

รายงานการวิจัย

การประเมินการเกิดอาการสะท้อนของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง
ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Quality assessment chilling injury of mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong
by Near Infrared Spectroscopy technique.

ชื่อผู้วิจัย

1. ดร. ระจิตร สุวพานิช หัวหน้าโครงการ
2. นางสาวปาริชาติ เทียนจุมพล ผู้ร่วมวิจัย

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2551
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การประเมินการเกิดอาการสะท้อนของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง
ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Quality assessment chilling injury of mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong
by Near Infrared Spectroscopy technique.

ชื่อผู้วิจัย

RH
SB
999
.M2
ร2147

1. ดร. ระจิตร สุวพานิช หัวหน้าโครงการ
2. นางสาวปาริชาติ เทียนจุมพล ผู้ร่วมวิจัย

สงวน
เลขทะเบียน... 115538
วันเดือนปี... 21 ส.ค. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2551
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12/31/2554

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย เพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2551 กับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณสถานวิทยากรหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ การใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ตลอดจนอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัย จนงาน สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณปาริชาติ เทียนจุมพล ผู้ร่วมวิจัย ที่ให้การช่วยเหลือและร่วมทำงานวิจัย จน งานวิจัยสำเร็จลุล่วง ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนการไปเสนอผลงาน ในการประชุม The 1ST Asian NIR Symposium and The 24TH Japanes NIR Forum ระหว่างวันที่ 10-14 พฤศจิกายน 2552 เมือง Tsukuba ประเทศ ญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฟอร์มบทย่อย
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับ โครงการวิจัย

ชื่อโครงการ การประเมินการเกิดอาการสะท้อนของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยเทคนิคเนียร์

อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี

Quality assessment chilling injury of mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong
by Near Infrared Spectroscopy technique.

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ประจำปี 2551 จำนวนเงิน 270,780 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2550 ถึง กันยายน 2551

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์

1. นางระจิตรา สุวพานิช คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 02-3298526
2. นางสาว ปาริชาติ เทียนจุมพล
สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โทรศัพท์ 053-944031

ส่วนที่ 2 บทคัดย่อ

บทคัดย่อ

ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองถูกทำให้เกิดอาการสะท้อนหนาว โดยนำไปเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem 6500 ช่วงความยาวคลื่น 700 – 1100 นาโนเมตร (คลื่นสั้น) ร่วมกับการวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์จากเนื้อมะม่วงเริ่มต้นและเก็บรักษาแล้ว 15 และ 30 วัน วิเคราะห์ข้อมูลเปกตรัมด้วยวิธี principle component analysis (PCA) พบว่า สเปกตรัมของมะม่วง สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ด้วย PC 2 และ PC3 โดยกลุ่มที่ 1 คือ สเปกตรัมของมะม่วงที่มีลักษณะปกติหรือมะม่วงเริ่มต้น ซึ่งไม่ปรากฏอาการสะท้อนหนาว และกลุ่มที่ 2 คือ สเปกตรัมของมะม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 วัน ซึ่งแสดงอาการสะท้อนหนาวอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกับการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์จากเนื้อมะม่วงที่มีค่าเพิ่มขึ้นจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 8.6% เป็น 15.7 % และ 13.0 % เมื่อเก็บรักษาแล้ว 15 และ 30 วัน ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จะเห็นว่ามะม่วงที่แสดงอาการสะท้อนหนาวมีการตอบสนองต่อแสงเนียร์อินฟราเรด ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญในการตรวจสอบอาการสะท้อนหนาวของมะม่วงด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Abstract

Mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong was kept in the chamber at $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ to induce the chilling injury symptom. NIRSystem 6500 was used to measured spectra of mangos in wavelength region from 700 nm to 1100 nm (short wavelength) and determined the electrolyte leakage of flesh at initial time on days 15 and 30. Spectral data were analysed by using principle component analysis method (PCA). It was found that spectrum of mango could be separated into two groups with PC2 and PC3. First group was the spectrum of normal mango; no chilling injury symptom and second was the spectrum of mango which was kept at at $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ in 15 and 30 days; showed severe of chilling injury symptom. According to the electrolyte leakage of flesh were increased from 8.6% at the initial time to 15.7 % and 13.0 % when were kept at $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ on 15 and 30 days respectively. It were significant different ($P<0.05$). Chilling injury of mango fruit was different responsibility to near infrared which was the importance properties to detect the chilling injury symptom by using near infrared spectroscopy.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	3
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	17
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	22
บทที่ 5 บทสรุป	59
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	24
การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ดิบแก่และ สุก	
ตารางที่ 2	25
การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภาพภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ ทอง จากแหล่งปลูกที่ 1	
ตารางที่ 3	26
การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภาพภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ ทองจากแหล่งปลูกที่ 2	
ตารางที่ 4	44
การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทองขณะเก็บรักษา ที่อุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียส (ผลดิบ)	
ตารางที่ 5	44
การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ทองขณะเก็บรักษา ที่อุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียส (ผลสุก)	
ตารางที่ 6	52
คะแนนการเกิดอาการสั้ตามหนวของมะม่วงน้ำดอกไม้ทองที่เก็บ รักษาที่อุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียสของผลดิบและผลสุก	
ตารางที่ 7	56
PLS calibration results for electrolyte leakage and moisture content of mango flesh using spectra treated with second derivative.	

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	ผลมะม่วงที่มีความแก่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ที่นำมาใช้ในการทดลอง	17
ภาพที่ 2	ลักษณะการเตรียมมะม่วง โดยการแช่ผลมะม่วงในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	18
ภาพที่ 3	วัดสเปกตรัมของผลมะม่วงด้วยเครื่อง NIR System 6500	19
ภาพที่ 4	มะม่วงที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	21
ภาพที่ 5	ลักษณะสเปกตรัมของผลมะม่วง	25
ภาพที่ 6	ลักษณะอาการสันทานหนาวของผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเมื่อถ่ายได้กล้องสเตอริโอ	27
ภาพที่ 7	ลักษณะปรากฏของมะม่วงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา ก. 15 วัน ข. 30 วัน (แหล่งปลูกพื้นที่ 1)	28
ภาพที่ 8	ลักษณะปรากฏของมะม่วงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา ก. 10 วัน ข. 20 วัน (แหล่งปลูกพื้นที่ 2)	28
ภาพที่ 9	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	29
ภาพที่ 10	การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	30
ภาพที่ 11	การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	31
ภาพที่ 12	การเปลี่ยนแปลงค่าความความเข้มของสี (C^*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	32
ภาพที่ 13	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 14	35
แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเปลือกและเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	
ภาพที่ 15	36
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกและเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจาก จังหวัดฉะเชิงเทราที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	
ภาพที่ 16	36
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกและเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจากอำเภอพร้าวจังหวัดเชียงใหม่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	
ภาพที่ 17	38
แสดงการเปลี่ยนแปลงของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	
ภาพที่ 18	40
ลักษณะสเปกตรัมดั้งเดิม ของผลมะม่วง (original spectrum) ของผลมะม่วงที่ระยะเริ่มต้นและเมื่อเก็บภายใต้อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	
ภาพที่ 19	41
Means of (a) Original $[\log (1/R)]$ and second derivative spectra of green mango fruit and ripe mango	
ภาพที่ 20	42
PCA score plot (PC2 vs. PC3) of green mango fruit	
ภาพที่ 21	43
PCA score plot (PC2 vs. PC3) of green mango fruit	
ภาพที่ 22	45
การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	
ภาพที่ 23	46
การเปลี่ยนแปลงค่า (a^*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ของผลดิบและผลสุก	
ภาพที่ 24	47
การเปลี่ยนแปลงค่า (b^*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ของผลดิบและผลสุก	

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 25	การเปลี่ยนแปลงค่า (C*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ของผลดิบและผลสุก	47
ภาพที่ 26	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสผลดิบและผลสุก	48
ภาพที่ 27	การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	49-50
ภาพที่ 28	Original spectra of green and ripe mango fruit were stored in the chamber at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$	53
ภาพที่ 29	Means of (a) Original $[\log (1/R)]$ and (b) second derivative spectra of mango fruit	54
ภาพที่ 30	Regression coefficient plots for electrolyte leakage calibration equation of flesh of mango.	57
ภาพที่ 31	Scatter plots for predicting the electrolyte leakage of flesh of mango.	57
ภาพที่ 32	Regression coefficient plots for moisture content calibration equation of flesh of mango.	58
ภาพที่ 33	Scatter plots for predicting the electrolyte leakage of flesh of mango.	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

มะม่วงเป็นผลไม้เขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีการปลูกเป็นการค้าทั่วทุกภาคของประเทศไทย ผลผลิตของมะม่วงที่ได้มีทั้งจำหน่ายในตลาดทั้งภายในและส่งออกจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ แต่มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาและอายุวางจำหน่ายที่สั้น เนื่องจากมะม่วงมีการสุกและเสื่อมคุณภาพเร็ว ซึ่งทำให้มีข้อจำกัดในการส่งมะม่วงไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ แม้จะมีการใช้อุณหภูมิต่ำ หรือห้องเย็นอย่างแพร่หลายในการเก็บรักษา หรือขนส่งระยะทางไกลกับผลไม้เขตร้อน แต่ไม่สามารถใช้ได้กับผลมะม่วง เพราะมะม่วงจะได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง หรือที่เรียกว่าอาการสะท้านหนาว (chilling injury, CI) ก่อให้เกิดความเสียหายต่อลักษณะปรากฏที่ผิว เช่น surface pitting และต่อเนื้อมะม่วง เช่น soaking area ซึ่งเป็นผลเสียต่อการวางจำหน่ายและการยอมรับของผู้บริโภค อาการจะปรากฏชัดเจนเมื่อนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิปกติ การเกิดอาการสะท้านหนาวมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาและอุณหภูมิที่เก็บรักษา (Time-Temperature Relation) กล่าวคือถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดในระยะเวลาที่สั้น การเกิดอาการสะท้านหนาวของผลไม้สามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้ อย่างไรก็ตามการตรวจวัดอาการสะท้านหนาวในช่วงแรกของการเกิดอาการไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจน ทำให้เกิดปัญหาในการสังเกตอาการสะท้านหนาวว่าใช่หรือไม่ใช่ ดังนั้นถ้าสามารถหาวิธีตรวจวัดหรือเฝ้าติดตามการเกิดอาการสะท้านหนาวช่วงเริ่มต้นของผลมะม่วง ได้ก็จะเป็นการช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุระหว่างการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิต่ำได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ประเมินการเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ขอบเขตของโครงการวิจัย

เป็นการศึกษาโดยทำการทดลองระดับห้องปฏิบัติการและศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

NIR Spectroscopy เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยอาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างเป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดีและรวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อฉายแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR ลงไปบนตัวอย่าง แสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลใน functional groups ต่างๆ 2 ลักษณะ คือ การยืดหด (stretching) และ การเปลี่ยนมุม (bending) ช่วงความถี่ overtones และ combination ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H และ O=H ซึ่งเป็น โมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ ถ้าโครงสร้างโมเลกุลของสารตัวอย่างที่ตรวจวัดมีความซับซ้อนสเปคตรัมที่ได้จะยังมีการซ้อนทับกันมากขึ้น มีการประยุกต์ใช้ NIR Spectroscopy ในการคัดแยกผลผลิตเนื้อแก้ว ออกจากผลผลิตที่ดี เนื่องจากผลผลิตเนื้อแก้วกับผลผลิตปกติจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน จึงเกิดแนวคิดที่จะนำ NIR Spectroscopy มาใช้ตรวจสอบหรือเฝ้าติดตามการเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเป็นวิธีที่ตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายและรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

มะม่วง

มะม่วงมีชื่อสามัญว่า mango มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* Linn. เป็นไม้ผลยืนต้นไม่ผลัดใบ มีถิ่นกำเนิดในเขตอินเดียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แล้วแพร่ไปยังประเทศอื่นๆ ทั้งในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนของโลก (บุญเลิศ, 2532)

มะม่วงจัดอยู่ใน Class Dicotyledonae, Sub-class Archilamydeae, Order Sapindales และ Family Anacardiaceae (วิจิตร, 2529) ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย ขึ้นได้ดีในดินแทบทุกชนิดดินที่เหมาะสมคือ ดินร่วนที่มีการระบายน้ำได้ดีมีความเป็นกรดต่างของดินไม่เกิน 7.5 สามารถปลูกได้ตั้งแต่ในที่แห้งแล้งจนถึงในที่ที่มีฝนตกชุก

ลักษณะ/พันธุ์

มะม่วงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ใบเดี่ยวสีเขียว ขอบใบเรียบ ฐานใบมนปลายใบแหลม กลีบดอกมี 5 กลีบ ดอกออกช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลูกดิบสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือเหลืองส้ม มีเมล็ดภายใน 1 เมล็ด พันธุ์มะม่วงที่นิยมปลูก ได้แก่ มะม่วงแก้วศรีสะเกษ มะม่วงพันธุ์มรกต มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทะวาย พันธุ์ฟาลัน พันธุ์หนองแซง พันธุ์เขียวเสวย เป็นต้น และมีพันธุ์ส่งเสริมแยกตามลักษณะการรับประทานดังนี้พันธุ์รับประทานสุก ได้แก่ น้ำดอกไม้ อกร่อง ทองคำ พันธุ์รับประทานดิบ ได้แก่ ฟาลัน เขียวเสวยและแรด พันธุ์แปรรูป ได้แก่ แก้วสามปี

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงประเภทรับประทานสุก มีผู้นิยมปลูกกันมาก มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ใบใหญ่เป็นคลื่น ทรงพุ่มโปร่ง ส่วนมากมีนิสัยในการออกดอกทะวาย ออกดอกดก ติดผลปานกลาง ให้ผลทุกปี ผลมีขนาดใหญ่ หนักประมาณ 400 กรัม ผลอ่อนเกือบกลมหัวใหญ่ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เนื้อมาก เมล็ดเล็ก มีผิวบาง เมื่อดิบมีรสเปรี้ยว ผิวสีเขียวนวล เนื้อแน่น เมื่อผลสุกมีผิวสีเหลือง กลิ่นหอม เนื้อละเอียดมีเสี้ยนน้อย รสหวาน มะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีเปลือกบางจึงชำได้ง่าย และไม่ค่อยต้านทานต่อโรคแอนแทรกโนส อายุตั้งแต่ออกดอกจนถึงผลแก่ประมาณ 115 วัน มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ออกดอกง่าย สามารถตอบสนองต่อการบังคับให้ออกก่อนฤดูได้เป็นอย่างดี และเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ พันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือ น้ำดอกไม้เบอร์ 4 และน้ำดอกไม้สีทอง (สถาบันอาหาร, 2549)

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ผลดิบจะมีสีผิวเป็นสีเหลืองอ่อนคล้ายมะม่วงสุกทั้งที่ผลยังอ่อนอยู่ (2-3 เดือน

หลังดอกบาน) ซึ่งผลมะม่วงทั่วไปจะมีผิวสีเขียว ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีผิวที่หนากว่าผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้ ส่งผลให้ป้องกันการซ้ำและต้านทานโรคแอนแทรกโนสได้ดีกว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 รสชาติผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อผลอ่อนมีรสเปรี้ยว ผลแก่มีรสมันเนื้อกรอบ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) 17-18 เปอร์เซ็นต์ เนื้อไม่มีเส้น เนื้อมีสีเหลือง เมล็ดบาง น้ำหนักต่อผลประมาณ 300-400 กรัม ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น (นิทยา, 2548 และ เสาวภา, 2547)

คุณค่าทางโภชนาการ

ขอมะม่วง ใบอ่อน มีรสเปรี้ยวอมฝาดเล็กน้อย ผลดิบของมะม่วงรสเปรี้ยว ขอมอ่อนและใบอ่อนของมะม่วงยังไม่มีการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลมะม่วงแก่ดิบจะให้พลังงานต่อร่างกาย ซึ่งประกอบด้วย เส้นใย แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก เบตา-แคโรทีน วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง ไนอาซิน วิตามินซี เป็นต้น

การนำไปใช้ประโยชน์

ผลดิบและผลสุกสามารถแปรรูปเป็น มะม่วงกวน มะม่วงคอง มะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงเค็ม น้ำมะม่วงแยม ฯลฯ

การเก็บรักษามะม่วง

สายชล (2530) กล่าวว่ามะม่วงเป็นผลไม้ที่เสียหายได้ง่ายชนิดหนึ่ง เมื่อเก็บผลจากต้นมาแล้วย่อมมีการเสื่อมสภาพ และอาจมีการเน่าเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาทางเคมีและกายภาพ ซึ่งมีผลทำให้ผลมะม่วงเกิดกระบวนการสุกและมีการสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษา เช่น การสูญเสียน้ำหนัก การอ่อนนุ่มของผล และการเน่าเสียของผล เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถหาวิธียืดอายุการเก็บรักษามะม่วงได้ก็จะสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพ และการเน่าเสียได้ในการเก็บรักษาพืชผลสดต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องที่ใช้เก็บรักษาและสัดส่วนของก๊าซในบรรยากาศที่ใช้ในการเก็บรักษา

การเก็บรักษาผลมะม่วงให้สดอยู่ได้นานมีหลักการสำคัญ คือ จะต้องให้ผลมะม่วงมีการหายใจอยู่ในระดับต่ำเสมอ (ระยะ preclimacteric) และเมื่อควบคุมแล้วผลต้องสามารถสุกได้ตามปกติ (Chaplin, 1984) วิธีการปฏิบัติที่นับว่ามีประสิทธิภาพมากที่สุดและเป็นที่ยอมรับปฏิบัติคือ การเก็บรักษาผลมะม่วงในสภาพอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้อัตราการหายใจและกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ของผลลดลง ลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคเน่าในระหว่างการเก็บรักษา ชะลอการสร้างเอทิลีนและลดการตอบสนองของเนื้อเยื่อต่อเอทิลีน (สายชล, 2530; Wills *et.al.*, 1981) ผลไม้แต่ละชนิดมีอุณหภูมิต่ำที่

เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาแตกต่างกัน ผลมะม่วงโดยทั่วไปสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 10-12 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาได้นาน 2-3 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ (Phakawatmongkol *et al.*, 2004) ถ้าเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิต่ำไม่เหมาะสมและเก็บรักษาเป็นเวลานานเกินไป ทำให้เกิดอันตรายจากอุณหภูมิต่ำที่เรียกว่า อาการสะท้อนหนาว (Chilling injury, CI) ซึ่งมีลักษณะอาการคือ ผลมะม่วงสุกไม่สม่ำเสมอ เกิดรอยปุ่มหรือสีผิดปกติ มีจุดดำ เนื้อผลเป็นสีคล้ำ เนื้อผลที่ติดเมล็ดกับเปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเทาหรือสีน้ำตาล กลิ่นและรสชาติผิดปกติ อ่อนแอต่อเชื้อโรคและเน่าเสียเร็ว (สายชล, 2530) ความแตกต่างของการเกิดอาการสะท้อนหนาว ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช พันธุ์พืช อุณหภูมิและระยะเวลาที่เก็บรักษา (สายชล, 2528)

เจือจันทร์ (2541) พบว่าการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Mangifera indica* cv. Nam Dok Mai) ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 10 และ 20 วันตามลำดับ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ทำให้มะม่วงไม่เกิดการสุกซึ่งเป็นผลมาจาก chilling injury และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ได้แก่ ความแน่นเนื้อ สีเปลือกและสีเนื้อ ปริมาณ soluble solids ปริมาณ titratable acidity และอัตราการหายใจ มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเกิดการสุกตามปกติ มีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อลดลง สีเปลือกและสีเนื้อเปลี่ยนเป็นสีเหลืองตามค่า yellow index และค่า a เพิ่มขึ้น ปริมาณ soluble solids เพิ่มขึ้น ปริมาณ titratable acidity ลดลง และมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิซ ปริมาณ total nonstructural carbohydrates อัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน มีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างจากผลปกติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นอกจากนี้มะม่วงที่เก็บรักษาทั้งสองระดับอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่ผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า สำหรับปริมาณโพลีเอมีน 3 ชนิด ได้แก่ putrescine, spermidine และ spermine พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงลดลง โดยผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีปริมาณโพลีเอมีนทั้ง 3 ชนิด มากกว่าผลปกติที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางสรีรวิทยา และทางเคมีอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ขณะที่ผลที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว และผลมะม่วงที่เก็บรักษาทั้งสองระดับอุณหภูมิเกิด ethylene peak ก่อน climacteric peak

ธีระ (2544) ศึกษาชนิดและปริมาณสารหอมระเหย น้ำตาล และกรดในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ที่สุกหลังการเก็บเกี่ยวและสุกบนต้นที่มีระยะการสุกแตกต่างกัน โดยพิจารณาจากอัตราส่วน สีเหลืองต่อสีเขียวของเปลือกมะม่วง แบ่งเป็นระยะเริ่มสุก (60:40) สุกพอดี (80:20) และสุกจัด (100:0) จากการเก็บเกี่ยวมะม่วงแก่มาบ่มให้สุกตามธรรมชาติ และเก็บเกี่ยว ผลมะม่วงที่สุกบนต้นที่ได้ระยะการสุกที่ต้องการแล้ว ทำการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของ ผลมะม่วง ได้แก่การวัดสีเปลือก สีเนื้อ และความแน่นเนื้อ พบว่าผลมะม่วงทั้งสอง

สภาวะ การสุกมีค่า L , b และความแน่นเนื้อลดลง ในขณะที่มีค่า a เพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงมีระยะ การสุกเพิ่มมากขึ้น โดยมะม่วงที่สุกบนต้นมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพมากกว่า มะม่วงที่สุกหลังการเก็บเกี่ยวเล็กน้อย ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่การ วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารหอมระเหย น้ำตาลและกรดในเนื้อมะม่วง พบว่ามะม่วงทุกหน่วย ทดลองมี Butyric acid เป็นสารหอมระเหยหลัก รองลงมาคือสาร (+,a)-pinene โดย มะม่วงที่สุกหลังการเก็บเกี่ยวจะพบสาร 3-carene และ (+,a)-phellandren ด้วย ปริมาณ สารหอมระเหยที่พบส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงมีระยะการสุกเพิ่มขึ้น ชนิดและปริมาณ น้ำตาลที่พบในเนื้อมะม่วงส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครส รองลงมาคือ น้ำตาลฟรุคโตส และ กลูโคสตามลำดับ ส่วนกรดที่พบส่วนใหญ่เป็นกรดซัคซินิก รองลงมาคือกรดมาลิก และกรดซิตริก ตามลำดับ ส่วนกรดชนิดอื่นๆ พบในปริมาณน้อย โดยปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ ปริมาณกรดมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลมะม่วงมีระยะการสุกเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ามะม่วง ที่สุกหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลและกรดสูงกว่ามะม่วงที่สุกบนต้น เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบน้ำตาลและกรดในเนื้อมะม่วงด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) พบว่าสามารถใช้น้ำตาลซูโครส กรดมาลิก กรดซัคซินิก และ กรดฟูมาริก เพื่อบ่งบอกความแตกต่างระหว่างมะม่วงสุกหลังการเก็บเกี่ยวที่มีระยะการสุก แตกต่างกันได้ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบน้ำตาลและกรดในมะม่วงที่สุกบนต้น พบว่า สามารถใช้น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส กรดซิตริก กรดซัคซินิก กรดอะซิติก และกรดฟูมาริก เพื่อบ่งบอกความแตกต่างระหว่างผลมะม่วงที่มีระยะการสุกแตกต่างกันได้ และเมื่อวิเคราะห์ ข้อมูลขององค์ประกอบน้ำตาลและกรดในมะม่วงที่มีสภาวะการสุกแตกต่างกันทั้ง 5 หน่วยทดลอง ด้วยเทคนิค PCA พบว่าสามารถใช้น้ำตาลซูโครส กรดซิตริก มาลิก กรดซัคซินิก กรดฟูมาริก กรดอะซิติก และกรดฟูมาริก ในการบ่งบอกความแตกต่างระหว่างผลมะม่วงที่มีสภาวะการสุก แตกต่างกัน ที่ระยะการสุกต่างๆ ได้

อาการสะท้านหนาว

ผลไม้ที่มีแหล่งกำเนิดในเขตร้อนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12.5 องศาเซลเซียส จะอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว และความเสียหายจากอาการสะท้านหนาวมิได้เกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำแข็งขึ้นภายในเซลล์ จึงแตกต่างจากอาการ freezing injury พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวจะไวต่ออุณหภูมิต่ำตลอดระยะเวลาเจริญเติบโต รวมทั้งส่วนต่างๆ ของพืชจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำด้วย ยกเว้นพืชที่มีเมสส์แคและแห้งแล้วเท่านั้น อาการสะท้านหนาวอาจเกิดขึ้นได้ ตั้งแต่อยู่ในสวนระหว่างการขนส่ง ระหว่างการเก็บรักษา ระหว่างการขายส่ง และขายปลีก หรือแม้กระทั่งในตู้เย็นตามบ้านต่างๆ ไป อย่างไรก็ตาม ผลไม้ที่มีแหล่งกำเนิดในเขตอบอุ่นบางชนิดอาจอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวได้เช่นกัน (คณย, 2540)

