

การพัฒนาวิธีตรวจสอบสารคาร์โบฟูรานในรำข้าวด้วย เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

Method development for determination of carbofuran in rice bran using near infrared spectroscopy

สนธยา นุ่มท้วม^{1*}, ณัฐปกรณ์ สุขโอสธ¹ และ พัทธพล ทองคำ¹

Sonthaya Numthuam^{1*}, Natthapakorn Suk-osot¹ and Phatcharapol Thongkum¹

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบปริมาณสารกำจัดแมลงคาร์โบฟูรานปนเปื้อนในรำข้าวอย่างง่ายและรวดเร็วด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (NIR spectroscopy) ทำการศึกษาโดยใช้รำข้าวที่ปนเปื้อนสารคาร์โบฟูรานระดับความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0-50 ppm วัดค่าการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดของตัวอย่างรำข้าวที่ถูกปนเปื้อน นำตัวอย่างปนเปื้อนไปสกัดสารคาร์โบฟูรานด้วยเอทิลอะซิเตท หยดสารละลายสกัดลงบนกระดาษกรองใยแก้ว และระเหยให้แห้ง จากนั้นนำกระดาษที่ติดกรองสารคาร์โบฟูรานไว้ (ตัวอย่าง DESIR) มาวัดสเปกตรัมการสะท้อนกลับ นำข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างรูปแบบรำข้าวและตัวอย่างรูปแบบ DESIR มาทำการสร้างแบบจำลองทำนายปริมาณสารคาร์โบฟูรานด้วยวิธี partial least square regression (PLSR) พบว่าการทำนายปริมาณสารผ่านตัวอย่าง DESIR ให้ผลการทำนายที่ดีกว่าตัวอย่างรูปแบบดั้งเดิม โดยแบบจำลองที่มีค่าการทำนายที่ดีที่สุดมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 0.92 และ 4.43 ppm ตามลำดับ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีร่วมกับตัวอย่างรูปแบบ DESIR สำหรับตรวจวัดสารคาร์โบฟูรานในรำข้าวแบบรวดเร็ว

คำสำคัญ: รำข้าว, สารกำจัดแมลง, เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี, คาร์โบฟูราน

ABSTRACT: The objective of this study was to develop a simple and rapid determination method for insecticidal carbofuran contamination in rice bran by near infrared (NIR) spectroscopy. In this study, rice bran samples were contaminated with various concentrations of carbofuran ranging from 0-50 ppm. The contaminated rice bran samples were acquired the NIR spectra and then the carbofuran extraction from the samples were done with ethyl acetate. The extracted solutions were dropped onto a glass microfiber filter paper and the filter paper was then dried. The reflectance spectra of the filter papers containing carbofuran; called DESIR samples, were also collected. Calibration models for carbofuran prediction based on the spectral data of the rice bran samples and the DESIR samples were performed by partial least square regression (PLSR). The spectra of DESIR samples provided superior results than the raw samples. The best predictive results were correlation of determination (R^2) of 0.92 and root mean square error of prediction (RMSEP) of 4.43 ppm. It was concluded that NIRS combined with DESIR technique was feasible as a rapid method for carbofuran determination in rice bran.

Keywords: rice bran, insecticide, near infrared spectroscopy, carbofuran

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
Department of Agricultural Sciences, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,
Naresuan University

