

การประเมินคุณภาพแป้งในพืชไร่ชนิดต่างๆ โดยใช้เทคนิคการไม่ทำลายตัวอย่าง ด้วย Near Infrared Spectroscopy

Evaluation of Qualities in Field Crops by Using Near Infrared Spectroscopy

อนุวัฒน์ รัตนชัย¹ นฤเทพ เวชภิบาล¹ และจารุวรรณ บางแวก¹

Anuwat Rattanachai, Naruthep Wechpibal and Charuwan Bangwaek

Abstract

Qualities of agricultural produces and products; carbohydrate, protein, sugars and others are important consumption indicators. The objective of this research was to evaluate quantities and qualities of protein, carbohydrate, viscosity, sugars and carotenoids in field crops by using Near Infrared Spectroscopy (NIRS) which is a fast and non-destructive technique without chemical use. The soybean samples were obtained from Chang Mai Filed Crop Research Center, Lopburi Agricultural Research and Development Center and markets. The mungbean samples were obtained from Chai Nat Filed Crop Research Center and markets. The maize samples were obtained from Nakhon Sawan Field Crops Research Center and markets. Grains of soybean, mungbean, maize, and others field crops were measured the original spectrum by NIRSystems 6500 with the transportation module and reflectance mode in the wavelength region 800-2500 nm. Flours of soybean, mungbean, maize and others field crops were scanned in the wavelength region from 800 nm to 2500 nm. The spectrum of soybean and mungbean grains and flours were shown. Determination of protein, carbohydrate, viscosity, sugars and carotenoids was performed during 2011-2015 at Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture. The Partial Least Squares Regression (PLSR) models were calculated using The Unscrambler. The absorbance of samples correlated with protein values. Data were divided into 2 groups, group 1 is calibration set, and group 2 is validation set. The result showed the calibration for prediction of protein values in soybean grains and flours, mungbean grains and flours as followed; correlation coefficient (R) = 0.85, 0.95, 0.85 and 0.85, respectively, Standard Error of

¹กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

Prediction (SEP) = 1.13, 0.71, 0.61 and 0.65 %, respectively, Standard Deviation (SD) = 2.14, 2.47, 1.17 and 1.12%, respectively. The result showed the calibration for prediction of carbohydrate values in soybean grains and flours, mungbean grains and flours as followed; R = 0.86, 0.86, 0.88 and 0.89, respectively, SEP = 2.14, 1.97, 1.80 and 4.16%, respectively, SD = 4.96, 3.89, 3.92 and 1.12%, respectively. The calibration for prediction of peak viscosity values in soybean grains and flours, mungbean flours correlated with grains, mungbean starches correlated with grain, mungbean flours and mungbean starches as followed; R = 0.85, 0.90, 0.92, 0.92, 0.91 and 0.95, respectively, SEP = 2.64, 3.90, 4.44, 23.42, 5.04 and 22.67 BU, respectively, SD = 5.10, 9.31, 12.04, 62.18, 12.74 and 76.50 BU, respectively. The calibration for prediction of break down values as followed; R= 0.91, 0.91, 0.86, 0.91, 0.96 and 0.88, respectively, SEP = 3.69, 2.95, 3.52, 7.96, 1.74 and 9.65 BU, respectively, SD = 8.90, 7.15, 7.09, 19.64, 6.61 and 20.38 BU, respectively. The calibration for prediction of set back values as followed; R= 0.93, 0.90, 0.96, 0.95, 0.95 and 0.92, respectively, SEP = 3.18, 3.11, 2.20, 11.92, 2.68 and 17.88 BU, respectively, SD = 8.77, 7.15, 8.89, 41.29, 8.82 and 46.66 BU, respectively. The results showed the calibration for prediction contents of sucrose glucose, fructose and total sugar in field crop grains and flours as followed; R = 0.96, 0.90, 0.86, 0.96, 0.86, 0.96, 0.98 and 0.97, respectively, SEP = 0.21, 0.26, 0.16, 0.16, 0.31, 0.19, 0.34 and 0.31%, respectively, SD = 0.53, 0.64, 0.20, 0.50, 0.64, 0.59, 1.34 and 1.28%, respectively. The results showed the calibration for prediction contents of lutein, zeaxanthin, β -cryptoxanthin and β -carotene in maize grains and maize flours as followed; R = 0.91, 0.90, 0.90, 0.92, 0.93, 0.91, 0.90 and 0.90, respectively, SEP = 0.33, 0.39, 0.07, 0.07, 0.01, 0.01, 0.32 and 0.53 mg/100g, respectively, SD = 0.81, 0.91, 0.18, 0.19, 0.04, 0.04, 0.77 and 1.23 mg/100g, respectively. Therefore, NIRS technique can be used as a quick tool to predict carotenoid contents in maize grains and flours including contents of carbohydrate, viscosity, sugars and carotenoids in field crops.

Keywords : soybean, mungbean, maize, protein, carbohydrate, viscosity, sugars, carotenoids,
Near Infrared Spectroscopy

บทคัดย่อ

คุณภาพของผลิตผลและผลิตภัณฑ์เกษตร เช่น ปริมาณแป้ง โปรตีน ไขมัน น้ำตาล และอื่นๆ เป็นลักษณะสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้เวลาสั้น ไม่ใช้

สารเคมีในการประเมิน มาใช้ในการประเมินคุณภาพแป้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ความหนืด น้ำตาล และแคโรทีนอยด์ ในพืชไร่ชนิดต่างๆ โดยนำตัวอย่างเมล็ดข้าวเหลืองจากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรลพบุรี เมล็ดข้าวเขียวจากศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท เมล็ดข้าวโพดจากศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ และจากแหล่งจำหน่ายต่างๆ นำเมล็ดข้าวเหลือง ข้าวโพดพันธุ์ต่างๆ และพืชไร่อื่นๆ สแกนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ได้สเปกตรัมของเมล็ดและแป้งข้าวเหลือง ข้าวโพด ข้าวโพด และพืชไร่ชนิดต่างๆ วิเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ความหนืด น้ำตาลและแคโรทีนอยด์ ที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2554-2558 ค่าความคลาดเคลื่อนของการประเมิน หาสมการถดถอยเชิงสมการเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression โดยใช้โปรแกรม the Unscrambler จากการทดลองพบว่า การสร้างสมการประเมินค่าโปรตีนของเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวเหลือง เมล็ดและแป้งฟลาวข้าวเขียว สมการมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) = 0.85 0.95 0.85 และ 0.85 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (SEP) = 1.13 0.71 0.61 และ 0.65% ตามลำดับ ต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อน (SD) = 2.14 2.47 1.17 และ 1.12% ตามลำดับ การสร้างสมการประเมินค่าคาร์โบไฮเดรตของเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวเหลือง เมล็ดและแป้งฟลาวข้าวเขียว สมการมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) = 0.86 0.96 0.88 และ 0.89 ตามลำดับ ค่า SEP = 2.14 1.97 1.80 และ 1.84% ตามลำดับ ต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อน (SD) = 4.96 3.89 3.92 และ 4.16% ตามลำดับ การสร้างสมการประเมินค่าความหนืดสูงสุดของเมล็ดข้าวเหลืองและแป้งฟลาวข้าวเหลือง แป้งฟลาวกับเมล็ดข้าวเขียว แป้งสตาร์ชกับเมล็ดข้าวเขียว แป้งฟลาวข้าวเขียวและแป้งสตาร์ช สมการมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) = 0.85 0.90 0.92 0.92 0.91 และ 0.95 ตามลำดับ ค่า SEP = 2.64 3.90 4.44 23.42 5.04 และ 22.67 BU ตามลำดับ ต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อน (SD) = 5.10 9.31 12.04 62.18 12.74 และ 76.50 BU ตามลำดับ ค่า break down มีค่า R = 0.91 0.91 0.86 0.91 0.96 และ 0.88 ตามลำดับ ค่า SEP = 3.69 2.95 3.52 7.96 1.74 และ 9.65 BU ตามลำดับ ต่ำกว่าค่า SD = 8.90 7.15 7.09 19.64 6.61 และ 20.38 BU ตามลำดับ ค่า set back มีค่า R = 0.93 0.90 0.96 0.95 0.95 และ 0.92 ค่า SEP = 3.18 3.11 2.20 11.92 2.68 และ 17.88 BU ตามลำดับ ต่ำกว่าค่า SD = 8.77 7.15 8.89 41.29 8.82 และ 46.66 BU ตามลำดับ ส่วนการทำนายและค่าปริมาณซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส และน้ำตาลทั้งหมดในเมล็ดและแป้งฟลาวพืชไร่ชนิดต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าความสัมพันธ์สูง (R) = 0.96 0.90 0.86 0.96 0.86 0.96 0.98 และ 0.97 ตามลำดับ มีค่า SEP = 0.21 0.26 0.16 0.16 0.31 0.19 0.34 และ 0.31% ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อน (SD) คือ 0.53 0.64 0.20 0.50 0.64 0.59 1.34 และ 1.28% ตามลำดับ และการทำนายและค่าปริมาณสารลูทีน ซีแซนทีน เบต้า-คริปโตแซนทีน และเบต้า แคโรทีนในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (R) = 0.91 0.90 0.90 0.92 0.93 0.91 0.90 และ 0.90 ตามลำดับ มีค่า SEP = 0.33 0.39 0.07 0.07 0.01 0.01 0.32 และ 0.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่า SD = 0.81 0.91 0.18 0.19 0.04 0.04 0.77 และ 1.23 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ จากการทดลองแสดงว่าเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี สามารถนำมาใช้ในการประเมินโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ความหนืด น้ำตาลและแคโรทีนอยด์ของพืชไร่ชนิดต่างๆได้

คำสำคัญ: ข้าวเหลือง ข้าวเขียว ข้าวโพด โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ความหนืด น้ำตาล แคโรทีนอยด์

