



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทำนายการเกิดเชื้อราและระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผล  
มะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็น  
และย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน



นายสนธิสุข ธีระชัยชยติ  
นางสาวกัญญาพัชร เพชรวราภรณ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....131122

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี. 2.2...1แถ...2557

REH

SB

349

ส 192 ก





## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทำนายการเกิดเชื้อราและระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผล  
มะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็น  
และย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน

นายสนธิสุข ธีระชัยชยติ

นางสาวกัญญาพัชร เพชรภรณ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุมัติเงินรายได้เพื่อมาสนับสนุนงานวิจัยนี้และต้องขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นได้ด้วยดี

ผศ.ดร.สนธิสุข ชีระชัยขยติ

กัญญาพัชร เพชรภรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การทำนายการเกิดเชื้อราและระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผล  
มะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน  
ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) Non-destructive detection of internal mold infection and severity  
of mold infection of tomatoes by transmittance Vis-NIR spectroscopy.

แหล่งเงิน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 58,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ปี 2554 ถึง ปี 2555 /

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ผศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยติ และ นางสาวกัญญาพัชร เพชรารภรณ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

คุณลักษณะภายนอกของมะเขือเทศ อาทิ ความสด สี ขนาด เป็นคุณลักษณะที่ใช้ในกระบวนการคัด  
แยกมะเขือเทศ โดยลักษณะการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศนั้น เป็นลักษณะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วย  
ตาเปล่า จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเกิดเชื้อราและระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผล  
มะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน (Vis-  
NIR) โดยทำการศึกษาในมะเขือเทศที่ปนเปื้อนเชื้อราภายในจำนวน 100 ผล และมะเขือเทศปกติจำนวน  
100 ผล โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ (PLS-DA) พบว่าสามารถทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือ  
เทศในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการได้ถึง 91.7% จากการปรับแต่งสเปกตราด้วย standard normal variate  
transformation (SNV) และ smoothing (Savitsky-Golay) และเมื่อศึกษาการทำนายระดับความรุนแรง  
โดยพิจารณาจากอัตราส่วนพื้นที่ที่เกิดเชื้อราต่อพื้นที่ทั้งหมดในผลมะเขือเทศพบว่าเมื่อระดับการปนเปื้อน  
ของเชื้อราเพิ่มมากขึ้น เพอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดย  
ระดับความรุนแรงของเชื้อราน้อย ความรุนแรงปานกลาง และความรุนแรงมาก มีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ  
ในการทำนายเท่ากับ 82.2% 82.4% และ 90.0% ตามลำดับ อีกทั้งจากการศึกษาความแม่นยำในการทำ  
ทำนาย % ของพื้นที่ที่เกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ (PLSR) พบว่าสามารถทำนาย  
% ของพื้นที่ที่เกิดเชื้อราในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการได้ปานกลาง ( $R=0.50$ ,  $RMSEC=1.63$ ) และสามารถทำนาย  
กลุ่มที่ใช้ในการทำนายได้ ( $R=0.51$ ,  $RMSEP=1.62$ )

คำสำคัญ : มะเขือเทศ คุณภาพ เชื้อรา ทำนาย ไม่ทำลาย

**Research Title:** Non-destructive detection of internal mold infection and severity of mold infection of

**Researcher:** Mr.Sontisuk Teerachaichayut and Miss Kanyapat Petcharaporn

**Faculty:** Agro-Industry **Department:** Food Science

### ABSTRACT

The external characteristics of tomatoes such as freshness, color and size are typically used in quality control process. However, internal mold infection of tomatoes can not be sorted by visible assessment alone. In this study, a non-destructive technique was used to predict the internal mold infection of tomatoes using transmittance visible and near infrared (Vis-NIR) spectroscopy. Acquired spectra from 100 samples of internal mold infection tomatoes and 100 samples of normal tomatoes were used in conjunction with partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA). Combined spectral pretreatments of standard normal variate transformation (SNV) and smoothing (Savitsky-Golay) gave result as 91.7% accuracy of internal mold prediction on test set. Moreover the study of prediction accuracy on severity of mold infection of tomatoes showed that percent of accuracy prediction would be increased when the levels of severity of mold infection increase (82.2%, 82.4% and 90.0% for low, medium and high level). For quantitative analysis, calibration model for severity of mold infection was developed using PLSR. The result obtained poor correlation ( $R=0.50$ ,  $RMSEC=1.63$ ) in training set and ( $R=0.51$ ,  $RMSEP=1.62$ ) in test set of tomatoes.

**Keywords :** tomato, quality, mold, detect, non-destructive

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง /การทบทวนวรรณกรรม	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	15
3.1 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ	15
3.2 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ	15
3.3 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเชิงปริมาณภายในผลมะเขือเทศ	15
บทที่ 4 ผลการวิจัย	16
4.1 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ	16
4.2 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเชิงปริมาณ ภายในผลมะเขือเทศ	21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	27
ประวัตินักวิจัย	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA	16
4.2 แสดง%ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ	17
4.3 % ความแม่นยำในการทำนายตามระดับความรุนแรงของเชื้อราเชิงคุณภาพ	19
4.4 ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ	22
4.5 ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม	22



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผล	6
2.1 มะเขือเทศราขีนิ	8
2.2 มะเขือเทศสีดา	9
2.3 มะเขือเทศลูกท้อ	9
4.1 แสดง % ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ (a) และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (b)	18
4.2 แสดง % ความแม่นยำในการคัดแยกตามระดับความรุนแรงของเชื้อรา	21
4.3 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของระดับความรุนแรงของเชื้อราระดับต่างๆ	22
4.4 ค่า R จากการทำนาย % ความรุนแรงการเกิดเชื้อราในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
nm.	นาโนเมตร
NIRS	near infrared spectroscopy
Vis-NIRS	visible near infrared spectroscopy
PLSR	partial least square regression
PLS-DA	partial least squares-discriminant
R	correlation coefficient
SEC	standard error of calibration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) จัดเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทั้งในแง่ของผักอุตสาหกรรมและผักที่บริโภคสด ปริมาณการส่งออกมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยในปี พ.ศ.2551 มีมูลค่าส่งออก 238.5 ล้านบาท และในปีพ.ศ.2552 มีมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้นถึง 352.34 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) มะเขือเทศที่ปลูกในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ มะเขือเทศชนิดรับประทานผลสด และมะเขือเทศสำหรับอุตสาหกรรม เพื่อส่งให้โรงงานทำเป็นผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูป โดยมะเขือเทศสำหรับส่งให้โรงงานทำเป็นผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูปนั้น ส่วนใหญ่เป็นมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อ ซึ่งเป็นมะเขือเทศผลโตเนื้อแข็งหรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มะเขือเทศโรงงาน ซึ่งจะถูกนำมาทำผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศ (juice) ซอสมะเขือเทศ (ketchup) เนื้อมะเขือเทศเปียก (tomato paste) ผลมะเขือเทศปอกเปลือกในน้ำมะเขือเทศ (whole peeled tomato) บรรจุกระป๋อง เป็นต้น (ชีวจิต, 2542) โดยส่วนใหญ่โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศนั้น จะมีการรับมะเขือเทศมาจากเกษตรกรผู้ปลูก และผ่านกระบวนการคัดแยกตามคุณภาพและลักษณะตามที่โรงงานกำหนดไว้ ก่อนจะถึงกระบวนการแปรรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆต่อไป ซึ่งกระบวนการคัดแยกมะเขือเทศนั้น อาจมีการคัดแยกตามขนาด ความสด สี และลักษณะภายนอกอื่นๆ ซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้าพิจารณาถึงลักษณะปรากฏภายใน ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อาทิเช่น การเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ โดยเกิดจาก ขณะที่ดอกมะเขือเทศบานนั้น เชื้อราในอากาศได้ตกลงไปบริเวณภายในของดอก และเจริญอยู่บริเวณนั้น เมื่อดอกเจริญต่อไปเป็นผลได้หุ้มปิดเชื้อราไว้ ซึ่งเชื้อราบางชนิดสามารถเจริญได้ในสภาพอากาศน้อยแต่มีความชื้นและอาหารเพียงพอ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2007) ซึ่งขณะรับวัตถุดิบทางโรงงานจะไม่สามารถทราบได้เลย ถ้าไม่ได้มีการผ่ามะเขือเทศนั้นออกมาตรวจสอบ ซึ่งการผ่าออกเพื่อตรวจสอบแบบลูกต่อลูกนั้นก็จะเป็นการทำลายตัวอย่างมะเขือเทศ และไม่สามารถกระทำได้ในทางปฏิบัติ โดยการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศไม่เพียงแต่จะสร้างความเสียหายต่อคุณภาพของวัตถุดิบเท่านั้น แต่ยังส่งผลถึงอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค จากการบริโภคผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะเขือเทศที่มีเชื้อรา การใช้เทคนิคความยาวคลื่นช่วงสายตามองเห็นและใกล้อินฟราเรด (Vis-near infrared spectroscopy) นั้น เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานของโมเลกุลของสาร โดยอาศัยหลักการของการเกิดการสั่น (vibration) ของโมเลกุล ในช่วงความยาวคลื่นย่าน near infrared โดยพลังงานจะถูกถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของสารทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลขึ้น

มีนักวิจัยนำเทคนิค NIRS นี้ มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของผักและผลไม้หลายชนิด อาทิเช่น Kawano et al. (1992) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ NIR ด้วย fiber optic probe ในผลพีช พันธุ์ Shimizu Hakuto ในช่วงความยาวคลื่น 680-1235 นาโนเมตร โดยใช้สเปกตรัมที่ปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย second derivative สามารถสร้างสมการ calibration และนำสมการไปทดสอบได้ผลการทำนายที่แม่นยำ

ศิริรินภา และคณะ (2001) ได้พัฒนาสมการ calibration สำหรับประเมินค่า brix และน้ำหนักรีดแห้งของมะม่วง โดยได้ผลการทดสอบที่แม่นยำ

Mc Glone and Kawano (1998) ได้ประเมินความแน่นเนื้อ น้ำหนักแห้งและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลกีวีโดยใช้เทคนิค NIRS (near infrared spectroscopy) ทำการวัดผลกีวีจากแหล่งต่างๆกัน ในช่วงคลื่น 400- 700 นาโนเมตร และ 700-1,000 นาโนเมตร นำข้อมูลมาวิเคราะห์พบว่า ตัวอย่างที่นำมาวัดควรจะมีหลากหลายในด้านของแหล่งเพาะปลูก อายุ และขนาด เพื่อให้สามารถสร้างสมการมีความครอบคลุมเมื่อนำไปใช้ทำนาย

นอกจากนี้ก็ได้มีการนำเอาเทคนิค NIRS ไปใช้กันอย่างหลากหลายกับผักและผลไม้ต่างๆ เช่น ใช้ในการตรวจวัดน้ำตาลทั้งหมด ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส ในกล้วย (Tarkosova and Copikova, 2000) วัดค่าบrix ความแน่นเนื้อในผลเชอร์รี่ (Lu, 2001) วัดความแน่นเนื้อ น้ำหนักแห้งในแตงกวา (Kavdir, 2007) วัดค่าบrix ในเกรปฟรุต (Miller and Zude-Sasse, 2004) วัดค่าบrix ในเชอร์รี่ (Carlini et al., 2000) วัดค่าบrix ของสับปะรด (Walsh et al., 2004) ตรวจสอบค่าบrix ขององุ่น (Herrera et al., 2003) และยังมี งานวิจัยที่ได้นำเอา NIRS ช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่านมาใช้ในการทำนายอาหารเนื้อแก้วในผลมังคุดแบบไม่ทำลาย ซึ่งได้ผลที่ดีมีความแม่นยำสูง (สนธิสุข, 2550) อีกทั้งยังมีการนำเอาเทคนิค NIRS ไปใช้กับมะเขือเทศด้วย เช่น การตรวจวัดปริมาณน้ำตาลและกรดซึ่งเป็นการทำนายคุณภาพของเนื้อมะเขือเทศ (Flores et al., 2009) การแยกความแตกต่างของสายพันธุ์มะเขือเทศ (Xie et al., 2009) การทำนายปริมาณก๊าซเอทิลีนในมะเขือเทศ (Xie et al., 2009) และ (Chen, 2008) ยังประยุกต์ใช้ Vis-NIR ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของมะเขือเทศอีกด้วยแต่ยังมีได้มีการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศมาก่อนหน้านี้

ดังนั้นเทคนิค NIRS ช่วงสายตามองเห็นและใกล้อินฟราเรด (Vis-NIR) จึงน่าที่จะสามารถนำมาใช้ในการทำนายการเกิดเชื้อรา และความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศแบบไม่ทำลายได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ได้สมการที่ใช้ในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อ จากเทคนิคการดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นที่สายตามองเห็นและใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน

1.2.2 เพื่อให้ได้เทคนิคในการทำนายความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อแบบไม่ทำลาย

1.2.3 เพื่อให้ได้ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบการคัดแยกคุณภาพของมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อแบบไม่ทำลาย

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา การทำนายการเกิดเชื้อราและระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน โดยทำการศึกษาในมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อซึ่งทำการสุ่มจากท้องตลาดเพื่อทำการวิจัย โดยทำการสุ่มมะเขือเทศจากท้องตลาด ทำการคัดเลือกมะเขือเทศที่มีความสุกแก่ ความสม่ำเสมอทั้งขนาดและสีของและพร้อมสำหรับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ก่อนทำการทดลอง

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

### 1.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1.4.1.1 refractometer (Atago รุ่น 3442 PR-1-10, Palette Serie Portable)
- 1.4.1.2 auto titrator (METTLER TOLEDO รุ่น T50)
- 1.4.1.3 beaker
- 1.4.1.4 ซ้อนตักสาร
- 1.4.1.5 ที่คั้นน้ำผลไม้
- 1.4.1.6 มีด
- 1.4.1.7 เขียง
- 1.4.1.8 ถาดสเตนเลส
- 1.4.1.9 ตู้อบลมร้อน
- 1.4.1.10 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 2, 4 ตำแหน่ง (Denver instrument TB-214)
- 1.4.1.11 auto pipette
- 1.4.1.12 ถุงขยະ
- 1.4.1.13 กระดาษชำระ
- 1.4.1.14 กล้องถ่ายรูปแบบดิจิตอลพร้อมขาตั้งและฉาก (Fujifilm, FinePix F700)
- 1.4.1.15 เครื่อง Vis near infrared spectroscopy (Vis-NIRS) (PureSpect, Saika TIF., Japan)
- 1.4.1.16 ถ้วยพลาสติก
- 1.4.1.17 ถุงพลาสติก
- 1.4.1.18 วัตถุดิบ
- 1.4.1.19 มะเขือเทศ พันธุ์ลูกท้อ
- 1.4.1.20 สารเคมี
- 1.4.1.21 Sodium hydroxide (NaOH)
- 1.4.1.22 Potassium hydrogen phthalate (KHP)

### 1.4.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสุ่มมะเขือเทศจากตลาดหัวตะเข้ เขตตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยทำการคัดเลือกมะเขือเทศที่มีความสุกแก่และพร้อมสำหรับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ด้วยความระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดการช้ำและการตกกระทบ จากนั้นบรรจุมะเขือเทศที่สุกมาลงในภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูก และทำการขนส่งโดยทางรถยนต์ ขนย้ายมายังห้องปฏิบัติการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการคัดเลือกผลมะเขือเทศที่มีความสม่ำเสมอทั้งขนาดและสีของผิวสุกแก่ ก่อนทำการทดลองจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาเก็บรักษาไว้ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วันก่อนทำการวัด

#### 1.4.3 ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบ

คัดเลือกมะเขือเทศที่มีวัยเดียวกันและมีสีสม่ำเสมอ แบ่งเป็นกลุ่มมะเขือเทศปกติอย่างน้อย 200 ผล และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในอย่างน้อย 200 ผล มาเก็บข้อมูลและทำการวิเคราะห์ผล

#### 1.4.4 การวัดน้ำหนัก

ทำการชั่งน้ำหนักผลมะเขือเทศด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิทัล 4 ตำแหน่ง (g)

#### 1.4.5 การวัดขนาด

วัดขนาดผลมะเขือเทศ (เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูง) ด้วยดิจิทัลเวอร์เนียคาลิเปอร์

#### 1.4.6 การวัด Vis-NIR Spectroscopy

นำผลมะเขือเทศแต่ละผล มาทำ 5 จุดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง Vis-NIR spectrophotometer (PureSpect, Saika TIF., Japan), transmittance mode ช่วงความยาวคลื่น 400-1000 นาโนเมตร โดยระบุตำแหน่งของการวัดทั้ง 4 ด้านของแต่ละผล โดยให้ห่างกันทำมุม 90 องศาโดยรอบของผลมะเขือเทศ

1.4.7 การวิเคราะห์การเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ ด้วยเทคนิคร่วมระหว่างคอมพิวเตอร์ กล้องดิจิทัล และ graphics software

นำมะเขือเทศที่ผ่านการวัดการดูดกลืนแสงด้วย Vis-NIRS มาทำการตัดตามขวางด้วยขนาดความหนาที่เท่ากันในแต่ละผล โดยทำการผ่าที่กึ่งกลางผล จากนั้นผ่าครึ่งที่ กึ่งกลางของแต่ละซีก แล้วทำการถ่ายภาพทั้งสองด้านของชิ้นมะเขือเทศด้วยกล้องดิจิทัล โดยควบคุมระดับแสงและระยะห่างให้คงที่ ซึ่งแต่ละผลจะต้องทำการถ่ายภาพ 6 ครั้ง แล้ว ทำการนำภาพเข้าสู่โปรแกรม Adobe Photoshop CS5 Extended สำหรับทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อระดับความรุนแรงของอาการในแต่ละผล โดยเป็นการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติต่อพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละผล ทั้งนี้ทำการคำนวณจากจำนวน pixel ของพื้นที่ที่ผิดปกติหารด้วยจำนวน pixel ของพื้นที่ทั้งหมดภายในผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศต่อไป

#### 1.4.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

คัดเลือกวัตถุดิบที่ทำการเก็บข้อมูลไว้โดยเป็นกลุ่มมะเขือเทศปกติ 200 ผล และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลอีก 200 ผลมาทำการวิเคราะห์ โดยทำการสุ่มแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกใช้เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักวิจัยเห็นจำเป็นต้องใช้ขอขานการดำเนินการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างโมเดลและกลุ่มที่สองใช้ในการทำนาย เพื่อให้ทั้งสองกลุ่มมีการกระจายของข้อมูลที่ดี และข้อมูลของกลุ่มที่สร้างโมเดลต้องครอบคลุมข้อมูลในกลุ่มที่ใช้ในการทำนาย โดยทำทั้งกลุ่มมะเขือเทศปกติ และมะเขือเทศกลุ่มที่เกิดเชื้อราภายในผล แล้วทำการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณต่อไป

สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนั้น เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยวิธี Discriminant analysis โดยพิจารณาจาก Fisher's discriminant function และทำการทดสอบการแยกกลุ่มด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) โดยมีวิธีการคือนำข้อมูลที่แยกไว้ มาใช้ในการสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่ม โดยทำการทดสอบข้อมูลด้วยการทำ pretreatment แบบต่างๆ เพื่อเลือกวิธีที่ดีที่สุดโดยกำหนดให้มะเขือเทศปกติคือ 0 และมะเขือเทศที่ผิดปกติคือ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLS-DA) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก

สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้น เป็นการพิจารณาระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ โดยวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติจากการคำนวณ จำนวน pixel สำหรับส่วนที่เป็น pixel ของมะเขือเทศส่วนที่เกิดเชื้อราภายในผล ต่อส่วนที่เป็น pixel ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเป็นการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติต่อพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละผล ทั้งนี้ทำการคำนวณจากจำนวน pixel ของพื้นที่ที่ผิดปกติหารด้วยจำนวน pixel ของพื้นที่ทั้งหมดภายในผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล โดยมะเขือเทศที่มีเปอร์เซ็นต์ index ของความผิดปกติสูง ก็จะมีระดับความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศที่สูงด้วย

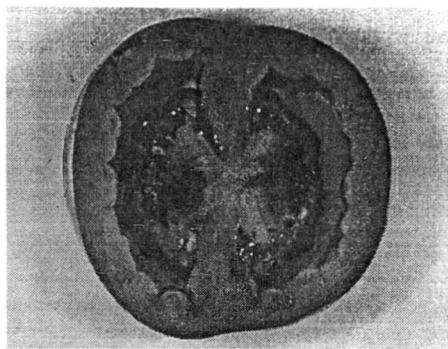
ในการประเมินประสิทธิภาพในการทำนายของโมเดล ใช้ข้อมูลของกลุ่มที่แยกไว้สำหรับการทำนาย โดยวิธี cross-validation และพิจารณาเปรียบเทียบค่าของ correlation coefficient (R) และค่าของความผิดพลาดจากการทำนายหรือ standard error of calibration (SEC) และค่า bias ที่ได้ ใช้ในการตัดสินใจว่าโมเดลแต่ละโมเดลมีความสามารถในการทำนายได้มากน้อยเพียงใด โดยที่โมเดลที่มีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำกว่าจะต้องมีค่า correlation coefficient ที่สูง และมีค่า standard error of calibration ที่ต่ำกว่า โดยการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม The Unscrambler (version 9.8, CAMO AS, Trondheim, Norway)

## 1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

### 1.5.1 สมมุติฐานการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ

การเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศเป็นลักษณะปรากฏของเชื้อราอยู่ตรงแกนกลางของมะเขือเทศขณะผ่าออก แต่ไม่สามารถมองเห็นได้จากลักษณะภายนอกและเชื้อรานี้ก็ยังคงปรากฏถึงแม้ว่ามะเขือเทศจะยังคงสดอยู่ก็ตาม ซึ่งเกิดจากขณะที่ดอกมะเขือเทศบานนั้น เชื้อราในอากาศได้ตกลงไปบริเวณภายในของดอกและเจริญอยู่บริเวณนั้น เมื่อดอกเจริญต่อไปเป็นผลได้หุ้มปิดเชื้อราไว้ ซึ่งเชื้อราบางชนิดสามารถเจริญได้ในสภาพอากาศน้อย แต่มีความชื้นและอาหารเพียงพอ เชื้อราที่เกิดขึ้นภายในอาจเป็นสปอร์ของเชื้อรา อาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคและทำให้คุณภาพของมะเขือเทศลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผล

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถสร้างสมการทำนายการคัดแยกมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผล และสามารถนำหลักการตรวจสอบนี้มาปรับใช้ในการออกแบบ กระบวนการคัดแยกคุณภาพมะเขือเทศแบบไม่ทำลายในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการคัดแยกมะเขือเทศก่อนเข้ากระบวนการผลิต

1.6.2 เป็นการพัฒนาเทคโนโลยี สำหรับกระบวนการคัดแยกเพื่อให้โรงงาน ผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

1.6.3 สามารถคัดแยกคุณภาพของมะเขือเทศ ซึ่งจะเป็นการยกระดับราคาของผลผลิตทางการเกษตร ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรไม่ถูกโรงงานตัดราคาเนื่องจากปัญหาคุณภาพ จะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นและง่ายต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรมด้วย

1.6.4 ได้ผลงานทางวิชาการและเขียนเป็นบทความตีพิมพ์เผยแพร่เป็นส่วนหนึ่งของการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโทและเป็นความรู้ให้แก่บุคคลทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง /การทบทวนวรรณกรรม

##### 2.1.1 มะเขือเทศ

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) เป็นพืชผักที่อยู่ในวงศ์ *Solanaceae* เป็นพืชล้มลุกอายุเพียง 1 ปี ลำต้นตั้งตรง มีลักษณะเป็นพุ่ม มีขนอ่อน ๆ ปกคลุม ใบเป็นใบประกอบออกสลับกัน ใบย่อยมีขนาดไม่เท่ากันบางใบเล็กเรียวยาวบางใบกลมใหญ่ ปลายใบแหลม ขอบใบเป็นหยักลึกคล้ายฟันเลื่อยมีขนอ่อน ๆ ออกดอกเป็นช่อหรือดอกเดี่ยวบริเวณซอกใบ ดอกมีสีเหลือง มีกลีบเลี้ยงสีเขียวประมาณ 5-6 กลีบ ผลเป็นผลเดี่ยว มีขนาดรูปร่างและสีต่างกัน ซึ่งมีขนาดเล็กประมาณ 3 เซนติเมตร จนถึงใหญ่ประมาณ 10 เซนติเมตร รูปร่างมีทั้งกลม กลมแบน หรือกลมรี ผิวนอกสลับเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียวหรือเขียวอมเทา เมื่อสุกจะมีสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง เนื้อภายในฉ่ำด้วยน้ำ มีรสเปรี้ยว เมล็ดมีเป็นจำนวนมาก มะเขือเทศมีหลากหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์สีดา พันธุ์โรมาเรดเพียร์ เป็นต้น (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2553) มะเขือเทศสามารถขึ้นได้ดีกับดินแทบทุกชนิด แต่ชอบดินร่วนที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินในช่วง 6.0-6.8 และความชื้นของดินพอเหมาะ ต้องการแสงแดดเต็มที่ตลอดวัน ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 21-24 องศาเซลเซียส มะเขือเทศอุตสาหกรรมมีพื้นที่ปลูกที่สำคัญคือจังหวัดบุรีรัมย์ อุตรดิตถ์ สุรินทร์ และตาก ส่วนมะเขือเทศรับประทานสดมีพื้นที่ปลูกที่สำคัญคือ จังหวัดลำปาง และ ลพบุรี

