

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย

-

โครงการวิจัย

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและประเมินคุณภาพมันสำปะหลัง

2. กิจกรรม

การประเมินคุณภาพและสารสำคัญในมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)

การประเมินปริมาณอมิโลสในมันสำปะหลังด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ)

Evaluation of Amylose in Cassava by Using Near Infrared Spectroscopy

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง

นายอนุวัฒน์ รัตนชัย

สังกัด กวป.

ผู้ร่วมงาน

นางสาวจารุวรรณ บางแวก

สังกัด กวป.

5. บทคัดย่อ

แป้งมันสำปะหลังถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายในอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ปริมาณอมิโลสนั้นใช้เวลานาน ใช้สารเคมี และตัวอย่างถูกทำลายไป วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy มาใช้ในการประเมินค่าอมิโลสของแป้งมันสำปะหลัง โดยรวบรวมตัวอย่างมันสำปะหลัง นำไปทำแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ช จำนวน 310 ตัวอย่าง สแกนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ได้สเปกตรัมของแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลัง นำตัวอย่างแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลัง ไปวิเคราะห์ค่าอมิโลสในห้องปฏิบัติการกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร กรมวิชาการเกษตร หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสงของแป้งมันสำปะหลังกับค่าอมิโลส หาสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression โดยใช้โปรแกรม the Unscrambler ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างข้อมูลค่าอมิโลสกับสร้างข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง กลุ่มที่ 2 คือ validation set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบสมการถดถอยเชิงเส้นในการทำนายค่าอมิโลสนำสมการที่ได้ไปทดสอบกับตัวอย่าง ระยะเวลาดำเนินการ ตุลาคม 2559-กันยายน 2560 จากการทดลองพบว่า สมการประเมินปริมาณอมิโลสของแป้ง มันสำปะหลัง สมการมีค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.94 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 0.90 ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction,

SEP) = 0.94% ต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) = 0.89% จากการทดลองจะเห็นได้ว่า สมการสำหรับการประเมินปริมาณอมิโลสนั้น สามารถนำไปประเมินปริมาณอมิโลสของแป้งมันสำปะหลังได้

คำหลัก: มันสำปะหลัง อมิโลส เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Abstract

Cassava flour and starch used in industrial sectors. Amylose analysis method takes long time, used chemicals, and destructed samples. The objective of this research was study on Near Infrared Spectroscopy (NIRS) technique. This technique use to predict for amylose values of cassava flours and starches. The 310 cassava samples were collected and processed cassava flours and starches. The samples scanned in the region 800-2500 nm. The spectrum of cassava flours and starches were shown. Amylose in cassava flours and starches were analyzed at Postharvest and Processing Research and Development Division, 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 amylose values. Data were divided 2 groups, group 1 is calibration set, and group 2 is validation set. This research was done in 2016-2017. The calibration for predicting amylose values of cassava flours and starches, multiple correlation coefficient (R) = 0.94, squared correlation coefficients (R^2) = 0.90, Standard Error of Prediction (SEP) = 0.94%, Standard Deviation (SD) = 0.89%. Therefore, the NIRs technique can predict amylose values in cassava flours and starches.

Keywords: cassava, amylose, Near Infrared Spectroscopy

6. คำนำ

อุตสาหกรรมแป้งมันเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้มันสำปะหลังมากที่สุด ประเทศไทยผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ประมาณ 3-3.5 ล้านตันต่อปี ซึ่งต้องใช้มันสำปะหลังประมาณ 12.6-14.7 ล้านตัน (อัตราการแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง 1 กก. ใช้หัวมันสดประมาณ 4.2 กก.) แป้งมันที่ผลิตได้สามารถนำไปผลิตเป็นแป้งมันดัดแปร (modified starch) เพื่อเพิ่มมูลค่าและประโยชน์ในการใช้งานต่อไป ประเทศไทยส่งออกแป้งมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จากแป้งมันประมาณ 3 ล้านตันต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นต่อไปในอนาคต และใช้ในประเทศประมาณ 1-1.5 ล้านตัน (ต้องใช้ปริมาณหัวมันสด 4.2-6.3 ล้านตัน) ทั้งที่บริโภคโดยตรงและใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมสารให้ความหวาน ผงชูรส อุตสาหกรรมอาหาร กระดาษและสิ่งทอ ไม้อัด และกาเป็นต้น (รัตนาและคณะ , 2556) การใช้ประโยชน์จากแป้งในอุตสาหกรรมต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอด อุตสาหกรรมหนึ่งในปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยอุตสาหกรรมหนึ่งที่กำลังพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ การคิดค้นใหม่ๆ ทำให้เกิดความต้องการแป้งชนิดใหม่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ ทำให้มีความต้องการ

