

ความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบความฟ้าม  
ของส้มสายน้ำผึ้ง

Possibility of using Near Infrared Spectroscopy Technique to Detect Dry Juice Sac of  
Mandarin cv. Sai Nam Pueng

กัมพล วงษ์ชีวะสกุล<sup>1,2</sup> วิบูลย์ ช่างเรือ<sup>1,2</sup> ณัฐวัฒน์ หมั่นมาณี<sup>2,3</sup> และ ปาริชาติ เทียนจุมพล<sup>2,3</sup>  
Kumpon Wongzeewasakun<sup>1,2</sup>, Viboon Changrue<sup>1,2</sup>, Nadthawat Muenmanee<sup>2,3</sup> and Parichat Theanjumpol<sup>2,3</sup>

Abstract

The studies aimed to find the possibility of using Near Infrared Spectroscopy technique to detect dry juice sac of Mandarin cv. Sai Nam Pueng. The correlations of moisture content (MC), total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA) were studied in laboratory. Then, the responsibility of these on near infrared was investigated using NIRSystem 6500 in wavelength range from 400 nm to 1100 nm. The total number of 360 fruits was divided into two groups, 180 fruits with dry juice sac and 180 normal fruits. The spectral data were analyzed by principal component analysis (PCA) and partial least squares regression (PLSR) using The Unscrambler ® version 9.8. The study found that dry juice sac was mostly found on flesh around the stem and expanded to others area. Fruit with dry juice sac contained lower values of moisture content (MC), total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA) than normal fruit. The transformed spectral data by multiplicative scatter correction (MSC) were analyzed by PCA. It could be separated into two set, dry juice sac fruit and normal one by PC1 (92%). The spectral data and moisture content were used to develop the calibration equation by PLSR. The value of R, RMSECV and bias were 0.87, 1.67% and 0.004%, respectively. Therefore, the dry juice sac symptom exhibits the high response on near infrared. It will be able to use NIRS for detecting dry juice sac of mandarin.

**Keywords:** mandarin, dry juice sac, near infrared spectroscopy

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบความฟ้ามในผลส้มสายน้ำผึ้งด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยหาความสัมพันธ์ของอาการฟ้ามของผลส้มกับความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) จากนั้นศึกษาการตอบสนองของอาการฟ้ามต่อแสงเนียร์อินฟราเรด ด้วยเครื่อง NIRSystem 6500 ช่วงความยาวคลื่น 400-1100 นาโนเมตร โดยใช้ผลส้มจำนวน 360 ผล แบ่งเป็นผลส้มที่พบอาการฟ้าม จำนวน 180 ผล และผลส้มปกติ (ไม่พบอาการฟ้าม) จำนวน 180 ผล ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี principal component analysis (PCA) และ partial least squares regression (PLSR) ด้วยโปรแกรม The Unscrambler ® version 9.8 พบว่า อาการฟ้ามจะเกิดบริเวณหัวผลก่อนแล้วจึงขยายไปส่วนอื่น ผลส้มฟ้ามมีความชื้น TSS และ TA ต่ำกว่าผลปกติ และการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative scatter correction (MSC) แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธี PCA พบว่า สามารถจำแนกสเปกตรัมของผลส้มได้เป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือ ส้มฟ้ามและส้มปกติ ด้วย PC1 (92%) แล้วจึงพัฒนาสมการเทียบมาตรฐานด้วยเทคนิค PLSR ควบคุมค่าความชื้นของส้ม ได้ผลว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) รากที่สองค่าเฉลี่ยกำลังสองความแปรปรวนของการทำนาย (RMSECV) และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (bias) เท่ากับ 0.87, 1.67% และ 0.004% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอาการฟ้ามของผลส้มมีการตอบสนองต่อแสงเนียร์อินฟราเรดได้ดี และสามารถนำเทคนิค NIRS คัดแยกผลส้มฟ้ามออกจากผลส้มปกติได้

