การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย แบบไม่ทำลาย ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Nondestructive Determination of Total Soluble Solids in 'Plukmailai' Papaya Fruit by Near Infrared Spectroscopy Technique

สุพรพรรณ ศรีมาศ[1], **พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล**[2], **รณฤทธิ์ ฤทธิรณ**[3] **และเกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์**[1]
Supornpun Srimat[1], Peerapong Sangwanangkul[2] Ronnarit Rittiron[3] andKriengsak Thaipong[1]

Abstract

Total soluble solids (TSS) is an important fruit quality trait that is used to determine the eating quality and harvesting indexes of fresh papaya. However, the flavor of papayas in the market is not consistent. The objective of this research was to develop a nondestructive evaluation system using a near infrared (NIR) spectroscopy technique for determining TSS in 'Plukmailai' papaya fruit. NIR absorbance (spectra) of papaya fruits was acquired by a portable NIR spectrometer. Prediction equations of TSS were then developed by the relationship between TSS content and spectra using multiple linear regression analysis. There were two equations that showed accurate prediction of TSS. The multiple correlation coefficient (R), standard error of calibration (SEC), standard error of prediction (SEP) and bias of the first equation were 0.98, 0.76°Brix, 0.85°Brix and 0.17°Brix, respectively. This equation was suitable for predicting TSS as a harvesting index. The R, SEC, SEP and bias of the second equation were 0.94, 0.98°Brix, 0.90°Brix and 0.04°Brix, respectively. This equation was suitable for determining TSS for both harvesting and eating indexes.

Keywords: papaya, total soluble solids, NIR, nondestructive

บทคัดย่อ

มีการนำปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) มาใช้กำหนดมาตรฐานคุณภาพการบริโภคและดัชนีการเก็บเกี่ยวที่สำคัญของมะละกอรับประทานสุก แต่พบปัญหารสชาติไม่สม่ำเสมอ การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณ TSS ของมะละกอแบบไม่ทำลายตัวอย่าง เพื่อคัดแยกคุณภาพด้านรสชาติที่แม่นยำยิ่งขึ้น โดยระบบการวิเคราะห์ปริมาณ TSS แบบไม่ทำลาย ได้รับการพัฒนาขึ้นจากความสัมพันธ์ของค่า TSS กับการดูดกลืนพลังงานอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared, NIR) ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา จากนั้นสร้างสมการทำนายด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ พบว่า สามารถพัฒนาสมการทำนายได้อย่างแม่นยำ 2 สมการ โดยสมการแรก มีค่า R = 0.98, SEC = 0.76°Brix, SEP = 0.85°Brix และ Bias = 0.17°Brix สมการนี้สามารถนำมาใช้ทำนายปริมาณ TSS ของผลมะละกอสำหรับใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ สมการที่สอง มีค่า R = 0.94, SEC = 0.98°Brix, SEP = 0.90°Brix และ Bias = 0.04°Brix สมการนี้สามารถนำมาใช้ทำนายปริมาณ TSS ของผลมะละกอสำหรับใช้เป็นทั้งดัชนีการเก็บเกี่ยวและดัชนีการบริโภค

คำสำคัญ: มะละกอ, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด, สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้, การวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย

คำนำ

มะละกอเป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เป็นที่นิยมบริโภคกันมากทั้งในรูปมะละกอผลดิบและผลสุก สำหรับมะละกอพันธุ์ใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมมากขณะนี้คือ พันธุ์ปลักไม้ลาย ด้วยคุณลักษณะที่มีเนื้อหนา เมื่อสุกมีเนื้อแน่น ไม่เละ รสชาติหวาน สีส้มอมแดง โดยมาตรฐานของมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่ผู้ประกอบการกำหนดไว้นั้นต้องมีผลทรงกระบอก ขนาดผลเกรดเอ 800-1,800 กรัม/ผล และเกรดบี 400-799 กรัม/ผล และ มากกว่า 1,800

[1] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140
[1] Department of Horticulture, Facultyof Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140
[2] ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 73140
[2] Postharvest Technology Center, Research and Development Institute at Kamphaeng Saen / Postharvest Technology Innovation Center, Kasetsart University, Kampaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140
[3] ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140
[3] Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

