



การทดสอบความแม่นยำสำหรับลักษณะสเปกตรัมของวิสิเบิล-ชอร์ตเวฟเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการวัดค่าคุณภาพของอ้อยลำ

Precision Test for Spectral Characteristic of Visible-Shortwave Near Infrared Spectroscopy for Measuring Sugarcane Quality of Sugarcane Stalk

อาทิตย์ ภูผาผุด¹, ขวัญตรี แสงประชานารักษ์^{1*}, เจษฎา โพธิ์สม¹, เสรี วงศ์พิเชษฐ¹, กานต์วิสิทธิ์ มาระภูมิ¹, Eizo Taira²
Arthit Phuphaphud¹, Khwantri Saengprachatanarug^{1*}, Jetsada Posom¹, Seree Wongpichet¹,
Kanvisit Maraphum¹, Eizo Taita²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 40002

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

²คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยริวกิว, โอกินาวา, 903-0213

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

*Corresponding author: Tel: +66-9-9420-0594, E-mail: khwantri@kku.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องวิสิเบิล-เนียร์อินฟราเรดแบบพกพา เป็นหนึ่งในเครื่องมือวัดค่าคุณภาพอ้อยในแปลงแบบไม่ทำลายตัวอย่าง วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อทดสอบความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) และการทำซ้ำ (Reproducibility) ของค่าการดูดกลืนแสงซึ่งบ่งชี้ถึงความแม่นยำของเครื่องวิสิเบิล-เนียร์อินฟราเรดแบบพกพา โดยทดสอบสแกนอ้อยลำ ในโหมดอินเทอร์แอคแทนซ์ (interactance) ที่ความยาวคลื่นย่านวิสิเบิลและเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (570-1031 nm) ด้วยการสแกน 4 วิธีการทดสอบ (Treatments) ประกอบด้วย สแกนอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ แบบยกหัววัดและแบบเมยกหัววัด หลังจากนั้นจึงจุดไฟที่ผิวอ้อยออกแล้วสแกนที่จุดเดิมโดยใช้วิธีการเดิมอีกครั้ง แต่ละวิธีการทดสอบใช้ตัวอย่างอ้อย 10 ลำ วัดซ้ำจุดเดิมลำละ 10 ครั้ง โดยเลือกจุดที่มีค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสง 3 ความยาวคลื่นที่มีผลต่อการทำนายค่าคุณภาพอ้อย ประกอบไปด้วย 670, 913 และ 970 nm ถูกใช้ในการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า เมื่อวัดอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ จะมีค่าเฉลี่ยความสามารถในการวัดทวนซ้ำ และการทำซ้ำเท่ากับ 0.01281 และ 0.1259 ตามลำดับ ส่วนอ้อยที่ถูกจุดไฟที่ผิวออก ได้ค่าเฉลี่ยการวัดทวนซ้ำ และการทำซ้ำเป็น 0.0091 และ 0.0959 ตามลำดับ และสรุปได้ว่า การจุดไฟออก ช่วยให้เครื่องวิสิเบิล-เนียร์อินฟราเรดแบบพกพา มีความสามารถในการวัดทวนซ้ำ และการทำซ้ำ เพิ่มขึ้น หรือมีความแม่นยำในการวัดเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: อ้อย, วิสิเบิล-ชอร์ตเวฟ เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, คุณภาพอ้อย, อ้อยลำ

