

การตรวจสอบความผิดปกติของเนื้อมะม่วงด้วยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ Investigation of Mango Flesh Disorder Using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)

ปฐมพร ไชยะ¹ แคทรียา สอนธิยา¹ จุฑามาส สวงทรัพย์¹ ฉันทลักษณ์ ตียายน¹

พลกฤษณ์ มณีวระ^{2,3} และพิมใจ สีหะนาม^{1,2,3,*}

Patomporn Chaiya¹, Katthareeya Sonthiya¹, Jutamas Sanguansub¹, Chantalak Tiayon¹

Phonkrit Maniwara^{2,3} and Pimjai Seehanam^{1,2,3,*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

²ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

³ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวง

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

¹Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiangmai University, Chiang Mai, Thailand 50200

²Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiangmai University, Chiang Mai, Thailand 50200

³Postharvest Technology Innovation Center, Science, Research and Innovation Promotion and Utilization Division

Office of the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok, Thailand 10400

*Corresponding author: pimjai193@gmail.com

Received: February 14, 2025

Revised: May 16, 2025

Accepted: June 06, 2025

Abstract

Export quality of 'Nam Dok Mai Sithong' mango has been reduced due to internal disorders that are undetectable by visual inspection. These flaws lead to loss of export value and importer's trust. Therefore, this research aimed to investigate the feasibility of using NIRS and advanced chemometrics to detect internal disorders of the mangoes. A total of 38 fruits of 'Nam Dok Mai Sithong' mango, aged 115–120 days after flowering were harvested. Different areas of fruit peel were designated into different categories for near-infrared (NIRS) spectra measurement, consisting of 100 normal flesh spots, 100 internal breakdown spots, and 97 spongy tissue spots. Interactance measurement was used in wavenumbers of 4,000–12,500 cm⁻¹. Classification models were developed using Self-Organizing Map (SOM) and classification accuracies were evaluated. Results from Principal Component Analysis (PCA) were unable to distinguish among the 3 different characteristics of mango flesh. On the other hand, classification models of SOM with 25,000 iterations were able to classify mango flesh into 2 classes (normal and disorder) and 3 classes (normal, internal breakdown, and spongy tissue), providing correct classification rates (%CC) of 83.1 and 82.4%, respectively. Therefore, application of near-infrared spectroscopy using SOM model provided more than 80% classification accuracy for classifying mango flesh into normal, internal breakdown, and spongy tissue symptoms.

Keywords: nondestructive evaluation, chemometrics, internal breakdown, spongy tissue

บทคัดย่อ

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองคุณภาพชั้นส่งออกพบปัญหาเนื่อผิดปกติที่ไม่สามารถตรวจสอบได้จากลักษณะปรากฏภายนอก ความเสียหายนี้ส่งผลต่อมูลค่าและความเชื่อมั่นของผู้นำเข้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้ NIRS ร่วมกับวิธีเคโมเมทริกซ์ในการตรวจสอบความผิดปกติของเนื่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง โดยเก็บเกี่ยวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มีอายุ 115–120 วันหลังดอกบานจำนวน 38 ผล นำมาแบ่งพื้นที่บนผิวผลสำหรับการบันทึกข้อมูลสเปกตรัม (เนื่อปกติ 100 ตำแหน่ง เนื่อเน่าใน 100 ตำแหน่ง และเนื่อโพรง 97 ตำแหน่ง) ด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับในช่วงเลขคลื่น 4,000–12,500 เซนติเมตร⁻¹ (cm⁻¹) สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) แล้วประเมินประสิทธิภาพโดยพิจารณาความแม่นยำการจำแนก ทั้งนี้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้อมูล (Principal Component Analysis: PCA) ไม่สามารถแสดงความแตกต่างของข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเนื่อมะม่วงทั้ง 3 ลักษณะ อย่างไรก็ตามการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์จำแนกด้วย SOM ที่อาศัยการเรียนรู้ 25,000 ครั้ง สามารถจำแนกเนื่อมะม่วงทั้ง 2 ลักษณะ (เนื่อปกติและเนื่อผิดปกติ) และ 3 ลักษณะ (เนื่อปกติ เนื่อเน่าใน และเนื่อโพรง) ได้ โดยมีค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์จำแนก (Correctly Classified rate: %CC) เท่ากับ 83.1 และ 82.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการใช้สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้โดยใช้แบบจำลองจำแนกวิธี SOM มีความแม่นยำในการจำแนกเนื่อมะม่วงลักษณะปกติ เนื่อเน่าใน และเนื่อโพรงได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การประเมินแบบไม่ทำลาย เคโมเมทริกซ์ เนื่อเน่าใน เนื่อโพรง