##### 2.1.2 ศัตรูพืชที่สำคัญและวิธีการป้องกันกำจัด

###### 2.1.2.1 โรค

โรคเหี่ยวเฉา เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย เมื่อเกิดโรคนี้ มะเขือเทศจะแสดงอาการเหี่ยวเฉาและตายทั้งต้นอย่างรวดเร็วในเวลาเพียง 2-3 วัน อาจป้องกันโดยดปลูกมะเขือเทศในที่ที่เป็นโรคนี้น้อย 6 ปี หรือใช้พันธุ์ต้านทานโรค

โรคเหี่ยวเหลือง เกิดจากเชื้อรา จะทำความเสียหายกับผลมะเขือเทศที่ปลูกในสภาพแวดล้อมค่อนข้างชื้นและอากาศเย็น มักเกิดในระยะที่มะเขือเทศเริ่มติดผล การป้องกันก่อนปลูกควรปรับปรุงแปลงด้วยปุ๋ยคอกและปูนขาว และเมื่อโรคมึนแปลงปลูกให้ใช้สารกำจัดโรคพืช ฟิซีเอินบี ไวตาแวกซ์ หรือ ฟิซีเอินบี

###### 2.1.2.2 แมลง

หนอนเจาะผลมะเขือเทศ แมลงจะวางไข่เดี่ยว ๆ ใต้ใบใกล้กับช่อ ดอก กลีบเลี้ยง หรือตามยอดของลำต้น ไข่สีครีม และค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้น การ ป้องกันกำจัดคือ หมั่นตรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอในระยะก่อนติดผล และกำลังติดผลอ่อน หรือการฉีดด้วยสารเคมีพวก โมโนโตรโตฟอส แลนเนท และยาเชื้อ

แมลงหิวข้าว จะทำลายดูดน้ำเลี้ยงเป็นพาหะนำไวรัส สาเหตุของ โรคใบหงิกเหลือง ของมะเขือเทศ การป้องกันโดยใช้คาร์โบฟูแรน 1-2 กรัม หยอดกันหลุม ก่อนปลูก แล้วฉีดพ่นด้วย คาร์โบซัลแฟน

### 2.1.3 พันธุ์ที่ปลูกมากในประเทศไทย

#### 2.1.3.1 มะเขือเทศราชินี

มะเขือเทศราชินี (*Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme*) วงศ์ *Solanaceae* หรือ มะเขือเทศเชอร์รี่ มะเขือเทศมีหลายพันธุ์แต่มะเขือเทศกลุ่มมะเขือเทศราชินีมีผลขนาดเล็กมีความใกล้เคียงกับมะเขือเทศที่ขึ้นเองในธรรมชาติ มะเขือเทศราชินีหรือมะเขือเทศเชอร์รี่ จะมีรสหวานมากกว่า มะเขือเทศลูกโตทรงแบนๆที่ไต้หวันไวกินกับแฮมเบอร์เกอร์ในสหรัฐอเมริกา มะเขือเทศลูกใหญ่เป็นเป็น มะเขือเทศสำหรับกินกับเนื้อหรือ Beef eater มะเขือเทศราชินีมักใช้กินเป็นอาหารว่างหรือใส่ในอาหารจาน สลัด (โครงการสื่อเพื่อสังคม, 2009)



ภาพที่ 2.1 มะเขือเทศราชินี

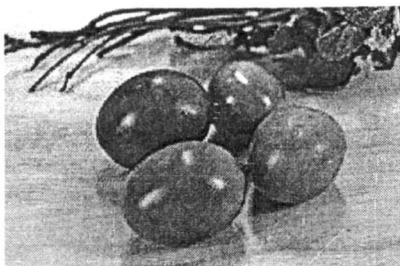
ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2552

มะเขือเทศราชินี เป็นมะเขือเทศชนิดที่เล็กที่สุด มีเส้นผ่านศูนย์กลางราว 2 เซนติเมตร ลักษณะผลกลมคล้ายลูกพลัมและลูกแพร์ (Food Pedia , 2010) รสชาติหวาน เนื้อแน่นและมีกลิ่นหอม มีสารเบต้าแคโรทีน วิตามินซี และวิตามินอีสูง การปลูกมะเขือเทศราชินีนั้นจะเก็บเกี่ยวได้ภายใน 90 วัน และมีผลผลิตเฉลี่ย 2,000-4,000 กิโลกรัมต่อไร่ มะเขือเทศราชินีสามารถแปรรูปไปทำเป็นมะเขือเทศราชินีอบแห้ง และมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มได้ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2552)

#### 2.1.3.2 มะเขือเทศสีดา

มะเขือเทศสีดา เป็นมะเขือเทศชนิดผลเล็กสีชมพูออกแดง ผลสดมีรสเปรี้ยวชุ่มเย็น เล็กน้อย มีวิตามินเอ วิตามินซี กรดมาลิกและกรดซิตริก เป็นมะเขือเทศที่คนไทยนิยมนำมาเป็นอาหารหลัก และนำมาทำเป็นส่วนประกอบของส้มตำที่ดังไปทั่วโลก และยังมีมะเขือเทศสีดาใส่ในซุบเนื้อ ซุปไก่ ทำน้ำพริกอ่อง ผัดเปรี้ยวหวาน เป็นต้น (ชีวจิต, 2542)

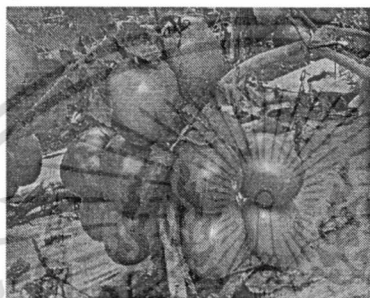
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 มะเขือเทศสีดา

ที่มา : [http://data.foodtravel.tv/datastore/recingradient/108/recingradient108\\_0\\_normal.jpg](http://data.foodtravel.tv/datastore/recingradient/108/recingradient108_0_normal.jpg)

### 2.1.3.3 มะเขือเทศลูกท้อ



ภาพที่ 2.3 มะเขือเทศลูกท้อ

ที่มา : <http://www.fsseeds.net>

มะเขือเทศลูกท้อ เป็นมะเขือเทศที่มีลักษณะผลโต เนื้อแข็งและมีลักษณะคล้ายลูกท้อ หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มะเขือเทศโรงงาน โดยส่วนใหญ่ทั่วโลกมักจะนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปใน โรงงานอุตสาหกรรมรูปต่างๆเช่น น้ำมะเขือเทศ (juice) ซอสมะเขือเทศ (ketchup) เนื้อมะเขือเทศเปียก (tomato paste) ผลมะเขือเทศปอกเปลือกในน้ำมะเขือเทศ (whole peeled tomato) บรรจุกระป๋อง เป็นต้น (ชีวจิต, 2542) ทรงต้นสูงประมาณ 80-120 ซม. ลูกทรงลูกท้อ ไม่มีใบ ก้านไม่แหลม เนื้อแน่น ภายในมีสองห้อง 1ช่อดอกติดลูกมะเขือเทศประมาณ 5-7 ลูกต่อช่อ เปลือกหนาเหมาะสำหรับการขนส่งระยะไกล เมื่อเก็บผลมะเขือเทศแล้ว สามารถวางอยู่ในอุณหภูมิปกติได้ โดยไม่ต้องเข้าตู้เย็นสามารถ คงสภาพได้นานถึง 1 สัปดาห์ โดยผลมะเขือเทศไม่เสียและอยู่ในสภาพที่พร้อมขาย (Friendship seed Ltd., 2009)

### 2.1.4 หลักการทำงานของ near infrared spectroscopy

Near infrared spectroscopy เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (ศิราพร, 2551) โดยอาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างเป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดีและรวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อฉายแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR ลงไปบนตัวอย่าง แสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลใน functional groups ต่าง ๆ (คู่มือเอกสารเรียนเป็นเอกสารหลังวันเวสทีชปีการแข่งในเพื่อการศึกษานาน เมื่อคุณผู้เขียนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร, 2545) near infrared เป็นคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 800-2500 nm สามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 800-1100 นาโนเมตร และช่วงคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (Osborne et al., 1993) ซึ่งจะมีผลทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่มีความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจาก ground vibrational level ไปยัง excited vibrational level คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด (near infrared; NIR) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่างช่วงคลื่นแสงวิสิเบิล (visible) และช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดย่านกลาง (middle infrared; MIR) พลังงานของคลื่นแสง NIR จะอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับการสั่น (vibration) ของพันธะภายในโมเลกุล หากการสั่นของพันธะใดเกิดที่มีความถี่ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแสง NIR ก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนขึ้น (ศิริพร, 2551) ซึ่งการดูดกลืนแสง NIR ใช้มากในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของสารประกอบอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

เมื่อต้องการหาองค์ประกอบหนึ่งในตัวอย่าง จะต้องเลือกความยาวคลื่นจำเพาะ เพื่อให้องค์ประกอบนั้นดูดกลืนคลื่นแสง NIR ไว้ spectrum จาก NIR เป็น absorption spectrum จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนพลังงานกับความยาวคลื่น

### 2.1.5 หลักการวัดของเครื่อง NIR spectroscopy มีด้วยกันหลายเทคนิคคือ

2.1.5.1 transmission เป็นการวัดปริมาณแสง ที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ

2.1.5.2 reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย

2.1.5.3 transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทองหรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุดแล้วสะท้อนกลับมายัง detector

2.1.5.4 interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนดานนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง

### 2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS

2.1.6.1 ขนาดของอนุภาค เนื่องจากขนาดของตัวอย่างมีความสัมพันธ์ กับการดูดกลืนแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติขององค์ประกอบของสาร และจะทำให้ค่าการ ดูดกลืนแสงที่ได้ไม่ใช่ค่าจริง ขนาดของอนุภาคยังขึ้นอยู่กับการเตรียมตัวอย่างเพราะจะทำให้ การวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน จึงควรใช้การเตรียมตัวอย่างแบบเดียวกันทุก ครั้งที่ทำการวัดและควรให้มีขนาดใกล้เคียงกัน

2.1.6.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิของตัวอย่างระหว่างการวัดโดยใช้ NIRS อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัดองค์ประกอบทางเคมี ได้มีการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในพริกหยวก พบว่าเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างที่ -5 องศาเซลเซียส ความแน่นเนื้อที่วัดได้จะสูงกว่า การใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสแต่เมื่อวัดค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่ 45 องศาเซลเซียส ความแน่นเนื้อที่วัดได้จะต่ำกว่าค่าจริง 0.5% (Guyer et al., 2006) ทำการแก้ไขได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของห้องทดลองให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.3 ความชื้น เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาด ในการอ่านค่าองค์ประกอบทางเคมี ความชื้นอาจสูญเสียไปได้จากการเตรียมตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง ได้มีการศึกษาความแปรปรวนของความชื้นในลูกพลัมพบว่า ลูกพลัมที่มีความชื้นสูงจะทำให้การอ่านค่าผิดไปจากค่าจริงมาก (Greensill and Walsh , 2000)

2.1.6.4 เกรด สายพันธ์ ฤดูกาลและสถานที่ ความแตกต่างทางเกรด สายพันธ์ ฤดูกาล และสถานที่เก็บก็เป็นปัจจัยที่ทำให้การวัดค่าองค์ประกอบของตัวอย่างผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงควรมีการคัดเลือกตัวอย่างให้สม่ำเสมอตลอดทั้งการทดลอง

## 2.1.7 ส่วนประกอบของเครื่อง near infrared spectroscopy

2.1.7.1 แหล่งกำเนิดแสง near infrared spectroscopy ที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็นของแข็งที่เฉื่อย ซึ่งสามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟจนมีอุณหภูมิที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงมีความเข้มสูงสุดที่ความถี่ตามที่ต้องการ

2.1.7.2 ช่องที่วางตัวอย่างเพื่อวัด ส่วนที่บรรจุตัวอย่าง แล้วนำไปใส่ช่องที่สำหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิด เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้าไป และถูกกั้นออกจากส่วนที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบแสง

2.1.7.3 โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ส่วนประกอบนี้เป็นหัวใจของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก(เป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) ให้เป็นแสงโมโนโครเมติกซึ่งเป็นแสงแคบๆ

2.1.7.4 เครื่องวัดแสง near infrared (NIR detector)

