

การคัดแยกลิ้นจี่พรีเมียมแบบไม่ทำลายด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

สาวินี สลับสี¹ ชญาณิศ ศรีงาม¹ สนธยา นุ่มท้วม² สุพรรณิกา อินตะนนท์² และเสาวลักษณ์ รุ่งแจ้ง^{1*}

¹ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

*Corresponding author: saowalukr@nu.ac.th

(Received: January 16, 2024; Revised: March 18, 2024; Accepted: April 8, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดแยกลิ้นจี่แบบรวดเร็วด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ดำเนินการศึกษาโดยใช้ลิ้นจี่สายพันธุ์ป่าชิดเพื่อทำการคัดแยกลิ้นจี่พรีเมียมที่มีเมล็ดลีบเนื้อหนา (พรีเมียม) ออกจากลิ้นจี่เมล็ดขนาดปกติด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พร้อมทั้งสร้างสมการการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid; TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; TA) ด้วยวิธี Partial least square (PLS) regression นำตัวอย่างผลลิ้นจี่มาวัดค่าการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดในช่วงเลขคลื่น $12000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ด้วยโหมดสะท้อนกลับ วัดสเปกตรัมผลลิ้นจี่ 3 ตำแหน่ง คือ ขั้วผล แก้มผลและท้ายผล ผลการทดลองพบว่า วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถแยกกลุ่มลิ้นจี่พรีเมียมออกจากลิ้นจี่ทั่วไปได้ โดยสเปกตรัมตรงตำแหน่งแก้มผลมีประสิทธิภาพในการคัดแยกเกรดลิ้นจี่ได้ดีกว่าตำแหน่งขั้วผลและตำแหน่งท้ายผล ให้ความแม่นยำในการคัดแยกสูงสุดเท่ากับ 96.78% สำหรับประสิทธิภาพในการทำนายค่า TSS และ TA ในผลลิ้นจี่ พบว่า ให้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจโดยแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการทำนาย TSS และ TA ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) มากกว่า 0.90 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (RMSECV) เท่ากับ 0.351 °Brix และ 0.038% ตามลำดับ ดังนั้น เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีจึงมีความเป็นไปได้ในการคัดแยกลิ้นจี่เกรดพรีเมียม รวมทั้งการตรวจสอบค่า TSS และ TA ของลิ้นจี่แบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างได้

คำสำคัญ: ลิ้นจี่; คัดแยกเกรด; วิธีวัดแบบไม่ทำลาย; เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Non-Destructive Grading of Premium Litchi using Near Infrared Spectroscopy

Sawinee Salabsee¹, Chayanid Sringarm¹, Sonthaya Numthuam², Suphannika Intranon² and Saowaluk Rungchang^{1*}

¹Department of Agro Industry, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

²Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

*Corresponding author: saowalukr@nu.ac.th

(Received: January 16, 2024; Revised: March 18, 2024; Accepted: April 8, 2024)

Abstract

This study aims to evaluate the feasibility of near-infrared spectrum for grading of premium litchi. Paa chid litchi were used as samples. The classification of litchi between the premium fruit with small seed-large pulp and the normal size litchi was performance using principal component analysis (PCA). The quantity of litchi based on the values of total soluble solid (TSS) and titratable acidity (TA) were predicted by using partial least squares (PLS) regression. The NIR spectra were acquired from 3 positions of litchi which were seed stalk-side, site-side and tip-side, at wavenumber of 12000 – 4000 cm^{-1} with reflectance mode. The results showed that PCA could effectively discriminate the premium litchi from the normal one using the spectra obtain from the side-site of litchi with accuracy 96.78%. For litchi quantity determination, the best PLS models for TSS and TA prediction were obtained with R values of 0.90 and 0.92, respectively, and root mean square error of cross-validation of 0.414 and 0.038%, respectively. These results indicated that NIRS is a promising technique for rapid and non-destructive analysis for grading premium litchis and determining the litchi anality based on TSS and TA values.