**คำสำคัญ:** ส้มสายน้ำผึ้ง อาการฟ้าม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

<sup>2</sup> ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400

<sup>2</sup> Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Bangkok 10400

<sup>3</sup> ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

<sup>3</sup> Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

## คำนำ

ส้มเป็นไม้ผลเขตร้อนที่สามารถปลูกได้ทั้งเขตร้อนและเขตอบอุ่น นิยมนำมารับประทานทั้งในรูปผลสดและน้ำคั้น เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส้มเขียวหวานในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นส้มเปลือกบาง กลุ่ม Tangerine ซึ่งมีการผลิตเพิ่มมากขึ้นทุกปี ทำให้การค้าขายผลสดภายในประเทศอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะรองรับผลผลิตได้ จึงต้องมีการเปิดตลาดต่างประเทศ และการจำหน่ายไปยังประเทศนั้นๆ ส้มต้องมีคุณภาพดี (दनัย และนิธิยา, 2548) ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งคือปัญหาความฟาม (Dry juice sac) ซึ่งพบมากในช่วงต้นและปลายฤดูการผลิตโดยเกิดจากหลายสาเหตุ ความฟามของส้มนี้ไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก ซึ่งในปัจจุบันใช้การคัดแยกโดยผู้ชำนาญการเท่านั้น จึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการคัดแยกผลที่เกิดความฟามออกจากผลปกติ มีรายงานการศึกษาที่พบว่าผลส้มฟามจะมีอาการแห้งผกเซลล์มากกว่าปกติ คุณค่าทางอาหารลดลง เเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (Total soluble solids, TSS) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เปอร์เซ็นต์ (Titratable acidity, TA) และ วิตามิน ซี (Vitamin C ) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลปกติ ในขณะที่แร่ธาตุหลายชนิดเพิ่มปริมาณสูงขึ้นโดยเฉพาะ Ca และ Mg (รวี, 2542) ซึ่งการตรวจวัดสมบัติทางกายภาพและเคมีเหล่านี้ สามารถตรวจได้รวดเร็วด้วยเทคนิค NIRs ดังนั้นถ้าสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีกับความฟามของส้ม ก็หมายความว่าเราสามารถตรวจวัดความฟามของส้มได้ด้วยเทคนิค NIRs

ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการตรวจสอบความฟามของส้มโดยเทคนิค NIRs ร่วมกับสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อคัดแยกผลส้มฟามออกจากผลส้มปกติ ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบความฟามแบบไม่ทำลายผล มีความแม่นยำ ประหยัดเวลา และลดการใช้สารเคมีที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจวัดสมบัติทางเคมี

## อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ

**การทดลองที่ 1** การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอาการฟามในผลส้มกับสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี โดยใช้ส้มในการทดลอง 360 ผล วัดสมบัติทางกายภาพของส้มแต่ละผล (ขนาด น้ำหนัก สี ความถ่วงจำเพาะ และความชื้น) สมบัติทางเคมี (ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้)

**การทดลองที่ 2** การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอาการฟามของผลส้มกับค่าสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การวัดสเปกตรัมจากผลส้ม 360 ผล วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Near infrared spectrophotometer, NIRSystem 6500, Foss NIR system, Silver spring, USA) การวัดใช้หัววัดชนิดใยแก้วนำแสงด้วยวิธี Interaction บันทึกข้อมูลสเปกตรัมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของส้ม ขั้วผล แก้มผล และด้านล้างผล
- นำผลส้มสายน้ำผึ้งไปประเมินการเกิดอาการฟาม ด้วยการปกปิดเปลือกดูอาการภายใน
- นำผลส้มไปวัดคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี
- สร้างสมการเทียบมาตรฐาน (calibration model) ด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLSR)

## ผล

ผลการศึกษาสำหรับการทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะและอาการฟามในผลส้มโดยใช้ส้มฟามในการทดลอง 180 ผล พบว่า อาการฟามเริ่มจากขั้วผลพบ 149 ผล คิดเป็น 82.78% อาการฟามเริ่มจากแก้มผลพบ 26 ผล คิดเป็น 14.44% อาการฟามเริ่มจากด้านล่างผลพบ 5 ผล คิดเป็น 2.78% การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของส้มปกติและส้มฟามพบว่า ความถ่วงจำเพาะ (SG) ความชื้น (MC) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของส้มปกติและส้มฟามมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1)

