



การประเมินความแก่ทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุดด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ Minimally Destructive Evaluation of Durian Maturity Using Near Infrared Spectroscopy

อริยานันท์ ตลับนาค¹, อนูปันท์ เทอดวงศ์วรกุล^{1*}

Ariyanan Talabnark¹, Anupun Terdwongworakul^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University – Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140. Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-86-775-1723, Fax: +66-34-351-897, E-mail: fengant@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินคุณภาพทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุดด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) เพื่อแก้ปัญหาการส่งออกทุเรียนอ่อน โดยใช้ทุเรียนพันธุ์หมอนทองจำนวน 140 ผล ใน 4 ช่วงอายุหลังดอกบานตั้งแต่ 101 วัน จนถึง 122 วัน โดยจะวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทุเรียนซึ่งผ่านเปลือกให้เรียบเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของเนื้อผลโดยตรง แล้วนำข้อมูลการดูดกลืนแสงและค่าน้ำหนักเนื้อแห้งมาสร้างโมเดลประเมินน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLSR) ผลการวิเคราะห์พบว่า โมเดลของสเปกโตรมิเตอร์เนื้อผลที่สร้างจาก FT-NIR spectrometer มีความแม่นยำในการประเมินมากกว่าด้วยค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_p) เท่ากับ 0.78 และค่า Root mean square error of prediction (RMSEP) เท่ากับ 3.02% โดยโมเดลที่สร้างจากสเปกโตรมิเตอร์ทั้งผลผ่านเปลือกให้ค่า r_p เท่ากับ 0.69 และ RMSEP เท่ากับ 3.57% โดยความคลาดเคลื่อนของทั้งสองโมเดลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นแนวทางการวัดการดูดกลืนแสงแบบทำลายน้อยที่สุดที่ให้ผลการประเมินค่าน้ำหนักเนื้อแห้งที่มีแนวโน้มที่ดี

คำสำคัญ: ทุเรียน, ความแก่, สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Abstract

This research studied minimally destructive evaluation of durian maturity by near infrared spectroscopy (NIRS) in order to solve an exporting problem of immature durians. One hundred and forty durian samples of variety Monthong were harvested at number of days after anthesis from 101 days to 122 days. The absorbance was acquired from the whole fruit with sliced rind and compare with the absorbance of the pulp. Obtained absorbances and measured dry matter percentage were used to develop a predicting model with partial least squares regression. The analysis results showed that a model based on pulp absorbance using FT-NIR spectrometer yielded better accuracy in prediction of the dry matter content (coefficient correlation, r_p and root mean square error of prediction of 0.78 and 3.02% respectively) than the model based on absorbance from the whole fruit with sliced rind ($r_p = 0.69$ and RMSEP = 3.57%). Although the accuracy of the two models appeared to be similar, the errors from the two models were found to be different significantly. However, the outcome of this study presented the possibility of using minimally destructive technique for evaluation of the dry matter content.

Keywords: Durian, Maturity, Near Infrared Spectroscopy

1. บทนำ

ทุเรียนเป็นผลไม้ส่งออกที่มีความสำคัญของประเทศไทย แหล่งปลูกทุเรียนที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกและภาคใต้ โดยในปี 2559 ไทยส่งออกทุเรียนสดแช่แข็ง 19.436 ล้านตัน เป็นมูลค่า

2,029 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) เนื่องจากทุเรียนไทยมีรสชาติและคุณภาพดี ทำให้ผู้บริโภคในต่างประเทศให้การยอมรับ อย่างไรก็ตามในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา การเก็บเกี่ยวผู้ส่งออกทุเรียนมักจะประสบปัญหาการส่งออกทุเรียนอ่อน ทำให้ตลาดส่งออกเกิดความเสียหาย ปัญหานี้เกิด

