รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** : วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตผลเกษตร

2. **โครงการวิจัย** : การประเมินคุณภาพผักและผลไม้สดโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโครปี
   กิจกรรม : การประเมินคุณภาพผลไม้สดโดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy

3. **ชื่อการทดลอง** : การประเมินคุณภาพผลไม้สดด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา
   : Non-destructive Quality Evaluation of Fresh Fruit Using FQA-NIR Gun

4. **คณะผู้ดำเนินงาน**
   หัวหน้าการทดลอง : นางศิรกานต์ ศรีธัญรัตน์
   ผู้ร่วมงาน : นางสาวปรางค์ทอง กวานห้อง
   : นางสาวคมจันทร์ สรงจันทร์
   กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
   กรมวิชาการเกษตร

5. **บทคัดย่อ**

การประเมินคุณภาพผลไม้สดด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณภาพผลไม้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRs) โดยใช้เครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา ความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือนกันยายน 2563 ณ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร การประเมินคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 สำหรับทำนายคุณภาพ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA) และน้ำหนักแห้ง (dry matter: DM) โดยสร้างสมการเปรียบเทียบมาตรฐานจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 กับการดูดกลืนแสง NIR จากเครื่อง NIR Spectroscopy ที่ให้แสง NIR ช่วงคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) พบว่า สมการเทียบมาตรฐานที่ดีสำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีค่า correlation coefficient (R) เท่ากับ 0.94 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration: SEC) 1.02 เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (standard error of prediction: SEP) 0.89 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRs (average of difference between actual value and NIR value: bias) เท่ากับ 0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับสมการเทียบ

กรมวิชาการเกษตร

มาตรฐานที่ดีสำหรับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ มีค่า R เท่ากับ 0.89 มีค่า SEC SEP และ bias เท่ากับ 1.41 1.70 และ -0.24 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสมการเทียบมาตรฐานที่ดีสำหรับปริมาณน้ำหนักแห้งมีค่า R เท่ากับ 0.90 มีค่า SEC SEP และ bias เท่ากับ 0.94 0.90 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การประเมินคุณภาพของเมลอนโดยสร้างสมการเปรียบเทียบมาตรฐานจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณภาพผลเมลอนกับการดูดกลืนแสง NIR พบว่า สมการเทียบมาตรฐานที่ดีสำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีค่า R เท่ากับ 0.86 นอกจากนี้ มีค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ SEC SEP และ bias เท่ากับ 0.72 0.85 และ -0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งกล่าวได้ว่า NIRs เป็นเทคนิควิเคราะห์คุณภาพที่รวดเร็วสามารถใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเมลอนแบบไม่ทำลายตัวอย่าง

Abstract

Short-Wavelength Near Infrared Spectroscopy (NIRs) was used to investigate the internal quality of mangoes cv. Num Dok Mai no. 4 based on total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and dry matter (DM). NIR measurements were performed with the FQA-NIR Gun (FANTEC, Japan) in the short wavelength region from 700-1100 nm. The results showed that the best calibration equation of TSS on correlation coefficient (R) of 0.94, standard error of calibration (SEC) of 1.02%, standard error of prediction (SEP) of 0.89% and average of difference between actual value and NIR value (bias) of 0.02%. The best calibration equation of TA of R of 0.89, SEC SEP and bias of 1.41 1.70 และ -0.24 g/L, respectively**.** The best calibration equation of DM of R of 0.90, SEC SEP and bias of 0.94 0.90 และ 0.05%, respectively**.** Therefore, NIRs can be used as a fast technique for non-destructive prediction of TSS, TA and DM of mangoes cv. Num Dok Mai no. 4. Melon is an important fruit and effects the economy of Thailand. The major problem is the non-uniform of fruit quality. The objective of this research was to investigate the feasibility of NIRs which has been suggested as a non-destructive technique for evaluating fruit quality to predict TSS. The calibration equations were performed using fruit qualities and NIR absorbance by NIRs in short wavelength range of 700-1100 nm. The results showed that the best calibration equation of TSS of R of 0.86 and 0.79, SEC SEP and bias of 0.72 0.85 and -0.05%, respectively**.** Therefore, NIRs can be used as a fast technique for non-destructive prediction of TSS of melon.