คำนำ

ถั่วเหลือง เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทย เพราะเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหาร ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรตประมาณ 33.9% โปรตีน 34.2% ไขมัน 16.7% เส้นใย 21.9% และเถ้า 5.9% (Puwastien *et al.*, 1999) ทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท การรับประทานโปรตีนจากถั่วเหลืองสามารถลด ระดับโคเลสเตอรอลในคนที่มีความเสี่ยงต่อโรคหัวใจได้ โดยเฉลี่ยโปรตีนจากถั่วเหลืองสามารถลดโคเลสเตอรอลได้ประมาณร้อยละ 12-15 เมื่อรับประทานโปรตีนจากถั่วเหลืองเพียงวันละ 25 กรัม ดังนั้นการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองสามารถลดโอกาสเสี่ยงของโรคหัวใจได้ถึงร้อยละ 50 และถั่วเขียวมีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วยโปรตีน 21.7% ไขมัน 1.2% เส้นใย 2.0% คาร์โบไฮเดรต 62.5% และเถ้า 4.2% (อรอนงค์, 2534) แป้งในผลผลิตเกษตรมีสายโมเลกุลน้ำตาลเชื่อมต่อกันเป็นองค์ประกอบของแป้งพืช หากต้องการนำผลผลิตพืชไปผลิตน้ำตาล แอลกอฮอล์ หรือต้องการทราบว่าแป้งพืชนั้นมีองค์ประกอบน้ำตาลชนิดใด ปริมาณเท่าใด เหมาะกับการบริโภคหรือไม่ จำเป็นต้องนำแป้งไปวิเคราะห์ น้ำตาลส่วนใหญ่ในแป้ง คือ ฟรุคโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ของน้ำตาล ซูโครสและกลูโคส น้ำตาลซูโครส และกลูโคส เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งกลูโคสจะถูกดูดซับเข้าเส้นเลือดได้ ถ้าดูดซับมากปริมาณกลูโคสมากก็จะเป็นอันตราย ชนิดและปริมาณของน้ำตาลในแป้งขึ้นกับชนิดของแป้งเช่น แป้งข้าวเจ้า เมื่อย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสจะให้น้ำตาลกลูโคส มากกว่าน้ำตาลชนิดอื่น ส่วนแป้ง บัวจะให้น้ำตาลกลูโคสต่ำ ดังนั้นการรู้ผลผลิตพืชชนิดใดมีปริมาณน้ำตาลอะไร เพื่อพิจารณาว่าควรบริโภคแป้งชนิดใด ในการรักษาสุขภาพ ก็จะมีปริมาณกลูโคสมากกว่าน้ำตาลชนิดอื่น การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในแป้งนั้น โดยนำแป้งไปย่อยให้เป็นน้ำตาลโดยการใช้เอนไซม์อะไมเลส ย่อยโมเลกุลของแป้งซึ่งใช้เวลานาน ซึ่งปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณต่ำ วิธีการค่อนข้างยุ่งยาก ใช้เวลา ใช้เครื่องมือ เพื่อความสะดวก ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ ไม่ทำลายตัวอย่าง จึงควรนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (NIRS) มาทดลองใช้เพื่อแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ส่วนข้าวโพดนั้นมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญคือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งคุณภาพของผลิตผลและผลิตภัณฑ์เกษตร เช่น ปริมาณแป้ง โปรตีน ไขมัน น้ำตาล และอื่นๆ เป็นลักษณะสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตผลหรือผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค ก่อนที่จะนำไปบริโภค หรือเพื่อตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะงานตรวจวิเคราะห์ที่เป็นงานประจำ (routine) หรือในอุตสาหกรรมที่ต้องมีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบก่อนเข้าผลิต หรือคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก มีการใช้สารเคมี ขั้นตอน และการเตรียมวัสดุในการวิเคราะห์ยุ่งยากทำให้ใช้เวลามากทั้งผู้วิเคราะห์ต้องใช้ความรู้และประสบการณ์สูง และต้องทำลายตัวอย่าง จากปัญหาดังกล่าว ถ้าสามารถหาวิธีที่จะวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์และผลิตผลเกษตร เช่น น้ำมัน น้ำตาล แป้ง และความหนืดแป้ง ได้อย่างรวดเร็วไม่ใช้สารเคมี และไม่ทำลายตัวอย่าง แทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง NIRS เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ วิธีนี้มีการใช้กันมานานอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น จีน และเกาหลีใต้ โดยใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ในประเทศญี่ปุ่น ได้นำเอา NIRS มาคัดเลือกรสหวานของส้ม (Tsuchikawa *et al.*, 2003) แอปเปิ้ล (Iyo and Kawano, 2001) พืช (Slaughter, 1995; Peiris *et al.*, 1997) เซอรี (Lu, 2001) และเมลอน

(Dull *et al.*, 1989; Dull *et al.*, 1992; Ito *et al.*, 2002; Guthrie *et al.*, 2006) การตรวจสอบปริมาณโปรตีนในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวมอลต์ ข้าวโอ๊ต (Gunasekaran, 2001) NIRS เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้หลักการการสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R) ระหว่างค่าการดูดซับแสงเนียร์อินฟราเรดที่ส่องผ่านวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์จำนวนหนึ่ง และค่าที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้สมการที่มีค่าความสัมพันธ์สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) ต่ำ ก็นำสมการนี้ใช้ทำนายค่าของตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป ซึ่งข้อได้เปรียบของการใช้ NIRS เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ประหยัดเวลา เช่น การปรับปรุงพันธุ์ช่วยลดเวลาในการตรวจสอบคุณภาพผลผลิต และปลอดภัย ไม่ใช้สารเคมี สามารถใช้ทดแทนการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีมาใช้ในการประเมินคุณภาพแป้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ความหนืด น้ำตาล และแคโรทีนอยด์ ในพืชไร่ชนิดต่างๆ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเขียว เมล็ดข้าวโพด แป้งและเมล็ดพืชชนิดต่างๆ
2. เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer จากบริษัท FOSS รุ่น 6500
3. เครื่องบดตัวอย่าง
4. วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล สารแคโรทีนอยด์ ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) จากบริษัท Agilent รุ่น 1260 infinity
5. วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ด้วยเครื่อง กลั่นไนโตรเจน ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น VAP 40
6. วิเคราะห์ความหนืด ด้วยเครื่อง Brabender Micro Visco-Amylo-Graph

วิธีการ

1. นำตัวอย่าง ถั่วเหลืองจากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรลพบุรี และแหล่งจำหน่ายต่างๆ จำนวน 144 ตัวอย่าง ถั่วเขียวจากศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท และแหล่งจำหน่ายต่างๆ จำนวน 80 ตัวอย่าง เมล็ดข้าวโพดจากศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ และแหล่งจำหน่ายต่างๆ จำนวน 236 ตัวอย่าง แป้งและเมล็ดพืชชนิดต่างๆ บรรจุในเซลล์บรรจุตัวอย่างสำหรับเมล็ดและแป้ง นำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystems 6500 ด้วยชุดอุปกรณ์ transportation module ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร โดยวัดการสะท้อนกลับของแสง (reflectance)

2. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ความชื้น เถ้า เส้นใย น้ำมัน ความหนืด น้ำตาล และแคโรทีนอยด์ ในห้องปฏิบัติการ วิธีคำนวณคาร์โบไฮเดรต จากสูตร 100-เปอร์เซ็นต์ (ความชื้น+โปรตีน+เถ้า+เส้นใย+น้ำมัน) และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสง (absorption) กับปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ความหนืด น้ำตาล และแคโรทีนอยด์ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP)

3. สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler® version 9.7 (CAMO, Oslo, Norway) ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างข้อมูลปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่วัดโดยวิธีมาตรฐานกับข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร กลุ่มที่ 2 คือ validation set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบสมการถดถอยเชิงเส้นในการทำนายปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ความหนืด น้ำตาล และแคโรทีนอยด์ ของตัวอย่างเมล็ดและแป้งพลา

ผลการทดลองและวิจารณ์

การประเมินปริมาณโปรตีนในเมล็ดโดยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

Near Infrared Spectroscopy spectrum ของเมล็ดและแป้งพลา ถั่วเหลือง ถั่วเขียว

ค่าการดูดซับแสง (\log_1/R) ของโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลือง มีค่าดูดซับแสงอยู่ที่ 910 และ 1020 นาโนเมตร เนื่องจากเป็น peak ของโปรตีน Williams and Norris (2001) และค่าการดูดซับแสง (\log_1/R) ของโปรตีนในแป้งพลาถั่วเหลือง มีแสงที่ 910 1020 2050 และ 2180 นาโนเมตร เป็น peak ของโปรตีน ค่าการดูดซับแสง (\log_1/R) ของโปรตีนในเมล็ดถั่วเขียว มีค่าดูดซับแสงอยู่ที่ 910 นาโนเมตร เป็น peak ของโปรตีน และค่าการดูดซับแสง (\log_1/R) ของโปรตีนในแป้งพลาถั่วเขียว มีค่าดูดซับแสงอยู่ที่ 2050 นาโนเมตร เป็น peak ของโปรตีน (Figure 1)

การทำ Calibration ด้วยวิธี PLS regression

การทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression โดยการใช้ spectra เริ่มต้น (original) กับค่าโปรตีนของเมล็ดถั่วเหลือง แป้งพลาถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเขียว และแป้งพลาถั่วเขียว พบว่า สมการจาก original spectra ของค่าโปรตีนที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.85 0.95 0.85 และ 0.85 ตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายในกลุ่มทดสอบสมการ (SEP) เท่ากับ 1.13 0.71 0.61 และ 0.65% ตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มสร้างสมการ (SEC) เท่ากับ 0.90 0.58 0.46 และ 0.46% ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.90 0.97 0.92 และ 0.92 ตามลำดับ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 10 10 10 และ 10 ปัจจัยตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 2.14 2.47 1.17 และ 1.22% ตามลำดับ (Table 1) จะเห็นว่า ช่วงคลื่นแสง 800-2500 นาโนเมตร สามารถใช้ในการประเมินค่าโปรตีน เนื่องจากมีค่า SEP ต่ำกว่าค่า SD จาก การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ แต่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนายของเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเขียว และแป้งพลาถั่วเขียว เท่ากับ 0.85 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ยังไม่สูงมากนัก

ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเหลืองในการประเมินค่าโปรตีน ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1020 และ 1510 นาโนเมตร เป็นค่าของโปรตีน และค่า regression coefficient ของแป้งพลาถั่วเหลืองในการประเมินค่าโปรตีน ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่

1980 นาโนเมตร เป็นค่าของโปรตีน ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเขียวในการประเมินค่าโปรตีน ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 910 นาโนเมตร เป็นค่าของโปรตีน และค่า regression coefficient ของแป้งฟลาวถั่วเขียวในการประเมินค่าโปรตีน ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1510 นาโนเมตร เป็นค่าของโปรตีน (Figure 2)

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าโปรตีนและค่าวิเคราะห์ค่าโปรตีนของเมล็ดถั่วเหลืองและแป้งฟลาว ถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) มีค่า 0.78 และ 0.94 ตามลำดับ มีค่าโปรตีน 34.03-42.40% การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าโปรตีนและค่าวิเคราะห์ค่าโปรตีนของเมล็ดถั่วเขียวและแป้งฟลาวถั่วเขียวที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) มีค่า 0.81 และ 0.83 ตามลำดับ และมีค่าโปรตีน 22.51-28.69% (Figure 3)