* Corresponding author: sonthayan@nu.ac.th

บทนำ

รำข้าว คือเยื่อสีทองที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีการนำรำข้าวไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างหลากหลาย เช่น เป็นส่วนผสมขนมปัง (Jiamyangyuen et al., 2005) นำไปสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว (Choudhary et al., 2015) รวมไปถึงเป็นส่วนผสมสำคัญในอาหารสัตว์ (Atuahene et al., 2000) แต่เนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว จึงมักประสบปัญหาการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในระหว่างการเพาะปลูกข้าวตกค้างโดยหากผสมอยู่ในสูตรอาหารสัตว์จะสามารถทำอันตรายกับสัตว์ได้ เช่น ทำให้ลูกสัตว์ต่างๆ มีอัตราการเติบโตช้า แม่สุกรแท้งลูก แม่ไก่มีอัตราการไข่ลดลงและมีอัตราการฟักออกต่ำ (สุกัญญา, 2539) สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชที่ชาวนานำมาใช้มีหลายชนิด เช่น คาร์โบฟูราน คลอร์ไพริฟอส และมาลาไธออน เป็นต้น โดยในสารเคมีเกษตรที่นิยมใช้ในการปลูกข้าว นั้น คาร์โบฟูรานถูกจัดเป็นวัตถุอันตรายทางเกษตรที่กรมวิชาการเกษตรเฝ้าระวัง ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2551 เนื่องจากเป็นสารที่มีพิษร้ายแรงที่อาจเป็นอันตรายถึงชีวิต

เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับอาหารที่ปลอดภัย รวมถึงการสร้างเชื่อมั่นด้านมาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัยอาหารในระดับสากล สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติได้ทำการกำหนดค่าควบคุมปริมาณสารเคมีทางการเกษตรตกค้างในอาหารและผลิตผลทางการเกษตรโดยวิธีการส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในการตรวจวัดปริมาณสารเคมีตกค้างคือวิธีโครมาโตกราฟี เช่น Gas chromatography (GC) และ High performance liquid chromatography (HPLC) เนื่องจากเป็นวิธีที่ตรวจวัดค่าได้ละเอียดและแม่นยำ (Das et al., 2003; Zan and Chantara 2007; Tennakoon et al., 2013) อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวมีขั้นตอนในการตรวจสอบที่ซับซ้อน ใช้เวลานาน และต้องการผู้มีทักษะในการวิเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาวิธีตรวจสอบที่มีความรวดเร็วแม่นยำ และง่าย

ต่อการปฏิบัติจึงมีความจำเป็นสำหรับการตรวจสอบผลผลิตระดับมหภาค เพื่อยกระดับมาตรฐานการควบคุมคุณภาพสินค้าเกษตรไทยในระดับสากล

ปัจจุบัน เทคนิควิเคราะห์แบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) กำลังได้รับความนิยมและการยอมรับเป็นอย่างสูงเนื่องจากการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ลดการใช้สารเคมี และง่ายต่อผู้ใช้งาน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีของผลิตผลทางการเกษตร เช่น ข้าว ข้าวโพด และผักผลไม้ (Wu et al., 2002; Lovett et al., 2004; Rittiron et al., 2005; Nicoli et al., 2007) สำหรับการตรวจสอบองค์ประกอบที่มีความเข้มข้นน้อยมากในระดับ ppm อย่างเช่นสารกำจัดศัตรูพืช นั้น ยังมีผู้ทดลองศึกษาค่อนข้างน้อย เช่น การตรวจสอบปริมาณสาร Euparen ที่ผลมะเขือเทศ (Saranwong and Kawano, 2005) ซึ่งได้ใช้เทคนิค Dry Extract System for Infrared (DESIR) ในการตรวจวัด และมีผู้นำเทคนิคนี้มาทดลองตรวจสอบสารฆ่าแมลงตกค้างบนผิวแอปเปิลและมะม่วง (Acharya et al., 2012) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีข้อมูลการตรวจวัดสารคาร์โบฟูรานตกค้างบนผลิตผลทางการเกษตรซึ่งเป็นสารอันตรายร้ายแรงที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความประสงค์ในการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารร้ายแรงคาร์โบฟูรานปนเปื้อนในรำข้าวแบบง่ายและรวดเร็วด้วย NIRS เพื่อทดแทนวิธีการวิเคราะห์สารกำจัดแมลงตกค้างที่ใช้ในปัจจุบัน

