



การจำแนกและทำนายความแก่ ปริมาณความชื้น และปริมาณเส้นใยของขิงสดด้วยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Classification and prediction of maturity, moisture content and fiber content of fresh ginger using NIR spectroscopy

สิรินาถ น้อยพิทักษ์^{1*}, อนุนันท์ เทอดวงศ์วรกุล¹

Sirinad Noypitak^{1*}, Anupun Terdwongworakul¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

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

*Corresponding author: Tel: +66-851-755-727, E-mail: fengsn@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเทคนิคการจำแนกความอ่อนแก่ของขิงสด 3 ระยะ คือ ขิงอ่อน ขิงกลางและขิงแก่ และสร้างสมการการทำนายค่าปริมาณความชื้น และค่าปริมาณเส้นใย โดยนำขิงสดมาวัดด้วยเครื่อง Near Infrared spectrophotometer ช่วงเลขคลื่น 12500–4000 cm^{-1} (800-2500 nm) ด้วยโหมดการวัดแบบสะท้อนแสง แล้วจึงนำมาหาค่าปริมาณความชื้น และค่าปริมาณเส้นใย สำหรับใช้เป็นค่าอ้างอิงในการสร้างสมการ โดยสมการจำแนกกลุ่มสร้างด้วยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) และสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) ผลการวิจัยพบว่า ค่าการดูดกลืนของแสงที่ปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Second Derivative ให้ความถูกต้องสูงสุดในการจำแนกระยะขิงสด 100% สมรรถนะของแบบจำลองในการทำนายปริมาณความชื้นสูงสุดมีค่า $R_p=0.93$ และ $\text{RMSEP}=1.09\%$ ตามลำดับ และสมรรถนะของแบบจำลองในการทำนายปริมาณเส้นใยสูงสุดมีค่า $R_p=0.67$ และ $\text{RMSEP}=0.06\%$ ตามลำดับ ซึ่งการวัดนี้จะไม่ทำลายผลผลิต ประหยัดการใช้สารเคมี ประหยัดเวลา

คำสำคัญ: ขิงสด, สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้, ความอ่อนแก่

Abstract

This research studied classification technique for three harvesting dates of fresh ginger namely immature, early mature and mature gingers and development of predicting model for moisture content and fiber content. The fresh gingers were measured with near infrared spectrophotometer in a range 12500–4000 cm^{-1} (800-2500 nm) in reflectance mode. Then the moisture content and fiber content were determined and used as reference value for model development. The classifying models were built using Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) and the predictive models were developed by Partial Least Squares Regression (PLSR). The results showed that classification of ginger stages based on spectra pre-treated with second derivative yielded maximum correction of 100%. The performance of model for prediction of moisture content was most accurate with correlation coefficient (R_p) and root mean square error of prediction of moisture content (RMSEP) of 0.93 and 1.09%, respectively. And the performance of model for prediction of fiber content was most accurate with R_p and RMSEP of fiber content of 0.67 and 0.06%, respectively. This method is non-destructive, reducing use of chemical substance and saving time.

Keywords: Fresh ginger, Near infrared spectroscopy, Maturity.

1 บทนำ

ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) เป็นพืชสมุนไพรที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ไม่เพียงแต่นิยมใช้รับประทานเป็นอาหาร เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์แปรรูปต่างๆ เช่น ขิงดอง ขิงผง ขิงอบ ขิงแช่แข็ง ฯลฯ แล้ว ยังนำมาทำเป็นยาสมุนไพร เครื่องสำอาง ส่งออกยังตลาดต่างประเทศ การบริโภคหรือแปรรูปขิงนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพภายในของขิง ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามอายุการเก็บเกี่ยวของขิงสด 3 ระยะ คือ ขิงอ่อน (immature ginger) ขิงกลาง (early mature ginger) และ ขิงแก่ (mature ginger) (Noypitak et al., 2014; อนุพงศ์, 2551) ในปี 2559 มีมูลค่าการส่งออกขิงสดและขิงแห้ง 981 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ซึ่งขิงสดที่ทำการแปรรูปนั้น ระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อที่จะได้ขิงตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดและเหมาะสมกับการแปรรูปผลผลิต

กระบวนการผลิตขิงดองส่งออกนั้น จำเป็นต้องใช้ขิงอ่อนในการแปรรูป ซึ่งขิงที่รับจากเกษตรกรเข้าสู่โรงงานแปรรูปนั้น จะมีทั้งขิงอ่อน ขิงกลาง และขิงแก่ปนกัน จึงต้องนำขิงมาเข้าสู่กระบวนการคัดแยกความอ่อนแก่ เพื่อทำการแยกประเภทของผลผลิตที่มีระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ในปัจจุบันโรงงานผู้ผลิตจะทำการคัดแยกขิงโดยใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญ ใช้มีดปลายแหลมกดลงในเนื้อขิง เพื่อคัดแยกความอ่อนหรือแก่ของขิงสด (สิรินาฏ และคณะ, 2557) ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนนำไปสู่ปัญหาด้านคุณภาพและความเชื่อถือของลูกค้า นอกจากนี้กระบวนการแปรรูปขิงผง จำเป็นต้องใช้ขิงแก่ที่มีเส้นใยสูง มีรสเผ็ด โรงงานจึงเลือกซื้อขิงแก่เข้าสู่กระบวนการผลิต แต่ยังคงขาดเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในที่เชื่อถือ และไม่สามารถทำลายตัวอย่าง