อาการสะท้านหนาวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน และโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane structure) เต็มสลายส่งผลให้อัตราการซึมผ่าน และการรั่วไหลของประจุมีเพิ่มมากขึ้น (Hausman *et al.*, 2000 ; Saltveit., 2002) ในขณะที่เก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำ ซึ่งมะม่วงหากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 13 °C ผลมะม่วงจะเกิดอาการสะท้านหนาวขึ้นที่ผิว เนื้อและเมล็ด โดยแสดงอาการรอยบุ๋ม รอยสีน้ำตาลและการฝิดปกติของสีเปลือก เป็นต้น (Wang *et al.*, 2008) ซึ่งปัจจัย สำคัญของการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลไม้เขตร้อน คือ อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมในการเก็บรักษา หรือการเก็บรักษาผลผลิตไว้ในอุณหภูมิที่ต่ำเกินกว่าระดับที่ผลผลิตทนได้หรือเก็บไว้เป็นระยะเวลาสั้นเกินกว่าผลผลิตชนิดนั้นๆสามารถทนได้ (Soto-Zamora *et al.*, 2005)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว

ระยะความแก่

ระยะความแก่ของผลไม้มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวได้แตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ ผลไม้ที่ยังไม่แก่ถ้าผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เมื่อเกิดอาการสะท้านหนาวอาจทำให้ผลไม้ไม่สุก หรืออาจสุกได้คุณภาพไม่ดี เช่น ผลมะเขือเทศที่อยู่ในระยะแก่จัดสีเขียว จะอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าผลมะเขือเทศที่อยู่ในระยะสุกแล้ว (Mohammed and Brathwaite, 2000)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว ผลไม้ทั่วไปในเขตร้อนจะอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว หากถูกเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤตของผลไม้ นั้น และอุณหภูมิที่ชักนำให้เกิดอาการสะท้านหนาวในมะม่วง คือ อุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส (Tasneem, 2004) อีกทั้งความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดจากอาการสะท้านหนาวยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ผลมะม่วงได้รับอุณหภูมิต่ำ (दनัยและนิธิยา, 2535) ถ้าอุณหภูมิต่ำมากและสัมผัสอยู่นานอาการจะเกิดขึ้นมาก แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำไม่มากและสัมผัสอยู่ไม่นานอาการจะเกิดขึ้นน้อย นอกจากนี้ปัจจัยทั้งภายในและภายนอกต้นพืชมีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว เนื้อเยื่อต่างชนิดภายในต้นพืชเดียวกันก็เกิดอาการได้ไม่เท่ากัน พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กันเกิดอาการได้ต่างกัน (จริงแท้, 2549) เช่น ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จะอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าผลมะม่วงพันธุ์อกร่อง (Phakawatmongkol *et al.*, 2004)

ลักษณะทางพันธุกรรม

ผลไม้ที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างกันมีความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำได้แตกต่างกัน ผลไม้เขตร้อน เช่น ท้อ และแอปเปิล จะสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลไม้เขตร้อน เช่น มะม่วง มะละกอ ทูเรียน เงาะ ผลไม้เขตร้อน เช่น ลิ้นจี่ ลำไย หรือพันธุ์ต่างกัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันจะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำแตกต่างกันด้วย ผลมะม่วงพันธุ์แก้ว ทองดำ น้ำดอกไม้ และหนังกวางวัน ไม่สามารถเก็บรักษาที่

อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 5 วัน เนื่องจากเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะแสดงอาการ สะท้อนหนวที่ผิว ผลมะม่วงพันธุ์แรดและอกร่องสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 15 วัน และ 25 วัน ตามลำดับ (Phakawatmongkol, *et.al.*, 2004)

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้อนหนว

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้อนหนวนั้นมีข้อสันนิษฐานว่าเนื่องจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์บางส่วนมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นผิดปกติไป ส่งผลให้เกิดกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ และส่งผลให้เซลล์ตายในที่สุด เยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มไมโทคอนเดรีย และเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์อื่นๆ มีองค์ประกอบเช่นเดียวกัน คือ ประกอบด้วยชั้นของฟอสโฟลิพิด และโปรตีน เยื่อหุ้มเหล่านี้ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งที่เกิดของกระบวนการสำคัญต่างๆ เช่น การหายใจ และการสังเคราะห์แสง ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล เยื่อหุ้มต่างๆ เหล่านี้จะเสื่อมสภาพลง ทำให้สารตั้งต้นต่างๆ มีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ได้โดยขาดการควบคุม ทำให้เซลล์ขาดสมดุลและตายในที่สุด นอกจากนั้นอาการสะท้อนหนวอันเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำ แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลต่างๆ ที่ไม่เหมือนกันนั้น มีผู้สันนิษฐานว่าเกิดเนื่องจากกรดไขมันที่เป็น side chain ในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเหล่านี้ต่างกัน กล่าวคือพวกที่เกิดอาการสะท้อนหนวได้ง่ายจะเป็นพวกที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มต่างๆ และจะเปลี่ยนสภาพจากลักษณะที่เป็นของเหลว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะเจลแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง ส่วนในผลิตผลที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำจะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็สามารถคงสภาพอยู่ได้ (จริงแท้, 2538 และ 2544)

ลักษณะของอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวของผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน การเกิดอาการสะท้านหนาวเป็นผลมาจากกรที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ และอาการจะรุนแรงมากหรือน้อยขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่พืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำ อาการสะท้านหนาวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังต่อไปนี้ (จริงแท้, 2549)

1. เลนติเซลมีสีผิดปกติ (lenticel spotting) เกิดบริเวณรอบๆ เลนติเซล ซึ่งพบว่รอบๆ เลนติเซล เปลี่ยนเป็นสีแดง พบได้ในมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins และ Keitt (Pesis *et. al.*, 2000) หรืออาจเปลี่ยนเป็นสีเขียว (Ben *et. al.*, 2000)

2. เกิดรอยบุ๋ม (surface pitting) มักเกิดเป็นบริเวณกว้าง และมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวผิดปกติควบคู่ไปด้วย พบได้ในแตงกวา และมะเขือเทศ (Wang, 1990) และผลมะม่วงพันธุ์ Kensington (Nair and Singh, 2003)

3. อาการฉ่ำน้ำ (water soak) เมื่อเนื้อเยื่อเกิดความเสียหาย ความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารจากเซลล์เกิดความผิดปกติไป ทำให้ของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ซึมออกมายังช่องว่างระหว่างเซลล์ ส่งผลให้ผิวของผลผลิตเกิดการเหี่ยว เนื่องจากเซลล์บริเวณผิวผลเกิดการสูญเสียน้ำ และเกิดอาการฉ่ำน้ำขึ้น เช่น แตงกวา มะละกอ และสับปะรด (Wang, 1990) ผลมะม่วงโชคอนันต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส จะปรากฏอาการฉ่ำน้ำในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (เพ็ญวิภา, 2541)

4. สีของเนื้อและเปลือกเปลี่ยนไป เนื้อของผลไม้บางชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ จะเปลี่ยนจากสีปกติเป็นสีน้ำตาล โดยมักจะเกิดขึ้นบริเวณรอบๆ ท่อน้ำและท่ออาหาร การเปลี่ยนสีในลักษณะนี้อาจเป็นเพราะกิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenoloxidase (PPO) ที่ออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในเซลล์ของพืชบางชนิด ระบบท่อน้ำ ท่ออาหารอาจจะกลายเป็นสีน้ำตาลได้ สีที่เปลือกมักจะเปลี่ยนไปในทางที่คล้ำลงจากเดิม เมล็ดอาจจะมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น เช่น ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ที่ผิวผล ขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวที่เนื้อผลติด endocarp และอาการสะท้านหนาวเกิดรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ไม่แสดงอาการดังกล่าว (สุกัญญา, 2539 ; Chidtrakool and Ketsa, 2005) ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวที่ผิวผล โดยมีสีคล้ำกว่าปกติและเกิดจุดสีม่วงที่เปลือก (จิงจรณ์ และคณะ, 2545) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวที่ผิวผล

5. การสลายตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้มีสารเมแทบอไลต์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และแร่ธาตุต่างๆ ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายต่อได้ง่าย โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของผักและผลไม้ในระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนย้าย และการวางจำหน่าย ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียมากขึ้น

โดยเฉพาะกับผลไม้เขตร้อน การวัดความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถทำได้โดยวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งพบว่ามีความสูงขึ้นเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาวและผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในเนื้อเพิ่มขึ้น (ชเนศวร์, 2541)

6. มีการสุกที่ผิดปกติ ผลไม้บางชนิดที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่ทางสรีรวิทยาแต่ยังไม่สุก จะมีความผิดปกติในการสุก เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานๆ จะสูญเสียการพัฒนาด้านกลิ่นและรสชาติ เช่น การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Kensington ระยะแก่บริบูรณ์ เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว แต่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว ก่อนนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และยังพบว่าสารระเหย (aroma volatile) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสุกของผลมะม่วงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 15 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Herianus *et.al.*, 2003)

7. การเน่าเสียและเสื่อมสภาพ ผลไม้ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์และการกระทบกระเทือนจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เนื่องจากเซลล์ของพืชได้รับอันตรายจากอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เนื้อเยื่อเน่าเสียเนื่องจากการเสื่อมสภาพของเมมเบรน (Wang, 1990) ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้มีการเกิดโรคมามากขึ้น (ชเนศวร์, 2541)

8. อายุการเก็บรักษาลดลง เนื่องมาจากเหตุดังกล่าวข้างต้น

9. ส่วนประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป ผลมะม่วงที่เกิดอาการสะท้านหนาวมักมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติไป เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Manila ที่เกิดอาการสะท้านหนาว มีปริมาณกรดสูง ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าผลมะม่วงที่สุกตามปกติ (Vela *et. al.*, 2003)

10. ขาดคุณสมบัติในการเจริญต่อเนื้อ เช่น ไม่สามารถงอกได้ ซึ่งส่งผลเสียไปถึงส่วนขยายพันธุ์ต่างๆ ของพืชที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เช่น การเก็บรักษาหน่อแซนเดอไซเนี่ยที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 202 วัน จะไม่สามารถงอกได้ (Clark, 1994) อาการดังกล่าวข้างต้นนั้น อาจเกิดขึ้นเพียงอาการใดอาการหนึ่งหรือร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ระดับอุณหภูมิ และความรุนแรงของอาการ อุณหภูมิยิ่งต่ำกว่าจุดวิกฤตมากเท่าไรอาการสะท้านหนาวจะยิ่งเกิดรวดเร็วและรุนแรง (คณัย, 2540)

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง จะเกิดที่เลนติเซลโดยเลนติเซลเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือเขียว (Ben *et.al.*, 2000) เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเทา ไม่สุกตามปกติ หรือสุกไม่สม่ำเสมอ ผิวอาจไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อสุก เกิดรอยบวม และเน่าได้ง่าย นอกจากนี้ยังแสดงลักษณะเนื้อผลเป็นสีคล้ำ เนื้อผลที่ติดกับเปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเทาหรือสีน้ำตาล กลิ่นและรสชาติผิดปกติ (สายชล, 2530 ; คณัย, 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะกับผลไม้เขตร้อน การวัดความเสียหายของเชื้อหุ้มเซลล์สามารถทำได้โดยวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งพบว่ามีความสูงขึ้นเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาวและผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ในเนื้อเพิ่มขึ้น (ชนสวรรค์, 2541)

6. มีการสุกที่ผิดปกติ ผลไม้บางชนิดที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่ทางสรีรวิทยาแต่ยังไม่สุก จะมีความผิดปกติในการสุก เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานๆ จะสูญเสียการพัฒนาด้านกลิ่นและรสชาติ เช่น การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Kensington ระยะแก่บริบูรณ์ เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว แต่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว ก่อนนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และยังพบว่าสารระเหย (aroma volatile) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสุกของผลมะม่วงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 15 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Herianus *et al.*, 2003)

7. การเน่าเสียและเสื่อมสภาพ ผลไม้ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์และการกระทบกระเทือนจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เนื่องจากเซลล์ของพืชได้รับอันตรายจากอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เนื้อเยื่อมีผลอันเนื่องจากการเสื่อมสภาพของเมมเบรน (Wang, 1990) ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้มีการเกิดโรคมามากขึ้น (ชนสวรรค์, 2541)

8. อายุการเก็บรักษาลดลง เนื่องมาจากเหตุดังกล่าวข้างต้น

9. ส่วนประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป ผลมะม่วงที่เกิดอาการสะท้านหนาวมักมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติไป เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Manila ที่เกิดอาการสะท้านหนาว มีปริมาณกรดสูง ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าผลมะม่วงที่สุกตามปกติ (Vela *et al.*, 2003)

10. ขาดคุณสมบัติในการเจริญต่อเนื้อ เช่น ไม่สามารถงอกได้ ซึ่งส่งผลเสียไปถึงส่วนขยายพันธุ์ต่างๆ ของพืชที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เช่น การเก็บรักษาหน่อแซนเดอโซเนียที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 202 วัน จะไม่สามารถงอกได้ (Clark, 1994) อาการดังกล่าวข้างต้นนั้น อาจเกิดขึ้นเพียงอาการใดอาการหนึ่งหรือร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ระดับอุณหภูมิ และความรุนแรงของอาการ อุณหภูมิยิ่งต่ำกว่าจุดวิกฤตมากเท่าไรอาการสะท้านหนาวจะยิ่งเกิดรวดเร็วและรุนแรง (दनัย, 2540)

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง จะเกิดที่เลนติเซล โดยเลนติเซลเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือเขียว (Ben *et al.*, 2000) เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเทา ไม่สุกตามปกติ หรือสุกไม่สม่ำเสมอ ผิวอาจไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อสุก เกิดรอยบุ๋ม และเน่าได้ง่าย นอกจากนี้ยังแสดงลักษณะเนื้อผลเป็นสีคล้ำ เนื้อผลที่ติดกับเปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเทาหรือสีน้ำตาล กลิ่นและรสชาติผิดปกติ (สายชล, 2530 ; ดนัย, 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอาการสะท้อนหวานในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

ผลมะม่วงจะแสดงอาการสะท้อนหวานทั้งหมด เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 45 วัน (Whangchai *et al.*, 1999) การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะแสดงอาการสะท้อนหวานภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน โดยที่เปลือกมีอาการเนื้อเยื่อยุบตัวเป็นจุดๆ และมีการรั่วไหลของสารอินทรีย์ไตรโกลด์ที่เปลือกและเนื้อ (ศศธร, 2549) การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน จะแสดงอาการสะท้อนหวานที่เนื้อติดเมล็ดแต่ถ้าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน จะแสดงอาการสะท้อนหวานที่เปลือกและจะแสดงอาการรุนแรงขึ้นเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (สุกันยา, 2539) ในขณะที่การเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน ไม่แสดงอาการสะท้อนหวาน และยังมีมีการพัฒนาการสุกเมื่อย้ายผลมะม่วงมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะเก็บรักษาไว้ได้ 10 วัน (Tungtirmthong *et al.*, 2001)

การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคเมื่อเกิดการสะท้อนหวาน

การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ทำให้ทราบว่าเมื่อเกิดอาการสะท้อนหวานขึ้นแล้วเซลล์ในบริเวณที่เกิดอาการมักถูกทำลาย หรือสูญเสียรูปร่างเดิมไป ซึ่งมักพบว่าคลอโรพลาสต์สูญเสียรูปร่าง สีเขียวของคลอโรฟิลล์หายไป และเม็ดแป้งภายในลดลง และเมื่อทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าออร์แกเนลล์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วที่สุดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำได้แก่ คลอโรพลาสต์ โดยจะพบการบวมของไทลาคอยด์ (thylakoid) เม็ดแป้งมีขนาดเล็กลง และมีการสร้างถุงเล็ก (vesicle) ขึ้นที่เยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำนานขึ้น อาจพบการสะสมของหยดไขมัน สโตรมา (stroma) เปลี่ยนเป็นสีกด้า กรานา (grana) คลายตัวลงจากที่เคยเรียงกันเป็นชั้น และในที่สุดเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์สลายตัวไป สำหรับไมโทคอนเดรียเกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า แต่เมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานจนคลอโรพลาสต์สูญเสียรูปร่างไปแล้ว ในที่สุดไมโทคอนเดรียก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดช่องว่างขึ้นภายในและเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียชั้นใน (cristae) ขยายขนาดขึ้นสำหรับนิวเคลียส พบการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย แต่เมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำนานขึ้น พบว่าโครมาทิน (chromatin) รวมตัวกันแน่นขึ้น และพบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของนิวเคลียสบ้าง นอกจากนี้ก็อาจพบการขยายขนาดของกอลจิ (golgi) และการแยกตัวของเยื่อหุ้มต่างๆ เช่น ร่างแหเอนโดพลาซิม (endoplasmic reticulum) และการพองตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ (จริงแท้, 2549) ในห่อพันธุ์ 'O' Henry, Fairtime และ Autumn Gem เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่าผลท้อเกิดอาการสะท้อนหวานและพบความผิดปกติขึ้นภายในเซลล์ คือ ผนังเซลล์ (cell wall) ชั้นแรกแยกออกจากกันและมีลักษณะที่หนาขึ้น ช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) เพิ่มขึ้น และพบการสะสมของสารเพคตินเพิ่มมากขึ้นในของเหลวภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular matrix) อีกทั้งเกิดการสลายของผนังเชื่อมยึดระหว่างเซลล์ (middle lamella) (Luza *et al.*,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1992) นอกจากนี้เปลือกและผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิต่ำส่งผลต่อเซลล์อย่างรุนแรง โดยทำให้ไมโทคอนเดรียเกิดอาการบวมและเมมเบรนผิดปกติ (Kovacs, 1997)

เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้คุณสมบัติการดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 780 – 2500 นาโนเมตร ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่ ความถี่สูงและดูดกลืนรังสีไว้ ซึ่งปริมาณการดูดกลืนแสงจะเป็นไปตามกฎของเบียร์ - แลมเบิร์ต (Beer – Lambert law) คือ ความเข้มแสงที่ผ่านออกมาจากตัวอย่างจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้น และความหนาของตัวอย่างนั้น พลังงานของคลื่นแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างจะถูกดูดกลืนไว้โดย องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างนั้น โดยโมเลกุลที่มีการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง NIR จะมีอะตอม ของไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบ จากนั้นทำการปรับแต่งสเปกตรัมที่ได้จากการวัด และนำ สเปกตรัมที่ทำการปรับแต่งแล้วกับผลที่ได้จากการวัดด้วยวิธีทางเคมี มาหาความสัมพันธ์กัน เพื่อ สร้างสมการ เพื่อให้ได้สมการที่เหมาะสมที่สุด เพื่อคำนวณออกมาเป็นค่าทางเคมี และให้มีค่าความ แม่นยำ สูงที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวอย่างและความแม่นยำของค่าทางเคมีที่นำมาใช้ในการ ประมวลผลข้อมูลเพื่อ สร้างสมการ ซึ่งได้มีการใช้ในการวัดปริมาณ โปรตีน ไขมันในนม ปริมาณ ความชื้น ไขมัน และโปรตีนใน ธัญพืชต่างๆ หรือองค์ประกอบต่างๆในผลไม้

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สามารถนำมาใช้ประเมินคุณภาพทั้งผลผลิตเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับประเทศญี่ปุ่นได้นำเทคนิคนี้มาใช้เป็นระยะเวลา 30 ปีแล้วและมีการใช้อย่างกว้างขวาง เช่นการตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีของผลผลิตต่าง ๆ ได้แก่ พีช แพร แคนตาลูป แอปเปิ้ล ส้ม มะละกอ บลูเบอร์รี่ หอมหัวใหญ่ และอื่น ๆ (Kawano, 1998)

Kawano *et al.*, (1992) ได้นำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดมาใช้เพื่อตรวจวัดปริมาณน้ำตาลในผลพีช (Peach) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของผลพีช ในช่วงความยาวคลื่น (Wavelength region) 700-1100 nm กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Brix) พบว่า เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสามารถวัดปริมาณน้ำตาลในผลพีชได้ โดยเปลี่ยนสเปกตรัมให้อยู่ในรูปของอนุพันธ์อันดับ 2 (Second derivative spectra) และหาความสัมพันธ์แบบ MLR (Multiple Linear Regression) โดยเลือกค่าการดูดกลืนแสงที่ 906 nm เป็นความยาวคลื่นแรก ของสมการซึ่งคือ Sucrose band สมการประกอบด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ 4 ความยาวคลื่นด้วยกัน คือ ที่ 906, 878, 870 และ 889 nm มีค่า SEC (Standard Error of Calibration) 0.48 Brix ค่า SEP (Standard Error of Prediction) เท่ากับ 0.50 Brix และค่า bias เท่ากับ 0.01 Brix เช่นเดียวกับ

Miyamoto *et.al.* (1998) ได้ใช้เทคนิค NIR ในการตรวจวัดปริมาณกรดซิตริกในผล Satsuma mandarins และเนื่องจากพลังงานแสงที่ส่องผ่านตัวอย่างมีความเข้มข้นต่ำมาก และเป็นการยากในการวัดความเข้มข้นของแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 800 nm ดังนั้นจึงต้องมีการบล็อกเปลือกของตัวอย่างด้วย ทั้งนี้เพื่อความแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าจากการ calibration ด้วย PLS (Partial Least Square) นั้นสมการประกอบด้วย 12 แฟกเตอร์ และมีค่า R เท่ากับ 0.9b3 bias เท่ากับ -0.013% และ SEP เท่ากับ 0.146%

Greensill and Newman (1999) นำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อหาความสุกแก่ของ Pawpaws (*Carica papaya*) ด้วยการวัดส่งผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 500-1000 nm พบว่าลักษณะปรากฏของ มะละกอสุกที่ระยะต่างๆ คือ immature green จนถึงผลสุก มีความสัมพันธ์กับค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาว คลื่น 720-815 nm (Greensill and Newman, 1999) นอกจากนี้ Saranwong *et.al.* (2003) ได้ใช้เทคนิค NIR ด้วย เครื่อง FT 20 และ NIRSystem 6500 ในช่วงคลื่นสั้น 700-1100 nm เพื่อตรวจสอบค่าบrix (Brix value) ของ มะม่วง พบว่าเครื่อง NIR ทั้งสองชนิดสามารถตรวจวัดค่าบrixได้และมีความแม่นยำสูง มี SEP เท่ากับ 0.40°Brix ทั้งสองเครื่อง

รณฤทธิ์ และคณะ (2553) การตรวจสอบความผิดปกติใ้สีน้ำตาลอย่างไม่ทำลายในผลสาลีด้วยเทคนิค NIR และสร้างแบบจำลองเพื่อคัดแยกผลสาลีที่มีความผิดปกติใ้สีน้ำตาลแบบไม่ทำลาย โดยอาศัย ความสัมพันธ์ของคุณภาพภายในกับการดูดกลืนพลังงานย่าน Near Infrared (NIR) ช่วงสั้น (ความยาวคลื่น 700-850 นาโนเมตร) โดยใช้ระบบการวัดแบบส่องทะลุผ่าน ผลของแบบจำลองพบว่า สามารถคัดแยกคุณภาพภายใน ผลสาลีได้อย่างถูกต้อง 95%

สนธิสุข และคณะ (2553) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิคการดูดกลืนแสงช่วงใกล้อินฟราเรด (NIR) ในช่วงความยาวคลื่น 1,100 - 2,500 นาโนเมตร มาใช้ในการทำนายอาการเนื้อแก้ว โดยพิจารณาจาก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำมัจคุดเพื่อนำมาสร้างสมการเพื่อใช้ทำนายอาการเนื้อแก้วจากกลุ่มของ มัจคุดปกติและมัจคุดเนื้อแก้ว จากผลในการนำสมการทั้งสองไปใช้ทำนายพบว่าสมการน้ำมัจคุดปกติได้ผลการ ทำนายที่แม่นยำในกลุ่มของมัจคุดปกติ ($R = 0.935$, $SEP = 0.655$, $bias = 0.047$) และให้ผลการทำนายที่ไม่ดีใน กลุ่มของมัจคุดเนื้อแก้ว ($R = 0.812$, $SEP = 1.245$, $bias = 0.224$) นอกจากนี้การใช้เทคนิคคัดแยกจากสเปตรัมที่ ความยาวคลื่น 1,444 นาโนเมตร และค่าการดูดกลืนพลังงานที่ 0.756 สามารถใช้ในการคัดแยกได้แม่นยำ 82.5 % กล่าวได้ว่าการใช้เทคนิค NIRS มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายและคัดแยกมัจคุดเนื้อแก้ว ได้

