

การศึกษาความเป็นไปได้ในการวัด CCS ของอ้อยในแปลงด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Feasibility Study Measurement CCS Value in Sugarcane Field Using Near Infrared Spectroscopy

กานต์วิสิทธิ์ มาระภูมิ¹, สมชาย ชวนอุดม^{1*}, ขวัญตรี แสงประชานารักษ์¹, เจษฎา โพธิ์สม¹, อาทิตย์ ภูผาผุด¹, เสรี วงษ์พิเชษฐ์¹, Eizo Taira²

Kanvisit Maraphum¹, Somchai Chuan-Udom^{1*}, Khwantri Saengprachatanarug¹, Jetsada Posom¹, Arthit Phuphaphud¹, Seree Wongpichet¹, Eizo Taira²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 40002

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

²Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, Okinawa 903-0213, Japan.

*Corresponding author: Tel: +66-8-24839110, E-mail: somchai.chuan@gmail.com

บทคัดย่อ

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIRs) เป็นวิธีการวัดคุณภาพของวัสดุการเกษตร เช่นน้ำตาล โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเป็นต้น การวัดคุณภาพอ้อย Commercial Cane Sugar (CCS) ในปัจจุบันยังคงใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง การศึกษาความเป็นไปได้ในการวัดค่า CCS แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดแบบพกพาซึ่งมีความเหมาะสมในการวัดอ้อยในแปลงโดยวัดอ้อยในแปลงอายุ 8 เดือน เป็นจำนวน 31 ตัวอย่างซึ่งมีช่วงของค่า CCS ระหว่าง 2.88 – 12.79 สมการทำนายถูกพัฒนาจากสมการถดถอยในช่วงความยาวคลื่น 700-1000 นาโนเมตรด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square Regression : PLSR) สำหรับการทำนายค่า CCS ผลการศึกษาพบว่าสมการนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 , RMSEC และ RMSECV เท่ากับ 0.80, 1.08 และ 1.52 ตามลำดับ จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดแบบพกพามีความเป็นไปได้ในการวัดและประเมินค่า CCS ของอ้อยในแปลง

คำสำคัญ: อ้อยลำ, ซีซีเอส, เนียร์อินฟราเรด, อณูหภูมิ

Abstract

Near infrared (NIR) spectroscopy is a useful spectroscopic method for the measurement any quality of agriculture produces such as sugar content, protein and carbohydrate. Currently, sugar quality (Commercial Cane Sugar, CCS) measurement process is taking a long time and high costs. This feasibility studies the non-destructive measurement of the CCS of sugarcane using NIRs. Thirty-one cane samples infield get age 8 months and range of CCS were 2.88-12.79. Calibration models were generated from wavelengths region 700-1000 nm using a partial least square regression (PLSR) analysis for predicting CCS values from the cane stalks. These results of calibration models, the coefficient of determination R^2 , root mean square error of calibration (RMSEC) and root mean square error of cross validation (RMSECV) were 0.80, 1.08 and 1.52, respectively. These results indicated that there is a potential for evaluating CCS values in a sugarcane field using Mobile-NIR.

Keywords: Sugarcane, CCS, NIR, sugarcane stalk

1 บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทยเนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำตาลทราย อีกทั้งประเทศไทยยังเป็นประเทศผู้ส่งออกน้ำตาลทรายเป็นอันดับสองของโลกรองลงมาจากประเทศ บราซิล ทำให้ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกมากกว่า หนึ่งแสนห้าพันล้านบาท (OCSB, 2016; Workman, 2017).

