Agricultural Sci. J. 42 : 1 (Suppl.) : 123-126 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 1 (พิเศษ) : 123-126 (2554)

การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อทำนายปริมาณเนื้อแก้วในผลมังคุด

Investigation of Using Near Infrared Spectroscopy Technique for Prediction of Translucent Pulp Quantity in Mangosteen Fruits

นารถระพี นาคะวัจนะ[1], **อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล**[1], **อาทิตย์ จันทร์หิรัญ**[2], **สนธิสุข ธีระชัยชยุติ**[3] **และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์**[1]

Natrapee Nakawajana[1], Anupun Terdwongworakul[1], Athit Janhiran[2], Sontisuk Teerachaichayut[3] and Siwalak Pathaveerat[1]

Abstract

This research investigated application of transmittance measurement using near infrared spectroscopy to develop a model for non-destructive prediction of translucency quantity in mangosteen. Fifty mangosteen fruits of export standard were randomly purchased. Each sample fruit was scanned for absorbance in a range of 665-955 nanometers at eight points on equatorial line. Three configurations of relative orientation of illuminating light and detector were studied. The translucency quantity was determined and referenced from the translucent flesh weight and cross sectional projected area. Multiple linear regression analysis based on partial least squares regression (PLSR) was performed with the absorbance at each wavelength as independent variables. The analysis showed that for weight prediction, the best result was obtained with illuminating light placed at 45 degree with respect to horizontal line and stem-calyx line 30 degree with respect to vertical line. The regression model could predict the translucency based on the translucency weight with a correlation coefficient (R) of 0.85 and a standard error of prediction (SEP) of 7.82%. As for prediction of projected area of the translucency, the best result was obtained with illuminating light placed at 45 degree with respect to horizontal line and stem-calyx of fruit at horizontal position. The model gave relatively good performance showing R = 0.87 and SEP = 5.47%. With the obtained results, it was possible to use the near infrared spectroscopy technique based on transmittance mode for prediction of the translucency quantity in mangosteen. This could pave the way for standardization of assignment of translucency and normal mangosteen in the near future.

Keywords: mangosteen, translucency, near infrared spectroscopy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้การวัดแบบส่องผ่านด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ เพื่อสร้างสมการในการทำนายปริมาณเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลาย โดยการสุ่มซื้อมังคุดที่มีขนาดอยู่ในเกณฑ์ส่งออกจำนวน 50 ผล วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจำนวน 8 จุดด้านข้างรอบผลแต่ละผลซึ่งวางในตำแหน่งสัมพันธ์กับการส่องแสง 3 แบบ ที่ช่วงความยาวคลื่น 665-955 นาโนเมตร ผลมังคุดทั้งหมดนำมาหาค่าอ้างอิงปริมาณเนื้อแก้วด้วยการหาน้ำหนักและพื้นที่ภาพถ่ายของส่วนที่เป็นเนื้อแก้ว จากการวิเคราะห์สร้างสมการถดถอยพหุคูณด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เป็นตัวแปรอิสระ พบว่า สมการทำนายปริมาณเนื้อแก้วจากน้ำหนักเนื้อแก้วโดยรูปแบบการวัดให้ต้นกำเนิดแสงทำมุม 45 องศากับแนวระดับและวางผลมังคุดให้ขั้วเอียงทำมุม 30 องศาจากแนวดิ่งให้สมการที่สามารถทำนายปริมาณเนื้อแก้วได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.85 และค่า standard error of prediction (SEP) เท่ากับ 7.82% และสมการทำนายปริมาณเนื้อแก้วจากน้ำหนักเนื้อแก้วโดยรูปแบบการวัดโดยให้ต้นกำเนิดแสงทำมุม 45 องศากับแนวระดับและวางผลมังคุดให้ขั้วอยู่แนวนอนให้สมการที่สามารถทำนายปริมาณเนื้อแก้วได้แม่นยำที่สุด โดยให้ผลการทำนายโดยมีค่า R เท่ากับ 0.87 และค่า SEP เท่ากับ 5.47% จากผลที่ได้จากการศึกษานี้เห็นได้ว่าเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้โดยมีการวัดแบบส่องผ่านมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลายได้ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานสำหรับระบุมังคุดเนื้อแก้วในอนาคต