6. คำนำ

มะม่วง เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย นิยมบริโภคภายในประเทศและเพื่อการส่งออก ในปี 2562 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกมะม่วงสด 90,245 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,368 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ประเทศนำเข้าที่สำคัญ ได้แก่ ประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี สำหรับมะม่วงที่นิยมรับประทานสุก ได้แก่ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ และมหาชนก ปัจจุบันการค้าในตลาดโลกมีการแข่งขันค่อนข้างสูง

ดังนั้น การส่งออกผลิตผลเกษตรจึงจำเป็นต้องคัดเลือกผลิตผลที่มีคุณภาพ โดยเฉพาะการส่งออกผลไม้มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากส่งผลต่อราคาจำหน่าย จากการศึกษาในระยะที่ผ่านมา พบว่า คุณภาพของผลไม้จะสัมพันธ์กับระยะการสุกแก่ของผลซึ่งการหาดัชนีการสุกแก่ (maturity index) และการประเมินคุณภาพ (quality assessment) ของผลไม้ไทยหลายชนิดในปัจจุบัน ใช้วิธีประเมินจากสมบัติทางกายภาพ (physical properties) เป็นหลัก เช่น การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ และความแน่นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวัดคุณภาพที่เกษตรกรผู้ผลิตไม่สามารถคัดแยกผลิตผลได้ตรงตามที่ตลาดต้องการได้ และนอกจากนั้นยังมีการใช้ สมบัติทางเคมี (chemical properties) เป็นตัวชี้วัดอายุการเก็บเกี่ยวและคุณภาพอีกด้วย เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) ซึ่งวิธีการดังกล่าวต้องทำลายผลิตผล ใช้ระยะเวลาการตรวจวิเคราะห์ค่อนข้างนาน และต้องใช้สารเคมีในการตรวจวิเคราะห์ อีกทั้งมีขั้นตอนและกระบวนการในการตรวจวิเคราะห์ที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูง ดังนั้น หากสามารถใช้การตรวจวิเคราะห์คุณภาพด้วยการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (near infrared spectroscopy: NIRs) ทดแทนวิธีการประเมินคุณภาพผลิตผลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะช่วยลดระยะเวลาและลดต้นทุนการตรวจวิเคราะห์ได้

เมลอน เป็นผลไม้ที่นิยมปลูกและบริโภคในประเทศไทย เนื่องจากมีรสชาติอร่อย และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง อย่างไรก็ตามการผลิตเมลอนยังประสบปัญหาเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพของผลิตผล ทั้งนี้การประเมินคุณภาพของผลเมลอน เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ หรือความแน่นเนื้อ จำเป็นต้องใช้การตรวจสอบด้วยการทำลายผล ทำให้เกิดการสูญเสียผลิตผล ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคนิคที่สามารถใช้ตรวจสอบผลิตผลจำนวนมากได้โดยไม่ทำลายผลิตผลมาใช้ในการประเมินคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลเมลอน

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแบบไม่ทำลาย (nondestructive technique) สามารถประเมินผลได้รวดเร็ว รวมทั้งมีความถูกต้องและแม่นยำ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยอาศัยหลักการสั่นของพันธะเคมีภายในโมเลกุลสารประกอบอินทรีย์ของตัวอย่างที่สามารถดูดกลืนพลังงานจากแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 700-2500 นาโนเมตร แล้วสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (calibration equation) จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง NIR กับผลวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี มีรายงานการใช้เทคนิค NIRs ในการประเมินคุณภาพของผลไม้หลายชนิด เช่น การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลเมลอน (Guthric *et al*., 2006) การประเมินความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (Rungpichayapichet *et al*., 2016) การประเมินน้ำหนักแห้งของอะโวคาโด (Clark *et al*., 2003) และการประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และวิตามินซีในฝรั่ง (รณฤทธิ์และคณะ, 2551) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโคปีมาใช้ในการประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และน้ำหนักแห้ง ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 และประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเมลอน เพื่อสามารถประเมินคุณภาพได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4
2. เมลอนพันธุ์ Orange Net
3. เครื่อง near infrared spectroscopy รุ่น FQA-NIR Gun (FANTEC, Japan)
4. เครื่อง digital refractometer Atago รุ่น PR-101
5. เครื่อง auto titratable acidity Mettler Toledo รุ่น DL53 Titrator
6. เครื่อง hot air oven ยี่ห้อ Memmert
7. 2,6-dichloroindophenol
8. 0.1 N สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
9. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl)
10. น้ำกลั่น

