รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทำนายระดับอาการเปลือกแข็งในผลมังคุดด้วยปริมาณลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกโดยใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรด

Detection of hardening pericarp severity related to lignin and phenolic compounds by NIR spectroscopy

นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ
นางสาวศรัญญา วอขวา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KCH
QK
495
.087
ส192ก

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 131082
วัน,เดือน,ปี 22 พ.ค. 2557

.b.1260 4033
.i.....

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การทำนายระดับอาการเปลือกแข็งในผลมังคุดด้วยปริมาณลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกโดยใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรด
แหล่งเงิน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
แหล่งเงิน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ปี 2554 ถึง ปี 2555
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
ผศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ และ นางสาวศรัญญา วอขวา คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn) เป็นผลไม้ที่เป็นที่นิยมบริโภคทั้งชาวไทยและต่างประเทศ แม้ว่าผลมังคุดมีเปลือกหนา แต่พบว่าเมื่อผลมังคุดถูกกระแทกจะทำให้เปลือกเกิดรอยช้ำ และเกิดอาการเปลือกแข็งอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพภายในผลลดลง จากงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบการแข็งตัวของเปลือกมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน โดยทำการตกกระทบที่ระดับความสูงจากพื้น 100 เซนติเมตร กับผลมังคุดวัยสีชมพูสม่ำเสมอ (ระดับ 3) และสีน้ำตาลแดง(ระดับ 4) ผลการวิจัยพบว่าภายหลังการตกกระทบ ทำให้เกิดอาการเปลือกแข็งที่บริเวณตกกระทบ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดมาใช้สำหรับการตรวจวัดปริมาณสารประกอบลิกนินและสารฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นระหว่าง 660-960 นาโนเมตร พบว่า สมการ calibration ด้วยวิธี partial least square regression (PLSR) สามารถทำนายค่าทางเคมีได้ต่ำ โดยทำนายค่า ปริมาณลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.69 และ 0.73 ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของความแปรปรวนของการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 0.10 และ 0.17 ตามลำดับ

คำสำคัญ : มังคุด, ฟีนอลิก, ลิกนิน, เปลือกแข็ง, ตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Detection of hardening pericarp severity related to lignin and phenolic compound by NIR spectroscopy
Researcher: Mr.Sontisuk Teerachaichayut and Miss Saranya Workhwa
Faculty: Agro-Industry **Department:** Food Science

ABSTRACT

Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) is one of the most favorite fruits for Thai and foreigners. Although mangosteens have a thick pericarp but the pericarp can be hardened easily after impact. This defect makes quality of fruits poor. Mangosteens in the color stage of pink (stage 4) and reddish brown (stage 4) were dropped from the height of 100 cm in this research. The results showed that pericarp of fruits were hardened after impact. The objectives of the research were to study an application of near infrared (NIR) technique for evaluation lignin contents and total phenolic compounds. Prediction using NIR technique at 660-960 nm result showed that the calibration equations processed by partial least square regression (PLSR) method gave low accuracy. For intact fruit, the prediction of lignin contents and total phenolic compounds obtained the correlation coefficient (R) of 0.69 and 0.73 as well as the root mean square error of prediction (RMSEP) of 0.10 and 0.17, respectively.

Keywords : mangosteen, phenolic, lignin, pericarp, impact

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ที่ได้อนุมัติทุนอุดหนุนการวิจัยของโครงการ “การทำนายมังคุดเปลือกแข็งจากปริมาณลิกนินและในเปลือกมังคุดโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรด” และคณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานการวิจัยเรื่องนี้คงจะเป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจการทำนายผลการเกิดเปลือกแข็งของมังคุดที่ตกกระทบโดยใช้เทคนิคไม่ทำลายตัวอย่าง

ผศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ
นางสาว ศรัญญา วอขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง /การทบทวนวรรณกรรม	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 แผนการดำเนินงาน	12
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ข้อมูลการดูดกลืนพลังงานแสงของมังคุดภายหลังการตกกระทบ	13
4.2 การทำนายปริมาณสารลิกนินในมังคุดเปลือกแข็งภายหลังการตกกระทบ 6 ชั่วโมง ที่ระยะความสูง 100 เซนติเมตร	15
4.3 การทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแข็ง ภายหลังการตกระทบ 6 ชั่วโมง ที่ระยะความสูง 100 เซนติเมตร	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	18
5.1 สรุปผลการวิจัย	18
5.2 ข้อเสนอแนะ	18
บรรณานุกรม	19
ภาคผนวก	22
ประวัตินักวิจัย	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	ค่าทางสถิติของปริมาณสารลิกนินในมังคุดเปลือกแข็ง กลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ	13
4.2	ค่าทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมังคุดเปลือกแข็ง กลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ	13
4.3	ค่าการทำนายปริมาณสารลิกนินที่เกิดจากอาการเปลือกแข็งของผลมังคุดจากด้วยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR	15
4.4	ค่าการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เกิดจากอาการเปลือกแข็งของผลมังคุดด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ระยะสีของมังคุด	7
4.1	สเปคตรัม (original data) ของตัวอย่างมังคุดทั้งหมดที่ทำการทดลอง	14
4.2	สเปคตรัมเฉลี่ย (averaged original data) ของมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบ	14
4.3	สเปคตรัมการดูดกลืนแสงเฉลี่ยที่ได้จากมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบ	15
4.4	ค่า R จากการทำนายปริมาณสารลิกนินในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ	16
4.5	ค่า R จากการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
nm	นาโนเมตร
NIRS	near infrared spectroscopy
PLSR	partial least square regression
R	correlation coefficient
RMSEC	root mean square error of calibration
RMSEP	root mean square error of prediction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจเขตร้อนชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันแพร่หลายทั้งภายในและต่างประเทศ ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกมังคุดคิดเป็น 80% ของตลาดโลก มาเลเซีย 17% อินโดนีเซีย 1.6% ฟิลิปินส์ 1.4% ในปี 2550 การส่งออกมังคุดคิดเป็น 10.17% ของการส่งออกผลไม้ จากจันทบุรี 32% ชุมพร 26% โดยส่งออกในรูปของผลสด 94.62% และแช่แข็ง 5.38% โดยส่งไปประเทศจีน 34% ญี่ปุ่น 28% สหรัฐอเมริกา 3% และยุโรป 1.5% (สถาบันอาหาร, 2550) การผลิตมังคุดของไทย (ปี 2547-2552) เฉลี่ยปีละ 231,518 ตัน โดยในปี 2552 มีผลผลิต 271,431 ตัน แหล่งผลิตที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี ตราดและระยอง และภาคใต้ ได้แก่ นครศรีธรรมราช ชุมพร และระนอง (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) ในปี 2552 (ม.ค.-มิ.ย.) ไทยส่งออกมังคุดสดแช่เย็นและแช่แข็งปริมาณ 81,354 ตัน มูลค่า 1,318 ล้านบาท ซึ่งปริมาณและมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 111.65 และร้อยละ116.10 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปี 2551 แบ่งออกเป็นมังคุดสดหรือแห้ง 81,171 ตัน มูลค่า 1,302.9 ล้านบาท มังคุดแช่แข็ง 183 ตัน มูลค่า 14.9 ล้านบาท ตามลำดับ (กรมการค้าต่างประเทศ , 2552)

ผลมังคุดมีลักษณะค่อนข้างกลม เปลือกหนา 0.8-1.0 เซนติเมตร เมื่อสุกสีเปลือกผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู สีแดง และสีม่วง ตามลำดับ (Chandler, 1950) ผลมังคุดมีเปลือกหนา และน่าจะทนทานต่อการกระทบกระเทือน แต่ความจริงแล้วมังคุดเป็นผลไม้ที่บอบบางมาก ถ้าถูกกระทบกระแทกจะทำให้เกิดอาการเปลือกแข็งที่ไม่สามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่า ส่งผลทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพ และถ้ามีอาการรุนแรงจะมีผลต่อเนื้อภายในผลได้ การที่ไม่สามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่าจึงส่งผลต่อการส่งออกโดยมักพบว่ามีผลมังคุดที่ไม่ดีเหล่านี้ปะปนไปกับผลมังคุดที่ดีอยู่เสมอ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของลูกค้าทั้งภายในและต่างประเทศ

อาการมังคุดเปลือกแข็ง เป็นปัญหาคุณภาพภายในที่ไม่สามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่า อาจมีผลกระทบถึงเนื้อภายในทำให้เนื้อภายในเสียได้ นอกจากนี้ อาการมังคุดเปลือกแข็งทำให้ผู้บริโภคปอกเปลือกได้ยากแม้ว่าจะใช้มีดที่คมก็ตาม สร้างความหงุดหงิดและอาจก่อให้เกิดอันตรายให้แก่ผู้บริโภคได้ เช่นเดียวกับอาการเนื้อแก้ว และยางไหล สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การคัดแยกมังคุดเปลือกแข็งออกจากมังคุดปกติ

