

รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย :
2. โครงการวิจัย : ศึกษาศึกษาการจัดการเพื่อลดการสูญเสียปริมาณ คุณภาพและเพิ่มมูลค่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์...
กิจกรรม : การประเมินคุณภาพและสารสำคัญในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ต่างๆ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy
กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) :
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย): การประเมิน ความชื้น ปริมาณโปรตีน ความหนืด อมิโลส น้ำตาล คุณภาพน้ำมัน ปริมาณสารแอฟลาทอกซิน ในเมล็ดและแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): Evaluation of Moisture, Protein, Viscosity, Amylose, Sugar, Oil Quality and Aflatoxin Contents of Maize Grain and Flour Using Near Infrared Spectroscopy
4. คณะผู้ดำเนินงาน
หัวหน้าการทดลอง : นางสาวอรุวรรณ จิตต์ธรรม กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
ผู้ร่วมงาน : นางสาวจารุวรรณ บางแวก กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

5. Abstract

Chemical compositions are the most important thing that indicates grain quality and their products. In current study, chemical compositions such as moisture, protein, amylose, max viscosity, glucose, sucrose, oil quality or aflatoxin content were analyzed in laboratory. The aim of this research was to evaluate the efficiency of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) for estimating chemical compositions and aflatoxin content of maize grain and flour. This research was conducted at postharvest processing research and development division during year 2015-2018. Two hundred and fifty-three samples of maize grain and flour from different varieties of maize harvested at different time intervals were collected. All samples were analyzed for chemical compositions and aflatoxin contents by reference methods and also scanned by NIRS at wavelength 400-2500 nanometer. The Unscrambler software was used for Partial Least Squares (PLS) regression. The Results of modeling for moisture, protein, amylose, max viscosity, glucose and sucrose showed strong correlation coefficient ($R = 0.83-0.97$) and low standard error of prediction (SEP), while oil quality (acid value and peroxide value) and aflatoxin contents showed high correlation coefficient ($R = 0.84-0.97$) and slightly high SEP. This study indicates that NIRS can be used to precisely predict for moisture, protein, amylose, max viscosity, glucose and

sucrose of maize grain and flour, whereas equations of oil quality and aflatoxin need to improve for more accurate prediction.

Key words: Near Infrared Spectroscopy (NIRS), maize, chemical composition

บทคัดย่อ

องค์ประกอบทางเคมีเป็นสิ่งสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะและคุณภาพของเมล็ดรวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเมล็ด ในปัจจุบันการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพ เช่น ความชื้น โปรตีน อมิโลส ความหนืดสูงสุด น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส คุณภาพน้ำมันและสารแอฟลาทอกซินต้องวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการใช้เครื่องมือและสารเคมีหลายชนิด ใช้เวลานานรวมทั้งผู้ดำเนินการต้องมีความชำนาญ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีมาประยุกต์ใช้ในการประเมินองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด ทำการทดลอง ณ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ในปี 2558-2561 โดยรวบรวมเมล็ดข้าวโพดที่คุณภาพและสายพันธุ์ต่างๆกันนำไปทำแป้ง ฟลาวจำนวน 253 ตัวอย่าง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร ด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีและวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดและสารแอฟลาทอกซิน ด้วยวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างและสมการถดถอยเชิงสมการเส้นด้วยวิธี PLS Regression โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler ผลการทดลองพบว่าสมการปริมาณความชื้น โปรตีน อมิโลส ความหนืดสูงสุด น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลซูโครส มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($R=0.83-0.97$) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของสมการประเมินต่ำ สำหรับคุณภาพน้ำมัน(ค่าความเป็นกรดและค่าความหืน) และปริมาณสารแอฟลาทอกซิน พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง($R=0.84-0.97$) แต่ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของสมการประเมินค่อนข้างสูง จากการทดลองสรุปได้ว่าเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินความชื้น โปรตีน อมิโลส ความหนืดสูงสุด น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลซูโครสในเมล็ดและแป้ง ฟลาวข้าวโพดได้ สำหรับคุณภาพน้ำมันและปริมาณสารแอฟลาทอกซิน พบว่าสมการยังมีค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่อนข้างสูง จึงต้องมีการปรับปรุงสมการเพื่อให้การประเมินมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

คำหลัก: เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ข้าวโพด องค์ประกอบทางเคมี

6. คำนำ

ข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและมีการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์และการแปรรูป เป็นต้น องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพด เช่น แป้ง ความชื้น โปรตีน น้ำมัน ความหนืด อมิโลส ปริมาณน้ำตาล และการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อรา เป็นสิ่งสำคัญที่บ่ง