Abstract

A portable Vis-NIR instrument is a piece of equipment that can measure sugarcane quality in the field without destruction. The purpose of this study is to assess the repeatability and reproducibility of NIR spectra, which indicate the precision of the portable Vis-NIR instrument. The portable Vis-NIR instrument giving wavelength between 570-1031 nm was modified to use in interactance mode. To obtain the repeatability and reproducibility, the sugarcane stalks were scanned with 4 treatments including original sugarcane stalks without re-loading and with re-loading; and sugarcane stalks after removing waxy cover without re-loading and with re-loading, respectively. The total of 10 sugarcane samples were investigated, each sample was measured for 10 times without re-loading and with re-loading only one point that was covered by waxy material, respectively. After that, waxy cover was removed, the samples were then scanned at the same position using the same method. Absorbance value of 3 wavelengths i.e. 680, 913 and 970 nm, which related to the sugarcane quality were used to calculate for the repeatability and reproducibility. Results show that the repeatability and reproducibility for scanning the original sugarcane stalks were 0.0181 and 0.1259, and for scanning the sugarcane stalks after removing waxy cover were 0.0091 and 0.0959, respectively. These results indicated that removing waxy cover increased the ability of the portable Vis-NIR instrument or gave a high precision of portable Vis-NIR instrument.

1 บทนำ

อ้อยเป็นพืชที่สำคัญทางด้านอาหารและเชื้อเพลิงในแถบประเทศเขตร้อน บราซิลคือประเทศที่ผลิตอ้อยเป็นอันดับ 1 ของโลก ตามมาด้วยอินเดียและจีน (FAO, 2016) ประเทศไทยส่งออกอ้อยเป็นอันดับ 2 ของโลก ด้วยกำลังการส่งออก 2.3 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี ค.ศ. 2016 (World's Top Exports, 2016) ปัจจุบันในอุตสาหกรรมน้ำตาลนอกจากจะใช้อ้อยเพื่อการผลิตน้ำตาลแล้ว กากอ้อยที่เหลือหลังการทียังถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงานและขายให้ภาคอุตสาหกรรมนี้ คุณภาพอ้อยคือตัวแปรสำคัญที่ใช้พิจารณาในการจ่ายเงิน ซึ่งในประเทศไทย คุณภาพอ้อยใช้ระบบการวัดเหมือนกับประเทศออสเตรเลีย โดยกำหนดเป็นหน่วยวัดที่เรียกว่า ซี.ซี.เอส. (commercial cane sugar: CCS) ซึ่งคำนวณมาจากค่าค่าบrix, โพล และไฟเบอร์

ปัจจุบัน อ้อยมีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตพลังงานทดแทนทั่วทั้งโลก เพราะอุดมไปด้วยเซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบของไฟเบอร์ ซึ่งเซลลูโลสได้ถูกใช้ในการศึกษาเสมือนเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทนและสารเคมีที่น่าสนใจ (Oliveira et al., 2016; Timhadjelt et al., 2015; Teixeira et al., 2011) เป็นเหตุให้หลายภาคส่วนมีความพยายามในการปรับปรุงพันธุ์อ้อยให้มีความสูงมากขึ้นเพื่อใช้สำหรับผลิตชีวมวล อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงพันธุ์อ้อยจำเป็นต้องใช้เวลานาน (ประมาณ 12 ปี หรือมากกว่า) อีกทั้งยังต้องศึกษาพฤติกรรมการสะสมค่าบrix, โพล, ไฟเบอร์ และ ซี.ซี.เอส. ของอ้อยแต่ละพันธุ์ และแต่ละฤดูกาลปลูก ซึ่งการวัดแต่ละค่า จำเป็นต้องสุ่มตัดอ้อยลำเพื่อนำไปวัดในแต่ละช่วงอายุ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เกิดการทำลายตัวอย่างในระหว่างการปรับปรุงพันธุ์เป็นจำนวนมาก และนี่คือเหตุผลว่าทำไมนักปรับปรุงพันธุ์จึงต้องการพื้นที่การทดลองขนาดใหญ่เพื่อให้เพียงพอต่อจำนวนต้นอ้อยในการทดลอง ทั้งหมดนี้ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมาก แต่ถ้าหากเราสามารถวัดค่าเหล่านี้ได้แบบไม่ต้องทำลายต้นอ้อย จะช่วยให้สามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาลงอย่างมาก ซึ่งหนึ่งในทางเลือกนี้ก็คือการใช้สเปกโทรสโกปีวัดค่าบrix, โพล, ไฟเบอร์ และ ซี.ซี.เอส. ในอ้อยลำโดยตรง

มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สเปกโทรสโกปีในอุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อทำนายค่าคุณภาพของน้ำอ้อย (Cadet and Offmann, 1997; Tewari et al., 2003; Taira et al., 2010) และผลไม้, ส้มแมนดาริน (Kawano et al., 1993), พืท (Kawano and Abe, 1995), มะม่วง (Saranwong et al., 2001, Saranwong et al., 2004), พืท (Nascimento et al., 2016) ซึ่งทำได้ด้วยความรวดเร็ว และสามารถประยุกต์ใช้ในการหาคุณภาพวัสดุได้มากกว่าหนึ่งอย่างในการวัดครั้งเดียวกัน โดยไม่ต้องเตรียมตัวอย่างหรือใช้สารเคมี

แต่การใช้สเปกโทรสโกปีในการวัดวัสดุที่มีผิวไม่สม่ำเสมอซึ่งต้องระวังในหลายปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำ อาทิ Nawi et al. (2014) ได้ใช้เครื่อง visible-shortwave near infrared spectroradiometer (Vis/SWNIRS) ทำนายคุณภาพอ้อยลำในกล่องทึบแสง และพบว่าข้อที่ผิวอ้อยอาจมีผลต่อความแม่นยำในการวัด ดังนั้น จึงก่อนที่จะนำเครื่องมือมาใช้พัฒนา จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาปัจจัยเหล่านี้ก่อน เพื่อให้การพัฒนาเครื่องมือเป็นไปอย่างถูกต้อง

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้คือ ทดสอบความแม่นยำสำหรับลักษณะสเปกตรัมของวิสิเบิล-ชอร์ตเวฟเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวัดค่าคุณภาพของอ้อยลำ โดยมีวัตถุประสงค์ย่อย คือตรวจสอบผลของข้อที่ผิวอ้อยต่อความแม่นยำสำหรับลักษณะสเปกตรัม

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

อ้อยจำนวน 10 ตัวอย่างได้รับจากแปลงปลูกอ้อยงานวิจัยด้านการพัฒนาพันธุ์ในหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นอ้อยพันธุ์ UT84-12, K88-92 และ KK3 อายุ 10 เดือน ของฤดูกาลเก็บเกี่ยวปี 2017/2018

อ้อย 10 ตัวอย่าง ถูกสุ่มเก็บโดยการตัดอ้อยลำสูงประมาณ 10 cm จากพื้นดิน แล้วตัดยอดพร้อมด้วยลูกกาบและใบออกจากลำให้สะอาด จากนั้นสุ่มตัดจาก 3 ส่วน คือส่วนโคน กลาง และปลาย ด้วยความยาว 40 cm โดยที่แต่ละส่วนจะถูกเรียกเป็น 1 ตัวอย่าง เมื่อถูกตัดแบ่งแล้ว อ้อยทุกตัวอย่างจะถูกนำไปเก็บที่ห้องแลปประมาณ 1 hour เพื่อให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิ 25 ± 2 °C ก่อนจะเริ่มการสแกน

