

การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น

Non-destructive determination of soluble solids in mangosteen fruit by short wavelength near infrared spectroscopy (SW-NIRS)

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ<sup>1</sup> วารุณี ธนะแพทย์<sup>2</sup> อนุปันท์ เทอดวงศ์วรกุล<sup>3</sup> และ สุมาพร เกษมสำราญ<sup>2</sup>  
Sontisuk Teerachaichayut<sup>1</sup> Warunee Thanapase<sup>2</sup> Anupun Terdwongworakul<sup>3</sup> and Sumaporn Kasemsumran<sup>2</sup>

Abstract

The short wavelength near infrared spectrophotometer (SW-NIRs) in transmittance mode ranged 665-955 nm was tested to determine soluble solids in intact mangosteen, non-destructively. A total of 200 mangosteen samples from local fruit market in Thailand were measured and their NIR spectra were manually divided into a calibration data set of 150 samples and a prediction data set of 50 samples. Thus, the calibration set and the prediction set represented mostly the same distribution of chemical data. The average acquired spectra from 8-point measurement around the fruit in each sample were calculated. The data were analysed by partial least square regression (PLSR) using unscramble version 9.7 software. The calibration data set was used to fit a PLSR equation that was applied to calculate the °Brix value in the prediction data set. The most performance PLS model yielded the correlation coefficient (R) and standard error of calibration (S.E.C.) of 0.91 and 0.69 °Brix, respectively, in which the model calculated using the second derivative spectra. The result of prediction showed of 0.90 and the standard error of prediction (S.E.P.) of 0.71 °Brix. This study shows that transmittance SW-NIRs can be used to determine accurately total soluble solids content in intact mangosteen, non-destructively.

**Keywords:** mangosteen, prediction, SW-NIR, spectra

บทคัดย่อ

เทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นสั้นย่านใกล้อินฟราเรด (short wave near infrared) แบบทะลุผ่านช่วงตั้งแต่ 665 ถึง 955 นาโนเมตร ได้นำมาใช้หาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลาย โดยการสุ่มมังคุดเพื่อมาทำการทดลองจากตลาดผลไม้สดในประเทศไทย ทำการแบ่งกลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration) จำนวน 150 ผล และ สำหรับการทำนาย (prediction) จำนวน 50 ผล โดยทั้งสองกลุ่มมีการกระจายข้อมูลของค่าทางเคมีใกล้เคียงกัน วัดสเปกตรัมจำนวน 8 จุดด้านข้างรอบๆของแต่ผล นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์การถดถอยบางส่วนโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (partial least-square regression) โดยใช้โปรแกรม unscrambler version 9.7 ได้สมการเพื่อใช้ในการหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ จากข้อมูลของกลุ่ม calibration พบว่าสมการที่สร้างโดยการใช้ 2<sup>nd</sup> derivative spectra มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ original spectra โดยให้ค่า correlation coefficient ที่สูง (R = 0.91) และค่าความผิดพลาดที่ต่ำ (SEC = 0.69 °Brix) เมื่อนำสมการไปใช้ ทำนายในกลุ่ม prediction ได้ผลการทำนายที่แม่นยำ (R = 0.90) และได้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำ (SEP = 0.71 °Brix) จากผลที่ได้ของการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าเทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นสั้นย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่านมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำของมังคุดแบบไม่ทำลายได้อย่างแม่นยำ

**คำสำคัญ:** มังคุด การทำนาย ความยาวคลื่นสั้นย่านใกล้อินฟราเรด สเปกตรัม

<sup>1</sup>คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>1</sup>Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

<sup>2</sup>สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup>Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University

<sup>3</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>3</sup>Faculty of Engineering at Kamphaengsaen / Postharvest Technology Innovation Center, Kasetsart University