วิธีการ

1. นำผลิตผลสด ได้แก่ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 และเมลอนพันธุ์ Orange Net มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun ช่วงความยาวคลื่น 700-110 นาโนเมตร จากนั้น นำผลไม้ที่วัดสเปกตรัมแล้วมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งตัวอย่างผลไม้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นตัวแทนสำหรับการนำไปใช้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (calibration set) ใช้จำนวน 70 เปอร์เซ็นต์ ของตัวอย่างทั้งหมด และกลุ่มที่เป็นตัวแทนสำหรับใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น (validation set) ใช้จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ ของตัวอย่าง

2. มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 วิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง digital refractometer Atago รุ่น PR-101 มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ใช้วิธีการไทเทรตโดยใช้เครื่อง auto titratable acidity Mettler Toledo รุ่น DL53 Titrator มีหน่วยเป็น กรัมต่อลิตร
- น้ำหนักแห้ง โดยอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

3. เมลอนพันธุ์ Orange Net วิเคราะห์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง digital refractometer Atago รุ่น PR-101 มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

4. หลังจากได้ค่าสเปกตรัมจากเครื่อง NIR และค่าวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างผลไม้แล้ว นำทั้งสองค่าที่ได้ไปเข้าในสมการความสัมพันธ์เพื่อสร้างและปรับปรุงสมการมาตรฐานสำหรับทำนายค่า โดยใช้โปรแกรม CA Marker

5. คัดเลือกสมการโดยพิจารณาจากค่า correlation coefficient (R) สูง ค่าstandard error of calibration (SEC) ต่ำ และค่า standard error of prediction (SEP) ต่ำ และปรับปรุงสมการโดยการนำตัวอย่างผลไม้มาทำการตรวจสอบเพิ่มเติมและคำนวณเพื่อปรับปรุงสมการอีกครั้ง

กรมวิชาการเกษตร

เวลาและสถานที่

ระยะเวลา : ตุลาคม 2558 ถึง กันยายน 2563

สถานที่ทำการทดลอง : กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

ทำการทดลองประเมินคุณภาพผลไม้ด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา โดยศึกษาในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 และเมลอน ผลการทดลองดังนี้

1. การประเมินคุณภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ด้วยเครื่อง NIR Gun แบบพกพา

การวัดสเปกตรัมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun จะได้เส้นสเปกตรัมที่จะนำมาสร้างสมการเทียบมาตรฐานการทำนายคุณภาพที่ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 600-1100 นาโนเมตร พบว่า สเปคตรัมของการดูดกลืนแสงของเมล่อนจะสังเกตเห็นจุดยอดที่ 960 นาโนเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนน้ำที่เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนั้นจะสังเกตเห็นเส้นสเปคตรัมมีการยกตัวเป็นชั้น ซึ่งเกิดจากการกระจายของแสงที่ผิวของมะม่วงทำให้สเปคตรัมเบี่ยงเบน จึงต้องทำการปรับแต่งสเปคตรัมโดยวิธี second derivertive (Figure 1)