2.2 การวัดค่าสเปกตรัม

อ้อยแต่ละตัวอย่างถูกสแกนด้วยเครื่องวิสิเบิล-ชอร์ตเวฟเนียร์อินฟราเรด (HNK Engineering, Hokkaido, Japan) ในโหมดการวัดแบบอินเทอร์แอคแตนซ์ (interactance) ความยาวคลื่น 570 - 1031 nm, ความละเอียด 1 nm และ integration time 300 ms ในห้องแลปอุณหภูมิ 25 ± 2 °C โดยมีหลอดฮาโลเจนเป็นแหล่งกำเนิดแสง และใยแก้วนำแสงเป็นตัวส่งผ่านสัญญาณ ถึงแม้จะมีการศึกษาที่มีความใกล้เคียงกันอย่างการใช้เครื่องวิสิเบิล-ชอร์ตเวฟเนียร์อินฟราเรดในโหมดการวัดแบบส่งผ่าน (transmittance) เพื่อทำนายค่าโพลในอ้อยลำ ที่ได้แนะนำให้ใช้ integration time 200 ms แต่เนื่องด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอ้อยในประเทศไทยส่วนใหญ่ มีขนาดใหญ่กว่าอ้อยในประเทศญี่ปุ่น ทำให้ผู้เขียนตัดสินใจเลือกใช้ integration time 300 ms เพื่อเก็บปริมาณแสงที่ปล่อยเข้าไปในลำอ้อย

การสแกน (ดังแสดงใน Figure 1a) ถูกแบ่งเป็น 4 วิธีการทดสอบ (Treatments) ประกอบด้วย สแกนอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติแบบยกหัววัด, สแกนอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติแบบไม่

ยกหัววัด, สแกนอ้อยที่ถูกชุดไซท์ผิวออกแบบยกหัววัด และสแกนอ้อยที่ถูกชุดไซท์ผิวออกแบบไม่ยกหัววัด โดยทั้ง 4 วิธีการทดสอบใช้ตัวอย่างเดียวกันทั้ง 10 ตัวอย่าง และสแกนที่จุดเดียวกัน ซึ่งการสแกนอ้อยที่ถูกชุดไซท์ผิวออก (ดังแสดงใน Figure 1c) จะทำหลังจากการสแกนอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ (ดังแสดงใน Figure 1b) เสร็จสิ้นและผ่านการชุดไซท์ออกด้วยสันมีดแลนเลสแล้ว

ก่อนเริ่มวัดค่าสเปกตรัม แผ่นโฟมดำหนา 2 mm และเทปล่อนหนา 2 mm ถูกสแกนเสมือนเป็นค่าอ้างอิงในการวัด จากนั้นแต่ละตัวอย่างถูกนำมาสแกน 10 ครั้งต่อวิธีการทดสอบ โดยการส่องจุดสแกนให้มีระยะห่างจากวงเจริญ (ข้ออ้อย) ประมาณ 20 mm ในระหว่างการสแกน แผ่นโฟม (Ethylene-vinyl acetate, EVA) หนา 3 mm ถูกใช้เพื่อป้องกันแสงที่ไม่ต้องการจากภายนอก

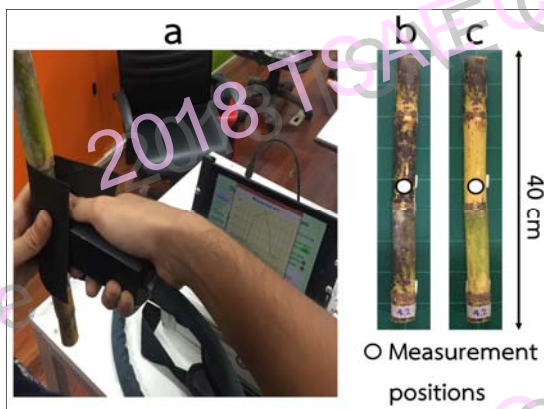


Figure 1 (a) measuring of cane sample (b) measurement position of cane sample before removing waxy cover (c) measurement position of cane sample after removing waxy cover.