แป้งที่มีขนาดเล็กและมีปริมาณอมิโลสสูง เกิดความพยายามที่จะเสาะแสวงหาแป้งชนิดใหม่ๆที่มีคุณสมบัตินั้นหรือมีการพยายามใช้เทคนิคต่างๆทางชีวเคมี พันธุวิศวกรรม ทำการตัดแปรแป้งหรือพืชอื่นๆทำให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการมากขึ้น สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทย อมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1, 4 (α -1, 4) แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอมิโลสสูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาเก มีปริมาณอมิโลสต่ำประมาณ 20% แป้งข้าวเหนียว (waxy starch) และแป้งข้าวโพดอะมิโลเมส (amylomaize) มีอมิโลสสูงมากถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลของอมิโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน ซึ่งอมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอมิโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีขนาดโมเลกุลของอมิโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมีขนาดโมเลกุลของอมิโลส ในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอมิโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชัน (retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติอมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก แป้งที่มีอมิโลสสูงจะมีกำลังการพองตัวต่ำกว่าแป้งที่มีอมิโลสต่ำ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของอมิโลสที่เป็นเส้นตรงจะทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลได้ดี และอมิโลสอาจจับตัวกับไขมันทำให้ขัดขวาง การพองตัวของเม็ดแป้งได้ แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีอมิโลสต่ำ จึงมีกำลังการพองตัวที่ดี (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2550) ความแข็งและนุ่มของแป้งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอมิโลสและอมิโลเพคตินในแป้ง ซึ่งแป้งที่มีความแข็งจะมีปริมาณอมิโลสสูงกว่าอมิโลเพคติน แป้งข้าวเจ้าจะมีปริมาณอมิโลสมากกว่าในแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอมิโลเพคตินสูงกว่า แป้งข้าวเหนียวจึงมีความเหนียวและความเหนียวมากกว่า ส่วนแป้งข้าวเจ้าจะมีความแข็งกระด้างและร่วนมากกว่า จะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า เช่น ขนมชั้น ขนมขี้หนู ขนมถ้วยฟู ขนมตาล เป็นต้น ซึ่งจะต่างจากแป้งข้าวเหนียว เช่น ขนมเหนียว ขนมเทียน เป็นต้น (จารุวรรณและคณะ, 2553) เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น นำไปหาค่า ปริมาณอมิโลสของข้าวขาวเต็มเมล็ด (Delwiche et al., 1996) ปริมาณอมิโลสของข้าวที่ปลูกในประเทศจีน Bao et al., 2001) ประเมินปริมาณอมิโลสในเมล็ดข้างเปลือก ข้าวกล้องข้าวสาร (จารุวรรณและคณะ, 2552) เป็นต้น ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยใช้หลักการการสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation) หรือ R ระหว่างค่าการดูดซับแสงเนียร์อินฟราเรดที่ส่องผ่านวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ และค่าที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้สมการที่มีค่าความสัมพันธ์สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) ต่ำ สามารถนำสมการที่ได้ใช้ทำนายค่าของตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และปลอดภัย ไม่ใช้สารเคมี

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. แปะฟลาวและสตาร์ชมันสำปะหลังพันธุ์และสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 310 ตัวอย่าง
2. เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer จากบริษัท FOSS รุ่น 6500 (NIRSystems 6500)
3. เครื่องบดตัวอย่าง
4. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)
5. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
6. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. รวบรวมตัวอย่างมันสำปะหลัง นำไปทำแปะฟลาวและแปะสตาร์ช มันสำปะหลังพันธุ์และสายพันธุ์ที่อายุเก็บเกี่ยว และพื้นที่ปลูกต่างๆ จำนวน 310 ตัวอย่าง บรรจุในเซลล์บรรจุตัวอย่างสำหรับ แปะ นำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystems 6500 ด้วยชุดอุปกรณ์ transportation module ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร (nm) โดยวัดการสะท้อนกลับของแสง (reflectance)

2. สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler[®] version 9.7 (CAMO, Oslo, Norway) ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างข้อมูล ค่าอมิโลสที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการใช้ วิธีการของ Juliano (1979) กับข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 nm กลุ่มที่ 2 คือ validation set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบสมการถดถอยเชิงเส้นในการทำนาย ค่าอมิโลส

3. ทดสอบสมการประเมินปริมาณอมิโลสของแปะมันสำปะหลัง

เวลาและสถานที่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ระยะดำเนินการ ตุลาคม 2559 - กันยายน 2560

