

การประเมินคุณภาพการสีของข้าวโดยใช้เทคนิค NIR Rice Milling Quality Assessment using NIR

ใจทิพย์ วานิชชัง¹ ผดุงศักดิ์ วานิชชัง¹ นฤมล บุญกระจ่าง¹ และเพียงขวัญ เครือภู²
Jaitip Wanitchang¹, Padungsak Wanitchang¹, Narumon Boonkachang¹
and Piangkhan Khreaphu²

¹คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ²สาขาวิทย์-คณิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จ.ชลบุรี
E-mail: J.wanitchang@gmail.com โทร089-832-8819

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการประเมินคุณภาพการสีของข้าว โดยใช้เทคนิค NIR วัดค่าการดูดกลืนแสงช่วง 1400-2600 นาโนเมตร ของข้าวเปลือกและข้าวกล้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินราคาข้าวเปลือกตามคุณภาพการสีของข้าวทำการทดลองที่สาขาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี โดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เริ่มจากเตรียมข้าวเปลือก 3 ตัวอย่างให้มีคุณภาพการสีต่างกัน โดยการนำข้าวเปลือกแห้งไปแช่น้ำเป็นเวลา 2, 5 และ 10 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักและผึ่งลมให้แห้ง ผลการทดลองพบว่าข้าวเปลือกตัวอย่างมีคุณภาพการสีแตกต่างกันทางสถิติ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) เมื่อวิเคราะห์ค่า PLSR model ของค่าการดูดกลืนแสงช่วง NIR ของข้าวเปลือกและของข้าวกล้องกับปริมาณข้าวหักทั้งหมดมีค่า Correlation coefficient (R) สูงที่สุด และค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับข้าวเปลือกอยู่ที่ช่วง 2000-2600 นาโนเมตร สำหรับข้าวกล้องอยู่ที่ช่วง 1400-2100 และ 2500-2600 นาโนเมตร Calibration model สำหรับการทำนายค่าปริมาณข้าวหักทั้งหมด ได้จากการทำ Multiple Scatter Correction ร่วมกับ 1st derivative (MSC+1D) ของข้าวเปลือกได้ผลการทำนายมีค่า R มากที่สุดมีค่า SEP ต่ำที่สุดและค่า RPD สูงที่สุด ในขณะที่การทำ Savitzky-Golay Smoothing กับข้าวกล้องจะทำให้ผลการทำนายมีค่า R มากที่สุดมีค่า SEP ต่ำที่สุด และมีค่า RPD มากที่สุดด้วย

คำสำคัญ: ข้าว, คุณภาพการสี, เนียร์อินฟราเรด

Abstract

The objectives of this study were to access the milling quality of rice using the NIR technique by measuring light reflectance at 1400-2600 nm of rough rice and brown rice. So it will be get the reasonable price according to the quality of rice. The study was conducted at Postharvest Lab, Agricultural Engineering and Technology Dept. Faculty of Agriculture and National Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi. The KDML105 rough rice was used as the sample. The experiment started by preparing the different milling quality rice samples. Dried rough rice were soaked at 2, 5 and 10 min and rapidly dried. The result revealed that the milling quality of samples were significantly difference ($p < 0.01$). PLSR model for predicting total broken rice using NIR absorbance of rough rice and brown rice showed the highest correlation coefficient (R). For rough rice the wavelength at 2000-2600 nm had the highest R and for brown rice at the wavelength 1400-2100 and 2500-2600 nm. The best model for predicting total broken rice for rough rice could be pretreatment with multiple scatter correction followed by 1st derivative (MSC+1D) had the highest R the lowest SEP and the highest RPD. However for brown rice pretreatment with Savitzky-Golay Smoothing had the best result with the highest R, the lowest SEP and the highest RPD.

Keywords: Rice, Milling quality, NIR

1. บทนำ

วิธีการตรวจสอบคุณภาพการสีข้าวที่ถูกต้องนั้นมีขั้นตอนตั้งแต่การกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องทดสอบการกะเทาะ การขัดขาวเพื่อขัดรำออกจากข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาว และการคัดแยกข้าวหักด้วยเครื่องคัดแยกข้าวหัก เพื่อให้ทราบว่ามีข้าวเปลือกที่รับซื้อไปเข้าสู่กระบวนการสีแปรรูปจะได้ปริมาณต้นข้าว หรือปริมาณเนื้อข้าวมากน้อยเพียงไร การตรวจสอบด้วยวิธีดังกล่าวต้องใช้เวลาและเครื่องมือ โรงสีส่วนใหญ่จึงไม่มีการตรวจสอบคุณภาพการสีของข้าว แต่กำหนดราคาข้าวเปลือกจากเกรด

