

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด 2562

-
1. ชุดโครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาพันธุ์และเทคโนโลยีการผลิตสับปะรด
 2. โครงการวิจัย : การวิจัยและพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการคุณภาพในโซ่คุณค่าสับปะรดผลสดเพื่อการส่งออก
กิจกรรม : วิจัยและพัฒนาการจัดการคุณภาพผลผลิตสับปะรดผลสดเพื่อการส่งออก
กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
 3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดผลสดส่งออกพันธุ์ต่างๆ ร่วมกับการใช้ NIR
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Study of the relationship between chemical compositions and the internal browning symptoms of fresh pineapples for exporting by NIR
 4. คณะผู้ดำเนินงาน : นายอนวัช รัตนชัย¹
ผู้ร่วมงาน : นางสาวรวงคณา มากกำไร¹ นายทวีศักดิ์ แสงอุดม¹
นางสาวรุ่งลาวัลย์ อินตะวงศ์² นายภาณุมาศ โคตรพงศ์³

5. บทคัดย่อ

การส่งออกสับปะรดผลสดมีปริมาณและมูลค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณและมูลค่าการส่งออกสับปะรดทั้งหมด ปัญหาด้านคุณภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเมื่อเก็บรักษา ขนส่ง จนถึงผู้บริโภค โดยเฉพาะพันธุ์สับปะรด กลุ่มควีน เช่น พันธุ์สวี ภูเก็ต ทรายทอง มีความอ่อนแอและเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ง่าย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการประเมินคุณภาพและการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลกับสับปะรดผลสดพันธุ์เพชรบุรีเบอร์ 1 และพันธุ์ MD2 โดยใช้วิธีการแบบไม่ทำลายผลผลิต (NIR) โดยศึกษาการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้เวลาสั้น ไม่ใช้สารเคมี มาใช้ในการประเมินปริมาณวิตามินซี (Vitamin C) หรือกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity) และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Soluble Solids) ในสับปะรด โดยเก็บเกี่ยวสับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี 1 และ MD2 ที่ 2 ระยะความสุกแก่ (สุกแก่ 10-20% และ 30-40%) จากแปลงปลูกสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ นำไปเก็บรักษาที่ 13 ± 2 °C นาน 2 และ 4 สัปดาห์ และนำเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 1 วัน นำตัวอย่างสับปะรด วัดค่า

¹ สถาบันวิจัยพืชสวน

² ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย

³ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 700-1,100 nm รวม 480 ตัวอย่าง ได้สเปกตรัมของ สับปะรด นำตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ และประเมนของแข็งที่ละลายน้ำ และประเมนความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล ที่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการ หลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์ และสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร หาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดซับแสงของสับปะรดกับค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ และประเมนของแข็งที่ละลายน้ำ หาสมการถดถอย สมการเชิงเส้น ด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression โดยใช้โปรแกรม the Unscrambler ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการ สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างข้อมูลค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ และประเมนของแข็งที่ ละลายน้ำ กับการสร้างข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง กลุ่มที่ 2 คือ validation set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ สมการถดถอยเชิงเส้นในการทำนายค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ และประเมนของแข็งที่ละลายน้ำ นำสมการที่ได้ไปทดสอบกับตัวอย่าง ระยะเวลาดำเนินการ ตุลาคม 2560 - กันยายน 2562 จากการทดลองพบว่า สมการประเมนค่าวิตามินซีของสับปะรด สมการมีค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.97 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 0.96 ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมน (Standard Error of Prediction, SEP) = 3.74 mg/100 g ต่ำกว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) = 17.40 mg/100 g สมการประเมนค่าปริมาณกรดที่ไทเตรท ได้ของสับปะรด มีค่า R = 0.93 ค่า R^2 = 0.91 ค่า SEP = 0.03 % ต่ำกว่าค่า SD = 0.10 % สมการประเมน ค่าประเมนของแข็งที่ละลายน้ำของสับปะรด มีค่า R = 0.94 ค่า R^2 = 0.88 ค่า SEP = 0.51 °Brix ต่ำกว่าค่า SD = 1.51 °Brix x จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสมการสำหรับการประเมนค่านั้น สามารถนำไปประเมน ค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ และประเมนของแข็งที่ละลายน้ำได้ และจากการทดลองพบว่าการ เกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดผลสดส่งออกเมื่อนำมาเก็บรักษานั้น พันธุ์เพชรบุรี เบอร์ 1 เมื่อเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ มีการพบการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และมีความสัมพันธ์กับปริมาณวิตามินซี ซึ่งมีปริมาณต่ำ ส่วนพันธุ์ MD2 ไม่พบการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์

