



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การตรวจสอบผลมะพร้าวแตกแบบไม่ทำลายด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา

Non-destructive inspection of cracked coconut fruit using a small portable near-infrared spectrometer

พชรพร เชียงเงิน¹ สิรินาถ น้อยพิทักษ์^{1*} เกียรติสุตา เหลืองวิลัย² อนุนันท์ เทอดวงศ์วรกุล¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

²ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Pacharaphon Chiangngoen¹ Sirinad Noypitak^{1*} Kietsuda Luengwilai² Anupun Terdwongworakul¹

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University Nakhon Pathom Thailand 73140

²Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaengsaen, Kasetsart University Nakhon Pathom Thailand 73140

* Corresponding author.

E-mail: fengsnn@ku.ac.th; Telephone: 0 85175 5727; Fax: 0 3435 1896

วันที่รับบทความ 25 พฤษภาคม 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 9 กันยายน 2567; วันที่ตอบรับบทความ 5 ตุลาคม 2567

บทคัดย่อ

การเน่าเสียของผลมะพร้าวอ่อนเนื่องจากอาการแตกภายในผลเป็นปัญหาสำคัญสำหรับการขายมะพร้าวอ่อน เพราะเกษตรกรไม่สามารถสังเกตอาการแตกจากภายนอกได้ เป็นเหตุให้มะพร้าวแตกหลงเหลือไปยังผู้นำเข้าหรือผู้ซื้อมะพร้าวทำให้ผู้นำเข้าขาดความเชื่อมั่นกับคุณภาพสินค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งหาวิธีการตรวจสอบอาการแตกภายในผลมะพร้าวอ่อนแบบไม่ทำลาย ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared spectrometer) ขนาดเล็กแบบพกพา ช่วงความยาวคลื่น 900-1700 nm รูปแบบการวัดแบบสะท้อนกลับ (Reflectance mode) ข้อมูลการดูดกลืนแสงของมะพร้าวอ่อนที่วัดจากเครื่องสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ถูกนำมาวิเคราะห์สร้างสมการการทำนายเชิงคุณภาพจำแนกกลุ่มผลมะพร้าวแตกและผลมะพร้าวปกติด้วยวิธี Partial Least Squares-Discriminant Analysis (PLS-DA) และวิธี Discriminant Analysis (DA) จากผลการวิจัยการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ถูกปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Standard Normal Variate (SNV) ให้ผลการสร้างสมการการทำนายเชิงคุณภาพที่ดีที่สุดจากการทดสอบสมการด้วยกลุ่มตัวอย่างไม่ทราบค่า (Unknown sample) โดยให้ผลความถูกต้องในการจำแนกเท่ากับ 72.34% และ 74.47% ตามลำดับ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพาสามารถช่วยในการตรวจสอบผลมะพร้าวแตกและผลมะพร้าวปกติได้ สะดวก รวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่าง อย่างไรก็ตามควรปรับปรุงสมการสมมติโดยการเก็บตัวอย่างที่มีความแปรปรวนทางคุณสมบัติทางเคมีของผลมะพร้าวในแต่ละปีเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงให้สมการทำนายมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ

มะพร้าวอ่อน สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ผลแตก วิธีแบบไม่ทำลาย

Abstract

The spoilage of young coconuts due to internal cracking is a significant issue for selling young coconuts, as farmers cannot detect the cracks from the outside. This results in cracked coconuts being passed on to importers or buyers, causing them to lose confidence in the product's quality. Therefore, this research aims to develop a non-destructive

method to detect internal cracking in young coconuts using a small portable near-infrared spectrometer with a wavelength range of 900- 1700 nm, utilizing the reflectance mode for measurement. The absorbance data of young coconuts from the near-infrared spectroscopy were analyzed to create qualitative prediction equations for classifying cracked and normal coconuts groups using Partial Least Squares- Discriminant Analysis (PLS-DA) and Discriminant Analysis (DA). The results found that the absorption values which were pretreated using mathematical Standard normal variate (SNV) method gave the best classification accuracy result of 72.34% and 74.47%, respectively from the unknown sample group. This research demonstrated that a small portable near-infrared spectrometer could help detect cracked and normal coconuts in a convenient, fast, and non-destructive manner. However, the predictive equation should always be improved by collecting additional samples with yearly variations in chemical properties to enhance the accuracy of the prediction.

Keywords

young coconut; near infrared spectroscopy; cracking fruit; non-destructive method

1. คำนำ

มะพร้าว (*Cocos nucifera* Linn.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมะพร้าวเป็นอันดับที่ 9 ของโลก ในปี 2566 มีมูลค่าการส่งออกอยู่ที่ 35,767.88 ล้านบาท [1] มะพร้าวในประเทศไทยโดยเฉพาะมะพร้าวอ่อน มีราคาแพงขึ้นในช่วงเดือน มีนาคม - มิถุนายน ของทุกปีเนื่องจากเป็นช่วงที่อากาศร้อนจัดจนส่งผลให้มีผลผลิตออกมาน้อย ปัญหาที่พบมากที่สุดคืออาการแตกในผลมะพร้าว [2] อาการแตกภายในผลมะพร้าวเป็นปัญหาสำคัญสำหรับการผลิตมะพร้าว ซึ่งอาการแตกพบได้มากตั้งแต่ช่วงฤดูหนาวจนเริ่มเข้าสู่ช่วงฤดูร้อน ไม่สามารถสังเกตอาการแตกได้จากภายนอก เนื่องจากการแตกของกะลาภายในผลมะพร้าว อาการแตกถือเป็นลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาที่สามารถพบได้ทั่วไปในผลไม้หลายชนิด เช่น มังคุด มะเขือเทศ ส้ม ลำไย มะม่วง เป็นต้น สาเหตุการแตกส่วนมากเกิดจากความแปรปรวนของสภาพอากาศ [3] ปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณน้ำในดินไม่สม่ำเสมอ ความชื้นในอากาศสูง และความดันในผลสูงดันให้กะลาแตก ซึ่งมะพร้าวจะลาแตก เกิดการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย ไม่สามารถรับประทานได้ และผู้ซื้อไม่สามารถยอมรับได้ [4] มีการศึกษาลักษณะอาการผลแตกในผลมะพร้าวโดยพบ 2 ลักษณะ คือ การแตกด้านซั้วผล และการแตกด้านก้นผล ซึ่งเป็นอาการแตกระหว่าง Carpel ของกะลาบริเวณก้น โดยพบการแตกด้านก้นผลเป็นส่วนใหญ่ [5] ปัจจุบันการคัดแยกมะพร้าวจะลาแตกออกจากผลมะพร้าวปกติ ต้องใช้ผู้ที่มีทักษะ ประสบการณ์ และความชำนาญสูง ถึงแม้ว่ามะพร้าวจะลาแตกจะมีน้ำหนักเบากว่ามะพร้าวปกติ