วิธีการศึกษา

การเตรียมสารละลายคาร์โบฟูราน

สารคาร์โบฟูรานมาตรฐาน (Sigma-Aldrich, Germany) ถูกนำเตรียมสารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในช่วง 0-50 ppm จำนวน 25 ระดับความเข้มข้น โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย บรรจุสารละลายคาร์โบฟูรานในขวดสีชา และเก็บในตู้เย็นจนถึงเวลาใช้งาน เพื่อใช้เป็นสารละลายสำหรับทำการ

ปนเปื้อนตัวอย่างรำข้าว เนื่องจากตัวทำละลายน้ำกลั่นมีคุณสมบัติที่ไม่ทำลายสภาพเนื้อเยื่อของตัวอย่างรำข้าวที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างรำข้าว

ตัวอย่างรำข้าวปลอดสารพิษในจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งน้ำหนักรำข้าวใส่ในถุงกันความร้อน ตัวอย่างละ 20 กรัม จำนวน 75 ตัวอย่าง นำสารละลายคาร์โบฟูรานที่มีความเข้มข้นต่างๆ จำนวน 25 ระดับ สเปรย์ใส่ตัวอย่างรำข้าวตัวอย่างละ 2 มล. ระดับละ 3 ซ้ำ หลังจากทำการปนเปื้อนสารละลายคาร์โบฟูรานกับรำข้าวแล้ว ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างรำข้าวที่ปนเปื้อนสารเคมีมาทำการวัดสเปกตรัมด้วยแสง NIR แล้วจึงแบ่งตัวอย่างรำข้าวดังกล่าวจำนวน 10 กรัม ใส่ในหลอดทดลองปริมาตร 50 มล. เติมน้ำกลั่น 20 มล. เพื่อนำไปสกัดสารคาร์โบฟูรานด้วยเครื่อง Ultrasonic (Crest Ultrasonic, Malaysia) เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman, International Ltd., UK) นำสารละลายสกัดที่ผ่านการกรองแล้วไปใช้ในขั้นตอนการทำ DESIR

การเตรียมตัวอย่าง DESIR

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจวัดสารที่ความเข้มข้นระดับ ppm จึงทำการประยุกต์ใช้เทคนิค DESIR ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Saranwong and Kawano (2005) โดยในการศึกษานี้ใช้กระดาษกรองใยแก้ว (glass microfiber filter paper) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร (Whatman, International Ltd., UK) เป็นตัวกรองคาร์โบฟูรานจากสารละลายสกัด ใช้กระดาษกรอง 2 แผ่นวางซ้อนกันในงานเพาะเลี้ยงเชื้อชนิดพลาสมาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร หยดสารละลายสกัดลงบนบริเวณกึ่งกลางของกระดาษกรองใยแก้วปริมาตร 0.5 มล. จากนั้นระเหยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท ออกจากกระดาษกรองใยแก้วที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เรียกตัวอย่างสารคาร์โบฟูรานที่อยู่บนกระดาษกรองว่าตัวอย่าง DESIR

เก็บตัวอย่างใส่ในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อควบคุมความชื้นและอุณหภูมิก่อนนำไปสแกนด้วยเครื่อง NIRS

การสแกนตัวอย่างด้วยแสงเนียร์อินฟราเรดและการวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือเครื่อง Multi purpose analyzer (MPA) FT-NIR spectroscopy (Bruker, Germany) ใช้แสงเนียร์อินฟราเรดในช่วงคลื่น 12000 ถึง 4000 cm^{-1} เพื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากตัวอย่างทั้ง 2 รูปแบบด้วยโหมดการวัดแบบสะท้อน โดยการสแกนตัวอย่างรูปแบบรำข้าวนั้น จะบรรจุตัวอย่างใน quartz cup และตัวอย่างรูปแบบ DESIR จะถูกวัดโดยอาศัยตัวช่วยสะท้อนแสง (aluminum reflector) วางทับบนกระดาษกรอง (Figure 1)

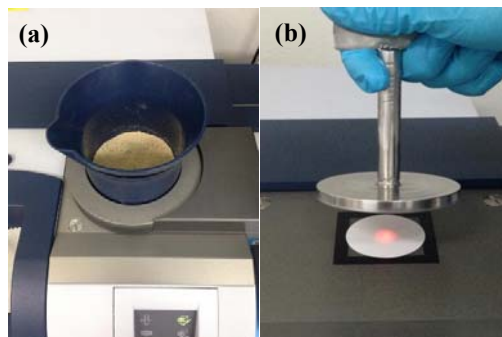


Figure 1 Sample presentation of (a) the contaminated rice bran samples and (b) the DESIR samples.