Keywords: Litchi; Grading; Non-destructive method; Near Infrared spectroscopy

บทนำ

ลิ้นจี่ (*Litchi chinensis* Sonn.) เป็นผลไม้เขตร้อนที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วโลกพื้นที่การผลิตหลักของลิ้นจี่ คือ ทวีปเอเชีย ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่ผลิตลิ้นจี่ในเชิงอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2564 ไทยส่งออกลิ้นจี่สดเป็นอันดับ 2 ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอันดับ 10 ของโลก คิดเป็นมูลค่า 27.73 ล้านบาท โดยตลาดส่งออกหลัก ได้แก่ มาเลเซีย สิงคโปร์ และสหรัฐอเมริกา (กรมวิชาการเกษตร, 2565) โดยลักษณะคุณภาพที่สำคัญที่ใช้ในการซื้อขายลิ้นจี่ ได้แก่ สีเปลือก (Peel color) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid, TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) (Padda et al., 2011) นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการพัฒนาสายพันธุ์ลิ้นจี่พรีเมียมให้มีลักษณะเมล็ดลีบเล็ก เนื้อหนา รสชาติหวานหอมละมุน เช่น สายพันธุ์ป่าชิด โดยลักษณะผลลิ้นจี่พรีเมียมดังกล่าวจะสามารถจำหน่ายได้ในราคาสูงถึงผลละ 28 บาท ซึ่งสูงกว่าผลลิ้นจี่ทั่วไปที่ซังน้ำหนักขายเป็นกิโลกรัม โดยผลผลิตของลิ้นจี่พรีเมียมนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อฤดูกาล ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรจะคัดแยกลิ้นจี่เกรดพรีเมียมโดยใช้ประสบการณ์ของผู้ผลิต ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล อาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการคัดแยกตามทักษะและความเชี่ยวชาญของเกษตรกร ในขณะที่วิธีตรวจสอบคุณภาพผลลิ้นจี่ เช่น การตรวจสอบค่า TSS และ TA ที่เป็นนิยมในปัจจุบันเป็นการวิเคราะห์ที่ทำลายตัวอย่างทำให้ไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพลิ้นจี่ได้ทุกผล ส่งผลต่อความไม่แน่นอนของคุณภาพ ดังนั้น ควรมีการพัฒนาวิธีการคัดแยกลิ้นจี่พันธุ์ป่าชิดให้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคและรักษาคุณภาพของลิ้นจี่พันธุ์ป่าชิดไว้ โดยเฉพาะการคัดแยกลักษณะเมล็ดของผลลิ้นจี่จะเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มมูลค่าในอุตสาหกรรมส่งออกลิ้นจี่ได้

เทคนิคด้านน็ียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near infrared spectroscopy: NIRs) ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการประเมินคุณภาพแบบไม่ทำลายตัวอย่าง โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงเลขคลื่น $12,000 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$ โดยเทคนิค NIRs อาศัยหลักการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลของสารอินทรีย์ ซึ่งการสั่นของพันธะ O-H, C-H และ N-H ของสารอินทรีย์ในตัวอย่างจะทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จากนั้น สามารถนำค่าการดูดกลืนแสง NIR ไปหาความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของตัวอย่างต่อไปได้ด้วยเทคนิคทางเคมีเมตริกซ์ (Chemometrics) (Osborne et al., 1993) มีรายงานว่าเทคนิค NIRs ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลลิ้นจี่หลายด้าน เช่น การหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลลิ้นจี่ (อาทิตย์ และคณะ, 2553) การทำนายค่า pH และระยะการสุกของผลลิ้นจี่ (Pu et al., 2015) และการจำแนกโรคผลเน่าของลิ้นจี่ (Li et al., 2022) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยี NIRs ในการจำแนกลักษณะภายในของผลไม้ เช่น การจัดกลุ่มและคัดแยกผลอินทผลัมที่มีการเข้าทำลายของเชื้อรา (Teena et al., 2014) การตรวจสอบโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง (Sonthiya et al., 2565) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี NIRs ในการคัดแยกลิ้นจี่เกรดพรีเมียมออกจากลิ้นจี่ปกติ รวมไปถึงการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อ

ลื่นจี้แบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบลื่นจี้และยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการส่งออกผลไม้ของไทยในอนาคตได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่างลื่นจี้