แต่ในเชิงปฏิบัติทำได้ยากเพราะจะต้องยกมะพร้าวทุกผลในทะลาย จึงทำให้มะพร้าวจะลาแตกหลงเหลือไปยังผู้นำเข้าหรือผู้ซื้อมะพร้าว เห็นได้ว่าการแตกในผลมะพร้าวนั้นเป็นอุปสรรคสำคัญในการส่งออก และเกษตรกรต้องสูญเสียรายได้จากการถูกตีคั้นมะพร้าวที่เกิดการแตก ผู้นำเข้าขาดความเชื่อมั่นกับคุณภาพสินค้า ดังนั้นเทคนิคที่ตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว ควรถูกนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบอาการแตกในผลมะพร้าวแบบไม่ทำลายตัวอย่าง

สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared spectroscopy : NIRS) เป็นเทคนิคที่ตรวจสอบคุณภาพได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างในผลผลิต ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบคุณภาพผลไม้แบบไม่ทำลาย Terdwongworakul et al. [6] ได้ทำการศึกษาการจำแนกเนื้อแก้วในผลมังคุดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกสูงสุด 84.8% Teerachaichayut et al. [7] ได้ทำนายอาการเนื้อแก้วภายในผลมังคุดโดยไม่ทำลายตัวอย่าง พบว่าน้ำที่เปลือกมังคุดมีความสัมพันธ์กับเนื้อแก้ว เนื่องจากบริเวณเนื้อแก้วมีน้ำมากกว่าปกติ และการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้สามารถตรวจจับโมเลกุลของน้ำที่สัมพันธ์กับอาการเนื้อแก้ว ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกสูงสุด 92.00% เห็นได้ว่าคุณสมบัติทางเคมี เช่น ปริมาณน้ำภายในเปลือกมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีภายในผล ถึงแม้ว่าเทคนิค NIRS สามารถวัดการดูดกลืนแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างไม่ลึก แต่สามารถใช้ความสัมพันธ์ทางอ้อมนำมาประยุกต์ใช้กับผลผลิตเกษตรที่มีเปลือกหนาได้ Noypitak et al. [8] สามารถนำเทคนิค NIRS

มาคัดแยกมะพร้าวกะลาแตกออกจากมะพร้าวปกติ ให้ค่าความถูกต้องในการทำนายสูง 94.03% จากการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้แบบตั้งโต๊ะที่มีระบบเซ็นเซอร์วัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีคุณภาพสูง แต่มีราคาแพง โดยใช้ความสัมพันธ์ของความชื้นในเปลือกมะพร้าวซึ่งสัมพันธ์กับอาการแตกภายในผลมะพร้าวอ่อน ถึงแม้ว่าเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพาจะมีประสิทธิภาพการทำนายไม่สูงเท่ากับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้แบบตั้งโต๊ะ แต่มีรายงานการใช้งานเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพาที่ประสบความสำเร็จและให้ประสิทธิภาพสูง เช่น การตรวจสอบปริมาณความชื้นของแอปเปิลแบบเรียลไทม์ระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยให้ค่า R^2_p เท่ากับ 0.95 และ RMSEP เท่ากับ 0.52% [9] การตรวจจับปริมาณของแข็งที่ละลายได้และความแน่นเนื้อของผลสาลี่ โดยให้ค่า R^2_p เท่ากับ 0.94 และ RMSEP เท่ากับ 0.17% และ R^2_p เท่ากับ 0.91 และ RMSEP เท่ากับ 5.50% [10] Phuangsombut et al. [11] ได้ทำการศึกษาวัดความหนาเนื้อมะพร้าวเจียโดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา พบว่าสามารถทำนายความหนาเนื้อมะพร้าวอ่อนจากการใช้ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ของกะลามะพร้าวอ่อนซึ่งมีองค์ประกอบของปริมาณลิกนินที่สัมพันธ์กับความหนาของเนื้อมะพร้าวอ่อน โดยให้ค่า R_{cv} เท่ากับ 0.89 SECV เท่ากับ 0.68 mm และ Bias เท่ากับ -0.006 mm ซึ่งเห็นได้ถึงศักยภาพของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา ปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้เครื่องมือแบบพกพาในการตรวจสอบมะพร้าวกะลาแตก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา มาใช้ในการคัดแยกมะพร้าวกะลาแตกออกจากมะพร้าวปกติ ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เหมาะแก่การพกพาไปตรวจสอบอาการแตกในสวนมะพร้าว มีราคาถูก และไม่ทำลายตัวอย่าง ซึ่งสามารถพัฒนาเชื่อมต่อเข้ากับระบบ Smart phone ได้ในอนาคต

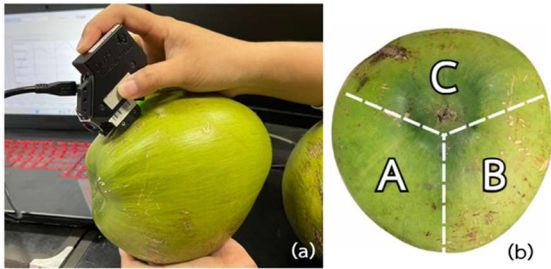
2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างผลมะพร้าวอ่อน

