



การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด
สำหรับทำนายคุณภาพน้ำอ้อยคั้นสด

Feasibility of Near-Infrared Spectroscopy to Predict the Quality of Fresh
Sugarcane Juice

อริสรา หิริโอตปปะ¹ ปีติพร ฤทธิเรืองเดช^{1*} และ ศุมาพร เกษมสำราญ²

¹ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร กรุงเทพฯ 10900

Arisara Hiriotappa¹ Pitiporn Ritthiruangdej^{1*} and Sumaporn Kasemsumran²

¹Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok, 10900 Thailand.

²Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute (KAPI), Bangkok, 10900 Thailand.

*Corresponding Author, E-mail: pitiporn@gmail.com

Received: 18 July 2019 | Revised: 24 October 2019 | Accepted: 29 December 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด (Near-infrared spectroscopy, NIRs) ที่มีความรวดเร็วมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด 100 ตัวอย่าง ทำการควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่ 20 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ และวัดค่าการดูดแสงด้วยระบบสะท้อนกลับในช่วงความยาวคลื่น 600 – 2500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง NIR spectrometer โดยบรรจุตัวอย่างน้ำอ้อยใน liquid cell จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธีมาตรฐาน (AOAC method) สร้างสมการโดยใช้เทคนิค Partial least squares (PLS) regression ร่วมกับวิธี Full cross-validation ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างสำหรับสร้างสมการแคลิเบรชัน (n=70) และตัวอย่างสำหรับทดสอบสมการ (n=30) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าอยู่ระหว่าง 7.40 – 21.80°Brix และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 7.05 – 24.13% เมื่อพิจารณา NIR สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำอ้อยพบว่าองค์ประกอบหลักคือน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 1450 และ 1950 นาโนเมตร ส่วนค่าการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตร และ 1700-2300 นาโนเมตร เกี่ยวข้องกับโมเลกุลน้ำตาล และผลการสร้างสมการ PLS calibration ทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่ามีประสิทธิภาพในการทำนายสูงโดยมีค่า Residual predictive deviation เท่ากับ 14.47 และ 9.50 ตามลำดับ

ABSTRACT

In this study, Near-Infrared spectroscopy (NIRs) was used as a rapid technique to analyze the total soluble solids (TSS) and total sugar content (TS) of 100 fresh cane juice samples. Prior to NIR and reference analyses, the temperature of samples was controlled at 20°C by water bath. NIR spectra of samples were collected in reflectance mode in a wavelength region of 600-2500 nm using an NIR instrument with a liquid cell. Subsequently, the TSS and TS of samples were analyzed according to the AOAC method. Partial least squares (PLS) regression with a full cross-validation method was applied to develop the calibration model. All of the samples for modelling were split into a calibration set (n = 70) and prediction set (n = 30). The results show that the TSS of the samples are from 7.40 to 21.80°Brix, whereas the TS are from 7.05 to 24.13%. The NIR spectra of cane juice samples are dominated by water absorption bands at 1450 and 1950 nm. It is known that sugars display bands in the wavelength region of 1100-1600 nm and 1700-2300 nm. The PLS calibration models with a high predictive performance are devised for TSS and TS with the residual predictive deviation values of 14.47 and 9.50, respectively.

คำสำคัญ: สเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด น้ำอ้อยสด การลดถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

Keywords: Near-infrared spectroscopy (NIRs), Fresh sugarcane juice, Partial least squares (PLS) regression

