อภินันทนาการ

สัญญาเลขที่ R2558B044

สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิจัยและพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก

Quality Determination of Durian fruits cv. Monthong by Near Infrared Spectroscopy (NIR) at Uttaradit Province for Export.

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีระศักดิ์ ฉายประสาท มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รณฤทธิ์ ฤทธิรณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. นายพุทธพงษ์ สร้อยเพชรเกษม มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 1 ส.ค. 2562
เลขทะเบียน
เลขเรียกหนังสือ ว SB 360 .6 พ๗๑๙ ๒๕๕

สนับสนุนโดยงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีงบประมาณ 2558

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการวิจัย : การตรวจสอบคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์ เพื่อการส่งออก

ชื่อผู้วิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ฉายประสาท และคณะ

หน่วยงาน : มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีที่ทำการวิจัย : ปี พ.ศ. 2558

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนา ความสุกแก่ดูได้ยากจากภายนอก เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาว่าพบทุเรียนอ่อนในการซื้อขาย ทำให้ผู้ซื้อเกิดความไม่มั่นใจในการซื้อขาย เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) เป็นวิธีที่สามารถใช้ประเมินคุณภาพผลิตผลที่เป็นอินทรีย์สาร ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัยนี้ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผลโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปีในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก

พบว่า การใช้เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา รุ่น FQA-NIRGUN (FANTEC, Japan) ในช่วงคลื่นสั้น ความยาวคลื่น 700-1100 nm โดยวัดสเปคตรัมที่ตำแหน่งเปลือกกลางผลทุเรียนหมอนทอง สามารถใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและประเมินปริมาณของน้ำหนักเนื้อแห้ง (ค่า correlation coefficient (R) = 0.8282 ค่า standard error of calibration (SEC) = 7.8133 standard error of prediction (SEP) = 1.67% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = 0%) ปริมาณแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ค่า correlation coefficient (R) = 0.7205 ค่า standard error of calibration (SEC) = 8.2851 standard error of prediction (SEP) = 10.3583 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -4.8486 ค่าสีเนื้อ (L*) (ค่า correlation coefficient (R) = 0.6724 ค่า standard error of calibration (SEC) = 1.0468 standard error of prediction (SEP) = 0.2403 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = 1.8494 ค่าสีเนื้อ (a*) (ค่า correlation coefficient (R) = 0.6235 ค่า standard error of calibration (SEC) = 0.6547 standard error of prediction (SEP) = 0.0159 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -0.4546 และค่าสีเนื้อ (b*) (ค่า correlation coefficient (R) = 0.6392 ค่า standard error of calibration (SEC) = 2.0280 standard error of prediction (SEP) = 0.2299 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -1.5138 โดยให้ค่าทำนายใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ทางเคมีแบบดั้งเดิม สามารถวิเคราะห์คุณภาพได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ทำลายผลิตผล

คำสำคัญ : ทุเรียนหมอนทอง, Near Infrared Spectroscopy, การตรวจสอบคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2558

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่หน่วยงานภาครัฐ และเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ในจังหวัดอุตรดิตถ์ ผู้ซึ่งให้องค์ความรู้ พื้นที่สำหรับการวิจัย และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทำวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

คำนำ

โครงการวิจัยและพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก โดย ผศ.ดร.พีระศักดิ์ ฉายประสาท หัวหน้าโครงการวิจัย ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมีวัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (NIRS) ในการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล จะสามารถบอกถึงคุณภาพภายในผลทุเรียนหมอนทองแบบไม่ต้องทำลายผลิตผล เช่น ความสุกแก่และความหวานของเนื้อทุเรียน ทำให้สามารถคัดเกรดทุเรียนหมอนทองที่มีคุณภาพดีและมีมาตรฐานเป็นที่ต้องการของตลาดภายในประเทศและต่างประเทศได้มากขึ้น และถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว เชื่อถือได้ ผู้วิจัยตระหนักถึงปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการวิจัย “การวิจัยและพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก” หากปัญหาของคุณภาพผลผลิตทุเรียนหมอนทองได้รับการแก้ไข จะเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตผล และรายได้แก่เกษตรกร ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนเพิ่มศักยภาพของทุเรียนหมอนทองในการส่งออกไปยังต่างประเทศเพื่อการพาณิชย์อันจะส่งผลดีต่อการพัฒนาภาพรวมทางเศรษฐกิจและช่วยยกระดับมาตราฐานสินค้าเกษตรของประเทศไทยอีกทางหนึ่ง และในโอกาสนี้สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยนเรศวร ใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยนเรศวร บุคลากร เจ้าหน้าที่และผู้ที่มีส่วนร่วมในการจัดทำโครงการครั้งนี้ทุกท่าน ที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับไว้และจะได้แก้ไขในโอกาสต่อไป

สารบัญเรื่อง

เนื้อหา	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
คำนำ	ข
บทคัดย่อ	ค
สารบัญเรื่อง	1
สารบัญตาราง	2
สารบัญภาพ	3
บทที่ 1 บทนำ	5
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	5
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 สถานที่ทำการวิจัย	7
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	8
2.2 การนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดมาใช้สำหรับการตรวจวัดคุณภาพผลิตผลแบบไม่ทำลาย สามารถประเมินคุณภาพภายในหลายอย่างในผลิตผลได้	22
2.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล NIR Spectrum	29
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย	32
3.1 การทดลองที่ 1 : การประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS)	32
3.2 การทดลองที่ 2 : การทดสอบประสิทธิภาพของสมการเพื่อทำนายคุณภาพของทุเรียนหมอนทอง	36
บทที่ 4 ผลการวิจัย	38
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน	39
4.2 สเปกตรัมของทุเรียนหมอนทอง	48
4.3 การสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา	50
4.4 การทดสอบสมการแคลิเบรชั่น	58
4.5 ตรวจสอบความแม่นยำและทดสอบสมการแคลิเบรชั่น	59
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	61
บรรณานุกรม	64

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางโภชนาการบางประการของทุเรียนสองสายพันธุ์ (Brown, 1997) 26

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มค่าทางเคมี (น้ำหนักแห้ง, DM) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker 42

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มค่าทางเคมี (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด, TSS) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker 43

ตารางที่ 4 การแบ่งกลุ่มค่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อค่าแสดงความสว่าง (L*) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker 44

ตารางที่ 5 การแบ่งกลุ่มค่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อแสดงสีแดงและสีเขียว (a*) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker 45

ตารางที่ 6 การแบ่งกลุ่มค่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อค่าแสดงความสว่าง (L*) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker 47

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยปรับสเปกตรัมในการสร้างสมการ calibration เพื่อประเมินปริมาณค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้ง (DM) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (L*) (a*) และ (b*) 57

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยปรับสเปกตรัมในการสร้างสมการ Valibration เพื่อประเมินปริมาณค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้ง (DM) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (L*) (a*) และ (b*) 59

ตารางที่ 9 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชั่นด้วยค่า R 59

ตารางที่ 10 การตรวจสอบความแม่นยำและทดสอบความสามารถของสมการแคลิเบรชั่นด้วยค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) 60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 คัดแยกทุเรียนตามอายุการเก็บเกี่ยวทุเรียน 3 ระดับ คือ ทุเรียนอายุ 110 วันหลังดอกบาน (ความแก่น้อยกว่า 80%), ทุเรียนอายุ 120 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 80%), ทุเรียนอายุ 130 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 100%)	31
ภาพที่ 2 การวัดสเปกตรัมบริเวณก้านล่าง (ปลิง) ด้วยเครื่องวัด NIR spectrophotometer แบบพกพา	33
ภาพที่ 3 หั่นเนื้อทุเรียนเพื่อนำไปหาค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน	34
ภาพที่ 4 การหาค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน (%DM ของเนื้อทุเรียน) ด้วยการอบแห้งในตู้อบแบบลมร้อน (Air Oven)	34
ภาพที่ 5 การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จากน้ำคั้นเนื้อทุเรียนด้วยเครื่อง Digital Hand-Held Refractometer Pocket ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Pal-1 อ่านค่าเป็น %Brix	35
ภาพที่ 6 การวัดค่าสีเนื้อทุเรียนในระบบ CIELAB โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta รุ่น DP-1000	36
ภาพที่ 7 ลักษณะผลและเนื้อทุเรียนหมอนทอง ที่อายุการเก็บเกี่ยว 110 วันหลังดอกบาน (Immature)	38
ภาพที่ 8 ลักษณะผลและเนื้อทุเรียนหมอนทอง ที่อายุการเก็บเกี่ยว 120 วันหลังดอกบาน (Mature)	38
ภาพที่ 9 ลักษณะผลและเนื้อทุเรียนหมอนทอง ที่อายุการเก็บเกี่ยว 130 วันหลังดอกบาน (Over Mature)	39
ภาพที่ 10 น้ำหนักแห้ง (เนื้อ) ของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	39
ภาพที่ 11 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	40
ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อค่าแสดงความสว่าง (L*) ที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	40
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อแสดงสีแดงและสีเขียว (a*) ที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	41
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อแสดงสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b*) ที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	41
ภาพที่ 15 สเปกตรัม (Original spectrum) ของทุเรียนหมอนทองที่วัดด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan)	48
ภาพที่ 16 สเปกตรัม (absorbance spectrum) ของทุเรียนหมอนทองที่วัดด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan)	49
ภาพที่ 17 สเปกตรัม (absorbance 2 nd Dev spectrum) ของทุเรียนหมอนทองที่วัดด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan)	49

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 18 สเปกตรัม (Transmittance spectrum) ของทุเรียนหมอนทองที่วัดด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan) 50
ภาพที่ 19 scatter plots ของสมการมาตรฐานของปริมาณค่า %Brix ของทุเรียนหมอนทอง ที่ตำแหน่งการวัดเปลือกกลางผล 51
ภาพที่ 20 scatter plots ของสมการมาตรฐานของปริมาณค่า %Brix ของทุเรียนหมอนทอง ที่ตำแหน่งการวัดก้านล่าง 52
ภาพที่ 21 scatter plots ของสมการมาตรฐานของน้ำหนักแห้ง ของทุเรียนหมอนทอง ตำแหน่งการวัดเปลือกกลางผล 53
ภาพที่ 22 scatter plots ของสมการมาตรฐานของน้ำหนักแห้ง ของทุเรียนหมอนทอง ตำแหน่งการวัดก้านล่าง 54
ภาพที่ 23 scatter plots สมการมาตรฐานค่าสีเนื้อ (L*) ของทุเรียนหมอนทอง 55
ภาพที่ 24 scatter plots สมการมาตรฐานค่าสีเนื้อ (a*) ของทุเรียนหมอนทอง 56
ภาพที่ 25 scatter plots สมการมาตรฐานค่าสีเนื้อ (b*) ของทุเรียนหมอนทอง 57

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ทุเรียนเป็น "King of Tropical Fruit หรือ ราชาของผลไม้เมืองร้อน" จัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากและมีมูลค่าการส่งออกสูง มีการปลูกแทบทุกภาคของประเทศ นอกจากบริโภคภายในประเทศแล้วยังมีการส่งออกทุเรียนสดไปยังต่างประเทศ เช่น จีน ฮ่องกง และไต้หวัน เป็นต้น ทุเรียนแช่แข็งส่งไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา และทุเรียนกวนส่งไปยังประเทศสิงคโปร์และมาเลเซีย

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกทุเรียนรายใหญ่ของโลก โดยตลาดหลักของไทย ได้แก่ สาธารณรัฐประชาชนจีน การส่งออกส่วนใหญ่จะส่งออกในรูปทุเรียนสดประมาณร้อยละ 90 ของการส่งออกทั้งหมด โดยพบว่าในช่วงปี 2555 การส่งออกทุเรียนสดและผลิตภัณฑ์มีปริมาณ 365,914,238 ตัน มูลค่า 7,167,473,303.0 ล้านบาทและในปี 2556 มีปริมาณ 195,272,628 ตัน มูลค่า 3,918,718,502.0 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์) โดยจังหวัดอุตรดิตถ์สามารถผลิตได้ 9,637 ตัน จะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตและมูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ประเทศที่เป็นคู่ค้าที่สำคัญของการส่งออกทุเรียนสด คือ สาธารณรัฐประชาชนจีน ฮ่องกง ไต้หวัน และประเทศอินโดนีเซีย ส่วนประเทศที่เป็นคู่แข่งที่สำคัญ คือ ประเทศเวียดนาม มาเลเซีย และประเทศออสเตรเลีย

จังหวัดอุตรดิตถ์เป็นจังหวัดที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยผลไม้หลากหลายชนิด ได้แก่ ทุเรียน ลางสาด และมะไฟหวาน กระท้อน ส้มโอ ลำไย สับปะรดห้วยมุ่น มะขามหวาน เป็นต้น อาจจะกล่าวได้ว่า "อุตรดิตถ์เป็นเมืองมหัศจรรย์แห่งผลไม้" สภาพภูมิประเทศของจังหวัดอุตรดิตถ์เป็นพื้นที่ภูเขา มีสภาพอากาศร้อนชื้น มีอุณหภูมิระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 75-85 เปอร์เซ็นต์ การผลิตทุเรียนส่วนใหญ่ในพื้นที่อำเภอลับแลและเมือง พื้นที่ปลูกประมาณ 18,045 ไร่ ผลผลิตประมาณ 9,023 ตัน ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 500 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

ในปัจจุบัน ตลาดเริ่มมีความต้องการทุเรียนพันธุ์หมอนทองมากขึ้น จนทำให้ตอนนี้ทุเรียนหมอนทองของชาวอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นสินค้าส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศ โดยที่ตลาดกลางผลไม้เทศบาลหัวดงได้จัดเป็นที่รับซื้อทุเรียนหมอนทองของเกษตรกร มีการคัดและซื้อขายกันในราคาตามเกรด คือเกรด A อยู่ที่กิโลกรัมละ 45 บาท เกรด B กิโลกรัมละ 35 บาท และมีพ่อค้าคนกลางนำรถตู้คอนเทนเนอร์เข้ามาขนผลผลิตทุเรียนได้ทีละเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ ทุเรียนของชาวเกษตรกรอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ขณะนี้มีการส่งไปจำหน่ายยังประเทศจีน อินโดนีเซีย ไต้หวัน และฮ่องกง มากถึง 80% ทำให้ราคาทุเรียนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวทุเรียนจะใช้ลักษณะต่างๆ ทางกายภาพ เช่น การนับอายุการเก็บเกี่ยว การฟังเสียงเคาะผลโดยใช้ไม้เคาะ การชิมปลิง ความยืดหยุ่นของปลายหนามทุเรียนแก่ ความแข็งของก้านผล เป็นต้น เพื่อทำให้การเก็บเกี่ยวผลทุเรียนมีความแก่ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามในทางการค้าทั้งภายในและต่างประเทศ ผู้ค้ามักประสบปัญหาทุเรียน (ตัด) อ่อนอยู่เสมอ ปัญหาสำคัญของผลผลิตทุเรียนพันธุ์หมอนทอง คือ พบว่าผลทุเรียนมีคุณภาพต่ำ มีการตัดทุเรียนอ่อนขายปะปนกับทุเรียนแก่คุณภาพดี ซึ่งทุเรียน (ตัด) อ่อนไม่เป็นที่ต้องการของตลาดและผู้บริโภค เมื่อบ่มทุเรียนพบการสุกที่ไม่

สม่ำเสมอ การพัฒนาสีเนื้อไม่สมบูรณ์ รสชาติไม่ดี หรือเก็บเกี่ยวผลแก่จัดมากเกินไปทำให้เนื้อผลละเอียดรสชาติและกลิ่นคล้ายปลาร้า เป็นต้น

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนา ความสุกแก่ดูได้ยากจากภายนอก เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาว่าพบทุเรียนอ่อนในการซื้อขาย ทำให้ผู้ซื้อเกิดความไม่มั่นใจในการซื้อขาย เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) เป็นวิธีที่สามารถใช้ประเมินคุณภาพผลิตผลที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น ความหวาน เป็นต้น ความสุกแก่ของทุเรียนอาจวัดได้จากอายุของผลหลังการออกดอก ซึ่งสัมพันธ์กับความหวาน และน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียน เทคนิค NIR Spectroscopy จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาประเมินความหวานและน้ำหนักแห้งของเนื้อผล เพื่อดูความสุกแก่ของทุเรียนหมอนทอง

ดังนั้นหากมีการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (NIRS) ในการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล จะสามารถบอกถึงคุณภาพภายในผลทุเรียนหมอนทองแบบไม่ต้องทำลายผลิตผล เช่น ความสุกแก่ และความหวานของเนื้อทุเรียน ทำให้สามารถคัดเกรดทุเรียนหมอนทองที่มีคุณภาพดีและมีมาตรฐานเป็นที่ต้องการของตลาดภายในประเทศและต่างประเทศได้มากขึ้น และถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว เชื่อถือได้

ผู้วิจัยตระหนักถึงปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการวิจัย “การวิจัยและพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก” หากปัญหาของคุณภาพผลผลิตทุเรียนหมอนทองได้รับการแก้ไข จะเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตผล และรายได้แก่เกษตรกร ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนเพิ่มศักยภาพของทุเรียนหมอนทองในการส่งออกไปยังต่างประเทศเพื่อการพาณิชย์ อันจะส่งผลดีต่อการพัฒนาภาพรวมทางเศรษฐกิจและช่วยยกระดับมาตราฐานสินค้าเกษตรของประเทศไทยอีกทางหนึ่ง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปีในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก

3. ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผลโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก โดยใช้ทุเรียนหมอนทองในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์ ทำการศึกษาและทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการ Near Infrared Technology (NIR) ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ห้องปฏิบัติการกลาง และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

หากสามารถวิจัยและพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผลโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก จะสามารถประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล ทำนาย

ความสุกแก่และความหวานของเนื้อทุเรียน ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำและรวดเร็ว จะเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตผล และรายได้แก่เกษตรกร ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนเพิ่มศักยภาพของทุเรียนหมอนทองในการส่งออกไปยังต่างประเทศเพื่อการพาณิชย์ อันจะส่งผลดีต่อการพัฒนาภาพรวมทางเศรษฐกิจและช่วยยกระดับมาตราฐานสินค้าเกษตรของประเทศไทยอีกทางหนึ่ง

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อทราบถึงวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี

2) เพื่อใช้เป็นคำแนะนำการตรวจสอบคุณภาพทุเรียนหมอนทองคุณภาพดีเพื่อการพาณิชย์และการส่งออก

3) เพื่อให้เกิดความร่วมมือของหน่วยงานภาครัฐและกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนหมอนทองเพื่อการส่งออกในเขตจังหวัดภาคเหนือ

4) เพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาคุณภาพทุเรียนหมอนทองเพื่อการส่งออก

5. สถานที่ทำการวิจัย

5.1 สวนทุเรียนหมอนทองในอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

5.2 ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

5.3 ห้องปฏิบัติการ NIR ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกียวข้อง

การผลิตทุเรียนหมอนทองมีคุณภาพไม่เป็นที่ต้องการของตลาด โดยมีสาเหตุมาจากการตัดทุเรียน(ตัด)อ่อนปะปนกับทุเรียนคุณภาพดี อันเนื่องมาจากบุคคลเพราะการคัดแยกความสุก-แก่ของทุเรียนต้องอาศัยความชำนาญเฉพาะบุคคล เป็นคนคัดเกรดทุเรียนแต่ละผล ทำให้ไม่ได้มาตรฐานและไม่สามารถรับประกันคุณภาพของผลผลิตได้ ไม่เป็นที่น่าเชื่อถือของตลาด และไม่มีมาตราฐานที่สากลยอมรับ

นอกจากนี้ ยังใช้แรงงานคนที่ความชำนาญในการคัดแยกจำนวนมากและใช้เวลานานก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นและปัญหาต่างๆ ในการส่งออก ได้แก่ ทุเรียนหมอนทองสุกไม่สม่ำเสมอ การพัฒนาสีเนื้อไม่สมบูรณ์ รสชาติไม่ดี อายุการวางจำหน่ายสั้น เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผลทุเรียนหมอนทองมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ไม่ได้มาตรฐานตามความต้องการของตลาดต่างประเทศ หากสามารถพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผลโดยใช้เทคนิค เนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ซึ่งจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการคัดคุณภาพและเกรดทุเรียนหมอนทองให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศมากขึ้น อันจะเป็นการเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนหมอนทองในจังหวัดอุตรดิตถ์ กลุ่มเกษตรกรในเขตภาคเหนือ และผู้ส่งออกทุเรียน ตลอดจนการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศไทยในการส่งออกอีกแนวทางหนึ่งด้วย

1. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ทุเรียน เป็นไม้ผลในวงศ์ฝ้าย (Bombaceae) ในสกุลทุเรียน (Durio) เป็นผลไม้ซึ่งได้ชื่อว่าเป็นราชาของผลไม้ ทุเรียนมีมากกว่า 30 ชนิด มีอย่างน้อย 9 ชนิดที่ผลสามารถทานได้ ซึ่งมีดังนี้: *D. zibethinus, D. dulcis, D. grandiflorus, D. graveolens, D. kutejensis, D. lowianus, D. macrantha, D. oxleyanus* และ *D. testudinarum* แต่อย่างไรก็ดีอาจจะยังมีอีกหลายชนิดที่สามารถรับประทานได้เช่นกัน เพียงแต่ยังไม่มีการทดสอบ และมีเพียง *Durio zibethinus* ชนิดเดียวเท่านั้น ที่ได้รับความนิยมทั่วโลก มีตลาดเป็นสากล ทุเรียนชนิดที่เหลือมีขายแค่ในพื้นที่เท่านั้น ในประเทศไทยพบทุเรียนอยู่ 5 ชนิดคือ ทุเรียนรากขา (*D. graveolens*), ทุเรียนนก (*D. griffithii*), ชาเรียน (*D. lowianus*), ทุเรียนป่า (*D. mansoni*) และ ทุเรียน (*D. zibethinus*) ซึ่ง D. *zibethinus* มีชื่อท้องถิ่นอื่นๆ อีกคือ "ดือแย" (มลายู ใต้),"เรียน" (ใต้), "มะทุเรียน" (เหนือ)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้นไม่ผลัดใบ ลำต้นตรง สูง 25-50 เมตรขึ้นกับชนิด แตกกิ่งเป็นมุมแหลม ปลายกิ่งตั้งกระจายกิ่งกลางลำต้นขึ้นไป เปลือกชั้นนอกของลำต้นสีเทาแก่ ผิวขรุขระหลุดลอกออกเป็นสะเก็ด ไม่มียาง ใบเป็นใบเดี่ยว เกิดกระจายทั่วกิ่ง เกิดเป็นคู่อยู่ตรงกันข้ามระนาบเดียวกัน ก้านใบกลมยาว 2–4 ซม. แผ่นใบรูปไข่แกมขอบขนานปลายใบใบเรียวแหลม ยาว 10-18 ซม. ผิวใบเรียบลื่นมีไขนวล ใบด้านบนมีสีเขียว ท้องใบมีสีน้ำตาลเส้นใบด้านล่างนูนเด่น ขอบใบเรียบ ดอกเป็นดอกช่อ มี 3-30 ช่อบนกิ่งเดียวกัน เกิดตามลำต้น และกิ่งก้านยาว 1-2 ซม. ลักษณะดอกสมบูรณ์เพศ มีกลีบเลี้ยง

และมีกลีบดอก 5 กลีบ (บางครั้งอาจมี 4 หรือ 6 กลีบ) มีสีขาวหอม ลักษณะดอกคล้ายระฆัง มีช่วงเวลาออกดอก 1-2 ครั้งต่อปี ช่วงเวลาออกดอกขึ้นกับชนิด สายพันธุ์ และสถานที่ปลูกเลี้ยง โดยทั่วไปทุเรียนจะให้ผลเมื่อมีอายุ 4-5 ปี โดยจะออกตามกิ่งและสุกหลังจากผสมเกสรไปแล้ว 3 เดือน ผลเป็นผลสดชนิดผลเดี่ยว อาจยาวมากกว่า 30 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางอาจยาวกว่า 15 ซม. มีน้ำหนัก 1-3 กก. เป็นรูปรีถึงกลม เปลือกทุเรียนมีหนามแหลมเมื่อแก่ผลมีสีเขียว เมื่อสุกมีสีน้ำตาลอ่อน แตกตามแต่ละส่วนของผลเรียกเป็นพู เนื้อในมีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงแดงขึ้นกับชนิด เนื้อในจะนิ่มกึ่งอ่อนกึ่งแข็ง มีรสหวาน เมล็ดมีเยื่อหุ้ม กลมรี เปลือกหุ้มสีน้ำตาลผิวเรียบ เนื้อในเมล็ดสีขาว รสชาติฝาด

ลักษณะประจำพันธุ์

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Durio zibethinus* Murray

ชื่อสามัญ : ทุเรียน (Durian)

ชื่อพันธุ์ : หมอนทอง (Mon Thong)

ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ผลมีขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 3-4 กิโลกรัม ทรงผลค่อนข้างยาว มีบ่าผล ปลายผลแหลม พูมักไม่ค่อยเต็มทุกพู หนามแหลมสูง ฐานหนามเป็นเหลี่ยม ระหว่างหนามใหญ่จะมีหนามเล็กวางแซมอยู่ทั่วไป ซึ่งเรียกหนามชนิดนี้ว่าเขี้ยวงู ก้านผลใหญ่แข็งแรง ช่วงกลางก้านผลจนถึงปากปลิงจะอ้วนใหญ่เป็นทรงกระบอก เนื้อหนาสีเหลืองอ่อนละเอียด เนื้อค่อนข้างแห้งไม่แฉะติดมือ รสชาติหวานมัน เมล็ดน้อยและลีบเป็นส่วนใหญ่

การเก็บเกี่ยว

การคัดเลือกเก็บเกี่ยวเฉพาะผลทุเรียนแก่ โดยสังเกตจากลักษณะของผลและนับอายุ ลักษณะผลเมื่อทุเรียนแก่จะพบการเปลี่ยนแปลงดังนี้ คือ สีเปลือกจะเปลี่ยนจากเขียวสดเป็นสีน้ำตาลหรือเขียวแกมเทาแต่ผลที่อยู่นอกทรงพุ่มโดนแสง แดดมากจะมีสีน้ำตาลมากกว่าผลที่อยู่ในทรงพุ่ม ก้านผลเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลคล้ำ สาก ตร งรอยต่อของระหว่างก้านผลตอนบนกับก้านผล ตอนล่าง (ปลิง) จะบวมใหญ่ เห็นรอยต่อชัดเจน ปลายหนามแห้ง มีสีน้ำตาล หนามกางออกร่องหนาค่อนข้างห่าง สังเกตรอยแยกบนพูจะเห็นได้ชัดเจน ยกเว้นพันธุ์ก้านยาวจะเห็นไม่ชัด ชิมปลิง ทุเรียนแก่จัด เมื่อตัดขั้วผลหรือปลิงออกจะพบน้ำใส ๆ ไม่ข้นเหนียว เหมือนทุเรียนอ่อน ชิมดูจะมีรสหวาน การเคาะเปลือกหรือกรีดหนาม ผลทุเรียนที่แก่จัดจะมีเสียงดังหลวม ๆ ผลทุเรียนในต้นเริ่มแก่สุกและร่วงเป็นสัญญาณเตือนว่าทุเรียนที่เหลือซึ่งเป็นรุ่นเดียวกันเริ่มแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้แล้ว การนับอายุ โดยนับจำนวนวันหลังจากดอกบานจนถึงวันที่ผลแก่ พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ ซึ่ง จะแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ได้แก่พันธุ์กระดุมใช้เวลา 90-100 วัน พันธุ์ชะนีใช้เวลา 110-120 วัน พันธุ์ก้านยาวใช้เวลา 120-135 วัน พันธุ์หมอนทองใช้เวลา 140-150 วัน การนับอายุนี้อาจคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อย ขึ้นกับอุณหภูมิ ของอากาศ เช่น อากาศร้อนและแห้งแล้ง ทุเรียนจะแก่เร็วขึ้น ฝน ตกชุกความชื้นสูงทุเรียนจะแก่ช้า เพื่อสะดวกในการจำและไม่ผิดพลาดในการตัดทุเรียนอ่อน เกษตรกรควรจดบันทึกวันที่ดอกบาน และทำเครื่องหมายรุ่น ดังนี้ จดบันทึกวันที่ดอกทุเรียนบานของแต่ละพันธุ์ และแต่ละรุ่น ทำเครื่องหมายรุ่น