คำหลัก: สับปะรด วิตามินซี กรดที่ไทเตรทได้ ของแข็งที่ละลายน้ำ เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Abstract

Fresh pineapple exports have a small amount and value when compared to the total pineapple volume for exporting. The important problem is internal browning of pineapple in storing from farm to consumer. The popular pineapple varieties are the Queen group, such as Sawee, Phuket, and Trat Si Thong but are weak internal browning of pineapple. This method is destructive samples and it takes a long time for chemical compositions analysis. The objective of this research was study on Near Infrared Spectroscopy (NIRS) technique, is non-destructive technique, it takes a short time and no chemical use to predict for Vitamin C (ascorbic acid), Titratable acidity, Total Soluble Solids values and evaluated internal browning of pineapples. The 480 samples were collected Phetchaburi 1 and MD2 varieties at 10-20 % and 30-40 % maturity states from Prachuap Khiri Khan Province. The pineapples stored at 13 ± 2 °C, 2 and 4 weeks. The samples scanned by FQA NIR GUN in the region 700-1100 nm. The spectrum of pineapples were shown. The Vitamin C (ascorbic acid), Titratable acidity, Total Soluble Solids values analysis and evaluated internal browning of pineapples at Horticulture Research Institute, Department of Agriculture. The Least Squares Partial (PLS) linear regression models were calculated using the Unscrambler (Camo, Oslo Norway). The absorbance of samples correlates with Vitamin C (ascorbic acid), Titratable acidity, Total Soluble Solids values. Data were divided 2 groups, group 1 is calibration set, and group 2 is validation set. This research was done in 2017-2019. The calibration for predicting Vitamin C of pineapples, multiple correlation coefficient (R) = 0.97, squared correlation coefficients (R^2) = 0.96, Standard Error of Prediction (SEP) = 3.74 mg/100 g, Standard Deviation (SD) = 17.40 mg/100 g. The calibration for predicting Titratable acidity values of pineapples, R = 0.93, R^2 = 0.91, SEP = 0.03 %, SD = 0.10 %. The calibration for predicting Total Soluble Solids values of pineapples, R = 0.94, R^2 = 0.88, SEP = 0.51 °Brix, SD = 1.51 °Brix . Therefore, the NIRs technique can predict Vitamin C, Titratable acidity, and Total Soluble Solids values of pineapples. The results show that Phetchaburi 1 variety occurred internal browning after stored at 13 ± 2 °C, 4 weeks. The internal browning symptom relate with low Vitamin C in pineapple. However, MD2 variety not show internal browning after stored at 13 ± 2 °C, 4 weeks.

Keywords: pineapple, Vitamin C, Titratable acidity, Total Soluble Solids, Near Infrared Spectroscopy

6. คำนำ

สับปะรดเป็นไม้ผลเขตร้อน การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดอาการ สะท้านหนาว (chilling injury) คือ เกิดแถบสีน้ำตาลบริเวณเนื้อใกล้กับแกนผล (Paull and Rohrbach, 1985) หรือเรียกว่า อาการไส้สีน้ำตาล (internal browning) (Collins, 1968) Shewfelt and Rosario (2000) เสนอ สมมติฐานว่า ความเครียดจากสภาพการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิต่ำ มีผลในการกระตุ้นอนุมูลเสรี (free radicals) ชนิด reactive O₂ เช่น H₂O₂ ให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถทำลาย polyunsaturated lipid ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ เสื่อมสภาพ (Shewfelt and Erickson, 1991) ส่งผลให้สารต่างๆ รวมถึงสารประกอบฟีนอลเคลื่อนที่ผ่านเข้าออก จากเซลล์อย่างอิสระ (Murata, 1990) และทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) จนเกิดเป็น สารสีน้ำตาลขึ้น ตัวต้านออกซิเดชัน เช่น กรดแอสคอบิก superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT) มีหน้าที่ขัดขวางอนุมูลเสรีไม่ให้เกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation และลดปริมาณอนุมูลเสรีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ (Ahmad, 1995) กลไกการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด ยังปรากฏไม่แน่ชัด แต่เชื่อว่าการเกิดอาการ ดังกล่าวมีผลทำให้เซลเมมเบรนของเนื้อเยื่อสับปะรดเสื่อมสภาพเป็นเหตุให้สารต่างๆ สามารถผ่านเข้าออกจาก เซลล์ได้ง่าย (Murata, 1990) และพบการทำงานของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเกิดอาการ ไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด (Zhou *et al.*, 2003) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ปรากฏชัดเจนในสับปะรด กลุ่ม Queen ซึ่งจัดเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (กรกช, 2553) อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ ระหว่างความเสียหายของเยื่อหุ้มและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลนั้นยังไม่ชัดเจน