บทนำ

อ้อย (*Saccharum* spp.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของไทย โดยมีการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำตาลทราย (เกษสุตา, 2558) อ้อยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ อ้อยอุตสาหกรรมเป็นอ้อยที่ใช้สำหรับการผลิตน้ำตาล และอ้อยเคี้ยวเป็นอ้อยที่มีลักษณะเปลือกนิ่ม นิยมนำมาใช้รับประทานสด หรือคั้นน้ำเพื่อบริโภค ซึ่งอ้อยชนิดนี้เป็นที่นิยมปลูกมากในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ (ทวี, 2552) น้ำอ้อยมีองค์ประกอบดังนี้ คือ ปริมาณความชื้น 82.91% ปริมาณน้ำตาลรีตีวซ์ 0.50% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 16.32% (Sankhla et al., 2012) โดยปัญหาส่วนใหญ่ที่พบได้ในน้ำอ้อยสด มักเกิดจากอายุการเก็บที่สั้น (มธุสรและสร้อยญา, 2547) กลิ่นรสที่เปลี่ยนไปเมื่อเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้อง และความหวานที่ไม่สม่ำเสมอ ปัจจุบันจึงได้มีการนำน้ำอ้อยมาแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบทางการค้าที่ใช้วิธีบรรจุแบบขวด หรือการทำพาสเจอร์ไรซ์

จากการสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์ใหม่ระดับโลก Global New Products Database (GNPD) ของบริษัท Mintel ในช่วงเดือนมกราคม 2562 พบว่าในปัจจุบันมีการนำน้ำอ้อยมาแปรรูป เช่น น้ำอ้อยธรรมชาติพาสเจอร์ไรซ์ 100% น้ำอ้อยผสมวานิลลา น้ำอ้อยและมะนาวผสมซิงค์เครื่องดื่มผง เป็นต้น ทั้งนี้ในการผลิตน้ำอ้อยในเชิงการค้าต้องมีการควบคุม

คุณภาพน้ำอ้อยให้ได้มาตรฐานตรงตามที่กำหนด โดยในการควบคุมจะเริ่มตั้งแต่การรับวัตถุดิบน้ำอ้อย ซึ่งจะมีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ การวิเคราะห์ค่าคุณภาพดังกล่าวโดยทั่วไปมักใช้วิธีการมาตรฐาน (Reference methods) ซึ่งใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์นาน มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย และต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ในการวิเคราะห์ จึงถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดของวิธีการมาตรฐาน ดังนั้นหากมีวิธีการที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี โดยใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่สั้น ให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ และไม่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายจะสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้

สเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด (Near-infrared spectroscopy, NIRs) เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถใช้วิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่ไม่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายในการวิเคราะห์ (McClure, 2006) NIRs เป็นเทคนิคที่มีการฉายรังสีในช่วงความยาวคลื่น 780 – 2500 นาโนเมตร ไปที่ตัวอย่างทำให้เกิดการดูดกลืนคลื่นแสง มีผลทำให้โมเลกุลของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H และ O-H เกิดการสั่น แสดงออกมาเป็นสเปกตรัมที่แตกต่างกันตามลักษณะของสารแต่ละชนิดที่ถูกดูดกลืน (Blanco and Villarroya, 2002) ซึ่งมีงานวิจัยหลายเรื่องที่น่าเทคนิค NIRs มาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็ง

ทั้งหมดที่ละลายได้ในตัวอย่างที่เป็นของเหลว เช่น น้ำเบียร์ (Xie et al., 2009) น้ำแอปเปิ้ล (Córdova et al., 2019) น้ำแตงโม (Yao et al., 2013) น้ำมะนาว (Shafiee and Minaei, 2018) น้ำผัก (Hara et al., 2018) น้ำผลไม้ (Rodriguez-Saona et al., 2001) และน้ำอ้อยในอุตสาหกรรมโรงงานทำน้ำตาล (Phetpan et al., 2018) เป็นต้น แต่ยังไม่มีการนำ NIRs มาวิเคราะห์คุณภาพน้ำอ้อยสดที่ใช้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิค NIRs เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำอ้อยคั้นสด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำอ้อยบรรจุขวด หรือน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสดทั้งหมด 100 ตัวอย่าง จากตลาดบางเขน กรุงเทพมหานคร ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม ปี 2561 แต่ละตัวอย่างเตรียมได้โดยคั้นน้ำจากอ้อยคนละลำโดยเครื่องหีบอ้อย (รุ่น Sugar cane juicer press ยี่ห้อ CHH ประเทศไทย) บรรจุใส่ขวดพลาสติกขนาด 200 มิลลิลิตร เก็บในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส และขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง NIR spectrometer และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้โดยวิธีมาตรฐาน

2. การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR spectrometer

นำตัวอย่างน้ำอ้อยจากข้อ 1 มาควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่อง Water bath (รุ่น WNB 14 ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมัน) ให้มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส บรรจุตัวอย่างประมาณ 2 มิลลิลิตร ใส่ Liquid Cell หากเกิดฟองอากาศให้ใช้卓รอปเปอร์ดูดออก จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างน้ำอ้อยด้วยเครื่อง NIR spectrometer (รุ่น SpectraStar 2500X-RTW บริษัท Unity Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในช่วงความยาวคลื่น 680 - 2500 นาโนเมตร ด้วยระบบการสะท้อนกลับ (Reflectance mode) ควบคุมการทำงานของเครื่องโดยโปรแกรม InfoStar Version.3.10.0 (บริษัท Unity Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar, %) ตามวิธีการของ Lane and Eynon (AOAC, 2000) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ คำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solids, °Brix) โดยใช้เครื่อง Digital Refractometer (รุ่น MA871 ยี่ห้อ Milwaukee ประเทศอิตาลี) ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่ 20 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4. การสร้างสมการการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำอ้อยคั้นสด

นำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสดที่วัดได้จากเครื่อง NIR spectrometer (x_i) และข้อมูลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี คือ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (y_1) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (y_2) มาใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด (Calibration model) โดยใช้เทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) ร่วมกับเทคนิค Full Cross-validation โดยใช้โปรแกรม Unscrambler X Version 10.5 (บริษัท CAMO Analytics ประเทศนอร์เวย์) แบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด คือ ชุดสร้างสมการ (Calibration set) จำนวน 70 ตัวอย่าง และชุดทดสอบความถูกต้องของสมการทำนาย (Prediction set) จำนวน 30 ตัวอย่าง จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ดังนี้ ค่า Correlation coefficient of calibration (R_c), Root mean square error of calibration (RMSEC), Root mean square error of cross-validation (RMSECV), Correlation coefficient of prediction (R_p), Root mean square error of prediction (RMSEP) และ Residual predictive deviation (RPD) โดยสมการที่ดีควรมีค่า RMSEC, RMSECV, RMSEP ที่ต่ำ และสมการจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อความแตกต่างระหว่างค่า RMSECV และ RMSEP มีค่าน้อยใกล้เคียง 0 (Xie et al., 2009), R ควรมีค่าสูงหรือมีค่ามากกว่า 0.9 (Mat et al., 2013) และ RPD ควรมีค่ามากกว่า 3 ขึ้นไป ซึ่งแสดงว่าเป็นสมการที่ดีและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายได้ (Gaitan-Jurado et al., 2008) และทำการเปรียบเทียบค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน (Actual values) กับค่าทำนายที่ได้จากสมการทำนาย (Predicted values) โดยใช้วิธี Paired-samples t-test ที่ระดับ

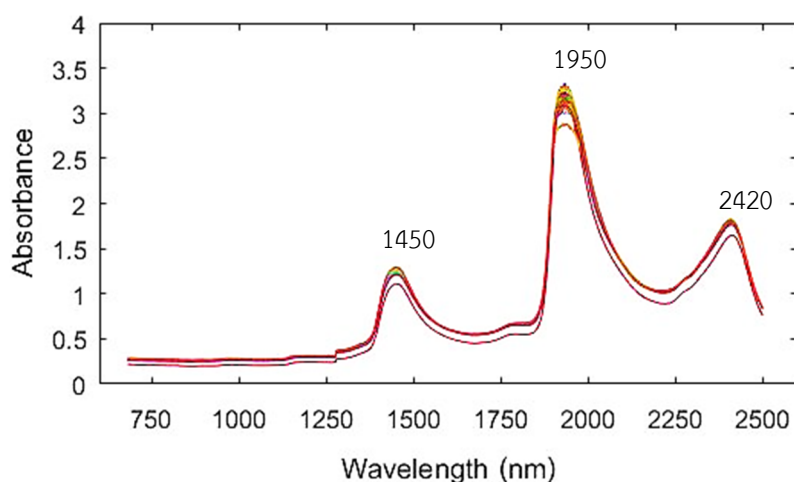
นัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS (บริษัท IBM ประเทศสหรัฐอเมริกา)