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการแบ่งตัวอย่างแต่ละรูปแบบออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มสร้างแบบจำลอง (calibration set) จำนวน 50 ตัวอย่าง และกลุ่มทำนาย (prediction set) 25 ตัวอย่าง นำข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างในกลุ่มสร้างแบบจำลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับปริมาณสารคาร์โบฟูรานด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ด้วยโปรแกรม OPUS เวอร์ชัน 7.2 โดยข้อมูลสเปกตรัมที่สร้างแบบ

จำลองเป็นสเปกตรัมแบบดั้งเดิม หรือสเปกตรัมที่ผ่านการจัดการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี multiplicative scatter correction (MSC), standard normal variate (SNV) และ derivatives ลำดับที่หนึ่งและลำดับที่สอง จากนั้นนำตัวอย่างกลุ่มทำนายมาทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง และคัดเลือกแบบจำลองที่ดี

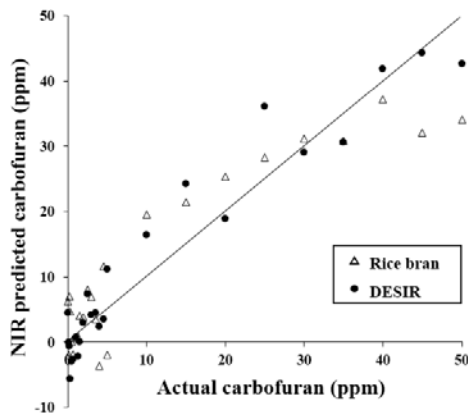


Figure 2 Scatter plots for predicting carbofuran concentration in the prediction set of rice bran and DESIR samples.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการสร้างแบบจำลองทำนายปริมาณสารกำจัดแมลงคาร์โบฟูรานผ่านข้อมูลการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง 2 รูปแบบ คือตัวอย่างรำข้าวดั้งเดิมที่จำลองการปนเปื้อนสาร และตัวอย่างรูปแบบ DESIR ซึ่งมีสารคาร์โบฟูรานอยู่บนกระดาษกรอง พบว่าประสิทธิภาพในการทำนายปริมาณสารคาร์โบฟูรานจากสเปกตรัมดั้งเดิมของตัวอย่าง DESIR มีความแม่นยำมากกว่าการทำนายผ่านตัวอย่างรำข้าวโดยตรง (Table 1) เมื่อ

ที่สุดโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่สูงที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (RMSEP) ต่ำที่สุด และค่า ratio of standard deviation of reference data in the validation set to SEP (RPD) ที่สูงที่สุด

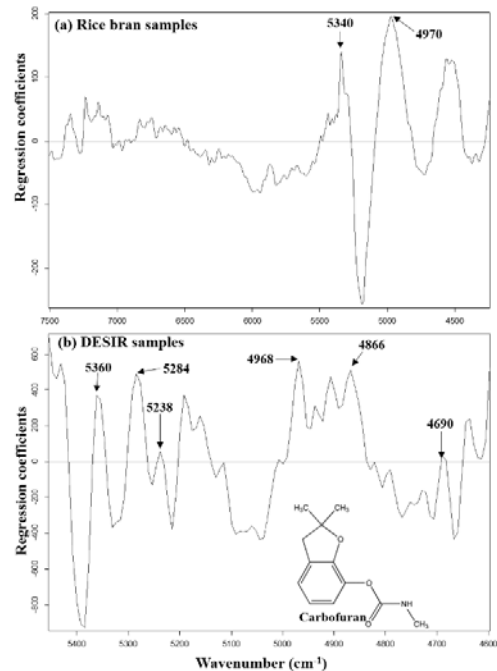


Figure 3 Regression coefficient plots of calibration model for carbofuran using (a) rice bran samples and (b) DESIR samples.

