

## การใช้เนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโคปีทำนายปริมาณของน้ำตาลในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียว Determining Total Sugar Content of Waxy Corn Kernel with Near Infrared Spectroscopy

บุบผา คงสมัย<sup>1</sup> พจนา สีมันตรา<sup>2</sup> พรศิริ เลี้ยงสกุล<sup>1</sup> และ วลัยยา เชียงของ<sup>2</sup>  
Buppa Kongsamai<sup>1</sup>, Pojana Simantara<sup>2</sup>, Pornsiri Liengsakul<sup>1</sup>, and Wanlaya Chiengkong<sup>2</sup>

### Abstract

Near-infrared spectroscopy (NIRs) technique was applied to predict total sugar content (TSC) of 58 varieties of fresh waxy corn kernels, which were dried and ground. NIR spectra and analytical measurements of total sugar were determined. Calibration equations were developed with partial least square (PLS) regression and appropriate mathematical pretreatment methods. It is found that TSC ranged from 8.83- 221.9 mg/g. The NIRs predictions for TSC developed from the data pretreated with normalization by closer (ncl) method is suitable and accurate model for determine TSC of waxy corn with coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error of calibration (SEC), standard error of prediction (SEP) values of 0.98, 6.517 and 6.098, respectively, and residual prediction deviation (RPD) value of 5.79. It indicates that the developed calibration equation is applicable and efficient for the prediction of TSC in fresh waxy corn kernels.

**Keywords:** waxy corn, near-infrared spectroscopy, NIRs, sugar content

### บทคัดย่อ

ประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (NIRs) ทำนายปริมาณของน้ำตาลทั้งหมดที่ในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งและบดละเอียด จำนวน 58 ตัวอย่าง นำข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลทางเคมีของตัวอย่างมาสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Partial Least Squares (PLS) Regression ร่วมกับการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าระหว่าง 8.83- 221.90 mg/g สมการที่สร้างขึ้นร่วมกับการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธี normalization by closer (ncl) เป็นสมการทำนายที่เหมาะสมและแม่นยำมากที่สุดสำหรับทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ ( $R^2$ ) ค่าความคลาดเคลื่อนในการสร้างสมการ (SEC) และ ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.98, 6.517 และ 6.098 ตามลำดับ และค่า residual prediction deviation (RPD) เท่ากับ 5.79 แสดงให้เห็นว่าสมการทำนายที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งและบดละเอียดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** ข้าวโพดข้าวเหนียว, เนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี, NIRs, ปริมาณน้ำตาล

### คำนำ

ข้าวโพดข้าวเหนียวเป็นข้าวโพดที่ปลูกมากในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะ จีน เกาหลี ไต้หวัน พม่า ลาว เวียดนาม และ ไทย นิยมบริโภคในรูปฝักสดต้มสุกเนื่องจากมีรสหวานและเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม โดยมีการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวอย่างต่อเนื่องทั้งในส่วนของบริษัทเอกชนและหน่วยงานราชการ นอกเหนือจากขนาดฝัก ลักษณะฝัก สีเมล็ดซึ่งเป็นเรื่องสำคัญในการพัฒนาพันธุ์แล้ว คุณภาพในการบริโภคนับเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวเช่นเดียวกัน (Lertrat and Thongnarin, 2008) คุณภาพของข้าวโพดข้าวเหนียวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความนุ่มและความเหนียวของเอนโดสเปิร์มและเปลือกหุ้มเมล็ด ปริมาณน้ำตาล และปริมาณ polysaccharide ที่สะสมในเอนโดสเปิร์ม ปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ลูกผสมมักใช้ยีนความหวานจากข้าวโพดหวาน (shrunken-2 และ sugary gene) ผสมกับข้าวโพดข้าวเหนียวทำให้ได้พันธุ์ที่มีลักษณะพิเศษคือ มีความเหนียวนุ่มร่วมกับมีรสหวานอยู่ในฝักเดียวกัน และมีกลิ่นหอมเมื่อนึ่งสุกใหม่ ๆ (กมลและสรารุณี, 2537) มีรายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่น โปรตีน ไขมัน น้ำตาล และแป้ง เป็นต้น ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหารหลายชนิด (Batten,

