

การประเมินปริมาณวิตามินซีในผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายแบบไม่ทำลายตัวอย่างด้วยเทคนิค NIRs Nondestructive Evaluation of Vitamin C in 'Plugmailai' Papaya Fruit by NIRs Technique

พีรพงษ์ แสงวงวงศ์กุล¹, กฤษณี เขียมจัต², รณฤทธิ์ ฤทธิธรรณ³ และ เกียรติศักดิ์ ไทยพงษ์²
Peerapong Sangwanangkul¹, Kritsanee lamjud², Ronnarit Rittiron³ and Kriengsak Thaipong²

Abstract

Papaya is a source of ascorbic acid. To determine papaya ascorbic acid level by the standard method, the evaluated fruit is destroyed. The objective of this research was to develop a nondestructive method for determining ascorbic acid level in papaya fruit using near infrared spectroscopy technique. Near infrared (NIR) absorbance (spectra) of papaya fruit were acquired by a portable NIR spectrometer. Prediction equations of ascorbic acid level were developed by the relationship between ascorbic acid content and spectra using multiple linear regression analysis. There were two equations showing accurate prediction of ascorbic acid content. The multiple correlation coefficient (R), standard error of prediction (SEP) and bias of the first equation were 0.93, 8.78 mg/100 ml and -0.03 mg/100 ml and those of the second equation were 0.98, 4.56 mg/100 ml and -0.10 mg/100 ml, respectively. The first equation was suitable for determining ascorbic acid level for both harvesting and eating indexes, while the second equation was suitable only for determining the ascorbic acid level for the harvesting index.

Keywords: ascorbic acid, papaya, harvesting index, near infrared, NIR, nondestructive

บทคัดย่อ

มะละกอเป็นผลไม้ที่มีปริมาณวิตามินซีค่อนข้างสูง ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีโดยทั่วไปจะต้องทำลายผล ทำให้ไม่สามารถนำผลมาจำหน่ายได้ ดังนั้นจึงพัฒนาวิธีการประเมินปริมาณวิตามินซีในผลมะละกอโดยไม่ทำลายตัวอย่าง 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

คำสำคัญ: วิตามินซี, มะละกอ, ดัชนีการเก็บเกี่ยว, สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้, การวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย

คำนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น มะละกอสุกเป็นผลไม้เพื่อสุขภาพที่ผู้บริโภคยอมรับเนื่องจากรสชาติดี มีคุณค่าทางอาหารสูง และช่วยระบบขับถ่ายได้ดี ในการเลือกซื้อมะละกอของผู้บริโภค นอกจากความหวานที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคคำนึงถึงแล้ว วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) จัดเป็นสารอาหารที่ผู้บริโภคที่รักสุขภาพสนใจเนื่องจากวิตามินซีส่งเสริมความต้านทานต่อโรคหวัด บำรุงผิวพรรณ และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ผิวพรรณชุ่มชื้นและเต่งตึงไม่แก่ก่อนวัย ซึ่งมะละกอที่มีคุณภาพดีจนถึงมือผู้บริโภคย่อมได้มาจากผลที่มีอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ระยะที่เก็บเกี่ยวผลิตผลมานั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา โดยมีรายงานว่าผลมะละกอมีปริมาณวิตามินซีสูงขึ้นเมื่อผลสุก

¹ ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 73140

¹ Postharvest Technology Center, Research and Development Institute at Kamphaeng Saen / Postharvest Technology Innovation Center, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Nakhon Pathom 73140

² ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140

² Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

³ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

³ Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

(กาญจนา, 2536) แต่การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีโดยทั่วไปใช้วิธีไทเทรตซึ่งต้องทำลายผล ทำให้ผลเหล่านี้ไม่สามารถนำมาจำหน่ายได้ อีกทั้งเป็นการสุ่มวิเคราะห์จึงไม่สามารถทำได้ทุกผลและสิ้นเปลืองเวลาและสารเคมี ดังนั้นการประเมินปริมาณวิตามินซีของผลไม้แบบไม่ทำลายจึงเป็นที่ต้องการของทั้งผู้ประกอบการและผู้บริโภค เนื่องจากสามารถรับประกันปริมาณวิตามินซีในผล ทำให้สามารถคัดเกรด แยกประเภท และขายได้ในราคาที่ดีขึ้น ก่อให้เกิดการแข่งขันทางตลาด นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้บริโภคเข้าใจในคุณค่าของผลไม้ที่ซื้ออีกด้วย ซึ่งเทคนิค near infrared spectroscopy (NIRs) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายคุณสมบัติทางเคมีและความหวานแบบไม่ทำลายในผลมะละกอสายพันธุ์ฮาวาย (Slaughter *et al.*, 1999), มะม่วง (Sarangwong *et al.*, 2001) และฝรั่ง (รณฤทธิ์ และคณะ, 2551) เป็นต้น ในปัจจุบันมีเครื่อง NIR สเปกโทรมิเตอร์ แบบพกพาที่มีขนาดเล็กจากหลายบริษัทในต่างประเทศจำหน่ายในท้องตลาด ทำให้เกษตรกรและผู้ขายผลไม้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกิจการของตนเองได้ แต่ก่อนการนำเครื่องมือดังกล่าวไปใช้กับมะละกอ จำเป็นต้องสร้างสมการการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซี สำหรับมะละกอโดยเฉพาะ มิฉะนั้นจะเกิดความผิดพลาดในการทำนายสูงเกินขีดจำกัดของการยอมรับทางสถิติ

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซีของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายแบบไม่ทำลายตัวอย่าง โดยเทคนิค near infrared spectroscopy สำหรับใช้เป็นตัวชี้วัดการเก็บเกี่ยวและการบริโภค และเพื่อศึกษาการใช้วิตามินซีเป็นตัวชี้วัดการเก็บเกี่ยว

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ผลมะละกอ

ผูกดอกและเก็บเกี่ยวผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายจากแปลงปลูกของ สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน จ.นครปฐม ในช่วงเดือนตุลาคม 2551 ถึง พฤษภาคม 2552 โดยแบ่งผลมะละกอเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ทราบอายุผล เก็บเกี่ยวเมื่อผลอายุ 91 – 160 วันหลังดอกบาน ทุก 7 วัน ครั้งละ 5 ผล และกลุ่มที่ 2 เก็บเกี่ยวผลมะละกอที่เข้าสู่ระยะบรรจบมีผิวผลมีสีเหลืองประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวผลทั้งหมด นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3-5 วัน จนผลสุกมีสีเหลือง 80 - 100% รวม 160 ผล จึงทำการวัดสเปกตรัมและวิเคราะห์วิตามินซีในเนื้อผล

2. การวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR spectrometer

วัดสเปกตรัมของผลมะละกอบริเวณกลางผล 2 ด้านตรงข้ามกัน คือ ด้านที่ถูกแสงแดดและด้านที่อยู่ติดกับลำต้นซึ่งไม่ถูกแสงแดดด้วยเครื่อง NIR สเปกโทรมิเตอร์แบบพกพา (FQA-NIRGUN, Japan) ในระบบ interactance ช่วงความยาวคลื่น 700-1,050 nm

3. การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

วิเคราะห์โดยการไทเทรตโดยวิธี dichlorophenolindophenol titrimetric method (AOAC, 1990) รายงานหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำคั้น (mg/100 ml)

4. การสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

นำข้อมูลสเปกตรัมของผลมะละกอในช่วงความยาวคลื่น 700-1,050 nm มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณวิตามินซี โดยการสร้างสมการทำนายด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (multiple linear regression, MLR) โดยอาศัยโปรแกรม CA Maker ก่อนการสร้างสมการจะแปลงรูปสเปกตรัมของผลมะละกอด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first derivative) ทำการสร้างสมการทำนาย 2 สมการ ได้แก่ สมการกลุ่มที่ 1 สมการเก็บเกี่ยว สร้างจากผลมะละกอที่ทราบอายุการเก็บเกี่ยว กำหนด calibration set จำนวน 37 ผล และ validation set จำนวน 18 ผล สมการของกลุ่มที่ 2 เรียกว่าสมการเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยว สร้างจากมะละกอทั้งหมดที่ทราบอายุและไม่ทราบอายุ กำหนด calibration set จำนวน 80 ผล และ validation set จำนวน 80 ผล

