Agric. Sci. Innov. J. 55 : 1 (Suppl.) : 64 - 68 (2024) ว. วิทย. นวัต. กษ. 55 : 1 (พิเศษ) : 64 - 68 (2567)

ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด พันธุ์เพชรบุรี 1 และ MD2 โดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดย่านใกล้

The Relationship of Chemical Compositions on the Internal Browning Symptom of Pineapple cv. Phetchaburi 1 and MD2 by Near Infrared Spectroscopy

อนุวัฒน์ รัตนชัย[1] วรางคณา มากกำไร[1] รุ้งลาวัลย์ อินต๊ะวงค์[1] และทวีศักดิ์ แสงอุดม[1]
Anuwat Rattanachai[1], Warangkana Makkumrai[1], Runglawan Intawong[1] and Thaveesak Sangudom[1]

Abstract

This research was to investigate the chemical compositions by near infrared spectroscopy (NIRS) of fresh pineapple cv. Phetchaburi 1 and MD2. The samples were harvested at 10-20% and 30-40% maturity states from Prachuap Khiri Khan Province. They were subsequently stored at 13±2 ℃ for 2 and 4 weeks prior to storing at room temperature (25 ℃) for 1 day. All 480 pineapple samples were scanned by FQA NIR GUN in the region 700-1100 nm. The absorbance values were analyzed by correlating with vitamin C, titratable acidity, and total soluble solids using partial least squares (PLS) regression performed by the Unscrambler. The calibration models provided correlation coefficients of 0.97, 0.93 and 0.94, standard error of prediction (SEP) of 3.74 mg/100 g, 0.03% and 0.51 °Brix, Bias of 0.0304 mg/100 g, - 0.0012% and - 0.0122 °Brix, respectively. The NIRS could predict the chemical compositions of pineapple fruit, including vitamin C content ranging from 4.45 to 69.62 mg/100 g, titratable acidity ranging from 0.60 to 0.93%, and total soluble solids ranging from 13.71 to 20.26 °Brix. The occurrence of core browning symptoms was observed in cv. Phetchaburi 1. In contrast, the MD2 variety did not show any signs of internal brown core during a 4-week storage period.

Keywords: pineapple, chemical compositions, near infrared spectroscopy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในสับปะรดผลสด พันธุ์เพชรบุรี 1 และ MD2 โดยนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีประเมินองค์ประกอบทางเคมี สับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี 1 และ MD2 ที่เก็บเกี่ยว 2 ระยะความแก่ (ความแก่ 10-20% และ 30-40%) จากแปลงปลูกสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 ℃ นาน 2 และ 4 สัปดาห์ และนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิห้อง (เฉลี่ย 25 ℃) นาน 1 วัน วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร รวม 480 ตัวอย่าง หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสับปะรดกับปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม the Unscrambler พบว่าสมการมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.97, 0.93 และ 0.94 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย (SEP) เท่ากับ 3.74 mg/100 g, 0.03% และ 0.51 °Brix และค่า Bias เท่ากับ 0.0304 mg/100 g, - 0.0012% และ - 0.0122 °Brix ตามลำดับ ประเมินปริมาณวิตามินซีได้ในช่วง 4.45-69.62 mg/100 g ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในช่วง 0.60-0.93% และประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในช่วง 13.71-20.26 °Brix ทั้งนี้การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลพบในพันธุ์เพชรบุรี 1 ส่วนพันธุ์ MD2 ไม่พบการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์

คำสำคัญ: สับปะรด องค์ประกอบทางเคมี เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

[1] สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
[1] Horticulture Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

