Thesis Title	Nondestructive Determination of Harvesting Maturity of Mango for Fresh Consuming by Near Infrared Spectroscopy
Author	Miss Sirinnapa Saranwong
Ph.D.	Biology

Examining Committee		
	Assoc. Prof. Dr. Jinda Sornsrivichai	Chairman
	Prof. Dr. Sumio Kawano	Member
	Prof. Dr. Saichol Ketsa	Member
	Asst. Prof. Dr. Kobkiat Saengnil	Member
	Dr. Thongchai Yantarasri	Member

ABSTRACT

A measuring system using near infrared (NIR) spectroscopy to determine harvesting maturity of hard green mango fruits on-tree was established. In order to develop the system, the possibility of NIR spectroscopy to evaluate quality of mango fruits nondestructively was examined. Then, physico-chemical changes during maturation of mango fruits was clarified. The system for predicting ripe-stage eating quality from the harvesting quality measured nondestructively by a research type NIR instrument was developed. After that, in order to apply the developed system to a field application, the possibility of a portable type NIR instrument for nondestructive quality evaluation of mango fruits was examined by compared with that of a research type one. Finally, the portable type NIR instrument was used for evaluating harvesting quality of mango fruits on-tree.

For the possibility of NIR spectroscopy for quality evaluation of mango fruits nondestructively, the research type NIR instruments were used for this study. The commercially available "NIRS6500" and "InfraAlyzer500" instruments were used for the short wavelength region study from 700 nm to 1100 nm and long wavelength region study from 1100 nm to 2500 nm study, respectively. The results obtained are as follows. (i) NIR spectroscopy in the short wavelength region was suitable for nondestructive quality determination of mango fruit because its penetration depth in mango flesh was higher than that of long wavelength region. (ii) Partial least squares (PLS) calibration and validation results would be improved if the appropriate wavelength region was selected. (iii) The appropriate wavelength region for PLS calibration could be estimated by using the wavelengths selected by multiple linear regression (MLR). (iv) The MLR and PLS calibration equations would have similar performance for determining Brix value and dry matter (DM) of mango fruits nondestructively if the appropriate wavelengths or wavelength region were selected.

As for physico-chemical changes during maturation of mango fruits, DM and starch contents of the hard green mango fruits significantly affected the ripe-stage eating quality, while sugars and specific gravity (SG) did not. The direct relation between the harvesting quality (DM and starch contents) and the eating quality (Brix value) was examined using the same fruits. NIR calibration equations (wavelength region: 700 nm to 1100 nm measured with a research type instrument "NIRS6500") were developed for predicting DM and starch contents in hard green mango fruits nondestructively. The equations were subsequently used for predicting DM and starch contents in the hard green fruits which were kept for ripe-stage eating quality evaluation. It was found that the ripe mango fruits would have excellent eating quality, high Brix value, if the fruits contained sufficient amounts of DM and starch when harvested at the hard green stage. By the MLR equation developed, the ripe-stage Brix value could be precisely predicted from the DM and starch contents of hard green mango fruit at harvesting date. Regression coefficients of DM and starch in the ripe-stage Brix prediction equation developed were almost the same value, suggesting that both compositions were equally important for sugar biosynthesis of mango fruits during ripening.

For the possibility of a portable type NIR instrument, the performance of commercially available portable type NIR instrument "FT20" for nondestructive quality evaluation of mango fruits was evaluated. Calibration result for the "FT20" was compared with the result for the "NIRS6500". PLS regression was used for making calibration equations. It was found that the calibration equation developed using spectral data obtained with the "FT20" would have similar accuracy to the equation developed using NIRS6500 spectra. The values of standard error of prediction (*SEP*) of calibration equations were 0.40 °Brix for both instruments.