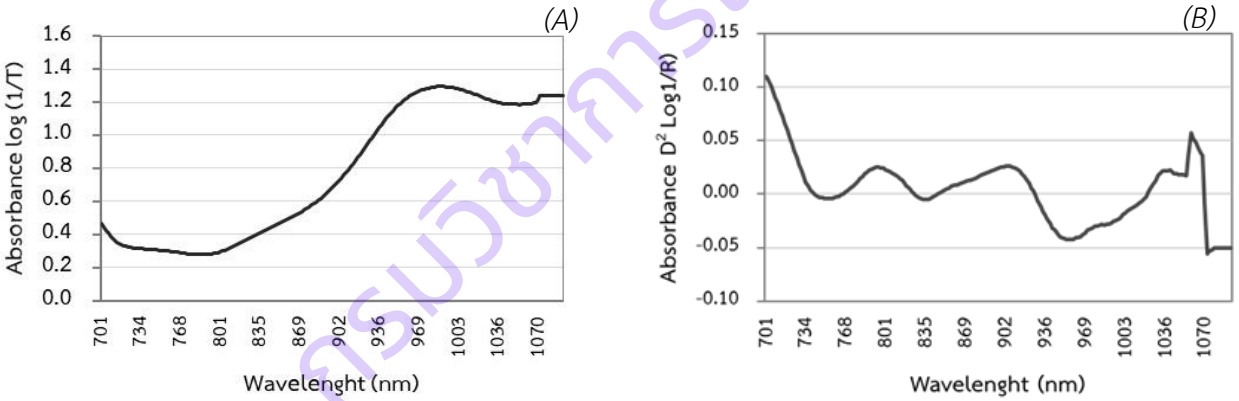

Figure 1 The original spectrum (A) and second derivative spectrum (B) of mangoes cv. Num Dok Mai no. 4

1.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS)

จากการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณค่า TSS ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 จำนวน 244 ตัวอย่าง ที่มีค่า TSS ระหว่าง 7.10-23.50 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) พบว่า สมการที่ได้มีค่าความแม่นยำระดับที่สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: R) เท่ากับ 0.94 นอกจากนี้ มีค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration: SEC) ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (standard error of prediction: SEP) และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้

กรมวิชาการเกษตร

จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRs (average of difference between actual value and NIR value: bias) เท่ากับ 1.02 0.89 และ 0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2) จาก scatter plot พบว่า ค่าทำนายปริมาณ TSS อยู่ใกล้เส้นทแยงมุม (target line) ซึ่งเป็นเส้นที่แสดงค่าจริงกับค่าทำนาย (Figure 2)

Table 1 The characteristics of samples use in model for TSS value of of mangoes cv. Num Dok Mai No. 4

Items	**TSS value of of mangoes cv. Num Dok Mai No.4**
Min-Max	7.10-23.50
Mean	14.78
SD	1.73
Number	244
Unit	%

Table 2 The statistical analysis of NIRs model to predicted TSS values of mangoes cv. Num Dok Mai no. 4 by CA maker software

Wavelength (nm)	N	SD	R	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)
700-1100	244	1.73	0.94	1.02	0.89	0.02

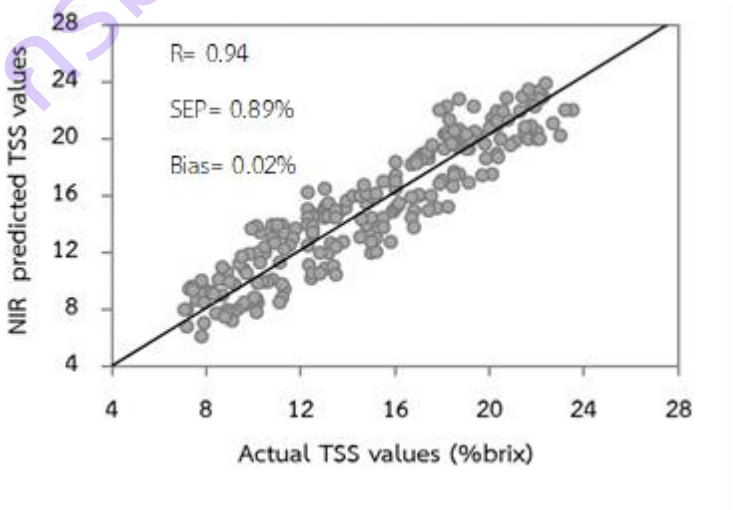

Figure 2 Scatter plot of actual and NIR predicted TSS value (%) of mangoes cv. Num Dok Mai no. 4

กรมวิชาการเกษตร

เมื่อนำสมการที่ได้มาใช้ประเมินปริมาณ TSS ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้เทคนิค NIRs ด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า มีค่าความแตกต่างระหว่าง -1.1 ถึง 1.5 (Table 3) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี ด้วย paired t-test พบว่า ค่าที่ได้จากการประเมินด้วย FQA-NIR Gun แบบพกพา กับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถนำเทคนิค NIRs มาประเมินปริมาณ TSS ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้

Table 3 Comparison of predicted an actual values when used NIR model to evaluate TSS value (%) in mangoes cv. Num Dok Mai no. 4

