

การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นใกล้เคียช่วงอินฟราเรด
เพื่อตรวจสอบการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศ (*Cylas formicarius*)
ในมันเทศสีม่วง (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

Application of Near Infrared Spectroscopy to Detect Infestation of Sweet Potato
Weevil (*Cylas formicarius*) in Purple Sweet Potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

กวินธิดา สุขใส¹ ปาริชาติ เทียนจุมพล^{2,3} พลกฤษณ์ มณีวระ^{2,3} พวงเพชร เหมรัตน์ตระกูล^{1,3}
และพิมพีใจ สีหะนาม^{1,2,3*}

Kawinthida Suksai¹, Parichat Theanjumpol^{2,3}, Phonkrit Maniwara^{2,3}

Phuangphet Hemrattrakul^{1,3} 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 13, 2025

Revised: April 24, 2025

Accepted: April 30, 2025

Abstract

This research aimed to detect the infestation of sweet potato weevils (*Cylas formicarius*) of purple sweet potatoes after harvesting using near infrared (NIR) spectroscopy. The purple sweet potatoes were obtained from Pangda Royal Agricultural Station with a total of 171 purple sweet potato tubers composed of 86 normal and 85 weevil infested tubers. An NIR spectrometer was used to measure the spectrum at six points on each tuber. Before dividing the spectra of the samples into calibration and validation sets, six points spectra were averaged. All spectral data were analyzed using Principal Component Analysis (PCA) to investigate the data's variability. Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) was then employed to analyze and classify the spectral data of normal and infested tubers. The results showed that the PCA technique was unable to effectively demonstrate the variability in the spectral data obtained from the two sample groups. However, the NIR spectra preprocessed by the second derivative method and the PLS-DA technique were able to detect the sweet potato weevil infestation with an accuracy of 92.94%. The important wavelengths for verification were 1,395 and 1,878–

1,945 nm. As a result, NIRS and the PLS-DA model have the potential to be used to investigate the infestation of the sweet potato weevil in purple sweet potatoes.

Keywords: non-destructive detection, chemometrics, purple sweet potatoes, sweet potato weevil

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศ (*Cylas formicarius*) ในมันเทศสีม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นใกล้เคียงช่วงอินฟราเรด (Near Infrared (NIR) spectroscopy) นำมันเทศสีม่วงจากสถานีเกษตรหลวงปางดะ 171 หัว ประกอบด้วยมันเทศสีม่วงหัวปกติ 86 หัว และหัวที่ถูกด้วงงวงมันเทศเข้าทำลาย 85 หัว ทำการวัดสเปกตรัมจำนวน 6 จุดต่อหัว ด้วย NIR spectrometer คำนวณค่าเฉลี่ย แล้วแบ่งสเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสร้างและชุดทดสอบสมการ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิค Principle Component Analysis (PCA) เพื่อศึกษาความแปรปรวนของข้อมูล จากนั้นวิเคราะห์และจำแนกข้อมูลสเปกตรัมของมันเทศสีม่วงหัวปกติและหัวที่ถูกด้วงงวงมันเทศเข้าทำลาย ด้วยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) ผลการทดลองแสดงว่าเทคนิค PCA ไม่สามารถแสดงลักษณะความแตกต่างของข้อมูลสเปกตรัมจากกลุ่มตัวอย่างทั้งสองได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามสเปกตรัมที่ปรับแต่งข้อมูลโดยวิธี Second Derivative และเทคนิค PLS-DA สามารถแยกหัวมันเทศสีม่วงที่ถูกด้วงงวงทำลายออกจากมันเทศหัวปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น วิธีนี้จึงเหมาะสำหรับตรวจสอบการเข้าทำลายของด้วงงวงในหัวมันเทศสีม่วง โดยมีความแม่นยำอยู่ที่ 92.94 เปอร์เซ็นต์ และความยาวคลื่นที่สำคัญในการตรวจสอบคือ 1,395 และ 1,878–1,945 นาโนเมตร ดังนั้นการใช้ NIR ร่วมกับการสร้างแบบจำลองวิเคราะห์จำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธี PLS-DA จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาตรวจสอบการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศในมันเทศสีม่วง

คำสำคัญ: การตรวจสอบโดยไม่ทำลายตัวอย่าง

เคโมเมทริกซ์ มันเทศสีม่วง ด้วงงวงมันเทศ

คำนำ

มันเทศ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatas* (L.) Lam. ประเทศไทยสามารถปลูกมันเทศได้ตลอดทั้งปี โดยเกษตรกรในแต่ละพื้นที่จะปลูกมันเทศในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย พิจิตร เลย เพชรบูรณ์ และกาญจนบุรี นิยมปลูกมันเทศในช่วงฤดูฝน โดยเริ่มปลูกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน และเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนกันยายนถึงตุลาคม การผลิตมันเทศมักประสบปัญหาการเข้าทำลายของแมลง โดยแมลงที่เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการผลิตมันเทศทั่วประเทศคือ ด้วงงวงมันเทศ (Dharmanitivedya and Mondet, 2020)

