

การตรวจสอบคุณภาพของข้าวโพดหวานลูกผสมฝักสด โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรด

Quality Assessment of Sweet Corn Hybrids Using Near-Infrared Spectroscopy Technique

เสาร์ทอง แสนบุตร¹ ธนพร แสนบุตร² ปิยะพงษ์ บุญสุวรรค์³

ณัฐพงษ์ ศรีสมุทร⁴ และ สายัญ พันธสมบุญ^{3*}

Soatong Sanboot¹, Thanapon Sanboot², Piyapong Boonsang³,

Nattapong Srisamoot⁴ and Sayun Phansomboon^{3*}

Received: 19 October 2024

Revised: 19 December 2024

Accepted: 21 December 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพของข้าวโพดหวานลูกผสมฝักสด ช่วงปริมาณน้ำตาลละลายรวม 8 Brix ถึง 15 Brix โดยใช้สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-Infrared Spectroscopy; NIRS) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยวัดสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-2,500 นาโนเมตร และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares regression; PLSR) พร้อมการตรวจสอบภายใน (n=144) ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ของสมการสอบเทียบอยู่ที่ 0.93 โดยมีข้อผิดพลาดมาตรฐานของการสอบเทียบ (standard error of calibration; SEC) 0.54 และข้อผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (standard error of prediction; SEP) 0.54 สำหรับค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสด ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างชุดปรับเทียบเท่ากับ 0.02 การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าความหวานใน

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ กาฬสินธุ์ ประเทศไทย 46000

² Department of Agricultural Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Kalasin, Thailand, 46000

³ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีมหาสารคาม สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาสารคาม ประเทศไทย 44000

⁴ Mahasarakham College of Agriculture and Technology, Northeastern Vocational Institute of Agricultural, Mahasarakham, Thailand, 44000

⁵ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ กาฬสินธุ์ ประเทศไทย 46000

⁶ Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Kalasin, Thailand, 46000

⁷ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ กาฬสินธุ์ ประเทศไทย 46000

⁸ Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Kalasin, Thailand, 46000

* ผู้พิมพ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: Sayun.ph@ksu.ac.th

ข้าวโพดฝักสดได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าเทคนิค NIRS สามารถนำมาใช้ในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเพื่อพัฒนาพันธุ์ใหม่ที่มีคุณภาพสูงได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง

คำสำคัญ: การตรวจสอบคุณภาพ ข้าวโพดหวานฝักสด สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ การวิเคราะห์แบบถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the potential of Fourier Transform Near-Infrared Spectroscopy (FT-NIRS) as a nondestructive technique for assessing the quality of fresh sweet corn hybrids Total dissolved sugar amount range: 8 Brix to 15 Brix. The study analyzed sweet corn samples within the wavelength range of 1000–2500 nm using modified partial least squares regression (PLSR) with internal validation (n=144). The developed calibration model for sweetness prediction yielded a coefficient of determination (R^2) of 0.93 with a standard error of calibration (SEC) of 0.54% and a standard error of prediction (SEP) of 0.54%. The cross-validation process confirmed a high correlation ($R = 0.93$), indicating reliable prediction accuracy. Key chemical bonds, including C-H and O-H, were identified through spectral analysis at wavelengths of 1450, 1715, and 1928 nm. The model's accuracy improved with second-derivative spectral preprocessing, achieving an R^2 of 0.98 and a minimal SEC of 0.05%. These findings demonstrate that FT-NIRS can efficiently and accurately estimate sweetness levels in fresh sweet corn ears, supporting rapid screening in breeding programs aimed at developing high-quality sweet corn varieties.