Sample	Actual value	Prediction value	Differentiation
1	15.2	14.3	0.9
2	16.5	15.2	1.3
3	17.6	16.5	1.1
4	17.5	18.4	-0.9
5	18.8	17.3	1.5
6	18.9	17.7	1.2
7	19.1	17.6	1.5
8	19.5	20.6	-1.1
9	19.6	19.5	0.1
10	19.8	18.3	1.5
11	19.8	19.9	-0.1
12	20.2	19.5	0.7
13	20.3	19.1	1.2
14	20.6	19.4	1.2
15	20.2	19.7	0.5
16	22.4	21.1	1.4
17	22.3	20.9	1.4
18	21.4	20.0	1.4
19	21.3	20.8	0.5
20	22.4	21.2	1.2

กรมวิชาการเกษตร

1.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity: TA)

จากการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณค่า TA ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 จำนวน 250 ตัวอย่าง ที่มีค่า TA ระหว่าง 7.30-28.80 กรัมต่อลิตร (Table 4) พบว่า สมการที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการทำนายค่า TA โดยมี R เท่ากับ 0.89 มีค่า SEC SEP และ Bias เท่ากับ 1.41 1.70 และ -0.24 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Table 5 และ Figure 3)

Table 4 The characteristics of samples use in model for TA value of of mangoes cv. Num Dok Mai No. 4

Items	TA value of of mangoes cv. Num Dok Mai No. 4
Min-Max	7.30-28.80
Mean	16.35
SD	1.93
Number	250
Unit	g/L

Table 5 The statistical analysis of NIRs model to predicted TA values (g/L) of mangoes cv. Num Dok Mai no. 4 by CA maker software

Wavelength (nm)	N	SD	R	SEC (g/L)	SEP (g/L)	Bias (g/L)
700-1100	250	1.93	0.89	1.41	1.70	-0.24

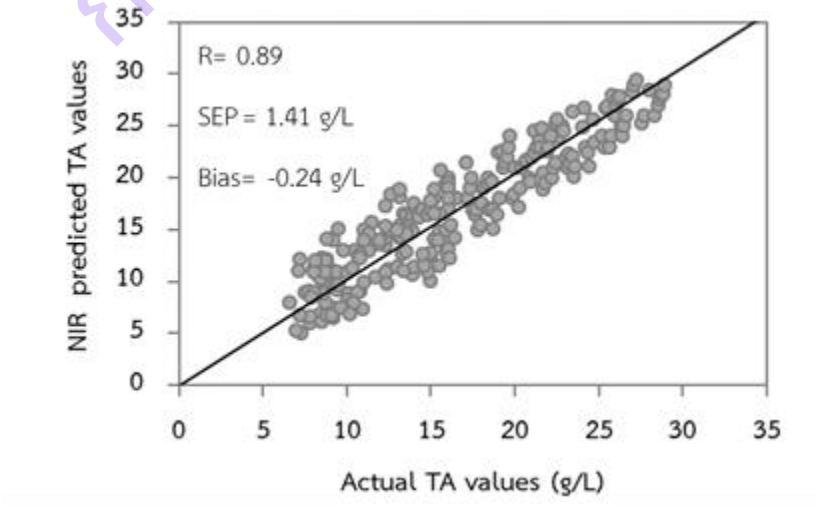

Figure 3 Scatter plot of actual and NIR predicted TA value (g/L) of mangoes

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

cv. Num Dok Mai no. 4

เมื่อนำสมการที่ได้มาใช้ประเมินปริมาณ TA ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้เทคนิค NIRs กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าความแตกต่าง -1.7 ถึง 1.6 (Table 6) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี ด้วย paired t-test พบว่า ค่าที่ได้จากการประเมินด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา กับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงสามารถนำเทคนิค NIRs มาประเมินปริมาณ TA ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้

Table 6 Comparison of predicted an actual values when used NIR model to evaluate TA value (g/L) in mangoes cv. Num Dok Mai no. 4

Sample	Actual value	Prediction value	Differentiation
1	12.3	14.0	-1.7
2	13.5	12.5	1.0
3	13.8	12.8	1.0
4	13.9	13.1	0.8
5	14.4	15.0	-0.6
6	14.5	15.0	-0.5
7	14.5	13.0	1.5
8	14.5	13.6	0.9
9	15.1	14.3	0.8
10	15.2	16.9	-1.7
11	16.0	16.7	-0.7
12	16.6	18.0	-1.4
13	16.6	14.8	1.8
14	17.5	17.0	0.5
15	17.5	16.3	1.2
16	18.6	17.8	0.8
17	20.0	18.4	1.6
18	21.5	20.4	1.1
19	21.6	22.0	-0.4
20	21.8	21.0	0.8

