

การศึกษาความเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองภายใต้การ
จำลองการขนส่งทางอากาศ

A STUDY OF QUALITY CHANGE IN FREASH MANGO FRUITS
(*Mangifera indica* L. 'NAM DOK MAI SI THONG')
UNDER SIMULATED AIR FREIGHT CONDITIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2566
KMITL-2023-EN-M-270-058

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF QUALITY CHANGE IN FREASH MANGO FRUITS
(*Mangifera indica* L. ‘NAM DOK MAI SI THONG’)
UNDER SIMULATED AIR FREIGHT CONDITIONS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN
FOOD AND AGRICULTURAL INTELLIGENCE ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023
KMITL-2023-EN-M-270-058

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ภายใต้การจำลองการขนส่งทางอากาศ
นักศึกษา	นายไกรสุวิทย์ ศรีสวัสดิ์
รหัสประจำตัว	63601226
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

บทคัดย่อ

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีความสำคัญต่อการส่งออกของประเทศไทย ซึ่งการส่งออกส่วนใหญ่เป็นการขนส่งทางอากาศ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ศึกษาผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิบริเวณลานขนถ่ายหรือลานจอดเครื่องบินที่มีผลต่อคุณภาพของมะม่วง โดยจำลองระยะเวลาการขนส่งจากประเทศไทยไปยังสาธารณรัฐฝรั่งเศส มะม่วงที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระยะแก่ทางการค้า เป็นผลมะม่วงที่มีความแก่ประมาณ 80-85% (92-95 วันหลังดอกบาน) และได้รับมาตรฐานสำหรับการส่งออก โดยจำลองสภาวะอุณหภูมิ 3 สภาวะเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (การขนถ่ายบริเวณลานจอดเครื่องบิน) ได้แก่ 1) วางไว้ที่อุณหภูมิคงที่ (20 °C) 2) วางไว้ที่อุณหภูมิภายนอก ($\approx 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และไม่มี การหุ้มฉนวนโพลีโพลีสไตรีน 3) วางไว้ที่อุณหภูมิภายนอก ($\approx 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และมีการหุ้มฉนวนโพลีโพลีสไตรีน กันความร้อน โดยใช้มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากสวนในจังหวัดฉะเชิงเทราและ สวนในจังหวัดขอนแก่น มะม่วงถูกขนส่งจากสวน มาที่โรงคัดบรรจุ จุ่มน้ำร้อน บรรจุมะม่วงในกล่อง เช่นเดียวกับการขนส่งทางอากาศ และจัดเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ ทำการ ตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี โดยมีระยะเวลาการตรวจวิเคราะห์ ตั้งแต่เมื่อจำลองการนำมะม่วงไปที่ลานขนถ่ายเข้าสู่ขนส่งทางอากาศที่ สนามบิน ขนส่ง ตลอดจนถึงการเก็บรักษา ซึ่งเป็นเวลาชั่วโมงที่ 0, 2, 26, 74, 122, 170, 218 และ 266 ชั่วโมง

ผลจากการศึกษานี้บ่งชี้ว่าอุณหภูมิที่บริเวณลานขนถ่ายหรือลานจอดเครื่องบินมีผลต่อคุณภาพของผลมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องมะม่วงที่ได้สัมผัสแสงแดดโดยไม่มี ฉนวนโพลีโพลีสไตรีนสูงกว่ากล่องที่หุ้มฉนวนโพลีโพลีสไตรีน โดยผลอุณหภูมิของมะม่วงจากสวนใน ฉะเชิงเทรามีค่า 28.1°C และ 36.9°C ตามลำดับ ส่วนผลของมะม่วงจากจังหวัดขอนแก่นมีค่า 34.2 °C และ 38.0°C ตามลำดับ งานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่ากล่องผลมะม่วงที่มีฉนวนโพลีโพลีสไตรีนช่วยลดผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการสัมผัสแสงแดดโดยตรงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยลดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ภายในกล่อง ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลมะม่วง ทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น 48 ชั่วโมงภายใต้สภาวะหุ้มฉนวนโพลีโพลีสไตรีนและสภาวะอุณหภูมิคงที่ในผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉนวนโพลีสไตรีนยังมีประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลไม้ ความแน่นเนื้อ ชะลอค่า Rupture force และรักษาคุณภาพสีเหลืองของเปลือกและเนื้อมะม่วง

ผลงานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นต้นแบบในการจัดการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองทางอากาศ เป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงานเชิงพาณิชย์ ส่งเสริมการส่งออกและลดการสูญเสียของผลิตผลสดที่มีมูลค่าสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A study of quality change in fresh mango fruits (<i>Mangifera indica</i> L. ‘Nam Dok Mai si thong’) under simulated air freight conditions
Student	Mr. Kraisuwit Srisawat
Student ID.	63601226
Degree	Master of Engineering
Program	Food and Agricultural Intelligence Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Pimpen Pornchaloempong

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica* L.) ‘Nam Dok Mai Si Thong’ is an important cultivar exported from Thailand. The majority of exports are transported by air. This research focuses on the effects of various temperature conditions at the loading area (tarmac) on the quality of fresh mango fruits. The simulation focuses on the air freight time required to transport mango fruits from Suvarnabhumi Airport, Thailand, to Paris Charles de Gaulle Airport, France.

Nam Dok Mai Si Thong mangoes with a commercial maturity level of 80–85% maturity were harvested 92–95 days after flowering. The mangoes were selected according to the Thai Agriculture Standard for export mangoes. The fruits were divided into three groups for different treatments: (1) being placed in a 20 °C temperature room throughout the shelf life; (2) being placed outdoors ($\approx 40\pm 5^{\circ}\text{C}$) without Polystyrene insulation covered; and (3) being placed outdoors ($\approx 40\pm 5^{\circ}\text{C}$) with Polystyrene insulation covered. The mangoes were sourced from two different periods: the first harvest from Chachoengsao province and the second harvest from Khon Kaen province.

Mangoes were collected, graded, packed, and transported to the packing house in Nakhon Pathom province. At the packing house, the fruits underwent cleaning and were subjected to hot water treatments to comply with EU mango import regulations for fruit fly control. Therefore, the mangoes were packed in boxes for air transport and stored in a temperature-controlled room. The physical and chemical quality analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

was performed at various stages: prior to simulation at the tarmac, after simulation at the tarmac, after transportation by airplane, and throughout the shelf life at 0, 2, 26, 74, 122, 170, 218, and 266 hours.

The results of this study indicate that the temperature on the tarmac has a significant impact on the quality of mango fruit. The average temperature inside the mango boxes exposed to sunlight without polystyrene insulation was higher compared to boxes with polystyrene insulation. For mango boxes from Chachoengsao, the temperatures were 28.1 °C and 36.9 °C, respectively, while for those from Khon Kaen, the temperatures were 34.2 °C and 38.0 °C, respectively. This research demonstrates that the insulation of mango fruit boxes helps mitigate the detrimental effects of direct sunlight exposure for 2 hours by reducing temperature increases. This, in turn, extends the shelf life and maintains the quality of the mango fruit. Shelf life was extended by 48 hours under polystyrene-insulated conditions. Insulation proved effective in delaying fruit weight loss, preserving fruit firmness, maintaining rupture force, and preserving the yellow color of the peel and pulp.

Therefore, this research can be applied to regulate the air transportation of 'Nam Dok Mai Si Thong' mangoes. This information can enhance operational business procedures, promote exports, and reduce the loss of valuable fresh commodities.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปานมนัส ศิริสมบุรณ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ชาวเมือง และ Dr.Umed Kumar Pun ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับความรู้ การทดลอง ตลอดจนการเขียนบทความและวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา ไชยวงศ์ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณคุณวิระชัย ประทักษ์วิริยะ กรรมการผู้จัดการ บริษัท วี.เอส.พี.ริชท์ จำกัด., คุณทิพย์สุดา พรหมน้ำทรัพย์ ตำแหน่ง Quality & Operation Manager ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี.เค.เค. ฟู้ด. และคุณศรณารายณ์ ภูพาที่ ร้าน ภ.สมบุรณ์ทรัพย์ ตลาดสี่มุมเมือง ที่ได้สนับสนุนเกี่ยวกับกระบวนการจัดการมะม่วงที่โรงคัดบรรจุ การส่งออกมะม่วงและคำแนะนำเกี่ยวกับความรู้ในเรื่องมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ขอขอบคุณคุณนิติ เมตตาและคุณสุกัญญา อิสลามชาติไทย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการจัดทำบทความวิชาการและเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ขอขอบคุณคุณอลิสา สุนทรวัฒน์และพี่ก๊วง ที่ให้คำแนะนำในด้านภาษาอังกฤษ

ขอขอบพระคุณ หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ(บพข.) สำหรับโครงการ “การจัดการระบบโซ่ความเย็นและการกระจายอุณหภูมิในระบบโลจิสติกส์เพื่อสร้างมาตรฐานรับรองการขนส่งผลผลิตเกษตรพรีเมียมทางอากาศ” และกองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับโครงการ “การศึกษาความเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังจากการจำลองขนส่งทางอากาศ” ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร อัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ FACTory Classroom ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อน ประจำห้องปฏิบัติการ FACTory Classroom บัณฑิตศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

สำหรับความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ไกรสุวิทย์ ศรีสวัสดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลVต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	v
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง.....	5
2.2 การขนส่งทางอากาศ.....	7
2.2.1 การขนส่งผักและผลไม้สดทางอากาศ.....	7
2.2.2 ขั้นตอนการส่งออกมะม่วงทางอากาศ.....	11
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและการสูญเสียผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว.....	16
2.3.1 ดัชนีการเก็บเกี่ยว.....	16
2.3.2 การเก็บเกี่ยวผลผลิต.....	19
2.3.3 กระบวนการบรรจุ.....	19
2.3.4 การขนส่ง.....	27
2.3.5 อุณหภูมิ.....	28
2.3.6 ความชื้นและองค์ประกอบของบรรยากาศ.....	31
2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงหลังเก็บเกี่ยว.....	32
2.4.1 การหายใจและการผลิตเอทิลีน.....	32
2.4.2 การสูญเสียน้ำหนักและการคายน้ำของผล.....	35
2.4.3 อาการสะท้อนหนาว.....	36
2.4.4 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส.....	37
2.4.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้.....	38
2.4.6 ปริมาณกรด.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และVIต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.7 การเปลี่ยนแปลง pH.....	40
2.4.8 การเปลี่ยนแปลงสี.....	40
2.4.9 โรคหลังการเก็บเกี่ยว.....	41
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ.....	42
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	44
3.1 วัตถุประสงค์.....	44
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	44
3.3 วิธีการ.....	45
3.3.1 การเตรียมมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง.....	45
3.3.2 การจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ.....	48
3.3.3 วิธีการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	50
3.3.4 อายุการเก็บรักษา.....	50
3.3.5 การสูญเสียน้ำหนัก Weight Loss.....	50
3.3.6 การวัดความหนาแน่นเนื้อ Firmness.....	51
3.3.7 การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) การวัดปริมาณกรด (Acidity) และค่า pH.....	52
3.3.8 การวัดสีเปลือกและเนื้อ.....	54
3.3.9 การประเมินคุณภาพมะม่วงด้วยระดับคะแนน.....	55
3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis).....	56
3.5 สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย.....	57
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย.....	58
4.1 อุดมภูมิ.....	58
4.2 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%Weight Loss).....	61
4.3 ความหนาแน่นเนื้อ (Firmness).....	63
4.3.1 การตรวจวัดแบบไม่ทำลาย.....	63
4.3.2 การตรวจวัดความหนาแน่นเนื้อแบบทำลาย.....	65
4.4 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ความเป็นกรด (Acidity) และ pH.....	67
4.5 ผลของสีเปลือกและเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง.....	69
4.6 การประเมินคุณภาพมะม่วงด้วยระดับคะแนน.....	76
4.7 อายุการเก็บรักษา Shelf life.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.8 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ	79
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	83
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	83
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
บรรณานุกรม.....	84
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก ภาพการสำรวจสวนมะม่วง โรงเรียนบรจรู และท่าอากาศยาน	103
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง.....	107
ภาคผนวก ค งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	121
ประวัติผู้เขียน.....	145