ผล

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในช่วงพัฒนาการของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย

ปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงแรกจนกระทั่งผลอายุ 133 วันหลังดอกบาน ปริมาณวิตามินซีจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องตามอายุผลที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจนมีค่าสูงสุดเมื่อผลสุกเต็มที่เมื่ออายุ 161 วันหลังดอกบาน และพบว่าปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุกเต็มที่ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 3-5 วัน เมื่อเทียบกับช่วงพัฒนาการของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายที่มีอายุ 126 ถึง 154 วันหลังดอกบาน (Figure 1)

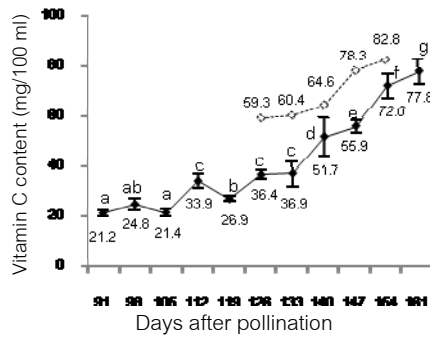


Figure 1 Vitamin C content during fruit development at harvest (solid line) and 3 days after storage (dash line).

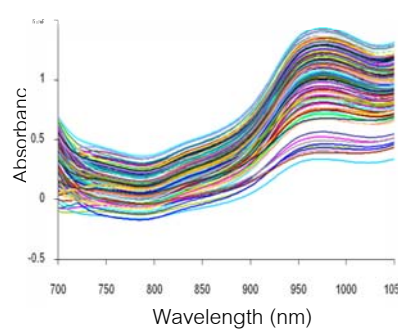


Figure 2 Original spectrum between 700-1,050 nm

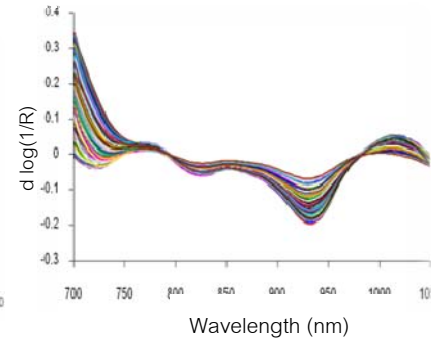


Figure 3 First derivative spectrum at 700-1,050 nm

2. สเปกตรัมของผลมะละกอ

ลักษณะการดูดกลืนแสงของผลมะละกอ (Figure 2) พบจุดสูงสุดที่ 960 nm ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนแสงของน้ำ (Osborne *et al.*, 1993) ที่เป็นองค์ประกอบหลักในผลไม้ นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นสเปกตรัมมีการยกตัวเป็นขั้น (baseline shift) ซึ่งเกิดจากการกระเจิงของแสง (scattering) ที่ผิวของมะละกอและความหนาแน่นหรือขนาดอนุภาคในผลที่ต่างกัน ทำให้สเปกตรัมเบี่ยงเบนไป (Stark, 1989) จึงต้องทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first derivative) จะได้เส้นสเปกตรัมที่ถูกกำจัดลง ทำให้เส้นสเปกตรัมที่ปรับแต่งแล้วอยู่ชิดกันมากขึ้น (Figure 3)

3. การสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซี

สมการเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยว จาก scatter plots ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เทียบมาตรฐานและค่าจริงของปริมาณวิตามินซีในกลุ่ม calibration set (Figure 4a) ได้สมการเทียบมาตรฐานที่มีค่า multiple correlation coefficient (R) = 0.93 และ standard error of calibration (SEC) = 8.17 mg/100 ml ซึ่งเมื่อทดสอบสมการในกลุ่ม validation set (Figure 4b) ได้ค่า standard error of prediction (SEP) = 8.78 mg/100 ml และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) = -0.03 mg/100 ml