คำสำคัญ: มังคุด, เนื้อแก้ว, เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

[1] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering/ Postharvest Technology Innovation Center, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus

[2] สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2] Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University, Bangkok 10900

[3] คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

[3] Faculty of Agricultural Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

คำนำ

ผลไม้เมืองร้อนชนิดหนึ่งที่มีรูปทรงและสีผลสวยงาม (รสชาติดี) ในสายตาของชาวต่างประเทศเห็นว่าเป็นผลไม้ที่แปลกตาและมีรสอร่อยชวนรับประทาน จนได้รับการยกย่องว่าเป็นราชินีแห่งผลไม้นั้นก็คือ มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) ในปีพ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกมังคุดไปยังต่างประเทศสูงมากถึง 117,987 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,879.1 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) แต่ปัญหาที่พบในขณะนี้คือ ผลิตผลมีไม่เพียงพอและคุณภาพของมังคุดยังไม่ดีพอทำให้ไม่สามารถส่งออกได้ตามความต้องการของตลาด

ในปัจจุบันจึงมีการควบคุมคุณภาพมังคุดทั้งในด้านขนาดที่เป็นน้ำหนักผลและคุณภาพภายใน การควบคุมคุณภาพภายในแบบหนึ่งคือการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้ว โดยมังคุดเมื่อส่งไปยังจุดสุดท้ายก่อนที่จะส่งออกจะมีการสุ่มมังคุดมาจำนวนหนึ่งและผ่าเปิดออกดูว่ามีมังคุดเนื้อแก้วปะปนไปเป็นจำนวนกี่เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำนวนไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดมังคุดชุดนั้นก็จะไม่ถูกส่งออก

ปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ จึงมีความต้องการเทคนิคการตรวจวัดเนื้อแก้วในมังคุดที่มีความแม่นยำ อย่างไรก็ตามยังคงมีความขัดแย้งในเรื่องปริมาณเนื้อแก้วที่ใช้กำหนดการยอมรับของผู้บริโภคต่างประเทศ ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการตรวจสอบคุณภาพเชิงปริมาณกับผลไม้โดยใช้เปกโทรสโกปีอินฟราเรดมาอย่างแพร่หลาย เช่น การตรวจสอบระดับของ browning ของแอปเปิ้ล (Clark, 2003), การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุด (สนธิสุข และคณะ, 2551), การทำนายปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้และค่าความแน่นเนื้อของแอปเปิลฟูจิ (Fan *et al*., 2009) และการหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุด (อาทิตย์, 2552) ดังนั้นจึงมีความพยายามหาเทคนิคที่สามารถประเมินปริมาณเนื้อแก้วในมังคุด ซึ่งจะช่วยให้สามารถคัดมังคุดเนื้อแก้วออกได้อย่างชัดเจนกว่าการคัดแยกว่าเป็นหรือไม่เป็นเนื้อแก้ว ด้วยเหตุนี้จึงควรที่มีการวิจัยเพื่อใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้โดยมีการวัดแบบส่องผ่านเพื่อทำนายปริมาณเนื้อแก้วในมังคุด