โดยในขณะที่โยงกิ่งด้วยเชือก ควรใช้สี ที่แตกต่างกันในการโยงกิ่งแต่ละรุ่น ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการตัดทุเรียน ที่แก่มีคุณภาพดี

วิธีการเก็บเกี่ยวปฏิบัติดังนี้

ตัดเหนือปลิงของก้านผล ด้วยมีดคมและสะอาด ส่งลงมาให้คนที่รอรับข้างล่าง อย่าให้ผล ตกกระทบพื้น วิธีที่นิยมคือใช้เชือกโรยหรือใช้กระสอบป่านตระหวัดรับผล ห้ามวางผลทุเรียนบนพื้นดินในสวนโดยตรง เพื่อป้องกันเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคผลเน่า ติดไปกับผลทุเรียน ทำความสะอาด คัดคุณภาพ คัดขนาดก่อนจำหน่าย ข้อสังเกตบางประการในการเลือกเก็บเกี่ยวทุเรียน

ความชอบของผู้บริโภคที่แตกต่างกันในความสุกของทุเรียนทำให้ยากที่จะบอกถึงการเลือกทุเรียนที่ดีได้ ทุเรียนที่ตกลงมาจากต้นจะสุกงอมในสองถึงสี่วัน แต่หลังจากห้าถึงหกวันจะสุกมากเกินไปและมีรสปร่า คำแนะนำทั่วไปสำหรับผู้บริโภคทุเรียนในการเลือกผลไม้นี้ในตลาด คือให้พิจารณาก้านทุเรียนที่แห้งตามอายุของมัน มีขนาดใหญ่ ก้านที่แข็งบอกถึงความสดของทุเรียน รายงานถึงการคดโกงของผู้ขายด้วยการห่อ ทาสี หรือนำก้านออกไป คำแนะนำที่พบบ่อย ๆ อีกอย่างคือเขย่าทุเรียนและฟังเสียงเมล็ดที่เคลื่อนไหวอยู่ภายในซึ่งแสดงถึงว่าทุเรียนสุกมากเพราะเนื้อฝ่อลงเล็กน้อย

วิธีการดูทุเรียนสุก มีหลายวิธีดังนี้

1. **สังเกตก้านผล** ก้านผลจะแข็งและมีสีเข้มขึ้น เมื่อลูบจะรู้สึกสากมือ เมื่อจับก้านผลแล้วแกว่งผลทุเรียน จะรู้สึกว่าก้านผลทุเรียนยึดหยุ่นมากขึ้น ก้านผลบริเวณปากปลิงจะบวมโต เห็นรอยต่อชัดเจน

2. **สังเกตหนาม** ปลายหนามแห้ง มีสีน้ำตาลเข้ม เปราะและหักง่าย ดังนั้น เมื่อมองจากด้านบนของผลจะเห็นหนามเป็นสีเข้ม หนามมีลักษณะกว้างออก ร่องหนามห่าง เวลาบีบปลายหนามเข้าหากันจะรู้สึกว่ายืดหยุ่น

3. **สังเกตรอยแยกระหว่างพู** ผลทุเรียนที่แก่จัดจะสังเกตเห็นรอยแยกบนพูได้อย่างชัดเจน ยกเว้นบางพันธุ์ที่ปรากฏไม่เด่นชัด เช่น พันธุ์ก้านยาว

4. **การชิมปลิง** ผลทุเรียนที่แก่จัด เมื่อตัดขั้วผลหรือปลิงออก จะพบน้ำใสซึ่งไม่ข้นเหนียวเหมือนในทุเรียนอ่อน และเมื่อใช้ลิ้นแตะชิมดูจะมีรสหวาน

5. **การเคาะเปลือกหรือกรีดหนาม** เมื่อเคาะเปลือก ผลทุเรียนที่แก่จัดจะมีเสียงดังหลวม ๆ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเปลือกและเนื้อภายในผล เสียงหนักหรือเบาแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของต้นทุเรียน

6. **การปล่อยให้ทุเรียนร่วง** ปกติดอกทุเรียนแต่ละรุ่นในแต่ละต้นจะบานไม่พร้อมกัน และมีช่วงต่างกันไม่เกิน 10 วัน ดังนั้น เมื่อมีผลทุเรียนในต้นเริ่มแก่ สุก และร่วง ก็เป็นสัญญาณเตือนว่าผลทุเรียนที่เหลือในรุ่นนั้นแก่แล้วสามารถเก็บเกี่ยวได้

7. **การนับอายุ** โดยนับอายุผลเป็นจำนวนวันหลังดอกบาน เช่น พันธุ์หมอนทอง ใช้เวลา 120 - 135 วัน เป็นต้น การนับวันหรืออายุของผลจะแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละปี และในแต่ละท้องถิ่น

ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ เช่น ถ้าปีใดมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูง ผลทุเรียนจะแก่เร็วกว่าปีที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า

การศึกษาถึงแนวทางในการกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลทุเรียนและมาตรฐานของคุณภาพของทุเรียน โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเคมี จากการทดลองพบว่า เมื่อทุเรียนแก่ คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดปริมาตรและค่าความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องการเปลี่ยนแปลง ของปริมาณแป้งและค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียน รูปทรงของผลทุเรียนไม่มีความแตกต่างกันทั้งทุเรียนอ่อน และแก่ ในขณะที่จำนวนหนามต่อพื้นที่บนผิวเปลือกลดลง และความหนาแน่นลดลงเล็กน้อยเมื่อทุเรียนแก่ คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำตาลซูโครสในเนื้อทุเรียนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทุเรียนแก่ ส่วนปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และ ฟรุคโตสลดลง ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปของ กรดซิตริก มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อทุเรียนแก่และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ คือ ค่าความถี่ของเสียงจากการเคาะผลทุเรียน มีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งทุเรียนมีอายุ 100 วันหลังดอกบาน ซึ่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับปริมาณแป้ง และลดลงเล็กน้อย เมื่อทุเรียนมีอายุ 120 วันหลังดอกบาน ผลการศึกษาครั้งนี้สรุปว่าค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียน สามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวและใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพความอ่อน-แก่ ของทุเรียน โดยไม่ทำลายผลได้ โดยเมื่อหาค่าสหสัมพันธ์พบว่า ค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียนนี้สัมพันธ์กับคุณสมบัติ ทางกายภาพคือ ค่าความ แน่นเนื้อ และคุณสมบัติทางเคมีคือ ปริมาณแป้ง ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความแก่ของผลทุเรียนได้ (นิรมล, 2539)

นอกจากนี้คุณภาพของทุเรียนหลังการเก็บเกี่ยวยังขึ้นอยู่กับดัชนีการเก็บเกี่ยวทุเรียนหมอนทองที่เหมาะสม ได้แก่ การนับอายุหลังดอกบาน การเคาะฟังเสียง ปากปลิงเห็นรอยแยกเด่นชัด การบีบปลายหนาม ปลายหนามสีน้ำตาลเข้ม สังเกตร่องพู ดมกลิ่น เป็นต้น ทุเรียนเป็นผลไม้ที่เก็บเกี่ยวในระยะผลห่าม หรือระยะที่ทุเรียนแก่ซึ่งยังไม่สุก เนื่องจากสภาพของผลไม้ในขณะที่การเก็บเกี่ยวมีผลกระทบที่สำคัญต่อระดับความพึงพอใจในการเลือกซื้อของผู้บริโภค ซึ่งการเลือกระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลไม้แต่ละชนิดมีความสำคัญต่อการพัฒนาคุณภาพ และรสชาติที่ดีในผลไม้นั้นด้วย (Kader, 2008) ตัวอย่างเช่น ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวขณะที่ไม่สมบูรณ์เต็มที่ หรือเก็บเกี่ยวขณะสุกเกินไปจะนำไปสู่การสูญเสียสูง (Lalel et al., 2003; Medlicott et al., 1988) นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคต้องการทุเรียนที่มีคุณภาพดีเท่านั้น ดังนั้นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีของทุเรียนไทยจำเป็นต้องมีการคัดแยกผลไม้ที่ดีออกจากทุเรียนที่ด้อยคุณภาพ และการคัดเลือกผลไม้ส่วนใหญ่ใช้แรงงานคนโดยการใช้ประสาทสัมผัสทุกส่วน แต่การใช้แรงงานคนทำให้การทำงานล่าช้า และมีข้อจำกัด และวิธีตรวจคุณภาพทุเรียนโดยทั่วไปทำให้ทุเรียนเกิดความเสียหาย และต้องใช้เวลามากในการตรวจคุณภาพ อีกปัญหาหนึ่งคือ อาการผลช้ำในขณะการขนส่งสู่ผู้บริโภคซึ่งเกี่ยวข้องกันหลายขั้นตอน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดของขบวนการนั้นอาจเริ่มจากการเก็บเกี่ยวผลที่มีความสุกแก่มากเกินไป

ดังนั้นการประเมินความสุกแก่ของทุเรียนโดยไม่ทำลายผลเป็นวิธีการที่สำคัญในการลดความเสียหายและเพิ่มประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมการผลิตทุเรียน ปัจจุบันมีวิธีหนึ่งที่กำลังได้รับความ

นิยมคือ การตรวจวัดด้วยวิธีที่รวดเร็ว (Rapid Method) ทั้งยังประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่สร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งวิธีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาคือ เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นวิธีการประเมินคุณภาพผลไม้ที่ไม่ทำลายผลิตผลที่มีความแม่นยำ จึงเป็นวิธีที่นิยมมากสำหรับการประเมินคุณภาพภายในของผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล (*Malus xdornestica*)(Lammertyn et al., 1998; Park et al., 2003, Zou et al., 2007) ส้ม (*Citrus reticulate*)(Guthrie et al., 2005; Kawano et al., 1993; McGlone et al., 2003) พีช (*Prunus persica*; Kawano et al., 1992, 1995; Ying et al., 2005), กีวี (*Actinidit chinensi*.r)(McGlone and Kawano, 1998) แอปปริคอท (*Prunus clrmeniaca*)(Manley et at., 2007) และมะม่วง (Guthrie and Walsh, 1997; Mahayothee et al., 2004) การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Soluble solids content) การวิเคราะห์ปริมาณแป้ง และการวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเทรตได้เป็นวิธีที่สามารถนำมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในระยะการพัฒนาสู่การสุกของทุเรียนได้ (Hatton et al., 1965, Kancs et al., 1982, Paull and Chen, 2004) ทำให้สามารถระบุได้ว่าผลใดที่มีความสุกแก่พร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยว และผลใดควรจะปล่อยให้มีการพัฒนาของผลต่อไปบนต้นก่อน ซึ่งจะช่วยให้มีการจัดการในการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้อง ลดความเสียหาย และเพิ่มคุณภาพของผลิตผล

การปลูกและดูแลรักษา

ใช้วิธีการปลูกโดยการขุดหลุมปลูกซึ่งเหมาะกับพื้นที่ค่อนข้างแล้งและยังไม่มีการวางระบบน้ำไว้ก่อนปลูก วิธีนี้ดินในหลุมจะช่วยเก็บความชื้นได้ดีขึ้น แต่ถ้ามีฝนตกชุก น้ำขังรากเน่าและต้นตายได้ง่ายส่วนการปลูกโดยไม่ต้องขุดหลุม (ปลูกแบบนั่งแท่นหรือยกโคก) เหมาะกับพื้นที่ฝนตกชุก วิธีนี้การระบายน้ำดี น้ำไม่ขังโคนต้น แต่ต้องมีการวางระบบน้ำไว้ก่อนปลูก ซึ่งต้นทุเรียนจะเจริญเติบโตเร็วกว่าการขุดหลุม ทั้งนี้จุดเน้นที่สำคัญในการปลูกทุเรียน คือ ควรใช้ต้นกล้าที่มีระบบรากดี ไม่ขดงอในถุง แต่ถ้าใช้ต้นกล้าขนาดใหญ่ให้ตัดดินและรากที่ขดหรือพันตรงก้นถุงออก ควรใช้ระยะปลูกค่อนข้างห่าง ซึ่งระยะปลูกที่แนะนำ คือ 8 - 10 x 8 - 10 เมตร สำหรับสวนขนาดใหญ่ที่จะใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่แทนแรงงาน ควรเว้นระยะระหว่างแถวให้ห่างพอที่เครื่องจักรกลจะเข้าไปทำงานแต่ให้ระยะระหว่างต้นชิดขึ้น การให้น้ำโดยให้น้ำสม่ำเสมอช่วงเจริญทางใบ และงดน้ำช่วงปลายฝนเพื่อเตรียมการออกดอก เมื่อทุเรียนเริ่มออกดอกแล้วให้ควบคุมปริมาณน้ำ โดยค่อย ๆ เพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อให้ดอกทุเรียนมีการพัฒนาการที่ดี จน เมื่อดอกทุเรียนพัฒนาถึงระยะหัวกำไล (ก่อนดอกบาน 1 สัปดาห์) ให้ลดปริมาณน้ำโดยให้เพียง 1 ใน 3 ของปกติ เพื่อช่วยให้มีการติดผลได้ดีขึ้นเรื่อย ๆ และต้องให้น้ำในปริมาณนี้ไปจนดอกบานและติดผลได้ 1 สัปดาห์ จากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อย ๆ และต้องให้น้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ ตลอดช่วงพัฒนาการของผล ควรลดปริมาณน้ำลดเพื่อให้เนื้อทุเรียนมีคุณภาพดี การปฏิบัติอื่น ๆ เช่น การเตรียมสภาพต้นให้พร้อม คือ ทำให้ต้นมีความสมบูรณ์มีอาหารสะสมเพียงพอและมีใบยอดแก่ พอดีกับช่วงที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสม โดยตัดแต่งกิ่งและใส่ปุ๋ยหลังเก็บเกี่ยวเพื่อฟื้นฟูความสมบูรณ์ให้กลับคืน สู่ต้นทุเรียนโดยเร็ว รักษาใบอ่อนที่แตกออกมาให้สมบูรณ์ และเตรียมการป้องกันกำจัดโรครากเน่าโคนเน่าก่อนถึงช่วงฝนตกชุก การจัดการเพื่อให้มีการออกดอกติดผลที่ดี โดยตัดแต่งดอก ให้เหลือดอกรุ่นเดียวกันบนต้นเดียวกันกระจายอยู่ทั่วต้นในตำแหน่งที่เหมาะสม แต่ถ้าทุเรียนออกดอกน้อยและมีดอกหลายรุ่น จำเป็นต้องไว้ดอกต่าง ๆ

รุ่นบนต้นเดียวกันให้ตัดแต่งโดยไว้ดอกรุ่นเดียวกันบนกิ่งเดียวกัน ตรวจสอบและป้องกันกำจัดไรแดงอย่างใกล้ชิดในช่วงดอกใกล้บาน ซึ่งไรแดงจะระบาดมากเมื่อมีสภาพอากาศร้อน แห้งและมีลมอ่อน ๆ การทำลายใบแก่ของไรแดงจะกระตุ้นการแตกใบอ่อนและมีผลทำให้ดอก/ผลอ่อนร่วง บันทึกวันดอกบาน และทำเครื่องหมายผลไว้ เพื่อช่วยให้เก็บเกี่ยวได้ถูกต้องตามวัยที่เหมาะสม ช่วงผสมเกสร เพื่อช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ติดผล ช่วยให้การผสมเกสรเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และทำให้ผลทุเรียนมีพูเต็มและมีทรงสวย ให้เตรียมเกสรตัวผู้จากต้นต่างพันธุ์ โดยรวบรวมเกสรตัวผู้เวลา 19.00 - 19.30 น. และเริ่มทำการผสมตั้งแต่เวลา 19.30 น. การจัดการเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิต : ตัดแต่งผลอ่อนเริ่มตัดแต่งเมื่อติดผลได้ 3- 4 สัปดาห์ โดยตัดผลบิดเบี้ยว รูปทรงไม่ดี ผลต่างรุ่นหรือผลเล็กที่เจริญไม่ทันผลอื่นบนกิ่งเดียวกัน ให้เหลือผลที่ดีไว้ในปริมาณและตำแหน่งที่เหมาะสม ตรวจสอบและป้องกันกำจัดหนอนเจาะเมล็ดและโรคผลเน่าอย่างใกล้ชิด

ข้อจำกัดของการติดผลโดยทั่ว ๆ ไป (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, 2551)

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ ข้อจำกัดจากกระบวนการผสมเกสร ข้อจำกัดจากธาตุอาหารพืช และข้อจำกัดที่เกิดจากการร่วงของดอกหรือผลที่เพิ่งผ่านช่วงการติดผลมาใหม่ๆหรือปัญหาในระหว่างการพัฒนาการ ความสำคัญของข้อจำกัดแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และพันธุ์ทุเรียนที่ปลูกในแต่ละท้องถิ่น

1) ข้อจำกัดจากกระบวนการผสมเกสร

1.1) ไม่ประสบความสำเร็จในการถ่ายละอองเกสร คือไม่มีละอองเกสรบนปลายเกสรตัวเมียหรือมีน้อย ซึ่งปริมาณละอองเกสรบนปลายยอกเกสรตัวเมียตามระยะเวลาต่างๆหลังดอกบานมีปริมาณต่างกันมาก ถ้ามีละอองเกสรบนปลายยอดเกสรตัวเมียมาก โอกาสที่ไข่จะได้การผสมก็มากด้วย ทำให้ทุเรียนมีการติดผลมากขึ้น

1.2) สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการงอกของหลอดละอองเกสร ในการงอกของหลอดละอองเกสร ต้องการความเข้มข้นของสารประกอบน้ำตาล ในอัตราประมาณ 20-35% ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ฝนตก น้ำค้างตกมาก หรือมีการให้น้ำมากขณะดอกทุเรียนดอกบานพร้อมที่จะผสมเกสร อาจทำให้ความเข้มข้นของสารเหนียวที่เป็นสารประกอบของน้ำตาลบนปลายเกสรตัวเมียลดลง ซึ่งจะทำให้ละอองเกสรแตกหรือตายได้ และทำให้ละอองเกสรตัวนั้นมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ ทำให้มีผลทำให้การติดผลลดลง

1.3) การเข้ากันไม่ได้ของพันธุ์เดียวกัน (self incompatibility) งานทดลองของ ทรงพล และหิรัญ (2533) พบว่า ในทุเรียนบางพันธุ์เมื่อผสมเกสรตามธรรมชาติและผสมตัวเองโดยวิธีช่วยผสมจะมีปริมาณการติดผลน้อย การช่วยผสมเกสรจากทุเรียนต่างพันธุ์สามารถช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตได้ ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณความเข้มข้นของสารบนปลายเกสรตัวเมียเหมาะสมต่อการงอกและการเจริญเติบโตของละอองเกสรแต่ละพันธุ์

2) ข้อจำกัดจากธาตุอาหารพืช

เนื่องจากการแบ่งปันธาตุอาหารพืช มีผลทำให้ดอกรุ่นพี่มีอาการธาตุอาหารไม่เพียงพอในการเจริญเติบโตของไข่ มีผลทำให้ไข่ฝ่อ (Abortion) ก่อนการพัฒนาเป็นผลอ่อน ธาตุอาหารพืชบางชนิด เช่น แคลเซียม (Ca) โบรอน (B) โปแตสเซียม (K) และแมกนีเซียม (Mg) มีความจำเป็นต่อการงอกและการเจริญเติบโตของหลอดละอองเกสรทุเรียนพันธุ์ชะนี และกระดุมทองต้องการปริมาณธาตุอาหารเพื่อการงอก และเจริญเติบโตของหลอดละอองเกสรใกล้เคียงกัน คือ แคลเซียมประมาณ 50-

90 ppm โบรอนประมาณ 30-60 ppm โปแตสเซียมประมาณ 15-30 ppm แมกนีเซียมประมาณ 16-30 ppm ถ้าปริมาณธาตุอาหารดังกล่าวมากหรือน้อยกว่านี้ จะทำให้การงอกและการเจริญเติบโตของหลอดละอองเกสรลดลง ดังนั้นธาตุอาหารที่น่าจะเป็นปัญหาสำหรับการติดผลของทุเรียนน่าจะพิจารณาธาตุโบรอนเป็นพิเศษ

3) ข้อจำกัดเกิดจากดอกและผลร่วงก่อนกำหนด

ในขณะการติดผลจะเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างทันที โดยรังไข่ (Ovary) เริ่มเจริญเติบโตเปลี่ยนสภาพไปเป็นผลอ่อนและดอกหยุดการพัฒนาการรอการเหี่ยวแห้งและร่วงหล่น ซึ่งทุเรียนจะออกดอกแต่ละฤดูมาก (ประมาณ 10,000-40,000 ดอกต่อต้น) การเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบหรือสะสมในส่วนอื่นๆของต้น เพื่อไปใช้ในการพัฒนาของผลอ่อนไม่เพียงพอ เมื่อสัดส่วนของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนไป ทุเรียนจึงสังเคราะห์ฮอร์โมนเอทธิลีน หรือกรดแอบซิสซิก เพื่อปลดปล่อยผลอ่อนที่มากเกินไปให้กลับอยู่ในสภาวะสมดุล จึงพบว่าผลอ่อนทุเรียนร่วงมากกว่า 90% หรือบางครั้งร่วงจนหมดต้นหลังดอกบานประมาณ 2 สัปดาห์

การเพิ่มแร่ธาตุอาหารในขณะที่มีการเจริญเติบโตและพัฒนาของผลทุเรียนหลงลับแลเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มการติดผลและคุณภาพของผลทุเรียนหลงลับแล

การเพิ่มคุณภาพของทุเรียนมีรายงานของ เสริมสุข และคณะ (2535) ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี ได้ทำการศึกษาการจัดการปัจจัยการผลิตชนิดต่างๆ โดย ใช้หลักการ SOURCE-SINK relationship เพื่อเพิ่มปริมาณและปรับปรุงคุณภาพผลผลิตของ ทุเรียน โดยการฉีดพ่นปุ๋ยเคมี สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช และสารเคมีต่างๆ ทุกๆ 7 วัน ให้กับต้นทุเรียนพันธุ์ชะนีในสวนเกษตรกร อ.ขลุง อ.แหลมสิงห์ และ อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี ร่วมกับการตัดแต่งผลอ่อน ในขณะที่ผลทุเรียนมีอายุตั้งแต่ 3-14 สัปดาห์ หลังดอกบาน รวม 12 ครั้ง ในระหว่างเดือน มีนาคม-พฤษภาคม 2533 พบว่าการฉีดพ่นสารเคมีชนิด ต่างๆในทุกกรรมวิธีสามารถเพิ่มจำนวนผล/ต้นได้โดยที่การฉีดพ่นน้ำตาลกลูโคส+ กรดฮิวมิค จะทำให้จำนวนผล/ต้น เพิ่มได้สูงสุดเป็น 109 ผล/ต้น และ การฉีดพ่นด้วยปุ๋ยเกล็ด 0-52-34 คัลทาร์R 500 ppm คัลทาร์ R 250 ppm และ UKA จะทำให้ผลผลิตเพิ่มได้เป็น 92, 90 , 89 , และ 88 ผล/ต้น ตามลำดับ ในขณะที่ต้นที่ไม่ได้ฉีดพ่นด้วยสารเคมีชนิดใดมีจำนวน ผล/ต้นเพียง 63 ผล นอกจากนี้การฉีดพ่นด้วยน้ำตาลกลูโคส + กรดฮิวมิค ยังทำให้ต้นทุเรียนสามารถ ผลิตผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดได้สูงถึง 87 % แม้ว่าจะให้น้ำหนักผลเฉลี่ยเพียง 1.90 กก./ผล เมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นสารเคมีใด ๆ ซึ่งสามารถให้ผลผลิตที่มีคุณค่า ทางการตลาดได้เพียง 69 % และมีน้ำหนักผล 2.59 กก./ผล การฉีดพ่นน้ำตาลกลูโคส+กรดฮิวมิค ติดต่อกันหลายครั้งจะช่วยกระตุ้นให้ต้น ทุเรียนแตกใบอ่อนได้ดี และใบอ่อนนั้นจะมีการพัฒนาการและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ปัญหาที่ตามมาคือ มักพบว่าใบอ่อนนั้นมีสีเหลือง เส้นใบเขียวเข้ม คล้ายอาการขาดธาตุอาหาร ปริมาณน้อย และแม้ว่าสูตรผสม น้ำตาลกลูโคส+กรดฮิวมิค จะทำให้ต้นทุเรียนสามารถ เพิ่มจำนวนผลผลิต/ต้น รวมทั้งผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดได้ก็ตามที แต่ก็ทำให้น้ำหนักผลเฉลี่ยน้อยลงด้วย ดังนั้นในปี 2534 จึงได้ทำการทดลองนำ น้ำตาลกลูโคส+ กรดฮิวมิค มาปรับปรุงและฉีดพ่นให้กับต้นทุเรียนควบคู่กับการตัดแต่งผลอ่อนเพื่อให้ต้นทุเรียนสามารถ ผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดได้ในปริมาณมาก โดยการฉีดพ่นสูตรผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ทุก 7 วันให้กับต้นทุเรียนในสวนเกษตรกร อ.ขลุง อ.แหลมสิงห์ และ อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี ในขณะที่ผลทุเรียนมีอายุ 3 -12 สัปดาห์หลังดอกบานรวม 10 ครั้ง พบว่าการ ฉีดพ่นสูตรผสมของสารเคมีชนิดต่างๆในทุกกรรมวิธีให้กับต้นทุเรียนควบคู่กับการตัดแต่งผลอ่อนในระยะเวลาที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มผลผลิต/ต้น