Keywords: Quality Assessment; Sweet Corn; Near-Infrared Spectroscopy; PLS Regression

บทนำ

ข้าวโพดหวานเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญในประเทศไทย มีการปลูกกันแพร่หลายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางของประเทศ โดยในปีการเพาะปลูก 2564 มีพื้นที่เพาะปลูก 231,137 ไร่ ผลผลิตรวม 494,108 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,131,930,953 ล้านบาท [1] ในกระบวนการผลิตข้าวโพดหวานการตรวจสอบคุณภาพของปัจจัยการผลิตทางการเกษตรก่อนการเพาะปลูกเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ความงอกของเมล็ดพันธุ์จึงเป็นปัจจัยหลัก

น้ำตาลที่อยู่ในเมล็ดข้าวโพดหวาน ประกอบด้วย non-reducing sugar ได้แก่ น้ำตาลซูโครส โดยปริมาณน้ำตาลภายในเมล็ดข้าวโพดหวานส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครส คิดเป็น 84.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลทั้งหมดในเมล็ด การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ total sugar จึงมีผลต่อคุณภาพของเมล็ด โดยเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณ total sugar เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณ non-reducing sugar ที่ถูกเปลี่ยนรูปจากแป้งไปเป็นน้ำตาลซูโครส เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจ [2]

เทคนิคการสเปกโตรสโกปีอินฟราเรด (Near infrared spectroscopy; NIRS) อาศัยหลักการทำงานของแสง เมื่อแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่งผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางนั้น

ดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของสารตัวกลางนั้น และเมื่อแสงสีเดียวหรือแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (homogeneous) สัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะมีค่าแปรผันตรงกับความหนาของตัวกลางนั้น พลังงานของคลื่นแสงถูกดูดกลืนเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่างโดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ซึ่งความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น มีการใช้งานหลายชนิด ทั้งการควบคุมคุณภาพและปริมาณ ได้แก่ การใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน [3] และไฟเบอร์ [4] ปริมาณแป้งในมันฝรั่ง [5] ในพืชตระกูลถั่ว [6] ข้าวสาลี [7] การวิเคราะห์สารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ในข้าวโพด [8] การวิเคราะห์โลหะหนักในพริกชี้หนูแดง [9] สำหรับการทำนายสารหนูและตะกั่วในตัวอย่างผงพริกชี้หนูสีแดง ซึ่งค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดของการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 23 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโลหะหนักทั้งสารหนูและตะกั่วที่พบ NIRS ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือในการตรวจคัดกรองที่มีประโยชน์อย่างรวดเร็วในมันสำปะหลังมีการใช้คาดการณ์แคโรทีนอยด์ ไซยาไนด์ และปริมาณน้ำหนักรากแห้งในหัวมันสำปะหลังสดโดยใช้ NIRS [10] ในการประเมินศักยภาพของ NIRS ที่ใช้ในการทำนายลักษณะคุณภาพหัวมันสำปะหลังพบว่า การหาปริมาณน้ำหนักรากแห้งมีค่า (R^2 : 0.96) และ NIRS ยังสามารถแยกแยะความแตกต่างกับระดับความสูงหรือต่ำของไซยาไนด์เท่ากับ (R^2 : 0.86) ที่สามารถนำมาใช้สำหรับการคาดการณ์ที่มีความแม่นยำได้

เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคการประเมินที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถตรวจวิเคราะห์รวดเร็ว ปลอดภัย และใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งในปัจจุบันมีการนำมาใช้ในการประเมินความออกของเมล็ดพันธุ์หลายชนิด เช่น การประเมินความออกและความแข็งแรงของเมล็ดถั่วเหลือง [11] การประเมินความออกของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน [12] และการประเมินความออกของมะเขือเทศ [13] เป็นต้น ซึ่งเทคนิค NIRS ใช้หลักการการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation) หรือ R ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดที่ส่องผ่านวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์และค่าที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้สมการที่มีค่าความสัมพันธ์สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) สามารถนำมาสมการที่ได้ใช้ทำนายค่าของตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้ วัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อประเมินความหวานของข้าวโพดหวานฝักสดโดยใช้เทคนิค NIRS ซึ่งสามารถนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ได้เนื่องจากใช้เวลาสั้นและไม่ทำลายตัวอย่างพืช

