

การประเมินปริมาณสาร gamma-aminobutyric acid (GABA) ในเมล็ดถั่วเหลือง
และถั่วเขียวโดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy
Evaluation of the gamma-aminobutyric acid (GABA) content of soybean
and mungbean by Near Infrared Spectroscopy

อนวัณน์ รัตนชัย ^{1/} จารุวรรณ บางแวก ^{1/}
Anuwat Rattanachai ^{1/} Charuwan Bangwaek ^{1/}

ABSTRACT

Soybean and mungbean consists of Gamma aminobutyric acid (GABA). GABA is an inhibitory neurotransmitter. This research aimed to use Near Infrared Spectroscopy (NIRS) technique which is non-destructive technique to predict for GABA in soybean and mungbean grains. In 2013-2015, the soybean 310 samples (from Chang Mai Filed Crop Research Center, Lopburi Agricultural Research and Development Center, and markets), and 260 samples of mungbean (from Chai Nat Filed Crop Research Center, and markets) were collected and scanned the reflectance mode in the region 800-2500 nm. The experiment was conducted at Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture. The samples were analyzed for GABA by HPLC. The Least Squares Partial (PLS) linear regression models were calculated using the Unscrambler. The results showed the calibration for predicting GABA contents in soybean grains, the high correlations (R) = 0.90, Squared Correlation Coefficients (R^2) = 0.82, Standard Error of Prediction (SEP) = 2.80 mg/100g, Standard Deviation (SD) = 6.50 mg/100g. The calibration for predicting GABA contents in mungbean grains, the high correlations (R) = 0.90, Squared Correlation Coefficients (R^2) = 0.81, Standard Error of Prediction (SEP) = 2.02 mg/100g, Standard Deviation (SD) = 4.83 mg/100g. Therefore, the

¹ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กทม 10900

¹ Postharvest and Processing Research and Development Office, Department of Agriculture, Chatuchuck, Bangkok 10900

NIRS technique can predict GABA contents in soybean grains (0-30.83 mg/100g) and, mungbean grains (1.66-23.26 mg/100g).

Key words: soybean, mungbean, GABA, Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

บทคัดย่อ

ถั่วเหลืองและถั่วเขียวมีสารกาบา (Gamma aminobutyric acid, GABA) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารสื่อประสาทในระบบประสาทส่วนกลางที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมาก งานวิจัยนี้เป็นการนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง มาใช้ในการประเมินปริมาณสาร GABA ในเมล็ดถั่วเหลืองและถั่วเขียว โดยรวบรวมตัวอย่างถั่วเหลืองจากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรลพบุรี และแหล่งจำหน่ายต่าง ๆ จำนวน 310 ตัวอย่าง ถั่วเขียวจากศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท และแหล่งจำหน่ายต่าง ๆ จำนวน 260 ตัวอย่าง ระหว่างเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2556 - กันยายน ปี พ.ศ. 2558 นำไปสแกนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร และนำตัวอย่างเดียวกันไปวิเคราะห์ปริมาณสาร GABA ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) นำค่าที่วิเคราะห์ได้มาหาสมการถดถอยเชิงสมการเส้นด้วยเทคนิค

Partial Least Square Regression (PLS) โดยใช้โปรแกรม the Unscrambler พบว่า สมการที่ใช้ประเมินสาร GABA ในเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.90 ระหว่างค่าปริมาณสาร GABA ในเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากการทำนายและค่าปริมาณสาร GABA ในเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 0.82 ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of prediction, SEP) คือ 2.80 มก./100 ก. ซึ่งต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) คือ 6.50 มก./100 ก. สมการที่ใช้ประเมินสาร GABA ในเมล็ดถั่วเขียวมีค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.90 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 0.81 มีค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน 2.02 มก./100 ก. ซึ่งต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อนจริง ที่มีค่า 4.83 มก./100 ก. จากการทดลองแสดงว่าเทคนิค NIRS สามารถนำมาใช้ประเมินสาร GABA ได้ และได้ นำสมการที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพแบบ Full Cross validation ในการประเมินสาร GABA ในเมล็ดถั่วเหลืองมีค่า R^2 = 0.82 สามารถประเมินปริมาณสาร GABA ได้ตั้งแต่ 0.0-30.83 มก./100 ก. ขณะที่ประสิทธิภาพของสมการที่ประเมินสาร GABA ในเมล็ดถั่วเขียวมีค่า R^2 = 0.81 และประเมินได้ตั้งแต่ 1.66-23.26 มก./100 ก.