รวมทั้งผลผลิตที่มีคุณภาพทางการ ตลาดได้ปริมาณมาก เมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นสารเคมีใด สูตรผสมน้ำตาล กลูโคส - ปุ๋ยเกล็ด 15-30-15+กรดฮิวมิค สามารถให้ผลผลิตเฉลี่ย/ต้น สูงสุดเป็น 96 ผล/ต้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจากต้นที่ไม่ได้ฉีดพ่น ถึง 84 % ได้น้ำหนักผลเฉลี่ย 2.31 กก./ผล ซึ่งสูงกว่าในฤดูการผลิต 2532/2533 และเป็นผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาด จำนวน 78% เมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารเคมีใด ๆ ซึ่งให้ผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดเพียง 63% และมีน้ำหนักผลเฉลี่ย 2.19 กก./ผล นอกจากนี้คุณภาพผลภายในของผลผลิต จากทุกกรรมวิธีก็เป็นที่ยอมรับของตลาด จากผลการฉีดพ่นสูตรผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ให้กับต้นทุเรียน ในขณะที่ผล ทุเรียนมีอายุ 3 ถึง 12 สัปดาห์หลังดอกบาน ทุก 7 วัน รวม 10 ครั้ง ควบคู่กับการตัดแต่ง ผลอ่อนในระยะเวลาที่เหมาะสม จะทำให้ผลทุเรียนเจริญเติบโตได้ดีมีความสม่ำเสมอ และ สามารถเพิ่มผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดของทุเรียนได้ในปริมาณมาก แต่จะมีผลทำให้ผลทุเรียนแก่ช้ากว่าปกติประมาณ 2 สัปดาห์ ดังนั้น ในฤดูกาลผลิต 2534 -35 จึงได้ทำการฉีด พ่นสูตรผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ให้กับต้นทุเรียน เมื่อผลมีอายุตั้งแต่ 4 ถึง 9 สัปดาห์ หลังดอกบานทุก 7 วัน รวม 6 ครั้ง พบว่าการฉีดพ่นสูตรผสมของสารเคมีชนิดต่างๆ ในทุกกรรมวิธีสามารถเพิ่มจำนวนผล/ต้น และผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดได้เมื่อเทียบกับ ต้นที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารเคมีชนิดใด การฉีดพ่นสูตรผสมน้ำตาลกลูโคส+ปุ๋ยเกล็ด 15-30-15+กรดฮิวมิค สามารถ เพิ่มผลผลิตต่อต้นได้เป็น 79 ผล/ต้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจากต้นที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารเคมีชนิดใดๆ ถึง 76% แม้ว่าจะเป็นผลผลิตที่ต่ำกว่าในฤดูการผลิต 2533/34 แต่ให้น้ำหนักผลเฉลี่ยสูงกว่า ถึง 2.40 ก.ก./ผล และให้ผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดจำนวน 78.22 % สูงกว่าผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดของต้นที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารเคมีชนิดใดเลย ถึง 109.48 % จากผลการทดลองทั้ง 3 ปี ที่ผ่านมา พบว่า การจัดการที่มีผลกระทบต่อ SOURCE-SINK relationship โดยการฉีดพ่นสารอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ หลัก ในรูปของสูตรผสมน้ำตาลกลูโคส+ปุ๋ยเกล็ด 15-30-15+กรดฮิวมิค ให้ทั่วต้นทั้งภาย ในและภายนอกทรงพุ่ม เมื่อผลทุเรียนมีอายุ 4 ถึง 9 สัปดาห์หลังดอกบาน ทุก 7 วัน รวม 6 ครั้ง เพื่อเพิ่มปริมาณและประสิทธิภาพของ SOURCE ภายในต้นควบคู่กับการตัดแต่ง ผลอ่อนบนต้นให้เหลือรวมกันเป็นกลุ่มกระจายทั่วต้น เพื่อลดจำนวน SINK หรือผลอ่อน ให้เหลือจำนวนพอเหมาะกับ SOURCE ภายในต้น และเพื่อเพิ่มพลังของ SIINK หรือผลอ่อนให้เหลือจำนวนพอเหมาะกับ SOURCE ภายในต้น และเพื่อเพิ่มพลังของ SINK ในการดูดดึงพลังงานจาก SOURCE มาใช้สำหรับการเจริญเติบโตและพัฒนาการจะสามารถ เพิ่มจำนวนผลผลิตทั้งหมด รวมทั้งผลผลิตที่มีคุณค่าทางการตลาดของทุเรียนได้มากกว่า ต้นที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารเคมีชนิดใด 94.6 และ 44.7 % ตามลำดับ

นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มคุณภาพของทุเรียนสามารถทำได้โดยการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบ จากงานวิจัยของ เชวง และคณะ (2536) ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรีได้ทำการทดสอบชนิดของปุ๋ยทางใบที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณภาพของทุเรียนโดยการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบต่างชนิดกันที่สวนเกษตรกร ในเขตอำเภอเมืองและอำเภอขลุง ในปี 2535 และ 2536 ผลการทดลองในปี 2535 พบว่า กรรมวิธีที่ 5 ซึ่งฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบ High Phos GA ในช่วงเตรียมต้น ฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบ B-plus ในระยะพัฒนาการของดอก และในระยะพัฒนาการของผล ฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบ Diz ร่วมกับ B-plus สามารถเพิ่มผลผลิต/ต้นได้สูงสุด คือ 185 กก./ต้น รองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 2 ที่ฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบ Diz ในระยะเตรียมต้น ระยะพัฒนาการของดอก ฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบ B-plus และระยะพัฒนาการของผล ฉีดพ่นด้วย ปุ๋ยทางใบ Diz + B-plus + ปุ๋ยเกล็ดสูตร 10 -52 -17 และปุ๋ยโปแตสเซียมไนเตรท (KNO_3) ให้ผลผลิต 180.70 กก./ต้น ในขณะที่ต้นไม่ได้ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบให้ผลผลิตต่อ

ต้นเพียง 125.62 กก./ต้น และทุกกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบจะให้ผลผลิต/ต้นสูงกว่า Control ในการทดลองปี 2536 ได้มีการปรับกรรมวิธีที่ 4 และ 5 จากการใช้ High Phos GA ฉีดพ่นในช่วงเตรียมต้นมาเป็นสารอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก (ทางด่วน) ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคส 600 กรัม ปุ๋ยเกล็ด 15-30-15 60 กรัม Humic acid 20 ซีซี พร้อมด้วยสารเคมีป้องกันเชื้อราประเภท คอปเปอร์ออกซี่คลอไรด์ หรือ คาร์เบนดาซิม และสารจับใบ อัตราตามคำแนะนำในฉลาก ต่อน้ำ 20 ลิตร จากการทดลอง พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ฉีดพ่นด้วยทางด่วน ในช่วงเตรียมต้น ระยะพัฒนาการของดอกฉีดพ่นด้วย B-plus และฉีดพ่นด้วย Diz + B-plus + 10-52-17 + KNO_3 ในระยะพัฒนาการของผล และ กรรมวิธีที่ 5 ที่ฉีดพ่นด้วยทางด่วนในระยะเตรียมต้น ช่วงพัฒนาการของดอกฉีดพ่นด้วยB-plus และในช่วงพัฒนาการของผลฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบ Diz ร่วมกับ B-plus และในช่วงพัฒนาการ ของผลฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบ Diz ร่วมกับ B-plus ให้ผลผลิตต่อต้น 170 และ 160 กก. สูงกว่าต้นที่ไม่ได้ฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบ 91.70 และ 81.86 กก./ต้น ตามลำดับ การฉีดพ่นปุ๋ยทางใบทุกกรรมวิธีในปี 2535 ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพภายในของผลทุเรียน

คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของทุเรียน พบว่า พันทวี และนิศากร (2548) ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง มีความแก่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ประมาณ 70%, 80% และ 90% เก็บมาจากศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี พบว่า มีปริมาณไขมันเป็น 4.10, 5.98 และ 6.56% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 0.33, 0.31 และ 0.46 มก./ก.นน.แห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้างของเซลล์ 151.57, 221.96 และ 227.51 มก./ก.นน.แห้ง ตามลำดับ เมื่อบ่มให้สุกที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ทุเรียนที่มีความแก่ 70%, 80% และ 90% มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นทุกการทดลอง เป็น 8.06, 6.76 และ 8.62% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้น 96.59%, 13.04% และ 31.40% ของปริมาณไขมันที่มีในเนื้อทุเรียน ในระยะเก็บเกี่ยว ขณะเดียวกันก็มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นทุกการทดลองเป็น 0.57, 1.45 และ 1.08 มก./ก.นน.แห้ง ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้น 72.73%, 367.74% และ 134.78% ของปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในเนื้อในระยะเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ก็ยังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้างเพิ่มขึ้นทุกการทดลองอีกด้วยเป็น 623.42, 558.93 และ 544.92 มก./ก.นน.แห้ง ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้น 311.30%, 151.82% และ 139.51% ของปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่มีอยู่ในเนื้อในระยะเก็บเกี่ยว เมื่อปล่อยให้ทุเรียนที่สุกแล้วอยู่ภายในอุณหภูมิห้องต่ออีก 3 วัน ก็พบการเปลี่ยนแปลงเป็นดังนี้ ปริมาณไขมันยังคงเพิ่มขึ้นไปอีกทุกการทดลอง โดยเพิ่มขึ้น 14.39%, 38.91% และ 24.48% ตามลำดับ ของเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อทุเรียนในระยะสุก แต่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ส่วนใหญ่เริ่มลดลงไป คือ ที่ความแก่ 80% และ 90% ลดลงไป 48.28% และ 13.80% ตามลำดับ มีแต่เนื้อทุเรียนที่ความแก่ 70% เท่านั้นที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นมาอีก 8.77% ทำนองคล้ายๆ กัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้างก็ลดลงไปเป็นทางการทดลอง คือ ทุเรียนที่มีความแก่ 70% และ 90% ลดลงไป 11.81% และ 5.28% ตามลำดับ มีแต่ทุเรียนที่มีความแก่ 80% เท่านั้นที่เพิ่มขึ้นอีก 6.10%

การป้องกันกำจัดโรคและแมลง

โดยวิธีการสำรวจการเข้าทำลายและการป้องกันกำจัดศัตรูทำลายผลทุเรียน สำรวจชนิดและปริมาณของศัตรูทำลายผลทุเรียนทุก 7-10 วัน ตั้งแต่ผลอายุ 4 สัปดาห์ ถึง 2 สัปดาห์ก่อนการเก็บเกี่ยว โดยการจำแนกชนิดของแมลงหรือโรคที่ทำลายผล และประเมินความเสียหายของการทำลายเพื่อเปรียบเทียบกับค่าควบคุมและกำจัดด้วยวิธีการต่างๆ

โรคที่สำคัญของทุเรียน

1) โรครากเน่าโคนเน่า (Foot rot, root rot, or fruit rot)

เกิดจากเชื้อ *Phytophthora palmivosa* Butler เชื้อจะเข้าทำลายระบบรากทำให้รากเน่าเป็นสีน้ำตาล ถ้าเป็นมากจะทำให้ใบทุเรียนระดับปลายกิ่งแสดงอาการซีดเหลือง ชะงักการเจริญเติบโตและร่วง ถ้าเป็นที่โคนต้นจะปรากฏจุดฉ่ำน้ำและมักมีน้ำเยิ้มออกมา เนื้อเยื่อเปลือกและเนื้อไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ถ้าอาการลุกลามรอบต้นใบจะร่วงหมดต้นและยืนต้นแห้งตาย ถ้าเกิดกับผลมักแสดงอาการผลเน่าเป็นจุดสีน้ำตาลส่วนใหญ่มักพบในทุเรียนระยะใกล้แก่ เชื้อจะอยู่ในดินที่มีน้ำขัง แพร่ระบาดทางรากและลุกลามสู่โคนต้น ถ้ามีฝนตกและอากาศชื้นจะแพร่ทางลมเข้าสู่ใบกิ่งและผล

การป้องกันกำจัด โดยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน หรือใช้เชื้อไตรโคเดอร์มา หรือฉีดพ่นสารเมทาแลกซิล หรือฟอสแอททิลอะลูมินั่ม โดยผสมกับแมนโคเซบ ให้ทั่วต้นทั้งกิ่งใบและผล เก็บผลทุเรียนที่เน่าออกไปเผาและอย่าทิ้งทุเรียนที่เก็บแล้วไว้บนดิน หรือจุ่มผลที่เก็บเกี่ยวในฟอสแอททิลอะลูมินั่ม จะลดความเสียหายในระยะหลังเก็บเกี่ยวได้

2) โรคใบร่วง ใบติด ใบไหม้ (Leaf fall, leaf blight)

เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia solani* Kuelm ทุเรียนแสดงอาการใบติดเป็นกระจุก และร่วงจำนวนมาก ใบที่แห้งจะยึดติดกันแน่นกับใบปกติด้วยเส้นใยของเชื้อรา มีลักษณะคล้ายใยแมงมุมโยงไปใบใหม่ ทำให้เกิดอาการแผลคล้ายน้ำร้อนลวก ใบที่แห้งหลุดร่วงสามารถนำเชื้อแพร่ไปยังต้นอื่นได้ เชื้อราพักตัวอยู่ในดินเพื่อสภาพเหมาะสมคือร้อนชื้นและมีฝนตกจะระบาดได้โดยสปอร์ของเชื้อราจะกระเซ็นสู่ใบ

การป้องกันกำจัด ควรรวบรวมเศษพืชที่เป็นโรคเผาทำลาย ฉีดพ่นป้องกันด้วยคอปเปอร์ออกซี่คลอไรด์ หรือแมนโคเซบ

3) โรคแอนแทรกโนส (Anthracnose)

เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum zibethinum* Sacc. มักระบาดในช่วงระยะดอกบาน โดยเชื้อราจะทำลายดอกทำให้ดอกเน่าดำก่อนบาน มีราสีเทาดำเจริญฟูคลุมกลีบดอก ดอกจะแห้งและร่วงไป สภาพอากาศที่เหมาะสำหรับการระบาดคือสภาพที่ชื้นมีฝนตก เชื้อจะแพร่ระบาดทางลมและฝน

การป้องกันกำจัด โดยใช้สารกำจัดเชื้อรา เช่น แมนโคเซบผสมคาร์เบนดาซิม

4) โรคราสีชมพู (Pink disease)

เกิดจากเชื้อรา *Corticium salmonicolor* Berk & Br. เชื้อจะเข้าทำลายบริเวณง่ามกิ่งหรือโคนกิ่ง สร้างเส้นใยสีขาวแกมชมพูปกคลุมผิวกิ่งแล้วลุกลามไปยังกิ่ง ถ้าใช้มีดถากบริเวณที่ถูกทำลายจะพบเนื้อเยื่อสีน้ำตาลเข้ม ส่วนยอดที่ถูกทำลายแสดงอาการใบเหลืองแห้งตายเป็นกิ่งๆ เชื้อจะระบาดได้ดีในสภาพอากาศชุ่มชื้น มีฝนตกชุก โดยเฉพาะทางภาคใต้ของไทย

การป้องกันกำจัด โดยการตัดแต่งกิ่งให้โปร่ง ตัดกิ่งที่เป็นโรคเผาทำลาย และฉีดพ่นสารกำจัดเชื้อราเช่น แมนโคเซบ

5) ราแป้ง (Powdery mildew)

เกิดจากเชื้อรา *Oidium* sp. ในระยะช่อดอกและผลอ่อนจะมีเชื้อราสีขาวคล้ายฝุ่นแป้งปกคลุมกลีบดอกและผลอ่อนทำให้ดูขาวโพลน ดอกและผลอ่อนจะร่วง ถ้าเป็นผลที่โตแล้วจะปรากฏเชื้อราสีขาวปกคลุมผลบางๆ อาจจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโต มีผิวหยาบไม่สวย ผลทุเรียนที่มีเชื้อรา

เจริญอยู่บนผลนานอาจทำให้รสชาติเปลี่ยนแปลงได้ พบการระบาดของราแป้งมากทางภาคใต้ แพร่ระบาดทางลมในระยะอากาศแห้งแล้งและเย็น

การป้องกันกำจัด โดยฉีดพ่นสารกำจัดเชื้อราที่ใช้ได้ผลดีกับราแป้ง เช่น กำมะถันผง หรือสารชนิดดูดซึม เช่น ไตรอะไดมีฟอน สลับด้วยแมนโคเซบ หรือคาร์เบนดาซิม

แมลงศัตรูที่สำคัญของทุเรียน

1) เพลี้ยไฟ (Thrips)

ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Scirtothrips* spp. ที่พบระบาดในผลไม้ที่สำคัญคือเพลี้ยไฟพริก (*Scirtothrips dorsalis* Hood) การเข้าทำลายโดยทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากส่วนต่างๆ ของพืช ถ้าเป็นใบอ่อนหรือยอดอ่อนก็จะทำให้ชะงักการเจริญเติบโต แคระแกร็น ใบหงิกและไหม้ ถ้าเข้าทำลายในระยะติดผลอ่อนของทุเรียน จะทำให้เกิดอาการหนามจีบทำให้ส่งออกไม่ได้

การป้องกันกำจัด โดยใช้เซฟวิน 85 ผสมแป้งมันโรยบนผลหรืออาจจะให้ฉีดพ่นโดยตรงก็ได้

2) เพลี้ยไก่แจ้ทุเรียน (Durian psyllid)

ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Allocaridara malayensis* Crawford การเข้าทำลายโดยตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบอ่อนของทุเรียน ทำให้ใบอ่อนเป็นจุดสีเหลือง ไม่เจริญเติบโต ถ้าระบาดมากจะทำให้ใบหงิกงอ ถ้าเข้าทำลายในระยะที่ใบอ่อนยังไม่คลี่จะทำให้ใบแห้งและร่วงหมด ตัวอ่อนจะขับสารเหนียวสีขาวออกมาปกคลุมใบทุเรียน เป็นสาเหตุให้เกิดเชื้อราตามบริเวณที่มีสารเหนียวดังกล่าว ระยะที่เป็นตัวอ่อนเป็นระยะที่ทำความเสียหายมากที่สุด มักระบาดในช่วงที่แตกใบอ่อน ไม่พบพืชอาศัยชนิดอื่น

การป้องกันกำจัด ควรควบคุมให้ทุเรียนแตกใบอ่อนพร้อมกันโดยการฉีดพ่นยูเรีย (46-0-0) อัตรา 20 กรัม/ น้ำ 20 ลิตร เพื่อลดการเข้าทำลายของเพลี้ยไก่แจ้ ถ้าระบาดมากให้ฉีดพ่นแลมบ์ด้าไซฮาโลทริน (คาราเต้ 5 เปอร์เซ็นต์ อีซี) อัตรา 10 มิลลิลิตร/ น้ำ 20 ลิตร หรือคาร์บาริล (เซฟวิน 85 เปอร์เซ็นต์ ดับบลิวพี) อัตรา 60 กรัม/ น้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นทุก 7-10 วัน

3) เพลี้ยแป้ง (Mealybug)

ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Planococcus minor* Maskell, *P. lilacinus* Cockcerell และ *Pseudococcus* sp. มักอยู่รวมกันเป็นกลุ่มอาศัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากบริเวณกิ่งอ่อน ผลอ่อน และผลแก่ โดยมีมดแดงและมดดำเป็นตัวช่วยคาบพาไปตามส่วนต่างๆ ของพืช ถ้าเป็นผลอ่อนที่ถูกทำลายจะแคระแกรน ส่วนผลแก่จะไม่กระทบต่อคุณภาพแต่จะทำให้ราคาต่ำ ผู้บริโภคไม่ชอบและมีปัญหาเรื่องการส่งออก นอกจากนี้ยังขับน้ำหวาน (Honey dew) ออกมาทำให้ราดำเข้าทำลายซ้ำอีก

การป้องกันกำจัด_โดยตัดส่วนที่ถูกทำลายทิ้ง ในทุเรียนถ้าพบเพลี้ยแป้งเข้าทำลายอาจจะใช้น้ำฉีดพ่น หรือใช้น้ำผสมไวท์ออยล์ (white oil) สารกำจัดแมลงที่ใช้ได้ผลคือ คลอไพริฟอส (ลอร์สแบน 40 เปอร์เซ็นต์ อีซี) หรือมาลาไธออน (มาลาไธออน 83 เปอร์เซ็นต์ อีซี) อัตรา 30 มิลลิลิตร/ น้ำ 20 ลิตร ควรผสมสารจับใบเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ควรฉีดพ่นเฉพาะต้นที่ถูกทำลาย นอกจากนี้การกำจัดมดจะช่วยลดการเข้าทำลายและการแพร่ระบาดของเพลี้ยแป้งได้เป็นอย่างดี

4) หนอนเจาะผลทุเรียน (Durian fruit borer)

ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Conogethes punciferalis* Cuenee หนอนจะเจาะเข้าทำลายผลทุเรียนตั้งแต่ยังเล็กอายุประมาณ 2 เดือนจนถึงผลใหญ่ ทำให้ผลเน่าและร่วงเนื่องจากเชื้อราเข้าทำลายซ้ำ ผลจะเน่าเมื่อสุก ภายนอกผลจะเห็นมูลและรังของหนอนอย่างชัดเจน ผลทุเรียนที่อยู่ชิดกัน

จะถูกเข้าทำลายได้ง่าย การป้องกันกำจัดโดยการหมั่นตรวจตราถ้าพบการเข้าทำลายน้อยให้ใช้วิธีกลทำลายหนอน เก็บผลที่ถูกหนอนเข้าทำลายไปเผาไฟหรือฝัง ตัดแต่งผลทุเรียนอย่าให้ติดมากเกินไปและไม่ควรไว้ผลติดกัน การห่อผลทุเรียนด้วยมุ้งไนล่อนหรือถุงรีเมย์ก็ช่วยลดความเสียหายได้ ถ้าเข้าทำลายมากควรฉีดพ่นสารเคมี

การป้องกันกำจัด โดยสารเคมีที่ใช้ได้ผลได้แก่ แลมบ์ด้าไซฮาโลทริน (คาราเต้ 40 เปอร์เซ็นต์ อีซี) หรือคลอร์ไพริฟอส (ลอร์สแบน 40 เปอร์เซ็นต์ อีซี) โดยใช้อัตราเดียวกันคือ 20 มิลลิลิตร/ น้ำ 20 ลิตร หรือ ไซเพอร์เมทริน/โฟซาโลน (พาร์ซอน 6.25/22.5 เปอร์เซ็นต์ อีซี) อัตรา 40 มิลลิลิตร/ น้ำ 20 ลิตร

5) หนอนเจาะเมล็ดทุเรียน (Durian seed borer)

ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mudaria luteileprosa* Holloway เป็นแมลงศัตรูที่มีความสำคัญมากและทำความเสียหายให้แก่สวนทุเรียนในภาคตะวันออก โดยพบครั้งแรกที่จังหวัดระยอง ต่อมาระบาดไปทั่วในเขตจันทบุรีและตราด มักเรียกว่า “หนอนใต้” หรือ “หนอนมาเลย์” เมื่อเข้าทำลายผลทุเรียนจะไม่สามารถสังเกตจากลักษณะภายนอกได้ หนอนที่เข้าทำลายเมล็ดทุเรียนจะถ่ายมูลปะปนอยู่กับเนื้อทุเรียนทำให้เสียคุณภาพ ไม่สามารถขายผลสดได้ ต้องนำไปแปรรูป เมื่อหนอนโตเต็มที่จะเจาะเปลือกเป็นรูและทิ้งตัวลงเข้าดักแด้ในดิน บางครั้งพบความเสียหายหลังจากหนอนเจาะรูออกไปแล้ว จึงเรียกอีกชื่อว่า “หนอนรู” พบว่าบางครั้งผลทุเรียนมีหนอนติดไปถึงผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ

การป้องกันกำจัด ไม่ควรนำเมล็ดจากที่อื่นมาในแปลงปลูก ถ้าจำเป็นควรทำการแช่เมล็ดด้วยสารฆ่าแมลงก่อน ห่อช่อผลเมื่ออายุ 1.5 เดือน โดยใช้ถุงพลาสติกสีขาวขุ่น เจาะรูระบายน้ำด้านล่าง หรือใช้กับดักไฟ (black light) ล่อทำลายผีเสื้อหนอนเจาะเมล็ดทุเรียน หรืออาจจะใช้สารเคมีเมื่อพบการระบาดของผีเสื้อโดยพ่นด้วย ไซเพอร์เมทริน/โฟซาโลน (พาร์ซอน 6.25/22.5 เปอร์เซ็นต์ อีซี) หรือไดอะซินอน (บาซูดิน 60 เปอร์เซ็นต์ อีซี) อัตรา 40 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร โดยพ่นทุก 7-10 วันในแหล่งที่มีการระบาด หลังทุเรียนติดผล 1 เดือน ควรงดพ่นก่อนเก็บเกี่ยว 15 วัน

การเก็บเกี่ยว (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, 2551)

คัดเลือกเก็บเกี่ยวเฉพาะผลทุเรียนแก่ โดยสังเกตจากลักษณะของผลและนับอายุ ลักษณะผลเมื่อทุเรียนแก่จะพบการเปลี่ยนแปลงดังนี้ คือ สีเปลือกจะเปลี่ยนจากเขียวสดเป็นสีน้ำตาลหรือเขียวแกมเทาแต่ผลที่อยู่นอกทรงพุ่มโดนแสง แดดมากจะมีสีน้ำตาลมากกว่าผลที่อยู่ในทรงพุ่ม ก้านผลเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลคล้ำ สาก ตรงรอยต่อของระหว่างก้านผลตอนบนกับก้านผลตอนล่าง หรือปลิงจะบวมใหญ่ เห็นรอยต่อชัดเจน ปลายหนามแห้ง มีสีน้ำตาล หนามกางออกร่องหนาค่อนข้างห่าง สังเกตรอยแยกบนพูจะเห็นได้ชัดเจน ยกเว้นพันธุ์ก้านยาวจะเห็นไม่ชัด ชิมปลิง ทุเรียนแก่จัด เมื่อตัดขั้วผลหรือปลิงออกจะพบน้ำใส ๆ ไม่ข้นเหนียว เหมือนทุเรียนอ่อน ชิมดูจะมีรสหวาน การเคาะเปลือกหรือกรีดหนาม ผลทุเรียนที่แก่จัดจะมีเสียงดังหลวม ๆ ผลทุเรียนในต้นเริ่มแก่สุกและร่วงเป็นสัญญาณเตือนว่าทุเรียนที่เหลือซึ่งเป็นรุ่นเดียวกันเริ่มแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้แล้ว การนับอายุ โดยนับจำนวนวันหลังจากดอกบานจนถึงวันที่ผลแก่ พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ ซึ่ง จะแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ได้แก่พันธุ์กระดุมใช้เวลา 90-100 วัน พันธุ์หลงลับแลใช้เวลา 105-110 วัน พันธุ์ชะนีใช้เวลา 110-120 วัน พันธุ์ก้านยาวใช้เวลา 120-135 วัน พันธุ์หมอนทองใช้เวลา 140-150 วัน การนับอายุนี้อาจคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อย ขึ้นกับอุณหภูมิ ของอากาศ เช่น อากาศร้อนและแห้งแล้ง ทุเรียนจะแก่เร็วขึ้น ฝนตกชุก

ความชื้นสูงทุเรียนจะแก่ช้า เพื่อสะดวกในการจำและไม่ผิดพลาดในการตัดทุเรียนอ่อน เกษตรกรควรจดบันทึกวันที่ดอกบาน และทำเครื่องหมายรุ่น จดบันทึกวันที่ดอกทุเรียนบานของแต่ละพันธุ์ และแต่ละรุ่น ทำเครื่องหมายรุ่นโดยในขณะที่โยงกิ่งด้วยเชือก ควรใช้สีเชือกที่แตกต่างกันในการโยงกิ่งแต่ละรุ่น ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการตัดทุเรียนที่แก่คุณภาพดี

วิธีการเก็บเกี่ยว

ควรตัดเหนือปลิงของก้านผลด้วยมีดคมและสะอาด ส่งลงมาให้คนที่รอรับข้างล่าง อย่าให้ผล ตกกระทบพื้น วิธีที่นิยมคือใช้เชือกโรยหรือใช้กระสอบป่านตระหวัดรับผล ห้ามวางผลทุเรียนบนพื้นดินในสวนโดยตรง เพื่อป้องกันเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคผลเน่าติดไปกับผลทุเรียน ทำความสะอาด คัดคุณภาพ คัดขนาดก่อนจำหน่าย ข้อสังเกตบางประการในการเลือกเก็บเกี่ยวทุเรียน

การเลือกดูทุเรียนแก่ (สำนักงานจังหวัดอุตรดิตถ์, 2557)

1) นับอายุ โดยประมาณ ตั้งแต่ดอกบานจนถึงผลแก่พร้อมที่จะตัดได้ พันธุ์หลงลับแล 105 - 110 วัน

2) การดูปากปลิง หากทุเรียนแก่จัดที่ปากปลิงจะพองโตเห็นรอยเด่นชัด

3) ดูที่หนาม ผลทุเรียนแก่ปลายหนามจะออกสีน้ำตาลเข้ม หนามจะแข็งไม่มีสปริง

4) บีบปลายหนาม ถ้าเป็นทุเรียนแก่เมื่อบีบปลายหนามเข้าหากันจะมีลักษณะเหมือนมีสปริง แต่ถ้าเป็นทุเรียนที่อ่อนหนามจะแข็งไม่มีสปริง