<sup>1</sup> ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>2</sup> ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>1</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, KamphaengSaen Campus, Nakhonpathom 73140

<sup>2</sup> Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, KamphaengSaen Campus, Nakhonpathom 73140

1998) และประยุกต์ใช้เพื่อคัดเลือกพันธุ์จำนวนมากในโครงการปรับปรุงพันธุ์พืชทดแทนวิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน (Starr *et al.*, 1981; Font *et al.*, 2006) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวด้วยเทคนิค NIRS โดยสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำตาลจากข้าวโพดข้าวเหนียวจำนวน 59 ตัวอย่าง สำหรับใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมตัวอย่างข้าวโพดข้าวเหนียว

เก็บข้าวโพดฝักสดจากแปลง จำนวน 58 สายพันธุ์ ปอกเปลือกบรรจุถุงพลาสติก ใส่กล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็งเพื่อรักษาคุณภาพฝักระหว่างการขนส่ง นำฝักสดมาหั่นแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ประมาณ 48 ชั่วโมง แล้วไปบดให้ละเอียดเก็บตัวอย่างไว้ในตู้ความชื้นก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

### 2. การวัดค่าการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในข้าวโพดข้าวเหนียว

นำข้าวโพดข้าวเหนียวที่เตรียมไว้ วัดค่าการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer (NIRFlex N-500 FT-NIR, Buchi) ในช่วงความยาวคลื่น 4000-10000  $\text{cm}^{-1}$  (1000-2500 nm) ทำการวัดตัวอย่าง (scan) ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 32 จุด แล้วจึงนำตัวอย่างไปวัดองค์ประกอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการต่อไป

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

นำตัวอย่างข้าวโพดข้าวเหนียวแห้งมาวิเคราะห์ปริมาณ reducing sugar และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ตามวิธีการของ Nelson-Somogyi วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น ThermoSpectronic GENESTS 10 UV

### 4. การสร้างสมการทำนาย

ก่อนวิเคราะห์ข้อมูล ปรับแต่งสเปกตรัม (pretreatment) เพื่อลด noise และแยกสเปกตรัมที่ซ้อนทับออกจากกัน ด้วยวิธี smoothing, multiplicative scatter correction (MSC), first or second derivatives หรือ normalize ตามความเหมาะสม สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมกับค่าวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการด้วยวิธี Partial least square regression (PLS) โปรแกรมสำเร็จรูป NirCal 5.2 (Buchi) พิจารณาความเหมาะสมของสมการทำนายที่สร้างขึ้นจากสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ ( $R^2$ ) ค่า SEC (standard error of calibration), SEP (standard error of prediction), RPD (residual prediction deviation หรือ ratio of the standard deviation to standard error of prediction) และ Q-value สมการทำนายที่มีค่า  $R^2$ , Q-value และ RPD สูง ขณะที่ค่า SEC, SEP ต่ำ แสดงว่าเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินองค์ประกอบทางเคมีได้

## ผล

### 1. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

ลักษณะตัวอย่างบดละเอียดมีสีเหลืองอ่อน เหลือง เหลืองเข้ม และม่วง พบว่า ปริมาณของ reducing sugar และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในข้าวโพดข้าวเหนียวอบแห้งบดละเอียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มของสีเหลืองที่เข้มขึ้น โดยที่ปริมาณ reducing sugar และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบทั้งหมดมีค่าระหว่าง 8.19-256.85 mg/g และ 8.83- 221.90 mg/g ตามลำดับ