คำหลัก: ถั่วเหลือง ถั่วเขียว สารกาบา เนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

คำนำ

สารกาบา (Gamma aminobutyric acid, GABA) เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีหน้าที่สำคัญในการเป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ประเภทยับยั้งในระบบประสาทส่วนกลาง GABA จึงเป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการ เนื่องจากมีสารป้องกันการเสื่อมของสมอง (Abdou *et al.*, 2006) สาร GABA เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนอิสระโดยรวมของพืชชั้นสูงหลายชนิด เช่น ข้าว พืชตระกูลถั่ว และธัญพืชอื่น ๆ (ชนากานต์และคณะ, 2557) การสะสมของสาร GABA ในพืชแต่ละชนิดเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การตอบสนองต่อ water stress การเพิ่มขึ้นของปริมาณ GABA ในสภาวะที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เนื่องจากสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย (H^+) ไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ glutamate decarboxylase ทำให้เกิดการเปลี่ยนกรดกลูตามิก (glutamic acid) ไปเป็น GABA จึงส่งผลให้มีปริมาณ GABA มากขึ้น (Shelp *et al.*, 1999) พืชตระกูลถั่วเป็นแหล่งของโปรตีนโดยมีกรดกลูตามิกเป็นสารตั้งต้น Matsuyama *et al.* (2009) พบว่าเอนไซม์ glutamate decarboxylase เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของ gamma aminobutyric acid ระหว่างการเพาะงอกของถั่วเหลืองด้วยวิธีการแช่น้ำ ขณะที่ Tiansawang *et al.* (2014) พบว่าการผลิต GABA ในถั่วเขียวระหว่างการเพาะงอกเพิ่มสูงสุด 80.68 มก./100 ก. เมื่อนำเมล็ดไปแช่น้ำนาน 24 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง อิงฟ้า (2552) ได้

ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารพฤษเคมีในข้าวและธัญพืช 4 ชนิดโดยวิธีทางเคมี พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณสาร GABA 3.34 มก./100ก. และในถั่วเขียวปริมาณสาร GABA 6.24 มก./100 ก.

การประเมินสาร GABA ส่วนใหญ่จะใช้วิธี HPLC ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อน ใช้เวลานาน และมีการทำลายตัวอย่าง ปัจจุบันได้มีการนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) มาใช้ในการวิเคราะห์สารต่าง ๆ หลายชนิดในพืช แบบไม่ทำลายตัวอย่าง เช่นการประเมินคุณภาพอ้อย (จิราพรและคณะ 2553) ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้หลักการการสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R) ระหว่างค่าการดูดซับแสง Near Infrared ที่ส่องผ่านวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์จำนวนหนึ่ง และค่าที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้สมการที่มีค่าความสัมพันธ์สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (SEP) ต่ำ จึงนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าของตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ข้อได้เปรียบของการใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy คือเป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์รวดเร็ว ประหยัดเวลา และปลอดภัย สามารถใช้ทดแทนการวิเคราะห์ทางเคมีได้ และในระยะยาวสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ สำหรับการประเมินสาร GABA ในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค NIR Spectroscopy ได้มีการประเมินสาร GABA ในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (Kaewsorn,

2014) แต่ยังไม่มีการวิจัยในพืชตระกูลถั่ว ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสาร GABA ในเมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดถั่วเขียว

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

ปี พ.ศ. 2557 ทำการทดสอบกับถั่วเหลือง โดยนำถั่วเหลืองพันธุ์ต่าง ๆ ทั้งพันธุ์ทดลอง และพันธุ์การค้า ที่เก็บเกี่ยวทันที จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรลพบุรี และสุ่มเก็บจากแหล่งจำหน่ายต่าง ๆ จำนวน 310 ตัวอย่าง และทำการทดสอบกับถั่วเขียวในปี พ.ศ. 2558 ถั่วเขียวทั้งพันธุ์ทดลอง และพันธุ์การค้า ที่เก็บเกี่ยวทันที จากศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท และสุ่มเก็บจากแหล่งจำหน่ายต่าง ๆ จำนวน 260 ตัวอย่าง

