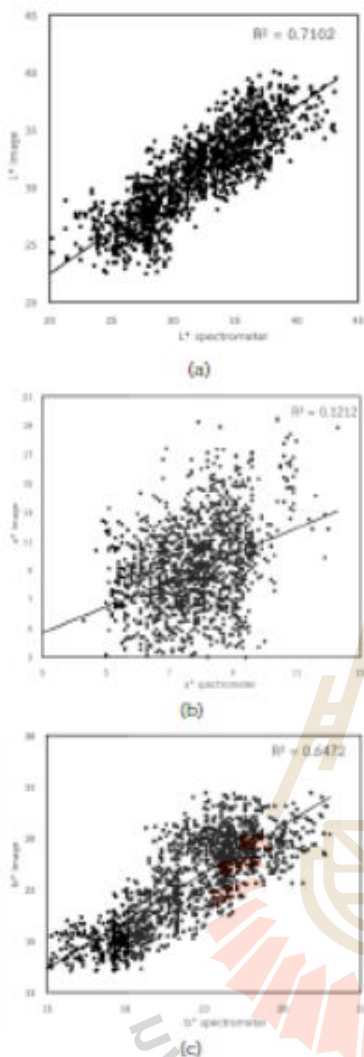


Figure 6 The relationships between the color value (a) L* (b) a* (c) b* from spectrometer and color value from image analysis.

3.3 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย

ผลที่ได้จากการทดสอบค่าด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L* a* b* และ Hue กับอายุวันหลังจากดอกบานดัง Figure 7 และ กับค่าร้อยละน้ำหนักแห้งดัง Figure 8 โดยทำการแสดงค่าที่วัดได้จากตำแหน่งปลายหนามที่ทำการเฉลี่ยมาแล้วในแต่ละผล พบว่าค่าสีที่วัดได้จากตำแหน่งปลายหนาม มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบานและร้อยละน้ำหนักแห้ง โดยค่าสี L* b* และ

Hue angle มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบาน (Figure 7 (a)) และร้อยละน้ำหนักแห้ง (Figure 8(a)) ที่ต่างกัน โดยค่า L* มีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อจำนวนวันหลังจากดอกบานและค่าร้อยละน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนค่า b* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังจากดอกบาน (Figure 7(c)) และร้อยละน้ำหนักแห้ง (Figure 8(c)) ที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาว่า a* กลับไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับอายุวันหลังจากดอกบาน (Figure 7(b)) และร้อยละน้ำหนักแห้ง (Figure 8(b)) จึงไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าค่า a* มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบานและร้อยละน้ำหนักแห้งไปในทิศทางใด ส่วนค่า Hue angle นั้นพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันหลังจากดอกบาน (Figure 7(d)) และค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง (Figure 8(d)) ที่เพิ่มมากขึ้น

3.4 ผลการวิเคราะห์เพื่อจำแนกกลุ่ม

ในกระบวนการวิเคราะห์เพื่อจำแนกกลุ่มจำเป็นต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทดสอบก่อนเพื่อสามารถระบุได้ว่าตัวแปรใดที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นตัวแปรประกอบเพื่อสร้างสมการทำนาย ความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวจะแสดงใน Table 1 พบว่าตัวแปร L* มีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละน้ำหนักแห้งและอายุวันหลังจากดอกบานมากที่สุดที่ 0.847 และ 0.913 ตามลำดับ รองมาจะเป็นตัวแปร b* ซึ่งมีความสัมพันธ์อยู่ที่ 0.752 และ 0.838 ตามลำดับ ตามด้วยตัวแปร Hue angle มีความสัมพันธ์ 0.649 และ 0.748 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปรดังกล่าว ได้แก่ L* b* และค่า Hue angle เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละน้ำหนักแห้งและอายุวันหลังจากดอกบานอยู่ในเกณฑ์ที่ดี (มีค่ามากกว่า 0.500) ในการสร้างสมการทำนายความแปรปรวนของทุเรียนจึงเลือกใช้ตัวแปรทั้ง 3 ค่านำมาใช้เป็นตัวแปรประกอบในการสร้างสมการทำนาย แต่สำหรับตัวแปร a* ที่ตำแหน่งปลายหนาม มีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง และอายุวันหลังจากดอกบานน้อยมากเพียง 0.082 และ 0.068 ดังนั้น ในการสร้างสมการทำนายความแก่จึงไม่นำตัวแปร a* ที่ตำแหน่งปลายหนาม มาใช้เป็นตัวแปรประกอบในการสร้างสมการทำนาย

