

การประเมินปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อแบบไม่ทำลายในผลแคนตาลูป
โดยใช้สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Non-destructive Evaluation of Total Soluble Solids and Pulp Firmness of Cantaloupe Fruit
Using Near Infrared Spectroscopy

ธีระวัฒน์ เรือนคำ¹ รณฤทธิ์ ฤทธิธรรม² และกนกวรรณ เสรีภาพ¹

Theerawat Ruenkam¹, Ronnarit Rittiron² and Kanogwan Seraypheap¹

Abstract

Cantaloupe 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 near infrared spectroscopy (NIRS) which has been suggested as a non-destructive technique for evaluating fruit quality to predict total soluble solids (TSS) and firmness of cantaloupe. The calibration equations were performed using fruit qualities and NIR absorbance by NIR spectrometer in short wavelength range of 700-1100 nm. The results showed that the best calibration equation of TSS and firmness consisted of correlation coefficient (R) of 0.86 and 0.79, root mean square error of prediction (RMSEP) of 1.27% and 0.03 N and Bias of 0% and 0 N, respectively. Therefore, NIRS can be used as a fast technique for non-destructive prediction of TSS and firmness of cantaloupe.

Keywords: cantaloupe, total soluble solids, near infrared

บทคัดย่อ

แคนตาลูปเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่พบปัญหาความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared spectroscopy, NIRS) ที่นิยมใช้ในการประเมินคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลายสำหรับทำนายคุณภาพของแคนตาลูป ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids, TSS) และความแน่นเนื้อ (firmness) โดยสร้างสมการเทียบมาตรฐานจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณภาพผลแคนตาลูปกับการดูดกลืนแสง NIR จากเครื่อง NIR spectrometer ที่ให้แสง NIR ช่วงคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) พบว่าสมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดสำหรับ TSS และความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.86 และ 0.79, root mean square error of prediction (RMSEP) เท่ากับ 1.27% และ 0.03 N และ Bias เท่ากับ 0% และ 0 N ตามลำดับ กล่าวได้ว่า NIRS เป็นเทคนิควิเคราะห์คุณภาพที่รวดเร็วสามารถใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อของแคนตาลูปแบบไม่ทำลาย

คำสำคัญ: แคนตาลูป, ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, อินฟราเรดย่านใกล้

คำนำ

แคนตาลูป (*Cucumis melo* L.) เป็นผลไม้ที่นิยมปลูกและบริโภคในประเทศไทย เนื่องจากมีรสชาติอร่อย และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง อย่างไรก็ตามแคนตาลูปยังประสบปัญหาเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพของผลผลิต ทั้งการประเมินคุณภาพของผลแคนตาลูป อาทิ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids, TSS) และความแน่นเนื้อ (firmness) จำเป็นต้องใช้ในการตรวจสอบด้วยการทำลายผล ทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิต รวมทั้งความถูกต้องในการประเมินคุณภาพของผลผลิตที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากสุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีจำนวนน้อย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคนิคที่สามารถใช้ตรวจสอบผลผลิตจำนวนมากได้โดยไม่ทำลายผลและเป็นเทคนิคที่มีความแม่นยำสูงมาใช้ในการประเมินคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลแคนตาลูป

เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared spectroscopy, NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแบบไม่ทำลาย (nondestructive technique) สามารถประเมินผลได้รวดเร็ว รวมทั้งมีความ

¹ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10300

¹ Department of Botany, Faculty of Science at Chulalongkorn University, Bangkok 10300

² ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Sean Kasetsart University, Kamphaeng Sean Campus, Nakhon Pathom 73140