กรมวิชาการเกษตร

1.3 น้ำหนักแห้ง (Dry matter: DM)

จากการสร้างสมการเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 จำนวน 200 ตัวอย่าง ที่มีค่า DM ระหว่าง 7.33-24.97 (Table 7) เปอร์เซ็นต์ พบว่า สมการเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมีค่าความแม่นยำในระดับที่สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าได้ โดยมีค่า R เท่ากับ 0.90 มีค่า SEC SEP และ Bias เท่ากับ 0.94 0.90 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 8 และ Figure 4)

Table 7 The characteristics of samples use in model for dry matter of of mangoes cv. Num Dok Mai No. 4

Items	Dry matter of mangoes cv. Num Dok Mai no. 4
Min-Max	7.33-24.97
Mean	16.42
SD	1.73
Number	200
Unit	%

Table 8 The statistical analysis of NIRs model to predicted dray matter (%) of mangoes cv. Num Dok Mai no. 4 by CA maker software

Wavelength (nm)	N	SD	R	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)
700-1100	200	1.73	0.90	0.94	0.90	0.05

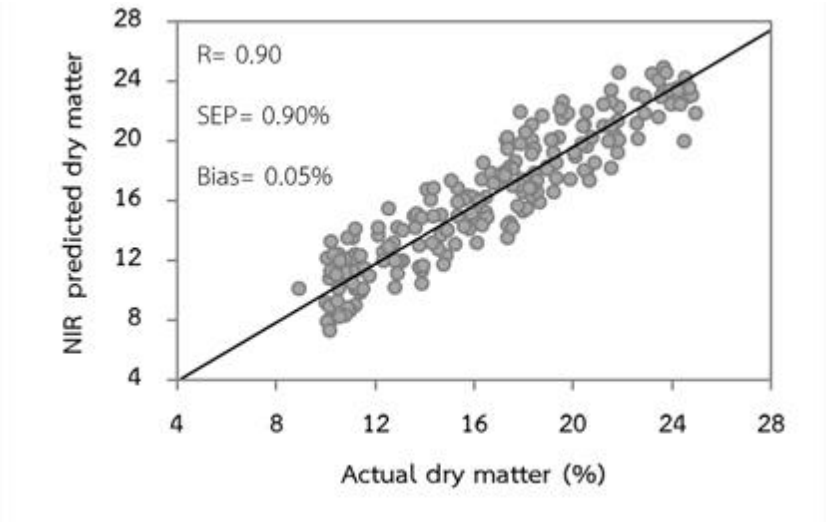

Figure 4 Scatter plot of actual and NIR predicted dry matter (%) of mangoes

กรมวิชาการเกษตร

cv. Num Dok Mai no. 4

เมื่อนำสมการที่ได้มาใช้ประเมินของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประเมินด้วยเทคนิค NIRs กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าความแตกต่าง -1.4 ถึง 1.4 (Table 9) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี ด้วย paired t-test พบว่า ค่าที่ได้จากการประเมินด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา กับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงสามารถนำเทคนิค NIRs มาประเมินเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้

Table 9 Comparison of predicted an actual values when used NIR model to evaluate dry matter (%) in mangoes cv. Num Dok Mai no. 4

Sample	Actual value	Prediction value	Differentiation
1	12.4	13.0	-0.6
2	13.6	14.6	-1.0
3	14.7	13.3	1.4
4	14.8	15.6	-0.8
5	15.4	14.5	0.9
6	15.8	14.6	1.2
7	17.0	17.3	-0.3
8	17.2	16.5	0.8
9	17.6	18.6	-0.9
10	18.1	19.0	-0.9
11	18.4	19.4	-1.0
12	19.1	17.8	1.3
13	19.2	18.2	1.0
14	19.5	20.8	-1.3
15	20.4	19.4	1.0
16	20.7	19.6	1.1
17	20.9	22.3	-1.4
18	21.2	20.3	0.9
19	21.8	23.2	-1.4
20	21.9	21.8	0.1