คำนำ

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นผลไม้เขตร้อน จัดอยู่ในกลุ่ม climacteric fruits ทั้งนี้มะม่วงมีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย จึงสามารถแพร่กระจายพันธุ์และเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญในหลายภูมิภาคทั่วโลก และพื้นที่การผลิตหลักของมะม่วง คือ ภูมิภาคเอเชีย ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่เป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกมะม่วงลำดับต้น ๆ ของโลก โดยปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงเป็นลำดับที่ 4 ของโลก อีกทั้งมีการส่งออกมะม่วงสดและมะม่วงแช่แข็งมูลค่ารวม 5,117,461,803 บาท ซึ่งตลาดส่งออก 5 อันดับแรก ได้แก่ เกาหลีใต้ มาเลเซีย ญี่ปุ่น เวียดนาม และลาว ตามลำดับ (Office of Agricultural Economics, 2024)

อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบในการส่งออกมะม่วง ได้แก่ คุณภาพของผลิตผลยังไม่ดีเท่าที่ควร และอายุการเก็บรักษาสั้น (Postharvest Technology Innovation Center, 2024) ซึ่งอาการผิดปกติภายในผลมะม่วงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มะม่วงมีคุณภาพลดลง ส่งผลเสียโดยตรงต่อความเชื่อมั่นในการรับซื้อของผู้ประกอบการและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดยลักษณะอาการผิดปกติภายในที่พบในผลมะม่วง คือ อาการเน่าใน (internal breakdown) ซึ่งมีรายงานว่าอาจเกิดจากความเสียหายของเนื้อเยื่อชั้น mesocarp บริเวณรอบ ๆ เมล็ด ขั้วผล และปลายผล ความผิดปกตินี้เกิดจากการขาดธาตุแคลเซียม (Ca) ลักษณะของอาการ คือ เกิดผิวยุบเล็กน้อย แต่ไม่มีร่องรอยบนผิวเปลือกของผลมะม่วง เมื่อปอกเปลือกหรือหั่นเนื้อจึงพบความผิดปกติ คือ เนื้อเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล-ดำ เป็นบริเวณกว้าง (Raymond, *et al.* 1998) อีกทั้งมีรายงานว่าอาจเป็นผลมาจากการขาดธาตุโบรอน (B) ในผลมะม่วง ส่งผลให้เนื้อของมะม่วงบริเวณใกล้เมล็ดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (internal necrosis)

(Poovarodom, 2013) และนอกจากนี้ยังพบลักษณะผิดปกติภายในผลมะม่วง คือ อาการเนื้อโพรง (spongy tissue) ซึ่งเนื้อผลของมะม่วงมีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ มีเนื้อสีเหลืองอ่อนหรือขาวจนถึงสีน้ำตาลดำ และเนื้อเยื่อบริเวณนี้อาจมีลักษณะเป็นโพรง มักเกิดบริเวณใกล้เมล็ด (Shivashankar, 2014; Yahia, 2011) ทั้งนี้ลักษณะอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในผลมะม่วงนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้จากลักษณะปรากฏภายนอกผล ยกต่อการตรวจสอบและการประเมินคุณภาพของผลมะม่วง