ในการจำแนกกลุ่มระยะความแก่ของทุเรียนออกเป็น 2 ช่วง คือ ทุเรียนที่มีความเหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากต้น และทุเรียนที่ยังไม่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากต้น ทำการวิเคราะห์เพื่อสำหรับจำแนกกลุ่มทุเรียนด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสามารถในการจำแนกระยะความแก่ของทุเรียนได้ดี คือค่า L* b* และค่า Hue angle

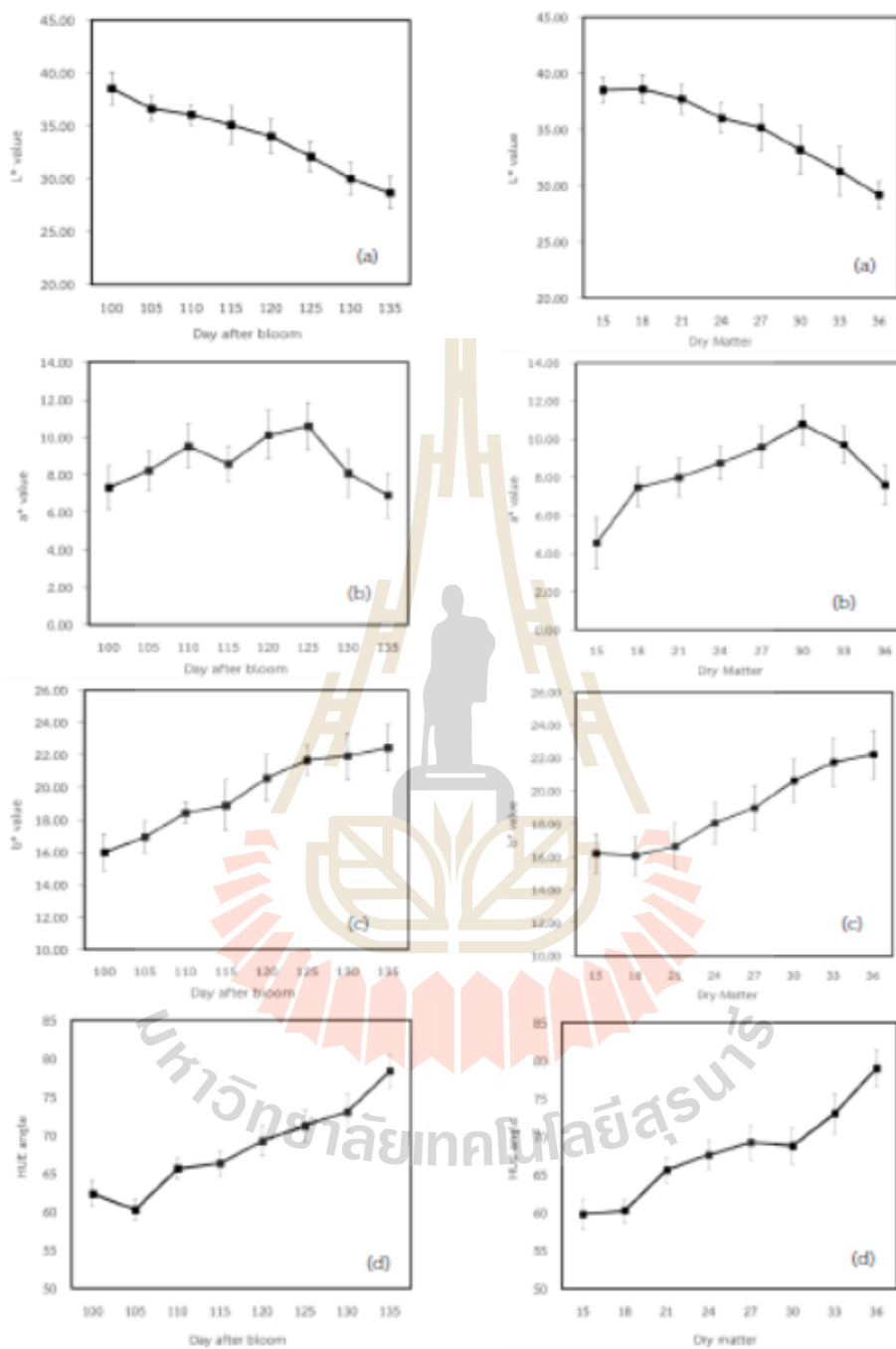


Figure 7 The relationships between color value (a) L*, (b) a*, (c) b*, (d) Hue angle and the days after bloom.

Figure 8 The relationships between color value (a) L*, (b) a*, (c) b*, (d) Hue angle and percent dry matter.