การตรวจวัดสเปกตรัม

ทำการประเมินสาร GABA ในตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลือง และถั่วเขียวโดยนำตัวอย่างบรรจุเซลล์บรรจุตัวอย่างสำหรับเมล็ดธัญพืช นำไปสแกนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer (บริษัท FOSS รุ่น 6500) ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร โดยใช้การวัดรูปแบบความเข้มแสงสะท้อนกลับออกมา (transport reflectance) แล้วนำค่า สเปกตรัม (spectrum) ที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นมาเขียนกราฟโดยให้แกน X เป็นค่าความยาวคลื่น และ แกน Y เป็นค่าเป็นค่าสเปกตรัม

การวิเคราะห์สาร GABA ด้วยวิธี HPLC

นำเมล็ดถั่วเหลือง และเมล็ดถั่วเขียวที่ตรวจวัดสเปกตรัมแล้ว แต่ละตัวอย่างมาบดเป็นแป้งฟลาวด้วยเครื่องบดตัวอย่าง นำตัวอย่างแป้งฟลาวถั่วเหลือง และถั่วเขียว ไปสกัดสารโดยใช้ เมทานอล คลอโรฟอร์ม (AR grade) และสารละลาย 9-Fluorenylmethyl chloroformate วิเคราะห์ปริมาณสาร GABA ด้วยเครื่อง HPLC ซึ่งดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ปริมาณสาร GABA ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่องข้าวกล้องงอก (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

การสร้างสมการ

หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสง (absorption) กับปริมาณสาร GABA และค่าความคลาดเคลื่อนของการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) สร้างสมการถดถอยเชิงสมการเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม the Unscrambler version 9.8 (CAMO, Oslo, Norway)

การทดสอบประสิทธิภาพของสมการ

ทดสอบประสิทธิภาพของสมการโดยแบ่งข้อมูลออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างข้อมูลปริมาณสาร GABA ที่วัดโดยวิธีมาตรฐานกับข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร

กลุ่มที่ 2 คือ validation set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบสมการถดถอยเชิงเส้นในการทำนายปริมาณสาร GABA ของตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดถั่วเขียว การหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทำนาย (Predicted value) กับค่าการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี HPLC (Actual value)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การตรวจวัดสเปกตรัม ของเมล็ดถั่วเหลือง และเมล็ดถั่วเขียว

ผลการวัดค่าสเปกตรัม ($\log 1/R$) ของสาร GABA ในเมล็ดถั่วเหลือง และถั่วเขียว มีค่าดูดซับแสงที่ 2294 นาโนเมตร ซึ่งเป็น peak ของกรดอะมิโน (Figure 1 and 2) และในช่วงสเปกตรัม 400-1000 นาโนเมตร จะเห็นความแตกต่างของเส้นสเปกตรัม อาจเกิดเนื่องจากเมล็ดตัวอย่างมีความแตกต่างกันของสีเมล็ด เช่น

บางตัวอย่างมีเมล็ดที่มีสีผิวเปลือกดำ ทำให้ค่าดูดซับแสงแตกต่างกัน ค่าการดูดซับแสงย่าน Near infrared อยู่ที่ 800-2500 นาโนเมตร ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Williams and Norris (2001) ซึ่งพบว่า peak ที่ค่าดูดซับแสงที่ 2294 นาโนเมตร เป็น peak ของกรดอะมิโน

การทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression ของเมล็ดถั่วเหลือง และถั่วเขียว

จากการทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression โดยการใช้ spectra เริ่มต้นกับค่าปริมาณสาร GABA ของเมล็ดถั่วเหลืองและถั่วเขียวที่วิเคราะห์โดยวิธี HPLC (Table 1) นั้นพบว่าสมการจาก original spectra ของค่าปริมาณสาร GABA ของเมล็ดถั่วเหลือง ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.90 ค่า Standard Error of