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อุปกรณ์สำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งทางอากาศ.....	10
2.2 กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองของบริษัท P.K.Siam	11
2.3 การขนส่งทางอากาศเที่ยวบินตรงจากสนามบินสุวรรณภูมิ ประเทศไทยไปยังสนามบินชาร์ลเดอโกล สาธารณรัฐฝรั่งเศส.....	15
2.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในระหว่างการเก็บเกี่ยวและขนส่ง.....	16
2.5 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมของการจุ่มในน้ำร้อนฆ่าเชื้อสำหรับผลไม้บางชนิด.....	21
2.6 ขนาดของมะม่วง.....	25
3.1 กิจกรรมและระยะเวลาจากสวนจนถึงก่อนการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ.....	47
3.2 การจำลองสภาวะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง.....	49
4.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะต่าง ๆ.....	58
4.2 การสูญเสียน้ำหนัก (%) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการจัดการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ.....	62
4.3 อายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงหลังการจัดการจำลองที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน.....	79
4.4 บอกลักษณะประสิทธิภาพของสมการในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1.....	80
4.5 บอกลักษณะค่าในการสร้างสมการในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1.....	80
4.6 บอกลักษณะประสิทธิภาพของสมการในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2.....	81
4.7 บอกลักษณะค่าในการสร้างสมการในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลX'องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 (a) ต้นมะม่วงน้ำดอกไม้ และ (b) ผลมะม่วงน้ำดอกไม้	6
2.2 ช่วงอายุของมะม่วงสด.....	6
2.3 ฤดูกาลเก็บเกี่ยวมะม่วงในแต่ละภาคของประเทศไทย	6
2.4 ลักษณะตู้สินค้าและแท่นรองสินค้าบางชนิดสำหรับการขนส่งทางเครื่องบิน.....	8
2.5 การขนส่งอาหารที่เน่าเสียผ่านสนามบิน: (A) การขนส่งทางบกไปยังสนามบิน; (B) การดำเนินการภายในอาคารเก็บสินค้าและการปฏิบัติการบนลานโหลดก่อนเที่ยวบิน (C) การดำเนินงานของเที่ยวบินและสนามบินหลังจากการลงจอดของเครื่องบิน; (D) และการดำเนินงานสนามบินก่อนการขนส่งทางบกไปยังศูนย์กระจายสินค้า.....	9
2.6 (a) โซ่อุปทานของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลี	13
2.6 (b) โซ่อุปทานของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลีใน ส่วน กิจกรรมโซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกร	13
2.6 (c) โซ่อุปทานของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลีใน ส่วน กิจกรรมโซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องกับวิสาหกิจชุมชน	14
2.6 (d) โซ่อุปทานของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลีใน ส่วน กิจกรรมโซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องกับบริษัทส่งออก.....	14
2.7 การส่งออกมะม่วงผลสดไปสหภาพยุโรป	15
2.8 ลักษณะของผลมะม่วงแก่ (A) และอ่อน (B)	17
2.9 ลักษณะของผลมะม่วงสุกที่ได้จากมะม่วงแก่ (A) และมะม่วงอ่อน (B)	17
2.10 มะม่วงที่จมน้ำ (A) และลอย (B) ในน้ำหรือน้ำเกลือ	18
2.11 การจุ่มน้ำร้อนของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองของ บริษัท วี.เอส.พี.รีซเก้ จำกัด ตาม ข้อกำหนดเพื่อการส่งออกยุโรป	21
2.12 เพลี้ยแป้งบนมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง	22
2.13 ตำหนิที่รุนแรงในมะม่วง	23
2.14 ตำหนิที่ไม่รุนแรงในมะม่วง	23
2.15 การบรรจุกล่องของมะม่วงสำหรับการส่งออกทางอากาศ.....	26
2.16 รถกระบะขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในเวลากลางคืน	28
2.17 การที่มะม่วงสัมผัสกับแสงแดดทำให้เหี่ยวเฉาและสูญเสียน้ำหนัก	35
2.18 ตัวอย่างการเกิดอาการสะท้อนหนาวในมะม่วงการขนส่งทางอากาศ.....	36
2.19 คุณลักษณะกายภาพและชีวภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่แต่ละระยะสุก	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.1 การขนส่งมะม่วงและขั้นตอนการจัดการมะม่วงเพื่อจำลองการขนส่งทางอากาศ	46
3.2 การจัดเรียงมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองขนาด 350-450 กรัมต่อลูก ภายในกล่องสำหรับการขนส่งทางอากาศขนาด 5 กิโลกรัมต่อกล่อง	46
3.3 การจัดเรียงกล่องมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสำหรับการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศในแต่ละทรีทเมนต์.....	47
3.4 การจำลองสภาวะแวดล้อมกล่องบรรจุมะม่วงในช่วงลานโหลดที่สนามบินที่ขนถ่ายมะม่วงเข้าเครื่องบินระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดย (A) 1 st Treatment คือตัวควบคุมคลุมด้วยถุงพลาสติก LDPE ที่ห้องอุณหภูมิ 20 °C (B) 2 nd treatment คลุมด้วยถุงพลาสติก LDPE และ(C)3 rd treatment คลุมด้วย LDPE กับฉนวน polystyrene foam ที่อุณหภูมิกลางแจ้ง.....	48
3.5 (A) ขนาดกล่องโฟมโพลีสไตรีนหนา 2.54 ซม. (B) สภาวะการวางกลางแจ้งหุ้มพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตรโดยไม่มีกล่องโฟมโพลีสไตรีน.....	49
3.6 การจัดเรียงกล่องบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและตำแหน่งการวางอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	50
3.7 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบดิจิตอล 6,200 g x 0.01 ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Shimadzu UX6200H	51
3.8 (A) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (รุ่น TA-HD.Plus, Stable Micro Systems, UK),(B) หัวกดสแตนเลสสตีลทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (P/5).....	51
3.9 การวางมะม่วงในถาดที่มีทรายละเอียด และการตรวจวัดเนื้อสัมผัส.....	52
3.10 เครื่อง Brix-Acidity Meter ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL-BXIACID1.....	52
3.11 การเจือจางน้ำมะม่วงที่อัตราส่วน 1:50 เพื่อใช้สำหรับวัดค่า Acidity.....	53
3.12 (A) การวัดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (B) การวัดค่า Acidity	53
3.13 เครื่องวัด pH ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Starter 300 pH Portable, ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	53
3.14 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Hunter Associates Laboratory Inc รุ่น MiniScan EZ 4500L	54
3.15 (A) การแบ่งด้านของมะม่วง Penchaiya et al. [118] (B) บริเวณการวัดสี.....	54
3.16 ระดับคะแนนสีเปลือกมะม่วง.....	55
3.17 ระดับคะแนนความเหี่ยวเฉา.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และXifongอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.18 ระดับคะแนนความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว.....	56
4.1 (a) อุณหภูมิการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (b) อุณหภูมิการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ในกล่องผล มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและ กล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน.....	60
4.2. (a) ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อจากการวัดความหนาแน่นแบบไม่ทำลาย(รวม เปลือก) และ (b) ค่าเฉลี่ยของ Toughness จากการวัดความหนาแน่นแบบไม่ทำลาย (รวมเปลือก)ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่อง ที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่ สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็น เวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n = 3$)	64
4.3. (a) ค่าเฉลี่ย initial firmness (b) ค่าเฉลี่ย average firmness (c) ค่าเฉลี่ย rupture force และ (d) ค่าเฉลี่ย toughness จากการวัดความหนาแน่นแบบทำลาย(ไม่ รวมเปลือก) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ในสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่, กล่องที่ไม่มี ฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผล มะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จะถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n = 3$)	66
4.4. (a) ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids), (b) ความเป็นกรด (acidity) และ (c) pH of mango fruits ('Nam Dok Mai Si thong') ของผลมะม่วง น้ำดอกไม้สีทอง จากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมี ฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการ เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมด เป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=5$).....	68
4.5 (a) L^* , (b) a^* และ (c) b^* ของเปลือกผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีจากค่าสภาวะห้องที่ อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บ รักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.($n=3$).....	71
4.6 (a) L^* , (b) a^* และ (c) b^* ของเนื้อใกล้เมล็ดผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีจากค่าสภาวะ ห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการ จัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.($n=3$).....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และXII้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.7 สีเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจาก (a) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และ (b) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 จากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน หลังจากนั้นถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง.....	73
4.8 สีเนื้อใกล้เมล็ดของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจาก (a) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และ (b) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 จากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน หลังจากนั้นถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง.....	74
4.9 ค่า Yellowness ของ (a) เปลือก และ (b) เนื้อใกล้เมล็ด ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=3).....	75
4.10 ค่าคะแนนตรวจพิจารณาด้วยสายตาสีเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=10).....	76
4.11 ค่าคะแนนตรวจพิจารณาความเหี่ยวเฉาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=10).....	77
4.12 ค่าระดับคะแนนความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=10).....	78
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS (Total Soluble Solids) ที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการของมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1.....	81
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS (Total Soluble Solids) ที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการของมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2.....	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้เขตร้อนที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย [1] เป็นหนึ่งในผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจต่อประเทศในภูมิภาคเขตร้อน และเป็นหนึ่งในผลไม้เมืองร้อนที่สำคัญที่ได้รับความนิยมในตลาด [2,3] ในปี พ.ศ. 2563 ปริมาณการผลิตมะม่วงในโลกสูงถึง 54.83 ล้านตัน [4] โดยทั่วโลกมีมูลค่าการส่งออกมากกว่า 2 หมื่นล้านดอลลาร์สหรัฐหรือราว 7.4 แสนล้านบาท [5] ปัจจุบันมีการปลูกมะม่วงใน 87 ประเทศทั่วโลก รวมทั้งหลายประเทศในเอเชีย โดยมะม่วงเป็นพืชผลที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายมากเป็นอันดับที่ 6 ของโลก และประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 10 ของผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดในปี 2562-2563 [6-8] ในปี พ.ศ. 2564 พื้นที่ปลูกมะม่วงในประเทศไทยมีทั้งหมด 913,854.20 ไร่ ให้ผลผลิตมากกว่า 906,000 ตัน [9] มะม่วงถูกส่งออกไปยังต่างประเทศจำนวนมาก โดยการส่งออกมะม่วงสดหรือแช่เย็นจนแข็งของไทยมีปริมาณ 116,850 ตัน มีมูลค่ากว่า 3,367 ล้านบาทในปี 2564 [10] ประเทศไทยมีมะม่วงหลายพันธุ์และมีการปลูกในเชิงพาณิชย์มากกว่า 60 ชนิด [11] แต่อย่างไรก็ตาม มะม่วงพันธุ์หนึ่งที่สำคัญและมีการส่งออกเป็นลำดับต้น ๆ ของไทยคือ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง [12] ซึ่งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองนั้นจะมีลักษณะคล้ายมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ แต่ผิวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจะมีสีเหลืองและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองเมื่อสุก มะม่วงพันธุ์นี้มีจะมีกลิ่นหอม รสหวาน เนื้อนุ่ม และมีเส้นใยน้อย [13] ทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีศักยภาพในการส่งออกมาก [14]

คุณภาพทั้งภายในและภายนอกของผลมะม่วงเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการยอมรับของผู้บริโภค [15] โดยคุณภาพของมะม่วงนั้นควบคุมได้ยากเพราะมะม่วงเป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่ายซึ่งมะม่วงนั้นจะสุกเร็วหลังการเก็บเกี่ยว [7] จากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม โรคหลังการเก็บเกี่ยว และอาการสะท้านหนาว [2,16] การสูญเสียคุณภาพของผลไม้สดหรือการไม่ยอมรับของสินค้าทั้งหมดอาจเป็นผลมาจากการใช้อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมระหว่างการจัดการ [17] ดังนั้นเทคนิคการจัดการและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการสูญเสียผลมะม่วง โดยใช้การดูแลที่เหมาะสม ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในระหว่างการขนถ่าย และการเก็บรักษาเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกไปยังประเทศอื่น ๆ [2,18,19]

ประเทศไทยมีการส่งออกมะม่วงไปต่างประเทศจำนวนมาก แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือคุณภาพของมะม่วงเมื่อถึงปลายทางมีการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ซื้อสินค้า ทำให้ประเทศไทยไม่สามารถแข่งขันกับประเทศอื่นในตลาดโลกได้ ซึ่งการเสื่อมคุณภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลของปัจจัยต่างๆ ในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มกิจกรรมต่างๆ ที่มีความเชื่อมโยงกัน เช่น

การปลูก, การจัดการสินค้า, การขนส่ง, การขาย และการบริโภค โดยปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสื่อมคุณภาพ ซึ่งปัจจัยที่มีผลได้แก่ กระบวนการบรรจุ การขนส่ง และรวมถึงปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นและองค์ประกอบของบรรยากาศ โดยเฉพาะอุณหภูมิจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลิตผลเกิดการเสื่อมเสียและเป็นตัวส่งเสริมปัจจัยอื่น [20]

ในการขนส่งทางเครื่องบิน การเสื่อมคุณภาพของผลไม้รวมถึงการไม่ยอมรับของผู้บริโภค สาเหตุมาจากอุณหภูมิในช่วงการจัดการ ในช่วงขั้นตอนการจัดการปกติ เช่น การนำขึ้นเครื่องบิน นำลงจากเครื่องบิน หรือขนส่งด้วยรถบรรทุก การเก็บที่โกดังและสถานที่จำหน่าย ผลไม้และผักส่วนมากมักจะสัมผัสกับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมหรือเนื่องจากความยากลำบากในการควบคุมอุณหภูมิ ไม่มีเครื่องแช่ หรือขาดข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าตัวอย่าง อุณหภูมิระหว่างการขนส่งทางอากาศของอาหารที่เน่าเสียง่ายบ่งชี้ถึงการควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม มีการประมาณว่าใช้เวลาขนส่งทางอากาศเพียงประมาณครึ่งหนึ่งในการบิน ในช่วงเวลาอีกครั้งหนึ่ง อาหารที่เน่าเสียง่ายจะถูกขนส่งไปหรือกลับจากสนามบิน เก็บไว้ที่สนามบิน หรือโหลดเข้าหรือออกจากเครื่องบินบนลานโหลดของสนามบิน [21] อุณหภูมิที่สูงสามารถเกิดขึ้นได้ภายใน Unit Loading Devices (ULD) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออาหารที่เน่าเสียง่ายอยู่บนพื้นราบก่อนที่จะโหลดขึ้นเครื่องบิน: บนพื้นลาดยาง อุณหภูมิที่สูงมากถึง $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ สามารถสังเกตเห็นได้ ขึ้นอยู่กับสถานที่หรือฤดูกาล [17,22,23] นอกจากนี้ยังมี การศึกษาของ Villeneuve *et al.* [24] ที่รายงานการเกิดขึ้นของความแตกต่างประมาณ $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใน ULD ระหว่างสถานการณ์ที่แย่ที่สุดและดีที่สุด การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน ULD ระหว่างการดำเนินงานของสนามบินอาจเกิดจากการมีอุปกรณ์ทำความเย็นและเคลื่อนย้ายที่สนามบิน ประเภทของ ULD ที่ใช้ในการขนส่งของเน่าเสียง่าย (พลาสติก โลหะ หรือฉนวน) ความล่าช้าของเที่ยวบิน รั้งสีดวงอาทิตย์บนพื้นลานโหลดสินค้าที่สนามบิน และตำแหน่งของสนามบิน [24–26]