บอกถึงคุณลักษณะและคุณภาพของเมล็ดข้าวโพดรวมทั้งความสามารถในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ องค์ประกอบทางเคมีขึ้นกับสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก (Szyzkowska *et al.*, 2007) การวิเคราะห์คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ก่อนการบริโภคจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวต้องใช้เวลาานาน ใช้เครื่องมือและสารเคมีหลายชนิด ผู้ดำเนินการต้องมีความชำนาญ เทคนิค NIRS จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจที่สามารถนำมาใช้แทนการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้หลักการการสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation) หรือ R ระหว่างค่าการดูดซับแสงเนียร์อินฟราเรดที่ส่องผ่านวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ และค่าที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้สมการที่มีค่าความสัมพันธ์สูง ความผิดพลาดมาตรฐานของสมการประเมิน(SEP) ต่ำ สามารถนำสมการที่ได้ใช้ทำนายค่าของตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์รวดเร็ว แม่นยำ ไม่ทำลายตัวอย่าง และมีค่าใช้จ่ายต่ำ เทคนิค NIRS เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น ปริมาณโปรตีน Tryptophane และ lycene ในข้าวโพด (Rosales *et al.*, 2011) ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสในน้ำข้าวฟ่าง (Simeone *et al.*, 2017) และใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อาหาร ยา และเครื่องสำอาง (Blanco *et al.*, 2007; Bock and Connelly, 2008; Sakudo, 2016) เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อศึกษาการนำเทคนิค NIRS ไปประยุกต์ใช้ในการประเมินความชื้น ปริมาณโปรตีน ความหนืด อมิโลส น้ำตาล คุณภาพน้ำมัน ปริมาณสารแอฟลาทอกซิน ในเมล็ดและแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยไม่ทำลายตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดข้าวโพดและแป้งฟลาวข้าวโพด
2. เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer จากบริษัท FOSS รุ่น 6500
3. ตู้อบ เครื่องบด เครื่องชั่ง เครื่องแก้ว
4. อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์โปรตีน ความหนืด อะมิโลส น้ำตาล น้ำมัน และสารแอฟลาทอกซิน

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง รวบรวมตัวอย่างเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดที่มีคุณภาพต่างๆกันจำนวน 250 ตัวอย่าง นำไปวัดการดูดซับแสงโดยบรรจุในเซลล์สำหรับวัดการดูดซับแสงของเครื่อง Near Infrared Spectrometer รุ่น 6500 โดยใช้หลักการสะท้อนแสง (Reflection) ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี nitrogen combustion (AOAC, 2006) วิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brabender Micro Visco-Amylo-

Graph อะมิโลส (Juliano, 1979) น้ำตาล ด้วยเครื่อง HPLC วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันจากค่า Acid value (AV) และ Peroxide value (PV) (AOAC, 1995) และสารแอฟลาทอกซินด้วย ELISA test kit

3. สร้างสมการ สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler® version 9.7 (CAMO, Oslo, Norway) พร้อมทั้งปรับปรุงสมการ โดยคัดเลือกสมการที่มีค่าความสัมพันธ์ (R) สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration: SEC) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของสมการประเมินต่ำ (SEP) ต่ำ

4. ทดสอบสมการ โดยนำสมการไปใช้ประเมินปริมาณความชื้น โปรตีน ความหนืด อะมิโลส น้ำตาล คุณภาพน้ำมันและสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด

ระยะเวลา ต.ค. 2558 –ก.ย. 2561

สถานที่ดำเนินงานที่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณสมบัติของตัวอย่างในการทำสมการ

เก็บตัวอย่างข้าวโพดจำนวน 253 ตัวอย่าง ไปวัดค่าการดูดซับแสงในย่าน Near Infrared ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร (Figure 1) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ค่าความหนืดสูงสุด ปริมาณ อะมิโลส น้ำตาล 2 ชนิด คือ กลูโคส และซูโครส คุณภาพน้ำมันด้านค่าความเป็นกรด (AV) และค่าความหืน (PV) และปริมาณสารแอฟลาทอกซินตามวิธีในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมล็ดข้าวโพด มีความชื้นอยู่ในช่วง 6.89-37.98% โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 7.24-9.22% ปริมาณน้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 1.13-1.46% ซูโครส 1.08-1.32% คุณภาพน้ำมันด้านค่าความเป็นกรด (AV) มีค่าอยู่ในช่วง 4.70-135.41 มิลลิกรัม KOH/กรัมไขมัน (mgKOH/g) ค่าความหืน (PV) มีค่าอยู่ในช่วง 1.03-40.97 มิลลิกรัมสมบูรณ/น้ำมัน 1 กิโลกรัม (mEq/kg) และปริมาณสารแอฟลาทอกซินอยู่ในช่วง 0-307 ppb (Table 1)

คุณสมบัติของตัวอย่างแป้งฟลาวข้าวโพดที่ใช้ในการทำสมการความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 10.75-16.77% โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 6.05-10.20% ปริมาณน้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 1.13-1.46% ซูโครส 1.08-1.31% คุณภาพน้ำมันด้านค่าความเป็นกรด (AV) มีค่าอยู่ในช่วง 4.70-135.41 มิลลิกรัม KOH/กรัมไขมัน (mgKOH/g) ค่าความหืน (PV) มีค่าอยู่ในช่วง 1.03-40.97 มิลลิกรัมสมบูรณ/น้ำมัน 1 กิโลกรัม (mEq/kg) และปริมาณสารแอฟลาทอกซินมีค่าอยู่ในช่วง 0-164.40 ppb (Table 2)

การสร้างสมการประเมินคุณภาพเมล็ดและแป้งข้าวโพดด้วยเทคนิค NIRS

สร้างสมการประเมินปริมาณความชื้น โปรตีน อะมิโลส ความหนืดสูงสุด คุณภาพน้ำมัน น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และปริมาณสารแอฟลาทอกซิน ด้วยวิธี PLS regression แบบ Full cross validation