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเลขคลื่น 4,000–12,500 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งเป็นการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงที่สอดคล้องกับการสั่นของโมเลกุลอินทรีย์สารในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นวิธีที่ใช้ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างแม่นยำ และเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (Boonyakiat, 2020) ปัจจุบัน NIRS ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบอาการผิดปกติของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย เช่น การตรวจสอบความผิดปกติของเมล็ดข้าวโพดที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราและความผิดปกติทางกายภาพ (Bantadjan *et al.*, 2014) การตรวจสอบความบกพร่องในเมล็ดกาแฟดิบอะราบิกา (Kaewpangchan *et al.*, 2021) การตรวจสอบความผิดปกติภายในของผลแอปเปิลที่เกิดจากเชื้อรา (Shenderay *et al.*, 2010) การตรวจสอบอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด (Chaipanwiryaporn, 2013) การตรวจสอบอาการเน่าในในมันฝรั่ง (Zhou *et al.*, 2015) การตรวจสอบอาการเน่าในในหัวไชเท้า (Takizawa *et al.*, 2014) การตรวจสอบอาการเนื่อฟามของผลส้มสายน้ำผึ้ง (Wongzeewasakun *et al.*, 2017) และการตรวจสอบอาการฟามของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู (Jaitrong *et al.*, 2016) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เพื่อตรวจสอบลักษณะผิดปกติของเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองโดยไม่ทำลาย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

เก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มีอายุ 115–120 วันหลังดอกบาน จำนวน 38 ผล โดยตรวจสอบลักษณะอาการผิดปกติภายในเนื้อมะม่วง ประกอบด้วยผลมะม่วงเนื้อปกติ 13 ผล ผลมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน 13 ผล และผลมะม่วงที่แสดงอาการเนื้อโพรง 12 ผล ดังภาพ Figure 1A, 1B และ 1C ตามลำดับ ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computerized Tomography: CT) (รุ่น C/Te, GE Healthcare, สหรัฐอเมริกา) จากนั้นแบ่งพื้นที่บนผิวผลมะม่วงเพื่อบันทึกสเปกตรัม โดยใช้เทปกาวย่นขนาดเล็กทำช่องขนาดพื้นที่ประมาณ 1.5 เซนติเมตร × 1.5 เซนติเมตร ทั้งนี้ 1 ช่อง กำหนดให้เป็น 1 ตำแหน่ง หรือ spot

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลสเปกตรัมของเนื้อมะม่วงปกติ 100 ตำแหน่ง เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน 100 ตำแหน่ง และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเนื้อโพรง 97 ตำแหน่ง ด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (ยี่ห้อ BRUKER OPTIK GmbH ชนิด MPA รุ่น 3374 ประเทศเยอรมนี) แบบวัดการสะท้อนกลับของแสง (interactance) โดยใช้หัววัดตัวอย่างของแข็ง (solid probe) ที่ช่วงเลขคลื่น 4,000–12,500 เซนติเมตร⁻¹ หลังจากนั้นปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี mean centering แล้ววิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) นอกจากนี้พัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อจำแนกข้อมูล 3 ลักษณะ (3 classes) คือ เนื้อปกติ เนื้อที่แสดงอาการเน่าใน และเนื้อที่แสดงอาการเนื้อโพรง ร่วมกับการจำแนกข้อมูลสเปกตรัมเป็น 2 ลักษณะ (2 classes) คือ เนื้อปกติ และเนื้อผิดปกติ ด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) โดยกำหนดกลุ่มของข้อมูลสเปกตรัมมะม่วง 3 ลักษณะ ประกอบด้วย group