ผลการศึกษาสำหรับการทดลองที่ 2 พบว่าการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน โดยนำข้อมูลสเปกตรัมบริเวณขั้วผล ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร มาหาความสัมพันธ์กับ ความชื้น (MC) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรต (TA) พบว่า เทคนิค NIRs สามารถคัดแยกผลส้มปกติและผลส้มฟามด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของ MC, TSS และ TA เท่ากับ 0.87, 0.81 และ 0.92 ตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย (RMSECV) ของ MC, TSS และ TA เท่ากับ 1.67, 1.71 และ 0.14 และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (bias) ของ MC, TSS และ TA เท่ากับ 0.004, 0.0001 และ 0.007 ตามลำดับ ดังแสดงใน (Table 2) และ (Figure 1, 2 and 3)

**Table 1** Result of physical properties and chemical properties in normal and dry juice sac mandarine fruits

Properties	Normal fruits (%)	Dry juice sac fruits (%)
SG	0.98±0.02 a	0.94±0.04 b
MC	92.61±1.67 a	87.89±2.00 b
TSS	11.05±1.89 a	7.32±1.97 b
TA	0.69±0.16 a	0.34±0.10 b

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

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

**Table 2** Result of calibration with PLSR

Reference value	Pre-treatment	Wavelength region (nm)	F	R	SEC (%)	RMSECV (%)	Bias (%)
MC	Second derivative (5,5)	700 – 1100	8	0.87	1.426	1.674	0.004
TSS	Smoothing (5,5)	700 – 1100	6	0.81	1.446	1.706	0.0001
TA	Smoothing (5,5)	700 – 1100	8	0.92	0.086	0.144	0.007

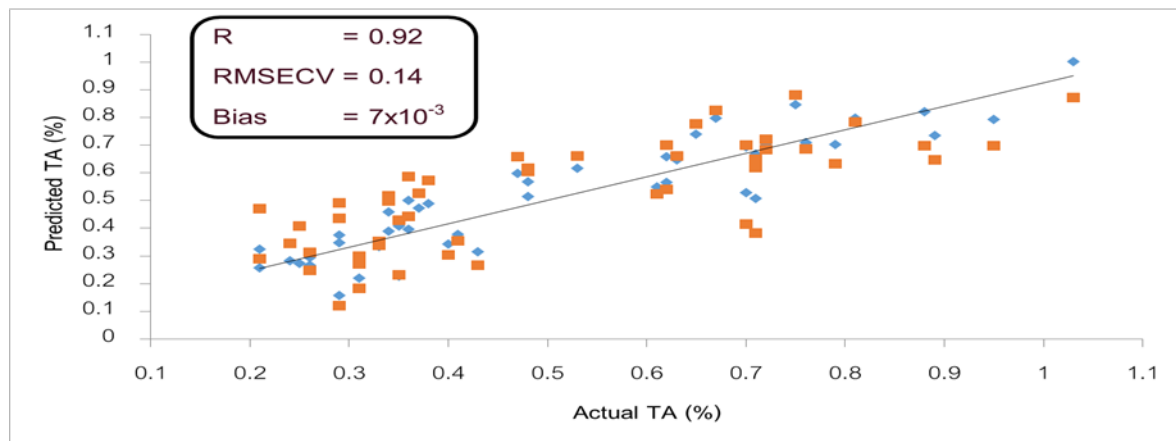
F: number of factors used in the calibration equation