Tongdee and Suwanagul (1989) ; Ketsa and Atante (1998) รายงานว่าการแข็งตัวของเปลือกผลมังคุด หลังการตกกระทบนั้นเกิดขึ้นเฉพาะจุดของเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายหรือเกิดขึ้นเฉพาะตรงบริเวณที่มีการตกกระทบเท่านั้น และพบว่าผลมังคุดระดับความบริบูรณ์สีน้ำตาลแดงและน้ำเงินม่วง ที่ตกกระทบสูงจากพื้นคอนกรีต 50 และ 100 เซนติเมตร พบว่าเปลือกผลมังคุดบริเวณที่ตกกระทบมี ความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังการตกกระทบ ความแน่นเนื้อของเปลือกผลมังคุดที่เพิ่มขึ้นนี้ขึ้นกับระดับความบริบูรณ์ของผลมังคุด ความสูงของการตกกระทบ หลังการตกกระทบเปลือกผลมังคุดระดับความบริบูรณ์สีม่วงบริเวณที่ตกกระทบมีปริมาณสารลิกนินมากกว่าเปลือกผลมังคุดระดับความบริบูรณ์สีน้ำตาลแดงบริเวณที่ตกกระทบ นอกจากนี้ยังพบว่าเปลือกผลมังคุดบริเวณที่ตกกระทบมีปริมาณคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนในสารประกอบเชิงซ้อนลิกนินคาร์โบไฮเดรทเพิ่มขึ้นอีกด้วยการเพิ่มความแน่นเนื้อและสารลิกนินในเปลือกผลมังคุดบริเวณที่ตกกระทบเกิดขึ้นพร้อมกับการลดลงของปริมาณสารฟีนอลิก (Bunsiri et al., 2003)

เทคนิคการคัดแยกมังคุดที่มีอาการเปลือกแข็งออกจากมังคุดปกติมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะปัญหามังคุดเปลือกแข็งเป็นปัญหาด้านคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรที่ไม่สามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปสรรคต่อการขยายตลาดส่งออกมังคุดของประเทศไทย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนากระบวนการคัดแยกเพื่อยกระดับคุณภาพของมังคุดให้เป็นที่พึงพอใจของลูกค้ามากขึ้น ในปัจจุบันยังไม่มีเทคนิคที่จะคัดแยกมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลาย ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบการคัดแยกแบบไม่ทำลาย ที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับ เพื่อสามารถส่งมังคุดที่มีคุณภาพให้กับตลาดมังคุดส่งออก ทำให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจในคุณภาพของมังคุดที่จำหน่าย จะส่งผลดีต่อการขยายตลาดการค้า และยกระดับราคาของมังคุด อันจะเป็นผลดีต่อเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดของประเทศไทย เนื่องจากปัญหาอาการเปลือกแข็งมีผลทำให้คุณภาพของมังคุดลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาปริมาณศึกษาถึงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพโดยใช้เทคนิคแบบไม่ทำลายตัวอย่างเพื่อศึกษาปริมาณลิกนินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดซึ่งก่อให้เกิดอาการแข็งตัวของเปลือกมังคุดในบริเวณที่ตกกระทบของผลมังคุดที่ระดับความบริบูรณ์แตกต่างกัน ซึ่งถือเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ก่อให้เกิดเปลือกแข็งของผลมังคุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลิกนินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกมังคุดกับค่าความแข็งของเปลือกมังคุด

1.2.2 เพื่อให้ได้สมการสำหรับคัดแยกมังคุดที่มีอาการเปลือกแข็งและบอกระดับความรุนแรงของอาการเปลือกแข็งในมังคุดแบบไม่ทำลาย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารลิกนินของเปลือกมังคุดปกติและเปลือกมังคุดที่ตกกระทบกับค่าความแข็งของเปลือกมังคุด

ศึกษาสเปกตราของมังคุดปกติและมังคุดที่มีอาการเปลือกแข็ง โดยใช้เทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงในย่านความยาวคลื่นที่สายตามองเห็นและใกล้อินฟราเรด หาความสัมพันธ์ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ นำมาสร้างสมการเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารลิกนิน เพื่อกำหนดเป็นแนวทางในการคัดแยกมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง

1. ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลิกนินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของมังคุดเปลือกปกติและเปลือกแข็งกับการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรด

2. ทำให้ได้สมการที่สามารถทำนายระดับความรุนแรงของอาการเปลือกแข็งในมังคุด

3. ทำให้ได้ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องคัดแยกมังคุดที่มีอาการเปลือกแข็งออกจากมังคุดปกติแบบไม่ทำลาย

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

1.4.1.1 วัตถุดิบทางการเกษตร

1.4.1.1.1 **มังคุดสีชมพูสม่ำเสมอ(ระยะ 3) และสีน้ำตาลแดง(ระยะ 4)**

1.4.1.2 เครื่องมือ

1.4.1.2.1 เครื่อง Visible near infrared spectroscopy (Vis-NIRS) (PureSpect, Saika TIF., Japan)

1.4.1.2.2 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.1.2.3 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
1.4.1.2.4 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส fruit firmness tester หัว spherical plunger รุ่น Effegi, FT011
1.4.1.2.5 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Digital vernier caliper)
1.4.1.2.6 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
1.4.1.2.7 กล้องถ่ายรูปแบบดิจิตอลพร้อมขาตั้งและฉาก
1.4.1.2.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง
1.4.1.2.9 กระดาษกรอง
1.4.1.2.10 พาราฟิล์ม

1.4.1.3 สารเคมี
1.4.1.3.1 เมทานอล
1.4.1.3.2 เอทานอล
1.4.1.3.3 กรดไฮโดรคลอริก
1.4.1.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์
1.4.1.3.5 กรดพาราคูมาริก
1.4.1.3.6 กรดไซแนบปิก

1.4.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ มังคุดระดับความบริบูรณ์สีน้ำตาลแดง (ระดับ 4) และสีม่วง (ระดับ 5) โดยนำมาจากแหล่งขายผลไม้สด ตลาด อตก. ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม โดยทำการคัดเลือกผลมังคุดที่มีความสม่ำเสมอทั้งขนาดและสีผิวก่อนทำการทดลอง นำตัวอย่างทั้งหมดมาเก็บรักษาไว้ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วันก่อนทำการวัด

1.4.3 ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

ทำการชั่งน้ำหนักผลมังคุดด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (g) ด้วยเครื่องชั่ง ตรวจลักษณะทางกายภาพของผลมังคุด และวัดขนาดผลมังคุด (เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุด-สูงสุด และความสูง) ด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

1.4.4 การวัด Vis- NIR Spectroscopy ของผลมังคุดก่อนการตกกระทบ

นำผลมังคุดแต่ละผลวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง Vis-NIR spectrophotometer (PureSpect, Saika TIF., Japan), transmittance mode ช่วงความยาวคลื่น 660-960 นาโนเมตร โดยระบุตำแหน่งของการวัดทั้งสี่ด้านของแต่ละผล โดยให้ห่างกันทำมุม 90 องศาโดยรอบของผลมังคุด

1.4.5 การวัด Vis-NIR Spectroscopy ของผลมังคุดหลังการตกกระทบ

นำผลมังคุดทำการตกกระทบลงบนพื้นปูนในบริเวณกึ่งกลางของผลที่ระดับความสูง 100 เซนติเมตร ทิ้งไว้ภายหลังตกกระทบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมังคุดแต่ละผลทำวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง Vis-NIR spectrophotometer (PureSpect, Saika TIF., Japan), transmittance mode ช่วงความยาวคลื่น 660-960 นาโนเมตร โดยระบุตำแหน่งของการวัดทั้งสี่ด้านของแต่ละผล โดยให้ห่างกันทำมุม 90 องศาโดยรอบของผลมังคุด แล้วทำการวัดระดับความแข็ง ด้วยเครื่อง fruit firmness tester หัว spherical plunger รุ่น Effegi, FT011 เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 เซนติเมตร ณ จุดที่ตกกระทบ พร้อมบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผล แล้วนำตัวอย่างมังคุดเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อรอไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารลิกนิน

1.4.6 วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกมังคุด

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างมังคุดโดยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric Method ใช้สารมาตรฐาน Gallic acid โดยนำตัวเปลือกมังคุดแห้ง 3 กรัม ผสมกับเมทธานอล 20 มิลลิลิตรแล้วทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมสารรอบสูงแบบตั้งพื้น (Homoginize) เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm เป็นเวลา 20 นาที นำส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง 40 µl ทำปฏิกิริยาประกอบด้วย น้ำกลั่น 3.16 ml, 10% Folin-Ciocalteu reagent 200 µl, 7.5% Na_2CO_3 600µl ผสมให้เข้ากันแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นแช่น้ำเย็นทันทีเป็นเวลา 2 นาที และ สารละลายGallic acid 5 ความเข้มข้นได้แก่ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 mg/L ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากน้ำกลั่น และสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ มาทำกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบจากกราฟมาตรฐานของ gallic acid

1.4.7 วิเคราะห์หาปริมาณสารลิกนินของเปลือกมังคุด

ตัดเปลือก ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดสเปกตรัมมาวิเคราะห์หาปริมาณสารลิกนิน โดยฝานเปลือกมังคุดปั่นในสารละลายเมทิลแอกอฮอล์ นำของเหลวทั้งหมดมาผ่านกระดาษกรอง นำกากที่กรองได้ทั้งหมดบนกระดาษกรองไปอบให้แห้ง นำกากแห้งเติมกรดไฮโดรคลอริก จากนั้นนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง นำส่วนที่ใสมาเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ปล่อยลิกนินไธโอไกลคอเลทตกตะกอน หลังจากนั้นนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ได้ตะกอนสีน้ำตาลส้ม และละลายตะกอนนี้ในสารละลาย NaOH และวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ 280 นาโนเมตร