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

รวบรวมตัวอย่างมันสำปะหลัง นำไปทำแปะฟลาวและแปะสตาร์ช รวมจำนวน 310 ตัวอย่าง นำไปวัดค่าการดูดซับแสงในย่าน Near Infrared ความยาวคลื่น 800-2500 nm ได้สเปกตรัมของแปะฟลาวและแปะสตาร์ชมันสำปะหลัง ค่าการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 910 990 1580 และ 2100 nm เป็น ค่าการดูดซับแสงของโมเลกุลแปะสตาร์ช (Williams and Norris 2001) (Figure 1)

สร้างสมการจากแปะฟลาวและแปะสตาร์ชมันสำปะหลัง จำนวน 310 ตัวอย่าง ด้วยวิธี PLS regression แบบ full cross validation โดยการใช้ spectra เริ่มต้น (original) กับค่าวิเคราะห์อมิโลส มีค่าสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.94 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย

Standard Error of Prediction (SEP) เท่ากับ 0.94% ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่ม Standard Error of Calibration (SEC) เท่ากับ 0.89% มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (F) 6 ปัจจัย ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 2.98% (Table 1)

สมการประเมินค่าวิเคราะห์ห่อมิโลสของแป้งมันสำปะหลัง ตั้งแต่ 26.16-37.67% และมีค่าเฉลี่ย 32.52% (Table 2) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของสมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) ของแป้งมันสำปะหลังในการประเมินค่าห่อมิโลส ตำแหน่งความยาวคลื่น ที่มีค่า regression coefficient ที่ 990 1432 1580 1908 2078 และ 2458 nm เป็นค่าของแป้งสตาร์ช (Figure2) การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าห่อมิโลส กับค่าวิเคราะห์ค่าห่อมิโลสของแป้งมันสำปะหลังที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.90 (Figure 3)

ขั้นตอนการทำ validation หลังจากได้สมการ calibration แล้ว ทำการทวนสอบว่าสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาทำนายข้อมูลชุดอื่นได้ ซึ่งการทดสอบสมการประเมินค่าห่อมิโลสของแป้งมันสำปะหลังโดยนำตัวอย่าง แป้งมันสำปะหลังจำนวน 10 ตัวอย่าง นำตัวอย่างไปสแกนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer และทำนาย (predicted) ค่าห่อมิโลสในแป้งพลาและสตาร์ชมันสำปะหลัง เปรียบเทียบกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความถูกต้องมากน้อยแค่ไหน (Standard Error of Prediction; SEP) ค่าเฉลี่ยของการทำนาย กับค่าเฉลี่ยของค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกันหรือไม่ (bias) ค่าสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบว่าสมการ calibration ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้งานได้คือ ค่า SEP และ bias ควรมีค่าน้อยๆ ถึงจะแสดงว่าสมการ calibration มีความเหมาะสมที่จะนำเครื่อง NIR มาใช้ในการทำนายคุณลักษณะที่ต้องการหา รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ควรมีค่าเข้าใกล้ 1

การคำนวณค่า SEP = 1.90% และค่า bias = -0.80% จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณห่อมิโลสที่ทำนายกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ไม่แตกต่างกันมาก ค่า bias มีค่าเป็นลบแสดงว่า ค่าที่ทำนายได้มีค่ามากกว่าค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Table 3) และนำสถิติ t-test ใช้ทดสอบความแตกต่างหรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการ 2 วิธี พบว่า สมการสำหรับการประเมินค่าห่อมิโลสของแป้งมันสำปะหลังกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ดังนั้นจึงสามารถนำสมการไปใช้ประเมินค่าห่อมิโลสแป้งมันสำปะหลังได้

Table 1 Partial Least Square Regression calibration result for predicting amylose value in cassava flours and starches.

Analysis	Math method	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	N
Amylose	Original	800-2500	6	0.94	0.89	0.94	2.98	- 0.004154	168

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 amylose values in cassava flours and starches.

Items	min-max	mean	unit
amylose	26.16-37.67	32.52	%

Table 3 Comparison of predicted and actual values when used NIR model to evaluate amylose values in cassava flours and starches.

Samples	Method to determine amylose		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	33.72	33.09	0.63	0.40
2	29.92	33.77	-3.84	14.78
3	32.58	34.06	-1.47	2.17
4	32.96	34.49	-1.52	2.32
5	31.52	34.25	-2.72	7.42
6	29.08	30.90	-1.82	3.31
7	30.58	30.92	-0.34	0.11
8	29.83	28.90	0.93	0.86
9	29.41	29.50	-0.09	0.01
10	28.41	26.17	2.24	5.03
Total	308.03	316.04	-8.01	36.41
Average	30.80	31.60	-0.80	3.64

