

การทดสอบความแม่นยำของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดในการตรวจสอบอาการฟ้ามของผลส้มสายน้ำผึ้ง
Validation of Near Infrared Spectroscopy for Detection of Dry Juice Sac in Mandarin Fruits
cv. Sai Num Pung

ณัฐวัฒน์ หมื่นมานะ^{1,2} กัมพล วงษ์ชีวะสกุล^{2,3} วิบูลย์ ช่างเรือ^{2,3} ปาริชาติ เทียนจุมพล^{1,2} และดนัย บุญเกียรติ^{2,4}
Nadthawat Muenmanee^{1,2} Kumpon Wongzeewasakun^{1,3}, Viboon Changrue^{1,3}, Parichat Theanjumpol^{1,2} and Danai Boonyakiat^{2,4}

Abstract

The validation of Near Infrared Spectroscopy for detection of dry juice sac in mandarin fruits cv. Sai Num Pung was done by using the calibration model. The spectral data in wavelength range 700-1100 nm were transform by Savitzky-Golay smoothing (10 nm average for left and right sides) which was correlated with moisture content (MC) by partial least squares regression (PLSR). The value of MC was used to develop calibration model by PLSR technique. The values of correlation coefficient (R), standard error of calibration (SEC), standard error of prediction (SEP) and bias were 0.86, 1.40%, 1.51% and -0.33%, respectively. To test the accuracy of the calibration equation by using 100 samples of mandarin fruits (unknown sample) purchased from the wholesale market in Chiang Mai. Then measured the spectrum with a NIRSystem6500 in a wavelength range of 700-1100 nm. Sample fruits were evaluated the fruit weight, fruit size and moisture content. The sample fruits were measured for weight, width, height, and average round. The results were 108.3±13.1 g, 6.2±0.2, 5.3±0.2 and 20.0±0.5 cm, respectively. The average moisture content of mandarin fruits was 89.9%wb. The results of external validation test showed that SEP and bias were 2.01% and -0.23%, respectively which were close to calibration model. The result of external validation revealed that dry juice sac of Mandarin could be classified by NIRs technique.

Keywords: Mandarin cv. Sai Num Pung, dry juice sac, near infrared spectroscopy

บทคัดย่อ

การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ในการตรวจสอบอาการฟ้ามของผลส้มสายน้ำผึ้ง โดยนำสมการเทียบมาตรฐานสำหรับตรวจหาอาการฟ้ามในผลส้ม ซึ่งพัฒนาขึ้นด้วยการนำข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี Savitzky-Golay smoothing (10 nm average for left and right sides) แล้วนำมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของผลส้ม ด้วยวิธี PLSR (partial least squares regression) ซึ่งผลของสมการเทียบมาตรฐานมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration, SEC) ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (standard error of prediction, SEP) และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (bias) เท่ากับ 0.86, 1.40%, 1.51% และ -0.33% ตามลำดับ นำผลส้มมาทดสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐานโดยใช้ตัวอย่างผลส้มจำนวน 100 ผล (unknown samples) ซึ่งซื้อมาจากตลาดค้าส่งในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ นำผลส้มมาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem6500 ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ทำการตรวจสอบน้ำหนัก ขนาด และความชื้นของผลส้ม แล้วจึงทำการทำนายอาการฟ้ามด้วยสมการเทียบมาตรฐาน ผลการทดลองพบว่า ผลส้มที่นำมาทดสอบมีน้ำหนัก ความกว้าง ความสูง และเส้นรอบผลเฉลี่ยเท่ากับ 108.3±13.1 กรัม 6.2±0.2, 5.3±0.2 และ 20.0±0.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ความชื้นของผลส้มเฉลี่ยเท่ากับ 89.9%wb การทดสอบสมการเทียบมาตรฐาน (external validation) พบว่า มีค่า SEP และ bias เท่ากับ 2.01% และ -0.23% แสดงว่าการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดมีความแม่นยำในการตรวจสอบอาการฟ้ามในผลส้มสายน้ำผึ้งได้

คำสำคัญ: ส้มสายน้ำผึ้ง, อาการฟ้าม, เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

¹ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

² Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

³ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400

⁴ Postharvest Technology Innovation Center, Office of the Higher Education Commission, Bangkok 10400

³ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

³ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

⁴ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

⁴ Department of Plant Science and Soli Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

คำนำ

ส้มเป็นไม้ผลเขตร้อนที่สามารถปลูกได้ทั้งเขตร้อนและเขตอบอุ่น นิยมนำมารับประทานทั้งในรูปผลสดและน้ำคั้น เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส้มเขียวหวานในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นส้มเปลือกบาง กลุ่ม Tangerine ซึ่งมีการผลิตเพิ่มมากขึ้นทุกปี แต่ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของส้มเขียวหวานพันธุ์สุมน้ำฝิ่งคือปัญหาความฟาม (Dry juice sac) ซึ่งพบมากในช่วงต้นและปลายฤดูการผลิตโดยเกิดจากหลายสาเหตุ ความฟามของส้มนี้ไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก ซึ่งในปัจจุบันใช้การตัดแยกโดยผู้ชำนาญเท่านั้น จึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการตัดแยกผลที่เกิดความฟามออกจากผลปกติ มีรายงานการศึกษาที่พบว่าผลส้มฟามจะมีอาการแห้ง ผนังเซลล์หนากว่าปกติ คุณค่าทางอาหารลดลง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (Total soluble solids, TSS) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) และ วิตามิน ซี (Vitamin C) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลปกติ ในขณะที่แร่ธาตุหลายชนิดเพิ่มปริมาณสูงขึ้นโดยเฉพาะ Ca และ Mg (รวี, 2542) ซึ่งการตรวจวัดสมบัติทางกายภาพและเคมีเหล่านี้ สามารถตรวจได้รวดเร็วด้วยเทคนิค NIRs มีงานวิจัยรองรับมากมาย เช่น การทำนายค่า TA ในส้มแสดทาจาร์โดยใช้เทคนิค NIRs (Slaugther, 1995) การทำนายค่า TSS ในส้มชัตซูมาโดยใช้เทคนิค NIRs (Kawano *et al.*, 1993) การทำนายค่า TSS, TA และ Firmness ในส้มชัตซูมาโดยใช้เทคนิค NIRs (Gomez *et al.*, 2006) ดังนั้น ถ้าสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีกับความฟามของส้มก็หมายความว่าสามารถตรวจวัดความฟามของส้มได้

ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการตรวจสอบความฟามของส้มโดยเทคนิค NIRs ร่วมกับสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อตัดแยกผลส้มฟามออกจากผลส้มปกติ ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบความฟามแบบไม่ทำลายผล มีความแม่นยำ ประหยัดเวลา และลดการใช้สารเคมีที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจวัดสมบัติทางเคมี

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะและตำแหน่งของอาการฟามในผลส้มโดยใช้ส้มฟามในการทดลอง 200 ผล ทำการประเมินอาการฟามของผลส้มและตำแหน่งของอาการฟามที่พบ โดยนำส้มสายน้ำฝิ่งมาประเมินอาการฟามในแต่ละตำแหน่งได้แก่ ตำแหน่งขั้วผล ตำแหน่งแก้มผล และตำแหน่งด้านล่างผล และประเมินความรุนแรงของอาการที่พบโดยแบ่งออกเป็น 5 ลักษณะ ได้แก่ ผลส้มปกติ ผลส้มที่มีอาการฟามน้อยกว่า 25% ผลส้มที่มีอาการฟาม 26-50% ผลส้มที่มีอาการฟาม 51-75% และผลส้มที่มีอาการฟามมากกว่า 75% และนำไปหาความชื้นของผลส้มปกติและผลส้มฟามของแต่ละลักษณะอาการ แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content, MC) เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ การทดลองที่ 2 การศึกษาการตอบสนองของอาการฟามต่อแสงเนียร์อินฟราเรดและความสัมพันธ์ระหว่างอาการฟามของผลส้มกับความชื้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้ ตัวอย่างส้มในการทดลอง 200 ผล ตรวจวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content, MC) แล้วนำสเปกตรัมของตัวอย่างส้มมาแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ชุดสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Calibration set) 200 ผล และชุดที่ 2 คือ ชุดทดสอบสมการ (Validation set) ด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLSR) การทดลองที่ 3 การทดสอบความแม่นยำสมการเทียบมาตรฐาน นำผลส้มจากแหล่งอื่น จำนวน 100 ผล มาทดสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐาน (external validation) โดยวัดสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นเดียวกับสมการเทียบมาตรฐาน แล้วทำนายอาการฟามของผลส้มด้วยสมการเทียบมาตรฐาน แล้วจึงนำผลส้มไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี นำข้อมูลที่ได้จากการทำนายด้วยสมการเทียบมาตรฐานมาศึกษาความแม่นยำด้วยวิธีทางสถิติ