เตรียมตัวอย่างผลมะพร้าวอ่อน จำนวน 300 ผล สำหรับสร้างสมการทำนาย (Calibration model) ซึ่งประกอบไปด้วยผลมะพร้าวปกติ จำนวน 149 ผล และผลมะพร้าวแตกซึ่งไม่สามารถสังเกตอาการแตกจากภายนอกได้ จำนวน 151 ผล จาก 3 แปลงปลูกในอำเภอบางแพ และอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี และแปลงพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เก็บตัวอย่างในช่วงเดือน มกราคม-มีนาคม พ.ศ. 2566 เพื่อให้มีความแปรปรวนของข้อมูลตัวอย่างในการสร้างสมการทำนายที่ครอบคลุมพื้นที่การปลูก และเตรียมตัวอย่างผลมะพร้าวอ่อนจำนวน 100 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ทราบค่า (Unknown sample) จากแปลงปลูกในอำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี เก็บตัวอย่างในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 ตัวอย่างทั้งหมดถูกนำมาทำความสะอาด และควบคุมอุณหภูมิ 25°C ก่อนการวัดสเปกตรากการดูดกลืนแสงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.2 การวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างผลมะพร้าวอ่อนด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา

นำตัวอย่างผลมะพร้าวอ่อนทั้งหมดวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer (DLP Nirmano EVM, Texas Inc, Texas, USA) มีช่วงความยาวคลื่น 900-1700 nm ดังแสดงในรูปที่ 1(a) โดยจะวัด 3 ตำแหน่ง ที่บริเวณด้านก้นผล ซึ่งพบการแตกของกะลาที่ด้านก้นผลเป็นส่วนใหญ่ [5] ตำแหน่งละ 2 ซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1(b) รูปแบบการวัดแบบสะท้อนกลับ (Reflectance mode) โดยเส้นสเปกตรัมแต่ละเส้นถูกบันทึกด้วยโปรแกรมดีเอสพีเอ็นไออาร์สแกนนาโนไกด์ (DLP NIR scan Nano GUI v.2.1 EVM, Texas Instruments Incorporated, Dallas, TX, USA) ใช้วิธีบันทึค่าสเปกตรัมแบบฮาดามาร์ด (Hadamard) มีความละเอียด (Resolution) ของสเปกตรัมเท่ากับ 3.87 nm และ ค่าสแกนเฉลี่ย (Scan average) เท่ากับ 15 ครั้ง ก่อนนำมาหาค่าสเปกตรัมเฉลี่ย



รูปที่ 1 (a) การวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา และ (b) ตำแหน่งการวัดที่กันผล 3 ตำแหน่ง

2.3 การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมะพร้าวอ่อนด้วยการอบแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน ASABE

นำเปลือกมะพร้าวอ่อน ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดการดูดกลืนแสงทั้ง 3 ด้าน มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นด้วยการอบแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน ASABE [12] ทำการตัดเปลือกมะพร้าวทั้ง 3 ด้าน ลึก 1 cm ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง สับเปลือกมะพร้าวให้เป็นชิ้นเล็กๆและนำไปชั่งน้ำหนักก่อนอบแห้งที่ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius QUINTIX224-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. Goettingen, Germany) จากนั้นนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนน้ำหนักหลังอบไม่เปลี่ยนแปลง นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งเข้าสู่ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) และชั่งน้ำหนักหลังอบและหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ดังสมการที่ 1

$$M_w = \left(\frac{W_w - W_d}{W_w} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis, %)

W_w คือ น้ำหนักของตัวอย่างเปลือกมะพร้าวอ่อนอบ (กรัม)

W_d คือ น้ำหนักของตัวอย่างเปลือกมะพร้าวอ่อนหลังอบ (กรัม)

2.4 การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของเปลือกมะพร้าวอ่อนด้วยการอบแห้งด้วยวิธีทางเคมี Combustion

นำเปลือกมะพร้าวอ่อน ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดการดูดกลืนแสงทั้ง 3 ด้าน ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช จากนั้นบรรจุตัวอย่างที่บดแล้วลงถุงซีลลอคและนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) ซึ่งบรรจุซิลิกาเจลอยู่ภายใน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจน โดยตรวจสอบความพร้อมของเครื่อง Protein/Nitrogen determinator รุ่น FP-528 (LECO, USA) นำสารมาตรฐาน EDTA Calibration sample (502-896) จำนวน 0.2500 กรัม มาทดสอบความถูกต้องโดยการวิเคราะห์สารมาตรฐาน EDTA ต้องอ่านค่าไนโตรเจนได้เท่ากับ $9.57 \pm 0.04\%$ และชั่งตัวอย่างผงมะพร้าวที่อบแห้งแล้ว จำนวน 0.2000 กรัม ใส่ใน Tin foil cup ชนิดพิเศษปราศจากไนโตรเจน จากนั้นนำตัวอย่างไปเผาในเครื่อง Protein/Nitrogen determinator และบันทึกปริมาณไนโตรเจนที่ได้ [13]

2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกมะพร้าวใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในของกลุ่มตัวอย่างมะพร้าวแตกและมะพร้าวปกติด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ T-test ด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS version 28, IBM; Armonk, NY, USA)

2.6 การวิเคราะห์สร้างสมการทำนายกลุ่ม

2.6.1 การตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูลค่าอ้างอิง

นำข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนซึ่งเป็นค่าอ้างอิง มาตรวจสอบข้อมูลที่ผิดปกติ (Outlier) โดยพิจารณาค่ามาตรฐาน (Standard score; Z) ดังสมการที่ 2 ถ้าหากค่า Z มากกว่า 3 หรือน้อยกว่า -3 ถือว่าเป็น ข้อมูลที่ผิดปกติ [14]

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad (2)$$

โดยที่

Z คือค่ามาตรฐาน (Standard score)

X_i คือ ค่าข้อมูลของตัวอย่าง

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด

2.6.2 การตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูลสเปกตรัม

นำข้อมูลสเปกตรัมมาตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล โดยตรวจสอบความผิดปกติของเส้นสเปกตรัมด้วยสายตา [15] และตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) ด้วยโปรแกรมเดอะอันสแครมเบลอร์ (The Unscrambler version 9.8, Camo, Oslo, Norway) เพื่อแสดงถึงการจัดกลุ่มตัวอย่างตามวงรีโฮเทลลิงทิสแควร์ (Hotelling's T^2 ellipse) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยตัวอย่างที่อยู่นอกวงรีถูกพิจารณาเป็นข้อมูลที่ผิดปกติจากกลุ่มข้อมูลทั้งหมด [16]