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการสุ่มมังคุดที่มีขนาดผลอยู่ในเกณฑ์ส่งออกและมีลักษณะภายนอกใกล้เคียงกัน จำนวน 50 ผล จากตลาดขายผลไม้ นำตัวอย่างมาทำการปรับอุณหภูมิก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ในห้องปรับอากาศซึ่งรักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ผลมังคุดทุกผลมีอุณหภูมิเท่ากันที่ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจำนวน 8 จุดด้านข้างรอบผลแต่ละผลด้วยเครื่อง near infrared spectrophotometer (SAIKA Technological Institute Foundation, Japan) ที่ช่วงความยาวคลื่น 665-955 นาโนเมตร มีช่วงห่างของการวัด 4 นาโนเมตร มังคุดแต่ละผลวางในตำแหน่งสัมพันธ์กับการส่องแสง 3 แบบ (Figure 1) โดยใช้หลอดไฟทังสเตนจำนวน 1 หลอดเป็นต้นกำเนิดแสงปรับให้แสงอยู่ในระดับ 100 วัตต์ และมีซิลิกอนเป็นเซ็นเซอร์รับสัญญาณตามเส้นใยแก้วนำแสง (optical fiber) ผลมังคุดที่วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงแล้ว นำผลมังคุดมาผ่าออกเพื่อตรวจสอบปริมาณเนื้อแก้วด้วยการหาน้ำหนักและพื้นที่ภาพถ่ายที่เป็นเนื้อแก้วซึ่งเป็นสัดส่วนกันกับน้ำหนักรวมและพื้นที่ภาพถ่ายรวมทั้งผลของแต่ละผล และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

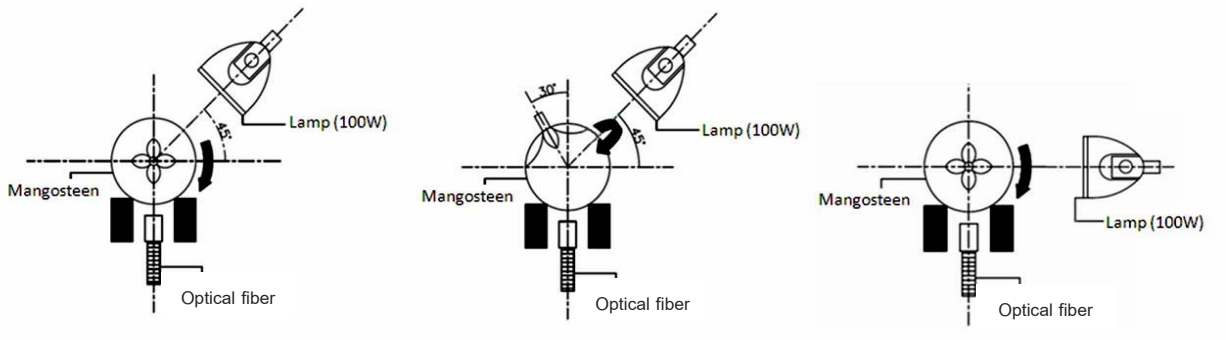

Figure 1 General sketches of three configurations of relative orientation of illuminating light and optical fiber of detector.

สร้างสมการทำนายโดยการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration set) จำนวน 30 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทำนาย (prediction set) จำนวน 20 ตัวอย่าง แต่ละกลุ่มจะมีค่าอ้างอิงที่ครอบคลุมทุกช่วงและมีค่าการกระจายตัวใกล้เคียงกัน (Table 1)

Table 1 Characteristics of calibration and prediction sets of mangosteen fruits

Set			Number of fruit	Mean±SD
Calibration	Weight (%)	0.08-56.31	30	25.06±10.63
	Area (%)	3.95-81.19	30	34.44±15.40
Prediction	Weight (%)	7.96-51.67	20	25.33±10.26
	Area (%)	6.24-71.96	20	34.37±14.58

SD= Standard deviation

การวิเคราะห์เริ่มจาก ใช้โปรแกรม Unscrambler version 9.7 ปรับแต่งสเปกตรัมโดยทดลองด้วยวิธี smoothing, 2nd derivative (2D), multiplicative scatter correction (MSC) และ standard normal variate (SNV) เพื่อลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง แล้วทำการวิเคราะห์สร้างสมการถดถอยพหุคูณด้วยเทคนิค PLSR โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เป็นตัวแปรอิสระ เมื่อได้สมการปรับเทียบ (calibration) แล้วนำสมการที่ได้ไปใช้ในการทำนายค่าปริมาณเนื้อแก้วจากสัดส่วนน้ำหนักเนื้อ (weight) และจากสัดส่วนพื้นที่เนื้อแก้ว (area) ของตัวอย่างในกลุ่มการทำนาย (prediction) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการปรับเทียบ โดยสมการที่แม่นยำจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) สูง ค่า standard error of prediction (SEP) ต่ำ และค่าอัตราส่วน standard deviation ต่อ standard error of prediction (SD/SEP) ต่ำ