1 คือ เนื้อมะม่วงปกติ group 2 คือ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน และ group 3 คือ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเนื่อโพรง สำหรับข้อมูลสเปกตรัมมะม่วง 2 ลักษณะ กำหนดให้ group 1 คือ เนื้อมะม่วงปกติ และ group 2 คือ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการผิดปกติ โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี PCA และ SOM ด้วยโปรแกรม MATLAB (MATLAB V7.0, The Math Works Inc., USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก หรือ Principle Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคการจำแนกข้อมูลโดยอาศัยหลักความเหมือนหรือความแตกต่างกันของข้อมูล โดยลดจำนวนข้อมูลหรือตัวแปรอิสระ (X) ทั้งนี้ยังอาศัยหลักการรวมข้อมูลหรือตัวแปรที่สัมพันธ์กันไว้ในองค์ประกอบเดียวกัน และแบ่งกลุ่มข้อมูลหรือตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรใหม่ เรียกว่า Principal Component (PC) โดยแต่ละ PC จะบรรจุข้อมูลที่สัมพันธ์กันให้ได้มากที่สุด และแต่ละ PC จะไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ทั้งนี้ PC1 เป็น PC ที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้มากที่สุดเสมอ และ PC ถัดมาอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้น้อยลงตามลำดับ (Ketnark, 2013; Smith, 2002; Teye *et al.*, 2019) จากผลการทดลอง พบว่า PCA สามารถอธิบายความแปรปรวนความผิดปกติภายในผลมะม่วงได้ โดย PC1 และ PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลสเปกตรัม 3 ลักษณะ และ 2 ลักษณะ ได้เท่ากับ 99.42, 0.51 เปอร์เซ็นต์ และ 99.42, 0.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 2A และ 2B ตามลำดับ) ทั้งนี้เมื่อทำการตัดข้อมูลที่มีความผิดปกติ (outlier) จำนวน 1 ตัวอย่าง ออกจากกลุ่มของข้อมูลสเปกตรัม พบว่า PC1 และ PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลสเปกตรัม 3 ลักษณะ และ 2 ลักษณะ ได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 99.46, 0.48 เปอร์เซ็นต์ และ 99.46, 0.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 2C และ

2D ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม PCA ไม่สามารถแสดงความแตกต่างของข้อมูลสเปกตรัมของเนื้อมะม่วงทั้ง 3 ลักษณะได้ เนื่องจากเกิดการซ้อนทับกันของข้อมูล (overlapping) ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลสเปกตรัมไปพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) ต่อไป

Self-Organizing map (SOM)

การพัฒนาแบบจำลองโดยการวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) เป็นหนึ่งในวิธีการพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงลึก เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของหลายกลุ่มข้อมูลหรือตัวแปรที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้น (nonlinear multivariate) และเป็นวิธีที่ไม่ใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ โดยจะแสดงข้อมูลเป็นแผนภาพ เช่น U-matrix, supervised color shading และ component planes (Lloyd *et al.*, 2008) ผลการทดลองการพัฒนาแบบจำลองจำแนกด้วย SOM ที่อาศัยการเรียนรู้ 25,000 ครั้ง พบว่าการแสดงแผนภาพแบบ U-matrix ขนาด 15x20 ของข้อมูลสเปกตรัม 3 ลักษณะ คือ สเปกตรัมเนื้อมะม่วงปกติ (group 1) มีความแตกต่างจากเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน (group 2) และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเนื่อโพรง (group 3) เนื่องจาก group 1 เกาะกลุ่มอยู่ในบริเวณมุมขวาบนของแผนภาพ (Figure 3A) สำหรับผลการวิเคราะห์จำแนกข้อมูลสเปกตรัม 2 ลักษณะ พบว่า สเปกตรัมเนื้อปกติ (group 1) เกาะกลุ่มอยู่ในบริเวณมุมขวาล่างของแผนภาพ ซึ่งมีความแตกต่างจากเนื้อมะม่วงผิดปกติ (group 2) โดยมี map unit ที่แบ่งขอบเขตค่อนข้างชัดเจน (Figure 3B) สำหรับแผนภาพแบบ supervised-color shading ขนาด 15x20 ของข้อมูลสเปกตรัม 3 และ 2 ลักษณะ แสดงให้เห็นว่าเนื้อมะม่วงปกติ (group 1) เกิดการเกาะกลุ่มของข้อมูลอยู่ในมุมขวาด้านบน และมุมขวาล่างตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างจากข้อมูลสเปกตรัมของเนื้อเน่าใน (group 2)