จากความผิดพลาดในการคัดเลือกทุเรียนที่มีความแก่ที่เหมาะสม ในปัจจุบันการเก็บทุเรียนก็ต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้พิจารณาโดยเกษตรกรก็มีโอกาสทำให้เกิดความผิดพลาดในการคัดเลือกเป็นอย่างมาก มีงานวิจัยที่ศึกษาการวัดความแก่ทุเรียนโดยไม่ทำลายผลหรือทำลายน้อยที่สุดอย่างต่อเนื่อง ในปี ค.ศ. 2004 ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีตรวจสอบคุณภาพทุเรียน โดยการวัดความแข็งแรงของก้านทุเรียนด้วยเครื่องมือบีบก้านที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ ร่วมกับการวัดเสียงเคาะเพื่อนำมาหาความถี่ธรรมชาติ (Neamsorn and Terdwongworakul, 2004) เนื้อทุเรียนนำมาอบแห้งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งสำหรับใช้เป็นค่าอ้างอิงความแก่ การวิเคราะห์สถิติเพื่อศึกษาความสัมพันธ์พบว่า ในการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณโดยเลือกตัวแปรทำนายเข้าโมเดลแบบขั้นพื้นที่ได้กราฟแรงกดกับระยะยุบตัวและความถี่ธรรมชาติมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง ที่ค่า correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.844 นอกจากนั้นมีการใช้สเปกโทรสโกปีในช่วงที่มองเห็น (350 nm ถึง 700 nm) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่หนามทุเรียน โดยค่าการดูดกลืนแสงจะสัมพันธ์กับคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินส์ของหนามทุเรียน (Timkhum and Terdwongworakul, 2012) ในการวิเคราะห์สร้างโมเดลจำแนกกลุ่มโดยใช้การดูดกลืนแสงของหนามเป็นตัวแปรทำนายกลุ่ม พบว่า สามารถคัดแยกทุเรียนออกเป็น 4 กลุ่มความแก่ด้วยความแม่นยำ 94.7% ต่อมา Kuson and Terdwongworakul (2013) ศึกษาการใช้ electrical impedance spectroscopy (EIS) เพื่อหาความถี่ที่เหมาะสมที่สุดที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับจำนวนวันหลังดอกบานของทุเรียน พบว่า ความต้านทานที่ความถี่ 141 และ 200 kHz สามารถนำมาใช้จำแนกกลุ่มทุเรียนแก่จากกลุ่มทุเรียนอ่อนด้วยความถูกต้อง 83.3% Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีความนิยมและการยอมรับอย่างกว้างขวางในการวัดคุณภาพภายในของผลไม้ทั้งผลที่มีเปลือกบางเนื่องจากแสงสามารถทะลุผ่านเปลือกผลไม้ไปถึงเนื้อได้โดยไม่ต้องทำลายผล อย่างไรก็ตามทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนา ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ สำหรับการประเมินความแก่ทุเรียนทางอ้อม โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ก้านผลและเปลือกซึ่งเป็นการทำลายผลทุเรียนบางส่วน เพื่อนำมาสร้างโมเดลจำแนกทุเรียนตามกลุ่มความแก่ (Somton et al., 2015) ผลการวิจัยพบว่า โมเดลที่สร้างจากข้อมูลการดูดกลืนแสงก้านร่วมกับเปลือกให้ความแม่นยำในการจำแนกทุเรียนออกเป็น 3 กลุ่มความแก่ด้วยความถูกต้อง 94.4% นอกจากนั้นมิ่งงานวิจัย (Onsawai and Sirisomboon, 2015) ที่ศึกษาการประเมินค่าน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยการดูดกลืนแสง NIR ซึ่งมีความแม่นยำที่ดี ($r^2 = 0.89$ และ RMSEP = 3.60)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาการตรวจสอบคุณภาพทุเรียนแก่แบบทำลายน้อยที่สุดด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี

อินฟราเรดย่านใกล้โดยวัดการดูดกลืนแสงของผลทุเรียนที่ผ่านเปลือกออกบางส่วนเพื่อให้แสงสามารถส่องผ่านเปลือกถึงเนื้อทุเรียนได้โดยตรง เพื่อนำมาพัฒนาโมเดลเปรียบเทียบความแม่นยำกับการดูดกลืนแสงของเนื้อผลโดยตรง ซึ่งจะเป็นการพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุดสำหรับการแก้ปัญหาส่งออกทุเรียนอ่อน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองถูกเลือกจากสวนที่อำเภอสวี จังหวัดชุมพร ผลทุเรียนจะถูกตัดที่ช่วงอายุ 101 108 115 และ 122 วันหลังดอกบาน (Days After Anthesis, DAA) จำนวนช่วงอายุละ 35 ผล รวม 140 ผล โดยระยะการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่เหมาะสมอยู่ที่ 115-120 วัน หลังจากดอกบาน (ปิยะ, 2559) จากนั้นตัวอย่างจะถูกควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25°C เป็นเวลานาน 24 hr ก่อนทำการทดลอง

2.2 การวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้

ในการวัดการดูดกลืนแสงทั้งผล ตัวอย่างผลทุเรียนจะได้รับการผ่านหนามและเปลือกออกขนาดพื้นที่กว้าง 3 cm ยาว 6 cm โดยจะผ่านให้ชิดโคนหนามของตัวอย่างทุเรียนทุกผล (เหลือความหนาเปลือกในช่วง 0.49 - 12.04 mm) เพื่อให้เปลือกมีความบางและมีพื้นที่เรียบตรงตำแหน่งพูเอกก่อนนำมาวัดด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA FT-NIR, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany) ด้วยโหมดการวัดแบบ diffuse reflectance โดยวัดตำแหน่งละ 3 สเปกตรัม ตรงกลางพูเอกซึ่งพูเอกคือ พูของที่ผลเห็นชัดเจนและมีขนาดใหญ่ที่สุดเพียงพูเดียว (แสง, 2527) โดยวัดที่ตำแหน่งเดิมทั้ง 3 ครั้ง ในช่วงเลขคลื่น 12500 - 3500 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800 - 2857 nm) ที่ resolution เท่ากับ 16 cm^{-1} โดย 1 สเปกตรัมเกิดจากการเฉลี่ยในการสแกน 32 ครั้ง (Figure 1) จากนั้นนำตัวอย่างเดิมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง portable NIR Quest (NIR Quest USB2000, Ocean Optics Co., Ltd., Dunedin, FL, USA) ในช่วงเลขคลื่น 11111-5882 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 900 - 1700 nm) ด้วยโหมดการวัดแบบ reflectance โดยตั้งค่า Integration time เท่ากับ 850 Scans to Average เท่ากับ 3 และค่า Boxcar Width เท่ากับ 6 บันทึกข้อมูลโดยโปรแกรม Spectra suite (Figure 2) ต่อจากนั้นนำเปลือกและเนื้อผลได้เปลือกที่ถูกสแกนมาวัดการดูดกลืนแสงด้วยการวัดเช่นเดียวกับการวัดแบบทั้งผล