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าประเทศไทยจะมีการปลูกอ้อย ผลิตน้ำตาลและส่งออกจำนวนมาก แต่คุณภาพของอ้อยนั้นยังเป็นรองหลายประเทศ โดยค่า Commercial Can Sugar (CCS) เฉลี่ยต่อไร่อยู่ที่ประมาณ 10 CCS โดยประเทศออสเตรเลียและบราซิลมีค่า CCS เฉลี่ยต่อไร่อยู่ที่ 15-16 CCS

CCS หมายถึงปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ใน อ้อย ที่สามารถหีบสกัดออกมาเป็นน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงเป็นโจทย์

ของนักปรับปรุงพันธุ์อ้อยเพื่อให้สามารถพัฒนาพันธุ์อ้อยให้มีคุณภาพสู้กับนานาประเทศผู้ส่งออกน้ำตาลได้

การวิจัยและพัฒนาพันธุ์อ้อย เพื่อให้ได้พันธุ์ใหม่ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและ คุณภาพ ตลอดจนช่วยลดต้นทุนการผลิตอ้อย เนื่องจากอ้อยแต่ละพันธุ์มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีศักยภาพต่อผลผลิต และคุณภาพในแต่ละเขตพื้นที่ที่แตกต่างกัน แต่การพัฒนาพันธุ์จำเป็นต้องใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมาก เนื่องจากระหว่างการพัฒนาพันธุ์มีการสุ่มตัดอ้อยของแต่ละพันธุ์และของแต่ละช่วงอายุเพื่อนำไปหาค่า CCS ส่งผลให้จำเป็นต้องมีการปลูกอ้อยเป็นจำนวนมากเพื่อให้เพียงพอต่อการศึกษากฎกรรมของอ้อยจึงส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ซึ่งการวัดและศึกษาพฤติกรรมของอ้อยต้นเดิมจึงเป็นทางเลือกเพื่อแก้ปัญหาข้างต้น ทำให้การใช้เครื่อง NIR วัดแบบไม่ทำลายจึงถูกเลือกมาใช้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา

การวัดคุณภาพของวัสดุเกษตรมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมส่งออก แต่การวัดคุณภาพยังมีข้อจำกัดเนื่องจากการวัดแต่ละครั้งจำเป็นต้องทำลายตัวอย่าง ใช้สารเคมี ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIRs) ถูกนำมาใช้ในการวัดคุณภาพของวัสดุเกษตรมากมาย เช่น การวัดคุณภาพมะม่วง (Saranwong et al, 2004); คุณภาพยางพารา (Sirisomboon et al, 2013) เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่างคือ วิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ประหยัดเวลา สามารถทำนายหลายค่าได้ในเวลาเดียวกัน และที่สำคัญคือไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการวัดค่า CCS ของอ้อยในแปลงในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์คือใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดแบบพกพาในการวัดและประเมินค่า CCS ถ้าการใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดแบบพกพาสามารถใช้ในการวัดค่า CCS ได้กับลำอ้อยโดยตรงแล้วจะช่วยให้ นักปรับปรุงพันธุ์อ้อย สามารถลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการพัฒนาพันธุ์ได้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างอ้อยทั้ง 31 ตัวอย่างประกอบด้วยพันธุ์ ขอนแก่น 3 อู่ทอง และ LK88-92 อายุ 8-12 เดือน ถูกปลูกอยู่ในแปลงเดียวกัน เพื่อใช้ในการพัฒนาและคัดเลือกพันธุ์ ที่ปลูกอยู่ในแปลงพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตัวอย่างอ้อยถูกลอกกาบและใบออกจากลำ จากนั้นอ้อยหนึ่งลำถูกแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนโคน กลาง และส่วนปลาย แต่ละส่วนยาว 40 cm เพื่อให้เพียงพอต่อการคั้นน้ำเพื่อวัดค่า CCS โดยส่วนโคนห่างจากพื้น 10 cm ส่วนกลางและส่วนปลายห่างกัน 10 cm จากนั้นใช้สันมีดสแตนเลสชุดไขบริเวณผิวอ้อย แล้วใช้กระดาษชำระ (tissue paper) เช็ดบริเวณที่ซูด