1.4.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการประเมินประสิทธิภาพในการทำนายของโมเดล นำสเปคตรัมของผลมังคุด มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการเพื่อใช้ในการทำนายระดับความรุนแรงการเกิดเปลือกแข็งด้วยปริมาณสารลิกนินและปริมาณสารประกอบสารฟีนอลิกทั้งหมด จากนั้นทำการทดสอบความแม่นยำของโมเดลความสัมพันธ์ที่ได้โดยวิธี cross-validation และพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ correlation coefficient (R) และค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของความแปรปรวนของการทำนายหรือ the root mean square error of prediction (RMSEP) ที่ได้ ใช้ในการตัดสินใจว่าโมเดลแต่ละโมเดลมีความสามารถในการทำนายได้มากน้อยเพียงใด โดยที่โมเดลที่มีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำกว่าจะต้องมีค่า correlation coefficient ที่สูงและมีค่า the root mean square error of prediction ที่ต่ำกว่า โดยการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม The Unscrambler (version 9.8, CAMO AS, Trondheim, Norway) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยบางส่วนโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดหรือ patial least squares regression (PLSR) เมื่อได้สมการ calibration แล้ว จึงนำสมการที่ได้ไปใช้ในการทำนายระดับความรุนแรงการเกิดเปลือกแข็งของตัวอย่างในกลุ่ม prediction

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้จะได้ข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างอาการของมังคุดเปลือกแข็งในระดับต่างๆกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารลิกนิน เพื่อสร้างสมการทำนายทำนายมังคุดเปลือกแข็งโดยวิเคราะห์การดูดกลืนแสงในช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรด เพื่อคัดแยกผลมังคุดเปลือกแข็งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากมังคุดปกติแบบไม่ทำลาย อันจะเป็นประโยชน์สำหรับธุรกิจการส่งออกมังคุดของประเทศไทย ผู้ประกอบการส่งออกผลไม้ และเกษตรกร ตลอดจนการจำหน่ายผลผลิตมังคุดแก่ผู้บริโภคในประเทศไทย จะได้รับประโยชน์จากโครงการ เนื่องจากจะทำให้การส่งออกมังคุดไปยังตลาดต่างประเทศมีความน่าเชื่อถือและได้รับการยอมรับมากยิ่งขึ้น แก้ปัญหาการถูกตัดราคา สามารถเพิ่มมูลค่าสินค้าส่งออก นำรายได้ให้แก่ประเทศไทย ก่อให้เกิดการยกระดับคุณภาพของสินค้าเกษตร สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้าเกษตร และเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพผลไม้ในประเทศไทย กล่าวได้ว่าผลการวิจัย จะสามารถแก้ปัญหาให้แก่ธุรกิจการส่งออกมังคุดสดของประทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิด ทฤษฎีหลักตามประเด็นให้ครอบคลุมเรื่องที่วิจัย

2.1.1 มังคุด

มังคุดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* L. หลังจากเริ่มติดผลประมาณ 11-12 สัปดาห์ก็จะเก็บเกี่ยวผลมังคุดได้ โดยฤดูกาลเก็บเกี่ยวของมังคุดที่ปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกอยู่ในช่วงเดือน เมษายน-มิถุนายน ส่วนภาคใต้อยู่ในช่วงเดือน กรกฎาคม-กันยายน การเก็บเกี่ยวมังคุดต้องทยอยเก็บเกี่ยว เนื่องจากมังคุดต้นหนึ่งๆจะทยอยออกดอกเป็นรุ่นๆ จึงทำให้ผลมังคุดในต้นเดียวกันแก่หรือสุกไม่พร้อมกัน มังคุดที่แก่เต็มที่จะมีจุดแต้มหรือประสีม่วงแดงเกิดขึ้นที่ผิวเปลือกภายนอกของผล หรือที่เรียกกันว่า สายเลือด ส่วนมังคุดที่สุกเปลือกจะเปลี่ยนสีจากสีเขียวมาเป็นสีม่วงแดงถึงม่วงดำ ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลมังคุดจึงเริ่มเก็บได้ตั้งแต่ระยะสายเลือด โดยสีผิวหลังจากเก็บผลมาแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำได้เหมือนกับที่อยู่บนต้น (สมศักดิ์, 2541; สมเกียรติ, 2543)

2.1.2 ระยะการเจริญเติบโต

การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผล สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ระยะดังนี้ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2531)

ระยะ 0 ผลมีสีขาวอมเหลืองสม่ำเสมอ หรือมีสีขาวอมเหลืองแต้มด้วยสีเขียวอ่อน หรือ จุดสีเทา มียางสีเหลืองภายในเปลือกในระดับรุนแรงมาก เนื้อและเปลือกไม่สามารถแยกออกจากกันได้ผลที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้สามารถเปลี่ยนสีถึงระดับ 6 ได้แต่รสชาติไม่ดี

ระยะ 1 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมเขียว มีจุดสีชมพูกระจัดกระจายอยู่ในบางส่วนของผิวผล ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่ในระดับรุนแรง เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้

ระยะ 2 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมชมพู มีประสีชมพูกระจัดกระจายไปทั่วทั้งผล ยางภายใต้เปลือกยังมีอยู่ในระดับปานกลาง การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ยากถึงปานกลาง เป็นระยะอ่อนที่สุดที่เก็บเกี่ยวแล้วได้ผลผลิตคุณภาพดี

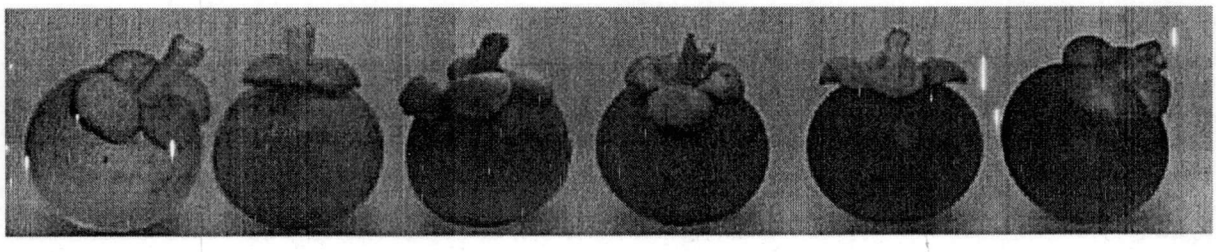
ระยะ 3 ผลมีสีชมพูสม่ำเสมอ ประสีชมพูเริ่มขยายเข้ามารวมกันไม่แบ่งแยกกันอย่างชัดเจนเหมือนในระยะ 2 ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่น้อยถึงน้อยมาก การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ง่ายกว่าระยะ 2

ระยะ 4 ผลมีสีแดงหรือน้ำตาลอมแดง บางครั้งมีแต้มสีม่วง ยางภายใต้เปลือกมีน้อยมากจนถึงไม่มีการแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ง่าย

ระยะ 5 ผลมีสีม่วงแดง ภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย

ระยะ 6 ผลมีสีม่วงเข้มจนถึงดำ ภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกแยกออกจากกันได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 ระยะสีของมังคุด
ที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2531)

การเก็บผลมังคุด ชาวสวนมักจะเก็บทุกวันหรือวันเว้นวัน โดยการสอยอย่างระมัดระวังไม่ให้ผลมังคุดตกกระแทกพื้น ถึงแม้ว่าผลมังคุดมีเปลือกหนาก็ตาม แต่เปลือกจะไม่ทนทานต่อการกระทบกระแทก เปลือกจะช้ำและแข็ง บิไม่ออกในเวลาต่อมา ส่วนเปลือกด้านในจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงและลามไปถึงเนื้ออย่างรวดเร็ว (สมเกียรติ, 2543) ความแข็งของเปลือกผลจะลดลงเมื่อมีวัยมากขึ้น (สมโภชน์, 2535) โดยจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อผลเปลี่ยนสีจากระยะที่ 2 สีเหลืองอ่อนอมชมพูไประยะที่ 4 สีน้ำตาลแดงหลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเปลือกผลน้อยมาก

2.1.3 พฤติกรรมผลมังคุดเปลือกแข็ง

ในกรณีที่ผลมังคุดตกกระแทกกับของแข็ง มังคุดจะสร้างลิกนินขึ้นอย่างรวดเร็ว พร้อมๆกับการแข็งตัวของเปลือกมังคุด (มาโนชญ์, 2534) โดยมังคุดที่ตกจากที่สูงจะมีการแข็งตัวเร็วกว่าผลที่ตกจากที่ต่ำกว่า และเมื่อนำวัยต่างๆของผลมังคุดมาศึกษา พบว่าเปลือกมังคุดสีม่วงแดงเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วภายในเวลา 6 ชั่วโมง ขณะที่ผลที่มีสีเหลืองอ่อนอมเขียวเกิดอาการเปลือกแข็งภายใน 18 ชั่วโมง มังคุดในระยะสีน้ำตาลแดงจะเกิดอาการเปลือกแข็งเมื่อได้รับแรงกดตั้งแต่ 1.5 กิโลกรัมขึ้นไป ในขณะที่มังคุดในระยะสีม่วงแดง จะเกิดอาการเปลือกแข็งเมื่อได้รับแรงกดตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมขึ้นไป (รำไพ และ จินตนา, 2536) ความแข็งของเปลือกมังคุดหลังการตกกระทบพื้นคอนกรีตทันทีมีค่าต่ำกว่าของเปลือกของผลที่ไม่ตกกระทบ แต่ความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหลังการตกกระทบ ส่วนผลที่ไม่ตกกระทบความแข็งจะคงที่ นอกจากนี้ออกซิเจนมีผลต่อการแข็งตัวของเปลือก ส่วนความชื้นของเปลือกพบว่าไม่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเปลือกผลมังคุดบริเวณที่ตกกระทบ (สมศักดิ์, 2538) ผลมังคุดที่มีอาการของโรคผลเน่า ซึ่งเกิดจากเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคใบจุด ใบไหม้ หรือกิ่งแห้งกิ่งแตก ที่สามารถจะเข้าทำลายที่ผลได้ด้วย ทำให้เกิดอาการผลเน่าเสียหายและอาจเกิดต่อเนื่องไปจนถึงหลังการเก็บเกี่ยวทำให้เปลือกแข็งได้ (สมศักดิ์, 2541; สมเกียรติ, 2543)