จารุวรรณ และ คณะ (2553) ได้นำเอาเทคนิคนี้มาใช้ประเมินปริมาณมิโลสในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร เพื่อลดเวลา ค่าใช้จ่าย และได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ และใช้แทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จากการทดลอง ได้สร้างสมการขึ้นมา 3 สมการสำหรับข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ที่มีค่า ความสัมพันธ์สูงระหว่างค่าที่ประเมินได้จากสมการและค่าจริงจากห้องปฏิบัติการ ($R=0.98$, 0.84 and 0.88 ตามลำดับ) และมีค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน Standard Error in Cross Validation ($SECV = 3.85\%$) สำหรับข้าวเปลือก และค่า (Standard Error of Prediction: SEP) คือ 2.79 และ 1.99% ในข้าวกล้องและข้าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่า standard deviation (SD) ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการประเมินอยู่ในช่วง 800-2000 nm ทั้ง 3 สมการจะประกอบด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแป้ง (starch) คือ ความยาวคลื่นที่ 1215, 1360, 1705, 1725 และ 1900 nm ดังนั้นสมการทั้ง 3 สามารถนำไปใช้ประเมินค่าอมิโลสในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ศศิวิมล และ คณะ (2553) ได้ลองผสมข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระดับ 8, 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วนำมาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem 6500 ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่บริสุทธิ์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบการปนของข้าว ร่วมกับการวัดปริมาณอะไมโลส นำสเปกตรัมที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี principal component analysis (PCA) พบว่า สเปกตรัมของตัวอย่างข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มด้วย PC1 และ PC2 โดย กลุ่มที่ 1 คือ สเปกตรัมของตัวอย่างข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 บริสุทธิ์ และตัวอย่างข้าวที่ผสมด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระดับ 8, 16 และ 24% ตามลำดับ และกลุ่มที่ 2 คือ สเปกตรัมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เมื่อตรวจสอบปริมาณอะไมโลส พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณอะไมโลสเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ $33.1 \pm 1.81\%$ ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 บริสุทธิ์ และข้าวที่ผสมที่ระดับ 8, 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณอะไมโลสเฉลี่ยเท่ากับ 19.1 ± 1.63 , 20.9 ± 1.31 , 22.2 ± 1.34 และ $23.5 \pm 1.80\%$ ตามลำดับ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จึงสามารถใช้ในการตรวจสอบการปนของข้าวได้

สิรินาฏ และคณะ. (2553) ศึกษาหาเทคนิคการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติ โดยวิธีวิเคราะห์แบบตัวแปรพหุคูณในการวิจัยใช้การสุ่มผลมังคุดสำหรับการทดลอง จำนวน 220 ผล (มังคุดเนื้อแก้ว 37 ผล และมังคุดปกติ 183 ผล) นำผลมังคุดทั้งหมดวัดค่าความถ่วงจำเพาะ และวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR Spectrophotometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN) ช่วงคลื่น 700-1100 nm แบบ Interactance ที่จุดกึ่งกลางด้านข้างของแต่ละผลบนแนวเส้นอีควาเตอร์ (equatorial line) ในแนวตั้งฉากกับรอบผล จำนวน 4 ด้าน ในการวิเคราะห์เริ่มจาก ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 2D, MSC และ SNV แล้วใช้เทคนิค Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) เพื่อเลือกความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันระหว่างมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดปกติ แล้ววิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant Analysis โดยใช้ตัวแปรจำแนกกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA และค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) พบว่าให้ผลความถูกต้องในการจัดกลุ่มดีที่สุด 84.8%

วรินทร์ และ คณะ. (2551) ตรวจสอบปริมาณความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษา ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 มาเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน สุ่มตัวอย่าง ทุกหนึ่งเดือน มาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem 6500 ในช่วงความยาวคลื่น 1100 -

2500 นาโนเมตร และนำมาตรวจวัดความชื้นด้วยวิธี hot air oven และสร้างสมการทำนายด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) พบว่าความชื้นของถั่วเหลืองที่ใช้ในการศึกษามีค่าระหว่าง 10.55-12.79 % สมการทำนายมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายปริมาณความชื้นในกลุ่ม calibration (SEC) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายปริมาณความชื้นในกลุ่ม validation (SEP) และสัดส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความชื้นในกลุ่ม validation ต่อค่า SEP (RPD) เท่ากับ 0.94, 0.30 %, 0.36 % และ 2.36 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สามารถนำมาใช้หาปริมาณความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาได้

วรินทร์ และ คณะ (2553) นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน มาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem6500 ในช่วงความยาวคลื่น 1100 นาโนเมตร ถึง 2500 นาโนเมตร และตรวจวัดปริมาณโปรตีนด้วยวิธีของ Kjeldahl ทุก 1 เดือน สร้างสมการทำนายด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) พบว่าปริมาณโปรตีนของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีค่าระหว่าง 35.46-44.77 % สมการทำนายมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายปริมาณโปรตีนในกลุ่ม calibration (SEC) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายปริมาณโปรตีนในกลุ่ม validation (SEP) และสัดส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณโปรตีนในกลุ่ม validation ต่อค่า SEP (RPD) เท่ากับ 0.94, 1.34 %, 1.36 % และ 2.69 ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สามารถใช้ตรวจวัดปริมาณโปรตีนในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้

วารุณี และ คณะ (2551) มะม่วงน้ำดอกไม้คุณภาพส่งออกจำนวน 192 ลูก (มะม่วงดิบ 96 ลูก และ มะม่วงสุก 96 ลูก) นำมะม่วงดิบ 96 ลูกเจาะนำด้วยเข็มกลี 2 มิลลิเมตร จำนวน 9 รู แบ่งมะม่วงดิบ 48 ลูก ใส่ไว้ในกรงเลี้ยงแมลงวันทอง ~ 30 นาที เพื่อให้แมลงตัวเต็มวัยวางไข่ (Force infestation) และอีก 48 ลูก ไม่ต้องนำใส่กรงเพื่อใช้เป็นตัวอย่างควบคุม แล้วนำทั้งหมดมาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA-Near Infrared (NIR) Gun ช่วงคลื่นสั้น 700-1100 nm (บริษัท FANTEC ประเทศญี่ปุ่น) จากนั้นเก็บมะม่วงไว้ 2 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำมะม่วงทั้งหมดมาวัดสเปกตรัมอีกครั้ง จากนั้นนำมาตัดชิ้นขนาด 3x3 ตารางเซนติเมตร ด้วยวิธีปลอดเชื้อ เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-7 วัน จึงนำออกมานับจำนวนหนอนที่มีอยู่ในชิ้นมะม่วงที่ตัดไว้ การทดลองในมะม่วงสุกทำเช่นเดียวมะม่วงดิบ การพัฒนาสมการจากสเปกตรัม NIR เพื่อคัดแยกมะม่วงที่มีการปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันผลไม้จากมะม่วงควบคุม พบว่ามีความถูกต้อง 96 และ 98% (คลาดเคลื่อน 4 และ 2%) ของมะม่วงดิบและสุกตามลำดับ การวัด NIR สเปกตรัมช่วงความยาวคลื่นสั้นแบบ interactance เป็นการวัดที่เหมาะสมในการคัดแยกมะม่วงออกจากมะม่วงที่ปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันผลไม้ได้ดี อย่างไรก็ตามในการตรวจวิเคราะห์ต้องมีระยะเวลาในการพักตัวเพื่อให้ไข่พัฒนาไปเป็นตัวหนอน

ปาริชาติ และคณะ (2551) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองถูกทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว โดยนำไปเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem 6500 ช่วงความยาวคลื่น 700 – 1100 นาโนเมตร (คลื่นสั้น) ร่วมกับการวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์จากเนื้อมะม่วงเริ่มต้นและเก็บรักษาแล้ว 15 และ 30 วัน วิเคราะห์ข้อมูลเปกตรัมด้วยวิธี principle component analysis (PCA) พบว่า สเปกตรัมของมะม่วง สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ด้วย PC 2 และ PC3 โดยกลุ่มที่ 1 คือสเปกตรัมของมะม่วงที่มีลักษณะปกติหรือมะม่วงเริ่มต้น ซึ่งไม่ปรากฏอาการสะท้านหนาว และกลุ่มที่ 2 คือ สเปกตรัมของมะม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 วัน ซึ่งแสดงอาการสะท้านหนาวอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์จากเนื้อมะม่วงที่มีค่าเพิ่มขึ้นจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 8.6% เป็น 15.4 % และ 13.0 % เมื่อเก็บรักษาแล้ว 15 และ 30 วัน ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จะเห็นว่ามะม่วงที่แสดงอาการสะท้านหนาวมีการตอบสนองต่อแสงเนียร์อินฟราเรด ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญในการตรวจสอบอาการสะท้านหนาวของมะม่วง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุประสงค์

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง (เกรดส่งออก, ภาพที่ 1) ที่ระยะความแก่ทางการค้า (มีความแก่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์) จากชมรมผู้ส่งออกมะม่วงอำเภอท่าตะเียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา (พื้นที่ปลูกที่ 1) และผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่ระยะความแก่ทางการค้า (มีความแก่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์) จากชมรมผู้ส่งออกมะม่วงอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (พื้นที่ปลูกที่ 2)



ภาพที่ 1 ผลมะม่วงที่มีความแก่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ที่นำมาใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนการศึกษา

แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

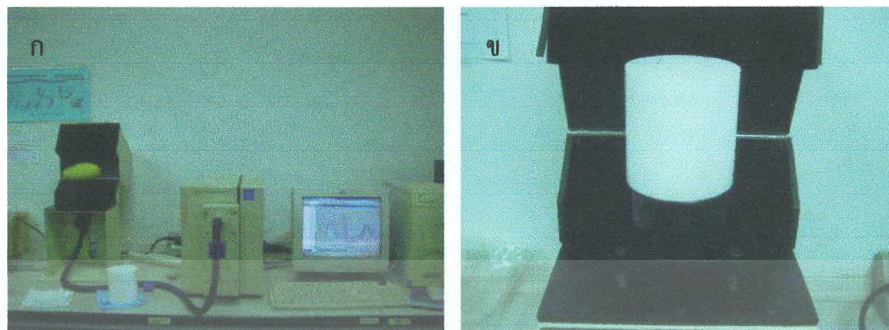
1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพ เคมีและลักษณะสเปกตรัมของผลมะม่วงดิบและสุก
- ในการศึกษานี้ ใช้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากแหล่งพื้นที่ปลูกที่ 1 จำนวน 100 ผล แบ่งเป็น 2 ชุดทดลองคือ ชุดที่ 1 คือมะม่วงดิบ และชุดที่ 2 คือมะม่วงที่สุก โดยทำการบ่มมะม่วงในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน ตรวจสอบคุณภาพของมะม่วงดิบและผลสุก ดังนี้

1.1 การวัดสเปกตรัมของผลมะม่วง

นำผลมะม่วง มาควบคุมอุณหภูมิของผลที่ 25 องศาเซลเซียส โดยการแช่ผลมะม่วงในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Low temperature bath, ภาพที่ 2) วัดสเปกตรัมของผลมะม่วงด้วยเครื่อง NIR System 6500 (ภาพที่ 3 ก) ความยาวคลื่น 700-1100 nm ด้วยหัววัดไฟเบอร์ออปติก (fiber optic probe) แบบอินเตอร์แอกแตนซ์ (interactance mode; คือ มีการให้และรับแสงจากตัวอย่างในหัววัดเดียวกัน) บันทึกค่าการสะท้อนกลับของแสง (Refractance; R) โดยเปรียบเทียบกับค่าการสะท้อนกลับของแสงของ Teflon (ภาพที่ 3 ข) ซึ่งใช้เป็น Standard reference ณ ตำแหน่งตรงกลางผล ทั้ง 2 ด้าน (ภาพที่ 3 ค)



ภาพที่ 2 ลักษณะการเตรียมมะม่วงโดยการแช่ผลมะม่วงในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 วัดสเปกตรัมของผลมะม่วงด้วยเครื่อง NIR System 6500

1.2 การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นจากเปลือกและเนื้อมะม่วงแต่ละผลภายหลังการวัดสเปกตรัมแล้ว โดยใช้เครื่อง Moisture analyzer

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยนำเนื้อมะม่วงแต่ละผลภายหลังการวัดสเปกตรัม (เฉพาะบริเวณตรงกลางของผลเท่านั้น) มาปั่นด้วยเครื่องปั่นผลไม้ นำส่วนที่เป็นของเหลวมากรองด้วยผ้าขาวบาง นำน้ำคั้นที่ได้มาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ โดยใช้ Digital Refractometer ช่วงสเกล 0-45 เปอร์เซ็นต์

วิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ โดยใช้ น้ำคั้นมะม่วงแต่ละผลภายหลังการวัดสเปกตรัมแล้ว ปริมาณ 5 มิลลิลิตร มาไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้เครื่องไตเตรตอัตโนมัติ (Automatic Titrator) จนสารละลายมีจุดยุติ (endpoint) เท่ากับ 8.2 แล้วจึงคำนวณหา ปริมาณกรดที่ไตเตรต โดยรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ในรูปกรดซิตริกต่อน้ำคั้น 100 มิลลิลิตร จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาระยะเวลาการเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ในการศึกษานี้ใช้ผลมะม่วงจากแหล่งพื้นที่ปลูกที่ 1 และ ที่ 2 โดยนำผลมะม่วงมาเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ตรวจสอบการเกิดอาการสะท้านหนาวโดยการให้คะแนนตามข้อ รวมกับประเมินคุณภาพตามข้อ 1.2 วัดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก โดยใช้เครื่องวัดสี (colormeter) รายงานผลในรูป $L^* a^* b^* h$ และ C^*

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ในการศึกษานี้จะใช้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากแหล่งพื้นที่ปลูกที่ 1 โดยนำผลมะม่วงมาเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ (ตามการศึกษาที่ 2) ทุก ๆ 5 วัน จนกระทั่งผลหมดสภาพ ทั้งในขณะที่ผลถูกนำออกมาจากตู้ควบคุมอุณหภูมิ และคุณภาพของผลเมื่อนำมาบ่มให้สุกในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4 มะม่วงที่เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สถานที่ทำการทดลอง

1. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

คุณสมบัติทางเคมีของมะม่วงดิบแก่และมะม่วงสุก

คุณสมบัติทางเคมีของมะม่วงดิบแก่และมะม่วงสุกแสดงในตารางที่ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid, TSS) ในมะม่วงดิบมีค่ามากกว่า 11 °Brix แสดงให้เห็นว่ามะม่วงมีความบริบูรณ์เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว (Ramesher, 1993) สอดคล้องกับการศึกษาของภาริกา รุ่งพิชยพิเชฐ (2552) ที่พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองดิบแก่จะมีค่า TSS มากกว่า 8 °Brix (ประมาณ 9 ถึง 15 °Brix) ผลมะม่วงที่ดิบจะมีค่าปริมาณร้อยละของกรดที่ไตเตรตได้ (% Titrable acidity, %TA) เท่ากับ 1.63 ค่าร้อยละของการร่วนไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ที่เปลือกและเนื้อมีค่าเท่ากับ 10.22 และ 11.70 ตามลำดับ ร้อยละของความชื้นที่เปลือกและเนื้อมีค่าเท่ากับ 67.68 และ 79.43 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงภายหลังการบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง

เมื่อนำผลมาบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 วัน ผลมะม่วงจะสุก พบว่าเมื่อผลมะม่วงสุก ปริมาณความชื้นที่เปลือกมะม่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 67.68 เป็น 69.24 เมื่อผลสุก ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการเก็บผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าว ผลมะม่วงยังคงมีการพัฒนาของกระบวนการสุก ดังจะสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS การลดลงของ TA ซึ่งแสดงว่ากระบวนการเมตาบอลิซึมยังคงดำเนินอยู่ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณคาร์บอนอะตอม ที่พบมากในสัดส่วนของแข็งที่มีในมะม่วง ถูกนำไปใช้ป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจ ทำให้สัดส่วนของของแข็งที่พบในมะม่วงมีค่าลดลง ส่งผลให้สัดส่วนของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การที่ปริมาณความชื้นที่เปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นอาจเป็นผลจากการที่เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำของผลมะม่วงกับความดันไอน้ำในอากาศภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จึงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่พบในเนื้อกับเปลือก ทำให้มีค่าความต่างศักย์ของน้ำสูงขึ้น (water potential gradient) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากส่วนเนื้อมาที่เปลือก สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าปริมาณความชื้นของเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 1) จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นของเนื้อมะม่วงกลับพบว่ามีแนวโน้มลดลงจาก 79.43 เป็น 79.37 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ueda และคณะ (2000) ในมะม่วงพันธุ์ Irwin ที่พบว่าความชื้นของมะม่วงในระหว่างเข้าสู่ความบริบูรณ์และกระบวนการ

สุกจะมีค่าลดลง โดยความชื้นที่ลดลงนั้นเกิดจากอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นร่วมกับการคายน้ำและการเพิ่มขึ้นของค่า TSS ในระหว่างเข้าสู่กระบวนการสุก ส่งผลให้ปริมาณน้ำหรือความชื้นของมะม่วงลดลง

ค่า TSS ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกมีค่าเพิ่มขึ้นจากมะม่วงดิบที่มีค่าเท่ากับ 11.67 เป็น 20.29 จริงแท้ (2549) ได้กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของค่า TSS ในระหว่างเข้าสู่กระบวนการสุกเกิดจากแป้งที่ถูกเก็บสะสมในอะไมโลพลาสต์ถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส จึงทำให้มะม่วงมีความหวานเมื่อสุก

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในมะม่วง รองลงมาคือกรดมาลิก (Ueda *et al.*, 2000) ดังนั้นในการคำนวณค่าปริมาณกรดที่ใดเทรตได้จึงนิยมรายงานผลในรูปร้อยละของกรดซิตริก ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ดิบเมื่อสุกจะมีปริมาณกรดซิตริกลดลงจากร้อยละ 1.63 เหลือเพียง 0.34 สอดคล้องกับการศึกษาของ Suwapanich (2003) การลดลงของปริมาณกรดเนื่องจาก กรดอินทรีย์ที่ผลิตผลเก็บสะสมเอาไว้จะถูกใช้ไปกับกระบวนการหายใจ โดยเฉพาะกรดซิตริก (citric acid) ซึ่งเป็นกรดที่สามารถไทเทรตได้ นอกจากนี้ กรดซิตริกยังเป็นสารที่ใช้ในกระบวนการหายใจในขั้นตอน Krebs cycle เมื่อกรดซิตริกเข้าสู่ขั้นตอน Krebs cycle แล้ว กรดซิตริกจะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นสารอื่น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานที่ใช้ในการดำรงชีวิตอยู่ เมื่อระยะเวลาผ่านไปกรดอินทรีย์มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ ตามอายุการเก็บรักษา เนื่องจากผลผลิตที่ถูกเก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้ว จะขาดแหล่งอาหารที่หล่อเลี้ยงจากลำต้นเดิม และอาหารที่เก็บสะสมอยู่ในตัวผลผลิตเองจึงมีปริมาณลดลงเรื่อยๆตามอายุการเก็บรักษา เพราะผลผลิตที่ถูกเก็บเกี่ยวมานั้นไม่สามารถสังเคราะห์อาหารเองได้ (จริงแท้, 2544)

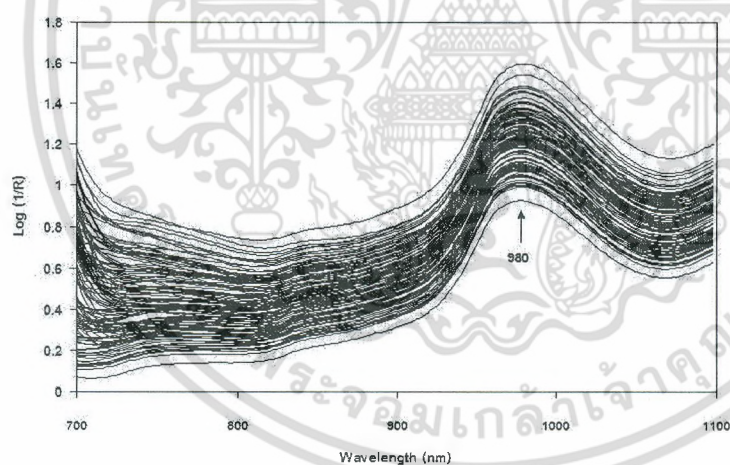
การร่วงไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ที่เปลือกและเนื้อมะม่วงมีค่าเพิ่มขึ้นจากวันแรกที่มีค่าการร่วงไหลร้อยละ 10.22 และ 11.70 เป็นร้อยละ 21.81 และ 40.51 ตามลำดับ การที่เปลือกและเนื้อมะม่วงมีค่าการร่วงไหลของสารอิเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก เนื่องจากการวัดการร่วงไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ เป็นการวัดปริมาณสารที่มีประจุที่ร่วงไหลออกมาจากเซลล์ เช่น โพแทสเซียมเป็นไอออนประจุบวกหลักที่แสดงถึงการร่วงไหลที่เกิดจากผนังเซลล์สูญเสียความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านผนังเซลล์ได้เหมือนปกติ (Whitlow *et al.*, 1992) การสูญเสียความสามารถ การสูญเสียความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ขึ้นอยู่กับระยะการสุกและการเสื่อมสภาพของผลไม้ (senescence) ผนังเซลล์

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ดิบแก่และสุก

ระยะมะม่วง	องค์ประกอบทางเคมี						CI score
	TSS (°Brix)	% Citric acid	EL (%)		MC (%)		
			peel	fresh	peel	fresh	
มะม่วงดิบ	11.67	1.63	10.22	11.70	67.68	79.43	0.00
มะม่วงสุก	20.29	0.34	21.81	40.51	69.24	79.37	0.00

ลักษณะสเปกตรัมของผลมะม่วง

ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากการวัดมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ดิบแก่และสุก ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR) ที่ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 700 ถึง 1100 นาโนเมตร แสดงในภาพที่ 5 แกน y แสดงค่าการดูดกลืนแสง ($\log 1/R$) และแกน x แสดงความยาวคลื่น (λ) ในหน่วยนาโนเมตร



ภาพที่ 5 ลักษณะสเปกตรัมของผลมะม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาการเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การศึกษานี้ทำการศึกษาซ้ำ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใช้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนตุลาคม 2550 จากแหล่งปลูกเพื่อการส่งออกมะม่วงในจังหวัดฉะเชิงเทรา (แหล่งพื้นที่ปลูกที่ 1) และ ครั้งที่ 2 ใช้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บเกี่ยวในช่วง เดือนพฤษภาคม 2551 จากแหล่งปลูกเพื่อการส่งออกมะม่วงที่อำเภอพร้าวจังหวัดเชียงใหม่ (แหล่งพื้นที่ปลูกที่ 2) นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียส สังเกตการเกิดอาการสะท้านหนาวร่วมกับการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของผลมะม่วงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

จากผลการศึกษาพบว่า ผลมะม่วงทั้งสองชุดการทดลอง เริ่มเกิดอาการสะท้านหนาวที่ผลมะม่วงจนสามารถสังเกตได้เมื่อผลเก็บรักษานาน 10 วันที่อุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียส โดยมีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวอยู่ที่ 1 คะแนน (มีอาการสะท้านหนาวไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว ภาพที่ 6) และเมื่อเก็บรักษานานขึ้น 20 และ 30 วัน คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวจะอยู่ที่ 3 คะแนน ซึ่งพบว่ามีอาการสะท้านหนาวมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ภาพที่ 7 และ ภาพที่ 8) มะม่วงจากแหล่งพื้นที่ปลูกที่ 1 มีคะแนนเท่ากับ 2 เมื่อเก็บรักษานาน 15 วัน และจากแหล่งพื้นที่ปลูกที่ 2 มีคะแนนเท่ากับ 1 เก็บรักษานาน 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากแหล่งปลูกที่ 1

Storage time	Electrolyte leakage(%)		MC (%)		TSS (° Brix)	TA	Peel color					CI score
	peel	flesh	peel	flesh			L	a	b	h	c	
Initial time	17.77	8.66	74.93	83.86	8.17	2.08	72.56	-2.88	38.71	38.66	93.09	0
15 days	32.48	17.86	70.23	82.96	9.72	2.26	70.03	0.33	36.19	36.37	88.85	2
30 days	39.70	15.51	68.59	82.24	10.84	2.13	67.77	1.053	34.74	35.00	87.92	3

