

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีในข้าวเปลือกแบบรวดเร็วด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

สนธยา นุ่มท้วม^{1*} รังสรรค์ เจริญสุข¹ ชญาณิศ ศรีงาม² เสาวลักษณ์ รุ่งแจ้ง² ณัฐปกรณ์ สุขโอสถ³
และ พัชรพล ทองคำ⁴

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

²ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

³สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ กรุงเทพมหานคร 10400

⁴กลุ่มส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์ สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพิจิตร พิจิตร 66000

*Corresponding author: sonthayan@nu.ac.th

(Received January 30, 2022; Revised February 24, 2022; Accepted March 8, 2022)

บทคัดย่อ

ข้าวเปลือกถือเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่สามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจ เช่น ไก่ สุกร และโค โดยก่อนจะนำมาเป็นอาหารสัตว์จำเป็นต้องวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบเพื่อการประกอบสูตรอาหารสัตว์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) ในการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือกแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง ดำเนินการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างข้าวเปลือก จำนวน 60 ตัวอย่าง นำมาวัดการดูดกลืนแสง NIR ที่ช่วงเลขคลื่น 9000-4000 cm^{-1} ด้วยโหมดสะท้อนกลับ จากนั้นนำตัวอย่างข้าวเปลือกมาวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองด้วยวิธี partial least square (PLS) regression จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการทำนายปริมาณโปรตีน ไขมัน และเยื่อใยหยาบในข้าวเปลือกให้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ โดยแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการทำนายปริมาณโปรตีน ไขมัน และเยื่อใยหยาบ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) มากกว่า 0.95 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 0.22, 0.12 และ 0.43% ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลองสำหรับทำนายปริมาณเถ้าในข้าวเปลือกมีประสิทธิภาพด้อยกว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่น โดยมีค่า R เท่ากับ 0.78 และ RMSEP เท่ากับ 0.25% ดังนั้นเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีจึงมีความเป็นไปได้ในการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือกแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก, องค์ประกอบทางเคมี, เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

Rapid Analysis of Chemical Composition in Paddy Rice using Near Infrared Spectroscopy

Sonthaya Numthuam^{1*}, Rangsun Charoensook¹, Chayanid Sringarm², Saowaluk Rungchang², Natthapakorn Suk-osot³ and Phatcharapol Thongkum⁴

¹Department of Agricultural Sciences, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000, THAILAND

²Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000, THAILAND

³Bureau of Livestock Standards and Certification, Department of Livestock Development, Bangkok, 10400, THAILAND

⁴Division of Livestock Extension and Development, Phichit Provincial Livestock Office, Phichit, 66000, THAILAND

*Corresponding author: sonthayan@nu.ac.th

(Received January 30, 2022; Revised February 24, 2022; Accepted March 8, 2022)

Abstract

Paddy rice has been used for feeding economic livestock such as poultry, swine and cattle. Chemical analysis of feedstuffs and feed ingredients are needed for feed formulation. This study aimed to evaluate the feasibility of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) as a rapid and non-destructive method for determination of chemical compositions in paddy rice. Sixty-samples of paddy rice were used as samples. All samples were performed the NIR measurements using reflectance mode in the region of 9000-4000 cm^{-1} and were then analyzed the chemical compositions, which were crude protein, crude fat, crude fiber and ash. Data analysis was performed using partial least square (PLS) regression. The satisfied results were obtained from the calibration models of crude protein, crude fat and crude fiber, the best PLS results were with correlation coefficient (R) values more than 0.95 and root mean square error of prediction (RMSEP) of 0.22, 0.12 and 0.43%, respectively. The accuracy of the calibration model of ash was the lowest with R of 0.78 and RMSEP of 0.25%. The results suggested that NIR spectroscopy had a possibility to be applied as a rapid and non-destructive method for the determination of chemical composition in paddy rice.