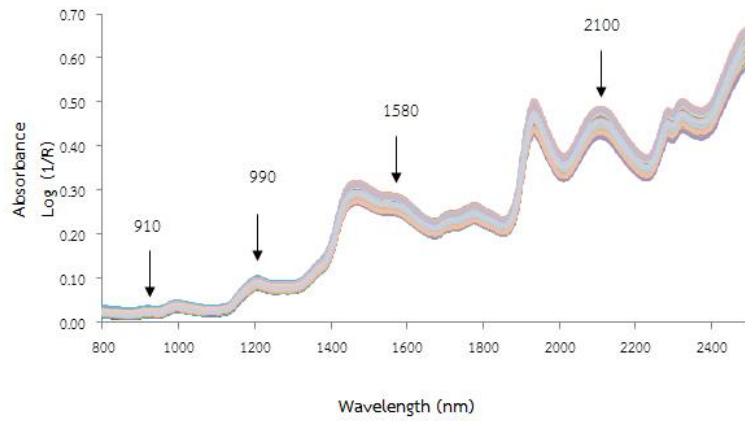


Figure 1 The original NIR spectra of cassava flours and starches of 800-2500 nm.

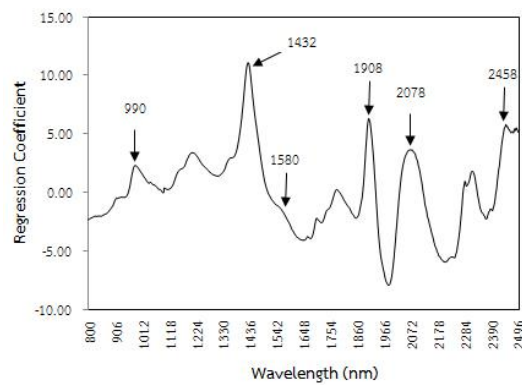


Figure 2 Regression coefficient plots to evaluate amylose value in cassava flours and starches.

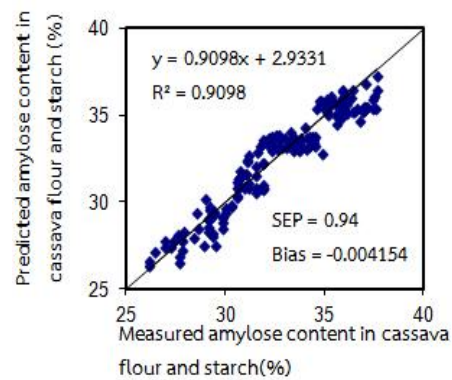


Figure 3 Scatter plots of actual amylose value in cassava flours and starches vs. NIR- predicted amylose value in validation set.

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีมาประยุกต์ใช้ในการประเมินค่าอมิโลสของแป้งมันสำปะหลังได้สมการสำหรับประเมินค่าอมิโลสของแป้งมันสำปะหลัง สามารถนำไปประเมินค่าอมิโลสของแป้งมันสำปะหลังทั้งชนิดฟลาวและสตาร์ชได้ ตั้งแต่ 26.16-37.67%

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

นักวิชาการ กลุ่มเกษตรกร และผู้ประกอบการ สามารถนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีไปประเมินปริมาณอมิโลสในแป้งมันสำปะหลัง เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีไม่ใช้สารเคมีในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ไม่ต้องทำลายตัวอย่างในการประเมิน และใช้ระยะเวลาสั้น

11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่ ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

12. เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. *เทคโนโลยีแป้ง*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 303 หน้า.
- จารุวรรณ บางแวก อรรวรรณ จิตต์ธรรม อรณิชา สุวรรณโณม และจารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ. 2552. การประเมินคุณภาพผลผลิตเกษตรโดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy. หน้า 256-272. ใน: *รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2552 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร*. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- จารุวรรณ บางแวก อรรวรรณ จิตต์ธรรม จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ และฐิติภัทร มีบุบผา . 2553. การประเมินคุณสมบัติของแป้งพืช. หน้า 520-534. ใน: *รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2553 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร*. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- รัตนา ตันตเทอดธรรม ปฐมา จาตกานนท์ และยุพา ปานแก้ว. 2556. *การวิเคราะห์ความต้องการของตลาดและการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังในประเทศจีน*. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 92 หน้า.
- Bao, J. S., Y. Z. Cai, and H. Corke. 2001. Prediction of rice starch quality parameters by near-infrared reflectance spectroscopy. *J. Food Sci.* 66 (7): 936-939.

- Delwiche, S. R., K. S. McKenzie, and B. D. Webb. 1996. Quality characteristics in rice by near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. *J. Cereal Chem.* 73 (2): 257-263.
- Juliano, B.O. 1979. The chemical basis of rice grain quality. Pages 69-92. *In: Proc. Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality.* Inst. Los Banos , Laguna. Philippines.
- Williams, P. and K. Norris. 2001. *Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries.* Inc.: St Paul, Minesota. 312 p.

13. ภาคผนวก

-