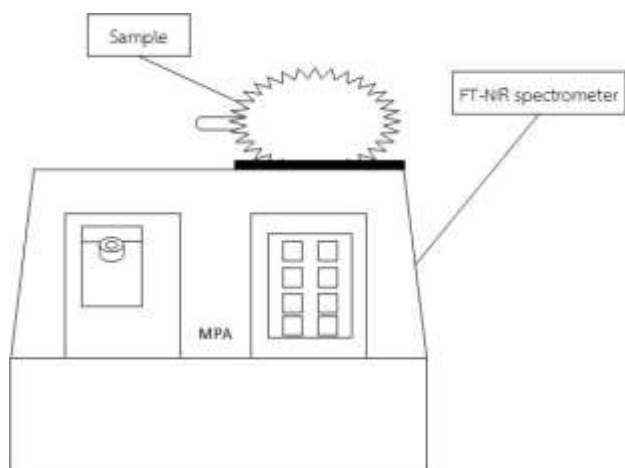


Figure 1 Setup for NIR spectral acquisition of Durian in reflectance mode using FT NIR spectrophotometer, (MPA FT-NIR, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany)

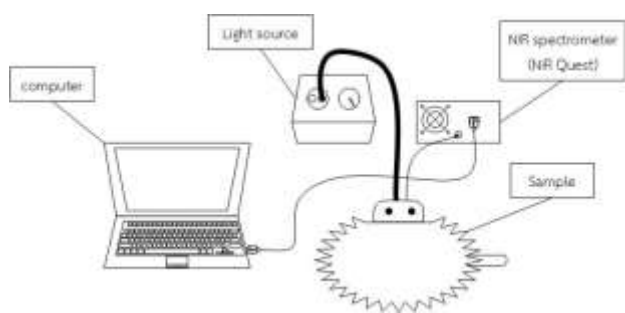


Figure 2 Setup for NIR spectral acquisition of Durian in reflectance mode by a portable NIR Quest, (NIRQuest, Ocean Optics, FL, USA)

จากนั้นนำเนื้อทุเรียนตรงตำแหน่งที่วัดค่าการดูดกลืนแสงไปหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง (percent dry weight, DW) โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 48 hr หรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)

2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลจะเปรียบเทียบโมเดลของ 2 เครื่องมือวัด ได้แก่ FT-NIR spectrometer และ portable NIR Quest โดยสร้างโมเดลเชิงปริมาณ ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR; The Unscrambler v.9.8; Camo; Oslo, Norway) เพื่อสร้างโมเดลการประเมินน้ำหนักเนื้อแห้งจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้งผลผ่านเปลือกเปรียบเทียบกับโมเดลที่สร้างจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของเนื้อผลโดยตรงเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำของการวัดการดูดกลืนแสงผ่าน

เปลือกกับการวัดการดูดกลืนแสงของเนื้อผลโดยตรงซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิง โดยได้ศึกษาการปรับปรุงความแม่นยำของโมเดลด้วยการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ เช่น Smoothing, Second derivative, Standard normal variate และ Multiplicative scatter correction เพื่อลดการกระเจิงแสงของสเปกตรัมเริ่มต้น ตัวอย่างในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น กลุ่มแคลิเบรชันและกลุ่มทำนายโดยใช้อัตราส่วน 1:1 ที่มีการกระจายตัวของค่าน้ำหนักเนื้อแห้งใกล้เคียงกัน โดยนำข้อมูลของตัวอย่างกลุ่มแคลิเบรชันมาสร้างโมเดล และนำโมเดลที่ได้มาทำนายค่าน้ำหนักเนื้อแห้งของตัวอย่างในกลุ่มทำนาย แล้วประเมินความแม่นยำของโมเดลจากการเปรียบเทียบกับค่า r_p (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการทำนาย) และค่า root mean square error of prediction (RMSEP)