## บทนำ

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีความนิยมในการบริโภคของชาวต่างประเทศสามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศไทย โดยมีตัวเลขการส่งออกในปี พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2549 และ พ.ศ. 2550 ด้วยมูลค่า 728.11, 276.88 และ 755.65 ล้านบาทตามลำดับ จะเห็นว่าการส่งออกมีการแกว่งตัวมากทั้งนี้สาเหตุส่วนหนึ่งมาจากปัญหาคุณภาพภายในของมังคุด ได้แก่ อาการเนื้อแก้ว ยางไหล และเปลือกแข็ง ตลอดจนรสชาติที่ไม่สม่ำเสมอของมังคุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะต้องมีการพัฒนากระบวนการคัดแยกเพื่อยกระดับคุณภาพของมังคุดให้เป็นที่พึงพอใจของลูกค้ามากขึ้น โดยงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้วิธีการตรวจสอบหรือเทคนิคการตรวจสอบความหวานของมังคุดแบบไม่ทำลาย ในอันที่จะสามารถใช้เป็นวิธีเพื่อการคัดแยกคุณภาพของมังคุดแนวทางหนึ่ง

ในหลายปีที่ผ่านมา เทคนิคการประเมินคุณภาพภายในของผลไม้ต่างๆแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR spectroscopy ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมาก เช่น การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลแคนตาลูป (Dull et al., 1989), การหาปริมาณน้ำตาลในผลส้ม (Kawano et al., 1993), การหาปริมาณน้ำตาลและปริมาณน้ำหนักรวมเนื้อแห้งในผลกีวี (McGlone and Kawano et al, 1998), การหาปริมาณน้ำตาลในผลแตงโมและสับปะรด (Guthrie et al., 1998) และการหาปริมาณน้ำตาลในผลแอปเปิล (Ventura et al., 1998) ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับการนำเทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดมาใช้เพื่อหาปริมาณน้ำตาลในผลมังคุดแบบไม่ทำลาย

## อุปกรณ์และวิธีการ

งานศึกษานี้ได้ทำการสุ่มผลมังคุดที่จัดซื้อจากตลาดผลไม้สดของไทยจำนวน 200 ผล นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการปรับอุณหภูมิก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ในห้องปรับอากาศที่รักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันผลกระทบอันเนื่องมาจากอุณหภูมิระหว่างการวัด จากนั้นทำการตรวจวัดผลมังคุดแต่ละตัวอย่างเพื่อให้ได้สเปกตรัม โดยทำการวัดตัวอย่างละ 8 จุด รอบด้านข้างของแต่ละผลด้วยเครื่อง SW-NIRS (Figure 1) เครื่องที่ใช้วัดดังกล่าวผลิตโดย SAIKA Technological Institute Foundation จากประเทศญี่ปุ่น เป็นชนิดทะลุผ่านและวัดในช่วงความยาวคลื่น 665 ถึง 955 นาโนเมตร มีช่วงห่างของการวัด 1.29 นาโนเมตรใช้ซิลิกอนเป็นตัวเซ็นเซอร์ในการรับสัญญาณ ใช้หลอดไฟชนิดทังสเตนบรรจุก๊าซฮาโลเจนเป็นต้นกำเนิดแสง ปรับให้อยู่ที่ระดับ 80 วัตต์ขณะทำการวัด นำผลตัวอย่างมังคุดแต่ละผลที่วัดค่าสเปกตรัมแล้วมาผ่าเพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้หรือค่าบริกซ์ ( $^{\circ}$ Brix) จากน้ำมังคุดที่คั้นได้ของแต่ละผลโดยทันที ด้วยเครื่อง digital refractometer model Palette PR-101 (ATAGO, Japan)

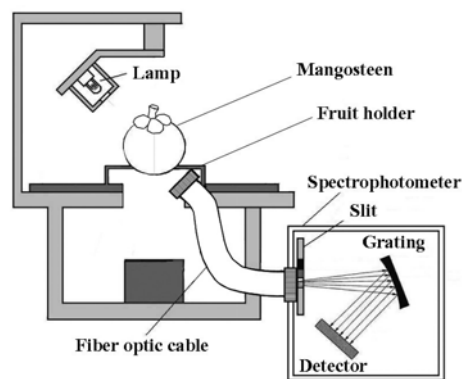


Figure 1 A schematic diagram of the SW-NIR instrument for measurement.