พันธุ์สับปะรดที่นำมาจากต่างประเทศและมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการบริโภคสด พันธุ์เพชรบุรี เบอร์ 1 จัดอยู่ในกลุ่ม Queen นำพันธุ์มาจากประเทศไต้หวัน ผลมีขนาดเล็กกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย แต่ใหญ่กว่า พันธุ์ภูเก็ต และพันธุ์สวี น้ำหนักผลประมาณ 1.0 Kg. ผลมีลักษณะทรงเจดีย์ ด้านล่างของผลมีขนาดใหญ่ บริเวณ ปลายผลคอดเล็ก ตามผลค่อนข้างใหญ่และพองนูนเล็กน้อย เมื่อสุกแก่เปลือกจะมีสีเหลืองอมส้ม รสชาติหวาน อมเปรี้ยว ความหวานเฉลี่ย 16.9% ปริมาณกรด 0.45% สับปะรดพันธุ์นี้มีลักษณะเด่นพิเศษ คือ ตามผลย่อย สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย จึงสามารถแกะแยกผลย่อยออกมาเพื่อรับประทานแต่ละผลย่อยได้ พันธุ์ MD2 เป็นพันธุ์เป็นสับปะรดรับประทานสดและเป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพในการส่งออกในรูปผลสด ลักษณะเด่น คือ สีเนื้อ เหลืองสม่ำเสมอ หนามน้อย อายุการให้ผลผลิตเร็ว วิตามินซีสูงกว่าพันธุ์ทั่วไป 4 เท่า อายุการเก็บรักษานาน สามารถเก็บได้นาน 5 - 6 สัปดาห์ โดยไม่เกิดอาการไส้สีน้ำตาล (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560)

เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น นำไป ประยุกต์ใช้ในผักและผลไม้สด (ศิรินนภา, 2555) สำหรับการประยุกต์ใช้ NIRS ในไม้ผลเขตร้อนนั้น Guthrie and Walsh (1997) เป็นผู้ริเริ่มวัดค่าบrixของผลสับปะรด จากนั้น Guthrie *et al.* (1998) และ Walsh *et al.* (2004) ได้นำเทคนิค NIRS ไปวัดค่าบrixของผลสับปะรด หทัยชนก (2560) นำเทคนิค NIRS มาใช้ในการวัด อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในชั้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่เย็นก่อนการทำแห้ง ซึ่ง NIRS เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยใช้หลักการการสลายสมการจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correction) หรือ R ระหว่างค่าการดูดซับแสงเนียร์อินฟราเรดที่ส่องผ่านวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ และ

ค่าที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้สมการที่มีค่าความสัมพันธ์สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) ต่ำ สามารถนำสมการที่ได้มาใช้ทำนายค่าของตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และปลอดภัย ไม่ใช้สารเคมี

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

1. สับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี 1 และ MD2 ที่ 2 ระยะความสุกแก่ (สุกแก่ 10-20% และ 30-40%)
จากแปลงปลูกสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 480 ตัวอย่าง
2. เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพารุ่น FQA-NIR GUN (Fantec, Japan)
3. ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ
4. เครื่องวัดความหวานแบบดิจิตอลพกพา Pocket refractometer รุ่น PAL-1 ยี่ห้อ Atago ,Japan
5. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเตรท
 - 5.1 phenolphthalein
 - 5.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
6. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี
 - 6.1 metaphosphoric-acetic acid
 - 6.2 2, 6-dichloroindophenol

- วิธีการ

1. เก็บเกี่ยวสับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี 1 และ MD2 ที่ 2 ระยะความสุกแก่ (สุกแก่ 10-20% และ 30-40%) จากแปลงปลูกสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ นำไปเก็บรักษาที่ 13 ± 2 °C และเก็บรักษานาน 2 และ 4 สัปดาห์ และนำเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 1 วัน วิเคราะห์คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C) ตามวิธี (A.O.A.C, 1990) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity) ตามวิธี (A.O.A.C, 2000) และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Soluble Solids) และประเมินความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล
2. นำตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี เบอร์ 1 และ MD2 ที่ 2 ระยะความสุกแก่ต่างๆ วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 700-1,100 nm
3. นำ spectra ต้นแบบ (original spectra) ที่ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) ด้วยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) และ Multiple linear regression discriminant analysis (MLRDA) จากโปรแกรมสำเร็จรูป CA-Maker และวิธี Partial Least Square (PLS) โปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler ของบริษัท Camo Oslo ของประเทศนอร์เวย์

4. ทำการคัดเลือกสมการโดยพิจารณาค่า Correlation Coefficient (R) สูง ค่า Standard Error of Calibration (SEC) ต่ำ และค่า Standard Error of Prediction (SEP) ต่ำ
5. ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น โดยนำสมการไปประเมินปริมาณวิตามินซี (Vitamin C) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity) และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Soluble Solids) ในตัวอย่างสับปะรดเปรียบเทียบค่าการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
6. นำสมการประเมินปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำ

- เวลาและสถานที่ ปีเริ่มต้น 2561 สิ้นสุด 2562

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
สถาบันวิจัยพืชสวน

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

นำตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี เบอร์ 1 และ MD2 ที่ 2 ระยะความสุกแก่ต่างๆ เก็บรักษาที่ 13 ± 2 °C และเก็บรักษานาน 2 และ 4 สัปดาห์ และนำเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 1 วัน วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 700-1100 nm รวม 480 ตัวอย่าง ได้สเปกตรัมของสับปะรด ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 970 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่นนี้เป็น peak ที่มีความเกี่ยวข้องกับน้ำ และ O-H group ในสับปะรด (Williams and Norris 2001) (Figure 1)

สร้างสมการด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler สร้างสมการและปรับสมการสำหรับประเมินปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำ รวมจำนวน 3 สมการ

จากการสร้างสมการและปรับสมการจากสับปะรดจำนวน 480 ตัวอย่าง ทำ calibration ด้วยวิธี PLS regression โดยการใช้ spectra เริ่มต้น (original) แบบ Full cross validation กับค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำ ในสับปะรดที่ความยาวคลื่น 700-1,100 nm พบว่าสมการจาก original spectra ของปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำ

1. วิตามินซี (Vitamin C) มีค่าสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนายเท่ากับ 0.97 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย Standard Error of Prediction (SEP) เท่ากับ 3.74 mg/100 g ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่ม Standard Error of Calibration (SEC) เท่ากับ 3.35 mg/100 g มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (F) = 7 ปัจจัย ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 17.40 mg/100 g และสมการประเมินปริมาณวิตามินซีในสับปะรด ตั้งแต่ 4.45– 69.62 mg/100 g มีค่าเฉลี่ย 28.19 mg/100 g (Table 1 และ 2) ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 730 nm เป็นค่า OH group ที่ 801 nm เป็นค่า amino group ที่ 910 nm เป็นค่าของโปรตีน และ ที่ 970 nm เป็นค่าของน้ำ (Figure 2)

2. กรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity) ค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.93, SEP = 0.03 %, SEC = 0.03 %, F = 9 ปัจจัย, SD = 0.10 % และสมการประเมินปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในสับปะรด ตั้งแต่ 0.60–0.93 % มีค่าเฉลี่ย 0.75 % (Table 1 และ 2) ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 738 nm เป็นค่า OH group ที่ 827 และ 1056 nm เป็นค่า amino group ที่ 912 nm เป็นค่าของโปรตีน และที่ 973 nm เป็นค่าของน้ำ (Figure 2)

3. ของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Soluble Solids) ค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.94, SEP = 0.51 °Brix, SEC = 0.44 °Brix, F = 9 ปัจจัย, SD = 1.51 °Brix และสมการประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในสับปะรด ตั้งแต่ 13.71–20.26 °Brix มีค่าเฉลี่ย 15.90 °Brix (Table 1 และ 2) ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 732 nm เป็นค่า OH group ที่ 827 และ 1,056 nm เป็นค่า amino group ที่ 910 nm เป็นค่าของโปรตีน และที่ 971 nm เป็นค่าของน้ำ (Figure 2)

จากการหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำในสับปะรด ด้วย NIR และค่าที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) มีค่า 0.96 0.91 และ 0.88 ตามลำดับ (Figure 3) จากการสร้างสมการจากจำนวนตัวอย่าง 480 ตัวอย่าง ถึงแม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจะสูงขึ้น หากมีการทดลองต่อไปควรเพิ่มตัวอย่างที่มีค่าปริมาณวิตามินซี ประมาณ 20-28 และ 45-50 mg/100 g เพื่อให้สมการมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น

ขั้นตอนการทำ validation หลังจากได้สมการ calibration แล้ว ทำการทวนสอบว่าสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาทำนายข้อมูลชุดอื่นได้ ซึ่งการทดสอบสมการประเมินค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำในสับปะรด จำนวน 10 ตัวอย่าง นำตัวอย่างไปสแกนด้วยเครื่อง FQA NIR GUN และทำนาย (predicted) ค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำในสับปะรด เปรียบเทียบกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความถูกต้องมากน้อยแค่ไหน (Standard Error of Prediction ; SEP) ค่าเฉลี่ยของการทำนายกับค่าเฉลี่ยของค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกันหรือไม่ (bias) ค่าสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบว่าสมการ calibration ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้งานได้คือ ค่า SEP และ bias ควรมีค่าน้อยๆ ถึงจะแสดงว่าสมการ calibration มีความเหมาะสมที่จะนำเครื่อง NIR มาใช้ในการทำนายคุณลักษณะที่ต้องการหา รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ควรมีค่าเข้าใกล้ 1