Keywords: paddy rice, chemical composition, near infrared spectroscopy

บทนำ

ข้าวเปลือก ถือเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานที่เริ่มนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้ทดแทนปลายข้าวในช่วงที่ราคาแพงได้ ซึ่งข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นได้ทั้งอาหารสัตว์ปีก และอาหารสุกร จัดเป็นวัตถุดิบท้องถิ่นที่ได้จากการเพาะปลูกของเกษตรกรและสามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ในครัวเรือนของเกษตรกรเองได้โดยไม่ต้องหาซื้อโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสถานการณ์ Covid-19 ส่งผลให้ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ชาวนาประสบปัญหาการขาดแคลนข้าวเปลือกตกต่ำ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ด้วยเหตุนี้ กรมปศุสัตว์จึงสนับสนุนให้มีการนำข้าวเปลือกมาใช้ในการผลิตอาหารสัตว์มากขึ้นเพื่อลดต้นทุนอาหารสัตว์อย่างใดก็ตามในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตอาหารสัตว์โดยวิธีมาตรฐานที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในวัตถุดิบอาหารสัตว์คือวิธี Proximate ซึ่งเป็นวิธีมีหลายขั้นตอนในการวิเคราะห์ตั้งแต่การจัดการตัวอย่าง (เช่นการบด หรือการย่อยตัวอย่าง) การเตรียมสารเคมีไปจนถึงกระบวนการวิเคราะห์ที่ต้องอาศัยผู้ทำที่มีประสบการณ์เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ ทำให้วิธีนี้มีข้อจำกัดหลักในเรื่องขั้นตอนที่ซับซ้อนและระยะเวลาในการตรวจสอบที่ค่อนข้างนาน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

ปัจจุบันเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) กำลังได้รับความนิยมและการยอมรับเป็นอย่างสูงในการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ และผลผลิตในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ที่รวดเร็วไม่ทำลายตัวอย่างลดการใช้สารเคมี และง่ายต่อผู้ใช้งานมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ข้าว และผักผลไม้ (Lovett et al., 2004; Rittiron et al., 2005; Nicoli et al., 2007; Zhang et al., 2011) และสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น ข้าว และข้าวโพด (ภาณุวัฒน์ และ จันทร์ฉัตร, 2558; Jiang et al., 2007; Bagchi et al., 2016) สำหรับข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือกเพื่อเป็นวัตถุดิบทางเลือกในอาหารสัตว์ ด้วยเทคนิค NIR ยังมีข้อจำกัด การศึกษาในครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีสำหรับการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีในข้าวเปลือกแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างเพื่อประโยชน์ต่อการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างข้าวเปลือก

ข้าวเปลือกทั้งหมดจำนวน 60 ตัวอย่าง คือตัวอย่างข้าวเปลือกที่ใช้เลี้ยงไก่พื้นเมืองซึ่งรวบรวมจากเกษตรกรในเขตพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก และอำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก โดยตัวอย่างข้าวเปลือกจากการศึกษาในครั้งนี้มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 12.45 ± 2.11 แบ่งตัวอย่างบรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทตัวอย่างละประมาณ 200 กรัม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

การสแกนตัวอย่างด้วยแสงเนียร์อินฟราเรดและการวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ FT-NIR spectroscopy รุ่น Matrix-F (Bruker, Bremen, Germany) ซึ่งมีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์ในรูปแบบ online monitoring วัดค่าการดูดกลืนแสง NIR ด้วยโหมดสะท้อนกลับช่วงเลขคลื่น 12000 ถึง 4000 cm^{-1} โดยนำตัวอย่างข้าวเปลือก 150 กรัม บรรจุตัวอย่าง

ลงใน quartz cup ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร (Figure 1A) จากนั้นนำตัวอย่างไปสแกนด้วยเครื่อง NIR (Figure 1B) เพื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างข้าวเปลือก

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการแบ่งสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างข้าวเปลือกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสร้างแบบจำลอง (calibration set) จำนวน 40 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบสมการ (validation set) จำนวน 20 ตัวอย่าง นำข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างข้าวเปลือกมาสร้างแบบจำลองวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี partial least squares (PLS) regression ด้วยโปรแกรม OPUS เวอร์ชัน 7.8 จากนั้นนำตัวอย่างกลุ่มทดสอบสมการมาทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง และคัดเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพการทำนายสูงสุดในการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีในข้าวเปลือก โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่สูงสุด และค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (RMSEP) ที่ต่ำที่สุด