2.2 การวัดด้วยเครื่อง NIR

หลังจากเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว ก่อนทำการวัดต้องทำการตั้งเงื่อนไขของการวัดของเครื่อง Mobile-NIR (HNK Engineering, Hokkaido, Japan) โดยใช้ integration time 300 ms ในโหมดอินเทอร์แอคทีฟหนึ่งตัวอย่างถูกวัดจำนวน 4 ครั้ง ตำแหน่งที่วัดคือตรงกลางบริเวณที่ซูด ตำแหน่งแรกถูกสุ่มและอีกสามตำแหน่งห่างจากตำแหน่งแรกเป็นมุม 90° 180° 270° ตามลำดับ (Taira et al., 2013) การวัดถูกแบ่งออก 3 ช่วงเวลาคือ 1.) ตอนเช้าเวลา 07.45 น. 2.) ตอนเที่ยงเวลา 13.00 น. 3.) ตอนเย็นเวลา 16.30 น. เพื่อให้ได้อุณหภูมิของตัวอย่างที่แตกต่างกัน ระหว่างการวัด ใช้แผ่นโพลีเอทิลีนดำ (black sheet) คลุมระหว่างหัววัดและตัวอย่างอ้อยเพื่อป้องกันแสงจากภายนอก ดังแสดงใน Figure 1 เสร็จจากการวัด สเปกตรัมถูกนำมาเฉลี่ยก่อนนำไปทำการวิเคราะห์วิเคราะห์ในหัวข้อ 2.4 หลังจากนั้นทำการตัดต้นอ้อยไปวัดด้วยวิธีมาตรฐานที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ จังหวัดขอนแก่น

2.3 การวัดด้วยวิธีมาตรฐาน

การวัดค่า CCS ด้วยวิธีมาตรฐานคือนำตัวอย่างอ้อยในแต่ละส่วนที่ถูกวัดด้วยวิธี NIR มาวัดค่าบริกซ์ (Brix) ค่าโพล (Pol) และค่าไฟเบอร์ (F) โดยนำตัวอย่างอ้อยมาทำการคั้นน้ำ

โดยนำตัวอย่างอ้อยมาคั้นน้ำ จากนั้นนำน้ำคั้นไปวัดค่าบริกซ์ด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ โดยทำการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้งต่อตัวอย่าง ค่าบริกซ์ถูกวัดด้วยเครื่อง รีแฟรคโตมิเตอร์ (RX-5000a, ATAGO Co.LTD., Tokyo, Japan) ส่วนค่าโพลถูกวัด 1 ครั้ง ด้วยโพลาลิมิเตอร์ (Polax – 2L, ATAGO Co.LTD., Tokyo, Japan) และค่าไฟเบอร์นั้นนำอ้อยในส่วนที่วัดไปซังน้ำหนักรวม จากนั้นนำไปหีบคั้นน้ำ จากนั้นนำส่วนที่เป็นขานอ้อยไปต้มเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นชั่งน้ำเปล่า 2 ครั้งเสร็จแล้วตากแห้งจากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลาหกวันจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์จากนั้นนำค่าบริกซ์ ค่าโพลและค่าเปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์มาทำกันเพื่อรวมเพื่อคำนวณเป็นค่า CCS ตาม สมการที่ (1) โดยข้อมูลของการวัดด้วยวิธีมาตรฐานมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

$$C.C.S.=0.9433 \times Pol \times (1-F) - 0.5 \times (0.966 \times Brix \times (1-F)) - 0.9433 \times Pol \times (1-F) \quad (1)$$



Figure 1 Measurement of NIR spectra on cane stalk in sugarcane field.

Table 1 Statistical characteristics of the calibration models for CCS value.