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากแหล่งปลูกที่ 2

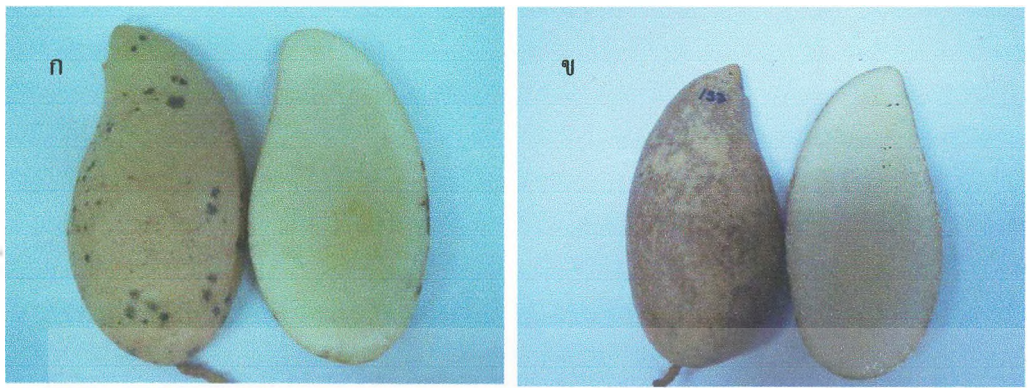
Storage time	Electrolyte leakage(%)		MC (%)		TSS (° Brix)	TA	Peel color					CI score
	peel	flesh	peel	flesh			L	a	b	h	c	
Initial time	17.85	11.14	69.24	80.67	9.26	1.42	75.78	7.77	37.52	38.33	78.34	0
10 days	13.39	9.86	69.04	80.46	9.28	1.30	75.01	7.85	38.27	39.11	78.40	1
20 days	14.51	11.08	68.34	80.61	10.84	1.33	74.62	8.44	39.14	40.12	77.76	3



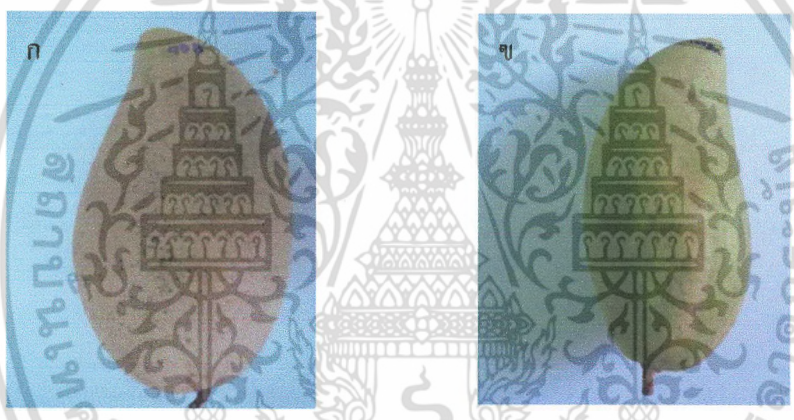
ภาพที่ 6 ลักษณะอาการสะท้อนหน้าของผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
เมื่อถ่ายได้กล้องสเตอริโอ

- | | |
|---------------------------------------|--|
| ก : คะแนนเท่ากับ 0 กำลังขยาย 3 เท่า | ข : คะแนนเท่ากับ 1 กำลังขยาย 0.67 เท่า |
| ค : คะแนนเท่ากับ 2 กำลังขยาย 0.8 เท่า | ง : คะแนนเท่ากับ 2 กำลังขยาย 1.5 เท่า |
| จ : คะแนนเท่ากับ 3 กำลังขยาย 0.8 เท่า | ฉ : คะแนนเท่ากับ 2 กำลังขยาย 1.5 เท่า |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 ลักษณะปรากฏของมะม่วงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา
ก. 15 วัน ข. 30 วัน (แหล่งปลูกพื้นที่ 1)



ภาพที่ 8 ลักษณะปรากฏของมะม่วงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา
ก. 10 วัน ข. 20 วัน (แหล่งปลูกพื้นที่ 2)

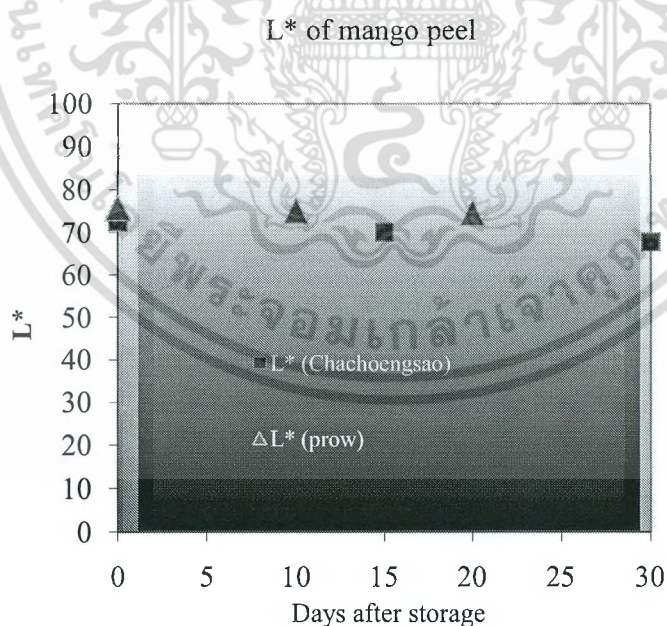
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพช้ากว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หรือที่ 25 องศาเซลเซียส ดังจะเห็นได้จากการศึกษาในครั้งนี้ กล่าวคือผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เก็บรักษานาน 10 15 20 และ 30 วันจะมีค่าองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีต่ำกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้ผลมะม่วงมีลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาดังกล่าวข้างต้น

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกมะม่วงมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นที่มีค่าเท่ากับ 72.56 เป็น 70.03 และ 67.77 เมื่อเก็บรักษานาน 15 และ 30 วัน ในการศึกษาครั้งที่ 1 (ตารางที่ 2 และภาพที่ 9) สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งที่ 2 ที่ใช้ผลมะม่วงในเขตอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีค่าความสว่างลดลงจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 75.78 เป็น 75.01 และ 74.67 เมื่อเก็บรักษานาน 10 และ 20 วัน ในการศึกษาครั้งที่ 2 (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

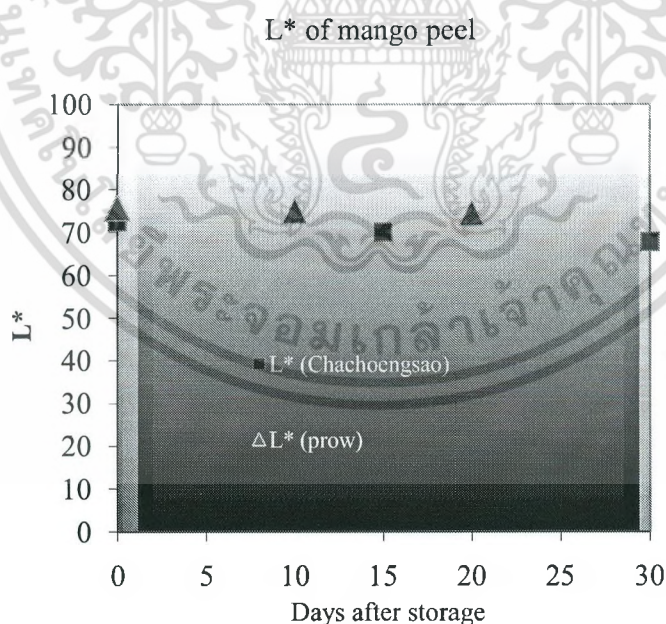
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพช้ากว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หรือที่ 25 องศาเซลเซียส ดังจะเห็นได้จากการศึกษาในครั้งนี้ กล่าวคือผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เก็บรักษานาน 10 15 20 และ 30 วันจะมีค่าองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีต่ำกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้ผลมะม่วงมีลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาดังกล่าว่าข้างต้น

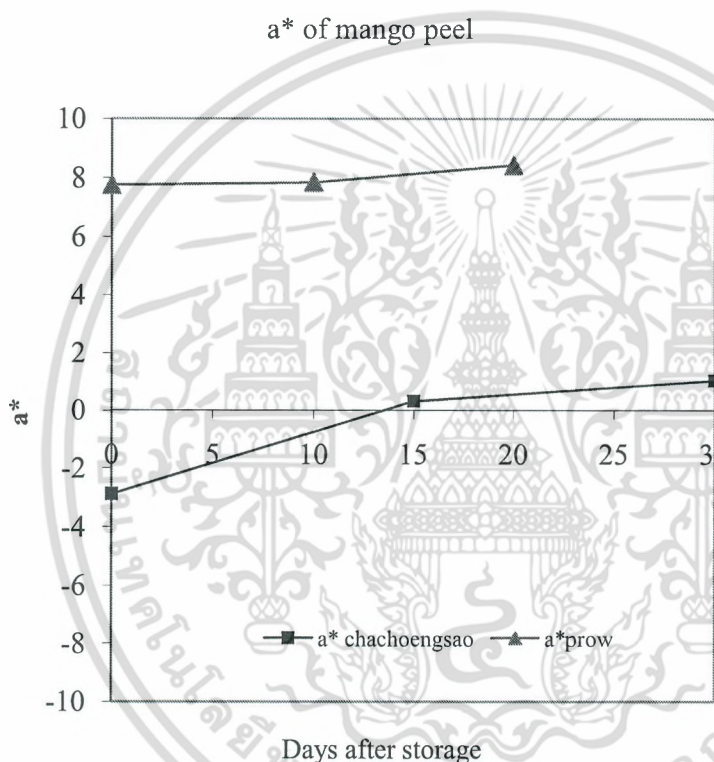
การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกมะม่วงมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นที่มีค่าเท่ากับ 72.56 เป็น 70.03 และ 67.77 เมื่อเก็บรักษานาน 15 และ 30 วัน ในการศึกษาครั้งที่ 1 (ตารางที่ 2 และภาพที่ 9) สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งที่ 2 ที่ใช้ผลมะม่วงในเขตอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีค่าความสว่างลดลงจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 75.78 เป็น 75.01 และ 74.67 เมื่อเก็บรักษานาน 10 และ 20 วัน ในการศึกษาครั้งที่ 2 (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ที่แสดงความเป็นสีเขียว ($-a$) และแดง ($+a$) ของเปลือกมะม่วง มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่มีค่าเท่ากับ -2.88 เป็น 0.33 และ 1.05 เมื่อเก็บรักษานาน 15 และ 30 วัน ในการศึกษาครั้งที่ 1 (ตารางที่ 2 และภาพที่ 10) เช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งที่ 2 ที่มีค่าความเป็นสีเขียวเพิ่มขึ้นจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 7.77 เป็น 7.85 และ 8.44 เมื่อเก็บรักษานาน 10 และ 20 วันในการศึกษาครั้งที่ 2 (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 10) การเพิ่มขึ้นของค่า a^* จะแสดงให้เห็นว่าเปลือกมะม่วงจะมีสีเขียวลดลง

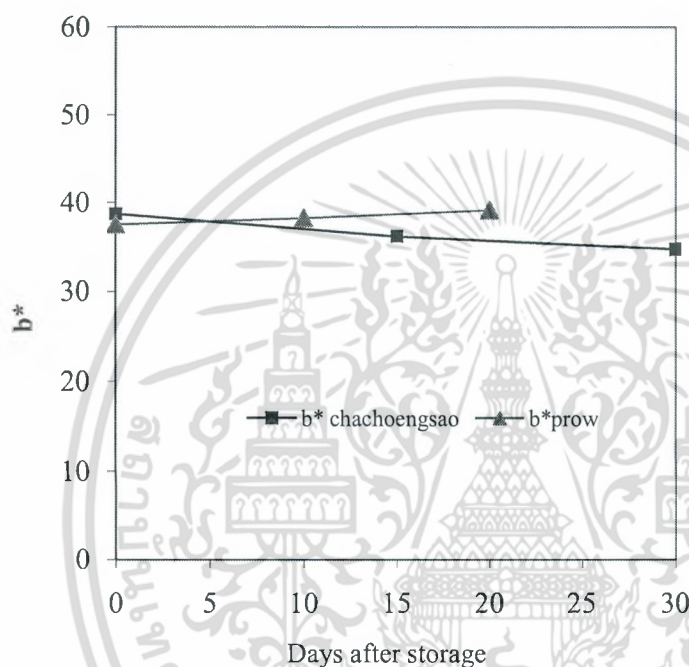


ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ที่แสดงความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) และสีน้ำเงิน ($-b^*$) ของเปลือกมะม่วง จากการศึกษาครั้งที่ 1 ที่ใช้ผลมะม่วงจากจังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า เปลือกมะม่วงมีค่า b ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าลดลงจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 38.71 เป็น 36.19 และ 34.74 (ตารางที่ 2 และภาพที่ 11) เมื่อเก็บรักษานาน 15 และ 30 ในขณะที่การศึกษาครั้งที่ 2 กลับพบว่า เปลือกมะม่วงจะมีค่า b^* ที่แสดงความเป็นสีเหลือง

(+b) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าเพิ่มจากวันแรกของการเก็บรักษาที่มีค่าเท่ากับ 37.52 เป็น 38.27 และ 39.14 เมื่อเก็บรักษานาน 10 และ 20 วัน ตามลำดับ

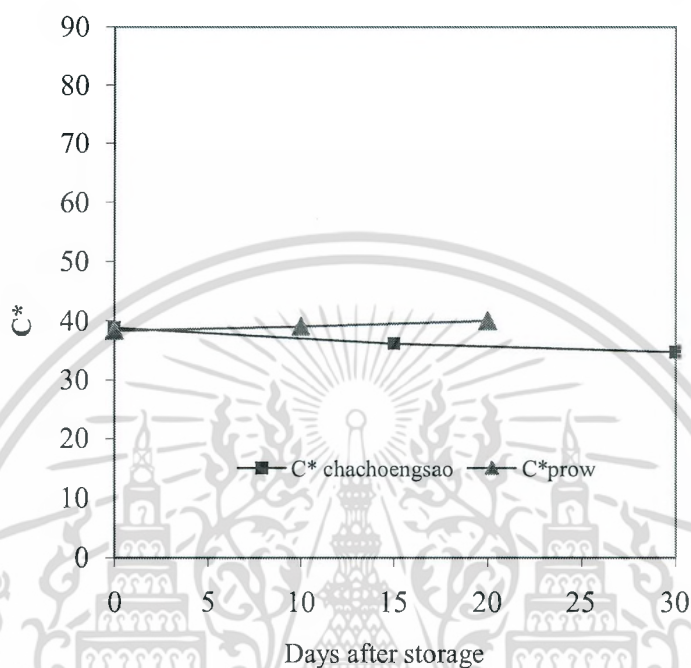
b* of mango peel



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสี (Chroma; C*) ในเปลือกมะม่วงพบว่า ค่าความเข้มของสีเปลือกมีค่าลดลงจากวันเริ่มต้นที่มีค่าเท่ากับ 38.82 เหลือ 34.76 ในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา (ตาราง 2, ภาพที่ 12) แต่มีค่าเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้นที่มีค่าเท่ากับ 38.32 เป็น 40.04 ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 3, ภาพที่ 12)

C* of mango peel



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสี (C*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

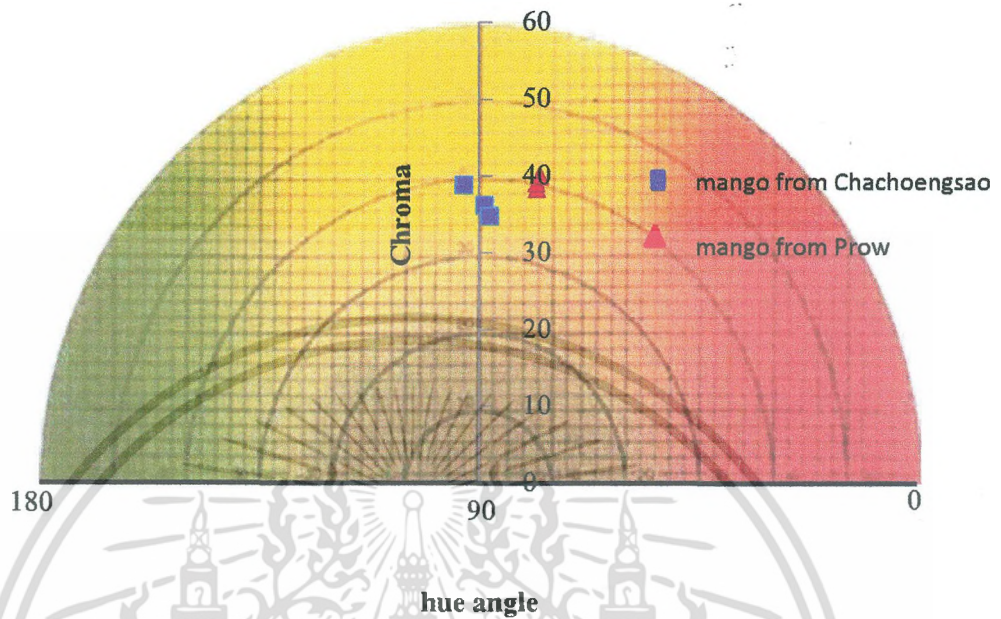
การเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาสั้นส่งผลให้มะม่วงเกิดการสัชนาหวานขึ้นที่เปลือกมะม่วง โดยจะมีคะแนนการเกิดอาการสัชนาหวานเพิ่มขึ้นเมื่อผลถูกเก็บรักษานานขึ้น (ตารางที่ 2 และ 3) ลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาดังกล่าวพบว่า ที่เปลือกของผลมะม่วงจะเริ่มมีอาการน้ำ และลักษณะจะเพิ่มมากขึ้นจนเปลือกมีสีน้ำตาลสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าเปลือกมะม่วงจะมีค่าความสว่าง (L) ลดลง เช่นเดียวกับค่าความเป็นสีเขียวมีค่า (-a) ลดลง แต่จะมีความเป็นสีแดง (+a) เพิ่มขึ้น การที่ผลมะม่วงทั้ง 2 ครั้งของการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงค่า b และ c ที่ขัดแย้งกัน อาจเป็นผลจากแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน จึงมีผลต่อการพัฒนาค่าสีเปลือกที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต การพัฒนาสีเปลือกจะถูกยับยั้ง นอกจากนั้น ผลยังเกิดการสัชนาหวานทำให้เห็นเปลือกมีสีน้ำตาล สอดคล้องกับการทดลองของ Charles and Tung (1973) ที่พบว่าผลกล้วยพันธุ์ Volery ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีการพัฒนาของสีเปลือกเป็นสีเหลืองได้น้อยกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเช่นเดียวกับผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (มงคล, 2548), มะม่วงพันธุ์

มหาชนก (กันยา, 2547), มะม่วงพันธุ์หนังกกลางวัน (Katawatcharkul, 2000) และมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins (Moore, 2003) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5-13 องศาเซลเซียส) มีการพัฒนาของสีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้ ซ้ำกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (25 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้ เพราะการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase และ peroxidase ซึ่งทำหน้าที่สลายคลอโรฟิลล์ จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Will et al., 1981; Ketsa et al., 1999; Martinez et al., 2001 และ Gong and Mattheis, 2003) สอดคล้องกับ กันยา (2547) ที่พบว่า มะม่วงพันธุ์มหาชนก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ a และ คลอโรฟิลล์ b ลดลงเร็วกว่าผลมะม่วงที่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ อุณหภูมิสูงยังมีผลทำให้การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มสูงขึ้น (Gross, 1987) โดยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ phosphatase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ แคโรทีนอยด์ให้มีกิจกรรมสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น (Vazque-Salinas and Lakshminarayana, 1985) ซึ่งมีรายงานว่าพบลักษณะเช่นนี้ในผลมะม่วงพันธุ์ Kensington (Chaplin et al., 1991) มะม่วงพันธุ์ Julie (Sankat et al., 1993) มะม่วงพันธุ์ Manila (Hidalgo et al., 1996) และมะม่วงพันธุ์ Tommy atkin (Moore, 2003)

การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle หรือค่าที่แท้จริง (actual color) ของเปลือกมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แสดงในภาพที่ 13 ถ้ามีค่าเข้าใกล้มุม 90 องศา แสดงว่าสีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง หากมี ค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว จากผลการศึกษาพบว่า ผลมะม่วงจากการศึกษาทั้งสองครั้งมี ค่า hue angle เข้าใกล้ 90 องศา (ตารางที่ 2 และ 3) แสดงว่าเปลือกมะม่วงมีสีออกเหลือง แต่เมื่อพิจารณารวมกับ ค่า chroma ที่มีค่าระหว่าง 0-90 ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีซีดหรือเป็นสีเทา และถ้ามีค่าเข้าใกล้ 90 แสดงว่า วัตถุมีสีเข้ม ค่า chroma ของมะม่วงทั้งสองชุดมีค่าอยู่ระหว่าง 37-39 (ตารางที่ 2 และ 3) แสดงว่าเปลือกมะม่วง ไม่ได้มีค่าออกเหลืองแต่จะมีสีเทาปน ซึ่งเป็นผลจากอาการมีลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาหรือเปลือกเกิดการ สะท้อนขาว

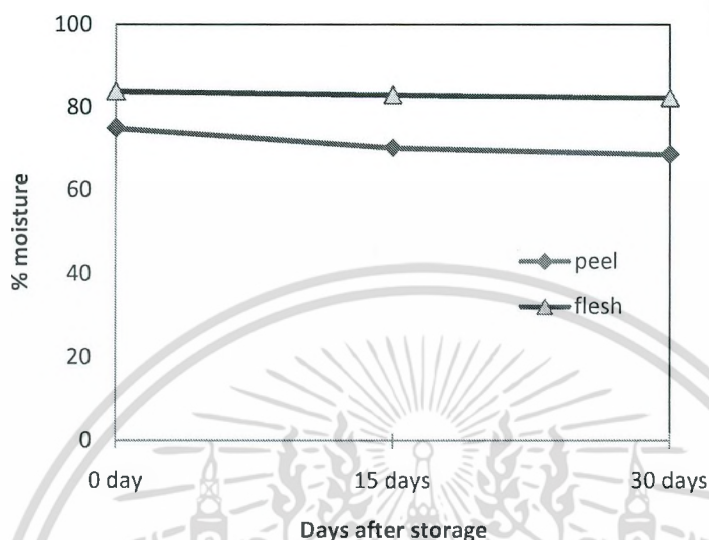
Relationship between hue and chroma



ภาพที่ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเปลือกและเนื้อมะม่วง

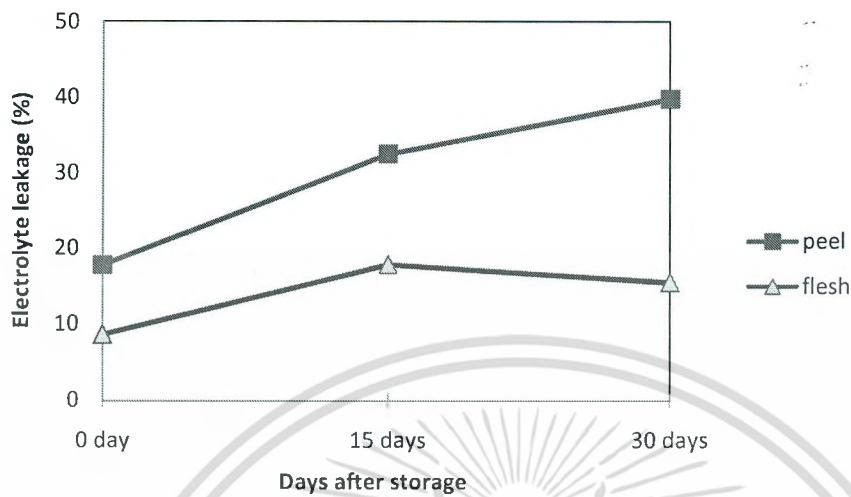
การเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงที่มาจากจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยมีค่าลดลงจากวันแรกของการเก็บรักษาที่ค่าเท่ากับ 74.93 % ลดลงเหลือ 70.23 และ 68.59 % เมื่อเก็บรักษานาน 15 และ 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ค่าความชื้นของเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 14) การสูญเสียปริมาณความชื้นที่เปลือกมะม่วงเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำระหว่างมะม่วงกับอากาศ ซึ่งเป็นแหล่งที่มีความชื้นต่ำกว่า นอกจากนี้การสูญเสียปริมาณความชื้นอาจเป็นผลจากการคายน้ำของผลผ่านตามช่องเปิดตามธรรมชาติ เช่น ปากใบ หรือเลนติเซล (lenticel) ผลมะม่วงที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีการสะสมน้ำตาลที่เปลือก ซึ่งเป็นสภาพที่เซลล์เมมเบรนเสียหาย ดังจะเห็นได้จากการที่เปลือกมะม่วงมีค่าการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร รวมทั้ง น้ำ เปลี่ยนไป จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ ปริมาณความชื้นที่เปลือกของผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จึงลดลง