การคำนวณค่า SEP และค่า bias ของปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำในสับปะรด ที่ทำนายได้กับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งมีค่า SEP = 1.11 mg/100 g 0.08 % และ 0.58 °Brix ตามลำดับ ค่า bias = -0.04 mg/100 g -0.03 % และ -0.38 °Brix ตามลำดับ ค่า bias มีค่าเป็นลบแสดงว่า ค่าที่ทำนายได้มีค่ามากกว่าค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Table 3-5) และนำสถิติ t-test ใช้ทดสอบความแตกต่างหรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการ 2 วิธี พบว่า สมการสำหรับการประเมินปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำ ในสับปะรด กับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ดังนั้นจึงสามารถนำสมการไปใช้ประเมินปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำในสับปะรดได้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสมการสำหรับการประเมินค่านั้น สามารถนำไปประเมินค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำได้ และจากการทดลองพบว่าการเกิดอาการ ไล่สีน้ำตาลของสับปะรดผลสดส่งออกนั้นเมื่อนำมาเก็บรักษา พันธุ์เพชรบุรี เบอร์ 1 เมื่อเก็บรักษาที่ 13 ± 2 °C นาน 4 สัปดาห์ มีการพบการเกิดอาการไล่สีน้ำตาล และมีความสัมพันธ์กับปริมาณวิตามินซี ซึ่งมีปริมาณต่ำ ส่วนพันธุ์ MD2 ไม่พบการเกิดอาการไล่สีน้ำตาลในการเก็บรักษาที่ 13 ± 2 °C นาน 4 สัปดาห์ จริงแท้ และ อ้อมอรุณ (2548) ได้ทดลองอนุมูลเสรีและตัวต้านออกซิเดชันกับอาการไล่สีน้ำตาลในสับปะรด พบว่า จากการทดลองเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ตที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า พันธุ์ปัตตาเวียต้านทานต่ออาการไล่สีน้ำตาล ตรงข้ามกับพันธุ์ภูเก็ตที่อ่อนแอต่ออาการไล่สีน้ำตาล ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ภูเก็ตสูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณ กรดแอสคอบิกและกิจกรรมของ catalase (CAT) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียค่อนข้างคงที่ แตกต่างจากพันธุ์ภูเก็ต ที่ปริมาณกรดแอสคอบิกและกิจกรรมของ CAT ลดลงในขณะที่อาการไล่สีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น มยุรี และคณะ (2527) ศึกษาการเกิดอาการไล่สีน้ำตาลของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น เก็บเกี่ยวผลสับปะรดในระยะแก่เขียว (mature green) และระยะสุก (1/4 ripe, เปลือกผลปรากฏสีเหลืองประมาณ 2 แถว ซึ่งเป็นระยะสุกแก่เพื่อการ บริโภคสด) เก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 8 °C (ความชื้นสัมพัทธ์ 73%) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าเกิดการ เปลี่ยนแปลงทางเคมีของทั้งสองระยะเก็บเกี่ยว โดยปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้เพิ่มขึ้นทั้งสองระยะเก็บเกี่ยว แต่มีแนวโน้มลดลงในระยะผลสุกภายหลังจากสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ วิตามินซีกับการเกิดอาการฉ่ำน้ำของผลสับปะรดที่เก็บเกี่ยวในระยะผลสุก ปริมาณวิตามินซีในผลสับปะรด อาจสามารถใช้คาดคะเนการเกิดอาการไล่สีน้ำตาลได้

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีมาประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณวิตามินซี หรือกรดแอสคอบิก ตั้งแต่ 4.45-69.62 mg/100 g ปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ ตั้งแต่ 0.60-0.93 % และประเมิน ของแข็งที่ละลายน้ำ ตั้งแต่ 13.71-20.26 °Brix ในสับปะรดได้ สามารถนำสมการประเมินปริมาณวิตามินซี เพื่อประเมินการเกิดอาการไล่สีน้ำตาล ซึ่งอาการไล่สีน้ำตาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณวิตามินซี ที่มีปริมาณต่ำ พบในสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี เบอร์ 1 เมื่อเก็บรักษาที่ 13 ± 2 °C นาน 4 สัปดาห์ ส่วนพันธุ์ MD2 ไม่พบการเกิด อาการไล่สีน้ำตาลในการเก็บรักษาที่ 13 ± 2 °C นาน 4 สัปดาห์