การพัฒนาวิธีการคัดแยกความอ่อนแก่ของขิงสด และการตรวจสอบองค์ประกอบภายในของขิงสดจึงจำเป็นต้องการแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก ซึ่งช่วยสร้างมาตรฐานการคัดแยกขิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งยังสามารถเพิ่มความเชื่อมั่นในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ว่าได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้ามากยิ่งขึ้นด้วย ซึ่งการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared spectroscopy; NIRS) ได้ถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพผลผลิตเกษตรมากมาย (Nicolai et al., 2007) มีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ NIRS กับขิงแห้งแปรรูป เช่น คัดแยกขิงผงตามความแก่สำหรับใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขิงผง (จิรายุทธ และคณะ, 2559) ตรวจสอบแป้งขิงที่ถูกปลอมปนด้วยแป้งข้าวโพด (Lohumi et al., 2014) ทำนายความชื้นในขิงแห้งแปรรูป (XUE et al., 2012) และประยุกต์ใช้ NIRS กับขิงสดในการทำนายปริมาณสาร 6-gingerol ปริมาณเส้นใย (crude fiber) และปริมาณความชื้นของขิงสดด้วยเครื่อง NIRS แบบ Diode array ช่วงความยาวคลื่น 700-1100 nm โหมดการวัดแบบอินเตอร์ (Interactance mode) และ เครื่อง NIRS แบบ Scanning ช่วงความยาวคลื่น 700-2500 nm โหมดการวัดแบบสะท้อนแสง (reflectance mode) ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการทำนายปริมาณ

ปริมาณเส้นใย (Crude fiber) และปริมาณความชื้นของขิง แต่ยังมีข้อจำกัดในการทำนายปริมาณสาร 6-gingerol ที่แสดงรสเผ็ดของขิง (Noypitak et al., 2014)

ฉะนั้นเทคนิค NIRS จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่างที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบคุณภาพขิงสดก่อนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างสมการจำแนกความอ่อนแก่ของขิงทั้ง 3 ระยะการเก็บเกี่ยว และศึกษาการสร้างสมการทำนายคุณสมบัติภายในของขิงสด ได้แก่ ค่าปริมาณความชื้นและปริมาณเส้นใยของขิงสดด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และประหยัด

2 วิธีการดำเนินการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างขิง

เตรียมตัวอย่างขิงพันธุ์ขิงใหญ่จำนวน 133 แ่ง ซึ่งเก็บเกี่ยวจากไร่ของเกษตรกร อำเภอบางบาล จังหวัดเลย โดยแบ่งการเก็บเกี่ยวออกเป็น 3 ช่วงอายุ คือ ขิงอ่อน (อายุ 5 เดือน) จำนวน 42 แ่ง ขิงกลาง (อายุ 7 เดือน) จำนวน 45 แ่ง และขิงแก่ (อายุ 10 เดือน) จำนวน 46 แ่ง ล้างทำความสะอาด แล้วนำตัวอย่างเหง้าขิงสดมาตัดแบ่งเป็นแ่ง ดัง Figure 1 d) วัดขนาดความยาว ความกว้าง ความหนา และบันทึกค่าน้ำหนัก และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5°C

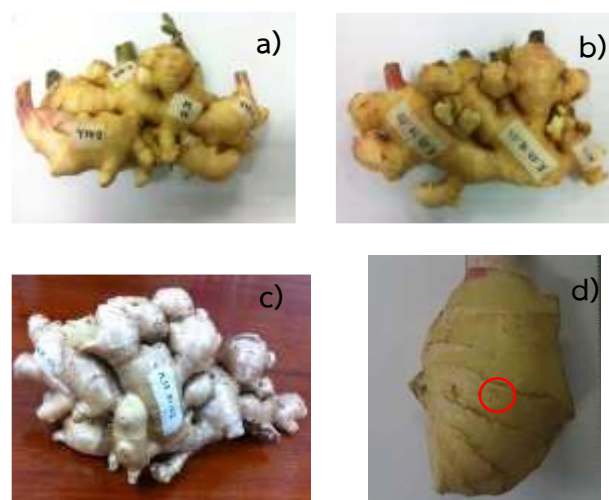


Figure 1 The three stages of maturity of fresh ginger a) immature b) early mature c) mature and d) the rhizome showing the measured position for NIR (red circle)