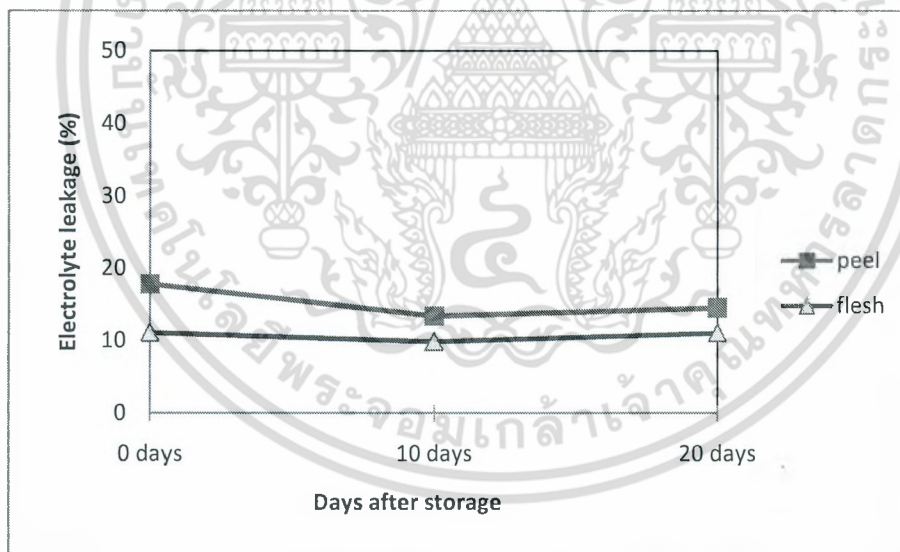
ภาพที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเปลือกและเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่เปลือกและเนื้อมะม่วง

การเปลี่ยนแปลงค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่เปลือกและเนื้อมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่เปลือกเริ่มต้นการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 17.77% และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา 30 วันเปลือกมะม่วงมีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 39.70 % (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 15) ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่เนื้อมะม่วงเริ่มต้นการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 8.66% และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น โดยมีค่าเท่ากับ 15.51 % เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาที่ 30 วัน ในขณะที่ผลมะม่วงจากอำเภอพร้าว พบว่าค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่เปลือกและเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษามะม่วง (ตารางที่ 3 และภาพที่ 16)



ภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกและเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจากจังหวัดฉะเชิงเทราที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกและเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจากอำเภอพร้าวจังหวัดเชียงใหม่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

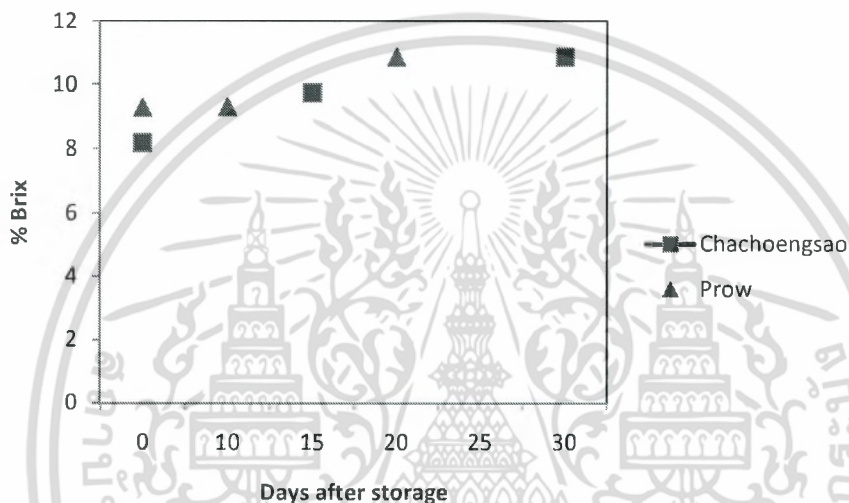
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ เป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถบอกได้ว่าเซลล์พืชเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสภาพเครียดของเซลล์ เช่นการได้รับอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป ทำให้การควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ จากเซลล์เกิดการผิดปกติไปจากเดิมหรือไม่ (Whitlow, 1992) การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้น ทั้งๆ ที่ผลไม่ไม่สุก เนื่องจากเกิดการระคายเคืองที่ผิวหนังเอง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟอสโฟลิปิด ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ เปลี่ยนสถานะจากลักษณะที่เป็นของเหลว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายและสารผ่านเข้า-ออกได้ง่าย (จริงแท้, 2544; L'Heureux *et al.*, 1993) การวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์จึงใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับของการเกิดการระคายเคืองได้ เมื่อเกิดการระคายเคือง เนื้อเยื่อพืชมีอัตราการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เพิ่มขึ้น เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์เสียสมบัติในการยอมให้สารต่างๆ ผ่านเข้าออก เช่น อีออน หรือ อนุโมลอิสระ กรดอะมิโน น้ำตาล และสารสีต่างๆ เกิดการรั่วไหลออกจากเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิด enzyme-substrate interaction นำไปสู่อาการผิดปกติต่างๆ ที่เป็นผลกระทบจากอาการระคายเคืองของพืช เช่น การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือก (McCullum and McDonald, 1991) การเพิ่มขึ้นของการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์เมื่อผลิตผลได้รับอันตรายจากอุณหภูมิต่ำนี้เกิดกับผลิตผลหลายชนิด เช่น มะเขือเทศ (King and Ludford, 1983; McDonald, 1991) มะละกอ (Chan *et al.*, 1985) ส้มและมะนาว (McCullum and McDonald, 1991) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (จิราภรณ์, 2548 และ เพ็ญวิภา, 2541) กล้วยพันธุ์ Berangan (Ratule *et al.*, 2006) แต่ก็มีผลิตผลบางชนิดที่พบว่าเมื่อเกิดการระคายเคืองแล้ว กลับมีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ลดลง เช่น การเก็บผลกล้วยพันธุ์ Berangan ไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะมีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ที่เปลือกลดลง (Ratule *et al.*, 2006) หรือ การเกิดการwooliness ของผลพืช (Furmanski and Bueschner, 1979), แดงกวาง และมะเขือเทศ เนื่องจากมีการรวมตัวของหมู่เมทิลในสารประกอบเพคติน กับ แคลเซียมอีออน ทำให้มีประจุรั่วไหลออกจากเซลล์ลดลง

ในขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส กลับพบว่าค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ในเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาพร้อมกันของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ เช่น ค่าความแน่นเนื้อ, TSS, TA, จะพบว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวแตกต่างจากเริ่มต้นเล็กน้อย และจากการสังเกตลักษณะปรากฏจะพบว่าผลมะม่วงมีลักษณะใกล้เคียงกับผลมะม่วงเมื่อเริ่มต้นของการเก็บรักษา กล่าวคือ ผลมะม่วงยังมีลักษณะใกล้เคียงกับผลมะม่วงดิบอยู่ และอาการระคายเคืองที่พบ จะพบเฉพาะบริเวณผิวหรือเปลือกเท่านั้น จึงเป็นเหตุที่ทำให้ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเนื้อมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมินี้มีค่าคงที่

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่ 5°C เริ่มต้นการเก็บรักษามีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 9.17%Brix และแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 15 และ 30 โดยมีค่าเท่ากับ 9.72 และ 10.84 ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 19) เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งที่ 2 ที่พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน (ตารางที่ 3 และภาพที่ 17)

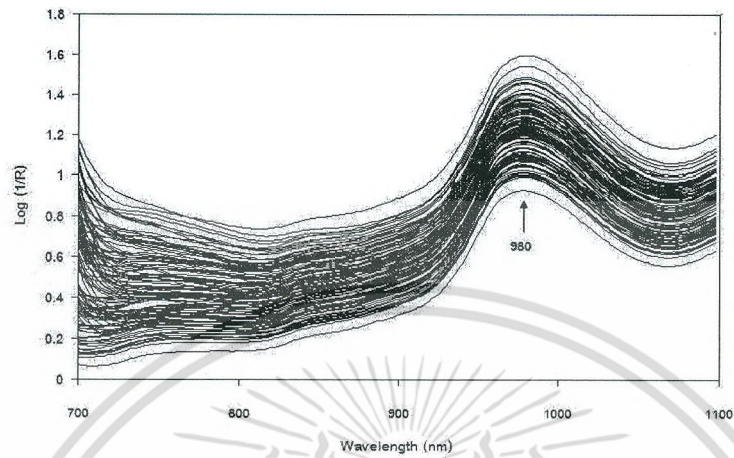


ภาพที่ 17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

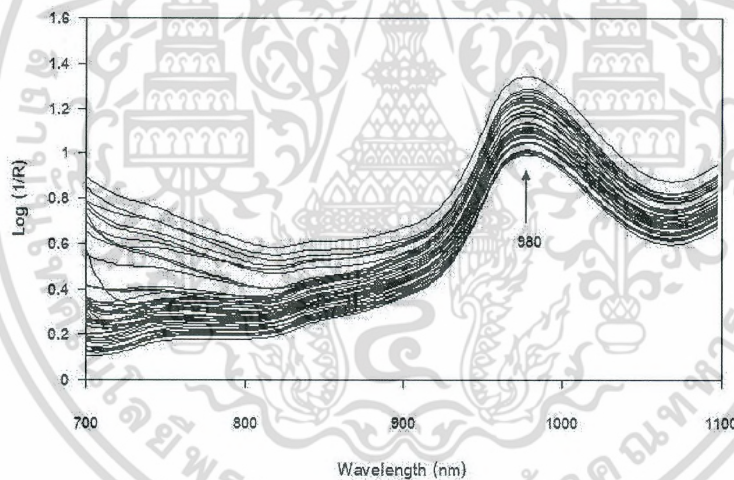
การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ให้ช้าลง ทำให้การเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาลเกิดขึ้นช้ากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง จึงเป็นผลทำให้ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นช้าและน้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Keitt (Lederman *et al.*, 1997) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (มงคล, 2548; วีระพล, 2546)

ลักษณะสเปกตรัมของผลมะม่วง

สเปกตรัมดั้งเดิม (original spectrum) ของผลมะม่วงที่ระยะเริ่มต้นและเมื่อเก็บภายใต้อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 วัน ทั้งผลดิบและผลสุก พบพีกชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร (ภาพที่ 18) และเมื่อพิจารณาสเปกตรัมเฉลี่ยของผลมะม่วงดิบที่เก็บภายใต้อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ที่ระยะเริ่มต้น 15 และ 30 วัน จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของผลมะม่วงที่ความคลื่น 980 นาโนเมตร มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง (second derivative: 16 nm averaging for left and right side) จะพบพีกที่ความยาวคลื่น 970 นาโนเมตร (ภาพที่ 19) ซึ่ง Saranwong *et al.* (2003) รายงานว่าแถบการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 978 นาโนเมตร คือ แถบการดูดกลืนแสงของน้ำ (water absorption band) ขณะที่ Gomez *et al.* (2006) รายงานว่าพบพีกน้ำชัดเจนที่ความยาวคลื่น 975 นาโนเมตร บนสเปกตรัมของผลส้ม Satsuma mandarin เมื่อแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง พบพีกหัวกลับที่ชัดเจนที่ความยาวคลื่น 966 นาโนเมตร ซึ่งคือพีกของน้ำเช่นกัน เนื่องจากการแปลงข้อมูลด้วยอนุพันธ์อันดับที่สองจะสามารถลดอิทธิพลของการซ้อนทับกันของพีก (overlapping) แต่พีกที่ได้จะเป็นพีกหัวกลับของพีกในสเปกตรัมดั้งเดิม



(ก)



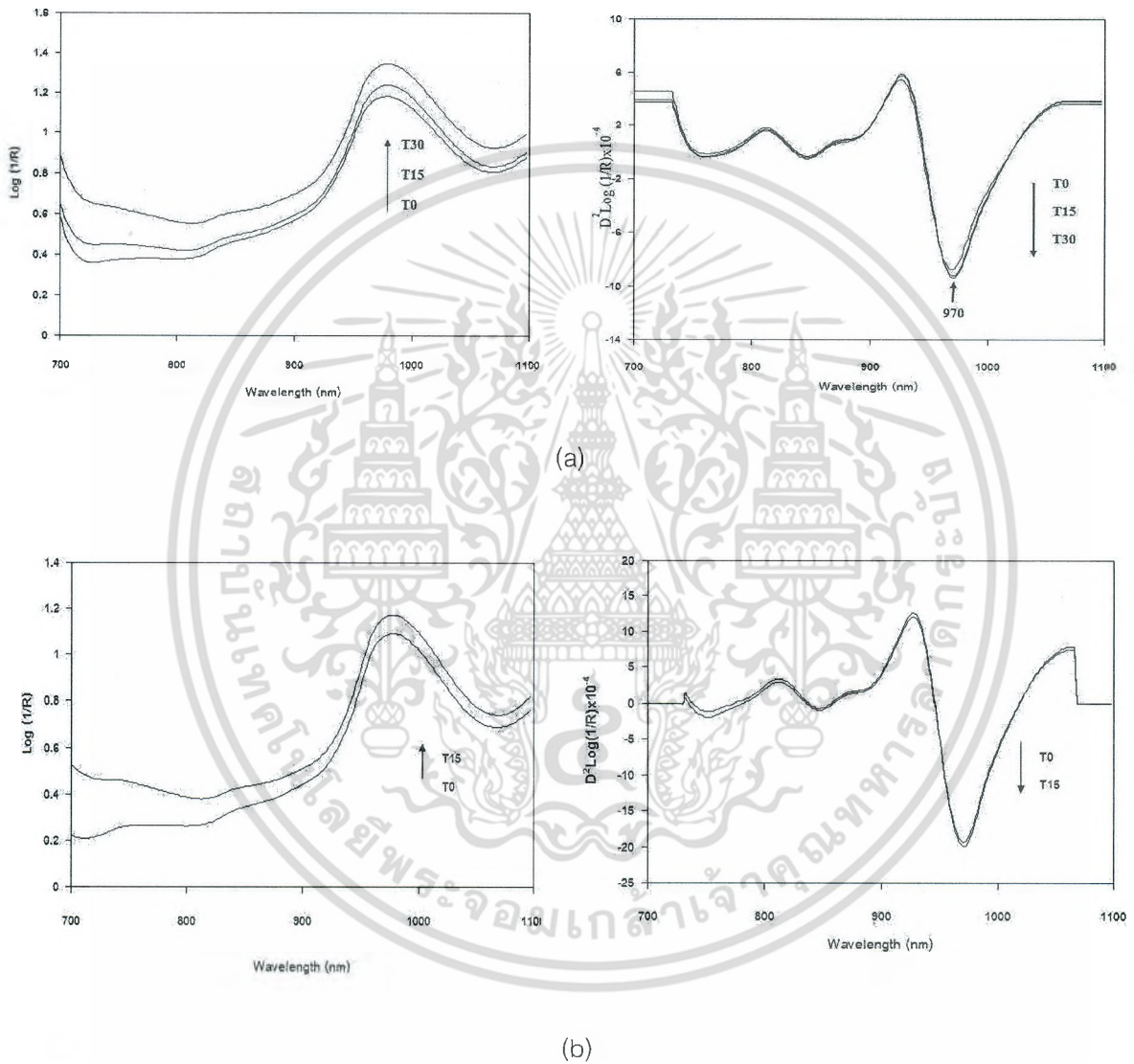
(ข)

ภาพที่ 18 ลักษณะสเปกตรัมดั้งเดิม ของผลมะม่วง (original spectrum) ของผลมะม่วงที่ระยะเริ่มต้น และเมื่อเก็บภายใต้อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ก) เป็นเวลา 0 วัน และ (ข) เป็นเวลา 15 และ 30 วัน

จากความแตกต่างของความยาวคลื่นที่พบพิกน้า สามารถอธิบายได้ว่าน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของ ผลผลิตผลเกษตร โดยเฉพาะผักและผลไม้ มีปริมาณถึง 80-95 % (นิธิยา, 2551) ซึ่งตอบสนองต่อแสงเนียร์ อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นที่ค่อนข้างกว้าง ระหว่าง 960 – 980 นาโนเมตร และผลจากการแปลงข้อมูลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

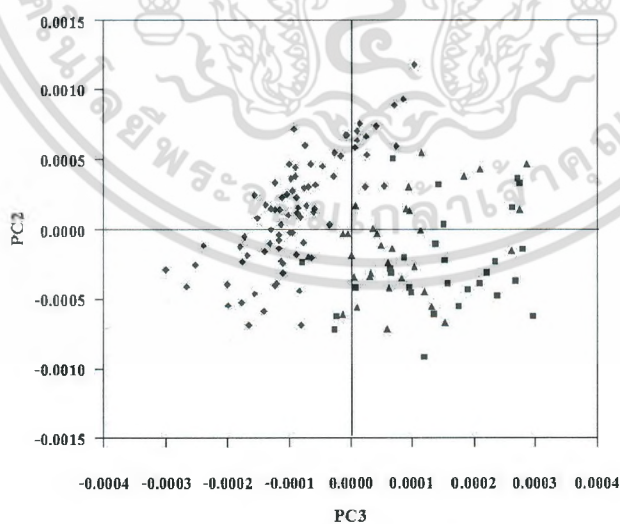
เทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างกัน จึงทำให้พบพิกที่ความยาวคลื่นต่างกัน นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางสรีรวิทยาและทางเคมีกายภาพ ได้แก่ การสุก การเปลี่ยนของสีเปลือกและเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก รวมถึงการสูญเสียสภาพของผนังเซลล์ซึ่งเป็นผลจากการเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำ



ภาพที่ 19 Means of (a) Original [$\log(I/R)$] and second derivative spectra of green mango fruit at initial time (T0), 15 days (T15) and 30 days (T30) when storage at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and (b) Original [$\log(I/R)$] and second derivative spectra of ripe mango fruit at initial time (T0) and 15 days (T20) when storage at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

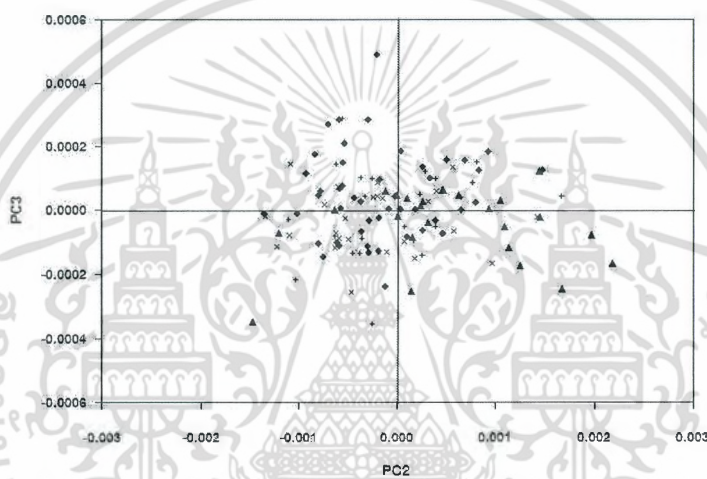
จากการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมที่แปลงด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง ของผลมะม่วงดิบด้วยเทคนิค principle component analysis (PCA) พบว่า สเปกตรัมของผลมะม่วงสามารถจำแนกได้เป็น สองกลุ่มอย่างชัดเจนด้วย PC2 และ PC3 โดยกลุ่มที่หนึ่ง คือ สเปกตรัมของผลมะม่วงปกติ (ระยะเริ่มต้นก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 และ 30 วัน) และกลุ่มที่สองคือ สเปกตรัมของผลมะม่วงที่พบอาการ สะท้อนหนาว (เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 และ 30 วัน) (ภาพที่ 20) นั่นคือ ผลมะม่วงปกติแตกต่างจากผลมะม่วงที่พบอาการสะท้อนหนาว เนื่องจากอาการสะท้อนหนาวก่อให้เกิดความเสียหายต่อลักษณะปรากฏที่ผิวและเนื้อมะม่วง เป็นผลจากเยื่อหุ้มเซลล์ทำงานผิดปกติ ไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารได้ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ (Wang, 1993) ส่งผลให้สเปกตรัมต่างกัน สำหรับข้อมูล สเปกตรัมของผลมะม่วงทุกมีเฉพาะของผลมะม่วงที่ระยะเริ่มต้น และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 วัน เนื่องจากผลมะม่วงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน พบอาการน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำมาบ่มภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 7 วัน ทำให้ผลมะม่วงเน่าเสียหายทั้งผล จึงไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลได้ เมื่อแปลงด้วยอนุพันธ์อันดับที่สองเช่นเดียวกับผลมะม่วงดิบ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค PCA พบว่าไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของสเปกตรัมผลมะม่วงที่ระยะเริ่มต้น และผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 วัน ได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากข้อมูลสเปกตรัมมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง รวมถึงกระบวนการสุกของผลมะม่วงด้วย



ภาพที่ 20 PCA score plot (PC2 vs. PC3) of green mango fruit at initial time (◆), on days 15 (▲) and 30 (■) when they were stored at $5\pm 1^{\circ}\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมของผลมะม่วงดิบด้วยเทคนิค PCA พบว่าไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของสเปกตรัมผลมะม่วงที่ระยะเริ่มต้น และผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆได้ (ภาพที่ 22) ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผลมะม่วงเกิดการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน ซึ่งจะได้พิจารณาร่วมกับสมบัติของผลมะม่วงในด้านต่างๆต่อไป



ภาพที่ 21 PCA score plot (PC2 vs. PC3) of green mango fruit at initial time (◆), on days 5(●), 10 (+), 15 (▲), and 20 (×) when they were stored at $5\pm 1^{\circ}\text{C}$.

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระหว่างกาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และคุณภาพระหว่างการสุก โดยการนำผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 10 15 และ 20 วัน นำมาบ่มให้สุกในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ แสดงในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ผลดิบ)

Storage time	Electrolyte leakage(%)		MC (%)		TSS (° Brix)	TA	Color				
	peel	Flesh	peel	Flesh			L*	a*	b*	C*	h°
Initial time	10.22	11.70	67.68	79.43	11.67	1.63	70.39	-2.09	37.00	37.33	93.48
5 days	11.69	10.39	68.10	79.43	10.75	1.74	73.02	1.63	34.77	34.78	86.67
10 days	15.57	11.33	65.67	78.16	11.53	1.63	70.87	1.12	35.75	36.13	87.72
15 days	23.21	17.67	65.83	78.79	11.29	1.86	71.14	1.82	35.97	36.52	86.51
20 days	25.06	14.57	65.89	78.68	11.77	1.81	69.65	0.63	31.61	35.53	88.18

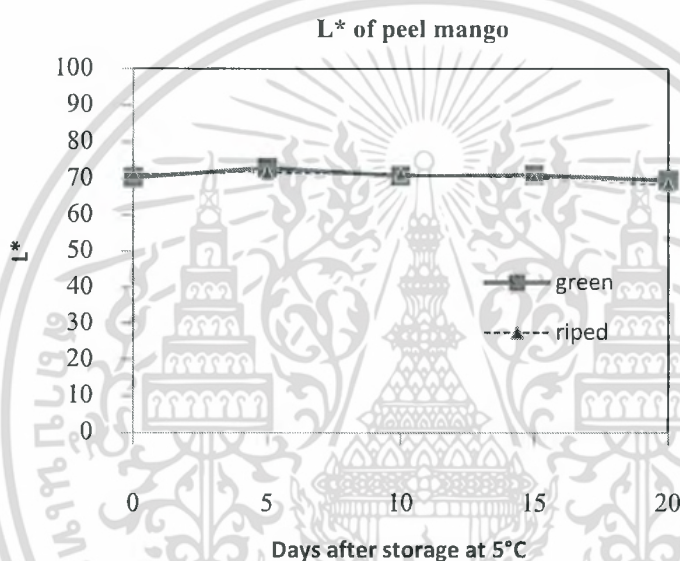
ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ผลสุก)

Storage time	Electrolyte leakage(%)		MC (%)		TSS (° Brix)	TA	Color				
	peel	Flesh	peel	Flesh			L*	a*	b*	C*	h°
Initial time	21.81	40.51	69.24	79.37	20.29	0.34	71.41	11.01	22.92	44.31	75.65
5 days	26.77	49.48	69.98	78.43	19.72	0.72	71.73	8.88	40.57	41.62	77.55
10 days	23.84	35.48	69.79	79.33	19.35	0.67	71.28	10.10	39.93	41.27	75.76
15 days	34.55	49.34	70.12	79.55	19.78	0.89	70.35	9.35	39.64	39.07	76.73
20 days	31.62	41.53	69.77	72.39	20.22	0.67	68.40	9.18	37.32	38.49	72.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมะม่วง

การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของเปลือกมะม่วงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่างของเปลือกมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าลดลงจากวันแรกที่มีค่าความสว่างเท่ากับ 70.39 เป็น 69.65 เมื่อเก็บรักษานาน 20 วัน (ตารางที่ 5 ภาพที่ 22) เช่นเดียวกับเมื่อผลสุกที่มีค่าความสว่างลดลงจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 71.41 เป็น 68.40 (ตารางที่ 6 ภาพที่ 22)