5) ดูที่ก้านผล ก้านผลทุเรียนแก่ จะมีลักษณะแข็งเป็นสปริงแม้จะเก็บไว้นานหลายวันก็ตาม ส่วนก้านผลทุเรียนอ่อนจะมีลักษณะอ่อนนิ่มไม่มีสปริง

6) ดูสีของผล เมื่อมองจากด้านบน ผลทุเรียนแก่จะเห็นหนามเป็นสีคล้ำ แต่ผลจะมีสีนวลตัดกันเห็นชัดแต่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ด้วย

7) ดูร่องพู ถ้าเป็นทุเรียนแก่ร่องพูจะเป็นสีน้ำตาลปนเหลืองเด่นชัดถ้าทุเรียนอ่อนร่องพูจะออกสีเขียว

8) เคาะเปลือกหรือกรีดหนาม สำหรับทุเรียนแก่ เมื่อเคาะเปลือก หรือกีดหนาม จะได้ยินเสียงโพรกดังหลวมๆไม่ทึบ แต่ถ้าเป็นทุเรียนอ่อนเสียงจะดังแน่นทึบไม่โพรก

9) ชิมปลิง เมื่อตัดขั้วผลหรือปลิงทุเรียนแก่จะเห็นน้ำที่ขั้วผลใสๆ ซึมออกมา ชิมดูจะมีรสหวาน แต่ถ้าเป็นทุเรียนอ่อนน้ำที่ซึมออกมาจะไม่ใสจะข้นชิมดูจะรสฝาด

10) ดมกลิ่น ทุเรียนจะมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ โชยออกมาจากผล

ความชอบของผู้บริโภคที่แตกต่างกันในความสุกของทุเรียนทำให้ยากที่จะบอกถึงการเลือกทุเรียนที่ดีได้ ทุเรียนที่ตกลงมาจากต้นจะสุกงอมในสองถึงสี่วัน แต่หลังจากห้าถึงหกวันจะสุกมากเกินไปและมีรสขมเล็กน้อย คำแนะนำทั่วไปสำหรับผู้บริโภคทุเรียนในการเลือกผลไม้นี้ในตลาด คือให้พิจารณาก้านทุเรียนที่แห้งตามอายุของมัน มีขนาดใหญ่ ก้านที่แข็งบอกถึงความสดของทุเรียน

สุดารัตน์ (2536) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทุเรียนพันธุ์ชะนีอายุเก็บเกี่ยว 103 และ 110 วัน พันธุ์หมอนทองอายุ 118 และ 125 วันหลังดอกบาน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ในพันธุ์ชะนีมีปริมาณสูงกว่าพันธุ์หมอนทอง และผลแก่มีปริมาณค่อนข้างสูงกว่าผลอ่อน โดยเฉพาะปริมาณเบต้า-แคโรทีนเริ่มต้นในพันธุ์ชะนีมีถึง 233 และ 245 I.U. ต่อน้ำหนักสด ในผลอายุ 103 และ 110 วันตามลำดับ ขณะที่พันธุ์หมอนทองผลอายุ 118 วันมีเพียง 24 I.U. และ 41 I.U. ในผลอายุ 125 วัน เมื่อนำทุเรียนทั้งสองพันธุ์ทุกวัยมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20°C และอุณหภูมิห้อง (30±2°C) พบว่าพันธุ์ชะนีเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีเร็วกว่าพันธุ์หมอนทอง โดย

สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างชัดเจนภายหลังเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 3 วัน แต่พันธุ์หมอนทองแสดงลักษณะดังกล่าวเมื่อเก็บรักษาไว้ประมาณ 6 วัน โดยที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ น้ำ soluble solids น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และเบต้า-แคโรทีนเพิ่มขึ้น แต่แป้งลดลง ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนไขมันในพันธุ์ชะนีมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่หมอนทองมีปริมาณค่อนข้างคงที่ และพันธุ์ชะนีทั้งสองวัยมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน ขณะที่พันธุ์หมอนทองผลที่มีอายุ 125 วันเกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก และเร็วกว่าผลอายุ 118 วัน และพบว่าการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในผลทุเรียนทั้งสองพันธุ์เกิดได้ดีทั้ง 2 อุณหภูมิ แต่ที่อุณหภูมิห้องมีผลกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 20°ซ

การศึกษาถึงแนวทางในการกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลทุเรียนและมาตรฐานของคุณภาพของทุเรียน โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเคมี จากการทดลองพบว่า เมื่อทุเรียนแก่คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดปริมาตรและค่าความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องการเปลี่ยนแปลง ของปริมาณแป้งและค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียน รูปทรงของผลทุเรียนไม่มีความแตกต่างกันทั้งทุเรียนอ่อน และแก่ ในขณะที่จำนวนหนามต่อพื้นที่บนผิวเปลือกลดลง และความหนาแน่นลดลงเล็กน้อยเมื่อทุเรียนแก่ คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำตาลซูโครสในเนื้อทุเรียนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทุเรียนแก่ ส่วนปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และ ฟรุคโตสลดลง ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปของ กรดซิตริก มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อทุเรียนแก่และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ คือ ค่าความถี่ของเสียงจากการเคาะผลทุเรียน มีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งทุเรียนมีอายุ 100 วันหลังดอกบาน ซึ่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับปริมาณแป้ง และลดลงเล็กน้อย เมื่อทุเรียนมีอายุ 120 วันหลังดอกบาน ผลการศึกษาครั้งนี้สรุปว่าค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียน สามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวและใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพความอ่อน-แก่ ของทุเรียน โดยไม่ทำลายผลได้ โดยเมื่อหาค่าสหสัมพันธ์พบว่า ค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียนนี้สัมพันธ์กับคุณสมบัติ ทางกายภาพคือ ค่าความ แน่นเนื้อ และคุณสมบัติทางเคมีคือ ปริมาณแป้ง ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความแก่ของผลทุเรียนได้ (นิรมล, 2539)

นอกจากนี้คุณภาพของทุเรียนหลังการเก็บเกี่ยวยังขึ้นอยู่กับดัชนีการเก็บเกี่ยวทุเรียนที่เหมาะสม ได้แก่ การนับอายุหลังดอกบาน การเคาะฟังเสียง ปากปลิงเห็นรอยแยกเด่นชัด การบีบปลายหนาม ปลายหนามสีน้ำตาลเข้ม สังเกตร่องพู ดมกลิ่น เป็นต้น ทุเรียนเป็นผลไม้ที่เก็บเกี่ยวในระยะผลห่าม หรือระยะที่ทุเรียนแก่ซึ่งยังไม่สุก เนื่องจากสภาพของผลไม้ในขณะที่การเก็บเกี่ยวมีผลกระทบที่สำคัญต่อระดับความพึงพอใจในการเลือกซื้อของผู้บริโภค ซึ่งการเลือกระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลไม้แต่ละชนิดมีความสำคัญต่อการพัฒนาคุณภาพ และรสชาติที่ดีในผลไม้นั้นด้วย (Kader, 2002) ตัวอย่างเช่น ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวขณะที่ไม่สมบูรณ์เต็มที่ หรือเก็บเกี่ยวขณะสุกเกินไปจะนำไปสู่การสูญเสียสูง (Lalel et al., 2003; Medlicott et al., 1988) นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคต้องการทุเรียนที่มีคุณภาพดีเท่านั้น ดังนั้นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีของทุเรียนไทยจำเป็นต้องมีการคัดแยกผลไม้ที่ดีออกจากทุเรียนที่ด้อยคุณภาพ และการคัดเลือกผลไม้ส่วนใหญ่ใช้แรงงานคน โดยการใช้ประสาทสัมผัสทุกส่วน แต่การใช้แรงงานคนทำให้การทำงานล่าช้า และมีข้อจำกัด และวิธีตรวจคุณภาพทุเรียนโดยทั่วไปทำให้ทุเรียนเกิดความเสียหาย และต้องใช้เวลามากในการตรวจคุณภาพ อีก

ปัญหาหนึ่งคือ อาการผลช้ำในขณะการขนส่งสู่ผู้บริโภคซึ่งเกี่ยวข้องกันหลายขั้นตอน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดของขบวนการนั้นอาจเริ่มจากการเก็บเกี่ยวผลที่มีความสุกแก่มากเกินไป

ดังนั้นการประเมินความสุกแก่ของทุเรียนโดยไม่ทำลายผลเป็นวิธีการที่สำคัญในการลดความเสียหายและเพิ่มประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมการผลิตทุเรียน ปัจจุบันมีวิธีหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมคือ การตรวจวัดด้วยวิธีที่รวดเร็ว (Rapid Method) ทั้งยังประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่สร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งวิธีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาคือ เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นวิธีการประเมินคุณภาพผลไม้ที่ไม่ทำลายผลิตผลที่มีความแม่นยำ จึงเป็นวิธีที่นิยมมากสำหรับการประเมินคุณภาพภายในของผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล (*Malus xdornestica*) (Lammertyn et al., 1998; Park et al., 2003, Zou et al., 2007) ส้ม (*Citrus reticulate*) (Guthrie et al., 1997; Kawano et al., 1993; McGlone et al., 2003) พีช (*Prunus persica*) (Kawano et al., 1992, 1995), กีวี (*Actinidit chinensi*.r) (McGlone and Kawano, 1998) แอปปริคอท (*Prunus clrmeniaca*) และมะม่วง (Guthrie and Walsh, 1997; Mahavothee et al., 2004) การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Soluble solids content) การวิเคราะห์ปริมาณแป้ง และการวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเทรตได้เป็นวิธีที่สามารถนำมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในระยะการพัฒนาสู่การสุกของทุเรียนได้ (Hatton et al., 1965, Kancs et al., 1982) ทำให้สามารถระบุได้ว่าผลใดที่มีความสุกแก่พร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยว และผลใดควรจะปล่อยให้มีการพัฒนาของผลต่อไปบนต้นก่อน ซึ่งจะช่วยให้มีการจัดการในการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้อง ลดความเสียหาย และเพิ่มคุณภาพของผลิตผล

2. การนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดมาใช้สำหรับการตรวจวัดคุณภาพผลิตผลแบบไม่ทำลายสามารถประเมินคุณภาพภายในหลายอย่างในผลิตผลได้

1. การตรวจวัดความหวานและปริมาณวิตามินซีในผลิตผลแบบไม่ทำลาย

รณฤทธิ์ และคณะ (2551) ศึกษาการประเมินคุณภาพของผลฝรั่งแบบไม่ทำลายเพื่อการค้าในเชิงพาณิชย์ พบว่าความหวานและปริมาณวิตามินซีเป็นคุณภาพอันดับแรกที่ผู้บริโภคคำนึงถึง แต่การวิเคราะห์ปริมาณความหวานและปริมาณวิตามินซีโดยทั่วไปจะต้องทำลายเนื้อของผลไม้ ทำให้ผลไม้ไม่สามารถนำมาขายหรือนำมาทดสอบคุณสมบัติอื่นๆได้อีก ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณความหวานและปริมาณวิตามินซีของผลไม้แบบไม่ทำลาย จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ทำให้สามารถเลือกผลไม้ที่มีระดับคุณภาพได้ตามต้องการ อีกทั้งผู้ขายหรือผู้ผลิตยังสามารถรับประกันคุณภาพได้ ทำให้มูลค่าของผลไม้สูงขึ้นอีกด้วย ระบบการทำนายคุณภาพ (ปริมาณความหวานและปริมาณวิตามินซี) แบบไม่ทำลาย ถูกสร้างขึ้นโดยสร้างความสัมพันธ์คุณภาพกับการดูดกลืนพลังงานย่าน Near Infrared (NIR) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ โดยผลฝรั่งถูกวัดสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปคโตรมิเตอร์แบบพกพา ผลการสร้างระบบพบว่า สามารถทำนายปริมาณความหวานได้อย่างแม่นยำ ด้วยค่า multiple correlation coefficient (R) = 0.94, Standard Error of Prediction (SEP) = 0.54% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) = -0.08% สำหรับการทำนายปริมาณวิตามินซีสามารถนำไปใช้ในการคัดแยกกลุ่มของผลฝรั่งในเบื้องต้นได้ ด้วยค่า R = 0.74, SEP = 0.20% และBias =

0.03% โดยค่าที่ทำนายได้จากสมการทั้งสองไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ธงชัย และคณะ (2546) ศึกษาการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดมาใช้สำหรับการตรวจวัดความหวานและความเปรี้ยวในผลส้ม ผลการศึกษาการประเมินค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้(TA) ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นระหว่าง 700-1100 นาโนเมตร พบว่า สมการcalibration จากวิธี Modify Partial Least Component Regression (MPLSR) และ Multiple Linear Regression (MLR) สามารถทำนายค่าทางเคมีได้แม่นยำใกล้เคียงกัน โดยทำนายค่า TSSของผลส้มทั้งผลด้วยความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.944 และ 0.955 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานการพยากรณ์ (SEP) เท่ากับ 0.494 และ 0.574 ค่า Bias เท่ากับ 0.094 และ 0.122 ส่วนของผลส้มที่ปอกเปลือกแล้ว ได้ค่า R เท่ากับ 0.981 และ 0.976 ค่า SEP เท่ากับ 0.254 และ 0.274 ค่า Bias เท่ากับ 0.056 และ 0.049 ตามลำดับ สำหรับการทำนายค่า TA ของผลส้มทั้งผล ได้ค่า R เท่ากับ 0.636 และ 0.600 ค่า SEP เท่ากับ 0.069 และ 0.073 ค่า Bias เท่ากับ 0.002 และ 0.005 ตามลำดับ ส่วนของผลส้มที่ปอกเปลือกมีค่า R เท่ากับ 0.561 และ 0.771 ค่า SEP เท่ากับ 0.070และ 0.057 ค่า Bias เท่ากับ 0.005 และ 0.002 ตามลำดับ

วรรณกนก (2546) ศึกษาการตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยใช้ความยาวคลื่นระหว่าง 700-1100 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสั้นเพื่อประเมินค่าทางเคมมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) การเปรียบเทียบสมการ calibration จากวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ 3 วิธี คือ Modify Partial Least Component Regression (MPLSR) Principal Component Regression (PCR) และวิธี Multiple Linear Regression (MLR) จากการทดลอง พบว่าสมการ calibration MPLS และ MLR สามารถทำนายค่าทางเคมีได้แม่นยำใกล้เคียงกัน ค่าทำนาย TSS ของผลส้มที่มีเปลือก มีค่าความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.944 และ 0.955 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานการพยากรณ์ (SEP) เท่ากับ 0.494 และ 0.574 ค่า Bias เท่ากับ 0.094 และ 0.122 ส่วนของผลส้มทั้งผลปอกเปลือกได้ค่า R เท่ากับ 0.981 และ 0.976 ค่า SEP เท่ากับ 0.254 และ 0.274 ค่า Bias เท่ากับ 0.056 และ 0.049 ตามลำดับ สำหรับค่าทำนาย TA ได้ผลไม่ค่อยแม่นยำนัก โดยค่าทำนาย TA ของผลส้มที่มีเปลือกได้ค่า R เท่ากับ 0.6.36 และ 0.600 ค่า SEP เท่ากับ 0.069 และ 0.073 ค่า Bias เท่ากับ 0.002 และ –0.005 ตามลำดับ ส่วนของผลส้มที่ปอกเปลือกมีค่า R เท่ากับ 0.561 และ 0.771 ค่า SEP เท่ากับ 0.070 และ 0.057 ค่า Bias เท่ากับ 0.005 และ 0.002 ตามลำดับ การตรวจสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ผู้ประเมินสามารถแยกคุณลักษณะตามความชอบของผลส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งที่บ่งบอกถึงคุณภาพได้ และความสัมพันธ์ระหว่างการชิมกับค่าทางเคมีพบว่า ความชอบมีความสัมพันธ์กับเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อาทิตย์ และคณะ (2553) สามารถตรวจสอบคุณภาพภายในด้วยวิธีแบบไม่ทำลายตัวอย่างในส้มโอตัดแต่งสดโดยการใช้เครื่อง visible and near infrared spectrometer รุ่น Model HR4000 มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 – 1100 นาโนเมตร โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงด้วยหลอด quartz tungsten halogen ในการทดสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดทั้งหมดด้วยการสร้างสมการทำนายค่าแบบ PartialLeast Square Regression (PLSR) โดยสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ มีความแม่นยำอยู่ที่ R = 0.835, SEP = 0.383, Bias = -0.0054 โดยใช้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400- 1028 นาโนเมตร โดยสมการในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลาย

ได้มีค่าดีกว่าสมการในการทำนายค่ากรดทั้งหมด ซึ่งสมการทำนายค่าปริมาณกรดทั้งหมด มีความแม่นยำอยู่ที่ R = 0.687, SEP= 0.063, Bias = -0.0003 โดยใช้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400- 1028 นาโนเมตร

อาทิตย์ และคณะ (2554) ศึกษาผลลำไยเกี่ยวกับการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%brix) ด้วยการใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น โดยการวัดตัวอย่างด้วยวิธีแสงสะท้อนกลับ (interactance mode) ในช่วงความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร และวิธีแสงทะลุผ่าน (transmittance mode) ในช่วงความยาวคลื่น 650-955 นาโนเมตร ตัวอย่างลำไย 310 ผล จากนั้นสร้างสมการทดสอบ (calibration) และสมการทำนาย (prediction) ด้วยวิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) พบว่าลำไย มีสมการทดสอบและสมการทำนายค่า %brix สเปคตรัมวิธี 2nd Derivative วิธีtransmittance mode มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ดีที่สุด และมีค่า RMSEC ต่ำที่สุด คือ ลำไย ปีที่ 1 (พ.ศ. 2551) ค่า R คือ 0.919, ปีที่ 2 (พ.ศ. 2552) มีค่า 0.956 และ RMSEC มีค่าต่ำที่สุด คือ ปีที่ 1 (พ.ศ. 2551) มีค่า 0.753 และปีที่ 2 (พ.ศ.2552) มีค่า 0.506 และเมื่อนำสเปกตรัมปีที่ 1 และปีที่ 2 (พ.ศ. 2551-2552) มารวมกัน มีค่า R ดีที่สุด คือ 0.955 และมีค่า RMSEC ต่ำที่สุด คือ 0.657 จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่าเทคนิคการใช้คลื่นสั้นย่านใกล้อินฟราเรดวิธีแสงทะลุผ่านและวิธีแสงสะท้อนกลับมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยวิธีไม่ทำลายได้อย่างแม่นยำ แต่วิธีแสงทะลุผ่านค่อนข้างจะดีกว่าเพราะมีความเข้มแสงที่จะสามารถทะลุทะลวงที่ดี

พีรพงษ์ และคณะ (2554) พัฒนาวิธีการประเมินปริมาณวิตามินซีในผลมะละกอโดยไม่ทำลายตัวอย่าง ด้วยเทคนิค near infrared spectroscopy โดยวัดสเปกตรัมของผลมะละกอด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา จากนั้นสร้างสมการทำนายปริมาณวิตามินซี โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีกับค่าสเปกตรัมด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ พบว่า สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานได้อย่างแม่นยำ 2 สมการ โดยสมการแรก มีค่า R = 0.93, SEP = 8.78 mg/100 ml และ bias = -0.03 mg/100 ml สามารถนำสมการนี้ไปใช้ประเมินปริมาณวิตามินซีของมะละกอในการเก็บเกี่ยว และยังสามารถคัดแยกปริมาณวิตามินซีก่อนถึงมือผู้บริโภคได้ สำหรับสมการที่ 2 มีค่า R = 0.98, SEP = 4.56 mg/100 ml และค่า bias = -0.10 mg/100 ml สามารถใช้ประเมินปริมาณวิตามินซีของมะละกอที่อยู่บนต้นเมื่อมีอายุผลต่างกัน เหมาะสำหรับใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

2. ตรวจสอบอาการผิดปกติทางสรีระวิทยาภายในผลิตผลแบบไม่ทำลาย

รณฤทธิ์ และคณะ (2553) พบว่าการตรวจสอบความผิดปกติไส้ฉ่ำน้ำอย่างไม่ทำลายในผลสาลี่ ทำการพัฒนาแบบจำลองเพื่อคัดแยกผลสาลี่ที่มีความผิดปกติไส้ฉ่ำน้ำแบบไม่ทำลาย ถูกสร้างขึ้นโดยสร้างความสัมพันธ์ของคุณภาพภายในกับการดูดกลืนพลังงานย่าน Near Infrared (NIR) ช่วงสั้นความยาวคลื่น 700-850 นาโนเมตร โดยใช้ระบบการวัดแบบส่องทะลุผ่าน ผลของแบบจำลองพบว่าสามารถคัดแยกคุณภาพภายในผลสาลี่ได้อย่างถูกต้อง 95%

วารุณี และคณะ (2553) ศึกษาเกี่ยวกับการคัดแยกผลมังคุดเนื้อแก้ว และยางไหลออกจากผลมังคุดดี ด้วยการใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น โดยใช้วิธีแบบทะลุผ่าน ในช่วงความยาวคลื่น 700-955 นาโนเมตร มี 4 แบบ คือ 1) Type 1 ใช้หลอดไฟกำลัง 40 วัตต์ 1 หลอด และ 80 วัตต์ 1 หลอด วัดรอบตัวอย่าง 12 จุด (360°) 2) Type 2 ใช้หลอดไฟกำลัง 50 วัตต์ 1 หลอด

๑ SB
๖๑๐
.๖
พ๗๙๙ร
๒๕๕๔

ห้องสมุด
ก.ค. 2562

วัดรอบตัวอย่าง 8 จุด (360°) 3) Type 3 ใช้หลอดไฟกำลัง 30 วัตต์ 4 หลอด วัดรอบตัวอย่าง 8 จุด (45°) 4) Type 4 ใช้หลอดไฟกำลัง 100 วัตต์ วัดรอบตัวอย่าง 8 จุด (360°) ใช้ตัวอย่างผลมังคุดทั้งหมด 5,841 ลูก จากนั้นสร้างสมการคัดแยกด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) พบว่า แบบ Type 4 สามารถคัดแยกมังคุดได้ดีที่สุด คือ แยกเนื้อแก้วถูกต้อง 88 % และเนื้อดีได้ถูกต้อง 92 % และสามารถคัดแยกระหว่างที่เป็นยางไหลถูกต้อง 76 % และเนื้อดีได้ถูกต้อง 86 % จากผลที่ได้ของการศึกษาจะเห็นได้ว่าเทคนิคการใช้ช่วงความยาวคลื่นสั้นย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่านมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายมังคุดเนื้อดี เนื้อแก้ว และยางไหลแบบไม่ทำลายได้อย่างแม่นยำ

สิรินาฏ และคณะ (2555) พบว่าการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการประเมินความฝาดของพลับพันธุ์ P2 แบบไม่ทำลายนั้น เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่อง NIR Spectrophotometer 2 ชนิด ที่มีโหมดการวัดแบบส่องผ่าน (Transmission) และแบบอินเตอร์แอกแตนซ์ (Interactance) เพื่อประเมินค่าความฝาดในผลพลับ โดยแบ่งผลพลับฝาดพันธุ์ P2 จำนวน 219 ผล เป็น 4 กลุ่ม พลับกลุ่มที่ 1 ถูกควบคุมให้มีระดับความฝาดเช่นเดิม ส่วนกลุ่มที่ 2-4 ทำการขจัดความฝาดด้วยการรม CO2 ที่อุณหภูมิ 5°C, 15°C และ 25°C แล้ววิเคราะห์3สร้างสมการทำนาย 3 เชิงปริมาณด้วย 3 วิธี 3Partial Least Squares Regression (PLSR) จากการวิจัยพบว่า โหมดการวัดแบบ Interactance มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมกับการทำนายค่าความฝาดในผลพลับมากกว่าเครื่อง NIR แบบ Transmission โดยให้ค่า R สูงสุดเท่ากับ 0.95 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.17 เนื่องจากแทนนิน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดความฝาดในผลพลับส่วนใหญ่จะมีการกระจายตัวใกล้บริเวณเปลือก ทำให้ข้อมูลสเปกตรัมจากการวัดแบบ Interactance มีความเหมาะสมมากกว่าแบบ Transmission ที่มีข้อมูลสเปกตรัมของเนื้อผลส่วนอื่นที่อาจไม่มีแทนนินด้วย

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนา ความสุกแก่ดูได้ยากจากภายนอก เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาว่าพบทุเรียนอ่อนในการซื้อขาย ทำให้ผู้ซื้อเกิดความไม่มั่นใจในการซื้อขาย เทคนิค Near Infrared Spectroscopy เป็นวิธีที่สามารถใช้ประเมินคุณภาพผลิตผลที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น ความหวาน โปรตีน เป็นต้น ความสุกแก่ของทุเรียนอาจวัดได้จากอายุของผลหลังการออกดอก ซึ่งสัมพันธ์กับความหวานและน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียน เทคนิค NIR Spectroscopy จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาประเมินความหวานและน้ำหนักแห้งของเนื้อผล เพื่อดูความสุกแก่ แต่เปลือกทุเรียนมีความหนามากเกินไปถ้าจะวัดการดูดซับแสง NIR ผ่านทางเปลือกโดยตรง แต่ความสัมพันธ์กับความหวานเนื้อกับปริมาณความหวานที่ก้านผลมีความสัมพันธ์สูงเพราะการสุกแก่ผลทุเรียนจะเป็นการส่งซูโครสจากต้นแม่สู่ผล ดังนั้นจึงศึกษาการใช้เทคนิค NIR Spectroscopy โดยการวัดการดูดซับแสงที่ก้านผลที่ 3 ตำแหน่ง คือ 1. เหนือปลิง 1 ซม. 2. ที่ปลิง 3. ที่ขั้วผล โดยหาความสัมพันธ์กับความหวาน(oBrix) และน้ำหนักแห้งของเนื้อผล จากการศึกษาพบว่า สมการที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความหวานที่ขั้วผลกับความหวานของเนื้อทุเรียนมีประสิทธิภาพสูงในการประเมินความสุกแก่มากกว่าการวัดที่ตำแหน่งอื่น โดยมีค่าความสัมพันธ์สูง (R = 0.93) และค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินผลต่า (SEP = 1.58 oBrix) ซึ่งต่ากว่าค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (sd) ของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (จารุวรรณ และคณะ, 2554)

ความแก่ของผลิตผลเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพการบริโภคผลไม้หลายชนิด ทุเรียนที่เก็บเกี่ยวในระดับความแก่ที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อคุณภาพเมื่อผลสุก ในปัจจุบัน มีความพยายามนำเกณฑ์ปริมาณน้ำหนักแห้งของเนื้อมาใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความแก่ของผลทุเรียน โดยใช้คลื่นไมโครเวฟอบตัวอย่างให้แห้ง อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวต้องใช้เวลาการตรวจสอบจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

บ่อยครั้งทำให้ตัวอย่างไหม้ อีกทั้งต้องทำลายตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ เนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (NIR) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางกับผลิตผลเกษตร ในงานวิจัยนี้ เทคนิค NIR ถูกนำมาใช้ตรวจสอบปริมาณน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนที่มีความแก่ของผลแตกต่างกัน ผลการทำ partial least aquares (PLS) calibration ระหว่างช่วงคลื่นที่เหมาะสม 700-950 นาโนเมตร ภายใต้ second derivative ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการวัดค่าน้ำหนักแห้งจริงกับการวัดโดยใช้เทคนิค NIR ที่ 0.87 โดยมีค่า standard error of calibration (SEC) ที่ 2.56 ค่า standard error of prediction (SEP) ที่ 2.45 และค่า bias ที่ 0.08 (กัลย์ และคณะ, 2548)