2.3 ค่าความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) และการทำซ้ำ (Reproducibility)

ค่าความสามารถในการทวนซ้ำ และการทำซ้ำ ถูกคำนวณเสมือนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ดังแสดงในสมการที่ (1) ของค่าการดูดกลืนแสง เมื่อตัวอย่างถูกสแกนซ้ำ 10 ครั้ง แบบไม่ยกหัววัด (ค่าความสามารถในการทวนซ้ำ) และแบบยกหัววัด (ค่าความสามารถในการทำซ้ำ) (Phil Williams, personal communication) ซึ่งค่าความสามารถในการทวนซ้ำ และการทำซ้ำ ที่แสดงถึงความแม่นยำที่สูง ควรจะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อย

ค่าการดูดกลืนแสงของ 3 ความยาวคลื่น ประกอบไปด้วย 760 nm, 913 nm และ 970 nm ถูกเลือกมาเพื่อใช้ในการคำนวณ เนื่องจากแสดงจุดพีคที่ชัดเจนและมีการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงเมื่อสแกนด้วยเงื่อนไขการวัดและตัวอย่างที่แตกต่างกัน

$$S.D. = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

เมื่อ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x คือ ค่าการดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นที่ถูกเลือก (ค่าที่ 1, 2, 3 ..., n)

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความยาวคลื่นที่ถูกเลือก

n คือ จำนวนค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความยาวคลื่นที่ถูกเลือก

3 ผลและวิจารณ์

Figure 2 และ Figure 3 แสดงค่าสเปกตรัมด้วยการสแกนซ้ำแบบยกหัววัดของอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ และอ้อยที่ถูกชุดไซท์ออก ตามลำดับ จุดพีคที่ความยาวคลื่นประมาณ 670 nm สอดคล้องกับการดูดกลืนคลีนแสงของคลอโรฟิลล์, 980 nm เกี่ยวข้องกับการสั่นของพันธะ O - H ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนคลีนแสงของน้ำ (Vanoli et al., 2011) และ 913 nm เกี่ยวข้องกับการสั่นของพันธะ C - H ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนคลีนแสงของน้ำตาล (Williams, 2007)

Figure 3 แสดงให้เห็นว่าการสแกนตัวอย่างอ้อยที่ถูกชุดไซท์ผิวออกมีค่าการดูดกลืนแสงในการวัดซ้ำแต่ละครั้งใกล้เคียงกันมากกว่าการสแกนตัวอย่างอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ (ดังแสดงใน Figure 2) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสเปกตรัมของการสแกนแต่ละครั้ง ที่แสดงรูปร่างและค่าการดูดกลืนแสง (Log 1/R) ที่ใกล้เคียงกัน

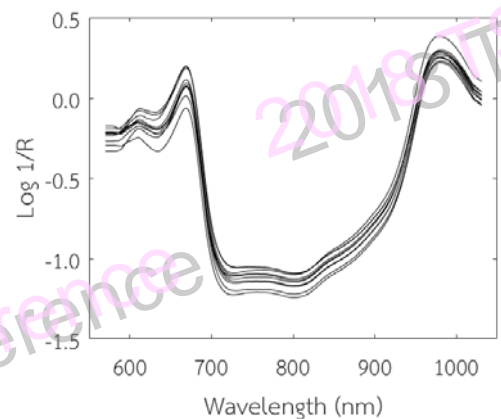


Figure 2 Raw Vis/SWNIR spectra of sample 3 using re-loading scanning with original sample.

Table 1 แสดงค่าความสามารถในการทวนซ้ำ และการทำซ้ำของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm, 913 nm และ 970 nm ของอ้อยลำ ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยทั้ง 10 ตัวอย่างของการสแกนแบบไม่ยกหัววัดของอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ และอ้อยที่ถูกชุดไซท์ออก คือ 0.487 และ 0.498, ตามลำดับ และการสแกนแบบยกหัววัดของอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ และอ้อยที่ถูกชุดไซท์ออก คือ 0.409 และ 0.413, ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความใกล้เคียงสำหรับการสแกนอ้อยสองวิธีการทดสอบ