Table 1 Correlation between variables.

Variables	DM	DAB	L*	a*	b*	Hue angle
DM	1.000	0.913	-0.847	0.82	0.752	0.649
DAB	0.913	1.000	-0.913	0.068	0.838	0.748
L*	-0.847	-0.913	1.000	-0.027	-0.756	-0.682
a*	0.82	0.068	-0.027	1.000	0.115	-0.288
b*	0.752	0.838	-0.756	0.115	1.000	0.624
Hue angle	0.649	0.748	-0.682	-0.288	0.624	1.000

การจำแนกความบริบูรณ์ของทุเรียนดำแยกตามค่ามาตรฐานร้อยละน้ำหนักแห้งของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (32% dry matter) จะให้ค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่มอยู่ที่ 85.1% ดังแสดงใน Table 2 แต่ค่าทำการแยกตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบาน โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการนับอายุวันหลังดอกบานของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จะให้ค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่มมากถึง 89.4% ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งจากผลของการจำแนกกลุ่มจะเห็นได้ว่า การจำแนกกลุ่มโดยใช้การนับอายุวันเป็นเกณฑ์ จะมีความถูกต้องที่มากกว่าการจำแนกที่ใช้ร้อยละน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์อยู่น้อย ทั้งนี้เมื่อพิจารณา Figure 7 และ Figure 8 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำตัวแปรค่าสีไปแสดงความสัมพันธ์กับอายุวันหลังดอกบาน กราฟที่ได้จะมีความเป็นแนวโน้มเส้นตรง (Linear) มากกว่ากราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าสีกับร้อยละน้ำหนักแห้ง เป็นผลให้การจำแนกกลุ่มด้วยอายุวันหลังดอกบานจึงมีความถูกต้องมากกว่าการจำแนกกลุ่มด้วยร้อยละน้ำหนักแห้ง

Table 2 Classification Results from dry matter.

Stage	Classified Group (%)		Total
	Immature	Mature	
Immature	82.9	17.1	100
Mature	6.9	93.1	100
Total correctly classified group (%)			85.1

Table 3 Classification Results from day after bloom.

Stage	Classified Group (%)		Total
	Immature	Mature	
Immature	87.6	12.4	100
Mature	8.8	91.2	100
Total correctly classified group (%)			89.4

การสร้างสมการทำนายความบริบูรณ์ของทุเรียนโดยใช้วิธี Linear Regression สามารถสร้างสมการทำนายความบริบูรณ์ของทุเรียนได้อย่างอิงตามมาตรฐานร้อยละน้ำหนักแห้งพบว่าสมการมีค่าความน่าเชื่อถือ (R²) อยู่ที่ 0.769 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (SEP) อยู่ที่ 2.54546 (Table 4) เมื่อสร้างสมการทำนายบริบูรณ์ของทุเรียนที่อ้างอิงตามมาตรฐานการนับอายุวันหลังดอกบานพบว่าสมการมีค่าความน่าเชื่อถือ (R²) อยู่ที่ 0.906 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (SEP) อยู่ที่ 3.06749 (Table 4)

Table 4 Linear regression for evaluate dry matter and day after bloom.

Parameters	R	R ²	SEP
DM	0.877	0.769	2.54546
DAB	0.952	0.906	3.06749

จากผลการจำแนกกลุ่มโดยใช้ค่าสีที่ปลายทางจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายคือ ค่า L* b* และ Hue angle พบว่าสามารถใช้ในการจำแนกความบริบูรณ์ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยใช้ดัชนีร้อยละน้ำหนักแห้งและดัชนีการนับวันหลังดอกบานซึ่งให้ค่าความถูกต้องมากกว่า 85% ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของประสิทธิ์และอนุพันธ์ (2556) ที่สรุปว่าค่าสีที่ปลายทางของทุเรียนมีความสัมพันธ์กับความบริบูรณ์ของทุเรียนและสามารถใช้เพื่อการจำแนกทุเรียนที่มีความเหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายจึงเป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นเครื่องมือเพื่อใช้ในการตรวจสอบความอ่อนแก่ของทุเรียนได้ แต่เนื่องจากการงานวิจัยนี้ได้ทดลองกับทุเรียนที่ผ่านการตัดมาพักไว้เป็นระยะเวลา 1 คืนดังนั้นอาจต้องมีการศึกษาถึง

ผลกระทบของระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่ปลายหนามด้วย

4 สรุป

การจำแนกระยะความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่อึดไม่เหมาะแก่การเก็บเกี่ยวและช่วงที่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวด้วยค่าสีจากเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ปลายหนามโดยอ้างอิงตามดัชนีการเก็บเกี่ยวร้อยละ น้ำหนักแห้งและการนับอายุวันหลังดอกบานมีความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม 85.1% และ 89.4% เมื่อทำการจำแนกด้วยดัชนีร้อยละน้ำหนักแห้งและการนับอายุวันหลังดอกบานตามลำดับ

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสนับสนุนด้านเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

Chanthaburi Horticultural Research Center. 2009.