การวิเคราะห์คุณภาพของทุเรียนหลังการเก็บเกี่ยว

ทุเรียนแต่ละสายพันธุ์มีส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ กลิ่นและรสชาติที่แตกต่างกันออกไป (Brown, 1997) ซึ่งมีรายงานผลการศึกษามากมายเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของทุเรียน ดังเช่นตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการระหว่างทุเรียนสองสายพันธุ์ คือ *Durio zibethinus* กับ *Durio oxleyanus* ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ แต่ปัจจัยหลักที่ทำให้ส่วนประกอบทางโภชนาการมีความแตกต่างกันคือ สายพันธุ์ของทุเรียน

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางโภชนาการบางประการของทุเรียนสองสายพันธุ์ (Brown, 1997)

ส่วนประกอบ	เนื้อสดของทุเรียน *Durio zibethinus*	เนื้อสดของทุเรียน *Durio oxleyanus*
เถ้าทั้งหมด (%น้ำหนักสด)	1.24, (1.2, 1.2, 1.5), 1.11, 0.8, 1.24, 0.8, 1.04	3 (%น้ำหนักแห้ง)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	44.50	
เส้นใย (%น้ำหนักสด)	(1.7, 1.7, 0.9), (4.40, 3.35, 3.47), 1.7, 1.4, 1.9, 0.9, 1.87	5.9 (%น้ำหนักแห้ง)
ความชื้น (%น้ำหนักสด)	(62.8, 56.3, 66.6), (64.1, 58.3, 57.4), 58.0, 65, 66, 54.9, 68.7, 62.9, 66.8, 55.5, 59.9, 68, 64.2, 60.6	30
โปรตีน (%น้ำหนักสด)	2.31, (2.6, 3.2, 0.9), (2.33, 2.58, 2.81), 2.8, 2.6, 2.5, 2.36, 2.5, 2.5, 2.31, 2.0, 2.7, 2.6	7.7 (%น้ำหนักแห้ง)
ไนโตรเจน (%)	0.211	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (%น้ำหนักสด)	29.4, 21.33, 34.1, 27.8, 25.01, 30.4, 28.3, 36.1, 28.2	65 (%น้ำหนักแห้ง)
แป้ง (%น้ำหนักสด)	11.1, 4.0	
น้ำตาลทั้งหมด (% น้ำหนักสด)	13.55, 10.02, 11.1, 11.0	7.7 (% น้ำหนักสด)
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	4.79, 2.7	
ซูโครส (% น้ำหนักสด)	8.76, (12.6, 19.8, 19.4), 5.8, 9.16, 10.22, 12.70, 10.2, 12.7	

ส่วนประกอบ	เนื้อสดของทุเรียน *Durio zibethinus*	เนื้อสดของทุเรียน *Durio oxleyanus*
กลูโคส (%)	0.30, 0.51, 0.48, 0.50, 0.50	
ฟรุ๊กโตส (%)	(0.55, 0.41, 0.20), 0.40, 0.20	
ไขมัน (% น้ำหนักสด)	(2.3, 2.9, 4.2), (6.29, 5.38, 7.34), 3.9, 3.2, 5.0, (5.1, 5.2, 3.8, 4.2), (0.71, 0.91), 2.10, 3.1, 1.6, 1.2, 3.0	19.0 (% น้ำหนักแห้ง)
แคลอรี (Caloric value)	(149, 178, 145 kcal/100 g) (151.2, 176.0, 188.5 kcal/100 g) 183 cal/100 g, 144 cal/100 g, 124 cal/100 g, 147.0 cal/100 g, 154 cal/100 g	
เบต้าแคโรทีน	(710, 600.5, 1398.3 IU/100 g)	
วิตามิน เอ (IU/100 g)	1025, 30.0, 20, 30, 10 µg/100 g, 3.8 mg/g	
วิตามิน บี 1 (ไทอะมีน) (mg/100 g)	(0.52, 0.67, 0.47), (0.24, 0.36, 0.39), 0.366, 46 IU/100 g, 0.24, 0.27, 0.32	
วิตามิน บี 2 (ไรโบฟลาวิน) (mg/100 g)	(0.49, 0.53, 0.17), (0.07, 0.13, 0.14), 0.172, 0.20, 0.29, 0.28	
ไนอะซิน (mg/100 g)	(1.17, 1.17, 1.37), 1.13, 0.70, 1.21, 1.1	
วิตามิน ซี (mg/100 g)	(32.5±5.4), (32, 43, 58), (31.0, 43.3, 41.3), 50.0, 25, 23.4, 24, 37, 44.0, 22.9, 107	2.08 mg/100 ml
วิตามิน อี (mg/100 g)	(1.50, 0.26)	
แร่ธาตุ	1.2%	
แคลเซียม (mg/100 g)	(5.6, 4.5, 5.9), (5.35, 4.64, 64.5, 5.10), 10, 12.14, 41.5, 9, 20, 18, 40	0.03 (% น้ำหนักแห้ง)
ฟอสฟอรัส (mg/100 g)	(27.7, 28.3, 19.6), (42.0, 36.3, 36.6), 50, 65.39, 40.0, 44, 63, 56.0, 44	0.13 (% น้ำหนักแห้ง)
แมกนีเซียม (mg/100 g)	33, 330	0.08 µg/g
เหล็ก (mg/100 g)	(1.0, 1.1, 0.8), (0.80, 0.38, 0.55), 1.0, 1.13, 0.9, 0.9, 1.1, 1.9, 1.1 mg/g	17 µg/g
โคบอลต์	0.4 mg/100 g, 0.03 mg/g	
คลอรีน	4 mg/100 g	
โซเดียม (mg/100 g)	(0.57, 0.59, 0.67), 1, 40	
โพแทสเซียม (mg/100 g)	474.6, 431.3, 488.1, 601	1.59 (% น้ำหนักแห้ง)
โพแทสเซียม ออกไซด์	70 mg/100 g	
ซัลเฟตแอนไอออน	180 mg/100 g	
อาร์เซนิก	(0.0007, 0.0004, 0.0002 mg/100 g)	

ส่วนประกอบ	เนื้อสดของทุเรียน *Durio zibethinus*	เนื้อสดของทุเรียน *Durio oxleyanus*
ทองแดง	2.2 g/100 g, 1.0 mg/g	21 mg/g
แมงกานีส	7.2 g/100 g, 0.81 mg/g	12 mg/g
ไอโอดีน	2.8 g/100 g	
แคดเมียม	< 0.01 mg/g	
โครเมียม	< 0.05 mg/g	
นิกเกิล	< 0.02 mg/g	
ตะกั่ว	< 0.03 mg/g	
สังกะสี	< 1.4 mg/g	
ปรอท	< 0.01 mg/g	
พีเอช	7.0±0.04, (6.77, 6.66, 6.60), 6.66, 6.00, 6.6	
กรด (ในรูปกรดซิตริก)	0.19	
อัตราส่วน น้ำตาล : กรด	112.5	
กรดอื่นๆ	(0.09±0.02 g/100 g), 52.3 cc N/10 per 100 g, 0.1%, 0.6, 0.8 meq/100 g	

มีรายงานผลการวิจัยพบว่า ทุเรียนต่างสายพันธุ์ คือ หมอนทองและชะนี เมื่อผลสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่าง ๆ แตกต่างกัน ได้แก่ น้ำหนัก อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน ความแน่นเนื้อ และสารประกอบที่ให้กลิ่น (Maninang *et al.*, 2011) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับสารที่มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพในทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ชะนี และก้านยาวที่ผลิตในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ และปริมาณสารต้านทานอนุมูลอิสระในทุเรียนพันธุ์หมอนทอง มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับของทุเรียนพันธุ์ชะนีและก้านยาว (Leontowicz *et al.*, 2008) เช่นเดียวกับ Ashraf *et al.* (2010) ที่รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบสารที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในทุเรียน 4 พันธุ์ คือ D11, Chaer Phoy (Green Skin Durian), Yah Kang (Centipede Durian) และ Ang Jin (Red Yoke Durian) พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณวิตามินซีของทุเรียนทั้ง 4 พันธุ์มีค่าแตกต่างกัน แต่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าสารที่แสดงฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในทุเรียน คือ caffeic acid และ quercetin

หลักการของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy (NIRS) คลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค และแบ่งออกเป็นช่วงคลื่นต่างๆ ตามความยาวคลื่น ความถี่ และพลังงานของคลื่น ดังนี้

Type of Radiation	Wavelength Range	Type of Radiation	Wavelength Range
Gamma-rays	$< 10^{-12}$ m	Near Infrared	2.5 m m – 750 nm

X-rays	1 nm – 1 pm	Infrared	25 m m – 2.5 m m
Ultraviolet	400 nm – 1 nm	Microwaves	1 mm – 25 m m
Visible	750 nm – 400 nm	Radio waves	> 1 mm

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านไปยังสารจะเกิดปฏิกิริยาได้ดังรูป ช่วงคลื่น Infrared มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุนได้ โดยในช่วง Near Infrared นั้น การสั่นที่เกิดขึ้นจะเป็นการสั่นที่นอกเหนือจาก fundamental vibration ได้แก่ overtone vibration และ combination vibration overtone และ combination bands ที่ได้จากการสั่นของ C-H, O-H, N-H และ S-H จะพบในช่วง NIR (4000 – 12500 cm^{-1}) spectrum ที่ได้ค่อนข้างจะเป็นพีคกว้างและความเข้มต่ำ (ถ้าเห็นพีคความเข้มสูงอาจเกิดจากการซ้อนเกยกัน) ตำแหน่งลักษณะ และความเข้มพีคขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของสารตัวอย่าง โดยเฉพาะขนาดอนุภาคและความชื้น

การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมีข้อจำกัดของเครื่อง NIR ซึ่งไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทันทีเหมือน classical spectrochemical methods อื่นๆ คือความยุ่งยากในการหาวิธีการในการคำนวณหาสมการที่เหมาะสมในการทำนายคุณภาพที่ต้องการวิเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ก่อนนำเครื่องมือมาใช้จริงในงานประจำวัน เพราะข้อมูลที่ได้จาก NIR จะอยู่ในรูปของสเปกตรัมที่มีรายละเอียดของข้อมูลมาก ทำให้ไม่สามารถทำนายคุณลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างที่นำมาศึกษาว่ามีปริมาณเท่าไรได้ทันที ต้องนำวิธีการทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้ รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล NIR Spectrum กับค่าคุณลักษณะของผลทุเรียนที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีหรือกายภาพซึ่งเป็นวิธีที่ทำลายตัวอย่าง สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และทราบผลการทดลองช้า

3. ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล NIR Spectrum

1. ขั้นตอนการทำ Calibration

1.1 เก็บจำนวนตัวอย่างให้ถูกต้อง เพียงพอ และเป็นตัวแทนที่ดีของประชากร โดยตัวอย่างต้องมีลักษณะอย่างเดียวกับตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR spectroscopy ในอนาคต

1.2 ตรวจสอบคุณภาพของผลทุเรียนที่จะนำมาใช้สร้างเป็นวิธีการวัดค่ามาตรฐาน ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี (Wet Analysis) เรียกว่า Reference Laboratory Measurement เพื่อนำมาใช้หาความสัมพันธ์กับค่าจาก NIR

1.3 กำหนดตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามที่จะนำมาใช้สร้างสมการมาตรฐาน

ตัวแปรอิสระ คือ ค่าที่อ่านได้จาก NIR Spectrum (Full Spectrum Analysis Method)

ตัวแปรตาม คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Reference Laboratory Measurement

1.4 การสร้างสมการ Calibration

เนื่องจากลักษณะสเปกตรัมย่าน NIR โดยทั่วไปจะมีพีค(peak) ที่ซ้อนทับกัน (overlapping) และ board peak อยู่มาก ดังนั้นการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีที่พิจารณาเพียงความยาวคลื่นเดียว หรือความยาวคลื่นจำนวนน้อยๆ จะให้ผลการวิเคราะห์ได้ถูกต้องไม่เท่ากับการพิจารณาทั้งสเปกตรัม (full spectrum method) หรือช่วงของสเปกตรัม วิธีการพิจารณาเช่นนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น ซึ่ง 2 วิธีที่นิยมใช้คือ Principal Component Regression (PCR) และ Partial Least Square (PLS) หลักการของทั้งสองวิธีนี้ได้แก่ การสร้างแฟคเตอร์จากความสัมพันธ์ของข้อมูลในสเปกตรัม เป็นการลดจำนวนข้อมูลในสเปกตรัมอย่างเป็นระบบ โดยจะเหลือแต่ข้อมูลสเปกตรัมที่สำคัญและสอดคล้องกับปริมาณที่เราศึกษา

2. ขั้นตอนการทำ Validation

หลังจากที่ได้สมการประเมินค่าทางเคมีที่สัมพันธ์กับปริมาณสิ่งที่ต้องการหามากที่สุดแล้ว จะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของสมการนั้นก่อนนำไปใช้จริง การทดสอบสมการประเมินค่าทางเคมีมี 2 วิธีที่นิยมกันแพร่หลายได้แก่ Full Cross Validation เป็นการทดสอบสมการภายใน (internal validation) หมายถึง ตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการก็คือตัวอย่างทั้งหมดที่นำมาใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีนั่นเอง โดยมีขั้นตอนการทดสอบคือ ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ออกจากตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมี จากนั้นใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่เหลือทำการคำนวณหาสมการ เมื่อได้สมการจึงนำตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 มาหาค่าทางเคมี ขั้นต่อไปใส่ตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 กลับคืนและตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐานและทำตามขั้นตอนเช่นเดียวกับตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 และทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนครบทุกตัวอย่างในชุดตัวอย่างมาตรฐาน ดังนั้นตัวอย่างมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นจะถูกตัดออกจากชุดมาตรฐานตัวอย่างละ 1 ครั้งเท่ากัน ทำการหาค่า RMSECV (root mean square error of cross validation);

RMSECV = Ö [å ((XCV,i –Yi)2/(n-1)) ออ ; n = จำนวนตัวอย่าง

Bias = å (NIR method – Reference method)/n

RMSEP = Ö [å (Xi – Yi)2/(n)]

Prediction Testing เป็นการทดสอบสมการภายนอก (external validation) โดยการเตรียมหรือนำตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลองเช่นเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาใช้ทดสอบสมการมาตรฐานนี้ว่า testing set วิธีการเตรียมตัวอย่างก็ทำเช่นเดียวกับตัวอย่างมาตรฐานทุกขั้นตอน แต่จุดที่ต้องระวังคือปริมาณค่าทางเคมีที่เราจะหาใน testing set จะต้องอยู่ภายในช่วงชุดมาตรฐาน หลังจากได้สเปกตรัมของชุดทดสอบก็นำไปหาปริมาณจากสมการประเมินค่าทางเคมี จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้และค่าทางสถิติ ได้แก่ค่า Bias คือค่าเฉลี่ย

ของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธี NIR กับค่าจากวิธีอ้างอิง และค่า RMSEP (root mean square error of prediction) ถ้าผลการหาปริมาณใกล้กับผลของค่าอ้างอิงและค่าทางสถิติดีนั้น แสดงว่าสมการประเมินค่าทางเคมีนั้นสามารถยอมรับได้ และนำไปใช้หาปริมาณตัวอย่างต่อๆ ไปได้ถูกต้อง (รุสนี, 2552.)

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนา ความสุกแก่ดูได้ยากจากภายนอก เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาว่าพบทุเรียนอ่อนในการซื้อขาย ทำให้ผู้ซื้อเกิดความไม่มั่นใจในการซื้อขาย เทคนิค Near Infrared Spectroscopy เป็นวิธีที่สามารถใช้ประเมินคุณภาพผลิตผลที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น ความหวาน โปรตีน เป็นต้น ความสุกแก่ของทุเรียนอาจวัดได้จากอายุของผลหลังการออกดอก ซึ่งสัมพันธ์กับความหวาน และน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียน เทคนิค NIR Spectroscopy จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาประเมินความหวานและน้ำหนักแห้งของเนื้อผล เพื่อดูความสุกแก่ แต่เปลือกทุเรียนมีความหนามากเกินไปถ้าจะวัดการดูดซับแสง NIR ผ่านทางเปลือกโดยตรง แต่ความสัมพันธ์กับความหวานเนื้อกับปริมาณความหวานที่ก้านผลมีความสัมพันธ์สูงเพราะการสุกแก่ผลทุเรียนจะเป็นการส่งซูโครสจากต้นแม่สู่ผล ดังนั้นจึงศึกษาการใช้เทคนิค NIR Spectroscopy โดยการวัดการดูดซับแสงที่ก้านผลที่ 3 ตำแหน่ง คือ 1. เหนือปลิง 1 ซม. 2. ที่ปลิง 3. ที่ขั้วผล โดยหาความสัมพันธ์กับความหวาน(°Brix) และน้ำหนักแห้งของเนื้อผล จากการศึกษาพบว่า สมการที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความหวานที่ขั้วผลกับความหวานของเนื้อทุเรียนมีประสิทธิภาพสูงในการประเมินความสุกแก่มากกว่าการวัดที่ตำแหน่งอื่น โดยมีค่าความสัมพันธ์สูง (R = 0.93) และค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินผลต่ำ (SEP = 1.58 ₀Brix) ซึ่งต่ำกว่าค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (sd) ของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (จารุวรรณ และคณะ, 2554.)

ความแก่ของผลิตผลเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพการบริโภคผลไม้หลายชนิด ทุเรียนที่เก็บเกี่ยวในระดับความแก่ที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อคุณภาพเมื่อผลสุก ในปัจจุบัน มีความพยายามนำเกณฑ์ปริมาณน้ำหนักแห้งของเนื้อมาใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความแก่ของผลทุเรียน โดยใช้คลื่นไมโครเวฟอบตัวอย่างให้แห้ง อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวต้องใช้เวลาการตรวจสอบจนกว่าน้ำหนักจะคงที่บ่อยครั้งทำให้ตัวอย่างไหม้ อีกทั้งต้องทำลายตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ เนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (NIR) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางกับผลิตผลเกษตร ในงานวิจัยนี้ เทคนิค NIR ถูกนำมาใช้ตรวจสอบปริมาณน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนที่มีความแก่ของผลแตกต่างกัน ผลการทำ partial least aquares (PLS) calibration ระหว่างช่วงคลื่นที่เหมาะสม 700-950 นาโนเมตร ภายใต้ second derivative ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการวัดค่าน้ำหนักแห้งจริงกับการวัดโดยใช้เทคนิค NIR ที่ 0.87 โดยมีค่า standard error of calibration (SEC) ที่ 2.56 ค่า standard error of prediction (SEP) ที่ 2.45 และค่า bias ที่0.08 (กัลย์ และคณะ, 2548

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

การตรวจสอบคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปีในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก มีวิธีการวิจัยดังนี้

การทดลองที่ 1 : การประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in RCBD ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : อายุการเก็บเกี่ยวทุเรียน 3 ระดับ คือ ทุเรียนอายุ 110 วันหลังดอกบาน (ความแก่น้อยกว่า 80%), ทุเรียนอายุ 120 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 80%), ทุเรียนอายุ 130 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 100%)

ปัจจัยที่ 2 : อายุการเก็บรักษา 3 ระดับ คือ 0, 3, 6 และ 9 วัน

ในแต่ละทรีตเมนต์ประกอบด้วย 5 ผลๆ ละ 3 ซ้ำ ใช้ทุเรียนหมอนทองของเกษตรกรในเขตอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ นำมาควบคุมที่อุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการ Near Infrared (NIR) Technology ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ห้องปฏิบัติการกลางและห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ภาพที่ 1 คัดแยกทุเรียนตามอายุการเก็บเกี่ยวทุเรียน 3 ระดับ คือ ทุเรียนอายุ 110 วันหลังดอกบาน (ความแก่น้อยกว่า 80%), ทุเรียนอายุ 120 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 80%), ทุเรียนอายุ 130 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 100%)

การศึกษาสมการทำนายคุณภาพทุเรียนหมอนทอง

1. การหาค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน

นำเนื้อทุเรียนจากส่วนกลางของผล โดยผลทุเรียนตัวอย่างจากการหาค่าน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยเครื่องวัด NIR spectrophotometer จะถูกตัดแบ่งตามแนวขวางของผลออกเป็น 5 ส่วนเท่า ๆ กัน เนื้อจากผลส่วนกลางทั้งหมดจะถูกซอยละเอียด คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน ตัวอย่างจำนวน 2 กรัมจากแต่ละส่วน รวมเป็น 3 ซ้ำจากตัวอย่างทุเรียนแต่ละผลจะถูกนำเข้าอบแห้งในตู้อบแบบลมร้อน (Air Oven) ที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างแห้งจะคงที่ ทำการชั่งหาน้ำหนักสุดท้าย หรือน้ำหนักเนื้อแห้ง

ค่าร้อยละน้ำหนักเนื้อแห้งจะหาได้ด้วยสมการ

$$\%DM = (W_f / W_T) \times 100$$

เมื่อ %DM = ค่าร้อยละน้ำหนักเนื้อแห้ง

W_f = น้ำหนักสุดท้ายเป็นกรัม

W_T = น้ำหนักเริ่มต้น 2 กรัม

หาค่าและรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยเครื่องวัด NIR spectrophotometer และค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน เพื่อทราบค่าความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ช่วงของการวัดที่เหมาะสม (Sensitivity) ความแม่นยำในการวัด (Accuracy) และ ความสามารถในการผลิตซ้ำ (Reproductivity) ของต้นแบบเครื่องวัดน้ำหนักเนื้อแห้งเพื่อแยกคัดทุเรียนตามความอ่อน-แก่ โดยไม่ทำลายตัวอย่าง

ภาพที่ 2 การวัดสเปกตรัมบริเวณก้านล่าง (ปลิง) ด้วยเครื่องวัด NIR spectrophotometer แบบพกพา

ภาพที่ 3 หั่นเนื้อทุเรียนเพื่อนำไปหาค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน

ภาพที่ 4 การหาค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน (%DM ของเนื้อทุ**เรียน)** ด้วยการอบแห้งในตู้อบแบบลมร้อน (Air Oven)

2. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

2.1 หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids,TSS) โดยนำเนื้อทุเรียนผสมในน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:3 (ปั่นเนื้อทุเรียนหนัก 3 กรัมกับน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร) ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ให้ละเอียด นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ตกตะกอน นำสารละลายส่วนที่ใสมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Refractometer อ่านค่าเป็น Brix (รุ่นPal-1, Digital Hand-Held Refractometer Pocket "Brix" ยี่ห้อ ATAGO) นำค่าที่ได้คูณด้วย 4 เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของเนื้อทุเรียน

2.2 นำน้ำคั้นทุเรียน (สารละลายส่วนที่ใส) ไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด (Near-Infrared:NIR) ช่วง 750 – 1088 nm โดยใช้เครื่อง NIR Spectrophotometer

2.3 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ และสร้างโมเดลของน้ำคั้นทุเรียนหมอนทอง

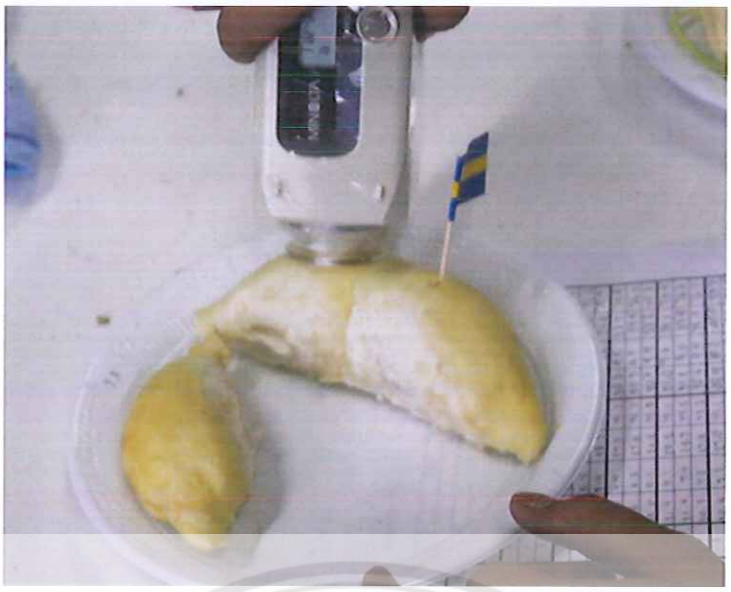
ภาพที่ 5 การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ จากน้ำคั้นเนื้อทุเรียนด้วย**เครื่อง** Digital Hand-Held Refractometer Pocket ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Pal-1 อ่านค่า**เป็น %Brix**

3. การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ

3.1 นำผลทุเรียนมาปอกเปลือกเกาะเนื้อทุเรียนออกจากพู

3.2 นำเนื้อกลางพูทุเรียนมาวัดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer ที่**จุดกึ่งกลาง และนำค่าเฉลี่ยไป**วิเคราะห์ผล

3.3 นำเนื้อกลางพูทุเรียนมาวัดค่าสีในระบบ CIELAB โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta รุ่น DP-1000 และรายงานผลเป็นค่า L* ซึ่งเป็นค่าแสดงความสว่าง (ถ้าค่าL* มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีทึบแต่ถ้าค่า L* เข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีขาวสว่างมาก) ค่า a* แสดงสีแดงและ**สีเขียว** (ถ้าค่า a* เป็นบวก วัตถุจะมีสีออกแดง แต่ถ้า a*เป็นลบ วัตถุจะมีสีออกเขียว) ค่า b* แสดงสี**เหลืองและสีน้ำเงิน** (ถ้าค่า b* เป็นบวก วัตถุจะมีสีออกสีเหลือง แต่ถ้าค่าเป็นลบ วัตถุจะมีสีออกสีน้ำ**เงิน**) ที่จุดกึ่งกลางด้านข้างของแต่ละผล 2 จุดๆ ละ 3 ครั้ง และนำค่าเฉลี่ยไปวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 6 การวัดค่าสีเนื้อทุเรียนในระบบ CIELAB โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta รุ่น DP-1000

การทดลองที่ 2 : การทดสอบประสิทธิภาพของสมการเพื่อทำนายคุณภาพของทุเรียนหมอนทอง

จากการทดลองที่ 1 หลังจากที่ได้สมการประเมินค่าทางเคมีที่สัมพันธ์กับปริมาณสิ่งที่ต้องการหามากที่สุดแล้ว จะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของสมการนั้นก่อนนำไปใช้จริง โดยแบ่งกลุ่มทุเรียนดังนี้

1. การทดสอบประสิทธิภาพของสมการจากกลุ่มทุเรียนหมอนทองอายุ 110 วันหลังดอกบาน (ความแก่น้อยกว่า 80%) จำนวน 200 ตัวอย่าง ทำการสุ่มแบ่งแยกออกเป็นสองกลุ่ม

1.1 กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ (ตรวจวัดด้วยเครื่องNIRและวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี) จำนวน 100 ตัวอย่าง

1.2 กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย (ตรวจวัดด้วยเครื่องNIR) จำนวน 100 ตัวอย่าง

2. การทดสอบประสิทธิภาพของสมการจากกลุ่มทุเรียนหมอนทองอายุ 120 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 80%) จำนวน 200 ตัวอย่าง ทำการสุ่มแบ่งแยกออกเป็นสองกลุ่ม

2.1 กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ (ตรวจวัดด้วยเครื่องNIRและวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี) จำนวน 100 ตัวอย่าง

2.2 กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย (ตรวจวัดด้วยเครื่องNIR) จำนวน 100 ตัวอย่าง

3. การทดสอบประสิทธิภาพของสมการจากกลุ่มทุเรียนหมอนทองอายุ 130 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 100%) จำนวน 200 ตัวอย่าง ทำการสุ่มแบ่งแยกออกเป็นสองกลุ่ม