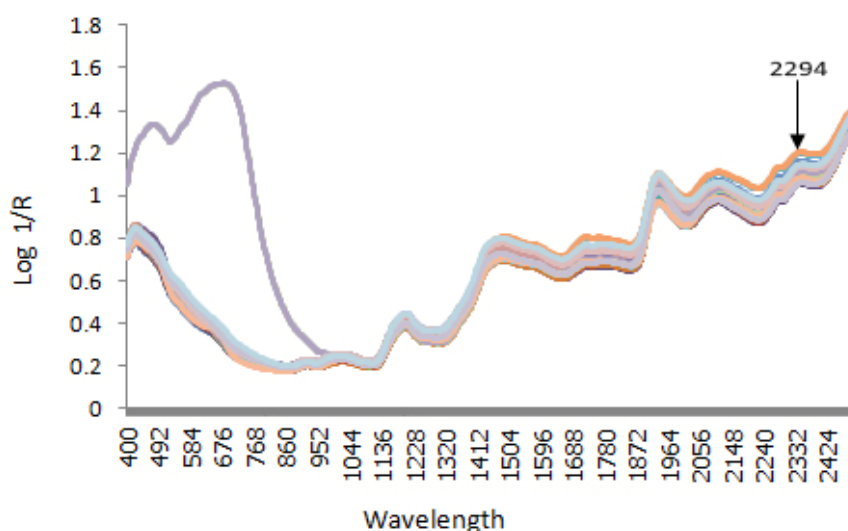


Figure 1 Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) spectra of a set of 310 soybean grains samples scan as intact grain at 800-2500 nm

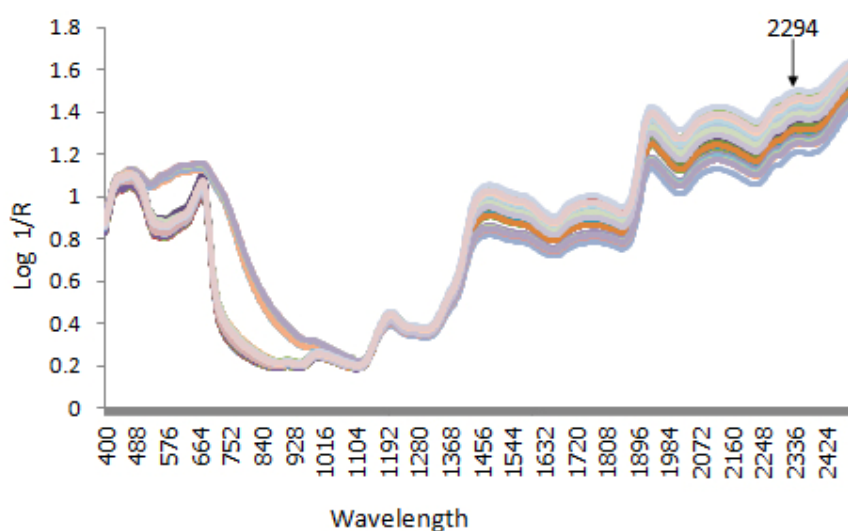


Figure 2 Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) spectra of a set of 260 mungbean grains samples scan as intact grain at 800-2500 nm

Prediction (SEP) = 2.80 มก./100 ก. ค่า Standard Error of Calibration (SEC) = 2.53 มก./100 ก. เมื่อทำ validation ค่า R = 0.92 มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 7 ปัจจัย ค่า Standard Deviation (SD) จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 6.50 มก./100 ก. ส่วนเมล็ดถั่วเขียว นั้น พบว่า สมการจาก original spectra ของค่าปริมาณ

สาร GABA ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่า R = 0.90 ค่า R^2 = 0.81 ค่า SEP = 2.02 มก./100 ก. ค่า SEC = 1.95 มก./100 ก. เมื่อทำ validation ค่า R = 0.91 มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัย ค่า SD จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 4.83 มก./100 ก. (Table 2)

Table 1 GABA content in soybean and mungbean grains when analyzed by HPLC

Type of Grain	Number of Sample	Min (mg/100g)	Max (mg/100g)	Mean (mg/100g)
Soybean	310	0	37.16	7.53
Mungbean	260	0	41.0	8.68

Table 2 Partial Least Square calibration result for predicting GABA value of soybean grains and mungbean grains

Type	Math method	Wavelength (nm)	F	R (prediction)	R (validation)	SEC	SEP	SD	Bias	RPD
Soybean grains	Original	400-2500	7	0.90	0.92	2.53	2.80	6.50	0.000918	2.32
Mungbean grains	Original	400-2500	3	0.90	0.91	1.95	2.02	4.83	0.009961	2.39

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

ค่า regression coefficient ของเมล็ดถั่วเหลือง (Figure 3) และถั่วเขียว (Figure 4) ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient อยู่ที่ 2242 นาโนเมตร เป็นค่าของกรดอะมิโน