2.2 การวัดสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

นำตัวอย่างขิงสดทั้งเปลือก เก็บรักษาในห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้ววัดสเปกตรัมที่กึ่งกลางของขิงทั้ง 2 ด้าน ซึ่งทำมุม 180° ตามเส้นเอควาเตอร์ (equator line) ดัง Figure 1 d) ด้านละ 2 ครั้งด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer (MPA FT-NIR, Bruker,

Germany) มีช่วงเลขคลื่น $12500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ หรือช่วงความยาวคลื่น $700-2500 \text{ nm}$ โหมดการทำงานแบบสะท้อนแสง (reflectance mode) ที่ resolution เท่ากับ 32 cm^{-1} และ scan average เท่ากับ 32 ครั้ง นำแผ่นยางสดขนาดกว้าง ยาวหนา $8 \times 8 \times 0.5 \text{ cm}$ โดยแผ่นยางเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm นำมาวางด้านบนของเครื่อง NIRS เพื่อให้ตัวอย่างยางอยู่ตรงกับตำแหน่งที่กำหนด นำผ้าดำคลุมขณะทดสอบ ดัง Figure 2 โดยข้อมูลของสเปกตรัมจะถูกบันทึกไว้ด้วยโปรแกรม OPUS 6.5 จากนั้นตัดตัวอย่างยางแข็ง ณ ตำแหน่งที่วัดสเปกตรัมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น และปริมาณเส้นใยต่อไป



Figure 2 Measurement of fresh ginger using Near Infrared Spectrophotometer.

2.3 การหาปริมาณเส้นใย

นำตัวอย่างยางสด ณ ตำแหน่งที่วัดสเปกตรามาปอกเปลือกเพื่อหาปริมาณเส้นใย โดยชั่งตัวอย่างยางสดปริมาณ 20 g ลงไปต้มในน้ำเดือดปริมาตร 50 ml นาน 10 นาที เติมน้ำละลาย NaOH ปริมาณ 5 ml ต้มนาน 10 นาที รอให้เย็นและนำตัวอย่างเทลงบนตะแกรง ขนาด 30 mesh ล้างด้วยน้ำไหลผ่านตลอด ใช้แท่งแก้วกดเบาๆ จนกระทั่งเนื้อยางและเมือกยางออกหมดเหลือเพียงเส้นใย แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Gould, 1977) คำนวณหาปริมาณเส้นใยในยางสดดังสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณเส้นใยต่อน้ำหนักยางสด } 100 \text{ g} = \left(\frac{\text{น้ำหนักแห้งของเส้นใย (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักสดของยาง (g)}} \right) \quad (1)$$

2.4 การหาปริมาณความชื้น

นำตัวอย่างยางสด ณ ตำแหน่งที่วัดสเปกตรามาปอกเปลือกแล้วสับละเอียดประมาณ 5 g ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ นำมาชั่งน้ำหนักสดก่อนอบ (W_f) และน้ำหนักแห้งหลังอบ (W_d) ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 5 วัน จนกระทั่งน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ASABE, 2006) นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปี่ยงดังสมการที่ (2)

$$\% \text{moisture content} = \frac{W_f - W_d}{W_f} \quad (2)$$

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลค่าปริมาณความชื้น และค่าปริมาณเส้นใย มาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมบัติที่สัมพันธ์กับระยะความอ่อนแก่ของยางสดด้วยวิธี One way ANOVA ด้วยโปรแกรม SPSS 11.5 แล้วนำค่าข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ มาจัดเรียงแล้วปรับแต่ง สเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ First derivative (21 points), Second derivative (21 points), Multiplicative scatter correction (MSC), Standard normal variate (SNV) และ Baseline offset เพื่อให้สเปกตรัมมีพีคความเด่นชัดมากขึ้น และช่วยลดอิทธิพลจากการกระเจิงของแสงให้ลดน้อยลง จากนั้นแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนายกลุ่ม (Calibration set) จำนวน 88 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการทำนาย (Prediction set) จำนวน 44 ตัวอย่าง สร้างสมการจำแนกระยะความอ่อนแก่ของยางสด ด้วยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยกำหนดตัวแปรการจำแนกกลุ่มดังนี้ ระยะยางอ่อน = 1 ระยะยางกลาง = 2 และระยะยางแก่ = 3 และแสดงค่าเป้าหมายและค่าที่ทำนายด้วยกราฟ Scatter plot ซึ่งกราฟ Scatter plot ในการคำนวณค่าความถูกต้องของสมการจำแนก พิจารณาจากผลการคำนวณของสมการจำแนกที่มีค่าน้อยกว่าค่ากึ่งกลางระหว่างกลุ่มถัดไป เช่น ตัวอย่างยางอ่อนต้องมีค่าผลการทำนายกลุ่มจากสมการจำแนกน้อยกว่า 1.5 จะถือว่าทำนายกลุ่มยางอ่อนถูกต้อง หากผลการทำนายมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 จะถือว่าทำนายกลุ่มยางอ่อนผิดกลุ่ม ในส่วนการทำนายยางกลาง หากผลการคำนวณของสมการจำแนกมีค่าอยู่ระหว่างค่า 2.5 ถึงค่าน้อยกว่า 3.5 ถือว่าทำนายกลุ่มยางกลางได้ถูกต้อง หากนอกเหนือช่วงนี้ถือว่าทำนายยางกลางผิดกลุ่ม และการทำนายกลุ่มยางแก่นั้นผลการคำนวณของสมการจำแนกต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 ขึ้นไป จึงจะถือว่าทำนายกลุ่มยางแก่ถูกต้อง และสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Full cross validation เพื่อทำนาย ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น และค่าปริมาณเส้นใยของยางสด ด้วยโปรแกรม The Unscrambler 9.8 (CAMO, USA)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของยางสด

ผลการวัดลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างยางสด 3 ระยะ ได้แก่ ยางอ่อน ยางกลาง และยางแก่ พบว่าความยาวและความกว้างเฉลี่ยของยางสดทั้ง 3 ระยะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จาก Figure 1 a), b) และ c) จะเห็นได้ว่าขนาดของยางค่อนข้างเท่ากัน แต่เมื่อยางมีอายุเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะ

มีการขยายเหง้าใหญ่ขึ้นจากการงอกเพิ่มจำนวนของแง่งชิง โดยพบความหนาเฉลี่ยของแง่งแตกต่างกันในชิงระยะกลาง และชิงระยะแก่อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 34.77 mm และ 37.14 mm ตามลำดับ และมีน้ำหนักเฉลี่ยของชิงอ่อน เพิ่มขึ้นสู่ระยะชิงกลางอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเริ่มคงที่ในชิงแก่ คือ ระยะชิงอ่อนมีน้ำหนักแง่งเฉลี่ย 49.47 g เมื่อชิงอายุเพิ่มขึ้น น้ำหนักของแง่งชิงจะเพิ่มขึ้นเป็น 57.57 g และ 56.29 g ในระยะชิงกลาง และชิงแก่ตามลำดับ ดัง Table 1

Table 1 Descriptive statistics of physical properties of the three stages (immature, early mature and mature) of fresh ginger.

Parameters	Stages (average±SD)		
	Immature	Early mature	Mature
Length (mm)	67.09±13.1 ^a	68.43±11.81 ^a	62.94±10.13 ^a
Width (mm)	40.97±3.99 ^a	41.15±4.12 ^a	41.98±3.67 ^a
Thickness (mm)	36.22±4.36 ^{ab}	34.77±3.17 ^a	37.14±3.19 ^b
Weight (g)	49.47±7.35 ^a	57.57±11.16 ^b	56.29±9.91 ^b

Different superscripts in the same row indicate that the values are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's method.

Table 2 Descriptive statistics for the reference values of the three stages (immature, early mature and mature) of 133 samples of fresh ginger.

Reference values	Stages (average±SD)		
	Immature (42 samples)	Early mature (45 samples)	Mature (46 samples)
Fiber content (g/100g)	0.15±0.07 ^a	0.24±0.06 ^b	0.29±0.08 ^c
Moisture content (%)	93.37±0.75 ^a	90.34±1.14 ^b	82.64±4.81 ^c

Different superscripts in the same row indicate that the values are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's method

Table 3 Statistical data of fiber content and moisture content of fresh ginger in the calibration and prediction sets.

Parameters	Data set	Numbers of samples	Max	Min	Mean	SD
Fiber content (g/100g)	Calibration set	88	0.47	0.03	0.23	0.09
	Prediction set	44	0.44	0.08	0.24	0.08
Moisture content (%)	Calibration set	88	96.27	81.54	90.83	3.04
	Prediction set	44	95.87	85.46	90.93	2.94

3.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นและปริมาณเส้นใยของชิงสดที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ

ค่าทางสถิติข้อมูลเฉลี่ยค่าปริมาณความชื้น และปริมาณเส้นใยของชิงสดทั้ง 3 ระยะ (ชิงอ่อน ชิงกลาง และชิงแก่) จำนวน 133 ตัวอย่างแสดง ใน Table 2 พบว่าผลการทดสอบหาค่าปริมาณเส้นใยและค่าปริมาณความชื้นของชิงสดนั้นมีความสัมพันธ์กับความอ่อนแก่ของชิงสดคล้อยกับผลการทดสอบของ Sanwal et al. (2012) จากผลการหาค่าปริมาณเส้นใยเฉลี่ยพบว่า เส้นใยชิงอ่อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามความแก่อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในชิงอ่อนมีค่าเส้นใยต่ำสุด 0.15% ชิงกลางมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 0.24% และชิงแก่มีค่าเส้นใยสูงสุด 0.29% ส่วนปริมาณความชื้นภายในแง่งชิงสดทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณน้ำลดลงอย่างชัดเจน ($p < 0.05$) โดยเมื่อชิงมีอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น (อนงค์, 2551) โดยปริมาณความชื้นเฉลี่ยของชิงอ่อนเท่ากับ 94.55% ชิงกลางเท่ากับ 89.35% และชิงแก่เท่ากับ 86.22% ตามลำดับ