การสร้างสมการเพื่อใช้ในการทำนาย ทำได้โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างของมังคุดออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration) จำนวน 150 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทำนาย (prediction) จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยแต่ละกลุ่มจะมีค่าทางเคมีที่ครอบคลุมทุกช่วงและมีค่าการกระจายตัวใกล้เคียงกัน (Table 1)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสมการ calibration สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม unscrambler version 9.7 ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยบางส่วนโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดหรือ partial least squares regression (PLSR) จากข้อมูลของกลุ่ม calibration เมื่อได้สมการ calibration แล้ว จึงนำสมการที่ได้ไปใช้ในการทำนายค่าความหวานของตัวอย่างในกลุ่ม prediction เพื่อดูความแม่นยำของสมการ calibration

Table 1 Characteristics of calibration and prediction data sets of intact mangosteens

Set	n	°Brix	Mean	Std. dev.
Calibration	150	11.85-22.32	18.31	1.69
Prediction	50	14.93-22.07	18.42	1.64

ผล

เมื่อนำสเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานเฉื่อยของผลมังคุดแต่ละผลมาพล็อตกราฟจะได้ original spectra ดังแสดงใน Figure 2a และเมื่อนำข้อมูลมาทำ transformation ด้วยวิธีการทำอนุพันธ์อันดับ 2 ของ original spectra จะได้ second derivative spectra ดังแสดงใน Figure 2b

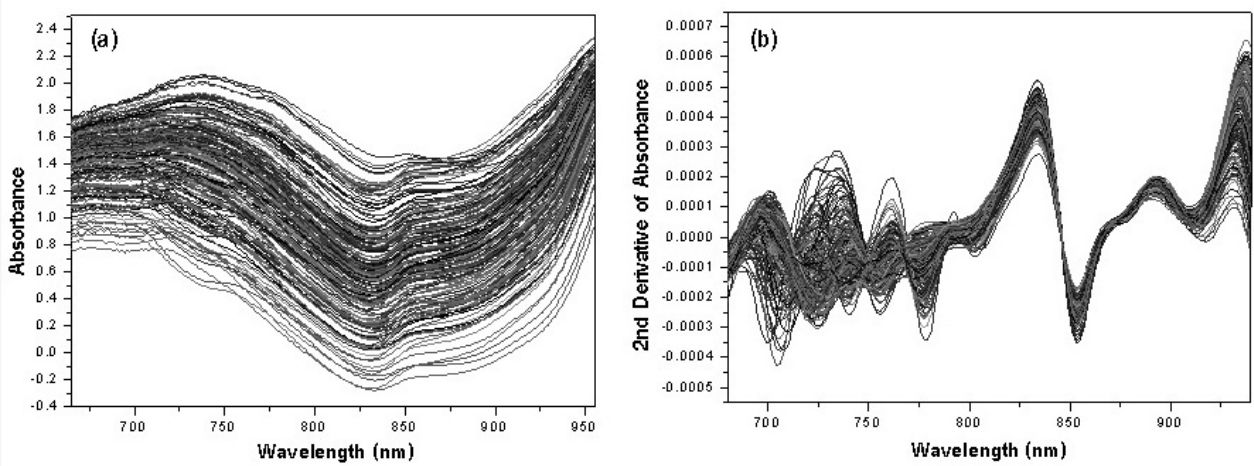


Figure 2 Absorbance spectra (a) and second derivative spectra (b) of the mangosteens.

ผลของการสร้างและทดสอบสมการที่ใช้ในการทำนายที่ได้จากกลุ่มมังคุดสำหรับการปรับเทียบ (calibration set) และนำไปตรวจสอบความแม่นยำในกลุ่มมังคุดสำหรับการทำนาย (prediction set) โดยการเปรียบเทียบระหว่างสมการที่ได้จาก original spectra และ 2<sup>nd</sup> derivative spectra ดังที่ได้แสดงไว้ใน Table 2 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลพบว่า correlation coefficient และค่าความผิดพลาดจากผลการทดสอบในกลุ่มสำหรับการปรับเทียบจากสมการที่ได้จาก 2<sup>nd</sup> derivative spectra (R = 0.91, SEC = 0.69) มีค่าที่ดีกว่าค่าที่ได้จาก original spectra (R = 0.90, SEC = 0.73) และเมื่อนำสมการไปใช้ในทำนายในกลุ่มสำหรับการทำนายก็พบว่า ค่าความผิดพลาดจากสมการที่ได้จาก 2<sup>nd</sup> derivative spectra (SEC = 0.71) มีค่าที่น้อยกว่าค่าที่ได้จาก original spectra (SEC = 0.72) ขณะที่ได้ค่า correlation coefficient ใกล้เคียงกัน (R = 0.90)