ความชื้น

สมการประเมินความชื้นในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่าความสัมพันธ์สูง โดยมีค่า R เท่ากับ 0.96 และ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งค่า R ที่อยู่ในช่วง $\pm 0.96-0.98$ หมายถึงสมการสามารถใช้ในการประกันคุณภาพได้ (William,

2007) สมการประเมินความชื้นในเมล็ดมีค่า SEC และ SEP สูงกว่าสมการสำหรับประเมินแป้ง พลาเว (SEC = 2.06% และ 0.28%; SEP=2.13% และ 0.34% ในสมการประเมินเมล็ดและแป้งพลาเวข้าวโพดตามลำดับ) ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRS (Averages of difference between actual and NIR values, Bias) เท่ากับ -0.0092% และ 0.0063 ตามลำดับ และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสมการ (Factor, F) จำนวน 3 และ 15 ปัจจัย ในสมการประเมินความชื้นของเมล็ดและแป้งพลาเวข้าวโพดตามลำดับ และความยาวคลื่นที่ใช้คือ 400-2500 นาโนเมตร (Table3)

โปรตีน

สมการประเมินปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร พบว่า มีค่าความสัมพันธ์สูงโดย R = 0.87 ค่า SEC=1.95%, SEP=2.33%, Bias=-0.014% ค่า F เท่ากับ 16 และ SD=3.89% สมการประเมินโปรตีนในแป้งพลาเวข้าวโพดใช้ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่าความสัมพันธ์สูงกว่าสมการที่ใช้ในการประเมินปริมาณโปรตีนในเมล็ด โดยมีค่า R = 0.94 ค่า SEC=0.30%, SEP=0.32%, Bias=-0.0005% ค่า F เท่ากับ 7 และ SD=0.91% (Table3)

อมิโลส

สมการปริมาณอมิโลสในเมล็ดและแป้งพลาเวข้าวโพดมีค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงโดยมีค่า R = 0.93 และ 0.88 ค่า SEC=0.70% และ 0.74% SEP=0.98% และ 0.83% Bias=0.0085% และ 0.013% ค่า F เท่ากับ 16 และ 7 ค่า SD=1.87% และ 0.1.54% ใช้ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร และ 800-2500 นาโนเมตร สำหรับสมการปริมาณอมิโลสในเมล็ดและแป้งพลาเวข้าวโพดตามลำดับ (Table3) ในขณะที่การประเมินปริมาณอมิโลสในข้าวหอมมะลิ 105 ใช้ความยาวคลื่นช่วงคลื่น 940-2222 นาโนเมตร (Siriphollakul *et al.*, 2017)

ค่าความหนืดสูงสุด

สมการประเมินค่าความหนืดสูงสุดในเมล็ดข้าวโพด ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร พบว่า มีค่าความสัมพันธ์สูงโดย R = 0.83 ค่า SEC=27.04 BU, SEP=35.02 BU, Bias=0.038 BU มีค่า F เท่ากับ 16 และ ค่า SD=47.91 BU. สมการประเมินค่าความหนืดสูงสุดในแป้งพลาเวข้าวโพดใช้ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร โดยมีค่า R = 0.94 ค่า SEC=29.79%, SEP=31.91%, Bias=0.46% ค่า F เท่ากับ 7 และ SD=87.59% (Table3)

น้ำตาลซูโครสและกลูโคส

สมการประเมินน้ำตาลกลูโคสมีค่า R สูงกว่าน้ำตาลซูโครส โดยสมการประเมินน้ำตาลกลูโคสในเมล็ดและแป้งพลาเวข้าวโพดมีค่า R= 0.85 และ 0.95 ตามลำดับ มีค่า SEC(0.04% และ 0.02%) และ SEP(0.05% และ 0.06%) ต่ำ และมีค่า Bias=0.00001% และ 0.0009% ค่า F เท่ากับ 12 และ 19 และ SD=0.08% ตามลำดับ (Table3) สำหรับสมการประเมินน้ำตาลซูโครสที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร มีค่า R=0.84 และ 0.91 ในการประเมินเมล็ดและแป้งพลาเวตามลำดับ และในสมการที่ใช้ประเมินเมล็ดมีค่า SEC=0.03%, SEP=0.04%, Bias=-0.00002% ค่า F เท่ากับ 8 และ SD=0.06% สมการที่ใช้ประเมินน้ำตาลซูโครสในแป้งพลาเวมีค่า SEC=0.02%, SEP=0.03%, Bias=-0.0015% ค่า F เท่ากับ 18 และ SD=0.05% ตามลำดับ (Table3)