ผล

ผลการศึกษาสำหรับการทดลองที่ 1 พบว่า อาการฟามเริ่มจากขั้วผลพบ 164 ผล คิดเป็น 82% อาการฟามเริ่มจากแก้มผลพบ 28 ผล คิดเป็น 14% อาการฟามเริ่มจากด้านล่างผลพบ 8 ผล คิดเป็น 4% การศึกษาปริมาณความชื้น (MC) ของส้มปกติและส้มฟามพบว่า ส้มปกติและส้มฟามมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1)

Table 1 Moisture content in normal and dry juice sac mandarin fruits

Level of dry juice sac	MC (%)
normal	90.73±2.06 a
1-25 %	89.03±1.47 b
26-50 %	88.35±1.64 b
51-75 %	85.96±2.28 c
76-100 %	84.45±1.42 d
CV (%)	3.30

Note: Table displays the values of mean ± standard deviation (SD.)

In each row, different letters represent significant differences ($P \leq 0.05$) by Independent sample t-test

ผลการศึกษาสำหรับการทดลองที่ 2 พบว่า สมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ดีที่สุด วัดสเปกตรัมที่บริเวณแก้มผลสร้างจากข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ปรับแต่งด้วยวิธี Savitzky-Golay smoothing Savitzky-Golay smoothing (10 nm average for left and right sides) มีค่า R, SEC, SEP และ Bias เท่ากับ 0.86, 1.40%, 1.51% และ -0.33% ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 1

Table 2 PLSR calibration results of MC of normal and dry juice sac mandarin fruits

Reference value	Pre-treatment	Wavelength region (nm)	F	R	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)
MC	Original spectrum	700-1100	6	0.80	1.66	1.85	-0.12
(Stem)	2 nd Derivative (5,5)	700-1100	6	0.76	1.79	1.80	-0.22
	Smoothing (5,5)	700-1100	6	0.81	1.63	1.82	-0.14
	MSC	700-1100	9	0.75	1.82	1.91	-0.17
MC	Original spectrum	700-1100	6	0.85	1.42	1.51	-0.36
(Cheek)	2 nd Derivative (5,5)	700-1100	6	0.85	1.42	1.55	-0.33
	Smoothing (5,5)	700-1100	6	0.86	1.40	1.51	-0.33
	MSC	700-1100	6	0.80	1.62	1.73	-0.21

F: number of factors used in the calibration equation, R: correlation coefficient, SEC = standard error of calibration

SEP = standard error of prediction, Bias: average of difference between actual value and NIR value

ผลการศึกษาสำหรับการทดลองที่ 3 พบว่า นำสมการที่ดีที่สุดที่สร้างขึ้น ซึ่งเป็นสมการที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมบริเวณแก้มผลและความชื้นมาทดสอบความแม่นยำ (precision) ของสมการ ด้วยผลส้มชุดใหม่ ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างผลส้ม การวัดสเปกตรัม สภาวะแวดล้อมในการวัด ตัวอย่าง และการวิเคราะห์ทางกายภาพ และเคมี เช่นเดียวกับขั้นตอนการสร้างสมการทุกประการ การทดสอบสมการใช้ตัวอย่างผลส้มจำนวน 100 ผล นำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบด้วยสมการเทียบมาตรฐานของผลส้มที่สร้างขึ้น พบว่า มีค่า SEP และ Bias เท่ากับ 2.01% และ -0.23% ตามลำดับ