N	Min	Max	Mean	SD
31	2.88	12.79	8.73	2.48

N คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างสมการทำนาย

เมื่อเสร็จขั้นตอนการวัดด้วยเครื่อง NIR และวิธีมาตรฐานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนนำข้อมูลไปสร้างสมการทำนาย ค่า CCS ที่ได้จากวิธีมาตรฐานได้นำมาตรวจสอบหาค่าที่อาจเกิดความผิดพลาดจากวิธีการวัด โดยใช้สมการที่ 2

$$\frac{x_i - \bar{x}}{SD} \geq 3 \quad (2)$$

โดยที่ x_i คือค่า CCS ของตัวอย่าง i และ \bar{x} คือค่า CCS เฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมด SD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สเปกตรัมถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุด ตามช่วงเวลาคือ เช้า เที่ยง และเย็น จากนั้นนำไปสร้างสมการ ดังนั้นจะมีสมการทั้งหมด 3 สมการ ก่อนสร้างสมการสเปกตรัมแต่ละชุดถูกนำมามีค่าสเปกตรัมที่ผิดปกติ (outliers) โดยใช้หลักการแยกองค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis, PCA) หลังจากนั้นปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment spectra) ด้วยวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Smoothing: MAS) ที่ 21 จุด ร่วมกับ 1st derivative และ 2nd derivative ตามลำดับ เพื่อกำจัดปัจจัยแทรกแซงอันเนื่องมาจาก ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิ เป็นต้น ส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนของสเปกตรัมเช่น การเกิดเบสไลน์ออฟเซต เป็นต้น

หลังจากนั้นสเปกตรัมดังกล่าวข้างต้นถูกใช้ในการสร้างสมการทำนายโดยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square Regression: PLSR) ร่วมกับค่า CCS โดยจำนวนตัวแปร (PLS factors) ที่เหมาะสมคือค่า ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการทดสอบสมการแบบไขว้ (Root Mean Square Error of Cross Validation: RMSECV) ที่ต่ำที่สุด โดยค่าชี้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของชุดสร้างสมการ (Root Mean Square Error of Calibration: RMSEC) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการทดสอบสมการแบบไขว้ (Root Mean Square Error of Cross Validation: RMSECV)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 สเปกตรัมในการวัดค่า CCS

Figure 2 แสดงสเปกตรัมในโหมดสะท้อนกลับโดยวัดด้วยเครื่อง Mobile-NIR ในช่วงความยาวคลื่น 700-1000 nm โดยพบจุดยอดที่เห็นได้ชัดที่ 970 nm ซึ่งเกี่ยวข้องกับพันธะ O-H โ

เวอร์โทอันดับที่สามซึ่งเกี่ยวข้องกับการสั่นของน้ำ (Osborne et al, 1993) และ ขวัญตรี และ Taira (2557)

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการสร้างสมการทำนายค่า CCS ในครั้งนี้เป็นการวัดกับตัวอย่างอ้อยในแปลงทำให้ไม่สามารควบคุมหลายๆปัจจัยที่สูงผลต่อสมการ

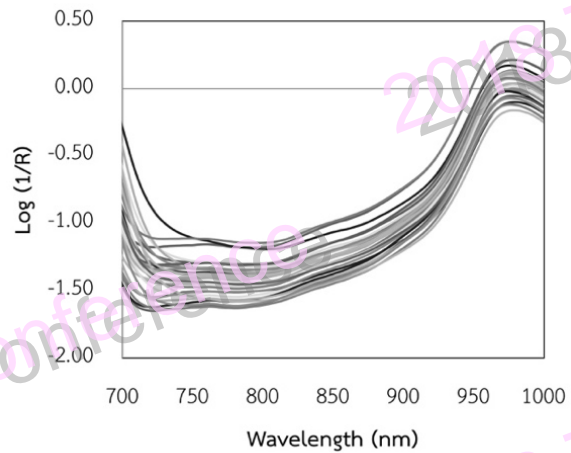


Figure 2 NIR spectra of sugarcane samples.