คุณภาพน้ำมัน

สมการประเมินค่าความเป็นกรดและค่าความหืนในเมล็ดข้าวโพด ใช้ความยาวคลื่น 800-2500 และ 400-2500 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยสมการประเมินค่าความเป็นกรด (AV) มีค่า $R = 0.92$ ค่า $SEC=17.42$ mgKOH/g, $SEP=22.82$ mgKOH/g, $Bias=-0.763$ mgKOH/g มีค่า F เท่ากับ 12 และ ค่า $SD=43.64$ mgKOH/g. สมการประเมินค่าความหืน (PV) มีค่า $R = 0.92$ ค่า $SEC=3.37$ mEq/kg, $SEP=4.32$ mEq/kg, $Bias=-0.090$ mEq/kg มีค่า F เท่ากับ 10 และ ค่า $SD=8.16$ mEq/kg. สำหรับสมการประเมินค่าความเป็นกรด (AV) และค่าความหืน (PV) ในแป้งฟลาวข้าวโพด ใช้ความยาวคลื่น 400-2500 และ 1000-2500 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยสมการประเมินค่าความเป็นกรด (AV) มีค่า $R = 0.93$ ค่า $SEC=15.47$ mgKOH/g, $SEP=18.44$ mgKOH/g, $Bias=-0.178$ mgKOH/g มีค่า F เท่ากับ 13 และ ค่า $SD=42.33$ mgKOH/g. สมการประเมินค่าความหืน (PV) มีค่า $R = 0.97$ ค่า $SEC=2.37$ mEq/kg, $SEP=4.92$ mEq/kg, $Bias=0.033$ mEq/kg มีค่า F เท่ากับ 19 และ ค่า $SD=10.31$ mEq/kg. (Table3)

แอฟลาทอกซิน

สมการประเมินปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดใช้ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร โดยมีค่า $R = 0.87$ และ 0.93 ตามลำดับ สมการประเมินสารแอฟลาทอกซินในเมล็ด มีค่า $SEC=37.33$ ppb, $SEP=41.34$ ppb, $Bias=-0.026$ ppb มีค่า F เท่ากับ 12 และ ค่า $SD=76.33$ ppb. สมการประเมินสารแอฟลาทอกซินในแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่า $SEC=11.48$ ppb, $SEP=22.48$ ppb, $Bias=0.852$ ppb ค่า F เท่ากับ 17 และ $SD=32.52$ ppb (Table3)

ค่า Regression coefficient

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี PLS แบบ full cross validation พบว่า Regression coefficient ของสมการประเมินความชื้นเมล็ด มีค่าสูงที่ความยาวคลื่น 970 1152 1410 และ 1940 นาโนเมตร (Figure 2-3) สอดคล้องกับ Mesic และคณะ (2005) ที่ใช้ความยาวคลื่น 1940 นาโนเมตร ในการสร้างสมการประเมินความชื้นในข้าวสาลี ในขณะที่สมการประเมินความชื้นแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 760 1098 1395 1510 และ 2000 นาโนเมตร(Figure 2-3) ซึ่งที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในตัวอย่าง(Osborne *et al.*, 1993)

สมการประเมินโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดและแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 970 1490 1528 1940 2030 2050 และ 2180 นาโนเมตร สมการประเมินปริมาณอมิโลสของเมล็ดและแป้งข้าวโพดข้าวโพด มีค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 990 1528 1900 และ 2276 นาโนเมตร สำหรับสมการที่ใช้ในเมล็ด และให้ค่าสูงที่ความยาวคลื่น 990 1900 2100 และ 2276 นาโนเมตร สำหรับสมการที่ใช้ในแป้งฟลาว (Figure 2-3) สมการประเมินค่าความหนืดสูงสุดของเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด มีค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 938 990 1450 1528 1540 1900 2100 2276 และ 2461 นาโนเมตร (Figure2-3)

ในสมการประเมินปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด ค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 913 990 1020 1395 1480 1780 1900 1940 2050 2310 และ 2323 นาโนเมตร ซึ่งที่ความยาวคลื่น 1480 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับน้ำตาลกลูโคสในเมล็ดข้าวโพด (Figure 2-3) (Osborne *et al.*, 1993) สมการประเมินปริมาณน้ำตาลซูโครสในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด โดยความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงคือ 790 970 1360 1415 1430 1490 1510 1765 1900 2000 2050 2280 และ 2323 นาโนเมตร (Figure 2-3)

ในสมการประเมินปริมาณค่าความเป็นกรด (AV) ในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด โดยความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงคือ 900 1020 1215 1360 1450 1580 1705 1900 1940 2100 2110 และ 2280 2310 และ 2347 นาโนเมตร (Figure 2-3) สมการประเมินปริมาณค่าความหืน (PV) ในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด ความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงคือ 713 915 1053 1037 1215 1395 1410 1510 1533 1705 1900 1908 1980 และ 2276 และ 2323 นาโนเมตร (Figure 2-3)

สมการประเมินปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวโพด พบว่า ความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงคือ 790 970 990 1152 1360 1430 1490 1510 1765 1900 2000 2050 2160 2252 2280 2323 และ 2336 นาโนเมตร (Figure 2-3)

Osborn (1993) รายงานว่า ที่ความยาวคลื่น 990 1528 1900 2000 2100 2252 และ 2276 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับแป้ง ที่ความยาวคลื่น 1030 1360 1490 1510 1695 1980 2030 2050 และ 2180 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน ที่ความยาวคลื่น 1440 และ 1480 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับ นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลกลูโคส ที่ความยาวคลื่น 1490 และ 2336 นาโนเมตร ความสัมพันธ์ cellulose ที่ความยาวคลื่น 970 1450 และ 1948 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับน้ำ ที่ความยาวคลื่น 928 1037 2323 และ 2347 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของน้ำมัน จะเห็นได้ว่า สมการเหล่านี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของ น้ำ โปรตีน น้ำตาล แป้งสตาร์ช เซลลูโลส และน้ำมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่างเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด

การประเมินความถูกต้องแม่นยำของสมการ

เมื่อนำสมการมาใช้ประเมินตัวอย่างอื่น พบว่าสมการที่ใช้ประเมินแป้งมีความแม่นยำกว่าสมการที่ใช้ในการประเมินเมล็ด และสมการทั้ง 18 สมการมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของสมการประเมิน (SEP) ต่ำกว่าค่าความเบี่ยงมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (SD) โดยเมล็ดข้าวโพดสมการที่ใช้ประเมินความชื้นมีค่า SEP=2.13% และSD=7.79% โปรตีน SEP=0.34% และSD=0.61% อมิโลส SEP=0.98% และ SD=1.87% ค่าความหนืดสูงสุด SEP=35.02(BU) และSD=47.91(BU) น้ำตาลกลูโคส SEP=0.05% และSD=0.08% น้ำตาลซูโครส SEP=0.04% และSD=0.06% ค่าความเป็นกรด SEP=22.84 mgKOH/g และSD=43.64 mgKOH/g ค่าความหืน SEP=4.32 mEq/kg และSD=8.16 mEq/kg สารแอฟลาทอกซิน SEP=37.33 ppb และSD=76.33 ppb ตามลำดับ (Figure 2)

โดยเมล็ดแป้งฟลาวข้าวโพดสมการที่ใช้ประเมินความชื้นมีค่า SEP=0.34% และSD=1.10% โปรตีน SEP=0.32% และSD=0.91% อมิโลส SEP=0.83% และ SD=1.54% ค่าความหนืดสูงสุด SEP=31.91(BU) และ

SD=87.59(BU) น้ำตาลกลูโคส SEP=0.06% และSD=0.08% น้ำตาลซูโครส SEP=0.03% และSD=0.05% ค่าความเป็นกรด SEP=18.44 mgKOH/g และSD=42.33 mgKOH/g ค่าความหืน SEP=4.92 mEq/kg และSD=10.31 mEq/kg สารแอฟลาทอกซิน SEP=22.48 ppb และSD=32.52 ppb ตามลำดับ (Figure 3)

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เทคนิค NIRS สามารถนำมาใช้ประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดได้ โดยใช้หลักการสะท้อนแสงที่ความยาวช่วงคลื่นดังนี้

1. ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร ใช้สำหรับการประเมินความชื้น โปรตีน อมิโลส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส ค่าความหืน และปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวโพด และประเมินความชื้น ค่าความหนืดสูงสุด น้ำตาลซูโครส ค่าความเป็นกรดและปริมาณสารแอฟลาทอกซินในแป้งฟลาวข้าวโพด

2. ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ใช้สำหรับการประเมินโปรตีน อมิโลส กลูโคสในแป้งฟลาว และค่าความหนืดสูงสุด ค่าความเป็นกรดในเมล็ดข้าวโพด

3. ความยาวคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร ใช้สำหรับประเมินค่าความหืนในแป้งฟลาวข้าวโพด โดยสามารถประเมินปริมาณความชื้น โปรตีน อมิโลส ค่าความหนืดสูงสุด น้ำตาลกลูโคสและซูโครสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้เวลาสั้นและไม่ทำลายตัวอย่าง สมการที่ใช้ในการประเมินแป้งฟลาวมีความแม่นยำกว่าสมการที่ใช้ในการประเมินเมล็ดข้าวโพด เนื่องจากมีค่าความสัมพันธ์สูงและมีความคลาดเคลื่อนในการประเมินต่ำกว่าสมการที่ใช้ในการประเมินเมล็ดข้าวโพด สำหรับค่าความเป็นกรด ค่าความหืน และปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด พบว่าสมการยังมีค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่อนข้างสูง ทำให้ความแม่นยำในการประเมินต่ำ จึงต้องมีการปรับปรุงสมการเพื่อให้ได้สมการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

นำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy ไปใช้ในการประเมินคุณภาพเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดโดยไม่ทำลายตัวอย่าง รวมทั้งเผยแพร่ผลงานแก่นักวิชาการ นักศึกษา เกษตรกร ผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้อง

11. คำขอขอบคุณ (ถ้ามี) -

12. เอกสารอ้างอิง

AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16th ed., Vol II Washigton D.C.: Food Composition; Additives; Natural Contaminants. Chapter 49, 8-10.

AOAC. 2005. Official Method of Analysis. 18th ed., AOAC International, Maryland, USA.