คำนำ

สับปะรดเป็นไม้ผลเขตร้อน การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) คือ เกิดแถบสีน้ำตาลบริเวณเนื้อใกล้กับแกนผล (Paull and Rohrbach, 1985) หรือเรียกว่า อาการไส้สีน้ำตาล (internal browning) Shewfelt and Rosario (2000) เสนอสมมติฐานว่า ความเครียดจากสภาพการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิต่ำ มีผลในการกระตุ้นอนุมูลเสรี (free radicals) ชนิด reactive O_2 เช่น H_2O_2 ให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถทำลาย polyunsaturated lipid ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมสภาพ (Shewfelt and Erickson, 1991) ส่งผลให้สารต่างๆ รวมถึงสารประกอบฟีนอลเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกจากเซลล์อย่างอิสระ (Murata, 1990) และทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) จนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น ตัวต้านออกซิเดชัน เช่น กรดแอสคอบิค superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT) มีหน้าที่ขัดขวางอนุมูลเสรีไม่ให้เกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation และลดปริมาณอนุมูลเสรีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ (Ahmad, 1995) สับปะรดพันธุ์เพชรบุรีเบอร์ 1 จัดอยู่ในกลุ่ม Queen ผลมีขนาดเล็กกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย แต่ใหญ่กว่าพันธุ์ภูเก็ต และพันธุ์สวี น้ำหนักผลประมาณ 1 กิโลกรัม ผลมีลักษณะทรงเจดีย์ ด้านล่างของผลมีขนาดใหญ่ บริเวณปลายผลคอดเล็ก ตาผลค่อนข้างใหญ่และพองนูนเล็กน้อย เมื่อแก่เปลือกจะมีสีเหลืองอมส้ม รสชาติหวานอมเปรี้ยว ความหวานเฉลี่ย 16.9°Brix ปริมาณกรด 0.45% มีลักษณะเด่นพิเศษ คือ ตาผลย่อยสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย จึงสามารถแกะแยกผลย่อยออกมาเพื่อรับประทานแต่ละผลย่อยได้ พันธุ์ MD2 เป็นพันธุ์เป็นสับปะรดรับประทานสดและเป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพในการส่งออกในรูปผลสด ลักษณะเด่น คือ สีเนื้อเหลืองสม่ำเสมอ หนามน้อย อายุการให้ผลผลิตเร็ว วิตามินซีสูงกว่าพันธุ์ทั่วไป 4 เท่า อายุการเก็บรักษานาน สามารถเก็บได้นาน 5 - 6 สัปดาห์ โดยไม่เกิดอาการไส้สีน้ำตาล (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีหรืออินฟราเรดย่านใกล้ในไม้ผลเขตร้อนนั้น Guthrie and Walsh (1997) เป็นผู้ริเริ่มวัดค่าบริกซ์ของผลสับปะรด ณัชชา และ คณะ (2555) ตรวจสอบอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีพบว่าเมื่อเก็บรักษาสับปะรดภูแลนานขึ้น การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเพิ่มขึ้น และของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มลดลง เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น จากสมการค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.8 มีความเป็นไปได้ที่จะใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีในการตรวจหาอาการไส้สีน้ำตาล

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

สับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี 1 และ MD2 ที่ 2 ระยะความแก่ (ความแก่ 10-20% หรือประมาณ 70-75 วันหลังดอกบาน และ 30-40% หรือประมาณ 80-85 วันหลังดอกบาน) จากแปลงปลูกสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวนรวม 480 ตัวอย่าง เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพารุ่น FQA-NIR GUN (Fantec, Japan) ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ เครื่องวัดความหวานแบบดิจิตอลพกพา Pocket refractometer รุ่น PAL-1 ยี่ห้อ Atago, Japan และอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และของแข็งที่ละลายน้ำได้

วิธีการ

1. เก็บเกี่ยวสับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี 1 และ MD2 ที่ 2 ระยะความแก่ (ความแก่ 10-20% และ 30-40%) จากแปลงปลูกสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ นำไปเก็บรักษาที่ 13±2 °C นาน 2 และ 4 สัปดาห์ และนำเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (เฉลี่ย 25 °C) นาน 1 วัน วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร (nm)

2. วิเคราะห์คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี (vitamin C) ตามวิธี (AOAC, 1990) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity) ตามวิธี (AOAC, 2000) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) และผ่าผลสับปะรดตรวจสอบอาการไส้สีน้ำตาล

3. นำ spectra ต้นแบบ (original spectra) ที่ได้มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี partial least squares (PLS) โปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler ของบริษัท Camo ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างข้อมูลปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ กับข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 nm กลุ่มที่ 2 คือ validation set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบสมการถดถอยเชิงเส้นในการทำนายปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ คัดเลือกสมการโดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูง ค่า standard error of calibration (SEC) ต่ำ และค่า standard error of prediction (SEP) ต่ำ

4. ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น โดยนำสมการประเมินปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สับปะรดพันธุ์ เพชรบุรี 1และ MD2 ความแก่ 10-20% มีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย 14.27 และ 41.15 mg/100 g ความแก่ 30-40% มีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย 11.91 และ 41.15 mg/100 g ตามลำดับ กรดที่ไตเตรทได้เพชรบุรี 1 และ MD2 ความแก่ 10-20% มีปริมาณเฉลี่ย 0.73 และ 0.71% ความแก่ 30-40% มีปริมาณเฉลี่ย 0.70 และ 0.69% ตามลำดับ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ เพชรบุรี 1 และ MD2 ความแก่ 10-20% มีปริมาณเฉลี่ย 16.92 และ 14.44 °Brix ความแก่ 30-40% มีปริมาณเฉลี่ย 17.07 และ 14.03 °Brix ตามลำดับ นำค่าที่ได้มาสร้างสมการเทียบมาตรฐาน ด้วยวิธี partial least square (PLS) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler ใช้ spectra เริ่มต้น (original) ร่วมกับการทดสอบสมการแบบ full cross validation กับค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

วิตามินซี (vitamin C) จำนวนตัวอย่าง (n) = 120 ตัวอย่าง ในการสร้างสมการ มีค่าสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.97 ค่า SEP เท่ากับ 3.74 mg/100 g ค่า SEC เท่ากับ 3.35 mg/100 g มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (F) = 7 ปัจจัย ค่าความคลาดเคลื่อน (standard deviation, SD) ค่าอัตราส่วนระหว่าง SEP กับ SD (residual prediction deviation, RPD) เท่ากับ 4.56 (classification ระดับพอใช้ การประยุกต์ใช้คัดเลือกแบ่งกลุ่มได้) จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 17.40 mg/100 g ค่า Bias = 0.0304 mg/100 g และสมการประเมินปริมาณวิตามินซีในสับปะรด ตั้งแต่ 4.45– 69.62 mg/100 g มีค่าเฉลี่ย 28.19 mg/100 g

กรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity) จำนวนตัวอย่าง (n) = 110 ตัวอย่าง ค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.93, SEP = 0.03%, SEC = 0.03%, F = 9 ปัจจัย, SD = 0.10%, RPD = 3.00 (classification ระดับไม่ดี การประยุกต์ใช้คัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ), ค่า Bias = - 0.0012% (Table 1) และสมการประเมินปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในสับปะรด ตั้งแต่ 0.60–0.93% มีค่าเฉลี่ย 0.75%

ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) จำนวนตัวอย่าง (n) = 280 ตัวอย่าง ค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.94, SEP = 0.51 °Brix, SEC = 0.44 °Brix, F = 9 ปัจจัย, SD = 1.51 °Brix, RPD = 2.78 (classification ระดับไม่ดี การประยุกต์ใช้คัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ), Bias = - 0.0122 °Brix และสมการประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในสับปะรด ตั้งแต่ 13.71-20.26 °Brix มีค่าเฉลี่ย 15.90 °Brix (Table 1)

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำได้ในสับปะรด ด้วย NIR และค่าที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.96 0.91 และ 0.88 ตามลำดับ (Figure 1)

Table 1 Partial Least Squares Regression calibration result for predicting vitamin C, titratable acidity and total soluble solids values in pineapple cv. Phetchaburi 1 and MD2.

Chemical composition	Spectral type	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	n	RPD
vitamin C	Original	700-1100	7	0.97	3.35	3.74	17.07	0.0304	120	4.56
titratable acidity	Original	700-1100	9	0.93	0.03	0.03	0.09	- 0.0012	110	3.00
total soluble solids	Original	700-1100	9	0.94	0.44	0.51	1.42	- 0.0122	280	2.78

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, RPD The ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP

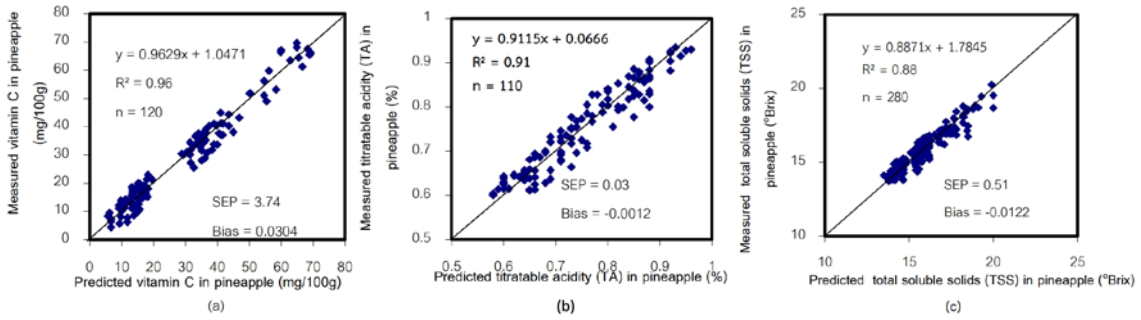

Figure 1 Scatter plots of validation set for predicting vitamin C (a), titratable acidity (b), and total soluble solids (c) in pineapple cv. Phetchaburi 1 and MD2.