2.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างสมการทำนาย

นำข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเริ่มต้นและสเปกตรัมที่นำมาทำการปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น การปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกลีย์ (Savitzky-Golay Smooth) อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First derivative) อนุพันธ์อันดับสอง (Second derivative) การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction; MSC) และการปรับแก้ความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard normal variate; SNV) ด้วยโปรแกรมเดอะอันสแครมเบลอร์ (The Unscrambler version 9.8, Camo, Oslo, Norway) เพื่อลดอิทธิพลที่ส่งผลกระทบต่อสเปกตรัม และลดการกระเจิงแสง นำข้อมูลการดูดกลืนแสงที่ปรับแต่งแล้วไปใช้เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์สร้างสมการทำนายมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตก โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนาย (Calibration set) จำนวน 300 ผล และกลุ่มนอกกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการทำนาย (External prediction set) หรือกลุ่มตัวอย่างไม่ทราบค่า (Unknown sample set) จำนวน 100 ผล จากนั้นวิเคราะห์สร้างสมการทำนายเชิงคุณภาพของผลมะพร้าวปกติและผลมะพร้าวแตกด้วยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) แบบ Full cross validation ด้วยโปรแกรมเดอะอันสแครมเบลอร์ (The Unscrambler version 9.8, Camo, Oslo, Norway) โดย PLS-DA เป็นเทคนิคที่สร้างตัวแปรใหม่

ขึ้นจากตัวแปรเดิม เพื่อลดความซับซ้อนของข้อมูล ตัวแปรใหม่ ที่สร้างขึ้นแต่ละตัวแปรจะรวบรวมข้อมูลตัวแปรอิสระเดิมทั้งหมดด้วยน้ำหนักที่แตกต่างกัน ข้อมูลตัวแปรเดิมที่สำคัญจะถูกเก็บไว้ในตัวแปรใหม่ตัวแปรแรกบางตัวแปร ส่วนตัวแปรใหม่ที่นอกเหนือจากนี้จะเก็บข้อมูลสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำนายค่าเป้าหมาย ดังนั้นในการสร้างสมการจึงต้องมีขั้นตอน Cross validation สำหรับการเลือกจำนวนตัวแปรใหม่ที่เหมาะสม และวิเคราะห์สร้างสมการการจำแนกกลุ่มผลมะพร้าวปกติและผลมะพร้าวแตกด้วยวิธี Discriminant Analysis (DA) แบบ Full cross validation ด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS version 28, IBM; Armonk, NY, USA) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างสมการการทำนายสำหรับการจำแนกกลุ่ม โดยมีตัวแปรต้นคือ ข้อมูลการดูดกลืนแสง และกำหนดตัวแปรการจำแนกกลุ่มคือ มะพร้าวแตก = 1 และมะพร้าวปกติ = 0 โดยพิจารณาความแม่นยำของสมการทำนายกลุ่มจากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากการทำนายกลุ่ม

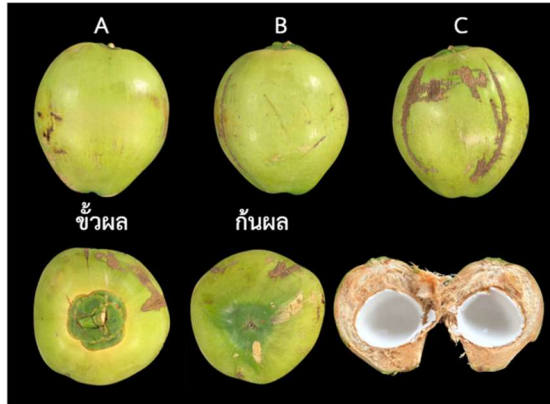
3. ผลและวิจารณ์

3.1 คุณลักษณะของผลมะพร้าวปกติและผลมะพร้าวแตก

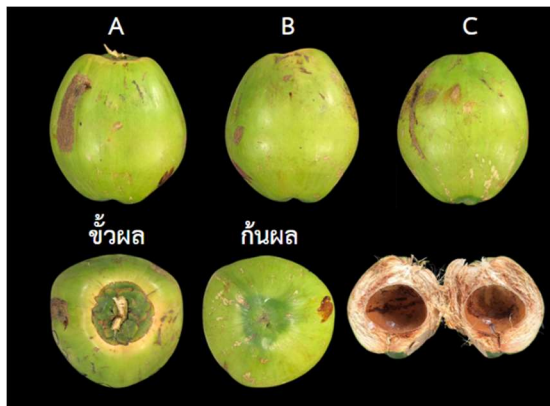
จากการตรวจสอบความผิดปกติ (Outliers) ของค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพาของมะพร้าวอ่อนจำนวน 400 ตัวอย่าง ไม่พบความผิดปกติของเส้นสเปกตรัมเมื่อตรวจสอบค่าอ้างอิงพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมะพร้าวจากการพิจารณาค่ามาตรฐาน (Standard score) กลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนาย (Calibration set) จำนวน 300 ตัวอย่าง มีค่าผิดปกติจำนวน 3 ตัวอย่าง เหลือตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ 297 ตัวอย่าง และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการทำนายจำนวน 100 ตัวอย่าง มีค่าผิดปกติจำนวน 6 ตัวอย่าง จึงเหลือตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ 94 ตัวอย่าง รวมเหลือตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์จำนวน 391 ผล ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนไม่พบความผิดปกติของข้อมูล

จากการทดลองนำผลมะพร้าวอ่อนทั้งหมด มาถ่ายภาพบันทึกคุณลักษณะทั้งภายนอกและภายในผล ดังแสดงในรูปที่

2 ผลมะพร้าวปกติ และรูปที่ 3 ผลมะพร้าวแตก พบว่า จากการสังเกตด้วยตาเปล่า ผู้ไม่มีความชำนาญในการคัดแยกผลมะพร้าวแตกไม่สามารถแยกความแตกต่างของลักษณะภายนอกของมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกได้ อย่างไรก็ตาม เกษตรกรผู้มีความชำนาญที่ทำการคัดแยกทุกวันสามารถจำแนกได้ 90.20% จากการสังเกตลักษณะภายนอก และสังเกตจากการยกผลมะพร้าวเพื่อประเมิน