3.1 กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ (ตรวจวัดด้วยเครื่องNIRและวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี) จำนวน 100 ตัวอย่าง

3.2 กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย (ตรวจวัดด้วยเครื่องNIR) จำนวน 100 ตัวอย่าง

4. การทดสอบประสิทธิภาพของสมการจากกลุ่มทุเรียนหมอนทองรวม (ทุเรียนอายุ 110 วันหลังดอกบาน (ความแก่น้อยกว่า 80%), ทุเรียนอายุ 120 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 80%) และทุเรียนอายุ 130 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 100%)) นำตัวอย่างทั้งหมด 200 ตัวอย่าง ทำการสุ่มแบ่งแยกออกเป็นสองกลุ่ม

4.1 กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ (ตรวจวัดด้วยเครื่องNIRและวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี) จำนวน 100 ตัวอย่าง

4.2 กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย (ตรวจวัดด้วยเครื่องNIR) จำนวน 100 ตัวอย่าง

5. ทั้งนี้เพื่อให้ตัวอย่างที่นำไปใช้สร้างโมเดล มาจากตัวแทนของข้อมูลทางเคมีที่ครอบคลุมทั้งหมด และเพื่อให้ตัวอย่างที่นำไปใช้ในการทำนาย มาจากตัวแทนของข้อมูลทางเคมีที่มีการกระจายตัวที่ดี ในการวิเคราะห์จึงจัดกลุ่มตัวอย่างให้ข้อมูลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณแป้งของกลุ่มที่หนึ่งจะครอบคลุมข้อมูลของกลุ่มที่สอง และข้อมูลทั้งสองกลุ่มจะมีค่าการกระจายใกล้เคียงกัน และทั้งข้อมูลดิบที่ได้จากการวัดโดยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดจะทำการ pretreatment ด้วยวิธีการ second – order derivative เพื่อทำให้ได้ผลการทำนายที่ดีที่สุดไปใช้งาน

6. ข้อมูลที่แยกไว้ใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบของแต่ละกลุ่ม นำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่ม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Partial least squares regression (PLSR) และใช้วิธีการปรับเทียบแบบ cross – validation เพื่อให้ได้โมเดลที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่มในการวิเคราะห์เปรียบเทียบต่อไป การเลือกให้ได้โมเดลที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากจำนวน latent variables (LV) ที่ให้ได้ค่าของความผิดพลาดจาก

6.1 การปรับเทียบหรือ standard error of calibration (SEC) ต่ำที่สุด

6.2 ค่า bias ต่ำ

7. การประเมินประสิทธิภาพในการทำนายของโมเดลแต่ละโมเดล ใช้ข้อมูลของกลุ่มที่แยกไว้สำหรับการทำนายของแต่ละกลุ่มมาทำการทำนายโดยวิธี cross – predictions และพิจารณาเปรียบเทียบผลค่าของ correlation coefficient (R) และค่าของความผิดพลาดจากการทำนายหรือ standard error of prediction (SEP) และค่า bias ที่ได้ เพื่อตัดสินว่าโมเดลแต่ละโมเดลมีความสามารถทำนายได้แม่นยำมากน้อยต่างกันอย่างไร

7.1 โมเดลที่มีประสิทธิภาพในการทำนายได้แม่นยำกว่าจะต้องมีค่าของ correlation coefficient (R) ที่สูงกว่า

7.2 มีค่า SEP ที่ต่ำกว่า และมีค่า bias ที่ต่ำ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

บทที่ 4

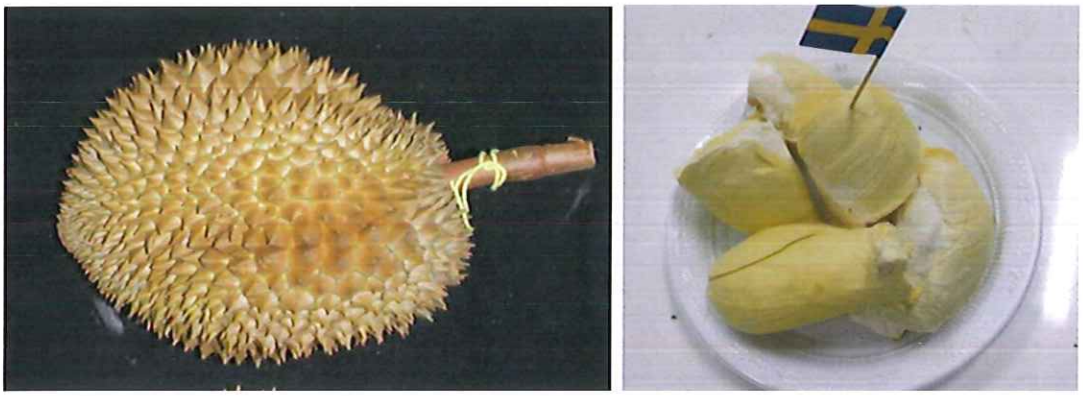
ผลการวิจัย

การตรวจสอบคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปีในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก สามารถอธิบายผลได้ ดังนี้

ผลการทดลองการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิค Near Infrared (NIR) Spectroscopy

วางแผนการทดลองแบบ factorial in RCBD ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1: อายุการเก็บเกี่ยวทุเรียนหมอนทอง 3 ระดับ คือ ทุเรียนอายุ 110 วันหลังดอกบาน (ความแก่น้อยกว่า 80%), ทุเรียนอายุ 120 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 80%), ทุเรียนอายุ 130 วันหลังดอกบาน (ความแก่ 100%) ปัจจัยที่ 2 : อายุการเก็บรักษา 4 ระดับ คือ 0 3 6 และ 9 วัน ในแต่กรรมวิธีประกอบด้วย 5 ซ้ำ ๆ ละ 1 ผล และนำผลทุเรียนทั้งหมดจำนวน 60 ผล เก็บรักษาในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 7 ลักษณะผลและเนื้อทุเรียนหมอนทอง ที่อายุการเก็บเกี่ยว 110 วันหลังดอกบาน (Immature)

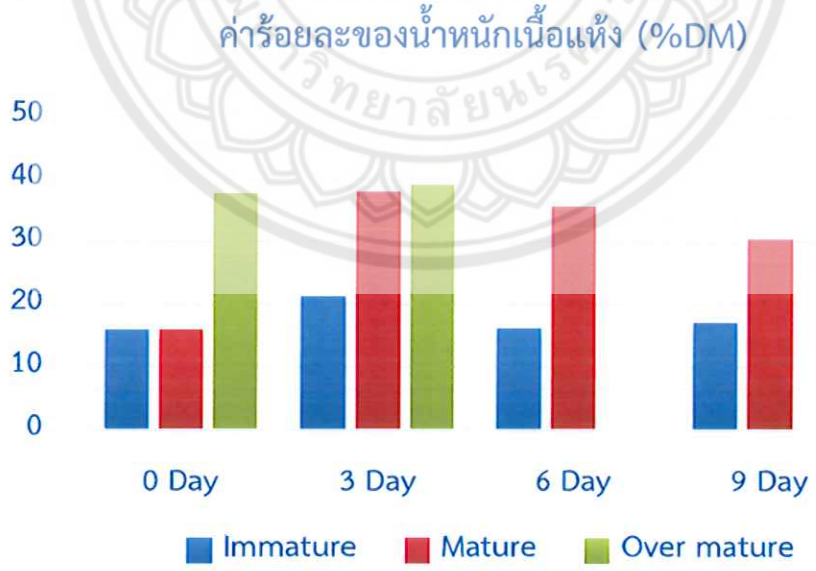


ภาพที่ 8 ลักษณะผลและเนื้อทุเรียนหมอนทอง ที่อายุการเก็บเกี่ยว 120 วันหลังดอกบาน (Mature)

ภาพที่ 9 ลักษณะผลและเนื้อทุเรียนหมอนทอง ที่อายุการเก็บเกี่ยว 130 วัน หลังดอกบาน (Over Mature)

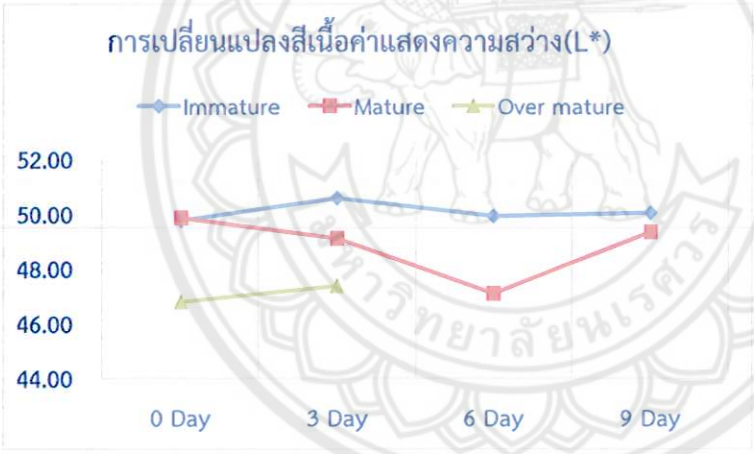
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

นำข้อมูลสเปกตรัมของผลทุเรียน (ก้านล่างและเปลือก) และข้อมูลปริมาณค่าทางเคมีที่ได้มาสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (multiple linear regression, MLR) โดยอาศัยโปรแกรม CA Maker สำหรับเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา ซึ่งการสร้างสมการเทียบมาตรฐานจากข้อมูลสเปกตรัมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ calibration set สำหรับใช้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และ validation set สำหรับใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐาน ในสัดส่วน calibration set ต่อ validation set เท่ากับ 3:2

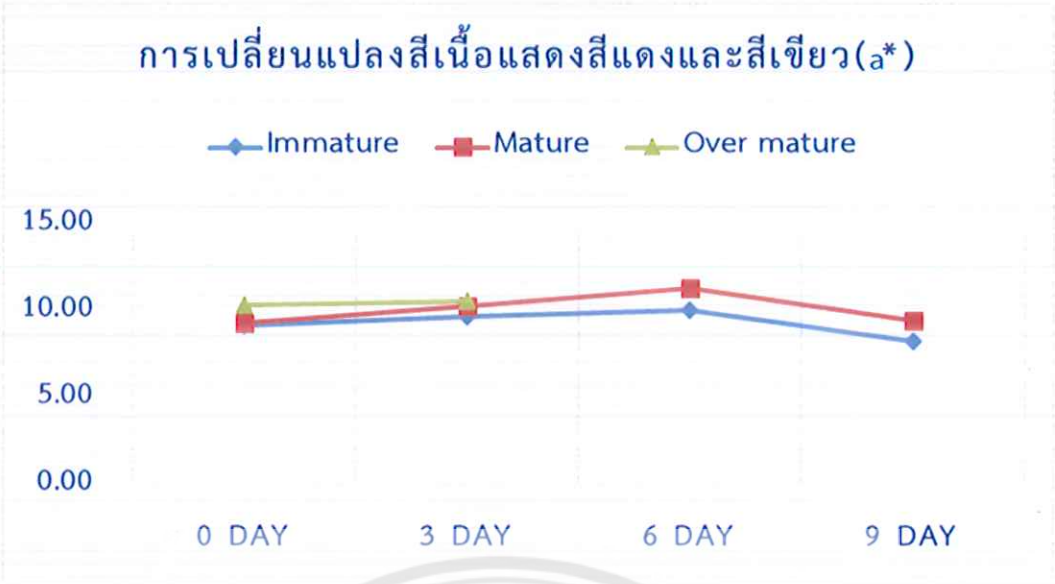


ภาพที่ 10 น้ำหนักแห้ง (เนื้อ) ของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

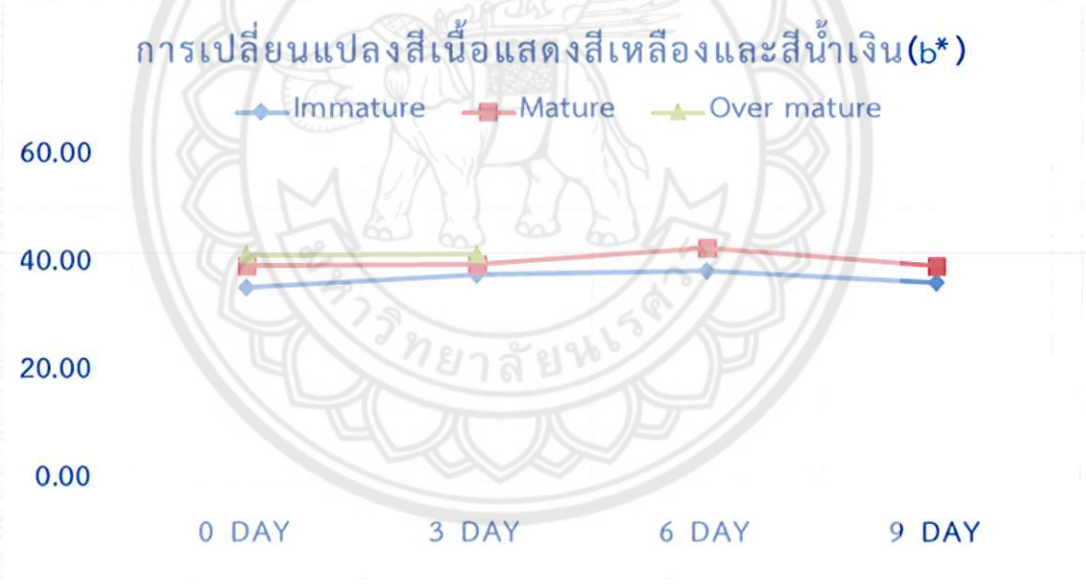
ภาพที่ 11 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ระดับ**อายุการ**เก็บเกี่ยว 3 ระดับและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อค่าแสดงความสว่าง (L*) ที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อแสดงสีแดงและสีเขียว (a*) ที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อแสดงสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b*) ที่ระดับอายุการเก็บเกี่ยว 3 ระดับและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มค่าทางเคมี (น้ำหนักแห้ง, DM) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker

กลุ่ม	sample name	DM	กลุ่ม	sample name	DM
calibration	001-0d-1I	17.87	calibration	031-3d-6V	34.79
calibration	002-0d-2I	22.97	calibration	032-3d-7V	40.17
calibration	003-0d-3I	9.02	calibration	033-3d-8V	33.51
validation	004-0d-4I	17.41	calibration	034-3d-9V	36.28
validation	005-0d-5I	12.03	validation	035-3d-10V	36.71
calibration	006-0d-1M	39.39	validation	036-3d-11V	38.53
calibration	007-0d-2M	41.46	validation	037-3d-12V	40.76
calibration	008-0d-3M	29.33	validation	038-3d-13V	40.33
validation	009-0d-4M	30.76	validation	039-3d-14V	40.17
validation	010-0d-5M	35.91	validation	040-3d-15V	39.80
calibration	011-0d-1V	25.97	validation	041-3d-16V	38.32
calibration	012-0d-2V	40.54	calibration	042-6d-1I	12.37
calibration	013-0d-3V	43.78	calibration	043-6d-2I	10.77
validation	014-0d-4V	41.29	calibration	044-6d-3I	25.87
validation	015-0d-5V	37.00	calibration	045-6d-4I	22.09
calibration	016-3d-1I	19.72	validation	046-6d-5I	15.17
calibration	017-3d-2I	25.96	validation	047-6d-6I	10.29
calibration	018-3d-3I	20.00	calibration	048-6d-1M	35.28
validation	019-3d-4I	21.28	calibration	049-6d-2M	41.55
validation	020-3d-5I	19.02	validation	050-6d-3M	33.93
calibration	021-3d-1M	42.05	validation	051-6d-4M	31.36
calibration	022-3d-2M	26.48	calibration	052-9d-1I	21.35
calibration	023-3d-3M	41.35	calibration	053-9d-2I	13.89
calibration	024-3d-4M	37.93	validation	054-9d-3I	15.63
validation	025-3d-5M	41.49	calibration	055-9d-1M	29.98
calibration	026-3d-1V	41.59	calibration	056-9d-2M	28.65
calibration	027-3d-2V	38.27	calibration	057-9d-3M	32.32
calibration	028-3d-3V	43.27	validation	058-9d-4M	25.65

กลุ่ม	sample name	DM	กลุ่ม	sample name	DM
calibration	029-3d-4V	38.88	validation	059-9d-5M	24.98
calibration	030-3d-5V	43.15	validation	060-9d-6M	29.09

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มค่าทางเคมี (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด, TSS) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker

กลุ่ม	sample name	%Brix	กลุ่ม	sample name	%Brix
calibration	001-0d-1I	9.50	calibration	031-3d-6V	46.90
calibration	002-0d-2I	7.90	calibration	032-3d-7V	46.40
calibration	003-0d-3I	8.40	calibration	033-3d-8V	32.90
validation	004-0d-4I	5.70	calibration	034-3d-9V	34.90
validation	005-0d-5I	6.00	validation	035-3d-10V	37.10
calibration	006-0d-1M	15.80	validation	036-3d-11V	33.80
calibration	007-0d-2M	11.10	validation	037-3d-12V	34.40
calibration	008-0d-3M	7.50	validation	038-3d-13V	37.00
validation	009-0d-4M	13.30	validation	039-3d-14V	37.20
validation	010-0d-5M	13.40	validation	040-3d-15V	40.50
calibration	011-0d-1V	32.80	validation	041-3d-16V	39.00
calibration	012-0d-2V	33.50	calibration	042-6d-1I	18.10
calibration	013-0d-3V	38.60	calibration	043-6d-2I	15.10
validation	014-0d-4V	39.80	calibration	044-6d-3I	16.90
validation	015-0d-5V	38.80	calibration	045-6d-4I	22.30
calibration	016-3d-1I	15.30	validation	046-6d-5I	16.50
calibration	017-3d-2I	17.40	validation	047-6d-6I	16.30
calibration	018-3d-3I	9.80	calibration	048-6d-1M	32.40
validation	019-3d-4I	11.30	calibration	049-6d-2M	43.90
validation	020-3d-5I	11.30	validation	050-6d-3M	36.90
calibration	021-3d-1M	38.80	validation	051-6d-4M	42.60
calibration	022-3d-2M	14.90	calibration	052-9d-1I	10.50
calibration	023-3d-3M	42.50	calibration	053-9d-2I	7.40

กลุ่ม	sample name	%Brix	กลุ่ม	sample name	%Brix
calibration	024-3d-4M	16.30	validation	054-9d-3I	7.30
validation	025-3d-5M	23.50	calibration	055-9d-1M	13.90
calibration	026-3d-1V	37.50	calibration	056-9d-2M	12.10
calibration	027-3d-2V	39.10	calibration	057-9d-3M	14.50
calibration	028-3d-3V	41.70	validation	058-9d-4M	18.60
calibration	029-3d-4V	46.30	validation	059-9d-5M	19.82
calibration	030-3d-5V	46.40	validation	060-9d-6M	15.87

ตารางที่ 4 การแบ่งกลุ่มค่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อค่าแสดงความสว่าง (L*) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker

กลุ่ม	sample name	(L*)	กลุ่ม	sample name	(L*)
calibration	001-0d-1I	49.83	calibration	031-3d-6V	45.37
calibration	002-0d-2I	49.53	calibration	032-3d-7V	46.70
calibration	003-0d-3I	50.50	calibration	033-3d-8V	46.40
validation	004-0d-4I	49.60	calibration	034-3d-9V	47.63
validation	005-0d-5I	49.20	validation	035-3d-10V	46.83
calibration	006-0d-1M	49.63	validation	036-3d-11V	46.30
calibration	007-0d-2M	49.30	validation	037-3d-12V	47.80
calibration	008-0d-3M	50.80	validation	038-3d-13V	47.53
validation	009-0d-4M	49.47	validation	039-3d-14V	47.67
validation	010-0d-5M	49.97	validation	040-3d-15V	48.80
calibration	011-0d-1V	47.97	validation	041-3d-16V	46.43
calibration	012-0d-2V	47.63	calibration	042-6d-1I	49.33
calibration	013-0d-3V	47.27	calibration	043-6d-2I	49.67
validation	014-0d-4V	46.67	calibration	044-6d-3I	50.30
validation	015-0d-5V	44.27	calibration	045-6d-4I	49.30
calibration	016-3d-1I	50.13	validation	046-6d-5I	50.70

กลุ่ม	sample name	(L*)	กลุ่ม	sample name	(L*)
calibration	017-3d-2I	50.00	validation	047-6d-6I	50.10
calibration	018-3d-3I	51.33	calibration	048-6d-1M	45.37
validation	019-3d-4I	50.43	calibration	049-6d-2M	46.77
validation	020-3d-5I	50.90	validation	050-6d-3M	47.43
calibration	021-3d-1M	47.00	validation	051-6d-4M	48.70
calibration	022-3d-2M	50.70	calibration	052-9d-1I	49.87
calibration	023-3d-3M	48.90	calibration	053-9d-2I	50.33
calibration	024-3d-4M	49.97	validation	054-9d-3I	49.90
validation	025-3d-5M	48.83	calibration	055-9d-1M	49.00
calibration	026-3d-1V	47.90	calibration	056-9d-2M	49.77
calibration	027-3d-2V	48.07	calibration	057-9d-3M	49.20
calibration	028-3d-3V	48.67	validation	058-9d-4M	49.87
calibration	029-3d-4V	46.77	validation	059-9d-5M	49.56
calibration	030-3d-5V	48.87	validation	060-9d-6M	50.43

ตารางที่ 5 การแบ่งกลุ่มค่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อแสดงสีแดงและสีเขียว (a*) **โดยกำหนดให้** กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) **ด้วยโปรแกรม** CA-Maker

กลุ่ม	sample name	(a*)	กลุ่ม	sample name	(a*)
calibration	001-0d-1I	9.57	calibration	031-3d-6V	10.77
calibration	002-0d-2I	8.30	calibration	032-3d-7V	10.73
calibration	003-0d-3I	8.87	calibration	033-3d-8V	11.40
validation	004-0d-4I	9.33	calibration	034-3d-9V	10.63
validation	005-0d-5I	9.73	validation	035-3d-10V	10.30
calibration	006-0d-1M	9.53	validation	036-3d-11V	10.77
calibration	007-0d-2M	9.40	validation	037-3d-12V	9.67

กลุ่ม	sample name	(a*)	กลุ่ม	sample name	(a*)
calibration	008-0d-3M	8.77	validation	038-3d-13V	11.00
validation	009-0d-4M	9.53	validation	039-3d-14V	10.33
validation	010-0d-5M	9.60	validation	040-3d-15V	10.90
calibration	011-0d-1V	10.83	validation	041-3d-16V	10.60
calibration	012-0d-2V	10.23	calibration	042-6d-1I	10.27
calibration	013-0d-3V	9.70	calibration	043-6d-2I	9.93
validation	014-0d-4V	10.30	calibration	044-6d-3I	9.87
validation	015-0d-5V	10.87	calibration	045-6d-4I	10.73
calibration	016-3d-1I	10.37	validation	046-6d-5I	9.67
calibration	017-3d-2I	10.03	validation	047-6d-6I	9.80
calibration	018-3d-3I	9.00	calibration	048-6d-1M	11.70
validation	019-3d-4I	9.63	calibration	049-6d-2M	11.57
validation	020-3d-5I	9.37	validation	050-6d-3M	11.30
calibration	021-3d-1M	11.00	validation	051-6d-4M	10.87
calibration	022-3d-2M	9.37	calibration	052-9d-1I	8.80
calibration	023-3d-3M	9.97	calibration	053-9d-2I	8.63
calibration	024-3d-4M	10.20	validation	054-9d-3I	9.10
validation	025-3d-5M	10.93	calibration	055-9d-1M	9.60
calibration	026-3d-1V	10.63	calibration	056-9d-2M	9.30
calibration	027-3d-2V	9.80	calibration	057-9d-3M	9.77
calibration	028-3d-3V	10.60	validation	058-9d-4M	10.90
calibration	029-3d-4V	10.23	validation	059-9d-5M	10.02
calibration	030-3d-5V	10.77	validation	060-9d-6M	9.08

ตารางที่ 6 การแบ่งกลุ่มค่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อค่าแสดงความสว่าง (L*) โดยกำหนดให้กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและปรับเทียบ จำนวน 36 ตัวอย่าง (calibration) กลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนาย จำนวน 24 ตัวอย่าง (validation) ด้วยโปรแกรม CA-Maker

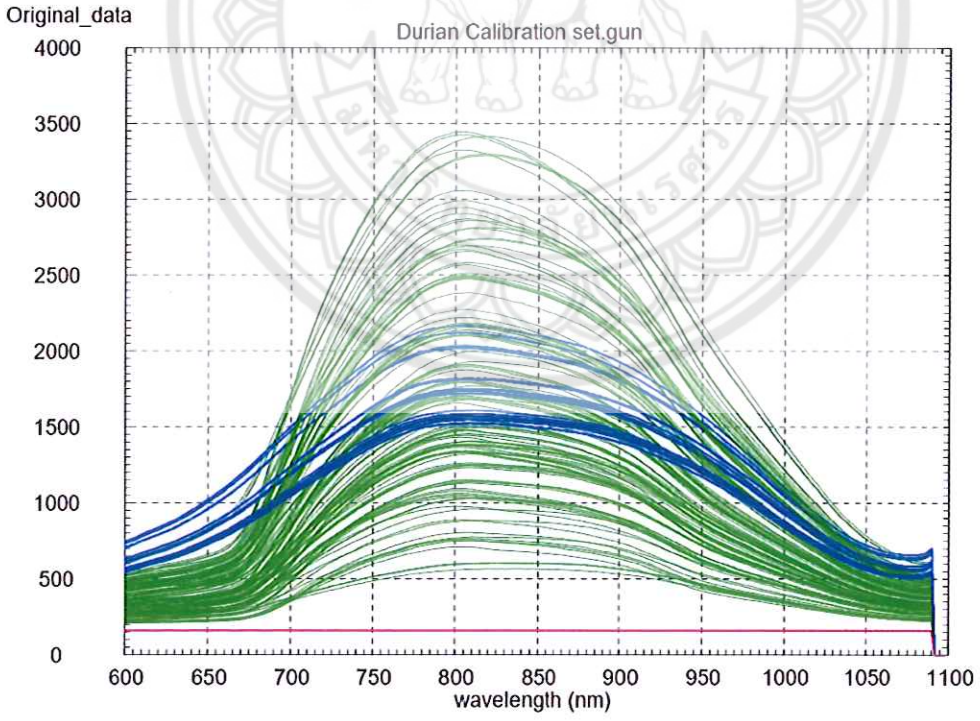
กลุ่ม	sample name	(b*)	กลุ่ม	sample name	(b*)
calibration	001-0d-1I	36.63	calibration	031-3d-6V	41.77
calibration	002-0d-2I	35.00	calibration	032-3d-7V	43.73
calibration	003-0d-3I	34.47	calibration	033-3d-8V	42.50
validation	004-0d-4I	36.83	calibration	034-3d-9V	41.60
validation	005-0d-5I	36.43	validation	035-3d-10V	42.60
calibration	006-0d-1M	42.17	validation	036-3d-11V	41.33
calibration	007-0d-2M	39.97	validation	037-3d-12V	40.43
calibration	008-0d-3M	38.93	validation	038-3d-13V	41.30
validation	009-0d-4M	38.87	validation	039-3d-14V	41.70
validation	010-0d-5M	39.70	validation	040-3d-15V	42.70
calibration	011-0d-1V	44.07	validation	041-3d-16V	42.47
calibration	012-0d-2V	41.73	calibration	042-6d-1I	37.43
calibration	013-0d-3V	39.27	calibration	043-6d-2I	36.53
validation	014-0d-4V	41.73	calibration	044-6d-3I	40.20
validation	015-0d-5V	43.20	calibration	045-6d-4I	41.60
calibration	016-3d-1I	40.40	validation	046-6d-5I	39.70
calibration	017-3d-2I	38.70	validation	047-6d-6I	38.23
calibration	018-3d-3I	35.97	calibration	048-6d-1M	41.23
validation	019-3d-4I	37.93	calibration	049-6d-2M	44.30
validation	020-3d-5I	37.97	validation	050-6d-3M	43.63
calibration	021-3d-1M	41.00	validation	051-6d-4M	44.00
calibration	022-3d-2M	38.10	calibration	052-9d-1I	38.20
calibration	023-3d-3M	39.40	calibration	053-9d-2I	35.13