กรมวิชาการเกษตร

2. การประเมินคุณภาพเมลอนด้วยเครื่อง NIR Gun แบบพกพา

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS)

การวัดสเปกตรัมของเมลอนด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun จะได้เส้นสเปกตรัมที่จะนำมาสร้างสมการเทียบมาตรฐานการทำนายคุณภาพเมลอนที่ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 700-1100 นาโนเมตร พบว่า สเปคตรัมของการดูดกลืนแสงของเมลอนจะสังเกตเห็นจุดยอดอยู่ที่ 970-980 นาโนเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนน้ำและคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบหลัก (Osborne et al., 1993) นอกจากนั้นจะสังเกตเห็นเส้นสเปคตรัมมีการยกตัวเป็นชั้น (baseline shift) ซึ่งเกิดจากการกระจายของแสงที่ผิวของเมลอนทำให้สเปคตรัมเบี่ยงเบน จึงต้องทำการปรับแต่งสเปคตรัมโดยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) (Figure 5) ก่อนนำไปสร้างสมการเปรียบเทียบ เพื่อกำจัดอิทธิพลจากการกระเจิงของแสงส่งผลให้ได้เส้นสเปกตรัมที่อยู่ชิดกัน รวมทั้งแก้ไขปัญหาการซ้อนทับกันของของจุดยอด (overlapping) ทำให้สังเกตจุดยอดได้ชัดเจนขึ้น

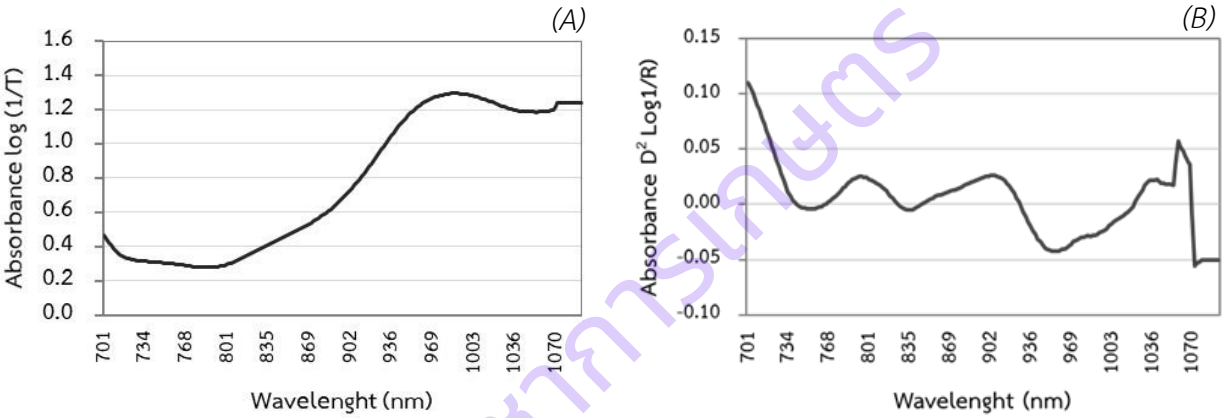

Figure 5 The original spectrum (A) and second derivative spectrum (B) of melon cv. Orange Net

ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อทำนายปริมาณค่า TSS ของเมลอน จำนวน 252 ตัวอย่าง ที่มีค่า TSS ระหว่าง 6.00-14.80 เปอร์เซ็นต์ (Table 10) พบว่า สมการที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการทำนายค่า TSS โดยมีค่า R เท่ากับ 0.86 นอกจากนี้ มีค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ SEC SEP และ bias เท่ากับ 0.72 0.85 และ -0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 11 และ Figure 6) สอดคล้องกับการศึกษาของธีระวัฒน์และคณะ (2561) ที่พบว่า การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้ โดยใช้เทคนิค NIRs ช่วงคลื่นสั้น 700-1100 นาโนเมตร ให้สมการเทียบมาตรฐานที่ดี มีความแม่นยำสูง โดยมีค่า R เท่ากับ 0.86 ค่า SEP เท่ากับ 1.27 เปอร์เซ็นต์ และ Bias เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า NIRs เป็นเทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพที่รวดเร็วและสามารถใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้แบบไม่ทำลายตัวอย่าง

กรมวิชาการเกษตร

Table 10 The characteristics of samples use in model for TA value of of melon cv. Orange Net