ความยากลำบากในการควบคุมอุณหภูมิระหว่างขั้นตอนการจัดการตามปกติ เช่น การขนถ่าย การขนส่งทางอากาศหรือรถบรรทุก การจัดเก็บในคลังสินค้าและการค้าปลีก ส่งผลกระทบต่อผักและผลไม้ ซึ่งมักเผชิญกับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม การสังเกตที่สนามบินไม่อาจแสดงให้เห็นว่าตู้คอนเทนเนอร์ที่มีผักผลไม้สดถูกเก็บไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือสูงกว่าก่อนที่จะโหลดขึ้นเครื่องบิน [17] นอกจากนี้ อุณหภูมิที่ผันผวนระหว่างการจำหน่ายผักและผลไม้สดอาจส่งผลเสียต่อคุณภาพ ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาก่อนหน้านี้ Nunes และ Emond เมื่อปี 1999 พบว่าสตรอเบอร์รี่ที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง การสูญเสียน้ำหนักที่มากกว่า ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณน้ำตาลที่น้อยกว่าการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิคงที่ นอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงยังทำให้น้ำเกาะตัวอยู่ที่ผิวของสตรอเบอร์รี่ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราและแบคทีเรีย [27]

จากรายงานที่ผ่านมาจะพบการวิจัยเกี่ยวกับการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิที่แตกต่างกันหรืออุณหภูมิผันผวนในการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ทั้งของมะละกอ [17] สตรอเบอร์รี่ [27, 89] Snap beans [147] หรือการจำลองสภาวะการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง [14] แต่ยังไม่มีการ

จำลองสภาวะการขนส่งโดยใช้มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ผ่านกระบวนการจัดการสำหรับการส่งออกจริง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบแจ้งระเบียบขั้นตอนการรับ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้จำลองสภาวะอุณหภูมิการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้จากการขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน เพื่อประเมินผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันในพื้นที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน และระยะทางที่ต่างกันจากพื้นที่ผลิตมะม่วงต่อคุณภาพของมะม่วงในเรื่องการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรด ความเป็นกรด-ด่าง การเปลี่ยนสีของเปลือกและเนื้อมะม่วงใกล้เมล็ดและการประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น ได้แก่ สีเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง อาการเหี่ยวของผล และการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองทางอากาศ และสามารถนำไปปรับใช้สำหรับการจัดการผลผลิตอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงหรือประยุกต์ใช้ในการขนส่งแบบโซ่ความเย็น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลอุณหภูมิบริเวณลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินในการขนส่งทางอากาศ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง
2. เพื่อกำหนดปัจจัยทางคุณภาพที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจยอมรับและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 มะม่วงที่ใช้ในการทดลองคือมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระยะแก่ทางการค้า และได้รับมาตรฐานสำหรับการส่งออกไปยังต่างประเทศ ซึ่งเป็นผลมะม่วงที่มีระยะความสุกหรือความบริบูรณ์ประมาณ 80-85% (92-95 วันหลังดอกบาน)

1.3.2 ปัจจัยที่ศึกษาคือสภาวะการจำลองอุณหภูมิที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ซึ่งมี 3 ระดับ คือ 1) วางไว้ที่อุณหภูมิคงที่ (20°C) 2) วางไว้ที่อุณหภูมิภายนอก ($\approx 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และไม่มีการหุ้มฉนวนโฟมโพลีสไตรีน 3) วางไว้ที่อุณหภูมิภายนอก ($\approx 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และมีการหุ้มฉนวนโพลีสไตรีนกันความร้อน

1.3.3 ค่าคุณภาพที่ตรวจสอบ ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) ปริมาณกรด (acidity) ความเป็นกรด-ด่าง การวัดค่าสีของเปลือกและสีเนื้อมะม่วงใกล้เมล็ดในระบบ CIE L^*, a^*, b^* การประเมินด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น ได้แก่ สีเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง อาการเหี่ยวของผล และความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบผลของสภาวะอุณหภูมิ ที่บริเวณลานขนถ่ายสินค้าเข้าสู่ขนส่งทางอากาศในกรณีศึกษาการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากประเทศไทยไปยังสาธารณรัฐฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2 สามารถกำหนดปัจจัยทางคุณภาพที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจยอมรับและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

มะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* Linn. cv. 'Nam Dok Mai' ลักษณะทรงผลค่อนข้างกลมยาว มีความกว้างเฉลี่ย 7.2 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 16 เซนติเมตร และความหนาเฉลี่ย 6.9 เซนติเมตร มีน้ำหนักต่อผลเฉลี่ยประมาณ 330 กรัมมีระยะตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 110-120 วัน เมื่อผลสุกเปลือกจะมีสีเหลือง [31] ดังแสดงในภาพที่ 2.1 เนื้อจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองนวล ฉ่ำน้ำ รสหวานจัด มีกลิ่นหอม มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 17-19 °Brix เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติของประเทศไทย (ประมาณ 25-35 °C) 4-5 วัน มะม่วงก็จะเน่าเสีย ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็นที่นิยมปลูกกันทั่วไปในประเทศไทยและปลูกมากที่จังหวัดพิษณุโลก เชียงใหม่ ประจวบคีรีขันธ์ สุพรรณบุรี เพชรบูรณ์ และฉะเชิงเทรา [32] โดยเฉพาะจังหวัดฉะเชิงเทราเป็นแหล่งผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ที่สำคัญเป็น 1 ใน 5 จังหวัดที่มีการปลูกมะม่วงมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากดินบริเวณนี้เหมาะสำหรับปลูกมะม่วงและสร้างชื่อเสียงมากทั้งในระดับประเทศและทั่วโลก [33] นอกจากนี้ จังหวัดที่สำคัญอีกหนึ่งจังหวัดคือขอนแก่น ซึ่งจังหวัดขอนแก่นนับเป็นหนึ่งในผู้ผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองรายใหญ่ โดยประมาณ 10% ของการส่งออกทั้งหมดมาจากจังหวัดขอนแก่น [34] ในกระบวนการเก็บรักษาและขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้จำเป็นต้องระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้เปลือกบางจึงบอบช้ำได้ง่ายและไม่ค่อยต้านทานต่อโรคแอนแทรกโนส (Anthracnose, โรคเชื้อราในผลไม้) [35]

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองนั้นจะมีลักษณะคล้ายมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ แต่ผลดิบจะมีสีผิวเป็นสีเหลืองอ่อนคล้ายมะม่วงสุกทั้งที่ผลยังอ่อนอยู่ (2-3 เดือน หลังดอกบาน) แต่ผิวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจะมีสีเหลืองและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองเมื่อสุก ซึ่งผลมะม่วงทั่วไปจะมีผิวสีเขียวในขณะดิบ ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีผิวที่หนากว่าผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้ มีเปลือกหนาประมาณ 0.17-0.19 cm. [36] ส่งผลให้ป้องกันการช้ำและต้านทานโรคแอนแทรกโนสได้ดีกว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ทนทานต่อการขนส่ง รสชาติผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อผลอ่อนมีรสเปรี้ยว ผลแก่มีรสมันเนื้อกรอบ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids) 17-18 % มะม่วงพันธุ์นี้จะมีกลิ่นหอม รสหวาน ไม่มีเสี้ยน เนื้อฉ่ำมีสีเหลือง เมล็ดบาง น้ำหนักต่อผลประมาณ 300-440 กรัม [13-14,37-39] ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดและมีศักยภาพในการส่งออกโดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และยุโรป [2-3,14,37]

ข้อมูลการเพาะปลูกมะม่วงของไทยในปี 2564 พบว่า มีพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดประมาณ 1913,854.20 ไร่ มีผลผลิตมากกว่า 906,000 ตัน [9] ซึ่งฤดูการเก็บเกี่ยวจะเริ่มตั้งแต่ช่วงเดือน

พฤศจิกายน-มิถุนายน โดยเริ่มจากพื้นที่ภาคใต้ คือ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ไล่ขึ้นมาเป็นโซนภาค

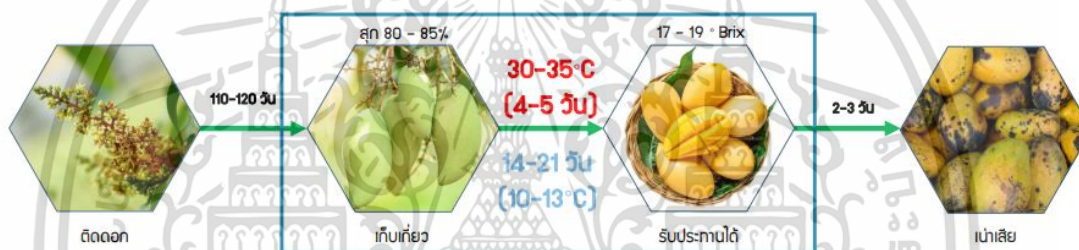
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

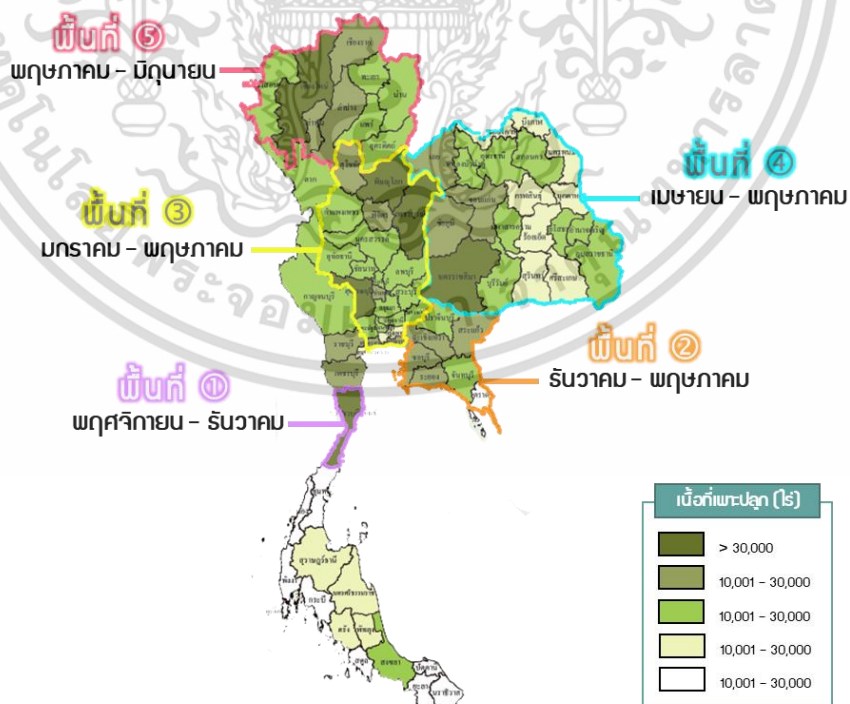
ตะวันออก ตะวันออกเฉียงเหนือ มาทางภาคกลาง และภาคเหนือตามลำดับ [40] ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.1 (a) ต้นมะม่วงน้ำดอกไม้ และ (b) ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ [31]



ภาพที่ 2.2 ช่วงอายุของมะม่วงสด



ภาพที่ 2.3 ฤดูการเก็บเกี่ยวมะม่วงในแต่ละภาคของประเทศไทย [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่ประเทศไทยมีการส่งออกมะม่วงไปต่างประเทศจำนวนมาก แต่มักเกิดปัญหา คือ คุณภาพของมะม่วงเมื่อถึงปลายทางมีการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว มีลักษณะปรากฏที่ไม่ดี ผู้บริโภคต้องการสินค้าที่มีคุณภาพ ส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ซื้อสินค้า ซึ่งการเสื่อมคุณภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลของปัจจัยต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน(Supply chain) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มกิจกรรมต่างๆ ที่มีความเชื่อมโยงกัน [20]