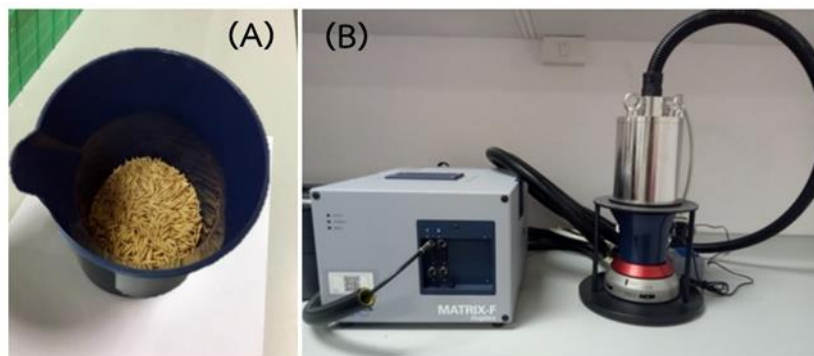


Figure 1. Sample holder of paddy rice (A) and sample presentation for NIR measurement (B)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำข้าวเปลือกทั้งเมล็ดที่ผ่านการสแกนด้วย NIRS แล้วมาบดโดยไม่กะเทาะเปลือกมาทำการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีที่จำเป็นต่อการคำนวณสูตรอาหารสัตว์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Proximate ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2000) ค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะถูกนำมาเป็นค่าอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีในการตรวจสอบปริมาณโปรตีน เยื่อใย ไขมันและเถ้าในข้าวเปลือกแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีสำคัญที่ต้องใช้ในการคำนวณเพื่อประกอบสูตรอาหารสัตว์ Figure 2 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างข้าวเปลือก ในช่วงเลขคลื่น 12000 ถึง 4000 cm^{-1} ซึ่งพบว่าลักษณะของสเปกตรัมมีพีคขนาดใหญ่ 2 พีค คือพีคของพันธะ O-H ของโมเลกุลน้ำที่เลขคลื่น 6840 และ 5185 cm^{-1} (Kasemsumran et al., 2007; Rungchang et al., 2018) Table 1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือก 60 ตัวอย่าง ด้วยวิธี Proximate ซึ่งนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS regression

Table 1. Characteristics of chemical compositions of paddy rice in calibration and validation sample sets

Parameter	% Crude Protein		% Crude Fiber		% Crude Fat		% Ash	
	Cal	Val	Cal	Val	Cal	Val	Cal	Val
No.	35	20	35	20	40	20	40	20
Min	6.73	6.83	8.79	8.99	1.25	1.99	3.99	4.00
Max	8.30	8.08	12.38	12.19	2.60	2.45	5.53	5.50
Mean	7.51	7.42	10.54	10.53	1.97	2.20	4.71	4.78
SD	0.38	0.83	0.94	0.92	0.40	0.16	0.35	0.38

Cal: Calibration set; Val: Validation set

Table 2. PLS calibration and validation results for chemical compositions of paddy rice

Chemical constituent	Rank	R	RMSEE	RMSEP	Bias	Wavelength (nm)
Crude protein	9	0.99	0.16	0.22	-0.01	9403.8-7498.4, 6102.1-5773.3
Crude fiber	8	0.95	0.40	0.43	0.001	7506.1-6094.3
Lipid	10	0.98	0.08	0.12	-0.01	7506.1-4242.9
Ash	6	0.78	0.23	0.25	0.07	9403.8-7498.4, 6102.1-5446.3

Rank: number of modified PLS factors used in calibration; R: correlation coefficient of calibration set; RMSEE: root mean square error of estimation; RMSEP: root mean square error of prediction

ผลการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่างๆในข้าวเปลือกด้วยเทคนิค NIR ดังแสดงใน Table 2 พบว่า ผล PLS ของแบบจำลองทำนายปริมาณโปรตีน ไขมัน และเยื่อใยในตัวอย่างข้าวเปลือกมีค่าความแม่นยำค่อนข้างสูงที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) มากกว่า 0.95 และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานจากการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 0.22% 0.12% และ 0.43% ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลองทำนายปริมาณเถ้ามีประสิทธิภาพการทำนายดีกว่าการทำนายองค์ประกอบทางเคมีชนิดอื่น โดยมีค่า R เท่ากับ 0.78 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเทคนิค NIR มีความเหมาะสมสำหรับการตรวจสอบองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ (Workman & Weyer, 2008) ในขณะที่เถ้าเป็นองค์ประกอบทางเคมีประเภทสารอนินทรีย์ในตัวอย่างที่เหลืออยู่หลังการเผาไหม้ Figure 3 คือภาพการเปรียบเทียบค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR ของตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ด้วย NIR สามารถทำนายค่าปริมาณโปรตีนและไขมันได้ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงที่วิเคราะห์ได้จากวิธีมาตรฐาน ในขณะที่ปริมาณเถ้าที่ทำนายได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมากกว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เมื่อพิจารณาช่วงเลขคลื่นสำคัญในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในข้าวเปลือก (Table 2) พบว่าเลขคลื่นที่มีความเกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีนคือ 8928, 8474 และ 5870 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นที่มาจากการดูดกลืนแสงจากการสั่นของพันธะ N-H ขององค์ประกอบโปรตีน (Williams &