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเมล็ดพันธุ์

นำตัวอย่างข้าวโพดหวานลูกผสมทางการค้า 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Top Sweet 801, พันธุ์ Hi-Brix 3 และพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมจำโบส์วิท F1 จำนวน 144 ตัวอย่าง ที่ได้จากตัวอย่างเมล็ดข้าวโพด เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 35 เปอร์เซ็นต์ นำตัวอย่างไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง Near Infrared spectroscopy (NIRS) และวิเคราะห์ปริมาณ total sugar ตามวิธีของ Nelson's reducing sugar

การวัดสเปกตรัมของ Near Infrared Spectroscopy (NIRs) นำตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่บดละเอียดจำนวน 144 ตัวอย่างที่เตรียมไว้มาตรวจวัดสเปกตรัม ด้วยเครื่อง NIR spectrometer, NIRFlex N-500 (BUCHI, Switzerland) ด้วยระบบ Diffuse reflectance ที่ความยาวคลื่น 1,000-2,500 nm (เลขคลื่น 1,000-4,000 cm^{-1}) สแกนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 32 จุด จากนั้นนำตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ปริมาณ total sugar

การวิเคราะห์ปริมาณ total sugar นำตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานจำนวน 144 ตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจวัดสเปกตรัมด้วย NIRs มาวิเคราะห์ปริมาณ total sugar จำนวนตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ตามวิธีมาตรฐานบริกส์

2. การสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณ Total sugar

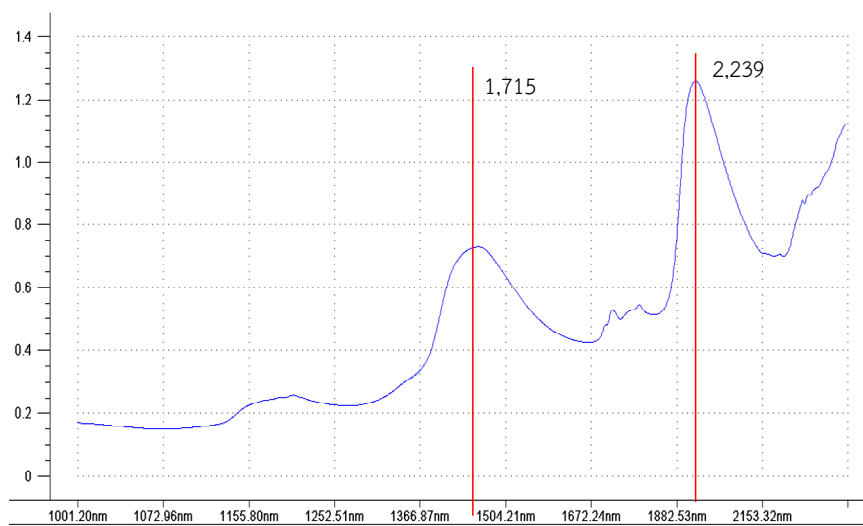
นำข้อมูลการดูดกลืนแสง (Xi) กับ ผลวิเคราะห์ค่าความหวานสร้างสมการในการทำนายโดยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) เปรียบเทียบกับสมการที่ไม่ได้ปรับแต่งข้อมูล (no pretreatment) ของทั้งเนื้ออย่างแห้งได้สมการ calibration models ในการสร้างสมการจะแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ calibration set และกลุ่ม validation และมีขั้นตอนดำเนินการสร้างสมการโดยใช้ตัวอย่างกลุ่ม calibration โดยใช้เทคนิค PLSR ร่วมกับ Cross-validate โดยใช้โปรแกรม Unscrambler 10.1 และอ่านค่า root mean square of cross-validation (RMSECV) เพื่อพิจารณา PLS factors ที่ให้ค่า RMSECV ที่ต่ำที่สุด เลือกสมการที่ดีที่สุดโดยใช้ตัวอย่างกลุ่ม validation นำสมการที่ได้ไปทำนายค่าทางเคมีโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกลุ่ม validation set แล้วคำนวณค่า R (correlation coefficient) และค่า root mean square of prediction (RMSEP) โดยใช้สมการเดียวกับ RMSECV และคัดเลือกสมการที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่า R สูง และ RMSEP ต่ำสุด พิจารณาสมการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำนายอนาคตโดยคำนวณค่า Ratio of prediction of deviation (RPD) ของข้อมูลกลุ่ม test set ซึ่งคำนวณได้จาก standard deviation (RMSEP)