ความชื้นเท่านั้น ในขณะที่รัฐบาลประกาศราคาข้าวซื้อข้าวจากความชื้นและคุณภาพการสีของข้าว โรงสีบางแห่งมีการตรวจสอบคุณภาพการสีของข้าวแต่ใช้เครื่องตรวจสอบแบบที่ใส่ข้าวเปลือกเข้าในเครื่องแล้วจะได้ข้าวสารออกมา ซึ่งจะทำงานได้รวดเร็วแต่คุณภาพการสีของข้าวที่ได้จะต่ำกว่าค่าที่เป็นจริงมากกว่า 10% ทำให้การประเมินคุณภาพการสีข้าวตลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดมาก ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียข้าวในระบบการผลิตข้าวของประเทศ ธนาคารแห่งประเทศไทย (2559) รายงานสถานการณ์สินค้าเกษตรปี 2557 และแนวโน้มปี 2558 ว่าจะมีผลผลิตข้าวเปลือกประมาณ 36.8 ล้านตัน ถ้าหากมีการประเมินคุณภาพการสีของข้าวไม่ถูกต้อง โดยมีการสูญเสียประมาณ 5 % มูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นประมาณ 1.84 ล้านตัน ในระบบการสีแปรรูปข้าวของไทยต้องการวิธีการที่สามารถประเมินคุณภาพการสีของข้าวได้ถูกต้องและรวดเร็ว ซึ่งเครื่อง NIR (Near infrared spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวิเคราะห์สมบัติต่างๆของข้าว ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าอะไมโลส ปริมาณโปรตีน ปริมาณแป้ง ธาตุอาหารต่างๆ สมบัติทางเคมีกายภาพ ตลอดจนคุณภาพการหุงต้มและคุณภาพการบริโภคของข้าว เช่น จารุวรรณ และ คณะ (2553) ได้ประเมินค่าอะไมโลสในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการประเมินอยู่ที่ 800-2000 นาโนเมตร โดยการทำนายมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.98, 0.84 และ 0.88 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการทำนาย (SEP) เท่ากับ 3.85, 2.79 และ 1.99% ในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ตามลำดับ โดยที่การประเมินค่าอะไมโลสของข้าวด้วยวิธีนี้สามารถทำได้รวดเร็ว เสียค่าใช้จ่ายต่ำ Natsuga et al (2001) ได้พัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวกล้องความเร็วสูงโดยใช้ปริมาณโปรตีนเป็นเกณฑ์ ด้วยเครื่อง NIR ที่ช่วงความยาวคลื่น 400-2249 นาโนเมตรพบว่า การจำแนกมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่ 0.5% และมีความเร็วในการคัดที่ 2.8 วินาทีต่อเมล็ด ซึ่งใช้เวลานานเกินไปจำเป็นต้องพัฒนาต่อไป Bao et al., (2001) ได้ทดลองทำนายคุณสมบัติของแป้งข้าวจากประเทศจีน โดยใช้เทคนิค NIR เปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย ระหว่าง 0.75-0.86 ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ประมาณค่าเบื้องต้นของคุณสมบัติของแป้งข้าวจำนวนมากๆที่ต้องการความรวดเร็ว Kawamura et al., (1997) ได้ทดลองใช้เครื่อง VIS/NIR ในการประเมินคุณภาพของข้าวสุก โดยใช้ตัวอย่างที่เป็นข้าวเมล็ดสั้น จากการทดลองพบว่า การตรวจว่าการสะท้อนแสงของข้าวสาร ช่วง VIS/NIR สามารถนำมาประเมินคุณภาพของข้าวสุกได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0.62 และ 0.27 ซึ่งจากผลการทดลองแสดงว่าวิธีการนี้ยังไม่สามารถทดแทนวิธีการตรวจวัดคุณภาพข้าวสุกโดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (Sensory test) ได้ น่าจะมีการใช้ VIS/NIR ในการจำแนกกลุ่มของข้าวตามคุณภาพของข้าวสุก Wu and Shi (2006) ได้ทดลองสร้างสมการประเมินคุณภาพการหุงต้มของข้าวโดยใช้เครื่อง NIRS ตรวจวัดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร แป้งข้าวกล้องและแป้งข้าวสาร โดยสมบัติที่ใช้ประเมินคุณภาพการหุงต้ม ได้แก่ ปริมาณอะไมโลส (Amylose content) ค่าการไหลของน้ำแป้ง (Gel consistency) และค่าการสลายตัวในด่าง (Alkaline spread value) จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่เป็นแป้งให้ผลการทำนายที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเปลือก ดังนั้น การตรวจวัดคุณภาพการหุงต้มของข้าวสามารถพัฒนาให้อยู่ในขั้นตอนของการสีข้าวได้ เพื่อให้สามารถประเมินคุณภาพการหุงต้มของข้าวในขณะที่สีแปรรูป Jiang et al., (2010) ได้พัฒนาระบบอัตโนมัติในการตรวจวัดค่าความแข็งของข้าวสุกเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจวัดโดยใช้ NIR เนื่องจาก มีการใช้เครื่อง NIR ในการตรวจวัดความแข็งของข้าวสุกในประเทศจีน โดยมีชื่อเรียกว่า Taste Analyzer แต่มีนักวิจัยบางคนไม่ยอมรับวิธีการนี้ เพราะเป็นการตรวจวัดทางอ้อม จึงได้มีการพัฒนาระบบกลไกอัตโนมัติในการตรวจวัดความแข็งของข้าวสุกโดยตรง พบว่า ผลการตรวจวัดค่าความแข็งของข้าวสุกมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกับค่าที่ได้จากเครื่อง Taste Analyzer ในขณะที่ยกทัพ และ คณะ (2554) ได้ใช้เทคนิค NIR ในการตรวจวัดการปลอมปนของข้าวพันธุ์อื่นในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยวัดค่าการสะท้อนแสงของข้าวสารและแป้งข้าวในช่วง 1400-2600 นาโนเมตร และเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงที่ได้กับค่าการตรวจวัดความบริสุทธิ์ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่วัดจากการตรวจ DNA พบว่า เทคนิค NIR สามารถจำแนกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวพันธุ์อื่นปนมากกว่า 8% ได้ความถูกต้องมากกว่า 80% โดยตัวอย่างที่เป็นแป้งข้าวให้ผลการทำนายดีกว่าข้าวสาร นอกจากนี้ จารุวรรณ และ คณะ (2554) ได้ทำการประเมินคุณภาพการสีข้าวด้วยเทคนิค NIR โดยการเตรียมตัวอย่างข้าวสารที่มีปริมาณข้าวหักตั้งแต่ 0-100% วัดค่าการดูดกลืนแสงช่วง NIR ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร จากการทดลองพบว่า ข้าวสารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก ที่มีค่า SD=27.67% และสมการที่ได้จากการทำ Calibration ด้วยวิธี PLSR (Partial Least Square Regression) ที่ใช้ความยาวคลื่นช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ในการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวหักมีค่า R=0.97 และ SEP=7.8% ซึ่งค่า SEP ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่า SD แสดงว่าการพัฒนาสมการได้ค่าที่ถูกต้องสำหรับการประเมินคุณภาพการสีของข้าวได้ และ Chen et al (2010) ได้ศึกษาแนวทางการใช้ NIR ในการประมาณค่าปริมาณข้าวขาว โดยทำการทดลองกับข้าวเปลือก จำนวน 66 พันธุ์ ทั้งข้าวเมล็ดยาว และเมล็ดสั้นซึ่งนิยมปลูกในประเทศจีน โดยข้าวเปลือกตัวอย่างทั้งหมดจะถูกกะเทาะเป็นข้าวกล้อง และขัดข้าวที่เวลา 25, 30, 35, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 และ 95 วินาที เพื่อให้ได้ข้าวขาว และคำนวณปริมาณข้าวขาวเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับข้าวกล้อง ข้าวขาวที่ได้จะนำไปสแกนด้วยเครื่อง NIR ที่ช่วงความยาวคลื่น 833-2500 นาโนเมตร จากการทดลอง พบว่า ตัวอย่างมีค่าปริมาณข้าวขาว 85.72-96.91% และช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสมการทำนาย

ปริมาณข้าวขาว คือ 1638.8-2354.9 นาโนเมตร โดย Calibration model มีค่า $R^2=0.994$ และเมื่อใช้ทำนายปริมาณข้าวขาวมีค่า $RMSEP=0.174\%$ $Bias=-0.021\%$ ซึ่งแสดงว่าสามารถใช้ NIR ในการทำนายปริมาณข้าวขาวได้

แต่การประเมินเปอร์เซ็นต์ข้าวหักใช้ตัวอย่างข้าวหัก 0-100% สามารถมองเห็นความแตกต่างด้วยสายตา เช่นเดียวกับการประเมินปริมาณข้าวขาว โดยการขัดข้าวข้าวกล้องที่เวลา 25, 30, 35, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 และ 95 วินาที สีของข้าวขาวที่ได้จะแตกต่างกันอย่างชัดเจน ผลได้จากการประเมินด้วยเทคนิค NIR จึงดีมากในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินคุณภาพการสีของข้าว ที่มีลักษณะปรากฏเหมือนกันไม่สามารถแยกด้วยสายตาจึงมีความแตกต่างกับงานที่เคยมีผู้ศึกษาไว้ก่อนและน่าสนใจศึกษา

2. วิธีการทดลอง

2.1 เตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แห่งความชื้นประมาณ 12-14% ทำความสะอาดคัดแยกสิ่งเจือปนออกจำนวน 3 ตัวอย่างที่มาจากแหล่งเดียวกัน มีลักษณะเหมือนกัน แต่มีคุณภาพการสีแตกต่างกัน โดยการนำตัวอย่างข้าวเปลือกแช่น้ำที่เวลา 2, 5 และ 10 นาที แล้วผึ่งลมให้แห้งอย่างรวดเร็ว นำตัวอย่างข้าวเปลือกวัดค่าการสะท้อนแสงช่วง ความยาวคลื่น 1,400-2,600 นาโนเมตร จำนวน 50 กรัมต่อตัวอย่าง ด้วยเครื่อง NIR Infra scan: Bruin instrument โดยเลือกการสแกนแบบหมุน (Rotating cup) ซึ่งเครื่องจะทำการสแกนจำนวน 16 ครั้งต่อตัวอย่าง และแสดงผลเป็นค่า $\log(1/R)$ ที่แต่ละความยาวคลื่นโดยมีความละเอียด 0.5 นาโนเมตร และวัดสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกที่ผ่านการสแกน ได้แก่ ตรวจวัดความชื้น โดยวิธี Oven method ชั่งน้ำหนัก 100 เมล็ด วัดปริมาตรค่าน้ำหนักจำเพาะ และความหนาแน่นรวมของข้าวเปลือก จากนั้นกะเทาะข้าวเปลือก 50 กรัมด้วยเครื่องทดสอบการกะเทาะแบบลูกยาง กะเทาะจนหมดไม่เหลือข้าวเปลือก แล้วนำไปคัดแยกข้าวกล้องหักด้วยเครื่องคัดแยกข้าวหักแบบตะแกรงกลม ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องเต็มเมล็ดและข้าวกล้องหัก คำนวณเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง และ ข้าวกล้องหักชั่งน้ำหนักข้าวกล้องเต็มเมล็ด 50 กรัม วัดค่าการสะท้อนแสงช่วง ความยาวคลื่น 1400-2600 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง NIR Infra scan: Bruin instrument โดยเลือกการสแกนแบบหมุน (Rotating cup) ทำเช่นเดียวกับข้าวเปลือก

2.2 ขัดข้าวข้าวกล้อง 50 กรัมด้วยเครื่องทดสอบการขัดข้าวแบบลูกเหล็ก โดยใช้เวลาในการขัดข้าว 25 วินาที และคัดแยกข้าวหักโดยใช้เครื่องคัดแยกข้าวหัก ชั่งน้ำหนักข้าวต้นและข้าวหักที่ได้ คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นและเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก

2.3 วิเคราะห์ Anova เพื่อหาความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพและคุณภาพการสีของข้าวเปลือกตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยใช้โปรแกรม SPSS และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงช่วง 1400-2600 นาโนเมตรของข้าวเปลือกและข้าวกล้อง กับคุณภาพการสีของข้าว โดยใช้โปรแกรม Unscramble ทำการวิเคราะห์ Partial Least Square Regression (PLSR) เพื่อหา Model ที่ดีที่สุดในการทำนายคุณภาพการสีของข้าวเปลือกแบบที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่าง โดยการแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกและข้าวกล้องเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Calibration set จำนวน 180 ตัวอย่าง และกลุ่ม Validation set จำนวน 60 ตัวอย่าง เพื่อทำ Calibration model และนำ Model ที่ได้ไปทำนายคุณภาพการสีในกลุ่มของ Validation set Calibration model ที่ดีพิจารณาจาก Model ที่มีค่า Correlation coefficient (R) สูง และมีค่า Standard Error of Calibration (SEC) ต่ำ เมื่อวิเคราะห์ Cross validation มีค่า Standard Error of Cross Validation (SECV) ต่ำ ส่วนผลการทำนายคุณภาพการสีใน Validation set พิจารณาจากผลการทำนายที่มีค่า Correlation coefficient (R) สูง มีค่า Standard Error of Prediction (SEP) ต่ำ มีค่า Bias ต่ำ และมีค่า RPD (Ratio of Prediction to Standard deviations:SD/SEP) สูง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของคุณภาพการสีและสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง ข้าวขาว ข้าวต้น และข้าวหักทั้งหมด ดังตารางที่ 1 พบว่าข้าวทั้ง 3 กลุ่มมีคุณภาพการสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P<0.01$) และมีค่าความชื้น น้ำหนัก 100 เมล็ด ค่าความหนาแน่นรวมและค่าน้ำหนักจำเพาะ ของข้าวเปลือกทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) ดังตารางที่ 2 แสดงว่าข้าวเปลือกตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มนี้มีคุณภาพการสีและสมบัติทางกายแตกต่างกันสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่า PLSR ได้ (William, P.C.,2007) โดยค่าปริมาณข้าวหักทั้งหมดมีค่า F สูงสุด จึงจะใช้ค่าปริมาณข้าวหักทั้งหมดเป็นตัวแปรในการประเมินคุณภาพการสีของข้าวแทนที่จะใช้ค่าปริมาณข้าวต้น

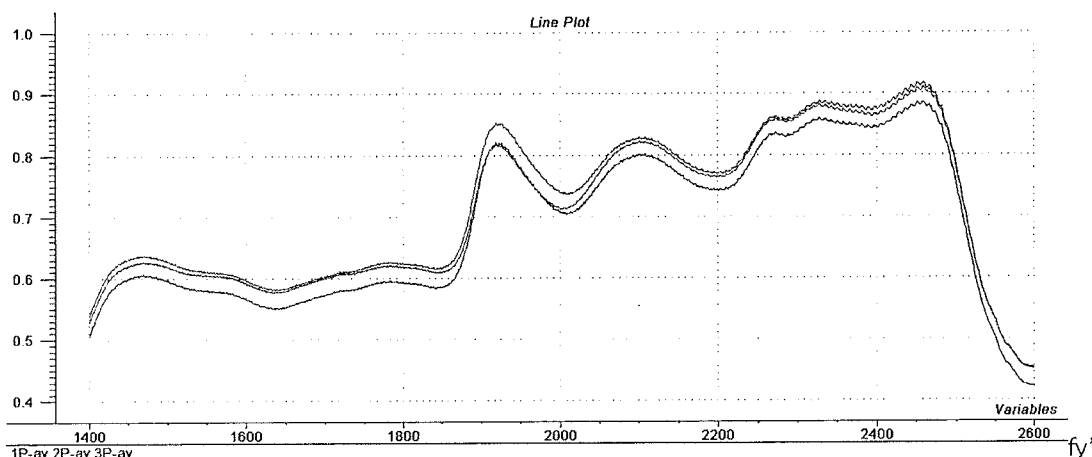
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของคุณภาพการสีของข้าวเปลือกตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Brown rice (%)	Between Groups	282.59	2	141.29	55.73	0.00
	Within Groups	905.14	357	2.54		
	Total	1187.72	359			
Milled rice (%)	Between Groups	360.57	2	180.28	22.24	0.00
	Within Groups	2894.30	357	8.11		
	Total	3254.87	359			
Head rice (%)	Between Groups	864.92	2	432.46	54.81	0.00
	Within Groups	2817.05	357	7.89		
	Total	3681.97	359			
Total broken rice (%)	Between Groups	2738.08	2	1369.04	290.73	0.00
	Within Groups	1681.12	357	4.71		
	Total	4419.20	359			