รูปที่ 2 ลักษณะมะพร้าวปกติ



รูปที่ 3 ลักษณะมะพร้าวแตก

3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเปลือกมะพร้าวปกติและเปลือกมะพร้าวแตก

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมะพร้าวปกติและเปลือกมะพร้าวแตก

เมื่อวัดปริมาณความชื้นของเปลือกมะพร้าวอ่อนทั้งหมดจำนวน 391 ผล ซึ่งเป็นผลมะพร้าวปกติจำนวน 197 ผล และผลมะพร้าวแตกจำนวน 194 ผล พบว่าในผลมะพร้าวแตกมี

ปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกเฉลี่ยต่ำกว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกในผลมะพร้าวปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1 เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Noypitak et al. [8] ที่ค่าเฉลี่ยความชื้นเปลือกมะพร้าวปกติสูงกว่าผลมะพร้าวแตกอย่างมีนัยสำคัญ 86.21% และ 83.08% ตามลำดับ และกล่าวถึงสาเหตุที่มะพร้าวแตกมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกน้อยกว่ามะพร้าวปกติ อาจเนื่องจากโดยปกติมะพร้าวที่เกิดอาการแตกนั้น จะเริ่มมีอาการแตกในกะลาเมื่อผลอายุ 5 เดือน น้ำภายในผลจะค่อยๆ ซึมไหลออกจากผล ส่งผลให้น้ำในเซลล์ของเปลือกค่อยๆ ระเหยสู่บรรยากาศภายนอกจึงทำให้ความชื้นภายในเปลือกของมะพร้าวแตกลดลงจนมีนัยสำคัญเมื่อถึงอายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน อย่างไรก็ตามค่าความชื้นในเปลือกมะพร้าวในปีการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันยังมีช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ต่างกัน อาจเนื่องมาจากสภาพอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละปี ซึ่งควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมต่อไป

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของเปลือกมะพร้าวปกติและเปลือกมะพร้าวแตก

เมื่อทำการวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกของมะพร้าวอ่อนทั้งหมดจำนวน 400 ผล ซึ่งเป็นผลมะพร้าวปกติจำนวน 203 ผล และผลมะพร้าวแตกจำนวน 197 ผล พบว่าในผลมะพร้าวแตกมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกเฉลี่ยสูงกว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกมะพร้าวปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ กฤษณา และคณะ [17] ที่พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนในเปลือกมะพร้าวแตก สูงกว่าปริมาณไนโตรเจนในเปลือกมะพร้าวปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจนที่มีสูงกว่าปกติในเปลือกของมะพร้าวที่มีอาการผลแตก เช่นเดียวกับผลพีช (Peach) ที่มีการสะสมธาตุอาหารได้แก่ ลิกนิน และแคลเซียม สูงในผลที่มีอาการแตก [18]

ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น และค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนถูกแบ่ง 2 กลุ่ม คือกลุ่มสำหรับสร้างสมการสอบเทียบ (Calibration set) และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ (External prediction set) โดยได้แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 2 ซึ่งในกลุ่มสำหรับสร้างสมการสอบเทียบ ได้มีการจัดข้อมูลตัวอย่างที่มีค่าต่ำสุด และสูงสุดที่

ครอบคลุมค่าความชื้นและค่าไนโตรเจนในเปลือกมะพร้าวปกติ และมะพร้าวแตก

ตารางที่ 1 ค่าสถิติของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (MC) และค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (N) ของมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตก

Parameter	Symptom	No.	Min	Max	Mean	SD	t - test
MC (%wet basis)	Normal	197	72.76	83.10	79.27	2.20	*
	Cracked	194	66.14	82.18	76.93	3.22	
	Total	391	66.14	83.10	78.16	3.11	
N (%Dry weight)	Normal	203	0.17	0.55	0.33	0.07	*
	Cracked	197	0.16	0.58	0.36	0.08	
	Total	400	0.16	0.58	0.34	0.38	

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 2 ค่าสถิติของปริมาณความชื้นในเปลือกมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกในกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction

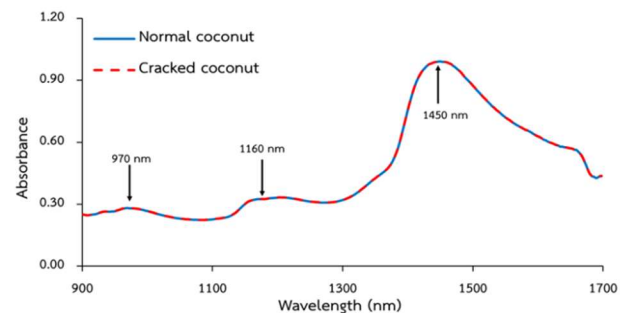
Parameter	Set	No.	Min	Max	Mean	SD
MC (%wet basis)	Cal	297	66.14	83.10	77.95	3.11
	Pred	94	70.83	82.89	78.37	2.46
N (%Dry weight)	Cal	300	0.16	0.58	0.34	0.07
	Pred	100	0.19	0.55	0.36	0.08

Cal: Calibration set, Pred: External Prediction set, SD: Standard deviation

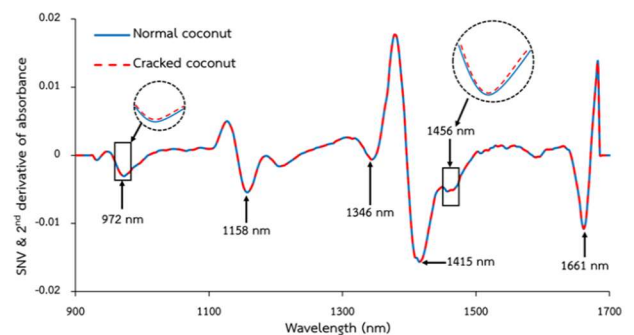
3.3 สเปกตรากการดูดกลืนแสงของมะพร้าวอ่อน

สเปกตรากการดูดกลืนแสงของผลมะพร้าวอ่อนจำนวน 297 ตัวอย่าง จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาด เล็กแบบพกพา (DLP Nir nano EVM, Texas Inc, Texas, USA) ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงมาปรับแต่ง ด้วยวิธี SNV ร่วมกับ Second derivative เพื่อลดอิทธิพลการกระเจิงแสง และทำให้เกิดพีกเด่น แสดงดังรูปที่ 5 พบตำแหน่ง พีกการดูดกลืนแสงที่เด่นชัดความยาวคลื่นที่ 972 nm เป็นการ สั่นของ O-H second overtone ของน้ำ [19] ความยาวคลื่น ที่ 1158 nm เป็นการสั่นของ C-H second overtone ของอะ โรมาติก [20] ความยาวคลื่นที่ 1346 nm เป็นการสั่นของ first overtone ของ CH₃ [21] ความยาวคลื่นที่ 1415 nm เป็นการ สั่นของ O-H first overtone ของ CH₂ [19] ความยาวคลื่น 1456 nm เป็นการสั่นของ O-H second overtone ของน้ำ