เก็บเกี่ยวผลลื่นจี้พันธุ์ป่าขีตระยะสุกแก่ทางการค้า จากพื้นที่เพาะปลูกตำบลแคมป์สน อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ลดอุณหภูมิภายในผลลื่นจี้ด้วยน้ำเย็น (Precooling) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อลดอัตราการหายใจ ป้องกันการสูญเสียน้ำและรสชาติของผลลื่นจี้ เก็บรักษาผลลื่นจี้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส บรรจุผลลื่นจี้ในกล่องแบบปิดเพื่อทำการขนส่งไปห้องปฏิบัติการ คัดเลือกผลลื่นจี้ที่มีขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิ จำนวน 100 ผล แบ่งเป็นลื่นจี้เกรดพรีเมียมคที่มีลักษณะเมล็ดลื่นและเนื้อหนา จำนวน 50 ผล และลื่นจี้ที่มีเมล็ดขนาดเล็ก จำนวน 50 ผล

วัดสเปกตรัมตัวอย่างด้วยแสงเนียร์อินฟราเรดและการสร้างแบบจำลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ เครื่อง FT-NIR spectrometer รุ่น Matrix-F (Bruker, Bremen, Germany) ใช้แสงเนียร์อินฟราเรดในช่วงเลขคลื่น $12,000 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$ วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยโหมดการวัดแบบสะท้อน วัดสเปกตรัมบนตัวอย่างผลลื่นจี้ 3 ตำแหน่ง คือ ขั้วผล (A), แก้มผล (B) และท้ายผล (C) ดัง Figure 1 กับผลลื่นจี้จำนวน 100 ผล ที่คัดเลือกไว้แล้ว นำสเปกตรัมของผลลื่นจี้แต่ละตำแหน่งมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งการวัดสเปกตรัมที่เหมาะสมที่สุด

การสร้างแบบจำลองในการศึกษานี้ประกอบไปด้วย การสร้างแบบจำลองเพื่อคัดแยกลื่นจี้เกรดพรีเมียมด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) และการสร้างแบบจำลองสำหรับทำนายคุณภาพเนื้อลื่นจี้ด้วยวิธี Partial least square (PLS) regression นำสเปกตรัมมาแบ่งกลุ่มแบบ Leave one out cross validation เพื่อคัดแยกลื่นจี้เกรดพรีเมียมด้วยวิธี PCA ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม RStudio version 2023.6.1.524 สร้างแบบจำลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าทางเคมี เพื่อทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในลื่นจี้ ด้วยวิธี Partial least square (PLS) regression ด้วยโปรแกรม OPUS version 7.8 จากนั้น คัดเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพการทำนายสูงที่สุดในการทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในตัวอย่างลื่นจี้ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่สูงที่สุด และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทดสอบสมการ (RMSECV) ที่ต่ำที่สุด

การวิเคราะห์คุณภาพด้วยวิธีมาตรฐาน

วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง Digital refractometer (MyBrix, Mettler Toledo, Switzerland) อ่านค่าและบันทึกผล มีหน่วยองศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) และวัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้โดย

ไทเทรตน้ำลิ้นจี่กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ (End point) โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ และคำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ตามวิธีของ AOAC (2000)

$$\% \text{ Titratable acidity} = [(\text{ml NaOH}) (\text{N NaOH}) (\text{meg.wt.acid}) * 100] / \text{ml sample}$$

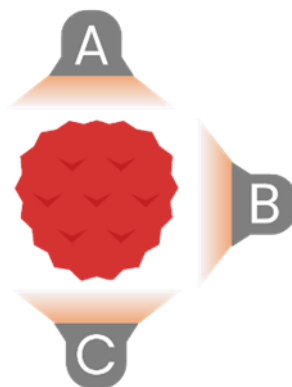


Figure 1. Measuring NIRS spectra at three points around the fruit, stalk-side (A), site-side (B), and tip-side (C)

ผลและวิจารณ์

การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการคัดแยกลิ้นจี่พันธุ์ป่าชิดเมล็ดลีบเนื้อหนา (เกรตพรีเมียม) ออกจากลิ้นจี่เมล็ดปกติ และประเมินคุณภาพลิ้นจี่โดยพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง โดย Figure 2 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างลิ้นจี่ ในช่วงเลขคลื่น $12,000 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$ พบลักษณะของสเปกตรัมมีขนาดใหญ่ 2 ช่วงคลื่น ที่ช่วงคลื่น $6,914$ และ $5,186 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงคลื่นของพันธะ O-H ของโมเลกุลน้ำ เนื่องจากลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักสูงถึง 78% (นิธิยา และदनัย, 2543)