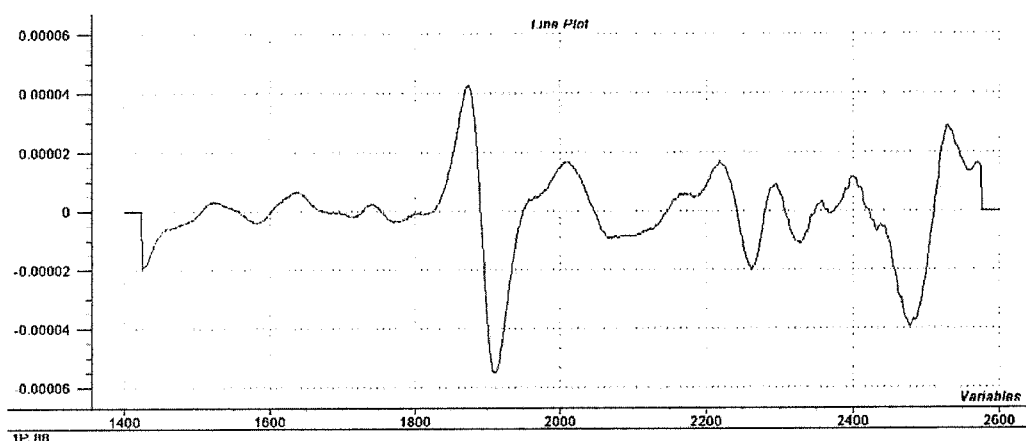
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Moisture content (%)	Between Groups	121.54	2	60.77	205.19	0.00
	Within Groups	105.73	357	0.30		
	Total	227.27	359			
100 grain wt (g)	Between Groups	2.58	2	1.29	139.96	0.00
	Within Groups	3.30	357	0.01		
	Total	5.88	359			
Bulk density (g/ml)	Between Groups	0.03	2	0.02	72.18	0.00
	Within Groups	0.07	357	0.00		
	Total	0.11	359			
Specific wt (g/ml)	Between Groups	0.05	2	0.03	3.63	0.03
	Within Groups	2.53	357	0.01		
	Total	2.58	359			

จากการนำค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสง ($\log 1/R$) ช่วง 1400-2600 นาโนเมตร ของข้าวเปลือกทั้ง 3 ตัวอย่างดังภาพที่ 1 พบว่า พีกแรกที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1440 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของซูโครสและแป้ง ต่อมาที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1940 ซึ่งสัมพันธ์กับโมเลกุลของน้ำ แป้ง และเซลลูโลส ต่อมาจะเห็นพีกที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 2100 ซึ่งสัมพันธ์กับโมเลกุลของแป้ง และเซลลูโลสหลังจากนั้นจะเห็นพีกที่มีการรบกวน (Noise) ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 2230-2500 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของแป้ง โปรตีน ไขมันและเซลลูโลส (Osborne et al., 1993, Shenk et al., 2001 และ Williams and Norris, 2001) ซึ่งจะเห็นพีกชัดเจนขึ้นเมื่อมีการทำ Pretreatment ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงช่วง NIR ของข้าวเปลือกตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม (ค่าเฉลี่ย)



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ 2nd derivative (2D) กับ Spectrum ของข้าวเปลือก

เมื่อวิเคราะห์ PLSR ของค่าการดูดกลืนแสงช่วง 1400-2600 นาโนเมตร กับคุณภาพการสี โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็น X และคุณภาพการสีเป็นค่า Y ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3 พบว่า PLSR model ของการวิเคราะห์ปริมาณข้าวหักทั้งหมด มีการใช้ค่า Pc หรือแฟคเตอร์ในการวิเคราะห์และ มีค่า Correlation coefficient (R) ของ Calibration set มากที่สุดแต่มีค่า Standard Error of Calibration (SEC) น้อยที่สุด ในส่วนของการวิเคราะห์ Cross validation ให้ผลทำนองเดียวกัน แต่มีค่า Bias มากที่สุด จะเห็นว่า ผลการวิเคราะห์มีการใช้ค่า Pc และค่า R ในส่วนของปริมาณข้าวหักทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดจึงน่าจะนำมาใช้ในการทำนายคุณภาพการสีของข้าวเปลือกได้ดีกว่าการใช้ปริมาณข้าวขาว และปริมาณข้าวตัน แต่อย่างไรก็ตามค่าการดูดกลืนแสงช่วง NIR มีความสัมพันธ์กับคุณภาพการสีของข้าวมากกว่าสมบัติทางกายภาพอื่น เนื่องจากมีค่า Correlation coefficient (R) มากที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ PLSR ของค่าการดูดกลืนแสงของข้าวเปลือกกับคุณภาพการสี

properties	Pc	Rc	SEC	Rv	SECV	Bias
Milled rice (%)	3	0.333	2.839	0.292	2.882	-0.003
Head rice (%)	3	0.461	2.842	0.438	2.881	-0.002
Total broken rice (%)	5	0.795	2.125	0.741	2.365	-0.010

เมื่อทำการวิเคราะห์ PLSR ของปริมาณข้าวหักทั้งหมดกับค่าการดูดกลืนแสงของข้าวเปลือกในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ดังตารางที่ 4 พบว่า ช่วงความยาวคลื่นของข้าวเปลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณข้าวหักทั้งหมดของข้าวเปลือกจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 2000-2600 นาโนเมตร ซึ่งครอบคลุมองค์ประกอบที่สามารถวิเคราะห์คุณภาพการสีของข้าวมากที่สุด

เนื่องจาก ผลการวิเคราะห์ Calibration set มีค่า R มากที่สุด และค่า SEC น้อยที่สุดทำนองเดียวกับการวิเคราะห์ Cross validation มีค่า R มากที่สุด และมีค่า SECV และ Bias น้อยที่สุด

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ PLSR ของค่าการดูดกลืนแสงของข้าวเปลือกกับปริมาณข้าวหักทั้งหมด