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เผยแพร่การใช้เทคนิค NIR ในการตรวจหาอาการไล่สีน้ำตาลในสับปะรด สำนักวิชาการเกษตร เกษตรกร/ ผู้ประกอบการ ทำให้โดยสามารถทำนายค่าทางเคมีได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ และสามารถทำนายได้อย่าง รวดเร็ว แม่นยำ ประหยัดเวลา และช่วยลดต้นทุนในการใช้สารเคมีในระยะยาวได้

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ต่างๆ ทั้งจากสถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ที่ช่วยในการปฏิบัติงาน วิเคราะห์ต่างๆ จนสำเร็จเรียบร้อย

12. เอกสารอ้างอิง

กรกช ชั้นจิรกุล. 2553. ปริมาณกรดไขมัน แอนต็อกซิแคนท์และเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด (*Ananas comosus* (L) Merr.). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พืชสวน). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กำแพงแสน, นครปฐม.

จริงแท้ ศิริพานิช และอ้อมอรุณ นุกุลธรประกิต. 2548. อนุมูลเสรีและตัวต้านออกซิเดชันกับอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด. *วารสาร Postharvest Newsletter*. 4 (1).

มยุรี กระจายกลาง พิมพิวิภา กองพงษ์ ธวิช อินทรพันธุ์ และศลิษา พรหมเสน. 2557. การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. *วารสารแก่นเกษตร*. 42 (3) : 12-18.

ศิรินินภา ศรีณย์วงศ์. 2555. การประยุกต์ใช้ในผักและผลไม้สด. *เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม*. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.

สถาบันวิจัยพืชสวน. 2560. *การจัดการการผลิตสับปะรดคุณภาพ*. กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ. 184 หน้า.

หทัยชนก พวงจันทร์. 2560. การพัฒนาสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในชั้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่เย็นก่อนการทำแห้งด้วยเทคนิคสเปกโทร สโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยศิลปากร. 191 หน้า.

Ahmad, S. 1995. Antioxidant mechanisms of enzymes and proteins, pp. 238-272. In S. Ahmad, ed. *Oxidative Stress and Antioxidant Defenses in Biology*. International Thomson Publishing Inc., New York.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists) .1990. Official Method 985.33. Vitamin C (Reduced Ascorbic Acid) in Ready-to-Feed Milk-Based Infant Formula 2,6-Dichloroindophenol Titrimetric Method. In: *Official Methods of Analysis*, AOAC International, Washington DC, 1108-1109.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. *Official methods of analysis, (17th ed.)*. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Guthrie, J.A. and K.B. Walsh. 1997. Non-invasive assessment of pineapple and mango fruit quality using near infra-red spectroscopy. *Aust. J. Exp. Agric.* 37: 253–263.

- Guthrie, J.A., B. Wedding and K.B. Walsh. 1998. Robustness of NIR calibrations for soluble solids in intact melon and pineapple. *J. Near Infrared Spectrosc.* 6: 259–265.
- Murata, T. 1990. Relation of chilling stress to membrane permeability. P. 201-209. In: C. Y. Wang. (ed.). *Chilling Injury of Horticultural crops*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Nicolaï, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. I. Theron and J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *J. Postharvest Biology and Technology.* 46 (2): 99-118.
- Paull, R.E. and K.G. Rohrbach. 1985. Symptom development of chilling injury in pineapple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 (1): 100-105.
- Shewfelt, R.L. and B.A. del Rosario. 2000. The role of lipid peroxidation in storage disorders of fresh fruits and vegetables. *HortScience.* 35 (4): 575-579.
- Shewfelt, R.L. and M.E. Erickson. 1991. Role of lipid peroxidation in the mechanism of membrane-associated disorders in edible plant tissue. *Trends Food Sci. Technol.* 6: 152-154.
- Walsh, K.B., M. Golic, and C.V. Greensill. 2004. Sorting of fruit using near infrared spectroscopy: application to arrange of fruit and vegetables for soluble solids and dry matter content. *J. Near Infrared Spectrosc.* 12: 141–148.
- Williams, P. and K. Norris. 2001. *Near infrared technology in the agricultural and food industries*. Inc.: St Paul, Minesota, USA, 312 p.
- Zhou, Y., J. M. Dahler, S. T. R., Underhill and R. B. H. Wills. 2003. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. *Food Chem.* 80(4): 565-572.