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงเริ่มต้นและสเปกตรัมที่ปรับแก้การกระเจิงแสงที่ใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค Discriminant Analysis (SPSS version 9.0, SPSS Inc., Chicago, USA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้หลายตัวแปรในการสร้างโมเดลเชิงเส้นสำหรับการจำแนกกลุ่ม โดยตัวแปรตามคือ กลุ่มความแก่ทุเรียนที่อ้างอิงจากอายุหลังดอกบาน โดยเปรียบเทียบระหว่างโมเดลที่สร้างจากการดูดกลืนแสงทั้งผลเปรียบเทียบกับโมเดลที่สร้างจากการดูดกลืนแสงของเนื้อผลโดยตรง โดยใช้กลุ่มตัวอย่างแคลิเบรชันในการสร้างโมเดลและนำโมเดลที่ได้มาจำแนกตัวอย่างในกลุ่มทำนาย ความแม่นยำของโมเดลเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกทุเรียนออกเป็นกลุ่มความแก่ จากนั้นนำโมเดลที่สร้างจากเครื่อง FT-NIR spectrometer มาเปรียบเทียบความแม่นยำในการประเมินน้ำหนักเนื้อแห้งกับเครื่อง portable NIR Quest

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักเนื้อแห้ง

ค่าทางสถิติพื้นฐานของน้ำหนักเนื้อแห้งของตัวอย่างทุเรียนในกลุ่มกลุ่มแคลิเบรชันและกลุ่มทำนายแสดงใน Table 1 และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสุ่มสมบูรณ์พบว่า ในแต่ละช่วงอายุมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเนื้อแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2)

3.2 สเปกตรัมของทุเรียนทั้งผลและเนื้อผล

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของทุเรียนทั้งผลและเนื้อผลโดยตรง ทุเรียนทั้งผลที่ผ่านเปลือกมีลักษณะของการดูดกลืนแสงโดยรวมใกล้เคียงกับเนื้อผลดังแสดงใน Figure 3 และ Figure 4 ตามลำดับ

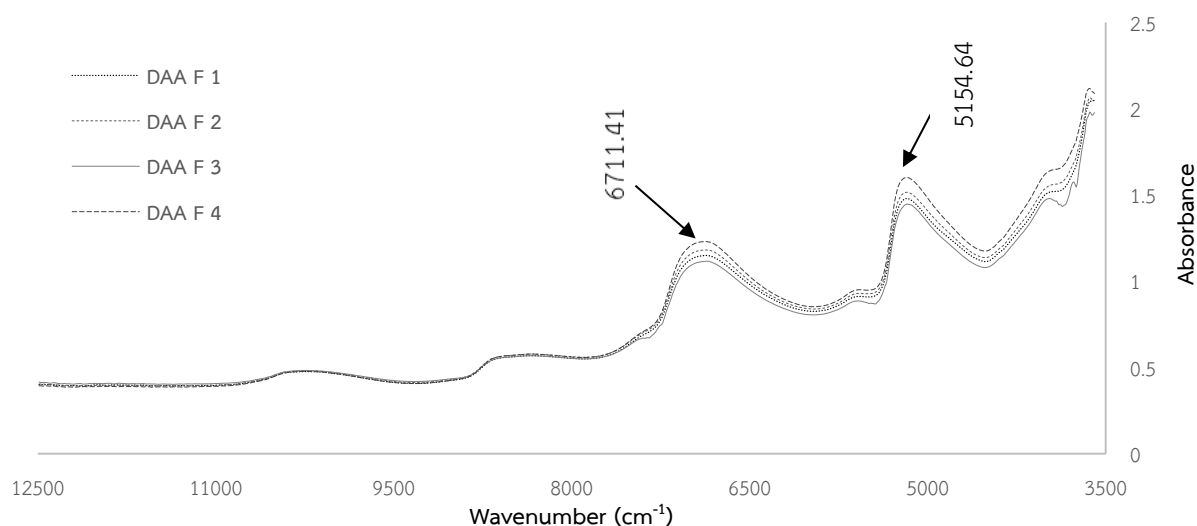


Figure 3 Absorbance of whole durian fruit with sliced rind as affected by a number of DAA (1 = 101 days, 2 = 108 days, 3 = 115 days and 4 = 122 days).