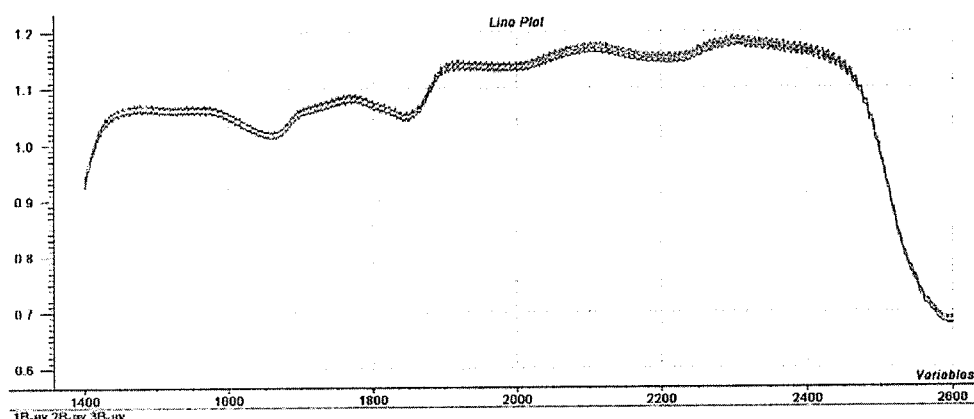
Wavelength(nm)	Pc	Rc	SEC	Rv	SECV	Bias
1400-2600	5	0.795	2.125	0.741	2.365	-0.010
1800-2600	5	0.805	2.079	0.741	2.362	-0.006
2000-2500	4	0.774	2.218	0.719	2.440	-0.013
2000-2600	5	0.846	1.868	0.745	2.346	0.0009
2100-2600	4	0.760	2.278	0.723	2.422	0.0056

เมื่อตรวจสอบคุณภาพการสีของข้าวเปลือก ด้วยการทำนายค่าปริมาณข้าวหักทั้งหมด โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสง ($\log 1/R$) ของข้าวเปลือกในช่วงความยาวคลื่น 2000-2600 นาโนเมตร Model ที่มีการปรับแต่ง Spectrum ด้วยการทำ MSC ร่วมกับ 1D (MSC+1D) ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุด โดยมีผลการทำนายที่ให้ค่า R มากที่สุด มีค่า SEP ต่ำที่สุด และมีค่า RPD มากที่สุด

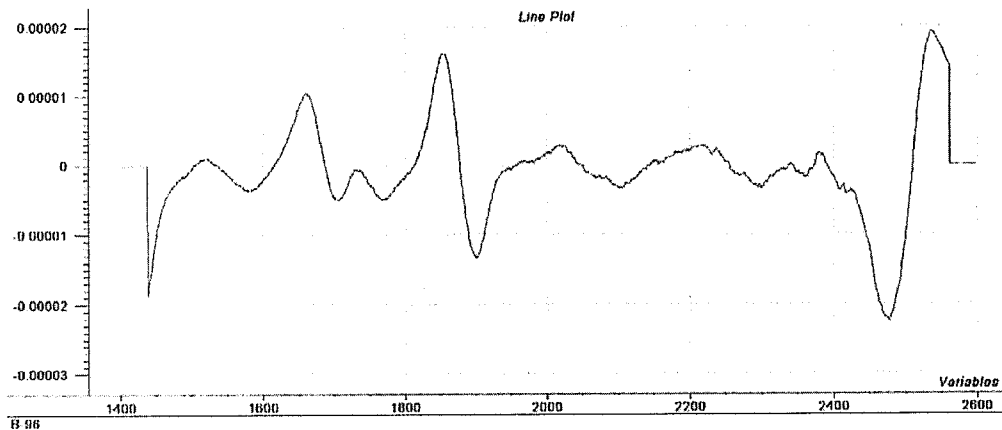
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ PLSR ช่วงความยาวคลื่น 2000-2600 นาโนเมตรของข้าวเปลือกกับปริมาณข้าวหัก

	Calibration set				Validation set		
	Pc	Rc	SEC	Rv	SEP	Bias	RPD
Raw spectrum	5	0.912	1.586	0.827	2.098	-0.920	1.759
Smoothing	5	0.912	1.582	0.837	2.035	-0.908	1.813
Normalization	5	0.909	1.609	0.840	2.026	-1.069	1.821
MSC	4	0.907	1.630	0.843	2.000	-1.076	1.845
MSC+1D	4	0.883	1.817	0.882	1.744	-1.149	2.116
MSC+2D	4	0.862	1.922	0.863	1.860	-0.547	1.984

ค่าการดูดกลืนแสง ($\log 1/R$) ของข้าวกล้อง ดังภาพที่ 3 จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงแตกต่างกับข้าวเปลือก เนื่องจากลักษณะผิวที่ต่างกันและโครงสร้างของชั้นแกลบที่เป็นเปลือก เมื่อทำการปรับแต่ง Spectrum ของข้าวกล้อง โดยการทำ 2^{nd} derivative กับ Spectrum ของข้าวกล้อง ได้ผลการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 4 จะเห็นพีกที่ชัดเจนมากขึ้น ช่วง 1400-2100 นาโนเมตร และช่วง 2500-2600 นาโนเมตร



ภาพที่ 3 ค่าการดูดกลืนแสงช่วง NIR ของข้าวกล้องตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม (ค่าเฉลี่ย)



ภาพที่ 4 ค่าการดูดกลืนแสงของข้าวกล้องเมื่อทำPre-treatment 2^{nd} derivative (2D)