ผลการวิจัย

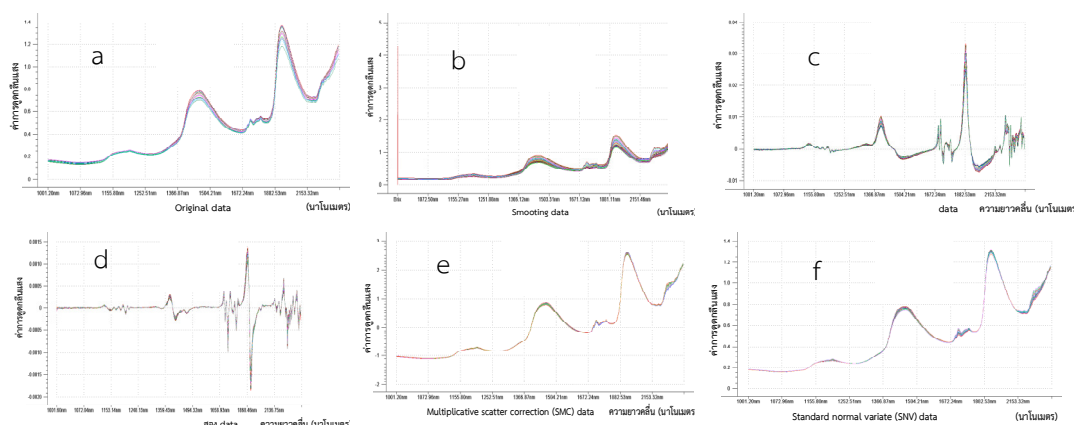
กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับทำนายค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสด โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรด วิเคราะห์สเปกตรัมโดยเทคนิคการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน PLS เมื่อนำค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์โดยให้ค่าความยาวคลื่นเป็นแกนนอน และค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง ได้ผลดังภาพที่ 4.1

ผลการพัฒนาวิธีทำนายค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดโดยเครื่องสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรด จำนวนตัวอย่างน้ำยางที่ใช้พัฒนาวิธี 14ตัวอย่าง ช่วง 4ปริมาณน้ำตาลละลายรวม 8 Brix ถึง 15 Brix แสดงเส้นสเปกตรัมเริ่มต้นที่ได้จากการสแกนทำนายค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดในช่วงความยาวคลื่น 1,000 - 2,400 นาโนเมตร แสดงในภาพที่ 4.1 พบพีคในช่วงความยาวช่วงคลื่นแสง 1,450 และ 1,928 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวช่วงคลื่นของ H-O พบพีคในช่วงความยาวคลื่นแสง 1,190 และ 1,700 นาโนเมตร คือช่วงคลื่นของ C=C เมื่อพิจารณาพันธะทางเคมีของส่วนประกอบในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดจากสเปกตรัม พบว่ามี การดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างข้าวโพดฝักสด และเกิดพีคซ้อนทับกันที่ความยาวคลื่น 1717 นาโนเมตร จึงเลือกความยาวคลื่นช่วง 1,001 ถึง 2,218 นาโนเมตร แสดงในภาพที่ 4.1 การใช้โปรแกรมสำหรับรูป The UnscramblerX 10.1 ในการตรวจสอบความแม่นยำ โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นตลอดช่วงคือ 1,001- 2,400 นาโนเมตร ในการพัฒนาวิธีการทำนายด้วยการสร้างสมการโดยวิเคราะห์แบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) Partial Least Square Regression) และทดสอบสมการเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการที่สร้างขึ้นว่าสามารถใช้ในการประเมินค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดได้แม่นยำได้มากน้อยเพียงใดด้วยวิธี Full Cross Validation โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสด ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสร้างสมการแบบ PLSR โดยใช้สเปกตรัมของตัวอย่างข้าวโพดฝักสดที่ยังไม่ปรับแต่ง การทำนายค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดที่ได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าตกค้าง (residual standard deviation; S) หรือเรียกว่าค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่ม (standard error of calibration; SEC) เท่ากับ 0.79 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยของการทำนายค่า