2.2 การขนส่งทางอากาศ

2.2.1 การขนส่งผักและผลไม้สดทางอากาศ

การขนส่งผักผลไม้ทางเครื่องบินเป็นการขนส่งที่ใช้เวลานานที่สุด แต่ก็มีความคุ้มค่าสูงที่สุด [41,42] ในการขนส่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ยาก โดยการขนส่งทางรถบรรทุกและทางเรือสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่การขนส่งถ้าระยะไกลอาจใช้เวลานานทำให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น ขณะที่การขนส่งทางอากาศโดยเครื่องบินจะใช้เวลาที่สั้นแต่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ โดยอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลง ในระหว่างการขนส่งทางเครื่องบินและกระบวนการขนย้ายไปสู่ตลาด [43] เหตุที่การขนส่งทางเครื่องบินควบคุมอุณหภูมิได้ค่อนข้างน้อย เนื่องจากอาศัยอากาศเย็นจากภายนอกให้ไหลผ่านส่วนของเครื่องยนต์ แล้วจึงผ่านเข้าไปในห้องผู้โดยสารหรือห้องบรรจุสินค้าทางด้านหน้าก่อนที่จะผ่านออกจากเครื่องไปในตอนท้าย สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำสุด 7 °C ในวันที่ร้อนจัดและสูงสุดได้ 25 °C ในวันที่เย็นจัด ตู้สินค้าสำหรับบรรทุกสินค้าขึ้นเครื่องบินส่วนใหญ่ไม่มีเครื่องทำความเย็น บางแบบที่มีเครื่องทำความเย็นก็ใช้เฉพาะก่อนการบรรทุกขึ้นเครื่องบินเท่านั้น ทั้งนี้เพราะการระบายความร้อนออกจาก Condenser ในเครื่องบินที่มีการปรับความดันทำได้ยาก นอกจากนี้บนเครื่องบินยังมีความชื้นต่ำในขณะที่เครื่องบินอยู่สูง 10,000 เมตร สามารถรักษาระดับความดันภายในเครื่องไว้ได้เพียง 600-650 มม.ปรอท ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น 20% เมื่อเทียบกับอัตราปกติ

ปัญหาสำคัญของการขนส่งทางเครื่องบินอีกประการหนึ่งคือ ความล่าช้า ณ ท่าอากาศยานในระหว่างการรอขนผักและผลไม้ขึ้นหรือลงจากเครื่อง ซึ่งต้องผ่านพิธีการทางศุลกากรและด่านกักกันพืชที่มีระยะเวลาในการขนส่งโดยทางเครื่องบินนี้ ส่วนใหญ่มักบรรจุในตู้สินค้าอะลูมิเนียมซึ่งมีรูปร่างหลายแบบที่เหมาะสมกับการบรรทุกขึ้นเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะตู้สินค้าและแท่นรองสินค้าบางชนิดสำหรับการขนส่งทางเครื่องบิน [44] การขนส่งจากประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ตู้สินค้าแบบ LD3 เพราะเป็นการขนส่งไปพร้อมกับการขนส่งผู้โดยสาร ตู้สินค้าแบบนี้จะใช้บรรทุกในส่วนล่างของเครื่องบิน ใต้ห้องผู้โดยสาร สำหรับเครื่องบินเพื่อการบรรทุกโดยเฉพาะหรือที่เรียกว่า Air Freighter นั้น มักใช้มากในฤดูทุเรียนและลำไย สามารถบรรทุกได้ถึงครั้งละ 120 ตัน

การบรรจุสินค้าเพื่อการขนส่งทางเครื่องบินอีกรูปแบบหนึ่งคือ การใช้แท่นรองสินค้า (pallet) ซึ่งเป็นแผ่นอะลูมิเนียมขนาดใหญ่หนาประมาณ 1.5 cm. สินค้าหรือผักและผลไม้จะถูกวางลงบนแท่นรองสินค้านี้ แล้วคลุมด้วยตาข่ายผูกยึดให้แน่นกับตัวแท่นรองสินค้า การจัดเรียงภาชนะบรรจุผักและผลไม้ต้องจัดให้ได้รับตรงตามรูปร่างของเครื่องบินด้วย

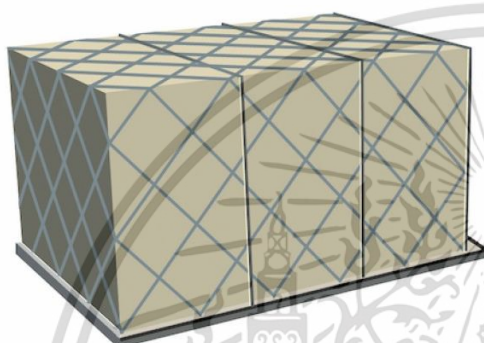
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) LD-3 Container



(b) Cooltainer



(c) Pallet with Net: PLA

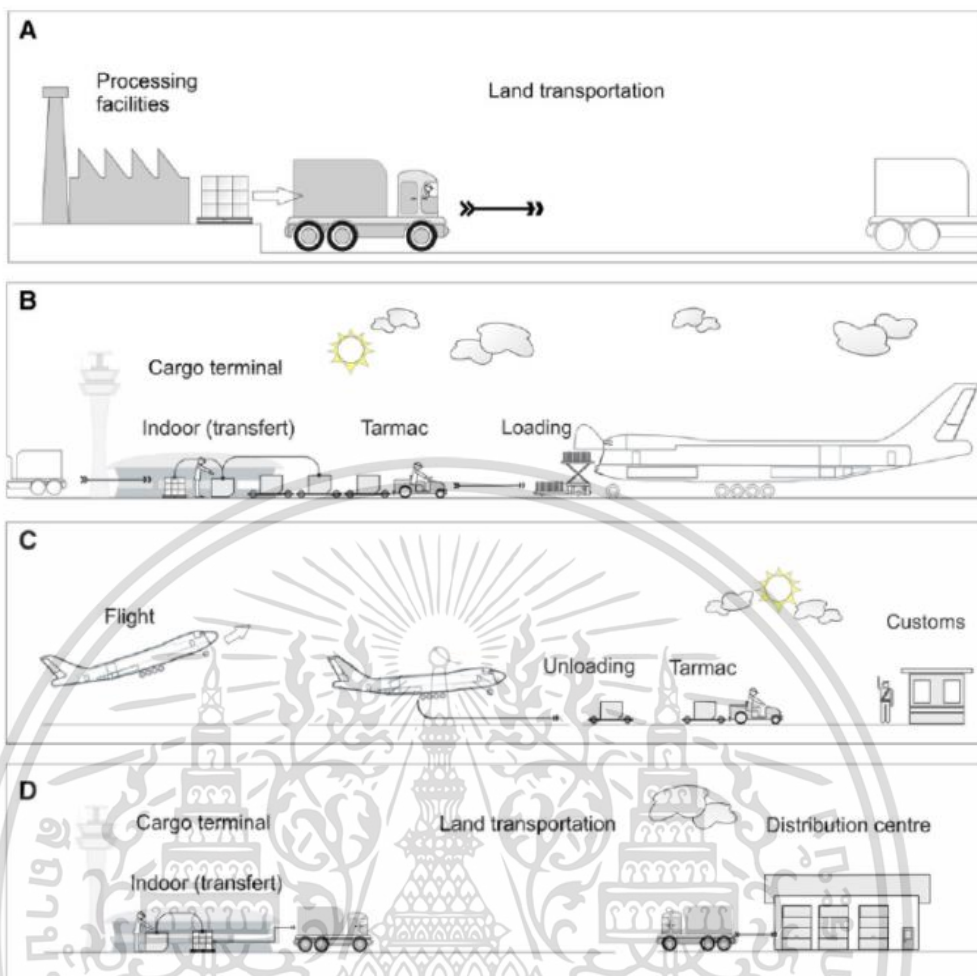


(d) LD-6

ภาพที่ 2.4 ลักษณะตู้สินค้าและแท่นรองสินค้าบางชนิดสำหรับการขนส่งทางเครื่องบิน

ในภาพที่ 2.5 ของ Samuel Mercier [22] ได้แสดงถึงการขนส่งอาหารที่เน่าเสียง่ายผ่านสนามบิน ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง ซึ่งมีงานวิจัยของ Villeneuve *et al.* [45] ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในระหว่างการขนส่งสตรอเบอร์รี่โดยรถบรรทุกและเรือจะค่อนข้างคงที่ที่อุณหภูมิ 3-7 °C จนกว่าจะถึงจุดวางขาย แต่เวลาในการขนส่งใช้เวลารวมกันถึง 186 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิในระหว่างการขนส่งทางเครื่องบินจะเปลี่ยนแปลงไปสู่อุณหภูมิที่สูงขึ้นในระหว่างการขึ้นเครื่องบิน ซึ่งสูงถึง 20 °C แต่เวลาในการขนส่งใช้เวลารวม 109 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าการขนส่งทางเรือและรถบรรทุก โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะทำให้ผลผลิตเกิดการเสื่อมเสียของคุณภาพที่รวดเร็วกว่าการที่มีอุณหภูมิคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 การขนส่งอาหารที่เน่าเสียง่ายผ่านสนามบิน: (A) การขนส่งทางบกไปยังสนามบิน; (B) การดำเนินการภายในอาคารเก็บสินค้าและการปฏิบัติการบนลานโหลดก่อนเที่ยวบิน ; (C) การดำเนินงานของเที่ยวบินและสนามบินหลังจากการลงจอดของเครื่องบิน; (D) และการดำเนินงานสนามบินก่อนการขนส่งทางบกไปยังศูนย์กระจายสินค้า
ที่มา: Samuel Mercier [22]

ปัจจุบันจึงมีบางบริษัทที่คิดค้นและหาแนวทางในการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งทางอากาศด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อช่วยให้สินค้า หรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรยังสามารถควบคุมอุณหภูมิอยู่ได้โดยไม่หลุดจากระบบการขนส่งแบบห่วงโซ่ความเย็นและยังคงคุณภาพไว้ได้ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการขนส่ง เนื่องจากช่วงที่สินค้านำไปรอโหลดขึ้นหรือลงจากเครื่องบินที่ลานจอดเครื่องบิน อาจทำให้อุณหภูมิภายในตู้ ULD พุ่งสูงขึ้นมากกว่า 50 องศาเซลเซียส โดยอุปกรณ์ที่มักนิยมใช้ควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งด้วยอากาศแสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 อุปกรณ์สำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งทางอากาศ






ชนิดอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ	ประโยชน์และคุณสมบัติ
<p>ตู้/คอนเทนเนอร์ ควบคุมความเย็น</p>	 <p>- รักษาอุณหภูมิที่ต้องการในช่องบรรจุอย่างสม่ำเสมอได้นานโดยไม่คำนึงถึงอุณหภูมิภายนอก ตราบเท่าที่มีแหล่งพลังงานที่เพียงพอ หรือมีการเติมน้ำแข็งแห้ง พร้อมทั้งมีการตรวจสอบอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล มี 2 แบบ ได้แก่</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ระบบปรับอากาศแบบควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมสแตท พร้อมการระบายความร้อนด้วยคอมเพรสเซอร์และระบบทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (อุณหภูมิทำได้ 0-25 °C) 2. ระบบที่ใช้น้ำแข็งแห้ง (อุณหภูมิที่สามารถทำได้ -20°C ถึง +20°C)
<p>การใช้สารหล่อเย็นที่ได้รับการปรับสภาพล่วงหน้า</p>	 <p>ไอซ์แพค (Ice Pack) Nanocool</p> <p>เจลเก็บความเย็น (Ice gel) น้ำแข็งแห้ง (Dry ice)</p> <p>- รักษาสภาพแวดล้อมที่ควบคุมอุณหภูมิภายในบรรจุภัณฑ์หุ้มฉนวนโดยใช้สารหล่อเย็นที่ได้รับการปรับสภาพล่วงหน้า เช่น แพ็คเจลแช่เย็นหรือแช่แข็ง วัสดุเปลี่ยนสถานะ Nanocool และน้ำแข็งแห้ง</p> <p>- มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการเก็บอุณหภูมิเฉพาะสำหรับปริมาณน้ำหนักบรรจุทุกจำนวนหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนด: 24 72 หรือ 96 ชั่วโมง และช่วงเวลาอื่นๆ การควบคุมอุณหภูมิทำได้ตั้งแต่ -80°C ถึง +25°C ขึ้นอยู่กับบรรจุภัณฑ์และสารหล่อเย็น</p>
<p>ผ้าคลุมรักษาอุณหภูมิ</p>	 <p>- รักษาอุณหภูมิของสินค้าที่ขนส่งให้คงที่และปกป้องสินค้าจากความผันผวนของสภาพอากาศ</p>
<p>เทคโนโลยีไอเย็นแบบแห้ง</p>	 <p>- เทคโนโลยีไอเย็นแบบแห้งช่วยให้สามารถรักษาอุณหภูมิได้นานถึง 10 วัน</p> <p>- สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -150°C ถึง -195°C</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ขั้นตอนการส่งออกมะม่วงทางอากาศ

ปัจจุบันกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออกมะม่วงของไทย จะมีขั้นตอนได้แก่ การเก็บเกี่ยวจากแปลงเพาะปลูก การขนส่งไปโรงคัดบรรจุ การล้างทำความสะอาด การคัดขนาด การลดอุณหภูมิ การบรรจุ การเก็บรักษา การขนส่งไปสู่ปลายทางและการวางขาย โดยบริษัทส่งออกในประเทศไทยจะมีขั้นตอนกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวสำหรับการส่งออกไปยังต่างประเทศดังแสดงในตารางที่ 2.2 สำหรับการส่งออกไปเกาหลีดังแสดงในภาพที่ 2.6(a-d) และสำหรับการส่งออกไปยุโรปดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะเกิดการสูญเสียคุณภาพ ดังนั้นขั้นตอนกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องและเหมาะสมกับมะม่วง ได้แก่ ดัชนีการเก็บเกี่ยว กระบวนการบรรจุ และการขนส่งจะช่วยเหลือการเสื่อมคุณภาพและยืดอายุการวางจำหน่ายได้ [46]

ตารางที่ 2.2 กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองของบริษัท P.K.Siam [47]