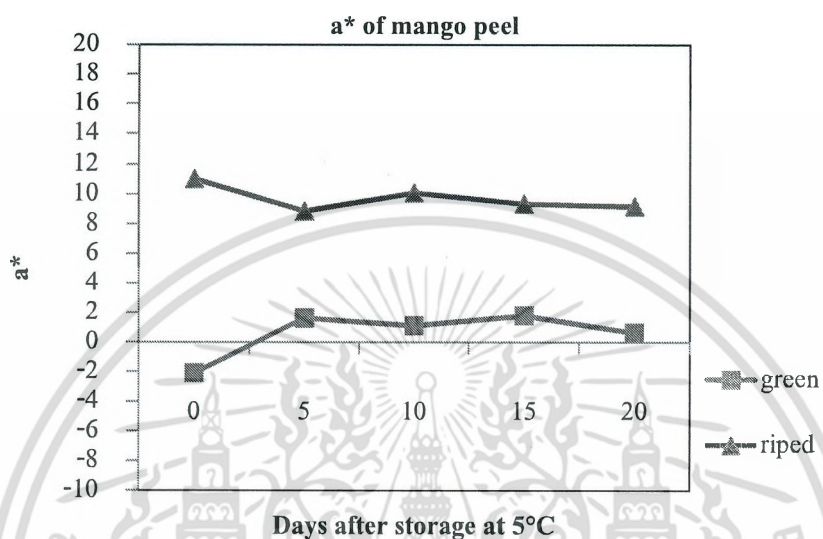


ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลง ค่า a*

การเปลี่ยนแปลงค่า a* ที่แสดงความเป็นสีเขียว (-a*) และแดง (+a*) ของเปลือกมะม่วงที่ดิบ มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าเพิ่มจากค่าเริ่มต้นที่มีค่าเท่ากับ -2.09 เป็น 0.63 เมื่อเก็บรักษานาน 20 วัน ในขณะที่ผลเมื่อสุกกลับพบว่า ค่า a* มีแนวโน้มลดลงเมื่อผลถูกเก็บรักษาไว้นานขึ้น (ภาพที่ 23) ทั้งนี้เป็นเพราะการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทำให้ผลเกิดอาการสะท้อนหนาวขึ้นที่บริเวณเปลือก และเมื่อนำผลที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวมาทำให้สุก จะทำให้เกิดลักษณะผิปกดึกเกิดขึ้นที่ผิวได้ชัดเจนขึ้น จึงทำให้เปลือกมีสีน้ำตาลแดงจากอาการฉ่ำน้ำ (ภาพที่ 27) สอดคล้องกับการศึกษาของ ศศธร (2549) และ Suwapanich (2003) ที่

พบว่า การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไว้ที่ต่ำจะทำให้ผลแสดงอาการสะท้อนหนาวที่เปลือก และมีผลทำให้ผลสุกเกิดอาการสุกที่ผิดปกติได้

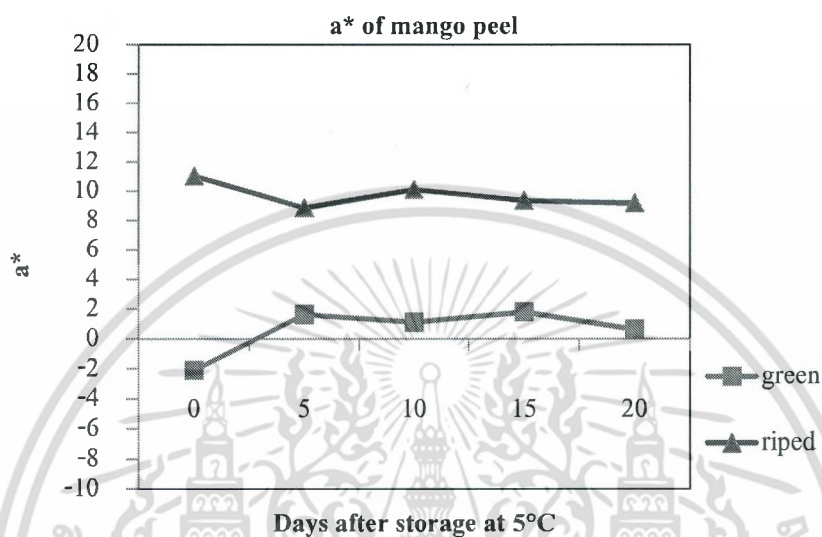


ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่า (a*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ของผลดิบและผลสุก

การเปลี่ยนแปลงค่า b*

การเปลี่ยนแปลงค่า b* ที่แสดงความเป็นสีเหลือง (+b*) และสีน้ำเงิน(-b*) ของเปลือกมะม่วงผลดิบพบว่า เปลือกมะม่วงมีค่า b ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าลดลงจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 37.00 เป็น 31.61 (ตารางที่ 4 และภาพที่ 24) เมื่อเก็บรักษานาน 20 ในขณะที่ผลเมื่อสุกกลับพบว่า เปลือกมะม่วงจะมีค่า b* ที่แสดงความเป็นสีเหลือง(+b) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าเพิ่มจากวันแรกของการเก็บรักษาที่มีค่าเท่ากับ 22.92 เป็น 37.32 เมื่อผลเก็บรักษานาน 20 วัน

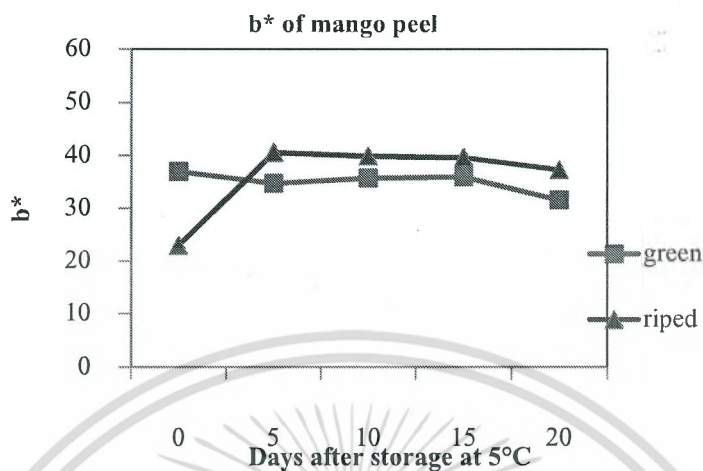
พบว่า การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไว้ที่ต่ำจะทำให้ผลแสดงอาการสะท้อนหนาวที่เปลือก และมีผลทำให้ผลสุกเกิดอาการสุกที่ผิดปกติได้



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่า (a*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ของผลดิบและผลสุก

การเปลี่ยนแปลงค่า b*

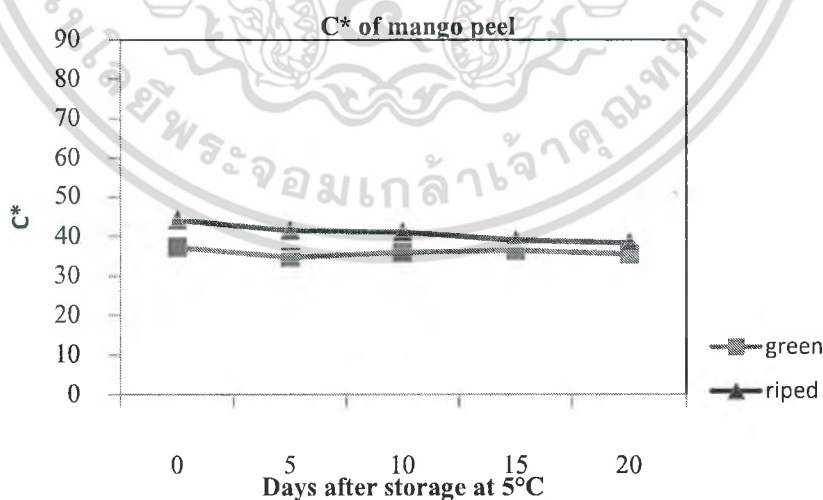
การเปลี่ยนแปลงค่า b* ที่แสดงความเป็นสีเหลือง (+b*) และสีน้ำเงิน(-b*) ของเปลือกมะม่วงผลดิบพบว่า เปลือกมะม่วงมีค่า b ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าลดลงจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 37.00 เป็น 31.61 (ตารางที่ 4 และภาพที่ 24) เมื่อเก็บรักษานาน 20 ในขณะที่ผลเมื่อสุกกกลับพบว่า เปลือกมะม่วงจะมีค่า b* ที่แสดงความเป็นสีเหลือง(+b) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าเพิ่มจากวันแรกของการเก็บรักษาที่มีค่าเท่ากับ 22.92 เป็น 37.32 เมื่อผลเก็บรักษานาน 20 วัน



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่า (b*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษา
ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ของผลดิบและผลสุก

การเปลี่ยนแปลงค่า C*

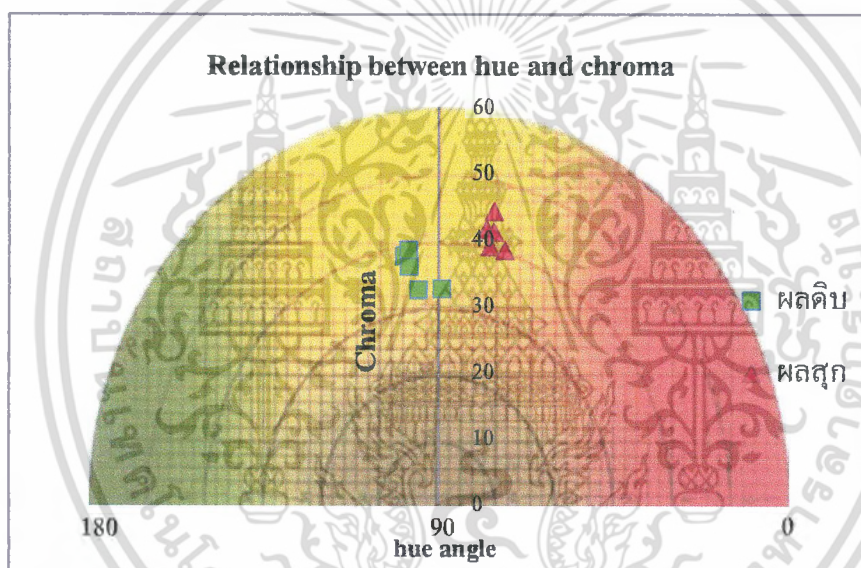
การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสี (Chroma; C*) ในเปลือกมะม่วงพบว่า ค่าความเข้มของสีเปลือกมีค่าลดลงจากทั้งในผลดิบและผลสุก โดยมีค่าลดลงจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 37.33 เป็น 35.53 เมื่อเก็บผลนาน 20 วัน เมื่อผลดิบ เช่นเดียวกับผลสุกที่ค่าความเข้มของสีลดลงจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 44.31 เป็น 38.39 เมื่อเก็บผลนาน 20 วัน (ภาพที่ 25)



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่า (C*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษา
ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ของผลดิบและผลสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle หรือค่าที่แท้จริง (actual color) ของเปลือกมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แสดงในภาพที่ 26 ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 90 องศา แสดงว่าสีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง หากมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว จากผลการศึกษาพบว่า ผลมะม่วงจากการศึกษาทั้งสองครั้งมีค่า hue angle เข้าใกล้ 90 องศา (ตารางที่ 4 และ 5) แสดงว่าเปลือกมะม่วงมีสีออกเหลือง แต่เมื่อพิจารณาพร้อมกับค่า chroma ที่มีค่าระหว่าง 0-90 ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีซีดหรือเป็นสีเทา และถ้ามีค่าเข้าใกล้ 90 แสดงว่าวัตถุมีสีเข้ม ค่า chroma ของมะม่วงทั้งสองชุดมีค่าอยู่ระหว่าง 70-90 (ตารางที่ 4 และ 5) แสดงว่าเปลือกมะม่วงไม่ได้มีค่าออกเหลืองแต่จะมีสีเทาปน ซึ่งเป็นผลจากอาการมีลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาหรือเปลือกเกิดอาการสะท้านหนาวเช่นเดียวกับการศึกษาที่ 2 สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมะม่วงระหว่างการเก็บรักษาแสดงในภาพที่ 27

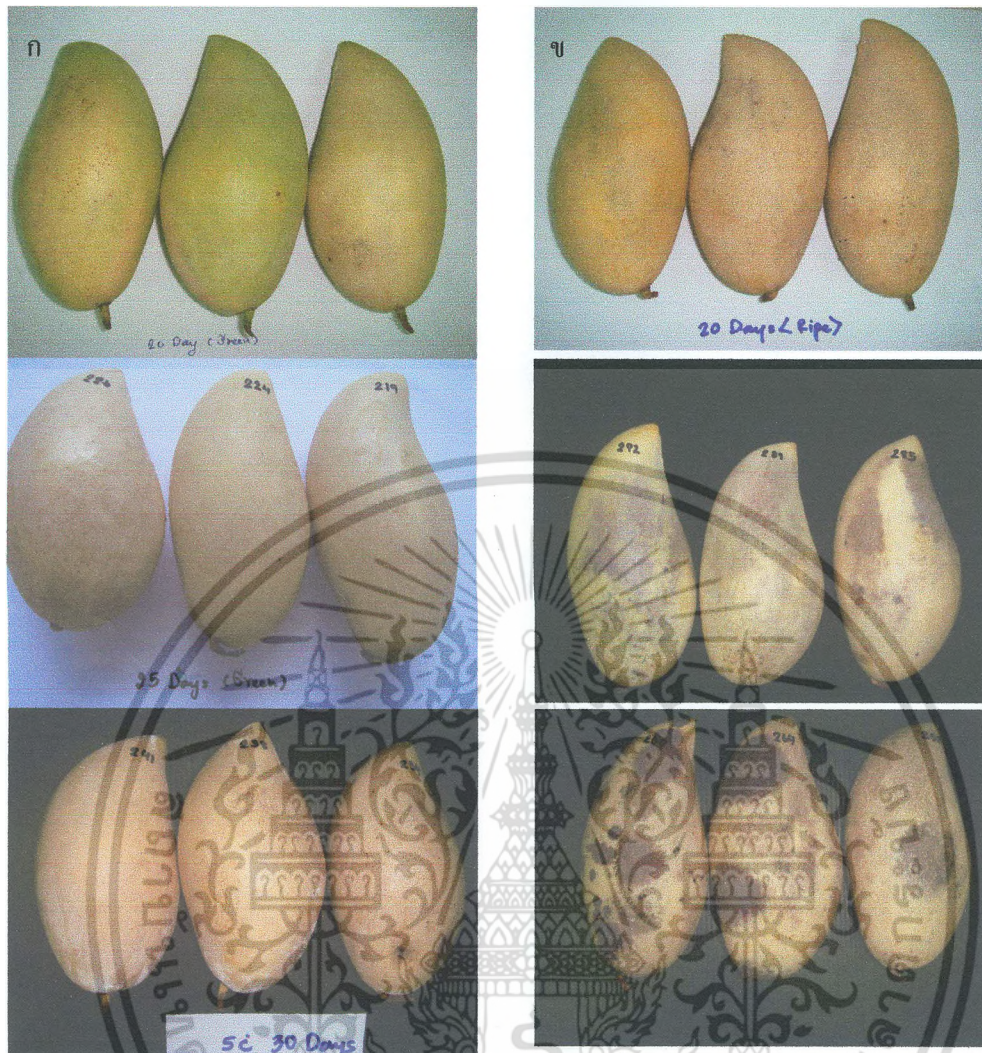


ภาพที่ 26 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสผลดิบและผลสุก



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงนำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
 ก. ผลดิบ ข. ผลสุก (โดยการนำผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมอบให้สุกใน
 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
 ก. ผลดิบ ข. ผลสุก (โดยการนำผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมาบ่มให้สุกในตู้ควบคุม
 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงความชื้น (Moisture content; MC)

ผลมะม่วงดิบที่ระยะเริ่มต้น มีความชื้นเปลือกและเนื้อเท่ากับ 67.68 % และ 79.43 % และมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเปลือกและเนื้อมีความชื้นเท่ากับ 65.89 และ 78.68 % ส่วนผลมะม่วงสุก ที่ระยะเริ่มต้น เปลือกและเนื้อมีความชื้นเท่ากับ 69.24 และ 79.37 % จะเห็นว่าเปลือกและเนื้อของผลมะม่วงสุกมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเปรียบเทียบกับผลมะม่วงดิบ

การเปลี่ยนแปลงค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่เปลือกและเนื้อมะม่วง (Electrolyte leakage; EL)

สำหรับผลมะม่วงจากพื้นที่ 2 พบว่าให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับพื้นที่ 1 นั่นคือ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลมะม่วงดิบที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในเปลือกและเนื้อของผลดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยผลดิบเปลือก มีค่าระหว่าง 10.22 – 25.06 % เนื้อ มีค่าระหว่าง 10.40 – 17.68 % ส่วนผลสุกนั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจน โดยเปลือกมีค่าระหว่าง 21.81 – 34.55 % เนื้อมีค่าระหว่าง 35.49 – 49.48 % ทั้งนี้เป็นผลจากกระบวนการสุกซึ่งส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ จึงมีผลต่อค่าการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ที่ตรวจวัดได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS)

ผลมะม่วงดิบที่ระยะเริ่มต้นและที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่าง 10.76 – 11.77 °Brix และเมื่อนำผลมะม่วงที่ระยะเริ่มต้นและที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 วัน ไปบ่มภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 วัน พบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีค่าระหว่าง 19.35 – 20.29 °Brix แต่จะเห็นว่าผลมะม่วงที่ได้จากพื้นที่ 2 นี้มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจนทั้งนี้อาจเป็นผลจากอาการสะท้านหนาวที่ทำให้ผลมะม่วงทั้งผลดิบและสุก ไม่สามารถพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุกได้ หรือเกิดกระบวนการสุกได้ไม่เต็มที่ (ศศรร, 2549)

ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ (Titratable acidity; TA)

ผลมะม่วงดิบจากพื้นที่ 2 ที่ระยะเริ่มต้นและที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 วัน มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ ระหว่าง 1.63 – 1.81 %ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อนำผลมะม่วงไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.34 – 0.89 %

จากปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ของผลมะม่วงทั้งสองพื้นที่ จะเห็นว่าผลมะม่วงดิบมีปริมาณกรดสูงกว่าผลมะม่วงสุก แต่จะพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไต่ตรงที่ได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลกระทบของอาการสะท้านหนาวต่อการพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุกของผลมะม่วง

การเกิดอาการสะท้านหนาว

ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะเริ่มสังเกตการเกิดลักษณะผิดปกติที่ผิวได้เล็กน้อยเมื่อผลถูกเก็บรักษาได้ประมาณ 5 วัน แต่จะสังเกตได้ชัดเจนขึ้นเมื่อผลถูกเก็บไว้ 7-10 วันโดยมีระดับคะแนนเท่ากับ 1 แต่เมื่อผลเก็บรักษานานขึ้นการเกิดอาการสะท้านหนาวจะเห็นชัดเจนมากขึ้นจนมีคะแนนเท่ากับ 2 เมื่อผลเก็บรักษานาน 15 วัน และเท่ากับ 3 เมื่อผลเก็บรักษา 20 วัน การนำผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5 องศาเซลเซียส) มาบ่มให้สุกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงการเก็บรักษา 10 วันผลจะมีลักษณะการสุกที่ปกติ มีการพัฒนาของสีเปลือกและเนื้อใกล้เคียงกับผลที่สุกตามธรรมชาติ เมื่อพิจารณาคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวจะมีคะแนนเท่ากับ 1 ซึ่งยังอยู่ในการยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามผลที่สุกจะมีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้น ถ้านำผลมะม่วงที่เก็บรักษานาน 15 ถึง 30 วันมาบ่มให้สุกจะมีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวเท่ากับ 3 (ตารางที่ 6 และภาพที่ 27)

ตารางที่ 6 คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสของผลดิบและผลสุก

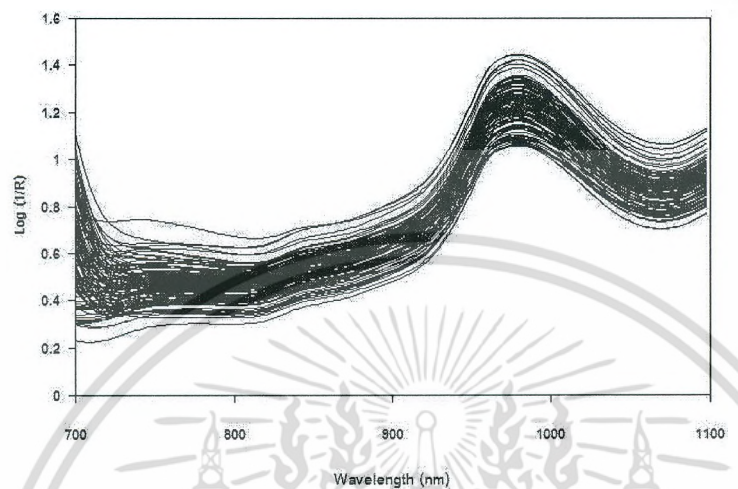
	อายุการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส (วัน)						
	0	5	10	15	20	25	30
ผลดิบ	0	1	1	2	3	3	3
ผลสุก	0	1	1	2	3	3	3

ลักษณะสเปกตรัม

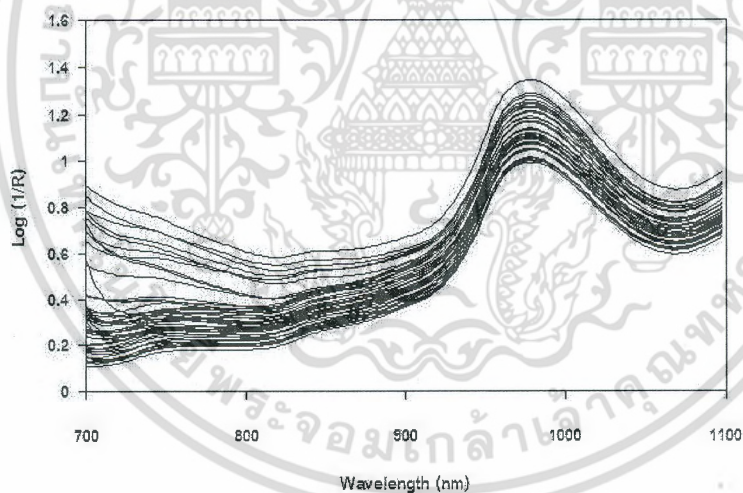
จากผลการศึกษาในขั้นตอนที่ 2 พบว่าอาการสะท้านหนาวเริ่มปรากฏที่ผิวผลมะม่วงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 วัน ดังนั้นจึงปรับระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพผลมะม่วงจากระยะเวลา 15 และ 30 วัน เป็น 5, 10, 15 และ 20 วัน ตรวจวัดคุณภาพของผลมะม่วงทั้งดิบและสุกเช่นเดียวกับการศึกษาที่ 2 พิจารณา ภาพที่ 28 พบว่า สเปกตรัมดั้งเดิมของผลมะม่วงดิบที่ระยะเริ่มต้นและเมื่อเก็บภายใต้ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 วัน พบพีกที่ความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร เช่นเดียวกับสเปกตรัมผลมะม่วงในพื้นที่ 2 ซึ่งเก็บภายใต้อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 วัน และเมื่อพิจารณาสเปกตรัมเฉลี่ยของผลมะม่วง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้น และเมื่อแปลงข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน คือ พบพิกหวักลับที่ความยาวคลื่น 966 นาโนเมตร ซึ่งคือพิกของน้ำ (ภาพที่ 29)



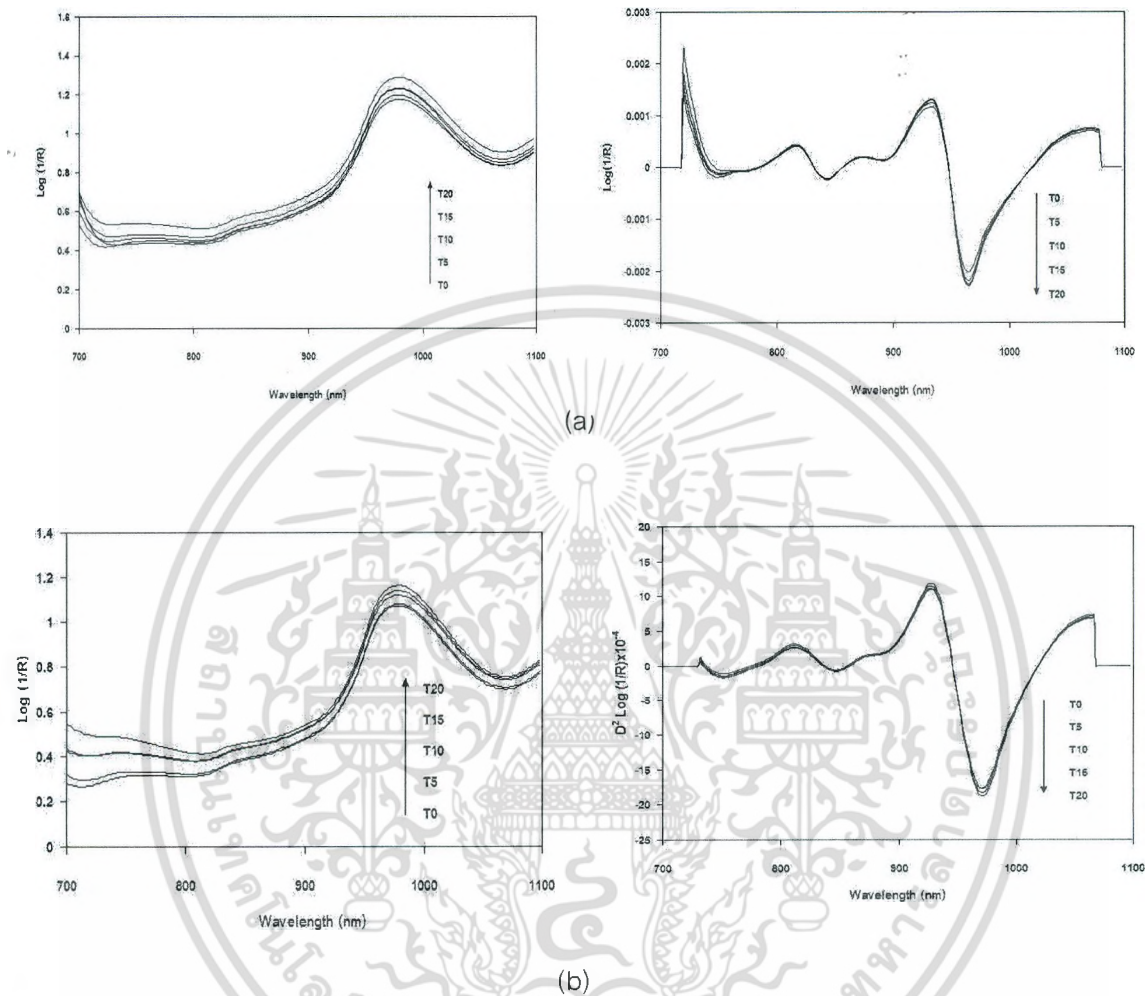
(a)