วิจารณ์ผล

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่า R^2 ของสมการประเมินปริมาณวิตามินซีมีค่าสูง แต่ค่า RPD ไม่สูง แสดงถึงการต้องมีการพัฒนาการวิจัยต่อไป ควรเพิ่มตัวอย่างที่มีค่าปริมาณวิตามินซีช่วง 20-28 และ 45-50 mg/100 g เพื่อให้สมการมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น จากการผ่าตรวจสอบผลสับปะรดพบว่าประเมินปริมาณวิตามินซีที่มีค่าน้อยกว่า 20 mg/100 g ในสับปะรดบริโภคสดมีโอกาสพบอาการไส้สีน้ำตาล หากนำสมการมาประเมินอาจคัดเลือกตัวอย่างอย่างหยาบได้ จากการทดลองพบอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรด พันธุ์เพชรบุรี 1 ส่วนพันธุ์ MD2 เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณวิตามินซีสูง ไม่พบการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในการเก็บรักษาที่ 13±2 °C นาน 4 สัปดาห์ จริงแท้ และ อ้อมอรุณ (2548) ได้ทดลองอนุมูลเสรีและตัวต้านออกซิเดชันกับอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด พบว่าจากการทดลองเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ตที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พันธุ์ปัตตาเวียต้านทานต่ออาการไส้สีน้ำตาล ตรงข้ามกับพันธุ์ภูเก็ตที่อ่อนแอต่ออาการไส้สีน้ำตาล ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ภูเก็ตสูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณกรดแอสคอบิคและกิจกรรมของ catalase (CAT) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียค่อนข้างคงที่ แตกต่างจากพันธุ์ภูเก็ตที่ปริมาณกรดแอสคอบิคและกิจกรรมของ CAT ลดลงในขณะที่อาการไส้สีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น มยุรี และคณะ (2527) ศึกษาการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น เก็บเกี่ยวผลสับปะรดในระยะแก่เขียว (mature green) และระยะสุก (¼ ripe, เปลือกผลปรากฏสีเหลืองประมาณ 2 แถว ซึ่งเป็นระยะสุกแก่เพื่อการบริโภคสด) เก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 8 °C (ความชื้นสัมพัทธ์ 73%) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของทั้งสองระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เพิ่มขึ้นทั้งสองระยะเก็บเกี่ยว แต่มีแนวโน้มลดลงในระยะผลสุกภายหลังจากสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีกับการเกิดอาการฉ่ำน้ำของผลสับปะรดที่เก็บเกี่ยวในระยะผลแก่ ปริมาณวิตามินซีในผลสับปะรดอาจนำมาใช้คาดคะเนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้

สรุป

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณวิตามินซี ตั้งแต่ 4.45-69.62 mg/100 g ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ตั้งแต่ 0.60-0.93 % และประเมินของแข็งที่ละลายน้ำได้ ตั้งแต่ 13.71-20.26 °Brix อาการไส้สีน้ำตาล พบในสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี 1 เมื่อเก็บรักษาที่ 13±2 °C นาน 4 สัปดาห์ ส่วนพันธุ์ MD2 ไม่พบการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในการเก็บรักษาที่ 13±2 °C นาน 4 สัปดาห์

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช และอ้อมอรุณ นุกูลธรประกิต. 2548. อนุมูลเสรีและตัวต้านออกซิเดชันกับอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด. Postharvest Newsletter 4 (1): 1-3.

ณัชชา ชัยพันธ์วิริยาพร, ดนัย บุณยเกียรติ, พิเชษฐ์ น้อยมณี และปาริชาติ เทียนจุมพล. 2555. การตรวจสอบอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(3)(พิเศษ): 477-480.

มยุรี กระจายกลาง, พิมพ์วิภา กองพงษ์, ธวิช อินทรพันธุ์ และศลิษา พรมเสน. 2557. การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. วารสารแก่นเกษตร 42(3): 12-18.

สถาบันวิจัยพืชสวน. 2560. การจัดการการผลิตสับปะรดคุณภาพ. กรมวิชาการเกษตร, จตุจักร, กรุงเทพมหานคร.184 น.

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. pp. 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.

Murata, T. 1990. Relation of chilling stress to membrane permeability. pp. 238-272. *In* C.Y. Wanng. (ed.). Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

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.