- Blanco, M., Alcalá, M., Planells, J. and Mulero, R., 2007. Quality control of cosmetic mixtures by NIR spectroscopy. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 389(5), 1577-1583.
- Bock, J.E. and R.K. Conelly. 2008. Innovative uses of near-infrared spectroscopy in food processing. *J food Sci.*, Sep73(7) R91-8. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00870.
- Juliano, B.O. 1979. The chemical basis of rice grain quality. Pages 69-92. *In: Proc. Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality*. Inst. Los Banos , Laguna. Philippines.
- Mesic, M., Corluka, V., & Valter, Z. 2005. Analysis of some parameters influencing moisture quantity measurements in wheat with NIR technique. In *Applied Electromagnetics and Communications*. ICECom 2005. 18th International Conference on IEEE. 1-4.
- Osborne, B.G., T. Fearn, P.H. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis, 2nd Edition. Longman Scientific and Technical, Singapore. 227
- Rosales A., L. Galicia, E. Oviedo, C. Islas and N. Palacios-Rojas. 2011. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) for Protein, Tryptophan, and Lysine Evaluation in Quality Protein Maize (QPM) Breeding Programs. *Journal of Agricultural and food chemistry*.
- Sakudo, Akikazu. 2016. Near-infrared spectroscopy for medical applications: Current status and future perspectives Citation data: *Clinica chimica acta; international journal of clinical chemistry*, ISSN: 1873-3492, Vol: 455, 8-181.
- Simeone, M. L. F., Parrella, R. A., Schaffert, R. E., Damasceno, C. M., Leal, M. C., & Pasquini, C. 2017. Near infrared spectroscopy determination of sucrose, glucose and fructose in sweet sorghum juice. *Microchemical Journal*, 134, 125-130.
- Siriphollakul, P., Nakano, K., Kanlayanarat, S., Ohashi, S., Sakai, R., Rittiron, R., & Maniwaru, P. 2017. Eating quality evaluation of Khao Dawk Mali 105 rice using near-infrared spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 70-77.
- Szyszkowska A., J. Sowinski, H. Wierzbicki. 2007. Changes in the chemical composition of maize cobs depending on the cultivar, effective temperature sum and farm type. *Acta Sci. Pol. Agriculture*. 6(1), 13-22.
- Williams, P. 2007. Application to agricultural and marine products. In *Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*. (eds. Y. Ozaki, W. F. McClure and A. A. Christy), New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. Publication.165-218.

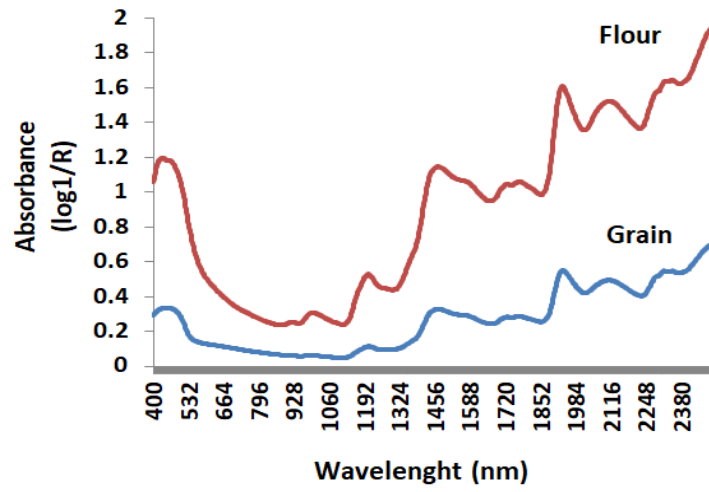


Figure 1 Near infrared absorption of maize grain and flour at 400-2500 nanometer

Table 1 The characteristics of maize grain samples used for model construction by NIRS

Items	Moisture	Protein	Maximum viscosity	Amylose	Glucose	Sucrose	Acid value	Peroxide value	Aflatoxin
Min -Max	6.89-37.98	7.24-9.22	138.00-305.23	17.00-27.12	1.17-1.46	1.06-1.32	4.70-135.41	1.22-29.02	0-307.00
Mean	14.21	8.4	305.23	21.17	1.30	1.20	88.03	11.41	63.67
SD	7.79	0.44	47.91	1.87	0.08	0.06	43.64	8.16	77.33
Number	222	189	216	154	166	91	91	84	234
Unit	%	%	BU	%	%	%	mgKOH/g	mEq/kg	ppb

Table 2 The characteristics of maize flour samples used for model construction by NIRS

Items	Moisture	Protein	Maximum viscosity	Amylose	Glucose	Sucrose	Acid value	Peroxide value	Aflatoxin
Min -Max	10.75-16.77	6.05-10.20	186.00-581.00	17.00-23.87	1.13-1.46	1.08-1.31	4.70-135.41	1.03-40.97	0-164.40
Mean	12.73	7.75	333.32	20.42	1.33	1.19	65.81	12.34	38.30
SD	1.10	0.91	87.59	1.54	0.08	0.05	42.33	10.31	32.52
Number	253	183	166	113	87	106	127	103	80
Unit	%	%	BU	%	%	%	mgKOH/g	mEq/kg	ppb

Table3 Results of PLSR calibration for predicting moisture, protein, max viscosity, amylase, glucose, sucrose, acid value, peroxide value and aflatoxin content of grains and flours