2.1.7.5 เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล สัญญาณที่ได้จากเครื่อง จะถูกนำไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไปหรือนำสัญญาณที่ได้ไปแยกออก

## 2.1.8 การแปลงหรือการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม (Spectrum pretreatment)

การแปลงข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR เพื่อลดอิทธิพลของปัจจัยดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้สเปกตรัมมีความแตกต่างกัน ส่งผลต่อสมการที่สร้างขึ้น ดังนั้นการแปลงข้อมูลสเปกตรัมโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ถือเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้ขั้นตอนการสร้างสมการทำนายมีความแม่นยำมากขึ้น วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการแปลงข้อมูลสเปกตรัมได้แก่

2.1.8.1 วิธีอนุพันธ์ (derivative) เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัมเพื่อแก้ปัญหาพีกที่มีฐานกว้าง (broad peak) เนื่องจากการซ้อนทับกันของพีก (overlapping) และอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (base line shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattering light) เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสงเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ การอัดตัว และการกระจายตัวของตัวอย่างภายในเซลล์บรรจุที่แตกต่างกัน โดยการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 1 (first derivative) สามารถลดปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัม ตลอดช่วงความยาวคลื่นตามแกน Y ทำให้เส้นสเปกตรัมเลื่อนมาชิดกัน แต่พีกของสเปกตรัมยังมีฐานกว้าง จึงไม่สามารถแยกพีกออกจากกันอย่างชัดเจนได้ อีกทั้งวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 ให้ความหมายเป็นค่าความชันของสเปกตรัมแต่ละความยาวคลื่นซึ่งทำให้แปลความหมายได้ยาก แต่การแปลงข้อมูลด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 2 (second derivative) สามารถลดผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมมีขนาดเพิ่มขึ้นตลอดช่วงความยาวคลื่นตามแกน Y ที่ชัดเจนกว่าวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 และแยกพีกสเปกตรัมที่มีการซ้อนทับกันออกจากกันได้อย่างชัดเจน

2.1.8.2 วิธี multiplicative scatter correction (MSC) เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัม เพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสงที่เกิดจากสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดค่าผิดพลาด

2.1.8.3 วิธี smoothing เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อน โดยมีการแทนค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงความยาวคลื่นตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ต่อจากนั้นเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่น แล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งสามารถลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยจะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิม แต่จะเรียบสม่ำเสมอ

## 2.1.9 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ

2.1.9.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; R) คือ ค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (x) และตัวแปรตาม (y) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 หมายความว่าสมการที่สร้างขึ้น สามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าทำนาย ที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (x) กับค่าแปรตาม (y) ที่มีความสัมพันธ์กันมาก

2.1.9.2 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration; SEC) คือ ค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้ดีหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.1.9.3 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (standard error of prediction; SEP) คือ ค่าที่บอกถึงการนำเอาสมการที่สร้างขึ้น มาทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่อง NIR มีความแม่นยำสูงหรือต่ำ ซึ่งถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อย หมายความว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง

2.1.9.4 ค่าเฉลี่ย ของผลต่างระหว่างค่าที่ได้ จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (average of difference between actual value and NIR value; bias) คือ ค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลของตัวแปรตาม (Y) และค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) มีความแตกต่างกันหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.1.9.5 อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม validation set ต่อค่า SEP (ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD) ค่าจากที่คำนวณได้มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง หมายถึง ค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIR มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากวิเคราะห์จริง

### 2.1.10 โปรแกรม Photoshop

Adobe Photoshop มักเรียกสั้นๆ ว่า โฟโตชอป (Photoshop) เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่มีความสามารถในการจัดการแก้ไขและตกแต่งรูปภาพ (photo editing and retouching) แบบเรสเตอร์ ผลิตโดยบริษัทอะโดบีซิสเต็มส์ ซึ่งผลิตโปรแกรมด้านการพิมพ์อีกหลายตัว ที่ได้รับความนิยม เช่น Illustrator และ InDesign ปัจจุบันโปรแกรมโฟโตชอปพัฒนามาถึงรุ่น CS6 (Creative Suite 6) นักศึกษาปริญญาเอกจากมหาวิทยาลัยมิชิแกนชื่อ ธรอมัส โนล (Thomas Knoll) ได้สร้างซอฟต์แวร์สำหรับทำภาพสีเฉดเทาขาวดำในชื่อ "ดิสเพลย์" (Display) ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนามาเป็นโฟโตชอปในปัจจุบัน บริษัทอะโดบีได้พัฒนาโฟโตชอปให้สามารถใช้งานกับไมโครซอฟท์วินโดวส์ได้ในโฟโตชอปรุ่น 2.5 หลังจากที่พัฒนารุ่นแรกสำหรับเครื่องแมคอินทอชเท่านั้น และได้พัฒนาต่อเนื่องมาจนกระทั่งรุ่นปัจจุบัน รุ่น CS6 โปรแกรมโฟโตชอปเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการจัดการไฟล์ข้อมูลรูปภาพที่มีประสิทธิภาพ การทำงานกับไฟล์ข้อมูลรูปภาพของโฟโตชอปนั้น ส่วนใหญ่จะทำงานกับไฟล์ข้อมูลรูปภาพที่จัดเก็บข้อมูลรูปภาพแบบ Raster โฟโตชอปสามารถใช้ในการตกแต่งภาพเล็กน้อย เช่น ลบตาแดง, ลบรอยแตกของภาพ, ปรับแก้สี, เพิ่มสีและแสง หรือการใส่เอฟเฟกต์ให้กับรูป เช่น ทำภาพสีซีเปีย, การทำภาพโมเซค, การสร้างภาพพैनorama จากภาพหลายภาพต่อกัน นอกจากนี้ยังใช้ได้ในการตัดต่อภาพ และการซ้อนฉากหลังเข้ากับภาพ โฟโตชอปสามารถทำงานกับระบบสี RGB, CMYK, Lab และ Grayscale และสามารถจัดการกับไฟล์รูปภาพที่สำคัญได้ เช่น ไฟล์นามสกุล JPG, GIF, PNG, TIF, TGA โดยไฟล์ที่โฟโตชอปจัดเก็บในรูปแบบเฉพาะของตัวเอง จะใช้นามสกุลของไฟล์ว่า PSD จะสามารถจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของไฟล์ที่เป็นของโฟโตชอป เช่น เลเยอร์, ชันแนล, โหมดสี รวมทั้งสไลส์ ได้ครบถ้วน

#### 2.1.10.1 ความหมายของ Pixel สำหรับงานวิจัย

พิกเซล (Pixel) เป็นการผสมผสานของคำว่า "Picture" และ "element" คือหน่วยพื้นฐานของภาพ ภาพบิตแมปทุก ๆ ภาพประกอบขึ้นด้วยพิกเซล แต่ละพิกเซลจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่เก็บข้อมูลของสี โดยถูกกำหนดตำแหน่งไว้บนเส้นกริดของแนวแกน x และ y ในลักษณะคล้ายแผนที่ (map) นั่นจึงเป็นที่มาของคำว่าบิตแมป (bitmap) เช่น พิกเซลของ ภาพ 8 บิต จะเก็บข้อมูลของสี 8 บิต ที่จอภาพจะใช้ในการแสดงผล ดังนั้นภาพภาพหนึ่งจึงประกอบด้วยพิกเซลเล็ก ๆ จำนวนมาก ซึ่งคุณสามารถมองเห็นได้เมื่อ ขยายภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนของพิกเซล ที่แสดง

ต่อหน่วยของความยาวในภาพจะถูกเรียกว่าความละเอียด ของภาพ โดยปกติจะวัดเป็นพิกเซลต่อนิ้ว (ppi : pixel per inch) ภาพที่มีความละเอียดสูงจะประกอบไปด้วยพิกเซลจำนวนมากที่มีขนาดเล็กกว่าภาพเดียวกันที่มีความละเอียดน้อยกว่า ตัวอย่าง เช่น ภาพขนาด 1 x 1 นิ้ว ที่ความละเอียด 72 ppi จะประกอบด้วยพิกเซล 5,184 พิกเซล (ความกว้าง 72 พิกเซล x ความยาว 72 พิกเซล = 5,184) และภาพเดียวกันที่มีความละเอียด 300 ppi จะประกอบด้วยพิกเซล 90,000 พิกเซลที่มีขนาดของพิกเซลเล็กกว่า ( $300 \times 300 = 90,000$ ) แน่แน่นอน ว่าภาพที่มีความละเอียดมากกว่าก็จะใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมากกว่า

การศึกษาลักษณะการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศแบบไม่ทำลาย จึงเหมาะแก่การทดสอบด้วยวิธี NIRS เป็นอย่างมากเพราะในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศนั้น จำเป็นต้องมีการรับมะเขือเทศเข้าโรงงานเป็นจำนวนมากทำให้ยากแก่การตรวจสอบคุณภาพภายในของมะเขือเทศ ด้วยเหตุนี้เองจึงต้องใช้วิธีทดสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่างที่รวดเร็วและแม่นยำ เพื่อลดระยะเวลาในการตัดแยก และเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกวัตถุดิบให้ดีขึ้น อีกทั้งยังทำให้เกิดสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยแก่ผู้บริโภคอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

ทำการเก็บข้อมูลของมะเขือเทศสองกลุ่มโดยแบ่งเป็นมะเขือเทศปกติจำนวน 100 ผล และกลุ่มมะเขือเทศเชื้อราจำนวน 100 ผล โดยกำหนดให้มะเขือเทศปกติคือ 0 และมะเขือเทศที่ผิดปกติคือ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก

#### 3.2 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อรา ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

กลุ่มของมะเขือเทศเชื้อราจำนวน 150 ผล จะถูกแบ่งเป็นระดับความรุนแรง 3 ระดับตาม % ของการเกิดเชื้อรา คือระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรามาก ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลาง และระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อย ซึ่งแต่ละระดับความรุนแรงจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศเช่นกัน

#### 3.3 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเชิงปริมาณภายในผลมะเขือเทศ

สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำในการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศจำนวน 150 ผล เป็นการพิจารณาระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ โดยวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติจากการคำนวณ จำนวน pixel สำหรับส่วนที่เป็น pixel ของมะเขือเทศส่วนที่เกิดเชื้อราภายในผล ต่อส่วนที่เป็น pixel ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเป็นการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติต่อพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละผล ทั้งนี้ทำการคำนวณจากจำนวน pixel ของพื้นที่ที่ผิดปกติหารด้วยจำนวน pixel ของพื้นที่ทั้งหมดภายในผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล โดยมะเขือเทศที่มีเปอร์เซ็นต์ index ของความผิดปกติสูง ก็จะมีระดับความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศที่สูงด้วย

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

การศึกษาความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ โดยแบ่งเป็นมะเขือเทศปกติจำนวน 100 ผล และกลุ่มมะเขือเทศเชื้อราจำนวน 100 ผล ซึ่งกำหนดให้มะเขือเทศปกติคือ 0 และมะเขือเทศผิดที่ปกติคือ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLS-DA) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก โดยมะเขือเทศจะถูกแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจำนวน 140 ผล และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 60 ผล ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) จากการทำพรีทรีตเมนต์ในแบบต่างๆ โดยพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย standard normal variate transformation (SNV) และ smoothing (Savitsky-Golay) ในมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราสูงที่สุด 85.0% โดยสามารถทำนายมะเขือเทศได้ถูกต้อง 119 ผล จากมะเขือเทศ 140 ผล

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA

Spectral pretreatment	Factor	N	Normal samples		Internal mold samples		%Total Accuracy
			Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	
Original	9	140	61/71	10/71	55/69	14/69	82.9
Smoothing	7	140	61/71	10/71	55/69	14/69	82.9
1 <sup>st</sup> derivative	6	140	61/71	10/71	54/69	15/69	82.1
2 <sup>nd</sup> derivative	4	140	59/71	12/71	47/69	22/69	75.7
MSC	8	140	62/71	9/71	55/69	14/69	83.6
SNV	9	140	63/71	8/71	55/69	14/69	84.3
SNV + Smoothing	11	140	63/71	8/71	56/69	13/69	85.0
Med + 1 <sup>st</sup> derivative	6	140	60/71	11/71	56/69	13/69	82.9
SNV+Med+1 <sup>st</sup> derivative	6	140	62/71	9/71	56/69	13/69	84.3
SNV+Smoothing+1 <sup>st</sup> derivative	12	140	63/71	8/71	55/69	14/69	84.3

มะเขือเทศกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) เพื่อใช้เป็นโมเดลในการทำนายนั้น ถือเป็นโมเดลที่ให้ความแม่นยำในการทำนายค่อนข้างสูง เนื่องจากสามารถทำนายมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง

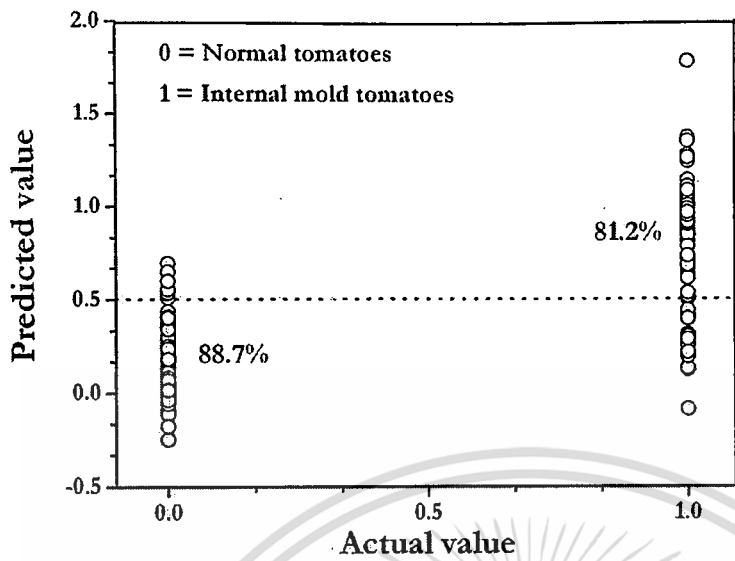
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

88.7% (ทำนายถูกต้อง 63 ผลจากมะเขือเทศ 71 ผล) และ ทำนายมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในได้ถูกต้อง 81.2% (ทำนายถูกต้อง 56 ผลจากมะเขือเทศ 69 ผล) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (a)

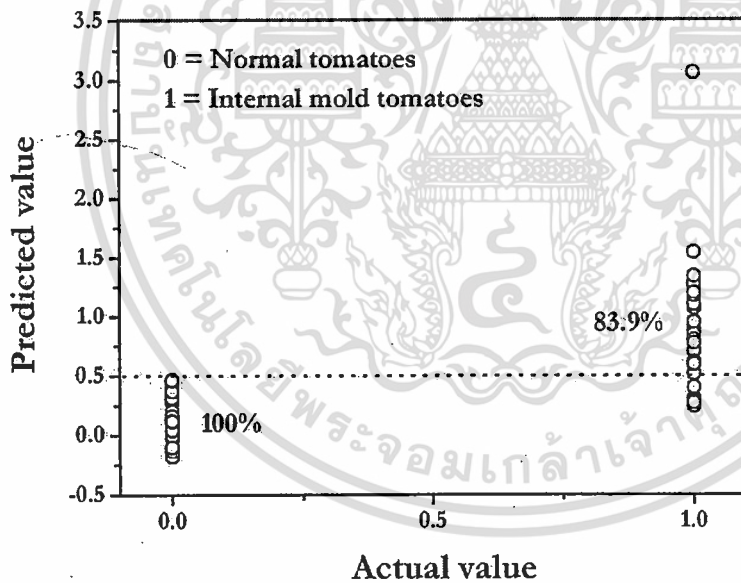
จากการสร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLS-DA) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศนั้น โมเดลที่สร้างขึ้นสามารถใช้ทดสอบความแม่นยำในกลุ่มใช้ทดสอบสมการ (test set) และให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายสูงถึง 91.7% ซึ่งสามารถทำนายมะเขือเทศได้ถูกต้อง 55 ผล จากมะเขือเทศ 60 ผล (ตารางที่ 4.2) โดยสามารถทำนายมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 100% (ทำนายถูกต้อง 29 ผลจากมะเขือเทศ 29 ผล) และ ทำนายมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในได้ถูกต้อง 83.9% (ทำนายถูกต้อง 26 ผลจากมะเขือเทศ 31 ผล) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (b)

ตารางที่ 4.2 แสดง%ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Samples	Spectral pretreatment	Factor	N	Normal samples		Internal mold samples		%Total Accuracy
				Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	
Training set	SNV + Smoothing	11	140	63/71	8/71	56/69	13/69	85.0
Test set	SNV + Smoothing	11	60	29/29	0/29	26/31	5/31	91.7



(a)



(b)

ภาพที่ 4.1 แสดง % ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ (a) และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อรา ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

กลุ่มของมะเขือเทศเชื้อราจำนวน 150 ผล จะถูกแบ่งเป็นระดับความรุนแรง 3 ระดับตาม % ของการเกิดเชื้อรา คือระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลาง และระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรามาก โดยความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อยมีความรุนแรงในช่วง 0-0.99% มีจำนวน 73 ผล ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลางมีความรุนแรงในช่วง 1.00-1.99% มีจำนวน 37 ผล และระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรามากมีความรุนแรงมากกว่า 2 % มีจำนวน 40 ผล ซึ่งแต่ละระดับความรุนแรงจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อทำนายความรุนแรงของการเกิดเชื้อราด้วยการทำ Regression เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 % ความแม่นยำในการทำนายตามระดับความรุนแรงของเชื้อราเชิงคุณภาพ

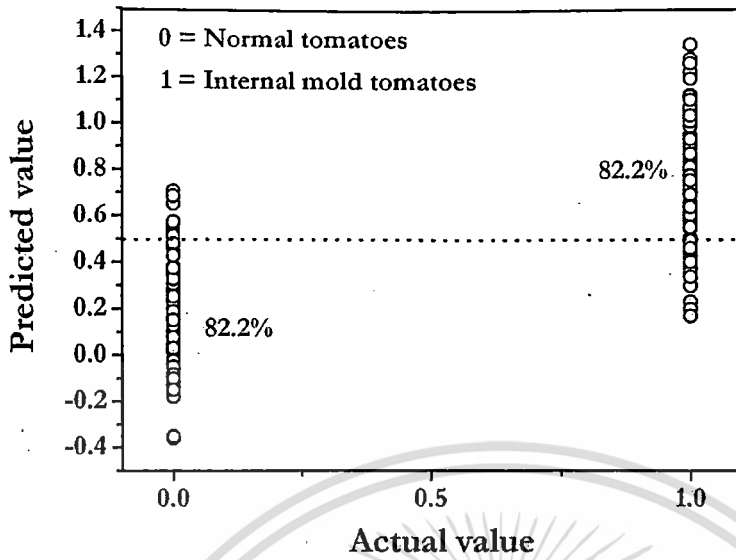
Level of severity	Factor	N	Normal samples		Internal mold samples		%Total Accuracy
			Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	
Low	7	146	60/73	13/73	60/73	13/73	82.2
Medium	6	74	34/37	3/37	27/37	10/37	82.4
High	7	80	38/40	2/40	34/40	6/40	90.0

การทำนายความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยกนั้น โดยในกลุ่มของระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อยนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 146 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 73 ผล และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลอีก 73 ผล จากภาพที่ 4.2 (a) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติและกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลได้ถูกต้อง 60 ผลจากมะเขือเทศ 73 ผล หรือสามารถทำนายได้ถูกต้อง 82.2%

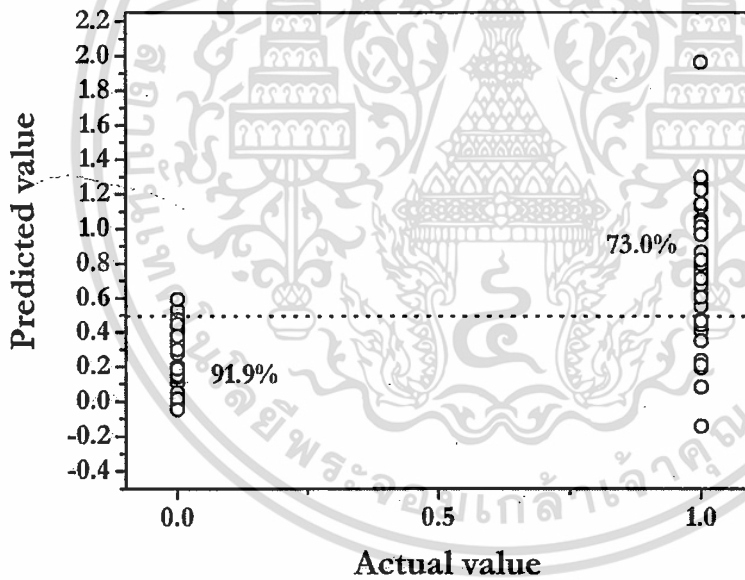
ในกลุ่มของมะเขือเทศระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลางนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 74 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 37 ผล และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลอีก 37 ผล ภาพที่ 4.2 (b) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 34 ผลจากมะเขือเทศ 37 ผล (91.9%) และสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลได้ถูกต้อง 27 ผลจากมะเขือเทศ 37 ผล (73.0%) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายรวมได้ 82.4%

ส่วนในกลุ่มมะเขือเทศระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลางนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 80 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 40 ผล และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลอีก 40 ผล ภาพที่ 4.2 (c) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 38 ผลจากมะเขือเทศ 40 ผล (95.0%) และสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลได้ถูกต้อง 34 ผลจากมะเขือเทศ 40 ผล (85.0%) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายรวมได้ 90.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



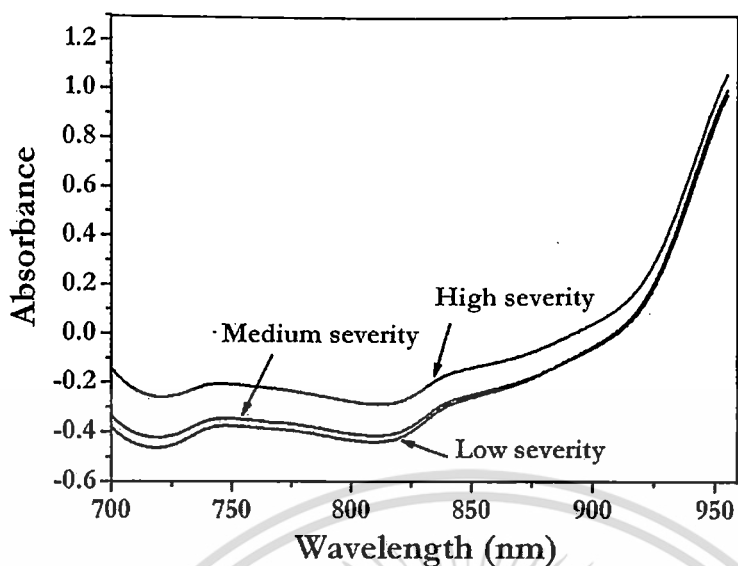
(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาพที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของระดับความรุนแรงของเชื้อราระดับต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

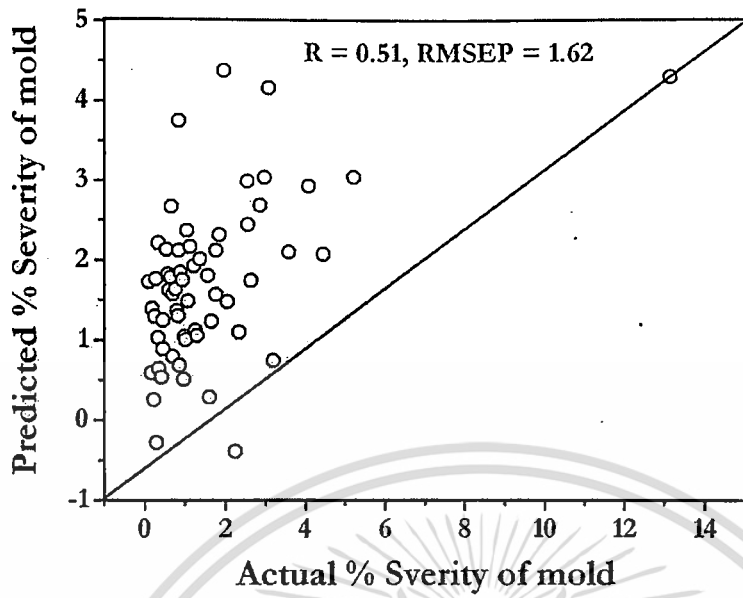
Sample set	N	Unit	Range	Mean	SD
Training	90	%	0.04-14.95	1.63	1.90
Test	60	%	0.11-13.14	1.59	1.90

จากการสร้างโมเดลในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการเพื่อทดสอบการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) ให้ค่า R จากการสร้างสมการ ( $R = 0.50$ ,  $RMSEC = 1.63$ ) และเมื่อนำโมเดลที่ได้ไปใช้ทดสอบสมการในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ ให้ค่าความแม่นยำในการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศได้แม่นยำปานกลาง ( $R = 0.51$ ,  $RMSEP = 1.62$ ) แสดงในตารางที่ 4.5 และกราฟความแม่นยำในการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อราจากการทดสอบสมการของกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (test set) แสดงในภาพที่ 4.4