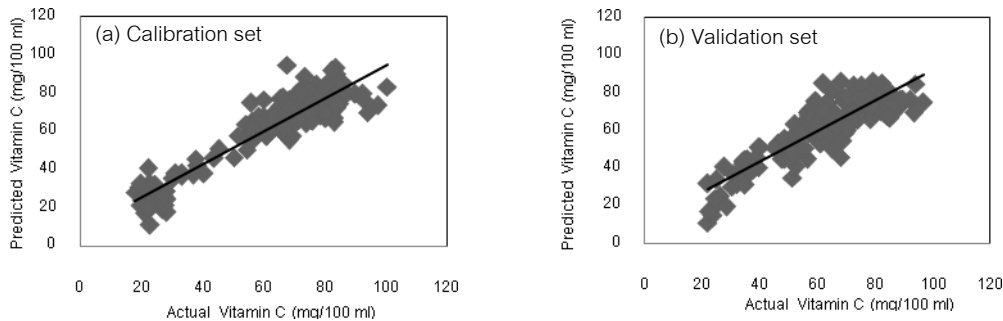


Figure 4 Scatter plots of actual and NIR predicted vitamin C for both the harvesting and eating index.

สมการเก็บเกี่ยว จาก scatter plots ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เทียบมาตรฐานและค่าจริงของปริมาณวิตามินซีในกลุ่ม calibration set (Figure 5a) ได้สมการที่มีค่า R = 0.98 และ SEC = 3.75 mg/100 ml ส่วนกลุ่ม validation set (Figure 5b) มีค่า SEP = 4.56 mg/100 ml และค่า bias = -0.10 mg/100 ml ซึ่งค่าที่เทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซีของทั้งสองสมการอยู่ใกล้เส้นทแยงมุม (target line) หรือเส้นที่ค่าจริงเท่ากับค่าที่ทำนาย ซึ่งบ่งบอกถึงการเทียบมาตรฐานได้อย่างแม่นยำ

วิจารณ์

ปริมาณวิตามินซีสามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลายสำหรับรับประทานสุกได้ โดยผลมะละกอควรมีปริมาณวิตามินซีในเนื้อผลขณะเก็บเกี่ยวไม่น้อยกว่า 50 mg/100 ml หรือเมื่อผลมีอายุมากกว่า 140 วันหลังดอกบาน เนื่องจากเป็นระยะที่ผลมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่า 11.5% และมีสีผิวผลเหลืองมากกว่า 5% ของพื้นที่ผิวทั้งผล ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวมะละกอ (สุพรรณพรณ, 2553)

การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการสร้างสมการเทียบมาตรฐานโดยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่งสามารถกำจัดอิทธิพลจากการกระเจิงของแสงได้ ซึ่งได้สมการเปรียบเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซีที่มีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และมีสัมประสิทธิ์ของแต่ละ

ตัวแปร ต่อไปนี้ สมการเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยว Vitamin C (mg/100 ml) = 91.4725 + 92.4746 A_{700nm} - 344.6308 A_{716nm} + 430.1848 A_{732nm} + 4,110.6353 A_{976nm} - 2,813.5905 A_{996nm} และสมการเก็บเกี่ยว Vitamin C (mg/100 ml) = 84.8040 - 22.8040 A_{716nm} + 1,379.2448 A_{824nm} + 2,427.3071 A_{880nm} - 3,154.4675 A_{996nm} + 110.3905 A_{936nm} โดย A_x คือ ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น X nm จากสมการดังกล่าวจะเห็นว่าตัวแปรที่สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของวิตามินซีในผลมะละกอยุ่ที่ตำแหน่ง 896 nm ซึ่งเป็นตำแหน่งใกล้เคียงกับการดูดกลืนแสงของ ascorbic acid ในเม็ดยาที่ตำแหน่ง 920 nm (Figure 6) สาเหตุที่การดูดกลืนแสงของวิตามินซีในมะละกอมีตำแหน่งเบี่ยงเบนไป เนื่องจากในผลมะละกอมีการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบทางเคมีอื่นร่วมด้วย เช่น น้ำ น้ำตาล สารสีและวิตามิน เป็นต้น และจากการทดสอบ paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ระหว่างค่าวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้จริงและค่าที่ทำนายได้ด้วย NIRs แสดงให้เห็นว่าสมการเทียบมาตรฐานที่สร้างสามารถนำไปประเมินปริมาณวิตามินซีของมะละกได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยสมการเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยวสามารถใช้ประเมินปริมาณวิตามินซีของมะละกอขณะอยู่บนต้นเพื่อใช้เป็นดัชนีเก็บเกี่ยวสำหรับเกษตรกร ตลอดจนใช้เปรียบเทียบปริมาณวิตามินซีของมะละกอที่สูงพร้อมรับประทานขณะที่ยังวางขายได้เพื่อใช้เป็นดัชนีการบริโภค ส่วนสมการเก็บเกี่ยวเหมาะสำหรับประเมินปริมาณวิตามินซีในผลมะละกอขณะอยู่บนต้นเพื่อใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวสำหรับเกษตรกร ซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าสมการแรก