R: correlation coefficient

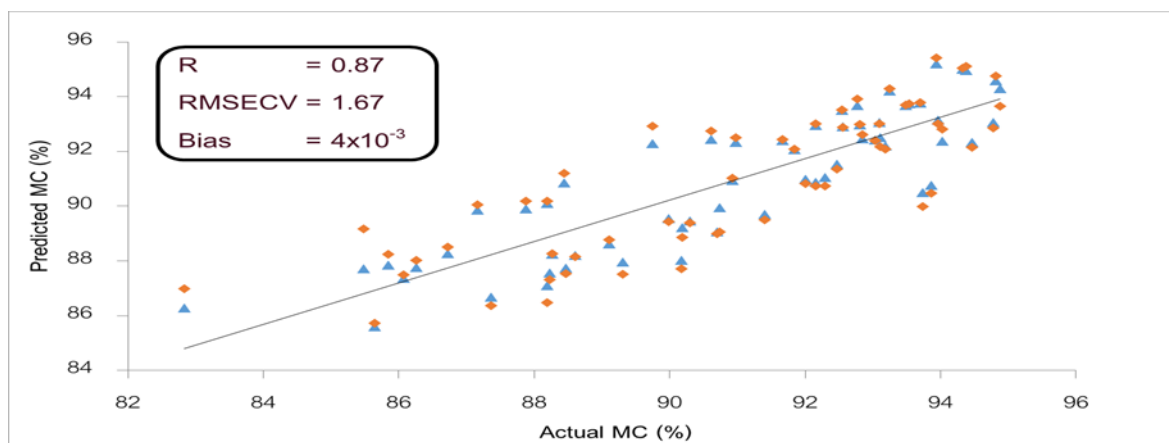
SEC: standard error of calibration

SECV: standard error of cross validation

Bias: average of difference between actual value and NIR value



**Figure 1** Predictions of PLSR by the NIR system versus laboratory measurements of TA content of mandarine



**Figure 2** Predictions of PLSR by the NIR system versus laboratory measurements of MC content of mandarine.

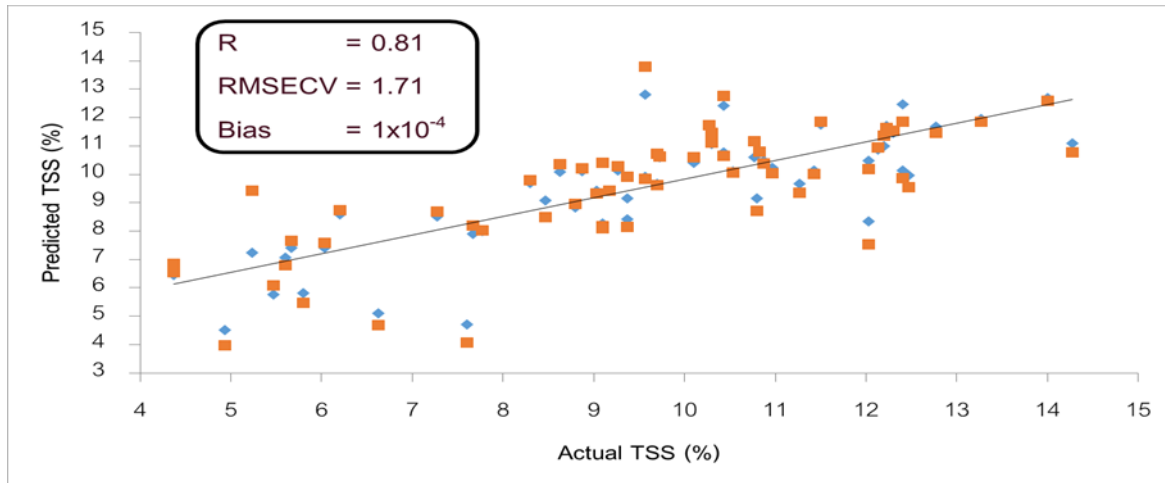


Figure 3 Predictions of PLSR by the NIR system versus laboratory measurements of TSS content of mandarin.

### วิจารณ์ผล

จากผลการทดลองอาการฟ้ามของส้มมีความสัมพันธ์กับ ความถ่วงจำเพาะ (SG) ความชื้น (MC) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรต (TA) ซึ่งสอดคล้องกับ รวี (2542) ได้รายงานว่าอาการฟ้ามมักพบบริเวณขั้วผล ในผลที่แสดงอาการมากอาจมีอาการฟ้ามเกือบทั้งผล ผงเซลล์ของถุงส้มที่เกิดอาการจะหนากว่าปกติ และส่วนประกอบของเซลล์จะแตกต่างกันไป แต่เนื่องจากความถ่วงจำเพาะไม่สามารถหาได้ด้วยเทคนิค NIRs ดังนั้น ค่าความชื้น (MC) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรต (TA) ถูกนำไปศึกษาต่อเพื่อทำการประเมินอาการฟ้ามของส้มด้วยเทคนิค NIRs

### สรุปผล

สมบัติทางกายภาพ และเคมีที่มีผลต่อความฟ้ามคือ ความถ่วงจำเพาะ ความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ และ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิค NIRs สำหรับการตรวจสอบความฟ้ามของผลส้ม

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการสนับสนุนทุนวิจัยและประสานงาน

### เอกสารอ้างอิง

- दनัย บุญเกียรติ และนิธยา รัตนานานท์. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 236 หน้า.  
 รวี เศรษฐภักดี. 2542. สรีรวิทยาและอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของส้ม. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่องการพัฒนาสวนส้มสุ. ค.ศ. 2000 หน้า 79.