

การประเมินคุณภาพน้ำองุ่น ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและเคโมเมตริกซ์

Evaluation of Grape Juice Quality by Near Infrared Spectroscopy and Chemometrics

พรอารีย์ ศิริผลกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ ตำบลบางพระ อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110

ปาริชาติ เทียนจุมพล และพลกฤษณ์ มณีวรร*

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Pornarree Siriphollakul

Division of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra Campus, Bangpra, Si Racha, Chon Buri 20110

Parichat Theanjumpol and Phonkrit Maniwar*

Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University,
Suthep, Muang, Chiang Mai 50200

บทคัดย่อ

น้ำองุ่นสดเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารหรือการบริโภคน้ำคั้นสด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ด้วยการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยนำน้ำคั้นองุ่นสด 100 ตัวอย่าง (ชุดสร้างสมการเทียบมาตรฐาน 60 ตัวอย่าง และชุดทดสอบสมการ 40 ตัวอย่าง) มาวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 800-1,090 นาโนเมตร ด้วยระบบการวัดสเปกตรัมแบบส่องผ่าน (transmittance) แล้วจึงนำเคโมเมตริกซ์วิธี partial least squares regression มาสร้างสมการเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลสเปกตรัมกับคุณภาพที่ต้องการศึกษา ผลการทำนายพบว่าสมการเทียบมาตรฐานให้ความแม่นยำในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2_{pre}) ของค่าที่ทำนายได้และค่าจริงในกรณีของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ 0.972 และ 0.898 ตามลำดับ และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) ต่ำ (0.46 และ 0.10 % ตามลำดับ) ดังนั้นเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรส

*ผู้รับผิดชอบบทความ : maniwar016@gmail.com

โกปีจึงเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ประเมินคุณภาพน้ำองุ่นคั้นสด อีกทั้งยังสามารถนำไปเป็นแนวทางสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำผลไม้ชนิดอื่นต่อไป

คำสำคัญ : น้ำองุ่น; คุณภาพน้ำผลไม้; เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Abstract

Grape juice is considered as an important agricultural raw material for food processing industry and fresh juice consumption. This research thereby aimed to evaluate grape juice's total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA) using near infrared spectroscopy. One hundred freshly squeezed grape juice samples (calibration: 60, validation: 40) were measured their absorbance in wavelength ranges of 800-1090 nm using transmittance technique. Chemometrics of partial least squares regression (PLSR) was thereafter performed in order to develop calibration models for both quality parameters. Prediction results indicated high value of coefficient of determination (R^2_{pre}), expressing high relationship between predicted and actual values for both TSS and TA; 0.972 and 0.898, respectively. The prediction models also provided low value of standard error of prediction (SEP), which were 0.46 and 0.10 %, respectively. In this study, near infrared spectroscopy was proofed to be a promising technique for evaluating grape juice quality.

Keywords: grape juice; fruit juice quality; near infrared spectroscopy

1. บทนำ

น้ำองุ่นสดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทุกเพศ ทุกวัย เนื่องจากมีรสชาติที่หวานอมเปรี้ยว สร้างความสดชื่นให้กับผู้บริโภค จึงทำให้น้ำองุ่นเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีมูลค่าทางการตลาดสูง สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกองุ่นได้เป็นอย่างมาก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) นับเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของรสชาติของน้ำองุ่นสด ซึ่งการประเมินปริมาณ TSS และ TA โดยทั่วไปใช้การตรวจสอบด้วยเครื่อง digital refractometer และเครื่อง acidity titrator ซึ่งการตรวจสอบด้วยวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องทำลายผลิตภัณฑ์ ใช้เวลาในการตรวจสอบนาน และจำเป็นต้องอาศัยผู้ปฏิบัติการที่มีความชำนาญด้านการ

วิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันสามารถประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy, NIRS) ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้หลายประเภท ได้แก่ ผลผลิตพืชไร่ พืชสวน และพืชอุตสาหกรรม ซึ่งเทคนิคดังกล่าวสามารถตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เช่น การประเมินส่วนประกอบของกรดอะมิโนในข้าวสาร [1] การทำนายปริมาณขององค์ประกอบทางชีวภาพของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ [2] การตรวจสอบการปลอมปนในข้าวญี่ปุ่นโดยการตรวจสอบที่เลสมัลต์ [3] การวิเคราะห์คุณภาพของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวหรือระหว่างการเก็บรักษา [4] การวิเคราะห์คุณภาพของผลเสาวรสหลังการเก็บเกี่ยว [5] การวิเคราะห์คุณภาพในการบริโภคของ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 [6] โดย NIRS อาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 800-2,500 นาโนเมตร (nm) ซึ่งแบ่งเป็นช่วงคลื่นสั้น คือ 800-1,100 nm และช่วงคลื่นยาว คือ 1,100-2,500 nm โดยที่การเลือกช่วงคลื่นในการตรวจสอบจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่สนใจตรวจสอบ ซึ่งข้อดีของ NIRS ในการตรวจสอบคุณภาพนั้น คือ สามารถตรวจสอบได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ [7,8] นอกจากนั้นยังสามารถตรวจสอบโดยไม่มีการใช้สารเคมี เป็นวิธีที่ง่ายต่อผู้ใช้งานและใช้เวลาในการตรวจสอบรวดเร็ว ทั้งนี้ในปี ค.ศ. 2002 McGlone และคณะ [7] ได้ใช้ NIRS ในการประเมินปริมาณ TA ของผลแอปเปิ้ล และในปี ค.ศ. 2006 Gómez และคณะ [9] ได้ศึกษาการทำนายปริมาณ TSS ของผลส้มด้วย NIRS และพบว่าเทคนิคดังกล่าวมีความแม่นยำในการทำนายคุณภาพค่อนข้างสูง ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงสนใจศึกษาความเป็นไปได้ที่จะตรวจสอบ TSS และ TA ในน้ำองุ่นสดอย่างแม่นยำ โดยการวัดสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด (near infrared, NIR) ในช่วงความยาวคลื่น 800-1,090 เพื่อสร้างสมการในการตรวจสอบคุณภาพน้ำองุ่นคั้นสด

2. อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บเกี่ยวองุ่นสด (*Vitis vinifera* L.) พันธุ์ White Malaga ที่อยู่ในระยะความแก่ทางการค้า 100 พวงจากพื้นที่เพาะปลูกองุ่นอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ แบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม (ชุดละ 50 พวง) ชุดแรกใช้เพื่อเก็บสเปกตรัมและประเมินคุณภาพทันที ส่วนชุดที่สองนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8.0 ± 0.9 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.4 ± 2.8 % เป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงนำมาเก็บสเปกตรัมและประเมินคุณภาพ ทั้งนี้เพื่อจำลองสภาพการเก็บรักษาและเพิ่มความแปรปรวนของข้อมูลคุณภาพ เพื่อให้สมการที่ได้ครอบคลุม

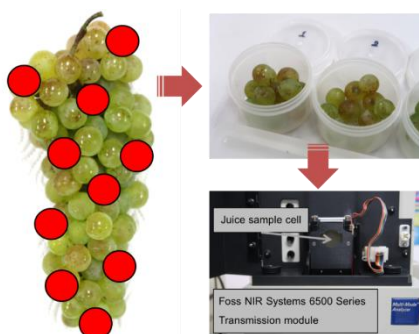


Figure 1 Sampling positions of each grape bunch prior to squeezing and measuring near infrared spectra (800-1,090 nm) using transmission measurement

คลุมกลุ่มตัวอย่างในอนาคตมากขึ้น

สุ่มตัวอย่างองุ่น 10 ผลต่อพวง โดยเลือกผลองุ่นแบบสุ่มจากบริเวณที่ติดกับขั้วของพวงไปจนถึงผลที่อยู่ส่วนปลายพวง แล้วนำมาบีบคั้นน้ำด้วยมือผ่านผ้าขาวบางสองชั้น นำน้ำองุ่นที่คั้นได้มาวัดสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 800-1,090 nm ด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (near infrared spectrophotometer, NIRSystems 6500, Foss NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD, USA) โดยใช้ระบบการวัดแบบส่องผ่านหรือ transmission (รูปที่ 1) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของเนียร์อินฟราเรดทุก ๆ 2 นาโนเมตร (spectral resolution = 2.0 nm) นำตัวอย่างน้ำองุ่นที่ผ่านการวัดสเปกตรัมเรียบร้อยแล้ว มาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ด้วยเครื่อง digital refractometer (PR-101α, Brix 0.0-45.0 % , Palette Series, Atago Co., Ltd., Japan) และวัดปริมาณกรดไทเทรตได้ (TA) ด้วยเครื่อง automatic titrator (TitroLine Easy Titrator, Schott Instruments GmbH, Germany) ทั้งนี้ วัดปริมาณ TSS และ TA 3 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่างน้ำคั้น แล้วบันทึกค่าเฉลี่ยในหน่วยเปอร์เซ็นต์