ด้วงงวงมันเทศ (*Cylas formicarius*) จัดอยู่ในวงศ์ Curculionidae อันดับ Coleoptera สามารถเข้าทำลายทุกระยะการเจริญเติบโตของมันเทศ โดยจะวางไข่บริเวณโคนต้น ซึ่งไข่จะเจริญเป็นตัวหนอนสีขาว หัวสีน้ำตาล และสามารถเจาะเข้าไปในเถาและหัว จากนั้นจะเจริญเติบโตเป็นดักแด้และตัวเต็มวัยภายในหัวมันเทศ ส่งผลให้หัวมันเทศมีคุณภาพต่ำ อีกทั้งหัวมันเทศยังตอบสนองต่อการเข้าทำลายของแมลง โดยผลิตสารประกอบ terpenoid ซึ่งเป็นสารที่มีรสขมและมีกลิ่นเหม็น ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค หากการเข้าทำลายของแมลงเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้หัวมีน้ำหนักน้อย เนื้อเปลี่ยนเป็นสีดำ ยุ่ย มีกลิ่นเหม็น อีกทั้งยังเป็นช่องทางให้เชื้อจุลินทรีย์ในดินเข้าทำลาย ส่งผลให้หัวมันเทศเน่าเสีย

ในที่สุด และเป็นสาเหตุการสูญเสียของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยว (Reaching Agents of Change Training of Trainers (ToT) Manual, 2018)

สำหรับการปลูกมันเทศในประเทศไทยพบปัญหาการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศสามารถเข้าทำลายทุกระยะการเจริญเติบโต ซึ่งพบการระบาดทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ (Horticulture Research Institute, 2016) โดย Thongrak *et al.* (2016) รายงานว่า จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นพื้นที่เศรษฐกิจในการปลูกมันเทศมีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยต่อฤดูกาลประมาณ 2,714,974 กิโลกรัม เกิดความเสียหายจากการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศปริมาณมาก คือ 450,068 กิโลกรัม หรือ 16.58 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตต่อฤดูกาล

การใช้เทคนิคคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นใกล้ เคียงช่วงอินฟราเรด (Near Infrared (NIR) spectroscopy) เป็นเทคนิคการประเมินคุณภาพที่ไม่มีผลกระทบต่อตัวอย่าง โดยใช้คลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 800–2,500 นาโนเมตร ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของพันธะในโมเลกุลของสารอินทรีย์ในผลผลิต เมื่อมีการสั่นของพันธะจะเกิดคลื่นความถี่ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแสง NIR แสงนั้นจะถูกดูดกลืน แล้วจึงนำค่าการดูดกลืนแสงดังกล่าวไปหาความสัมพันธ์กับคุณภาพหรือค่าวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีเคมีเมทริกซ์ (chemometrics) เพื่อให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายคุณสมบัติของตัวอย่างทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (Boonyakiat, 2020) ปัจจุบันมีรายงานการใช้เทคนิค NIRS ในการตรวจสอบการเข้าทำลายของศัตรูพืชในตัวอย่างผลผลิตทางการเกษตรหลายด้าน เช่น การตรวจสอบการเข้าทำลายของแมลงในผลเกาลัด (Moschetti *et al.*, 2014) นอกจากนี้ยังมีการใช้ตรวจสอบและประเมินความเสียหายจากการเข้าทำลายของแมลงภายในผลพุทรา (Wang *et al.*, 2011) รวมไปถึงการใช้ตรวจสอบไข่และหนอนของแมลงวันผลไม้ในผลมะม่วง (Saranwong *et al.*, 2010) และสามารถตรวจสอบอาการเนื้อเยื่อตาย (necrosis) ภายในหัวมันเทศที่บริเวณผิวถึงระดับความลึก

5±0.5 มิลลิเมตร พบว่ามีประสิทธิภาพในการตรวจสอบอาการเนื้อเยื่อตายได้อย่างแม่นยำ (Kudenov *et al.*, 2021) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิค NIR สามารถตรวจสอบความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตรที่ไม่สามารถมองเห็นจากภายนอกได้หลากหลายชนิด โดยเป็นวิธีการประเมินคุณภาพโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ประหยัดเวลาและลดการใช้สารเคมีในการตรวจสอบผลผลิต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำเทคนิค NIR มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศในมันเทศสีม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อเป็นแนวทางในการนำเทคนิค NIR ไปใช้ตรวจสอบความเสียหายจากการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศ เพื่อลดระยะเวลาในการประเมินการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศเบื้องต้นก่อนการเก็บรักษาและจำหน่าย อีกทั้งยังสามารถยกระดับมาตรฐานการผลิตและควบคุมคุณภาพของมันเทศสีม่วงในเชิงพาณิชย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างมันเทศสีม่วง