การประเมินปริมาณแป้ง (คาร์โบไฮเดรต) ในเมล็ดและแป้งฟลาว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว โดยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

Near Infrared Spectroscopy spectrum ของเมล็ดและแป้งฟลาว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว

ค่าการดูดซับแสง (\log_1/R) ของแป้งในเมล็ดถั่วเหลือง มีค่าดูดซับแสงอยู่ที่ 1580 2100 และ 2276 นาโนเมตร เนื่องจากเป็น peak ของแป้ง Williams and Norris (2001) และค่าการดูดซับแสง (\log_1/R) ของแป้งในแป้งฟลาวถั่วเหลือง มีแสงที่ 1580 นาโนเมตร เป็น peak ของแป้ง ค่าการดูดซับแสง (\log_1/R) ของแป้งในเมล็ดถั่วเขียว มีค่าดูดซับแสงอยู่ที่ 990 และ 1580 นาโนเมตร เป็น peak ของแป้ง และค่าการดูดซับแสง (\log_1/R) ของแป้งในแป้งฟลาวถั่วเขียว มีค่าดูดซับแสงอยู่ที่ 980 นาโนเมตร เป็น peak ของแป้ง (Figure 4)

การทำ Calibration ด้วยวิธี PLS regression

จากการทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression โดยการใช้ spectra เริ่มต้น (original) กับค่าเปอร์เซ็นต์แป้งของเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าสมการจาก original spectra ของค่าเปอร์เซ็นต์แป้งที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.86 0.86 0.88 และ 0.89 ตามลำดับ ค่า SEP = 2.14 1.97 1.80 และ 1.84% ตามลำดับ ค่า SEC = เท่ากับ 1.56 1.39 1.67 และ 1.54% ตามลำดับ เมื่อทำ validation ค่า R = 0.93 0.93 0.90 และ 0.92 ตามลำดับ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 8 9 3 และ 7 ปัจจัย ตามลำดับ ค่า SD = 4.29 3.89 3.92 และ 4.16% ตามลำดับ (Table 2)

ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเหลืองในการประเมินค่าเปอร์เซ็นต์แป้ง ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2100 และ 2276 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง และค่า regression coefficient ของแป้งฟลาวถั่วเหลืองในการประเมินค่าเปอร์เซ็นต์แป้ง ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2276 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเขียวในการประเมินปริมาณแป้ง ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1900 นาโนเมตร เป็นค่าของ

แป้ง และค่า regression coefficient ของแป้งฟลาวัวเขียวในการประเมินปริมาณแป้ง ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 980 นาโนเมตร เป็นค่าแป้ง (Figure 5)

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์แป้งและค่าวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แป้งของเมล็ดถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่า $R^2 = 0.71$ และค่าเปอร์เซ็นต์แป้งมีค่า 17.37-35.06% และความสัมพันธ์จากการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์แป้งและค่าวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์แป้งของแป้งฟลาวัวเหลืองที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าค่า $R^2 = 0.72$ และค่าเปอร์เซ็นต์แป้งมีค่า 18.21-35.06 % การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์แป้งและค่าวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์แป้งของเมล็ดถั่วเขียวที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าค่า $R^2 = 0.77$ และค่าเปอร์เซ็นต์แป้ง มีค่า 47.93-62.28% และความสัมพันธ์จากการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์แป้งและค่าวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์แป้งของแป้งฟลาวัวเขียวที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าค่า $R^2 = 0.84$ และค่าเปอร์เซ็นต์แป้งมีค่า 47.93-62.28% (Figure 6)

การประเมินความหนืดในพืชไร่ชนิดต่างๆ โดยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

Near Infrared Spectroscopy spectrum ของเมล็ดถั่วเหลือง ถั่วเขียว แป้งฟลาวัวเหลือง ถั่วเขียว และแป้งสตาร์ชถั่วเขียว

ค่าการดูดซับแสง ($\log 1/R$) ของค่าแป้งซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของเมล็ดถั่วเหลือง เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ (กล้านรงค์, 2550) และมีการดูดซับแสงมากอยู่ที่ 990 1450 1580 1900 2100 และ 2276 นาโนเมตร ซึ่งเป็น peak ของแป้ง และแป้งฟลาวัวของถั่วเหลืองมีการดูดซับแสงมากอยู่ที่ 990 1450 1580 และ 1900 นาโนเมตร เป็น peak ของแป้ง ค่าการดูดซับแสง ($\log 1/R$) ของค่าแป้งซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของเมล็ดถั่วเขียวมีการดูดซับแสงมากอยู่ที่ 1450 และ 2100 นาโนเมตร เป็น peak ของแป้ง ส่วนแป้งฟลาวัวถั่วเขียวมีการดูดซับแสงมากอยู่ที่ 990 และ 1450 นาโนเมตร เป็น peak ของแป้ง และแป้งสตาร์ชถั่วเขียวมีการดูดซับแสงมากอยู่ที่ 990 1450 และ 2100 นาโนเมตร (Figure 7) เป็น peak ของแป้ง (Williams and Norris 2001)

ค่าความหนืดสูงสุด

จากการทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression โดยการใช้ spectra เริ่มต้น (original) กับค่าความหนืดสูงสุดของเมล็ดถั่วเหลือง แป้งฟลาวัวเหลือง ค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งฟลาวัวกับเมล็ดถั่วเขียว ค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งสตาร์ชกับเมล็ดถั่วเขียว แป้งฟลาวัวถั่วเขียว แป้งสตาร์ชถั่วเขียว พบว่าสมการจาก original spectra ของค่าความหนืดสูงสุดที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.85 0.90 0.92 0.92 0.91 และ 0.95 ตามลำดับ ค่า SEP = 2.64 3.90 4.44 23.42 5.04 และ 22.67 Brabender Unit (BU) ตามลำดับ ค่า SEC เท่ากับ 1.93 2.95 3.50 17.65 4.02 และ 20.83 BU ตามลำดับ เมื่อทำ validation ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.92

0.94 0.95 0.95 0.94 และ 0.96 ตามลำดับ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 10 10 7 9 7 และ 3 ปัจจัย ตามลำดับ ค่า SD = 5.10 9.31 12.04 62.18 12.74 และ 76.50 BU ตามลำดับ (Table 3) จะเห็นว่าสมการเหมาะที่จะใช้ในการประเมินค่าความหนืดสูงสุดของ แป้งพลาว่าถั่วเหลือง ค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งพลาว่ากับเมล็ดถั่วเขียว ค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งสตาร์ชกับเมล็ดถั่วเขียว แป้งพลาว่าถั่วเขียว แป้งสตาร์ชถั่วเขียว เนื่องจากมีค่า SEP ต่ำกว่าค่า SD จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ แสดงว่าสมการนี้สามารถใช้ประเมินค่าความหนืดสูงสุดได้ดี และค่า R สูง ยิ่งไปกว่านั้นค่าสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย (RPD) สูง แสดงว่าสมการสามารถนำไปประเมินค่าความหนืดสูงสุดได้ดี

ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเหลืองในการประเมินค่าความหนืดสูงสุด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2252 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง และค่า regression coefficient ของแป้งพลาว่าถั่วเหลืองในการประเมินค่าความหนืดสูงสุด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1580 และ 2276 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเขียวในการประเมินค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งพลาว่า ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1450 และ 2100 นาโนเมตร และ ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเขียวในการประเมินค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งสตาร์ช ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1528 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง ส่วนแป้งพลาว่าถั่วเขียวค่า regression coefficient ในการประเมินค่าความหนืดสูงสุด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 990 1440 และ 2100 นาโนเมตร และค่า regression coefficient ของแป้งสตาร์ชในการประเมินค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งสตาร์ช ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1440 และ 2100 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง (Figure 8)

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าความหนืดสูงสุดและค่าวิเคราะห์ค่าความหนืดสูงสุดของเมล็ดถั่วเหลือง แป้งพลาว่าถั่วเหลือง ค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งพลาว่ากับเมล็ดถั่วเขียว ค่าความหนืดสูงสุดจากแป้งสตาร์ชกับเมล็ดถั่วเขียว แป้งพลาว่าถั่วเขียว แป้งสตาร์ชถั่วเขียว ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.78 0.80 0.87 0.85 0.82 และ 0.92 ตามลำดับ ความหนืดสูงสุดมีค่าในช่วง 17-138 17-56 3-69 31-293 13-69 และ 31-306 BU ตามลำดับ (Figure 9)

ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (break down)

จากการทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression โดยการใช้ spectra เริ่มต้น (original) กับค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (break down) ของเมล็ดถั่วเหลือง แป้งพลาว่าถั่วเหลือง ค่า break down จากแป้งพลาว่ากับเมล็ดถั่วเขียว ค่า break down จากแป้งสตาร์ชกับเมล็ดถั่วเขียว แป้งพลาว่าถั่วเขียว แป้งสตาร์ชถั่วเขียว พบว่าสมการจาก original spectra ของค่า break down ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.91 0.91 0.86 0.91 0.96 และ 0.88 ตามลำดับ ค่า SEP = 3.69 2.95 3.52 7.96 1.74 และ 9.65 BU ตามลำดับ ค่า SEC = 2.62 2.41 2.90 4.96 1.41 และ 7.38 BU ตามลำดับ เมื่อทำ validation ค่า R = 0.95 0.94 0.91

0.96 0.97 และ 0.93 ตามลำดับ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 9 7 7 10 7 และ 9 ปัจจัย ตามลำดับ ค่า SD = 8.90 7.15 7.09 19.64 6.61 และ 20.38 BU ตามลำดับ (Table 4)

จากค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเหลืองในการประเมินค่า break down ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1540 และ 2000 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง และค่า regression coefficient ของแป้งฟลาวถั่วเหลืองในการประเมินค่า break down ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2000 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเขียวในการประเมินค่า break down จากแป้งฟลาว ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1540 และ 2000 นาโนเมตร และ ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเขียวในการประเมินค่า break down จากแป้งสตาร์ช ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2000 และ 2100 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง ส่วนแป้งฟลาวถั่วเขียวค่า regression coefficient ในการประเมินค่า break down ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1900 นาโนเมตร และค่า regression coefficient ของแป้งสตาร์ชถั่วเขียวในการประเมินค่า break down ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2252 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง (Figure 10)