สมการทำนาย หรือ คัดแยกลิ้นจี่พันธุ์ป่าชิดที่มีเมล็ดลีบเนื้อหนา (เกรตพรีเมียม) ออกจากลิ้นจี่ที่มีเมล็ดปกติด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักผ่านสเปกตรัมที่ไม่ผ่านการปรับแต่ง พบว่า สามารถคัดแยกผลลิ้นจี่ที่มีเมล็ดลีบเนื้อหนา (เกรตพรีเมียม) ออกจากผลลิ้นจี่เมล็ดปกติได้ ดังแสดงใน Figure 3 โดย PCA score plot ที่คำนวณจาก 2 องค์ประกอบ ของการทำนายผ่านลิ้นจี่ที่ตำแหน่งขั้วผล แก้มผลและท้ายผล สามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมได้ 95.20%, 96.78% และ 95.23% ตามลำดับ โดยการจำแนกกลุ่มจากตำแหน่งแก้มผลนั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องมาจากขนาดของเมล็ดมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณเนื้อผลบริเวณแก้มผลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง NIR ที่แตกต่างกันระหว่างลิ้นจี่ที่มีเมล็ดลีบเนื้อหนา (เกรตพรีเมียม) กับลิ้นจี่เมล็ดปกติ (เมล็ดใหญ่ เนื้อบาง) ในขณะที่บริเวณขั้วผลและท้ายผลลิ้นจี่ทั้งแบบพรีเมียมและแบบปกติจะมีลักษณะคล้ายกันมากกว่าตำแหน่งแก้มผล ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang et al. (2019) ที่รายงานผลการวิเคราะห์ PCA ของผลส้มแมนดารินที่ตัดแบ่งตาม 3 ด้าน

พบว่า ด้านข้อผลและด้านท้ายผลมีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน ส่วนด้านแก้มผลมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างจากด้านข้อผลและด้านท้ายผล

แบบจำลองการทำนายเชิงปริมาณของค่า TSS และ TA ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพด้านรสชาติของลิ้นจี่ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงจากสเปกตรัมลิ้นจี่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กับค่าอ้างอิงองค์ประกอบทางเคมี TSS และ TA (Table 1) พบว่า การสร้างแบบจำลอง PLS สำหรับทำนายค่า TSS และ TA จากสเปกตรัมที่ตำแหน่งแก้มผลมีความแม่นยำสูงกว่าการทำนายด้วยสเปกตรัมจากผลลิ้นจี่ที่ตำแหน่งข้อผลและท้ายผล โดยประสิทธิภาพการทำนายค่า TSS ที่ดีที่สุดคือ R เท่ากับ 0.90 ค่า RMSECV เท่ากับ 0.414% และค่า RPD เท่ากับ 2.18 และประสิทธิภาพการทำนายค่า TA ที่ดีที่สุดมีค่า R เท่ากับ 0.92 ค่า RMSECV เท่ากับ 0.038% และค่า RPD เท่ากับ 2.55 (Table 2) และ Figure 3 เปรียบเทียบค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIRs ของตัวอย่างกลุ่มทดสอบสมการที่แม่นยำที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งค่า TSS และ TA มีการกระจายตัวของข้อมูลใกล้เคียงเส้นตรงซึ่งบ่งบอกถึงความแม่นยำของการทำนาย