ถูกต้องและแม่นยำสูง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยอาศัยหลักการสั่นของพันธะเคมีภายในโมเลกุล สารประกอบสารอินทรีย์ของตัวอย่างที่สามารถดูดกลืนพลังงานจากแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 700-2500 นาโนเมตร (nanometer, nm) แล้วสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (calibration equation) จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง NIR กับผลวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี มีรายงานการใช้เทคนิค NIRS ในการประเมินคุณภาพของผลไม้หลายชนิด เช่น การประเมินปริมาณ TSS ของผลเมลอน (Guthrie *et al.*, 2006) และการประเมินความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (Rungpichayapichet *et al.*, 2016)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มาใช้ในการประเมินปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อของผลแคนตาลูป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างผลแคนตาลูป

นำผลแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศจำนวน 130 ผล จากตลาดผลไม้ทั้งหมด 3 แห่งในกรุงเทพมหานคร ขนย้ายไปยังห้องปฏิบัติการ Near Infrared (NIR) Technology ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

2. การวัดสเปกตรัม

วัดสเปกตรัมในระบบสะท้อนกลับด้วยเครื่อง FQA-NIRGUN spectrometer (FANTEC, Japan) ที่ให้แสง NIR ช่วงความยาวคลื่น 700-1100 nm โดยวัดสเปกตรัมทั้งหมด 4 ตำแหน่งใน 1 ผล ได้แก่ A, B, C และ D (Figure 1) ตำแหน่ง A และ B จะถูกนำไปวิเคราะห์ความแน่นเนื้อ ส่วนตำแหน่ง C และ D จะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อไป

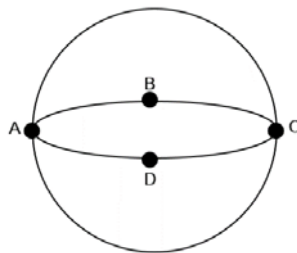


Figure 1 Measuring NIR spectra at four points around the fruit, A, B, C and D

3. การวิเคราะห์ความแน่นเนื้อและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง hand refractometer (N-1 E, Japan) โดยการนำเนื้อผลที่ตำแหน่ง C และ D มาคั้นน้ำแล้วจึงหยดลงบนแผ่นปริซึมของเครื่องมือ อ่านค่าและบันทึก มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

วัดความแน่นเนื้อของผลแคนตาลูปด้วยเครื่อง penetrometer (FHM-1, Takemura, Japan) โดยปอกเปลือกแล้วใช้หัววัดชนิด cylindrical probe เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร (mm) กดลงไปบนกลางเนื้อผลที่ตำแหน่ง A และ B บันทึกค่าแรงต้านหัววัด มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

4. การสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

สร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อทำนายคุณภาพของแคนตาลูป (TSS และความแน่นเนื้อ) ด้วยวิธี multiple linear regression (MLR) โดยใช้โปรแกรม CA Maker ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ calibration set (156 ตัวอย่าง) เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐาน และ validation set (104 ตัวอย่าง) เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับทดสอบความถูกต้องของสมการ

ผล

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อ

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลแคนตาลูปมีค่าระหว่าง 10.00-21.67% และความแน่นเนื้อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.46-0.70 N (Table 1)

Table 1 Descriptive statistics of total soluble solids (TSS) and firmness of cantaloupe samples in the calibration and the validation sets

Parameters	Calibration set			Validation set		
	N	Range	Mean ± SD	N	Range	Mean ± SD
TSS (%)	150	10.00-21.67	13.92±2.50	97	10.00-21.00	14.09±2.46
Firmness (N)	149	0.46-0.70	0.59±0.05	98	0.46-0.69	0.59±0.05

N : number of samples, SD : standard deviation

สเปกตรัมของแคนตาลูป

สเปกตรัมดั้งเดิมของผลแคนตาลูป (Figure 2a) มีการดูดกลืนสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 970-980 nm และพบว่าสเปกตรัมมีลักษณะการยกตัว (baseline offset) และจุดยอด (peak) มีการซ้อนทับกัน (overlapping) ของสเปกตรัมจึงถูกนำมาปรับแต่งด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 2 (second derivative) (Figure 2b)