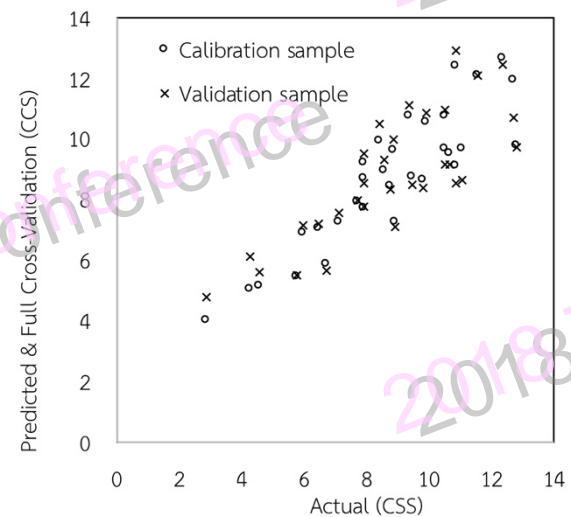


Figure 3 Scatter plot for actual CCS value obtained using conventional method vs the predicted CCS in cane stalk obtained by the NIR method.

Table 2 Temperature measurement in sugarcane field.

ช่วงเวลา	Sample temperature (°C)			
	Max	Min	Mean	SD
เช้า	33.55	21.4	26.27	3.11
เที่ยง	39.95	34.1	36.02	1.62
เย็น	32.60	25.04	29.78	1.80

3.2 ผลของอุณหภูมิกับสมการสอบเทียบค่าในแต่ละช่วงเวลาและสมการสอบเทียบ

เนื่องจากการวัดค่า CCS ของอ้อยในแปลงนั้นไม่สามารถควบคุมหลายๆปัจจัยที่ส่งผลต่อสมการสอบเทียบเช่น อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นในอากาศ เป็นต้น Williams et al. (2017) ได้

อธิบายว่า“การสร้างสมการสอบเทียบที่ดีควรคำนึงถึงความสม่ำเสมอเนื่องจากอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อสเปกตรัม”

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสภาพอากาศในแปลงอ้อยมีความแปรปรวนสูง ดังแสดงในตารางที่ 2 จึงส่งผลของอุณหภูมิต่อการสร้างสมการทำนายค่า CCS

จากตารางที่ 2 อุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลานั้นมีการเปลี่ยนแปลงมากไปน้อย คือการวัดในช่วงเวลาในตอนเช้า ตอนเย็น และตอนเที่ยง คือ 3.11 °C , 1.80°C และ 1.62°C ตามลำดับ

ผลการวัดค่า CCS ของอ้อยในแปลงในแต่ละช่วงเวลานั้นแสดงในตารางที่ 3 โดยพบว่า Raw spectra ในช่วงเวลาเที่ยงนั้น

แสดงถึง model ที่ดีที่สุด สอดคล้องกับความแปรปรวนของอุณหภูมิในเวลาเที่ยงนั้นต่ำที่สุด โดยค่า R² , RMSEC และ RMSECV เท่ากับ 0.80 , 1.08 และ 1.52 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามผลของความแปรปรวนของอุณหภูมิที่มีผลต่อความแม่นยำสามารถชดเชยได้ด้วยการปรับปรุงสเปกตรัมโดยวิธีการใช้ 2nd derivative เห็นได้จากตารางที่ 3 จากค่า R² และค่า RMSEC และ RMSECV นั้นมีความใกล้เคียงกันเมื่อเทียบจาก log(1/R) และ 1st derivative อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd derivative นั้นสามารถช่วยลดความผิดพลาดในการสร้างสมการทำนายได้ จึงควรมีการศึกษาวิธีการปรับปรุงเพิ่มเติม หรือทำการทดลองวิธีการปรับปรุงสเปกตรัมรูปแบบอื่นเพิ่มเติมเข้ามาพร้อมด้วย

อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่นำมาสร้างสมการทำนายยังมีจำนวนน้อยมาก จึงทำให้สมการดังกล่าวยังมีความคลาดเคลื่อนสูง ก่อนนำสมการไปใช้งานควรมีการเก็บตัวอย่างให้มากและครอบคลุมทั้งอุณหภูมิและช่วงของค่า CCS ตามลำดับ

Table 3 Results of PLS regression of CCS in sugarcane stalk from each time.