ความหวาน (Y) กับ ค่าเฉลี่ยของค่าจริง (X) (Standard Error of Prediction; SEP) ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ (bias) เท่ากับ -1.27×10^{-7} เปอร์เซนต์ 0.00 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination ; R^2 เท่ากับ 0.87 สมการแคลิเบรชันที่พัฒนาขึ้นขึ้นมีความน่าเชื่อถือมากในการทำนายถึงค่าตัวแปร (Y) หรือค่าความหวาน



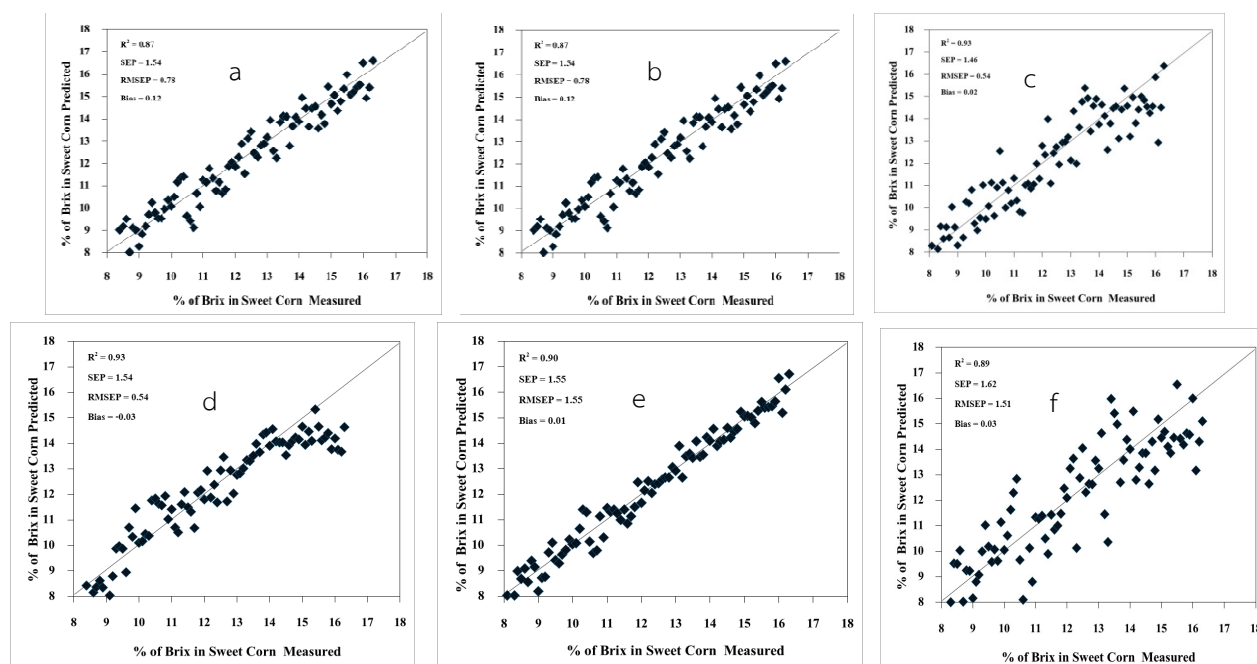
ภาพที่ 1 ตำแหน่งสเปกตรัมของพันธะเคมีที่เกี่ยวข้องกับตัวอย่างข้าวโพดฝักสดช่วงความยาวคลื่นถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ช่วงความยาวคลื่น) 1,001 ถึง 2,500 นาโนเมตร)



ภาพที่ 2 เนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมเริ่มต้น (a) ของตัวอย่างข้าวโพดฝักช่วงปริมาณน้ำตาลละลายรวม 8 Brix ถึง 15 Brix ระหว่างช่วงความยาวคลื่น 1,001 ถึง 2,218 นาโนเมตร (b) ปรับแต่งด้วย Smooting (c) ปรับแต่งการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีเดอริเวทีฟลำดับที่หนึ่ง (d) ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีเดอริเวทีฟลำดับที่สอง (e) ปรับแต่งสเปกตรัมการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative scatter correction (SMC) (f) ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Standard normal variate (SNV)

เมื่อนำค่าความหวานในข้าวโพดฝักสดที่ได้จากเทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรดและวิธีมาตรฐานมาวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย โดยให้ค่าจากวิธีมาตรฐานเป็น X และค่าจากเทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรดเป็น Y ได้ผลดังภาพที่ 3 แสดงค่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นสเปกตรัมด้วยที่ยังไม่มีการปรับแต่ง แสดงค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับ 0 และค่าความชันของกราฟ ค่าความเหมาะสมของการทำนายปริมาณความหวาน ที่หาได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือเรียกว่าค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มข้อผิดพลาดมาตรฐานของสมการ SEC เท่ากับ 0.79 ค่าเฉลี่ยของการทำนายค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสด (Y) กับ ค่าเฉลี่ยของค่าจริง (X) ข้อผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย SEP มีความแตกต่างกันโดยค่าเฉลี่ยระหว่างค่าที่ได้จากเทคนิคสเปกโตรสโกปีกับค่าที่วัดโดยวิธีอ้างอิง (bias) เท่ากับ 0.00 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.87 สมการที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวกกัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสด

เมื่อนำค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรด ซึ่งผ่านการปรับแก้ด้วยวิธีการใช้อนุพันธ์อันดับสอง และค่าที่ได้จากการหาค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดด้วยวิธีอ้างอิงมาวิเคราะห์สมการถดถอย โดยให้วิธีอ้างอิงเป็นค่า x และด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรดเป็นค่า y



ภาพที่ 3 กราฟแคลิเบรชันเปรียบเทียบค่าอ้างอิงและค่าทำนายค่าความหวานของแบบจำลองที่ดีที่สุดของแต่ละช่วงความยาวคลื่นกลุ่มพัฒนาแบบจำลองเริ่มต้น (a) ของตัวอย่างข้าวโพดฝักช่วงปริมาณน้ำตาลละลายรวม 8 Brix ถึง 15 Brix ระหว่างช่วงความยาวคลื่น 1,001 ถึง 2,218 นาโนเมตร (b) ปรับแต่งด้วย Smoothing (c) ปรับแต่งการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีเดอริเวทีฟลำดับที่หนึ่ง (d) ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีเดอริเวทีฟลำดับที่สอง (e) ปรับแต่งสเปกตรัมการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative scatter correction (SMC) (f) ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Standard normal variate (SNV)

สมการถดถอยที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.93 และค่าความคลาดเคลื่อน SEC เท่ากับ 0.54 จะเห็นได้ว่าการปรับแต่งข้อมูลด้วยอนุพันธ์อันดับสองทำให้การหาค่าความหวานในข้าวโพดฝักสดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรด มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นเพราะทำให้ค่า R^2 เพิ่มขึ้นจาก 0.87 เป็น 0.93 แสดงค่าทางสถิติของการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1

ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้อนุพันธ์อันดับสอง เช่น การพัฒนาเพื่อปรับปรุงความไวในการตรวจความหวานของข้าวโพดฝักสดโดยใช้เทคนิค PLSR ระดับการถดถอยถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองระหว่างสเปกตรัมและความหวานและการวิเคราะห์แบบข้ามการตรวจสอบถูก (cross-validation) ใช้ในการค้นหาสำหรับจำนวนที่เหมาะสมของปัจจัย PLS ผลการศึกษาพบว่าสเปกตรัม NIR และความเข้มข้นของข้าวโพดฝักสดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.93 และค่าข้อผิดพลาดของการทำนายระหว่างค่าจริงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิงจริง (Root mean square of prediction; RMSEP) ขั้นต่ำเท่ากับ 0.54 การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการคาดการณ์ของการตรวจสอบความหวานของข้าวโพดฝักสดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรด

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของชุดตัวอย่างสอบเทียบ (Calibration) และตรวจยืนยัน (Validation) ในข้าวโพดหวาน

วิธีการ		F	Calibration				Validation			
			R ²	SEC	RMSECV	Bias	R ²	SEP	RMSE	Bias
				(%)		(%)		(%)	PV	(%)
Brix	original	20	0.87	0.79	0.78	0.00	0.87	1.54	0.52	0.00
	SMC	20	0.90	0.67	0.67	9.44x10 ⁻⁵	0.51	1.55	1.55	0.01
	SNV	20	0.89	0.67	0.67	5.21x10 ⁻⁶	0.47	1.62	1.61	0.03
	1 st derivative	20	0.93	0.54	0.02	3.2x10 ⁻⁷	0.93	1.46	0.54	0.02
	2 nd derivative	20	0.93	0.54	0.02	1.14x10 ⁻⁷	0.93	0.54	0.54	-0.03

หมายเหตุ: R^2 =Correlation coefficient, SEC=Standard Error of Calibration, RMSECV=Root Mean Square of Cross-Validation, RMSEPV=Root Mean Square of Prediction, Bias=Mean values between NIRS and reference methods

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

อุปกรณ์ FT-NIR spectrometer สามารถใช้วิเคราะห์ค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดช่วงปริมาณน้ำตาลละลายรวม 8 Brix ถึง 15 Brix ใช้ระบบเก็บสเปกตรัมของตัวอย่างเดียว ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 1,008 ถึง 2,480 นาโนเมตร ได้สมการที่สามารถใช้สำหรับคาดการณ์ค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดอย่างถูกต้อง

วิธีการตรวจสอบคุณภาพความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดโดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรด กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับทำนายค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสด โดยใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรดวิเคราะห์สเปกตรัมโดยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square; PLS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร ในการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรดโดย PLS ถือว่าเป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปร

เพื่อสร้างสมการ [14] แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันของสเปกตรัมตัวอย่างค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เส้นโค้งแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตัวอย่างน้ำยางพาราเหมือนกันคือเหตุผลหลักสำหรับความแตกต่างของแอมพลิฟิเคชันที่พีคส์ดูดซับสารเดียวกันในตัวอย่างที่ความเข้มข้นแตกต่างกันมีความแตกต่างกัน [15] ช่วงความยาวช่วงคลื่นแสง 1,450 นาโนเมตร และ 1,928 นาโนเมตร คือความยาวช่วงคลื่นของ H-O พบพีคที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 1,715 นาโนเมตร และ 2229 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับช่วงความยาวคลื่นแสงของหมู่ฟังก์ชัน C=C [16] เมื่อพิจารณาพันธะเคมีของส่วนประกอบในตัวอย่างข้าวโพดฝักสดจากสเปกตรัม พบว่ามีการดูดกลืนคลื่นแสงของน้ำยางและเกิดพีคซ้อนทับกันที่ความยาวคลื่น 1,725 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกลุ่ม CH_3 (First overtone of the antisymmetric stretch of the CH_3 group) และ ความยาวคลื่น 1170 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่น C-H (Overtone of the C-H stretch of the tri-substituted $\text{HC}=\text{C}$ groups) จึงเลือกความยาวคลื่น ช่วง 1,001 ถึง 2,400 นาโนเมตร [17] ข้าวโพดฝักสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนั้นสเปกตรัมของโพลิโอโซพรีมถูกบดบังด้วยสเปกตรัมของน้ำ การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนนำไปสร้างสมการสอบเทียบ โดยการปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกเลและการแปลงฟูเรียร์ใช้ในการแปลงข้อมูลสเปกตรัมของสเปกโตรสโกปีเนียร์อินฟราเรด เนื่องจากข้าวโพดฝักสดซึ่งมีโมเลกุลของน้ำตาลประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน (H) 3 อะตอม และมีพันธะเคมีคือ H-O ดูดกลืนคลื่นแสงและเกิดพีคซ้อนทับกันที่ความยาวคลื่น 1,650-1,550 นาโนเมตร และ 1,000-650 นาโนเมตร [18] การปรับแต่งโดยการปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกเลเมื่อทำการปรับแต่งสเปกตรัม ของน้ำยางทำให้สามารถแยกพีคองค์ประกอบได้ชัดเจนขึ้น ผลการทำนายหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination ; R^2) เท่ากับ 0.93 สมการแคลิเบรชันที่พัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือมากในการทำนายถึงค่าตัวแปร (Y) หรือค่าความหวานในตัวอย่างข้าวโพดฝักสด

References

- [1] Office of Agricultural Economics. (2019). *Details of the Agricultural Economic Situation*. Available from <http://www.oae.go.th>. Accessed date: 4 February 2021. (in Thai)
- [2] Osborne, B. G., et al. (1993). *Practical NIR Spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis*. New York: Longman Scientific & Technical.
- [3] Bagchi, T. B., et al. (2016) Development of NIRS Models to Predict Protein and Amylose Content of Brown Rice and Proximate Compositions of Rice Bran. *Food Chemistry*, 191, 21-27.
- [4] Clevers, J. G. P. W., et al. (2008) Using Spectral Information from the NIR Water Absorption Features for the Retrieval of Canopy Water Content. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(3), 388-397.
- [5] Chylinska, M., et al. (2016). Study on Dietary Fibre by Fourier Transform-Infrared Spectroscopy and Chemometric Methods. *Food Chemistry*, 196, 114-122.
- [6] Magwaza, L., et al. (2016) Development of NIRS Models for Rapid Quantification of Protein Content in Sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) LAM.]. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 63-70.
- [7] Pojic, M., et al. (2010). The Development of Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) Calibration

- p for Prediction of Ash Content in Legumes on the Basis of Two Different Reference Methods.
- Food Chemistry*
- , 123(3), 800-805.
- [8] Teye, E., et al. (2015). Estimating Cocoa Bean Parameters by FT-NIRS and Chemometrics Analysis. *Food Chemistry*, 176, 403-410.
- [9] Hell, J., et al. (2016). A Comparison Between Near-Infrared (NIR) and Mid-Infrared (ATR -FTIR) Spectroscopy for the Multivariate Determination of Compositional Properties in Wheat Bran Samples. *Food Control*. 60, 365-369.
- [10] Redaelli, R., et al. (2016). Development of a NIRS Calibration for Total Antioxidant Capacity in Maize Germplasm. *Talanta*, 154, 164-168.
- [11] Moros, J., et al. (2008). Chemometric Determination of Arsenic and Lead in Untreated Powdered Red Paprika by Diffuse Reflectance Near-Infrared Spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 613(2), 196-206.
- [12] Ahmed, M. R., et al. (2015). Evaluation of Sugar Content in Potatoes Using NIR Reflectance and Wavelength Selection Techniques. *Postharvest Biology and Technology*, 103, 17-26.
- [13] Redaelli, R., et al. (2016). Development of a NIRS Calibration for Total Antioxidant Capacity in Maize Germplasm. *Talanta*, 154, 164-168.
- [14] Awanthia, M. G. G., et al. (2019). Adaptation of Visible and Short Wave Near Infrared (VIS-SW-NIR) Common PLS Model for Quantifying Paddy Hardness. *Journal of Cereal Science*, 89, 102795.
- [15] Christian, W. H. (2015). Advances of Infrared Spectroscopy in Natural Product Research. *Phytochemistry Letters*, 11, 384-393.
- [16] Qiu, G., et al. (2019). Cultivar Classification of Single Sweet Corn Seed Using Fourier Transform Near-Infrared Spectroscopy Combined with Discriminant Analysis. *Applied sciences*, 9(8), 1530.
- [17] Rosales, A., et al. (2022). Near-Infrared Spectroscopy to Predict Provitamin A Carotenoids Content in Maize. *Agronomy*, 12(5), 1027.
- [18] Dongyun, X., et al. (2018) Assessment of Important Soil Properties Related to Chinese Soil Taxonomy Based On Vis-NIR Reflectance Spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 144, 1-8.