ทำการเก็บเกี่ยวมันเทศสีม่วงที่ระยะความแก่ทางการค้าจากแปลงของเกษตรกรภายใต้การดูแลของสถานีเกษตรหลวงปางดะ มูลนิธิโครงการหลวง อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 171 หัว ทำการคัดแยกมันเทศสีม่วงหัวปกติและที่ถูกด้วงงวงมันเทศเข้าทำลายจำนวน 86 และ 85 หัว ตามลำดับ จากนั้นบรรจุในถุงพลาสติก โดยขนส่งภายใต้สภาพอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มายังห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เช็ดทำความสะอาดหัวมันเทศด้วยผ้าชุบน้ำบิดหมาด แล้วติดสติ๊กเกอร์ระบุบริเวณที่จะทำการวัดสเปกตรัม หัวละ 6 จุด โดยแบ่งออกเป็นด้านหน้าและด้านหลัง แต่ละหัวแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้ายหัว (Figure 1A และ 1B) จากนั้นนำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (รุ่น Multi-purpose

Analyzer (MPA) บริษัท Bruker POTIK GmbH ประเทศเยอรมนี) ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 800–2,500 นาโน

เมตร ด้วยหัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optic probe) ระบบการวัดแบบ Interactance



Figure 1 Spectral acquisition: 6 points per tuber, (A) front and (B) back views of sample

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำสเปกตรัมดั้งเดิม (สเปกตรัมที่ยังไม่ผ่านการปรับแต่ง) มาหาค่าเฉลี่ยสเปกตรัม ปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ Standard Normal Variate (SNV) Multiplicative Scatter Correction (MSC) อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Derivative) และอนุพันธ์อันดับที่สอง (Second Derivative) โดยแบ่งตัวอย่างมันเทศออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (calibration set) จำนวน 86 หัว (ประกอบด้วยมันเทศหัวปกติ จำนวน 43 หัว และที่ถูกด้วงงวงมันเทศเข้าทำลาย จำนวน 43 หัว) และ 2) กลุ่มทดสอบสมการ (validation set หรือ prediction set) จำนวน 85 หัว ประกอบด้วย มันเทศหัวปกติ จำนวน 43 หัว และที่ถูกด้วงงวงมันเทศเข้าทำลาย จำนวน 42 หัว วิเคราะห์สเปกตรัมด้วยโปรแกรม The Unscramble (version 9.7 บริษัท CAMO Software AS ประเทศนอร์เวย์) ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis (PCA) และ

Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค PLS-DA กำหนดให้กลุ่ม “-1” คือ มันเทศสีม่วงที่ถูกด้วงงวงมันเทศเข้าทำลาย และกลุ่ม “1” คือ มันเทศสีม่วงหัวปกติ

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ค่า Principal Component score แสดงให้เห็นว่าการใช้เพียง PC1 และ PC2 สามารถแสดงความแปรปรวนของข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม รวมไปถึงสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV, MSC, first derivative และ Second Derivative ได้เท่ากับ 98, 97, 97, 96 และ 48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 2A, 2B, 2C, 2D และ 2E ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากมันเทศหัวปกติและที่ถูกด้วงงวงมันเทศเข้าทำลาย ทั้งนี้มีสเปกตรัมบางส่วนที่แยกตัว

ออกมาจากกลุ่ม อาจเนื่องมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องและส่งผลต่อความแม่นยำในการใช้เครื่อง NIRS เช่น ลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ความมันเงา พื้นที่ผิวสัมผัส ความขรุขระ และขนาด (Muenmanee, 2020) อีกทั้งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้รับมาจากพื้นที่การผลิตที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการซ้อนทับกัน (overlapping) ของข้อมูลสเปกตรัมทั้งในสเปกตรัมดั้งเดิมและสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีต่าง ๆ ได้ การวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยเทคนิค PCA ไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของข้อมูลสเปกตรัมของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองได้อย่างชัดเจน จำเป็นต้องนำข้อมูลสเปกตรัมไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA ซึ่งเป็นเทคนิคการแบ่งกลุ่มที่ประยุกต์จากการทำนาย PLS

การสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

ผลของสมการเทียบมาตรฐานการวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี PLS-DA พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ของชุดสร้างสมการ (calibration set) อยู่ในช่วง 0.315–0.868 โดยสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี Second Derivative มีค่า R^2 สูงที่สุดคือ 0.868 นอกจากนี้ยังมีค่า Root Mean Square Error of Calibration (RMSEC) ต่ำที่สุดคือ 0.363 เมื่อนำสมการที่ได้ไปตรวจสอบกับข้อมูลของชุดทดสอบสมการ (prediction set) พบว่าสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี Second Derivative มีค่า Q^2 มากที่สุดคือ 0.707 และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของตัวอย่างในชุดทดสอบสมการ (Standard Error of Prediction, SEP) และค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) ต่ำที่สุดคือ 0.54 และ 0.54 ตามลำดับ (Table 1) โดยสมการที่ดีควรมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 และค่า SEP ที่คำนวณได้มีค่าน้อย หมายความว่า สมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง (Williams, 2007)

สำหรับผลการวิเคราะห์จำแนกมันเทศหัวปกติและที่ถูกดัดแปลงมันเทศเข้าทำลายของสมการ PLS-DA พบว่า สามารถตรวจสอบการเข้าทำลายของดัดแปลงมันเทศ

ในมันเทศสีม่วงได้ ซึ่งสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Second Derivative มีค่าความแม่นยำ (accuracy) ในการตรวจสอบมากที่สุด โดยชุดสร้างสมการมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของชุดทดสอบสมการมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 92.94 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ค่า Residual Predictive Deviation (RPD) ของสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Second Derivative มีค่ามากที่สุดคือ 1.84 (Table 2) โดยค่า RPD สามารถพิจารณาได้จากอัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) กับ SEP ของข้อมูลชุดทดสอบสมการ หากค่าที่คำนวณได้มีค่าสูง หมายถึง ค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIR มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์จริง (Williams, 2007)

สัมประสิทธิ์การถดถอย

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐาน หรือ regression coefficients ของสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Second Derivative ในช่วงคลื่นสั้น ตั้งแต่ 800–1,100 นาโนเมตร (Figure 3A) โดยความยาวคลื่นที่สำคัญคือ 810–820 และ 868 นาโนเมตร สัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลของมันเทศ (Choi *et al.*, 2017) ความยาวคลื่นที่ 874 นาโนเมตร คือ third overtone ของพันธะ C-H ในโมเลกุลของเบนซีน (Osborne *et al.*, 1993) ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของสารประกอบแอโรมาติก เช่น ฟิวแรน (furan) ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในการสร้างสารระเหยที่อาจจะเกี่ยวข้องกับสารให้กลิ่นที่สำคัญ (odor activity value) (Yao *et al.*, 2024) อีกทั้งยังอาจสัมพันธ์กับโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นสารสีที่สำคัญในมันเทศสีม่วง (Amoanimaa-Dede *et al.*, 2020)

เมื่อพิจารณาในช่วงคลื่นยาว 1,100–2,500 นาโนเมตร (Figure 3B) พบว่าความยาวคลื่นที่สำคัญและสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของมันเทศสีม่วง ได้แก่ ความยาวคลื่น 1,396 นาโนเมตร คือ first overtone ของ O-H ในโมเลกุลของฟีนอล (Ribeiro *et al.*, 2011) ความ

ยาวคลื่น 1,870 นาโนเมตร อาจมีความสัมพันธ์กับโปรตีน (Magwaza *et al.*, 2016) ความยาวคลื่น 1880 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับน้ำ (Lan, 2021) ความยาวคลื่น 1,955 นาโนเมตร สัมพันธ์กับโครงสร้างของเอสเทอร์ (Wu *et al.*, 2023) และความยาวคลื่น 2,000 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับแป้ง (Phanomsophon *et al.*, 2022) ในกรณีของความยาวคลื่นที่อาจจะสอดคล้องกับด่างวงมันเทศ ได้แก่ ความยาวคลื่น 1,395 นาโนเมตร คือ combination ของพันธะ C-H ในโมเลกุลของไคตินและไขมัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของแมลง (Johnson, 2020) อีกทั้งยังสัมพันธ์กับปริมาณเอนไซม์ Kitinase โดย Hou *et al.* (1998) รายงานว่าในใบและลำต้นของมันเทศที่ถูกแมลงเข้าทำลาย จะมีปริมาณเอนไซม์ Kitinase มากกว่าในมันเทศปกติ และความยาวคลื่น 1,878 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับสารในกลุ่มไตรกลีเซอไรด์ (Huang *et al.*, 2023) สอดคล้องกับช่วงวัยที่แมลงอยู่ในระยะตัวอ่อน ซึ่งจะเกิดการสะสมไขมันในปริมาณมาก อีกทั้งไตรกลีเซอไรด์ยังเป็นองค์ประกอบของสารประกอบประเภทไขมันมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Pantao, 2020) โดยความยาวคลื่น 1,878–1,945 นาโน