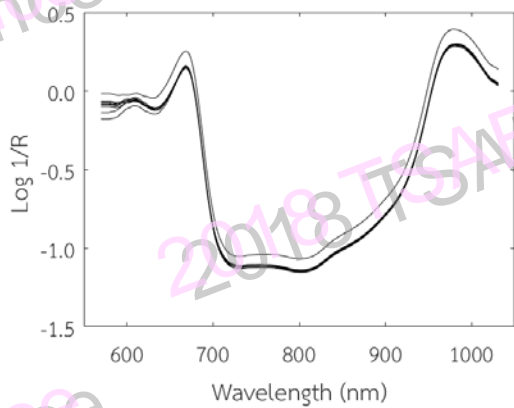


Figure 3 Raw Vis/SWNIR spectra of sample 3 using re-loading scanning with prepared sample.

แต่อย่างไรก็ตาม ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยทั้ง 10 ตัวอย่างที่ แสดงถึงค่าความสามารถในการทวนซ้ำ และการทำซ้ำของการสแกนแบบไม่ยกหัววัดของอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ และอ้อยที่ถูกขูดไข่ออก คือ 0.0281 และ 0.0091, ตามลำดับ และ

การสแกนแบบยกหัววัดของอ้อยที่มีผิวตามธรรมชาติ และอ้อยที่ถูกขูดไข่ออก คือ 0.1259 และ 0.0959, ตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่าการขูดไข่ออก ช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการทวนซ้ำ และการทำซ้ำขึ้นได้ 1-3 เท่า

จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าไข่อ้อยส่งผลให้ความสามารถในการทวนซ้ำ และการทำซ้ำของเครื่องวิสิเบิล-เนียร์อินฟราเรดแบบพกพามีค่าต่ำลง ทำให้อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการวัดเมื่อนำไปสร้างโมเดล ข้อค้นพบที่ได้ ตรงกับข้อสังเกตของ Nawi et al. (2014) ที่ได้ทำการศึกษาการใช้เครื่อง visible- shortwave near infrared spectroradiometer (Vis/SWNIRS) ทำนายคุณภาพอ้อยลำในกล่องทึบแสง และพบว่าไข่อ้อยอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำต่ำลง ผลที่เกิดขึ้นมีความเป็นไปได้จากสาเหตุของจำนวนไข่อ้อยและ สีของไข่อ้อยที่แตกต่างกัน อาทิ สีขาว สีดำ ฯลฯ ของอ้อยแต่ละพันธุ์ ที่ไปมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสง

Table 1 Repeatability and reproducibility of absorption at 670 nm, 913 nm and 970 nm of cane stalks.

Sample number	Original sample				Prepared sample			
	Mean of absorption	Repeatability	Mean of absorption	Reproducibility	Mean of absorption	Repeatability	Mean of absorption	Reproducibility
1	0.461	0.0574	0.352	0.1752	0.490	0.0107	0.448	0.1603
2	0.430	0.0223	0.446	0.1194	0.429	0.0054	0.438	0.0321
3	0.446	0.0224	0.425	0.0618	0.446	0.0084	0.435	0.0326
4	0.479	0.0340	0.380	0.1546	0.470	0.0124	0.407	0.0983
5	0.564	0.0175	0.423	0.0922	0.572	0.0099	0.429	0.0725
6	0.528	0.0197	0.493	0.0939	0.527	0.0052	0.517	0.0415
7	0.468	0.0548	0.435	0.0842	0.545	0.0080	0.478	0.0206
8	0.530	0.0181	0.473	0.2238	0.541	0.0149	0.258	0.1966
9	0.532	0.0125	0.384	0.1022	0.543	0.0060	0.456	0.1708
10	0.428	0.0221	0.282	0.1515	0.415	0.0106	0.262	0.1337
Average	0.487	0.0281	0.409	0.1259	0.498	0.0091	0.413	0.0959

4 สรุป

ความแม่นยำสำหรับลักษณะสเปกตรัมของวิสิเบิล-ชอร์ตเวฟเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของเครื่องวิสิเบิล-ชอร์ตเวฟเนียร์อินฟราเรดแบบพกพาในการทำนายค่าคุณภาพของอ้อยลำ มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปสร้างโมเดลเพื่อทำนาย และพบว่า

ขูดไข่อ้อยที่เคลือบอยู่บนผิวอ้อยช่วยให้ค่าความสามารถในการทวนซ้ำ และการทำซ้ำ เพิ่มสูงขึ้นถึง 3 เท่า ดังนั้น ผู้วิจัยจึงแนะนำให้ขูดไข่ออกก่อนการสร้างโมเดล เพื่อให้โมเดลที่ได้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่ ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องมือสำหรับการทดสอบ, ทุนวิจัยสำหรับคณาจารย์บัณฑิตศึกษา เพื่อให้สามารถรับนักศึกษาที่มีความสามารถและศักยภาพสูงเข้าศึกษาในหลักสูตรและทำวิจัยในสาขาที่อาจารย์มีความเชี่ยวชาญ ประจำปีการศึกษา 2559 และกลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6 เอกสารอ้างอิง

Cadet, F., Offmann, B., 1997. Direct spectroscopic sucrose determination of raw sugar cane juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 166–171.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. Top Sugarcane Production. Available at: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Accessed on 19 December 2017.

Kawano, S., Abe, H., 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 3, 211–218.

Kawano, S., Fujiwara, T., Iwamoto, M., 1993. Nondestructive Determination of Sugar Content in Satsuma Mandarin using Near Infrared (NIR) Transmittance. *Journal of the Japanese Society of Horticultural Science* 62, 465–470.

Nascimento, P.A.M., Carvalho, L.C. de, Júnior, L.C.C., Pereira, F.M.V., Teixeira, G.H. de A., 2016. Robust PLS models for soluble solids content and firmness determination in low chilling peach using near-infrared spectroscopy (NIR). *Postharvest Biology and Technology* 111, 345–351.

Nawi, N.M., Rowshon, K.M., Guangnan, C., Troy, J., 2014. Prediction of Sugarcane Quality Parameters Using Visible- shortwave Near Infrared Spectroradiometer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2, 136–143.

Oliveira, F.B. de, Bras, J., Pimenta, M.T.B., Curvelo, A.A. da S., Belgacem, M.N., 2016. Production of cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse fibres and pith. *Industrial Crops and Products* 93, 48–57.

Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S., 2001. Improvement of PLS calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 9, 287–295.

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, 137–145.

Taira, E., Ueno, M., Kawamitsu, Y., 2010. Automated quality evaluation system for net and gross sugarcane samples using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 18, 209–215.

Teixeira, E. de M., Bondancia, T.J., Teodoro, K.B.R., Corrêa, A.C., Marconcini, J.M., Mattoso, L.H.C., 2011. Sugarcane bagasse whiskers: Extraction and characterizations. *Industrial Crops and Products* 33, 63–66.

Tewari, J., Mehrotra, R., Irudayaraj, J., 2003. Direct near infrared analysis of sugar cane clear juice using a fibre-optic transmittance probe. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 11, 351–356.

Timhadjelt, L., Serier, A., Belgacem, M.N., Bras, J., 2015. Elaboration of cellulose based nanobiocomposite: Effect of cellulose nanocrystals surface treatment and interface “melting”. *Industrial Crops and Products* 72, 7–15.

Vanoli, M., Rizzolo, A., Grassi, M., Farina, A., Pifferi, A., Spinelli, L., Torricelli, A., 2011. Time- resolved reflectance spectroscopy nondestructively reveals structural changes in “Pink Lady®” apples during storage. *Procedia Food Science* 1, 81–89.

Williams, P., 2007. Near-infrared technology-getting the best out of light edition 5.0. A short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, Canada.

World’s Top Exports. 2016. Sugar Exports by Country. Available at: <http://www.worldstopexports.com/sugar-exports-country>. Accessed on 18 February 2018.