ข้อมูลปริมาณเส้นใยและปริมาณความชื้นของตัวอย่างทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Calibration จำนวน 88 ตัวอย่าง และกลุ่ม Prediction จำนวน 44 ตัวอย่าง โดยได้แสดงค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD) ไว้ดัง Table 3 และเพื่อให้ได้ผลการทำนายที่ครอบคลุม ข้อมูลปริมาณเส้นใยและปริมาณความชื้นจึงถูกจัดเรียงให้มีค่าการกระจายตัวเท่าๆกัน โดยที่ข้อมูลสูงสุดและต่ำสุดจะถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Calibration.

3.3 สเปกตรากการดูดกลืนแสงของซิงสด

Figure 3 และ Figure 4 แสดงเส้นสเปกตรากการดูดกลืนแสงเฉลี่ย และสเปกตรากที่ปรับแต่งด้วย Second derivative ของซิงสด 3 ระยะ (ซิงอ่อน ซิงกลาง และซิงแก่) จำนวน 133 แห่ง พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของซิงอ่อนสูงกว่าค่าการดูดกลืนแสงของซิงกลาง และซิงแก่ โดยมีอิทธิพลหลักอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่มีมากภายในแง่ของระยะซิงอ่อน และลดลงในซิงกลาง และซิงแก่ตามลำดับ สอดคล้องกับข้อมูลปริมาณความชื้นที่ลดลงเมื่อมีซิงมีอายุมากขึ้น ดัง Table 2 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนถึงตำแหน่งของพันธะ OH ของพิกนัที่เลขคลื่น 10229 cm^{-1} (978 nm) 6911 cm^{-1} (1447 nm) และ 5183 cm^{-1} (1930 nm) (Osborne et al., 1993; Rambo et al., 2015) ดัง Figure 3 นอกจากนี้ที่เลขคลื่น 8655 cm^{-1} (1155 nm) เป็นตำแหน่งการสั่นของพันธะ CH (Osborne et al., 1993; López et al., 2013)

3.4 การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มความแก่ตามระยะการเก็บเกี่ยวของซิงสด

สมการจำแนกกลุ่มความอ่อนแก่ของซิงสด มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายอยู่ระหว่าง $79.55\% - 100\%$ ดัง Table 4 โดยสมการที่สร้างจากสเปกตรากที่นำมาปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Second derivative (2D) ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุด โดยให้มีความถูกต้องในการทำนาย 100% เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรากการดูดกลืนแสง สเปกตรากที่ปรับแต่งด้วยวิธี First derivative (1D) และวิธี Second derivative (2D) ให้ค่าความถูกต้องในการทำนายเท่ากับ 100% เท่ากัน แต่เนื่องจากวิธี Second derivative (2D) มีจำนวนตัวแปรแฝง (Latent value) น้อยที่สุดเพียง 4 ตัวแปร ฉะนั้นการปรับแต่งสเปกตรากด้วยวิธี Second derivative (2D) จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการทำนายความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มซิงสดในครั้งนี้ โดยผลการวิเคราะห์ Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) ข้อมูลของกลุ่มซิงสดทั้ง 3 ระยะมีการกระจายตัวแบ่งกลุ่มซิงอ่อน ซิงกลาง และซิงแก่ของสมการทำนายกลุ่ม (Calibration model) แสดงในกราฟ Score plot ดัง Figure 5 โดย PC1 และ PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนข้อมูลกลุ่มความอ่อนแก่ (maturity) ของซิงสดได้ 72% และ 4% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณากราฟสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ใน Figure 6 ของสเปกตรากการดูดกลืนแสงที่ปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Second derivative (2D) ซึ่งให้ผลการทำนายกลุ่มที่ดีที่สุดนั้น พบว่า เลขคลื่นสำคัญที่มีผลต่อการทำนายมีค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสูง ไต่แก่ ที่เลขคลื่น 4289 cm^{-1} (2332 nm) อยู่ตำแหน่งใกล้เคียงกับตำแหน่งการสั่นของ CHO ของเซลลูโลส (Cellulose) (Workman and Weyer, 2012) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเพิ่มตามอายุการเก็บเกี่ยวของซิงสด ส่วนที่เลข