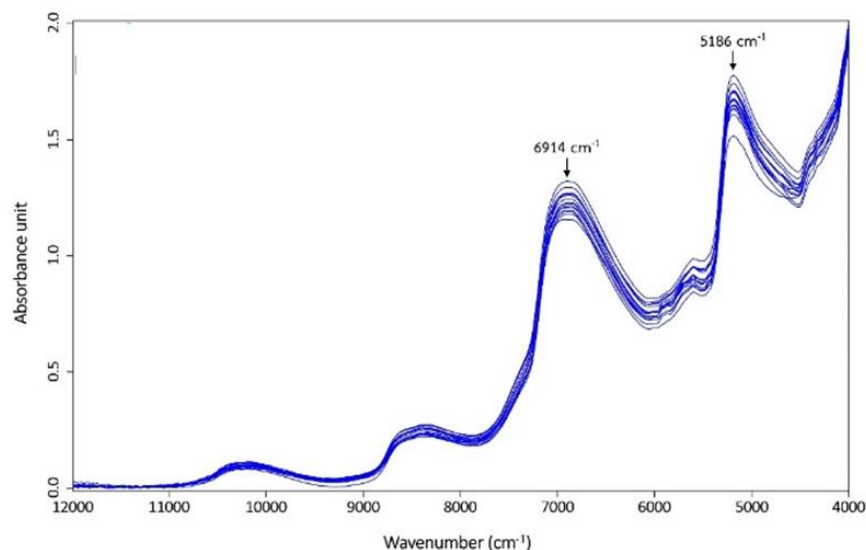


Figure 2. Original spectra of litchi samples

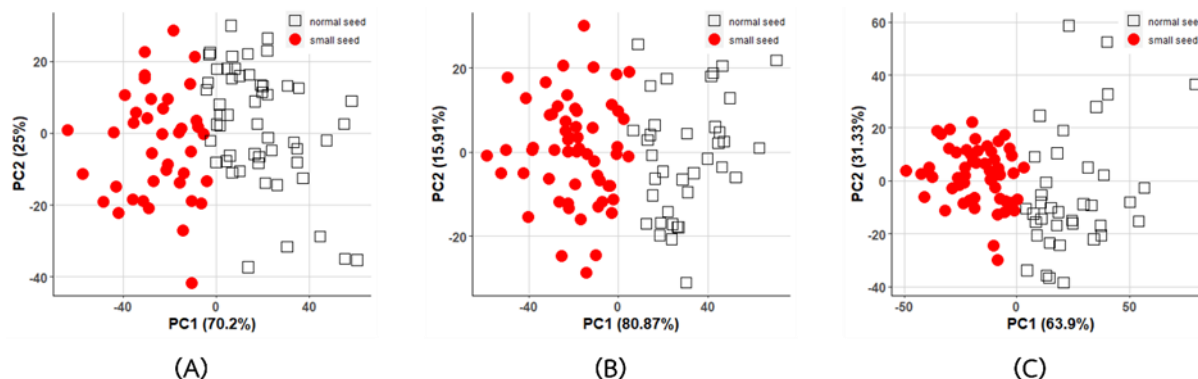


Figure 3. Scatter plot of PC1 and PC2 at three positions around the litchi fruit seed inside the stem (A), cheek (B), bottom (C)

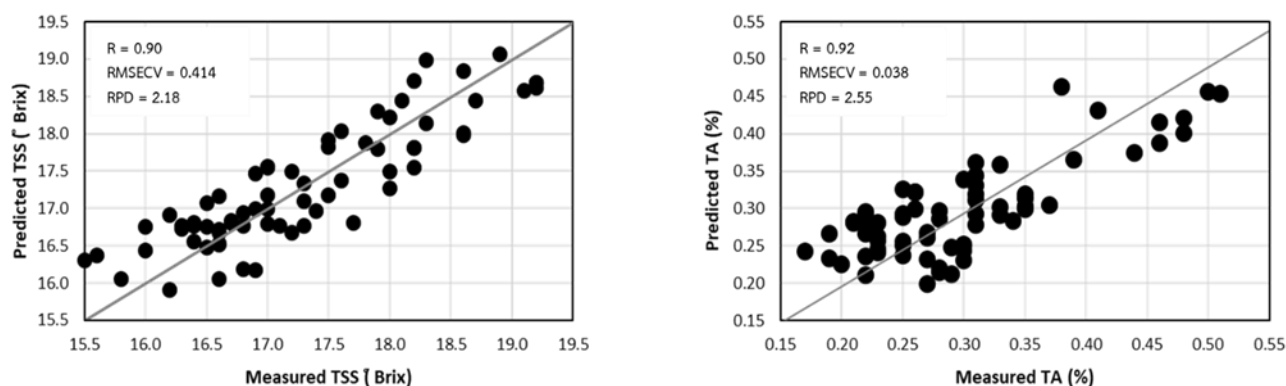


Figure 4. Scatter plots between actual and NIR-predicted TSS (°Brix) and TA (%) values in validation set

Table 1. Minimum (Min), Maximum (Max), Mean and Standard deviation (S.D.) litchi fruit

Parameter	Min	Max	Mean	S.D.
TSS (°Brix)	11.40	19.75	17.23	1.17
TA (%)	0.14	0.98	0.31	0.11