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่า break down และค่าวิเคราะห์ break down ของเมล็ดถั่วเหลือง แป้งฟลาวถั่วเหลือง ค่า break down จากแป้งฟลาวกับเมล็ดถั่วเขียว ค่า break down จากแป้งสตาร์ชกับเมล็ดถั่วเขียว แป้งฟลาวถั่วเขียว แป้งสตาร์ชถั่วเขียว ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าค่า $R^2 = 0.81$ 0.81 0.71 0.82 0.95 และ 0.75 ตามลำดับ ค่า break down มีค่า 3-39 2-27 0-26 8-81 1-23 และ 3-81 BU ตามลำดับ (Figure 11) จะเห็นได้ว่าค่า break down ของเมล็ดถั่วเหลือง ตัวอย่างส่วนใหญ่ค่า break down มีอยู่ 3-30 BU แต่มีตัวอย่างที่มีค่าอยู่ช่วง 31-39 BU น้อย เนื่องจากเป็นตัวอย่างทดลองการปรับปรุงพันธุ์ จึงมีตัวอย่างที่มีค่าสูงจำนวนน้อย ควรเพิ่มตัวอย่างในการทดลองต่อไป

ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (set back)

จากการทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression โดยการใช้ spectra เริ่มต้น (original) กับค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (set back) ของเมล็ดถั่วเหลือง แป้งฟลาวถั่วเหลือง ค่า set back จากแป้งฟลาวกับเมล็ดถั่วเขียว ค่า set back จากแป้งสตาร์ชกับเมล็ดถั่วเขียว แป้งฟลาวถั่วเขียว แป้งสตาร์ชถั่วเขียว พบว่าสมการจาก original spectra ของค่า set back ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.96 0.93 0.90 0.95 0.95 และ 0.92 ตามลำดับ ค่า SEP = 2.20 3.18 3.11 11.92 2.68 และ 17.88 BU ตามลำดับ ค่า SEC = 2.08 2.25 2.62 10.85 2.09 และ 14.05 BU ตามลำดับ เมื่อทำ validation ค่า R = 0.97 0.96 0.93 0.96 0.97 และ 0.95 ตามลำดับ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 10 9 3 7 และ 10 ปัจจัย ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อน (SD) จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 8.89 8.77 7.15 41.29 8.82 และ 46.66 BU ตามลำดับ (Table 5)

จากค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเหลืองในการประเมินค่า set back ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1900 และ 2276 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง และค่า regression coefficient ของแป้งฟลาวถั่วเหลืองในการประเมินค่า set back ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression

coefficient อยู่ที่ 1528 และ 2276 นาโนเมตร เป็นค่าของแป้ง จากค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเขียวในการประเมินค่า set back จากแป้งฟลาว ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2276 นาโนเมตร และ ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเขียวในการประเมินค่า set back จากแป้งสตาร์ช ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2252 นาโนเมตร (Figure 12) เป็นค่าของแป้ง

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่า set back และค่าวิเคราะห์ set back ของเมล็ดถั่วเหลือง แป้งฟลาวถั่วเหลือง ค่า set back จากแป้งฟลาวกับเมล็ดถั่วเขียว ค่า set back จากแป้งสตาร์ชกับเมล็ดถั่วเขียว แป้งฟลาวถั่วเขียว แป้งสตาร์ชถั่วเขียว ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่า $R^2 = 0.85$ 0.85 0.93 0.91 0.90 และ 0.90 ตามลำดับ ค่า set back มีค่า 7-38 7-38 4-32 6-127 1-32 และ 6-201 BU ตามลำดับ (Figure 13)

การประเมินปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆ ในแป้งโดยเทคนิค NIR Spectroscopy

NIR spectra ของเมล็ดและแป้งพืช

ค่าการดูดซับแสงโดยใช้วัดค่าการสะท้อนของแสง (reflectance mode; $\log 1/R$) ที่ช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง NIRSystems 6500 ค่าการดูดซับแสงจะแสดงให้เห็นเป็น spectra พบว่าการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของตัวอย่างที่อยู่ในรูปเมล็ดจะสูงกว่าตัวอย่างที่เป็นแป้งค่าการดูดซับแสง ($\log 1/R$) ของเมล็ด และแป้งพืชที่มีปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆ แสดงใน Figure 14 จะสังเกตเห็นค่าการดูดซับแสงมากที่ความยาวคลื่น 1200 และ 1450 นาโนเมตร เนื่องจากการดูดกลืนของแป้ง (starch) และน้ำ

การสร้างสมการ

การสร้างสมการโดยใช้หลักการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธี PLSR สามารถสร้างสมการจากสเปกตรัมดั้งเดิม (original spectrum) โดยใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และค่าน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด จำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์ ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของน้ำตาลชนิดต่างๆ ค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ แสดงใน Table 6 และ Table 7

1. สมการสำหรับประเมินปริมาณน้ำตาลซูโครสของตัวอย่างที่อยู่ในรูปเมล็ดและแป้ง พบว่าความสัมพันธ์ในการทำนายค่ากับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่า R เท่ากับ 0.96 และ 0.90 ค่า SEC = 0.17 และ 0.24% ค่า SEP = 0.21 และ 0.26% ปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้อง 10 และ 17 ปัจจัย จากตัวอย่างทั้งหมด 88 และ 211 ตัวอย่าง ประสิทธิภาพของสมการดีกว่าค่า SD = 0.53 และ 0.64% ตามลำดับ

2. สมการสำหรับประเมินปริมาณน้ำตาลกลูโคสของตัวอย่างที่อยู่ในรูปเมล็ดและแป้ง พบว่าความสัมพันธ์ในการทำนายค่ากับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่า $R = 0.96$ และ 0.94 ค่า $SEC = 0.14$ และ 0.15% ค่า $SEP = 0.16$ และ 0.16% ปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้อง 13 และ 10 ปัจจัย จากตัวอย่างทั้งหมด 88 และ 211 ตัวอย่าง ประสิทธิภาพของสมการดีกว่า $SD = 0.20$ และ 0.50% ตามลำดับ

3. สมการสำหรับประเมินปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสของตัวอย่างที่อยู่ในรูปเมล็ดและแป้ง พบว่าความสัมพันธ์ในการทำนายค่ากับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่า $R = 0.86$ และ 0.96 ค่า $SEC = 0.28$ และ 0.17% ค่า $SEP = 0.31$ และ 0.19% ปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้อง 10 และ 9 ปัจจัย จากตัวอย่างทั้งหมด 88 และ 211 ตัวอย่าง ประสิทธิภาพของสมการดีกว่าค่า $SD = 0.64$ และ 0.59% ตามลำดับ

4. สมการสำหรับประเมินปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของตัวอย่างที่อยู่ในรูปเมล็ด ประสิทธิภาพในการทำนายค่ากับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่า $R = 0.98$ และ 0.97 ค่า $SEC = 0.28$ และ 0.28% ค่า $SEP = 0.34$ และ 0.31% ปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้อง 11 และ 10 ปัจจัย จากตัวอย่างทั้งหมด 88 และ 211 ตัวอย่าง ประสิทธิภาพของสมการดีกว่าค่า $SD = 1.35$ และ 1.28% ตามลำดับ (Table 8)

จากค่า Regression coefficient (Figure 15) ของเมล็ดมีตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่าสูงอยู่ที่ 1200 1440 2000 และ 2276 นาโนเมตร Osborne *et al.* (1993) รายงานว่า ความยาวคลื่น 1195 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับ CH_2 ความยาวคลื่น 1215 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับพันธะ C-H ความยาวคลื่น 2000 2100 2276 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับแป้งสตาร์ช ค่า Regression coefficient (Figure 16) ของแป้งพืช มีตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่าสูงอยู่ที่ความยาวคลื่น 1215 2000 2124 2276 นาโนเมตร Osborne *et al.* (1993) รายงานว่า ความยาวคลื่น 1215 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับพันธะ C-H ความยาวคลื่น 2000 2100 2276 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับสตาร์ช ความยาวคลื่น 2110 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับ $CONH_2$ ความยาวคลื่น 2242 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับกรดอะมิโน (amino acid) ความยาวคลื่น 2080 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับน้ำตาลซูโครส จากการประเมินค่าปริมาณกลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส และน้ำตาลทั้งหมด ด้วย NIRS จากตัวอย่างในรูปแป้งและเมล็ด พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับค่าการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Figure 17-18)

การประเมินปริมาณสารแคโรทีนอยด์ในข้าวโพดต่างๆ โดยใช้เทคนิคการไม่ทำลายตัวอย่างด้วย Near Infrared Spectroscopy

Near Infrared Spectroscopy spectra ของเมล็ดข้าวโพด และแป้งฟลาวข้าวโพด

ค่าการดูดซับแสง ($\log_{10}1/R$) ของสารแคโรทีนอยด์ เมล็ดข้าวโพด มีค่าดูดซับแสงอยู่ที่ 2347 นาโนเมตร เป็น peak ของไขมัน สอดคล้องกับ Williams and Norris (2001) พบว่า peak ที่ค่าดูดซับแสงที่ 2347 นาโนเมตร เป็น peak ของไขมัน ซึ่ง peak ของไขมันมีความสัมพันธ์กับสารแคโรทีนอยด์ เนื่องจากแคโรทีนอยด์ เป็นอนุพันธ์ของไขมัน (Simpson *et al.*, 1989) และที่ค่าดูดซับแสงที่ 2347 นาโนเมตร เกี่ยวกับพันธะไฮโดรคาร์บอน (C-H bond) ของไขมัน (Murray, 1986) ที่ค่าดูดซับแสงที่ 1720 และ 1766 นาโนเมตร เกี่ยวกับพันธะคาร์บอนและออกซิเจน (C-O bond) และพันธะไฮโดรคาร์บอน (C-H bond) น่าจะเป็น peak ของแคโรทีนอยด์ที่เกี่ยวข้องกับซีแซนทีน และที่ค่าดูดซับแสงที่ 2270 นาโนเมตร เกี่ยวกับพันธะคาร์บอนและออกซิเจน (C-O bond) และ

หมู่ไฮดรอกซิล (OH) น่าจะเป็น peak ของแคโรทีนอยด์ที่เกี่ยวข้องกับลูทีน และแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่าดูดซับแสงที่ 1158 นาโนเมตร เป็น peak ของแคโรทีนอยด์ที่เกี่ยวข้องกับลูทีน (Figure 19)

การทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression ของเมล็ดข้าวโพดและแป้งฟลาวข้าวโพด

ผลการประเมินหาปริมาณสารแคโรทีนอยด์ จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ลูทีน (lutein) ซีแซนทีน (zeaxanthin) เบต้า คริปโตแซนทีน (beta cryptoxanthin) และ เบต้า แคโรทีน (beta carotene) สร้างสมการที่ใช้ประเมินปริมาณสารแคโรทีนอยด์ในเมล็ดข้าวโพด มีค่า R = 0.91 0.90 0.93 และ 0.90 ตามลำดับ มีค่า SEP = 0.33 0.77 0.01 และ 0.32 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ แต่ต่ำกว่าค่า SD = 0.81 0.18 0.04 และ 0.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ จากนั้นนำเมล็ดข้าวโพดไปทำเป็นแป้งฟลาวและนำมาสแกน ได้ spectrum สร้างสมการที่ใช้ประเมินปริมาณสารลูทีน มีค่า R = 0.90 0.92 0.91 และ 0.90 ตามลำดับ มีค่า SEP = 0.39 0.07 0.01 และ 0.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ แต่ต่ำกว่าค่า SD = 0.91 0.19 0.05 และ 1.23 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Table 8)