2.1.4 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy)

Near Infrared เป็นคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 800-2500 nm ซึ่งจะมีผลทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่ความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจาก ground vibrational level ไปยัง excited vibrational level คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด (near infrared; NIR) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่างช่วงคลื่นแสงวิสิเบิล (visible) และช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดย่านกลาง (middle infrared; MIR) คลื่นแสง NIR สามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 800-1100 นาโนเมตร และช่วงคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (Osborne *et al.*, 1993) พลังงานของคลื่นแสง NIR จะอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับการสั่น (vibration) ของพันธะภายในโมเลกุล หากการสั่นของพันธะใดเกิดที่ความถี่ที่ตรงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ของคลื่นแสง NIR ก็จะเกิดการดูดกลืนขึ้น (ศิราพร, 2551) ซึ่งการดูดกลืนแสง NIR ใช้มากในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของสารประกอบอินทรีย์ในผลผลิตต่างๆ

เมื่อต้องการหาองค์ประกอบหนึ่งในตัวอย่าง จะต้องเลือกความยาวคลื่นจำเพาะ เพื่อให้องค์ประกอบนั้นดูดกลืนคลื่นแสง NIR ไว้ spectrum จาก NIR เป็น absorption spectrum จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานกับความยาวคลื่น

แสงโดยธรรมชาติจะอยู่ในรูป “คลื่น” และ “อนุภาค” ซึ่งถ้าแสงแสดงคุณสมบัติความเป็นคลื่นเรียกว่า“คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า” (electromagnetic waves) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้าเกิดเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้

2.1.5 หลักการทำงานของเครื่อง NIR

แสงจากแหล่งให้พลังงานแสง (light source) ที่มีการกระจายของแสง และควบคุมด้วยระบบโมโนโครมาเตอร์ (monochromator) ให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ แล้วส่งผ่านไปยังตัวอย่าง (sample) และวัดปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนไว้ด้วยอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด (detector) และแปลงเป็นสัญญาณส่งเข้าสู่ส่วนประมวลผล (read out) ด้วยโปรแกรม ให้ออกมาในรูปที่ผู้ใช้สามารถนำค่านั้นไปใช้ได้ แล้วบันทึกผลด้วยคอมพิวเตอร์โดยจะบันทึกปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนไว้เทียบกับความยาวคลื่นต่างๆ แล้วนำมาจับคู่กับค่าการวิเคราะห์เคมี (พรรณทิพย์, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 กฎการดูดกลืนแสง

$$T = I / Io$$

$$A = -\log T = \log 1/T = \varepsilon bc$$

T = Transmittance

A = Absorbance

I = ความเข้มแสงสุดท้าย

Io = ความเข้มแสงเริ่มต้น

b = ความหนาของวัตถุ

c = ความเข้มข้นของสาร

ε = Molar absorptivity

เมื่อต้องการหาองค์ประกอบหนึ่งในตัวอย่าง จะต้องเลือกความยาวคลื่นจำเพาะ เพื่อให้องค์ประกอบนั้นดูดกลืนคลื่นแสง NIR ไว้ Spectrum จาก NIR เป็น absorption spectrum จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับ ความยาวคลื่น

จากทฤษฎีการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทำให้มีแนวความคิดว่ามังคุดที่มีอาการเปลือกแข็งจะมีการดูดกลืนพลังงานแสงแตกต่างไปจากมังคุดปกติ และมังคุดปกติกับมังคุดเปลือกแข็งมีปริมาณสารลิกนินและปริมาณสารฟีนอลิกที่แตกต่างกันตามระดับความรุนแรง อันจะเป็นแนวทางเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสร้างโมเดลเพื่อใช้ทำนายและคัดแยกมังคุดที่มีอาการเปลือกแข็งที่มีระดับความรุนแรงของอาการต่างๆกันออกจากมังคุดปกติ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

สำหรับกลไกการแข็งตัวของเปลือกผลมังคุดที่เกิดจากการตกกระทบนั้น พืชจะมีกลไกในการสร้างลิกนินในบริเวณที่ถูกผลกระทบทำให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรงขึ้น (Rhode and Wooltorton, 1978) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Ketsa and Koopluksee (1993) ที่พบว่าเปลือกมังคุดบริเวณที่ตกกระทบจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นพร้อมกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง

Tongdee and Suwanakul (1989) รายงานว่าเปลือกชั้นนอกของผลมังคุดเกิดความเสียหายเล็กน้อย เมื่อตกจากความสูง 10 เซนติเมตรความเสียหายเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงเนื้อในถ้าตกกระทบจากความสูง 20 เซนติเมตรหรือมากกว่า แรงกดบนผล 3-4 กิโลกรัม ทำให้เปลือกชั้นนอกเสียหาย น้อยมากหรือไม่เสียหายเลย แต่แรงกด 5 กิโลกรัมหรือมากกว่า สามารถทำให้เปลือกชั้นนอกเสียหายได้ เช่นเดียวกับการศึกษาการแข็งตัวของเปลือกมังคุดของ (Ketsa and Koolpluksee, 1993) พบว่า มังคุดที่ตกจากที่สูงมีการแข็งตัวอย่างรวดเร็วกว่าผลที่ตกจากที่ต่ำกว่า และผลมังคุดที่มีความบริบูรณ์ของผลมากกว่า สามารถเกิดอาการเปลือกแข็งได้รวดเร็วกว่าผลมังคุดที่มีความบริบูรณ์น้อยกว่า เมื่อตกกระทบในระดับความสูงที่เท่ากัน เปลือกผลมังคุดบริเวณที่ตกกระทบมีความแน่นเนื้อ (ความแข็ง) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 3 ชั่วโมงหลังการตกกระทบ ความแน่นเนื้อของเปลือกผลมังคุดที่เพิ่มขึ้นนี้ขึ้นกับวัยของผลมังคุด (สายชล และอภิตา, 2548) และผลมังคุดเปลือกสีม่วงแดงเกิดอาการเปลือกแข็งได้อย่างรวดเร็วภายใน 6 ชั่วโมง ขณะที่ผลที่มีเปลือกสีเหลืองอ่อนอมเขียวเกิดอาการเปลือกแข็งภายใน 18 ชั่วโมง

Whetten and Sederoff (1995) รายงานว่าจุดที่น่าจะเป็นจุดควบคุมการสังเคราะห์ลิกนิน (rate limiting steps) มี 3 จุดคือ เอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia lyase, PAL) เอนไซม์ซินนามิกแอซิดโคเอไลเกส (cinnamic acid CoA lygase) และซินนามิลแอลกอฮอล์ดีไฮโดร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จีเนส (cinnamyl alcohol dehydrogenase, CAD) (Ketsa, 2005) พบว่ามังคุดที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเวลานาน หรือมังคุดที่ได้รับการกระทบกระเทือนระหว่างเก็บเกี่ยว บรรจุ หรือขนส่ง จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ Phenylalanine Ammonia Lyase (PAL) และ Peroxidase (POD) ในบริเวณเปลือกเพิ่มขึ้น ทำให้มีการสังเคราะห์สารลิกนินเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปลือกแข็ง ความแน่นเนื้อของเปลือกผลมังคุดบริเวณที่ตกกระทบที่สูงจากพื้นมากมีการเพิ่มมากขึ้นกว่าเปลือกผลมังคุดตกกระทบสูงจากพื้นน้อยกว่า การเพิ่มความแน่นเนื้อของเปลือกผลมังคุดบริเวณที่ตกกระทบนี้เกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของสารลิกนินในเปลือกผลมังคุดบริเวณที่มีการตกกระทบเช่นเดียวกันปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเปลือกผลมังคุดบริเวณที่ตกกระทบนี้สนับสนุนข้อสรุปที่ว่า การเพิ่มขึ้นของความแน่นเนื้อของเปลือกผลมังคุดบริเวณที่มีการตกกระทบนั้นน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากสังเคราะห์สารลิกนินเพิ่มขึ้น (สายชล และอภิตา, 2548)

สมศักดิ์ (2538) รายงานว่าในเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลกิจกรรมเอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนีย ไลเอส และเปอร์ออกซิเดสจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการสังเคราะห์ลิกนินบริเวณบาดแผล โดยเอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอสทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการสร้างสารฟีนอลิกมากขึ้น

การใช้เทคนิคความยาวคลื่นช่วงสายตามองเห็นและใกล้อินฟราเรด (Vis-near infrared spectroscopy) นั้น เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานของโมเลกุลของสารโดยอาศัยหลักการของการเกิดการสั่น (vibration) ของโมเลกุล ในช่วงความยาวคลื่นย่าน near infrared โดยพลังงานจะถูกถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของสารทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลขึ้น