เนื้อโพรง (group 3) และเนื้อผิวกาก (group 2) (Figure 4A และ 4B ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามการแสดงผลภาพแบบ supervised-color shading จะแสดงขอบเขต (boundary) ของข้อมูลชัดเจนกว่าการแสดงผลภาพแบบ U-matrix ทั้งนี้การวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี SOM มีประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มของข้อมูลได้ดีกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้นจะสามารถจำแนกกลุ่มของข้อมูลได้ดีกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงเส้น (Sharma and Saxena, 2004; Suphamitmongkol *et al.*, 2013) นอกจากนี้ SOM ยังมีการจัดการข้อมูลโดยการลดมิติของข้อมูล (dimensionality reduction) ได้ดีกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Kohonen, 2013) อีกทั้งผลการทดลองยังสอดคล้องกับ Theanjumol *et al.* (2019) ที่ประยุกต์ใช้ NIRS ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีองค์ประกอบหลักและ SOM ในการประเมินอาการฟ้ามของผลส้มสายน้ำผึ้ง พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี SOM สามารถจำแนกกลุ่มของข้อมูลได้ชัดเจนกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยผลการวิเคราะห์จำแนกด้วย SOM แผนภาพแบบ U-matrix สามารถจำแนกกลุ่มของผลส้มสายน้ำผึ้งที่เกิดอาการฟ้ามมากกว่า 75

เปอร์เซ็นต์ ออกจากกลุ่มข้อมูลได้อย่างชัดเจน สำหรับแผนภาพแบบ supervised-color shading สามารถจำแนกกลุ่มส้มสายน้ำผึ้งผลปกติได้ อีกทั้งยังสามารถแสดงขอบเขตการเพิ่มขึ้นของอาการฟ้ามของผลส้มสายน้ำผึ้งได้ ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการคาดการณ์ (percentages of Predictive Ability: %PA) เปอร์เซ็นต์ความเสถียรของแบบจำลอง (percentages of Model Stability: %MS) ของข้อมูลสเปกตรัม 3 และ 2 ลักษณะ พบว่า มีค่าเท่ากับ 80.68, 88.30 เปอร์เซ็นต์ และ 81.04, 89.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการวิเคราะห์จำแนก (percentages of Correctly Classified rate: %CC) ของข้อมูลสเปกตรัม 3 และ 2 ลักษณะ มีค่าสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (82.43 และ 83.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) จากผลการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์จำแนกอาการผิวกากภายในผลมะม่วงโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับ SOM visualization พบว่า ความแม่นยำในการจำแนกเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเนื้อโพรงมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

Table 1 Classification results for self-organizing map (SOM) using mean centering as a data preprocessing, exhibiting percentages of predictive ability (%PA), model stability (%MS), and correctly classified rate (%CC) with 3 and 2 groups classification

Self-Organizing Map (SOM)*	Percentage of predictive ability (%PA)		Percentage of model stability (%MS)		Percentage correctly classified rate (%CC)	
	Training set	Testing set	Training set	Testing set	Training set	Testing set
3 groups	81.04	80.68	87.84	88.30	82.43	82.43
2 groups	81.50	81.04	90.13	89.05	83.79	83.11

SOM classification results were averaged from 50 rounds of map size 15x20 with 25,000 iterations.



Figure 1 Images of cut-open in mango with of normal flesh (A), internal breakdown (B), and spongy tissue (C) symptoms