In the final step, the evaluation system for on-tree harvesting quality of hard green mango fruits that were consumed later when ripe off-tree was established. The portable type NIR instrument "FT20" in short wavelength region was used for spectral acquisition. Effect of sunlight on spectra measured "out-door" was described and removed. The developed NIR measuring system was used for predicting DM and starch contents in hard green mangoes prior to harvest. On the 2D-scatter plot between predicted DM and starch contents, the mature hard green mangoes fruits with excellent eating quality when ripe could be completely separated from the immature ones with unacceptable eating quality when ripe. The feasibility of *in vivo* monitoring of internal composition changes was demonstrated. It was concluded that the developed NIR evaluation system was sufficiently capable for determining harvesting quality of hard green mango fruits on trees. The system could be used as a tool for a grower to decide a proper harvesting date which can provide high quality fruits to fresh consuming market.

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การหาระดับความแก่สำหรับเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงเพื่อการบริโภคสดแบบไม่ทำลายตัวอย่างโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ชื่อผู้เขียน นางสาวศิรินนภา ศรัณย์วงศ์

วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. จินดา ศรศรีวิชัย	ประธานกรรมการ
ศ.ดร. สุมิโอะ คาวาโนะ	กรรมการ
ศ.ดร. สายชล เกตุษา	กรรมการ
ผศ.ดร. กอบเกียรติ แสงนิล	กรรมการ
อ.ดร. ธงชัย ยันตรศรี	กรรมการ

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบเพื่อประเมินระดับความแก่สำหรับเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงเพื่อการบริโภคสดแบบไม่ทำลายตัวอย่างโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การทดสอบความสามารถของ เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบคุณภาพของผลมะม่วงสดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง 2) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลมะม่วงในระหว่างการแก่ของผลและการพัฒนาระบบการทำนายคุณภาพในระยะสุกจากคุณภาพผล ณ วันเก็บเกี่ยวซึ่งตรวจวัดโดยไม่ทำลายตัวอย่างด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปก-โทรสโกปีชนิดที่ใช้สำหรับงานวิจัย 3) การตรวจสอบความสามารถของเครื่องเนียร์อินฟราเรด-สเปกโทรสโกปีชนิดพกพาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในภาคสนามโดยเปรียบเทียบกับเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีชนิดที่ใช้สำหรับงานวิจัย และ 4) การประยุกต์ใช้เครื่องเนียร์-อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีชนิดพกพาเพื่อประเมินระดับความแก่ของผลมะม่วงก่อนการเก็บเกี่ยว

การทดสอบความสามารถของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบคุณภาพของผลมะม่วงสดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปก-โทรสโกปีชนิดที่ใช้สำหรับงานวิจัย ได้แก่ เครื่อง "NIRS6500" ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้น ตั้งแต่ 700 นาโนเมตร ถึง 1100 นาโนเมตร และเครื่อง "InfraAlyzer500" ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นยาว ตั้งแต่ 1100 นาโนเมตร ถึง 2500 นาโนเมตร จากการทดลอง พบว่า 1) คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดช่วงความยาวคลื่นสั้นเป็นช่วงคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพผลมะม่วงแบบไม่ทำลายเนื่องจากแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้นสามารถทะลุ-ทะลวงเข้าสู่เนื้อมะม่วงได้มากกว่าแสงในช่วงความยาวคลื่นยาว 2) การเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมทำให้สมการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีแบบ partial least squares (PLS) มีความแม่น-ยำมากขึ้น 3) กลุ่มความยาวคลื่นที่ใช้ในสมการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีแบบ multiple linear regression (MLR) สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์สำหรับเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับสมการแบบ PLS และ 4) ในการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีจากค่าการดูดกลืนแสงในช่วงเนียร์-อินฟราเรด สมการทำนายแบบ MLR และ PLS จะมีความแม่นยำเท่าเทียมกันหากสมการใช้กลุ่มความยาวคลื่นหรือช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลมะม่วงในระหว่างการแก่ของผลมะม่วง พบว่าน้ำหนักแห้งและปริมาณแป้งในผลมะม่วงดิบมีอิทธิพลต่อคุณภาพผลเมื่อสุกอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลและค่าความถ่วงจำเพาะของผลไม่มีอิทธิพลดังกล่าว จากการสร้างสมการทำนายคุณภาพ ณ วันเก็บเกี่ยวได้แก่ น้ำหนักแห้งและปริมาณแป้งในผลมะม่วง โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ถึง 1100 นาโนเมตร วัดโดยเครื่อง "NIRS6500" ซึ่งเป็นชนิด ที่ใช้สำหรับงานวิจัย) แล้วนำค่าองค์ประกอบคุณภาพที่ทำนายได้มาใช้ศึกษาความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างคุณภาพ ณ วันเก็บเกี่ยว และคุณภาพผลเมื่อสุกในผลมะม่วงชุดเดียวกัน พบว่าการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงดิบที่มีน้ำหนักแห้งและปริมาณแป้งเพียงพอส่งผลให้ผลมะม่วงดังกล่าวมีคุณภาพดีเมื่อสุก โดยมีค่าบริกซ์ในเนื้อผลสูง นอกจากนั้นน้ำหนักแห้งและปริมาณแป้งในผลมะม่วง ณ วันเก็บเกี่ยวซึ่งทำนายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปียังสามารถนำมาใช้เป็นตัวแปรในสมการแบบ MLR เพื่อทำนายค่าบริกซ์ในผลมะม่วงสุกได้อย่างแม่นยำ จากสมการที่ใช้ทำนายค่าบริกซ์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรใน สมการได้แก่ น้ำหนักแห้งและปริมาณแป้ง มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าองค์ประกอบทั้งสองมีบทบาทสำคัญเท่าเทียมกันต่อกระบวนการสังเคราะห์น้ำตาลของผลมะม่วงระหว่างการสุก

การตรวจสอบความสามารถของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีชนิดพกพา จากการเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการแบบ PLS ที่ใช้ทำนายค่าบริกซ์ในผลมะม่วงสุกโดยใช้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดโดยเครื่อง "FT20" ซึ่งเป็นเครื่องมือชนิดพกพา กับสมการแบบ PLS ซึ่งใช้สร้างจากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดโดยเครื่อง "NIRS6500" ซึ่งเป็นเครื่องมือชนิดที่ใช้สำหรับงานวิจัย พบว่าสมการทั้งสองมีความแม่นยำเท่าเทียมกัน โดยมีค่า Standard error of prediction (*SEP*) เท่ากันที่ 0.40 องศาบริกซ์ สรุปได้ว่าเครื่อง "FT20" ซึ่งเป็นเครื่องมือชนิดพกพามีความแม่นยำเท่าเทียมกับเครื่องมือชนิดที่ใช้สำหรับงานวิจัย

ในงานวิจัยส่วนสุดท้าย คือ การประเมินระดับความแก่ของผลมะม่วงก่อนการเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่อง "FT20" ซึ่งเป็นเครื่อง เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีชนิดพกพาที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้น พบว่าการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงภายนอกอาคารถูกรบกวนโดยแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้ถุงสะท้อนแสงคลุมผลไม้และหัววัด ระบบการตรวจวัดดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายน้ำหนักแห้งและปริมาณแป้งก่อนการเก็บเกี่ยวได้ จากการใช้กราฟการกระจายตัวแบบ 2 มิติระหว่างน้ำหนักแห้งและปริมาณแป้งซึ่งทำนายก่อนการเก็บเกี่ยว สามารถแยกผลมะม่วงที่มีความแก่เหมาะสมคือมีคุณภาพดีเมื่อสุกออกจากผลมะม่วงที่มีความแก่ไม่เหมาะสมคือมีคุณภาพไม่ดีเมื่อสุกได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนั้นระบบการตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในผลมะม่วงระหว่างการเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง จากการวิจัยทั้งหมด สรุปได้ว่า ระบบการตรวจวัดคุณภาพผลมะม่วงแบบไม่ทำลายที่พัฒนาขึ้นนี้มีความแม่นยำเพียงพอสำหรับการประเมินระดับความแก่ของผลมะม่วงเพื่อการบริโภคสดก่อนการเก็บเกี่ยว โดยสามารถนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในระหว่างการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถเลือกเก็บเกี่ยวเฉพาะผลที่มีคุณภาพสูงได้อย่างแม่นยำ