[19] ความยาวคลื่น 1661 nm เป็นการสั่นของ C-H first overtone ของ RCH=CHR¹ [18] ซึ่งที่ช่วงพีก 972 nm และ 1456 nm เป็นช่วงการดูดกลืนแสงของน้ำ แสดงถึง ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นที่ผลมะพร้าวปกติมีมากกว่า ในผลมะพร้าวแตก เช่นเดียวกับ สเปกตรากการดูดกลืนของพีก น้ำ ในผลอ่อน [22] และผลมะเขือเทศ [23]



รูปที่ 4 สเปกตรากการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของผลมะพร้าวปกติและผล มะพร้าวแตก



รูปที่ 5 สเปกตรากการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของผลมะพร้าวปกติและผล มะพร้าวแตกที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV ร่วมกับ Second derivative

3.4 ผลการวิเคราะห์สร้างสมการการทำนายเชิงคุณภาพ

3.4.1 ผลการวิเคราะห์สร้างสมการการทำนายเชิงคุณภาพ ด้วยวิธี Partial Least Squares-Discriminant Analysis (PLS-DA)

ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตก โดยวิเคราะห์สร้างสมการการทำนายด้วยวิธี Partial Least Squares-Discriminant Analysis (PLS-DA) กำหนดตัวแปร การจำแนกกลุ่มคือ มะพร้าวแตก = 1 และมะพร้าวปกติ = 0

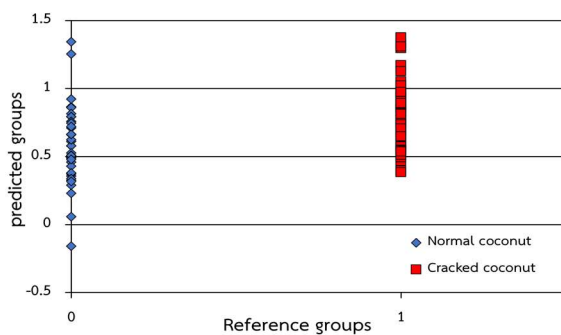
ซึ่งผลการจำแนกกลุ่มแสดงในตารางที่ 3 ตามการปรับแต่งข้อมูลสเปกตราดด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ พบว่าการปรับแต่งด้วยวิธี First derivative ให้ผลการสร้างสมการทำนาย (Calibration set) ที่ดีที่สุดให้ผลความถูกต้องในการจำแนก 81.48% ในการสร้างสมการทำนายเพื่อหาตัวแปรใหม่หรือแฟกเตอร์ (Factors) ที่เหมาะสมด้วยวิธี Full cross validation ให้ผลความถูกต้องในการจำแนกสูงสุด 77.10% แต่เมื่อนำสมการมาทดสอบวัดมะพร้าวกลุ่ม External prediction ซึ่งเป็นตัวอย่างที่เก็บจากพื้นที่และวันเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เหมือนเกษตรกรนำไปใช้งานจริง พบว่าให้ผลความถูกต้องในการจำแนก 69.15% ด้วยตัวแปรใหม่จำนวน 12 ตัว เมื่อพิจารณาผลของสมการทำนายที่ใช้ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงที่ปรับแต่งข้อมูลสเปกตราดด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ พบว่าการปรับแต่งด้วยวิธี SNV ให้ผลการทดสอบสมการทำนายกลุ่ม External prediction ให้ค่าความถูกต้องรวมในการจำแนก

สูงขึ้นเป็น 72.34% ด้วยตัวแปรใหม่จำนวน 7 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 6 สามารถจำแนกมะพร้าวปกติได้ถูกต้อง 92.73% และสามารถจำแนกมะพร้าวแตกได้ 43.59% ดังรายละเอียดดังตารางที่ 5

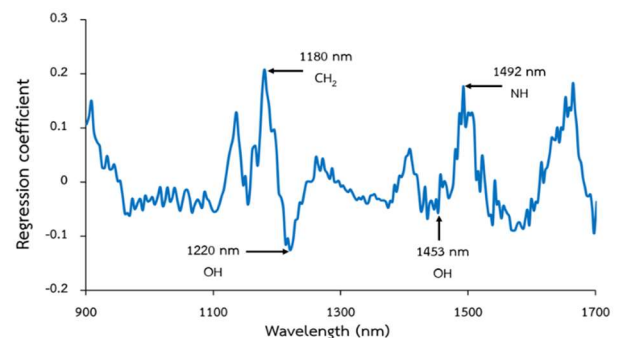
เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ดังแสดงในรูปที่ 7 ข้อมูลที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV พบว่าความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อสมการทำนายคือ ความยาวคลื่นที่ 1180 nm และ 1220 nm เป็นการสั่นของ C-H second overtone ของ CH [19] ความยาวคลื่นที่ 1453 เป็นการสั่นของ O-H first overtone ของน้ำ [20] ความยาวคลื่นที่ 1492 เป็นการสั่นของ N-H first- overtone ของ ArNH_2 [19] ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นและไนโตรเจนในเปลือกมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตก

ตารางที่ 3 ค่าความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มตัวอย่างมะพร้าวปกติ และมะพร้าวแตกที่วิเคราะห์โดยวิธี Partial Least Squares-Discriminant Analysis (PLS-DA) จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา

Pretreatment	Number of factors	Model	Young coconut		
			Total number of fruit	Correctly classified fruit	Total accuracy in classification (%)
First derivative	12	Calibration	297	242	81.48
		Cross validation	297	229	77.10
		External prediction	94	65	69.15
SNV	7	Calibration	297	220	74.07
		Cross Validation	297	207	69.69
		External prediction	94	68	72.34



รูปที่ 6 กราฟผลการทำนายการจำแนกกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตก จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพาด้วยวิธี PLS-DA ที่ปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี SNV



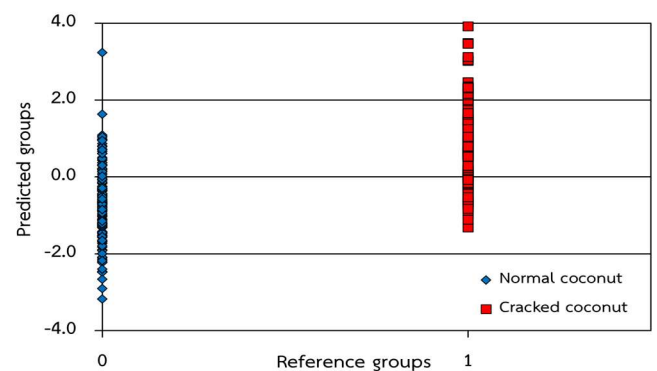
รูปที่ 7 Regression coefficient การทำนายการจำแนกกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตก จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา ด้วยวิธี PLS-DA ปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี SNV

ตารางที่ 4 ค่าความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มตัวอย่างมะพร้าวปกติ และมะพร้าวแตกที่วิเคราะห์โดยวิธี Discriminant Analysis (DA) จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา

Pretreatment	Number of factors	Model	Young coconut		
			Total number of fruit	Correctly classified fruit	Total accuracy in classification (%)
SNV & Second derivative	12	Calibration	297	229	77.10
		Cross validation	297	221	74.41
		External prediction	94	61	64.90
SNV	7	Calibration	297	224	75.42
		Cross Validation	297	216	72.73
		External prediction	94	70	74.47

3.4.2 ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant Analysis (DA)

ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา ในการจำแนกกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกโดยใช้ตัวแปรอิสระคือ ข้อมูลการดูดกลืนแสงของผลมะพร้าว โดยกำหนดตัวแปรการจำแนกกลุ่มดังนี้ มะพร้าวแตก = 1 และมะพร้าวปกติ = 0 โดยวิเคราะห์สร้างสมการทำนายด้วยวิธี Discriminant Analysis (DA) ซึ่งผลการจำแนกกลุ่มตามการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์แสดงในตารางที่ 4 พบว่าการปรับแต่งด้วยวิธี SNV ร่วมกับวิธี Second derivative ให้ผลการสร้างสมการทำนาย (Calibration model) ที่ดีที่สุดให้ผลความถูกต้องในการจำแนก 77.10% ในการสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Full cross validation ให้ผลความถูกต้องในการจำแนกสูงสุด 74.41% แต่เมื่อนำมาทำนายกลุ่ม External prediction ซึ่งเป็นตัวอย่างที่เก็บจากพื้นที่และวันเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันเหมือนการใช้งานจริงของเกษตรกร ให้ผลความถูกต้องในการจำแนก 64.90% เมื่อพิจารณาผลของสมการทำนายที่ใช้ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV ให้ผลการทดสอบสมการทำนายด้วย External prediction ที่ดีที่สุด โดยให้ค่าความถูกต้องรวมในการจำแนก 74.47% จากกลุ่มผลมะพร้าวทั้งหมด 94 ผล โดยสามารถจำแนกมะพร้าวปกติได้ 61.54% และจำแนกมะพร้าวแตกได้ 83.64% ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟผลการทำนายการจำแนกกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตก จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพาด้วยวิธี DA ที่ปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี SNV

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าการสร้างสมการจำแนกด้วยวิธี DA มีอัลกอริทึมที่สัมพันธ์กับข้อมูลของการดูดกลืนแสงมากกว่าวิธี PLS-DA ทำให้ความถูกต้องในการจำแนกด้วยวิธี DA ได้ผลที่ดีกว่า เช่นเดียวกับการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดพบว่าวิธี DA ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกดีที่สุดเท่ากับ 84.8% เมื่อเทียบกับวิธี PLS-DA ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกเท่ากับ 83.9% [24]

ตารางที่ 5 ค่าความถูกต้องในการจำแนกกลุ่ม External prediction ของตัวอย่างมะพร้าวปกติ และมะพร้าวแตกที่วิเคราะห์โดยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) และวิธี Discriminant Analysis (DA) จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา

Method	Pretreatment	Parameter	Young coconut		
			Total number of fruit	Correctly classified fruit	Total accuracy in classification (%)
PLS-DA	SNV	Cracking fruits	55	51	92.73
		Normal fruits	39	17	43.59
		Total	94	68	72.34
DA	SNV	Cracking fruits	55	46	83.64
		Normal fruits	39	24	61.54
		Total	94	70	74.47

ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์สร้างสมการทำนายกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกด้วยวิธี Partial Least Squares-Discriminant Analysis (PLS-DA) และวิธี Discriminant Analysis (DA) ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา ให้ผลการทดสอบสมการทำนายที่มีค่าความถูกต้องในการตรวจสอบมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกได้น้อยกว่าเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้แบบตั้งโต๊ะที่มีความละเอียดของข้อมูลสูง ดังงานวิจัยของ Noypitak et al. [8] ซึ่งให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงสุด 94.03% อย่างไรก็ตามเครื่องมือแบบตั้งโต๊ะมีราคาแพง และไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปวัดในแปลงของเกษตรกรได้ในขณะที่สเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพาสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีราคาถูก สามารถประเมินเบื้องต้นในเชิงพาณิชย์ได้

4. สรุปผลการศึกษา

จากการวิจัยพบว่าเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กแบบพกพา สามารถจำแนกกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกได้โดยให้ผลการจำแนกผลมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกที่ดีที่สุด จากกลุ่มตัวอย่าง Unknown sample ซึ่งเป็นการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริง ด้วยวิธี Discriminant Analysis (DA) สามารถให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 74.47% เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถจำแนกกลุ่มมะพร้าวปกติและมะพร้าวแตกได้โดยไม่