กลุ่ม	sample name	(b*)	กลุ่ม	sample name	(b*)
calibration	024-3d-4M	40.13	validation	054-9d-3I	37.27
validation	025-3d-5M	41.77	calibration	055-9d-1M	40.57
calibration	026-3d-1V	42.23	calibration	056-9d-2M	40.00
calibration	027-3d-2V	40.97	calibration	057-9d-3M	39.20
calibration	028-3d-3V	42.77	validation	058-9d-4M	39.54
calibration	029-3d-4V	43.67	validation	059-9d-5M	40.65
calibration	030-3d-5V	41.93	validation	060-9d-6M	40.14

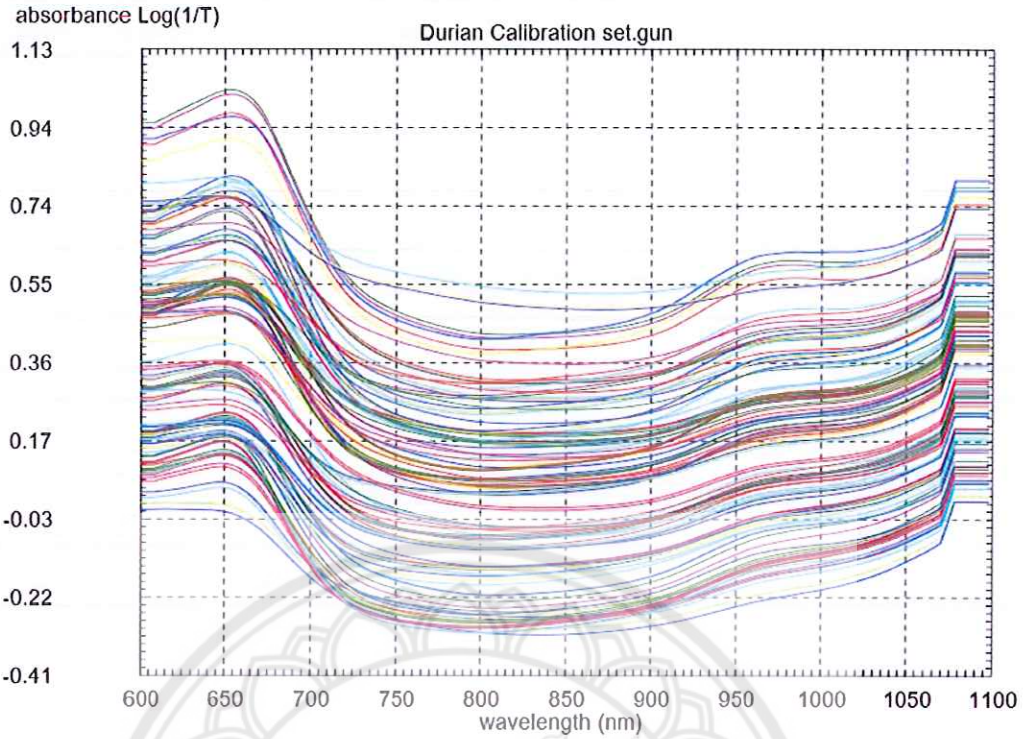
4.2 สเปกตรัมของทุเรียนหมอนทอง

จากการวัดสเปกตรัมของทุเรียนหมอนทองด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan) ได้สเปกตรัม ดังภาพที่ 15

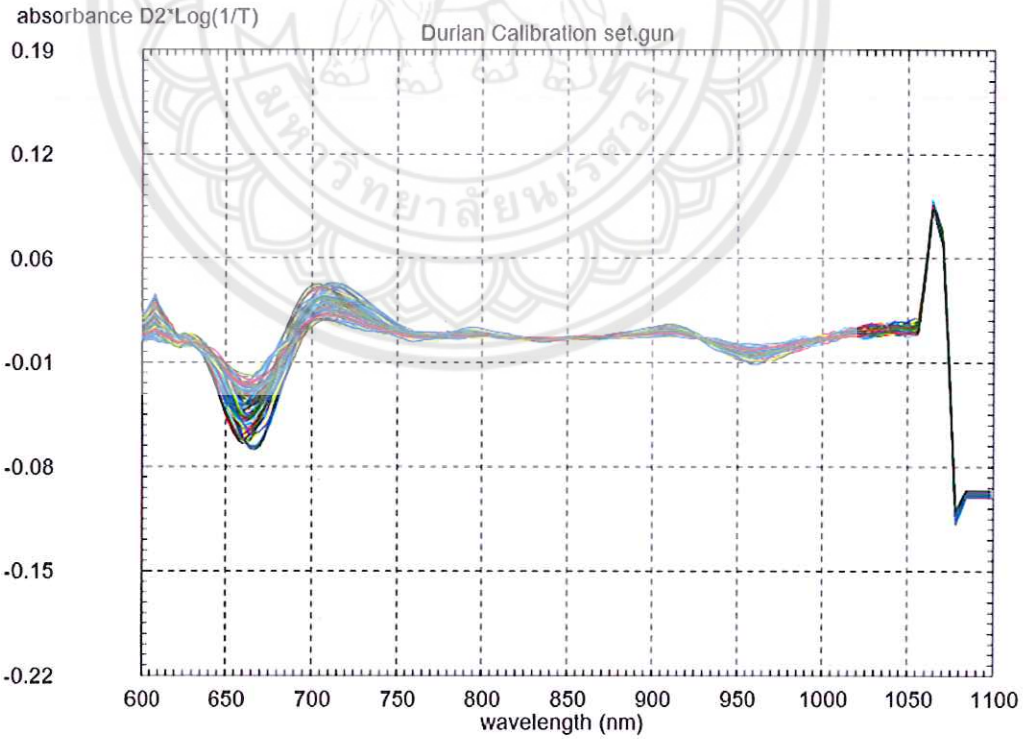
สเปกตรัมของทุเรียนหมอนทองที่วัดด้วยเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา เกิดการยกตัวสูงขึ้น จึงต้องมีการปรับแต่งสเปกตรัมเบื้องต้น (Second derivative spectrum) ก่อนการสร้างสมการเทียบมาตราฐาน เพื่อลดอิทธิพลบางอย่างที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างดังภาพที่ 15



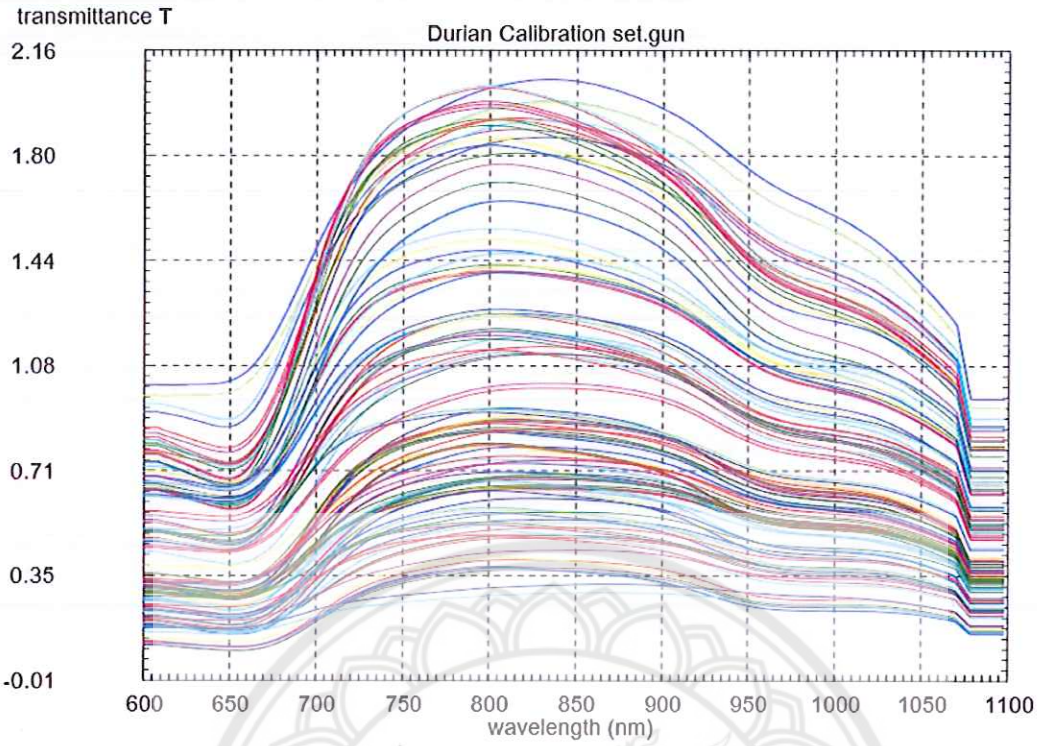
ภาพที่ 15 สเปกตรัม (Original spectrum) ของทุเรียนหมอนทองที่วัดด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan)



ภาพที่ 16 สเปกตรัม (absorbance spectrum) ของทุเรียนหมอนทองที่**วัดด้วยเครื่อง** NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan)



ภาพที่ 17 สเปกตรัม (absorbance 2 nd Dev spectrum) ของทุเรียนหมอนทองที่วัดด้วยเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan)



ภาพที่ 18 สเปกตรัม (Transmittance spectrum) ของทุเรียนหมอนทองที่วัดด้วย**เครื่อง** NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN, Japan)

4.3 การสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยเครื่อง NIR Spectrometer **แบบพกพา**

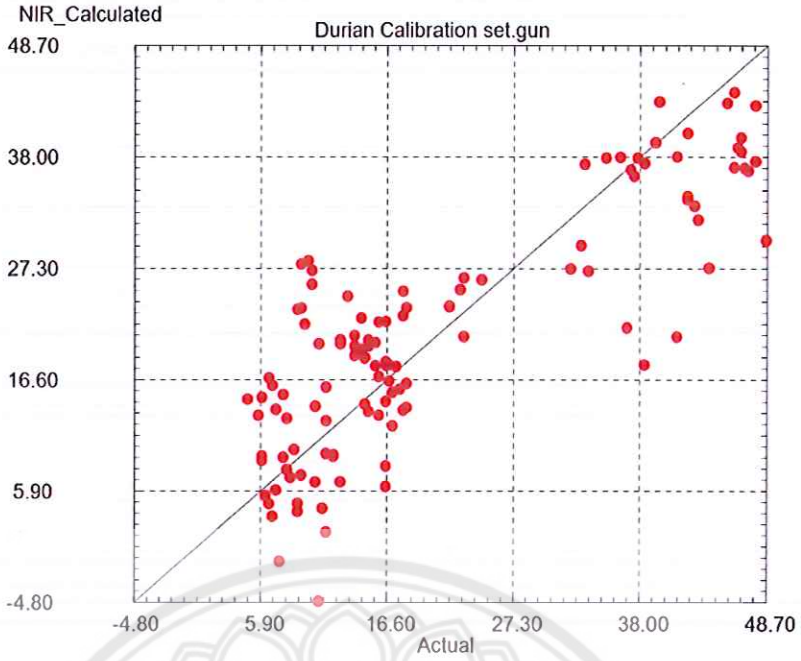
1) สมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%Brix) **ของทุเรียนหมอนทอง** ที่ตำแหน่งการวัดเปลือกกลางผล

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา มีผลการสร้าง scatter plots แสดงความ**สัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนาย**และค่าจริงที่วัดได้ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (บริกซ์ (%Brix)) **ดังแสดงในภาพที่ 19 สามารถ**สร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณบริกซ์ (%Brix) **ได้ โดยมีค่า** correlation coefficient (R) = 0.8282 ค่า standard error of calibration (SEC) = 7.8133

สมการทำนายร้อยละของของแข็งที่ละลายน้ำได้บริกซ์ (%Brix) ที่สร้างด้วยวิธี MLR **จาก**เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา แสดงสมการดังนี้

$$\text{Brix (\%)} = 29.4571 + 1879.4510A_{728} - 4787.7780A_{744} + 7407.5088\ A_{768} + 3540.6479A_{936} - 2377.1112\ _{1020}$$

โดยที่ A_x คืออนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น x nm



ภาพที่ 19 scatter plots ของสมการมาตรฐานของปริมาณค่า %Brix ของ**ทุเรียนหมอนทอง ที่ตำแหน่งการวัดเปลือกกลางผล**

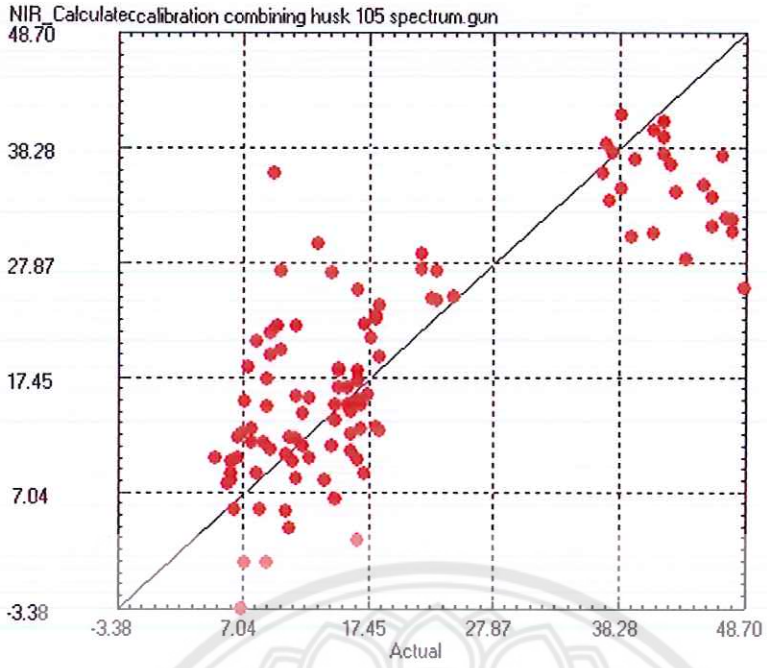
2) สมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%Brix) ของทุเรียนหมอนทอง ที่ตำแหน่งการวัดก้านล่าง

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา มีผลการสร้าง scatter plots แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริงที่วัดได้ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (บริกซ์ (%Brix) ดังแสดงในภาพที่ 20 สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณบริกซ์ (% Brix) ได้ โดยมีค่า correlation coefficient (R) = 0.6182 ค่า standard error of calibration (SEC) = 9.1297

สมการทำนายร้อยละของของแข็งที่ละลายน้ำได้บริกซ์ (%Brix) ที่สร้างด้วยวิธี MLR จากเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา แสดงสมการดังนี้

$$\text{Brix (\%)} = 27.8980 + 20225.1562A_{780} - 18812.0469A_{796} + 43857.4297A_{820} + 15294.5928A_{968} - 9894.8906A_{996}$$

โดยที่ A_x คืออนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น x nm



ภาพที่ 20 scatter plots ของสมการมาตรฐานของปริมาณค่า %Brix ของทุเรียนหม**อนทอง** ที่ตำแหน่งการวัดก้านล่าง

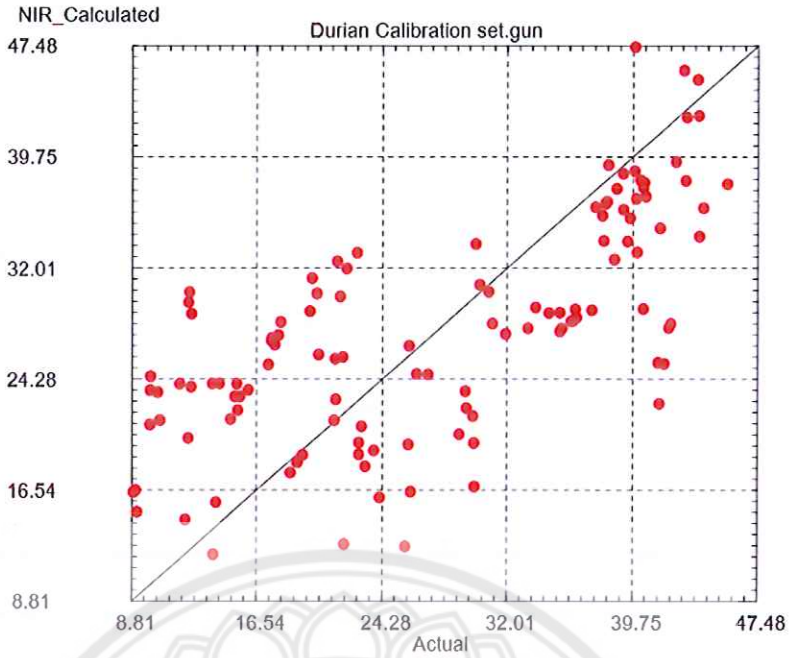
3) สมการเทียบมาตรฐานน้ำหนักแห้ง (%DM) ของทุเรียนหมอนทอง ที่ตำแหน่งการวัดเปลือกกลางผล

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา มีผลการสร้าง scatter plots แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริงที่วัดได้ของน้ำหนักแห้ง (%DM) ดังแสดงใน**ภาพที่** 21 สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายน้ำหนักแห้ง (%DM) ได้ โดยมีค่า correlation coefficient (R) = 0.7205 ค่า standard error of calibration (SEC) = 8.2851

สมการทำนายร้อยละของน้ำหนักแห้ง ที่สร้างด้วยวิธี MLR จากเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา แสดงสมการดังนี้

$$DM\ (\%) = 72.6922 + 8221.6446A_{784} - 10235.0778A_{800} + 8657.6124\ A_{928} - 8939.2326A_{964} + 2467.3258A_{1044}$$

โดยที่ A_x คืออนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น x nm



ภาพที่ 21 scatter plots ของสมการมาตรฐานของน้ำหนักแห้ง ของ**ทุเรียนหมอนทอง ตำแหน่งการวัดเปลือกกลางผล**

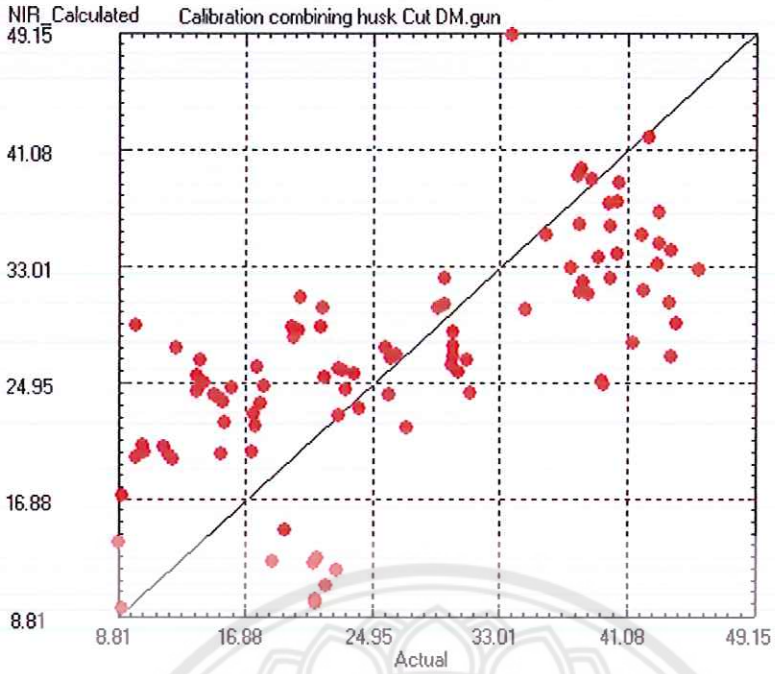
4) สมการเทียบมาตรฐานน้ำหนักแห้ง (%DM) ของทุเรียนหมอนทอง **ที่ตำแหน่งการวัดก้านล่าง**

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา มีผลการสร้าง scatter plots แสดง**ความสัมพันธ์**ระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริงที่วัดได้ของน้ำหนักแห้ง (%DM) ดัง**แสดงในภาพที่** 22 **สามารถ**สร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (%DM) **ได้** โดยมีค่า correlation coefficient (R) = 0.6182 ค่า standard error of calibration (SEC) = 9.1297

สมการทำนายร้อยละของน้ำหนักแห้ง ที่สร้างด้วยวิธี MLR จากเครื่อง NIR spectrometer **แบบพกพา** แสดงสมการดังนี้

$$DM\ (\%) = 30.6644 + 3000.9102A_{760} + 5282.1691A_{836} - 3371.3013A_{896} - 3988.3735A_{944} + 4677.2959A_{976}$$

โดยที่ A_x คืออนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น x nm



ภาพที่ 22 scatter plots ของสมการมาตรฐานของน้ำหนักแห้ง ของทุเรียนห**มอนทอง** ตำแหน่งการวัดก้านล่าง

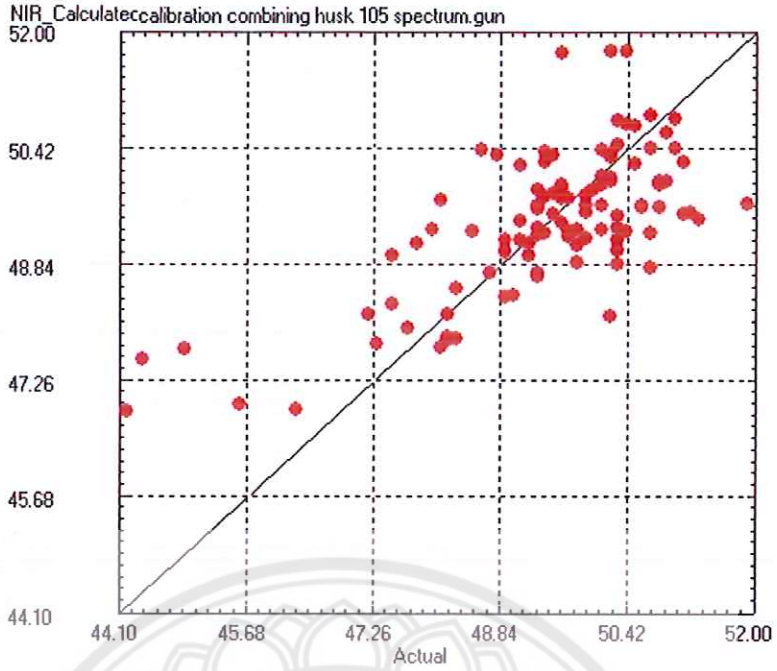
5) สมการเทียบมาตรฐานค่าสีเนื้อ (L*) ของทุเรียนหมอนทอง

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา มีผลการสร้าง scatter plots แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริงที่วัดได้ของค่าสีเนื้อ (L*) ดังแสดงในภาพที่ 23 สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่าสีเนื้อ (L*) ได้ โดยมีค่า correlation coefficient (R) = 0.6724 ค่า standard error of calibration (SEC) = 1.0468

สมการทำนายค่าสีเนื้อ (L*) ที่สร้างด้วยวิธี MLR จากเครื่องNIR spectrometer แบบพกพา แสดงสมการดังนี้

ค่าสีเนื้อ (L*) $= 50.2369 - 583.9539A_{768} - 940.7743A_{856} + 950.5635A_{884} - - 1140.7928A_{940} + 470.0110A_{964}$

โดยที่ A_x คืออนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น x nm



ภาพที่ 23 scatter plots สมการมาตรฐานค่าสีเนื้อ (L*) ของทุเรียนหมอนทอง

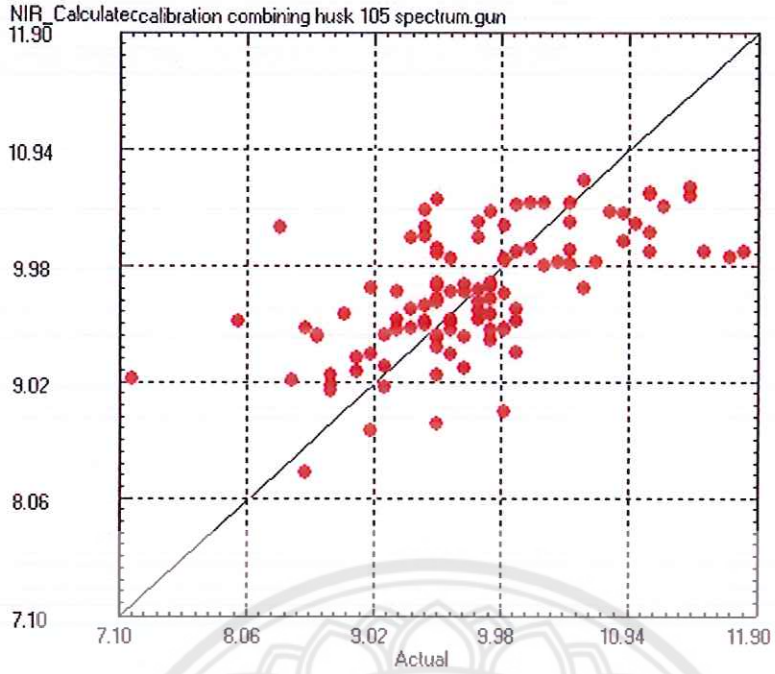
6) สมการเทียบมาตรฐานค่าสีเนื้อ (a*) ของทุเรียนหมอนทอง

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา มีผลการสร้าง scatter plots แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริงที่วัดได้ของค่าสีเนื้อ (a*) ดังแสดงในภาพที่ 24 สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่าสีเนื้อ (a*) ได้ โดยมีค่า correlation coefficient (R) = 0.6235 ค่า standard error of calibration (SEC) = 0.6547

สมการทำนายค่าสีเนื้อ (a*) ที่สร้างด้วยวิธี MLR จากเครื่องNIR spectrometer แบบพกพา แสดงสมการดังนี้

ค่าสีเนื้อ (a*) $= 9.8964 + 561.9805A_{816} - 670.9630A_{896} + 612.0114A_{920} - 219.4916A_{996} - 165.2016A_{1040}$

โดยที่ A_x คืออนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น x nm



ภาพที่ 24 scatter plots สมการมาตรฐานค่าสีเนื้อ (a*) ของทุเรียนหมอนทอง

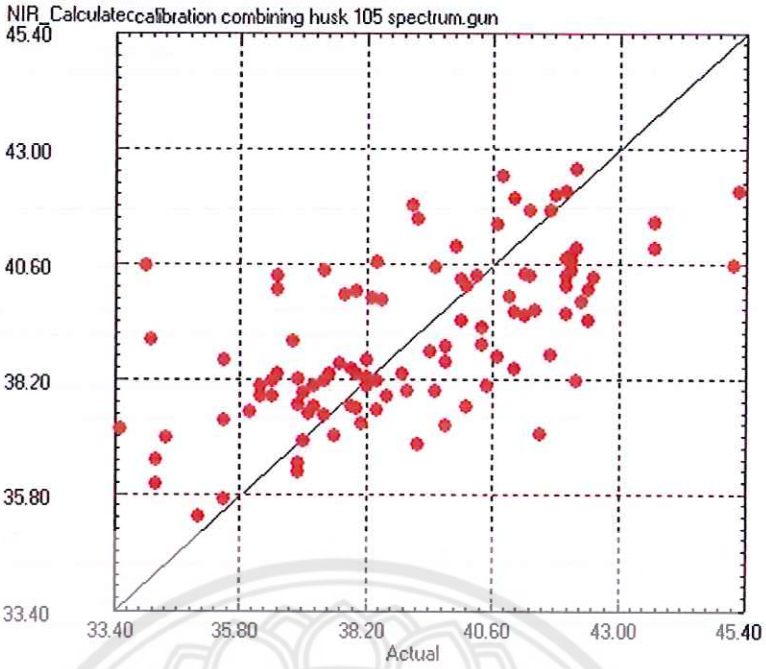
7) สมการเทียบมาตรฐานค่าสีเนื้อ (b*) ของทุเรียนหมอนทอง

