

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK
Agrartechnik Tropen und Subtropen
Prof. Dr. Joachim Müller



Application of non-destructive techniques for mango quality assessment

Dissertation

Submitted in fulfillment of the regulations to acquire the degree

"Doktor der Agrarwissenschaften"

(Dr.sc.agr. in Agricultural Sciences)

to the

Faculty of Agricultural Sciences

presented by

Parika Rungpichayapichet

Born in Bangkok, Thailand

2016

Summary

In recent years, global consumption of mango has considerably increased. Growth in mango demand on the world market has led to an increase in the export opportunities for mango producers. For Thai mangoes, however, the industrial export remains substandard due to the current sorting systems are unable to properly define and guarantee the product quality which results in the variability of fruit quality. Thus, there is a need for effective sorting technologies which are accurate reproducible and non-destructive for mango packing house. Regarding non-destructive techniques for fruit quality determination, near infrared spectroscopy (NIRS) and hyperspectral imaging (HSI) are considered as relevant methods for implementation in fruit processing due to their online applicability. NIRS is known as a rapid and high accuracy method for measuring internal properties of fruit. However, the key of using NIRS as quality inspection tool is to develop reliable and robust calibration models. Meanwhile, the utility of HSI in mango quality determination has not been widely investigated. Therefore, three examinations were analyzed to confirm the ability of these techniques.

In the first study, the effect of harvest season on NIRS prediction model to determine postharvest quality of mango was investigated. Mangoes cv. 'Nam Dokmai subcv. Si Thong' from three harvest seasons were used to determine firmness, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and ripening index (RPI). Diffuse reflectance spectra were acquired at 700-1100 nm. Significant variations of physicochemical properties and deviation of spectral bands were clearly seen between harvest seasons. As a result, NIRS calibrations developed from a single season data were found to be inadequate for predicting quality parameters of fruits from other seasons. Thus, it was confirmed that model performance was highly influenced by harvest season. Model robustness was improved by including wider range of data and greater deviation of spectral features (e.g. including data from additional harvest years into calibration model). The robust NIRS calibration models performed well for prediction of TSS and firmness. Furthermore, NIRS showed high performance to categorize the ripeness of mango with a classification accuracy greater than 80%. The results affirmed that NIRS has high potential for mango quality inspection and reliable and robust NIRS calibration models could be developed when effect of harvest year was taken into account.

The second study demonstrated the ability of NIRS compared to colorimetric measurement for determining β -carotene in mango. NIRS measurements were performed in two different wavelength regions, i.e. short- (700-1100 nm) and long-wave (1000-2500 nm). Colorimetric analysis was conducted on both peel and flesh color. It was found that β -carotene had strong correlation with flesh color values (i.e. b^* , C^* and h° value) and the content was accurately estimated by the multiple linear regression (MLR) model developed from these parameters. Good prediction results were obtained for NIRS calibrations. Comparable prediction accuracy was found between models built from the two wavelength regions used. The performances of MLR calibrations based on a reduced number of wavelengths from both regions were also examined. The long-wave region gave slightly better precision than the short-wave region, for both whole spectra and selected wavelength calibrations, but required more number of variables. Therefore, NIRS is recommended for non-invasive β -carotene measurement in packing houses and industrial handling of mango.

Finally, the practicability of HSI for mango quality evaluation was examined. HSI measurement was carried out in the visible/NIR region (450-998 nm) and fruit qualities were monitored in three separate parts of the fruit samples (i.e. shoulder, cheek and tip) during ripening. Optimal calibration models for firmness, TA and TSS were developed using standard normal variate (SNV) pretreated spectra. HSI performed well for prediction of firmness and TA, while lower prediction performance was found for TSS calibration. Distribution mapping of physicochemical properties developed by applying calibration models to each pixel of HSI images showed spatial distribution of firmness, TA and TSS within fruit. Similar results were found between chemometric mapping and conventional methods. The highest TA was observed in the tip part and gradually decreased toward to shoulder part. Opposite behavior was observed for TSS, as the fruit shoulder showed higher values, which were not significantly different from tip, while the cheek area had the lowest TSS. For firmness, chemical mappings showed fruit softening occurred from shoulder toward to tip of the fruit. The results indicated that ripening processes of this cultivar are initiated from fruit shoulder and HSI has a potential to spatially monitor the quality of mango during ripening.

Over the course of this study, NIRS and HSI showed high potential as non-destructive techniques for sorting/grading applications in mango handling. These findings offer new opportunity for mango exporters to efficiently control and define the quality of mango before packing and distribution. The application of advanced quality control systems

would minimize postharvest losses and enhance the competitiveness of export companies to access high-value markets by increasing the quality reliability of their products.

Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist der Konsum von Mangos erheblich angestiegen. Die erhöhte Nachfrage auf dem Weltmarkt führte zu einer Ausweitung der Exportmöglichkeiten für Mangoerzeuger. Bei Thai Mangos bleibt der Export allerdings hinter der allgemeinen Entwicklung zurück, da aufgrund des gängigen Sortiersystems die Produktqualität nicht genau definiert und garantiert werden kann. Dies resultiert in einer schwankenden Fruchtqualität. Es besteht hier ein Bedarf an effektiven, genauen, reproduzierbaren und zerstörungsfreien Sortiertechnologien für Mangoexporteure. Unter den zerstörungsfreien Techniken zur Bestimmung der Fruchtqualität gehören die Nah-Infrarotspektroskopie (NIRS) und die hyperspektrale Bildverarbeitung (HSI) wegen ihrer inline-Tauglichkeit zu den relevanten Methoden bei Sortieranlagen. NIRS ist als eine schnelle und genaue Methode bekannt, mit welcher innere Eigenschaften von Früchten gemessen werden können. Allerdings liegt der Schlüssel zur erfolgreichen Anwendung von NIRS in Sortieranlagen in der Entwicklung von verlässlichen und robusten Kalibrierungsmodellen. Der Einsatz von HSI wurde bislang zur Bestimmung der Mangoqualität kaum verfolgt. Aus diesem Grund wurden drei Studien durchgeführt, die den Einsatz dieser Technologien untersuchen.