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง NIR Spectrometer

รูปที่ 1 แสดง NIR สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด ในช่วงความยาวคลื่น 680 – 2500 นาโนเมตร เมื่อพิจารณาพบว่า NIR สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสดปรากฏตำแหน่งพีค (Peak) ที่สำคัญหลายตำแหน่ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสั่นของโมเลกุลน้ำและน้ำตาล ที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำอ้อยคั้นสด เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์น้ำแอปเปิล (Reid et al., 2005) น้ำผึ้ง

(Chen et al., 2011) และน้ำข้าวฟ่าง (Simeone et al., 2017) โดยตำแหน่งการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 1450 นาโนเมตร เป็นตำแหน่งที่มีความสัมพันธ์กับพันธะ O-H stretching และ 2nd Overtone ของโมเลกุลน้ำ และที่ความยาวคลื่น 1950 นาโนเมตร เป็นตำแหน่งที่มีความสัมพันธ์กับพันธะ O-H stretching และ 1st Overtone ของโมเลกุลของน้ำ (Xie et al., 2009; Cynkar et al., 2009; Shafiee and Minaei, 2018) และที่ตำแหน่งการดูดกลืนคลื่นแสง 2420 นาโนเมตร เป็นตำแหน่งที่มีความสัมพันธ์กับการสั่นแบบ Combination ของพันธะ C-H stretching และ โมเลกุล CH₂ ซึ่งเกี่ยวข้องกับโมเลกุลของแป้งและน้ำตาล (Garcia-Alvarez et al., 2002; Guimaraes et al., 2014)



รูปที่ 1 NIR สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด (n=100) ที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม ในช่วงความยาวคลื่น 680-2500 นาโนเมตร

2. ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำอ้อยคั้นสด

ตารางที่ 1 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด ซึ่งได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีโดยวิธีมาตรฐาน จากตารางที่ 1 พบว่าตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสดมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ อยู่ในช่วง 7.05-24.13% และ 7.40-21.80% ตามลำดับ และจากการรวบรวมงานวิจัยพบว่าในน้ำอ้อยที่ใช้สำหรับทำน้ำตาลมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในช่วง 7.5-25.2% (Mat et al., 2013; Mat et al., 2014; Brochier et al., 2018; Phetpan et al., 2018) และมีค่าปริมาณ

น้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 17.6 – 19.0% (Chauhan et al., 2002) ผลการสร้างสมการ PLS Calibration เพื่อใช้ในการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ของตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด และการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ แสดงดังตารางที่ 2 โดยสมการที่ดีควรมีค่า R เข้าใกล้หรือเท่ากับ 1 และมีค่า RMSEC และ RMSECV แตกต่างกันน้อย (Shao and He, 2007) เมื่อพิจารณาพบว่าสมการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่า R เท่ากับ 0.982 และ 0.998 ตามลำดับ สมการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่า RMSEC และ RMSECV เท่ากับ 0.856% และ 0.944% ตามลำดับ และสมการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ มีค่าเท่ากับ 0.214°Brix และ

0.261°Brix ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า RPD ของทั้งสองสมการ พบว่า มีค่า RPD เท่ากับ 9.50 และ 14.47 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 3 แสดงว่าสมการสามารถทำนายได้ดี และแม่นยำ (Ozdemir et al., 2018) โดยจัดอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพได้ (RPD>5) (Sinelli et al., 2008) ทั้งนี้ สมการสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีความแม่นยำมากกว่าสมการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเป็นผลเนื่องมาจากวิธีมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์มีความแม่นยำมากกว่าและการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องมีขั้นตอนไม่ซับซ้อนเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในงานวิจัยนี้พบว่าให้ประสิทธิภาพในการทำนายได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Teixeira et al. (2018) ที่ได้ศึกษาการใช้เทคนิค NIRs ทำนายปริมาณน้ำตาล