13. ภาคผนวก

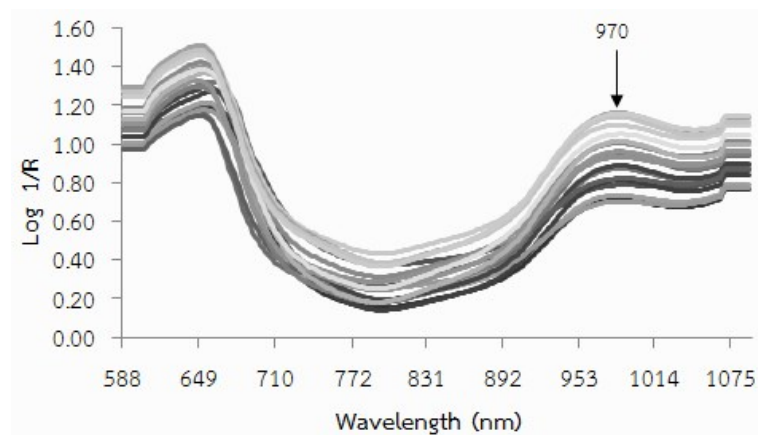


Figure 1 The original NIR spectra of pineapple of 700-1100 nm.

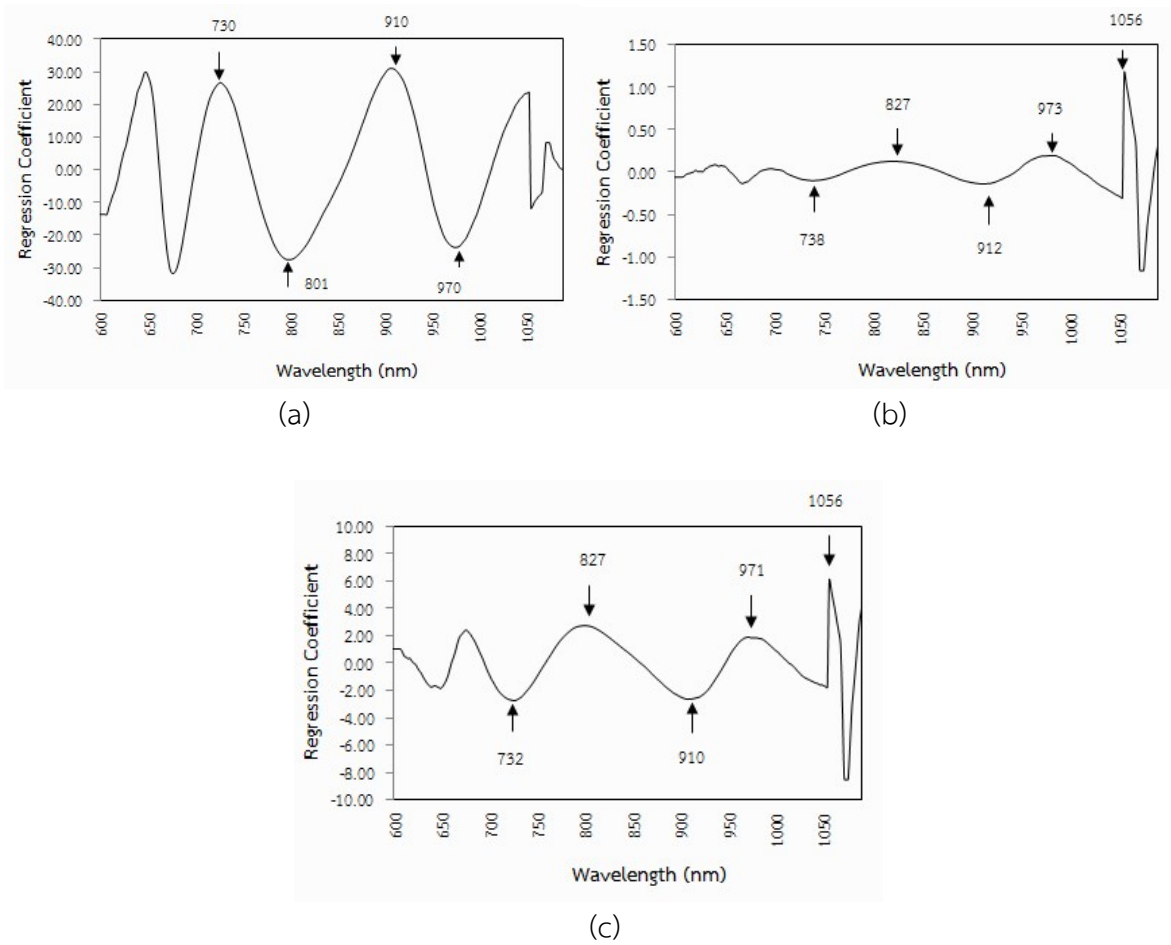
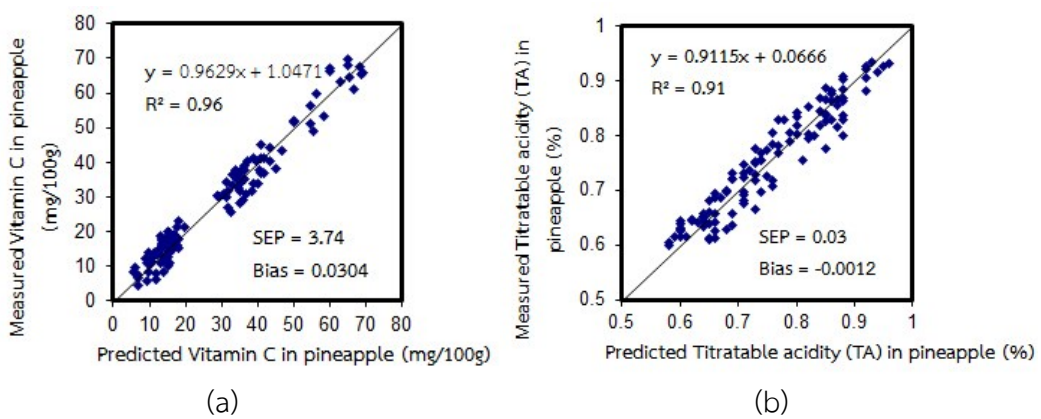


Figure 2 Regression coefficient plots to evaluate Vitamin C (a), Titratable acidity (b) and Total Soluble Solids (c) values in pineapple.





(c)

Figure 3 Scatter plots of actual Vitamin C (a), Titratable acidity (b) and Total Soluble Solids (c) values in pineapple vs. NIR-predicted Vitamin C, Titratable acidity (b) and Total Soluble Solids (c) values in validation set.

Table 1 Partial Least Square Regression calibration result for predicting Vitamin C, Titratable acidity and Total Soluble Solids values in pineapple.

Chemical composition analysis	Math method	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	N
Vitamin C	Original	700-1100	7	0.97	3.35	3.74	17.07	0.0304	120
Titratable acidity	Original	700-1100	9	0.93	0.03	0.03	0.09	- 0.0012	110
Total Soluble Solids	Original	700-1100	9	0.94	0.44	0.51	1.42	- 0.0122	280

R: Multiple correlation coefficients

F: The number of factors used in the calibration equation

SEC: Standard error of calibration, SEP: Standard error of prediction

SD: Standard Deviation of actual value

Bias: The average of difference between actual value and NIR value, N: Number of samples

Table 2 The characteristics of samples used in model for Vitamin C, Titratable acidity and Total Soluble Solids values in pineapple.

Items	min-max	mean	Unit
Vitamin C	4.45-69.62	28.19	mg/100 g
Titratable acidity	0.60-0.93	0.75	%
Total Soluble Solids	13.71-20.26	15.90	°Brix

Table 3 Comparison of predicted and actual values when used NIR model to evaluate Vitamin C value in pineapple.

Samples	Method to determine Vitamin C		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	16.13	17.68	-1.55	2.39
2	18.51	17.81	0.71	0.50
3	41.09	41.75	-0.65	0.42
4	40.44	39.75	0.69	0.48
5	12.62	11.12	1.50	2.26
6	8.18	9.71	-1.53	2.34
7	67.55	68.29	-0.74	0.55
8	10.35	10.17	0.19	0.03
9	30.13	31.42	-1.29	1.65
10	34.28	35.62	-1.33	1.77
Total	279.33	283.32	-4.00	12.40
Average	27.93	28.33	-0.40	1.24

Table 4 Comparison of predicted and actual values when used NIR model to evaluate Titratable acidity value in pineapple.

Samples	Method to determine Titratable acidity		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	0.60	0.64	-0.04	0.0018
2	0.54	0.57	-0.03	0.0009
3	0.72	0.74	-0.02	0.0003
4	0.72	0.89	-0.17	0.0272
5	0.88	0.86	0.02	0.0003
6	0.88	0.80	0.08	0.0064
7	0.73	0.90	-0.17	0.0286
8	0.71	0.70	0.01	0.0001
9	0.71	0.68	0.03	0.0011
10	0.58	0.60	-0.02	0.0004
Total	7.07	7.37	-0.30	0.07
Average	0.71	0.74	-0.03	0.01

Table 5 Comparison of predicted and actual values when used NIR model to evaluate Total Soluble Solids value in pineapple.

Samples	Method to determine Total Soluble Solids		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	19.10	18.74	0.36	0.13
2	16.30	16.45	-0.15	0.02
3	16.80	17.49	-0.69	0.48
4	16.10	16.87	-0.76	0.59
5	19.20	20.46	-1.26	1.59
6	19.30	19.88	-0.58	0.33
7	19.90	20.16	-0.26	0.07
8	14.50	14.86	-0.36	0.13
9	14.20	14.36	-0.16	0.03
10	13.80	13.72	0.08	0.01
Total	169.20	172.98	-3.78	3.37
Average	16.92	17.30	-0.38	0.34