ค่า regression coefficient ของเมล็ดข้าวโพด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1410 นาโนเมตร เป็นค่าของสารลูทีน ค่า regression coefficient ของแป้งฟลาวข้าวโพด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1230 1950 และ 2378 nm เป็นค่าของสารลูทีน (Brenna and Berardo, 2004) ค่า regression coefficient ของเมล็ดข้าวโพด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 1898 นาโนเมตร เป็นค่าของสารซีแซนทีน ส่วนค่า regression coefficient ของแป้งฟลาวข้าวโพด ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2200 นาโนเมตร เป็นค่าของสารซีแซนทีน ค่า regression coefficient ของเมล็ดข้าวโพด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2200 นาโนเมตร เป็นสารแคโรทีนอยด์ อาจจะเกี่ยวข้องกับค่าของสารเบต้า คริปโตแซนทีน ส่วนค่า regression coefficient ของแป้งฟลาวข้าวโพด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2200 นาโนเมตร เป็นสารแคโรทีนอยด์ อาจจะเกี่ยวข้องกับค่าของสารเบต้า คริปโตแซนทีน ค่า regression coefficient ของเมล็ดข้าวโพด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2347 นาโนเมตร อาจจะเกี่ยวข้องกับค่าของสารเบต้า แคโรทีน ส่วนค่า regression coefficient ของแป้ง ฟลาวข้าวโพด ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2347 นาโนเมตร อาจจะเกี่ยวข้องกับค่าของสารเบต้า แคโรทีน (Figure 20)

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ และค่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ ของเมล็ดข้าวโพดและแป้งฟลาวข้าวโพดในห้องปฏิบัติการ

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ และค่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ของเมล็ดข้าวโพดที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าความสัมพันธ์ในการทำนายค่ากับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของสารลูทีน สารซีแซนทีน สารเบต้า คริปโตแซนทีน และสารเบต้า แคโรทีน มีค่า R² = 0.85 0.84 0.89 และ 0.80 ตามลำดับ และค่าปริมาณสารลูทีนของเมล็ดข้าวโพด 1.88-5.59 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนั้นยังมี

ผลต่อปริมาณสารลูทีนแล้ว ยังพบว่าข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวใหม่มีปริมาณสารลูทีนสูงกว่าข้าวโพดที่เก็บรักษาไว้ ซึ่งสารซีแซนทีน 0.43-1.25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สารเบต้า คริปโตแซนทีน 0.01-0.19 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สารเบต้า แคโรทีน 2.13-4.95 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และการหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์และค่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ของแป้งฟลาวข้าวโพดที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ความสัมพันธ์ในการทำนายค่ากับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของสารลูทีน สารซีแซนทีน สารเบต้า คริปโตแซนทีน และสารเบต้า แคโรทีน มีค่า $R^2 = 0.82$ 0.82 0.82 และ 0.78 ตามลำดับ และค่าปริมาณสารลูทีนของเมล็ดข้าวโพด 1.88-6.94 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สารซีแซนทีน 0.43-1.25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สารเบต้า คริปโตแซนทีน 0.016-0.211 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สารเบต้า แคโรทีน 0.00-5.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Figure 21) การทดลองต่อไปควรเพิ่มตัวอย่างในการทดลอง ข้าวโพดที่นำมาใช้ทดลองมีทั้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดข้าวเหนียว ทำให้ค่าสารแคโรทีนอยด์ยังขาดบางค่าไป ข้าวโพดข้าวเหนียวมีสารแคโรทีนอยด์น้อยกว่าข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของสารให้สีที่มีสีเหลือง ส้ม และแดง (Goodwin, 1980)

สรุปผลการทดลอง

เทคนิค Near Infrared Spectroscopy สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ประเมินปริมาณโปรตีนคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดและแป้งฟลาว ถั่วเหลืองและถั่วเขียว ประเมินความหนืดของเมล็ดและแป้งฟลาว ถั่วเหลืองและถั่วเขียว แป้งสตาร์ชของถั่วเขียว น้ำตาลในแป้งพืช แคโรทีนอยด์ของเมล็ดและแป้งฟลาวของข้าวโพดพันธุ์ต่างๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2534. การแปรรูปและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเขียว. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการใช้นวัตกรรมเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตถั่วเขียว. ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. หน้า 149-157.
- Brenna, O.V. and N. Berardo. 2004. Application of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to the evaluation of carotenoids content in maize. *Agric. Food Chem. J.* 52: 5557-5582.
- Dull, G.G., G.S. Birth, D.A. Smittle and R.G. Leffler. 1989. Near infrared analysis of soluble solids in intact cantaloupe. *Food Sci. J.* 54: 393-395.
- Dull, G.G., R.G. Leffler, A. Birth and A. Smittle. 1992. Instruments for non-destructive measurement of soluble solids in honeydew melons. *Transactions of the ASAE. J.* 35: 735-737.
- Goodwin, T.W. 1980. Nature and distribution of carotenoids. *Food Chemistry. J.* 5: 3-13.
- Gunasekaran, S. 2001. Nondestructive food evaluation: Techniques to analyze properties and quality food science and technology. Marcel Dekker, Inc.: New York. 440 p.

- Guthrie, J.A., C.J. Liebensberg and K.B. Walsh. 2006. NIR model development and robustness in prediction of melon fruit total soluble solids. *Australian J. Agric. J.* 57: 411-418.
- Ito, H., S. Morimoto, R. Yamuchi, K. Ippoushi, K. Azuma, H. Higashio. 2002. Potential of near infrared spectroscopy for non-destructive estimation of soluble solids in watermelons. In *Proceedings of the Second International Symposium on Cucurbits*, Tsukuba, Japan, 28 September to 1 October, 2001. *Acta Horticulturae* 588: 353-356.
- Iyo, C. and S. Kawano. 2001. Predicting Brix values of stored apples using near infrared spectra. *J. Japanese. Soc. Hort. Sci. J.* 70: 510-515.
- Lu R. 2001. Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using near infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Transactions of the ASAE. J.* 44: 1265-1271.
- Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. *Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis*, 2nd ed. Essex: Longman Scientific & Technical.
- Peiris, K.H.S., G.G. Dull, R.G. Leffler, and S.J. Kays. 1997. Nondestructive determination of soluble solids content of peach by near infrared spectroscopy, pp. 77-87. In: *Sensors for Nondestructive Testing: Measuring the Quality of Fresh Fruits and Vegetables*. Orlando, FL. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York. 440p.
- Puwastein P., M. Raroengwichit, M., Sungpuag, P. and K. Judprasong. 1999. *Thai food composition tables*. Institute of Nutrition, Mahidol University Inc: Nakhon Pathom. 150 p.
- Slaughter, D.C., 1995. Nondestructive determination of internal quality in peaches and nectarines. *Trans. ASAE. J.* 38: 617-623.
- Tsuchikawa S., E. Sakai and K. Inoue. 2003. Application of time-of-flight near infrared spectroscopy to detect sugar and acid content in *Satsuma mandarin*. *Amer. Soc. Hort. Sci. J.* 128: 391-396.
- Williams, P. and K. Norris. 2001. *Near infrared technology in the agricultural and food industries*. Inc.: St Paul, Minesota, USA, 312 p.

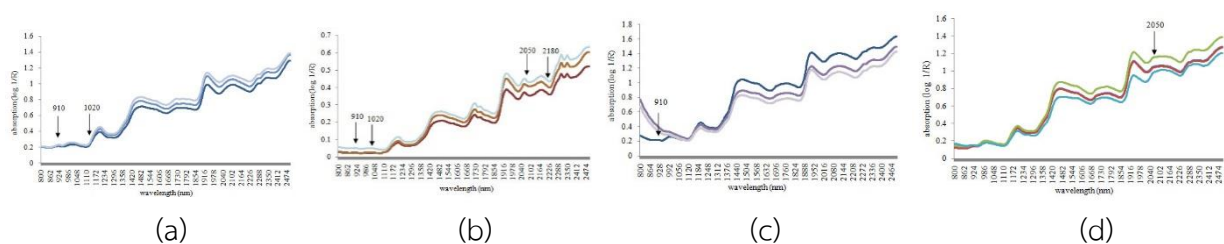


Figure 1. The original NIR spectra of protein in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains (c) and mungbean flours (d) in wavelength range 800–2500 nm

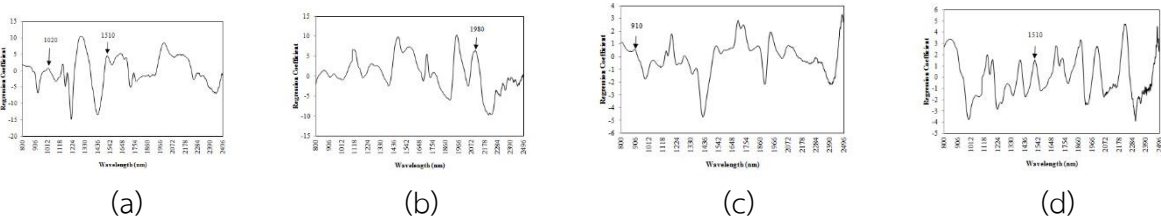


Figure 2. Regression coefficient plots to evaluate protein value in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains (c) and mungbean flours (d)

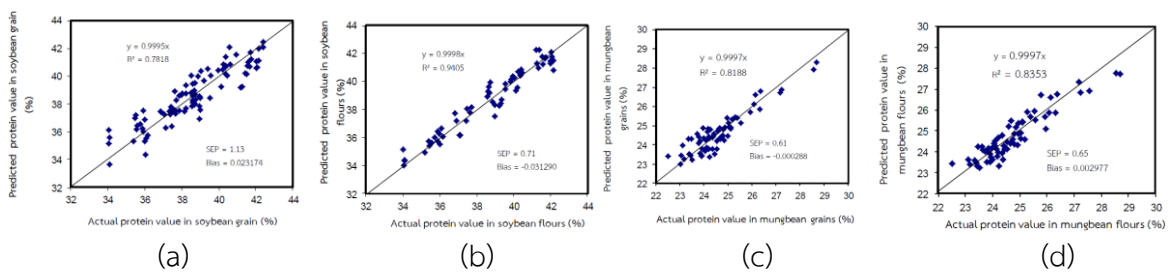


Figure 3. Scatter plots of actual protein values (%) in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains (c) and mungbean flours (d) vs. NIR-predicted protein value (%) in validation set