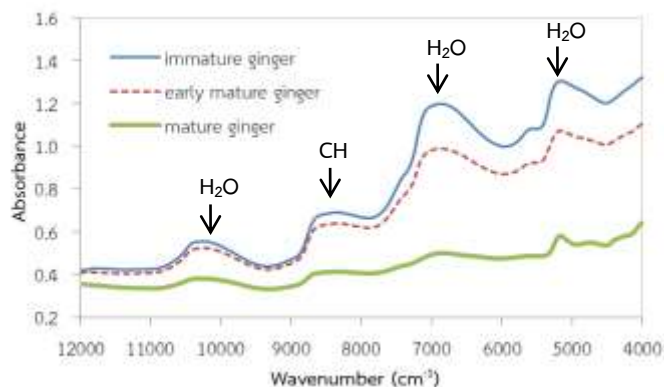


Figure 3 The average absorbance spectra of the three stages as immature ginger, early mature ginger and mature ginger (133 samples of fresh ginger).

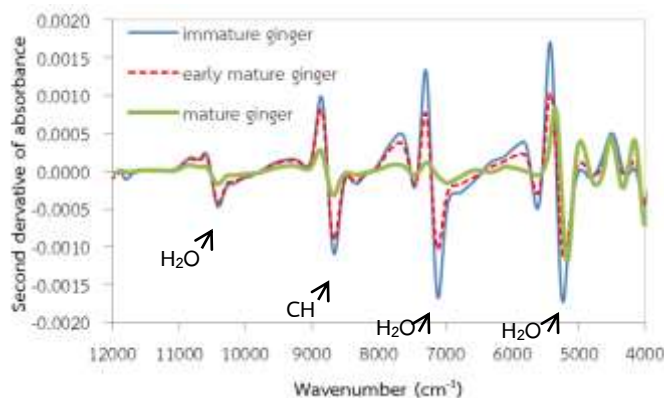


Figure 4 The average second derivative of absorbance spectra of the three stages as immature ginger, early mature ginger and mature ginger.

คลื่น 5554 cm^{-1} (1801 nm) ซึ่งเป็นตำแหน่งการสั่นของ O-H combination ของน้ำ ดังรายงานของ Sanwal et al. (2012) ที่กล่าวถึงการเพิ่มขึ้นของ dry matter ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในแง่ที่ลดน้อยตามอายุการเก็บเกี่ยว โดยที่จะมีปริมาณโปรตีนภายในเหง้าลดลง โดยที่เลขคลื่น 10985 cm^{-1} (910 nm) แสดงถึงตำแหน่งใกล้เคียงกับตำแหน่งการสั่นของ C-H third overtone ของโปรตีน (Osborne et al., 1993) ส่วนพิกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสูงอื่นๆ เช่นที่เลขคลื่น 11787 cm^{-1} (848 nm) 11509 cm^{-1} (869 nm) 7514 cm^{-1} (1331 nm) อาจเกิดจากองค์ประกอบอื่นที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยวซิงที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของน้ำ และเส้นใยเป็นสิ่งที่น่าสนใจและสอดคล้องกับความต้องการผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแปรรูปซิง จึงได้ถูกนำมาพิจารณาวิเคราะห์ในเชิงปริมาณต่อไป

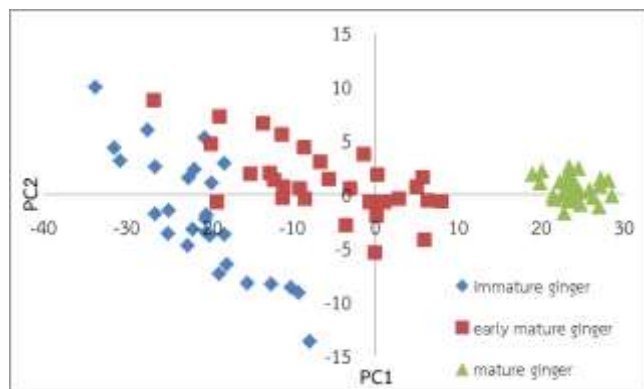


Figure 5 The scatter plot of the calibration groups from second derivative of absorbance spectra of the three stages as immature ginger, early mature ginger and mature ginger.

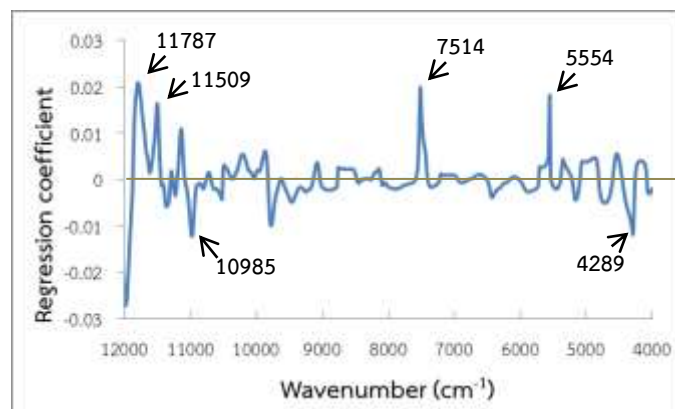


Figure 6 The regression coefficient plot of the partial least squares discrimination analysis model based on second derivative of absorbance spectra.