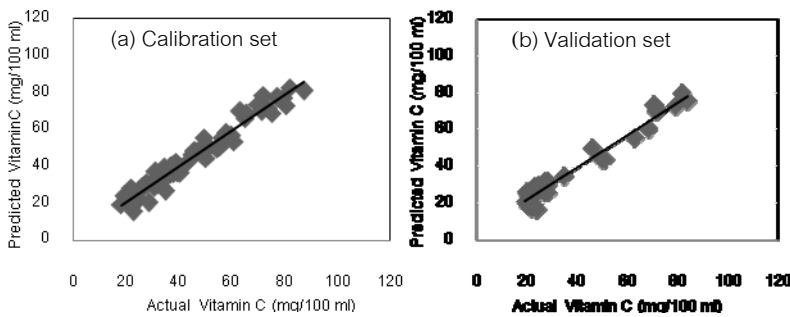


Figure 5 Scatter plots of actual and NIR predicted vitamin C for the harvesting index.

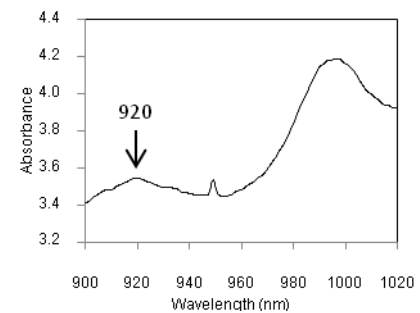


Figure 6 Spectrum of ascorbic acid supplement.

สรุป

เครื่อง NIR แบบพกพาสามารถใช้ประเมินปริมาณวิตามินซีได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยสามารถนำสมการแรกที่ได้ไปใช้ประเมินปริมาณวิตามินซีของผลมะละกอในการเก็บเกี่ยวและยังสามารถใช้คัดแยกปริมาณวิตามินซีก่อนถึงมือผู้บริโภคได้ ส่วนสมการที่สองสามารถใช้ประเมินปริมาณวิตามินซีของมะละกอขณะอยู่บนต้นซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวผลมะละกอพันธุ์ปลักไม่ลายได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และปริมาณวิตามินซีสามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะละกอได้

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา กุลวิฑิต. 2536. พัฒนาการและสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของมะละกอพันธุ์ปากช่อง 1.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.65 น.

ธณฤทธิ ฤทธิธรณ, ปนัดดา ไกรลาศอิฟาร และ มัลลิสิตา อึ้งพานิช. 2551. การประเมินคุณภาพของผลฝรั่งแบบไม่ทำลายเพื่อการค้าในเชิงพาณิชย์.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3(พิเศษ)):70-73.

สุพรพรรณ ศรีมาศ. 2553. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะละกอพันธุ์ปลักไม่ลายแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคสเปคโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.20 น.

A.O.A.C. 1990. Official Method of Analysis 15th ed. George Banta Co., Inc., Washington, D.C. 1298 p.

Osborne, B.G., T. Fearn, and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis. Longman Scientific & Technical. Singapore. 29.

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.

Slaughter, D.C., C.G. Cavaletto, L.D. Gautz and R.E. Paull. 1999. Non-destructive determination of soluble solids in papayas using near infrared spectroscopy. J. Near Infrared Spectrsc. 7: 223.

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.