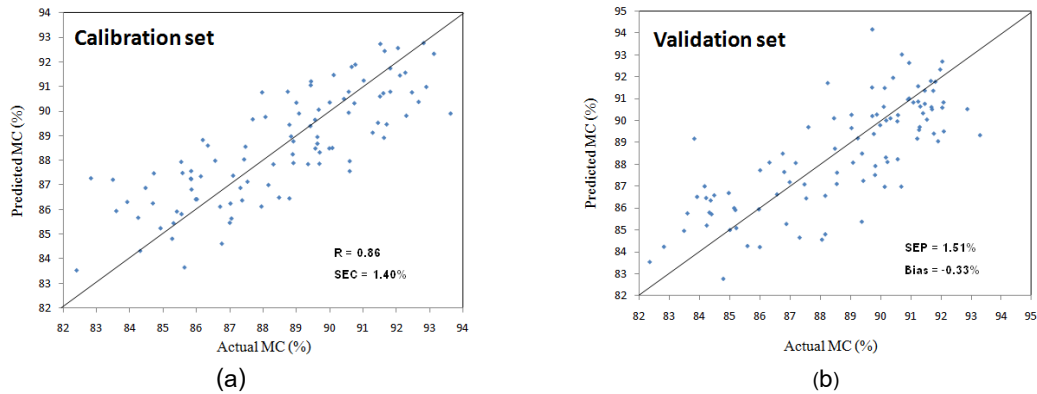


Figure 1 Predictions of PLSR by the NIR system versus laboratory measurements of MC content of mandarin
(a) Calibration set (b) Validation set

วิจารณ์ผล

จากผลการทดลองอาการฟ้ามของผลส้มมีความสัมพันธ์กับความชื้น (MC) ซึ่งสอดคล้องกับ (Erickson, 1968) ได้รายงานว่าผลส้มฟ้ามจะมีอาการแห้ง ผันเซลล์หนากว่าปกติ มักพบบริเวณซั้วผล ในผลส้มที่แสดงอาการรุนแรงจะพบอาการฟ้ามเกือบทั้งผล (>75%ของเนื้อผล) คุณค่าทางอาหารลดลง มีค่า TSS, TA และ วิตามิน ซี ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลปกติ ในขณะที่แร่ธาตุหลายชนิดเพิ่มปริมาณสูงขึ้นโดยเฉพาะ Ca และ Mg ดังนั้น ค่าความชื้น (MC) จึงถูกนำไปศึกษาต่อเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินอาการฟ้ามของส้มด้วยเทคนิค NIRs

สรุปผล

1. สมการเทียบมาตรฐานความชื้นของผลส้มเพื่อประเมินอาการฟ้าม คือสมการที่ดีที่สุดโดยวัดสเปกตรัมที่บริเวณแก้มผล ข้อมูลสเปกตรัมในช่วง 700-1100 นาโนเมตรและปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี Savitzky-Golay smoothing (10 nm average for left and right sides) มีค่า R, SEC, SEP และ Bias เท่ากับ 0.86, 1.40%, 1.51% และ -0.33% ตามลำดับ
2. การทดสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐานความชื้นของผลส้มเพื่อประเมินอาการฟ้ามด้วยผลส้มชุดใหม่ (unknown sample) พบว่า การประเมินอาการฟ้ามของผลส้มสายน้ำผึ้งมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ การใช้แรงงานคนในการคัดแยกและเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นควรมีการพัฒนาสมการเทียบมาตรฐานให้มีความแม่นยำสูงขึ้นก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปฏิบัติ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Erickson, L.C. 1968. The General Physiology of Citrus. The Citrus Industry Volume II., Anatomy, Physiology, Genetic and Reproduction. A Centennial Publication of the U.of California. pp. 116 – 117.
- Gomez, A.H., Y. He and A.G. Pereira. 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using VIS/NIR- spectroscopy techniques. Journal of Food Engineering 77: 313-319.
- Kawano, S., T. Fujiwara and M. Iwamoto. 1993. Nondestructive determination of sugar content in Satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 62(2): 465-470.
- Slaughter, D.C. 1995. Nondestructive determination of internal quality in peaches and nectarines. Transactions of the ASAE 38(2): 617-623.
- รวี เศรษฐภักดี. 2542. สรีรวิทยาและอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของส้ม. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่องการพัฒนาสวนส้มสุ. ค.ศ. 2000. หน้า 79.