ทั้งหมดในไวน์โดยสมการ มีค่า R, RMSEP และ RPD เท่ากับ 0.91, 0.86% และ 2.91 ตามลำดับ และงานวิจัยของ Li et al. (2018) ที่ได้นำเทคนิค NIRs มาใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดในเชอร์รี่ โดยสมการมีค่า R, RMSEP และค่า RPD เท่ากับ 0.85, 1.56°Brix และ 2.09 ตามลำดับ และเมื่อใช้วิธี T-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน (Reference data) และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ NIR (NIR predicted data) ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยแต่ละสมการมีค่า p value เท่ากับ 0.702 และ 0.965 ตามลำดับ รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ NIR

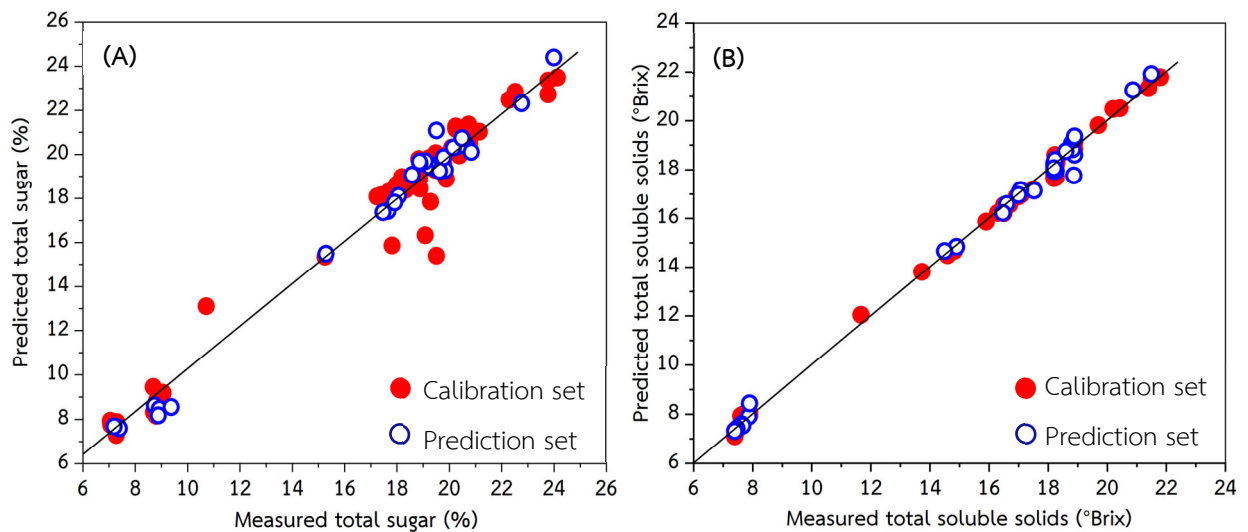
ตารางที่ 1 ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ของตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสดที่วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

ค่าองค์ประกอบทางเคมี	Calibration set (n=70)				Prediction set (n=30)			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	7.05	24.13	17.57	4.62	7.20	23.99	17.30	4.79
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°Brix)	7.40	21.80	16.28	4.25	7.40	21.50	16.00	4.46

ตารางที่ 2 ผลการสร้างสมการ PLS Calibration และการตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ในตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด

องค์ประกอบทางเคมี	PLS-Factors	Calibration set (n=70)			Prediction set (n=30)		
		R _c	RMSEC	RMSECV	R _p	RMSEP	RPD
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	4	0.982	0.856	0.944	0.994	0.504	9.50
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°Brix)	4	0.998	0.214	0.261	0.997	0.308	14.47

PLS factors, Partial least squares factor; R_c, Correlation coefficient of calibration; RMSEC, Root mean square error of calibration; RMSECV, Root mean square error of cross-validation; R_p, Correlation coefficient of prediction; RMSEP, Root mean square error of prediction; RPD, Residual predictive deviation