(b)

ภาพที่ 28 Original spectra of (a) green and (b) ripe mango fruit were stored in the chamber at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ for 0, 5, 15 and 20 days to induce the chilling injury symptom.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 29 Means of (a) Original [$\log (1/R)$] and (b) second derivative spectra of mango fruit at initial time (T0), 10 (T10), 15 (T15) and 20 days (T20) when storage at $5 \pm 1^\circ \text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเทียบมาตรฐาน ของอาการสะท้อนหนาว (calibration equation of chilling injury symptom)

นำข้อมูลสเปกตรัมของผลมะม่วงที่ถูกชักนำให้เกิดอาการสะท้อนหนาว โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ มาหาความสัมพันธ์กับสมบัติทางเคมี ได้แก่ การร้าวไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ และความชื้น ด้วยวิธี partial least square regression (PLSR) เพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานอาการสะท้อนหนาวด้วยโปรแกรม the Unscramblers® version 9.8

การร้าวไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

สร้างสมการเทียบมาตรฐานอาการสะท้อนหนาวของผลมะม่วงด้วยข้อมูลการร้าวไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ และทดสอบสมการด้วยวิธี cross validation พบว่า สมการเทียบมาตรฐานของการร้าวไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สร้างจากข้อมูลสเปกตรัมที่แปลงด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง (second derivative: 15 nm averaging for left and right side) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (correlation of determination, R^2) ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายตัวเอง (root mean square error of cross validation, RMSECV) และ ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (root mean square error of prediction, RMSEP) เท่ากับ 0.74, 1.50 % และ 1.89 % ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยใน regression coefficient plot (ภาพที่ 30) พบว่าที่ความยาวคลื่น 806, 854, 898, 926 นาโนเมตร มีอิทธิพลต่อสมการถดถอย กล่าวคือ เป็นพิกของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Osborne *et al.*, 1993) ที่พบในผลมะม่วง ที่โมเลกุลเกาะกันด้วยพันธะ N-H, C-H อาทิ โปรตีน และไขมัน แต่เมื่อพิจารณาผลการทำนายค่าการร้าวไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของเนื้อมะม่วงจะเห็นว่ามีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ (ภาพที่ 31) ดังนั้นจึงต้องนำคุณสมบัติทางเคมีอื่นมาใช้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานของอาการสะท้อนหนาวของผลมะม่วง

ความชื้น

จากผลการตรวจวัดความชื้นของเนื้อผลมะม่วงปกติและเนื้อผลมะม่วงที่พบอาการสะท้อนหนาวที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการชักนำให้เกิดอาการสะท้อนหนาวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอาการสะท้อนหนาวจะส่งผลให้ความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารจากเซลล์เกิดความผิดปกติ (Wang *et al.*, 2008) ส่งผลให้เนื้อผลมะม่วงที่พบอาการสะท้อนหนาวเกิดการสูญเสียความชื้น จึงมีความชื้นต่ำกว่าเนื้อผลมะม่วงปกติ ดังนั้นจึงสร้างสมการเทียบมาตรฐานของความชื้นเพื่อใช้ตรวจอาการสะท้อนหนาวของผลมะม่วง พบว่า มีค่า R^2 , RMSECV และ RMSEP เท่ากับ 0.85, 0.53 % และ 0.72 % ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยใน regression coefficient plot (ภาพที่ 32) พบว่า ที่ความยาวคลื่น 884, 908 และ 934 นาโนเมตร มีอิทธิพลต่อสมการถดถอย ซึ่ง William and Norris (1987) รายงานว่าที่ความยาวคลื่น 870-890 สัมพันธ์กับพิกน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบมากในผลไม้ ปริมาณถึง 80-95 % (นิธิยา, 2551) ที่ความยาวคลื่น

900 – 930 นาโนเมตร สัมพันธ์กับพีคของคาร์โบไฮเดรตในผลไม้ (McGlone and Kawano, 1998) และเมื่อพิจารณาผลการทำนายความชื้นของเนื้อผลมะม่วงปกติและเนื้อผลมะม่วงที่พบอาการสะท้านหนาว พบว่า มีความแม่นยำค่อนข้างสูง จะเห็นว่าสมการเทียบมาตรฐานของความชื้นมีความแม่นยำสูงกว่าสมการเทียบมาตรฐานของการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ทั้งนี้เป็นผลจากน้ำหรือความชื้นมีการตอบสนองต่อแสงเนียร์อินฟราเรดได้ดีกว่าองค์ประกอบชนิดอื่น (Iwamoto *et al.*, 1987) โดยเฉพาะการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ และความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณความชื้นของผลมะม่วงเป็นความสัมพันธ์อันดับที่หนึ่ง ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์เป็นความสัมพันธ์อันดับที่สอง อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลอื่นด้วย อาทิ ข้อมูลของความชื้นของเนื้อผลมะม่วง และคะแนนการประเมินอาการสะท้านหนาว

ตารางที่ 7 PLS calibration results for electrolyte leakage and moisture content of mango flesh using spectra treated with second derivative.

Properties	Pretreatment	F	R ²	RMSECV	RMSEP
Electrolyte leakage	Second derivative (15 nm averaging for left and right sides)	8	0.74	1.50	1.89
Moisture content	Second derivative (5 nm averaging for left and right sides)	4	0.85	0.53	0.72

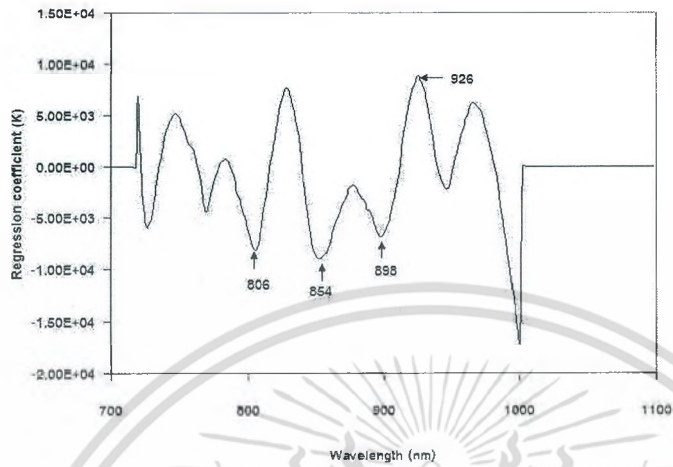
F : number of factors used in the calibration equation

R²: correlation of determination

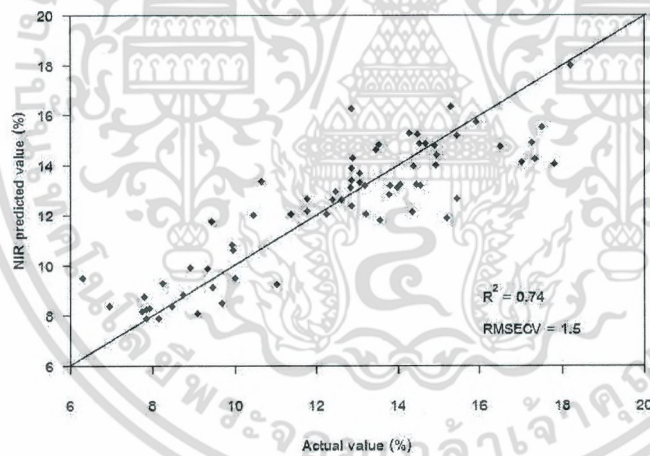
RMSECV: root mean square error of cross validation

RMSEP: root mean square error of prediction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

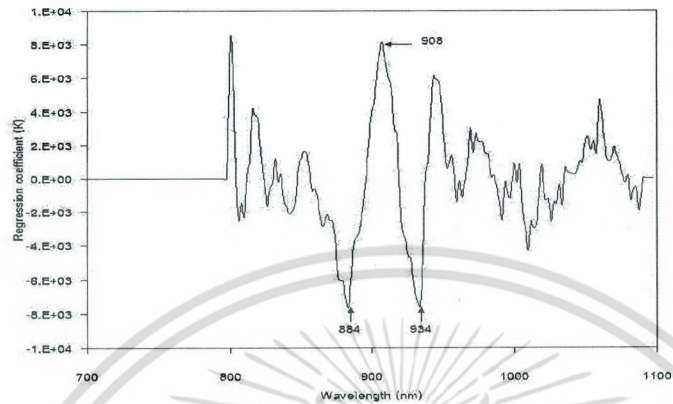


ภาพที่ 30 Regression coefficient plots for electrolyte leakage calibration equation of flesh of mango.

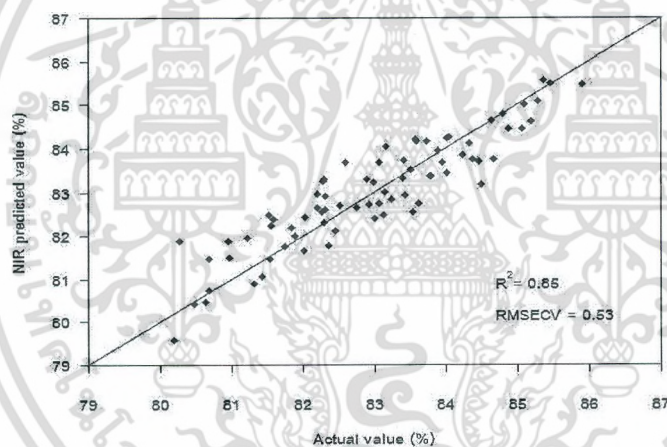


ภาพที่ 31 Scatter plots for predicting the electrolyte leakage of flesh of mango.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 32 Regression coefficient plots for moisture content calibration equation of flesh of mango.



ภาพที่ 33 Scatter plots for predicting the electrolyte leakage of flesh of mango.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสามารถใช้จำแนกผลมะม่วงดิบที่พบอาการสะท้อนหนาวจากผลมะม่วงดิบปกติได้ จัดเป็นการตรวจประเมินเชิงคุณภาพ (qualitative assessment) แต่สำหรับการตรวจประเมินเชิงปริมาณ (quantitative assessment) โดยสร้างสมการเทียบมาตรฐานของอาการสะท้อนหนาว ด้วยข้อมูลสเปกตรัมกับคุณสมบัติทางเคมี คือ การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์และปริมาณความชื้น มีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ ในการสร้างสมการจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลอื่นประกอบร่วมกับด้วย เช่น ข้อมูลสีของเนื้อมะม่วง และคะแนนการประเมินอาการสะท้อนหนาวประกอบ เพื่อให้ได้สมการที่แม่นยำมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 เอกสารอ้างอิง

- จารุวรรณ บางแวก, อรวรรณ จิตต์ธรรม และ อรณิชา สุวรรณโณม. 2553. การประเมินค่าอมิโลสในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy. ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 389-392
- จิรภรณ์ กัวยุทธ, นิธิยา รัตนานนท์ และ ดนัย บุญเกียรติ. 2545. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาและอาการระคายเคืองของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์. หน้า 64. ใน: โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). การสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 1. 22-23 สิงหาคม 2545. เชียงใหม่.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม. 396 หน้า.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, วิทยาเขตกำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 หน้า.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม. 453 หน้า.
- เจือจันทร์ ตั้งเต็มทอง 2541. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ดนัย บุญเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 226 หน้า.
- ดนัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2535. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 146 หน้า.
- ธเนศวร์ สีระแก้ว. 2541. ผลของความร้อนและแคลเซียมคลอไรด์ต่ออาการระคายเคืองของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.
- ธีระ วัฒนศิริเวช 2544. การศึกษาชนิดและปริมาณสารหอมระเหย น้ำตาล และกรดบางชนิดในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ที่มีระยะการสุกและสภาวะการสุกแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีอาหาร) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นิทยา อักษรเนียม. 2548. ตลาดมะม่วงคุณภาพไทยในญี่ปุ่น. เคหการเกษตร. 29 (9): 2-9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิธิยา รัตนาปนนท์ และคณะ บุญยเกียรติ. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.

พิมพ์ครั้งที่ 5. โอ. เอส. พรินติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ. 248 หน้า.

บุญเลิศ สอาดสิทธิศักดิ์. 2532. มะม่วง ประวัตินัยและความสำคัญ. เอกสารวิชาการที่ 1 เรื่องมะม่วง. สถาบันวิจัยพืช

สวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 1-3.

ปาริชาติ เทียนจุมพล ระจิดร สุวพานิช และวิชา สอาดสุด. 2551. การตอบสนองของอาการสะท้านหนาวใน
มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองต่อแสงเนียร์อินฟราเรด. ว. วิทย. กษ. 39 : 3 (พิเศษ) : 58-61)

เพ็ญวิภา วาสนาส่ง. 2541. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีวิทยาและสรีรวิทยาของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่มี
ความสัมพันธ์ต่อการเกิดการสะท้านหนาว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาริกา รุ่งพิชยพิเชฐ. 2552. การแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพด้านรสชาติในมะม่วงตัดแต่งพร้อม
บริโภคโดยการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ย่านคลื่นใกล้อินฟราเรด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร.

รณฤทธิ์ ฤทธิธรรม, สุรีพร ณรงค์วัฒนา, เขมณัฐ พุกพุด, วิระพงษ์ ชูบุญ และ อุณารุจ บุญประกอบ. 2553. การ
ตรวจสอบความผิดปกติใต้น้ำอย่างไม่ทำลายในผลสาละ. ว. วิทย. กษ. 41:1 (พิเศษ): 381-384)

วรินทร์ มณีวรรณ, ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ และ ปาริชาติ เทียนจุมพล. 2551. การประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปก
โทรสโกปีเพื่อหาความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง. ว. วิทย. กษ. 39 : 3 (พิเศษ) : 363-366.

วรินทร์ มณีวรรณ, ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ และ ปาริชาติ เทียนจุมพล. 2553. การหาปริมาณโปรตีนในเมล็ดพันธุ์ถั่ว
เหลืองด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 401-404

วิจิตร วังใน. 2529. มะม่วง. ศรีสมบัติการพิมพ์. กรุงเทพฯ. 301 หน้า.

วารุณี ชนะแพทย์ สุมาพร เกษมสำราญ สิริณา สราญวงศ์ และ สุมิโอะ คาวาโน. 2552. การตรวจหาไข่และ
หนอนของแมลงวันผลไม้ในมะม่วงส่งออกโดยใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.

ว. วิทย. กษ. 39 : 3 (พิเศษ) : 54-57)

ศศธร ศรีวิเชียร. 2549. กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและผลของเมทิลจัสโมเนตต่อการเกิดอาการ
สะท้านหนาวในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศศิวิมล มากมูล, ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ และ ปาริชาติ เทียนจุมพล. 2553. การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
ตรวจสอบการปนของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1. ว. วิทย. กษ. 41 : 1(พิเศษ)
: 377-380

สนธิสุข ธีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, จุฑามาศ ผลอุดม และ วรณชยา เอี่ยมเสถียรพร. 2553. การทำ

นายอากรเนื้อแก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด.

ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 385-388)

สถาบันอาหาร. 2549. ข้อมูลการส่งออกมะม่วง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.nfi.or.th/statistic.asp>.

(11 กรกฎาคม 2550).

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ. นครปฐม. 364 น.

สายชล เกตุษา. 2530. สรีรวิทยาและและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม. 364 หน้า.

สิรินาฏ น้อยพิทักษ์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2553. การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเพื่อคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วแบบไม่ทำลายโดยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 393-396)

สุกัญญา ชิตตระกูล. 2539. ผลของการใช้อุณหภูมิที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสาวภา ไชยวงศ์. 2547. ความแตกต่างทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ben, A.R., D. Aharoni, O. Feygenberg, N. Aharoni, A. Keynan, and E. Pesis. 2000. Effect of modified atmosphere packaging on mango ripening. *4th Int. Conf.on Postharvest Sci.* 2: 607-609.

Bezuidenhout, J. L. J. 2005. Lenticel development and discolouration in the fruit of some mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. M.S. thesis. University of Pretoria, Pretoria.

Chaplin, G. R. 1984. Postharvest physiology of mango fruit: a review, pp. 261-271. In Proc. First Australian Mango Research workshop, Cairns, Queensland, Australia.

Chidtrakool, S. and S. Ketsa. 2005. Changes of phenolic content and activities of phenylalanine ammonia lyase and polyphenol oxidase in relation to discoloration of mango fruit during low temperature storage. pp. 19. In: Project on promotion and development of postharvest physiology of horticultural crops. The second seminar on postharvest physiology of horticultural crops. 14th February 2005. Bangkok.

Clark, G.E. 1994. Assessment of tuber storage and sprouting treatments for *Sandersonia aurantiaca*. *J. Crop Hort.Sci.*22: 431-437.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Du plooy, G.W. , C.F. Van der merwe and L. Korsten. 2006. Lenticel discolouration in mango (*Mangifera indica* L.) fruit : a cytological study of mesophyll cells from affected tissue. *J. Hort. Sci. Biot.* 81: 869-873.
- GÓmez, A. H., Y. He and A. G. Pereira. 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering* 77:313-319.
- Greensill, C. V. and D. S., Newman. 1999. "An investigation into the determination of the maturity of pawpaws (*Carica papaya*) from NIR transmission spectra." *J. Near Infrared Spectrosc.* 7: 109-116.
- Griesbach, J. 2003. Mango growing in Kenya. World Agroforest Centre, Kenya. 101 pp.
- Hausman, J.F., Evers, D., Thiellement, H., Jouve, L., 2000. Compared responses of poplar cutting and in vitro raised shoots to shortterm chilling treatments. *Plant Cell Rep.* 19, 954-960.
- Herianus J. D. L., Z. Singh , and S. C. Tan. 2003. Aroma volatiles production during fruit ripening of 'Kensington Pride' mango. *Postharvest Biol. Tech.* 27: 323-336.
- Iwamoto, M., J. Uozumi and K. Nishinari. 1987. Preliminary investigation of the state of water in foods by near infrared spectroscopy. In J. Holló, K.J. Kaffka, J.L. Gönczy (eds.). *Near Infrared Diffuse Reflectance/Transmittance Spectroscopy: Proceedings of the Internation NIR/NIT Conference* (p. 3-12), Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. 1992. "Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy in Japan." *J. Near Infrared Spectra.* 3: 179-189.
- Kawano, S. 1998. "New application of nondestructive methods for evaluation of fruits and vegetables in Japan." *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 67(6): 1176-1179.
- Kovacs, E. 1997. Effect of chilling and irradiation on the ultrastructure of the membranes and mitochondria of fruits and vegetables. *Micro. Food Res.* 26: 359-381.
- Lederman, I. E., G. Zauberman, A. Weksler, I. Rot and Y. Fuchs. 1997. Ethylene forming capacity during cold storage and chilling injury development in 'Keitt' mango fruit. *Postharvest Biol Technol.* 10: 107-112.
- L'Heureux, G. P., M. Bergevin, L. E. Thompson and C. W. Willemot. 1993. Molecular species profile of membrane lipids of tomato pericarp during chilling. *Acta Hort.* 343: 286-287

- Luza, J.G., R.V. Gorsel, V.S. Polito and A.A. Kader. 1992. Chilling injury in peaches: A cytochemical and ultrastructural cell wall study. *Hort. Sci.* 117: 114-118.
- McDonald, R. E., T. T. Hatton and R. H. Cubbedge. 1985. Chilling injury and decay of lemons as affected by ethylene, low temperature, and optimal storage. *HortSci.* 20: 92-97.
- McCollum, T. G. and R. E. McDonald. 1991. Electrolyte leakage , respiration, and ethylene production as indices of chilling injury in grapefruit. *HortScience.* 26:1191-1192
- McGlone V. A. and S. Kawano. 1998. Firmness, dry-matter and soluble – solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 13: 131-141.
- Miyamoto, M. and T. Fukuda. 1998. "Classification of high acid fruits by partial least squares using the near infrared transmittance spectra of intact satsuma mandarins." *J. Near Infrared Spectra.* 6: 267-271.
- Mohammed, M. and R.A.I. Brathwaite. 2000. Ripening effects on the chilling sensitivity of processing and non-processing tomato cultivars. *J Appl. Hort.* 2(2): 76-78.
- Nair, S. and Z. Singh. 2003. Pre-storage ethrel dip reduces chilling injury, enhances respiration rate, ethylene production and improves fruit quality of 'Kensington' mango. *J. Food Agri. & Envi.* 1: 93-97.
- Osborne, B.G., T. Fearn, and P.H. Hindle. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis.* Second edit. Longman Group UK limited. 227 p.
- Pesis, E., D. Aharoni, Z. Aharon, A. R. Ben, N. Aharoni and Y. Fuchs. 2000. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. *Postharvest Biol. Tech.* 19: 93-101.
- Phakawatmongkol, W., Ketsa, S. and Van Doorn, W. G. 2004. Variation in fruit chilling injury among mango cultivars. *Postharvest Biology and Technology.* 32:115-118.
- Rameshwar, A. 1993. *Advances in horticulture-fruit crops.* In K. L. Chadha and O. P. Pareek (Eds.) New Delhi: Malhotra Publishing House. 4: 1661-1702.
- Ratue, M. T., A. Osman, S. H. Ahmed and N. Saari. 2006. Development of chilling injury of 'Rerangan' banana (*Musa cv. Berangan (AAA)*) during storage at low temperature. *J. Food Agri and Envi.* 4(1): 128-134.

- Saranwong, S., Sornsrivichai, J. and S. Kawano. 2003. "Performance of a portable near infrared instrument for brix value determination of intact mango fruit." *J. Near Infrared Spectra*. 11: 175-181.
- Saltveit, M.E., 2002. The rate of ion leakage from chilling-sensitive tissue dose not immediately increase upon exposure to chilling temperatures. *Post. Biol. Technol.* 26, 295-304.
- Self, G., J.S. De Assis, V.C Caron. 2006. Effects of postharvest handling on lenticels spotting of 'Tommy Atkins' mangoes from Northeast Brazil. pp. 543-550. In: The integrated view on fruits and vegetables quality. Proceedings of the 4th International Conference on Managing Quality in Chains (MQUIC 2006). 7-10 August 2006. Bangkok.
- Soto-zamora G, Yahia E.M., Brecht J.K., Gardea A. 2005. Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 38, 658-663.
- Suwapanich, R. 2003
- Tasneem, A. 2004. Postharvest treatments to reduce chilling injury symptoms in stored mangoes. M.S. thesis. Macdonald Campus of McGill University.
- Tungtirmthong, J., S. Kanlayanarat, and A. Uthairattanakit. 2001. Physiological and chemical changing of mango cv. Nam Dok Mai stored at low temperature. [online]. Available <http://www.kmutt.ac.th/rippc/pdf/443109.pdf>. (May 2008).
- Ueda, M., Sasaki, K. Utsunomiya, N., Inada, K. and Shimabayashi, Y. 2000. Changes in physical and chemical properties during maturation of mango fruit (*Mangifera indica* L. "Irwin") cultured in plastic greenhouse. *Food Science Technology Research*. 6(4): 299-305
- Vela, G., D.M. Leon, H.S. Garcia and L. Cruz. 2003. Polyphenoloxidase activity during ripening and chilling stress in Manilla mangoes. *J. Hort. Sci. Biot.* 78: 104-107.
- Wang, C.Y. 1990. Chilling injury of Horticultural Crops. CRC Press, Boca Raton, 313 p.
- Wang, C.Y. 1993. Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Horticultural Reviews* 15:63-95.
- Wang, B., Wang J., Liang H., Yi J., Zhang J., Lin L., Wu y., Feng., Cao J., Jiang W., 2008. Reduce chilling injury in mango fruit by 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and the antioxidant response. *Post. Biol. Technol.* 48, 172-181.
- Whangchai, K., H. Gemma, S. Iwahori and J. Uthaibutra. 1999. Endogenous polyamines in 'Nam Dok Mai'

mangoes with different ripening stages and its relation to chilling injury during storage. Proceeding of the 6th International Symposium on Mango. 6-9 April 1999, Thailand. 1: 429-436.