ต้องทำลายตัวอย่าง ในอนาคตควรมีการปรับปรุงสมการทำนายโดยเพิ่มตัวอย่างในสมการทำนายเนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของผลมะพร้าวอ่อนในแต่ละปีมีความแปรปรวนตามธรรมชาติ เพื่อให้จำแนกตัวอย่างในอนาคตได้อย่างแม่นยำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนทุนการศึกษา งานวิจัยนี้ได้รับสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) สัญญาเลขที่ PRP6605030170 และทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. *การนำเข้าและส่งออกมะพร้าว*. เข้าถึงได้จาก: <https://mis-app.oae.go.th> [เข้าถึงเมื่อ 11 มกราคม 2567].
- [2] สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. *สถานการณ์การผลิตมะพร้าว*. เข้าถึงได้จาก: https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/10/สถานการณ์มะพร้าว_กรกฎาคม63.pdf. [เข้าถึงเมื่อ 13 พฤศจิกายน 2566].
- [3] พงษ์นาค นาถวรานันต์. ผลของความถี่ในการให้น้ำต่อการแตกของผลมะพร้าวน้ำหอม. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*. 2559; 33(4): 39-47.
- [4] ธนาโชค ตติเจริญ. *ปัจจัยการเกิดการแตกในมะพร้าวอ่อนเขียวและการป้องกันการแตก* [วิทยานิพนธ์].

- วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาการพืชสวน). กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2559.
- [5] กัญญาณัฐ นิคนธา. *ศึกษาปริมาณลิกลิน แคลเซียมและโปรตอนระหว่างการพัฒนาผล และสภาพแวดล้อม ต่อการแตกของผลมะพร้าวน้ำหอม [วิทยานิพนธ์]*. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาการพืชสวน). กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2562.
- [6] Terdwongworakul A, Nakawajana N, Teerachaichayut S, Janhira A. Determination of translucent content in mangosteen by means of near infrared transmittance. *Journal of Food Engineering*. 2012; 109(1): 114–119.
- [7] Teerachaichayut S, Kil K, Terdwongworakul A, Thanapase W, Nakanishi Y. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology Technology*. 2007; 43(2): 202–206.
- [8] Noypitak S, Imsabai W, Noknoi W, Karoojee S, Terdwongworakul A, Kobori H. Detection of cracked shell in intact aromatic young coconut using near infrared spectroscopy and acoustic response methods. *Food Measurement Characterization*. 2019; 13: 1991–1999.
- [9] Kapoor R, Malvandi A, Feng H, Kamruzzaman M. Real-time moisture monitoring of edible coated apple chips during hot air drying using miniature NIR spectroscopy and chemometrics. *Food Science and Technology*. 2022; 154: 112602.
- [10] Yu Y, Yao M. A portable NIR system for nondestructive assessment of SSC and firmness of Nanguo pears. *Food Science and Technology*. 2022; 167: 113809.
- [11] Phuangsombut A, Phuangsombut K, Meetim J, Terdwongworakul A. Application of miniaturized near-infrared spectrometer for indirectly determining flesh thickness of intact polished coconut. *Postharvest Biology Technology*. 2023; 198: 112224.
- [12] American Society of Agricultural and Biological Engineers Standards (ASABE). *Moisture measurement-forages*, S358; 2006.
- [13] Karoojee S, Noypitak S, Abdullakasim S. Determination of total nitrogen content in fresh leaves and leaf powder of Dendrobium orchids using near-infrared spectroscopy. *Horticulture, Environment and Biotechnology*. 2021; 62: 31–40.
- [14] Meier KJ, Brudney JL, Bohte J. *Applied Statistics for Public and Nonprofit Administration* (8th ed.). Boston USA: Wadsworth; 2014.
- [15] ฉันทพร โส๊ะอัน, สิรินาฏ น้อยพิทักษ์. การทำนายค่าความชื้น โมดูลัสยืดหยุ่น และค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ยางพาราแปรรูปเกรดคละด้วยเทคนิคภาพไฮเปอร์สเปกตรัลอินฟราเรดย่านใกล้. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*. 2567; 17(3): 12-23.
- [16] Kang R, Zhao M, O'Donnell C. Explorations of guided microwave spectroscopy (GMS) features for infant milk formula detection. *Biosystems and food engineering research review* 22. 2017; 55-65.
- [17] กฤษณา กฤษณพุกต์, อีร์ หะวานนท์, ลพ ภวภูตานนท์, วชิรญา อิ่มสบาย, ราตรี บุญเรืองรอด. *การผลิตมะพร้าวอ่อนในสภาพภูมิอากาศที่กำลังเปลี่ยนแปลง*. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2562: RDG5820033.
- [18] Evert DR, Gaines TP, Mullinix Jr BG. Effects of split-pit on elemental concentrations of peach fruit during pit hardening. *Scientia Horticulturae*. 1988; 34(1–2): 55–65.
- [19] Osborne BG, Fearn T, Hindle PH. *Practical NIR spectroscopy with application in food and beverage analysis*. England: Longman Scientific and Technical; 1993.
- [20] Williams P, Norris K. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. American Association of Cereal Chemists. USA; 2001.

- [21] Workman J, Weyer Jr L. *Practical guide and spectral atlas for interpretive near- infrared spectroscopy (2nd ed.)*. United States of America: CRC; 2012.
- [22] Ncama K, Tesfay SZ, Fawole OA, Opara UL, Magwaza LS. Non- destructive prediction of ‘Marsh’ grapefruit susceptibility to postharvest rind pitting disorder using reflectance Vis/ NIR spectroscopy. *Scientia Horticulturae*. 2018; 231: 265–271.
- [23] Sirisomboon P, Tanaka M, Kojima T, Williams P. Nondestructive estimation of maturity and textural properties on tomato ‘Momotaro’ by near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. 2012; 112(3): 218–226.
- [24] สิรินาฏ น้อยพิทักษ์. *เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วใน มังคุดแบบทำลายโดยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ แบบสะท้อนแสง [วิทยานิพนธ์]*. วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร). กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2552.