เมื่อทำการวิเคราะห์ PLSR model ของค่าการดูดกลืนแสงของข้าวกล้องกับปริมาณข้าวหักทั้งหมด โดยการเลือกช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ดังตารางที่ 6 พบว่า ที่ช่วงความยาวคลื่น 1400-2600 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์ใช้ Pc 6 ค่า มีค่า R มากที่สุดและค่า SEC น้อยที่สุด แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ Full cross validation พบว่า ค่า R ลดลง และค่า SECV เพิ่มขึ้นและเมื่อเลือกช่วงความยาวคลื่นเป็น 1400-2000, 1400-2100, 1600-2600, 1800-2600, 2000-2600 และ 1400-2100 กับ 2500-2600 พบว่า ผลการวิเคราะห์การใช้ Pc 4-6 ค่า รวมทั้งมีค่า R ลดลง และมีค่า SEC เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์ Full cross validation ผลการวิเคราะห์มีค่า R ลดลง และมีค่า SECV เพิ่มขึ้นยกเว้น model ที่ใช้ค่าการดูดกลืนแสงช่วง 1400-2100 นาโนเมตร และ model ที่ใช้ค่าการสะท้อนแสงช่วง 1400-2100 กับ 2500-2600 นาโนเมตร ที่มีค่า R เพิ่มขึ้น และมีค่า SECV ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ Model ที่ใช้ค่าความยาวคลื่นช่วง 1400-2600 นาโนเมตร

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ PLSRของปริมาณข้าวหักทั้งหมดกับค่าการสะท้อนแสงของข้าวกล้อง

Wavelength(nm)	Pc	Rc	SEC	Rv	SECV	Bias
1400-2600	6	0.873	1.709	0.716	2.464	-0.014
1400-2000	4	0.800	2.100	0.745	2.339	0.003
1400-2100	5	0.849	1.855	0.778	2.203	-0.011
1600-2600	5	0.780	2.194	0.684	2.568	0.0017
1800-2600	5	0.783	2.179	0.684	2.564	-0.006
2000-2600	5	0.795	2.125	0.680	2.579	0.001
1400-2100,2500-2600	6	0.854	1.825	0.764	2.265	-0.017

เมื่อทำการวิเคราะห์ PLSR model ของค่าการสะท้อนแสงของข้าวกล้องที่ความยาวคลื่น 1400-2100 และ 2500-2600 นาโนเมตร เพื่อทำนายปริมาณข้าวหักทั้งหมด มีการทำ Pretreatment กับ Raw spectrum โดยการทำให้ Savitzky-Golay Smoothing, Normalization, Multiple Scatter Correction (MSC), MSC ร่วมกับ 1^{st} derivative (MSC+1D) และ MSC ร่วมกับ 2^{nd} derivative (MSC+2D) ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 7 พบว่า ใน Calibration model ที่ใช้ความยาวคลื่นเดิม (Raw spectrum) ผลการวิเคราะห์จะใช้ Pc ในการวิเคราะห์จำนวน 6 ค่า มีค่า R และ SEC เท่ากับ 0.929 และ 1.428 ตามลำดับ และเมื่อนำ calibration model ไปทำนายค่าปริมาณข้าวหักทั้งหมดใน Validation set พบว่า มีค่า R, SEP และ Bias เท่ากับ 0.900, 1.605 และ 1.003 ตามลำดับ และมีค่า RPD เท่ากับ 2.300 ซึ่งให้ผลการทำนายที่ดีขึ้น เมื่อทำ Pretreatment ผลการวิเคราะห์พบว่า Calibration model ทุก model มีค่า R ลดลง และมีค่า SEC เพิ่มขึ้น แต่เมื่อนำ Calibration model ที่ได้ทำนายปริมาณข้าวหักทั้งหมด Calibration model ที่มีการทำ Savitzky-Golay Smoothing จะทำให้ผลการทำนายมีค่า R มากที่สุดและมีค่า SEP ต่ำที่สุด ส่งผลให้มีค่า RPD มากที่สุดด้วย โดยมีค่าเท่ากับ 0.905, 1.573 และ 2.346 ตามลำดับ ส่วน Calibration model ที่มีการทำ MSC ร่วมกับการทำ 1^{st} derivative และ model ที่มีการทำ MSC ร่วมกับการทำ 2^{nd} derivative ให้ผลการทำนายที่ไม่ดี คือมีค่า R ต่ำ แต่มีค่า SEP สูง ส่งผลให้มีค่า RPD ต่ำด้วย รวมทั้ง model มีการใช้ Pc ในการวิเคราะห์เพียง 3 ค่าเท่านั้น จะเห็นว่า เมื่อเลือกค่าการสะท้อนแสงของข้าวกล้องที่ความยาวคลื่นช่วง 2500-2600 นาโนเมตร ร่วมกับค่าการสะท้อนแสงช่วง 1400-2100 นาโนเมตร ทำให้ผลการทำนายค่าปริมาณข้าวหักทั้งหมด มีผลการทำนายที่ดีขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ PLSR ของปริมาณข้าวหักทั้งหมดกับค่าการสะท้อนแสงช่วง 1400-2100 และ 2500-2600 นาโนเมตรของข้าวกล้อง

	Calibration set			Validation set			
	Pc	Rc	SEC	Rv	SEP	Bias	RPD
Raw spectrum	6	0.929	1.428	0.900	1.605	1.003	2.300
Smoothing	6	0.925	1.468	0.905	1.573	0.961	2.346
Normalization	6	0.922	1.491	0.885	1.718	0.904	2.148
MSC	6	0.915	1.560	0.896	1.643	0.977	2.246
MSC+1D	3	0.910	1.606	0.843	2.080	0.446	1.774
MSC+2D	3	0.874	1.882	0.723	2.550	0.364	1.447