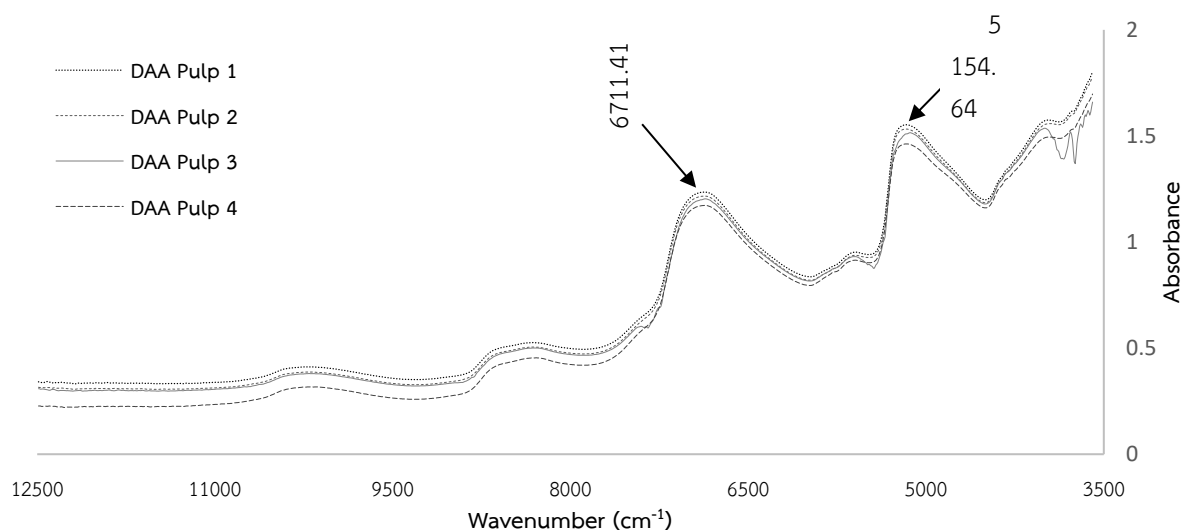


Figure 4 Absorbance of durian pulp with respect to a number of DAA (1 = 101 days, 2 = 108 days, 3 = 115 days and 4 = 122 days).

ฟีดการดูดกลืนแสงของน้ำเป็นฟีดเด่นของผลทุเรียนและเนื้อ
ผลที่ความยาวคลื่น 6711.41 และ 5154.64 cm^{-1} อย่างไรก็ตาม
ใน Figure 4 ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของเนื้อผลจะมีฟีดขนาดเล็ก
ที่ความยาวคลื่น 4397.13 cm^{-1} ซึ่งไม่เกิดขึ้นในการดูดกลืนแสง

ของทั้งผล (Figure 3) โดยฟีดขนาดเล็กนี้ตรงกับการดูดกลืนแสง
เนื่องจาก O-H stretching + C-H stretching ของ starch ซึ่ง
จะพบโดยทั่วไปที่ความยาวคลื่น 2276 nm (Osborne and
Fearn, 1986)

Table 1 Minimum (Min), maximum (Max), mean, and standard deviation (SD) of dry matter of Durian pulp samples of calibration set and prediction set

Properties	Calibration set					Prediction set				
	No.	Max	Min	Mean	SD	No.	Max	Min	Mean	SD
Dry matter (%)	71	39.89	13.92	27.18	5.10	69	37.63	15.75	27.19	4.89

Table 2 A variance of dry matter in each days after anthesis

Days after anthesis	Dry matter (%)
101	21.76 ^a
108	24.75 ^b
115	29.67 ^c
122	32.87 ^d

3.3 ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อสร้างโมเดลประเมินน้ำหนักเนื้อแห้ง

จากผลการทดลองกับตัวอย่างทุเรียน 4 ช่วงอายุ พบว่าโมเดลที่สร้างจากข้อมูลการดูดกลืนแสงของเครื่อง FT-NIR spectrometer และเครื่อง portable NIR Quest มีความแม่นยำในการทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งดังแสดงใน Table 3 โดยโมเดลที่ได้จากการวัดเนื้อผลโดยตรงและการวัดทั้งผลผ่านเปลือกเมื่อพิจารณาเฉพาะเครื่อง FT-NIR spectrometer โมเดล PLSR ที่สร้างจากการดูดกลืนแสงเนื้อผลโดยตรงให้ความแม่นยำในการประเมินน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยค่า $r_p = 0.78$ และ RMSEP = 3.02% (Table 3) ซึ่งสูงกว่าโมเดลที่สร้างจากการดูดกลืนแสงของผลทุเรียนผ่านเปลือก ($r_p = 0.69$ และ RMSEP = 3.57%) โดยโมเดลที่สร้างจากการวัดเนื้อผลให้ค่า r^2 น้อยกว่า Onsawai and Sirisomboon (2015) ซึ่งคาดว่ามีความสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากช่วงข้อมูลน้ำหนักเนื้อแห้งมีช่วงแคบกว่า และในช่วงเลขคลื่น 8000 – 11500 cm^{-1} มี noise เกิดขึ้นมาก ซึ่งอาจมาจากปัจจัยภายนอกที่ควบคุมได้ไม่สมบูรณ์ จึงส่งผลให้ค่า r^2 ที่ได้มีค่าน้อยกว่า