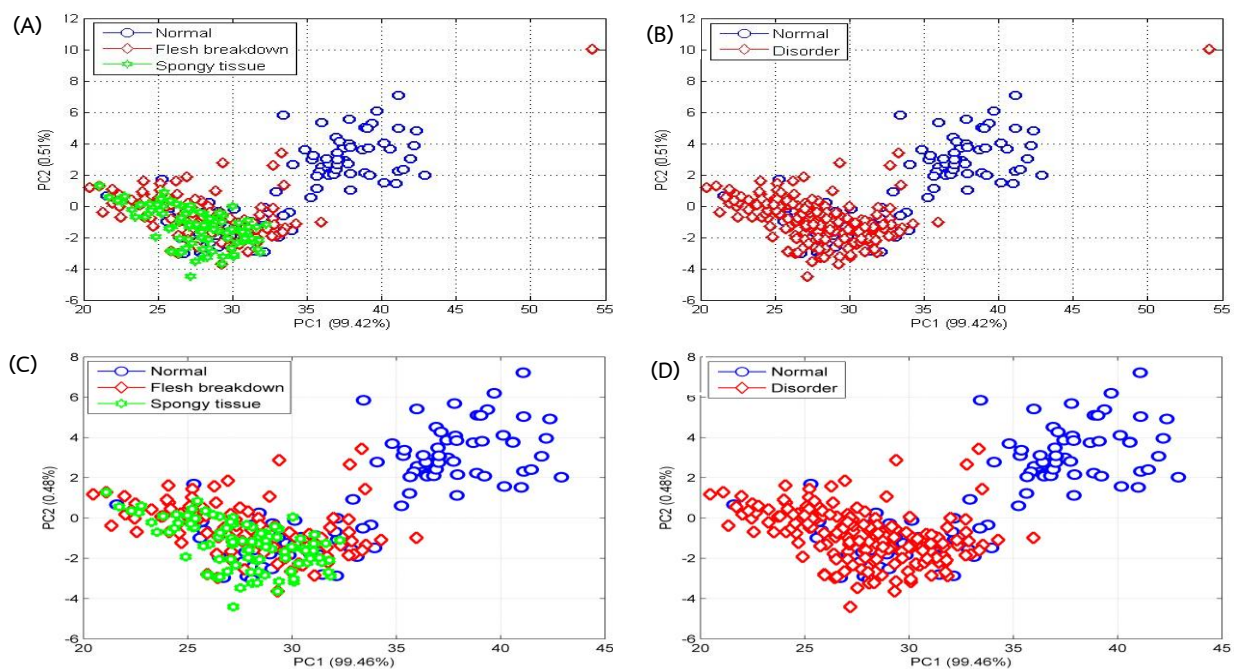


Figure 2 PCA of NIR spectra preprocessed by mean centering; PCA labeled based on 3 groups (A), PCA labeled based on 2 groups (B), PCA labeled based on 3 groups without outlier (C), and PCA labeled based on 2 groups without outlier (D)

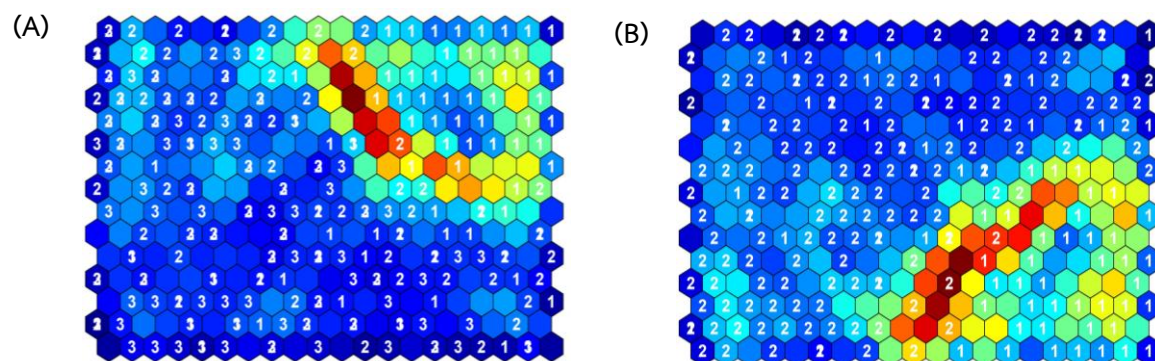


Figure 3 SOM visualization of NIR spectra with mean centering as a data preprocessing, illustrating U-matrix 15x20 with 25,000 iterations for classifying 3 groups (A) and 2 groups (B) of mango flesh