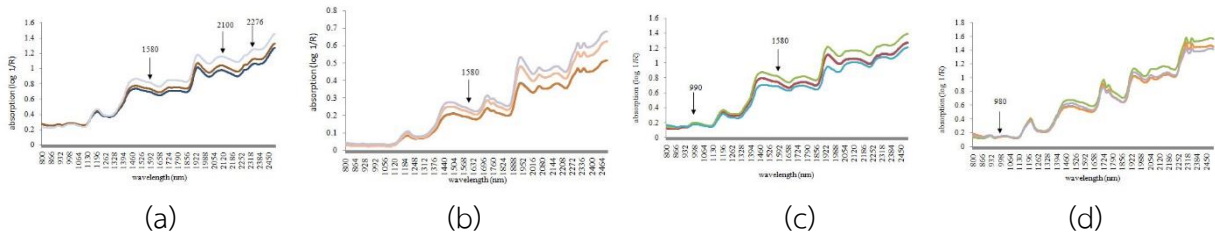


Figure 4. The original NIR spectra of carbohydrate contents in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains (c) and mungbean flours (d) in wavelength range 800–2500 nm

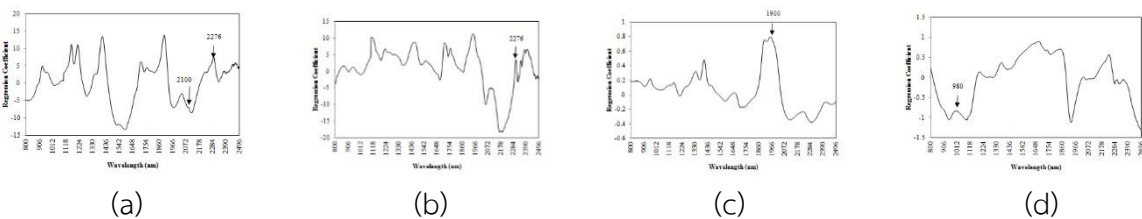


Figure 5. Regression coefficient plots to evaluate carbohydrate values in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains (c) and mungbean flours (d)

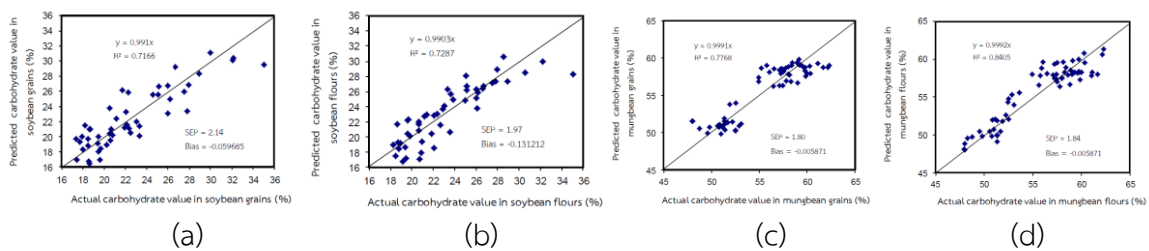


Figure 6. Scatter plots of actual carbohydrate value (%) in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains (c) and mungbean flours (d) vs. NIR-predicted carbohydrate value (%) in validation set

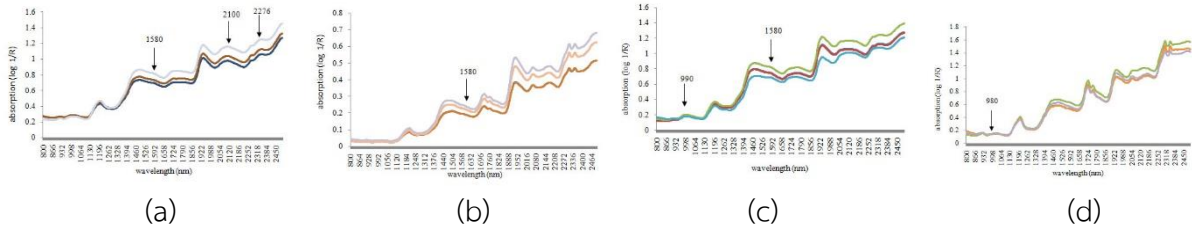


Figure 7. The original NIR spectra of viscosity in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains (c) and mungbean flours (d) in wavelength range 800–2500 nm

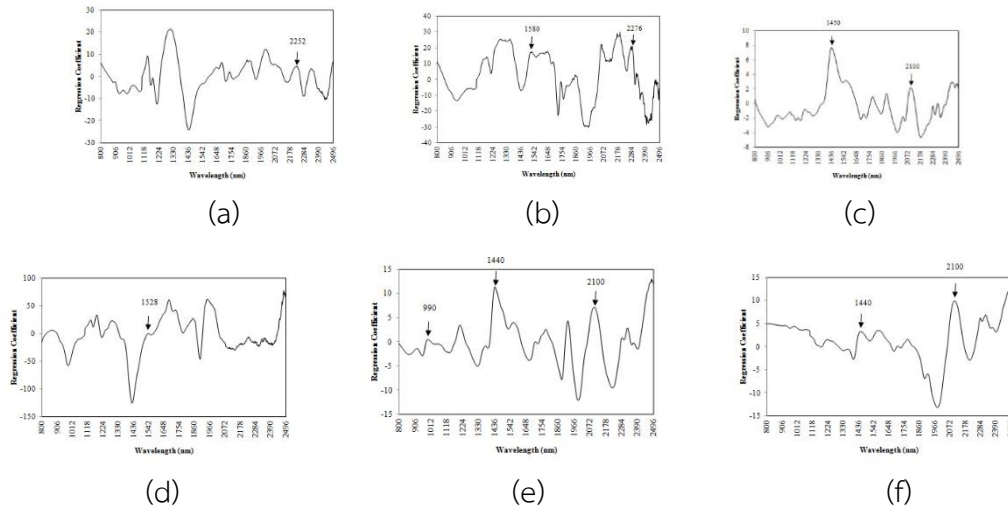


Figure 8. Regression coefficient plots to evaluate maximum viscosity value in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains correlated with flours (c), mungbean grains correlated with flours (d), mungbean flours (e) and mungbean starches (f)

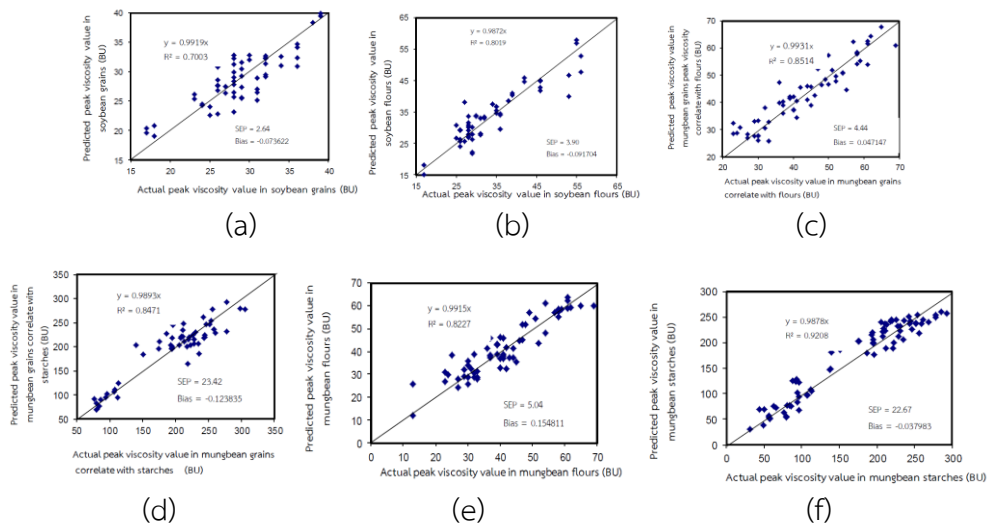


Figure 9. Scatter plots of actual maximum viscosity value (BU) in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains correlate with flours (c), mungbean grains correlate with flours (d), mungbean flours (e) and mungbean starches (f) vs. NIR-predicted maximum viscosity value in validation set

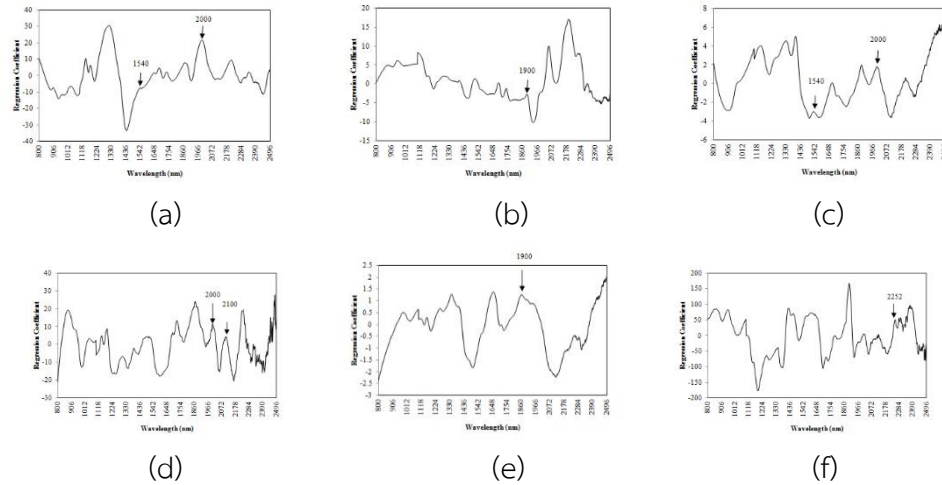


Figure 10. Regression coefficient plots to evaluate break down value of soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains correlate with flours (c), mungbean grains correlate with flours (d), mungbean flours (e) and mungbean starches (f)