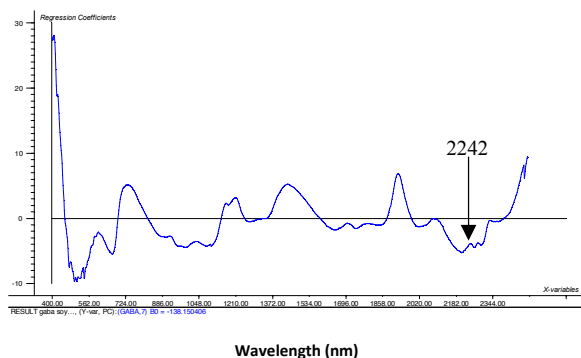


Figure 3 Regression coefficient plots for evaluating GABA value of soybean grains

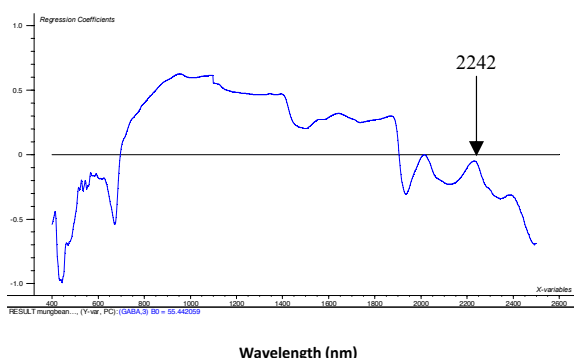


Figure 4 Regression coefficient plots for evaluating GABA value of mungbean grain

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าปริมาณสาร GABA และค่าปริมาณสาร GABA ของเมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดถั่วเขียวในห้องปฏิบัติการ

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าปริมาณสาร GABA และค่าปริมาณสาร GABA ของเมล็ดถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.82 (Figure 5) และค่าปริมาณสาร GABA ของเมล็ดถั่วเหลือง ตั้งแต่ 0-30.83 มก./100 ก. ค่าเฉลี่ย 9.20 มก./100 ก.

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าปริมาณสาร GABA และค่าปริมาณสาร GABA ของเมล็ดถั่วเขียวที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.81 (Figure 6) และค่าปริมาณสาร GABA ของเมล็ดถั่วเขียว ตั้งแต่ 1.66-23.26 มก./100 ก. ค่าเฉลี่ย 9.24 มก./100 ก.

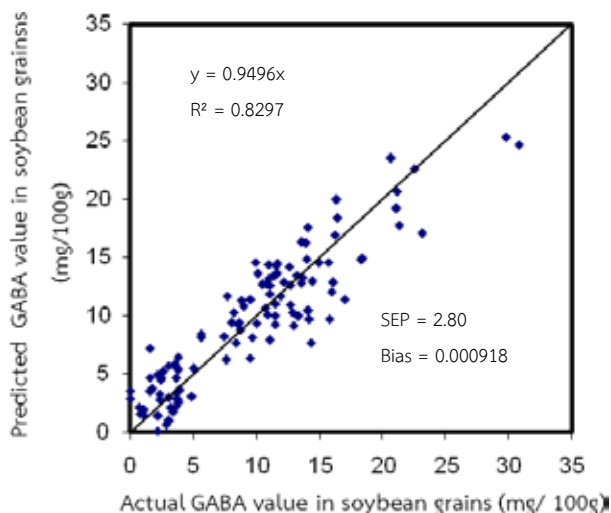


Figure 5 Calibration plots for GABA contents (mg/100g) in soybean grains (NIRS-predicted GABA value VS. actual value from HPLC method calculated) in a set of 360 in soybean grain samples