### 2. การวัดค่าการดูดกลืนแสงและสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำตาลของข้าวโพดข้าวเหนียว

สเปกตรัมที่วัดได้โดย NIRs และค่าวิเคราะห์ทางเคมีที่ได้จากห้องปฏิบัติการถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสมการทำนายโดยซอฟต์แวร์ NIRCal 5.2 ทำการปรับแต่งสเปกตรัม (Figure 1) ที่ได้ด้วยวิธีต่างๆ (Table 1) และสร้างสมการ พบว่า สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณ reducing sugar และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของข้าวโพดข้าวเหนียวสร้างจากวิธี PLS ร่วมกับการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย second derivative และวิธี PLS ร่วมกับการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย normalization by closer (ncl) ตามลำดับ ที่ช่วงเลขคลื่น 10000-4000  $\text{cm}^{-1}$  เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมเริ่มต้นก่อนปรับแต่ง (Table1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ ( $R^2$ ) ค่าความคลาดเคลื่อนในการสร้างสมการ (SEC) ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (SEP) และค่า residual prediction deviation (RPD) เท่ากับ 0.98, 4.68, 4.61 และ 9.78 ตามลำดับสำหรับปริมาณ reducing sugar และเท่ากับ 0.98, 6.52, 6.10 และ 8.17 ตามลำดับ สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Table1) ซึ่ง Font *et al.* (2006) เสนอแนะว่า สมการที่มีค่า RPD ระหว่าง 3-10 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

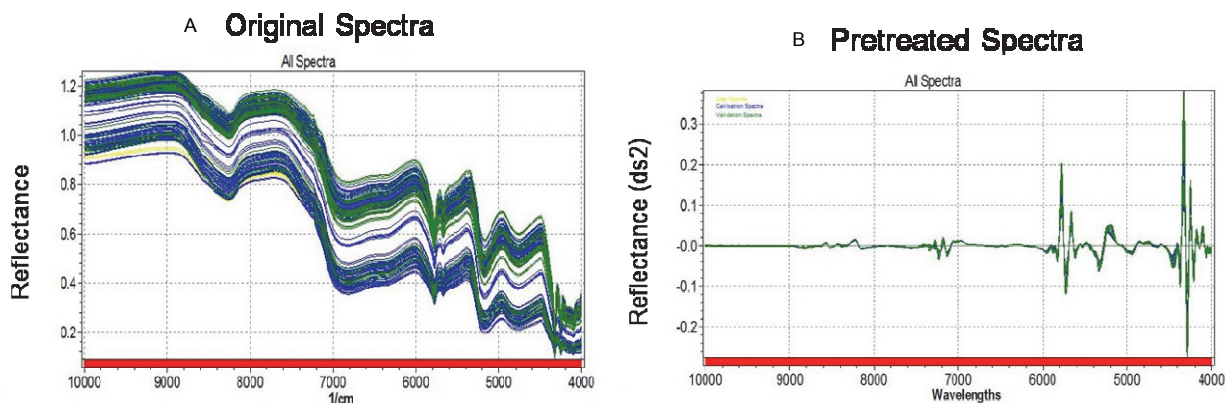


Figure 1 Spectrums collected using NIRs without pretreatment, A and with second derivative (ds2) pretreatment, B.