ผล

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแก้ว เมื่อนำสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเริ่มต้น (original spectra) ของมังคุดแต่ละผลมาทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่างๆพบว่า สมการที่แม่นยำที่สุดคือ สมการที่ได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing ร่วมกับ 2D และ SNV มีค่า R เท่ากับ 0.85 และค่า SEP เท่ากับ 7.82% และค่า SD/SEP เท่ากับ 1.91 (Table 2)

ในการทำนายเปอร์เซ็นต์พื้นที่เนื้อแก้ว พบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยวิธี Smoothing ร่วมกับ MSC ให้สมการที่มีความแม่นยำดีที่สุดโดยมีค่า R เท่ากับ 0.87 และค่า SEP เท่ากับ 5.47% และค่า SD/SEP เท่ากับ 1.90 (Table 2)

Table 2 Statistics for the regression models of weight percentage and area percentage prediction

Side of mangosteen	Configuration	Pretreatment	Factors	SEC	R	SEP	Bias	SD/SEP
			Weight proportion (%)					
1	C2	S+SNV	3	10.31	0.79	10.10	2.81	1.48
2	C3	S+2D	1	11.84	0.80	8.70	3.23	1.72
3	C1	S+SNV	3	11.77	0.80	8.95	1.54	1.67
4	C2	S+2D+MSC	1	12.75	0.79	9.50	4.85	1.57
5	C1	S+2D+MSC	2	11.09	0.82	8.36	2.90	1.79
6	C2	S+2D+SNV	2	12.85	0.85	7.82	5.80	1.91
7	C1	S+SNV	3	9.32	0.79	9.75	3.70	1.53
8	C1	S+2D	1	12.70	0.83	9.27	1.08	1.61
			Area proportion (%)					
1	C1	S+2D	2	7.00	0.84	5.89	-0.65	1.76
2	C2	S+2D+SNV	3	6.40	0.86	5.50	-1.05	1.89
3	C1	S+SNV	2	7.96	0.75	6.85	0.31	1.52
4	C2	S+SNV	2	8.16	0.88	5.72	-1.17	1.81
5	C1	S+MSC	3	6.63	0.87	5.47	-0.64	1.90
6	C2	S+2D	1	8.19	0.79	6.60	-0.90	1.57
7	C2	S+SNV	3	7.96	0.87	5.55	-1.31	1.87
8	C1	S+2D+SNV	3	6.65	0.86	6.26	-0.74	1.66

S = Smoothing
SNV = Standard normal variate
2D = 2nd derivative
MSC = Multiplicative scatter correction

Figure 2a และ 2b แสดงกราฟการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแก้วและเปอร์เซ็นต์พื้นที่เนื้อแก้วที่ทำนายจากสมการและค่าจริงตามลำดับ