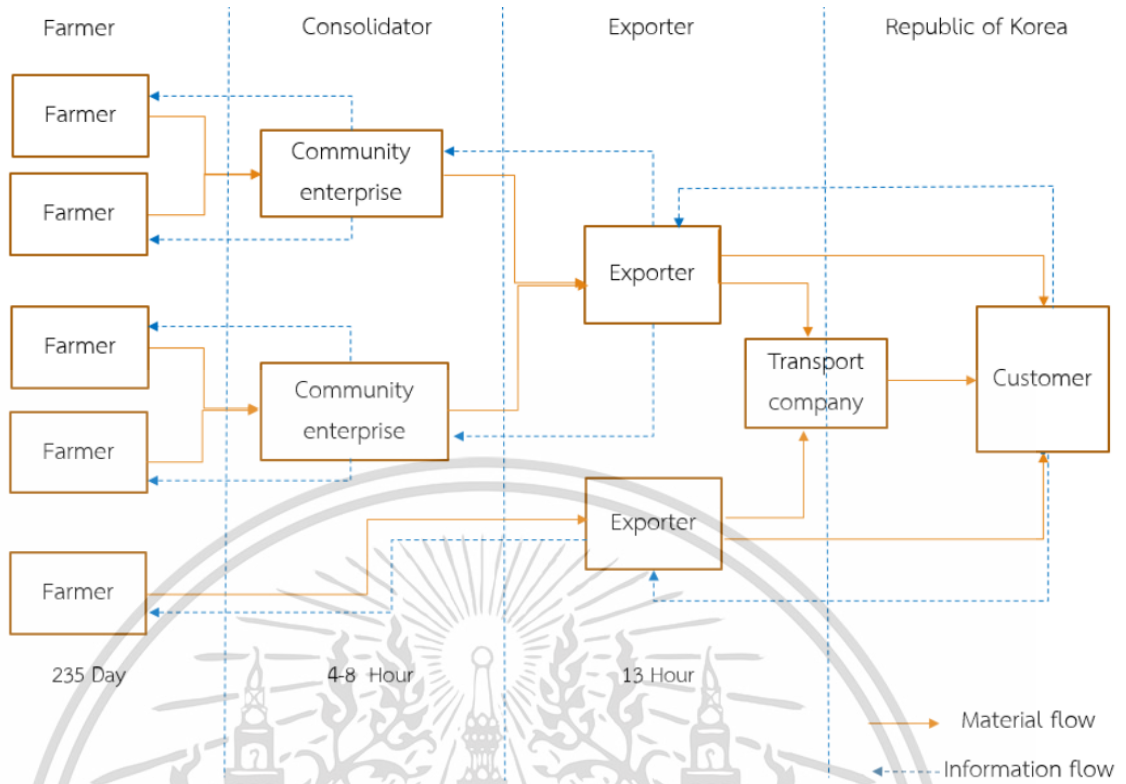
รูปภาพ	รายละเอียดแต่ละขั้นตอน
	เก็บเกี่ยวผลผลิตจากสวนที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสินค้าเพื่อการส่งออก จากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังดอกบานประมาณ 80-90 วันที่มีความสุกแก่ 85% ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ≥ 10 brix และดีกรีหักแยกผลผลิตว่ามาจากฟาร์มไหน วันที่เท่าไร เพื่อการตรวจสอบย้อนกลับส่งบริษัทภายใน 12 ชั่วโมง โดยรถขนส่ง
	การล้างและการรับสินค้า (ใช้เวลา 6 ชั่วโมง สำหรับมะม่วงปริมาณ 2,000 กิโลกรัม) ภายหลังจากรับสินค้า จะตรวจเช็คน้ำหนักตามรายการสั่งซื้อแต่ละรายการ มะม่วงทุกลูกจะถูกล้างด้วยน้ำคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค จากนั้นจะใส่หีสสินค้า และเครื่องหมายการค้าของบริษัทที่ส่งสินค้า วันที่รับสินค้า และชื่อสินค้า
	การควบคุมคุณภาพ (ใช้เวลา 15 นาที) ระเบียบการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบภายหลังจากรับสินค้ามา คือ การพิจารณาให้ตรงตามรหัสสินค้าแต่ละรหัสที่ตั้งมาตรฐานไว้
	กระบวนการจัดเรียงเข้าตู้อบไอน้ำ (ใช้เวลา 2 ชม. สำหรับมะม่วงปริมาณ 2,000 กิโลกรัม) ภายหลังจากการตรวจสอบคุณภาพสินค้า จะส่งต่อเรียงเข้าตู้อบไอน้ำ ตามรหัสของสินค้าในแต่ละตระกร้า
	กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีการอบไอน้ำ (ใช้เวลา 15 นาที) ผลไม้จะถูกฆ่าเชื้อโรคภายในตู้อบไอน้ำ ตามประเภท และอุณหภูมิของสินค้าที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

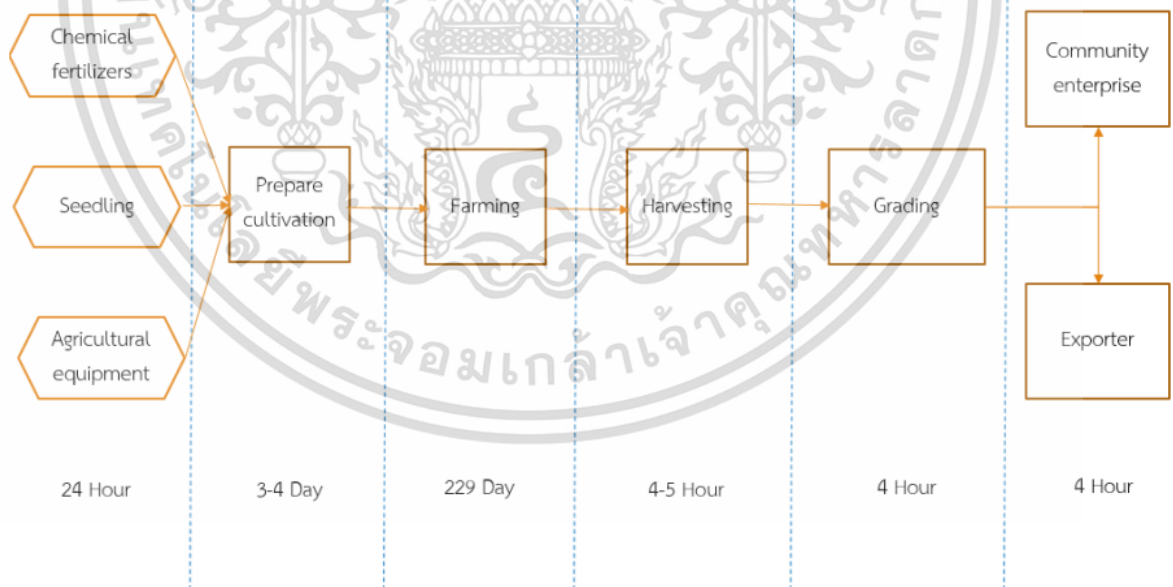
ตารางที่ 2.2(ต่อ) กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองของบริษัท P.K.Siam [47]

รูปภาพ	รายละเอียดแต่ละขั้นตอน
	การดูแลและฆ่าเชื้อโรคมะม่วงภายในตู้อบไอน้ำ ในอุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที
	กระบวนการทำความเย็น (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที) เมื่อนำสินค้าออกจากห้องอบไอน้ำ จำเป็นต้องทำให้แห้งด้วยแรงดันอากาศ
	การแบ่งชนิด และการติดฉลากสินค้า (ใช้เวลา 3 ชม.สำหรับมะม่วงปริมาณ 2,000 กิโลกรัม) การแบ่งแยกสินค้าตามประเภท จากนั้นชั่งน้ำหนักและติดฉลากให้ถูกต้องตามรหัสสินค้า ฉลากสีขาวแสดงถึงข้อมูลสวนผลไม้ ในกรณีที่สินค้าไม่ได้มาตรฐานสามารถตรวจเช็คได้ว่า สินค้ามาจากสวนใด
	การบรรจุภัณฑ์ (ใช้เวลาประมาณ 5 นาที) สินค้าจะบรรจุหีบห่อ ตามชนิดและรหัสที่ได้ กำหนดไว้
	การประทับตราบรรจุภัณฑ์ (ใช้เวลาประมาณ 15 นาที) กล่องสินค้าจะถูกปิดอย่างแน่นหนา ด้วยแถบพลาสติกใส และแปะสติ๊กเกอร์ตัวหนังสือ สีแดงเขียนว่า TREATED PQ-DOA-THAILAND หมายถึง ผ่านการอบไอน้ำจากไทยที่ได้มาตรฐานสินค้าแล้ว
	การตรวจตราเครื่องหมายการค้า (ใช้เวลา 15 นาที)
	การขนย้ายสินค้าภายในห้องเย็นสินค้าจะถูกวางไว้ในห้องเย็น อุณหภูมิ 13-15 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณภาพ และรสชาติสินค้าก่อนถึงผู้บริโภค
	การขนส่งสินค้า สินค้าที่บรรจุอยู่ในภายในห้องเย็นของรถบรรทุก จะถูกส่งไปที่สนามบิน เพื่อทำการขนส่งทางอากาศถึงผู้บริโภคในญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

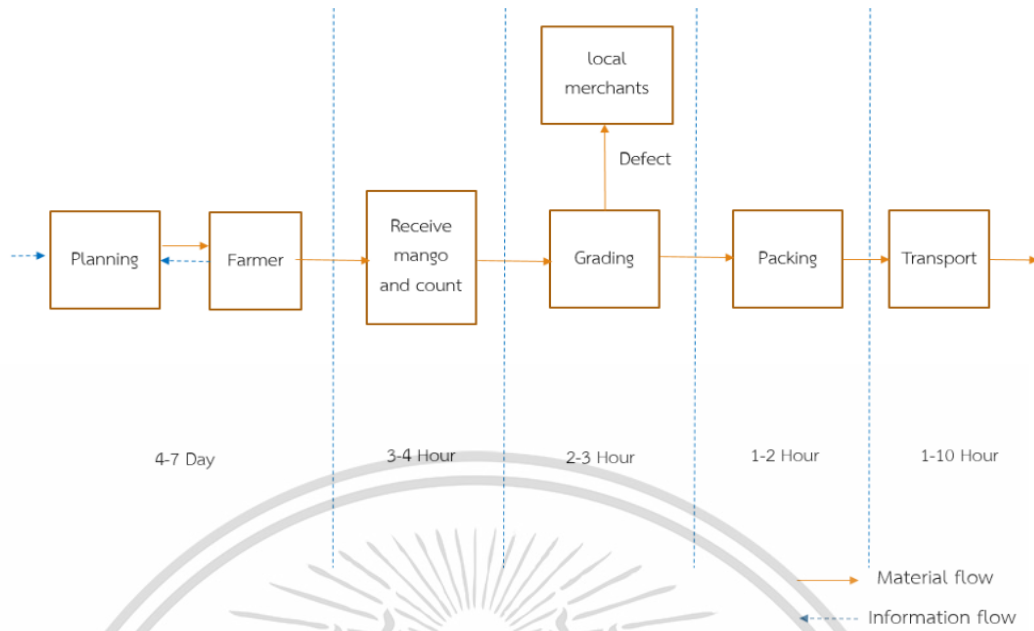


ภาพที่ 2.6(a) โซ่อุปทานของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลี [48]

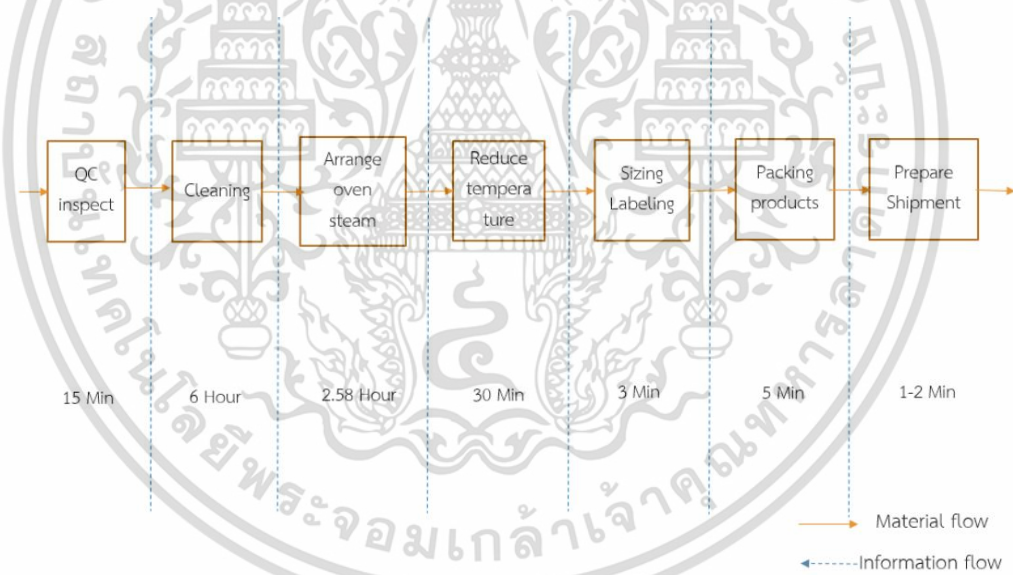


ภาพที่ 2.6(b) โซ่อุปทานของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลีในส่วนกิจกรรม
โซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกร [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

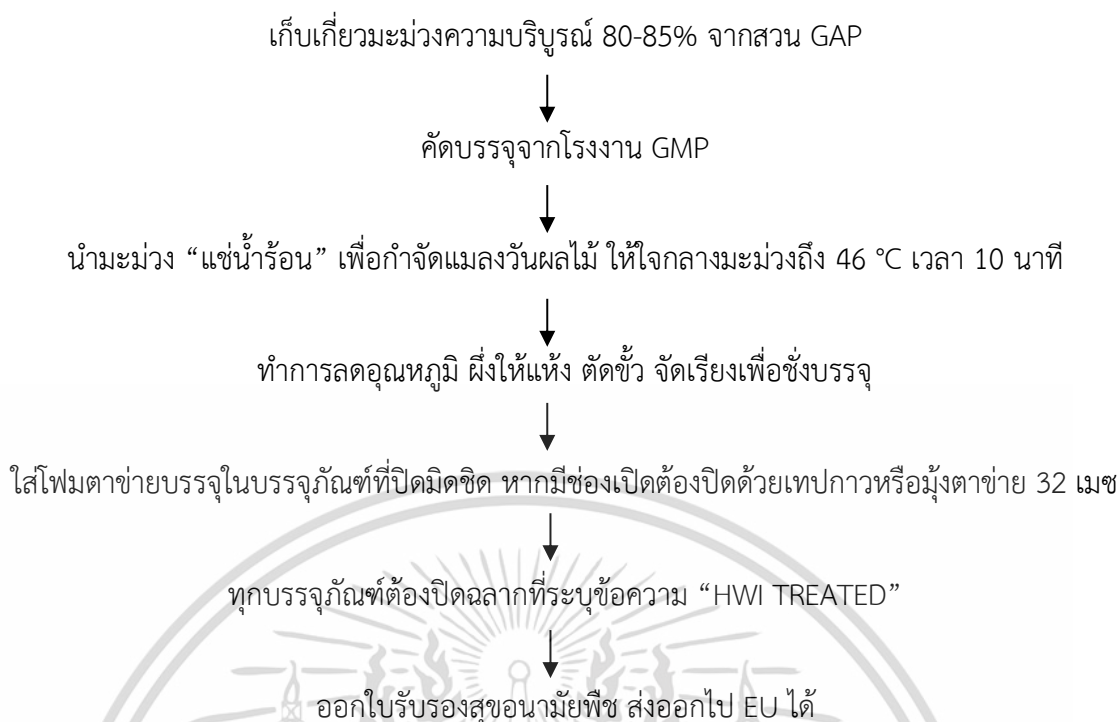


ภาพที่ 2.6(c) โซ่อุปทานของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลีในส่วนของกิจกรรม
โซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องกับวิสาหกิจชุมชน [48]



ภาพที่ 2.6(d) โซ่อุปทานของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลีในส่วนของกิจกรรม
โซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องกับบริษัทส่งออก [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 การส่งออกมะม่วงผลสดไปสหภาพยุโรป [49]

จากงานวิจัยของ O. Laguerre *et. al.* [28] แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาที่ขนส่งมะม่วงจากประเทศไทยไปยังฝรั่งเศสในเที่ยวบินตรงดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การขนส่งทางอากาศเที่ยวบินตรงจากสนามบินสุวรรณภูมิ ประเทศไทยไปยังสนามบินชาร์ลเดอล โกล สาธารณรัฐฝรั่งเศส

ลำดับกิจกรรม	วันที่	เวลาในประเทศไทย	ระยะเวลาระหว่างกิจกรรม	แหล่งข้อมูล
0.โรงคัดบรรจุ	21/03/2565	12:01	0	นักทดลองของ KMITL
1.ขนส่งเข้าห้องจัดเก็บ	21/03/2565	15:31	3.50 ชั่วโมง	จากเครื่องบินที่กอุณหภูมิ
2.ขนส่งจากโรงคัดบรรจุ	22/03/2565	09:00	17.50 ชั่วโมง	ผู้จัดการโรงคัดบรรจุ
3.ขนส่งถึงคลังสินค้าสนามบิน	22/03/2565	15:00	6.00 ชั่วโมง	ผู้จัดการโรงคัดบรรจุ
4.ออกจากสนามบินสุวรรณภูมิ (BKK)	23/03/2565	00:05	9.08 ชั่วโมง	Boarding pass TG930 Boeing 787
5.ถึงสนามบินชาร์ล เดอ โกล (CDG)	23/03/2565	12:50	12.75 ชั่วโมง	Boarding pass TG930 Boeing 787
6.ขนส่งถึง INRAE*	23/03/2565	20:20	7.50 ชั่วโมง	รายงานของห้องทดลอง INRAE

ดัดแปลงจาก O. Laguerre *et. al.* [28]
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและการสูญเสียผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

รายงานของ พิระศักดิ์และคณะ [50] ได้ประเมินการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวในระยะเก็บเกี่ยวและการขนส่งจากสวนมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจำนวน 20 สวน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในระหว่างการเก็บเกี่ยวและขนส่งดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของผลิตผลจะประกอบไปด้วยหลายปัจจัย ได้แก่การบรรจุ การขนส่งและรวมถึงปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นและองค์ประกอบของบรรยากาศซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เสื่อมเสียจากตัวผลิตผลเองและเป็นตัวส่งเสริมปัจจัยอื่น ๆ [14]

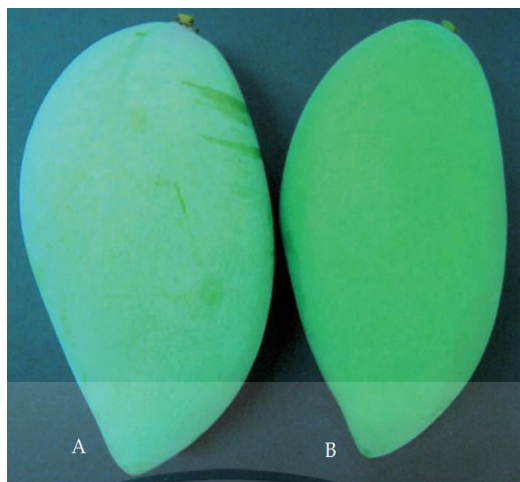
ตารางที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในระหว่างการเก็บเกี่ยวและขนส่ง

การสูญเสีย	การเก็บเกี่ยว	การขนส่ง
1.โรคแอนแทรกโนส	36.4	25.6
2.การแตก	13.6	-
3.เน่าละ	8.5	25.7
4.การขีดข่วน	4.5	-
5.ราดำ	3.6	2.6
6.ยางไหล	2.1	3.6
7.เน่าขั้วผล	1.5	1.2

ที่มา : พิระศักดิ์และคณะ [50]

2.3.1 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ความบริบูรณ์ หรือ “maturity” ของผลมะม่วงหมายถึงขั้นของการเจริญของผลที่เนื้อเยื่อของผลพัฒนาเต็มที่ [40] การตัดสินใจการเก็บเกี่ยวความแก่ของมะม่วงที่นิยมปฏิบัติกันโดยทั่วไป คือการสังเกตรูปร่าง สี นวลของผิว ผลมะม่วงที่แก่จะอวบอ้วน ใหญ่เต็ม และอาจมีนวลสีขาวปรากฏที่ผิว [51] ดังแสดงในภาพที่ 2.8 การเก็บเกี่ยวมะม่วงเริ่มจากมะม่วงเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อนหรือสีเหลืองอ่อน โดยผลไม้จะถูกเก็บเกี่ยวในระยะสีเขียวเข้ม เมื่อใช้เวลานานในการขนส่งไปตลาดปลายทาง การเก็บเกี่ยวมะม่วงก่อนการเปลี่ยนแปลงสีเป็นเรื่องยากที่จะทำให้คุณภาพจะเป็นที่ยอมรับ [46] การเก็บเกี่ยวผลที่อ่อนหรือยังไม่แก่จัดจะทำให้คุณภาพของมะม่วงลดลง คือเมื่อเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่ยังอ่อนหรือยังไม่แก่จัดจะทำให้ผลมะม่วงมีรสเปรี้ยว สีผิวและสีเนื้อไม่สวย ผลเหี่ยวยุ่น(ภาพที่ 2.9) เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักเร็ว ทำให้บ่มสุกช้าและไม่มีการกลิ่นหอม เมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงที่แก่ นอกจากนี้ยังทำให้อายุการจำหน่ายสั้นลง ในทางกลับกันถ้าเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่แก่จัดมากเกินไป ก็จะทำให้มะม่วงเกิดจุดสีน้ำตาลและสุกเร็ว[50] เมื่อสุกมากจะสุกไม่สม่ำเสมอ คือเนื้อในบริเวณใกล้เปลือกหุ้มเมล็ดสุกก่อน เนื้อผลจะเริ่มเสียและบอบช้ำง่าย [52]



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของผลมะม่วงแก่ (A) และอ่อน (B) [51]



ภาพที่ 2.9 ลักษณะของผลมะม่วงสุกที่ได้จากมะม่วงแก่ (A) และมะม่วงอ่อน (B) [51]

ดังนั้นดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงจึงมีความสำคัญ เนื่องจากมาตรฐานความแก่ (maturity standard) ของผลมีความสำคัญมากในการผลิตมะม่วงเป็นการค้า โดยเฉพาะมะม่วงสำหรับส่งออกต่างประเทศ การเก็บเกี่ยวมะม่วงจึงควรคำนึงถึงความใกล้ไกลของตลาด [40] ซึ่งมะม่วงที่เหมาะสมสำหรับการส่งออกคือมะม่วงแก่ 80% เพราะมะม่วงที่แก่จัดมักจะสุกภายใน 3-5 วันหลังจากเก็บจากต้น [51] การวัดหรือตรวจหาความแก่ของผลมะม่วงสามารถทำได้ดังนี้ [36]

2.3.1.1 การนับจำนวนวันตั้งแต่ดอกบานเต็มที่จนถึงเก็บเกี่ยว

เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด สามารถวัดความแก่ของผลได้ค่อนข้างแน่นอน โดยไม่ต้องพิจารณาลักษณะทางฟิสิกส์ เคมี และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่น ๆ อายุที่เหมาะสมของผลมะม่วงมะม่วงพันธุ์เดียวกันต่อการเก็บเกี่ยว อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสถานที่ปลูกและสภาพแวดล้อม เช่น มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ปลูกในประเทศไทยใช้เวลา 100 วันหลังจากดอกบานเต็มที่ หากปลูกในประเทศไทยฟิลิปปินส์ใช้เวลา 102 วัน หลังจากดอกบานเต็มที่ [53] และช่วงอายุที่เหมาะสมสำหรับเก็บ

เกี่ยวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เพื่อส่งออกในตลาดยุโรปคือ อายุ 90-100 วัน หลังจากดอกบานเต็มที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตลาดภายในประเทศ ควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลอายุ 100-110 วันหลังจากดอกบานเต็มที่ เป็นระยะที่ผลมะม่วงให้คุณค่าทางอาหารสูงสุด และเก็บได้นานโดยลักษณะทั่วไปส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่ดี [54]

2.3.1.2 การใช้ความถ่วงจำเพาะ

เนื่องจากผลมะม่วงที่มีอายุมากขึ้นจะมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นด้วย ผลที่แก่จัดมักจะจมน้ำและผลที่อ่อนจะลอยน้ำ เพราะมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงเมื่อมีอายุมากขึ้น และมีช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกน้อย [55] สำหรับผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีอายุการเจริญเติบโต 2-11 สัปดาห์ ส่วนใหญ่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.00 แต่เมื่อผลพัฒนาอายุมากกว่า 12 สัปดาห์ จะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.01-1.04 ถ้านำไปลอยน้ำผลมะม่วงจะจมในน้ำเกลือความเข้มข้นต่าง ๆ ตามวัยของผล โดยผลที่เหมาะสมสำหรับการส่งออกควรจมน้ำแต่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้น 2.5% [42] นอกจากนี้ เบลูจมาส [51] กล่าวว่า การลอยในน้ำหรือในน้ำเกลือ 1-3% โดยมะม่วงที่จมน้ำหรือลอยในน้ำเกลือ ถือว่าแก่ได้ที่หรือแก่ประมาณ 80% ซึ่งเมื่อนำไปบ่มสุกจะมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ ดังแสดงในภาพที่ 2.10

2.3.1.3 การใช้ช่วงแสง (Spectra)

จากสองวิธีการข้างต้นและการใช้การลดลงของค่าความหนาแน่นเนื้อร่วมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และประสบการณ์ของผู้ปลูกโดยใช้สายตาเป็นดัชนีบอกความบริบูรณ์ของผลมะม่วง เป็นวิธีการที่ต้องใช้แรงงานและยุ่งยาก ปัจจุบันได้มีการนำแสงในช่วงอินฟราเรดความยาวคลื่น 650-2500 นาโนเมตร หรือที่เรียกว่า Near infrared (NIR) [56] และช่วงแสงที่ตามองเห็นความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ที่เรียกว่า Visual Spectroscopy มาใช้ทำนายดัชนีความแน่นเนื้อและสี ทำให้ทราบระดับความบริบูรณ์ของมะม่วง โดยใช้เวลาสั้นและไม่ต้องเตรียมตัวอย่างทดสอบ [57]



ภาพที่ 2.10 มะม่วงที่จม (A) และลอย (B) ในน้ำหรือน้ำเกลือ [51]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การเก็บเกี่ยวผลผลิต