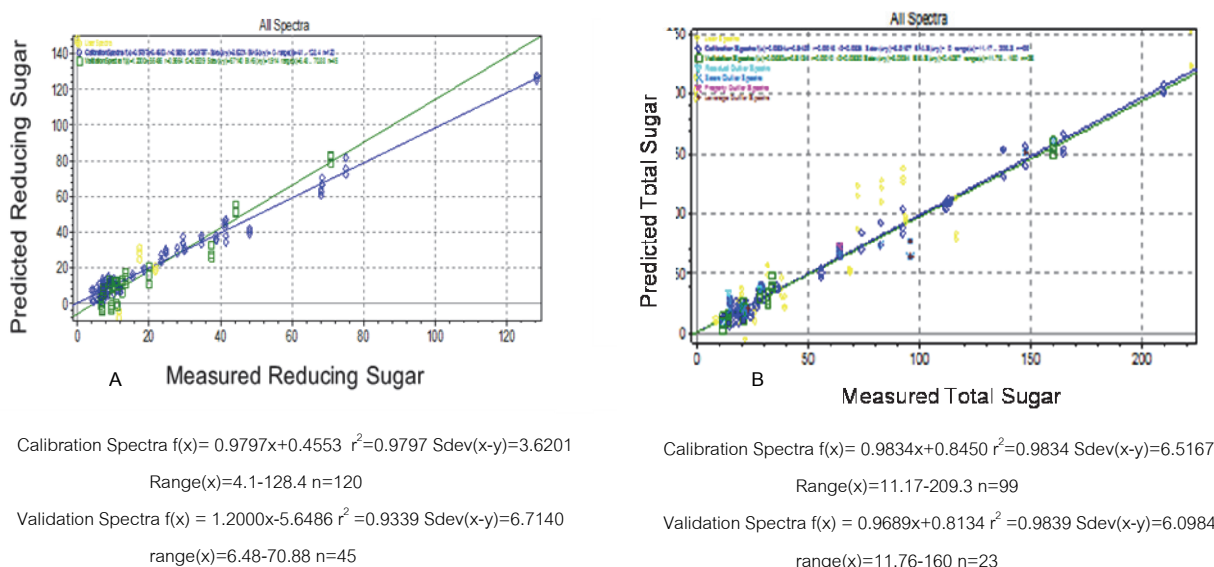


Figure 2 Scatter plots of measured versus predicted values of reducing sugar, A, and total sugar content, B.

Table 1 Result of crucial decision values,  $R^2$  (coefficient of correlation), SEP (standard error of prediction), SEC (standard error of calibration) and Q-value of pretreated spectrums with partial least square method.

Pretreatment <sup>1/</sup>	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	SEP	R <sup>2</sup> cal	SEC	Q-value	RPD <sup>2/</sup>
<u>Reducing sugar content</u>						
Original	4,000-10,000	6.72	0.97	3.62	0.32	6.72
ds2	4,400-4,800, 5,400-6,600, 7,800-10,000	4.61	0.98	4.68	0.65	9.78
<u>Total sugar content</u>						
Original	4,000-10,000	8.71	0.96	8.98	0.55	5.72
ncl	4,000-10,000	6.10	0.98	6.52	0.63	8.17

<sup>1/</sup> ds2 = second derivatives, ncl = normalization by closer, <sup>2/</sup> RPD = ratio of standard deviation of the reference values to standard error of prediction

### สรุป

สมการทำนายที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนายองค์ประกอบของน้ำตาลที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งและบดละเอียดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้วิธี partial least square (PLS) ร่วมกับการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี second derivatives (ds2) และ normalization by closer (ncl) เป็นสมการทำนายที่เหมาะสมและแม่นยำมากที่สุดสำหรับทำนายปริมาณ reducing sugar และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพด

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเกษตรกราด วิชา ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และห้องปฏิบัติการหน่วยสุรวิทยาหลังการเกี่ยว เกี่ยว ห้องปฏิบัติการกลางและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่สนับสนุนอุปกรณ์และ เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- กมล เลิศรัตน์ และสรวุฒิ นุศรากุล. 2537. ข้าวโพดซูเปอร์สวีทพันธุ์ใหม่: พันธุ์ขอนแก่นหวานสลบสี, น. 10-1 – 10-6. ใน รายงานการสัมมนาเรื่อง ข้าวโพดหวานครั้งที่ 2. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Batten, G.D. 1998. Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: the potential and the limitations. *Aust. J. Exp. Agric.* 38:697-706.
- Font, R., M. del Rio-Celestino and A. de Haro-Bailon. 2006. The use of near-infrared spectroscopy (NIRS) in the study of seed quality components in plant breeding programs. *Industrial Crops and Products* 24:307-313.
- Lertrat, K. and N. Thongnarin. 2008. Novel approach to eating quality improvement in local waxy corn: Improvement of sweet taste in local waxy corn variety with mixed kernels from super sweet corn. *Acta Hort.* 769:145-150.
- Starr, C., A.G. Morgan and D.B. Smith. 1981. An evaluation of near-infrared reflectance analysis in some plant breeding programs. *J. Agric. Sci.* 97:107-118.