Items	TSS of melon cv. Orange Net
Min-Max	6.0-14.8
Mean	8.8
SD	1.05
Number	252
Unit	%

Table 11 The statistical analysis of NIRs model to predicted TSS values of melon cv. Orange Net by CA maker software

Wavelength (nm)	No.	SD	R	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)
700-1100	252	1.05	0.86	0.72	0.85	-0.05

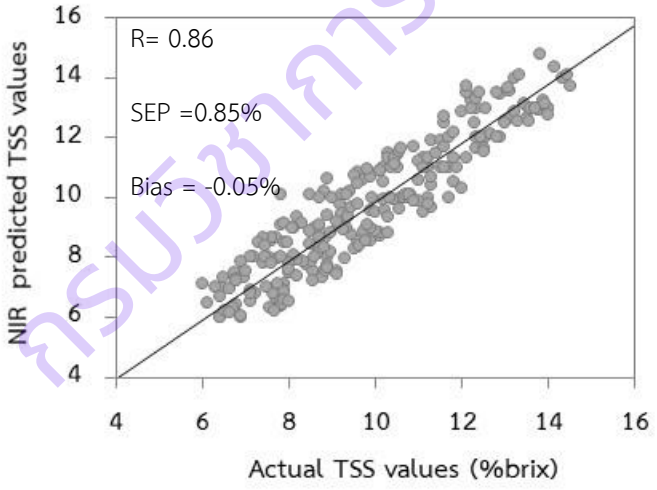

Figure 6 Scatter plot of actual and NIR predicted TSS value (%) of melon cv. Orange Net

นำสมการที่ได้มาใช้ประเมินปริมาณ TSS ของเมลอน โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้เทคนิค NIRs กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าความแตกต่าง -1.0 ถึง 1.0 (Table 12) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี ด้วย paired t-test พบว่า ค่าที่ได้จากการประเมินด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา กับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงสามารถนำเทคนิค NIRs มาประเมินปริมาณ TSS ในเมลอนได้

กรมวิชาการเกษตร

Table 12 Comparison of predicted an actual values when used NIR model to evaluate TSS value (%) in of melon cv. Orange Net

Sample	Actual value	Prediction value	Differentiation
1	6.5	7.5	-1.0
2	6.8	6.0	0.8
3	7.5	8.5	-1.0
4	7.9	7.3	0.6
5	8.2	7.9	0.3
6	8.7	8.1	0.6
7	8.6	9.6	-1.0
8	8.9	9.3	-0.4
9	9.0	8.6	0.4
10	9.1	8.2	0.9
11	9.6	8.7	0.9
12	9.9	9.1	0.8
13	9.9	10.3	-0.4
14	10.1	10.5	-0.5
15	10.3	11.0	-0.7
16	10.5	11.5	-1.0
17	11.6	10.7	0.9
18	12.9	11.9	1.0
19	12.1	11.4	0.7
20	13.7	12.9	0.8

กรมวิชาการเกษตร

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโคปีมีความเป็นไปได้สำหรับใช้ทำนายคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณน้ำหนักแห้ง และเมลอน ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยพบว่าค่าที่ได้จากการทำนายและค่าจริงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

10. เอกสารอ้างอิง

ธีระวัฒน์ เรือนคำ รณฤทธิ์ ฤทธิรณ และกนกวรรณ เสรีภาพ. 2561. การประเมินปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อแบบไม่ทำลายในผลแคนตาลูปโดยใช้สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. *ว.วิทย. กษ.* 49: 4 (พิเศษ) : 179-182

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สถิติการส่งออก (export). http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2563&E_YEAR=2563&PRODUCT_GROUP=5252&PRODUCT_ID=4985&wf_search=&WF_SEARCH=Y. (1 กุมภาพันธ์ 2564)

Clark, C.J., V.A. McGlone, C. Requejo, A. White and A.B. Woolf. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 29: 300-307.

Guthric, J. A., C. J. Liebenberk and K. B. Walsh. 2006. NIR model development and robustness in prediction of melon fruit total soluble solids. *Australian Journal of Agricultural Research* 57: 1-8.

Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd. Singapore. 227 p.

Rungpichayapichet, P., B. Mahayothee, M. Nagle, P. Khuwijitjaru and J. Müller. 2016. Robust NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango. *Postharvest Biology and Technology.* 111: 31-40.

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร