



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพ
การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
Nondestructive prediction of sweet corn qualities by near infrared
hyperspectral imaging

นายสนธิสุข ชีระชัยชยุติ

นายภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพ
การดูคลื่นพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
Nondestructive prediction of sweet corn qualities by near infrared
hyperspectral imaging

RCH
๘1921
2559

นายสนธิสุข ชีระชัยชยติ
นายภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 148557
ในเดือนปี 31 ต.ค. 2560

b. 12870456
i.

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง

ชื่อโครงการ Nondestructive prediction of sweet corn qualities by near infrared hyperspectral imaging

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน ตามมติคณะรัฐมนตรี

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 350,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี (1 ตุลาคม 2558 - 30 กันยายน 2559)

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยติ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายคุณภาพภายในของข้าวโพดหวานที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน คือ อายุหลังการเก็บเกี่ยวที่ 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 30 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง โดยข้าวโพดหวานที่นำมาใช้ในการทดลองจะปลูกอยู่ในไร่เดียวกัน และถูกขนส่งมายังห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบคุณภาพภายใน ซึ่งคุณภาพภายในที่ทำการตรวจสอบ คือ การตรวจสอบค่าเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ความชื้น และ ปริมาณแป้ง คุณภาพที่ทำการตรวจสอบนั้นมีผลต่อความต่อความสดของข้าวโพด การศึกษาครั้งนี้ทำการโดยใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดซึ่งเครื่องเเนียร์อินฟราเรดทั้งหมด 3 ชนิด คือ เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา ที่ความยาวคลื่น 588-1089 นาโนเมตร, เครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร และ เครื่อง NIR hyperspectral imaging ที่ความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตร การตรวจสอบจะทำการสแกนด้วยเครื่อง NIR ในข้าวโพดหวานที่ไม่ปอกเปลือก และข้าวโพดหวานที่ปอกเปลือก ซึ่งผลการทดลองพบว่า เทคนิค NIR สามารถตรวจสอบคุณภาพภายในของข้าวโพดหวานที่ผ่านการปอกเปลือกได้ดีกว่าข้าวโพดหวานที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก โดยผลจากการสร้างสมการในการทำนายโดยใช้เครื่อง FT-NIR ในโหมด reflectance ได้ความแม่นยำสูงสุดในการทำนายเนื้อสัมผัส, ของแข็งที่ละลายน้ำได้, ความชื้นและแป้ง ได้ค่า correlation coefficient เท่ากับ 0.85, 0.91, 0.65 และ 0.89 ตามลำดับ และได้ค่า root mean square error of prediction เท่ากับ 0.51 N, 0.88 oBrix, 0.64% และ 0.84% ตามลำดับ และผลจากการสร้างภาพในการทำนายโดยเทคนิค NIR hyperspectral imaging สามารถแสดงภาพสีที่แตกต่างกันเมื่อคุณภาพของแต่ละตัวอย่างที่แตกต่างกันได้

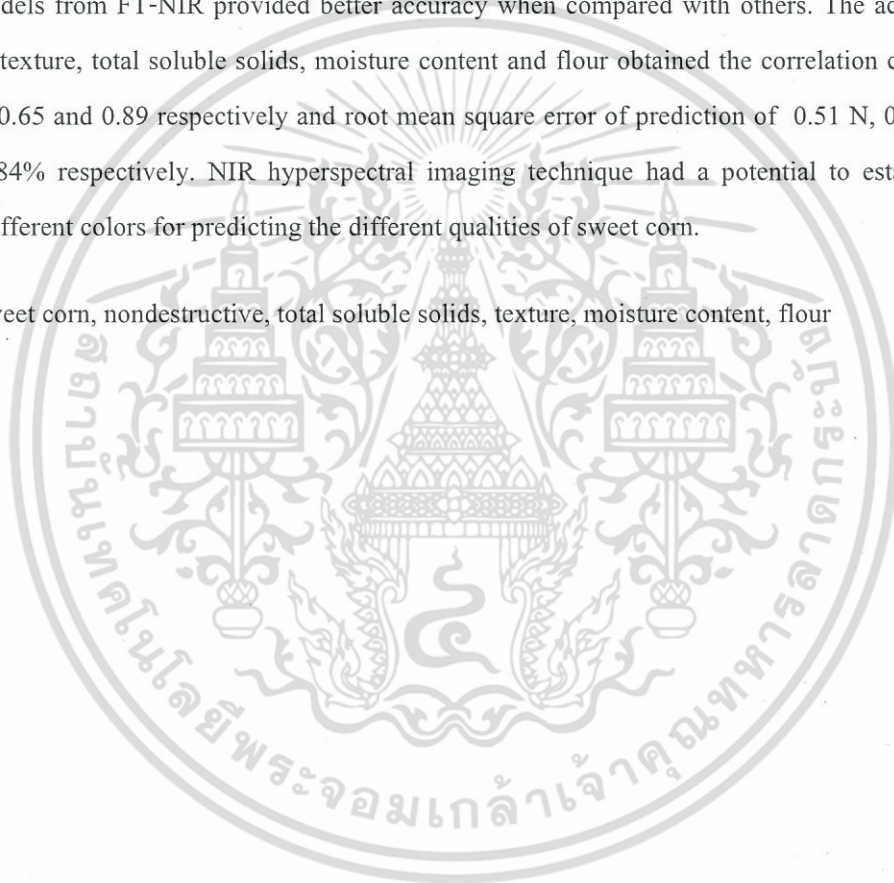
คำสำคัญ: ข้าวโพดหวาน, แบบไม่ทำลาย, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, เนื้อสัมผัส, ความชื้น, ปริมาณแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The objectives of this research was to predict the internal qualities of sweet corn after harvest at 6, 12, 18, 24, 30 and 36 hr. Samples were measured texture, total soluble solids, moisture content and flour which were related to the freshness of sweet corn. Near infrared spectroscopy in 3 different types such as NIR-GUN (588-1089 nm), FT-NIR spectrometer (1000-2500 nm) and NIR hyperspectral imaging (910-1700 nm) were used in this study. Samples with husk and without husk were scanned for comparison. The results showed that accuracy of prediction in sweet corn without husk obtained better results. The calibration models from FT-NIR provided better accuracy when compared with others. The accuracy of prediction for texture, total soluble solids, moisture content and flour obtained the correlation coefficient of 0.85, 0.91, 0.65 and 0.89 respectively and root mean square error of prediction of 0.51 N, 0.88 °Brix, 0.64% and 0.84% respectively. NIR hyperspectral imaging technique had a potential to establish the images with different colors for predicting the different qualities of sweet corn.

Keywords: sweet corn, nondestructive, total soluble solids, texture, moisture content, flour



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนงบประมาณประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในงานวิจัย คณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานวิจัยฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์กับผู้ที่เกี่ยวข้อง หากรายงานวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายสนธิสุข ชีระชัยชยุติ

นายภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	X
สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้าวโพดหวาน.....	4
2.2 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	10
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	17
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	17
3.2 วิธีการทดลอง.....	17
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	20
4.1 ผลการสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่องNIR-GUN ในโหมดInteractance.....	20
4.2 ผลการสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่องFT-NIR ในโหมด Reflectance.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลของการใช้เทคนิค NIR-GUN ในโหมด Interactance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบไม่ปกเปลือก.....	23
4.4 ผลของการใช้เทคนิค NIRs ด้วยเครื่อง NIR-GUN ในโหมด Interactance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบปกเปลือก.....	34
4.5 ผลของการใช้เทคนิค NIRs เครื่อง FT-NIR ในโหมด Reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบไม่ปกเปลือก.....	43
4.6 ผลของการใช้เทคนิค NIRs เครื่อง FT-NIR ในโหมด Reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบปกเปลือก.....	53
4.7 ผลของการใช้เทคนิค NIR hyperspectral imaging ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบปกเปลือกและไม่ปกเปลือก.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	72
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระยะเวลาเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวโพดในแต่ละชั้น.....	8
2.2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด.....	11
4.1 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด.....	23
4.2 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายค่าเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูล.....	24
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด.....	25
4.4 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพด.....	26
4.5 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	27
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้.....	28
4.7 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณความชื้นของข้าวโพด.....	29
4.8 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูล สเปกตรัมทางคณิตศาสตร์.....	30
4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้นของข้าวโพด.....	31
4.10 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	32
4.11 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูล สเปกตรัมทางคณิตศาสตร์.....	33
4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณแป้งข้าวโพด.....	33

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด.....	34
4.14 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	35
4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความแข็ง ของเมล็ดข้าวโพด.....	36
4.16 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพด.....	36
4.17 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพด ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	37
4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ใน ข้าวโพด.....	38
4.19 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด.....	39
4.20 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่ง ข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	40
4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด.....	40
4.22 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	41
4.23 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่ง ข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	42
4.24 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	42
4.25 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของข้าวโพด.....	43
4.26 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งด้วยวิธีปรับแต่ง ข้อมูลสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.27 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณค่าความแข็งของ เมล็ดข้าวโพด.....	45
4.28 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพด.....	46
4.29 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์.....	47
4.30 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ในข้าวโพด.....	47
4.31 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด.....	48
4.32 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพดด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	49
4.33 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด.....	49
4.34 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	51
4.35 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม ด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	51
4.36 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณแป้ง.....	52
4.37 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพด.....	53
4.38 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็ง ของเมล็ดข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	54
4.39 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าเนื้อสัมผัสในด้าน ความแข็งของเมล็ดข้าวโพด.....	54
4.40 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ในข้าวโพด.....	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.41 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	56
4.42 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้....	57
4.43 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด.....	58
4.44 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูล สเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	58
4.45 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้น.....	59
4.46 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	60
4.47 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูล สเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	61
4.48 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	61
4.49 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายคุณภาพในข้าวโพด.....	63
4.50 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง.....	65
4.51 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายคุณภาพในข้าวโพด.....	66
4.52 แสดงภาพทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและ ข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก.....	69
4.53 แสดงภาพทำนายปริมาณค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพดที่ไม่ผ่าน การปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก.....	70
4.54 แสดงภาพทำนายปริมาณแป้งของข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ ผ่านการปอกเปลือก.....	71

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงเมล็ดข้าวโพดในระยการเจริญเติบโตในแต่ละชั้น.....	8
2.2 ลักษณะการเรียงของเมล็ดข้าวโพด.....	9
2.3 การส่องผ่าน (transmission).....	11
2.4 การสะท้อน (reflection).....	12
2.5 การส่องผ่านและสะท้อน (transflection).....	12
2.6 การส่องแบบ interaction.....	12
2.7 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัม NIR.....	13
4.1 สเปกตรัมเฉลี่ยแบบ second derivative ที่ได้จากการสแกนข้าวโพดแบบไม่ปกเปิดอก ด้วยเครื่อง NIR Gun โหมด Interactance.....	20
4.2 สเปกตรัมเฉลี่ยแบบ second derivative ที่ได้จากการสแกนข้าวโพดแบบปกเปิดอกด้วยเครื่อง FT-NIR โหมด Reflectance.....	22
4.3 แสดงผลการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านของค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด.....	25
4.4 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพด.....	28
4.5 แสดงผลการทำนายความชื้นของข้าวโพด.....	31
4.6 แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	34
4.7 แสดงผลการทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด.....	36
4.8 แสดงผลการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ข้าวโพด.....	38
4.9 แสดงผลการทำนายค่าปริมาณความชื้นข้าวโพด.....	40
4.10 แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	42
4.11 แสดงผลการทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด.....	45
4.12 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพด.....	48
4.13 แสดงผลการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด.....	50
4.14 แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งข้าวโพด.....	52
4.15 แสดงผลการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพด.....	55
4.16 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ในข้าวโพด.....	57

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.17 แสดงผลการทำนายปริมาณความชื้น.....	59
4.18 แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด.....	62
4.19 พล็อตระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายคุณภาพข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือก.....	67
4.20 พล็อตระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายคุณภาพข้าวโพดที่ยังผ่านการปอกเปลือก.....	68



สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
NIRS	near infrared spectroscopy
PLSR	partial least square regression
R	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)
N	number of sample
RMSEC	root mean square error of calibration
RMSECV	root mean square error of cross validation
Smoothing	Savitzky-Golay smoothing
1 st derivative	Savitzky-Golay first derivative
2 nd derivative	Savitzky-Golay second derivative
MSC	multiplicative scatter correction pretreatment
SNV	standard normal variate transformation

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ข้าวโพดหวาน (sweet corn) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ทำให้ปลูกได้ถึง 3 รุ่นตลอดทั้งปี จึงจัดได้ว่าการปลูกข้าวโพดหวานสามารถให้ผลตอบแทนแก่เกษตรกรผู้ปลูกค่อนข้างสูง และนอกจากนี้ยังปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศ โดยในประเทศไทยนั้น ได้มีการปลูกข้าวโพดเพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศในแต่ละปีค่อนข้างสูงมาก โดยระยะเวลา 6 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2254, พ.ศ.2555, พ.ศ.2556, พ.ศ.2557, พ.ศ. 2558, พ.ศ.2559 และ พ.ศ. 2560 (เดือนมกราคม – เดือนกุมภาพันธ์) มูลค่าการส่งออกคิดเป็น 4262.61 ล้านบาท, 1,115.31ล้านบาท, 5,067.69ล้านบาท, 6410.44 ล้านบาท, 1472.13 ล้านบาท, 5361.40 ล้านบาท และ 938.71 ล้านบาท (สำนักงานมาตรฐานสินค้าส่งออก กรมการค้าต่างประเทศ, 2560) จะเห็นได้ว่า ในแต่ละปีข้าวโพดหวานทำรายได้ให้แก่ประเทศไทยหลาย พันล้านบาท จึงกล่าวได้ว่าข้าวโพดหวานเป็นพืชอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งการปลูกข้าวโพดหวานนี้ มีทั้งการปลูกเพื่อจำหน่ายฝักสดและปลูกเพื่อส่งโรงงานเพื่อนำไปแปรรูป เช่น ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง, ทำน้ำนมข้าวโพด, แปรรูปทำครีมข้าวโพดหวาน และข้าวโพดหวานแช่แข็ง เป็นต้น ในประเทศไทยมีศักยภาพในการปลูกข้าวโพดหวานเพื่อจำหน่ายเป็นฝักสดและเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารในปริมาณสูง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างความเชื่อมั่นมาตรฐานข้าวโพดหวานให้มีความน่าเชื่อถือโดยคุณภาพที่บ่งบอกถึงมาตรฐานของข้าวโพด คือ ความหวานและปริมาณแป้ง โดยเฉพาะในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ข้าวโพดหวานมีคุณภาพภาพดีหรือคุณภาพเลว ซึ่งควรจะเลือกเก็บเกี่ยวในระยะที่มีน้ำตาลสูงสุด หรือที่เรียกว่า ระยะน้ำนม (Decoteau, 2000) ถ้าเก็บเกี่ยวข้าวโพดก่อนหรือหลังช่วงเหมาะสมเพียง 1-2 วัน จะทำให้คุณภาพของฝักข้าวโพดไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดและโรงงานอุตสาหกรรมต้องการและถ้าเก็บเกี่ยวแล้วไม่รีบนำส่งโรงงานหรือไปจำหน่ายโดยเร็ว จะทำให้เกิดการสูญเสียและความหวาน ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพเมล็ดหลังจากการเก็บเกี่ยวควรจัดการขนส่งให้ถึงปลายทางภายใน 24 ชั่วโมง (โครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ด้านเกษตร เฉลิมพระเกียรติ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว คู่มือนักส่งเสริมวิชาการเกษตร ข้าวโพด, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการตรวจสอบความหวานและปริมาณแป้งนั้น สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีดั้งเดิม (วิธีทางเคมีในห้องปฏิบัติการ) ซึ่งใช้เวลานาน ส่งผลให้ลูกค้าไม่สามารถตัดสินใจเลือกซื้อข้าวโพดได้ทันทีว่าฝักไหนมีความหวานอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และการตรวจสอบแบบวิธีดั้งเดิมนั้น ยังเป็นการทำลายตัวอย่าง มีการใช้สารเคมี ซึ่งการของเสียจากการใช้สารเคมี จะส่งผลต่อธรรมชาติ ดังนั้นเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy หรือ NIRS) ซึ่งเป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายจึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ ที่นำมาตรวจสอบคุณภาพข้าวโพด เทคนิคนี้ช่วยสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้าว่าสินค้าที่ซื้อเป็นข้าวโพดที่มีคุณภาพดี มีความหวานสูง ปริมาณแป้งน้อย และยังเป็นการเสริมสร้างความเชื่อมั่นคุณภาพของข้าวโพดให้เป็นที่ยอมรับ อีกทั้งประเทศไทยกำลังปรับตัวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ที่จะต้องพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรให้ก้าวทันต่อการเปลี่ยนแปลงในยุคประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพและป้องกันการส่งออกข้าวโพดหวานที่ไม่ได้มาตรฐานไปยังต่างประเทศ โดยเทคนิค NIRS ใช้หลักการให้แสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุแล้วสารเกิดการดูดกลืนแสงในช่วง near infrared ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไปซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน โดยที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ไม่ต้องใช้สารเคมีในการวิเคราะห์ ทำให้ปลอดภัยต่อผู้วิเคราะห์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งก่อให้เกิดกระบวนการตรวจสอบคุณภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) ความแน่นเนื้อ และปริมาณแป้ง (starch) ในข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 ตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว

1.2.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูงของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 ตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว

1.2.3 เพื่อให้ได้สมการที่ใช้ในการทำนายแบบไม่ทำลายสำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความแน่นเนื้อและปริมาณแป้งของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 และเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำนายโดยใช้เครื่อง near infrared spectroscopy 3 ชนิด คือ hyperspectral imaging, FQA-NIRGUN และ FT-NIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะศึกษาคุณภาพของข้าวโพดหวานตามระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว และจะทำการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความแน่นเนื้อและปริมาณแป้งของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 แบบไม่ทำลาย โดยใช้เครื่อง near infrared spectroscopy 3 ชนิด คือ hyperspectral imaging, FQA-NIRGUN และ FT-NIR

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแป้ง ปริมาณความชื้นและเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งในข้าวโพด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หั่นเชิงปริมาณ และช่วยคัดแยกกลุ่มเมล็ดข้าวโพดที่ได้มาตรฐาน มีปริมาณความหวานสูง ปริมาณแป้งน้อย ออกจากกลุ่มเมล็ดข้าวโพดที่ไม่ได้มาตรฐาน พร้อมทั้งยังเป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้า เพิ่มศักยภาพของประเทศไทยในการส่งออกข้าวโพดไปยังต่างประเทศ

ผลจากงานวิจัยจะได้ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับคัดแยกคุณภาพของข้าวโพดหวาน และ/หรือ ตีพิมพ์เป็นบทความวิจัยระดับนานาชาติฐาน ISI และ/หรือ สามารถใช้เป็นหัวข้อวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาเอก)

หน่วยงานภาครัฐหรือเอกชนสามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมือคัดแยกสำหรับคัดแยกคุณภาพของข้าวโพดหวาน อันจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร ผู้ประกอบการธุรกิจส่งออก และ อุตสาหกรรมการผลิต ตลอดจนผู้บริโภค เนื่องจากจะสามารถทำให้ผู้บริโภค มีความเชื่อมั่นในคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น จะช่วยทำให้มีความต้องการบริโภคมากขึ้น และจะส่งผลให้มีมูลค่าการค้าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพข้าวโพดหวานในประเทศไทย กล่าวได้ว่า ผลการวิจัย จะสามารถแก้ปัญหาให้แก่ธุรกิจการค้าและภาคอุตสาหกรรมการผลิตข้าวโพดหวานของประเทศไทย จะสามารถถ่ายทอดความรู้ในการผลิตเครื่องแยกคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายสู่ภาคธุรกิจเชิงพาณิชย์ อันจะเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยพัฒนาต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวโพดหวาน

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปของข้าวโพด

ข้าวโพดหวาน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Zea mays* L. จัดอยู่ในวงศ์ Gramineae และอยู่ในสกุล *zea* โดยข้าวโพดจัดเป็นอาหารประเภทธัญพืช (cereal crops) ในประเทศไทยสามารถเพาะปลูกข้าวโพดได้ทุกภาคของประเทศไทย จังหวัดที่เป็นแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญได้แก่ ภาคเหนือ, จะมีแหล่งปลูกส่วนใหญ่ในจังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะปลูกได้ที่จังหวัดหนองคาย นครพนม ภาคกลางจะปลูกได้ที่จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี ส่วนภาคใต้ จะปลูกได้ที่จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช โดยเกษตรกรจะปลูกข้าวโพดหวานในฤดูฝน ประมาณเดือน พฤษภาคม เก็บเกี่ยวเดือนกรกฎาคม และปลูกในเดือนสิงหาคม เก็บเกี่ยวเดือนตุลาคม สำหรับฤดูแล้งส่วนใหญ่จะปลูกในเดือนตุลาคม – พฤศจิกายน และเก็บเกี่ยวเดือน กุมภาพันธ์ – มีนาคม ของทุกปี (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

2.2.2 การจำแนกข้าวโพด

ข้าวโพดในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ มีเมล็ดตั้งแต่สีขาว สีเหลือง ไปจนถึงสีแดง และขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5-0.8 ซม. ข้าวโพดสามารถจำแนกได้ (โครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ด้านเกษตร เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ภูมิพลอดุลยเดช รัชกาลที่ 9) ดังนี้

2.2.2.1 จำแนกตามลักษณะของเมล็ด

2.2.2.1.1 Pod corn (ข้าวโพดป้า) เป็นข้าวโพดชนิดเก่าแก่พบว่ามีการปลูกในแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้ ซึ่งเป็นถิ่นกำเนิดของข้าวโพด เมล็ด pod corn ทุกเมล็ดบนฝักจะมีเปลือกที่หุ้มเมล็ดอย่างมิดชิดเหมือนกับเมล็ดหญ้าและยังมีกาบหุ้มฝัก (husk) หุ้มอีกชั้นหนึ่ง เมล็ดภายในเปลือกมีสีต่างๆ หรือกลายเป็น pod corn ถูกควบคุมโดย gene “Tu” จัดอยู่ใน sib species tunicate

2.2.2.1.2 Pop corn (ข้าวโพดคั่ว) เป็นข้าวโพดที่มีแป้งอัดแข็งกันอย่างแน่นมาก มีแป้งอ่อนอยู่น้อย pop corn มักจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดหนา มีรูปร่างลักษณะของเมล็ดอยู่ 2 พาก (เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ rice pop corn เมล็ดมีรูปร่างเรียวยาวแหลมคล้ายเมล็ดข้าว pearl pop corn เมล็ดมีลักษณะกลมเมื่อเมล็ดได้รับความร้อนจะมีการสร้างความดัน (pressure) ขึ้นภายในเมล็ด และระเบิดออกมีปริมาณเพิ่มขึ้น 25-30 เท่า ข้าวโพดข้าวจัดอยู่ใน sub species everta

2.2.2.1.3 Flint corn (ข้าวโพดหัวแข็ง) เป็นข้าวโพดที่มีลักษณะหัวแข็ง กล่าวคือ ด้านบนของเมล็ดมีแข็งเป็นองค์ประกอบทำให้หัว (crown) ของเมล็ดมีลักษณะเรียบ ส่วนแข็งอ่อนจะอยู่ภายในตรงกลางหรือไม่มีเลย เมื่อเมล็ดแข็งตัวจะไม่มีรอยบุบจึงเรียกว่าข้าวโพดหัวแข็ง flint corn ถูกควบคุมโดย gene “FI” จัดอยู่ใน subspecies indurate มีสีต่างๆ ได้แก่ เหลือง เหลืองส้ม ขาว และดำ เป็นต้น

2.2.2.1.4 Dent corn (ข้าวโพดหัวบุบ) เป็นข้าวโพดที่มีส่วนของแข็งอ่อนอยู่ด้านบนของเมล็ด ส่วนแข็งจะอยู่ด้านล่างและด้านข้าง เมื่อข้าวโพดแก่จะมีการสูญเสียความชื้นของเมล็ด ทำให้แข็งอ่อนหดตัว ด้านบนของเมล็ดจึงเป็นรอยบุบ ข้าวโพดชนิดนี้จึงถูกเรียกว่าข้าวโพดหัวบุบ มีหลายสีเช่นเดียวกับข้าวโพดหัวแข็ง dent corn จัดอยู่ใน subspecies indentata

2.2.2.1.5 Flour corn (ข้าวโพดแป้งอ่อน) เป็นข้าวโพดที่เมล็ดมีแป้งอ่อนเป็นองค์ประกอบเกือบทั้งหมด ส่วนแข็งเป็นชั้นบางๆ ข้างในเมล็ด เมื่อข้าวโพดแก่ การหดตัวของแป้งในเมล็ดจะเท่าๆ กันโดยรอบ จึงคงรูปร่างเหมือนข้าวโพดหัวแข็งแต่มีลักษณะทึบแสง (opaque) flour ถูกควบคุมโดย recessive gene “fl” จัดอยู่ใน subspecies amylacea

2.2.2.1.6 Sweet corn (ข้าวโพดหวาน) เป็นข้าวโพดที่ส่วนน้ำตาลในเมล็ดเปลี่ยนเป็นแป้งไม่สมบูรณ์ ทำให้เมล็ดก่อนสุกแก่มีความหวานกว่าข้าวโพดชนิดอื่น และเมื่อแก่จะมีลักษณะเหนียว sweet corn ถูกควบคุมโดยคู่ของ recessive gene ที่แตกต่างกันหลายกลุ่ม ได้แก่ sugary “su” ข้าวโพดชนิดนี้เมล็ดจะใส ส่วนข้าวโพดหวานที่ควบคุมโดย gene shrunken 2 “sh2” และ brittle gene “bt” เมล็ดจะมีลักษณะขุ่น sweet corn จัดอยู่ใน subspecies saccharate

2.2.2.1.7 Waxy corn (ข้าวโพดเทียนและข้าวโพดข้าวเหนียว) เป็นข้าวโพดที่แป้งภายในเมล็ดเป็นชนิดแป้งอ่อนแต่มีความเหนียว เนื่องจากมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น amylopectin ที่โมลกุลจับกันเป็นแบบ branch chain โดยมีสัดส่วนของแป้งชนิด amylopectin ต่อ amylase ประมาณร้อยละ 73:27 waxy corn ถูกควบคุมโดย gene “wx” จัดอยู่ใน subspecies certain

2.2.2.2 จำแนกตามองค์ประกอบหน่วยพันธุกรรม (gene) ที่ควบคุม

2.2.2.2.1 กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนซูการ์รี่ (sugary, su/su) ข้าวโพดหวานกลุ่มนี้

มีปลูกในประเทศไทยมานาน มีความหวานเล็กน้อย มีน้ำตาลซูโครส (sucrose) ประมาณ 10.2 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จะมีชูโครสประมาณ 3.5 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน มีเปลือกหุ้มเมล็ดค่อนข้างเหนียว เวลารับประทานมักติดฟัน เมล็ดแก่จะเหี่ยวเนื่องจากมีแป้งในเมล็ดเพียง 28 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เมล็ดเกิดการยุบตัวมากขึ้น พันธุ์ข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ พันธุ์เหี่ยว

2.2.2.2.2 กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนขรุ้งเค้น (shrunken, sh/sh หรือ sh2/sh2)

ข้าวโพดหวานกลุ่มนี้มีความหวานสูงกว่าในกลุ่มแรก มีชูโครสประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อต้มและทิ้งไว้จนเย็นจะเหี่ยวเร็วกว่ากลุ่มแรก เมล็ดมีสีเหลืองส้ม เปลือกหุ้มเมล็ดเหนียวน้อยกว่ากลุ่มแรก เวลารับประทานมักไม่ค่อยติดฟันหรือมีติดอยู่บนซังเพียงเล็กน้อย เมล็ดแก่จะยุบตัวมากกว่าเพราะมีแป้งเพียง 18 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มนี้ เช่น พันธุ์อินทรี 2 ชูการ์ 73 ไฮบริกซ์ 5 และไฮบริกซ์ 10 เป็นต้น

2.2.2.2.3 กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนบริทิเทิล (brittle bt/bt หรือ bt2/bt2)

ข้าวโพดหวานในกลุ่มนี้จะมีความหวานใกล้เคียงกับกลุ่มที่สอง เมล็ดมีสีเหลืองนวล เปลือกหุ้มเมล็ดบาง เวลารับประทานกั้หลุดจากซังได้ง่าย ไม่ติดฟันและมีความหวานกรอบมากกว่ากลุ่มอื่นๆ พันธุ์ที่มียีนบริทิเทิลควบคุมความหวาน เช่น พันธุ์เอทีเอส-2 และชูการ์ 74

2.2.2.2.4 ในประเทศไทยข้าวโพดข้าวเหนียวหวานพันธุ์ขอนแก่นอาจอยู่ใน

ประเภทนี้ได้ โดยมียีน sh2 เป็นพื้นฐานและมียีน su หรือ wx เป็นตัวเสริม ได้มีผู้นำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานประเภทนี้เข้ามาปลูกเหมือนกัน สังเกตง่ายก็คือ ผักข้าวโพดอาจจะมีเมล็ด 2 สี คือ สีเหลืองและสีขาว โดยจะมีอัตราส่วน 75:25 ซึ่งนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานหรือวงการค้าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานจะเรียกว่า bi-color แต่ถ้าจะพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าข้าวโพดหวานนั้นเกิดจากยีนเสริมหรือไม่จะต้องนำผักข้าวโพดหวานที่สงสัยนั้นมาตากให้แห้ง แล้วดูว่าเมล็ดที่แห้งแล้วเหมือนกันทั้งผักหรือไม่ ถ้าเมล็ดที่แห้งแล้วเหมือนกันทั้งผักแสดงว่าเป็นข้าวโพดหวานชนิดยีนเดียว แต่ถ้าเมล็ดที่แห้งแล้วมีเมล็ดสีปนมากๆ คล้ายข้าวโพดหวานพิเศษอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดสีนี้เป็น double recessive ที่เหลืออีก 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเมล็ดข้าวโพดหวานธรรมดา แสดงว่าข้าวโพดหวานฝักนั้นเป็นข้าวโพดหวานที่เกิดจากยีนเสริม

2.2.2.2.5 กลุ่มที่เกิดจากยีนร่วม เนื่องจากข้าวโพดหวานธรรมดามีความ

ร้อนน้อยและมีปัญหาอัตราความงอกต่ำในข้าวโพดหวานพิเศษ นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานจึงได้พยายามนำยีนต่างๆ มาอยู่ร่วมกันในสภาพ homozygous recessive ที่ทุกๆ ตำแหน่ง (locus) เพื่อให้ได้ข้าวโพดหวานที่มีคุณภาพดีขึ้น คือ มีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นและแก้ปัญหาในเรื่องอัตราการงอกต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวโพดหวานที่นิยมปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นพันธุ์ที่ควบคุมความหวานด้วยยีน 2 ชนิด คือ ยีนซรั้งเค่นและยีนบริทเทิล ซึ่งพันธุ์ทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว มีอัตราส่วนทางการตลาดใกล้เคียงกัน

2.2.3 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวโพด (ไปสว, 2534)

2.2.3.1 เยื่อชั้นนอก(pericarp) เป็นเยื่อบางๆ หุ้มภายนอกเมล็ด ไม่มีชีวิต ไม่มีสี ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 5.3 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวโพด

2.2.3.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (testa) หรือ true seed coat เป็นชั้นที่อยู่ใต้ pericarp โดย testa และ pericarp รวมกันเรียกว่า hull มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เยื่อหุ้มเมล็ดมีอัตราส่วนในเมล็ดข้าวโพดประมาณ 5.1-6 เปอร์เซ็นต์

2.2.3.3 เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) เป็นเยื่อบางๆ ที่อยู่ใต้เยื่อหุ้มเมล็ด ลูหุ้มส่วนของเอนโดสเปิร์มทั้งหมด ไม่มีสี ยากแก่การแยกออกจากเยื่อหุ้มเมล็ดหรือเยื่อชั้นนอก และยังเป็นที่ตั้งเอนไซม์ที่สำคัญในการย่อยอาหารในเอนโดสเปิร์ม โดยเยื่อหุ้มเมล็ดมีอัตราส่วนในเมล็ดข้าวโพดประมาณ 2.2-3.3 เปอร์เซ็นต์

2.2.3.4 เอนโดสเปิร์ม (endosperm) เป็นส่วนที่เก็บสะสมอาหารของเมล็ด ส่วนใหญ่เป็นพวกแป้งซึ่งมีอยู่ประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวโพด มีสีต่างๆ เช่น สีเหลือง สีขาว แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ แป้งอ่อน (soft starch) เป็นแป้งที่อยู่รวมกันอย่างเป็นหลวมๆ พบมากในส่วนบนหรือส่วนกลางของเมล็ดมีสีขาวขุ่น และแป้งแข็ง (hard starch) เป็นแป้งที่อยู่รวมกันแน่น พบด้านข้างและด้านบนของเมล็ด มีลักษณะค่อนข้างใส

2.2.3.5 คัพพะ (embryo) มีลักษณะเป็นมัน (oil portion) อยู่ก่อนไปทางด้านล่างของเมล็ด ฝังตัวอยู่ทางด้านหนึ่งของเอนโดสเปิร์ม ประกอบด้วยแกนกลาง (centrl axis) ปลายข้างหนึ่ง คือ รากอ่อน (radical) ซึ่งมีเยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhizae) หุ้มไปอยู่ทางด้าน predicele อีกด้านหนึ่งเป็นส่วนของ stem tip ซึ่งมีใบอ่อน (embryonic leave) ประมาณ 5 ใบ ม้วนต่อกันเป็นกรวย และมีเยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptiles) หุ้มด้านข้างของแกนกลางติดกับเอนโดสเปิร์ม scutellum (cotyledon) มีอัตราส่วนประมาณ 10-13 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด และคัพพะมีอัตราส่วนประมาณ 1.1-2.0 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด

2.2.4 ระยะเวลาเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน

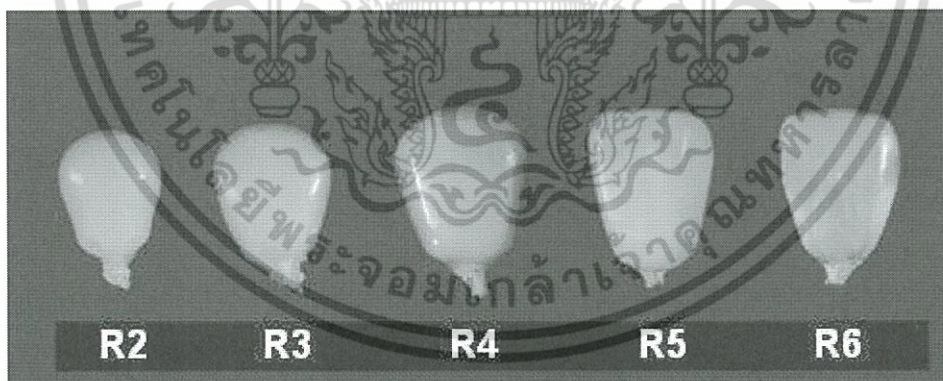
ข้าวโพดหวานจะมีคุณภาพดีและหวาน ไม่ว่าจะปลูกเป็นส่งโรงงานหรือจำหน่ายฝักสด ควรเลือกเก็บเกี่ยวในระยะที่มีน้ำตาลสูงสุด และคุณภาพดีที่สุด หรือระยะที่เรียกว่า ระยะน้ำนม (milk stage) หรือระยะ 16-20 วัน หลังออกไหม 50% ที่ระยะน้ำนม เมล็ดข้าวโพดหวานจะบวมโต มีรสหวาน เอกลักษณ์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวภายในเมล็ดมีลักษณะคล้ายน้ำนม เมล็ดอ่อนนุ่มและมีขนาดใหญ่ ถ้าหากทำการเก็บเกี่ยวก่อนระยะนี้ จะส่งผลให้น้ำหนักน้อย ขนาดฝักเล็ก เมล็ดไม่เต็มฝักและขาดความหวาน แต่ถ้าเก็บเกี่ยวที่ระยะสุกแก่เกินไป ถึงแม้ว่าจะทำให้น้ำหนักของฝักเพิ่ม แต่น้ำตาลภายในเมล็ดจะเปลี่ยนไปเป็นแป้งมากขึ้น ส่งผลให้ความอ่อนนุ่มและความหวานของเมล็ดลดลง (Decoteau, 2000) ซึ่งระยะการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวโพดจะแสดงได้ดังตารางและภาพที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงระยะการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวโพดในแต่ละขั้น

ระยะการเจริญเติบโต	รายละเอียด
R1 (silking)	ปรากฏไหมโผล่พ้นกาบหุ้มฝัก
R2 (blister)	เมล็ดบนฝักเริ่มมีของเหลวภายใน ใสใช้เวลา 10-14 วันหลังวันออกไหม
R3 (milk)	เมล็ดบนฝักปรากฏสีเหลือง, ภายในเมล็ดเป็นน้ำนมสีขาวใช้เวลา 18-22 วันหลังวันออกไหม
R4 (dough)	เมล็ดเริ่มเป็นแป้งใช้เวลา 24-28 วันหลังวันออกไหม
R5 (dent)	แป้งภายในเมล็ดหดตัวใช้เวลา 35-42 วันหลังวันออกไหม
R6 (maturity)	เมล็ดเกิดขึ้นเนื้อเยื่อสีดำ ที่ส่วน โคนของเมล็ดเมล็ดหยุดการเจริญเติบโต ใช้เวลาตั้งแต่ 45 วัน หลังวันออกไหม

ที่มา : คัดแปลงจาก (IBSNAT, 1988)



ภาพที่ 2.1แสดงเมล็ดข้าวโพดในระยะการเจริญเติบโตในแต่ละขั้น

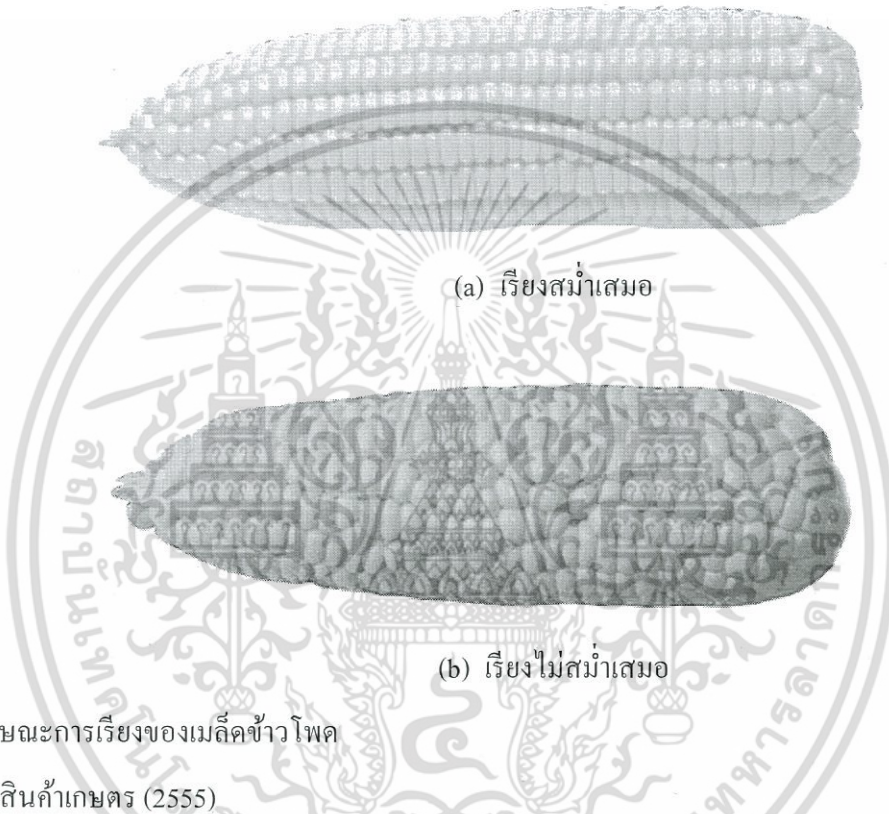
ที่มา:IBSNAT (1988)

2.2.5 คุณภาพของข้าวโพดหวาน

องค์ประกอบที่บ่งบอกถึงคุณภาพของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ความหวาน (sweetness) ความอ่อนนุ่ม (tenderness) เนื้อสัมผัส (texture) และปริมาณแป้ง (starch) ที่มีอยู่ในปริมาณ

ต่ำ (Swiader et al., 1992) การบริโภคข้าวโพดหวานนั้น สามารถกระทำได้ 2 ทาง คือ การบริโภคฝักสด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นไปไซประโยชน์ขนดานการค้ำ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการนำไปแปรรูป ซึ่งความต้องการลักษณะและคุณภาพก็จะแตกต่างกัน ในการบริโภคฝักสด สิ่งที่ดึงดูดใจผู้บริโภคอันดับแรกก็คือ สีของเปลือกหุ้มฝักจะต้องมีสีเขียว และหุ้มจนถึงปลายฝัก เมื่อปอกเปลือก เมล็ดจะต้องเต็มฝัก มีจำนวนแถวของเมล็ดอย่างน้อย 16 แถว และมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบและตรงดั่งภาพ 2.2(a)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการเรียงของเมล็ดข้าวโพด
ที่มีมาตรฐานสินค้าเกษตร (2555)

ส่วนการนำไปแปรรูป เช่น การบรรจุกระป๋อง จะต้องการพันธุ์ที่เปลือกหุ้มฝักสามารถลอกออกจากฝักได้ง่ายและไม่ติดฝัก ฝักรูปทรงกระบอก เมล็ดอ่อนนุ่มและมันเงา มีความยาวเมล็ดมากและตรงโคนเรียวยาวเล็ก ทำให้หลุดออกจากฝักได้ง่าย และช่วยในการตัดเมล็ดให้ได้รูปทรงที่เหมาะสม ส่วนการแปรรูปเป็นครีมข้าวโพด จะคำนึงถึงลักษณะดังกล่าวลดลง โดยการแปรรูปทั้งบรรจุกระป๋องและครีมข้าวโพดสามารถเพิ่มรสชาติด้วยการเพิ่มน้ำตาล เพื่อให้มีความหวานและเพิ่มเกลือเพื่อให้รสชาติกลมกล่อมขึ้นได้ แตกต่างจากการแช่แข็งฝักสด ที่คำนึงถึงความหวานในเมล็ดเป็นสำคัญ เนื่องจากการผลิตที่ไม่สามารถเพิ่มเติมความหวานและรสชาติใดๆ ได้อีก (Tracy, 2001)

ในประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร (2543) ได้กำหนดลักษณะมาตรฐานของฝักข้าวโพดหวานที่โรงงานต้องการดังนี้

- เป็นฝักที่ได้จากต้นที่สมบูรณ์แข็งแรง ไม่มีรอยทำลายของโรคหรือแมลง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดฝักสดปอกเปลือก ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-5 เซนติเมตร ความยาว 12-18 เซนติเมตร น้ำหนัก 200-250 กรัมต่อฝัก
- ฝักรูปทรงกระบอก มีขนาดโคนและปลายฝักแตกต่างกันไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร
- เมล็ดเรียงเป็นระเบียบ 14 ถึง 16 แถว แถวหนึ่งมี 30-40 เมล็ด
- เส้นไหมควรหลุดจากเมล็ดได้ง่าย และไม่ติดค้างตามร่องเมล็ด
- สีเมล็ดสม่ำเสมอและตรงตามพันธุ์
- มีช่ขนาดเล็ก
- ความหวานไม่ต่ำกว่า 14%brix ควรลดลงอย่างช้าๆ และคงความหวานได้ไม่ต่ำกว่า 36 ชั่วโมง

2.2 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy หรือ NIRS)

แสงใกล้อินฟราเรด (near infrared) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 780 – 2500 นาโนเมตร โดยมีหลักการดังนี้ คือ เมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ แล้วสารเกิดการดูดกลืนแสงในช่วง near infrared ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไปซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน ด้วย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลจะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ จากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น (ground vibration level) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงานความร้อน ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงเป็นไปตามกฎของ เบียร์ – แลมเบิร์ต (Beer – Lambert) พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง พลังงานของคลื่นแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มข้นของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne et al., 1993)

ช่วงคลื่นย่าน Near infrared spectroscopy หรือ NIRS สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

ตารางที่ 2.2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	Wavenumber (cm^{-1})
Region I	800 – 1100	12500 – 9000
Region II	1200 – 1800	8500 – 5500
Region III	1800 – 2500	5500 – 4000

ที่มา: นิพนธ์ (2545)

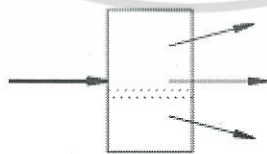
NIR hyperspectral imaging

เป็นการพัฒนาเทคนิคด้าน NIRs แบบใหม่ โดยการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดของตัวอย่าง เป็นการวิเคราะห์สเปกตรัมจำนวนมากไปพร้อมๆกับตัวแปรอิสระจำนวนมากแทนการใช้สเปกตรัมเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่าง โดยพิจารณาจากแต่ละจุดพิกเซลของภาพของตัวอย่างที่ทำการตรวจวัด เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลภาพของตัวอย่าง ค่าทางฟิสิกส์ ค่าทางเคมี มาพิจารณากับสเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานแสงในย่านใกล้อินฟราเรด (FernándezPierna et al., 2012)

รูปแบบที่วัดภูมิปฏิบัติการต่อแสงเนียร์อินฟราเรด (NIR)

เมื่อเครื่อง NIR ปล่อยแสงผ่านลงมาตัวอย่าง จะเกิดการกระทำกับกับสารได้หลายแบบ ดังนั้น ควรมีการจัดการวางตัวอย่างในการใช้เทคนิค NIR เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจได้แก่ (ศุมาพร, 2545)

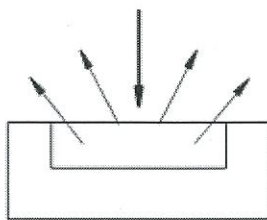
-transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การส่องผ่าน (transmission)

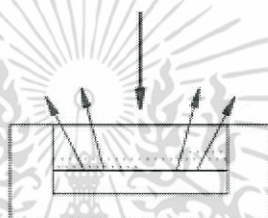
- reflection แสงตกกระทบพื้นที่ผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย ดังภาพที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



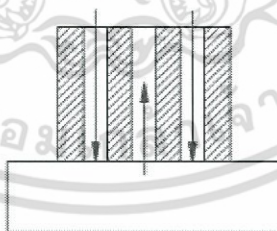
ภาพที่ 2.4 การสะท้อน (reflection)

- transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุด แล้วสะท้อนกลับมายัง detector ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การส่องผ่านและสะท้อน (transflection)

- interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดย่าน NIR ส่องผ่านมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe ดังภาพที่ 2.6



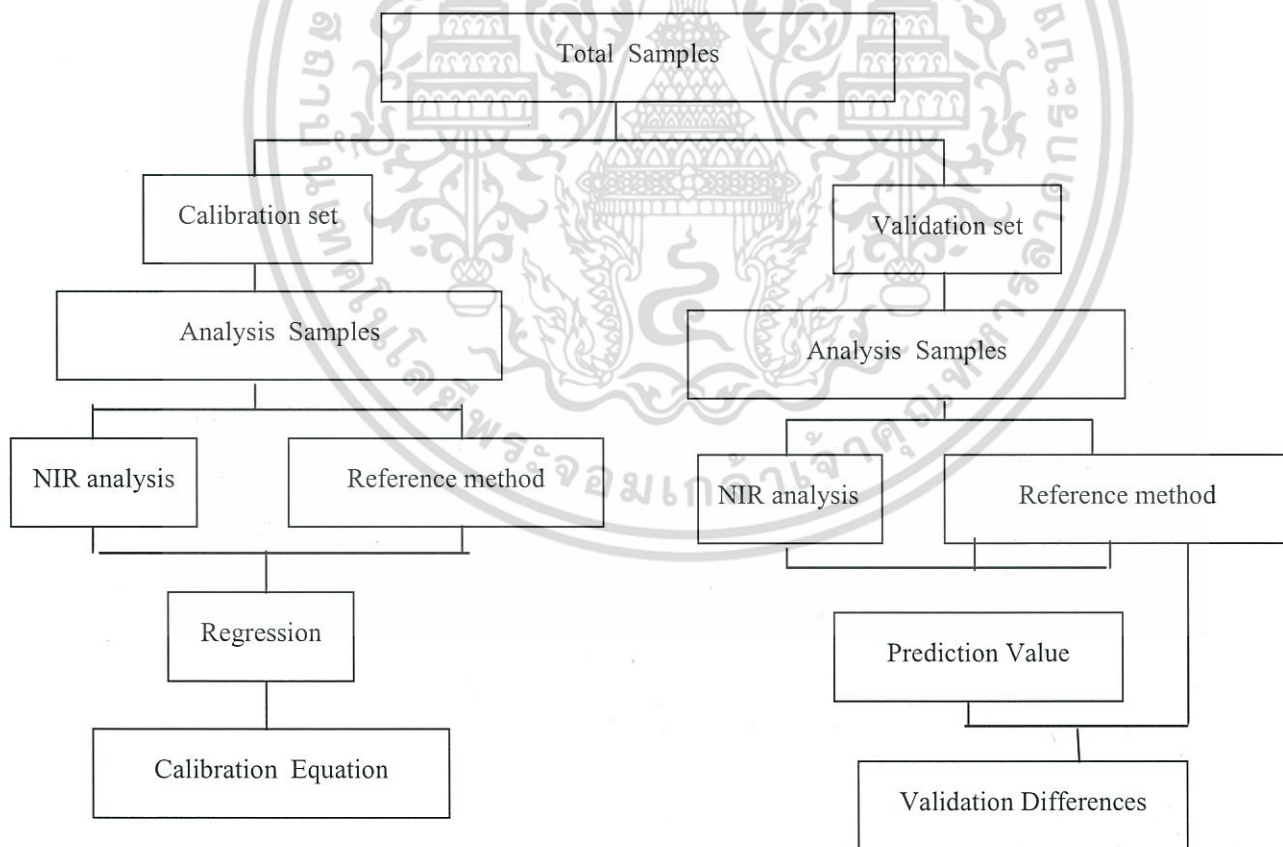
ภาพที่ 2.6 การส่องแบบ interaction

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล near infrared spectra

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR แสดงได้ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนหลักเป็นอย่างน้อย คือ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (calibration set) และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (validation set) ในการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย ก็เพื่อให้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ ต่อจากนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ calibration มีตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการทำนายค่าคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้ เรียกว่า การทำ validation เพื่อทดสอบสมการที่ได้ว่ามีความแม่นยำหรือไม่ เมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIR ที่ทำการวัดมาได้ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ดีจะต้องมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ห้อย่างพอเพียงทั้งตัวอย่างในปัจจุบันและตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ในอนาคตโดยเฉพาะปริมาณองค์ประกอบทางเคมีจะต้องมีค่าครอบคลุมปริมาณทั้งต่ำสุดและสูงสุดของตัวอย่าง โดยมีการสุ่มตัวอย่าง (sampling) ที่ถูกต้องเพียงพอและเป็นตัวแทนที่ของประชากรการสุ่มตัวอย่างถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการที่จะได้สมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ดีที่ทำให้ค่าผิดพลาดที่ได้จากการทดลองลดลง (Hruschka, 2001) นอกจากนี้ควรพิจารณาวิธีวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งควรเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานและมีความแม่นยำเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องเนื่องจากส่งผลต่อสมการที่สร้างขึ้นต่อไป (Kawano, 2002)



ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัม NIR

ที่มา: Kawano et al. (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

ปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัมมาก ได้แก่ ความชื้น และขนาดอนุภาค (particle size) ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากสภาพกระเจิงแสง และความแตกต่างที่เป็นผลมาจากความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการวัดซึ่งอาจทำให้เกิดความแตกต่างในผลเชิงบวก (additivescattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือผลเชิงคูณ (multiplicative scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสูงขึ้น นอกจากนี้สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด เป็นสเปกตรัมที่มีการเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ (overlapping band) ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงนำไปปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ก่อนเพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง วิธีที่นิยมใช้ มี 2 วิธี คือ

วิธีอนุพันธ์ (derivative)

เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัมเพื่อแก้ปัญหาฟีกที่มีฐานกว้าง (broad peak) เนื่องจากการซ้อนทับกันของฟีก (overlapping) และอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (base line shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattering light) เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสงเปลี่ยนทิศทางซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่าง ไม่สม่ำเสมอ การอัดตัว และการกระจายตัวของตัวอย่างภายในเซลล์บรรจุที่แตกต่างกันรวมทั้งความชื้นภายในตัวอย่างที่แตกต่างกันด้วย (William and Norris, 2001)

first derivative เป็นการหาความชันของสเปกตรัม ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่นหรือการเลื่อนตัวของสเปกตรัมแกน Y เนื่องจากอิทธิพลของความชื้น และขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน การทำ first derivative ทำให้การแปลความหมายยาก ดังนั้นจึงนิยมใช้ second derivative มากกว่า first derivative

second derivative การใช้ second derivative จะเป็นการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสเปกตรัมที่ได้จะมีรูปร่างที่แตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้น การหาการเปลี่ยนแปลงของความชัน สามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี second derivative ที่ได้จะมีจุดยอดที่เป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ตรงด้านข้ามที่มีค่ามากที่สุดและตรงกับจุดยอดเริ่มต้น การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี second derivative จึงเป็นที่นิยมมากกว่าวิธี first derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

multiplicative scatter correction (MSC)

สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนย่านแสง NIRS แบบ diffuse reflectance และแบบ transmission มักจะเกิดการกระเจิงแสง (scatter light) ดังนั้น ได้มีการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC มาปรับแต่งสเปกตรัม เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสงซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดค่าผิดพลาด Barnes *et al.* (1989) ใช้ NIRS แบบวัดการสะท้อนกลับของแสงเพื่อหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดพืชโดยแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี MSC พบว่ามีค่าผิดพลาดของสมการต่ำกว่าสมการของสเปกตรัมดั้งเดิม (original spectrum)

วิธี Smoothing

เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนโดยมีการแทนค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงความยาวคลื่นตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ต่อจากนั้นเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่นแล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่นซึ่งสามารถลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสงโดยจะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิมแต่จะเรียบสม่ำเสมอมากกว่า (Siesler *et al.*, 2002)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในด้านข้าวโพดหวานและการใช้ประโยชน์จากเทคนิค NIRS ดังนี้ Lidia esteve *et al.* (2012) ได้ใช้เทคนิค NIRS มาคัดแยกกลุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดและเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีลักษณะปกติ คือ สามารถเจริญงอกออกเป็นเมล็ดได้ ออกจากกลุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดและถั่วเหลืองที่มีลักษณะผิดปกติ ซึ่งไม่สามารถงอกออกเป็นเมล็ดได้ โดยผลการวิจัยพบว่า ถ้าคัดแยกระหว่างกลุ่มปกติออกจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่สามารถงอกได้ เนื่องจากเกิดการถูกความร้อนเข้าทำลาย เทคนิค NIRS สามารถคัดแยกและให้ความถูกต้องถึง 99% ในขณะที่การคัดแยกระหว่างกลุ่มปกติออกจากกลุ่มเมล็ดพันธุ์ที่ไม่สามารถงอกได้ เนื่องจากเกิดน้ำค้างแข็งเข้าทำลาย พบว่า ไม่สามารถคัดแยกได้

Mohammed *et al.* (2013) ได้ใช้ NIR hyperspectral imaging ที่ช่วงความยาวคลื่น 900-1700 nm ในการตรวจสอบหาปริมาณของเนื้อหุ้ปปลอมปนในเนื้อกะต๊ับ ปริมาณการปลอมปนของเนื้อหุ้มีค่าตั้งแต่ 2-40% (w/w) สร้างโมเดลโดยใช้วิธี PLSR ผลการทดสอบสมการพบว่า ให้ค่า $R = 0.99$ และ $RMSECV = 1.37$ โดยมี 4 ช่วงคลื่นที่สำคัญที่นำมาสร้างสมการดังนี้ 940, 1067, 1144 และ 1217 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Giovanelli et al. (2014) ได้ใช้เทคนิค NIRS ที่ช่วงเลขคลื่น $12,500-3600\text{ cm}^{-1}$ ในการตรวจสอบคุณภาพแอปเปิ้ล ซึ่งเก็บไว้ประมาณ 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส โดยตรวจสอบลักษณะทางเคมีกายภาพ (ความหวาน, สี และความแน่นเนื้อ) และตรวจสอบดัชนีที่บ่งบอกปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในแอปเปิ้ล (ปริมาณสารฟีนอลิก, ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระ) โดยผลการวิจัยพบว่า การทำนายค่าความหวาน, ค่าสี, และความแน่นเนื้อในกลุ่มสร้างสมการ ให้ค่า $0.81 < R^2 < 0.90$ และกลุ่มทดสอบสมการ ให้ค่า $0.79 < R^2 < 0.89$ สำหรับการทำนายดัชนีที่บ่งบอกปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ให้ค่า $0.89 < R^2 < 0.95$ และกลุ่มทดสอบสมการ ให้ค่า $0.86 < R^2 < 0.92$

Huazhou (2014) ได้นำ FT-NIR มาตรวจสอบปริมาณโปรตีนและไขมันในข้าวโพด โดยพิจารณาแถบคลื่น NIR แบบ first overtone, second overtone และ combination พบว่า ช่วงเลขคลื่นที่สำคัญของโปรตีนอยู่ในช่วงเลขคลื่น $5400-4000\text{ cm}^{-1}$ และช่วงเลขคลื่นที่สำคัญของไขมันอยู่ในช่วงเลขคลื่น $7200-5400\text{ cm}^{-1}$ ทำการสร้างสมการด้วยวิธี PLS พบว่าแบบ combination สามารถสร้างสมการในการทำนายปริมาณโปรตีนได้ค่า $R = 0.923$ และสร้างสมการในการทำนายปริมาณไขมันได้ค่า $R = 0.913$ ส่วน first overtone สามารถสร้างสมการในการทำนายปริมาณโปรตีนได้ค่า $R = 0.915$ และสร้างสมการในการทำนายปริมาณไขมันได้ค่า $R = 0.921$

Hong-Ju He et al. (2014) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ near-infrared (NIR) hyperspectral imaging ที่ความยาวคลื่น 900-1700 นาโนเมตร เพื่อประเมินหาพื้นที่การเน่าเสียของปลาเซลมอนที่เกิดจากแบคทีเรียแลคติกแอซิด ซึ่งการเน่าเสียนี้เกิดในช่วงที่นำปลาเซลมอนสดไปแช่แข็งในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาที่ต่างกัน สร้างโมเดลโดยวิธี CARS-LS-SVM และให้ค่า R ในการทำนายเท่ากับ 0.925 และ RMSEP เท่ากับ 0.531 ซึ่งสรุปได้ว่า NIR hyperspectral imaging มีศักยภาพในการประเมินแบคทีเรียแลคติกแอซิด

ศิริรักษ์ (2549) ได้ทำงานวิจัยเพื่อประเมินระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน เพื่อให้ข้าวโพดมีปริมาณน้ำตาลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า ในฤดูฝน วันเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของพันธุ์ AT55, HIBRIX10 และ CABARET คือวันที่ 17-20 วันหลังออกไหม โดยพันธุ์ AT55 มีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 15-15.3 %brix, พันธุ์ HIBRIX10AT55 มีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 14.8-14.9 %brix ส่วนพันธุ์ CABARET ค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 10.2-11.1 %brix สำหรับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูหนาว วันเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของทุกพันธุ์ คือ วันที่ 18-21 วันหลังออกไหม โดยพันธุ์ AT55 มีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 14.8-15.2 %brix, พันธุ์ HIBRIX10AT55 มีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 14.8-14.9 %brix ส่วนพันธุ์ CABARET ค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 10.5-11.1 %brix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วันดูและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุดิบ

3.1.1.1 ข้าวโพดหวาน

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 refractometer (Atago รุ่น 3442 PR-1-10, Palette Serie Portable)

3.1.2.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.2.3 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

3.1.2.4 เครื่อง hand-held penetrometer (fruit firmness tester, FHR-5, Nippon Optical Work Co., Ltd., Tokyo)

3.1.3 การวัดสเปกตรัม

3.1.3.1 เครื่อง near infrared spectroscopy 3 ชนิด คือ hyperspectral imaging, FQA-NIRGUN

และ FT-NIR

3.1.3.2 โปรแกรม Unscrambler® version 9.7 (Camo, Oslo, Norway)

3.1.3.3 โปรแกรม Evince custom (version 2.6.0)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การทดลองเพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งและปริมาณแป้ง (flour) ในข้าวโพดหวาน

3.2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวัดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวัดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer จะทำการวัดข้าวโพดที่ไม่ปอกเปลือกและข้าวโพดที่ปอกเปลือก

3.2.1.1.1 เตรียมตัวอย่างข้าวโพดหวานจำนวน 200 ฟัก เลือกฟักที่เป็นรูป

ทรงกระบอก ไม่มีรอยทำลายของโรค และแมลง สีของเปลือกหุ้มฝักเป็นมีสีเขียว และหุ้มจนถึงปลายฝัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเก็บเสร็จแล้วให้ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการแบ่งอายุหลังการเก็บรักษาที่ต่างกัน คือ มีอายุการเก็บรักษาที่ 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 30 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง

3.2.1.2 ทำการวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer ในข้าวโพดที่ไม่ปอกเปลือกคือ hyperspectral imaging, FQA-NIR GUN และ FT-NIR โดย NIR hyperspectral imaging โหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 900 - 1700nm, FQA-NIR GUN โหมด Interactance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 588-1091 nm และ FT-NIR โหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 1100-2500 nm โดยทำการสแกนที่ละฟัก ตำแหน่งที่สแกน คือ ต้นฟัก กลางฟัก และท้ายฟักช่วงที่ทำารวัดสเปกตรัมจะต้องรักษาอุณหภูมิห้องปฏิบัติการในระหว่างการวัดที่ 25°C

3.2.1.3 นำข้าวโพดมาปอกเปลือกและแกะเค้นใยในฟักข้าวโพด หลังจากนั้นทำการวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer ด้วยเครื่อง hyperspectral imaging, FQA-NIR GUN และ FT-NIR โดยตำแหน่งที่สแกนจะเป็นต้นฟัก กลางฟัก และท้ายฟัก ดังเช่นข้อ 3.2.1.2

3.2.1.3 หลังจากนั้นตรวจสอบด้านคุณภาพเคมีโดยการเนื้อสัมผัส, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (AOAC, 2000), ค่าความชื้น (AOAC, 2000) และปริมาณแป้ง (flour) โดยนำข้าวโพดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง นามาบดละเอียด และคำนวณปริมาณร้อยละของฟลาวร์ที่ได้ (% yield) เป็นน้ำหนักแห้ง (dry basis)

$$\text{ปริมาณฟลาวร์ที่ได้ (\% Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของฟลาวร์ที่ได้จากข้าวโพด}}{\text{น้ำหนักข้าวโพดเริ่มต้น}} \times 100$$

3.2.1.4 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Unscrambler® version 9.7 และโปรแกรม Evince custom เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเคมีที่วิเคราะห์โดยวิธีดั้งเดิมและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่อง NIR spectrophotometer สำหรับข้อมูลที่ได้จากกาวัดด้วยเครื่อง FQA-NIR GUN และ FT-NIR จะวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Unscrambler สำหรับข้อมูลที่ได้จากกาวัดด้วยเครื่อง hyperspectral imaging จะวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Evince custom โดยวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

3.2.1.4.1 กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยให้ตัวแปรตามเป็นค่าเคมี คือ hardness, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ค่าความชื้นและปริมาณแป้ง (flour) ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR spectrophotometer ทั้ง 3 เครื่อง

3.2.1.4.2 นำข้อมูลค่าเคมีมาเรียงกัน โดยเรียงค่าเคมีจากน้อยไปมากแล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มโดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) กลุ่ม calibration จะต้องมีจำนวนข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่ม prediction จะต้องมีจำนวนข้อมูล 30 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละกลุ่ม มีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆกันค่าเคมีในกลุ่ม calibration จะต้องมีค่าเคมีที่ต่ำสุดและสูงอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

3.2.1.1.4.3 นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยในกลุ่ม calibration มาสร้างสมการในการทำนายโดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยพิจารณาที่ค่า R (correlation coefficient) ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุดและ factor ต้องค่าต่ำสุดด้วย เมื่อได้สมการ calibration แล้วให้นำไปทำนายตัวอย่างในกลุ่ม prediction set เพื่อดูความแม่นยำของสมการเมื่อสร้างสมการและได้โมเดลที่ดีที่สุดแล้ว จะทำการประเมินความแม่นยำของโมเดล โดยการนำกลุ่ม prediction set มาทดสอบกับโมเดลที่สร้างขึ้น พิจารณาค่าทางสถิติ นั่นก็คือ R และ root mean square error of prediction (RMSEP)

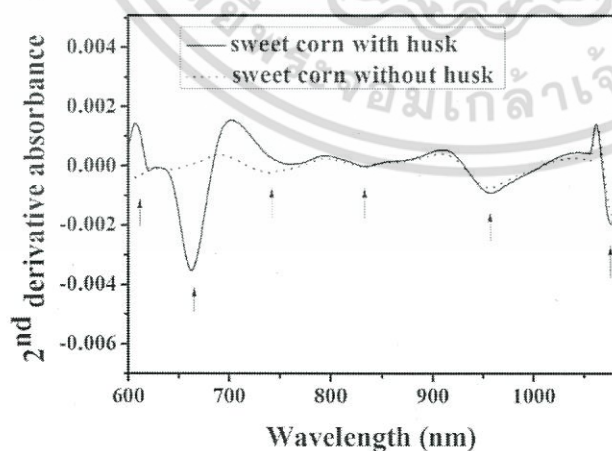
บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองจะแบ่งเป็น 2 การทดลองคือ การตรวจสอบคุณภาพภายในข้าวโพดหวานที่ไม่ปอกเปลือกและการตรวจตรวจสอบคุณภาพภายในข้าวโพดหวานที่ปอกเปลือกการทดลองจะทำโดยการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานจากไร่ แล้วนำมาสแกนด้วยเทคนิค NIR โดยสแกนผ่านข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือก โดยสแกนทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ สแกนคือต้นฝัก กลางฝัก และท้ายฝัก หลังจากนั้นนำข้าวโพดฝักเดิมมาทำการปอกเปลือกออกให้หมด รวมทั้งลอกเส้นไหมข้าวโพดแต่ละฝักออก ทำการสแกนด้วยเครื่อง NIR ในตำแหน่งเดียวกับที่สแกนข้าวโพดครั้งแรก หลังจากนั้นตรวจสอบคุณภาพภายในของข้าวโพด

4.1 ผลการสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR-GUN ในโหมด interactance

การใช้เทคนิค NIRs ในโหมด interactance จะทำการทดลองโดยนำข้าวโพดที่เก็บจากไร่มาผ่านการเครื่อง NIR-GUN โดยที่ข้าวโพดยังไม่ทำการปอกเปลือก ตำแหน่งที่สแกนคือต้นฝัก กลางฝัก และท้ายฝัก เมื่อสแกนเสร็จแล้ว ทำการแกะเปลือกข้าวโพดรวมถึงเส้นไหมสีน้ำตาลออกให้หมด แล้วทำการสแกนด้วยเครื่อง NIR-GUN อีกครั้ง โดยตำแหน่งที่สแกนจะสแกนที่ต้นฝัก กลางฝัก และท้ายฝัก ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับที่สแกนข้าวโพดแบบปอกเปลือก ภาพสเปกตรัมแบบ second derivative เฉลี่ยของข้าวโพดแบบปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกแสดงได้ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 สเปกตรัมเฉลี่ยแบบ second derivative ที่ได้จากการสแกนข้าวโพดด้วยเครื่อง NIR Gun โหมด interactance

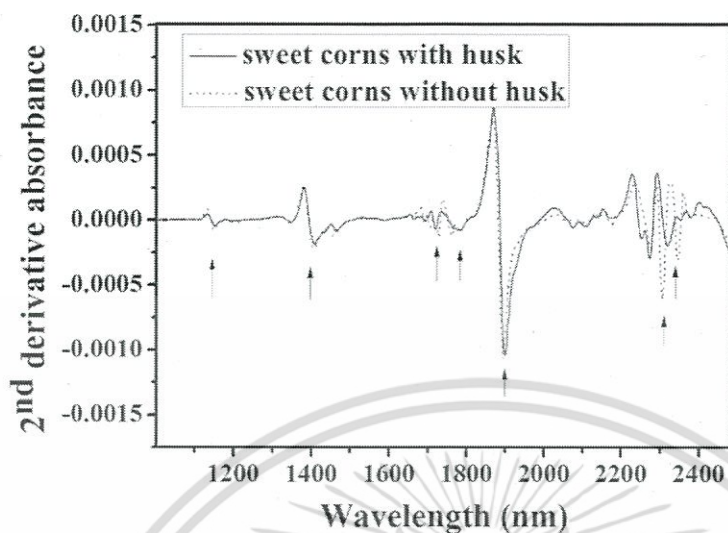
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.1 แสดงภาพสเปกตรัมเฉลี่ยของข้าวโพดหวานแบบไม่ปอกเปลือกและแบบปอกเปลือกซึ่งสแกนด้วยเครื่อง NIR Gun โหมด Interactance ในช่วงความยาวคลื่น 588-1901 นาโนเมตร ซึ่งในภาพที่ 4.1 นั้นจะเป็นข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยของข้าวโพดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง โดยพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 600-770 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากเป็นช่วงคลื่น Visible ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร จะแสดงพีคของคลอโรฟิลล์ (Osborne et al., 1993) โดยพบว่าสเปกตรัมข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วจะเห็นพีคนี้ได้อย่างชัดเจน อาจเป็นเพราะว่าเมล็ดข้าวโพดมีลักษณะสีออกเหลืองส้ม โดยข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือกจะไม่มีควมหนาของเปลือกมาเป็นผลกระทบ ขณะเดียวกันสเปกตรัมของข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกจะแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 672 นาโนเมตร ได้อย่างชัดเจน อาจเป็นเพราะว่าที่ความยาวคลื่นนี้เป็นพีคของสีแดง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเป็นสีของเส้นไหมข้าวโพด เนื่องจากข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือก จะมีเส้นไหมติดในฝักข้าวโพด ขณะที่ข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก จะไม่เจอพีคที่ 672 นาโนเมตร เพราะข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือกและนำมาสแกนนั้น จะผ่านการลอกเส้นไหมในฝักข้าวโพดแล้วนอกจากนี้สเปกตรัมข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและผ่านการปอกเปลือกยังพบพีค 760 และ 830 นาโนเมตร ซึ่งเป็นพีคของความชื้น พีคที่ 964 นาโนเมตร เป็นพีคของไขมัน และพีคที่ 1175 นาโนเมตรเป็นพีคของไขมัน (Osborne et al., 1993).

4.2 ผลการสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-NIR ในโหมด Reflectance

การใช้เทคนิค NIRs ในโหมด Reflectance จะทำการทดลองเช่นเดียวกับการสแกน NIR ด้วยเครื่อง NIR Gun คือนำข้าวโพดที่เก็บจากไร่มาผ่านการสแกน NIR ด้วยเครื่อง FT-NIR โดยที่ข้าวโพดยังไม่ทำการปอกเปลือก ตำแหน่งที่สแกนคือต้นฝัก กลางฝัก และท้ายฝัก เมื่อสแกนเสร็จแล้ว ทำการแกะเปลือกข้าวโพดรวมถึงเส้นไหมสีน้ำตาลออกให้หมด แล้วทำการสแกนด้วยเครื่อง NIR -GUN อีกครั้ง โดยตำแหน่งที่สแกนจะสแกนที่ต้นฝัก กลางฝัก และท้ายฝัก ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับที่สแกนข้าวโพดแบบปอกเปลือก ภาพสเปกตรัมแบบ second derivative เฉลี่ยของข้าวโพดแบบปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกแสดงได้ดังภาพที่ 4.2

สำหรับการวัดในโหมด reflectance จะเป็นการให้แสงตกกระทบพื้นที่ผิวของตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาซึ่งเป็นการใช้แสง NIR ส่องผ่านมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมเจดีย์แบบ second derivative ที่ได้จากการสแกนข้าวโพดด้วยเครื่อง FT-NIR โหมด Reflectance

ภาพที่ 4.2 แสดงภาพสเปกตรัมเจดีย์ของข้าวโพดหวานแบบไม่ปอกเปลือกและแบบปอกเปลือกซึ่งสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR โหมด Reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 1000 - 2500 นาโนเมตร ซึ่งในภาพที่ 4.6 นั้นจะเป็นข้อมูลสเปกตรัมเจดีย์ของข้าวโพดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง โดยพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 1175 นาโนเมตรและ 1705 นาโนเมตร เป็นพีคของโปรตีน พีคที่ความยาวคลื่น 1450 นาโนเมตรและ 1920 นาโนเมตร เป็นพีคน้ำ พีคที่ความยาวคลื่น 1750 นาโนเมตร เป็นพีคของแป้ง พีคที่ความยาวคลื่น 2150 นาโนเมตรเป็นพีคของคาร์โบไฮเดรต พีคที่ความยาวคลื่น 2300 และ 2350 นาโนเมตรเป็นพีคของไขมัน (Osborne et al., 1993)

4.3 ผลของการใช้เทคนิค NIR-GUN ในโหมด Interactance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบไม่ปอกเปลือก

4.3.1 ผลการสร้างสมการในการทำนายเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของข้าวโพด

เนื้อสัมผัสของข้าวโพดเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพข้าวโพดที่รับประทานฝักสด ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวโพดมีผลต่อความนุ่มและความฉ่ำน้ำ โดยจะพบว่าเมล็ดข้าวโพดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวน้อย จะมีลักษณะฉ่ำน้ำ ไม่แข็ง แต่ถ้าวข้าวโพดมีอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นเรื่อยๆ จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้น ดังนั้นเนื้อสัมผัสของข้าวโพดในด้านความแข็งเป็นปัจจัยหนึ่งของผู้บริโภคที่จะนำมาพิจารณา

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	95	48
unit	Newton (N)	Newton (N)
Range	10.45-13.73	10.45-13.72
mean	12.18	12.18
standard deviation (SD)	0.88	0.80
wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ข้อมูลที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและทดสอบสมการจะมีทั้งหมด 143 ตัวอย่าง นำข้อมูลทั้งหมดมาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ (prediction set) ในกลุ่มสร้างสมการทดสอบสมการมีค่าเนื้อสัมผัสอยู่ที่ 10.45-13.73 นิวตัน ขณะที่กลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าเนื้อสัมผัสอยู่ที่ 10.45-13.72 นิวตัน จะเห็นได้ว่าค่าเนื้อสัมผัสในกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีข้อมูลที่กว้างกว่ากลุ่มทดสอบสมการ เนื่องจากกลุ่มสร้างสมการจะเป็นการนำข้อมูลมาสร้างโมเดล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีค่าเนื้อสัมผัสต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในกลุ่มนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแบ่งกลุ่มสำหรับกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ จะทำโดยนำตัวแปรตาม ซึ่งก็คือ ค่าเนื้อสัมผัสที่วัดได้จากเมล็ดข้าวโพดมาเรียงค่าจากน้อยไปมาก จากนั้นเลือกกลุ่มทดสอบสมการออกมา ซึ่งทุกๆ 3 ข้อมูล จะทำการเลือก 1 ข้อมูลออกมาเป็นกลุ่มทดสอบสมการ

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ค่าเนื้อสัมผัสที่วัดได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 10.45-13.73 นิวตัน ซึ่งค่า จะไม่เกาะกลุ่มกัน เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน ส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสในด้าน ความแข็งของเมล็ดข้าวโพดมีความแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 4.2 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายค่าเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ด้วยวิธี ปรับแต่งข้อมูล

Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (N)
original	95	13	0.79	0.52
Smoothing	95	13	0.79	0.52
First derivative	95	13	0.77	0.53
Second derivative	95	13	0.77	0.55
Full MSC	95	13	0.73	0.59
Common offset	95	12	0.76	0.55
Mean	95	13	0.79	0.52
SNV	95	13	0.77	0.55
Smoothing + First derivative	95	11	0.78	0.53
smoothing + Second derivative	95	13	0.79	0.52

หลังจากทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ นำกลุ่มสร้างสมการ ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 95 ข้อมูลมาทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธีการคณิตศาสตร์ (spectral pretreatment) ต่างๆ ซึ่งแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.2 จากตารางพบว่าวิธีดั้งเดิม (original), smoothing, mean และวิธีผสมระหว่าง smoothing + second derivative เป็นวิธีที่ดีที่สุดที่ทำให้โมเดลในการทำนายค่าเนื้อสัมผัสของข้าวโพดแบบไม่ปกเปลือกมีความแม่นยำมากที่สุด ซึ่งพิจารณาจากค่า R, RMSECV โดยค่า R จะต้องมีค่าสูงสุด ค่า RMSECV ต้องมีค่าต่ำสุด ซึ่งจากตารางที่ 4.2 พบว่าสถาปัตยกรรมแบบ original และวิธีการปรับแต่งคณิตศาสตร์ด้วยวิธี smoothing, mean และวิธีผสมระหว่าง smoothing + second derivative มีค่า R สูงสุด และค่า RMSECV ต่ำสุด ดังนั้น จึงเลือกโมเดล original มาใช้เป็นข้อมูลสำหรับสร้างโมเดล

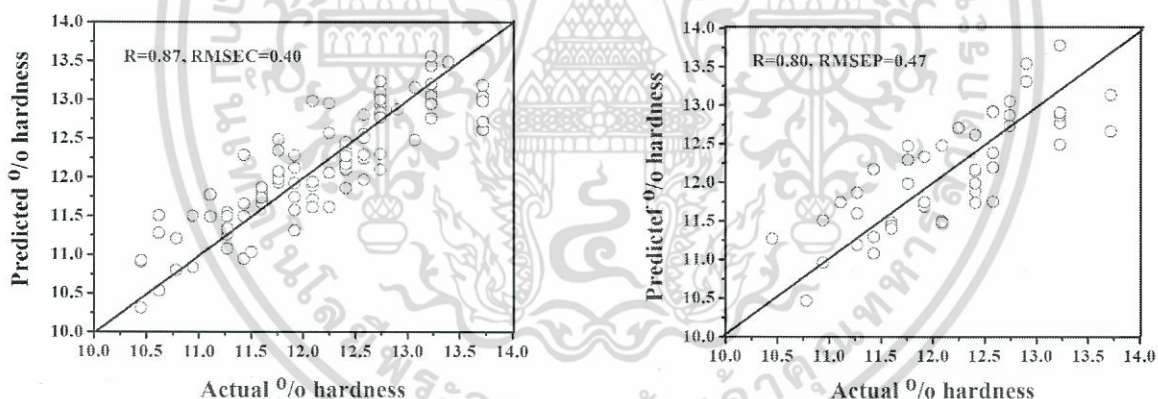
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เห็นใบใช้ประโยชน์จากการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากถ้าโมเดล original ให้ผลลัพธ์ที่ดี จึงไม่จำเป็นต้องนำข้อมูลมาผ่านกระบวนการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Model	N	F	R	RMSEC	Pretreatment	N	F	R	RMSEP
original	95	13	0.87	0.40	original	48	13	0.80	0.47

จากตารางที่ 4.3 จะเป็นการนำโมเดลที่ดีที่สุด นั่นก็คือโมเดล original มาสร้างสมการ พบว่า ได้ค่า $R = 0.87$, $RMSEC = 0.40$ N และเมื่อนำมาทดสอบในกลุ่มทดสอบสมการ พบว่า ได้ค่า $R = 0.80$, $RMSEP = 0.47$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการนี้มีความแม่นยำที่จะสามารถทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด



ภาพที่ 4.3 แสดงผลการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านของค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

- (a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- (b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ภาพที่ 4.3 (a) และ 4.3 (b) เป็นกราฟที่พลอตระหว่างค่าจริงของเนื้อสัมผัสและค่าทำนายค่าเนื้อสัมผัส โดยจะพบว่ากราฟมีลักษณะเฉียงทำมุม 45° แต่ก็มีบางค่าที่กระจัดกระจายออกจากเส้นทำมุม 45° ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการนี้มีความแม่นยำที่จะสามารถทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด แต่ก็ไม่แม่นยำ

มากนัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพด

ลักษณะความหวานเป็นบทบาทที่สำคัญต่อคุณภาพของข้าวโพด โดยปกติข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวในระยะน้ำนมจะมีลักษณะหวาน เพราะมีปริมาณน้ำตาลมาก แต่ถ้าข้าวโพดมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมาก ปริมาณน้ำตาลจะค่อยๆลดลง แล้วเปลี่ยนเป็นแป้ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพความหวานของข้าวโพด ดังนั้น การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ถือเป็นบทบาทสำคัญต่อการตรวจสอบคุณภาพข้าวโพดหวาน

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	120	60
Range	11.4-21	11.8-20
Average	16.21	16.27
SD	2.00	1.94
Unit	°Brix	°Brix
wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

การสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 180 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นกลุ่มสร้างสมการ 120 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบสมการ 60ตัวอย่าง สำหรับกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการจะต้องมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จะทำโดยการนำข้อมูลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตามมาเรียงค่าจากค่าน้อยสุดไปยังค่ามากที่สุด ทำการเลือกข้อมูลออกมาเป็นกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ โดยต้องให้มีข้อมูลกลุ่มสร้างสมการประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพด จะพบว่าเมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มแล้ว กลุ่มสร้างสมการจะมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่าง 11.4-21 °Brix ขณะที่กลุ่มทดสอบสมการค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่าง 11.8-20 °Brix จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยสุดอยู่ที่ 11.4 °Brix และมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดอยู่ที่ 21 °Brix ซึ่งค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีช่วงค่อนข้างกว้าง ค่าไม่เกาะกลุ่มกัน เนื่องจากข้าวโพดที่นำมาทดสอบมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่ 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง ซึ่งอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยลง ซึ่งส่งผลต่อความหวานของข้าวโพดหวาน

ทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งในการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์หรือเป็นการทำ pretreatment นั้น จะเป็นการนำสเปกตรัมที่สแกนได้จากเครื่อง NIR มาปรับแต่ง เพื่อให้โมเดลมีความแม่นยำมากขึ้น จากตารางที่ 4.5 พบว่าการนำสเปกตรัมมาปรับแต่งด้วยวิธี smoothing นั้น ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ ได้ค่า $R = 0.70$, $RMSECV = 1.44$ °Brix ตารางที่ 4.5 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลทางคณิตศาสตร์

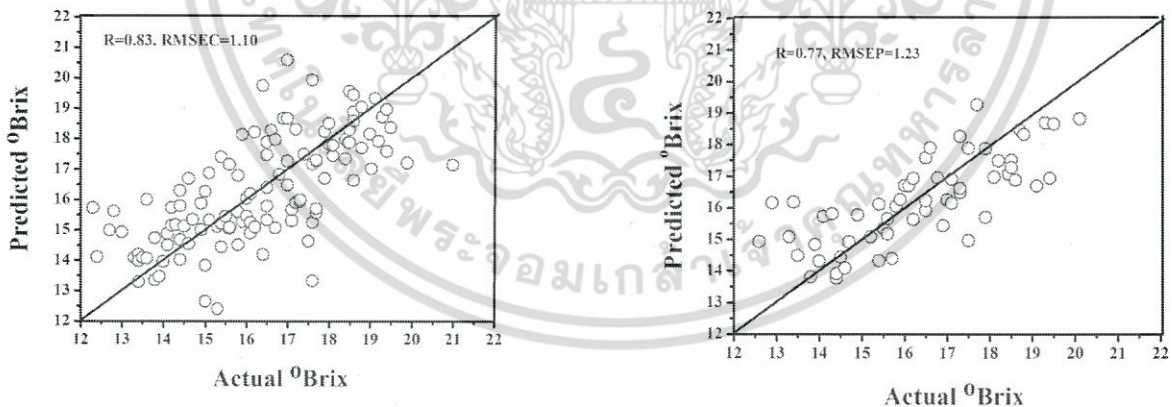
Pretreatment	N	F	R	RMSECV(°Brix)
Original	120	15	0.68	1.05
Smoothing	120	15	0.70	1.44
first derivative	120	12	0.69	1.49
second derivative	120	13	0.68	1.51
Full MSC	120	14	0.69	1.50
Mean	120	13	0.69	1.51
SNV	120	16	0.70	1.45
Smoothing + first derivative	120	13	0.69	1.51
Smoothing + second derivative	120	16	0.69	1.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC	Pretreatment	N	F	R	RMSEP
Smoothing	120	15	0.83	1.10	Smoothing	60	15	0.77	1.23

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของข้าวโพดซึ่งเป็นการนำข้อมูลสเปกตรัมมาผ่านการทำ smoothing มาสร้างสมการการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำโดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) แล้วพบว่า พบว่า ในกลุ่มสร้างสมการได้ค่า $R = 0.83$, $RMSEC = 1.10$ ($^{\circ}\text{Brix}$) และในกลุ่มทดสอบสมการ ได้ค่า $R = 0.77$, $RMSEP = 1.23$ ($^{\circ}\text{Brix}$) ซึ่งความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่อนข้างต่ำ นั่นอาจเป็นเพราะว่าการทดลองนี้เป็นการสแกน NIR ลงไปในฝักข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก ซึ่งความหนาของเปลือกข้าวโพดมีผลต่อความแม่นยำในการทำนาย



ภาพที่ 4.4 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพด

- กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ภาพที่ 4.4(a) แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.4 (b) แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการพบว่าค่าที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือขึ้นต้นการอ้างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลอตลงในกราฟ มีลักษณะเฉียงขึ้นทำมุม 45° แต่ก็ยังมีบางค่ากระจายออกห่างจากเส้นทำมุม 45° นั้นแสดงให้เห็นว่าสมการนี้มีความแม่นยำไม่เพียงพอที่จะทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้

4.3.3 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นของข้าวโพด

ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวโพดหวานเป็นดัชนีตัวหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของเมล็ดข้าวโพด เมล็ดข้าวโพดที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวน้อย จะมีความฉ่ำน้ำสูงกว่าข้าวโพดที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมาก ถ้าข้าวโพดที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมาก เมล็ดจะมีลักษณะเหี่ยว ไม่เต่งตึง

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณความชื้นของข้าวโพด

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	105	45
unit	%	%
Range	10.34-15.14	10.38-14.9
mean	11.92	12.08
standard deviation (SD)	0.91	0.99
wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณความชื้นของข้าวโพดซึ่งตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบมีทั้งหมด 150 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 105 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 45 ตัวอย่าง กลุ่มสร้างสมการมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10.34-15.14 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มทดสอบสมการ มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10.38-14.9 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลที่ใช้สำหรับสร้างสมการ จะต้องมีค่าปริมาณความชื้นต่ำสุดและสูงสุดในกลุ่มนี้ด้วย เมื่อแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว ก็จะสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้น โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS กับปริมาณความชื้น วิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) และเปรียบเทียบแบบ cross-validation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์

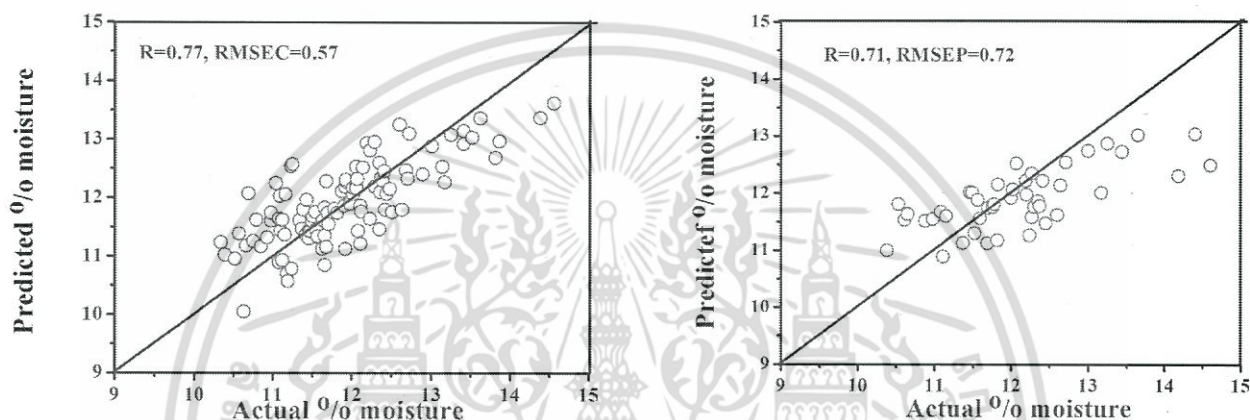
Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (%)
original	105	14	0.64	0.70
Smoothing	105	14	0.65	0.69
First derivative	105	12	0.65	0.69
Second derivative	105	12	0.63	0.71
Full MSC	105	13	0.64	0.70
Mean	105	14	0.64	0.70
SNV	105	14	0.64	0.70
Smoothing + First derivative	105	12	0.62	0.72
Smoothing + Second derivative	105	12	0.62	0.72

การนำข้อมูลสเปกตรัมมาปรับแต่งข้อมูลทางคณิตศาสตร์ จะช่วยให้โมเดลมีความแม่นยำมากขึ้น สำหรับตารางที่ 4.8 จะแสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆจะใช้ข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการ จากตารางที่ 4.8 จะพบว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบการปรับแต่งสเปกตรัมจะมีทั้งหมด 105 ตัวอย่าง ซึ่งวิธีปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing ให้ผลแม่นยำที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จากค่า R ซึ่งได้เท่ากับ 0.65 และค่า RMSECV ได้เท่ากับ 0.69% หลังจากนั้น ทำการทดสอบสมการด้วยกลุ่มทดสอบสมการ ซึ่งจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.9 ตารางที่ 4.9 จะแสดงให้เห็นข้อมูลมีความสามารถในการสร้างสมการ โดยได้ค่า $R = 0.77$, $RMSEC = 0.57\%$ และมีความแม่นยำในการทำนายได้ค่า $R = 0.71$, $RMSEP = 0.72\%$ จะเห็นได้ว่าสมการนี้ไม่มีความแม่นยำในการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้นของข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(%)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(%)
Smoothing	105	14	0.77	0.57	Smoothing	45	14	0.71	0.72



ภาพที่ 4.5 แสดงผลการทำนายความชื้นของข้าวโพด

- กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ภาพที่ 4.5 เป็นภาพแสดงผลการทำนายความชื้นของข้าวโพดในกลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จะเห็นได้ว่าภาพที่ 4.5(b) ซึ่งเป็นค่าที่พลอตระหว่างค่าจริงของปริมาณความชื้นซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมีและค่าปริมาณความชื้นที่ทำนายจากโมเดล พบว่ากราฟมีความกระจัดกระจายสูงและเกาะกลุ่มกันกว้าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการที่ใช้ทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพดไม่มีความแม่นยำ นั่นอาจเป็นเพราะเปลือกของข้าวโพดมีผลต่อความแม่นยำ

4.3.4 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

ปริมาณแป้งในข้าวโพดเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เมื่อข้าวโพดถูกเก็บเกี่ยวในระยะน้ำนม จะมีความหวานมาก และถ้าอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากขึ้น ความหวานจะลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแป้ง ดังนั้นการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณแป้ง เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้หาคุณภาพความสดของข้าวโพดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำงานนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	108	52
unit	%	%
Range	21.29-30.29	22.02-30.02
mean	26.44	26.59
standard deviation (SD)	1.75	1.71
wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดจะใช้ข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 160 ตัวอย่างซึ่งข้อมูลทั้ง 160 ตัวอย่าง จะแบ่งออกเป็นกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการจำนวน 108 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จำนวน 52 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 ปริมาณแป้งในกลุ่มสร้างสมการจะมีค่าอยู่ระหว่าง 21.29-30.29 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปริมาณแป้งในกลุ่มทดสอบสมการจะมีค่าอยู่ระหว่าง 22.02-30.02 เปอร์เซ็นต์ โดยจำนวนตัวอย่างของกลุ่มสร้างสมการจะต้องมีค่ามากกว่ากลุ่มสำหรับทดสอบสมการ และข้อมูลทางเคมีของกลุ่มสร้างสมการต้องครอบคลุมชุดของกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ

เมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการมาทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆดังตารางที่ 4.11 การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เป็นวิธีการที่กำลังวิจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม จากตารางที่ 4.11 จะเห็นว่าข้อมูลที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธี msc ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ ได้ค่า $R=0.72$ และ $RMSECV=1.21\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์

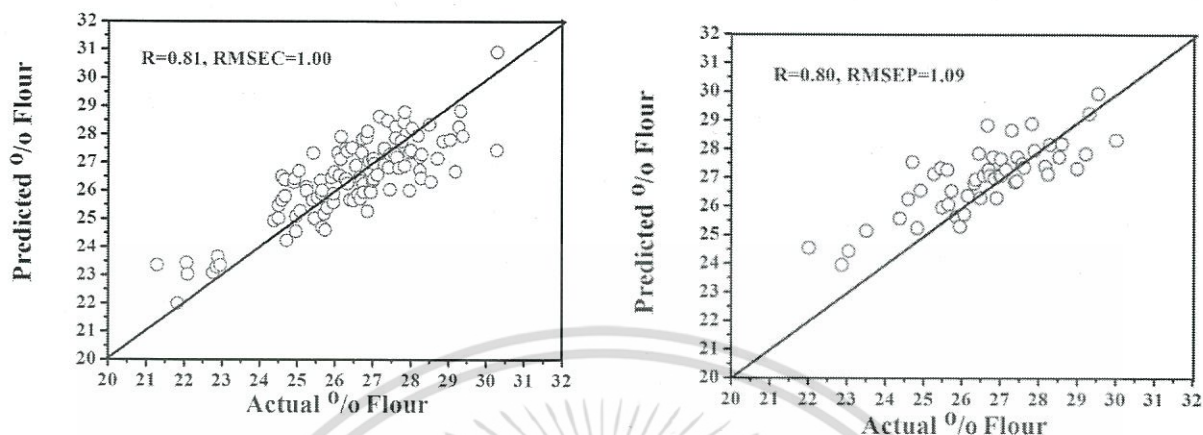
Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV(%)
original	108	13	0.67	1.31
Smoothing	108	13	0.66	1.33
First derivative	108	11	0.65	1.34
Second derivative	108	13	0.67	1.31
MSC	108	12	0.72	1.21
Mean	108	12	0.68	1.28
SNV	108	13	0.71	1.24
Smoothing + First derivative	108	14	0.67	1.31
smoothing + Second derivative	108	13	0.69	1.28

นำข้อมูลที่ผ่านมากระบวนการทำ smoothing มาสร้างสมการทำนายปริมาณแป้งโดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) โดยพบว่า ได้ค่า $R = 0.81$ และ $RMSEC = 1.00\%$ และนำโมเดลมาทดสอบความแม่นยำในกลุ่มทดสอบสมการ พบว่า $R = 0.80$ และ $RMSEP = 1.09\%$ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.12 และแสดงได้ดังภาพที่ 4.12(a) และ 4.4(b)

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณแป้งข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(%)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(%)
MSC	108	12	0.81	1.00	Full MSC	52	12	0.80	1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

- (a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- (b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ภาพที่ 4.6 เป็นภาพแสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดข้าวโพดในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ

4.4 ผลของการใช้เทคนิค NIRs ด้วยเครื่อง NIR-GUN ในโหมด Interactance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบปอกเปลือก

4.4.1 ผลการสร้างสมการในการเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของข้าวโพด

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	103	54
Unit	Newton	Newton
Range	10.45-13.73	10.45-13.72
Mean	12.12	12.20
standard deviation (SD)	0.84	0.80
Wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 156 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 103 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 54 ตัวอย่าง วิธีการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการก็เหมือนกับการทดลองอื่น คือ ต้องแบ่งให้กลุ่มสร้างสมการมีค่าค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย คือ มีค่า ค่าค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด อยู่ที่ 10.45-13.73 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการมีค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด อยู่ที่ 10.45-13.72 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.14 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (N)
original	103	12	0.79	0.51
Smoothing	103	12	0.79	0.51
First derivative	103	11	0.76	0.54
Second derivative	103	13	0.75	0.55
MSC	103	11	0.80	0.50
Mean	103	12	0.79	0.51
SNV	103	13	0.78	0.52
Smoothing + First derivative	103	13	0.78	0.53
smoothing + Second derivative	103	13	0.78	0.53

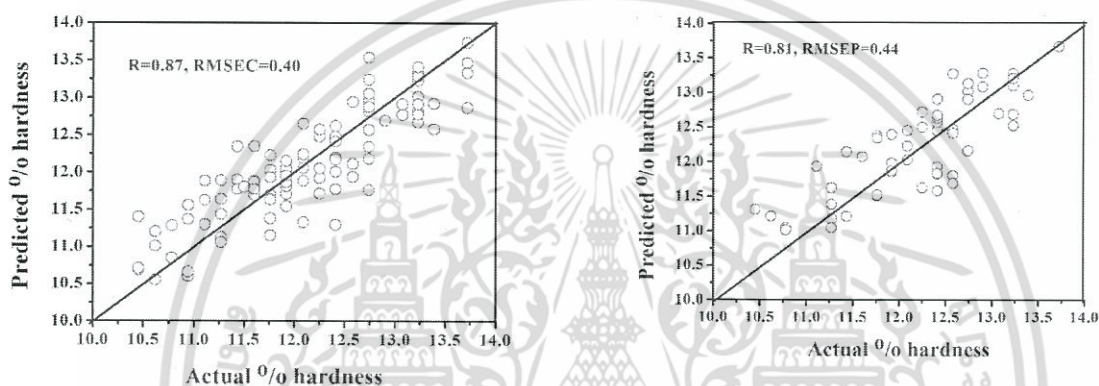
นำข้อมูลในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งพบว่าการสร้างสมการด้วยวิธี msc ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า $R=0.80$ และ $RMSECV=0.50N$ ซึ่งมีค่า R สูงสุด และค่า $RMSECV$ ต่ำสุด ดังนั้น จึงเลือกข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ msc มาสร้างสมการการทำนายระดับค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพดโดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ $R=0.87$ และ $RMSEC = 0.40 N$ นำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R=0.81$ และ $RMSEP=0.44 N$ ซึ่งแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7(a) แสดงผลการทำนายค่าค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพดในกลุ่มที่ใช้สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างสมการ และภาพที่ 4.7(b) แสดงผลการทำนายค่าค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพดในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(N)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(N)
msc	103	11	0.87	0.40	msc	54	11	0.81	0.44



ภาพที่ 4.7 แสดงผลการทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

- กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.4.2 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพด

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	120	60
Range	11.4-21	11.8-20.1
Average	16.20	16.29
SD	1.98	1.99
Unit	°Brix	°Brix
wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพดตัวอย่าง จะมีทั้งหมด 180 ตัวอย่าง โดยตารางที่ 4.16 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพดจากตาราง จะเห็นว่าข้อมูลทั้ง 180 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จะมีตัวอย่างในกลุ่ม 120 ตัวอย่าง และ 60 ตัวอย่าง ตามลำดับ สำหรับขั้นตอนการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและทดสอบสมการนั้น จะทำโดยนำตัวแปรตาม (y) ซึ่งก็คือค่าความปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มาเรียงค่าจากน้อยไปหามาก แล้วเลือกข้อมูลเพื่อใช้เป็นกลุ่มสำหรับทดสอบสมการออกมาให้ได้ 30% โดยกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะต้องมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย จากตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีค่าอยู่ที่ 11.4-21 และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าอยู่ที่ 11.8-20.1 ซึ่งการแบ่งกลุ่มวิธีนี้ จะช่วยให้ข้อมูลตัวแปรตามหรือค่าความปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่างกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ และยังช่วยลดความแปรปรวนของข้อมูลอีกด้วย

ตารางที่ 4.17 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

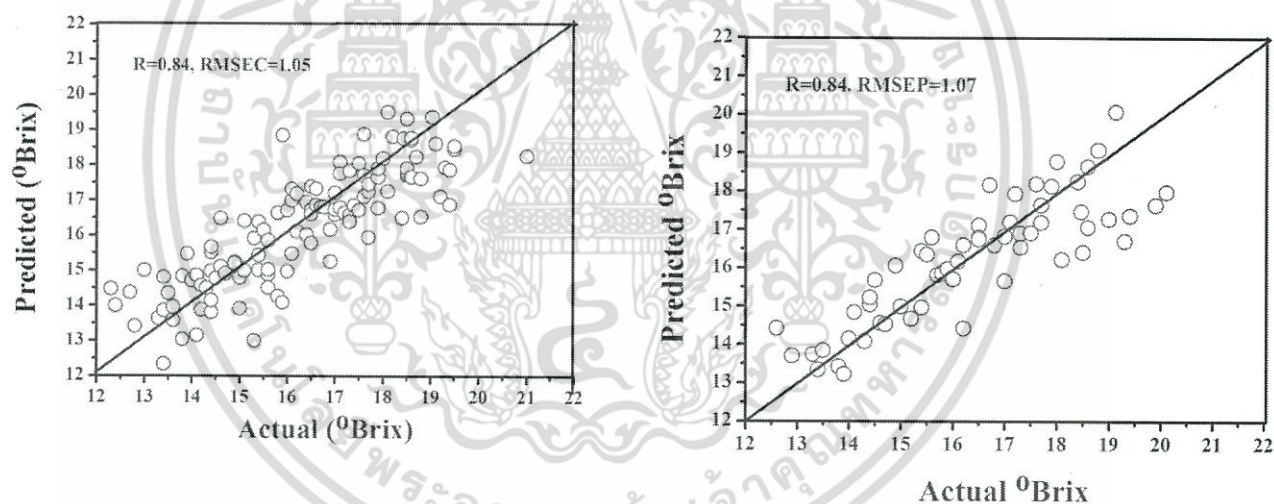
Pretreatment	N	F	R	RMSECV ($^{\circ}$ Brix)
Originaal	120	12	0.73	1.34
Smoothing	120	12	0.75	1.32
First derivative	120	8	0.74	1.33
Second derivative	120	9	0.69	1.50
MSC	120	11	0.76	1.29
Mean	120	12	0.75	1.32
SNV	120	8	0.74	1.32
Smoothing + First derivative	120	9	0.75	1.31
Smoothing + Second derivative	120	12	0.74	1.35

เมื่อแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลตัวแปรต้น หรือข้อมูลสเปกตรัมมาทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งก็มีหลายวิธีด้วยกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.17 จากตารางนี้ จะแสดงให้เห็นว่าการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี msc ให้ผลดีที่สุด คือให้ค่า R=0.76 และ RMSECV=1.29 ซึ่งพิจารณาได้จาก มีค่า R สูงสุด และมีค่าเอกซารันเป็นเอกซารันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RMSECV ต่ำสุด หลังจากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ Pretreatment ด้วยวิธี msc มาสร้างสมการ และทดสอบสมการ ซึ่งพบว่า ได้ค่า $R=0.84$, $RMSEC=1.05$ °Brix และ $R=0.84$, $RMSEP=1.07$ °Brix ตามลำดับ และนอกจากนี้ผลการทดลองยังสามารถแสดงออกมาเป็นภาพได้ดังภาพที่ 4.8 ซึ่งเป็นภาพ แสดงผลการทำนายค่าความสูงไขขาวในกลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ใน ข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(°Brix)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(°Brix)
Msc	120	11	0.84	1.05	msc	60	11	0.84	1.07



ภาพที่ 4.8 แสดงผลการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ข้าวโพด

- กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

การสร้างสมการเพื่อนำมาทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด จะใช้ตัวอย่างทั้งหมด 150 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 105 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 45 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.19 วิธีการแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการนั้นจะทำเหมือนการทดลองอื่นๆ คือ แบ่งกลุ่มโดยให้มีกลุ่มสำหรับสร้างสมการอยู่ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะต้องมีปริมาณความชื้นในข้าวโพดสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	105	45
unit	%	%
range	10.34-15.14	10.38-14.9
mean	11.97	11.86
standard deviation (SD)	0.97	0.85
wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

หลังจากนั้น นำข้อมูลสเปกตรัมในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆดังตารางที่ 4.20 ซึ่งจากตารางนี้ พบว่าวิธี msc ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า $R = 0.75$ และ $RMSECV=0.63\%$ หลังจากนั้นสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพดด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ $R=0.87$ และ $RMSEC = 0.45\%$ นำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R=0.80$ และ $RMSEP=0.2\%$ ดังตารางที่ 4.20 นอกจากนี้ ผลการทดลองเพื่อทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพดแสดงผลออกมาได้รูปภาพที่ 4.9(a) และ 4.9 (b)

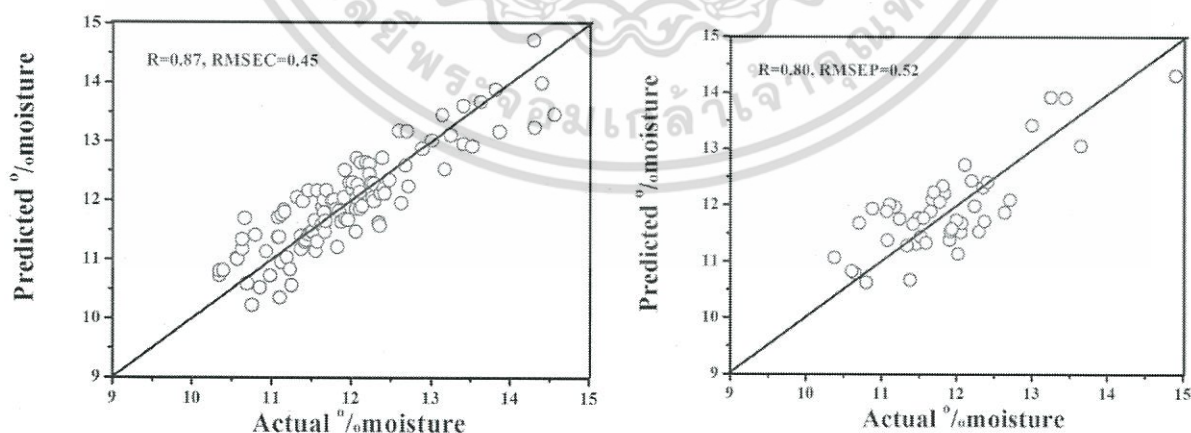
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (%)
original	105	15	0.73	0.66
Smoothing	105	18	0.75	0.65
First derivative	105	15	0.71	0.70
Second derivative	105	12	0.74	0.67
MSC	105	14	0.75	0.63
Mean	105	16	0.75	0.64
SNV	105	17	0.75	0.64
Smoothing + First derivative	105	15	0.74	0.65
smoothing + Second derivative	105	15	0.74	0.66

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(%)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(%)
Msc	105	14	0.87	0.45	Original	45	14	0.80	0.52



ภาพที่ 4.9 แสดงผลการทำนายค่าปริมาณความชื้นข้าวโพด

- กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดนี้ จะใช้ข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 180 ตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลทั้ง 180 ตัวอย่าง จะแบ่งออกเป็นกลุ่มที่สำหรับสร้างสมการจำนวน 120 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จำนวน 60 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.22 โดยจำนวนตัวอย่างของกลุ่มสร้างสมการจะต้องมีค่ามากกว่ากลุ่มสำหรับทดสอบสมการ และข้อมูลทางเคมีของกลุ่มสร้างสมการต้องครอบคลุมชุดของกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ ซึ่งตารางที่ 4.22 จะเห็นว่า ปริมาณแป้งที่วัดได้ทางเคมีในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการมีค่าอยู่ที่ 21.29-32.28 และ 22.02-30.28 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	120	60
Range	21.29-32.28	22.02-30.28
Average	26.41	26.47
SD	1.81	1.74
Unit	%	%
Wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

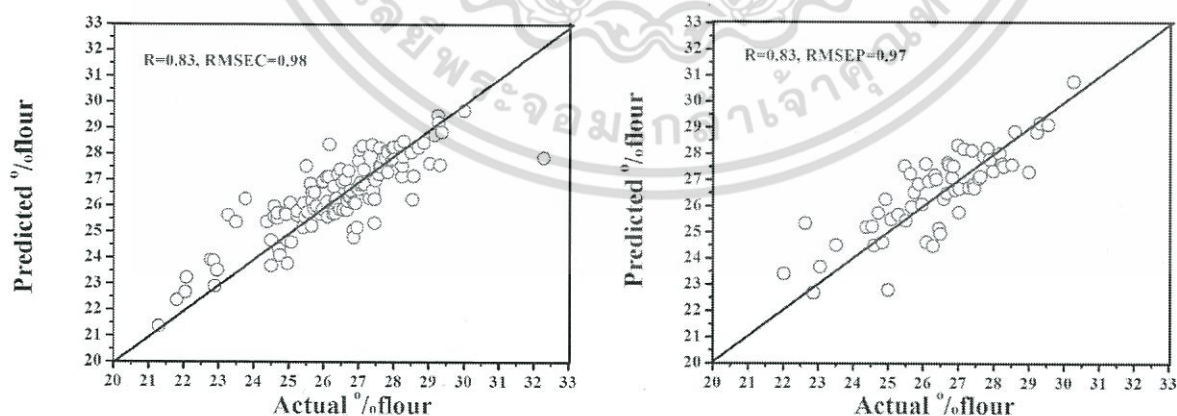
เมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการมาทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆดังตารางที่ 4.23 การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เป็นวิธีการที่กำจัดปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม จากตารางที่ 4.23 จะเห็นว่าข้อมูลที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี MSC ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ ได้ค่า $R=0.75$ และ $RMSECV=1.19\%$ นำข้อมูลที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี MSC มาสร้างสมการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดโดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) โดยพบว่า ได้ค่า $R=0.83$ และ $RMSEC=0.98\%$ และนำโมเดลมาทดสอบความแม่นยำในกลุ่มทดสอบสมการ พบว่า $R=0.83$ และ $RMSEP=0.97\%$ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.24 และแสดงได้ดังภาพที่ 4.9(a) และ 4.9(b)

ตารางที่ 4.23 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

Pretreatment	N	F	R	RMSECV(%)
Original	120	12	0.73	1.24
Smoothing	120	12	0.74	1.22
First derivative	120	9	0.72	1.26
Second derivative	120	7	0.73	1.23
MSC	120	11	0.75	1.19
mean	120	14	0.75	1.21
SNV	120	12	0.75	1.20
Smoothing + First derivative	120	11	0.74	1.22
Smoothing + Second derivative	120	11	0.73	1.25

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC	Pretreatment	N	F	R	RMSEP
Msc	120	11	0.83	0.98	msc	60	11	0.83	0.97



ภาพที่ 4.10 แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

- กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลของการใช้เทคนิค NIRs เครื่อง FT-NIR ในโหมด Reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบไม่ปอกเปลือก

4.5.1 ผลการสร้างสมการในการทำนายเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของข้าวโพด

การทำนายเนื้อสัมผัสของข้าวโพดนั้น จะทำนายในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพดตารางที่ 4.25 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายความแข็งของเมล็ดข้าวโพด โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 131 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 90 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 41 ตัวอย่าง วิธีการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการก็เหมือนกับการทดลองอื่น คือ กลุ่มสร้างสมการมีค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพดสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย สำหรับตารางที่ 4.25 พบว่าค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพดมีความแข็งอยู่ระหว่าง 10.45-13.73 นิวตันขณะที่กลุ่มสำหรับทดสอบสมการมีค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพดอยู่ระหว่าง 10.45-13.72 นิวตัน

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของข้าวโพด

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	90	41
Unit	Newton	Newton
Range	10.45-13.73	10.45-13.72
mean	12.24	12.19
standard deviation (SD)	0.78	0.78
wavelength	1000-2500 nm	1000-2500 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์

Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (N)
original	90	12	0.75	0.51
Smoothing	90	13	0.75	0.52
First derivative	90	12	0.75	0.52
Second derivative	90	13	0.75	0.52
MSC	90	11	0.74	0.53
Mean	90	12	0.74	0.53
SNV	90	9	0.74	0.52
Smoothing + First derivative	90	11	0.74	0.52
smoothing + Second derivative	90	12	0.75	0.51

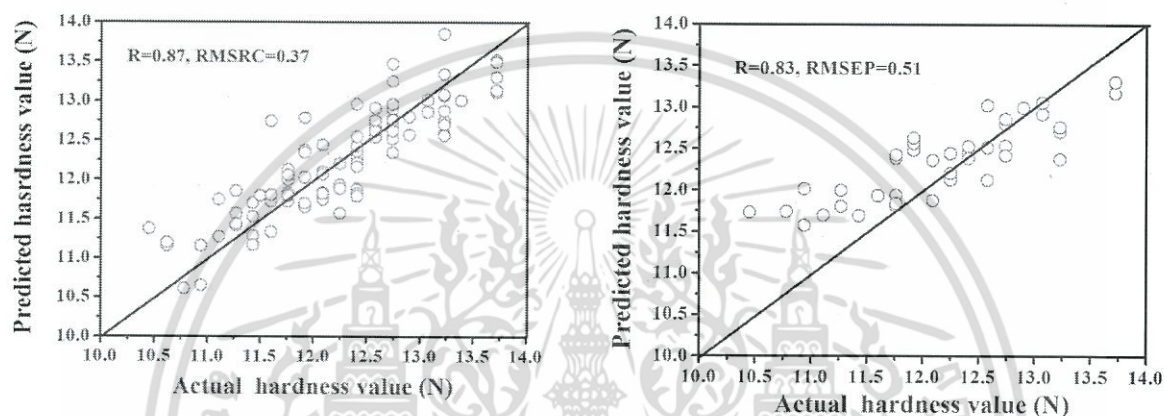
จากตารางที่ 4.26 ซึ่งเป็นตารางแสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายเนื้อสัมผัสในด้านความความแข็งด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์ ซึ่งหลังจากแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มสำหรับกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการแล้ว ให้นำกลุ่มสร้างสมการที่มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 90 ตัวอย่างมาทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ซึ่งพบว่าการสร้างสมการด้วยวิธี original ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า $R=0.75$ และ $RMSECV=0.75N$ ซึ่งมีค่า R สูงสุด และค่า $RMSECV$ ต่ำสุด ซึ่งค่า R และค่า $RMSECV$ ที่ได้นั้นเท่ากับข้อมูลสเปกตรัมที่นำมาผ่านกระบวนการ smoothing + second derivative และเมื่อพิจารณาค่า factor ก็พบว่ามีความเท่ากัน ดังนั้น จึงเลือกวิธี original มาใช้สำหรับสร้างสมการ เนื่องจากวิธี original มีความสามารถในการทำนายเท่ากับสเปกตรัมที่ผ่านกระบวนการ smoothing + second derivative

นำโมเดล original มาสร้างสมการ โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ $R=0.87$ และ $RMSEC=0.37$ นำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R=0.84$ และ $RMSEP=0.49N$ ซึ่งแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.27 และภาพที่ 4.11(a) แสดงผลการทำนายค่าความแข็งในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.11(b) แสดงผลการทำนายค่าความแข็งในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC	Pretreatment	N	F	R	RMSEP
Original	90	12	0.87	0.37	original	41	12	0.84	0.49



ภาพที่ 4.11 แสดงผลการทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

- กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.5.2 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพด

การสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเทคนิค NIR ในโหมด reflectance นี้ จะใช้ข้อมูลทั้งหมด 164 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 111 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 53 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.28 จะเป็นตารางแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพดการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) และเปรียบเทียบแบบ cross-validation โดยให้ตัวแปรต้น (x) เป็นสเปกตรัม และตัวแปรตาม (y) เป็นค่า °Brix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	111	53
Range	11.4-21	12.6-20.2
Average	16.14	16.3
SD	1.98	1.94
Unit	°Brix	°Brix
wavelength	1000-2500	1000-2500

สำหรับกลุ่มสร้างสมการจะต้องมีตัวแปรตาม (y) ซึ่งก็คือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ เมื่อทำการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการแล้ว นำข้อมูลในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆดังตารางที่ 4.29

จากตารางที่ 4.29 พบว่าข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี second derivative ให้ผลดีที่สุด คือ ให้ค่า $R = 0.81$ และ $RMSECV = 1.15$ นำข้อมูลกลุ่มที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี second derivative มาสร้างสมการและทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R = 0.93$ และ $RMSEC = 0.70$ และ $R = 0.89$ และ $RMSEP = 0.81$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.30 และภาพที่ 4.12(a) แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.12(b) แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

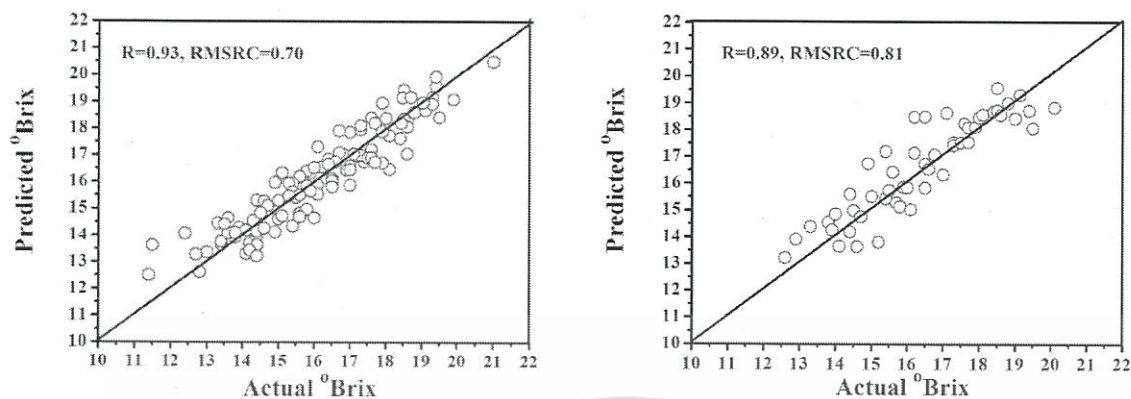
ตารางที่ 4.29 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์

Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV(^o Brix)
original	111	15	0.78	1.22
Smoothing	111	14	0.77	1.25
First derivative	111	8	0.78	1.24
Second derivative	111	5	0.81	1.15
Full MSC	111	13	0.79	1.21
Mean	111	14	0.78	1.23
SNV	111	14	0.79	1.23
Smoothing + First derivative	111	14	0.81	1.15
smoothing + Second derivative	111	6	0.79	1.20

ตารางที่ 4.30 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(^o Brix)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(^o Brix)
Second derivative	111	5	0.93	0.70	Second derivative	53	5	0.89	0.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในข้าวโพด

- กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ภาพที่ 4.12 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการจากกราฟ แกน x แสดงสเกลของค่า °Brix ที่วัดได้จากวิธีทางเคมี ส่วนแกน y แสดงสเกลของค่า °Brix ที่ได้จากการทำนาย จะเห็นได้ว่าค่าที่ทำนายได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่วัดได้ทางเคมี แสดงให้เห็นว่าโมเดลมีความแม่นยำมากที่จำทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้

4.5.3 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	102	48
Range	10.24-15.14	10.38-14.56
Average	11.93	11.95
SD	0.87	0.95
Unit	%	%
wavelength	1000-2500	1000-2500

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความชื้น จะใช้ข้อมูลตัวอย่างจำนวน 150 ตัวอย่าง แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ โดยมีกลุ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสร้างสมการจำนวน 102 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 48 ตัวอย่าง กลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10.24-15.14 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 10.38-14.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อมูลทางสถิติจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.32 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

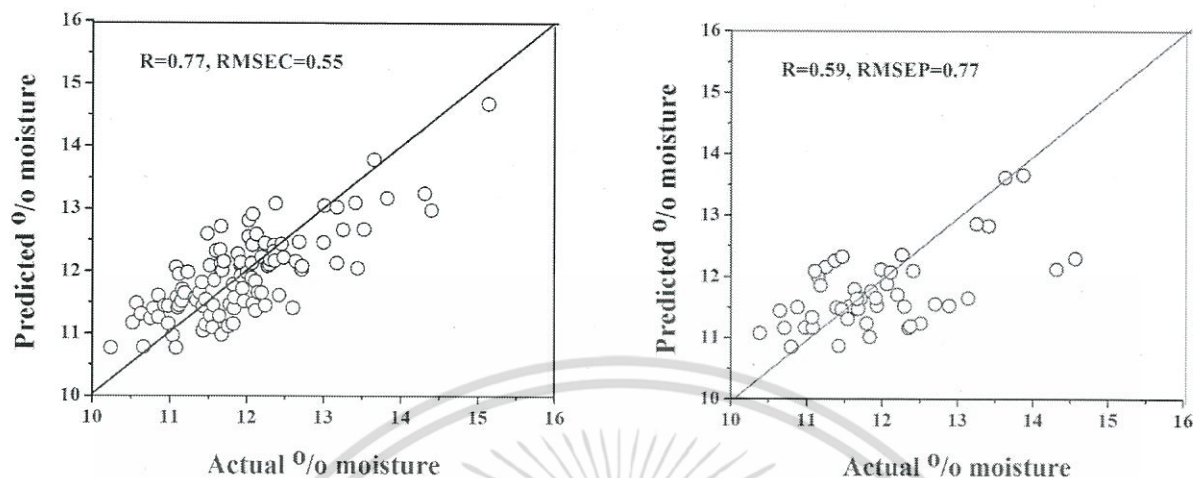
Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV(%)
original	102	4	0.73	0.58
Smoothing	102	4	0.73	0.58
First derivative	102	6	0.70	0.62
Second derivative	102	8	0.71	0.62
Full MSC	102	4	0.73	0.59
Mean	102	6	0.72	0.60
SNV	102	6	0.71	0.60
Smoothing + First derivative	102	5	0.72	0.60
smoothing + Second derivative	102	8	0.71	0.61

จากตารางที่ 4.32 พบว่าข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี original ให้ผลดีที่สุด คือ ให้ค่า $R = 0.73$ และ $RMSECV = 0.58\%$ นำข้อมูลกลุ่มที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี second derivative มาสร้างสมการและทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R = 0.77$ และ $RMSEC = 0.55\%$ และ $R = 0.59$ และ $RMSEP = 0.77\%$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.33 ภาพที่ 4.13(a) แสดงผลการทำนายปริมาณความชื้นในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.13(b) แสดงผลการทำนายปริมาณความชื้นในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.33 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC (%)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(%)
Original	102	4	0.77	0.55	original	48	4	0.59	0.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 แสดงผลการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

- (a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- (b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.5.4 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดโดยมีตัวอย่างทั้งหมด 151 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 102 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 49 ตัวอย่าง วิธีการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการก็เหมือนกับการทดลองอื่น คือ ต้องแบ่งให้กลุ่มสร้างสมการมีปริมาณแป้งในข้าวโพดสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย คือ มีปริมาณแป้งในข้าวโพดอยู่ที่ 21.29-30.28 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการมีปริมาณแป้งในข้าวโพดอยู่ที่ 22.02-30.02 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	102	49
Range	21.29-30.28	22.02-30.02
Average	26.34	26.91
SD	1.68	1.48
Unit	%	%
wavelength	1000-2500	1000-2500

ตารางที่ 4.35 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV(%)
original	102	15	0.55	1.51
Smoothing	102	9	0.54	1.51
First derivative	102	10	0.54	1.51
Second derivative	102	13	0.54	1.51
Full MSC	102	9	0.54	1.55
Mean	102	10	0.52	1.53
SNV	102	14	0.52	1.53
Smoothing + First derivative	102	15	0.55	1.51
smoothing + Second derivative	102	14	0.52	1.53

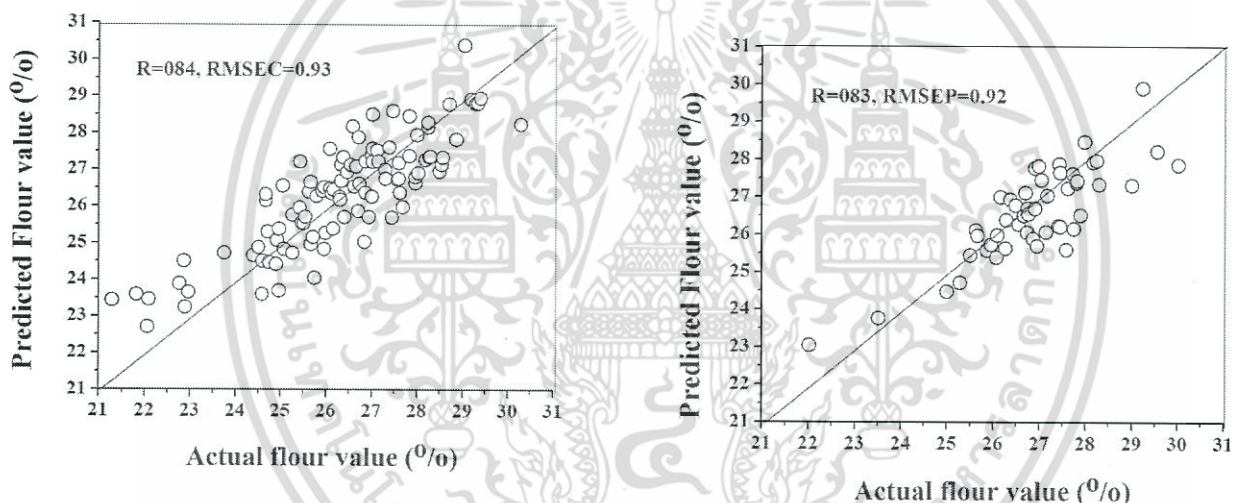
จากตารางที่ 4.35 พบว่าข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี original ให้ผลดีที่สุด คือ ให้ค่า $R = 0.55$ และ $RMSECV = 1.51\%$ นำข้อมูลกลุ่มที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี second derivative มาสร้างสมการและทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R = 0.84$ และ $RMSEC = 0.93\%$ และ $R = 0.83$ และ $RMSEP = 0.82\%$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.36 ภาพที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14(a) แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.123(b) แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.36 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณแป้ง

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(%)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(%)
original	102	15	0.84	0.93	original	49	15	0.83	0.82



ภาพที่ 4.14 แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

- (a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- (b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลของการใช้เทคนิค NIRs เครื่อง FT-NIR ในโหมด Reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบปลูกเปลือก

4.6.1 ผลการสร้างสมการในการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

ตารางที่ 4.37 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	85	40
unit	Newton	Newton
Range	10.45-13.73	10.45-13.72
mean	12.20	12.18
standard deviation (SD)	0.88	0.92
wavelength	1000-2500 nm	1000-2500 nm

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพดตัวอย่างจะมีทั้งหมด 125 ตัวอย่าง โดยตารางที่ 4.37 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพดจากตาราง จะเห็นว่า ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จะมีตัวอย่างในกลุ่ม 85 ตัวอย่าง และ 40 ตัวอย่าง ตามลำดับ สำหรับขั้นตอนการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและทดสอบสมการนั้น จะทำโดย นำตัวแปรตาม (y) ซึ่งก็คือค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพดมาเรียงค่าจากน้อยไปหามาก แล้วเลือกข้อมูลเพื่อใช้เป็นกลุ่มสำหรับทดสอบสมการออกมาให้ได้ 30% ดังนั้นข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการจะมี 70% จากตารางที่ 4.37 จะเห็นได้ว่าค่าเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพดที่วัดได้ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีค่าอยู่ที่ 10.45-13.73 N และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าอยู่ที่ 10.45-13.72 N เมื่อแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลตัวแปรต้น หรือข้อมูลสเปกตรัมมาทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งก็มีหลายวิธีด้วยกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.38 จากตารางนี้ จะแสดงให้เห็นว่าการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี second derivative ให้ผลดีที่สุด คือให้ค่า $R=0.76$ และ $RMSECV=0.58$ N ซึ่งพิจารณาได้จาก มีค่า R สูงสุด และมีค่า $RMSECV$ ต่ำสุด หลังจากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ Pretreatment ด้วยวิธี second derivative มาสร้างสมการและทดสอบสมการ ซึ่งพบว่า ได้ค่า $R=0.91$, $RMSEC=0.34$ N และ $R=0.0.85$, $RMSEP=0.51$ N ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

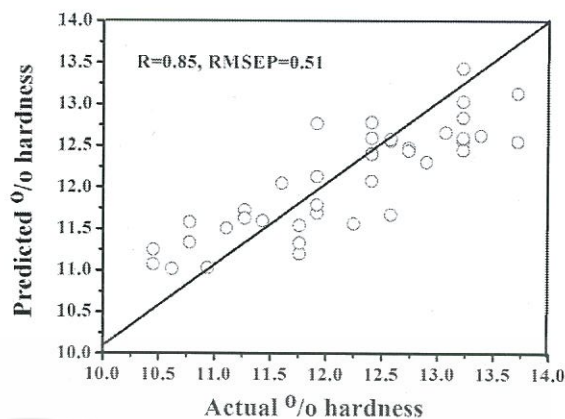
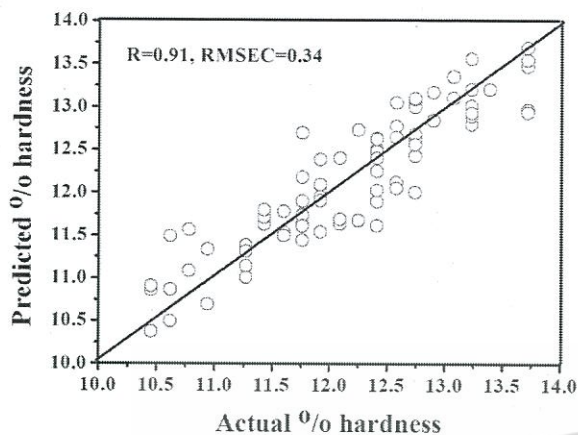
ตารางที่ 4.38 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (N)
original	85	15	0.70	0.62
Smoothing	85	15	0.73	0.59
First derivative	85	7	0.71	0.60
Second derivative	85	5	0.76	0.58
Full MSC	85	14	0.71	0.61
Mean	85	14	0.74	0.59
SNV	85	16	0.71	0.61
Smoothing + First derivative	85	10	0.71	0.61
smoothing + Second derivative	85	14	0.72	0.60

ตารางที่ 4.39 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(N)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(N)
Second derivative	85	5	0.91	0.34	Second derivative	40	5	0.85	0.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 แสดงผลการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพด

- (a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- (b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ภาพที่ 4.15(a) แสดงผลการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.15 (b) แสดงผลการทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.6.2 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ในข้าวโพด

การสร้างสมการเพื่อนำมาทำนายของแข็งที่ละลายในน้ำได้ในข้าวโพดนี้ จะใช้ตัวอย่างทั้งหมด 164 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 111 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 53 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.40 วิธีการแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการนั้นจะทำเหมือนการทดลองอื่นๆ คือ แบ่งกลุ่มโดยให้มีกลุ่มสำหรับสร้างสมการอยู่ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

ตารางที่ 4.40 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ในข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	111	53
Range	11.4-21	12.6-20.2
Average	16.29	16.38
SD	1.96	1.87
Unit	^o Brix	^o Brix
wavelength	1000-2500	1000-2500

ตารางที่ 4.41 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

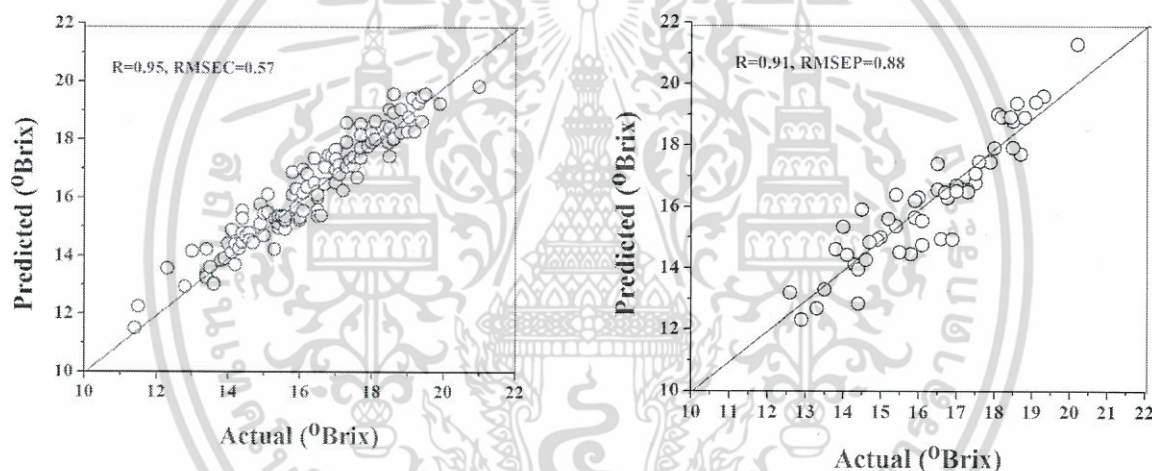
Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (^o Brix)
original	111	17	0.86	0.97
Smoothing	111	16	0.85	1.00
First derivative	111	15	0.83	1.06
Second derivative	111	17	0.85	1.00
Full MSC	111	16	0.83	1.05
Mean	111	15	0.83	1.05
SNV	111	15	0.84	1.04
Smoothing + First derivative	111	14	0.84	1.04
smoothing + Second derivative	111	16	0.85	1.00

เมื่อแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลสเปกตรัมมาทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งก็มีหลายวิธีด้วยกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.41 จากตารางนี้ จะแสดงให้เห็นว่าการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี original ให้ผลดีที่สุด คือ ให้ค่า R=0.86 และ RMSECV=0.0.97^oBrix ซึ่งพิจารณาได้จาก มีค่า R สูงสุด และมีค่า RMSECV ต่ำสุด หลังจากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี original มาสร้างสมการและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบสมการ ซึ่งพบว่า ได้ค่า $R=0.95$, $RMSEC=0.57$ °Brix และ $R=0.91$, $RMSEP=0.88$ °Brix ตามลำดับ ภาพที่ 4.16(a) แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.16(b) แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.42 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(°Brix)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(°Brix)
Original	111	17	0.95	0.57	original	53	17	0.91	0.88



ภาพที่ 4.16 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ในข้าวโพด

- (a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- (b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.6.3 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

ตารางที่ 4.43 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	102	46
Range	10.24-15.14	10.38-14.56
Average	11.97	11.86
SD	0.87	0.94
Unit	%	%
wavelength	1000-2500	1000-2500

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความชื้นในข้าวโพดจะใช้ข้อมูลตัวอย่างจำนวน 148 ตัวอย่าง แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ โดยมีกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 102 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 46 ตัวอย่าง กลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 10.24-15.14 และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 10.38-14.56 ซึ่งข้อมูลทางสถิติจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.43

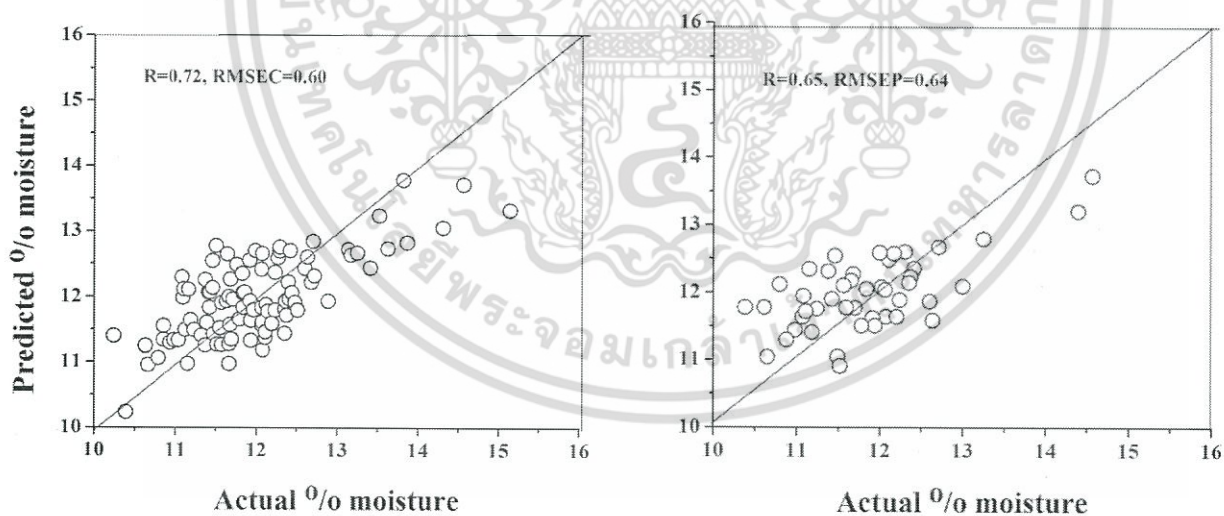
ตารางที่ 4.44 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความชื้นด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (%)
original	102	9	0.57	0.72
Smoothing	102	8	0.55	0.73
First derivative	102	9	0.55	0.72
Second derivative	102	10	0.55	0.74
Full MSC	102	9	0.56	0.74
Mean	102	11	0.56	0.74
SNV	102	11	0.55	0.74
Smoothing + First derivative	102	11	0.57	0.72
smoothing + Second derivative	111	10	0.57	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลสเปกตรัมมาทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งก็มีหลายวิธีด้วยกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.44 จากตารางนี้ จะแสดงให้เห็นว่าการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี original ให้ผลดีที่สุด คือให้ค่า $R=0.57$ และ $RMSECV=0.72\%$ ซึ่งพิจารณาได้จาก มีค่า R สูงสุด และมีค่า $RMSECV$ ต่ำสุด หลังจากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ Pretreatment ด้วยวิธี original มาสร้างสมการและทดสอบสมการ ซึ่งพบว่า ได้ค่า $R=0.72$, $RMSEC=0.60\%$ และ $R=0.65$, $RMSEP=0.64\%$ ตามลำดับ ภาพที่ 4.18(a) แสดงผลการทำนายปริมาณความชื้นของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.17 (b) แสดงผลการทำนายปริมาณความชื้นของกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ตารางที่ 4.45 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณความชื้น

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC(%)	Pretreatment	N	F	R	RMSEP(%)
Original	102	9	0.72	0.60	original	46	9	0.65	0.64



ภาพที่ 4.17 แสดงผลการทำนายปริมาณความชื้น

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 ผลการสร้างสมการในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด ตัวอย่างจะมีทั้งหมด 151 ตัวอย่าง โดยตารางที่ 4.46 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดจากตารางจะเห็นว่า ข้อมูลทั้ง 151 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จะมีตัวอย่างในกลุ่ม 102 ตัวอย่าง และ 49 ตัวอย่าง ตามลำดับ

สำหรับขั้นตอนการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและทดสอบสมการนั้น จะทำโดย นำตัวแปรตาม (y) ซึ่งก็คือปริมาณแป้งมาเรียงค่าจากน้อยไปหามาก แล้วเลือกข้อมูลเพื่อใช้เป็นกลุ่มสำหรับทดสอบสมการออกมา โดยทุก 3 ข้อมูล จะทำการเลือก 1 ข้อมูลออกเป็นกลุ่มทดสอบสมการ สุดท้ายแล้วกลุ่มทดสอบสมการจะมีข้อมูลอยู่ที่ 30% โดยกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะต้องมีปริมาณแป้งในข้าวโพดสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย จากตารางที่ 4.46 จะเห็นได้ว่าปริมาณแป้งในข้าวโพดที่วัดได้ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ จะมีค่าอยู่ที่ 1.21.29-30.28% และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าอยู่ที่ 122.02-30.02% ซึ่งการแบ่งกลุ่มวิธีนี้ จะช่วยให้ข้อมูลตัวแปรตามหรือปริมาณแป้งในข้าวโพดเกิดการกระจายตัวระหว่างกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ และยังช่วยลดความแปรปรวนของข้อมูลอีกด้วย

ตารางที่ 4.46 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

Items	Calibration set	Prediction set
N	102	49
Range	21.29-30.28	22.02-30.02
Average	26.42	26.35
SD	1.78	1.87
Unit	%	%
wavelength	1000-2500	1000-2500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.47 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณแฉ่งในข้าวโพดด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

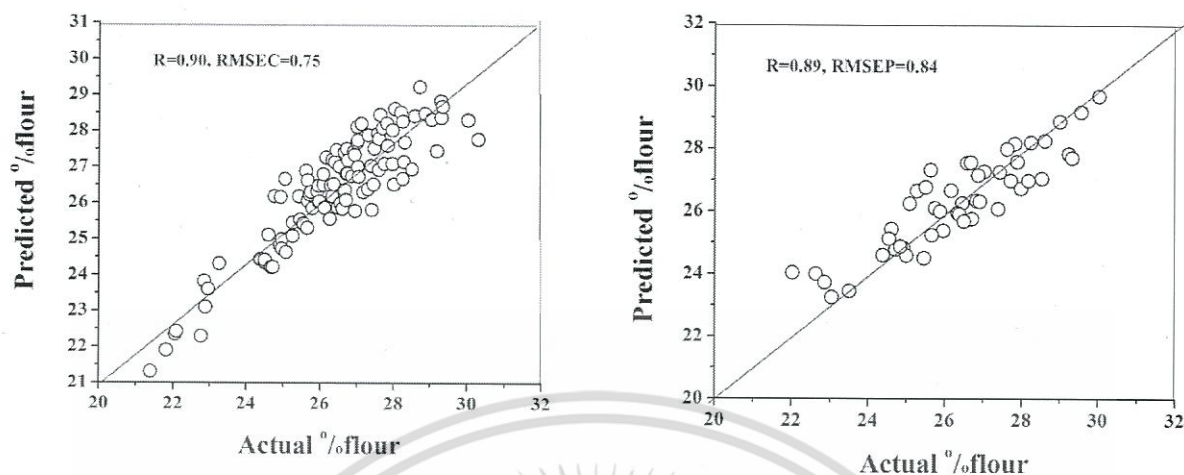
Spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (%)
original	102	12	0.85	0.93
Smoothing	102	11	0.84	0.96
First derivative	102	13	0.85	0.94
Second derivative	102	12	0.84	0.94
Full MSC	102	14	0.84	0.94
Mean	102	15	0.84	0.96
SNV	102	12	0.83	0.98
Smoothing + First derivative	102	11	0.83	0.98
smoothing + Second derivative	111	14	0.84	0.95

เมื่อแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลสเปกตรัมมาทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งก็มีหลายวิธีด้วยกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.47 จากตารางนี้ จะแสดงให้เห็นว่าการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี original ให้ผลดีที่สุดคือให้ค่า $R=0.85$ และ $RMSECV=0.93\%$ ซึ่งพิจารณาได้จาก มีค่า R สูงสุด และมีค่า $RMSECV$ ต่ำสุด หลังจากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี original มาสร้างสมการและทดสอบสมการ ซึ่งพบว่า ได้ค่า $R=0.90$, $RMSEC=0.75\%$ และ $R=0.89$, $RMSEP=0.84\%$ ตามลำดับ ภาพที่ 4.19(a) แสดงผลการทำนายปริมาณแฉ่งของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.19 (b) แสดงผลการทำนายปริมาณแฉ่งของกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.48 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณแฉ่งในข้าวโพด

Calibration set					Prediction set				
Pretreatment	N	F	R	RMSEC	Pretreatment	N	F	R	RMSEP
Original	102	12	0.90	0.75	original	49	12	0.89	0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 แสดงผลการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพด

- (a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ
- (b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.7 ผลของการใช้เทคนิค NIR hyperspectral imaging ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก

การใช้เทคนิค NIR hyperspectral imaging เพื่อตรวจสอบคุณภาพข้าวโพดนั้น มีข้อดีกว่าการใช้เทคนิค NIR แบบดั้งเดิม เนื่องจากเทคนิค NIR hyperspectral imaging จะแสดงภาพสีออกมา ซึ่งภาพสีที่แสดงออกมานั้นจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพข้าวโพด

สำหรับในงานทดลองนี้จะตรวจวัดคุณภาพข้าวโพด โดยการนำเครื่อง NIR hyperspectral imaging มาสแกนลงบนข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือก เนื่องจากข้อจำกัดของที่ใส่ตัวอย่างของเครื่อง NIR hyperspectral imaging มีขนาดเล็ก ไม่สามารถสแกนข้าวโพดได้ทั้งฝัก จึงต้องตัดแบ่งข้าวโพดออกเป็น 3 ส่วน คือ ต้นฝัก กลางฝัก และท้ายฝัก ทำการสแกนข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือกที่ละส่วน คือ ต้นฝัก กลางฝักและท้ายฝัก หลังจากนั้นนำข้าวโพดออกมาปอกเปลือกให้หมด รวมทั้งเอาเส้นใยที่ติดกับฝักข้าวโพดออกให้หมด แล้วทำการสแกนข้าวโพดที่ละส่วนอีกครั้ง สำหรับข้าวโพดนั้นที่นำมาทดลองนั้น จะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน คือ 0, 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง เมื่อสแกนข้าวโพดทั้งแบบไม่ปอกเปลือกและปอกเปลือกเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการตรวจสอบคุณภาพของข้าวโพดโดยคุณภาพที่ทำการตรวจสอบนั้น ประกอบไปด้วยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวโพด และปริมาณแป้งในข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.49 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายคุณภาพในข้าวโพด

	Items	Items	The calibration set	The prediction set
Sweet corn with husk	SSC	Number of sample	105	45
		Range	12.7-20.1	12.9-19.5
		Mean	16.35	16.33
		standard deviation	1.87	1.84
		unit	°Brix	°Brix
	Hardness	Number of sample	97	53
		Range	10.62-13.72	10.64-13.70
		Mean	12.20	12.16
		standard deviation	0.76	0.78
		unit	N	N
	Flour	Number of sample	100	50
		Range	21.29-30.02	22.02-29.55
		Mean	26.45	26.44
		standard deviation	1.60	1.71
		unit	%	%
Sweet corn without husk	SSC	Number of sample	105	45
		Range	12.7-20.1	12.9-19.5
		Mean	16.41	16.43
		standard deviation	1.78	1.76
		unit	°Brix	°Brix
	Hardness	Number of sample	101	49
		Range	10.62-13.72	10.64-13.70
		Mean	12.32	12.20
		standard deviation	0.77	0.80
		unit	N	N
	Flour	Number of sample	105	45
		Range	21.29-30.02	22.02-29.55
		Mean	26.34	26.34
		standard deviation	1.74	1.72
		unit	%	%

การสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging โดยจะเก็บข้อมูลข้าวโพดจำนวน 150 แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ สำหรับกลุ่มสร้างสมการซึ่งมีตัวอย่างมากกว่ากลุ่มทดสอบสมการ ซึ่งในกลุ่มสร้างสมการจะต้องมีค่าเคมีต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วยข้อมูลทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายคุณภาพในข้าวโพดแสดงได้ดังตารางที่ 4.49 จะเห็นได้ว่ากลุ่มสร้างสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณความชื้น และปริมาณแป้งที่แสดงค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มสร้างสมการ

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตร โดยจะนำตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการมาสร้างโมเดลจากนั้นทำนายคุณภาพข้าวโพดจากโมเดลที่สร้างได้ แล้วนำผลภาพที่ทำนายได้ไปตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง

สำหรับตารางที่ 4.50 เป็นการแสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม (pretreatments) ที่ได้ทำการวิเคราะห์มีหลายวิธี เช่น Smoothing, first derivative, Second derivative, Multiplicative scatter correction (MSC), and Standard normal variate (SNV) เมื่อข้อมูลผ่านการทำ pretreatments แล้ว จะพิจารณาค่า R และ RMSECV โดยค่า R จะต้องมียค่าสูงสุด และ RMSECV จะต้องมียค่าต่ำสุดด้วย จากตารางที่ 4.50 จะเห็นได้ว่าโมเดลที่ใช้สร้างสมการและทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มันข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือกนั้นนั้น วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมโดยวิธี Smoothing ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ $R = 0.83$ และ $RMSECV = 1.05$ °Brix และวิธีแบบ Original ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ $R = 0.84$ และ $RMSECV = 1.02$ °Brix

โมเดลที่ใช้สร้างสมการและทำนายค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพดนั้น พบว่าวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมโดยวิธี Smoothing ให้ผลดีที่สุดในการสร้างสมการทำนายค่าเนื้อสัมผัสของข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก คือ ได้ $R = 0.83$ และ $RMSECV = 0.40N$ ขณะที่โมเดลแบบ Original ให้ผลดีที่สุดในการสร้างสมการทำนายค่าเนื้อสัมผัสของข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก คือ ได้ $R = 0.86$ และ $RMSECV = 0.36N$

โมเดลที่ใช้สร้างสมการและทำนายแป้งในข้าวโพดนั้น พบว่า วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมโดยวิธี Smoothing ให้ผลดีที่สุดในการสร้างสมการทำนายค่าเนื้อสัมผัสของข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและผ่านการปอกเปลือก คือ ได้ $R = 0.82$, $RMSECV = 0.46\%$ และ $R = 0.89$ และ $RMSECV = 0.77\%$ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.50 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง

Soluble solid content								
Spectral pretreatments	Sweet corn with husk				Sweet corn without husk			
	N	F	R	RMSECV(°Brix)	N	F	R	RMSECV(°Brix)
Original	105	12	0.80	1.11	105	5	0.84	1.02
Smoothing	105	5	0.83	1.05	105	9	0.81	1.03
First derivative	105	11	0.83	1.05	105	11	0.81	1.04
Second derivative	105	11	0.83	1.07	105	12	0.83	1.00
MSC	105	11	0.83	1.05	105	9	0.82	1.03
SNV	105	11	0.83	1.03	105	11	0.83	0.98
Hardness value								
Spectral pretreatments	Sweet corn with husk				Sweet corn without husk			
	N	F	R	RMSECV(N)	N	F	R	RMSECV(N)
Original	97	7	0.83	0.41	101	5	0.86	0.36
Smoothing	97	6	0.83	0.40	101	12	0.84	0.36
First derivative	97	11	0.82	0.42	101	8	0.83	0.37
Second derivative	97	6	0.82	0.42	101	11	0.84	0.36
MSC	97	4	0.82	0.42	101	5	0.85	0.35
SNV	97	7	0.83	0.41	101	7	0.86	0.34
Flour value								
Spectral pretreatments	Sweet corn with husk				Sweet corn without husk			
	N	F	R	RMSECV(%)	N	F	R	RMSECV(%)
Original	100	4	0.82	0.87	105	8	0.86	0.88
Smoothing	100	4	0.82	0.86	105	5	0.89	0.77
First derivative	100	5	0.81	0.90	105	10	0.86	0.87
Second derivative	100	5	0.80	0.90	105	9	0.85	0.89
MSC	100	4	0.80	0.91	105	7	0.85	0.89
SNV	100	4	0.80	0.90	105	9	0.85	0.89

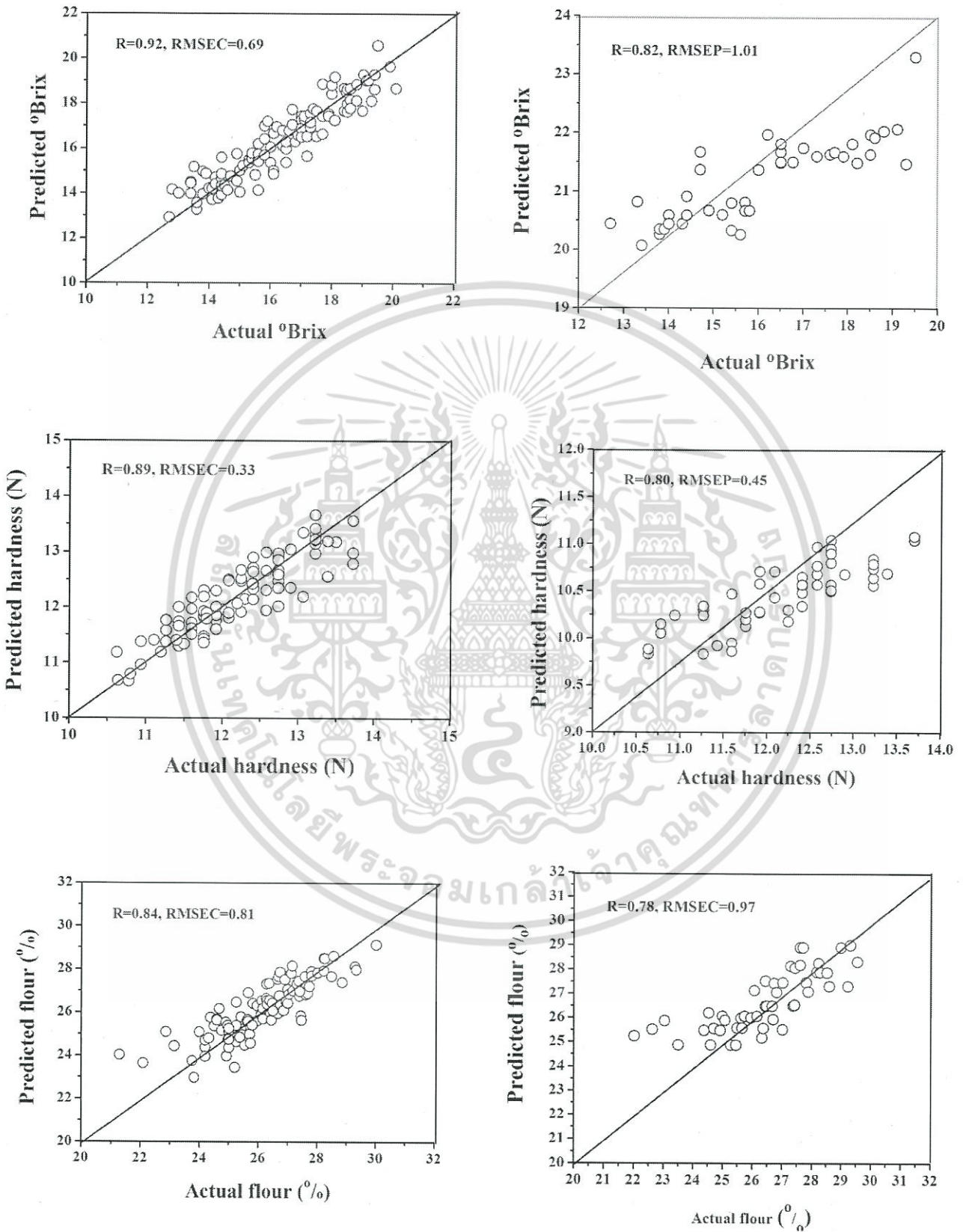
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.51 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายคุณภาพในข้าวโพด

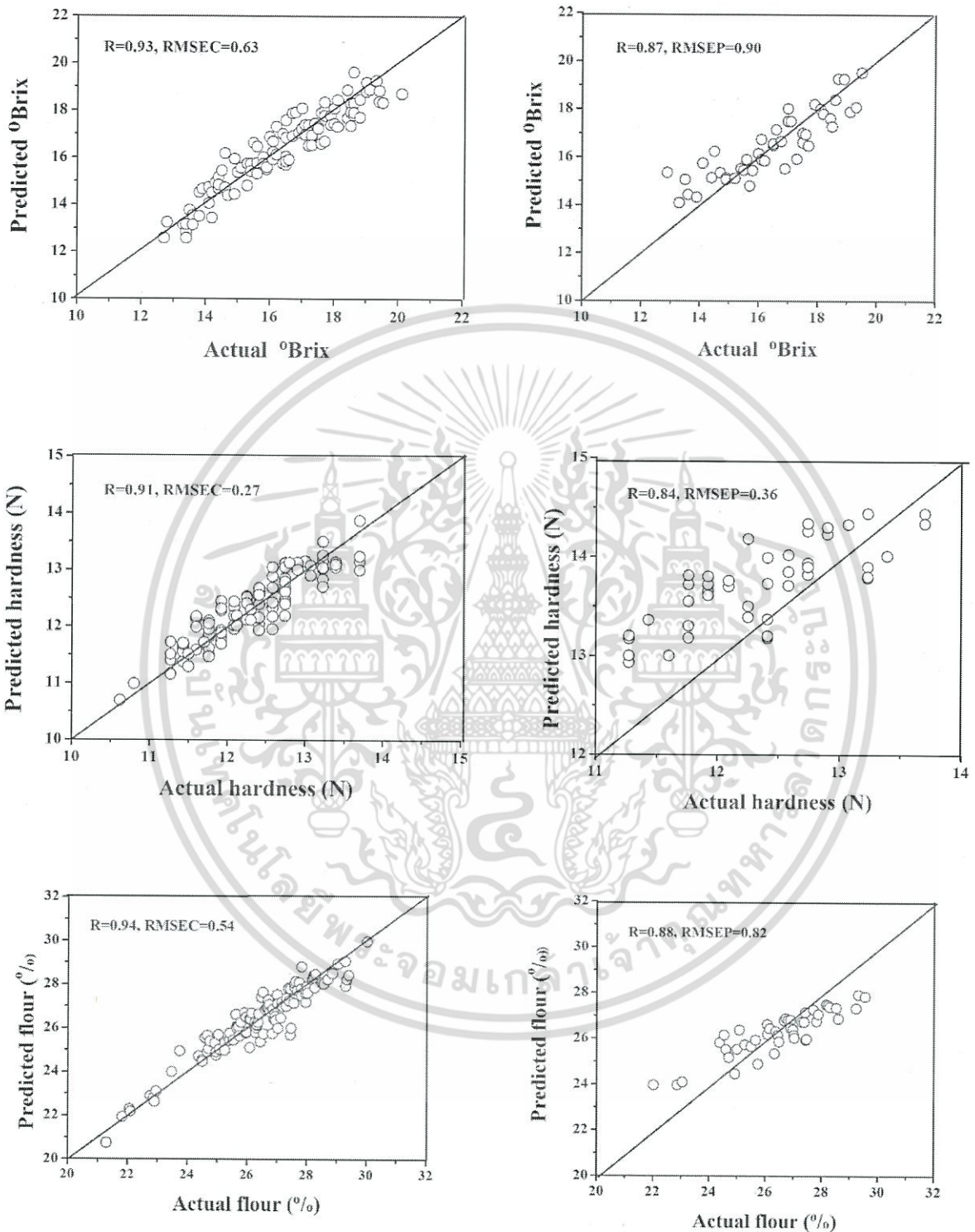
Soluble solid content				
Items	Sweet corn with husk		Sweet corn without husk	
	Calibration set	Prediction set	Calibration set	Prediction set
N	105	45	105	45
Model	Smoothing	Smoothing	Original	Original
F	5	5	5	5
R	0.92	0.82	0.93	0.87
RMSEC/ RMSEP	0.69	1.01	0.63	0.90
Hardness value				
Items	Sweet corn with husk		Sweet corn without husk	
	Calibration set	Prediction set	Calibration set	Prediction set
N	97	53	101	49
Model	Smoothing	Smoothing	Original	Original
F	6	6	5	5
R	0.89	0.80	0.91	0.84
RMSEC/ RMSEP	0.33	0.45	0.27	0.36
Flour value				
Items	Sweet corn with husk		Sweet corn without husk	
	Calibration set	Prediction set	Calibration set	Prediction set
N	100	50	105	45
Model	Smoothing	Smoothing	Smoothing	Smoothing
F	4	4	5	5
R	0.84	0.78	0.94	0.88
RMSEC/ RMSEP	0.81	0.97	0.54	0.82

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายคุณภาพในข้าวโพด เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งและปริมาณแป้งแสดงได้ดังตารางที่ 4.51 และภาพที่ 4.20 และ 4.21 ตามลำดับโดยภาพที่ 4.20 เป็นกราฟที่พลอตระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายคุณภาพข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือก ขณะที่ภาพที่ 4.21 เป็นกราฟที่พลอตระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายคุณภาพข้าวโพดที่ยังผ่านการปอกเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



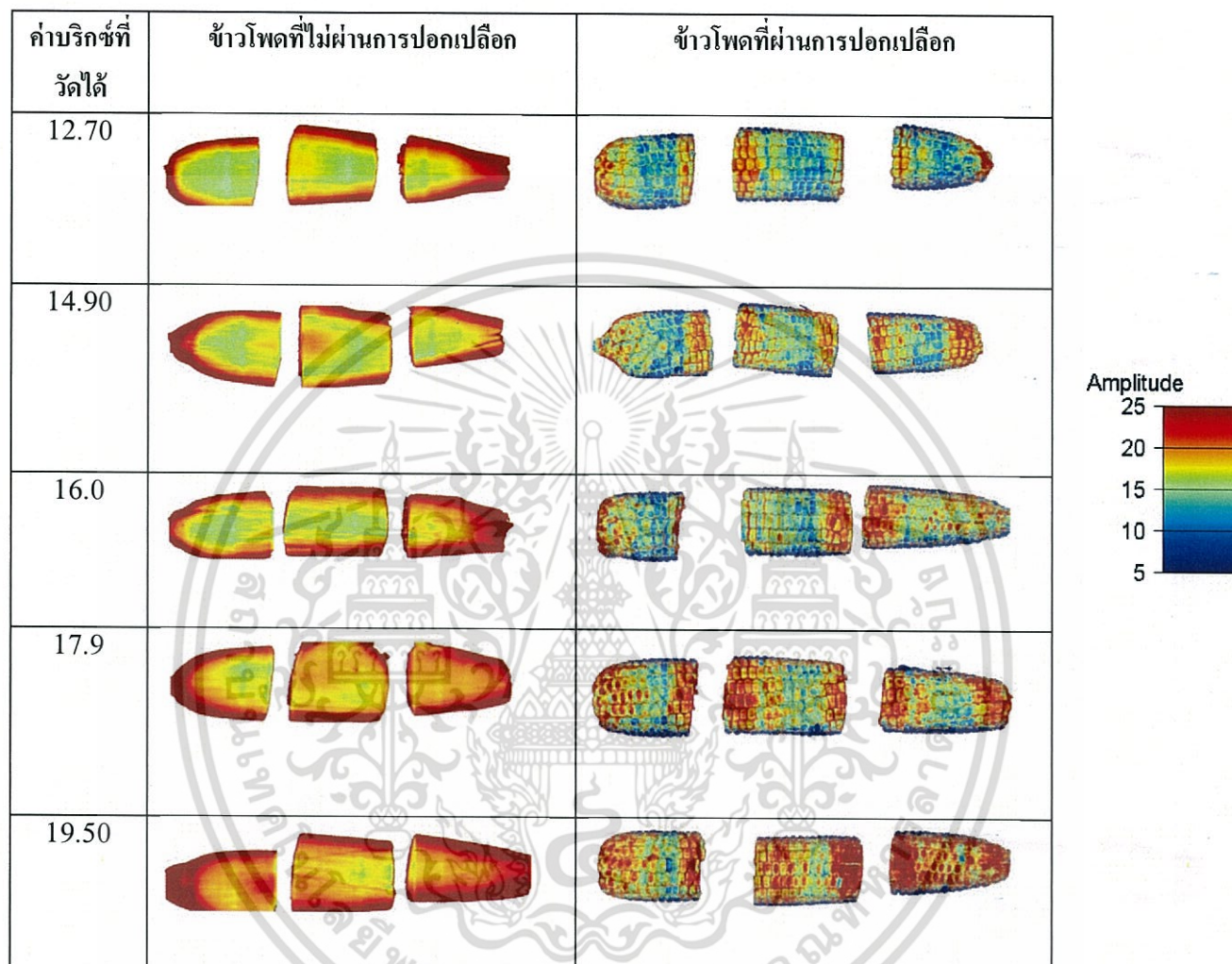
ภาพที่ 4.19 ผลอัตรหว่านค่าจริงและค่าที่ทำนายคุณภาพข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 ผลอัตรหว่านค่าจริงและค่าที่ทำนายคุณภาพข้าวโพดที่ยังผ่านการปกเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

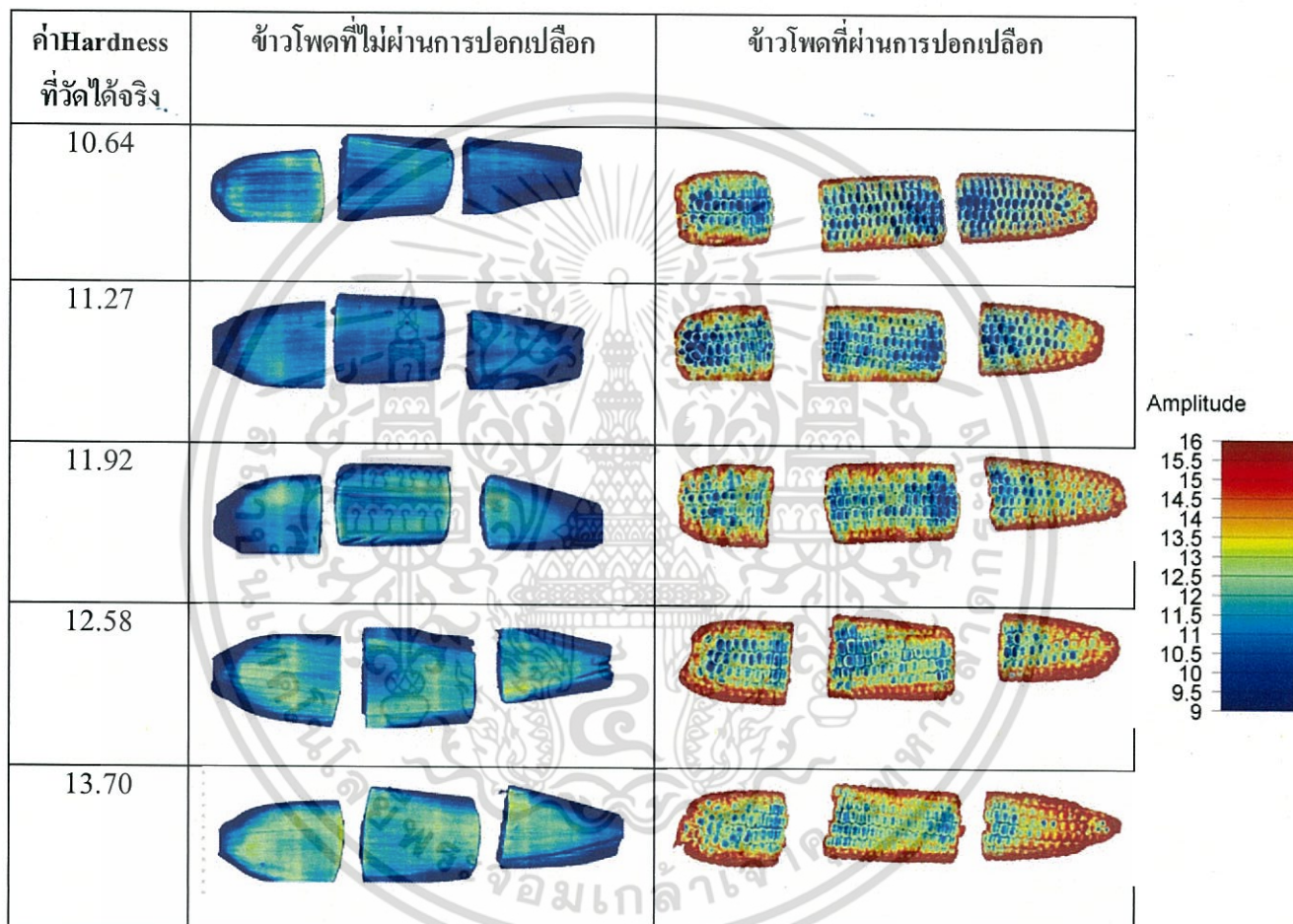
ตารางที่ 4.52 แสดงภาพทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก



ตารางที่ 4.52 แสดงภาพทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือกสำหรับข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก จะพบว่าถ้ามีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ต่ำ จะแสดงเฉดสีเหลืองปนสีฟ้า แต่ถ้าข้าวโพดฝักใดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้สูงจะแสดงเฉดสีเหลืองปนสีแดง ซึ่งแนวโน้มพบว่า ยิ่งมีค่าปริมาณของแข็งละลายในน้ำได้มากเพียงใด ยิ่งแสดงเฉดสีแดงมากขึ้น ในขณะที่ภาพการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ในข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก พบว่า ถ้ามีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ต่ำ จะแสดงเฉดสีฟ้าซึ่งเป็นสีแดงเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าข้าวโพดฝักใดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้สูงจะแสดงพื้นที่เฉดสีแดงมากกว่าพื้นที่เฉดสีฟ้า เมื่อพิจารณาแล้วเปรียบเทียบภาพทำนายระหว่างข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก พบว่า ภาพการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ แสดงสีได้ออกมาใกล้เคียงกับค่าปริคซ์ที่วัดได้จริงมากกว่าภาพการทำนายของข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก

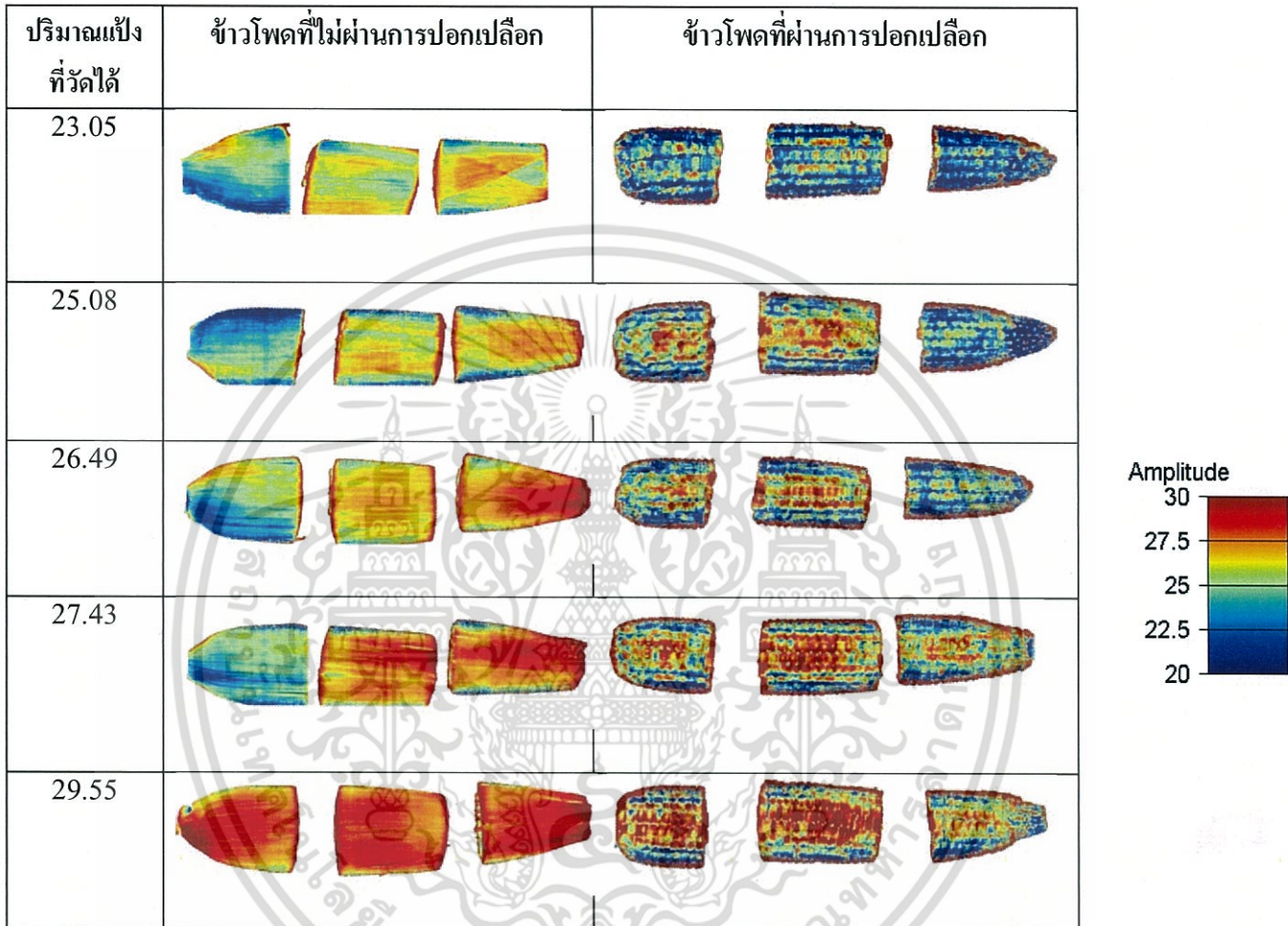
ตารางที่ 4.53 แสดงภาพทำนายปริมาณค่าเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของเมล็ดข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก



ตารางที่ 4.53 แสดงภาพทำนายค่าเนื้อสัมผัสในข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือกสำหรับข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก จะพบว่าถ้ามีค่าเนื้อสัมผัสต่ำ จะแสดงเฉดสีน้ำเงินเข้ม แต่ถ้าข้าวโพดฝักใดมีค่าเนื้อสัมผัสสูงจะแสดงเป็นเฉดสีฟ้าอ่อนและมีสีเหลืองปน ในขณะที่ภาพการทำนายค่าในข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก พบว่า ถ้ามีค่าเนื้อสัมผัสต่ำ จะแสดงพื้นที่เฉดสีน้ำเงินเข้มมากที่สุด แต่ถ้าข้าวโพดฝักใดมีค่าเนื้อสัมผัสสูงจะแสดงพื้นที่เฉดสีฟ้าอ่อนปนสีฟ้าอ่อน โดยพบว่า ถ้าข้าวโพดฝักใดมีค่าเนื้อสัมผัสสูง สีที่ทำนายได้จะมีสีน้ำเงินลดลง และภาพจะแสดงเป็นสีฟ้ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.54 แสดงภาพทำนายปริมาณแป้งของข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก



ตารางที่ 4.54 แสดงภาพทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือกสำหรับข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก จะพบว่าถ้ามีปริมาณแป้งต่ำ จะแสดงพื้นที่สีเหลืองปนสีฟ้า แต่ถ้าข้าวโพดฝักใดมีปริมาณแป้งสูงจะแสดงพื้นที่ภาพการทำนายเป็นสีแดง ในขณะที่ภาพการทำนายค่าในข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก พบว่า ถ้ามีปริมาณแป้งต่ำ จะแสดงพื้นที่เฉดสีน้ำเงินเข้มมากที่สุด แต่ถ้าข้าวโพดฝักใดมีค่าเนื้อสัมผัสสูงจะแสดงพื้นที่เฉดสีสีแดง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้ เป็นการทดลองเพื่อทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวาน โดยทำการตรวจสอบคุณภาพข้าวโพดหวานที่มีอายุหลังการเก็บที่ต่างกัน คือ มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่ 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 30 ชั่วโมงและ 36 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่ต่างกันมาตรวจสอบคุณภาพโดยใช้เทคนิค NIRs โดยเครื่อง NIR ที่ใช้จะมี 3 แบบ ซึ่งมีความยาวคลื่นที่ต่างกัน คือ NIR-Gun ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ที่ 588-1091 นาโนเมตร เครื่อง FT-NIR มีความยาวคลื่นอยู่ที่ 588-1091 นาโนเมตร 1000-2500นาโนเมตร และเครื่อง NIR hyperspectral imaging มีความยาวคลื่นอยู่ที่ 900-1700 นาโนเมตร การสแกนข้าวโพดด้วยเครื่อง NIR นั้น จะสแกนลงในข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก ตำแหน่งที่สแกนจะเป็นตำแหน่งต้นฝัก กลางฝักและท้ายฝัก

สำหรับคุณภาพที่ใช้ในการตรวจสอบมี ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ปริมาณความชื้น ปริมาณแป้งและเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพดในด้านความแข็ง คุณภาพที่ตรวจสอบนี้สามารถใช้เป็นดัชนีในการบ่งบอกถึงความสดใหม่ของข้าวโพดซึ่งมีระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวต่างกัน ข้าวโพดหวานที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมาก ปริมาณความหวานจะลดลง น้ำตาลจะเปลี่ยนไปเป็นแป้งมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันข้าวโพดก็จะมีเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนไป คือ มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น ผลการทดลองทั้งหมด จะสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบคุณภาพภายในข้าวโพดหวานที่ไม่ปอกเปลือก ใช้เครื่อง NIR-GUN ในโหมด Interactance
 - ความแม่นยำในการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ได้ค่า $R=0.80$ และ $RMSEP = 0.47 N$
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ได้ค่า $R=0.77$ และ $RMSEP = 1.23^{\circ}Brix$
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณความชื้นได้ค่า $R=0.71$ และ $RMSEP = 0.72\%$
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดได้ค่า $R= 0.80$ และ $RMSEP = 1.09\%$
2. ตรวจสอบคุณภาพภายในข้าวโพดหวานที่ผ่านการปอกเปลือก ใช้เทคนิค NIR-GUN ในโหมด Interactance
 - ความแม่นยำในการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ได้ค่า $R=0.81$ และ $RMSEP = 0.44 N$
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ได้ค่า $R=0.84$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ RMSEP =1.07 °Brix

- ความแม่นยำในการทำนายปริมาณความชื้นได้ค่า R=0.80 และ RMSEP =0.52%
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดได้ค่า R=0.83 และ RMSEP =0.97%
3. ตรวจสอบคุณภาพภายในข้าวโพดหวานที่ไม่ปกเปลือก ใช้ เครื่อง FT-NIR ในโหมด Reflectance
- ความแม่นยำในการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ได้ค่า R=0.84 และ RMSEP =0.49 N
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ได้ค่า R=0.89 และ RMSEP =0.81 °Brix
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณความชื้นได้ค่า R=0.59 และ RMSEP =0.77%
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดได้ค่า R=0.83 และ RMSEP =0.82%
4. ตรวจสอบคุณภาพภายในข้าวโพดหวานที่ผ่านเปลือก ใช้ เครื่อง FT-NIR ในโหมด Reflectance
- ความแม่นยำในการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ได้ค่า R=0.85 และ RMSEP =0.51N
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ได้ค่า R=0.91 และ RMSEP =0.88 °Brix
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณความชื้นได้ค่า R=0.65 และ RMSEP =0.64%
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดได้ค่า R=0.89 และ RMSEP =0.84%
5. ตรวจสอบคุณภาพภายในข้าวโพดหวานที่ไม่ปกเปลือก โดยใช้ hyperspectral imaging ในโหมด Reflectance
- ความแม่นยำในการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ได้ค่า R=0.80 และ RMSEP =0.45N
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ได้ค่า R=0.82 และ RMSEP =1.01 °Brix
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดได้ค่า R=0.78 และ RMSEP =0.97%
6. ตรวจสอบคุณภาพภายในข้าวโพดหวานที่ผ่านเปลือก โดยใช้ hyperspectral imaging ในโหมด Reflectance
- ความแม่นยำในการทำนายเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพด ได้ค่า R=0.84 และ RMSEP =0.36N
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ได้ค่า R=0.87 และ RMSEP = 0.90 °Brix
 - ความแม่นยำในการทำนายปริมาณแป้งในข้าวโพดได้ค่า R=0.88 และ RMSEP = 0.82%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เทคนิค NIRhyperspectral imaging นั้น เพื่อทำนายคุณภาพข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปอกเปลือกและผ่านการปอกเปลือกนั้น จะแสดงภาพทำนายออกมาเป็นเจดสี ซึ่งเจดสีที่ได้นั้น จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะคุณภาพข้าวโพด ซึ่งจากการทดลองนี้ พบว่า ภาพสีที่ทำนายคุณภาพภายในของข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือกนั้น ให้ความแม่นยำมากกว่าภาพสีที่ทำนายได้จากข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือก ซึ่งเป็นไปได้ว่า ข้าวโพดที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือกนั้น มีเปลือกข้าวโพด ส่งผลให้เครื่อง NIRhyperspectral imaging ที่ใช้นั้น เป็นโหมด Reflectance ส่งคลื่นแสง NIR ที่มีอำนาจทะลุทะลวงได้ไม่ดีเท่ากับข้าวโพดที่ผ่านการปอกเปลือก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2543. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดหวาน. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

โครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ด้านเกษตร เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว คู่มือนักส่งเสริมวิชาการเกษตร ข้าวโพด. 2551. [ระบบออนไลน์].

แหล่งที่มา <http://agebook.lib.ku.ac.th/ebooks/2011/2011-005-0086/index.html#/1/zoomed> (28 เมษายน 2557)

นิพนธ์ตั้งคณารักษ์. 2545. หลักพื้นฐานเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ: 39 - 66

มาตรฐานสินค้าเกษตร. 2555. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ศิริลักษณ์ ศิริกุล. 2549. ผลกระทบของสภาพแวดล้อมที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพในข้าวโพดหวานลูกผสม. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศุมาพร เกษมตำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. หน้า 131-151. ใน: วารุณี ธนะแพทย์, อนุพันธ์ เท็ดวงส์วรกุล และชัชชัย สุวรรณสิทธิพันธ์, (ผู้รวบรวม), การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตรฐานสินค้านำเข้าส่งออก กรมการค้าต่างประเทศ. 2560. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<http://www.dft.go.th/Default.aspx?tabid=164> (15 เมษายน 2560)

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. [ระบบออนไลน์].

แหล่งที่มา http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae_baer/ewt_news.php?nid=407&filename=index (15 เมษายน 2560)

ไสว พงษ์เก่า. 2534. พีชเศรษฐกิจ เล่ม 1. ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 478 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AOAC International. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC. International. 17th ed. AOAC.

International, Arlington, USA.

Branes, R. J., Dhanoa, M.S. and Lister, S. J. 1989. Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. *Applied Spectroscopy*. 43(5): 772-777.

IBSNAT. 1988 . Experimental Design and Data Collection Procedures for IBSNAT: The minimum data set for systems analysis and crop simulation. International Benchmark Sites Network for AgrotechnologyTransfer. Honolulu, USA.

Decoteau, D.R. 2000. Sweet corn. In *Vegetable crops*. Pp. 368-379. Prentice-Hall, New Jersey, USA.

Huazhou, C., Wu, a., Quanxi, F., Zhen, j. and Qiding, S. 2014. FT-NIR spectroscopy and Whittaker smoother applied to joint analysis of dual-components for corn. *Journal of SpectrochimicaActa Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 752-759.

Giovanelli, G., Sinelli, N., Beghi, R., Guidetti, R. and Casiraghi, E. 2014. NIR spectroscopy for the optimization of postharvest apple management. *Journal of Postharvest Biology and Technology*. 87: 13-20.

Hong-Ju, H., Da-Wen, S. and Di, W. 2014. Rapid and real-time prediction of lactic acid bacteria (LAB) in farmed salmon flesh using near-infrared (NIR) hyperspectral imaging combined with chemometric analysis. *Journal of food research international*. 62: 476-483.

Hruschka, W. R. 2001. Data Analysis: Wavelength Selection Methods. In: P.C. Williams, and K. H. Nortis, (eds.), *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 39-58.

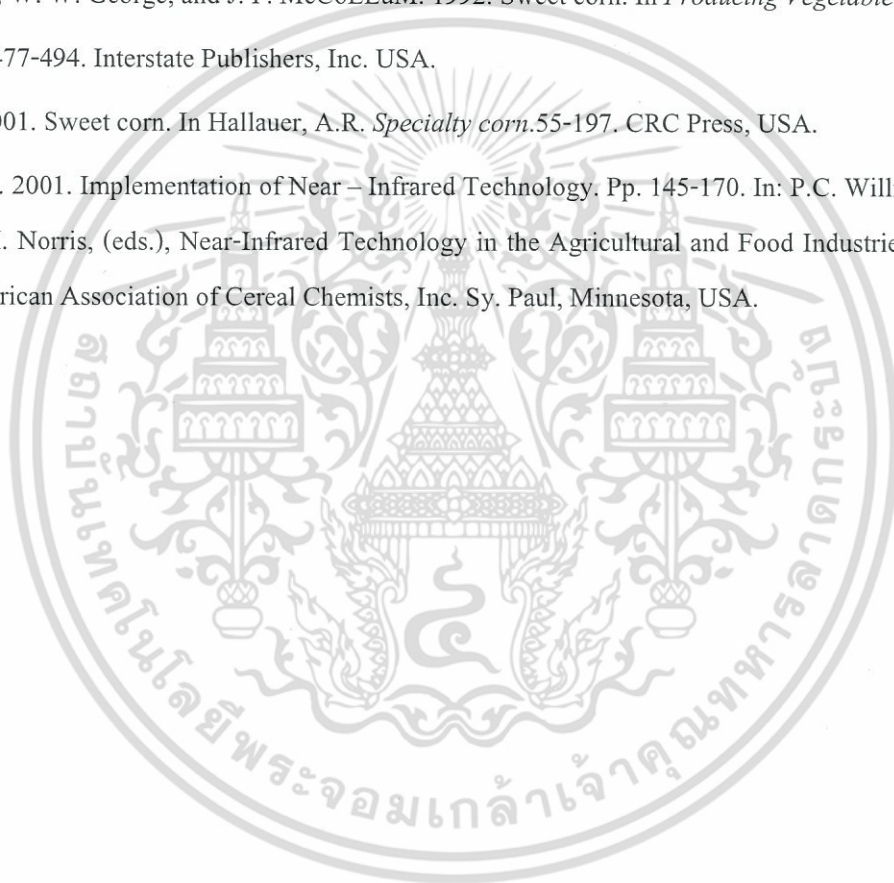
Kawano, S., Abe, H., and Iwamoto, M. 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determination the Brix value in intact peaches. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 3: 211-218.

Kawano, S. 2002. Sampling and Sample Presentation. In: H.W. Siesler, Y. Ozaki, S. Kawata, and H.M. Heise, (eds.), *Near-Infrared Spectroscopy*. WILEY-VCH VerlagGmbH, Federal Republic, Germany. 115-124.

Lidaesteve. A., David, D., Susan, D., Susana, A., Charles, R. and Candice, A. 2012. Feasibility of near infrared spectroscopy for analyzing corn kernel damage and viability of soybean and corn kernels *Journal of Cereal Science*. 160-165.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mohammed, K., Da-wen, S., Gamal, E. and Paul, A. 2013. Fast detection and visualization of minced lamb meat adulteration using NIR hyperspectral imaging and multivariate image analysis. *Journal of Talanta*. 103: 130-136.
- Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H. 1993. *Practical NIR spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific & Technical. 1-7.
- Siesler, H.W., Ozaki, Y. Kawata, S. 2002. *Near-Infrared Spectroscopy*. WILEY-VCH Verlag GmbH, Federal Republic, Germany. 348 pp.
- Swiader, J. M., W. W. George, and J. P. McColLum. 1992. Sweet corn. In *Producing Vegetable Crops*. Pp. 477-494. Interstate Publishers, Inc. USA.
- Tracy, W.F. 2001. Sweet corn. In Hallauer, A.R. *Specialty corn*. 55-197. CRC Press, USA.
- Williams, P. C. 2001. Implementation of Near – Infrared Technology. Pp. 145-170. In: P.C. Williams, and K. H. Norris, (eds.), *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. Sy. Paul, Minnesota, USA.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

- 1.1 แกะเมล็ดข้าวโพดออกที่ละเมล็ด
- 1.2 คั้นน้ำข้าวโพดหวาน
- 1.3 กรองผ่านผ้าขาวบาง
- 1.4 นำน้ำที่ได้มาวัดค่าปริมาตร โดยใช้เครื่อง digital refractometer
- 1.5 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย

2. การหาปริมาณฟลาว์

- 2.1 นำกระป๋องอะลูมิเนียมและฝาไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง
- 2.2 หลังจากนั้น ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 2.3 ชั่งตัวอย่างเมล็ดข้าวโพดประมาณ 3-5 กรัมกรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในกระป๋องอะลูมิเนียม
- 2.4 นำไปอบพร้อมฝาในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง
- 2.5 เมื่อครบเวลาที่กำหนด ให้นำ มาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมคำนวณปริมาณความชื้นดังสมการ

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

217/2559

Scopus - Acta Horticulturae

Scopus

Scopus SciVal Register Login Help

Search

Alerts

Lists

My Scopus

Journal Homepage

Acta Horticulturae

Subject Area: Horticulture
 Publisher: International Society for Horticultural Science
 ISSN: 0567-7572

Scopus Coverage Years: 1976, 1998, from 1996 to 2015

Journal Metrics

Scopus Journal Metrics offer the value of context with their citation measuring tools. The metrics below allow for direct comparison of journals, independent of their subject classification. To learn more, visit: www.journalmetrics.com.

SJR (SCImago Journal Rank) (2015): 0.171
 IIP (Impact per Publication) (2015): 0.154
 SNIP (Source Normalized Impact per Paper) (2015): 0.185

Compare with other journals

Follow this source Receive emails when new documents are available in Scopus

SJR, IIP, and SNIP

SJR = SCImago Journal Rank is weighted by the prestige of a journal. Subject field, quality and reputation of the journal have a direct effect on the value of a citation. SJR also normalizes for differences in citation behavior between subject fields.

IIP = Impact per Publication (IIP) measures the ratio of citations per article published in the journal.

SNIP = Source Normalized Impact per Paper measures contextual citation impact by weighting citations based on the total number of citations in a subject field.

Documents available from

2016	614 documents
2015	2219 documents
2014	2190 documents
2013	2285 documents
2012	2828 documents
2011	2379 documents
2010	2702 documents
2009	2748 documents
2008	2460 documents
2007	2180 documents
2006	1998 documents
2005	2205 documents
2004	2279 documents
2003	1860 documents
2002	1989 documents
2001	1807 documents
2000	1724 documents
1999	1673 documents
1998	1526 documents
1997	1683 documents
1996	1193 documents
1995 and before	2 documents

Top of page

Open Access Journals

Journals covered by Scopus are indicated as Open Access if the journal is listed in the Directory of Open Access Journals (DOAJ) and/or the Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD).

For questions regarding Open Access Journals please see the Content info page.

For questions regarding the Open Access Journal search options please see the Scopus OA help file.

About Scopus
 What is Scopus
 Content coverage
 Scopus Blog
 Scopus API
 Privacy Matters

Language
 日本語に切り替える
 切换到简体中文
 切换到繁體中文

Customer Service
 Help and Contact
 Live Chat

ELSEVIER

Terms and Conditions Privacy policy
 Copyright © 2016 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.
 Cookies are set by this site. To decline them or learn more, visit our Cookies page

RELX Group™

<https://www.scopus.com/source/sourceInfo.uri?sourceId=25209&origin=resultslist>

1/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25/7/2559

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) Mail - Acta Horticulturae - fulltext accepted : Classification of...



sontisuk teerachaichayut <sontisuk.to@kmitl.ac.th>

Acta Horticulturae - fulltext accepted : Classification of...

symposiacontributions@ishs.org <symposiacontributions@ishs.org>

Mon, Jul 25, 2016 at 12:21 PM

Reply-To: symposiacontributions@ishs.org

To: ktsontis@kmitl.ac.th

Dear author,

This is to confirm that your article:
 Classification of sweet corn based on storage time after harvest using near infrared spectroscopy
 has been reviewed and is accepted by the editorial board of:
 III International Conference on Agricultural and Food Engineering
 for publication in Acta Horticulturae

Presenting Author: Assoc. Prof. Sontisuk Teerachaichayut ktsontis@kmitl.ac.th

Symposium details + contact information are available from:
<http://www.ishs.org/symposium/554>



<https://mail.google.com/mail/u/0/?ui=2&ik=bdf53edf9&view=pt&search=inbox&msg=1562080123f44866&siml=1562080123f44866>

1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Classification of sweet corn based on storage time 2 after harvest using near infrared spectroscopy

3
4 S. Suktanarak¹, P. Supprung² and S. Teerachaichayut^{1,2}

5 ¹Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand; ²Faculty of
6 Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Thailand

7 Abstract

8 The freshness of sweet corns is important for production of canned sweet corn. The
9 quality of sweet corns changes rapidly after harvest. Sweet corns should be processed
10 through a production line as fast as possible after harvest. Therefore, some methods
11 of classification of sweet corns based on storage time after harvest are needed. In this
12 study, near infrared (NIR) spectroscopy operating in reflectance mode (1000-2500
13 nm) and interactance mode (588-1091) were investigated as methods of
14 classification. Sweet corns both with and without husk were tested. Samples (N =
15 120) were scanned with an NIR spectrophotometer every 6 hours after harvest. They
16 were then classified into two groups (0 and 1) with a 24-hour after harvest cut-off
17 time between the two groups (<24 hr and ≥ 24 hr). Classification models were
18 established and validated with a calibration set (N=80), and then the accuracies of the
19 models were evaluated with a prediction set (N=40), using a partial least squares
20 discriminant analysis (PLS-DA). It was found that second derivative spectral
21 pretreatment gave the best results for NIR operating in reflectance mode. Regarding
22 prediction accuracy, showed the best accuracies for both unhusked and husked sweet
23 corns (100%), while it was found that mean center and second derivative spectral
24 pretreatment gave good results for NIR operating in interactance mode. The
25 predictive accuracies for unhusked and husked sweet corns obtained 90% and
26 97.5%, respectively. All of the results demonstrated that NIR spectroscopy has a real
27 potential for nondestructive classification of sweet corns based on storage time after
28 harvest.

29 **Keywords:** sweet corn, storage time, near infrared, classification

30 INTRODUCTION

31 Sweet corn (*Zea mays* L. *saccharata*) is one of important cereal crops for human
32 consumption. In addition, sweet corn plays a vital role in food industry. Sweet corn is largely
33 processed into many corn products such as sweet corn kernel, corn milk and cream style
34 corn. Quality of sweet corn is an important factor that affects the final product. Sugar
35 content and water-soluble hydrocarbon in the kernels are key factors of consumption
36 quality (Evensen and Boyer, 1986) in terms of taste and texture. The taste or sweetness of
37 sweet corn depends on its storage time after harvest. Longer storage time causes corns to
38 become hard and less sweet because the sugar in the corns turns into starch quickly after
39 harvesting. Therefore, sweet corns should be transported and processed within 24 hours
40 after harvest (National Food Institute, 2016). Appearances of sweet corns are important and
41 consumers can inspect them before buying, but internal qualities that depend on storage
42 time cannot be identified readily by visual inspection. Hence, it is necessary to use a
43 nondestructive technique to detect these qualities in order to satisfy consumers.

44 ^a E-mail: ktsontis@kmitl.ac.th

45 Near infrared spectroscopy (NIRS) is one of the nondestructive detection techniques
46 that are rapid, accurate and reliable. It has gained wide acceptance in determining the
47 qualities of agricultural products (Teerachaichayut et al., 2011; Alfatni et al., 2013;
48 Teerachaichayut et al., 2014; Srivichien et al., 2015). This technique utilizes the absorption
49 of near infrared light by organic compounds which is related to vibrational energy of
50 molecular bonds (O-H, C-H, C-O and N-H) (Cen and He, 2007). There have been several
51 research studies that used NIRS to evaluate the qualities of corns products such as detection
52 of fumonisins, B1 and B2 in corn meal (Gaspardo et al., 2012), evaluation of essential amino
53 acids, lysine, crude protein, oil, and soluble sugar contents in maize (Tallada et al., 2009),
54 detection of fumonisins content in maize (Giacomo and Stefania, 2013), prediction of
55 proximates (moisture, ash, volatile matter, and fixed carbon) and lignocellulose components
56 (cellulose, semi-cellulose, and lignin) of corn stover (Xue et al., 2015). Therefore, the main
57 objective of this study was to use NIRS for nondestructive classification of sweet corns
58 based on storage time after harvest.

59 MATERIALS AND METHODS

60

61 Sample preparation

62 Samples of sweet corns ('Insee 2' variety of hybrid sweet corn) were harvested from
63 a farm in Nakhonratchasima province, Thailand. The samples (N=120) were selected to be
64 of similar size, good appearance and without defect. After harvest, all intact sweet corns
65 were carefully packed in a box and transported by a private car to the laboratory. During
66 transportation, all samples were exposed to the ambient temperature that was the same as
67 that in the storage area at the laboratory. The time of storage started when the samples
68 were harvested and included the transportation time. The samples were taken for
69 measurement in every 20 samples at 6 hr, 12 hr, 18 hr, 24 hr, 30 hr and 36 hr after harvest.
70 The samples were divided into 2 groups based on their storage time after harvest (60
71 samples for less than 24 hr and 60 samples for more than or equal to 24 hr).

72

73 Data acquisition

74 Spectra of all of the samples were determined with an FT-NIR spectrophotometer
75 (NIRFlex N-500) operating in reflectance mode in the wavelength range of 1000-2500 nm
76 and then determined again by an NIR spectrophotometer (FQA- NIR GUN) operating in
77 interactance mode in the wavelength range of 588-1091 nm. Determinations were done in 2
78 parts. In the first part, each sweet corn with husk was scanned 3 times at its top, middle and
79 bottom, and in the second part, each sweet corn without husk was scanned 3 times at the
80 same positions.

81

82 Data analysis

83 Both reflectance mode and interactance mode were used to analyze samples with
84 and without husk. Acquired NIR spectra from different positions of each sweet corn sample
85 were averaged and used for analysis. All of the samples (N=120) were divided into 2 sets: a
86 calibration set (N=80) and a prediction set (N=40). The calibration set, consisting of 40
87 samples stored for shorter time (<24 hr) and 40 samples stored for longer time (≥ 24 hr),
88 was used for establishment of classification model, while the prediction set, consisting of 20
89 samples stored for shorter time (<24 hr) and 20 samples stored for longer time (≥ 24 hr),
90 was used for accuracy evaluation. Spectral pretreatments such as first derivative, second

91 derivative, multiplicative scatter correction (MSC) were used to reduce noise and scattering
 92 effect in order to find the best means to establish classification models. Partial least square
 93 discriminant analysis (PLS-DA) was used to develop classification models for sweet corns
 94 based on their storage time after harvest. Value of 0 was assigned for samples with shorter
 95 storage time (<24 hr) and value of 1 was assigned for samples with longer storage time (\geq
 96 24 hr). A cut-off value of 0.5 was used for accuracy evaluation—if the predicted value of a
 97 sample was less than 0.5, the sample was assigned to in the group with shorter storage time,
 98 while if the predicted value was more than 0.5, the sample was assigned to the group of with
 99 longer storage time. Statistical analysis was done with Unscrambler software version 10.1
 100 (CAMO, Oslo, Norway).

101

102 **RESULTS AND DISCUSSION**103 **1. Classification model for sweet corns with husk based on storage time after**
 104 **harvest (<24 hr and \geq 24 hr) using NIR operating in reflectance and interactance**
 105 **mode**

106 Sweet corns with husk were classified based on storage time after harvest (<24 hr and
 107 \geq 24 hr) by using reflectance and interactance NIRS. The average spectrum of 3 spectra of
 108 each sweet corn was calculated, and 120 average spectra of 120 corn samples were used for
 109 analysis (80 spectra for the calibration set and 40 for the prediction set). Several spectral
 110 pretreatments were performed on the spectra, then classification models were developed
 111 and cross-validated by PLS-DA on the calibration set as shown in Table 1. The cross-
 112 validation results showed that the second derivative and mean center pretreatments gave
 113 classification models of sweet corns with husk that were able to completely separate the
 114 corns into 2 groups when NIR was operating in reflectance mode (100%) and to separate
 115 them successfully at 98.75% when NIR was operating in the interactance mode,
 116 respectively.

117

Table 1. PLS-DA results from various spectral pretreatments for classification of sweet corns with husk by reflectance mode and interactance mode.

Spectral pretreatment	Reflectance mode				Interactance mode			
	N	F	correct	%Total accuracy	N	F	correct	%Total accuracy
original	80	18	77	96.25	80	12	75	93.75
Second derivative	80	7	80	100	80	14	76	95
Mean	80	15	75	93.75	80	12	79	98.75
MSC	80	13	77	96.25	80	11	76	95

118 N= number of samples, F = Factors, second derivative = Savitzky-Golay second derivative,
 119 Mean = mean center, and MSC = multiplicative scatter correction pretreatment

120

121 Hence, the second derivative spectral pretreatment was selected for establishing the
 122 classification model of sweet corns with husk in the reflectance mode and the mean center
 123 spectral pretreatment was selected for establishing the classification model of sweet corns
 124 with husk in the interactance mode. After the models were established, their accuracies
 125 were tested using the samples in the prediction set. The results of classification of samples
 126 in the calibration set and the prediction set with the models are shown in Table 2. The
 127 accuracies of classification of the calibration set and the prediction set by the reflectance
 128 mode were both excellent (100%), while the accuracies of classification of the calibration
 129 set and the prediction set by the interactance mode were 97.5% and 90% respectively.
 130 Figure 1 showed plots of actual value versus predicted value with a cut off value of 0.5 used
 131 for accuracy evaluation of predictive discrimination between samples with shorter and
 132 longer storage times. Figure 1 (a) showed the actual value versus predicted value between
 133 groups with different storage times in the calibration set using the reflectance mode while
 134 Figure 1 (b) showed the actual value versus predicted value between groups with different
 135 storage times in the prediction set using the reflectance mode. The scattered plots between
 136 the actual value versus predicted value of groups with different storage times in the
 137 calibration set and the prediction set using the interactance mode are shown in figure 1(c)
 138 and 1(d), respectively. The results indicated that reflectance NIRS in the wavelength range
 139 of 1000-2500 nm had a better potential for classification of sweet corns with husk that had
 140 different storage times.

Table 2. Results of PLS-DA for sweet corns with husk at different storage times after harvest of the calibration and the prediction set (<24 hr and \geq 24 hr) in reflectance mode and interactance mode.

Items	Reflectance mode		Interactance mode	
	The calibration set	The prediction set	The calibration set	The prediction set
number of samples	80	40	80	40
wavelength (nm)	1000-2500	1000-2500	588-1091	588-1091
spectral pretreatment	Second derivative	Second derivative	Mean	Mean
factor	9	9	12	12
< 24 hr after harvest	correct	40/40	20/20	40/40
	incorrect	0/40	0/20	0/40
\geq 24 hr after harvest	correct	40/40	20/20	38/40
	incorrect	0/40	0/20	0/40
%total accuracy	100	100	97.5	90

141
 142
 143
 144
 145

146

147

148

149 Predicted value

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

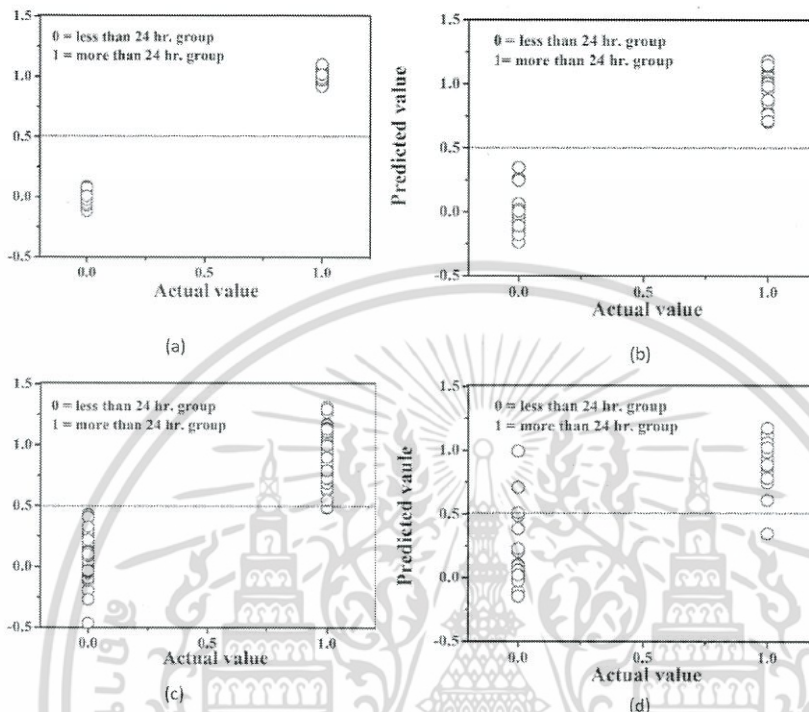


Figure 1. Scatter plots for classification of sweet corns with husk: (a) scattered plots of the calibration set in reflectance mode, (b) scattered plots of the prediction set in reflectance mode, (c) scattered plots of the calibration set in interactance mode and (d) scattered plots of the prediction set in interactance mode.

2. Classification model for sweet corns without husk based on storage time after harvest (<24 hr and \geq 24 hr) using NIR operating in reflectance and interactance mode.

The procedure of this experimental step was the same as that in section 1. Sweet corns without husk were classified based on storage time after harvest (<24 hr and \geq 24 hr) by using reflectance and interactance NIRS. The average spectrum of 3 spectra of each sweet corn was calculated, and 120 average spectra of 120 corn samples were used for analysis. Several spectral pretreatments were performed on the spectra, then classification models were developed and cross-validated by PLS-DA on the calibration set as shown in Table 3. The second derivative spectral pretreatment of the reflectance mode gave the best result (100% accuracy). For interactance mode, the second derivative spectral pretreatment also gave the best result (97.5% accuracy). Therefore, the classification models were established

185 using the second derivative spectral pretreatment in both of the reflectance mode and the
186 interactance mode.

Table 3. PLS-DA results from various spectral pretreatments for classification of sweet corns without husk in reflectance mode and interactance mode.

Spectral pretreatment	Reflectance mode				Interactance mode			
	N	F	correct	%Total accuracy	N	F	correct	%Total accuracy
original	80	16	72	90	80	12	77	96.3
2 nd derivative	80	5	80	100	80	6	78	97.5
Mean	80	17	76	95	80	14	78	97.5
MSC	80	16	73	91.25	80	13	77	96.3

187 N= Number of samples, F = Factors, Smoothing = Savitzky-Golay smoothing, second
188 derivative = Savitzky-Golay second derivative, Mean = mean center and MSC =
189 multiplicative scatter correction pretreatment.

190 Therefore, the second derivative spectral pretreatment was used and then the
191 classification models of sweet corns without husk in the reflectance mode and the
192 interactance mode were established. After that, the accuracies of the classification models
193 were evaluated by using the samples in the prediction set. The results of classification of the
194 samples in the calibration set and the prediction set with the models are shown in Table 4.
195 The accuracies of classification of the calibration set and the prediction set by the
196 reflectance mode were both excellent (100%), while the accuracies of classification of the
197 calibration set and the prediction set by the interactance mode were 100% and 97.5%
198 respectively. Figure 2 showed plots of actual value versus predicted value with a cut off
199 value of 0.5 used for accuracy evaluation of predictive discrimination between samples with
200 shorter and longer storage times. Figure 2(a) showed the actual value versus predicted
201 value between groups with different storage times in the calibration set using the
202 reflectance mode while Figure 2(b) showed the actual value versus predicted value between
203 groups with different storage times in the prediction set using the reflectance mode. The
204 scattered plots between the actual value versus predicted value of groups with different
205 storage times in the calibration set and the prediction set using the interactance mode are
206 shown in figure 2(c) and 2(d), respectively. The results indicated that reflectance NIRS
207 in the wavelength range of 1000-2500 nm had a better potential for classification of sweet
208 corns with husk that had different storage times.

Table 4. Results of PLS-DA for sweet corns without husk at different storage times after harvest of the calibration and the prediction set (<24 hr and ≥ 24 hr) in reflectance mode and interactance mode.

Items	Reflectance mode		Interactance mode	
	The calibration set	The prediction set	The calibration set	The prediction set
number of samples	80	40	80	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Items	Reflectance mode		Interactance mode	
	The calibration set	The prediction set	The calibration set	The prediction set
wavelength (nm)	1000-2500	1000-2500	588-1091	588-1091
spectral pretreatment	Second derivative	Second derivative	Mean	Mean
factor	5	5	6	6
< 24 hr after harvest	correct	40/40	20/20	40/40
	incorrect	0/40	0/20	0/40
≥ 24 hr after harvest	correct	40/40	20/20	40/40
	incorrect	0/40	0/20	0/40
%total accuracy	100	100	100	97.5

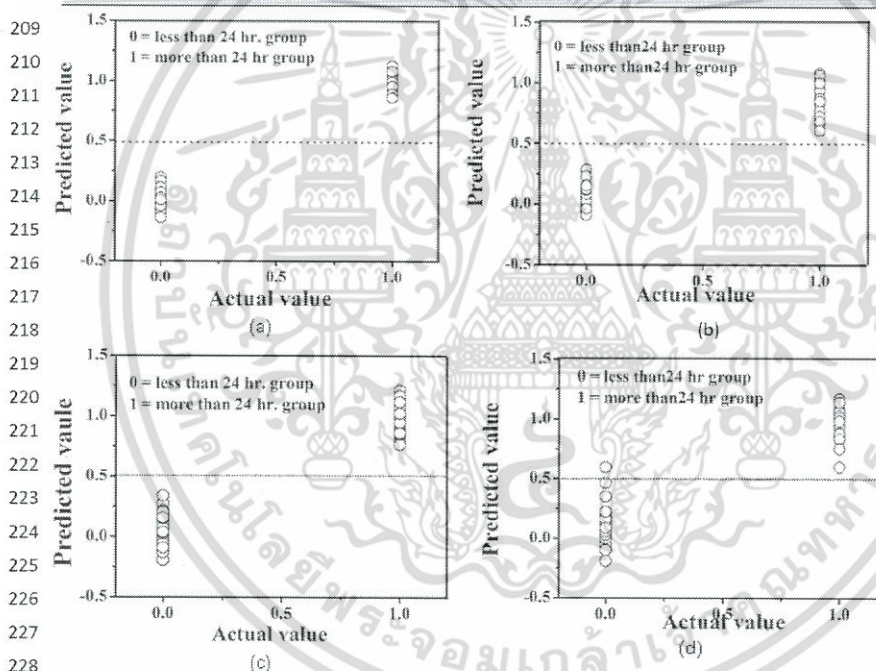


Figure 2. Scatter plots for classification of sweet corns without husk: (a) scattered plots of the calibration set in reflectance mode, (b) scattered plots of the prediction set in reflectance mode, (c) scattered plots of the calibration set in interactance mode and (d) scattered plots of the prediction set in interactance mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

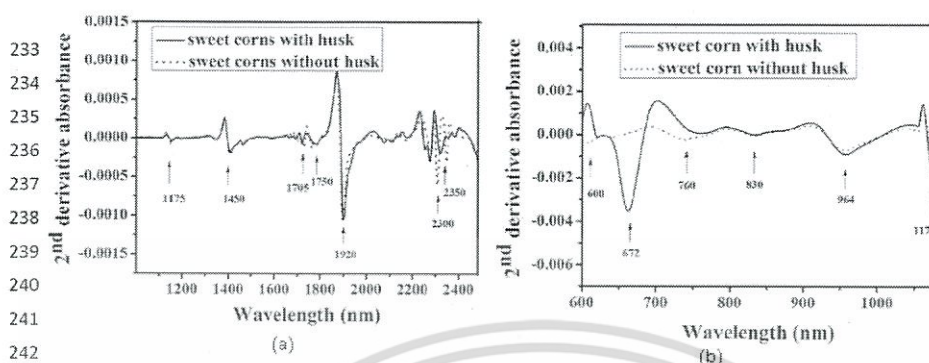


Figure 3. Average 2nd derivative absorbance of sweet corns with and without husk: (a) in reflectance mode (b) in interactance mode

The results showed that the accuracies of the reflectance mode were better than those of the interactance mode for both cases of corn samples with and without husk. The accuracies of classification by the models using the reflectance mode were 100% for samples with and without husk, while the accuracy of classification by the model using the interactance mode for sweet corns without husk was better than that of sweet corns with husk. Figure 3 showed the average second derivative spectra of sweet corns obtained by using the reflectance mode (1000-2500 nm) and the interactance mode (588-1091 nm). In Figure 3(a), protein peaks in a N-H functional group were found at 1175 and 1705 nm; moisture peaks were at 1450 nm and 1920 nm; starch peak was found at 1750 nm; carbohydrate was found that 2150 nm; and oil peaks were found at 2300 and 2350 nm. Similarly, in Figure 3(b), moisture peaks were found at 760 and 830 nm; oil peak was found at 964 nm; and protein peak was found at 1175 nm (Osborne et al., 1993). The spectral features of sweet corns with husk and without husk were different in the range of the visible wavelength due to their having different colors.

CONCLUSIONS

Classification models for sweet corns at different storage times were developed. The reflectance mode in the wavelength range of 1000-2500 nm exhibited better accuracy than the interactance mode in the wavelength range of 588-1091 nm. In reflectance mode, the models treated with second derivative spectral pretreatment gave excellent accuracies for both sweet corns with and without husk. In interactance mode, the models treated with mean center and second derivative spectral pretreatment gave good predictive accuracies (90% and 97.5%) for sweet corns with and without husk. In conclusion, NIR spectroscopy has a real potential for classification of sweet corns with and without husk based on storage time after harvest.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by the National Research Council of Thailand and the national research budget for fiscal year 2016. The authors acknowledged the permission to use the laboratory and equipment at the faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus.

275

276 **Literature cited**

- 277 Alfani, M., Shariff, A., Abdullah, M., Abdullah, M., Marhaban, M. and Saeed, O. (2013). The application of internal
278 grading system technologies for agricultural products-review. *Journal of Food Engineering*, 116: 3, 703-725
- 279 Evensen, K.B. and Boyer, C.D. (1986). Flavour qualities of frozen sweet corn are effected by genotype and
280 blanching. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 111(5): 734-738.
- 281 National Food Institute. Food intelligence center. [Online] resource <http://www.nfi.or.th> (7 February 2016).
- 282 Gaspardo, B., Del Zotto, S., Torelli, E., Cividino, S.R., Firrao, G., Della Riccia, G. and Stefanon, B. (2012). A rapid
283 method for detection of fumonisins B1 and B2 in corn meal using Fourier transform near infrared (FT-NIR)
284 spectroscopy implemented with integrating sphere. *Journal of Food Chemistry*, 135: 1608-1612.
- 285 Giacomo, D. R. and Stefania, D.Z. (2013). A multivariate regression model for detection of fumonisins content in
286 Maize from near infrared spectra. *Journal of Food Chemistry*, 141: 4289-4294.
- 287 Cen, H. and He, Y. (2007). Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of
288 food quality. *Trends in Food Science & Technology* 18, 72-83.
- 289 Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H. (1993). *Practical NIR spectroscopy with Application in Food and*
290 *Beverage Analysis*. Longman Scientific & Technical. 1-7.
- 291 Srivichien, S., Terdwongworakul, A. and Teerachaichayut, S. (2015). Quantitative prediction of nitrate level in
292 intact pineapple using Vis-NIRS. *Journal of Food Engineering* 150: 29-34.
- 293 Tallada, J.G., Palacios-Rojas, N. and Armstrong, P.R. (2009). Prediction of maize seed attributes using a rapid
294 single kernel near infrared instrument. *Journal of Cereal Science* 50: 381-387.
- 295 Teerachaichayut, S., Terdwongworakul, A., Thanapase, W. and Kiji, K. (2011). Non-destructive prediction of
296 hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy. *Journal of Food*
297 *Engineering*, 106: 206-211.
- 298 Teerachaichayut, S., Suktanarak, S. and Kasemsumram, S. (2014). Non-destructive detection of internal mold
299 infection in sweet tamarind using short wavelength near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1053:113-119.
- 300 Xue, J., Yang, Z., Han, L., Liu, Y., Liu, Y. and Zhou, C. (2015). On-line measurement of proximates and lignocellulose
301 components of corn stover using NIRS. *Journal of Applied Energy*, 137: 18-25.



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2559

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงาน
แสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
(ภาษาอังกฤษ) Nondestructive prediction of sweet corn qualities by near infrared
hyperspectral imaging

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัย รศ.ดร. สนธิสุข อีระชัยขยติ
รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 01/10/2558 ถึงวันที่ 30/09/2559
ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 01/10/2558 ถึงวันที่ 30/09/2559

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ

งวดที่ 1 297,500 บาท 85 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป) 17/11/2558
งวดที่ 2 52,500 บาท 15 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป) 15/07/2559

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณทั้งหมด	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (บาท)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	153,000	153,000	-
ค่าใช้จ่าย	132,000	141,733.92	(9,733.92)
ค่าวัสดุ	65,000	56,093	8,907
งบลงทุน			
ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	350,000	350,826.92	(826.92)

(รศ.ดร. สนธิสุข อีระชัยขยติ)

หัวหน้าโครงการวิจัย

25 / เม.ย. / 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การสกัดน้ำสับประคและผลิตเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกสับประค.

5.2 ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

1 สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ไทย: อะไรคืออะไร. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7(1): 67-70.

2 ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล, ชลิต ชูประทีป, สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. โรงงานนำทางผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ วท.วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7(1): 73-82.

3 สนธิสุข ชีระชัยชยติ, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, เพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล, พรภัทธา ศรีนรคุตร, ยุพาภรณ์ ทับนาโลก. 2536. การวิจัยเครื่องเคลือบแบบต่อเนื่องชนิดเคลือบแก้วสำหรับอาหารขบเคี้ยว. โครงการวิจัยที่ ภ.32-06, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 36 หน้า

4 สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพค่อน. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง 12(2): 39-41.

5 วารุณี ชนะแพสย์, สนธิสุข ชีระชัยชยติ, สุมาพร เกษมตำราญ, and Young Kil Kwon. 2548. การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้ม โดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น. สัมมนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.

6 สนธิสุข ชีระชัยชยติ, วารุณี ชนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, สุมาพร เกษมตำราญ. 2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3 พิเศษ): 156-159.

7. Teerachaichayut, S. and Terdwongworakul, A. (2007) Multiple parameters for prediction of translucent flesh in mangosteen, 2007 Australasia Postharvest Conference, Crown plaza Terrigal, NSW, Australia, 10-12 September 2007

8 Teerachaichayut, S., K. Y. Kil, A. Terdwongworakul, W. Thanapase and Y. Nakanishi. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. Postharvest Biology and Technology 43. 202-206.

9 Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, and S. Pathaveerat. 2008. Multiple Parameters for Prediction of Translucent Flesh in Mangosteens. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Vol.X. Manuscript FP 08 007.

10 Teerachaichayut S., W. Thanapase, K. Shigefuji, T. Otoi, Y. Nitta, S. Saranwong, and S. Kawano. 2008. Online Near Infrared Detection of Translucent and Gamboge Mangosteen. Proceeding of The First Asian NIR Symposium and The 24th Japanese NIR Forum, Tsukuba city, Japan, 10-14 November. 158-159.

11 Kasemsumran, S., W. Thanapase, S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, K. Y. Kil, K. Shigefuji, and Y. Nakanishi. 2009. Nondestructive Internal Quality Evaluation of Thai Orange Fruit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือขึ้นต้นการอ้าง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

using Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. Japan-Korea Joint Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Hanyang University, Korea, 28-30 June. 284-285.

12 Thanapase, W., S. Kaseamsumran, A. Janhiran, **S. Teerachaichayut**, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2009. Recent collaborative researches between Japan and Thailand on NIR applications for Tropical Fruits. Proceedings of the 25th NIR Forum. Japan, 13-15 May. 31-35.

13 **Teerachaichayut**, S., A. Terdwongworakul, J. Phonudom and W. Uamsatianporn. 2009. The Robustness of PLS Models for Soluble Solids Content of Mangosteen using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. **Global Science Books**, Fresh Produce 3(1): 60-63.

14 สนธิสุข ชีระชัยขุติ, วารุณี ชนะแพทย, อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล และ สุมาพร เกษมสำราญ. 2552. การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 40(1): 55-64.

15 สนธิสุข ชีระชัยขุติ, วารุณี ชนะแพทย และ อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล. 2552. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดด้วยสเปกตรัมในย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 1(1): 42-48.

16 สนธิสุข ชีระชัยขุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล, จุฑามาศ ผลอุดม และวรรณชยา เอื้ออมเสถียรพร. 2553. การทำนายอาการเนื่อแก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1 พิเศษ): 385-388.

17 ขนิษฐา แสงแก้ว และ สนธิสุข ชีระชัยขุติ, 2553. คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกมังคุดภายหลังการตกกระทบ. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 2(1): 27-35.

18 วารุณี ชนะแพทย, สนธิสุข ชีระชัยขุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล, สุมาพร เกษมสำราญ, อาทิตย์ จันทร์ทิรัญ, ศิริรินภา ศรีณชัยังค์, สุมิโอะ คาวาโน, ยูจิ นิดตะ, กาซุเอกิ ชิชิฟูจิ และ กาซุเอกิ คิจิ. 2553. การกัดแยกเนื่อแก้วและยางไหลในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1 พิเศษ): 369-372.

19 **Teerachaichayut**, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Saengkaew and R. Suwapanich. 2010. Feasibility of visible and SW-NIR spectroscopy to detect gamboge disorder in mangosteen fruits. Proceedings of the 2nd Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, China, 15-18 Oct. 81-82.

20 **Teerachaichayut**, S, W. Thanapase, S. Kasemsumran, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2010. The methods of illumination and scanning for detecting internal disorders and quality of mangosteen by near infrared spectroscopy. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 14th International Conference. IM Publications LLP, West Sussex, UK., 219-223.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21 สนธิสุข ชีระชัยยุดิ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วารุณี ธนะแพสย์ และ ขนิษฐา แสงแก้ว. 2554. ความเป็นไปได้ในการคัดแยกผลม้งคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พหุตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 143-146.

22 Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase and K. Kiji. 2011. Non-destructive prediction of hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy. Journal of Food Engineering 106: 206–211.

23 สนธิสุข ชีระชัยยุดิ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพผลไม้โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า 3(1): 44-52

24 สนธิสุข ชีระชัยยุดิ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และวารุณี ธนะแพสย์. 2554. ความเป็นไปได้ในการประเมินระดับอาการยางไหลในผลม้งคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้สมการหลายตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (3 พิเศษ): 173-176.

25 นารัตระพี นาคะวัจนะ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, สนธิสุข ชีระชัยยุดิ และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2554. การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อทำนายปริมาณเนื้อแก้วในผลม้งคุด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ) : 123-126.

26 Terdwongworakul, A., N. Nakawajana, S. Teerachaichayut, A. Janhiran. 2012. Determination of translucent content in mangosteen by means of near infrared transmittance. Journal of Food Engineering 109: 114–119.

27 Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul. 2012. Empirical investigation of the optimal fruit presentation in near infrared transmittance for mangosteen quality evaluation. NIR news 23(1) :8-18.

28 สนธิสุข ชีระชัยยุดิ. 2555. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลม้งคุดแบบไม่ทำลาย. วารสารการวิจัยและพัฒนาวissenschaftlerและเทคโนโลยี 27 (1): 55-60.

29 Teerachaichayut, S., K. Petcharaporn and S. Suktanarak. 2012. Calibration model of soluble solids content for Intact Tomato by Transmittance SW-NIR Spectroscopy. Proceedings of the 3rd Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Thailand, 14-18 May. 120-121.

30. Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, K. Keawsumnuk, M. Rangsi and K. Seangkeaw. 2012. A Feasibility Study for the Nondestructive Detection of Granulation in Tangerine Fruit Using a Capacitance based Technique. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July, P0122.

31. Terdwongworakul A., S. Teerachaichayut, S. Noypitak. 2012. Non-Destructive Classification of Translucent Flesh Mangosteen by Near Infrared Interactance. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July. C0059.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. กัญญาพัชร เพชราภรณ์ และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. ผลกระทบของการเกิดเชื้อราภายในมะเขือเทศต่อคุณสมบัติทางเคมี. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 279-284.
33. ศรีัญญา วอขวา และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแห้งภายหลังการตกกระทบ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 285-290.
34. Sompong Nandee and Sontisuk Teerachaichayut. 2012. Brix-acid ratio detection for pomegranates using multivariate equation. International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore. 82-86.
35. Sineenart Suktanarak and Sontisuk Teerachaichayut. 2012. Detection for Moisture Content of Sweet Tamarind flesh by Transmittance Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore. 71-75.
36. Kanyapat Petcharaporn and Sontisuk Teerachaichayut. 2012. Detection of Undesirable Internal Discoloring of Intact Tomatoes by Non-Destructive, Transmittance VIR-NIR Spectroscopy. International Conference on Food and Applied Bioscience 2012, 6-7 February. Chiang Mai, Thailand. 82-86.
37. Suktanarak, S. and S. Teerachaichayut. 2013. Quantitative Analysis of Total Soluble Solids and Titratable Acidity of Sweet Tamarind by SW-NIRS. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol. 3, No. 4, 328-331.
38. Sukwani, S. and Teerachaichayut, S. 2013. Non-destructive prediction of internal browning in pineapple using transmittance short wavelength near infrared spectroscopy. Acta Hort. (ISHS 989: 395-399.
39. สนธิสุข ชีระชัยชยติ, จูติพงษ์ ทิพย์แก้ว, ชนกฤต ชูตระกูล และรัชคม ลีลับ. 2556. เครื่องวัดความแน่นเนื้อของผลไม้แบบน้ำหนักกด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2, 30 สิงหาคม 2556, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 185-190.
40. Kaewsard, S., Kerdpiboon, S., Peuchkamut, Y., Teerachaichayut, S. 2013. Relationships between Physical property, Chemical composition and Marbling Score of Sirloin Beef Steak. 13th เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASEAN Food Conference, 9-11 September 2013, Singapore. *Meeting Future Food Demands: Security & Sustainability*.

41. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. สถานการณ์ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ในประเทศไทย.วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2556: 194-210.

42.ปิยะมาศ จานนอก, อิศยาภรณ์ การรุ่งเรือง, อรวรรณ ทองนาค, อัฐพศ จานนอก, ภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. การทำนายความถ่วงจำเพาะของไข่ไก่ด้วยเทคนิค NIRS. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 135-139.

43. Siriporn Kaewsaard, Yuporn Peuchkamut, **Sontisuk Teerachaichayut**, Pramoun Srikalong and Soraya Kerdpi boon. Correlation determination between morphology, chemical compositions and physical properties of sirloin beef steak. 2014. The proceedings of 52th Kasetsart university annual conference, Thailand, February 4-7, 201-207.

44. Sasathorn Srivichien and **Sontisuk Teerachaichayut**. 2014. Comparison of nitrate content in ‘Smooth Cayenne’ pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, Vol. 1, No.1, 65-68.

45. Sasathorn Srivichien and **Sontisuk Teerachaichayut**. 2014. Comparison of nitrate content in ‘Smooth Cayenne’ pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. *Proceeding of The 4th International Conference on Asia Agriculture and Animal (ICAAA 2014)*, Bangkok, Thailand, June 9-10, 33-36.

46. Sasathorn Srivichien and **Sontisuk Teerachaichayut**. 2014. Quality classification of pineapple based on nitrate level by Vis-NIRS. *Proceeding of The 4th Asian NIR Symposium*, Daegu, Korea, June 17-20, 130-132.

47. **Sontisuk Teerachaichayut**, Isayapron Kanrungrueng, Orawan Thonngnak, Oattharod Channok, Panuwat Supprung , Piyamart Jannok. 2014. Freshness Prediction of Hen Eggs Using NIR Spectroscopy Based on Specific Gravity. *Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014)*, Bali, Indonesia, June 27-29, 585-592.

48. Pattama Supaphon, Soraya Kerdpi boon, Yuporn Peuchkamut, **Sontisuk Teerachaichayut**, Pramoun Srikalong , Panadda Nonthanum. 2014. Surface Images and Physical Properties Correlation of Sirloin Steak by Pearson’S Correlation And Multiple Linear Regression Analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014), Bali, Indonesia, June 27-29, 593-601.

50. Jannok, P., Petcharaporn, K. and **Teerachaichayut, S.** 2014. Detection of internal mold infection in tomato by transmittance near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1053:93-99.

51. **Teerachaichayut, S.**, Suktanarak, S. and Kasemsumram, S. 2014. Non-destructive detection of internal mold infection in sweet tamarind using short wavelength near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1053:113-119

52. Srivichien, S., A. Terdwongworakul, **S. Teerachaichayut.** 2015. Quantitative prediction of nitrate level in intact pineapple using Vis-NIRS. *Journal of Food Engineering* 150: 29-34.

53. **Teerachaichayut S.**, Yokswad W., Terdwongworakul A., Jannok P., Fernandes S.V. 2015. Application of Image Analysis for Determination of Mangosteen Density. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 2(2): 92-97.

54. Natrapee Nakawajana, Anupun Terdwongworakul, **Sontisuk Teerachaichayut.** 2016. Minimally destructive assessment of mangosteen translucency based on electrical impedance measurements. *Journal of Food Engineering* 171: 137-144.

55. Sineenart Suktanarak, **Sontisuk Teerachaichayut** and Panuwat Supprung. 2016. Prediction of moisture content in sweet corn by reflectance NIR spectroscopy. Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec. 260-261.

56. Sirikarn Boonpiam, Nattaporn Suttiwijitpukdee and **Sontisuk Teerachaichayut.** 2016. Nondestructive Classification of Pork Meatball Containing Borax by Near Infrared Spectroscopy. Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec. 268-269.

57. Ho Thanh Huong, **Sontisuk Teerachaichayut**, Panuwat Supprung and Tiradech Damrongpowan. 2016. Classification of lime varieties by NIR spectroscopy. Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec. 264-265.

58. Sadudee Phonmakham and **Sontisuk Teerachaichayut.** 2016. Transmittance near infrared spectroscopy for firmness detection of marian plum (*Bouea burmanica* Griff.). Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec. 226-227.

59. Suktanarak, S., Supprung, P. and **Teerachaichayut, S.** 2017. Classification of sweet corn based on storage time after harvest using near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1152:47-54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในวงจำกัดเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานเห็นว่าไม่เหมาะสมหรือมีข้อผิดพลาดประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60. Huong, H.T. and **Teerachaichayut, S.** 2017. Non-destructive prediction of moisture content of lime (*Citrus aurantifolia* Swingle 'Paan') by multiple regression analysis of its electrical and physical properties. *Acta Hort.* (ISHS) 1152:299-306.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้