Norris, 2001; Wang et al., 2013) ในส่วนของช่วงคลื่นสำคัญต่อการทำนายปริมาณไขมันนั้น พบว่าเลขคลื่นในช่วง $4487\text{--}4761\text{ cm}^{-1}$ มีความสัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ C-H และ O-H ขององค์ประกอบไขมัน (ภานุวัฒน์ และจันทร์เจิดฉาย, 2558) และในส่วนของการทำนายเยื่อใยนั้นคาดว่าเลขคลื่นสำคัญในแบบจำลองมาจากการดูดกลืนแสงการสั่นแบบโอเวอร์โทนของพันธะ C-H ในโครงสร้างของเซลลูโลสซึ่งอยู่ที่ช่วงเลขคลื่น $7321\text{--}7315\text{ cm}^{-1}$ (Schwanninger et al., 2011)

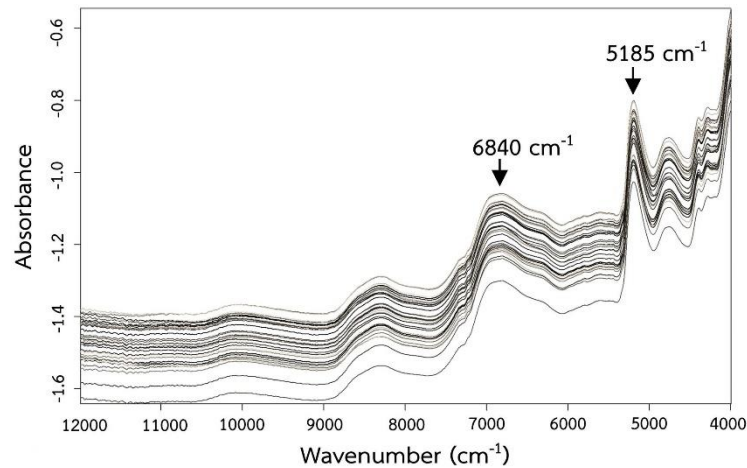


Figure 2. Original spectra of paddy rice samples

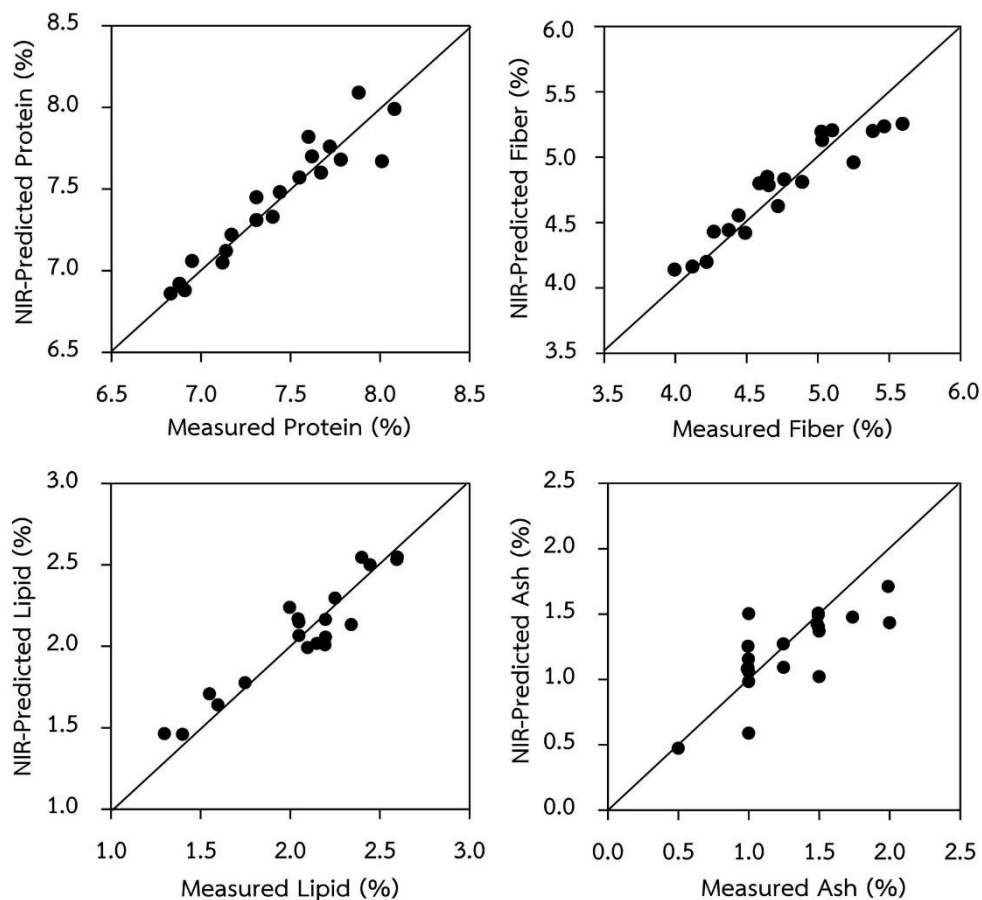


Figure 3. Scatter plots between actual and NIR-predicted chemical values in validation set

สรุป

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้าในข้าวเปลือกแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง โดยมีประสิทธิภาพการทำนายค่าโปรตีน ไขมัน และเยื่อใยที่ดีมาก ซึ่งที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.95 ในขณะที่มีความแม่นยำในการทำนายปริมาณเถ้าในข้าวเปลือกอยู่ในระดับปานกลาง ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.78

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) สัญญาเลขที่ R2560B123 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

เอกสารอ้างอิง

- ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง และ จันทร์เจิดฉาย สังเกตกิจ. (2558). การแบ่งกลุ่มและหาปริมาณความชื้น และไขมัน ในรำข้าวแบบรวดเร็วโดยใช้แสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานฟอร์ม. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16* วันที่ 17-19 มีนาคม 2558. กรุงเทพฯ.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). *สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2564*. สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 242 น.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis*. 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, USA.
- Bagchi, T. B., Sharma, S., & Chattopadhyay, K. (2016). Development of NIRS models to predict protein and amylose content of brown rice and proximate compositions of rice bran. *Food Chemistry*, 191, 21-27.