กรัม/ผล มีค่ามาตรฐาน total soluble solids (TSS) ที่บริษัทบ้านนาล้อมฟาร์ม บริษัทสวนสวามี ไร่มะละกอกิมเฮียง และห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาเก็ตกำหนดไว้ต้องไม่ต่ำกว่า 11 และ 10°Brix สำหรับเกรดเอ และ บี ตามลำดับ (พีรพงษ์ และคณะ, 2552) แต่เนื่องจากรสชาติความหวานที่ไม่สม่ำเสมอ เพราะการวิเคราะห์ปริมาณ TSS ทั่วไปต้องทำลายเนื้อผลและเป็นการวิเคราะห์แบบสุ่ม ดังนั้นผลมะละกอที่นำมาวางจำหน่ายจึงไม่ได้ถูกประเมินคุณภาพแต่อย่างใดทำให้คุณภาพไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณ TSS ของมะละกอแบบไม่ทำลายจะทำให้ผู้ประกอบการสามารถคัดเกรดและรับประกันคุณภาพได้ทุกผล เทคนิค near infrared Spectroscopy (NIRs) เป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งที่มีศักยภาพสูง สามารถนำไปใช้จริง เช่น ทำนายความหวานของมะม่วง (Sarangwong *et al*., 2001) การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณ TSS ของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายแบบไม่ทำลายตัวอย่าง โดยอาศัยเครื่อง NIR สเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา สำหรับเป็นดัชนีเก็บเกี่ยวในการเลือกผลมะละกอดิบบนต้นและดัชนีการบริโภคเพื่อแยกเกรดคุณภาพก่อนถึงมือผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

1.การเตรียมตัวอย่างผลมะละกอ

ทำการผูกดอกและเก็บเกี่ยวผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายจากแปลงทดลองมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2552 จำนวน 160 ผล แบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ทราบอายุผลและเก็บผลเมื่ออายุ 91ถึง 161 วันหลังดอกบาน เก็บช่วงอายุละ 5 ผลทุก 7 วัน และกลุ่มที่ 2 เก็บมะละกอเมื่อผิวผลมีสีเหลืองปรากฏประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวผลทั้งหมด นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 1°C นาน 3-5 วัน จนผลสุกมีสีเหลือง 100% จึงทำให้การวัดสเปกตรัมและวิเคราะห์ปริมาณ TSS ณ ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

2. NIR spectrometer และการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS)

การวัดสเปกตรัมของผลมะละกอจะใช้เครื่อง NIR สเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา (FQA-NIRGUN, Japan) ใช้ระบบการวัดแบบ interactance ช่วงความยาวคลื่น 700-1,150 nm วัดสเปกตรัมของมะละกอกลุ่มที่ 1 ในแปลง และกลุ่มที่ 2 วัดในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 1°C โดยวัดสเปกตรัม ณ ตำแหน่งกึ่งกลางผลในแนวขวาง 2 ด้าน แล้วคั้นน้ำจากเนื้อมะละกอ ณ ตำแหน่งที่วัดสเปกตรัม วัดปริมาณ TSS ในผลมะละกอ ด้วยเครื่อง hand refractometer (N1, Atago, Japan) รายงานค่าเป็นหน่วย °Brix

3. การสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

นำข้อมูลสเปกตรัมของผลมะละกอ มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณ TSS โดยการสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (multiple linear regression, MLR) โดยอาศัยโปรแกรม CA Maker ซึ่งการสร้างสมการ ข้อมูลสเปกตรัมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ calibration set สำหรับใช้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และ validation set สำหรับใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐาน

ผลและวิจารณ์

1. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) เทียบกับช่วงพัฒนาการของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

ปริมาณ TSS มีแนวโน้มสูงขึ้นตามอายุผลหลังดอกบาน ตั้งแต่เริ่มเก็บผลที่อายุ 91 วันหลังดอกบาน ซึ่งผลยังไม่แต้มสีเหลืองบนผิวมีปริมาณ TSS เฉลี่ย 5.1°Brix และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุผลที่เพิ่มขึ้น เมื่อผลมีอายุ 133 วันหลังดอกบาน พบว่ามีการพัฒนาสีผิวผลเหลืองประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวผล มีปริมาณ TSS 11.1°Brix (Figure 1) ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานปริมาณ TSS ที่บริษัทบ้านนาล้อมฟาร์ม บริษัทสวนสวามี ไร่มะละกอกิมเฮียง และห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาเก็ตกำหนดไว้ต้องไม่ต่ำกว่า 11 และ 10°Brix สำหรับมะละกอเกรดเอและบี ตามลำดับ (พีรพงษ์ และคณะ, 2552) และใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานคุณภาพมะละกอในมลรัฐฮาวายที่ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อมีปริมาณ TSS ไม่ต่ำกว่า 11.5°Brix (Anonymous, 1990) ดังนั้น เพื่อให้คุณภาพมะละกอได้มาตรฐานควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลมีอายุตั้งแต่ 133 วันหลังดอกบานเป็นต้นไปหรือเมื่อมีการพัฒนาสีเหลืองของผิวไม่น้อยกว่า 5% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