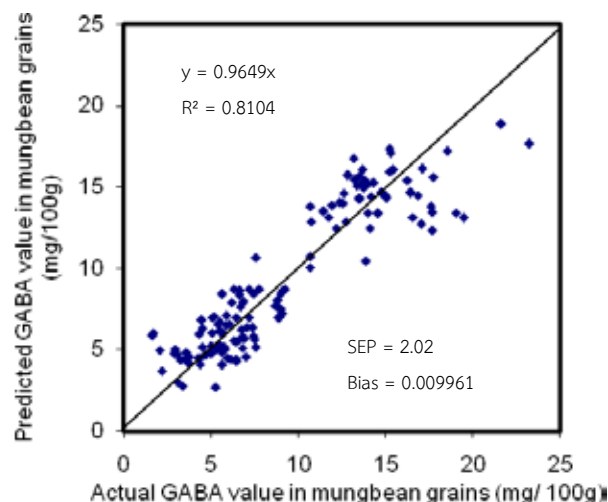


Figure 6 Calibration plots of GABA contents (mg/100g) in mungbean grains (NIRS-predicted GABA value VS. actual value from HPLC method calculated) in a set of 260 in mungbean grain samples

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบสาร GABA ในเมล็ดถั่วเหลืองและถั่วเขียวด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยใช้การวัดที่ช่วงคลื่นแสง 800-2500 นาโนเมตร สามารถนำมาใช้ในการทำนายปริมาณสาร GABA ได้อย่างเหมาะสม แม่นยำ ซึ่งนักปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง ถั่วเขียว สามารถนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ไปประเมินปริมาณสาร GABA ได้อย่างรวดเร็ว ลดระยะเวลาการดำเนินงานในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ นอกจากนี้ นักวิชาการเกษตรและผู้ประกอบการ สามารถนำผลการที่ได้จากเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ไปประเมินปริมาณสาร GABA ในการคัดเลือกคุณภาพวัตถุดิบได้

เอกสารอ้างอิง

- ชนากานต์ คำมี สุภาพร ปานแก้ว จุฬาลักษณ์ วิไลยา พิมพ์พรรณ ปฏิมา จิตราภรณ์ กันธพงษ์ และ นพพล เล็กสวัสดิ์. 2557. *กรดแอมิโนบิวทีริกในข้าวกล้องงอกมีบทบาทในการบำรุงระบบประสาทได้จริงหรือไม่*. <http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/57/57-015.pdf>. 2/3/2557
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. *มาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวกล้องงอก*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 16 หน้า.
- อิงฟ้า คำแพง อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เลาทกุลจิตต์. 2552. การเปลี่ยนแปลงสารอาหารของข้าวและธัญพืชในระหว่างการงอก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. ปีที่ 40. ฉบับที่ 3. หน้า 341-344.

- Abdou, A. M., S. Higashiguchi, K. Horie, M. Kim, H. Hatta and H. Yokogoshi, 2006. Relaxation and immunity enhancement effects of γ -Aminobutyric acid (GABA) administration in humans. *J. Bio Factors*. 26: 201 -208.
- Kaewsorn, K. and P. Sirisomboon, 2014. Determination of the gamma-aminobutyric acid content of germinated brown rice by near infrared spectroscopy. *J. of Near Infrared Spectroscopy*. 22 (1): 45-54.
- Kitaoka, S. and Y. Nakano, 1969, Colorimetric Determination of γ - amino acid. *J. Biochemistry*, 66: 89-94.
- Matsuyama, A., K. Yoshimura, C. Shimizu, Y. Murano, H. Takeuchi and M. Ishimoto, 2009. Characterization of glutamate decarboxylase mediating γ -amino butyric acid increase in the early germination stage of soybean (*Glycine max* [L.] Merr). *J. Biosci. Bioeng.* 107 (5): 538-543.
- Mubarak, A.E. 2005. Nutritional composition and antinutritional factors of mungbean seeds (*Phaseolusaureus*) as affected by some home traditional processes. *J. Food Chem.* 89 (4): 489-495.
- Shelp, B. J., A. W. Bown and M. D. McLean, 1999. Metabolism and functions of γ -aminobutyric acid. *J. Trends in plant science*. 4: 446-452.
- Srisang, N., W. Varayanond, S. Soponronnarit, and S. Prachayawarakorn, 2011. Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice. *J. Food Eng.* 107 (3-4): 385-392.
- Tiansawang K., P. Luangpituksa, W. Varayanond, and C. Hansawasdi 2014. GABA (GAMMA-AMINO BUTYRIC ACID) PRODUCTION OF MUNGBEAN (*PHASEOLUS AUREUS*) DURING GERMINATION AND THE COOKING EFFECT. *J. Suranaree J. Sci. Technol.* 21(4): 307-323.
- Williams, P.C. and K. Norris, 2001, *Near Infrared Technology in Agricultural and Food Industries*, 2nd Ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, 296 p.