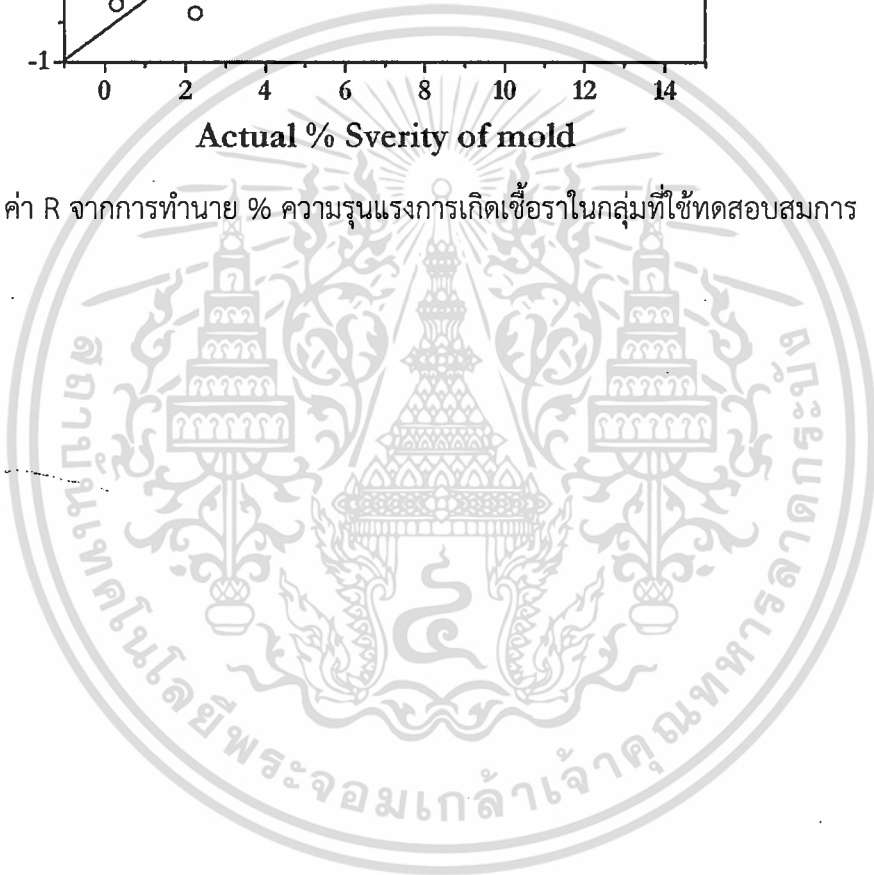
ตารางที่ 4.5 ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม

Spectral pretreatment	Training set				Prediction set		
	N	Factor	R	RMSEC	N	R	RMSEP
Original	90	3	0.50	1.63	60	0.51	1.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ค่า R จากการทำนาย % ความรุนแรงการเกิดเชื้อราในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้การศึกษา การทำนายการเกิดเชื้อราและระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็น และย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ (PLS-DA) พบว่าจากการปรับแต่งสเปกตราด้วย standard normal variate transformation (SNV) และ smoothing (Savitsky-Golay) นั้น สามารถทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการได้ถึง 91.7% และยังสามารถทำนายทำนายการเกิดเชื้อรา ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศได้อีกด้วย โดยพบว่าเมื่อระดับการปนเปื้อนของเชื้อราเพิ่มมากขึ้น ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยระดับการปนเปื้อนของเชื้อรามาก จะมีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงสูงที่สุด และเมื่อทำการศึกษาความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเชิงปริมาณภายในผลมะเขือเทศ ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ (PLSR) พบว่า สามารถทำนาย % ของพื้นที่ที่เกิดเชื้อราในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการได้ไม่ดี

## บรรณานุกรม

- ศิริินภา ศรีม่วงศ์. 2001. การหารระดับความแก่ สำหรับเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงเพื่อการบริโภคสดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. 9: หน้า 287-295.
- สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2550. เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลาย โดยวิธีการวัด การดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด. กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า100-170.
- Carlini, P., Massantini, R., and Mencarelli, F. 2000. Vis-NIR measurement of soluble solids in cherry and apricot by PLS regression and wavelength selection. *Journal of Agriculture*. 48: 5236–5242.
- Chen, L. 2008. Non-Destructive Measurement of Tomato Quality using Visible and Near-infrared Spectroscopy. Master Thesis. McGill University, Canada
- Flores, K., Sanchez, M. T., Dolores, P.M., Guerrero, J.E., and Varo, A.G. 2009. Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato . *Journal of Food Engineering*. 91: 311-318
- Galvez-Sola,L., Moral, R., Perez-Murcia, M.D., Perez-Espinosa,A., Bustamante,M.A., Martinez-Sabater, A., and Paredes, C. 2010. The potential of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the estimation of agro industrial compost quality . *Science of The Total Environment*. 408: 1414-1421
- Gomez, A.H., He, Y., and Pereira, A.G. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*. 77: 313-319
- Lu, R. 2001. Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit . *Postharvest Biology and Technology*. 31: 147-157
- Makino, Y., Ichimura, M., Oshita, S., Kawagoe, Y., and Yamanaka, H. 2010. Estimation of oxygen uptake rate of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits by artificial neural networks modelled using near-infrared spectral absorbance and fruit mass. *Food chemistry*. 121: 533-5

- McGlone, V.A. and Kawano, S. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR-spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 13: 131-141.
- Nicolai, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Karen, I., Lammertyn, T.J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*. 46: 99-118
- Shao, Y., He, Y., Gomez, A.H., Pereir, A.G., Qui, Z., and Zhang, Y. 2007. Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 81: 672-678
- Venture, M., Jager, A.D., Putter, H.D., Frans, P., and Roelofs, M.M. 1998. Non-destructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS) . *Postharvest Biology and Technology*. 1: 21-27
- Xie, L., Ying, Y., and Ying, T. Classification of tomatoes with different genotypes by visible and short-wave near-infrared spectroscopy with least-squares support vector machines and other chemometrics. *Journal of Food Engineering*. 94: 34-39

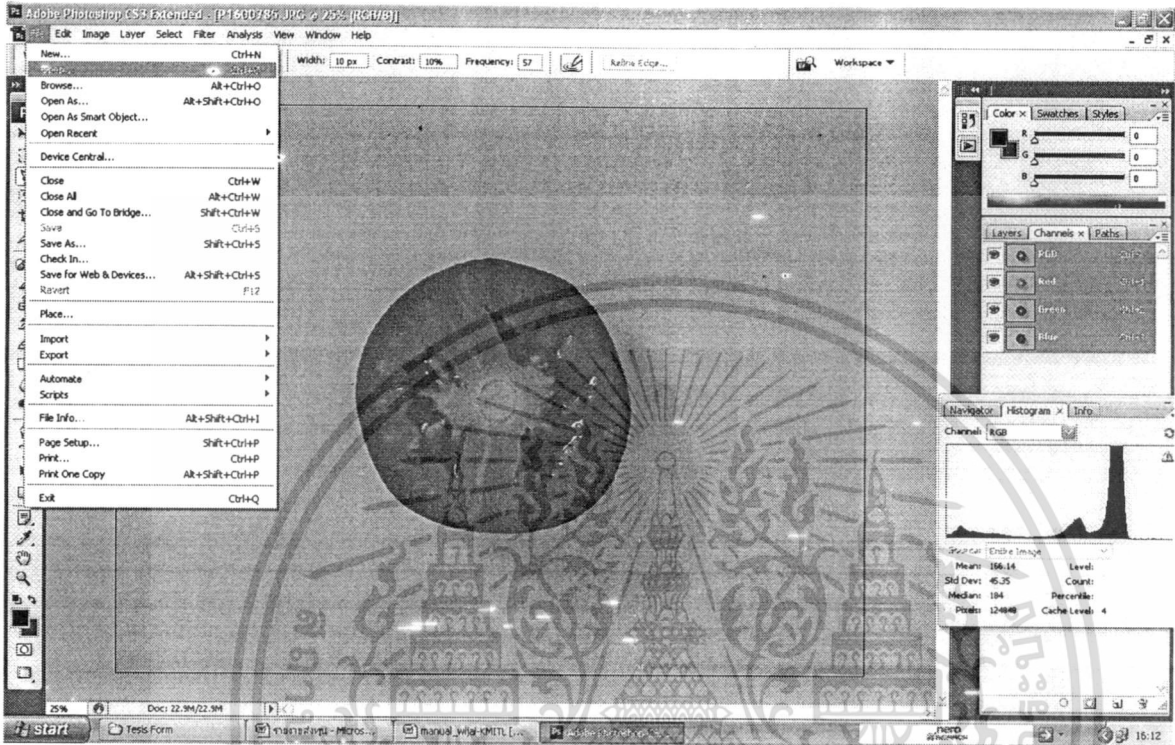


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

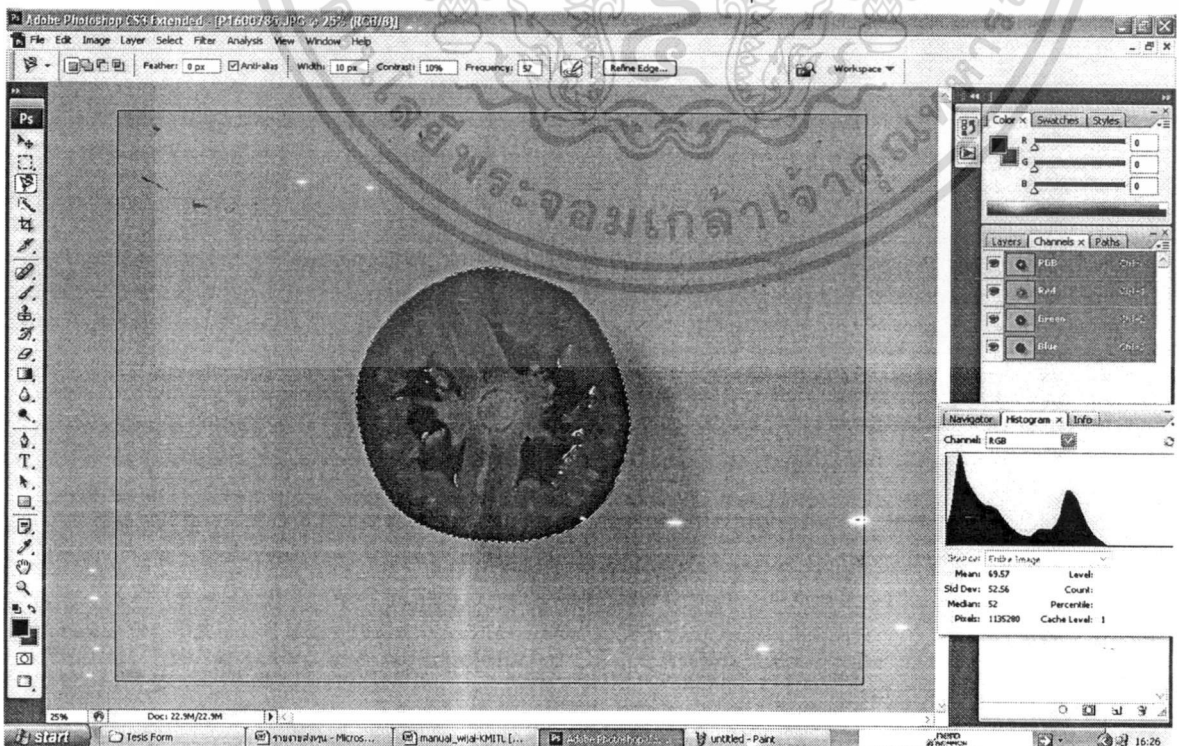
การหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศด้วยโปรแกรม Photoshop

วิธีการหาความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศมีวิธีดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรม Photoshop แล้วเปิดภาพมะเขือเทศที่ต้องการโดย File → Open → เลือกภาพที่ต้องการ

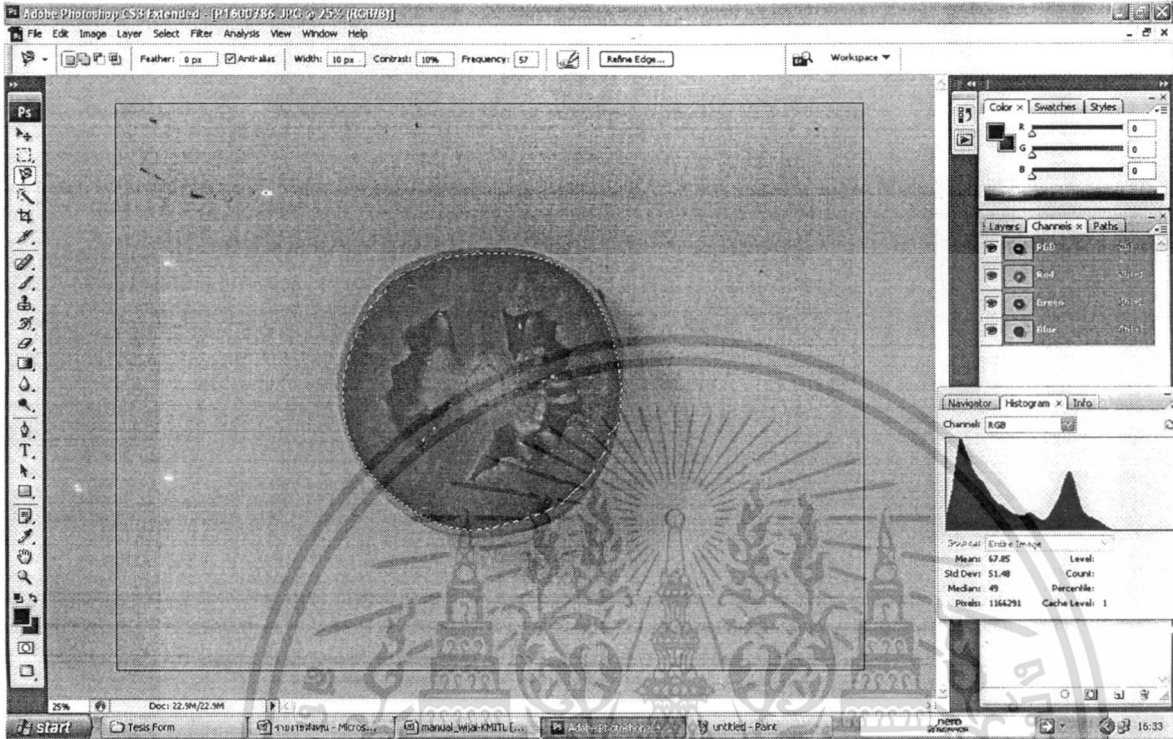


2. คลิกพื้นที่มะเขือเทศ แล้วอ่านค่า pixel จาก histogram โดยก่อนอ่านค่านั้นต้องกำหนดค่า cache level ให้เป็น 1 ก่อน ด้วยการกด uncached refresh ก่อนอ่านค่าทุกครั้ง

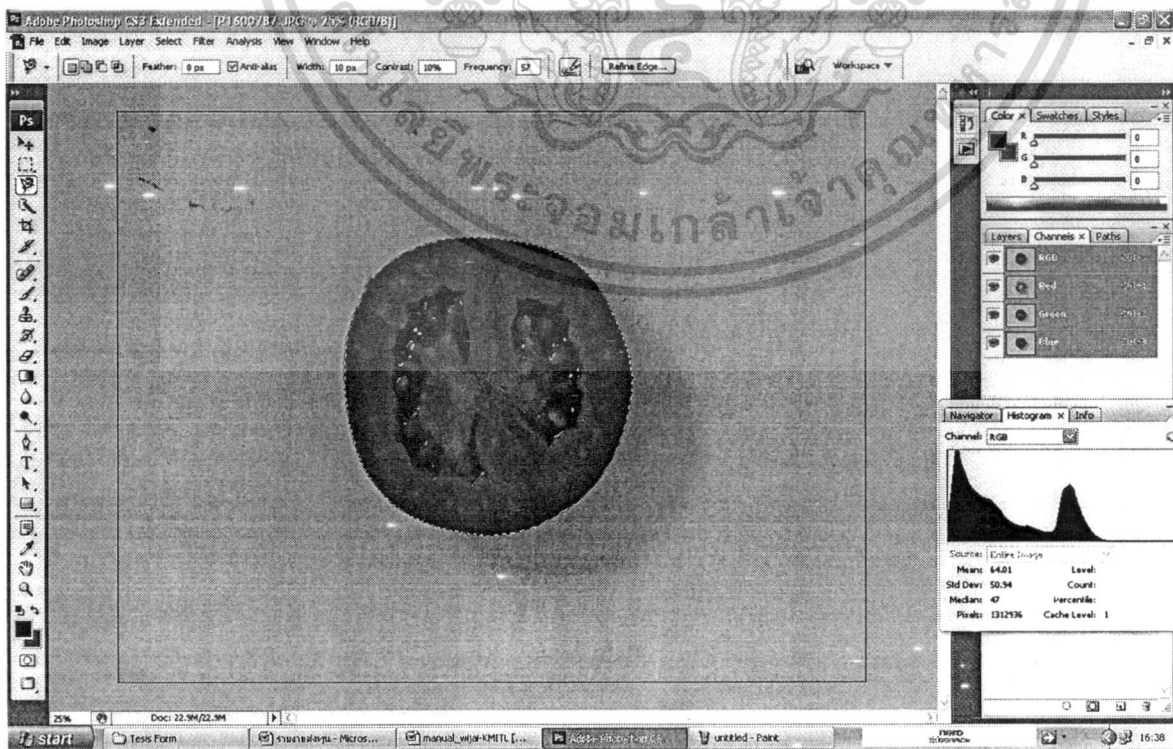


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จดค่า pixel ที่อ่านได้ เช่นมะเขือเทศภาพแรกอ่านค่า pixel ได้ 1135280 จากนั้นทำเช่นเดิมกับมะเขือเทศภาพต่อไป โดยมะเขือเทศภาพที่ 2 อ่านค่า pixel ได้ 1166291

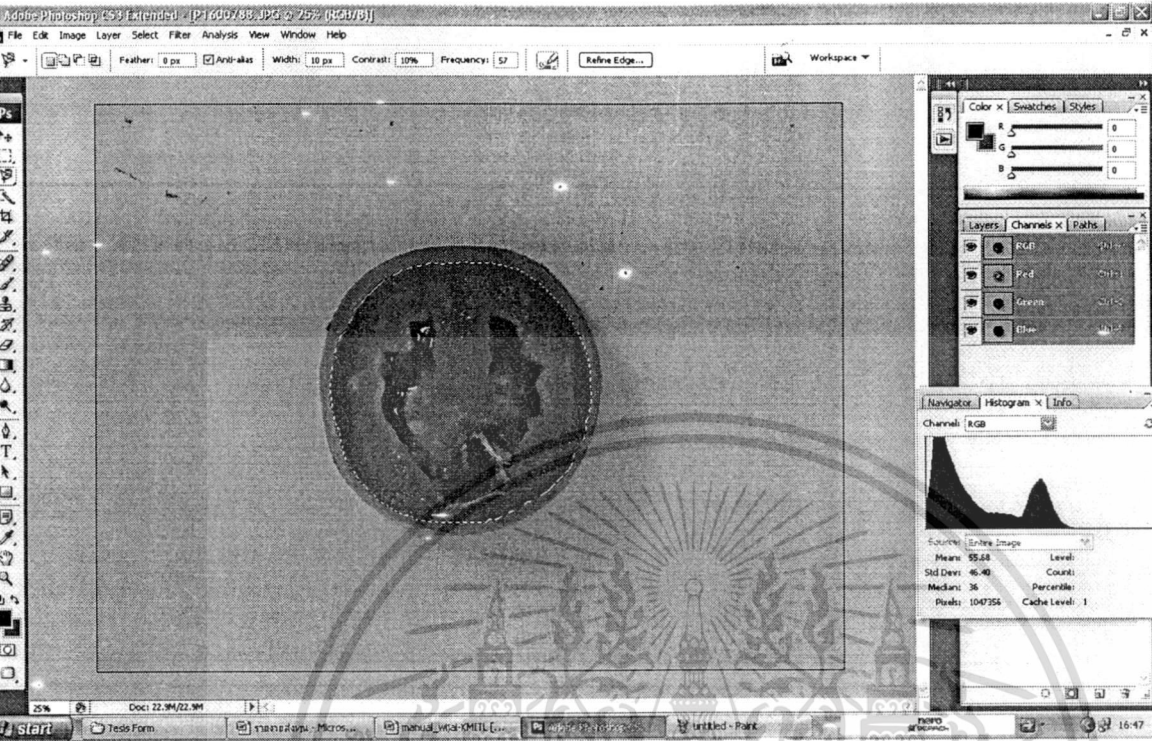


4. มะเขือเทศภาพที่ 3 อ่านค่า pixel ได้ 1312936

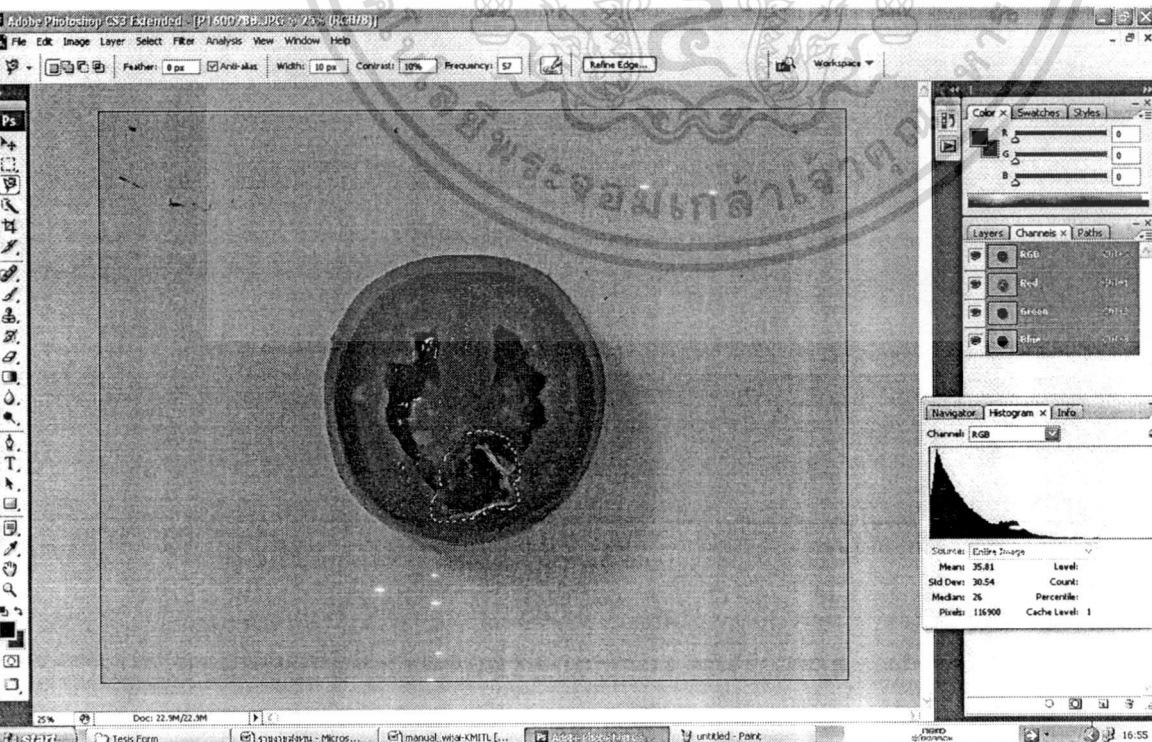


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศภาพที่ 4 อ่านค่า pixel ได้ 1047356

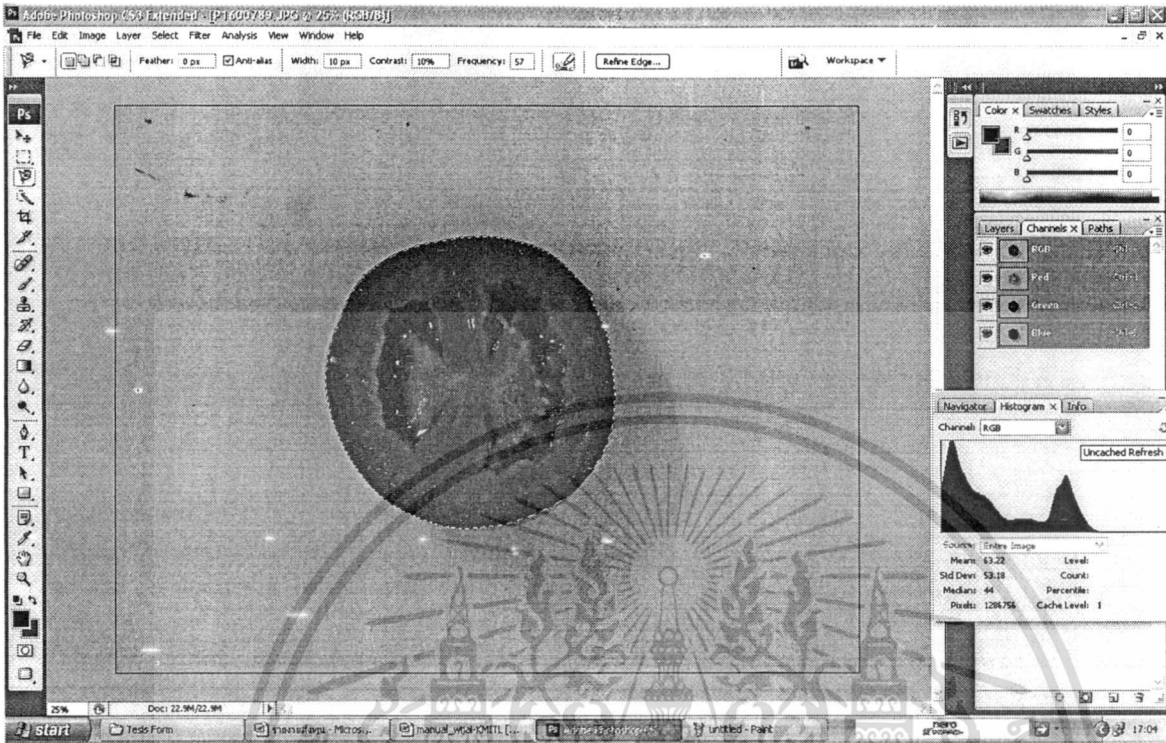


เมื่อพบเชื้อราภายในภาพมะเขือเทศ ทำการคลุมพื้นที่ที่เกิดเชื้อรา แล้วอ่านค่า pixel เช่นเดียวกันกับการอ่านค่า pixel โดยพื้นที่ที่เกิดเชื้อราสามารถอ่านค่า pixel ได้ 116900 แล้วทำการจดค่าไว้

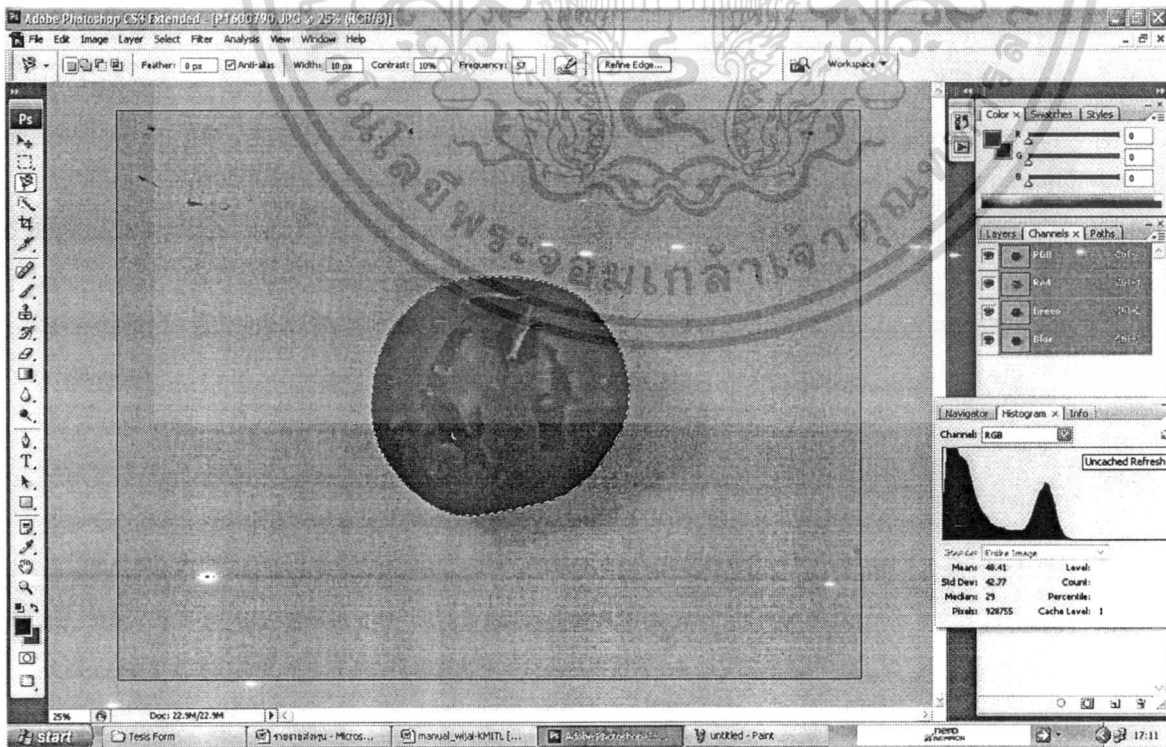


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มะเขือเทศภาพที่ 5 อ่านค่า pixel ได้ 1286756

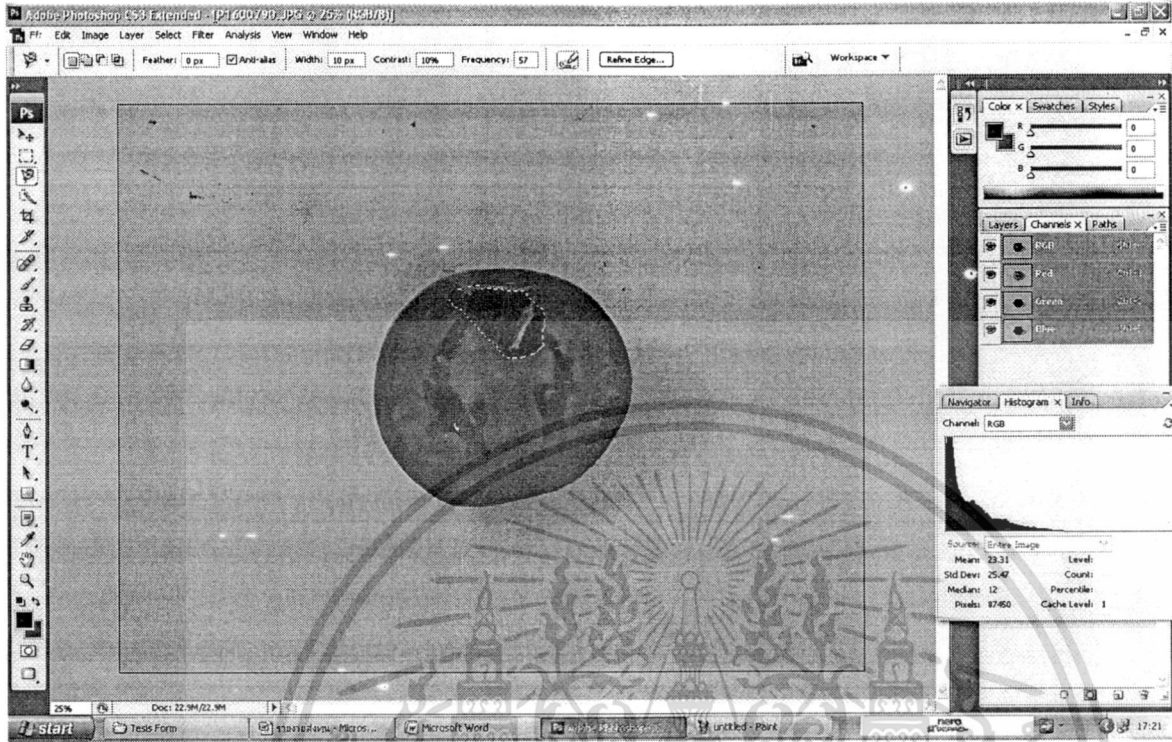


8. มะเขือเทศภาพที่ 6 อ่านค่า pixel ได้ 928755



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. พื้นที่ที่เกิดเชื้อราสามารถอ่านค่า pixel ได้ 87450 แล้วทำการจดค่าไว้



การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ ทำการคำนวณจากจำนวน pixel ของพื้นที่ที่ผิดปกติหารด้วยจำนวน pixel ของพื้นที่ทั้งหมดภายในผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล

วิธีคำนวณ พื้นที่ที่เกิดเชื้อราทั้งหมด  $116900 + 87450 = 204350$

พื้นที่ปกติทั้งหมด  $1135280 + 1166291 + 1312936 + 1047356 + 1286756 + 928755 = 6877374$

% ความรุนแรงของเชื้อรา =  $204350 / 6877374 * 100 = 2.97 \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## หัวหน้าโครงการ

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Sontisuk Teerachaichayut
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1002-01948-41-2
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02-3298000 ext. 7267 โทรสาร 02-3298627

E-mail : [ktsontis@kmitl.ac.th](mailto:ktsontis@kmitl.ac.th)

## 4. ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
ปร.ด	เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2550
วศ.ม.	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2537
วศ.บ	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2529

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ..... การถ่ายเทความร้อน

การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย NIRS

## ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

- สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2535. อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ไทย: อะไรคืออะไร.วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7(1): 67-70.
- ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล, ชลิต ชูประทีป, สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2535. โรงงานนำทางผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ วท.วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7(1): 73-82.
- สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, เพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล, พรภัทรา ศรีนรคุตร, ยุพาภรณ์ ทับนาโคก. 2536. การวิจัยเครื่องเคลือบแบบต่อเนื่องชนิดเคลือบเค็มสำหรับอาหารขบเคี้ยว. โครงการวิจัยที่ ภ.32-06, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 36 หน้า
- สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง 12(2): 39-41.
- วารุณี ณะแพสย์, สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, ศุมาพร เกษมสำราญ, and Young Kil Kwon. 2548. การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น. สัมมนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.
- สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, วารุณี ณะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ. 2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3 พิเศษ): 156-159.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 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.

8 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.

9 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 24<sup>th</sup> Japanese NIR Forum*, Tsukuba city, Japan, 10-14 November. 158-159.

10 Kasemsumran, S., W. Thanapase, S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, K. Y. Kil, K. Shigefuji, and Y. Nakanishi. 2006. Nondestructive Internal Quality Evaluation of Thai Orange Fruit using Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. *Japan-Korea Joint Symposium on Near Infrared Spectroscopy*, Hanyang University, Korea, 28-30 June. 284-285.

11 Thanapase, W., S. Kaseamsumran, A. Janhira, 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 25<sup>th</sup> NIR Forum*. Japan, 13-15 May. 31-35.

12 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.

13 สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, วารุณี ณะแพทย, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ ศุมาพร เกษมสำราญ. 2552. การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*: 40(1): 55-64.

14 สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, วารุณี ณะแพทย และ อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2552. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดด้วยสเปกตรัมในย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. *วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า*. 1(1): 42-48.

15 สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, จุฑามาศ ผลอุดม และวรรณชยา เอื้ออมเสถียรพร. 2553. การทำนายอาการเนื่อแก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 41(1 พิเศษ): 385-388.

16 ขนิษฐา แสงแก้ว และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, 2553. คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกมังคุดภายหลังการตกกระทบ. *วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า*. 2(1): 27-35.

17 วารุณี ณะแพทย, สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ, อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, ศิริณนภา ศรีณย์วงศ์, สุมิโอะ คาวาโน, ยูกิ นิตตะ, คาซุเอกิ ชิชิฟูจิ และ คาซุเอกิ คิจิ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2553. การคัดแยกเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1พิเศษ): 369-372.

18 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 2<sup>nd</sup> Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, China, 15-18 Oct. 81-82.

19 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 14<sup>th</sup> International Conference. IM Publications LLP, West Sussex, UK., 219-223.

20 สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วารุณี ธนะแพสย์ และ ชนิษฐา แสงแก้ว. 2554. ความเป็นไปได้ในการคัดแยกผลมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พหุตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 143-146.

21 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.

22 สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพผลไม้โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี.วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า 3(1): 44-52

23 สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และวารุณี ธนะแพสย์. 2554. ความเป็นไปได้ในการประเมินระดับอาการยางไหลในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้สมการหลายตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (3 พิเศษ): 173-176.

24 นารณระพี นาคะวัจนะ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, อาทิตย์ จันทร์ทิรัญ, สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2554. การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อทำนายปริมาณเนื้อแก้วในผลมังคุด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1พิเศษ) : 123-126.

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

26 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.

27 สนธิสุข ชีระชัยชยุดิ. 2555. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดแบบไม่ทำลาย. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27 (1): 55-60.

28 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 3<sup>rd</sup> Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Thailand, 14-18 May. 120-121.

ไม่อาจนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการเรียนการสอนได้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29. 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.

30. 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.

31. กัญญาพัชร เพชรารภรณ์ และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. ผลกระทบของการเกิดเชื้อราภายในมะเขือเทศต่อคุณสมบัติทางเคมี. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 279-284.

32. ศรัณญา วอขวา และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแข็งภายหลังการตกกระทบ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 285-290.

33. Nandee S., and S. 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.

34. Suktanarak S., and S. 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.

ผู้ช่วยวิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวกัญญาพัชร เพชรภรณ์

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด 26 พฤศจิกายน 2530 อายุ 24 ปี

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท. บ	เทคโนโลยีการอาหาร	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	2552



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้