Whitlow, T.H., N.L. Bassuk, T.G. Ranney and D.L. Reichert. 1992. An improved method for using electrolyte leakage to assess membrane competence in plant tissues. *Plant Physio.* 98: 198-205.

Williams P. and K. Norris. 2001. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries 2nd*. American Association of Cereal Chemists, Inc. USA. 296 pp.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

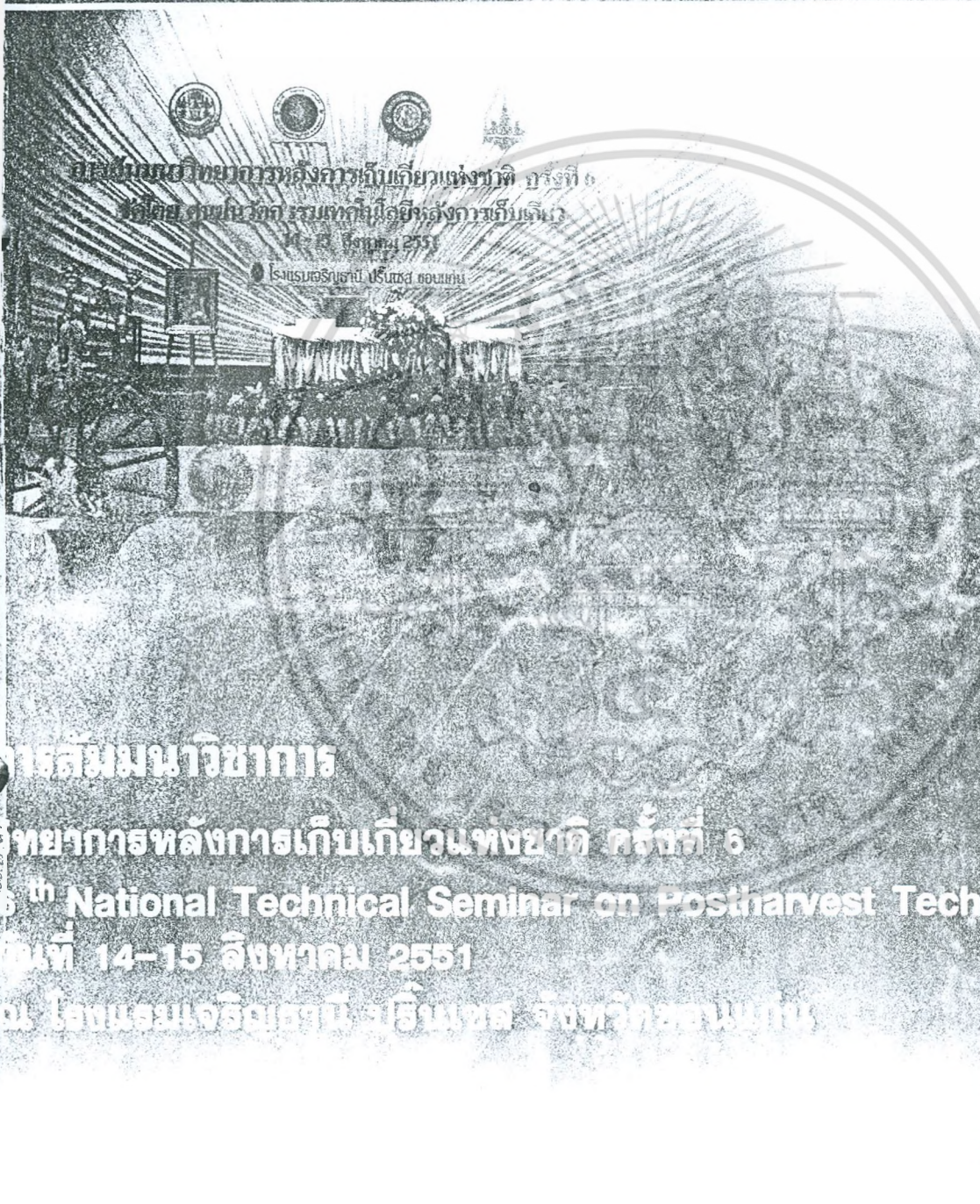
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วิทยาศาสตร์เกษตร

AGRICULTURAL SCIENCE JOURNAL

ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2551 Vol.39 No.3 (Suppl.) September-December 2008



การประชุมวิชาการ

วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 6

6th National Technical Seminar on Postharvest Technology

วันที่ 14-15 สิงหาคม 2551

ณ โรงแรมเจริญธานี อ.เมืองชล จังหวัดขอนแก่น

จัดทำโดย เอกสารที่ส่งมาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เป็นไปอย่างถาวรไม่ต้องไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด
จัดโดย ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว :
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หน่วยงานร่วม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การตรวจหาไข่และหนอนของแมลงวันผลไม้ในมะม่วงส่งออกโดยใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี
วารุณี ธนะแพทย์ สุมาพร เกษมสำราญ สิริภา สราญวงศ์ และ สุมิโอะ คาวาโน

การตอบสนองของอาการสะท้อนหนาวในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองต่อแสงเนียร์อินฟราเรด
ปาริชาติ เทียนจุมพล ระจิตร์ สุพานิช และวิชา สอาดสุด

การถ่ายเทมวลในเนื้อแก้วมังกร (*Hylocereus undatus*) ด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน
ยงยุทธ เกลิมชาติ และ พิทยา บุญประสม

การทดสอบประสิทธิภาพน้ำมันหอมระเหยต่อโรคแอนแทรกโนสเพื่อใช้เตรียมแผนจัดการศัตรูพืชในพริกแบบลดการใช้
สารเคมี
นวัตน์ อิมจิตร์ และ ชัยณรงค์ รัตนกริธากุล

การประเมินคุณภาพของผลฝรั่งแบบไม่ทำลายเพื่อการค้าในเชิงพาณิชย์
รณฤทธิ์ ฤทธิธณ ปนัดดา ไกรลาศอิฟาร์ และ มัลลิตา อังพานิช

การประยุกต์ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอในการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้
พรชัย ราชตนะพันธ์ ศิรญา สุนทรอำไพ และ ศรินทรทิพย์ ธนคมเศรณี

การประยุกต์ใช้สารดูดซับเอทิลีนจากไดอะทอมไมต์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากลับหอมพอง
พรชัย ราชตนะพันธ์ พิทยาภรณ์ มูลพฤษดิ์ และภัทริน วงศ์โกศลจิต

การเปรียบเทียบการจุ่มน้ำร้อนและการอบไอน้ำร้อนต่อคุณภาพการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้
ปริยวรรณ ทวีพิยสาร นัยทิพย์ นิมิตรเกียรติไกล ชัยรัตน์ เดชวุฒิมิตร และ เกลิมชัย วงษ์อารี

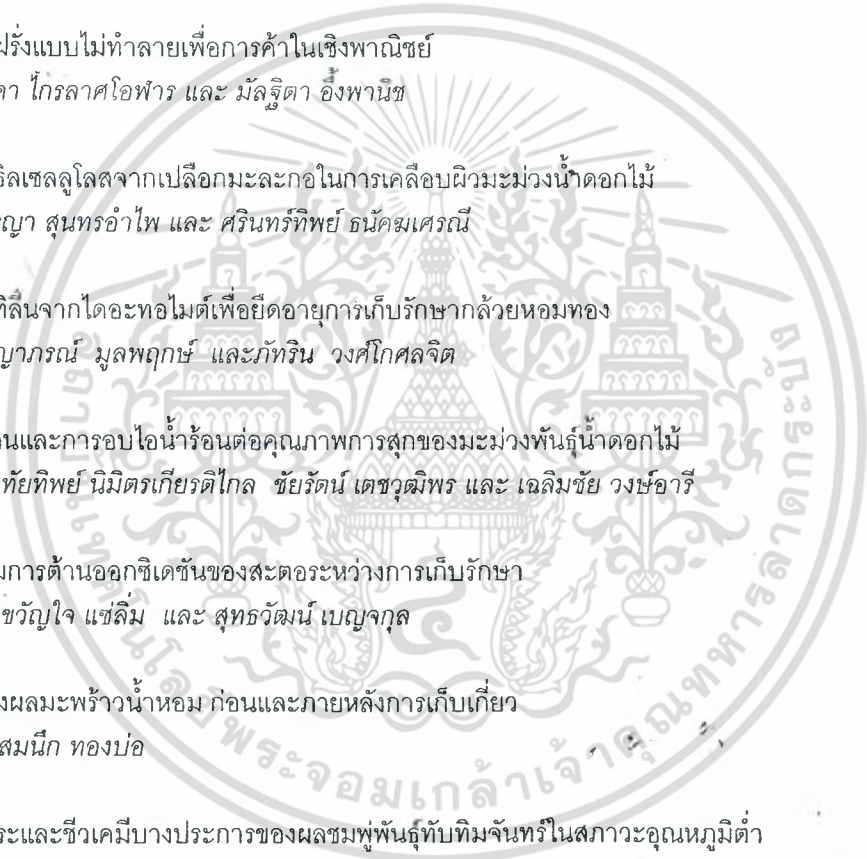
การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของระหว่างกาเก็บรักษา
เอกสิทธิ์ จงเจริญรักษ์ ขวัญใจ แซ่ลิ้ม และ สุทธวิวัฒน์ เบญจกุล

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะพร้าวน้ำหอม ก่อนและภายหลังการเก็บเกี่ยว
ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์ และสมนึก ทองบ่อ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านสีและชีวเคมีบางประการของผลชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ
จารุณี จุงกลาง

การผลิตสารดูดซับเอทิลีนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้
พิทยา บุญประสม พรชัย ราชตนะพันธ์ และวุฒิวัฒน์ พัฒนินุสัย

การพัฒนากระบวนการทำแห้งชึ่ง โดยการทำให้แห้งแบบใช้ลมร้อน และการทำให้แห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบลม
ศิรินทิพย์ นทองแสง และ สิงหนาท พวงจันทร์แดง



การตอบสนองของอาการสะท้อนหนาวในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองต่อแสงเนียร์อินฟราเรด
Responsibility of chilling injury in mango cv. Nam Dok Mai Si Thong on near infrared

ปาริชาติ เทียนจุมพล¹ ระจิต สุวพานิช² และวิชา สอาดสุด¹
Parichat Theanjumpol¹ Rachit Suwapanich² and Vicha Sardsud¹

Abstract

Mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong was kept in the chamber at $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ to induce the chilling injury symptom. NIRSystem 6500 was used to measure spectra of mangos in wavelength region from 700 nm to 1100 (short wavelength) and then, determined the electrolyte leakage of the flesh at initial time on days 15 and 30. Spectral data were analyzed by using principle component analysis (PCA). It was found that the spectrum of mango could be separated into two groups with PC2 and PC3. The first group was the spectrum of normal mango: no chilling injury symptom. The second was the spectrum of mango which it had been kept at $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ for 15 and 30 days showed severe of chilling injury symptom. Similar to the electrolyte leakage of the flesh increased from 8.6 % at the initial time to 15.4 % and 13.0 % when the mangoes were kept at $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ for 15 and 30 days, respectively. The electrolyte leakage were significantly different ($P<0.05$). Chilling injury of mango fruit responded differently to near infrared which was the importance properties for detecting the chilling injury symptom.

Keywords: mango, chilling injury, near infrared

บทคัดย่อ

ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองถูกทำให้เกิดอาการสะท้อนหนาว โดยนำไปเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem 6500 ช่วงความยาวคลื่น 700 – 1100 นาโนเมตร (คลื่นสั้น) ร่วมกับการวัดการไหลของสารอิเล็กโทรไลต์จากเนื้อมะม่วงเริ่มต้นและเก็บรักษาแล้ว 15 และ 30 วัน วิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี principle component analysis (PCA) พบว่า สเปกตรัมของมะม่วง สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ด้วย PC 2 และ PC3 โดยกลุ่มที่ 1 คือ สเปกตรัมของมะม่วงที่มีลักษณะปกติหรือมะม่วงเริ่มต้น ซึ่งไม่ปรากฏอาการสะท้อนหนาว และกลุ่มที่ 2 คือ สเปกตรัมของมะม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 วัน ซึ่งแสดงอาการสะท้อนหนาวอย่างชัดเจน สอดคล้องการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์จากเนื้อมะม่วงที่มีค่าเพิ่มขึ้นจากวันแรกที่มีค่าเท่ากับ 8.6% เป็น 15.4 % และ 13.0 % เมื่อเก็บรักษาแล้ว 15 และ 30 วัน ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จะเห็นว่ามะม่วงที่แสดงอาการสะท้อนหนาวมีการตอบสนองต่อแสงเนียร์อินฟราเรด ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญในการตรวจสอบอาการสะท้อนหนาวของมะม่วง

สำคัญ: มะม่วง อาการสะท้อนหนาว เนียร์อินฟราเรด

Introduction

Mango (*Mangifera indica* L.) is a major tropical fruit in domestic and export markets of Thailand because their attractive color, delicious taste and excellent nutritional properties (Lizada, 1993; Mitra and Baldwin, 1997). After harvesting mangoes fruit were stored at low temperature (below 13°C) to extend the shelf life and maintain their availability, but it is susceptible to chilling injury. It leads to a storage disorder manifested mainly as dark, mold-like disorder and pitting or sunken lesions on the peel (Wang et al., 2008). The chilling injury symptom is difficult to detect by human eyes who do not have an experience. Therefore, a new technique has been developed to assess this symptom.

Near Infrared Spectroscopy (NIRS) is the nondestructive technique which can be used to evaluate the availability of many agricultural and food products such as peach, apple, melon, citrus fruit and kiwifruit (Iwamoto et

ฉบับวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Postharvest Technology Research Institute / Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University Chiang Mai 50200

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Faculty of Agro-Industry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok 10520

ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE 1ST ASIAN NIR SYMPOSIUM

AND

THE 24TH JAPANESE NIR FORUM

November 10-14, 2008

Tsukuba International Congress Center
Tsukuba city, Japan



Asian NIR Consortium
and
Japan Council of Near Infrared Spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่หรือใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Poster (cont.)

P11A	Contact-less on-line measurements of butter manufacturing process by Fourier transform near infrared K. Osaki, D. Sasakura and T. Kosugi (Bruker Optics K.K., Tokyo, Japan)	228
P11B	Nondestructive determination of nutritional constituents in pearl oyster using a portable near infrared spectrophotometer T. Fujiwara, H. Aoki, T. Ishikawa and A. Komaru (Mie Prefecture Industrial Research Institute, Tsu, Japan)	230
P11C	Molecular structure study of gelatinized and retrograded Domyoji-ko, potato starch and wheat starch by near infrared and infrared spectroscopy M. Kondo and N. Katayama (Nagoya City University, Nagoya, Japan)	232
P12A	Application of near infrared spectroscopy for the assessment chilling injury in mango Fruit R. Suwapanich and P. Theanjumol (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand)	234
P12B	Preliminary study of quantitative determination of cellulose, hemi-cellulose and lignin in artificial biomass samples by using near infrared spectroscopy J. Prasatsrisupab, S. Kasemsumran, K. Ono, N. Suttiwijitpukdee, W. Thanapase, K. Katsumata-Saito, T. Sugimoto, S. Miyata, T. Goto and K. Iiyama (Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand)	236
P12C	Multivariate analysis of methyl ester in biodiesel production process from palm oil using near infrared spectroscopy N. Suttiwijitpukdee, S. Kasemsumran, W. Thanapase and Y. Ozaki (Kwansei Gakuin University, Sanda, Japan)	238
P13A	Prediction of methanol and glycerol concentrations in microbial treated wastewater discharged from biodiesel fuel production process using near infrared spectroscopy S. Kawai, J. Kohda, Y. Nakano and T. Yano (Hiroshima City University, Hiroshima, Japan)	240
P13B	Powder characterization (qualification) by near infrared spectroscopy Y. Kobayashi (Fuji Xerox Co. Ltd., Kanagawa, Japan)	242
P13C	Analyses of laminated components of paper A. Kaneko, A. Shigetani, N. Yoshimura and M. Takayanagi (Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan)	244
P14A	Detection of water in a polymer electrolyte fuel cell by near infrared laser absorption spectroscopy S. Morita, Y. Jojima and K. Kitagawa (Nagoya University, Nagoya, Japan)	246
P14B	Determination of equilibrium constant of the isotropic disproportionation between water and heavy water using near infrared spectroscopy Y. Kim and H. Chung (Hanyang University, Seoul, Korea)	248

Application of Near Infrared Spectroscopy for the Assessment of Chilling Injury in Mango Fruit

Rachit Suwapanich¹ and Parichat Theanjumol²

¹Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand, E-mail: kcrachit@kmitl.ac.th

²Postharvest Technology Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand

Abstract

Chilling injury affect to the quality of mango. Then, the objective of this study was to assess the chilling injury symptom of mango by using near infrared (NIR) spectroscopy. Mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong was stored in the chamber at 5 ± 1 °C to induce the chilling injury symptom. The NIRSystems6500 was used to measure spectra of mangoes in wavelength region from 700 nm to 1100 nm and then, determined the electrolyte leakage of the flesh at initial time on day 15th and 30th. The different of mango spectra were evaluated by principle component analysis (PCA). Partial least square (PLS) regression was used to develop the calibration equation. It was found that the spectrum of mango could be categorized into two groups with the second principal component (PC2) and the third principal component (PC3). The first group was the spectrum of normal mango: no chilling injury symptom. The second was the spectrum of mango which it had been kept at 5 ± 1 °C for 15 and 30 days showed severe of chilling injury symptom. Similar to the electrolyte leakage (EL) of the flesh increased from 8.6 % at the initial time to 15.4 % and 13.0 % when the mangoes were stored at 5 ± 1 °C for 15 and 30 days, respectively. The regression result showed low of the correlation coefficient (R) which was about 0.86. Since the EL was not the direct relation to absorbance spectra of mango. However, the assessment of chilling injury of mango by near infrared spectroscopy should be developed to high accuracy with other components.

Keywords: mango, chilling injury, electrolyte leakage

Introduction

Mango (*Mangifera indica* L.) is a major tropical fruit in the domestic and export markets of Thailand which has attractive color, delicious taste and excellent nutritional properties.^{1,2} After harvesting mangoes fruit were stored at low temperature (below 13 °C) to extend the shelf life and maintain their availability but it is susceptible to chilling injury. It leads to a storage disorder manifested mainly as dark, scald-like disorder and pitting or sunken lesions on the peel.³ The chilling injury symptom is difficult to detect by the person who do not have the experience. So, the new technique was developed to assess that symptom.

Near infrared spectroscopy (NIRS) is the nondestructive technique which can be used to evaluate the quality of many agricultural and food products such as peach, apple, melon, citrus fruit and kiwifruit.⁴ Also, it is low cost, rapid, repeatable and chemical free analyses. This study was to evaluate the responsibility of chilling injury in mango on near infrared.

Material and methods

Mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong were kept in the chamber at 5 ± 1 °C to induce the chilling injury symptom (CI). Spectra of mangoes were measured by using the spectrophotometer model NIRSystems6500 (Foss NIRSystems, Laurel, USA) in wavelength region from 700 nm to 1100 nm and determined the electrolyte leakage (EL) of flesh at the initial time and on days 15 and 30. Principle component analysis (PCA) was used to analysed the spectral data. Comparing the mean of EL data by using least significant different (LSD.)

Result and Discussion

Figure 1 (a) showed the original spectra [$\log(1/R)$] at the initial time, on day 15th and 30th when they were kept at 5 ± 1 °C and (b) second derivative spectra of mango fruit. The spectra of mango fruit at three keeping times were similar with each other. The second derivative spectra were calculated with the method of Savitzky-Golay to reduce the effect of overlapping peak.⁵ Strong absorption band due to water was observed in second derivative spectra at 970 nm.

PCA was performed on the second derivative whole spectra (700 - 1100 nm) to compress the whole spectral data, for the classification of mango. The PCA score plot between the second principal component (PC2) and the third principal component (PC3) indicated that spectra of mangoes kept at three different periods (initial, 15 days and 30 days) could be separated into two groups (Figure 2). The first group was the spectrum of normal mango: no chilling injury symptom; and the second was the spectrum of mango which it had been kept at 5 ± 1 °C for 15 and 30 days and showing severe of chilling injury symptom (Figure 3). CI symptom of mangos were browning and darkening color on the peel and watery on the flesh. Similar to the electrolyte leakage of the

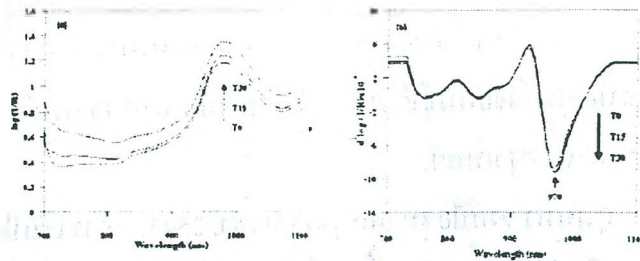


Figure 1. (a) Original $[\log (1/R)]$ and (b) second derivative spectra of mango fruit at initial time (T0), on day 15th (T15) and day 30th (T30) when they were kept at $5 \pm 1^\circ\text{C}$.

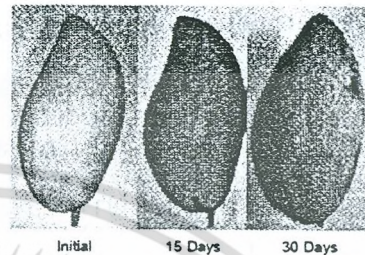
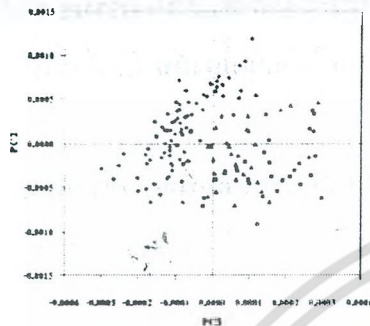


Figure 2. Principal component (PC) score plot (PC2 vs. PC3) of mango fruit at initial time (◆), on day 15th (▲) and day 30th (■) when they were kept at $5 \pm 1^\circ\text{C}$.

Table 1. The electrolyte leakage of the mango flesh at the initial time, on day 15th (T15) and day 30th (T30) when they were kept at $5 \pm 1^\circ\text{C}$.

Items	Keeping time			LSD (0.005)	CV (%)
	Initial	15 days	30 days		
Electrolyte Leakage	8.6	15.4	13.0	1.2	15.6

LSD: Least significant difference; CV: coefficient of variation

flesh increased from 8.6 % at the initial time to 15.4 % and 13.0 % when the mangoes were kept at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ for 15 and 30 days, respectively. The electrolyte leakage was significant different ($P < 0.05$) (Table 1).

PCA could separate the spectra of normal mango from the spectra of chilling injury mango with PC2 vs PC3. In the same as Li *et al.*⁶ used PCA to discriminate the spectra of four varieties of Chinese berry with PC1 vs PC2. Since, the PCs summarise the systematic patterns of variation between samples and it describes as much as possible the variations in the spectra in as few PCs as possible.⁷ Alternatively, the spectra contained the information of mango properties which were related to the chilling injury symptom of mango such as the electrolyte leakage and chemical composition.

Conclusion

There were some responses in the near infrared spectra of mango fruit that could be related to the chilling injury symptom; therefore, there is a possibility that near infrared spectroscopy would be used to classify mangoes with internal chilling injury.

References

1. M.C.C. Lizada, "Mango". in *Biochemistry of Fruit Ripening*, Eds by G.B. Seymour, G.B. Taylor, J.E. and Tucker, G.A. Chapman & Hall, London, pp.255-271 (1993)
2. S.K. Mitra and E.A. Baldwin "Mango", in *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*, Ed by S. Mitra. CAB International, Wallingford, Florida, p. 12-20 (1997).
3. B. Wang, J. Wang, H. Liang, J. Yi, J. Zhang, L. Lin, Y. Wu, X. Feng, J. Cao and W. Jiang, , *Postharvest Biology and Technology* **48**, 172 (2008).
4. M. Iwamoto, S. Kawano and Y. Ozaki, *J. Near Infrared Spectrosc.* **3**, 179 (1995).
5. B. Osborne, T. Fearn and P.H. Hindle, *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK (1993).
6. X. Li, Y. He and H. Fang, "Non-destructive discrimination of Chinese bayberry varieties using Vis/NIR spectroscopy", *Journal of Food Engineering* **81**, 358 (2007).
7. H. Martens and M. Martens, *Multivariate Analysis of Quality: An Introduction*. John Wiley & Sons Ltd., English (2001).



หนังสือเป็นสมบัติของท่าน
โปรดช่วยกันรักษา

www.lib.kmitl.ac.th

สำนักหอสมุดกลาง โทร. 0 2739 2221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้