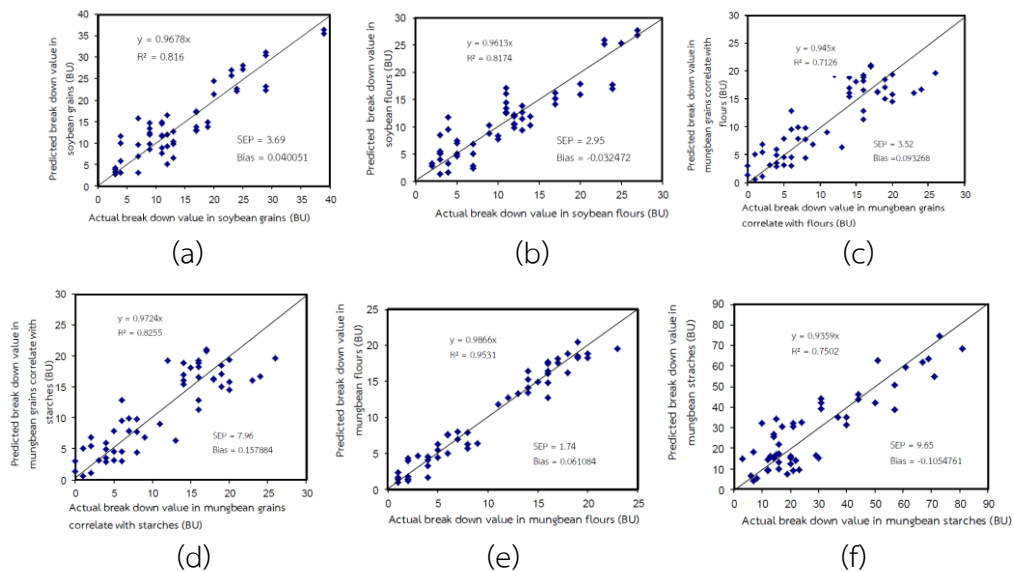


Figure 11. Scatter plots of actual break down value (BU) in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains correlated with flours (c), mungbean grains correlated with

flours (d), mungbean flours (e) and mungbean starches (f) vs. NIR-predicted break down value in validation set

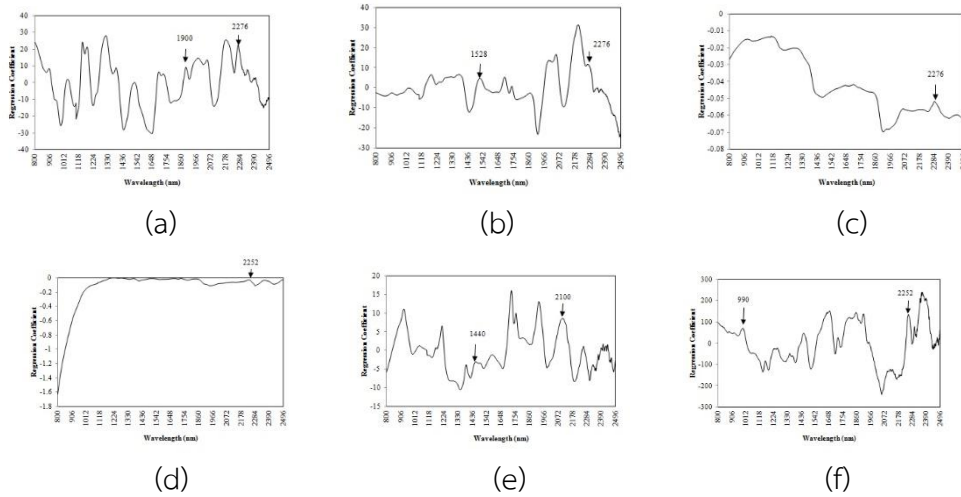


Figure 12. Regression coefficient plots for evaluating set back value of soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains correlate with flours (c), mungbean grains correlate with flours d), mungbean flours (e) and mungbean starches (f)

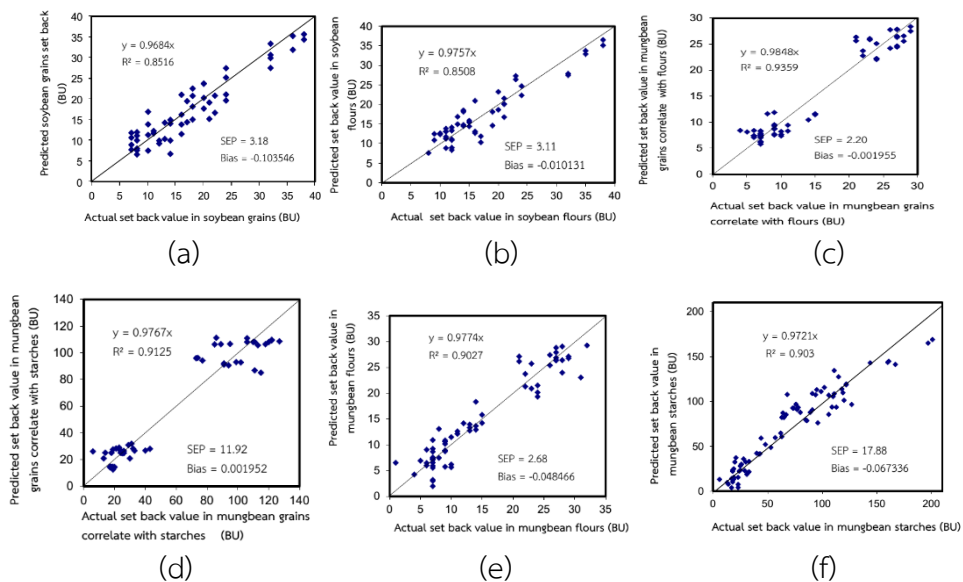


Figure 13. Scatter plots of actual set back value (BU) in soybean grains (a), soybean flours (b), mungbean grains correlated with flours (c), mungbean grains correlated with flours (d), mungbean flours (e) and mungbean starches (f)

(d), mungbean flours (e) and mungbean starches (f) vs. NIR-predicted set back value in validation set

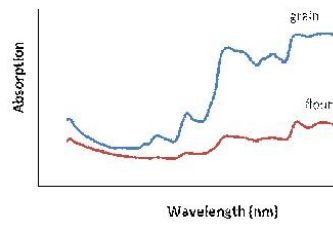


Figure 14. The original NIR spectra of field crop grains and flours in wavelength range 800–2500 nm

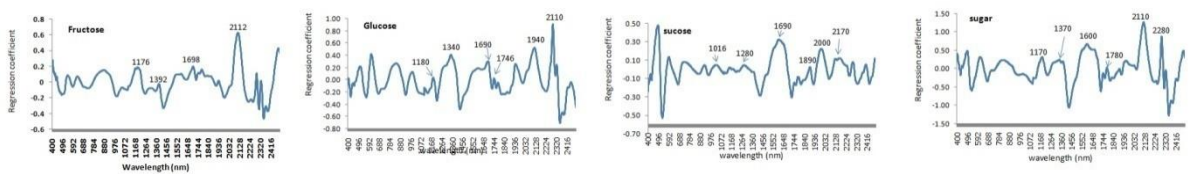


Figure 15. Regression coefficient plots to evaluate contents of sucrose, glucose, fructose and total sugar in grains

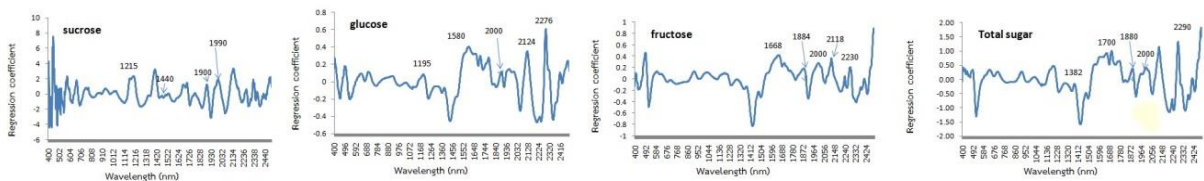


Figure 16. Regression coefficient plots to evaluate contents of sucrose, glucose, fructose and total sugar in flours

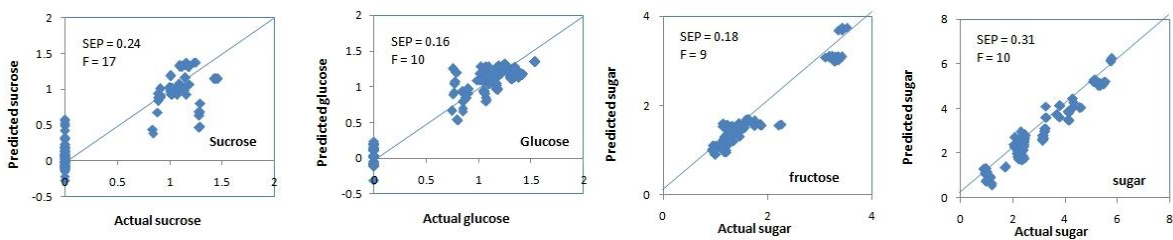


Figure 17. Scatter plots of actual sucrose, glucose, fructose and total sugar values (%) in grains

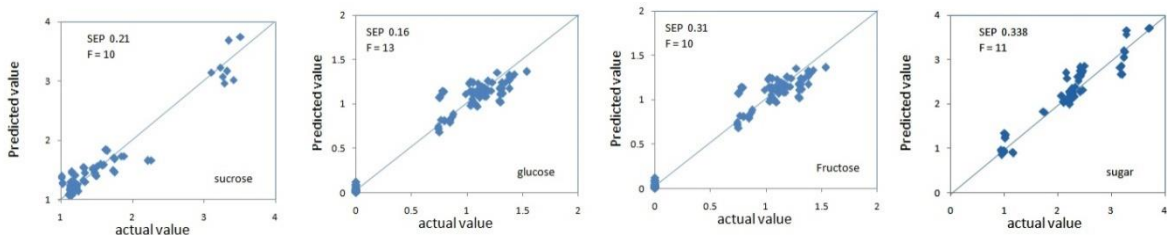


Figure 18. Scatter plots of actual sucrose, glucose, fructose and total sugar values (%) in flours

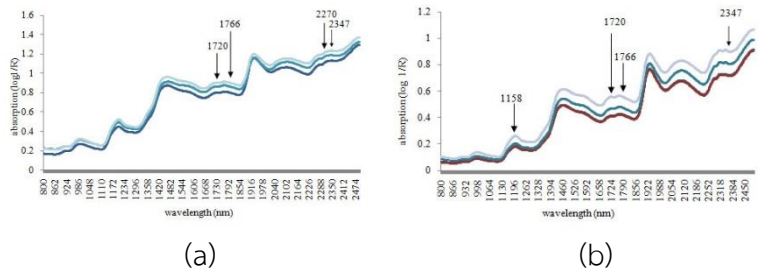


Figure 19. The original NIR spectra of maize grains (a) and maize flour (b) in wavelength range 800–2500 nm