เปรียบเทียบผลของการทำ PLS regression ของสเปกตรัมตัวอย่าง DESIR ที่ผ่านการจัดการข้อมูลทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ พบว่าสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธี SNV ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าต่ำสุดของ RMSEP ที่ 4.43 ppm และค่าสูงสุดของ RPD เท่ากับ 3.54 (Table 2) ทั้งนี้เพราะวิธี SNV สามารถช่วยปรับความแปรปรวนของการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดอันเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของกระดาษกรองใยแก้วแต่ละใบที่ใช้เป็นภาชนะในการวัดปริมาณสารคาร์โบฟูราน

การเปรียบเทียบปริมาณคาร์โบฟูรานจริงที่ปนเปื้อนบนข้าวกับปริมาณสารที่ทำนายได้จากแบบจำลองของตัวอย่างทั้ง 2 รูปแบบดังแสดงใน Figure 2 เมื่อพิจารณาโครงสร้างตัวแปรที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณสารคาร์โบฟูรานจากค่า regression coefficient ของตัวอย่างข้าวและตัวอย่าง DESIR ใน Figure 3 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวมีพีคที่มีผลอย่างมากต่อการทำนายอยู่ในระหว่างช่วงเลขคลื่น 5400 ถึง 4300 cm^{-1} ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญช่วงเดียวกันกับการสร้างแบบจำลองของตัวอย่าง DESIR (Table 1, Figure 3a) ในขณะที่ข้อมูลในช่วงเลขคลื่นระหว่าง 7500 ถึง 5400 cm^{-1} นั้นมีเพียงพีคขนาดเล็กจำนวนมากที่ไม่พบในแบบจำลองจากตัวอย่าง DESIR ซึ่งคาดว่าเป็นข้อมูลการดูดกลืนแสงจากองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ภายในเนื้อเยื่อของข้าวที่มีความซับซ้อนมากกว่าตัวอย่าง DESIR ซึ่งมี

การดูดกลืนแสงหลักมาจากสารสกัดคาร์โบฟูรานและองค์ประกอบกระดาศกรอง จึงมีความเป็นไปได้ว่าข้อมูลการดูดกลืนแสงที่มีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณคาร์โบฟูรานจากตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดอยู่ในช่วงเลขคลื่น 5400 ถึง 4600 cm^{-1} ในการทำนายผ่านตัวอย่าง DESIR นั้น พบพีคที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนแสงของกระดาศกรองใยแก้วที่เลขคลื่น 5238 cm^{-1} (Figure 3b) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Saranwong and Kawano (2005) และพบพีคสำคัญที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองหลายพีค เช่น พีคที่เลขคลื่น 5284 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของโครงสร้างอะโรมาติกแบบโอเวอร์โทนลำดับที่หนึ่ง (Workman and Weyer, 2008) และพีคที่ 4866 และ 4690 cm^{-1} เป็นพีคจากการสั่นของพันธะ N-H (Osborne et al., 1993; Williams and Norris, 2001) ซึ่งเป็นพันธะเคมีที่พบในโครงสร้างโมเลกุลของสารคาร์โบฟูราน

Table 1 PLS calibration and prediction results for carbofuran values using original spectra of each sample type.

Sample type	Wavenumber region (cm^{-1})	Factor	R^2	RMSEC	RMSEP	Bias	RPD
Rice bran	7506-4244	7	0.83	7.00	6.18	-0.33	2.58
DESIR	5454-4598	10	0.94	3.85	4.49	-0.75	3.53

Table 2 PLS calibration and prediction results for carbofuran values using spectra of DESIR sample with different pretreatment.