In der ersten Studie wurde der Einfluss der Ernteperiode auf das NIRS-Modell zur Bestimmung der Mangoqualität untersucht. Mangofrüchte der Sorte 'Nam Dokmai subcv. Si Thong' aus drei Ernteperioden wurden auf Festigkeit, Zuckergehalt (TSS), titrierbare Säure (TA) und Reifeindex (RPI) untersucht. Diffuse Reflektionsspektren wurden bei 700-1100 nm bestimmt. Zwischen den Ernteperioden wurden signifikante Unterschiede bei den physikalisch-chemischen Eigenschaften sowie Abweichung der Spektralbänder deutlich. Somit sind NIRS-Kalibrierungen, die aus Daten einer einzigen Saison gewonnen wurden, nicht ausreichend, um die Qualität von Früchten aus anderen Ernteperioden zu bestimmen. Deshalb wurde die Kalibrierung verbessert, in dem Daten aus anderen Ernteperioden in das Modell aufgenommen wurden. Die derart gewonnenen NIRS-Kalibrierungsmodelle waren robust und lieferten gute Ergebnisse für TSS und Festigkeit. Darüber hinaus konnten die NIRS-Modelle die Reife der Mangofrüchte mit einer Genauigkeit von 80% gemessen am Reifeindex (RPI) angeben. Die Resultate bestätigten, dass NIRS ein großes Potenzial zur zerstörungsfreien Bestimmung der Mangoqualität hat. Genaue und robuste NIRS Kalibrierungsmodelle können entwickelt werden, wenn die Daten mehrerer Ernteperioden berücksichtigt werden.

Die zweite Studie widmet sich der Anwendung von NIRS zur Bestimmung des β -Carotin Gehalts von Mangos im Vergleich zu Farbmessungen. NIRS Messungen wurden im kurzwelligeren (700-1100 nm) und im langwelligeren (1000-2500 nm) VIS/NIR-Bereich durchgeführt. Die Farbmessungen wurden an der Schale und am Fruchtfleisch durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass der β -Carotin Gehalt stark mit der Fruchtfleischfarbe bezüglich der Parameter Gelbwert b^* , Farbsättigung C^* und Farbtonwinkel h° korreliert. Der Gehalt konnte durch multiple linearer Regression (MLR) mit guter Genauigkeit bestimmt werden. Eine ähnlich genaue Bestimmung konnte durch ein NIRS-Model erreicht werden wenn zwei Wellenlängenbereiche genutzt wurden. Die Änderung der Genauigkeit der MLR Kalibrierungen bei Reduzierung der Anzahl von Wellenlängen wurden ebenfalls untersucht. Der Langwellenbereich lieferte eine etwas bessere Genauigkeit als der Kurzwellenbereich, erforderte allerdings eine höhere Anzahl von Variablen. Im Unterschied zur Farbmessung am Fruchtfleisch stellt NIRS eine zerstörungsfreie β -Carotin Messung dar und kann deshalb für den Einsatz in Sortieranlagen empfohlen werden.

In der dritten Studie wurde schließlich die Anwendung von HSI zur Bestimmung der Mangoqualität untersucht. Die HSI Messungen wurden im VIS/NIR Bereich (450-998 nm) ausgeführt und die Fruchtqualität wurde in drei verschiedenen Fruchtregionen (Schulter, Mitte und Spitze) während des Reifeprozesses beobachtet. Optimale Kalibrierungsmodelle für Festigkeit, TA und TSS wurden unter Anwendung statistisch vorbehandelter Spektren (standard normal variate pretreated spectra) entwickelt. HSI funktionierte gut für die Voraussage von Festigkeit und TA, während eine geringere Genauigkeit für TSS ermittelt wurde. Mit der Erstellung eine Karte der physiochemischen Eigenschaften durch pixelweise Auswertung des HSI Bildes, konnte die räumliche Verteilung von Festigkeit, TA und TSS von Mangofrüchten visualisiert werden. Der TA-Wert war am höchsten an der Fruchtspitze und verringerte sich langsam in Richtung der Schulter. Ein gegensätzliches Verhalten wurde bei TSS beobachtet, mit den höchsten Werten für die Fruchtschulter, gefolgt von der Spitze und den niedrigsten Werten in der Fruchtmitte. In Bezug auf die Festigkeit konnte festgestellt werden, dass der Reifungsprozess von der Schulter zur Spitze der Frucht verläuft. Die Resultate zeigten, dass die HSI-Methode dazu geeignet ist, die Qualität von Mangofrüchten während der Reifung räumlich zu erfassen.

Durch die vorliegende Studie konnte gezeigt werden, dass NIRS und HSI als zerstörungsfreie Techniken ein großes Potential zur Klassifizierung und Sortierung von Mango besitzen. Für Mangoexporteure entstehen daraus neue Möglichkeiten, die Qualität

der Mangos effizient zu bestimmen, bevor diese verpackt und ausgeliefert werden. Die Anwendung von fortschrittlichen Qualitätskontrollsystemen kann Verluste durch Zurückweisung von Lieferungen reduzieren und die Wettbewerbsfähigkeit der Exporteure in hochpreisigen Marktsegmenten erhöhen.