นำ NIR spectra ทั้งหมดมาปรับเรียงด้วยวิธี centering แล้วปรับแต่งด้วย multiplicative scatter correction (MSC) เพื่อลดความผันแปรของข้อมูลสเปกตรัม โดยแบ่งข้อมูลสเปกตรัมเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสร้างสมการ 60 สเปกตรัม และกลุ่มทดสอบสมการ 40 สเปกตรัม สร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ด้วยโปรแกรม JMP (Version 10.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) แล้วทดสอบสมการเบื้องต้นด้วยวิธี leave-one-out cross validation เพื่อประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นของสมการจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2_{cal}) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration, SEC) และค่า root mean square errors of calibration (RMSEC)

สำหรับการทดสอบสมการ ใช้วิธีทดสอบสมการจากกลุ่มตัวอย่างภายนอก หรือ external validation โดยนำสเปกตรัมในกลุ่มทดสอบสมการ 40 สเปกตรัมมาทำนายค่า TSS และ TA แล้วจึงประเมินประสิทธิภาพในการทำนายจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2_{pre}) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ (standard error of prediction, SEP) และค่า root mean square errors of prediction (RMSEP)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ตารางที่ 1 แสดงช่วงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำองุ่นคั้นสด ซึ่งแสดงให้เห็นช่วงของข้อมูลที่กว้างและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงทั้งในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ การสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีความจำเป็นต้องอาศัยช่วงของข้อมูลที่กว้างเพื่อให้สมการที่ได้มีความสามารถในการทำนายครอบคลุมมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐาน ตัวแทนประชากรของกลุ่มตัวอย่างนี้ต้องมีการกระจายตัวของข้อมูลที่กว้างและสม่ำเสมอ ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เป็นตัวชี้วัด [10,11]

3.2 สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด

รูปที่ 2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของน้ำองุ่นคั้นสดทั้ง 100 ตัวอย่าง ในช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 1090 นาโนเมตร โดยช่วงความยาวคลื่นที่เลือกใช้เพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานดังกล่าวไม่พบการรบกวนที่มีต่อคลื่นเนียร์อินฟราเรดหรือ noise incidence แต่พบว่าตัวอย่างน้ำคั้นมีการดูดกลืนแสงไม่เท่ากันตลอดทั้งสเปกตรัม โดยมีการยกตัวตลอดทั้งสเปกตรัมนี้เรียกว่า baseline offset ซึ่งมักเกิดจาก

Table 1 Statistical summaries of total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA) of freshly squeezed grape juice used in calibration and validation sets

Quality traits	Calibration set (n = 60)			Validation set (n = 40)		
	Range	Mean±S.E. ^{1/}	S.D. ^{2/}	Range	Mean±S.E.	S.D.
Total soluble solids (%)	22.00-12.00	17.55±0.36	2.82	21.30-11.40	17.45±0.45	2.82
Titratable acidity (%)	1.32-0.33	0.77±0.04	0.34	1.27-0.32	0.82±0.05	0.33

^{1/}S.E. is abbreviated from standard error of means.

^{2/}S.D. is abbreviated from standard deviation of means.

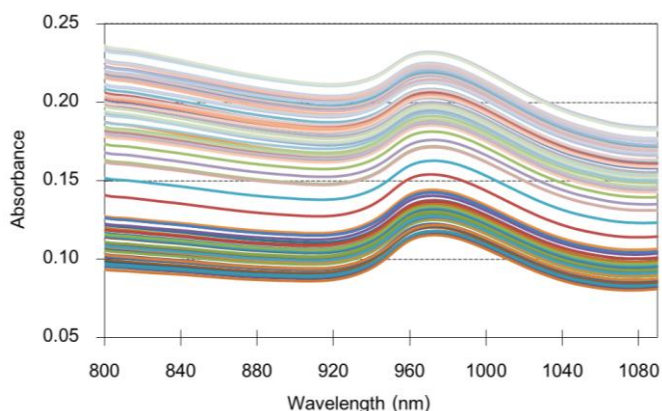


Figure 2 Original near infrared spectra of 100 freshly squeezed grape juice samples obtained from Foss NIR Systems 6500 Series with transmission measurement