Qualities	Wavelength (nm)	R	SEC	SEP	Bias	F	SD
Grain moisture content	400-2500	0.96	2.06	2.13	-0.0092	3	7.79
Flour moisture content	400-2500	0.97	0.28	0.34	0.0063	15	1.10
Grain protein	400-2500	0.87	0.26	0.34	0.0009	20	0.61
Flour protein	800-2500	0.94	0.30	0.32	-0.0005	7	0.91
Grain amylose content	400-2500	0.93	0.70	0.98	0.0085	16	1.87
Flour amylose content	800-2500	0.88	0.74	0.83	0.013	7	1.54
Grain max viscosity content	800-2500	0.83	27.04	35.02	0.038	20	47.91
Flour max viscosity content	400-2500	0.94	29.79	31.91	0.46	7	87.59
Grain glucose content	400-2500	0.85	0.04	0.05	0.00001	12	0.08
Flour glucose content	800-2500	0.95	0.02	0.06	0.0009	19	0.08
Grain sucrose content	400-2500	0.84	0.03	0.04	0.00002	8	0.06
Flour sucrose content	400-2500	0.91	0.02	0.03	-0.0015	18	0.05
Grain acid value	800-2500	0.92	17.42	22.82	-0.763	12	43.64
Flour acid value	400-2500	0.93	15.47	18.44	-0.178	13	42.33
Grain peroxide value	400-2500	0.92	3.37	4.32	-0.080	10	8.16
Flour peroxide value	1000-2500	0.97	2.37	4.92	0.033	19	10.31
Grain aflatoxin	400-2500	0.87	37.33	41.34	-0.026	12	76.33
Flour aflatoxin	400-2500	0.93	11.48	22.48	0.852	17	32.52

R: Coefficient of correlation, *SEC*: Standard error of calibration, *SEP*: Stand error of prediction; *Bias*: The average difference between actual value and NIRS value, *F*: The number of factors used in the calibration equation, *N*: Number of sample *SD*: Standard deviation of average

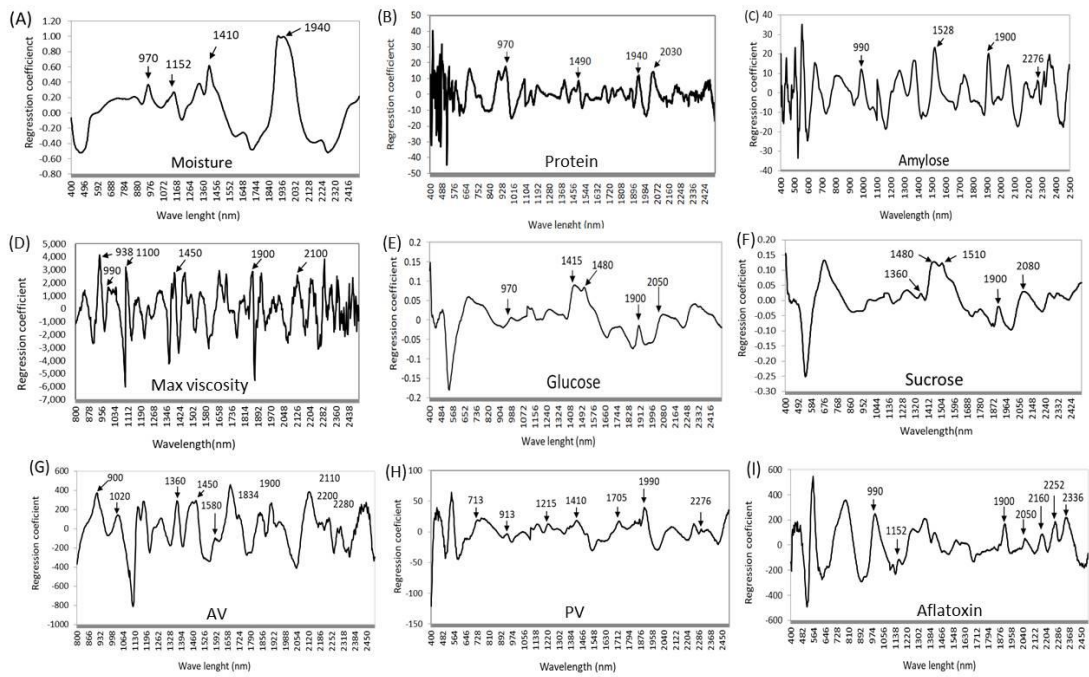


Figure 2 Regression coefficient plots to evaluate (A) moisture and (B) protein (C) amylose (D) Max viscosity (E) Glucose (F) Sucrose (G) Acid value (AV) (H) peroxide value (PV) and Aflatoxin in maize grain.