Table 2 Regression statistics of the partial least squares model from original spectra and 2<sup>nd</sup> derivative spectra

Parameter	PLS model	
	original spectra	2 <sup>nd</sup> derivative spectra
PLS factor number	8	8
Wavelength (nm)	665-955	680-940
R	0.90	0.91
SEC (°Brix)	0.73	0.69
R	0.90	0.90
SEP (°Brix)	0.72	0.71

เมื่อนำค่าความหวานที่ได้จากการวัดจริงและค่าความหวานที่ได้จากการทำนายของสมการที่ได้จาก 2<sup>nd</sup> derivative spectra ที่ทดสอบในกลุ่มสำหรับการปรับเทียบมาพล็อตกราฟ ได้ผลดังที่แสดงใน Figure 3a และเช่นเดียวกันเมื่อนำค่าความหวานที่ได้จากการวัดจริงและค่าความหวานที่ได้จากการทำนายของสมการที่ได้จาก 2<sup>nd</sup> derivative spectra ที่ทดสอบกับกลุ่มสำหรับการทำนายมาพล็อตกราฟ ได้ผลดังที่แสดงใน Figure 3b

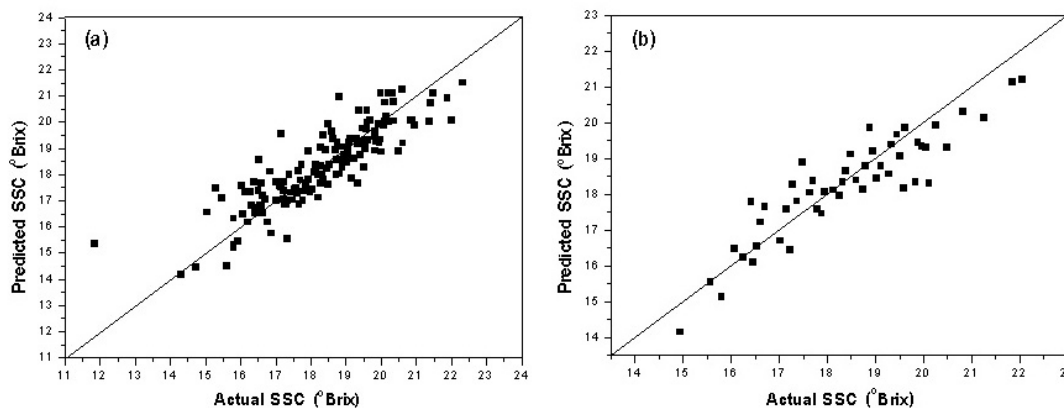


Figure 3 Scatter plots of soluble solid contents (SSC) using PLS model from 2nd derivative spectra for calibration set samples (a) and prediction set samples (b).

### วิจารณ์ผล

จะเห็นได้ว่าในการทดสอบสมการสำหรับการทำนายความหวานของผลมังคุดที่ได้จาก 2<sup>nd</sup> derivative spectra ให้ผลการทำนายที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ได้จาก original spectra จึงเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างสมการเพื่อใช้ในการทำนายค่าความหวานของผลมังคุด กล่าวได้ว่าเทคนิค SW-NIRS แบบทะลุผ่าน มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ของผลมังคุดแบบไม่ทำลาย

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ SAIKA Technological Institute Foundation ที่สนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณฝ่ายเทคโนโลยีพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงธุรกิจ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนในการใช้ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อดำเนินการวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Kawano, S., T. Fujiwara, and M. Iwamoto. 1993. Nondestructive determination of sugar content in satsuma mandarin using NIR transmittance. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 62: 465-470.
- Dull, G. G., G. S. Birth, D. A. Smittle and R. G. Leffler. 1989. NIR analysis of soluble solids in intact cantaloupe. *J. Food Sci.* 54 (2): 393-395.
- McGlone, V. A. and S. Kawano. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 13: 131-141.
- Guthrie, J. and B. Wedding. 1998. Robustness of NIR calibrations for soluble solids in intact melon and pineapple. *J. Near Infrared Spectrosc.* 6: 259-265.
- Ventura, M., A. D. Jager, H. D. Putter and F. P. M. M. Roelofs. 1998. Non-destructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS). *Postharvest Biology and Technology* 14: 21-27.