ขั้นตอนในการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเป็นขั้นตอนที่ควรมีการเอาใจใส่ดูแลดี หากมีการกระแทกหรือซ้ำเพียงจุดเดียวอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพ ควรใช้ผู้เก็บเกี่ยวที่มีความชำนาญ [50] ถ้าต้นไม่สูงมากให้เก็บด้วยมือที่ละผลโดยปลิดขั้วผลบริเวณรอยต่อของก้านผลกับกิ่งให้มีก้านยาวติดมากับผลเพื่อไม่ให้ยางไหลเปื้อนผลประมาณ 2-3 นิ้ว ถ้าใช้มือเก็บเกี่ยวไม่ควรให้ขั้วหักเป็นอันขาด ในกรณีที่ผลมะม่วงอยู่สูงให้ใช้อุปกรณ์ตะกร้อและใบมีดตัดเพื่อเกี่ยวขั้วมะม่วงให้ขาดได้เพียงครั้งเดียว ควรเก็บที่ละผล คัดคุณภาพเบื้องต้นก่อนส่งให้ผู้ส่งออก โดยนำไปใส่เชิงหรือตะกร้าที่วางอยู่ใต้ต้นมะม่วง ไม่ควรวางกับดินและตากแดด อย่าวางทับกันแน่นเกินไป [58-60] และรีบเคลื่อนย้ายตะกร้ามะม่วงไปยังโรงพักผลผลิตมะม่วง เป่าด้วยพัดลมเพื่อลดอุณหภูมิทันที สำหรับผลมะม่วงที่เปราะเปื้อนยาง ควรนำมาล้างภายใน 2-3 ชั่วโมง ผลที่เปราะไม่มากควรใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดเบา ๆ [40] สำหรับเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว เพื่อให้มะม่วงที่เก็บมาแล้วมีคุณภาพการเก็บรักษานาน ควรเก็บเกี่ยวลูกมะม่วงในช่วงที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำ ได้แก่ ช่วงเช้าหลังน้ำค้างแห้ง หรือก่อนเย็นหลังบ่าย 3 โมงเย็น และเมื่อเก็บมาแล้วควรรีบทำการคัดแยกมะม่วงคุณภาพไม่ต้อออกจากมะม่วงคุณภาพดี [61]

2.3.3 กระบวนการบรรจุ

2.3.2.1 การรับผลิตผล

ผลิตผลที่เก็บเกี่ยวแล้วนั้นถูกรวบรวมจากแปลงและขนส่งมาสู่โรงคัดบรรจุ ซึ่งมะม่วงที่เก็บเกี่ยวมานั้นมีสิ่งเจือปนจากแปลงผลิต การนำผลผลิตออกจากภาชนะเพื่อทำความสะอาดในครั้งแรกมีความสำคัญมากเพราะอาจเกิดความเสียหายได้ง่ายเพราะมะม่วงเป็นผลิตผลที่บอบช้ำง่าย ซึ่งควรใช้ความระมัดระวังและหยิบออกทีละลูก [42] นอกจากนี้บางโรงคัดบรรจุยังมีการวัดอุณหภูมิเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นก่อนการจุ่มน้ำร้อนในโรงงานที่จะส่งออกไปยังยุโรป [62]

2.3.2.2 การล้างทำความสะอาด

ผลิตผลที่ผ่านการเก็บเกี่ยวจะมีสิ่งสกปรกติดมาด้วยเสมอ ดังนั้นต้องมีการล้างทำความสะอาดก่อน ซึ่งผลผลิตส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำทำความสะอาดหลังเก็บเกี่ยว เมื่อผ่านการล้างจนสะอาดแล้ว ต้องทำให้แห้งหรือนำน้ำออกให้เร็วที่สุดก่อนที่จะบรรจุลงในภาชนะ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น เพราะน้ำที่ใช้ล้างอาจทำให้ผลิตผลเน่าเสียได้ง่าย [55] ดังนั้นจึงมีการเติมสารฆ่าเชื้อลงไป เช่น คลอรีน 50-200 ppm เพื่อป้องกันเชื้อโรคเข้าทำลาย การนำน้ำออกทำได้โดยการใช้ลมเย็นหรือร้อนเป่าให้แห้ง หรือการผึ่งลม [42] ในมะม่วงบริเวณสีเขียวเมื่อตัดออกจากต้นจะมีน้ำยางไหลจากก้านที่ตัดจำนวนมาก น้ำที่ใช้ล้างอาจเติมสารฆ่าเชื้อรา (thiabendazole, TBZ) เพื่อยับยั้งการเกิดโรคแอนแทรกคโนส ซึ่งมีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioids* การควบคุมโรคจะมีประสิทธิภาพมากเมื่อใช้น้ำอุ่นที่เติมสารฆ่าเชื้อรา โดยนำมะม่วงจุ่มในน้ำอุ่นที่ผสมสารฆ่าเชื้อรา 0.1% ที่อุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 5-10 นาทีขึ้นอยู่กับขนาดผล ช่วยในการควบคุมโรคแอนแทรกคโนสและโรคเน่าละได้ [14]

จริงแท้ [42] รายงานว่าการใช้ prochloraz ในมะม่วงส่งออกความเข้มข้น 300-500 ppm สามารถควบคุมการเกิดแอนแทรคโนสได้ดี สอดคล้องกับวีรินทร์ [63] ที่ได้ทำการศึกษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ใช้สารควบคุมเชื้อรา prochloraz และสารเคลือบผิวไว้ เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C พบว่าไม่มีโรคเข้าทำลายแม้เก็บรักษานานขึ้น และเมื่อผลสุกไม่ปรากฏอาการของโรคเช่นกัน แต่หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °C เริ่มแสดงอาการของโรคเมื่อเก็บรักษานาน 27 วัน เช่นเดียวกับวันดี ที่รายงานว่า การใช้สารควบคุมเชื้อราเบนโนมิลกับพันธุ์มะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่ 12 °C จะแสดงอาการของโรคเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 25 วัน

2.3.2.3 การใช้ความร้อนฆ่าเชื้อโรค, กำจัดแมลงวันทองและโรคพืชอื่น ๆ

ปัจจุบันทางการค่านิยมใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียที่บริเวณผิวของผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.4 ทำให้ในมะม่วงการใช้ความร้อนจึงเป็นที่นิยม เนื่องจากใช้เวลาสั้น ไม่มีสารพิษตกค้าง ลดการเกิดโรคและอาการสัท้านหนาวได้ดี [14,64] นอกจากนี้ในการส่งออกมะม่วงไปยังตลาดต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ต้องได้รับอนุญาตจากกระทรวงเกษตรและประมงของญี่ปุ่น โดยต้องผ่านขั้นตอนการอบไอน้ำ เพื่อป้องกันเชื้อรา แมลงวันทอง และโรคพืชอื่น ๆ ในขณะที่การส่งออกไปสหรัฐอเมริกาต้องผ่านกรรมวิธีการฉายรังสี เพื่อป้องกันเชื้อโรคและแมลง [65] ส่วนในการส่งออกไปยังยุโรปจะใช้วิธีการจุ่มน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิที่ใจกลางมะม่วง 46°C เป็นระยะเวลา 10 นาที ตามที่แจ้งต่อคณะกรรมการเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2562 (ตามเวลาภายใต้ Commission Implementing Directive (EU) 2019/523) และเริ่มส่งออกในวันที่ 7 กันยายน 2562 [66]

โดยพบว่า การจุ่มในน้ำร้อนจะเสียต้นทุนน้อยกว่าการอบด้วยไอน้ำร้อนและการฉายรังสี ซึ่งการจุ่มน้ำร้อนในทางการค้าจะใช้อุณหภูมิระหว่าง 43-53 °C นาน 1-2 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิและเวลาในการจุ่มน้ำร้อนจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความบริสุทธิ์และขนาดของผลมะม่วง [63] จากการศึกษาของ Jacobi and Giles [67] แนะนำว่าการอบไอน้ำร้อนสำหรับพันธุ์ Kensington ควรใช้อุณหภูมิ 47 °C นาน 15 นาที ส่วนการจุ่มในน้ำร้อนรวมกับการอบไอน้ำร้อนควรใช้อุณหภูมิ 47 °C นาน 7.5-30 นาที มะม่วงจะมีคุณภาพดีที่สุดในส่วนของ Kader [46] รายงานว่า มะม่วงที่จุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C นาน 5 นาที ช่วยลดการพัฒนาของโรคแอนแทรคโนสได้ สอดคล้องกับรายงานของ สมศิริ [68] ที่รายงานวิธีการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของผลมะม่วงโดยจุ่มลงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 52-55 °C เวลา 5 นาที (น้ำดอกไม้สีทองใช้ได้กับอุณหภูมิ 55 °C) โดยในกระบวนการจุ่มน้ำร้อนนี้ควรทำภายในระยะเวลาไม่เกิน 6 ชั่วโมง หลังจากเก็บผลมะม่วง

สำหรับในประเทศไทยพบการศึกษาของเบญจมาศ [75] พบว่าการจุ่มน้ำร้อนที่ 55°C นาน 15 นาที เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง แต่จะกระตุ้นให้ lenticel มีสีเข้มขึ้น นอกจากนี้สมภพ [76] รายงานว่า การจุ่มมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 65 °C เป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 นาที และที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 15 นาที

ตารางที่ 2.5 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมของการจุ่มในน้ำร้อนฆ่าเชื้อสำหรับผลไม้บางชนิด

ชนิดพืช	อุณหภูมิและเวลาที่ เหมาะสม	ประโยชน์	อ้างอิง
มะเขือเทศ	45°C (60 นาที)	ลดการเกิดอาการสะท้านหนาว	McDonald <i>et al.</i> [69]
แอปเปิ้ล	44°C (35 นาที)	ชะลอการเสื่อมเสีย	Smith and Lay-Yee [70]
มะม่วง	43-49°C (65-90 นาที) 46°C (110 นาที)	ชะลอการเสื่อมเสียและ ลดการเกิดอาการสะท้านหนาว	Jacobi <i>et al.</i> [71] Shellie and Mangan [72]
พลัม	45-50°C (30-35 นาที)	ลดการเกิดอาการสะท้านหนาว	Abu-Kpawoh <i>et al.</i> [73]
อะโวคาโด	40-42°C (20-30 นาที)	ชะลอการเสื่อมเสีย	Hofman <i>et al.</i> [74]

ที่มาจาก: ชนิด [14]

จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 °C สามารถลดอาการสะท้านหนาวได้เมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงชุดควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มในน้ำร้อน นอกจากนี้การแช่น้ำร้อนยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพมะม่วง โดยอุณหภูมิของน้ำร้อนและระยะเวลาในการแช่ ถ้าใช้น้ำอุณหภูมิสูงหรือระยะเวลาสั้นเกินไปอาจทำให้ผลผลิตเสียหายได้ เช่น มะม่วงที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 375 กรัม สามารถใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 46.1°C เป็นระยะเวลา 60 นาที ในขณะที่ผลมะม่วงที่มีน้ำหนัก 375-570 กรัม ใช้ระยะเวลา 75 นาที หลังจากการแช่น้ำร้อนจะต้องลดอุณหภูมิของผลผลิตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอุณหภูมิสูงเนการกระตุ้นกระบวนการสุก และทำให้อายุการเก็บรักษามะม่วงสั้นลง หรืออาจทำให้เกิดความผิดปกติภายในผลได้ เช่น จุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 3 วินาที ช่วยลดการเกิดโรคแอนแทรกโนสและโรคข้าวผลเน่าได้ [77]



ภาพที่ 2.11 การจุ่มน้ำร้อนของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองของ บริษัท วี.เอส.เพิร์ชโก้ จำกัด ตามข้อกำหนดเพื่อการส่งออกยุโรป [62]

ในทางการค้าของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จะนิยมทั้ง 2 แบบ คือ การจุ่มน้ำร้อนสำหรับการส่งออกยุโรปและการอบไอน้ำร้อนจะส่งออกไปญี่ปุ่น เกาหลีใต้ เช่น บริษัท วี.เอส.เพิร์ชโก้ จำกัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นเข้าใช้ประโยชน์การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ภาพที่ 2.11) และห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี.เค.เค.ฟู้ด จะใช้การจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิใจกลางมะม่วงมากกว่า 46°C เป็นเวลา 10 นาที [62,78] ขณะที่บริษัท P.K. Siam และบริษัทสวิฟต์จะใช้การอบด้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 47 และ 45°C ตามลำดับ ระยะเวลา 20 นาที [47,79]

2.3.2.4 การคัดคุณภาพและขนาดของมะม่วง

คุณภาพแยกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ คุณภาพภายนอกและคุณภาพภายใน วิธีการวิเคราะห์คุณภาพผลผลิตทำได้ 2 แบบ คือ การประเมินด้วยตา มือสัมผัส และการชิม ซึ่งใช้ความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ประเมิน ซึ่งอาจเกิดความลำเอียงหรือเกิดความเมื่อยล้าเมื่อระยะเวลาการคัดคุณภาพนานขึ้น จึงมีการคิดค้นวิธีการวิเคราะห์แบบการวัดคุณภาพ โดยวัดด้วยอุปกรณ์ที่แสดงออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ผู้ประเมิน เกณฑ์การประเมินที่ได้อาจได้ผลผลิตไม่ถูกต้องตามความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น อาจต้องอาศัยวิธีการประเมินหลาย ๆ ด้านมาประกอบกัน วิธีการวัดคุณภาพสำหรับนำมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณภาพของผลผลิต ดังนี้ [42,77]

คุณภาพภายใน เช่น เนื้อสัมผัส รสชาติ คุณค่าทางอาหาร ความปลอดภัยในการบริโภค ความสม่ำเสมอของคุณภาพภายใน

คุณภาพภายนอก เช่น รูปร่าง ขนาด สี ความเป็นเงา ตำหนิ ความสม่ำเสมอ การทำความเข้าใจกับตำหนิของมะม่วงจะมีช่วยตัดสินว่ามะม่วงจะเข้าสู่มาตรฐานคุณภาพเพื่อการส่งออกหรือไม่ [51] ซึ่งชนิดของตำหนิมีดังต่อไปนี้