เมตร คือ third overtone ของ C-H ในโมเลกุลของ terpene ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานของ Ercioglu *et al.* (2018) ทั้งนี้ยังสัมพันธ์กับสารไฟโตอะเล็กซิน (phytoalexin) ในกลุ่ม furanoterpenoids ได้แก่ ipomeamarone (Oguni and Uritani, 1974), dehydro ipomeamarone (Clark *et al.*, 1981), 4-ipomeanol (Beier, 1990) และ 1,4-ipomeadiol (Shen, 1997) ซึ่งเป็นสารที่มันเทศสร้างขึ้นเมื่อมีการเข้าทำลายของโรคหรือแมลง และสารดังกล่าวทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในมันเทศ (Wamalwa *et al.*, 2015) นอกจากนี้ที่ความยาวคลื่น 2,327, 2,374 และ 2,450 นาโนเมตร คือพันธะของ C-H (Ribeiro *et al.*, 2011) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างเซลล์ของมันเทศและแมลง จากผลสัมประสิทธิ์การถดถอยแสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA พบความยาวคลื่นที่สำคัญในการตรวจสอบและจำแนกมันเทศที่ถูกด่างวงมันเทศเข้าทำลายออกจากมันเทศหัวปกติได้ ทั้งโมเลกุลของสารประกอบแอโรมาติก สารให้กลิ่น รวมไปถึงเอนไซม์ที่สามารถพบได้จากการเข้าทำลายของด่างวงมันเทศ