มีนักวิจัยนำเทคนิค NIRS นี้ มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของผักและผลไม้หลายชนิด อาทิ เช่น (Kawano *et al.*, 1992) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ NIR ด้วย fiber optic probe ในผลพีชพันธุ์ Shimizu Hakuto ในช่วงความยาวคลื่น 680-1235 นาโนเมตร โดยใช้สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วย second derivative สามารถสร้างสมการ calibration และนำสมการไปทดสอบได้ผลการทำนายที่แม่นยำ

มีการนำเทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงย่านตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 300-1100 นาโนเมตร ไปใช้ในการตรวจคุณภาพภายในของผลกีวี ระหว่างการเก็บรักษา โดยสามารถใช้ในการทำนายความหวาน ความหนาแน่นและสีของเนื้อภายใน (Schaare *et al.*, 2000)

Liu *et al.* (2008) ได้นำเทคนิควิธีการวัดการดูดกลืนแสงในย่านสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดมาใช้เพื่อทำนายคุณภาพภายในได้แก่ ความหวานและความแน่นเนื้อของผลลูกแพร์แบบไม่ทำลายในช่วงความยาวคลื่น 350-1800 นาโนเมตร เช่นเดียวกับ (Shao *et al.*, 2007) ได้นำเทคนิควิธีการวัดการดูดกลืนแสงในย่านสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดมาใช้เพื่อประเมินคุณภาพภายในของมะเขือเทศ ได้แก่ ความแน่นเนื้อและความหวาน แบบไม่ทำลายในช่วงความยาวคลื่น 350-2500 นาโนเมตร

Teerachaichayut *et al.* (2007) ได้ศึกษาการตรวจอาการเนื้อแก้ว ภายในผลมังคุด โดยนำเทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น ความยาวคลื่น 640-980 นาโนเมตร ได้ผลการทำนายที่แม่นยำ

Fu *et al.* (2007) ได้นำเทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงย่านตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 300-1100 นาโนเมตร ความยาวคลื่น 400-1028 นาโนเมตร เช่นเดียวกับการนำไปใช้ในการตรวจอาการ brown heart ภายในผลลูกแพร์

Peirs *et al.* (2000) ได้นำเทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงย่านตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 380-2000 นาโนเมตร ไปใช้ในการประเมินระยะเวลาสำหรับการเก็บเกี่ยวของผลแอปเปิลที่เหมาะสม โดยทำนายจากความหวาน ปริมาณกรดและความแน่นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

McGlone *et al.* (2002) วิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 500-1100 นาโนเมตร ในการประเมินคุณภาพภายในของผลแอปเปิลทันทีที่เก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาในห้องเย็น 6 สัปดาห์ โดย ประเมินจากความหวาน ปริมาณกรด ปริมาณแป้งและความแน่นเนื้อ

มีการนำเทคนิควิธีการวัดการดูดกลืนแสงในย่านสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดมาใช้เพื่อทำนายการช้ำของเนื้อภายในผลแอปเปิลแบบไม่ทำลาย ในช่วงความยาวคลื่น 400-1700 นาโนเมตร (Xing *et al.*, 2007)

มีศึกษาการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น ความยาวคลื่น 700-900 นาโนเมตร ไปใช้ในการตรวจอาการ brownheart ภายในผลแอปเปิล (Clark *et al.*, 2003)

สำหรับการเกิดเปลือกแข็งของผลมังคุด ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารลิกนินอันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแข็งของเปลือกมังคุดหลังตกกระทบที่มีผลทำให้เปลือกมีลักษณะแข็งแตกต่างไปจากมังคุดปกติ ดังนั้นการใช้เทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงย่านตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดเพื่อหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารลิกนินในเปลือกมังคุดแบบไม่ทำลาย จะสามารถนำไปใช้สำหรับการคัดแยกอาการเปลือกแข็งของมังคุดที่ระดับความรุนแรงต่างๆ จึงมีความเป็นไปได้ และจะนำไปสู่การพัฒนาระบบการคัดแยกมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายต่อไป

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาความของสัมพันธ์คุณสมบัติทางเคมี

3.1.1 การวัดปริมาณสารลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมังคุดภายหลังทำการตกกระทบ 6 ชั่วโมง และนำค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้ไปศึกษาและวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคทาง NIR โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างของมังคุดออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration set) จำนวน 67 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทำนาย (prediction set) จำนวน 27 ตัวอย่าง

เพื่อศึกษาความของสัมพันธ์คุณสมบัติทางเคมีที่มีแนวโน้มในการใช้เป็นดัชนีประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะกายภาพภายนอกกับองค์ประกอบทางเคมีที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมังคุด

3.2 การทดลองการใช้เทคนิค NIR ตรวจวัดค่าปริมาณสารลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การทดลองใช้เทคนิค NIR วัดสเปคตรัมของผลมังคุดภายหลังการตกกระทบ และหาค่าปริมาณสารลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมังคุด เพื่อหาสมการ calibration

3.2.1 การตรวจวัดดัชนีคุณภาพทางเคมีที่มีอิทธิพลต่อความแข็งของผลมังคุดด้วย Vis-NIRS และสร้างสมการทำนาย (calibration equation) โดยนำผลมังคุดมาตรวจวัดด้วย Vis-NIRS เพื่อวัดปริมาณการสะท้อนช่วงคลื่น Near Infrared ขององค์ประกอบทางเคมีที่ใช้เป็นดัชนีการวัดปริมาณสารลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้ transmittance mode แล้วนำค่าความยาวคลื่นและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดแต่ละดัชนีไปเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางคณิตศาสตร์และสถิติประยุกต์ให้อยู่มนรูปแบบที่เหมาะสมกับการสร้างสมการทำนาย และทำนายปริมาณสารลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมังคุดจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับปริมาณองค์ประกอบทางเคมีหรือวิธีปฏิบัติแบบดั้งเดิมแล้วจึงปรับองค์ประกอบทางคณิตศาสตร์ต่างๆ จนได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลการดูดกลืนพลังงานแสงที่ได้จากมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบ

จากข้อมูลความแข็งของเปลือกภายหลังการตกกระทบ นำตัวอย่างวัดค่าปริมาณสารลิกนินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ทำได้โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างของมังคุดออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration set) จำนวน 67 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทำนาย (prediction set) จำนวน 27 ตัวอย่าง โดยแต่ละกลุ่มจะมีค่าทางเคมีที่ครอบคลุมทุกช่วงระดับและค่าทางเคมีของกลุ่มสำหรับการทำนายมีค่าอยู่ภายในขอบเขตของค่าทางเคมีของกลุ่มสำหรับการปรับเทียบ นอกจากนี้ค่าทางเคมีของทั้งสองกลุ่มมีการกระจายตัวใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2) และแสดงค่าสเปคตรา (original data) ของมังคุดทั้งหมดแสดงในภาพที่ 4.1 และแสดงค่าสเปคตราเฉลี่ยของกลุ่มมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบแสดงในภาพที่ 4.2 ค่าสเปคตรัมการดูดกลืนพลังงานแสงเฉลี่ยที่ได้จากมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบของกลุ่มมังคุดแสดงในภาพที่ 4.3 จะเห็นว่าสเปกตรัมของมังคุดที่มีอาการเปลือกแข็งจะแตกต่างไปจากมังคุดปกติกล่าวคือจะปรากฏพีคอยู่ที่บริเวณ 876 นาโนเมตร ซึ่งเป็นพีคของลิกนินซึ่งเกิดจากการเกิดเปลือกแข็งของผลมังคุดนั่นเอง

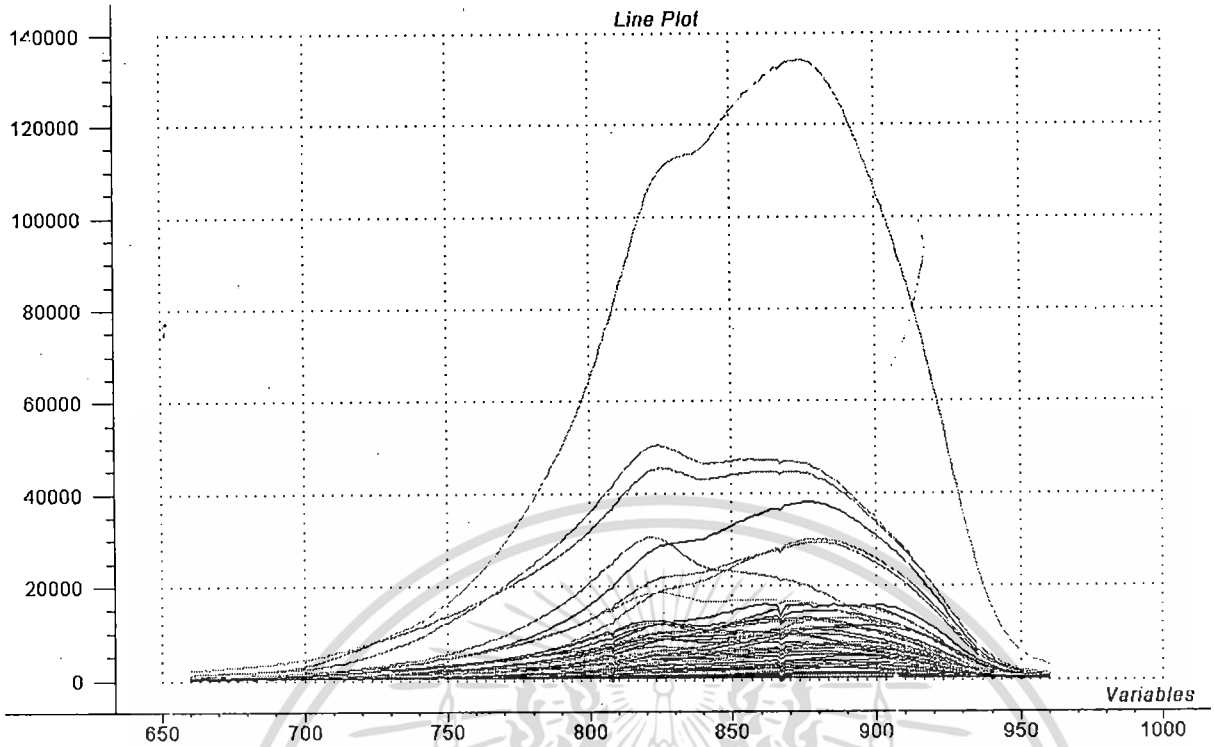
ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติของปริมาณสารลิกนินในมังคุดเปลือกแข็งกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Sample set	N	Unit	Range	Mean	SD
Training	67	Abs_{280}/ml per mg	0.32-1.30	0.70	0.15
Test	27		0.44-0.98	0.68	0.11