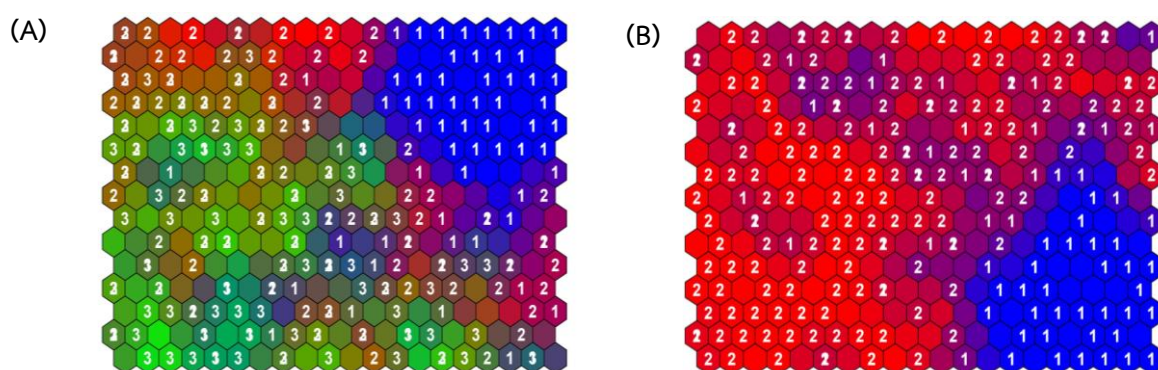


Figure 4 SOM visualization of NIR spectra using mean centering as a data preprocessing, illustrating supervised-color shading 15x20 with 25,000 iterations for classifying 3 groups (A) and 2 groups (B) of mango flesh

สรุปผลการวิจัย

การใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) สามารถจำแนกเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อที่แสดงอาการเน่าใน และเนื้อที่แสดงอาการเนื้อโพรง ได้ที่ระดับความแม่นยำ 82.43 เปอร์เซ็นต์ และสามารถ

จำแนกเนื้อมะม่วงปกติและเนื้อมะม่วงผิดปกติได้ที่ระดับความแม่นยำ 83.11 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับตรวจสอบอาการผิดปกติภายในผลของมะม่วง เพื่อการรับรองคุณภาพและลดมูลค่าการสูญเสียสำหรับการส่งออกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย บัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรม เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อ ประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงาน ปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และขอขอบคุณสาขาวิชาพืชสวน ภาควิชา พืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ และศูนย์วิจัยเทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ วิทยาศาสตร์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bantadjan, Y., R. Rittion, W. Manawijitwanit, S. Narongwongwattana and S. Pochanagorn. 2014. Classification of maize disorder using near infrared (NIR) spectroscopy. **Agricultural Science Journal** 45(3/1)(Suppl.): 293–296. [in Thai]
- Boonyakiat, D. 2020. Produce quality evaluation by non-destructive with spectroscopy. pp. 1–12. *In*: Boonyakiat, D. and P. Theanjumpol (Eds.). **Using NIR Spectroscopy in Evaluation of Quality of Agricultural Produce**. Chiang Mai: Postharvest Technology Innovation Center. [in Thai]
- Chaipanwiriaporn, N. 2013. **Detection of Pineapple Fruit Internal Browning by Near Infrared Spectroscopy**. Master Thesis. Chiangmai University. 118 p. [in Thai]
- Jaitrong, N., S. Noypitak and A. Terdwongworakul. 2016. The Evaluation of Internal Quality of Guava Using Near Infrared Spectroscopy. pp. 276–283. *In Proceedings of the 13th KU-KPS Conference*. Nakhon Pathom: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. [in Thai]
- Kaewpangchan, P., N. Phuangsaibai, P. Seehanam, P. Theanjumpol, P. Maniwara and S. Kittiwachana. 2021. Screening of coffee impurity using a homemade NIR sensor system. **Chiang Mai Journal of Science** 48(2): 292–300.
- Ketnark, K. 2013. **Moisture Content Determination of Arabica Green Coffee by Near Infrared Spectroscopy**. Master Thesis. Chiangmai University. 99 p. [in Thai]
- Kohonen, T. 2013. Essentials of the self-organizing map. **Neural Networks** 37: 52–65.
- Lloyd, G.R., R.G. Brereton and J.C. Duncan. 2008. Self organising maps for distinguishing polymer groups using thermal response curves obtained by dynamic mechanical analysis. **Analyst** 133: 1046–1059.