ความแตกต่างกันของปริมาณส่วนประกอบของอินทรีย์สารที่ละลายอยู่ในตัวอย่าง [12] โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจมีผลมาจากการเก็บรักษาอุณหภูมิ 2 วัน ซึ่งการใช้วิธีปรับแต่งสเปกตรัมด้วย multiplicative scatter correction (MSC) สามารถช่วยลด baseline offset ของข้อมูลสเปกตรัมได้ [12,13]

3.3 ผลของการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและการทดสอบสมการ

สมการเทียบมาตรฐานของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ประกอบด้วยปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายค่าเป้าหมายหรือเรียกว่า PLS factor จำนวน 7 factor โดยในส่วนของ factor ที่ 1-3 สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดและให้ความแม่นยำของสมการมากกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้เคโมเมตริกซ์ของ partial least squares regression สามารถช่วยลดความผันแปรของข้อมูลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากและช่วยหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เป็นอย่างดี และนำไปสู่สมการเทียบมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพ [14] โดยสมการเทียบมาตรฐานของการทดลองครั้งนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2_{cal}) สูงถึง 0.998 และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มสร้างสมการ (SEC) 0.11 % เท่านั้น และเมื่อนำสมการเทียบ

มาตรฐานไปใช้ทำนายกับตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการพบว่ามีความ R^2_{pre} 0.972 (SEP = 0.46 %) ซึ่งถือว่าสมการเทียบมาตรฐานดังกล่าวมีประสิทธิภาพ (robust) และสามารถนำไปพัฒนาต่อหรือใช้ทำนายตัวอย่างกลุ่มใหม่ (รูปที่ 3A และ 3B) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า RPD ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในชุดทดสอบสมการต่อค่า SEP พบว่ามีค่า 6.13 ซึ่งงานวิจัยของ Nicolai และคณะ [4] และ Dong และ Gou [15] อธิบายว่าสมการเทียบมาตรฐานที่มีค่า RPD สูงจัดว่าเป็นสมการที่มีประสิทธิภาพในการทำนาย

สำหรับสมการเทียบมาตรฐานของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้พบว่าประกอบไปด้วย PLS factor จำนวน 5 factor โดยสมการเทียบมาตรฐานมีความ R^2_{cal} มากกว่า 0.910 และมีค่า SEC ที่ต่ำมาก ซึ่งบ่งชี้ว่าสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประเมินคุณภาพและคัดแยกคุณภาพ [16] อย่างไรก็ตาม เมื่อนำสมการเทียบมาตรฐานดังกล่าวไปใช้ทำนายน้ำองุ่นในชุดทดสอบสมการ พบว่าความแม่นยำของสมการมีค่าลดลง โดยมีค่า R^2_{pre} 0.898 (RPD = 3.3) รูปที่ 3D แสดงให้เห็นการกระจายตัวของ scatter plot ที่อยู่ห่างจากเส้นเป้าหมาย (target line) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการยังมีความแปรปรวนไม่เพียงพอที่จะครอบคลุมตัวอย่างในชุด

ทดสอบสมการ หรืออาจเนื่องมาจากปริมาณกรดที่ละลายอยู่ในน้ำคั้นถูกบดบังโดยอิทธิพลของน้ำและอินทรีย์สารอื่นที่ละลายอยู่ในน้ำคั้นด้วยเช่นกัน [5,17]

3.4 ความยาวคลื่นเนียร์อินฟราเรดที่สำคัญ

ความยาวคลื่นที่สำคัญหรือค่า variable projection สำหรับการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อทำนายปริมาณ TSS ในน้ำองุ่นสด อยู่ในช่วง 958, 960 nm โดย Liu และคณะ [18] พบว่า TSS ในน้ำคั้นของส้มมีการดูดกลืนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า NIR สูงสุด (absorption peak) ที่ความยาวคลื่น 960 nm ส่วนการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อทำนาย