Durian Available at:

http://doe.go.th/hrc/chantaburi/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=65. Accessed on 10 August 2016.

CIE. 1995. Industrial colour-difference evaluation (Technical Report). Publication CIENO. 116. Vienna: Central Bureau of the Commission Internationale de L'Eclairage.

Industrial Technology, 2002. IEEE ICIT'02. 2002 IEEE International Conference, Vol.1, pp. 155- 158, Apr 2003.

International Tropical Fruits Network. 2008. Days from anthesis recommended as maturity indices for selected durian cultivars. Available at: http://www.iltfnet.org/fruit/Template9%20English/durian_havv_post.htm. Accessed on 10 September 2017.

Kongrattanasert, W. 2000. Nondestructive Maturity Determination of Durian by Force Vibration Compared with using Ultrasonic. Master

Thesis. Graduate School, King Mongkuts University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

Jha S. N. 2007. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering* 78, 22-26.

Mendozaa, F., P. Dejmekb, J. M. Aguilera. 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology* 41, 285-295.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2013. Thai Agricultural Standard TAS 3-2013: DURIAN. Ministry of Agriculture and Cooperatives, 14p.

Office of Agricultural Economics. 2017. Durian: Partner/Competitor. Available at: <http://www.oae.go.th/fruits/index.php/2013-01-25-03-3d-097d-156>. Accessed on 16 September 2017.

Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D. and Moyano, P. 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International* 39, 1092-1098.

Rutpralom, T., Kumhom, P., Chamnongthai, K. 1999. Nondestructive Maturity Determination of Durian by Using Microwave Moisture Sensing.

Sripanich, J. 2001. Physiology and Postharvest Technology of Vegetables and Fruits. (4th ed.). Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Sripanich, J. 2007. Effect of water on dry matter standard of durian cv. Monthong (Final research report). Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Tekotayorn S. 2011. Biscuit Quality Evaluation on Physical Properties Using Image Analysis Technique. Master Thesis. Department of Food Technology, Silpakorn University, Bangkok, Thailand.

Thai Society of Agricultural Engineering Journal Vol. 24 No. 2 (2018), 38-47

Terdwongworakul, A. and Nearsorn, N. 2006. Non-destructive Maturity Measurement of "Monthong" Durian Using Stem Strength and Resonant Frequency. *KKU Engineering Journal* Vol. 33(5), 555 - 563.

Thammabhutra, A. and Wattanavichean, K. 2005. Analysis of Monthong Durian Maturation Using Image Processing of Fruit Stem. *Proceedings of the 43th Kasetsart University Annual Conference: Engineering, Architecture*, 263-270, Kasetsart University, 1-4 February 2005, Bangkok, Thailand.

Available at:

<http://rucon.lib.ku.ac.th/index.php/meeting>

Accessed on 16 September 2017.

Timkhun, P., Terdwongworakul, A. 2012. Non-destructive Classification of Durian Maturity of 'Monthong' Cultivar by Means of Visible Spectroscopy of the Spine. *Journal of Food Engineering* 112, 263-267.

Timkhun, P., Terdwongworakul, A. 2013. Non-destructive Classification of Durian Maturity of 'Monthong' Cultivar by Visible Spectroscopy of the Husk. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal* Vol. 19(1), 1-6.

Yam, L. K., Papadakis, E. S. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering* 61, 137-142.

ประวัติผู้เขียน

นายธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงกต เกิดเมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2536 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนมกุฎเมืองราชวิทยาลัย จังหวัดระยอง และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2558

ปี พ.ศ.2558 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย :

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 15 พ.ศ. 2560 การจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ THE IRES 87th INTERNATIONAL CONFERENCE. Conference Place & Date: Tokyo, Japan 06-11-2017. Comparison of the Ability to Evaluation of “Monthong” durian Maturity using Color Value from Spectrometer and Image Processing.

ได้เสนอบทความตีพิมพ์เผยแพร่ Thai Society of Agricultural Engineering Journal. Vol 24 No 2 (2018). Evaluation of “Monthong” durian maturity using color value from image analysis.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี