Agricultural Sci. J. 50 : 3 (Suppl.) : 203-206 (2019) ว. วิทย. กษ. 50 : 3 (พิเศษ) : 203-206 (2562)

การควบคุมคุณภาพขิงเพื่อการส่งออกโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Quality Control of Gingers for Export by Near Infrared Spectroscopy

กรรณพต แก้วสอน[1] ศุภสิทธิ์ ประเสริฐลาภ[1] คมกฤช กิตติพร[1] ศรีมา แจ้คำ[2] สุพัตรา พูลพืชชนม์[3] และวรินธร พูลศรี[4]

Kannapot Kaewsorn[1], Supasit Prasertlarp[1], Komkrit Kittiporn[1], Srima Jaekhom[2], Supattra Poonpaerdchon[3] and Warinthorn Poonsri[4]

Abstract

Ginger is an economic plant and has high export value. The problems during storage after harvest and transportation were fungal development on the rhizome. The aim of this research was to investigate the feasibility of using near infrared spectroscopy to detect the fungal contaminant on gingers for export. Fresh gingers collected from Phetchabun Province were arranged into eight treatments. Twenty ginger samples were used for 1 treatment, totaling 160 samples. Ginger samples were cleaned and dried at 38±2 ºC for 0 (control), 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 hr. prior to scanning with FT-NIR Spectrometer in reflection mode at the wavelength between 1,000-2,500 nm. The rhizomes were subsequently measured their moisture content by Gravimetric method. The prediction model was established by partial least square regression (PLSR) and validated by test set validation method. The NIR model established using second derivatives + standard normal variate (SNV) pretreated spectra showed the optimal prediction with the coefficient of correlation (R), standard error of prediction (SEP), standard error of estimation (SEE) and Bias of 0.65, 1.70%, 1.73%, and 0.05%, respectively. The feasibility of near infrared spectroscopy was also studied in order to determine fungal contamination in fresh ginger. Fungal contaminant was isolated by tissue transplanting method. After incubating for 5 days, the isolated cultures were scanned with FT-NIR Spectrometer at 1,000-2,500 nm. The absorption of $CONH_2$, CH_2, CH_3, starch and water were detected. The aforementioned of chemical bonds were found to be the structural compound of the fungi.

Keywords: Ginger, Fungal, Near infrared spectroscopy

บทคัดย่อ

ขิงเป็นพืชเศรษฐกิจและมีมูลค่าการส่งออกสูง ปัญหาที่พบในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งขิงสดหลังจากผ่านกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว คือ การเกิดเชื้อรา ซึ่งทำความเสียหายเป็นอย่างมากกับผู้ส่งออก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อราบนขิงเพื่อการส่งออก ตัวอย่างขิงสดจากจังหวัดเพชรบูรณ์ถูกแบ่งออกเป็น 8 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 20 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งสิ้น 160 ตัวอย่าง โดยนำขิงทั้งหมดมาทำความสะอาดและตากแดดซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 38±2 ºC เป็นเวลา 0 (ชุดควบคุม), 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ชั่วโมง แล้วสแกนขิงด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่ความยาวคลื่น 1,000-2,500 nm แล้วนำไปหาความชื้นโดยวิธี Gravimetric method แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงแสงและค่าความชื้นสร้างสมการการทำนายโดยวิธี Partial least square regression (PLSR) และพิสูจน์สมการโดยใช้วิธี Test set validation ผลการสร้างสมการการทำนายความชื้นในขิง พบว่าสมการที่มีการปรับแต่งสเปคตรัมเบื้องต้นด้วย second derivatives + standard normal variate (SNV) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R), ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (SEP), ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณ (SEE) และความผิดพลาด (Bias) เท่ากับ 0.65, 1.70%, 1.73% และ 0.05% ตามลำดับ สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบเชื้อราในขิงโดยตัดชิ้นเนื้อขิงสดมาเพาะเลี้ยงเชื้อราและทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี tissue transplanting method บ่มเชื้อให้เจริญเติบโตเป็นเวลา 5 วัน แล้วสแกนเชื้อราเพื่อดูค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่ความยาว

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

[1] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chon Buri, 20110

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

[2] Department of Energy Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chon Buri, 20110

[3] สาขาวิชาวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

[3] Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chon Buri, 20110

[4] สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปผลิตผลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

[4] Department of Agricultural Products Processing Engineering, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology, Prathumthani, 12110

คลื่น 1,000-2,500 nm พบการดูดกลืนพลังงานของสารประกอบที่มีพันธะเคมีของ $CONH_2$, CH_2, CH_3, แป้ง และน้ำ ซึ่งเป็นโครงสร้างของเชื้อราอีกด้วย

คำสำคัญ: ขิง เชื้อรา เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

คำนำ

ขิงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าการส่งออกสูง มีปริมาณการส่งออกขิงแห้งและขิงสดจำนวน 26,802,112 กิโลกรัม มูลค่าทั้งสิ้น 1,249,669,360 บาท ส่งออกไปยังประเทศแถบยุโรป สหรัฐอเมริกา นิวซีแลนด์ ญี่ปุ่น และตะวันออกกลาง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง นำไปใช้ทั้งด้านอาหารและยาจึงทำให้ขิงเป็นที่ต้องการของตลาด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพขิงหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออกมีตั้งแต่การจัดซื้อ ขนส่ง (Figure 1) คัดขนาด (Figure 2) ทำความสะอาด (Figure 3) ตัดแต่ง (Figure 4) ชุบสาร ผึ่งแห้ง บรรจุ และเก็บรักษา จึงเป็นสิ่งที่สำคัญเพื่อป้องกันความเสียหายต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น

ปัญหาที่พบในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งขิงสดหลังจากผ่านกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว คือ การเกิดเชื้อรา (mold หรือ mould) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มฟังไจ (fungi) เจริญได้ในภาวะที่มีอากาศเท่านั้น (obligate aerobe) จึงพบการเจริญของราบริเวณผิวหน้าของผลิตผล ผนังเซลของราประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) พบเฉพาะใน zygomycota หรือเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) หรือ ไคทิน (chitin) (พิมพ์เพ็ญ, 2560) เชื้อราทำให้เกิดความเสียหายเมื่อส่งออกไปยังต่างประเทศ การป้องกันความเสียหายนั้นต้องมีการควบคุมกระบวนการผลิตและการตรวจสอบความชื้นของขิงสดให้เหมาะสมในระหว่างการเก็บรักษาและการส่งออก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในขิงและตรวจสอบเชื้อราในขิง ซึ่งทำให้ตรวจสอบความเสียหายได้อย่างรวดเร็ว ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีและไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

Figure 1 Transportation of fresh ginger

Figure 2 Sizing the ginger

Figure 3 Cleaning the ginger

Figure 4 Trimming the ginger

อุปกรณ์และวิธีการ

นำตัวอย่างขิงสดจากโรงงานขิง อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม 2560 โดยเป็นขิงแก่ที่ผ่านกระบวนการเก็บเกี่ยว ทำความสะอาด และคัดขนาด แล้วเก็บรักษาไว้ที่สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยนำขิงสดมาตากแดดเป็นเวลา 7 ชั่วโมง (Figure 5) และขิงที่ไม่ได้ตากแดดเป็นชุดควบคุม สุ่มตัวอย่างขิง จำนวน 20 ตัวอย่างทุกๆ ชั่วโมง ได้แก่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ชั่วโมง รวมตัวอย่างทั้งสิ้น 160 ตัวอย่าง

Figure 5 Sun drying of ginger

Figure 6 Measuring the spectra by NIR Flex N-500

Figure 7 The isolated cultures incubated for 5 days

นำตัวอย่างขิงเก็บรักษาไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส วัดสเปกตรัมบริเวณเนื้อขิงด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Flex N-500, BUCHI Ltd., Switzerland) ด้วยอุปกรณ์การวัดแบบ XL Option ความยาวคลื่น 1,000-2,500 nm (Figure 6) จากนั้นนำไปทดสอบความชื้นโดยวิธี Hot air oven method (AOAC, 1990) แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความชื้นโดยโปรแกรม NIRCal Calibration Wizard V5.20 ทั้งนี้จะใช้ข้อมูลที่ไม่มีการจัดการสเปกตรัมและการปรับแต่งสเปกตรัมเบื้องต้นด้วยวิธี First derivative, Second derivative, Multiplicative scattering correction (MSC) และ Standard Normal Variate (SNV) เป็นต้น พิสูจน์สมการโดยวิธี Test set validation และคัดเลือกสมการที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R), ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณ (Standard error of estimation; SEE) และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (Standard Error of prediction; SEP)

ตัวอย่างขิงที่วัดเสปกตรัมแล้วในแต่ละชั่วโมงๆ ละ 3 ตัวอย่าง (รวมทั้งหมด 24 ตัวอย่าง) จะถูกนำมาตัดชิ้นเนื้อและเพาะเลี้ยงเชื้อราด้วยวิธี tissue transplanting method (Figure 7) บ่มเชื้อให้เจริญเติบโตโดยเก็บไว้ประมาณ 5 วัน แล้วสแกนเชื้อราด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่ความยาวคลื่น 1,000-2,500 nm เพื่อดูค่าการดูดกลืนแสงของเชื้อราแล้วเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนของพันธะและระบุโครงสร้างของสารประกอบทางเคมีที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อรา

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของขิงสด

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิมเฉลี่ยของตัวอย่างขิงสดจำนวน 160 ตัวอย่าง พบว่าขิงสามารถดูดกลืนแสง NIR จึงพบพีคที่ความยาวคลื่น 1198, 1458, 1791 และ 1935 nm (Figure 8) ซึ่ง Osborn *et. al.* (1993) ได้อธิบายการสั่นสะเทือนของพันธะและองค์ประกอบต่างๆ คือพีคที่ 1198 เกิดการสั่นสะเทือนของ C-H stretching second overtone เป็นการดูดกลืนแสงของ CH_3 พีคที่ 1458 เกิดการสั่นสะเทือนของ N-H stretching first overtone เป็นการดูดกลืนแสงของ $CONH_2$ และพีคที่ 1935 เกิดการสั่นสะเทือนของ O-H stretching + O-H deformation เป็นการดูดกลืนแสงของโมเลกุลน้ำ

การสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายความชื้นในขิง

จากการวิเคราะห์ความชื้นของขิงที่ใช้สร้างสมการทำนายโดยวิธี Partial Least Square Regression (PLSR) ทั้งชุดสร้างสมการ (Calibration set) และชุดตรวจสอบสมการ (Prediction set) พบว่า ความชื้นของขิงอยู่ระหว่าง 82.67-93.67%(wb) (Table 1) ซึ่งเป็นลักษณะของผลิตผลพืชสวนและพืชไร่ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (FAO, 1981) และเมื่อนำมาสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายความชื้นในขิง พบว่าสมการที่ดีที่สุดมีการปรับแต่งสเปกตรัมเบื้องต้นด้วย second derivative + standard normal variate (SNV) โดยให้ค่า R_{cal} เท่ากับ 0.67 , R_{val} เท่ากับ 0.65, SEE เท่ากับ 1.73%, SEP เท่ากับ 1.70% และ Bias เท่ากับ 0.05% ซึ่ง Williams (2007) อธิบายว่าค่า R ระหว่าง 0.51-0.70 แสดงว่าเป็นความสัมพันธ์ที่แย่ สมการยังไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายความชื้นในขิงได้

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมเชื้อรา พบค่าการดูดกลืนแสงที่ 1458 nm พบว่าเป็นโครงสร้างของ $CONH_2$ (Figure 9) ซึ่งเป็นกรดอะมิโน และเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเชื้อรา (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้, 2560) และ Delwiche and Hareland (2004) ได้รายงานว่าช่วงความยาวคลื่นที่ 870-1200 nm เป็นช่วงที่สัมพันธ์กับพันธะ N-H ส่วนใหญ่เป็นพวกกรดอะมิโน อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และ radical structure ที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์และเชื้อรา นอกจากนี้พบการดูดกลืนแสงที่เป็นโครงสร้างของ starch, CH_2 และ CH_3 ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์เช่นกัน

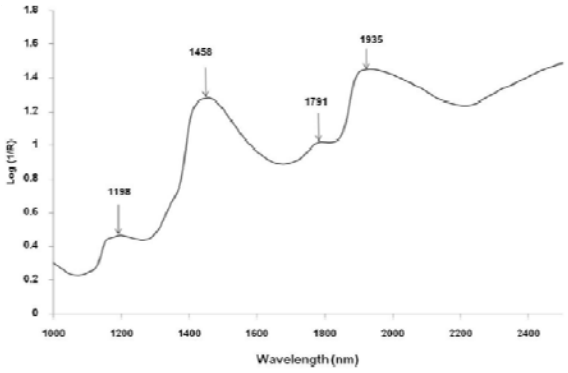

Figure 8 Mean of original NIR spectra of ginger

Table 1 Statistical values, minimum *(Min)*, maximum *(Max)* and standard deviation *(SD)* of moisture content *(%wb)* of ginger samples in calibration and prediction set.

Group	No.	Moisture content (%wb)		
		Min	Max	SD
Calibration set	112	82.67	93.67	1.81
Prediction set	45	82.72	93.33	1.97

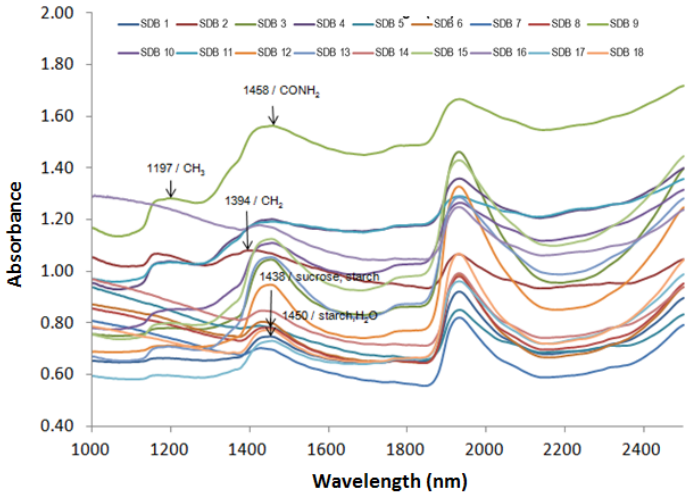

Figure 9 NIR spectra of fungal contaminant in ginger

สรุป

การสแกนเชื้อราด้วยเครื่อง NIR Spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 nm พบการดูดกลืนแสงของ $CONH_2$, CH_2, CH_3, Starch และ H_2O ซึ่งเป็นโครงสร้างของเชื้อรา ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ของการตรวจสอบเชื้อราในขิงด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และการสร้างสมการการทำนายความชื้นในขิงสดยังไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายความชื้นในขิงได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณพรพล หุ่นภักดีวรกุล โรงขิงโกพล อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ให้ความกรุณากับคณะผู้จัดทำได้เข้าศึกษาดูงานกระบวนการผลิตขิงสดเพื่อการส่งออก ขอขอบคุณ บริษัท บูชิ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. 2557. การสถิติการส่งออกขิง. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2560. Mold / รา. [ระบบออนไลน์] http://www.foodnetworksolution.com (4 กุมภาพันธ์ 2560)

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2560. ชีวโมเลกุล. [ระบบออนไลน์] http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/biomolecule/chapter2_1.html (19 พฤษภาคม 2560)

A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.

Delwiche, S.R. and G.A. Hareland. 2004. Detection of scab-damaged hard red spring wheat kernels by near-infrared reflectance. Journal of Cereal Chemistry 81: 643-649.

FAO. 1981. Food loss prevention in perishable crops. FAO Agri. Serv. Bull. 43, UN, FAO Rome. 72 p.

Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR spectroscopy with applications beverage analysis. New York: John Wiley and Sons. 227 p.

Williams, P. 2007. Near infrared technology-Getting the best out of light. Canada: PDK projects, Inc. 146 p.