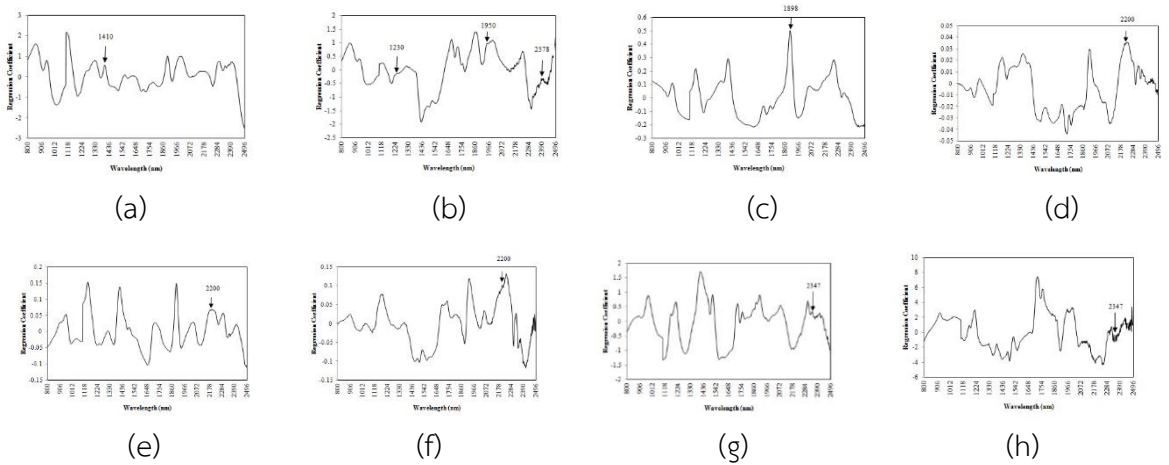


Figure 20. Regression coefficient plots to evaluate lutein value (mg/100 g) in maize grains (a) and flours (b), zeaxanthin value (mg/100 g) in maize grains (c) and flours (d), cryptoxanthin value (mg/100 g) in maize grains (e) and flours (f), and beta carotene value (mg/100 g) in maize grains (g) and flours (h)

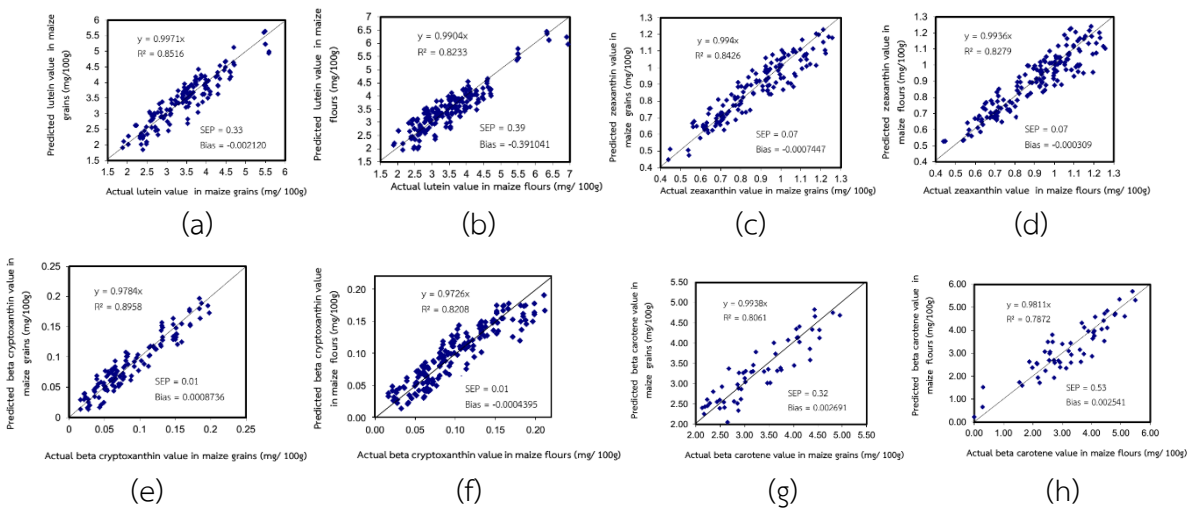


Figure 21. Scatter plots of actual lutein value (mg/100 g) in maize grains (a) and flours (b), zeaxanthin value in maize grains (c) and flours (d), cryptoxanthin value in maize grains (e) and flours (f), and beta carotene value in maize grains (g) and flours (h) vs. NIR-predicted carotenoid values of maize in validation set

Table 1. Partial Least Square Regression calibration result for predicting protein value in soybean grains, soybean flours, mungbean grains and mungbean flours

Type	Math method	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	RPD
Soybean grains	Original	800-2500	10	0.85	0.09	1.13	2.14	0.023174	1.89
Soybean flours	Original	800-2500	10	0.95	0.58	0.71	2.47	-0.031290	3.47
Mungbean grains	Original	800-2500	10	0.85	0.46	0.61	1.17	-0.000288	1.91
Mungbean flours	Original	800-2500	10	0.85	0.46	0.65	1.22	0.002977	1.87

F: the number of factors used in the calibration equation SEP: standard error of prediction

R: multiple correlation coefficients SEC: Standard error of calibration

Bias: the average of difference between actual value and NIR value

RPD: the ratio of standard deviation of reference data in the validation set to SEP

Table 2. Partial Least Square Regression calibration result for predicting carbohydrate value of grains, soybean flours, mungbean grains and mungbean flours

Type	Math method	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	RPD
Soybean grains	Original	800-2500	8	0.86	1.56	2.14	4.29	-0.059685	2.00
Soybean flours	Original	800-2500	9	0.86	1.39	1.97	3.89	-0.131212	1.92
Mungbean grains	Original	800-2500	3	0.88	1.67	1.80	3.92	-0.005871	2.17
Mungbean flours	Original	800-2500	7	0.89	1.54	1.84	4.16	-0.020570	2.26

Table 3. Partial Least Square Regression calibration result for predicting maximum viscosity value in soybean, mungbean grains and flours

Type	Math method	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	RPD
Soybean grains	Original	800-2500	10	0.85	1.93	2.64	5.10	-0.073622	1.93
Soybean flours	Original	800-2500	10	0.90	2.95	3.90	9.31	-0.091704	2.38
Mungbean grains correlate with flours	Original	800-2500	7	0.92	3.50	4.44	12.04	0.047147	2.71
Mungbean grains correlate with starches	Original	800-2500	9	0.92	17.65	23.42	62.18	-0.123835	2.65
Mungbean flours	Original	800-2500	7	0.91	4.02	5.04	12.74	0.154811	2.52
Mungbean starches	Original	800-2500	7	0.95	20.83	22.67	76.50	-0.037983	3.37

Table 4. Partial Least Square Regression calibration result for predicting break down value in soybean, mungbean grains and flours

Type	Math method	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	RPD
Soybean grains	Original	800-2500	9	0.91	2.62	3.69	8.90	0.040051	2.41
Soybean flours	Original	800-2500	7	0.91	2.41	2.95	7.15	-0.032472	2.42
Mungbean grains correlate with flours	Original	800-2500	7	0.86	2.90	3.52	7.09	0.093268	2.01
Mungbean grains correlate with starches	Original	800-2500	10	0.91	4.96	7.96	19.64	0.157884	2.46
Mungbean flours	Original	800-2500	7	0.96	1.41	1.74	6.61	0.061084	3.79
Mungbean starches	Original	800-2500	9	0.88	7.38	9.65	20.38	-0.105476	2.11

Table 5. Partial Least Square Regression calibration result for predicting set back value in soybean, mungbean grains and flours

Type	Math method	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	RPD
Soybean grains	Original	800-2500	10	0.93	2.25	3.18	8.77	-0.103546	2.75
Soybean flours	Original	800-2500	9	0.90	2.62	3.11	7.15	-0.010131	2.29

Mungbean grains correlate with flours	Original	800-2500	2	0.96	2.20	2.20	8.89	-0.001955	4.04
Mungbean grains correlate with starches	Original	800-2500	3	0.95	10.85	11.92	41.29	0.001952	3.46
Mungbean flours	Original	800-2500	7	0.95	2.09	2.68	8.82	-0.048466	3.29
Mungbean starches	Original	800-2500	10	0.92	14.05	17.88	46.66	-0.067336	2.60

Table 6. Statistical characteristics of sucrose, glucose, fructose, and total sugar in grains

Items	Type	Sucrose	Glucose	Fructose	Total sugar
Minimum-Maximum	Grains	0.9312-3.511	0-1.5352	0-1.458	0.93-5.81
Average	Grains	1.459	0.85	1.41	2.76
SD	Grains	0.644	0.50	0.59	1.28
Number of samples	Grains	211	211	211	211
Unit		%	%	%	%

Table 7. Statistical characteristics of sucrose, glucose, fructose, and total sugar in flours

Items	Type	Sucrose	Glucose	Fructose	Total sugar
Minimum-Maximum	Flour	0-1.458	0-1.54	0.93-3.511	0.93-5.8069
Average	Flour	0.367	0.935	1.409	2.71
SD	Flour	0.53	0.199	0.589	1.347
Number of samples	Flour	211	211	211	211
Unit		%	%	%	%

Table 8. Partial Least Square calibration result for predicting sucrose, glucose, fructose, and total sugar value of grains and flours

Items	Type	R	SEC	SEP	Bias	SD	N	F
Sucrose	grains	0.96	0.17	0.21	0.0050	0.53	88	10
	flours	0.90	0.24	0.26	-0.0006	0.64	211	17
Glucose	grains	0.96	0.14	0.16	-0.0034	0.20	88	13
	flours	0.94	0.15	0.16	-0.0010	0.50	211	10
Fructose	grains	0.86	0.28	0.31	0.0014	0.64	88	10
	flours	0.96	0.17	0.19	0.0006	0.59	211	9
Total sugar	grains	0.98	0.28	0.34	-0.0090	1.34	88	11
	flours	0.97	0.28	0.31	-0.0047	1.28	211	10

Table 9. Partial Least Square calibration result for predicting lutein, zeaxanthin, beta cryptoxanthin and beta carotene values of maize grains and flours

Carotenoids	Type	Math	Wavelength	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	RPD
-------------	------	------	------------	---	---	-----	-----	----	------	-----

		method	(nm)								
Lutein	maize grains	Original	800-2500	10	0.91	0.28	0.33	0.81	-0.002120	2.45	
	maize flours	Original	800-2500	9	0.90	0.35	0.39	0.91	-0.391041	2.33	
Zeaxanthin	maize grains	Original	800-2500	8	0.90	0.06	0.07	0.18	-0.0007447	2.57	
	maize flours	Original	800-2500	6	0.92	0.06	0.07	0.19	-0.000309	2.71	
Beta	maize grains	Original	800-2500	10	0.93	0.01	0.01	0.04	0.0008736	4.00	
cryptoxanthin	maize flours	Original	800-2500	10	0.91	0.01	0.01	0.05	-0.0004395	5.00	
Beta carotene	maize grains	Original	800-2500	9	0.90	0.23	0.32	0.77	0.002691	2.40	
	maize flours	Original	800-2500	10	0.90	0.36	0.53	1.23	0.002541	2.32	