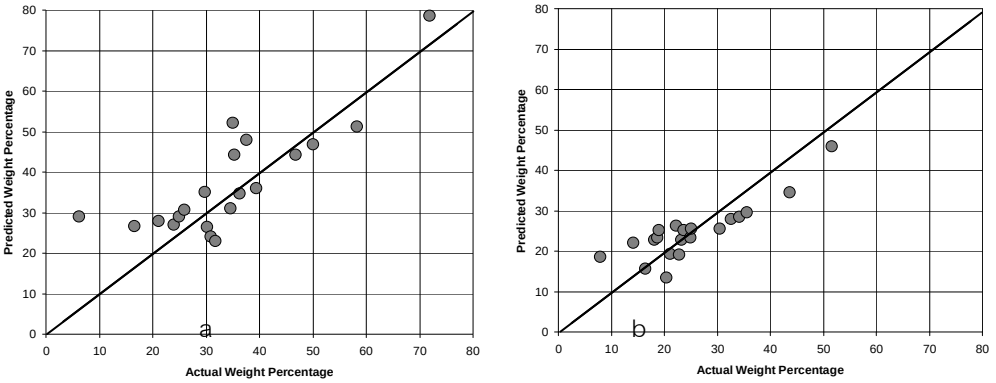

Figure 2 Scatter plots of weight percentage and area percentage

วิจารณ์ผล

จากการทดลองเห็นได้ว่า จากทั้งสมการหาปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแก้วและสมการหาปริมาณเปอร์เซ็นต์พื้นที่เนื้อแก้ว ให้ผลทำนายที่มีประสิทธิภาพที่ดี และแม่นยำใกล้เคียงกัน ซึ่งสิ่งที่น่าสนใจจากการทดลองนี้คือ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่เนื้อแก้วเท่ากัน ผลมังคุดผลหนึ่งเมื่อเปิดฝาออกมาพบว่าไม่เห็นความเป็นเนื้อแก้ว แต่อีกผลหนึ่งพบว่ามีเนื้อแก้ว ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแก้ว ดังนั้นจึงควรมีการศึกษากับตัวอย่างจำนวนที่มากขึ้นอีก เพื่อที่จะหาว่าปริมาณสัดส่วนเนื้อแก้วเท่าใดที่จะไม่ทำให้เห็นเป็นเนื้อแก้วเมื่อเปิดฝาเปลือกผล ซึ่งจะทำให้ได้เกณฑ์ที่ใช้ระบุมังคุดเนื้อแก้วที่เหมาะสมสำหรับการส่งออกต่อไป

สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์สร้างสมการถดถอยพหุคูณด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เป็นตัวแปรอิสระ พบว่า ในการสร้างสมการทำนายปริมาณเนื้อแก้วจากน้ำหนักเนื้อแก้วรูปแบบการวัดให้ต้นกำเนิดแสงทำมุม 45 องศากับแนวระดับและวางผลมังคุดให้ขั้วเอียงทำมุม 30 องศาจากแนวดิ่งให้สมการที่สามารถทำนายปริมาณเนื้อแก้วได้แม่นยำที่สุด โดยสามารถทำนายปริมาณเนื้อแก้วจากน้ำหนักเนื้อแก้วมีค่า R เท่ากับ 0.85 และค่า SEP เท่ากับ 7.82% และสมการหาปริมาณเนื้อแก้วจากพื้นที่เนื้อแก้วโดยรูปแบบการวัดโดยให้ต้นกำเนิดแสงทำมุม 45 องศากับแนวระดับและวางผลมังคุดให้ขั้วอยู่แนวนอนให้ผลการทำนายโดยมีค่า R เท่ากับ 0.87 และค่า SEP เท่ากับ 5.47% จากผลที่ได้จากการศึกษานี้เห็นได้ว่าเทคนิค สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้โดยมีการวัดแบบส่องผ่านมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลายได้ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานสำหรับระบุมังคุดเนื้อแก้วในอนาคต

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว หน่วยปฏิบัติการวิจัยเชี่ยวชาญเฉพาะทางวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวแปรสภาพและบรรจุภัณฑ์ไม้ผล และศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านเครื่องจักรกลเกษตรและอาหาร ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย

เอกสารอ้างอิง

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, วารุณี ธนะแพทย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ ศุมาพร เกษมสำราญ. 2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. *วิทยาสารเกษตรศาสตร์* 39 (3): 156-159.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. สถิติการส่งออกมังคุดสดแช่เย็นแช่แข็ง. *ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน*. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/ export_import/export_result.php, 23 สิงหาคม 2553.

อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, วารุณี ธนะแพสย์, ศุมาพร เกษมสำราญ และ สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2552. การใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นสำหรับหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุด.น. 283-288. ใน *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 47 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร)*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Clark, C.J., V.A. McGlone and R.B. Jordan. 2003. Detection of brownheart in Braeburn apple by tramsmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 28:87-96.

Fan ,G., J. Zha, R. Du and L. Gao. 2009. Determination of soluble solids and firmness of apples by Vis/NIR transmittance. *Journal of Food Engineering* 93:416-420.