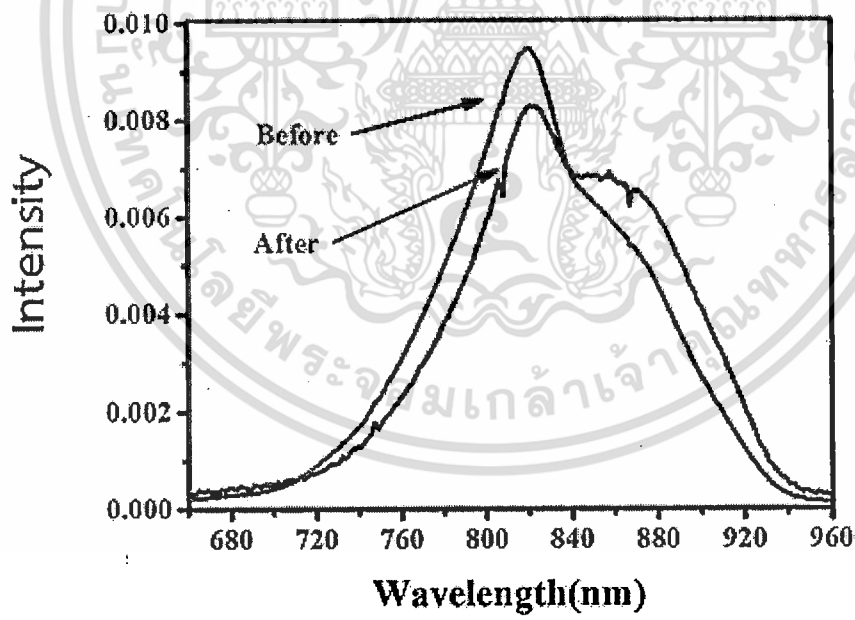
ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมังคุดเปลือกแข็งกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Sample set	N	Unit	Range	Mean	SD
Training	67	mg/l	0.47-2.60	1.15	0.37
Test	27		0.63-1.82	1.05	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

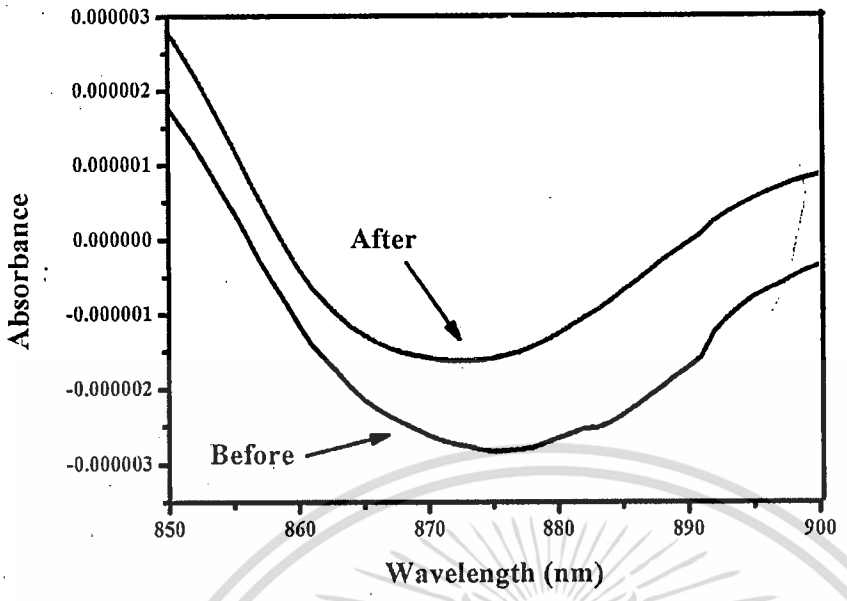


ภาพที่ 4.1 สเปคตรัม (original data) ของตัวอย่างมังคุดทั้งหมดที่ทำการทดลอง



ภาพที่ 4.2 สเปคตรัมเฉลี่ย (averaged original data) ของมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 สเปคตรัมการดูดกลืนพลังงานแสงเฉลี่ยที่ได้จากมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบ

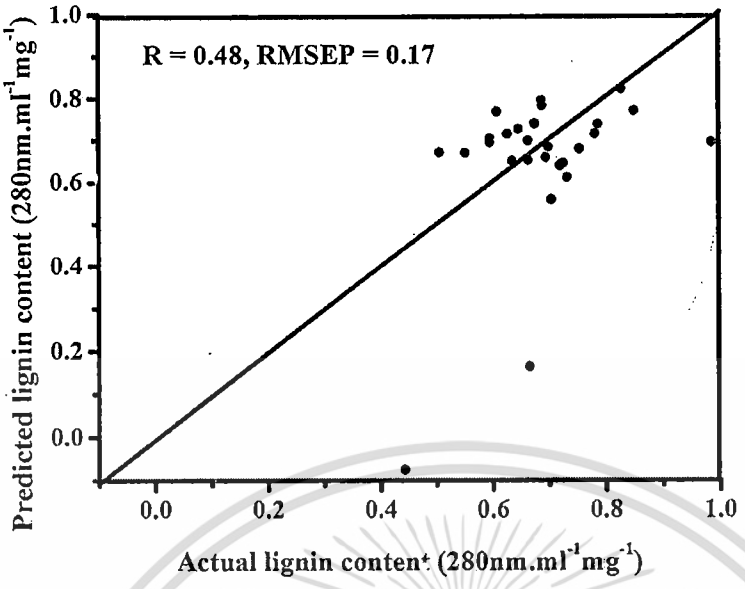
4.2 การทำนายปริมาณสารลิกนินในมังคุดเปลือกแข็ง ภายหลังการตกกระทบ 6 ชั่วโมง ที่ระยะความสูง 100 เซนติเมตร

จากการสร้างโมเดลในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการเพื่อทดสอบการทำนายปริมาณสารลิกนินในผลมังคุดที่ตกกระทบที่ความสูง 100 เซนติเมตรด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) จากผลการทดลองการใช้เทคนิค NIR เพื่อสร้างสมการ calibration สำหรับทำนายค่าปริมาณสารลิกนินของผลมังคุดภายหลังการตกกระทบ เมื่อนำโมเดลที่ได้ไปใช้ทดสอบสมการในกลุ่มที่ใช้ใน การทดสอบสมการด้วยค่า R ของสมการ calibration ของผลมังคุด (R = 0,69 RMSEP = 0.10) สามารถทำนายปริมาณสารลิกนินในผลมังคุด ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายได้แม่นยำต่ำ (R = 0.48, RMSEP = 0.17) แสดงในตารางที่ 4.3 และกราฟความแม่นยำในการทำนายปริมาณสารลิกนินจากการทดสอบสมการของกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (training set) แสดงในภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าจากการวิเคราะห์ปริมาณสารลิกนินด้วยเทคนิค PLSR ของมังคุดเปลือกแข็ง

Spectral pretreatment	Training set				Prediction set		
	Factor	N	R	RMSEC	N	R	RMSEP
Original	9	67	0.69	0.10	27	0.48	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ค่า R จากการทำนายปริมาณสารลิกนินในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ

4.3 การทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแข็ง ภายหลังการตกกระทบ 6 ชั่วโมง ที่ระยะความสูง 100 เซนติเมตร