Table 4 Results of the accuracy of classification into three stages of fresh ginger in the prediction set.

Pretreatment	Latent values	Accuracy for classification (%)			
		Immature	Early mature	Mature	Total
Absorbance	7	100	100	100	100
1 st Derivative	6	100	100	100	100
2 nd Derivative	4	100	100	100	100
MSC	2	78.57	66.67	100	81.82
SNV	3	71.43	66.67	100	79.55
Baseline	6	71.43	66.67	100	79.55

3.5 การทำนายองค์ประกอบทางเคมีของขิงสด

3.5.1 การทำนายปริมาณความชื้นของขิงสด

โมเดลการทำนายค่าปริมาณความชื้น ที่นำข้อมูลสเปกตรามา ปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี First derivative (1D) ให้ผลการทำนายดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกโมเดลโดย มีค่า R_p เท่ากับ 0.93 และค่า RMSEP เท่ากับ 1.09% แสดงดัง Table 5 โดย scatter plot ของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจริง และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ทำนายได้จากเครื่อง NIRS ของกลุ่ม prediction (จำนวน 44 ตัวอย่าง) แสดงไว้ใน Figure 7

Table 5 Statistical data of partial least squares models obtained for moisture content.

Pretreatment	PC	Calibration		Prediction	
		R_c	RMSEC (%)	R_p	RMSEP (%)
Absorbance	7	0.89	1.38	0.93	1.10
1 st Derivative	6	0.90	1.34	0.93	1.09
2 nd Derivative	4	0.90	1.33	0.90	1.27
MSC	2	0.79	1.84	0.82	1.65
SNV	2	0.77	1.91	0.82	1.66
Baseline	6	0.86	1.53	0.89	1.33

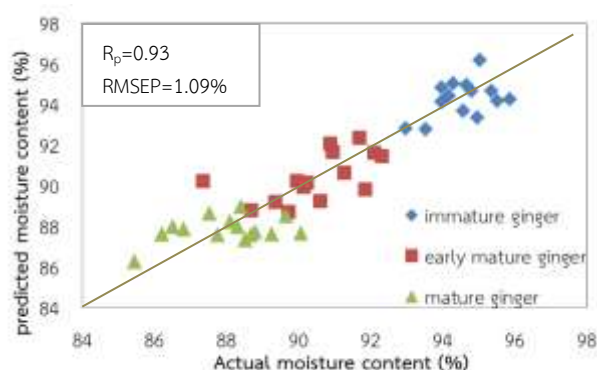


Figure 7 Plot of reference versus predicted values from prediction set of moisture content.

3.5.2 การทำนายปริมาณเส้นใยของขิงสด

โมเดลการทำนายค่าปริมาณเส้นใย จากข้อมูลการดูดกลืนของแสง ให้ผลการทำนายดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกโมเดล มีค่า R_p เท่ากับ 0.67 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.06% แสดงดัง Table 6 โดย scatter plot ของค่าเปอร์เซ็นต์เส้นใยจริง และค่าเปอร์เซ็นต์เส้นใยที่ทำนายได้จากเครื่อง NIR ของกลุ่ม prediction (จำนวน 44 ตัวอย่าง) แสดงไว้ใน Figure 8 ให้ผลการทำนายปริมาณเส้นใยที่ดีกว่าการใช้ เครื่อง NIRS แบบ Diode array และ เครื่อง NIRS แบบ Scanning (Noypitak et al., 2014) ซึ่งค่าความถูกต้องการทำนายเส้นใยมีไม่สูงนักเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ ซึ่งอาจไปบดบังความสำคัญของฟิสิกส์ประกอบทางเคมีของเส้นใย นอกจากนี้รูปร่างของขิงสดมีลักษณะไม่คงที่ และมีผิวไม่เรียบนัก ซึ่งส่งผลให้เกิดการกระเจิงแสง ทำให้ผลการทำนายมีค่าไม่สูงนัก

Table 6 Statistical data of partial least squares models obtained for fiber content.