timing	Model	F	R ²	RMSEC (CCS)	R ² cv	RMSECV (CCS)
เช้า (07.45 น.)	Raw spectra	6	0.69	1.36	0.42	1.90
เที่ยง(13.00 น.)	Raw spectra	6	0.80	1.08	0.61	1.52
เย็น (16.30 น.)	Raw spectra	6	0.55	1.64	0.32	2.07
เช้า (07.45 น.)	1 st derivative	6	0.69	1.36	0.40	1.94
เที่ยง(13.00 น.)	1 st derivative	5	0.70	1.33	0.47	1.84
เย็น (16.30 น.)	1 st derivative	5	0.53	1.67	0.22	2.26
เช้า (07.45 น.)	2 nd derivative	5	0.66	1.36	0.60	1.54
เที่ยง(13.00 น.)	2 nd derivative	5	0.63	1.41	0.57	1.82
เย็น (16.30 น.)	2 nd derivative	5	0.60	1.47	0.35	1.97

F: Factors used in PLS model, R² is coefficient of determination, RMSEC: standard error of calibration, RMSECV: root mean square error of cross-validation.

4 สรุป

การศึกษาความเป็นไปได้ในการวัดค่า CCS ของอ้อยในแปลงโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีนั้นเป็นหลากหลายปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความชื้นในอากาศ ปริมาณแสงจากสิ่งแวดล้อม โดยปัจจัยที่สำคัญคืออุณหภูมิ ยิ่งอุณหภูมิมีความแปรปรวนมากเพียงใด ความแม่นยำในการวัดยิ่งน้อยลง จากผลการศึกษาพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมสามารถลดปัญหาที่เกิดจากปัจจัยแทรกแซงของแต่ละช่วงเวลาได้

อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่นำมาสร้างสมการสอบเทียบนั้นยังมีจำนวนน้อย ก่อนนำไปใช้งานจริงจึงมีความจำเป็นในการเก็บตัวอย่างให้มากขึ้น

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างอ้อย และศูนย์วิจัยพืชไร่ ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้อนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับการทดสอบและกลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และทุนวิจัยสำหรับคณาจารย์บัณฑิตศึกษาเพื่อให้สามารถรับนักศึกษาที่มีความสามารถและศักยภาพสูงเข้าศึกษาในหลักสูตรและทำวิจัยในสาขาที่อาจารย์มีความเชี่ยวชาญประจำการศึกษา 2559

6 เอกสารอ้างอิง

ขวัญตรี แสงประชานารักษ์ และ E. TAIRA. 2557. การพัฒนาระบบการจ่ายค่าตอบแทนอ้อยนำส่งโรงงานน้ำตาลจากการวัดคุณภาพ ด้วย NIR ในจังหวัดโอ กินาวา ประเทศญี่ปุ่น. *Postharvest Newsletter*. 13(12) : p 5.

Osborne B.G., Fearn .T and Hindle P.H., *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, UK,1993.

Office of the Cane and Sugar Board. *Production Report on Sugar and Sugarcane (Season 2015/2016)*, <http://product.ocsb.go.th> (accessed 27 February 2017)

Saranwong, S., Sornsrivichai, J., & Kawano, S. (2004). Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 31(2), 137–145.

Sirisomboon, P., Deeprommit, M., Suchaiboonsiri, W., & Lertsri, W. (2013). Shortwave near infrared spectroscopy for determination of dry rubber content and total solids content of Para rubber (*Hevea brasiliensis*) latex, 279(August), 269–279.

Taira, E., Ueno, M., Saengprachatanarug, K., & Kawamitsu, Y. (2013). Direct sugar content analysis for whole stalk sugarcane using a portable near infrared instrument. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 21(4), 281–287. <https://doi.org/10.1255/jnirs.1064>

Williams, P., Dardenne, P., & Flinn, P. (2017). Tutorial : Items to be included in a report on a near infrared spectroscopy project. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 25(2), 85–90.

Workman, D., 2017. *Sugar Exports by Country*. *World's TopExports*. <http://www.worldstopexports.com/sugar-exports-country/> (accessed 09 November 2017)