Pretreatment	Factor	R^2	RMSEC	RMSEP	Bias	RPD
Raw spectra	10	0.94	3.85	4.49	-0.75	3.53
First derivative	6	0.88	5.82	4.69	-0.31	3.34
Second derivative	6	0.87	6.03	5.01	-0.83	3.16
Standard normal variate	8	0.90	5.56	4.43	-0.44	3.54
Multiplicative scatter correction	7	0.89	5.69	4.47	-0.39	3.51

สรุป

การพัฒนาเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ร่วมกับการจัดการตัวอย่างแบบ DESIR มีประสิทธิภาพ

ในการตรวจวัดปริมาณสารกำจัดแมลงคาร์โบฟูรานปนเปื้อนในข้าวได้อย่างง่ายและรวดเร็ว ซึ่งสามารถใช้ในการตรวจสอบแบบคัดกรองการปนเปื้อนสารคาร์โบฟูรานในข้าวได้ โดยควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

ในด้านของ sensitivity ของการตรวจวัดด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีมาตรฐาน เช่นวิธี HPLC เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำและความละเอียดในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชแบบละเอียด

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- สุกัญญา จิตตพรพงษ์. 2539. การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. หน้า 193.
- Acharya U.K., P.P. Subedi, and K.B. Walsh. 2012. Evaluation of a dry extract system involving NIR spectroscopy (DESIR) for rapid assessment of pesticide contamination of fruit surfaces. *Am. J. Ana. Chem.* 3: 524-533.
- Atuahene C.C., A. Donkoh, and I. Ntim. 2000. Blend of oil plam slurry and rice bran as feed ingredient for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 83: 185-193.
- Choudhary M., K. Grover, and G. Kaur. 2015. Development of rice bran oil blends for quality improvement. *Food Chem.* 173: 770-777.
- Das A.C., A. Chakravarty, P. Sukul, and D. Mukherjee. 2003. Influence and persistence of phorate and carbofuran insecticides on microorganisms in rice field. *Chemosphere.* 53: 1033-1037.
- Jiamyangyuen S., V. Srijesdaruk, and J.W. Harper. 2005. Extraction of rice bran protein concentrate and its application in bread. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 27(1): 55-62.
- Lovett D.K., E.R. Deaville, F. Mould, D.I. Givens, and E. Owen. 2004. Using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the biological parameters of maize silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115: 179-187.
- Nicoli B.M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K.I. Theron, and J. Lamertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 46: 99-118.
- Osborne B.G., B. Mertens, M. Thompson, and T. Fearn. 1993. The authentication of Basmati rice using near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.* 1: 77-83.
- Rittiron R., S. Saranwong, and S. Kawano. 2005. Detection of variety contamination in milled Japanese rice using single kernel near infrared technique in transmittance mode. *J. Near Infrared Spectrosc.* 13: 19-25.
- Saranwong S., and S. Kawano 2005. Rapid determination of fungicide contaminated on tomato surfaces using the DESIR-NIR: a system for ppm-order concentration. *J. Near Infrared Spectrosc.* 13: 169-175.
- Tennakoon D.A.S.S., W.D.V. Karunaratna, and U.S.S. Udugampala. 2013. Carbofuran concentrations in blood, bile and tissues in fatal cases of homicide and suicide. *Foren. Sci. Int.* 227: 106-110.
- Williams P., and K.H. Norris. 2001. Variable affecting near infrared spectroscopic analysis. Near-infrared technology in the agriculture and food industries (2nd ed.), The American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, Minnesota.
- Workman Jr.J. and L. Weyer. 2008. Practical guide to interpretive near infrared spectroscopy. CRC/Taylor and Francis, Boca Raton, Florida.
- Wu J.G., C. Shi, and X. Zhang. 2002. Estimating the amino acid composition in milled rice by near-infrared reflectance spectroscopy. *Field Crops Res.* 75: 1-7.
- Zan K.L., and S. Chantara. 2007. Optimization Method for Determination of Carbofuran and Carboxin Residues in Cabbages by SPE and HPLC-UV. *Chiang Mai J. Sci.* 34(2): 227-234.