เพื่อประเมินว่าโมเดลการทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งจากข้อมูลผลผ่านเปลือกมีประสิทธิภาพเทียบเคียงได้กับการทำนายเนื้อแห้งโดยตรงจากโมเดลเนื้อผล ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์เปรียบเทียบความแม่นยำในการทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งของโมเดลที่สร้างจากข้อมูลการดูดกลืนแสงของเครื่อง FT-NIR spectrometer โดยโมเดลของทั้งผลผ่านเปลือกที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับโมเดลที่สร้างจากข้อมูลการดูดกลืนแสงของเนื้อผลโดยตรงหรือไม่ โดยเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนจากการทำนายของโมเดลผลผ่านเปลือกว่าใกล้เคียงกับโมเดลเนื้อผลหรือไม่ ดังนั้นจึงนำค่าน้ำหนักเนื้อแห้งจริง น้ำหนักเนื้อแห้งที่ทำนายจากโมเดลของเนื้อผลและน้ำหนักเนื้อแห้งที่ทำนายจากโมเดลของผลผ่านเปลือก มาวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติหรือไม่ โดยใช้เทคนิคของ (Sedecor and Cochran 1989) ซึ่งนำค่าน้ำหนักเนื้อแห้งทั้งสองค่าดังกล่าวมาคำนวณค่า standard error of prediction (SEP) ของทั้งสองโมเดล (SEP_1 เป็นค่าโมเดลของเนื้อผลและ SEP_2 เป็นค่าของโมเดลทั้งผลผ่านเปลือก) และหาสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่าความแตกต่างของค่าที่ทำนายกับค่าจริงจากทั้งสองโมเดล และคำนวณค่า k และ ค่า L ดังสมการ

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

โดยที่ N คือ จำนวนตัวอย่าง, $t_{(N-2), 0.025}$ คือ ค่า t -distribution ที่ upper 2.5% percentile และจำนวน degree of freedom เท่ากับ N

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

ต่อจากนั้นจึงนำค่า SEP ของทั้งสองโมเดลและค่า L มาคำนวณค่า $SEP_1/(SEP_2 \times L)$ และค่า $(SEP_1 \times L)/SEP_2$ ถ้าค่าที่ได้ครอบคลุมค่า 1.0 แสดงว่าค่า SEP ของโมเดลทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่าที่ได้ไม่ครอบคลุมค่า 1.0 ค่า SEP ของทั้งสองโมเดลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Sedecor and Cochran, 1989)

จากการคำนวณได้ค่า $SEP_1/(SEP_2 \times L)$ และ $(SEP_1 \times L)/SEP_2$ เท่ากับ 1.03 และ 1.33 ตามลำดับ ซึ่งไม่ครอบคลุมค่า 1.0 แสดงว่าค่า SEP (3.48%) ของโมเดลทั้งผลผ่านเปลือกมีความแตกต่างจากค่า SEP (2.97%) ของโมเดลเนื้อผลอย่างมีนัยสำคัญ ในที่นี้คือ มีความมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามค่า 1.03 มีความใกล้เคียงกับ 1.0 แสดงว่าผลการศึกษามีแนวโน้มที่ดี

ผลที่ได้แสดงว่า การวัดการดูดกลืนแสงจากผลผ่านเปลือกยังไม่สามารถนำมาใช้ทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งได้แม่นยำเพียงพอ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดูดกลืนแสงจากเนื้อผลโดยตรง แต่มีแนวโน้มที่ดีและเป็นการวัดทำลายผลเพียงบางส่วน ดังนั้นจึงได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเลขคลื่นสำคัญที่มีการดูดกลืนแสงที่สอดคล้องกันของทั้งสองโมเดลจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า regression coefficient กับเลขคลื่น

จากกราฟ regression coefficient ที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์แบบ Partial Least Squares Regression (PLSR) ของทั้งสองโมเดลดังแสดงใน Figure 5 สำหรับเนื้อโดยตรงและ Figure 6 สำหรับทั้งผลผ่านเปลือก พบว่าเลขคลื่นที่ใกล้เคียงกันคือ 5168.56 cm^{-1} และ 5758.71 cm^{-1} ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Osborne et al. (1993) ที่ได้รายงานไว้ที่เลขคลื่น 5155 cm^{-1} มีโครงสร้างเป็นน้ำ และที่ 5755 cm^{-1} มีโครงสร้างเป็นโปรตีน อย่างไรก็ตาม ค่า regression coefficient ของโมเดลทั้งผลผ่านเปลือกจะมี noise เกิดขึ้นในช่วง ความยาวคลื่นสูง ซึ่งมีมากตั้งแต่ประมาณ 8000-11500 cm^{-1} อาจเกิดจากกรณีที่ทั้งผลผ่านเปลือกมีข้อมูลการสะท้อนแสงของเนื้อต่ำกว่าการสะท้อนแสงของเนื้อโดยตรง เพราะว่ามีเยื่อเปลือกอยู่

Table 3 Prediction performances of dry matter by PLSR models for durian samples of 4 classes based on number of days after anthesis

Treatment	Factors	r_p	RMSEP (%)	Bias (%)
SNV treated spectra of durian pulp from FT-NIR spectrometer	7	0.78	3.02	0.0023
SNV treated spectra of durian pulp from NIR-Quest spectrometer	3	0.25	4.61	0.0118
SNV treated spectra of whole fruit with sliced rind from FT-NIR spectrometer	8	0.69	3.57	-0.016
SNV treated spectra of whole fruit with sliced rind from NIR-Quest spectrometer	1	0.24	4.84	0.0127