- Jiang, H. Y., Zhu, Y. J., Wei, L. M., Dai, J. R., Song, T. M., Yan, Y. L., & Chen, S. J. (2007). Analysis of protein, starch and oil content of single intact kernels by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) in maize (*Zea mays* L.). *Plant breeding*, 126(5), 492-497.
- Kasemsumran, S., Thanapase, W., & Kiatsoonthon, A. (2007). Feasibility of near-infrared spectroscopy to detect and to quantify adulterants in cow milk. *Analytical Sciences*, 23(7), 907-910.
- Lovett, D. K., Deaville, E. R., Mould, F., Givens, D. I., & Owen, E. (2004). Using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the biological parameters of maize silage. *Animal feed science and technology*, 115(1-2), 179-187.
- Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest biology and technology*, 46(2), 99-118.
- Rittiron, R., Saranwong, I., & Kawano, S. (2005). Detection of variety contamination in milled Japanese rice using a single kernel near infrared technique in transmittance mode. *Journal of near infrared spectroscopy*, 13(1), 19-25.

- Rungchang, S., Numthuam, S., Charoensook, R., Thongkum, P., & Junmatong, C. (2018). Method development for pesticide determination in paddy rice using near infrared spectroscopy. *International Journal of Agricultural Technology*, 14(1), 123-129.
- Schwanninger, M., Rodrigues, J. C., & Fackler, K. (2011). A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 19(5), 287-308.
- Wang, L., Wang, Q., Liu, H., Liu, L., & Du, Y. (2013). Determining the contents of protein and amino acids in peanuts using near-infrared reflectance spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(1), 118-124.
- Williams, P., & Norris, K. (2001). *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Workman, J. & Weyer, L. (2008). *Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy*. CRC Press Taylor and Francis Group. Boca Raton. 332-383.
- Zhang, B., Rong, Z. Q., Shi, Y., Wu, J. G., & Shi, C. H. (2011). Prediction of the amino acid composition in brown rice using different sample status by near-infrared reflectance spectroscopy. *Food Chemistry*, 127(1), 275-281