Table 2. PLSR calibration and validation results for total soluble solid (TSS) and titratable acidity (TA) of litchi samples

Chemical constitue nt	Regions (cm ⁻¹)	F	Calibration			Validation		
			R	RMSEC	RPD	R	RMSECV	RPD
TSS (%)								
stalk-side	8454.9-7498.4	8	0.93	0.323	2.70	0.85	0.436	1.88
site-side	6102.1-5446.3	7	0.94	0.344	2.79	0.90	0.414	2.18
	4428.0-4242.9							
tip-side	9403.8-5446.3	5	0.92	0.367	2.57	0.89	0.417	2.16
TA (%)								
stalk-side	7506.1-5446.3	6	0.92	0.034	2.51	0.87	0.039	2.07
site-side	5454.1-4597.8	4	0.93	0.036	2.82	0.92	0.038	2.55
tip-side	9403.8-7498.4	6	0.91	0.039	2.44	0.85	0.047	1.92
	5454.1-4242.9							

Remarks: F : Number of factors used in the calibration equation

R : Correlation coefficient

RMSEC : Root Mean Square Error of Calibration

RMSECV : Root Mean Square Error of Cross-Validation

RPD : Residual Prediction Deviation

สรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในการคัดแยกผลลitchi ที่มีเมล็ดลีบเนื้อหนา (เกรดพรีเมียม) ออกจากผลลitchi ที่เมล็ดปกติได้ ตำแหน่งแก้มผลเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวัดสเปกตรัม โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในผลลitchi แบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง ซึ่งมีที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.90

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัยและลitchi สายพันธุ์ป่าชิดจากอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ได้สนับสนุนตัวอย่างลitchi ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2565). รายงานสถานการณ์การส่งออกผลไม้สดจากไทยไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีน. กรมวิชาการเกษตร.
- นิธิยา รัตนพานนท์ และดนัย บุญเกียรติ. (2543). การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีระหว่างการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์. *วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร*, 31(1-6), 13-24.
- อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, วารุณี ธนะแพสย์ ศุมาพร เกษมสำราญ และจิราพร อนุสรณ์วงศ์ชัย. (2553). การใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดสำหรับการหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลลิ้นจี่. ใน *การประชุมวิชาการประจำปี 2553 ครั้งที่ 8* (น. 127-134). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AOAC International. (2000). *Titrateable Acidity. In Official Methods of Analysis of AOAC International* (17th eds). AOAC International.
- Bruker. (n.d.). *Matrix-F FT-NIR Spectroscopy Instrument Bremen*. Bruker.
- Li, J., Wu, J., Lin, J., Li, C., Lu, H., & Lin, C. (2022). Nondestructive identification of litchi downy blight at different stages based on spectroscopy analysis. *Agriculture*, 12(3), 402. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030402>
- Osborne, B. G., Fearn, T., & Hindle, P. H. (1993). *Practice NIR Spectrometer with applications in food and beverage analysis* (2nd ed.). Longman Scientific and Technical.
- Padda, S., Shah, P., & Prajapati, M. (2011). Quality characteristics of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruits from different locations of Gujarat, India. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(7), 1689-1694.
- Pu, H., Liu, D., Wang, L., & Sun, D. W. (2015). Soluble solids content and pH prediction and maturity discrimination of Lychee fruits using visible and near infrared hyperspectral Imaging. *Food Analytical Methods*, 9(1), 235–244. doi:10.1007/s12161-015-0186-7
- Sonthiya, K., Seehanam, P., Theanjumpol, P. & Maniwaru, P. (2565). Detection of Anthracnose disease in 'Namdokmai Sithong' mango using Near Infrared Spectroscopy. *Journal of Agriculture*, 38(2), 237-248.
- Teena, M. A., Manickavasagan, A., Ravikanth, L. & Jayas, D. S. (2014). Near infrared (NIR) hyperspectral imaging to classify fungal infected date fruits. *Journal of Stored Products Research*, 59, 306-313.
- Wang, Y., Chen, Y., Zhang, Y. & Liu, J. (2019). Principal component analysis of chemical composition of mandarin orange (*Citrus reticulata* Blanco) based on different cutting parts. *Food Science & Nutrition*, 7(10), 4135-4144.