SNV: Standard normal variate;

RMSEC: Root mean square

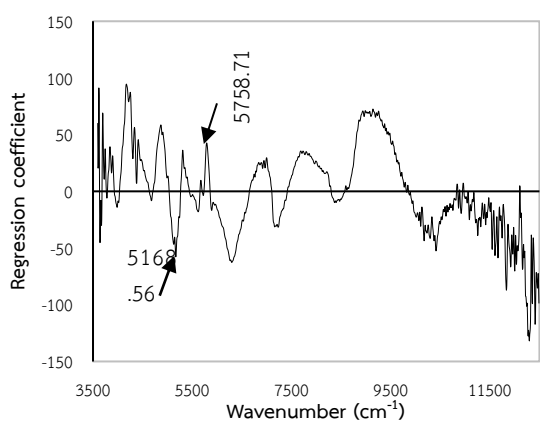


Figure 5 Regression coefficient of PLSR model using spectra of durian pulp from 4 classes of maturity based on DAA by SNV methods.

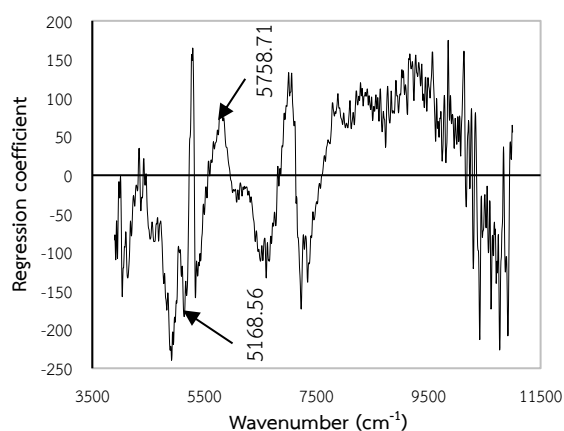


Figure 6 Regression coefficient of PLSR model using spectra of the whole fruit with sliced rind from 4 classes of maturity based on DAA by SNV methods.

1

3.4 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อสร้างโมเดลจำแนกกลุ่มความแก่ทุเรียน

โมเดลจำแนกกลุ่มที่สร้างจากการดูกลืนแสง ของผลทุเรียน ฝานเปลือกใน 4 ช่วงอายุของเครื่อง FT-NIR spectrometer สามารถจำแนกกลุ่มทุเรียนออกเป็นสี่กลุ่มความแก่ได้ด้วย ความถูกต้อง 87.48% (Table 4) ซึ่งมากกว่าโมเดลที่ได้จากเครื่อง NIR-Quest spectrometer (36.09%) สำหรับโมเดลจำแนกกลุ่มที่สร้างด้วยข้อมูลการดูกลืนแสงของเนื้อผลทุเรียนโดยตรงของเครื่อง FT-NIR spectrometer สามารถจำแนกกลุ่มได้ ความถูกต้องสูงกว่าโมเดลที่สร้างจากผลทุเรียนฝานเปลือกด้วยความถูกต้อง 92.5% โดยการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง หาได้จากค่าที่ทำนายเทียบกับค่าจริงโดยการกำหนดค่าอายุทั้งหมดของตัวอย่างเป็น 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นกำหนดค่ากลางเช่น ถ้าช่วงอายุแรกมีค่าเป็น 1 ช่วงอายุที่สองมีค่าเป็น 2 ค่ากลางคือ 1.5 หากค่าการทำนายตัวอย่างในช่วงอายุแรก มีค่า 1.6

ก็ถือว่าตัวอย่างนั้นอยู่ในช่วงอายุที่สอง และนับเป็นตัวอย่างที่ทำนายผิด หรือหากว่าตัวอย่างในช่วงอายุที่สอง มีค่าการทำนาย 1.4 ก็ก็นับว่าอยู่ในช่วงอายุแรก และจะนับเป็นการทำนายผิด จากนั้นคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยการนำจำนวนตัวอย่างที่ทำนายถูกต้อง/จำนวนตัวอย่างทั้งหมด คูณด้วย 100

Table 4 Classification performance of durian by PLS-DA models for durian samples of 4 classes based on number of days after anthesis

	Spectra of pulp	Spectra whole fruit
spectra from FT-NIR spectrometer	92.5%	87.48%
spectra from NIR-Quest spectrometer	58.91%	36.09%

จากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของทั้งผลและของเนื้อผล เบื้องต้นพบว่า ตัวอย่างที่อายุ 115 วันหลังดอกบานจากเครื่อง portable NIR Quest มีรูปแบบการดูดกลืนที่ผิดปกติแตกต่างจากตัวอย่างที่เหลืออีกสามอายุ ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสง เนื่องจากเครื่อง portable NIR Quest ต้องทำการวัดค่า dark และ reference เองจึงสร้างโมเดลจำแนกกลุ่มใน 3 ช่วงอายุ โดยโมเดลที่สร้างจากการค่าดูดกลืนแสง ของผลทุเรียนผ่านเปลือกของเครื่อง FT-NIR spectrometer สามารถจำแนกกลุ่มทุเรียนออกเป็นสามกลุ่มความถูกต้องด้วยความถูกต้อง 89.23% (Table 5) ซึ่งมากกว่าโมเดลที่ได้จากเครื่อง portable NIR Quest (36.1%) สำหรับโมเดลจำแนกกลุ่มที่สร้างด้วยข้อมูลการดูดกลืนแสงของเนื้อผลทุเรียนโดยตรงของเครื่อง FT-NIR spectrometer สามารถจำแนกกลุ่มได้แม่นยำสูงกว่าโมเดลที่สร้างจากผลทุเรียนผ่านเปลือกด้วยความถูกต้อง 94.09%

Table 5 Classification performance of durian by PLS-DA models for durian samples of 3 classes based on number of days after anthesis

	Spectra of pulp	Spectra of whole fruit
spectra from FT-NIR spectrometer	94.09%	89.23%
spectra from portable NIR Quest	55.19%	36.10%

ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มที่สร้างจากข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลทุเรียนมีค่าน้อยกว่าโมเดลเนื้อผลโดยตรงเนื่องจากข้อมูลการดูดกลืนแสงมีข้อมูลของเปลือกรวมอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามผลความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มความแม่นยำแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ข้อมูลทั้งผลในการจำแนกกลุ่ม ซึ่ง

การศึกษาเพื่อลดผลกระทบจากการดูดกลืนแสงของเปลือกเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มเป็นงานที่จะต้องศึกษาต่อไป

4 สรุป

เทคนิค NIRS สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินน้ำหนักเนื้อแห้งและจำแนกทุเรียนตามช่วงอายุ โดยโมเดล 4 ช่วงอายุที่สร้างด้วยข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่วัดผ่านเปลือกสามารถทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยค่า $r_p = 0.69$ ค่า RMSEP = 3.57% ซึ่งแม่นยำน้อยกว่าโมเดลที่สร้างจากสเปกตรัมเนื้อผลโดยตรง ($r_p = 0.78$ ค่า RMSEP = 3.02%) โดยค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทำนองเดียวกันโมเดลจำแนกกลุ่มที่สร้างจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่วัดผ่านเปลือกให้ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มความแม่นยำเท่ากับ 87.48% ซึ่งต่ำกว่ากรณีโมเดลที่สร้างจากสเปกตรัมเนื้อผลโดยตรง (ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มเท่ากับ 92.5%)

การเพิ่มความแม่นยำในการประเมินน้ำหนักเนื้อแห้งและความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มจะต้องมีการศึกษาต่อไปเพื่อลดผลกระทบจากการดูดกลืนแสงของเปลือก

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

6 เอกสารอ้างอิง

- ปิยะ, 2559. ระยะการเก็บเกี่ยวทุเรียน. แหล่งข้อมูล: <https://www.gotoknow.org/posts/285780>. เข้าถึงเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2559.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. THAI AGRICULTURAL STANDARD, หน้า. 1-9.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถิติการส่งออกทุเรียนสด. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php. เข้าถึงเมื่อ 18 มกราคม 2560.
- แสวง, 2527. นิยามพูเอกของทุเรียน. แหล่งข้อมูล: <http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Horticulture/2538/Ms/SomsukAt/chapter1.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 9 มีนาคม 2560
- Kuson, P., Terdwongworakul, A., 2013. Minimally-destructive evaluation of durian maturity based on electrical impedance measurement. Journal of Food Engineering 116, 50-56.
- Neamsorn, N., Terdwongworakul, A., 2004. Non-destructive Maturity Measurement of "Montong"

- Durian Using Stem Strength and Resonant Frequency. วิศวกรรมสาร มช. 33, 555-563.
- Onsawai, S., Sirisomboon, P., 2015. Determination of dry matter and soluble solids of durian pulp using diffuse reflectance near infrared spectroscopy. JOURNAL OF NEAR INFRARED SPECTROSCOPY 23, 167-179.
- Osborne B., Fearn T., Hindle P. H., 1993. Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis, Longman Scientific and Technical, Harlow, UK.
- Somton, W., Pathaveerat, S., Terdwongworakul, A., 2015. Application of Near Infrared Spectroscopy for Indirect Evaluation of “Monthong” Durian Maturity. International Journal of Food Properties 18, 1155-1168.
- Snedecor, G. W., Cochran, W. G. 1989. Statistical Methods. Iowa State University Press, Eighth Edition Ames, IA, USA. 534 p.
- Timkhun, P., Terdwongworakul, A., 2012. Non-destructive classification of durian maturity of ‘Monthong’ cultivar by means of visible spectroscopy of the spine. Journal of Food Engineering 112, 263-267.