- Office of Agricultural Economics. 2024. **Export market for important products of fresh mango**. [Online]. Available: <https://impexpth.oae.go.th/export> (September 20, 2024). [in Thai]
- Poovarodom, S. 2013. Calcium and Boron Fertilizer. pp. 239–246. *In* Rudcharate, T. W. Kumpoun and T. Jaroenkit (Eds.). **Mango Production and Postharvest Technology**. Bangkok: O.S. Printing House. [in Thai]
- Postharvest Technology Innovation Center. 2024. **Results (impact) of the research study “mango for sustainability” (mango) comprehensive education center**. [Online]. Available: <https://www.phtnet.org/phtic-research/> (July 15, 2024). [in Thai]
- Raymond, L., B. Schaffer, J.K. Brecht and E.A. Hanlon. 1998. Internal breakdown, mineral element concentration and weight of mango fruit. **Journal of Plant Nutrition** 21(5): 871–889.
- Sharma, R.R. and S.K. Saxena. 2004. Rootstocks influence granulation in Kinnow mandarin (*Citrus nobilis* × *C. deliciosa*). **Scientia Horticulturae** 101(3): 235–242.
- Shenderoy, C., I. Shmulevich, V. Alchanatis, H. Egozi, A. Hoffman, V. Ostrovsky, S. Lurie, R.B. Arie and Z. Schmilovitch. 2010. NIRS detection of moldy core in apples. **Food and Bioprocess Technology** 3: 79–86.
- Shivashankar, S. 2014. Physiological Disorders of Mango Fruit. pp. 313–347. *In* Janick, J. (Ed.). **Horticultural Reviews**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Smith, L.I. 2002. **A Tutorial on Principal Components Analysis**. 26 p. *In* Technical Report. Otago: Department of Computer Science, University of Otago.
- Suphamitmongkol, W., G. Nie, R. Liu, S. Kasemsumran and Y. Shi. 2013. An alternative approach for the classification of orange varieties based on near infrared spectroscopy. **Computers and Electronics in Agriculture** 91: 87–93.
- Takizawa, K., K. Nakano, S. Ohashi, H. Yoshizawa, J. Wang and Y. Sasaki. 2014. Development of nondestructive technique for detecting internal defects in Japanese radishes. **Journal of Food Engineering** 126: 43–47.
- Teye, E., L.Y.C. Amuah, T. McGrath and C. Elliott. 2019. Innovative and rapid analysis for rice authenticity using hand-held NIR spectrometry and chemometrics. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy** 217: 147–154.

Theanjumpol, P., K. Wongzeewasakunb,
N. Muenmanee, S. Wongsaiyund,
C. Krongchaid, V. Changrueb,
D. Boonyakiatb and S. Kittiwachana. 2019.
Non-destructive identification and
estimation of granulation in ‘Sai Num
Pung’ tangerine fruit using near infrared
spectroscopy and chemometrics.
Postharvest Biology and Technology
153: 13–20.

Wongzeewasakun, K., V. Changrue,
N. Muenmanee and P. Theanjumpol.
2017. Possibility of using near infrared
spectroscopy technique to detect dry
juice sac of mandarin cv. Sai Nam Pueng.
Agricultural Science Journal
48(3)(Suppl.): 295–298. [in Thai]

Yahia, E.M. 2011. Mango (*Mangifera indica* L.).
pp. 492–567. In Yahia, E.M. (Ed.).
**Postharvest Biology and Technology
of Tropical and Subtropical Fruits.**
Cambridge: Woodhead Publishing.

Zhou, Z., S. Zeng, X. Li and J. Zheng. 2015.
Nondestructive detection of blackheart
in potato by visible/near infrared
transmittance spectroscopy. **Journal
of Spectroscopy** 2015: 1–9.
<https://doi.org/10.1155/2015/786709>