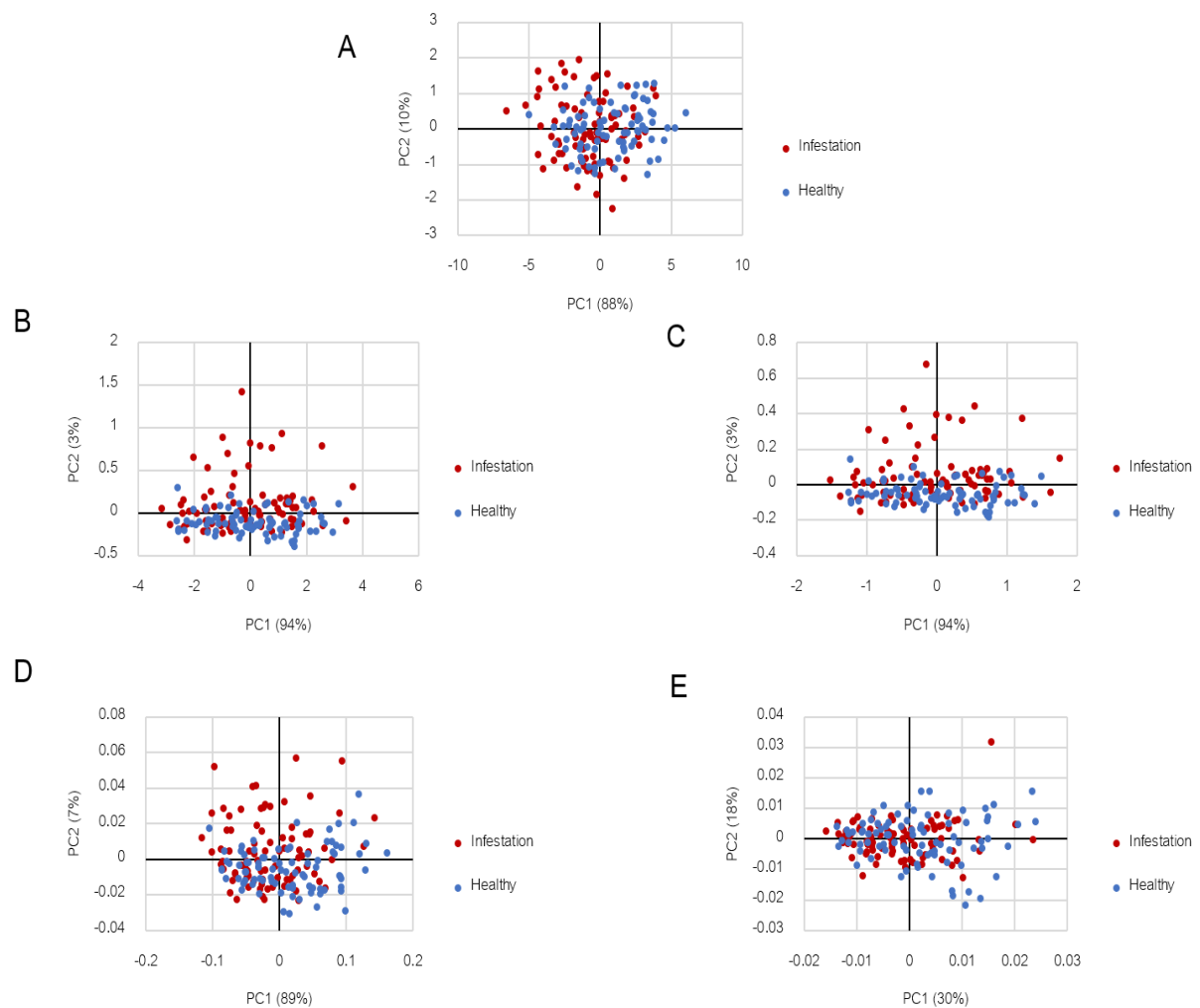


Figure 2 Principal component (PC) scores plot of near infrared spectra of sweet potatoes obtained from different spectral preprocessing techniques, i.e., (A) original spectra, (B) standard normal variate (SNV), (C) multiplicative scatter correction (MSC), (D) first derivative, and (E) second derivative

Table 1 Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) results for calibration and prediction sets

Data preprocessing	Calibration set (n=86)			Prediction set (n=85)			
	R ²	SEC	RMSEC	Q ²	SEP	RMSEP	bias
Original	0.453	0.744	0.740	0.270	0.854	0.854	-0.096
SNV	0.508	0.705	0.701	0.187	0.905	0.902	-0.054
MSC	0.315	0.833	0.828	0.261	0.853	0.860	-0.140
First derivative	0.412	0.771	0.767	0.174	0.914	0.909	-0.017
Second derivative	0.868	0.365	0.363	0.707	0.543	0.541	-0.032

SNV: standard normal variate; MSC: multiplicative scatter correction; n: number of samples; R²: coefficient of determination; Q²: coefficients of determination for validation; SEC: standard error of calibration; SEP: standard error of prediction; RMSEC: root mean square error of calibration; RMSEP: root mean square error of calibration

Table 2 Discrimination results of normal and infested sweet potatoes by PLS-DA

Data Preprocessing		Calibration set (n=86)		Prediction set (n=85)	
		Normal	Infestation	Normal	Infestation
Original	Normal	35	8	32	11
	Infested	3	40	10	32
	Accuracy	87.21		75.29	
	RPD			1.171	
SNV	Normal	34	9	33	10
	Infested	6	37	12	30
	Accuracy	82.56		74.12	
	RPD			1.104	
MSC	Normal	34	9	29	14
	Infested	11	32	10	32
	Accuracy	76.74		71.76	
	RPD			1.172	

Table 2 (Continued)

Data	Calibration set (n=86)		Prediction set (n=85)	
	Normal	Infestation	Normal	Infestation
First derivative	Normal	33	30	13
	Infested	9	10	32
	Accuracy	77.91		72.94
	RPD			1.094
Second derivative	Normal	43	41	2
	Infested	0	4	38
	Accuracy	100		92.94
	RPD			1.840

SNV: standard normal variate; MSC: multiplicative scatter correction; n: number of samples; RPD: residual predictive deviation

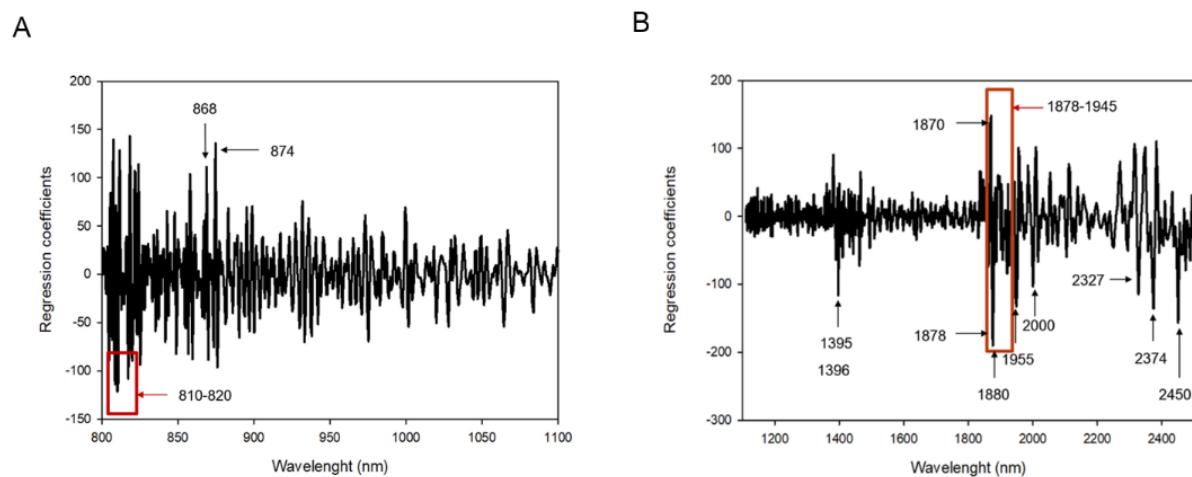


Figure 3 Regression coefficient plot of (A) short wavelength and (B) long wavelength from second derivative spectra for PLS-DA model