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่ได้จากวิธีมาตรฐานและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ NIR (A) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และ (B) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในตัวอย่างน้ำอ้อยคั้นสด โดยเทคนิค NIRs ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง พบว่าสมการที่ได้มีประสิทธิภาพในการทำนายโดยมีค่า R มากกว่า 0.9 และ RPD มากกว่า 9 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำอ้อยเริ่มต้น และใช้ในการตรวจติดตามคุณภาพของน้ำอ้อยในกระบวนการผลิตน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ได้ ทั้งนี้เทคนิค NIRs สามารถช่วยลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ให้สั้นลง เมื่อเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีการมาตรฐาน โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่างประมาณ 30 วินาที อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการวิเคราะห์คุณภาพลงได้ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของเทคนิค NIRs ในการตรวจสอบปริมาณน้ำตาลและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในตัวอย่างที่เป็นเครื่องดื่มประเภทที่ไม่มีแอลกอฮอล์ ซึ่งควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอื่น เช่น เครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ และเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- เกษสุดา เดชภิมล. (2558). โครงการจัดทำต้นทุนผลผลิตและถ่ายทอดความรู้ เพื่อลดต้นทุนการผลิตอ้อยของเกษตรกรในปีเพาะปลูก 2557/58. 287 หน้า.
- ทวี บุญภิรมย์. (2552). ศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิต อ้อยคั้นน้ำ 2 พันธุ์. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 1(2): 17-27.
- มธุสร คัมภลิกกิจ และ สรัญญา จิวประสาท. (2547). กระบวนการผลิต เครื่องดื่มน้ำอ้อยสเตอริไรซ์. ปรินญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 77 หน้า
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC. International 17th edition. Virginia: The Association of Official Analytical Chemistry, Inc.
- Blanco, M. and Villarroya, I. (2002). NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. Trends in analytical chemistry 21(4): 240-250.
- Brochier, B., Mercali, G.D. and Marczak, L.D.F. (2018). Effect of ohmic heating parameters on peroxidase inactivation, phenolic compounds degradation and color changes of sugarcane juice. Food and Bioproducts Processing 111: 62-71.
- Chen, L., Xue, X., Ye, Z., Zhou, J., Chen, F. and Zhao, J. (2011). Determination of chinese honey adulterated with high fructose corn syrup by near infrared spectroscopy. Food Chemistry 128(4): 1110-1114.