2. สเปกตรัมของผลมะละกอ

จากการวัดสเปกตรัมของผลมะละกอพบว่า มีจุดสูงสุดของสเปคตรัมที่ 960 nm (Figure 2a) เป็นตำแหน่งการดูดกลืนแสงของน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในผลมะละกอ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการยกตัวเป็นชั้น (baseline shift) ของเส้นสเปกตรัม ซึ่งเกิดจากการกระเจิงของแสง (scattering) ที่ผิวผลมะละกอ เนื่องจากความหนาแน่นหรือขนาดอนุภาคผลที่แตกต่างกันทำให้สเปกตรัมเบี่ยงเบน (Stark, 1989) จึงทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first derivative) (Figure 2b) ก่อนการสร้างสมการทำนายเพื่อลดอิทธิพลดังกล่าว โดยอาศัยโปรแกรม CA Maker

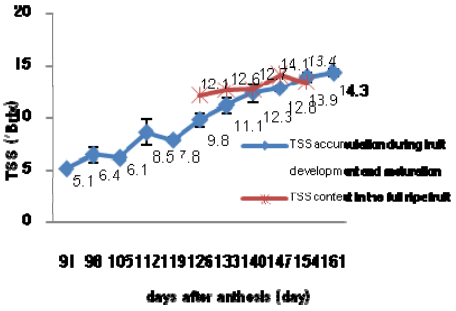
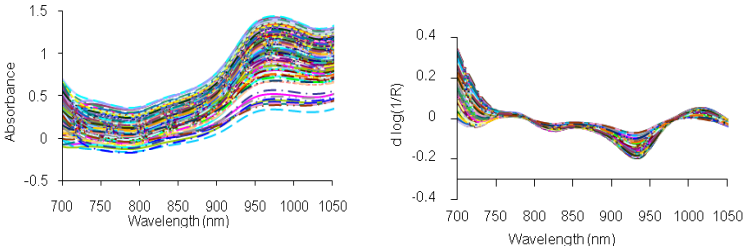


Figure 1 TSS accumulation during papaya fruit growth and development.

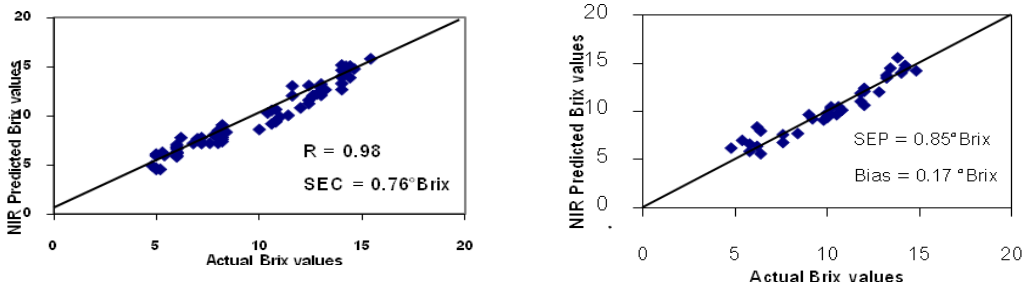


(a) Original spectrum (b) First derivative spectrum

Figure 2 (a) Original spectrum and (b) first derivative spectrum of papaya at 700-1050 nm.

3. สมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

3.1 ผลการสร้าง scatter plots แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริงที่วัดได้ของปริมาณ TSS ของผลมะละกอดิบขณะอยู่บนต้น (Figure 3) สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณ TSS ของผลมะละกอดิบขณะอยู่บนต้น สำหรับใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่า correlation coefficient (R) = 0.98, standard error of calibration (SEC) = 0.76°Brix, ค่า standard error of prediction (SEP) = 0.85°Brix และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) = 0.17°Brix ได้สมการดังนี้TSS (°Brix) = $17.93 - 791.75A_{792}+1322.02A_{808}+1840.28A_{876}-3215.23A_{892}+820.18A_{912}$. (3.1)



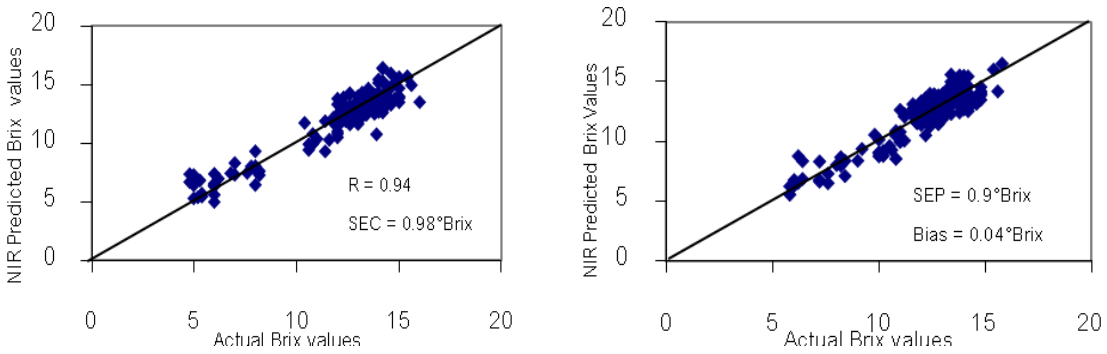
(a) Calibration sample set (b) Validation sample set

Figure 3 Scatter plots of actual and NIR predicted Brix values for the harvesting index.

3.2 ผลการสร้าง scatter plots แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริงที่วัดได้ของปริมาณ TSS ของทั้งผลมะละกอดิบขณะอยู่บนต้นและมะละกอที่บ่มสุก 100% (Figure 4) สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานที่มีความแม่นยำสูง สามารถใช้ทำนายปริมาณ TSS ของผลมะละกอสำหรับใช้เป็นทั้งดัชนีการเก็บเกี่ยวและดัชนีการบริโภคได้ โดยมีค่า correlation coefficient (R) = 0.94, standard error of calibration (SEC) = 0.98°Brix, standard error of prediction (SEP) = 0.90°Brix และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) = 0.04°Brix ดังสมการทำนายต่อไปนี้

TSS (°Brix) = $14.89 + 4.69A_{700}-88.63A_{764}+1024.37A_{852}-1604.75A_{892}+609.46A_{908}$ …….. (3.2)

เมื่อ Ax คือ ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น X nm



(a) Calibration sample set (b) Validation sample set

Figure 4 Scatter plots of actual and NIR predicted Brix values for both the harvesting and eating indexes.

สรุป

1. การเก็บเกี่ยวผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายสำหรับบริโภคผลสุก ควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลมีอายุไม่น้อยกว่า 133 วันหลังดอกบาน และมีสีผิวผลแหลืองไม่น้อยกว่า 5% ของพื้นที่ผิวผลทั้งหมด

2. เครื่อง NIR สเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาสามารถใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble slids, TSS) ของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายแบบไม่ทำลายตัวอย่างได้อย่างแม่นยำ โดยให้ค่าทำนายไม่แตกต่างจากการวิเคราะห์ปริมาณ TSS แบบเดิมที่ใช้ hand refractometer สำหรับเป็นทั้งดัชนีการเก็บเกี่ยวในการเลือกผลบนต้นและดัชนีการบริโภคในการแยกเกรดคุณภาพก่อนถึงมือผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล, จตุรงค์ จันทร์สี่ทิศ, สมนึก ทองบ่อ และไพร มัทธวรัตน์. 2552. การสำรวจพันธุ์ ระบบการผลิตและการตลาดมะละกอในเขตจังหวัดสุพรรณบุรีและกาญจนบุรี. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 68 น

Anonymous. 1990. Standards for Hawaii-grown papaya. Hawaii Department of Agriculture, Marketing Division.

Sarangwong, S., J. Sornsrivichi and S. Kawano. 2001. Improvement of PLS calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. J. Near Infrared Spectrsc. 9: 287.

Stark, E. 1989. Data processing for near infrared spectroscopy. The Proceedings of the Second International Near Infrared Spectroscopy Conference, edited by M. Iwamoto and S. Kawano, Tsukuba, Japan, May 29-June 2, 1989.