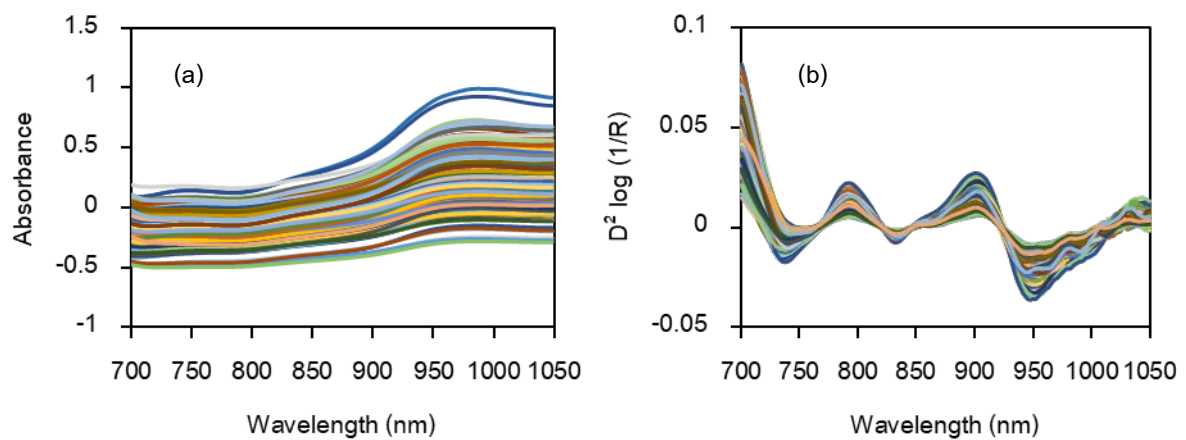


Figure 2 NIR spectra of cantaloupe samples; (a) raw spectra and (b) second derivative treated spectra

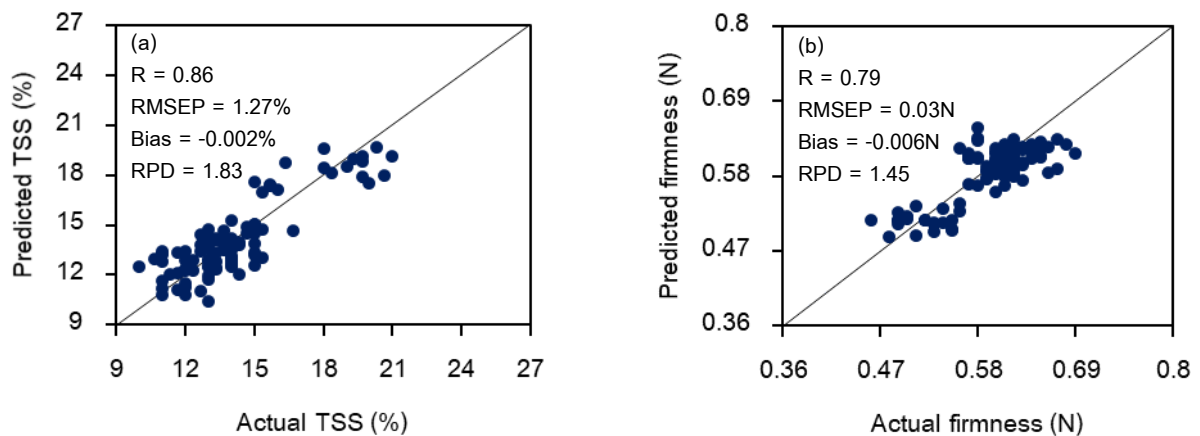


Figure 3 Scatter plots between actual values and NIR predicted values of (a) total soluble solids and (b) firmness of cantaloupe samples in validation set

สมการเทียบมาตรฐาน

ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลแคนตาลูปมีค่า correlation coefficient (R) เท่ากับ 0.86, root mean square error of prediction (RMSEP) เท่ากับ 1.27% และ Bias เท่ากับ 0% ส่วนสมการทำนายความแน่นเนื้อมีค่า R เท่ากับ 0.79, RMSEP เท่ากับ 0.03 N และ Bias เท่ากับ 0 N จาก scatter plots พบว่าค่าทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้ออยู่ใกล้เส้นทแยงมุม (target lines) ซึ่งเป็น