Pretreatment	PC	Calibration		Prediction	
		R_c	RMSEC (%)	R_p	RMSEP (%)
Absorbance	6	0.70	0.07	0.67	0.06
1 st Derivative	3	0.65	0.07	0.56	0.07
2 nd Derivative	3	0.66	0.07	0.62	0.07
MSC	5	0.67	0.07	0.58	0.07
SNV	5	0.68	0.07	0.56	0.07
Baseline	6	0.69	0.07	0.65	0.06

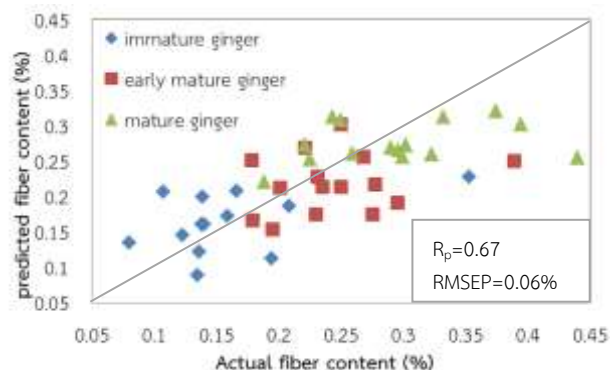


Figure 8 Plot of reference versus predicted values from prediction set of fiber content.

4 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ พบว่ามีความเป็นไปได้ในการเทคนิค NIR จำแนกความอ่อนแก่ของขิงสดและทำนายองค์ประกอบทางเคมีของขิงสดได้ จากผลการทดลองพบว่าสามารถจำแนกความอ่อนแก่ของขิงสดได้โดยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ในช่วง 79.55-100 % ซึ่งวิธีการปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Second derivative (2D) ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกความอ่อนแก่ได้ 100 % และสามารถสร้างสมการการทำนายองค์ประกอบทางเคมีของขิงสดโดยวิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบวิธี Full cross validation โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี First derivative (1D) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับสร้างโมเดลการทำนายปริมาณความชื้น มีค่า R_p เท่ากับ 0.93 และค่า RMSEP เท่ากับ 1.09% และโมเดลการทำนายปริมาณเส้นใยจากข้อมูลการดูดกลืนแสง มีค่า R_p เท่ากับ 0.67 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.06% อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาการทำนายปริมาณองค์ประกอบหลักอื่นๆ เช่น โปรตีน และแป้งที่มีในแง่ขิงต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

จิรายุทธ หงษ์เวียงจันทร์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Satoru Tsuchikawa, Tetsuya Inagaki, สิรินาฏ น้อยพิทักษ์. 2559. การคัดแยกความแก่ขิงผดด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 22(1): 56-63.

สิรินาฏ น้อยพิทักษ์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ. 2557. การศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพและความอ่อนแก่ของขิงสด. วิศวกรรมสาร มข. 41(4): 473-481.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

2560. สถิติการส่งออก (Export) ขิงแห้งและขิงสด .

แหล่งที่มา:

http://www.oae.go.th/oae_report/exportimport/export_result.php. เข้าถึงเมื่อ 18 มิถุนายน 2560.

อนงค์ เสรีรัฐวานา. 2551. การพัฒนากระบวนการแปรรูปน้ำขิงผงและขิงผง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ขอนแก่น. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ASABE. 2006. American Society of Agricultural and Biological Engineers Standard. U.S.A.

Gould, W.A. 1977. Food Quality Assurance. The AVI Publishing Co., Inc, Westport, Connecticut.

Lohumi, S., Lee, S., Cho, B.K. 2014. Detection of ginger powder adulteration using FT-NIR spectroscopy. The 4th Asian Near Infrared Symposium 2014, 192-193. 17-20 June 2014. Daegu, Korea.

López, A., Arazuri, S., Jarén, C., Mangado, J., Arnal, P., Galarreta, J.I.R.d., Riga, P., López, R. 2013. Crude Protein Content Determination of Potatoes by NIRS Technology. *Procedia Technology* 8, 488-492.

Nicolaï, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I., Lammertyn, J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* 46, 99-118.

Noypitak, S., Terdwongworakul, A., Tsuchikawa, S., Inagaki, T., Kasemsumran S. 2014. Maturity related properties of ginger detectable by near infrared spectroscopy. *Proceedings of the 4th Asian Near Infrared Symposium*, 135-136. 17-20 June 2014. Daegu, Korea.

Osborne, B.G., Fearn, T., Hindle, P.H. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. Longman Science & Technology, U.S.A.

Rambo, M.K.D., Alves, A.R., Garcia, W.T., Ferreira, M.M.C. 2015. Multivariate analysis of coconut residues by near infrared spectroscopy. *Talanta* 138, 263-272.

Sanwal, S., Singh, S., Yadav, R., Singh, P., Misra, A. 2012. Yield and Quality Assessment of Ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) Genotypes. *Indian Journal of Plant Genetic Resources* 25, 281-286.

Workman Jerry, J., Weyer, L. 2012. *Practical Guide and Spectral Atlas for Interpretive Near-Infrared*

Spectroscopy. Second Edition ed. Taylor & Francis Group, England.

Xue, L., Cai, J., Liu, M., Li, J., Yan, L. 2012. Determination of Moisture content in Ginger Using Three Variable Selection Methods Combined with Vis/NIR. *Chinese Agricultural Mechanization* 2, 37.