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา มีผลการสร้าง scatter plots แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริงที่วัดได้ของค่าสีเนื้อ (b*) ดังแสดงในภาพที่ 25 สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่าสีเนื้อ (b*) ได้ โดยมีค่า correlation coefficient (R) = 0.6392 ค่า standard error of calibration (SEC) = 2.0280

สมการทำนายค่าสีเนื้อ (b*) ที่สร้างด้วยวิธี MLR จากเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา แสดงสมการดังนี้

ค่าสีเนื้อ (b*) = 43.0476 - -1504.3265A_{896} + 2093.2932A_{920} - 477.0039A_{996} - 483.0529A_{1020} - 593.4571A_{1036}

โดยที่ A_x คืออนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น x nm



ภาพที่ 25 scatter plots สมการมาตรฐานค่าสีเนื้อ (b*) ของทุเรียนหมอนทอง

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยปรับสเปก**ตรัมในการสร้างสมการ** calibration เพื่อประเมินปริมาณค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้ง (DM) **ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด** (TSS) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (L*) (a*) และ (b*)

parameter	ตำแหน่งที่วัดสเปกตรัม	Rc	SEC
น้ำหนักเนื้อแห้ง (DM)	เปลือกผล	0.8282	0.8282
	ก้านล่าง	0.6182	0.6182
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	เปลือกผล	0.7205	0.6881
ทั้งหมด (TSS)	ก้านล่าง	0.6182	9.1297
ค่าสีเนื้อ (L*)	เปลือกผล	0.6724	1.0468
ค่าสีเนื้อ (a*)	เปลือกผล	0.6235	0.6547
ค่าสีเนื้อ (b*)	เปลือกผล	0.6392	2.0280

หมายเหตุ: R = correlation coefficient, SEC = ค่า standard error of calibration

4.4 การทดสอบสมการแคลิเบรชั่น

1 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณน้ำหนักแห้ง

1.1 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ที่ตำแหน่งการวัดกลางผล

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยมีค่า ค่า standard error of prediction (SEP) = 12.2858 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -7.3039

1.2 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ที่ตำแหน่งการวัดก้านล่าง

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยมีค่า ค่า standard error of prediction (SEP) = -0.1141 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -13.6084

1.3 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณน้ำหนักแห้งที่ตำแหน่งการวัดกลางผล

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณน้ำหนักแห้งได้ โดยมีค่า standard error of prediction (SEP) = 10.3583 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -4.8486

1.4 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณน้ำหนักแห้ง ที่ตำแหน่งการวัดก้านล่าง

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณน้ำหนักแห้งได้ โดยมีค่า standard error of prediction (SEP) = 0.1399 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -7.7692

1.5 สมการเทียบมาตรฐานค่าสีเนื้อ (L*)

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่าสีเปลือก (L*) ได้ โดยมีค่า standard error of prediction (SEP) = 0.2403 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = 1.8494

1.6 สมการเทียบมาตรฐานค่าสีเนื้อ (a*)

เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่าสีเปลือก (a*) ได้ โดยมีค่า ค่า standard error of prediction (SEP) = 0.0159 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -0.4546

1.7 สมการเทียบมาตรฐานค่าสีเนื้อ (b*)

เครื่อง NIR Spectrometer แบบ สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่าสีเปลือก (a*) โดยมีค่า standard error of prediction (SEP) = 0.2299 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -1.5138

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยปรับสเปกตรัมในการสร้างสมการ Valibration เพื่อประเมินปริมาณค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้ง (DM) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (L*) (a*) และ (b*)

parameter	ตำแหน่งที่วัดสเปกตรัม	SEC	Bias
น้ำหนักเนื้อแห้ง (DM)	เปลือกผล	12.2858	12.2858
	ก้านล่าง	-0.1141	-0.1141
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	เปลือกผล	10.3583	10.3583
ทั้งหมด (TSS)	ก้านล่าง	0.1399	0.1399
ค่าสีเนื้อ (L*)	เปลือกผล	0.2403	0.2403
ค่าสีเนื้อ (a*)	เปลือกผล	0.0159	0.0159
ค่าสีเนื้อ (b*)	เปลือกผล	0.2299	0.2299

หมายเหตุ: R = correlation coefficient, SEC = ค่า standard error of calibration, SEP = ค่า standard error of prediction และ bias = ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย

จากตาราง แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าที่ทำนาย และค่าจริงของปริมาณทางเคมีใน validation set จะเห็นว่าค่าทำนายปริมาณทางเคมีอยู่ใกล้เส้นทแยงมุม (target line) บ่งบอกถึงการทำนายได้อย่างถูกต้องในระดับหนึ่ง

4.5 ตรวจสอบความแม่นยำและทดสอบสมการแคลิเบรชั่น

การประเมินผลความสามารถของสมการแคลิเบรชั่นสามารถอธิบายได้จากค่าทางสถิติ RPD (Ratio of standard error of Performance to standard Deviation) ซึ่งสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมี และค่า SEP ของตัวอย่างในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการแคลิเบรชั่นและค่าสถิติ R โดยใช้แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชั่นจากตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชั่นด้วยค่า R

ค่า R	ความสามารถของสมการแคลิเบรชั่น
± 0.5	ไม่ควรใช้ในการทำนาย (Not usable)
± 0.51 – 0.70	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ (poor correlation)
± 0.71 – 0.80	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)
± 0.81 – 0.90	การทำนายเพื่อแบ่งระดับปริมาณ หรือ ประมาณค่าเบื้องต้น (screening)
± 0.91 – 0.95	การทำนายเพื่องานวิจัย (research) และงานทั่วไป
± 0.96 – 0.98	การทำนายเพื่อการประกันคุณภาพ (quality assurance)
± 0.99 ขึ้นไป	ทุกงาน (any application)

ที่มา:รณฤทธิ์ ฤทธิรณ,2555

ตารางที่ 10 การตรวจสอบความแม่นยำและทดสอบความสามารถของสมการแคลิเบรชั่นด้วยค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)

parameter	ตำแหน่งที่วัดสเปกตรัม	R	ความสามารถของสมการแคลิเบรชั่นด้วยค่า R
น้ำหนักเนื้อแห้ง (DM)	เปลือกผล	0.8282	screening
	ก้านล่าง	0.6182	poor correlation
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS)	เปลือกผล	0.7205	rough screening
	ก้านล่าง	0.6182	poor correlation
ค่าสีเนื้อ (L*)	เปลือกผล	0.6724	poor correlation
ค่าสีเนื้อ (a*)	เปลือกผล	0.6235	poor correlation
ค่าสีเนื้อ (b*)	เปลือกผล	0.6392	poor correlation

หมายเหตุ: R = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

การตรวจสอบคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปี มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปีในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อการส่งออก สามารถสรุปและวิจารณ์ผลได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

การทดลองการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิค Near Infrared (NIR) Spectroscopy

พบว่า การใช้เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา รุ่น FQA-NIRGUN (FANTEC, Japan) ในช่วงคลื่นสั้น ความยาวคลื่น 700-1100 nm โดยวัดสเปคตรัมที่ตำแหน่งเปลือกกลางผลทุเรียนหมอนทอง สามารถใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและประเมินปริมาณของน้ำหนักเนื้อแห้ง (ค่า correlation coefficient (R) = 0.8282 ค่า standard error of calibration (SEC) = 7.8133 standard error of prediction (SEP) = 1.67% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = 0%) ปริมาณแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ค่า correlation coefficient (R) = 0.7205 ค่า standard error of calibration (SEC) = 8.2851 standard error of prediction (SEP) = 10.3583 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -4.8486 ค่าสีเนื้อ (L*) (ค่า correlation coefficient (R) = 0.6724 ค่า standard error of calibration (SEC) = 1.0468 standard error of prediction (SEP) = 0.2403 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = 1.8494 ค่าสีเนื้อ (a*) (ค่า correlation coefficient (R) = 0.6235 ค่า standard error of calibration (SEC) = 0.6547 standard error of prediction (SEP) = 0.0159 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -0.4546 และค่าสีเนื้อ (b*) (ค่า correlation coefficient (R) = 0.6392 ค่า standard error of calibration (SEC) = 2 . 0 2 8 0 standard error of prediction (SEP) = 0.2299 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -1.5138 โดยให้ค่าทำนายใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ทางเคมีแบบดั้งเดิม สามารถวิเคราะห์คุณภาพได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ทำลายผลิตผล

อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองการประเมินคุณภาพทุเรียนหมอนทองแบบไม่ทำลายผลิตผล โดยใช้เทคนิค Near Infrared (NIR) Spectroscopy

การใช้เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพาโดยวัดสเปคตรัมที่ตำแหน่งเปลือกกลางผลทุเรียนหมอนทอง สามารถใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและประเมินปริมาณน้ำหนักเนื้อแห้ง ปริมาณแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ค่าสีเนื้อของทุเรียนหมอนทอง แบบไม่ทำลายผลิตผลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพของทุเรียนหมอนทองเป็นการตรวจสอบแบบทำลายผลิตผลจึงไม่เป็นที่นิยมและไม่สามารถตรวจสอบผลผลิตทุกผลได้ จึงยังพบปัญหาความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพผลผลิตที่ทำการเก็บเกี่ยวและวางจำหน่าย การใช้เครื่อง Near Infrared Spectrometer ในการตรวจสอบคุณภาพผลผลิตจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ และสามารถตรวจสอบคุณภาพได้อย่าง

รวดเร็ว เทคนิค Near Infrared Spectroscopy เป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งที่มีศักยภาพสูงสามารถนำไปใช้จริง โดยการประเมินปริมาณน้ำหนักเนื้อแห้งในทุเรียนหมอนทองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Clark, et al. (2003) หาน้ำหนักแห้งในอะโวกาโดพันธุ์แฮสด้วยเทคนิคสเปกตรัมย่านใกล้อินฟาเรดและงานวิจัยของ รณฤทธิ์ ฤทธิรณ และคณะ (2554) ผลอะโวกาโดจะถูกวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพารุ่น FQA-NIR GUN (Fantec, Japan) บริเวณแก้มผลสามารถทำนายค่าน้ำหนักแห้งของผลอะโวกาโดพันธุ์บัคคาเนียร์ที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และไม่ทำลาย ส่วนการประเมินปริมาณแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในทุเรียนหมอนทองจะสอดคล้องกับการประเมินคุณภาพของผลฝรั่งแบบไม่ทำลายเพื่อการค้าในเชิงพาณิชย์ ระบบการทำนายคุณภาพ (ปริมาณความหวาน) แบบไม่ทำลายถูกสร้างขึ้นโดยสร้างความสัมพันธ์คุณภาพกับการดูดกลืนพลังงานย่าน Near Infrared (NIR) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ โดยผลฝรั่งถูกวัดสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปคโตรมิเตอร์แบบพกพา ผลการสร้างระบบพบว่า สามารถทำนายปริมาณความหวานได้อย่างแม่นยำ โดยค่าที่ทำนายได้จากสมการไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (รณฤทธิ์ ฤทธิรณ และคณะ, 2551) และยังสอดคล้องกับการประเมินค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลส้มทั้งผลด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นระหว่าง 700-1100 นาโนเมตร พบว่าสมการ calibration จากวิธี Modify Partial Least Component Regression (MPLSR) และ Multiple Linear Regression (MLR) สามารถทำนายค่าทางเคมีได้แม่นยำใกล้เคียงกัน (ธงชัย ยันตรศรี และคณะ, 2546) และการทำนายความหวานของมะม่วง (Sarangwong, et al., 2001) ทำนายปริมาณ soluble solids content และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื้อผลกีวี เปรียบเทียบกับความหนาแน่นของผลที่คัดแยกโดยการลอยน้ำ (McGlone, et al., 2002) ทำนายปริมาณ soluble solids content ในผลมะละกอฮาวายพันธุ์ Kapoho solo (Slaughter, et al., 1999) และในผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย (สุพรพรรณ ศรีมาศ และคณะ, 2553; พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล และคณะ, 2554)

ในทางการค้าและการจำหน่ายทุเรียนหมอนทองผลสด ผลทุเรียนจะต้องมีก้านผลติดไปด้วย ถ้าไม่มีก้านผล จะไม่ค่อยได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคเข้าใจว่าเป็นทุเรียนที่สุกและหล่นจากต้น ดังนั้นการวัดคุณภาพด้วยเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา จึงมีความเหมาะสมมากกว่าในการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ เพราะสามารถทำนายคุณภาพแบบไม่ทำลายด้วยการวัดสเปกตรัมที่เปลือกผล

จากค่าการทำนายพบว่า การทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งจากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานให้ค่าความแม่นยำมากที่สุด ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดในมาตราฐานสินค้าเกษตรของทุเรียน (กษ. 3-2556) ซึ่งกำหนดให้ทุเรียนหมอนทองมีค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้ง มากกว่า 32% แต่ในงานวิจัยพบว่าทุเรียนหมอนทองที่สุกแก่ ควรมีค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้ง มากกว่า 38.6% ขึ้นไป ดังนั้น การวัดคุณภาพค่าร้อยละน้ำหนักเนื้อแห้งแบบไม่ทำลายที่เปลือกผล ด้วยการใช้เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. การทำนายความสุกแก่ของทุเรียนหมอนทองด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้นั้น สมการแคลิเบรชั่นที่ถูกสร้างขึ้น สร้างจากผลผลิตทุเรียนหมอนทอง 1 ฤดูกาลเพาะปลูก ถ้าในอนาคตจะให้สมการแคลิเบรชั่นมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และเกิดความผิดพลาดในการทำนายหรือไบแอส (Bias) น้อยที่สุด จะต้องใช้เวลาประมาณ 3-4 ปี จึงจะครอบคลุมความแปรปรวนของฤดูกาลในการเพาะปลูก (3-4 ฤดูกาลเพาะปลูก)

บรรณานุกรม

A.O.A.C. 1989. J Assoc. Off. Anal Chem. 72. 694-704.

A.O.A.C. 1990. Official Method of Analysis 15th Edition, Association of Official Analytical

Aron DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiol. 24, 1–15.

Ashraf , M.A., M.J. Maah and I. Yusoff. 2010. Estimation of antioxidant phytochemicals in four different varieties of durian (Durio Zibethinus Murray) fruit. Middle-East Journal of Scientific Research 6(5): 465-471.

Benbouza H., Jacquemin J.M., Baudoin J.P., Mergeai G. 2006. Optimization of a reliable, fast, cheap and sensitive silver staining method to detect SSR markers in polyacrylamide gels. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 10(2): 77–81.

Brown, M.J. 1997. *Durio* - A Bibliographic Review. IPGRI office for South Asia, New Delhi. 196 p. Chemists Washington, D. U.S.A

Doyle JJ, Doyle JL. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochem Bull 19:11-15

Guthrie, J. and K. Walsh. 1997. Noninvasive assessment of pineapple and mango fruit quality using near infra-red spectroscopy. Austral. J. Expt. Agr. 37:253-263.

Hatton, T.1., W.F. Reeder, and C.W. Campbell. 1965. Ripening and storage of Florida mangos. U.S. Dept. Agr. Market Res. Rpt. 725.

ISMI PUJI R., SUPRIYADI, PARJANTO. 2009. Variability analysis of Sukun durian plant (Durio zibethinus) based on RAPD marker. Bioscience. Vol. 1, No. 2, Pp. 84-91

Kader, A.A. 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd Ed. University of California Agriculture and Natural Resources Publication 3311, California. 535 p.

Kanes, 0., M. Boulet, and F. Costaigne. 1982. Effect of chilling injury on texture and fungal root of mangoes (*Mangifera indica* L.). J. Food Sei. 47:992-995.

Kawano, S., Abe, H., 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. J. *Near Infrared Spectrosc.,* 3:211-218.

Kawano, S., Fujiwara, T., Iwamoto, M., 1993. Nondestructive determination of sugar content in Satsum mandarin using near infrared transmittance. J. *Japanese Society of Horticultural Science,* 62(2):465-470.

Kawano, S., Watanabe, H., Iwamoto, M., 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode. J. *Japanese Society of Horticultural Science,* 61:445-451.

Kunkeaw, S., Tangphatsornruang, S., Smith, D.R., and K. Triwitayakorn, K., 2010. Genetic linkage map of cassava (Manihot esculenta Crantz) based on AFLP and SSR markers. Plant Breeding. 129:1 p 112–115.

Lalel, H.J.D., Singh, Z., Tan, S.C., 2003. Maturity stage at harvest affects fruit ripening, quality and biosynthesis of aroma volatile compounds in 'Kensington Pride' mango. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 78, 225–233.

Lammertvn, J., B. Nicolal, K. Ooms, V. Dc Smedt, and J. Dc Baerdemaekcr. 1998. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR spectroscopy. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 41:1089-1094.

Leontowicz, H., M. Leontowicz, R. Haruenkit, S. Poovarodom, Z. Jastrzebski, J. Drzewiecki, A.L.M. Ayala, I. Jesion, S. Trakhtenberg and S. Gorinstein. 2008. Durian (*Durio zibethinus* Murr.) cultivars as nutritional supplementation to rat's diets. Food and Chemical Toxicology 46: 581–589.

Mahavothee, B., W. Muhlhauer, S. Neihart, M. Leitenberger, and R. Carle. 2004.Nondestructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy. Acta Hort. 645:581-588.

Maninang, J.S., C. Wongs-Aree, S. Kanlayanarat, S. Sugaya and H. Gemma. 2011. Influence of maturity and postharvest treatment on the volatile profile and physiological properties of the durian (*Durio zibethinus* Murray) fruit. International Food Research Journal 18(3): 1067-1075.

McGlone, V.A. and S. Kawano. 1998. Firmness, dry, matter and soluble solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. Postharvest Biol. Technol. 13:131-141.

McGlone, V.A., D.G. Fraser, R.B. Jordan, and R. Kunnemeyer. 2003. Internal quality assessment of mandarin fruit b y vis/ NIP. spectroscopy. J. Near Infrared Spectroscopy 11:323-332.

Medlicott, A.P., Reynolds, S.B., New, S.W., Thompson, A.K., 1988. Harvest maturity effects on mango fruit ripening. Trop. Agric. 65, 153–157.

Miller, P., 1997. Tools for Population Genetic Analyses (TFPGA). Department of Biological Sciences, University Flagstaff, AZ 86011-564.

Nandariyah. 2011. Identification and Classification of Pink Menoreh Durian (*Durio Zibetinus* Murr.) Based on Morphology and Molecular Markers. Journal of Biotechnology and Biodiversity, April 2011; 2: 27-31

Park, B., J.A. Abbott, K.J. Lee, C.H. Choi, and K.H. Choi. 2003. Near-infrared dithmse reflectance for quantitative and qualitative measurement of soluble solids and firmness of Delicious and Gala apples. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 46:1721-1731.

Powell W., M. Margonte, C. Andre, M. Hanafey, J. Vogel, S. Tingey and A. Rafalski. 1996. The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR markers of Germplasm analysis. Mol Breed 2: 225-238.

Santoso, S, dkk, 2004. Kesehatan dan Gizi. Cetakan kedua. Jakarta: PT. Asdi Mahasatya.

Sellappan, S.; Akoh, C. C.; Krewer, G. 2002. Phenolic compounds and antioxidant capacity of georgia-grown blueberries and blackberries. Journal of Agricultural of Food Chemistry, v. 50, p. 2432-2438.

Tati H., Joni K. and L. A. Estri. 2013. Genetic diversity of hybrid durian resulted from cross breeding between *Durio kutejensis* and *Durio zibethinus* based on random amplified polymorphic DNAs (RAPDs). American Journal of Molecular Biology 3, 153-157.

Vanijajiva, O. 2011. Genetic variability among durian (*Durio zibethinus* Murr.) cultivars in the Nonthaburi province, Thailand detected by RAPD analysis. Journal of Agricultural Technology. Vol. 7(4): 1107-1116.

Vanijajiva, O. 2012. The application of ISSR markers in genetic variance detection among Durian (*Durio zibethinus* Murr.) cultivars in the Nonthaburi province, Thailand.*Procedia Engineering, 32*, 155-159.

Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans, M., van de Lee, T., Hornes, M., Frijters, A., Pot, J., Peleman, J., Kuiper, M., Zabeau, M., 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Res. 11, 4407–4414.

Welsh J, McClelland M (1990). Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. Nucleic Acids Res., 18: 7213–7218.

Williams JGK, Kubelik AR, Livak KJ, Rafalski JA, Tingey SV (1990). DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. Nucleic Acids Res., 18: 6531–6535.

Zou, X., V. Li, and J. Zhao. 2007. Using genetic algorithm interval partial least squares selection of the optimal near infrared wavelength regions for determination of the soluble solids content of 'Fuji' apple. J . Near Infrared Spectroscopy 15: 153-159.

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. 2550 คู่มือการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์. กระทรงพาณิชย์.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. ทุเรียน. เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 13/2547.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กัลย์ กัลยาณมิตร ธงชัย ยันตรศรี และจินดา ศรศรีวิชัย. 2548. การตรวจสอบปริมาณน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี.การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 5. 26-29 เมษายน 2548 ณ โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีช พัทยา จังหวัด ชลบุรี. เลขหน้า 224 (276 หน้า).

จารุวรรณ บางแวก อรวรรณ จิตต์ธรรม จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ. 2554. โครงการวิจัย การตรวจสอบความสุกแก่ทุเรียน โดยใช้เทคนิค NIR Spectroscopy. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

ชม บุญยาคม. 2498. ความรู้เกี่ยวกับทุเรียน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

เชวง แก้วรักษ์, สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก, บุญสืบ ศรีสวัสดิ์, พิมล เกษสยม. 2536. อิทธิพลของปุ๋ยทางใบที่มีต่อการเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณภาพของทุเรียน. ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

ฐิตาภรณ์ สุขโหตุ, อินทิรา จารุเพ็ง, ประไพ โมจรินทร์, อภิรดี เพิ่มผล, อรุณนี สระเก้า, ศิริวรรณ เทียนมงคล, ปิยรัษฎ์ ปริญญาพงษ์ และพรชัย จุฑามาศ. 2548. การจำแนกทุเรียน (*Durio zibethinus* Merr.) โดยใช้เทคนิค AFLP. การประชุมวิชาการประจำปี ครั้งที่ 2 ชมรมคณะปฏิบัติ งานวิทยาการ อพ.สธ. ทรัพยากรไทย : สรรพสิ่งล้วนพัน เกี่ยว. วันที่ 20 – 22 ตุลาคม 2548.

ทรงพล สมศรี. 2551. ทุเรียนไทยกับการปรับปรุงพันธุ์: กรณีการศึกษาพันธุ์จันทบุรี 1 จันทบุรี 2 จันทบุรี 3. สำนักผู้เชี่ยวชาญ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 206 หน้า.

ธงชัย ยันตรศรี, อุษาวดี ชนสุต, กานดา หวังชัย, วรรณกนก ทาสุวรรณ์ และพัฒนะ อรรจนสุพพัติ. 2546. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ การประเมิน NIR เทคนิคที่สัมพันธ์กับดัชนีกำหนดคุณภาพของผลส้มเขียวหวาน.สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.63หน้า.

นิรมล ปัญญ์บุศยกุล. 2539. การตรวจสอบคุณภาพของทุเรียนด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี. วิทยานิพนธ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง บัณฑิตวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 135 หน้า

ปิยะศักดิ์ ชอุ่มพฤกษ์ และสุชาดา วงศ์ภาคำ. 2557. ทุเรียนสวนเรา.พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาพพิมพ์. กรุงเทพฯ.

พันทวี มาไพโรจน์ และนิศากร สุวรรณ. 2548. ผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพทางเคมีของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 5. ณ โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีช พัทยา จังหวัด ชลบุรี. 26-29 เมษายน 2548. หน้า 247. (276 หน้า)

พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล, กฤษณี เอี่ยมจัด, รณฤทธิ์ ฤทธิรณ และ เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์. 2554. การประเมินปริมาณวิตามินซีในผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายแบบไม่ทำลายตัวอย่างด้วยเทคนิค NIRS. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร 42 : 1 (พิเศษ):75-78.

รณฤทธิ์ ฤทธิรณ สุรีพร ณรงค์วงศ์วัฒนา เขมณัฏฐ์ พุกพูล วิระพงศ์ ชูนุ้ย และ อุณารุจ บุญประกอบ. 2553. การตรวจสอบความผิดปกติไส้ฉ่ำน้ำอย่างไม่ทำลายในผลสาลี่. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 : 1 (พิเศษ) : 381-384.

รณฤทธิ์ ฤทธิรณ, ปนัดดา ไกรลาศโอฬาร และ มัลฐิตา อึ้งพานิช. 2551. การประเมินคุณภาพของผลฝรั่งแบบไม่ทำลายเพื่อการค้าในเชิงพาณิชย์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39: 3(พิเศษ) : 70-73.

ฤทัยชนก กิตติวโรดม. (2554). การตรวจสอบพันธุ์ทุเรียนในจังหวัดนนทบุรี โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและเทคนิค *Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP).* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณกนก ทาสุวรรณ์. 2546. การตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 2546. 133 หน้า.

วารุณี ธนะแพสย์, สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ, อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, ศิรินนภา ศรัณย์วงศ์, สุมิโอะ คาวาโน, ยูกิ นิดตะ, คาซูเอกิ ชิจิฟูจิ และ คาซูเอกิ คิจิ. 2553. การคัดแยกเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 : 1 (พิเศษ) : 369-372.

ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี. 2551. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2558 จาก http://www.doa.go.th/hrc/chan/index.php?option=com_content&view=archive&Itemid=68

สำนักงานเกษตรจังหวัดอุตรดิตถ์. 2557. ข้อมูลการเพาะปลูกพืช-ไม้ผลปี 2556/57. สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2558 จาก http://www.uttaradit.doae.go.th/home/index.php/data-03-05-57#2-ไม้ผล-ปี-2556-57

สำนักงานจังหวัดอุตรดิตถ์. 2557. มหัศจรรย์ทุเรียนเมืองอุตรดิตถ์ ทุเรียนพันธุ์หลง-หลิน ลับแล. สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2558 จาก http://www.uttaradit.go.th/doc/turean_utt.pdf

สิรินาฏ น้อยพิทักษ์ อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และกฤษณา กฤษณพุกต์. 2555. การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการประเมินความฝาดของพลับพันธุ์ P2 แบบไม่ทำลาย. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9. 32 – 39.

สุดารัตน์ สุตพันธ์. 2536. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนีและพันธุ์หมอนทองภายหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ (วท.ม. (เกษตรศาสตร์)) สาขาพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสริมสุข สลักเพ็ชร์, สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก, อัมพิกา ปุนนจิต, หิรัญ หิรัญประดิษฐ์. 2535. เอกสารการผลิตทุเรียนก่อนฤดูให้มีคุณภาพ. ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

หิรัญ หิรัญประดิษฐ์ นิลวรรณ ลีอังกูรเสถียร และคณะ. 2531. การรวบรวมพันธุ์ทุเรียนที่จะสูญพันธุ์. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม. ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี.

อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, วารุณี ธนะแพสย์, ศุมาพร เกษมสำราญ และจิราพร อนุสรณ์วงศ์ชัย. 2554. การตรวจสอบของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลลำไยด้วยเครื่องวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านใกล้อินฟราเรด.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 : 1 (พิเศษ) : 51-54.

อาทิตย์ พวงสมบัติ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และ อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2553. การศึกษาการวิเคราะห์คุณภาพแบบไม่ทำลายในส้มโอตัดแต่งด้วยเครื่อง Vis/Nir Spectrometer. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 : 1 (พิเศษ) : 397-400.