เส้นที่แสดงค่าจริงเท่ากับค่าทำนาย สำหรับค่า ratio of standard error of prediction to standard deviation (RPD) ของ TSS และความแม่นยำมีค่าเท่ากับ 1.83 และ 1.45 ตามลำดับ

วิจารณ์ผล

สเปกตรัมของแคนตาลูปมีจุดยอดอยู่ที่ประมาณ 970-980 nm ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนของน้ำและคาร์โบไฮเดรต (Osborne *et al.*, 1993) นอกจากนี้ยังพบการยกตัวเป็นขั้น (baseline shift) จึงปรับแต่งด้วย second derivative ก่อนนำไปสร้างสมการเทียบมาตรฐาน เพื่อกำจัดอิทธิพลจากการกระเจิงของแสงส่งผลให้ได้เส้นสเปกตรัมที่อยู่ชิดกัน รวมทั้งแก้ไขปัญหาการซ้อนทับกันของของจุดยอด (overlapping) ทำให้สังเกตจุดยอดได้ชัดเจนขึ้น

สมการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อใช้ตัวแปรในสมการทั้งหมด 5 ตัวแปร ดังนี้

$$\text{Total soluble solids (\%)} = 14.49 + 110.97A_{712} - 569.67A_{728} + 778.63A_{744} - 274.99A_{888} - 533.19A_{940}$$

$$\text{Firmness (N)} = 0.69 + 2.56A_{728} - 21.23A_{768} + 17.58A_{888} + 10.52A_{932} + 9.30A_{964}$$

โดย A_x คือ ค่าอนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น x nm

สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำมีตัวแปรที่สัมพันธ์กับการดูดกลืนน้ำตาลที่ 728 และ 940 nm ซึ่งตรงกับตำแหน่งการสั่นของน้ำตาล (Golic *et al.*, 2003) ส่วนความแน่นเนื้อของแคนตาลูปไม่สามารถวัดด้วย NIRS ได้โดยตรง แต่จะวัดจากองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น น้ำตาลและแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนที่ตำแหน่ง 888 และ 932 nm ที่เป็นตำแหน่งการสั่นของน้ำตาล (Omar *et al.*, 2012) และตำแหน่ง 964 nm ซึ่งเป็นตำแหน่งการสั่นของน้ำ (Osborne *et al.*, 1993)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าทำนายของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้ออยู่ใกล้เส้นทแยงมุม (target lines) บ่งบอกถึงความแม่นยำและถูกต้องในการทำนาย โดยมีค่า R ค่อนข้างสูง RMSEP ต่ำ และ Bias ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3) ซึ่งเมื่อทดสอบ Paired t-test พบว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อที่ทำนายจากสมการไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สรุป

เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มีความเป็นไปได้สำหรับใช้ทำนายคุณภาพของแคนตาลูปแบบไม่ทำลาย อาทิ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อ โดยพบว่าค่าที่ได้จากการทำนายและค่าจริงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย รวมทั้งห้องปฏิบัติการ Near Infrared (NIR) Technology ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนและศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนในเรื่องของสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Golic, M., K. Walsh and P. Lawson. 2003. Short-wavelength near-infrared spectra of sucrose, glucose, and fructose with respect to sugar concentration and temperature. *Applied Spectroscopy* 57: 139-145.
- Guthrie, 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.
- Omar, A. F., H. Atan and M. Z. MatJafri. 2012. Peak response identification through near-infrared spectroscopy analysis on aqueous sucrose, glucose and fructose solution. *Spectroscopy Letters* 45: 190-201.
- 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.
- Williams, P. and K. Norris. 1987. *Near-Infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists. Minnesota. 312 p.