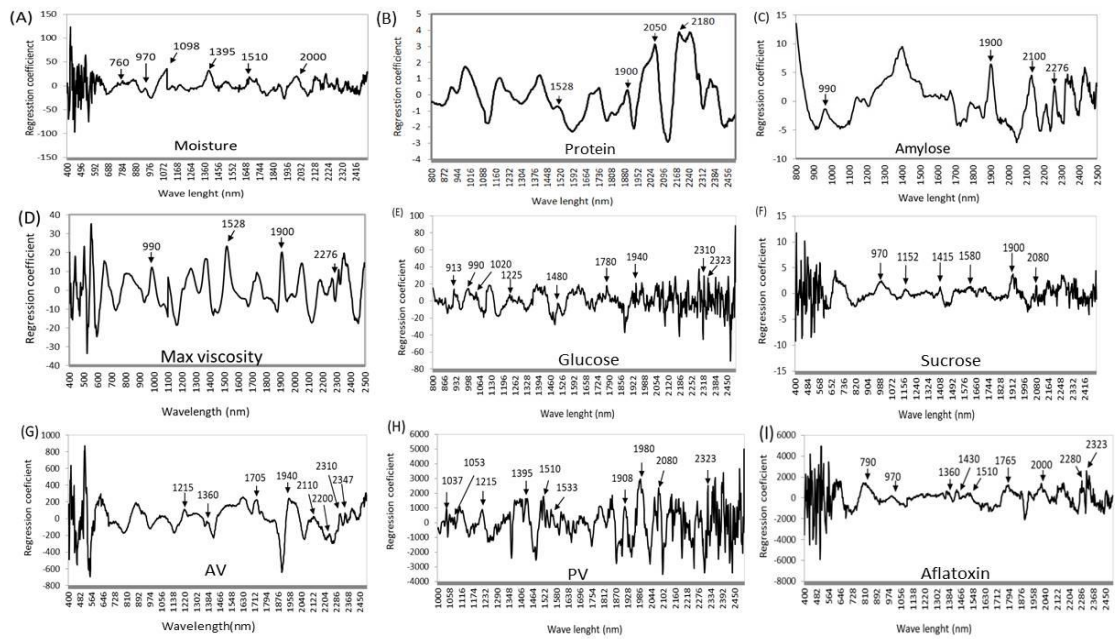


Figure 3 Regression coefficient plots to evaluate (A) moisture and (B) protein (C) amylose (D) Max viscosity (E) Glucose (F) Sucrose (G) Acid value (AV) (H) peroxide value (PV) and Aflatoxin in maize flour.

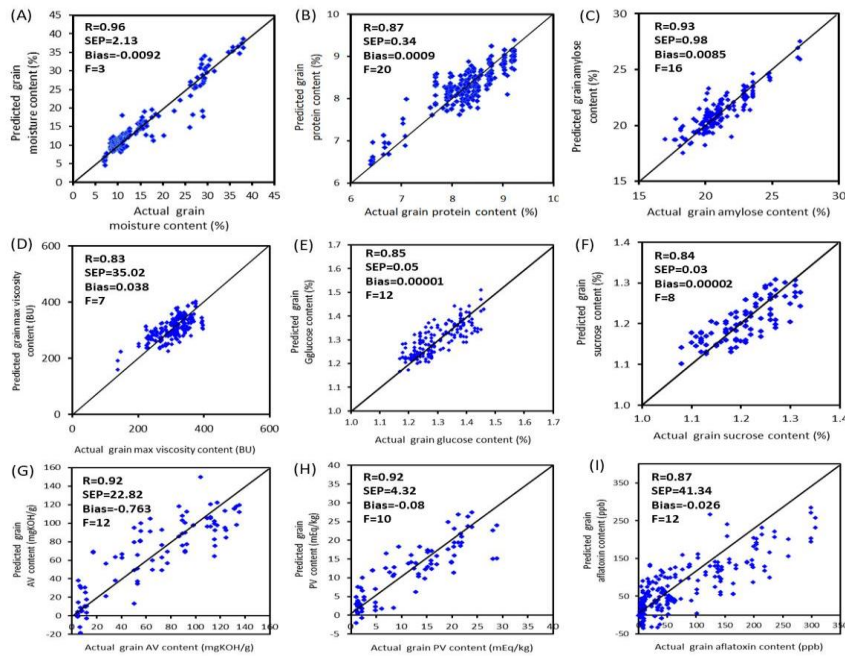


Figure 4 Scatter plot of (A) moisture (B) protein (C) amylose (D) Max viscosity (E) Glucose (F) Sucrose (G) Acid value (AV) (H) peroxide value (PV) and Aflatoxin in maize grain. Actual value (X-axis) vs. by NIRS (Y-axis).

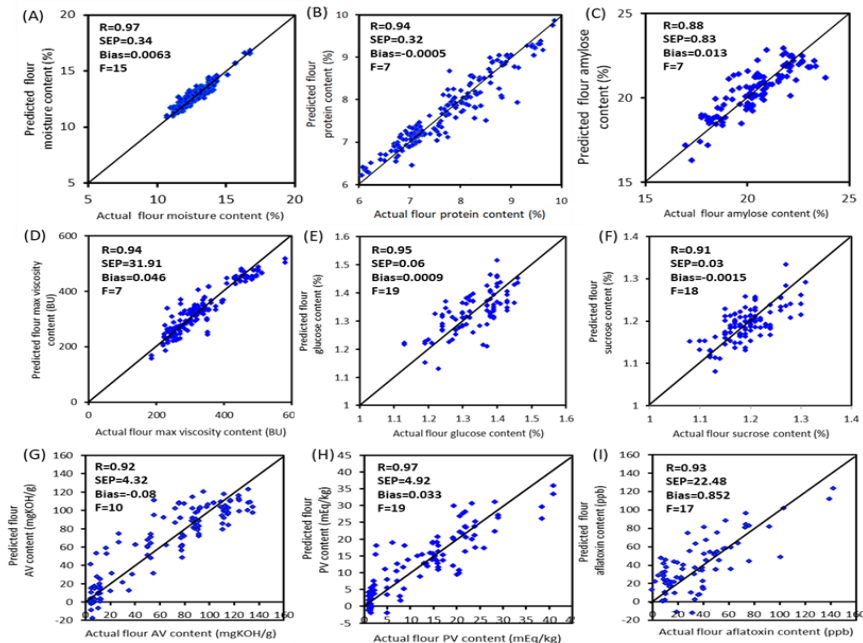


Figure 5 Scatter plot of (A) moisture (B) protein t (C) amylose (D) Max viscosity (E) Glucose (F) Sucrose (G) Acid value (AV) (H) peroxide value (PV) and Aflatoxin in maize flour. Actual value (X-axis) vs. by NIRS (Y-axis).