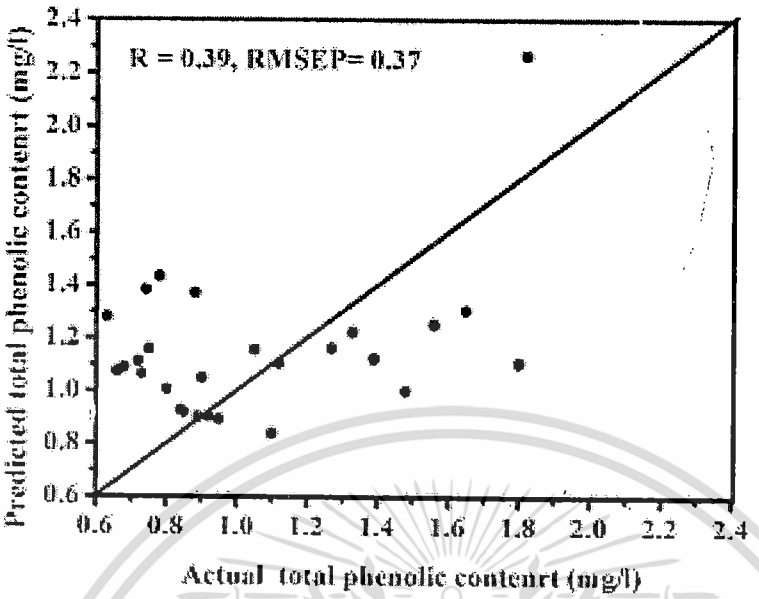
ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการดูดกลืนพลังงานอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared, NIR) ได้สมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมังคุดสมการ calibration การทดสอบสมการ ด้วยค่า R ของสมการ calibration ของผลมังคุด (R = 0.73, RMSEP = 0.25) สามารถทำนายปริมาณสาร ฟีนอลิกทั้งหมดในผลมังคุด ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายได้แม่นยำต่ำ (R = 0.39, RMSEP = 0.37) แสดงในตารางที่ 4.4 และกราฟความแม่นยำในการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากการทดสอบสมการของกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (training set) แสดงในภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าจากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยเทคนิค PLSR ของมังคุดเปลือกแข็ง

Spectral pretreatment	Training set				Prediction set		
	Factor	N	R	RMSEC	N	R	RMSEP
Original	10	67	0.73	0.25	27	0.39	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 4.5 ค่า R จากการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ผลได้ดำเนินการทำพรีทรีตเมนต์สเปกตรา (spectral pretreatments) ในแบบต่างๆ เพื่อดูผลความสามารถในการทำนายของสมการ ทำนายปริมาณสารลิกนินและทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดังตารางในภาคผนวก พบว่าการปรับแต่งสเปกตราด้วยวิธีการต่างๆ เมื่อดำเนินการแล้ว ก็ไม่ได้ให้ผลดีไปกว่างสมการที่ใช้ original spectra หรือไม่ได้ผลดีสำหรับการทำนาย ดังนั้นจึงสร้างสมการโดยใช้ original spectra ในการวิเคราะห์ในการรายงานผลสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

131082

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้นำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลเกษตรแบบไม่ทำลายผลได้อย่างรวดเร็วและไม่ต้องใช้สารเคมี การวิจัยนี้เป็นการนำเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมาตรวจสอบปริมาณสารลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลมังคุด โดยใช้ความยาวคลื่นระหว่าง 660-960 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสั้น การเปรียบเทียบสมการcalibration ด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) พบว่าการทำนายปริมาณสารลิกนินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการได้มีค่าความแม่นยำต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณสารลิกนินและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลมังคุดมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไม่สม่ำเสมอในแต่ละจุดของเปลือกในแต่ละผล ตำแหน่งการวัดและตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์อาจผิดพลาดได้ ประกอบกับอาจเกิดความผิดพลาดในการหาปริมาณสารเคมี เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณสารมีขั้นตอนมากและใช้เวลามากอันอาจทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้มากเช่นกัน นอกจากนี้ ปริมาณสารเคมีในตัวอย่างมีปริมาณน้อยมาก ก็จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ความแม่นยำในการทำนายผลจึงลดลง นอกจากนี้งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในด้านงบประมาณทำให้การวิจัยเพื่อยืนยันผลมีข้อจำกัด การวิจัยนี้จึงน่าจะเป็นประโยชน์และใช้เป็นข้อมูลเพื่องานวิจัยที่จะมีต่อไปในอนาคตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การสร้างสมการควรคำนึงถึงการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งจะทำให้สมการที่สร้างได้เมื่อนำมาทำนายให้ค่าความแม่นยำของการทำนายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมการค้าต่างประเทศ. 2552. สถานการณ์การค้ามังคุด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.dif.moc.go.th. (10 เมษายน 2553).

พรรณทิพย์ ห่อสีสัมพันธ์. 2548. NIR Spectrometer เครื่องมือวิเคราะห์สำหรับสารอินทรีย์. Lab ToDay. ตุลาคม 2548. หน้า 28-32.

มาโนชญ์ กูลพฤษี. 2534. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีบางประการของเปลือกมังคุดที่แข็งตัวเนื่องจากการตกกระทบหลังการเก็บเกี่ยว. ปัญหาพิเศษปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รำไพ อินแก้วพะเนา และ จินตนา ศรีขาว. 2536. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของแรงกดต่อคุณภาพของมังคุด. โครงงานปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิราพร ริพล. 2551. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโดยเนียร์อินฟราเรดรีเฟลกแทนซ์สเปกโทรสโคปี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถิติปริมาณและมูลค่าของตลาดส่งออกมังคุด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.oae.go.th. (10 เมษายน 2553).

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2531. ดัชนีแสดงระดับสีของผลมังคุด. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สถาบันอาหาร. 2550. ข้อมูลการส่งออกมังคุด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.nfi.or.th/statistic.asp. (24 มิถุนายน 2553).

สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2541. มังคุด. ครั้งที่ 4. ฐานเกษตรกรรม, นนทบุรี.

สมศักดิ์ อตัญธี. 2538. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางชีวเคมีบางประการของเปลือกผลมังคุดที่แข็งตัวเนื่องจากการตกกระทบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

สมเกียรติ เสริมภักดี. 2543. การปลูกมังคุด. ครั้งที่ 1. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สมโภชน์ น้อยจินดา. 2535. ผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายชล เกตุษา, R.E. Paull และอภิตา บุญศิริ. 2548. การศึกษาสารฟีนอลิกและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเปลือกผลมังคุดหลังการตกกระทบ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. โครงการวิจัยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. (สกว.)

Bunsiri, A., S. Ketsa and R.E. Paull. 2002. Phenolic metabolism and lignin synthesis in damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. Postharvest Biology and Technology 29:61-71

Chandler, W.H. 1950. Evergreen Orchards. La and Febiger, Philadelphia. 542p.

Clark, C. J., V. A. McGlone, C. Requejo, A. White and A. B. Woolf. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. Postharvest Biology and Technology. 29: 300-307.

Fu, X., Y. Ying, H. Lu and H. Xu. 2007. Comparison of diffuse reflectance and transmission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mode of visible-near infrared spectroscopy for detecting brown heart of pear. Journal of Food Engineering. 83:317-323.

Liu, Y., X. Chen and A. Ouyang. 2008. Nondestructive determination of pear internal quality indices by visible and near-infrared spectrometry. LWT- Food Science and Technology.

Kawano, S., H.Watanabe, M. Iwamoto. 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 61: 445-451.

Ketsa, S. and M. Koolpluksee. 1993. Some physical and biochemical characteristics of damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. Postharvest Biology. Technology. 2:209-215.

Ketsa, S. and Atantee, S. 1998. Phenolics, lignin, peroxidase activity and increased firmness of damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. Postharvest Biology Technology. 14: 117–124.

McGlone, V. A., R. B. Jordan and P. J. Martinsen. 2002. Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple. Postharvest Biology and Technology. 25:135-144.

Osborne, B.G., Fearn, T. and PH. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis. Second Edition. Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex, UK. 227 p.

Peirs, A., J. Lammertyn, K. Ooms and B. M . Nicolai. 2000. Prediction of the optimal picking date of different apple cultivars by means of VIS:NIR-spectroscopy. Postharvest Biology and Technology. 21: 189–199.

Rhode, J. J. M . and L.S.C. Wooltorton. 1978. The biosynthesis of phenolic compound in wounded plant storage tissue. Biochemistry of wounded plant tissue. 243-286.

Schaare, P. N. and D.G. Fraser. 2000.Comparison of reflectance, interactance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit (*Actinidia chinensis*). Postharvest Biology and Technology. 20:175-184.

Shao, Y., Y. He, A. H. Gomez, A. G. Pereir and Z. Qiu. 2007.Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave(Lycopersicumesculentum) quality characteristics. Journal of Food Engineering. 81:672-678.

Tongdee, S.C. and A. Suwanagul. 1989. Postharvest mechanical damage in mangosteen. ASEANFood Journal. 4(4): 151-155.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Whetten, R.W. and R. Sederoff. 1995. Lignin Biosynthesis. The Plant Cell 7 : 1001-1013.

Xing, J. and J. De Baerdemaeker. 200. Fresh bruise detection by predicting softening index of apple tissue using VIS/NIR spectroscopy. Postharvest Biology and Technology. 45: 176-183.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Sontisuk Teerachaichayut
2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3100201948412
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 0 2 329 8000 ต่อ 7267 โทรสาร 0 2329 8526 -7
E-mail : ktsontis@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ/ประเทศ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2529/ไทย	ตรี	วศ.บ.(วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต)	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2537/ไทย	โท	วศ.ม.(วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต)	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2550/ ไทย	เอก	ปร.ด.(เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)	เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ Food Engineering, Postharvest Technology, Heat and Energy

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอก

หัวหน้าโครงการวิจัย

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน.

นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ, น.ส.จุฑามาศ ผลอุดม, น.ส.วรรณชยา เอื้อมเสถียรพร.2552.การสร้างโมเดลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำมังคุดจากสเปกตรัมสะท้อนกลับความยาว คลื่นใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วารุณี ธนะแพสย์.2552.เทคนิคการตรวจสอบเปลือกแข็งในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วกุล,วารุณี ธนะแพสย์.2553.เทคนิคการตรวจสอบยางไหลภายในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. น.ส.กนกพร แก้วสมนึก น.ส.มาลินี รังษี 2553.การทำนายอาการฟ่ามในผลส้มแบบไม่ทำลายโดยใชค่าทางไฟฟ้า.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2554. แท่งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกแห้ว.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ1 ผลการทำพรีทรีตเม้นต์สเปกตราในการทำนายปริมาณสารลิกนินด้วยเทคนิค PLSR

Pretreatment	factors	R	RMSEC	R	RMSEP
original	9	0.69	0.1	0.48	0.17
smoothing	10	0.77	0.09	0.42	0.17
1^{st} derivative	5	0.68	0.11	0.24	0.11
normalize	12	0.89	0.06	0.32	0.2
MSC	9	0.71	0.1	0.32	0.1
SNV	9	0.76	0.09	0.12	0.13
smoothing+1 st derivative	6	0.78	0.09	0.12	0.12
smoothing+normalize	12	0.89	0.06	0.32	0.2
smoothing+MSC	9	0.71	0.1	0.32	0.1
smooting+SNV	9	0.76	0.09	0.12	0.13
normalize+MSC	9	0.72	0.1	0.28	0.11
normalize+SNV	4	0.64	0.11	0.15	0.11
MSC+SNV	6	0.67	0.11	0.16	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ2 ผลการทำพรีทรีตเม้นต์สเปกตราในการทำนายสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยเทคนิค PLSR

Pretreatment	factors	R	RMSEC	R	RMSEP
original	10	0.73	0.25	0.39	0.37
smoothing	8	0.66	0.28	0.36	0.34
1^{st} derivative	5	0.7	0.27	0.38	0.3
2^{nd} derivative	3	0.77	0.23	0.34	0.3
normalize	9	0.82	0.21	0.34	0.35
MSC	11	0.77	0.24	0.19	0.51
SNV	8	0.48	0.32	0.17	0.46
smoothing+1^{st} derivative	6	0.76	0.24	0.4	0.33
smoothing+2^{nd} derivative	3	0.73	0.26	0.32	0.35
smoothing+normalize	9	0.82	0.21	0.34	0.35
smoothing+MSC	8	0.68	0.27	0.13	0.46
smooting+SNV	12	0.81	0.21	0.23	0.49
normalize+MSC	8	0.71	0.26	0.14	0.46
normalize+SNV	12	0.81	0.22	0.21	0.48
MSC+SNV	12	0.81	0.22	0.21	0.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ3 ค่าจากการวิเคราะห์ปริมาณสารลิกนินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตัวอย่าง	ปริมาณสารลิกนิน (Abs_{280}/ml per mg)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/l)
1	0.32	0.47
2	0.40	0.55
3	0.51	0.81
4	0.51	0.82
5	0.51	0.82
6	0.52	0.83
7	0.52	0.83
8	0.52	0.83
9	0.52	0.84
10	0.55	0.84
11	0.57	0.85
12	0.59	0.85
13	0.59	0.85
14	0.61	0.86
15	0.61	0.86
16	0.63	0.88
17	0.63	0.88
18	0.64	0.89
19	0.64	0.89
20	0.65	0.89
21	0.65	0.90
22	0.66	0.90
23	0.66	0.90
24	0.66	0.91
25	0.67	0.91
26	0.67	0.94
27	0.67	0.94
28	0.68	0.96
29	0.68	0.97
30	0.69	0.98
31	0.69	0.99
32	0.69	1.00
33	0.69	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	ปริมาณสารลิกนิน (Abs_{280}/ml per mg)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/l)
34	0.70	1.02
35	0.70	1.02
36	0.70	1.04
37	0.70	1.05
38	0.70	1.05
39	0.72	1.11
40	0.72	1.12
41	0.73	1.13
42	0.73	1.14
43	0.73	1.16
44	0.73	1.17
45	0.73	1.21
46	0.75	1.22
47	0.75	1.23
48	0.78	1.26
49	0.78	1.28
50	0.78	1.29
51	0.78	1.35
52	0.79	1.36
53	0.79	1.40
54	0.79	1.44
55	0.79	1.49
56	0.80	1.51
57	0.80	1.57
58	0.82	1.64
59	0.83	1.66
60	0.85	1.66
61	0.86	1.80
62	0.89	1.82
63	0.90	1.82
64	0.93	1.82
65	0.98	1.85
66	1.02	1.87
67	1.30	2.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	ปริมาณสารลิกนิน (Abs_{280}/ml per mg)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/l)
68	0.44	0.63
69	0.51	0.66
70	0.55	0.68
71	0.59	0.72
72	0.59	0.73
73	0.61	0.74
74	0.63	0.75
75	0.64	0.78
76	0.65	0.80
77	0.66	0.84
78	0.66	0.85
79	0.67	0.88
80	0.68	0.89
81	0.69	0.90
82	0.69	0.92
83	0.69	0.95
84	0.70	1.05
85	0.70	1.10
86	0.72	1.12
87	0.73	1.27
88	0.73	1.33
89	0.75	1.39
90	0.78	1.48
91	0.79	1.56
92	0.83	1.65
93	0.85	1.80
94	0.98	1.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Sontisuk Teerachaichayut
2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3100201948412
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 0 2 329 8000 ต่อ 7267 โทรสาร 0 2329 8526 -7
E-mail : ktsontis@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ/ประเทศ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2529/ไทย	ตรี	วศ.บ.(วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต)	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2537/ไทย	โท	วศ.ม.(วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต)	วิศวกรรมแคมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2550/ ไทย	เอก	ปร.ด.(เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)	เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ Food Engineering, Postharvest Technology, Heat and Energy

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอก

หัวหน้าโครงการวิจัย

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน.

นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ, น.ส.จุฑามาศ ผลอุดม, น.ส.วรรณชยา เอื้อมเสถียรพร.2552.การสร้างโมเดลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำมังคุดจากสเปกตรัมสะท้อนกลับความยาว คลื่นใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วารุณี ธนะแพสย์.2552.เทคนิคการตรวจสอบเปลือกแข็งในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วกุล,วารุณี ธนะแพสย์.2553.เทคนิคการตรวจสอบยางไหลภายในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. น.ส.กนกพร แก้วสมนึก น.ส.มาลินี รังษี 2553.การทำนายอาการฟ่ามในผลส้มแบบไม่ทำลายโดยใช้ค่าทางไฟฟ้า.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2554. แท่งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกแห้ว.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการ ดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่าน.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2555. การสกัดน้ำสับปะรดและผลิตเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกสับปะรด.

ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

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

ศรีศักดิ์ ตรังวัชระกุล, 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 ธนะแพสย์, สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, ศุมาพร เกษมสำราญ, and Young Kil Kwon. 2548. การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น. สัมมนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ. 2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 (3 พิเศษ): 156-159.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ. 2552. การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1): 55-64.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, จุฑามาศ ผลอุดม และวรรณชยา เอื้ออมเสถียรพร. 2553. การทำนายอาการเนื้อแก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 (1 พิเศษ): 385-388.

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

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

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.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Teerachaichayut S., W. Thanapase, K. Shigefugi, 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, 158-159. Tsukuba city, Japan, 10-14 November.

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

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. 31-35.Japan, 13-15 May.

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.

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.

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.

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

ผู้ช่วยวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวศรัญญา วอขวา
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) MissSaranyaWorkhwa
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-4309-00380-91-9
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยงานที่อยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 02 326 4112 โทรสาร 02 326 4091
E-mail :annasesus@yahoo.com

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ/ประเทศ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2543/ไทย	ตรี	วท.บ.(วิทยาศาสตร์บัณฑิต)	เทคโนโลยีการอาหารและโภชนาศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2546/ไทย	โท	วท.ม.(วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต)	วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ

หัวหน้าโครงการวิจัย

ศรัญญา วอขวาและวิศรุต สิงขร อรสา บัวป่า 2550. ผลของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่ออายุการเก็บรักษาเห็ดนางฟ้า. ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการIRPUS. สถานะหัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

ศรัญญา วอขวา นิธิยา รัตนาปนนท์ และดนัย บุณยเกียรติ. 2546. อุณหภูมิลำดับขั้นต่ออาการสะท้านหนาวของส้มเขียวหวานพันธุ์สีทอง.รายงานการสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/ หลังการผลิตแห่งชาติครั้งที่ 2 โดยเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ ณ โรงแรมเจริญธานีปริ๊นเซส ขอนแก่น ระหว่างวันที่ 21-22 สิงหาคม 2546

อรรจนา ด้วงแพง เมทินี วสุนธราวัฒน์**ศรัญญา วอขวา**และศริสา ทวีแสง2550.โครงการคิดค้นและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ข้าวของจังหวัดอุดรธานีเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต. ได้รับทุนอุดหนุนจากศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 4ภายใต้โครงการการพัฒนา-กลุ่มอุตสาหกรรมโรงสีข้าว จังหวัดอุดรธานีสถานะผู้ร่วมวิจัย

ชนะชัย บุญเพิ่มชลวิชชุ์ยุวชิตรัชพล สืบพรหม**ศรัญญา วอขวา**และศริสา ทวีแสง. 2551. การศึกษาสถานภาพโรงฆ่าสัตว์ในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี จังหวัดหนองบัวลำภูได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีสถานะผู้ร่วมวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้