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการใช้เทคนิคคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นใกล้เคียงช่วงอินฟราเรด หรือ NIRS เพื่อตรวจสอบการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศในมันเทศสีม่วง สามารถสรุปได้ว่า การใช้เทคนิค NIR ร่วมกับ PCA ไม่สามารถแสดงลักษณะความแตกต่างของข้อมูลสเปกตรัมได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลโดยวิธี Second Derivative ร่วมกับการใช้เทคนิค PLS-DA สามารถตรวจสอบการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศในมันเทศสีม่วงได้ที่ระดับความแม่นยำ 92.94 เปอร์เซ็นต์ โดยความยาวคลื่นที่สำคัญในการตรวจสอบ คือ ความยาวคลื่น 1,395 นาโนเมตร สัมพันธ์กับโมเลกุลของไคตินและไขมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างของแมลง และความยาวคลื่น 1,878–1,945 นาโนเมตร สัมพันธ์กับสารที่มันเทศสร้างขึ้นเมื่อมีการเข้าทำลายของโรคหรือแมลง

การใช้เทคนิค NIR สามารถนำมาใช้ตรวจสอบความเสียหายจากการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศได้อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการประเมินการเข้าทำลายของด้วงงวงมันเทศเบื้องต้นก่อนการเก็บรักษาและจำหน่าย แต่ถ้าต้องการใช้ในการควบคุมคุณภาพของมันเทศสีม่วงในเชิงพาณิชย์ ยังมีความจำเป็นในการปรับปรุงแบบจำลองให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยการเพิ่มปริมาณตัวอย่างให้มากขึ้น รวมถึงการเพิ่มพื้นที่การผลิตมันเทศให้ได้ผลผลิตที่มีความหลากหลายมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และสาขาวิชา

พืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Amoanimaa-Dede, H., C. Su, A. Yeboah, C. Chen, S. Yang, H. Zhu and M. Chen. 2020. Flesh color diversity of sweet potato: an overview of the composition, functions, biosynthesis, and gene regulation of the major pigments. *Phyton-International Journal of Experimental Botany* 89(4): 805–833.
- Beier, C. 1990. Natural pesticides and bioactive components in foods. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 113: 47–137.
- Boonyakiat, D. 2020. Evaluation of Product Quality by Non-destructive with NIR Spectroscopy. pp. 1–12. *In* Boonyakiat, D. and P. Theanjumpol (eds.). *Using NIR Spectroscopy to Evaluate the Quality of Agricultural Produce*. Bangkok: Postharvest Technology Innovation Center. [in Thai]
- Choi, J., P. Chen, B. Lee, S. Yim, M. Kim, Y. Bae, D. Lim and H. Seo. 2017. Portable, non-destructive tester integrating VIS/NIR reflectance spectroscopy for the detection of sugar content in Asian pears. *Scientia Horticulturae* 220: 147–153.

- Clark, C.A., A. Lawrence and F.A. Martin. 1981. Accumulation of furanoterpenoids in sweet potato tissue following inoculation with different pathogens. **Phytopathology** 71: 708–711.
- Dharmanitivedya, S. and E. Mondet. 2020. Sweet potato production technology. **Naresuan Agriculture Journal** 17(2): 1–12. [in Thai]
- Ercioglu, E., H.M. Velioglu and I.H. Boyaci. 2018. Determination of terpenoid contents of aromatic plants using NIRS. **Talanta** 178: 716–721.
- Horticulture Research Institute. 2016. **Sweet Potato Production Technology**. Bangkok: Department of Agriculture. 69 p. [in Thai]
- Hou, W., Y. Chen and Y. Lin. 1998. Chitinase activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam var. Tainong 57). **Botanical Bulletin of Academia Sinica** 39: 93–97.
- Huang, J., P. Wang, Y. Wu, L. Zeng, X. Ji, X. Zhang, M. Wu, H. Tong and Y. Yang. 2023. Rapid determination of triglyceride and glucose levels in *Drosophila melanogaster* induced by high-sugar or high-fat diets based on near-infrared spectroscopy. **Heliyon** 9(6): 1–11
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17389>
- Johnson, J.B. 2020. An overview of near-infrared spectroscopy (NIRS) for the detection of insect pests in stored grains. **Journal of Stored Products Research** 86: 101558.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101558>
- Kudenov, M.W., C.G. Scarboro, A. Altaqui, M. Boyette, G.C. Yencho and C.M. Williams. 2021. Internal defect scanning of sweet potatoes using interactance spectroscopy **Plos One** 16(2): 1–18.
- Lan, W. 2021. **Applications Using Infrared Spectroscopy to Detect and Bridge the Variability and Heterogeneity Before and After Fruit Processing: A Case Study on Apple Purees**. Doctoral Dissertation. Avignon Université. 398 p.
- Magwaza, L.S., S.I.M. Naidoo, S.M. Laurie, M.D. Laing and H. Shimelis. 2016. Development of NIRS models for rapid quantification of protein content in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) LAM.). **LWT-Food Science and Technology** 72: 63–70.
- Moscetti, R., R.P. Haff, S. Saranwong, D. Monarca, M. Cecchini and R. Massantini. 2014. Nondestructive detection of insect infested chestnuts based on NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 87: 88–94.

- Muenmanee, N. 2020. Factors Affecting the Efficiency and Accuracy of NIR Spectroscopy. pp. 25–47. In Boonyakiat, D. and P. Theanjumpol (eds.). **Using NIR Spectroscopy to Evaluate the Quality of Agricultural Produce**. Bangkok: Postharvest Technology Innovation Center. [in Thai]
- Oguni, I. and I. Uritani. 1974. Dehydroipomeamarone as an intermediate in biosynthesis of ipomeamarone, a phytoalexin from sweet potato root infected with *Ceratocystis fimbriata*. **Plant Physiology** 53(4): 649–652.
- Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. **Practice NIR Spectrometer with Applications in Food and Beverage Analysis**. 2nd ed. Harlow: Longman Scientific and Technical. 227 p.
- Pantao, T. 2020. Edible insects: nutrition value and their processing for utilization. **Food Journal** 50(1): 5–12. [in Thai]
- Phanomsophon, T., N. Jaisue, N. Tawinteung, L. Khurnpoon and P. Sirisomboon. 2022. Classification of N, P, and K concentrations in durian (*Durio Zibethinus* Murray CV. Mon Thong) leaves using near-infrared spectroscopy. **Engineering and Applied Science Research** 49(1): 127–132.
- Reaching Agents of Change Training of Trainers (ToT) Manual. 2018. **Everything You Ever Wanted to Know about Sweetpotato, Topic 7 – Sweetpotato Pest and Disease Management**. Lima, Perú: International Potato Center. 50 p.
- Ribeiro, J.S., M.M.C. Ferreira and T.J.G. Salva. 2011. Chemometric models for the quantitative descriptive sensory analysis of arabica coffee beverages using near infrared spectroscopy. **Talanta** 83(5): 1352–1358.
- Saranwong, S., W. Thanapase, N. Suttiwijitpukdee., R. Rittiron, S. Kasemsumran and S. Kawano. 2010. Applying near infrared spectroscopy to the detection of fruit fly eggs and larvae in intact fruit. **Journal of Near Infrared Spectroscopy** 18(4): 271–280.
- Shen, Y. 1997. Determination of furanoterpenoid toxins from sweet potato by thin-layer chromatography. **Chinese Journal of Chromatography** 15(4): 328–330.

- Thongrak, P., T. Namhong, N. Chalermnon, S. Busanit, W. Liaotrakoon, V. Liaotrakoon, S. Rawdsiri, W. Wongsangtham, W. Khunthachai, N. praditsrigul, S. Pacharoen and J. Butsai. 2016. **Development of Food Products from Sweet Potatoes Grown in Thap Nam Community, Bang Pahan District, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province.** 72 p. *In* Research Report. Ayutthaya: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. [in Thai]
- Wamalwa, L.N., X. Cheseto, E. Ouna, F. Kaplan, N.K. Maniania, J. Machuka, B. Torto and M. Ghislain. 2015. Toxic ipomeamarone accumulation in healthy parts of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) storage roots upon infection by *Rhizopus stolonifer*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 63(1): 335–342.
- Wang, J., K. Nakano and S. Ohashi. 2011. Nondestructive detection of internal insect infestation in jujubes using visible and near-infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 59(3): 272–279.
- Williams, P. 2007. Application to Agricultural and Marine Products. pp. 165–218. *In*. Ozaki, Y., W.F. McClure and A.A. Christy (eds.). **Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology**. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. Publication.
- Wu, H., C.G. Viejo, S. Fuentes, F.R. Dunshea and H.A.R. Suleria. 2023. The impact of wet fermentation on coffee quality traits and volatile compounds using digital technologies. **Fermentation** 9(1): 68. <https://doi.org/10.3390/fermentation9010068>
- Yao, Y., R. Zhang, R. Jia, Z. Yao, Y. Qiao and Z. Wang. 2024. Exploration of raw pigmented-fleshed sweet potatoes volatile organic compounds and the precursors. **Molecules** 29(3): 606. <https://doi.org/10.3390/molecules29030606>