4. สรุป

1. ปริมาณข้าวหักทั้งหมดเป็นสมบัติที่สามารถใช้ประเมินคุณภาพการสีของข้าวได้ดีกว่าปริมาณข้าวตัน หรือปริมาณข้าวรวม
2. ค่าการดูดกลืนแสง ($\log 1/R$) ช่วง 1400-2600 นาโนเมตรของข้าวเปลือกและข้าวกล้องมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน
3. PLSR model ของค่าการดูดกลืนแสงช่วง NIR ของข้าวเปลือกและของข้าวกล้องกับปริมาณข้าวหักทั้งหมดมีค่า Correlation coefficient สูงที่สุด และช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับข้าวเปลือกอยู่ที่ช่วง 2000-2600 นาโนเมตร สำหรับข้าวกล้องอยู่ที่ช่วง 1400-2100 และ 2500-2600 นาโนเมตร
4. สามารถใช้ค่าการดูดกลืนแสงช่วง NIR ในการประเมินคุณภาพการสีของข้าวเปลือกได้โดย Calibration model สำหรับการนำค่าปริมาณข้าวหักทั้งหมด จากค่าการดูดกลืนแสงช่วง 2000-2600 นาโนเมตรของข้าวเปลือก โดยมีการทำ Multiple Scatter Correction ร่วมกับ 1st derivative (MSC+1D) จะทำให้การนำหาค่า R มากที่สุดและมีค่า SEP ต่ำที่สุดส่งผลให้ค่า RPD (Ratio of Standard Error of Prediction to Standard Deviation: SD/SEP) สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.882, 1.744 และ 2.116 ตามลำดับ สำหรับข้าวกล้องค่าการดูดกลืนแสงช่วง 1400-2100 และ 2500-2600 นาโนเมตร และมีการทำ Savitzky-Golay Smoothing จะทำให้ผลการนำหาค่า R มากที่สุดและมีค่า SEP ต่ำที่สุด ส่งผลให้ค่า RPD มากที่สุดด้วย โดยมีค่าเท่ากับ 0.905, 1.573 และ 2.346 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองกับข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากพื้นที่ปลูกเดียวกันแต่มีการทำให้คุณภาพการสีแตกต่างกัน เพื่อหาแนวทางในการนำเทคนิคของ NIR มาประเมินคุณภาพ ซึ่งจากการวิจัยพบว่ามีความเป็นไปได้ แต่ในการนำผลการวิจัยไปใช้งานจริงนั้น ข้าวเปลือกจะมีความแตกต่างกันทั้งในส่วนของคุณภาพและแหล่งเพาะปลูก ซึ่งจะทำให้มีตัวแปรเพิ่มขึ้น ดังนั้นควรมีการทดลองในลักษณะเดียวกันนี้กับข้าวเปลือกสายพันธุ์เดียวกันจากแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ซึ่งจะมีผลให้คุณภาพต่างกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- จารุวรรณ บางแวว อรรวรรณ จิตต์ธรรม และ อรณิษา สุวรรณโณม. 2553. การประเมินค่าอมิโลสในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารโดยใช้เทคนิค NIR Spectroscopy. ว.วิทย. กษ. 41:31(พิเศษ) : 385-392
- จารุวรรณ บางแวว จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ และ อรรวรรณ จิตต์ธรรม. 2554. การประเมินคุณภาพการสีของข้าวด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. ว.วิทย. กษ. 42:3 (พิเศษ) : 359-361.
- ใจทิพย์ วานิชชัง ผดุงศักดิ์ วานิชชัง . 2554. การใช้เทคนิค NIR ตรวจวัดการปลอมปนของข้าวพันธุ์อื่นในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2559. รายงานสถานการณ์สินค้าเกษตรปี 2557 และแนวโน้มปี 2558. (ออนไลน์) เข้าถึง <http://www.bot.or.th> สืบค้นวันที่ 1 มีนาคม 2559

- Bao, J.S., Y.Z. Cai. and H. Corke. 2001. Prediction of Rice Starch Quality Parameters by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Journal of Food Science*. vol. 66(7):936-939.
- Chen, K.J., M. Huang and X. Sun. 2010. Potential Use of NIR Spectroscopy for the Estimation of Milled Rice Yield. *Transactions of the ASABE*. 53 (2): 497-501
- Kawamura, S., M. Natsuga. and K. Itoh. 1997. Visual and Near Infrared Reflectance Spectroscopy for Rice Taste Evaluation. *Transaction of the ASABE*. 40(6): 1755-1759.
- Natsuga, M., A. Nakamura, and S. Kawano. 2001. Development of a Continuous High Speed Single Kernel Brown Rice Sorting Machine Based on Rice Protein Content. for Poster Presentation at 10th International Conference on Near Infrared Spectroscopy (NIRS2001) Korea.
- Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. *Practical NIR Spectroscopy: with Applications in Food and Beverage Analysis*. 2nd ed. Longman Singapore Publisher (Pte) Ltd. Singapore.
- Shenk, J.S., J.J. Workman and M.O. Westerhaus. 2001. Application of NIR Spectroscopy to Agricultural Products. Pp, 419-474. In: D.A. Burns and E.W. Ciurczak, (eds), *Hand Book of Near-Infrared Analysis*. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- William, P.C. and K.H. Norris. 2001. *Near-Infrared Technology in Agricultural and Food Industries*. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
- William, P.C. 2007. *Application of Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) in Agricultural and Food Industries*. July 4th, 2007. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Wu, J.G. and C.H. Shi. 2007. Calibration model Optimization for Rice Cooking Characteristics by Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). *Food Chemistry* 103: 1054-1061.