- Chauhan, O.P., Singh, D., Tyagi, S.M. and Balyan, D.K. (2002). Studies on preservation of sugarcane juice. *International Journal of Food Properties* 5(1): 217-229.
- Córdova, A., Saavedra, J., Mondaca, V., Vidal, J. and Astudillo-Castro, C. (2019). Quality assessment and multivariate calibration of 5- hydroxymethylfurfural during a concentration process for clarified apple juice. *Food Control* 95: 106-114.
- Cynkar, W., Cozzolino, D. and Damberg, R.G. (2009). The effect of sample storage and homogenisation techniques on the chemical composition and near infrared spectra of white grapes. *Food Research International* 42: 653-658.
- Gaitan-Jurado, A.J., Ortiz-Somovilla, V., Espana-Espana, F., Perez-Aparicio, J. and De Pedro-Sanz, E.J. (2008). Quantitative analysis of pork dry-cured sausages to quality control by NIR spectroscopy. *Meat Science* 78: 391-399.
- Garcia-Alvarez, M., Ceresuela, S., Huidobro, J.F., Hermida, M. and Rodriguez- Otero, J. L. (2002). Determination of Polarimetric Parameters of Honey by Near- Infrared Transflectance Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 419-425.
- Guimaraes, C.C., Simeone, M.L.F., Parrella, R.A.C. and Sena, M.M. (2014). Use of NIRS to predict composition and bioethanol yield from cell wall structural components of sweet sorghum biomass. *Microchemical Journal* 117: 194-201.
- Hara, R., Ishigaki, M., Kitahama, Y., Ozaki, Y. and Genkawa, T. (2018). Use of the product of mean intensity ratio (pmir) technique for discriminant analysis of lycopene- rich vegetable juice using a portable nir- excited raman spectrometer. *Food Chemistry* 241: 353-357.
- Li, X., Wei, Y., Xu, J., Feng, X., Wu, F., Zhou, R., Jin, J., Xu, K., Yu, X. and He, Y. (2018). SSC and pH for sweet assessment and maturity classification of harvested cherry fruit based on NIR hyperspectral imaging technology. *Postharvest Biology and Technology* 143: 112-118.
- Mat, N.N., Chen, G., Jensen, T. and Mehdizadeh, S.A. (2013). Prediction and classification of sugar content of sugarcane based on skin scanning using visible and shortwave near infrared. *Biosystems Engineering* 115(2): 154-161.
- Mat, N.N., Rowshon, K.M., Guangnan, C. and Troy, J. (2014). Prediction of sugarcane quality parameters using visible- shortwave near infrared spectroradiometer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2: 136-143.
- McClure, W.F. (2006). Introduction. *In Near Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. pp. 1-10
- Ozdemir, I.S., Dag, C., Ozinanc, G., Sucsoran, O., Ertaş, E. and Bekiroglu, S. (2018). Quantification of sterols and fatty acids of extra virgin olive oils by FT-NIR spectroscopy and multivariate statistical analyses. *LWT* 91: 125-132.
- Phetpan, K., Udompetaikul, V. and Sirisomboon, P. (2018). An online visible and near- infrared spectroscopic technique for the real-time evaluation of the soluble solids content of sugarcane billets on an elevator conveyor. *Computers and Electronics in Agriculture* 154: 460-466.
- Reid, L.M., Woodcock, T., O'Donnell, C.P., Kelly, J.D. and Downey, G. (2005). Differentiation of apple juice samples on the basis of heat treatment and variety using chemometric analysis of MIR and NIR data. *Food Research International* 38: 1109-1115.
- Rodriguez-Saona, L.E., Fry, F.S., McLaughlin, M.A. and Calvey, E.M. (2001). Rapid analysis of sugars in fruit juices by FT-NIR spectroscopy. *Carbohydrate Research* 336: 63-74.
- Sankhla, S., Chaturvedi, A., Kuna, A. and Dhanlakshmi, K. (2012). Preservation of sugarcane juice using hurdle technology. *Sugar Tech* 14: 26-39.
- Shafiee, S. and Minaei, S. (2018). Combined data mining/NIR spectroscopy for purity assessment of lime juice. *Infrared Physics and Technology* 91: 193-199.
- Shao, Y. and He, Y. (2007). Nondestructive measurement of the internal quality of bayberry juice using Vis/ NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering* 79: 1015-1019.
- Simeone, M.L.F., Parrella, R.A.C., Schaffert, R.E., Damasceno, C.M.B., Leal, M.C.B. and Celio Pasquini. (2017). Near infrared spectroscopy determination of sucrose, glucose and fructose in sweet sorghum juice. *Microchemical Journal* 134: 125-130.
- Sinelli, N., Spinardi, A., Egidio, V.D., Mignani, I. and Casiraghi, E. (2008). Evaluation of quality and nutraceutical content of blueberries by near and mid-infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 50: 31-36.

- Teixeira Dos Santos, C.A., Pascoa, R., Porto, P., Cerdeira, A.L., Gonzalez-Saiz, J.M., Pizarro, C. and Lopes, J.A. (2018). Raman spectroscopy for wine analyses: A comparison with near and mid infrared spectroscopy. *Talanta* 186: 306-314.
- Xie L., Ye, X., Liu, D. and Ying, Y. (2009). Quantification of glucose, fructose and sucrose in bayberry juice by NIR and PLS. *Food Chemistry* 114: 1135-1140.
- Yao, Y., Chen, H., Xie, L. and Rao, X. (2013). Assessing the temperature influence on the soluble solids content of watermelon juice as measured by visible and near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Journal of Food Engineering* 119: 22-27.