ปริมาณ TA ในน้ำองุ่นสดนั้นพบว่า variable projection อยู่ในช่วง 960 และ 1,090 nm

4. สรุป

ประสิทธิภาพการประเมินปริมาณ TSS และ TA ของน้ำองุ่นสดด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยระบบการวัดแบบ transmittance ในช่วงความยาวคลื่น 800-1,100 nm ความยาวคลื่นที่สำคัญสำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณ TSS คือ 958, 960 nm และ TA คือ ช่วงความยาวคลื่น 960-1,090 นาโนเมตร โดยสมการเทียบมาตรฐาน PLSR

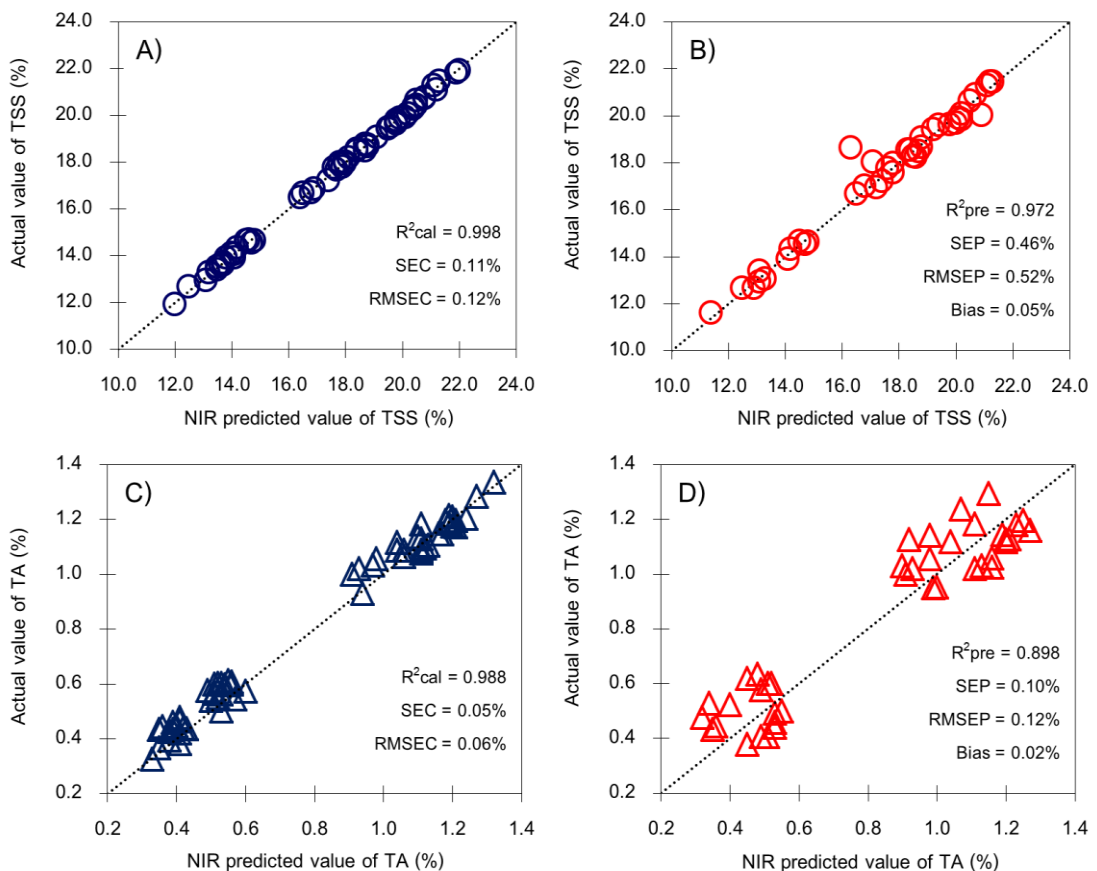


Figure 3 Calibration (A and C) and prediction (B and D) results of total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA) of grape juice from transmission measurement using short wavelength of near infrared spectroscopy

สามารถทำนายปริมาณ TSS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำสูง ($R^2_{pre} > 0.97$) และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนายต่ำ (0.46 %) ประสิทธิภาพการทำนายปริมาณ TA มีความแม่นยำสูงเช่นกัน ($R^2_{pre} > 0.89$) และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนายต่ำ (0.10 %) ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เพื่อประเมินคุณภาพของน้ำองุ่นสด อันนำไปสู่การสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณชาวไร่ กาญจน์มัย สำหรับการสนับสนุนตัวอย่างองุ่นสดที่ใช้ในการวิจัย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และบัณฑิตวิทยาลัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนิกาตะ ประเทศญี่ปุ่น สำหรับการสนับสนุนโปรแกรมวิเคราะห์เคโมเมทริกซ์

6. References

- [1] Wu, J.G., Shi, C. and Zhang, X., 2002, Estimating the amino acid composition in milled rice by near-infrared reflectance spectroscopy, *Field Crops Res.* 75: 1-7.
- [2] Lovett, D.K., Deaville, E.R., Mould, F., Givens, D.I. and Owen, E., 2004, Using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the biological parameters of maize silage, *Anim. Feed Sci. Technol.* 115: 179-187.
- [3] Rittiron, R., Saranwong, S. and Kawano, S., 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.
- [4] Nicolai, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I., and Lammertyna, J., 2007, Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review, *Postharvest Biol. Technol.* 46: 99-118.
- [5] Maniwaru, P., Nakano, K., Boonyakiat, D., Ohashi, S., Hiroi, M. and Tohyama, T., 2014, The use of visible and near infrared spectroscopy for evaluating passion fruit postharvest quality, *J. Food Eng.* 143: 33-43.
- [6] Siriphollakul, P., Nakano, K., Kanlayanarat, S., Ohashi, S., Sakai, R., Rittiron, R. and Maniwaru, P., 2017, Eating quality evaluation of Khao Dawk Mali 105 rice using near-infrared spectroscopy, *LWT Food Sci. Technol.* 79: 70-77.
- [7] McGlone, V.A., Jordan, R.B. and Martinsen, P.J., 2002, Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple, *Postharvest Biol. Technol.* 25: 135-144
- [8] Sun, T., Huang, K., Xu, H. and Ying, Y., 2010, Research advances in nondestructive determination of internal quality in watermelon/melon: A review, *J. Food Eng.* 100: 569-577.

- [9] Gómez, A.H., He, Y. and Pereira, A.G., 2006, Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/ NIR- spectroscopy techniques, *J. Food Eng.* 77: 313-319.
- [10] Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H., 1993, *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*, 2nd Ed., Longman Scientific and Technical, Singapore.
- [11] Maniwaru, P., Nakano, K., Ohashi, S., Boonyakiat, D., Seehanam, P., Theanjumpol, P. and Poonlarp, P., 2019, Evaluation of NIRS as non- destructive test to evaluate quality traits of purple passion fruit, *Sci. Hort.* 257: 108712.
- [12] Awotwe-Otoo, D.A., Zidan S., Rahman Z. and Habib, M.J., 2012, Evaluation of anticancer drug- loaded nanoparticle characteristics by nondestructive methodologies, *AAPS Pharm. Sci. Tech.* 13: 611-622.
- [13] Agelet, L.E. and Hurburgh, C.R., 2010, A tutorial on near infrared spectroscopy and its calibration, *Crit. Rev. Anal. Chem.* 40: 246-260.
- [14] Wold, S., Sjöström, M. and Eriksson, L., 2001, PLS- regression: a basic tool of chemometrics, *Chemometric. Intell. Lab.* 58: 109-130.
- [15] Dong, J. and Gou, W., 2015, Nondestructive determination of apple internal qualities using near-infrared hyperspectral reflectance imaging, *Food Anal. Methods* 8: 2635-2646.
- [16] Williams, P., 2007, *Application to agricultural and marine products: Grains and seeds*, pp. 165- 217, In Ozaki, Y. , McClure, W.F. and Christy, A.A. (Eds.), *Near- Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*, John Wiley and Sons, New Jersey.
- [17] Liu, Y. and Ying, Y., 2005, Use of FT-NIR spectrometry in non- invasive measurements of internal quality of ‘Fuji’ apples, *Postharvest Biol. Technol.* 37: 65-71.
- [18] Liu, Y., Sun, X. and Ouyang, A., 2010, Nondestructive measurement of soluble solid content of navel orange fruit by visible NIR spectrometric technique with PLSR and PCA- BPNN, *LWT Food Sci. Technol.* 43: 602-607.