-ตำหนิด้านกักกันพืช จะหมายถึงมะม่วงที่มีตำหนิเกี่ยวกับแมลง ซึ่งเป็นที่ต้องห้ามของประเทศผู้นำเข้า เช่น ผลที่มีตำหนิเกี่ยวกับแมลงวันผลไม้ เพลี้ยหอย หรือเพลี้ยแป้ง(ภาพที่ 2.12) เป็นต้น นอกจากนี้บางประเทศ เช่น ออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา ก็ห้ามนำมะม่วงที่มีหนอนเจาะเมล็ดเข้าประเทศอีกด้วย



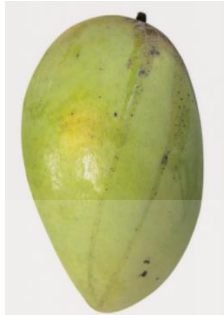
ภาพที่ 2.12 เพลี้ยแป้งบนมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง [51]

-ตำหนิที่รุนแรง เป็นผลมะม่วงซึ่งมีตำหนิที่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์และคุณภาพจนไม่เหมาะกับการบริโภค เช่นผลที่มีเชื้อราหรือ anthracnose, ผลเน่า, ผลแตก, ผลที่แก่เกินไป, ผลที่มีรูปร่างผิดปกติ หรือผลที่มีขนาดเล็กเกินไป เป็นต้น (ภาพที่ 2.13A-2.13E) ซึ่งผลที่มีตำหนิเหล่านี้มักจะถูกคัดออกตั้งแต่แรกเมื่อพบ [51]

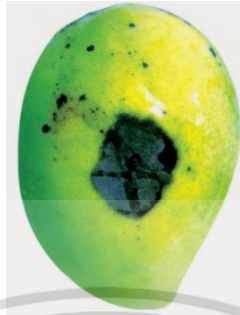
-ตำหนิที่ไม่รุนแรง เช่น ผลมะม่วงที่มีรูปรูปร่างผิดปกติเล็กน้อย, มีตำหนิที่ผิวจากแมลง, รอยขีดข่วน, สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลไม้สม่ำเสมอ หรือรอยเปื้อนจากน้ำยาง ตลอดจนผลที่มีจุดสีน้ำตาลเล็ก ๆ (เลนติเซล) ที่ ผิว ซึ่งผลที่มีตำหนิเหล่านี้อาจจัดเข้าชั้น 1 หรือชั้น 2 ได้ หากขนาดของตำหนิไม่เกิน 3-5 cm² และ 5-7 cm² ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.14A-2.14F



(A) ผลที่ติดโรค anthracnose



(B) ผลเน่า



(C) ผลที่แก่เกินไป ปลายผลเริ่มสุก



(D) ผลที่มีรูปร่างผิดปกติ



(E) ผลที่มีขนาดเล็กและจิวเมื่อเปรียบเทียบกับผลปกติ

ภาพที่ 2.13 ตำหนิที่รุนแรงในมะม่วง [51]



(A) ผลที่มีรูปร่างผิดปกติ



(B) ผลที่มีแผลเป็นจากเพลิงไฟ



(C) ผลมีรอยขีดข่วน



(D) ผลที่สีผิวไม่สม่ำเสมอ



(E) ผลที่มีรอยเปื้อนน้ำยาง



(F) ผลที่มีจุดเล็ก ๆ สีน้ำตาล(lenticel)

ภาพที่ 2.14 ตำหนิที่ไม่รุนแรงในมะม่วง [51]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคัดขนาดต้องมีการกำหนดขนาดและคุณภาพที่เป็นมาตรฐาน เพราะอาจเกิดปัญหาได้ เช่น มะม่วงที่มีเกรดขนาดใหญ่จากจังหวัดฉะเชิงเทรากับจังหวัดนครปฐม ก็จะมีน้ำหนักไม่เท่ากัน [42] ขณะที่ต่างประเทศมะม่วงจะมีการคัดขนาดตามน้ำหนักและคัดเกรดตามความสุกและลักษณะผิดปกติอื่น ๆ โดยใช้สายตา [46]

มะม่วงตามมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ.) แบ่งเป็น 3 ชั้นคุณภาพ [80]

1. ชั้นพิเศษ (Extra class) มะม่วงในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดีที่สุดในแง่ของความผิดปกติด้านรูปทรง ไม่มีตำหนิที่ผิว ในกรณีที่มี ความผิดปกติหรือตำหนิต้องมองเห็นได้ไม่ชัดเจน และไม่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไป คุณภาพของเนื้อ มะม่วง คุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ

2. มะม่วงในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดี อาจมีความผิดปกติหรือตำหนิได้เล็กน้อย ทั้งนี้ความผิดปกติหรือตำหนิ ดังกล่าวจะต้องไม่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไป คุณภาพของเนื้อมะม่วง คุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และ การจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุดังต่อไปนี้

(1) ความผิดปกติเล็กน้อยด้านรูปทรง

(2) ตำหนิเล็กน้อยที่ผิวที่เกิดจากการเสียดสี(rubbing) หรือแดดเผา (sunburn) คราบหรือรอยต่างที่เกิด จากยางของมะม่วง (suberized stains due to resin exudation) โดยขนาดของตำหนิที่ผิวโดยรวมต้องไม่เกินที่กำหนด ขนาดที่ 1 พื้นที่ไม่เกิน 5 cm², ขนาดที่ 2 พื้นที่ไม่เกิน 4 cm², ขนาดที่ 3 พื้นที่ไม่เกิน 3 cm², ขนาดที่ 4 พื้นที่ไม่เกิน 5 cm² และขนาดที่ 5 พื้นที่ไม่เกิน 1 cm²

(3) มีจุดกระสีน้ำตาลประปราย (suberized rusty lenticels) เนื่องจากความแก่ของมะม่วง และ/หรือ พันธุ์มะม่วงที่มีผิวสีเขียว (green variety) เปลี่ยนเป็นสีเหลือง เนื่องจากได้รับแสงแดดจัดไม่เกิน 30% ของ พื้นที่ผิวของมะม่วง แต่ต้องไม่มีรอยแผลเป็น (necrosis)

3. ชั้นสอง (Class II)

มะม่วงในชั้นนี้รวมมะม่วงที่มีคุณภาพไม่เข้าชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพตามข้อกำหนดขั้นต่ำ มะม่วงในชั้นนี้มีความผิดปกติหรือตำหนิได้ทั้งนี้ความผิดปกติหรือตำหนิจะต้องไม่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไป คุณภาพของเนื้อมะม่วง คุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุดังต่อไปนี้

(1) ความผิดปกติด้านรูปทรง

(2) ตำหนิที่ผิวที่เกิดจากการเสียดสีหรือแดดเผา คราบหรือรอยต่างที่เกิดจากยางของมะม่วง โดยขนาดของตำหนิที่ผิวโดยรวมต้องไม่เกินที่กำหนด ขนาดที่ 1 พื้นที่ไม่เกิน 7 cm², ขนาดที่ 2 พื้นที่ไม่เกิน 6 cm², ขนาดที่ 3 พื้นที่ไม่เกิน 5 cm², ขนาดที่ 4 พื้นที่ไม่เกิน 4 cm² และขนาดที่ 5 พื้นที่ไม่เกิน 2 cm²

การจัดขนาดของมะม่วงพิจารณาจากน้ำหนักต่อผล ดังตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 ขนาดของมะม่วง

รหัสขนาด	น้ำหนักต่อผล (กรัม)	ความแตกต่างของขนาดผลสูงสุดในแต่ละภาชนะบรรจุ (กรัม)
1	>450	100
2	>350 - 450	50
3	>250 - 350	50
4	>150 - 250	50
5	100 - 150	25

2.3.2.5 การบรรจุ

ผลิตภัณฑ์ยังมีกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ได้แก่ การหายใจ การคายน้ำ และการสุกของผลไม้ทำให้น้ำไปสู่การเสื่อมสภาพในที่สุด ในการบรรจุจึงต้องมีภาชนะบรรจุที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยต้องสามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยา การกระทบกระเทือนในการขนส่ง และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิและความชื้น [81]

บรรจุภัณฑ์ผลไม้ประกอบด้วยสองส่วนคือบรรจุภัณฑ์ภายนอกและภายใน การวิจัยก่อนหน้านี้ตรวจสอบคุณสมบัติการป้องกันของบรรจุภัณฑ์โดยให้ความสนใจเป็นพิเศษกับบรรจุภัณฑ์ภายนอก เช่น กล่องและบรรจุภัณฑ์พลาสติก และบรรจุภัณฑ์ภายในรวมถึงวัสดุที่ทำจากกระดาษและโฟม [82] หลังจากห่อมะม่วงผ่านการอบไอน้ำแล้วนำมะม่วงใส่ถุงตาข่ายโฟมเพื่อป้องกันการกระแทกที่อาจทำให้ผลมะม่วงชำในระหว่างการขนส่ง สำหรับภาชนะบรรจุมะม่วงเพื่อการส่งออกทางอากาศส่วนใหญ่จะใช้กล่องกระดาษลูกฟูกขนาด 40x52x10 cm. มีช่องระบายอากาศด้านข้างกล่องข้างละ 2 ช่องขนาด 7x2.5 cm. ปิดด้วยมุ้งตาข่ายแท่งมุมไม่เกิน 1.6 mm. บรรจุลงกล่องพร้อมใบรับรองปลอดศัตรูพืช (Phytosanitary certificate) หลังจากบรรจุปิดผนึกกล่องจะติดสติ๊กเกอร์ TREATED บนกล่องเพื่อแสดงว่ามะม่วงได้มีการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่กักกันพืชแล้ว ลักษณะเครื่องหมายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้างxยาว = 5x15 cm. ข้อความ TREATED แถวบนและ PQ Thailand แถวล่างบนพื้นสีขาวตัวอักษรสีแดง [83] ดังแสดงในภาพที่ 2.15

สำหรับการส่งออกมะม่วงทางอากาศไปยังยุโรป มะม่วงที่ผ่านการแช่น้ำร้อนแล้วต้องบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดมิดชิด หากมีช่องเปิด เช่น ระบายอากาศ เป็นต้น ช่องเปิดดังกล่าวต้องปิดด้วยเทปกาวหรือมุ้งตาข่ายซึ่งมีขนาดความถี่ไม่น้อยกว่า 32 เมช ทุกบรรจุภัณฑ์ต้องปิดฉลากที่ระบุข้อความ "HWI TREATED" [49,66]



ภาพที่ 2.15 การบรรจุกล่องของมะม่วงสำหรับการส่งออกทางอากาศ [83]

2.3.2.6 การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา (Pre-cooling)

การลดอุณหภูมิหรือการทำให้เย็น (cooling or precooling) หมายถึง การทำให้ผลผลิตเย็นลงก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น โดยการดึงเอาความร้อนออกจากผลผลิต แต่ไม่ควรให้อุณหภูมิของผลผลิตต่ำจนกระทั่งเกิดอันตรายและเสียหาย สามารถทำได้หลายวิธีโดยใช้น้ำและอากาศเป็นตัวพาความร้อน ซึ่งที่นิยมใช้กับผลผลิตส่วนมากคือ การใช้น้ำเย็น (hydro cooling) ในการนำความร้อนออกจากผลผลิต ซึ่งสามารถทำได้ในขั้นตอนการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำได้ โดยการนำผลผลิตมาล้างในน้ำเย็น หรือปฏิบัติในขั้นตอนที่บรรจุลงในภาชนะบรรจุแล้ว ซึ่งวิธีการนี้ภาชนะบรรจุที่ใช้ต้องแข็งแรงทนทานไม่ยุบตัวง่ายเมื่อสัมผัสกับน้ำ ขณะที่การใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อน นิยมใช้วิธีแรงดันอากาศ (force air cooling) โดยให้ลมเย็นวิ่งผ่านผลผลิตอย่างทั่วถึง สามารถใช้ได้กับทุกผลผลิต [42,77] Niyomlao and Kanlayanarat [84] ศึกษาการใช้น้ำลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ช่วยลดอุณหภูมิได้ดีที่สุดคือ 8 °C ใช้เวลา 38 นาทีในการลดอุณหภูมิจาก 32 °C เหลือ 13 °C โดยไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน ในขณะที่จริงแท้และคณะ [85] ได้ทดลองการลดอุณหภูมิของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จากอุณหภูมิประมาณ 30 °C ลงเป็น 12.5 °C ด้วยวิธี room cool ที่ 10 °C ใช้เวลา 21-38 ชั่วโมง แต่เมื่อใช้วิธี forced air cool ใช้เวลาเพียง 2.5-3.7 ชั่วโมง และเมื่อเก็บรักษามะม่วงไว้นาน 2 และ 4 สัปดาห์ มะม่วงที่ผ่านการทำให้เย็นทั้ง 2 วิธี มีปริมาณน้ำตาล กรด วิตามินซี สีผิว และสีเนื้อใกล้เคียงกัน แต่วิธี Forced-air cool ทำให้การสูญเสียน้ำหนักลดลงประมาณ 15% เมื่อเทียบกับวิธี room cool และทำให้มีความหนาแน่นเนื้อสูงกว่าประมาณ 20% นอกจากนี้ยังมีรายงานของสมชาย และศุภฤกษ์ [86] ที่ทำการทดลองศึกษาผลของระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ที่มีระยะเวลาในการลดอุณหภูมಿಯ่างรวดเร็วที่ 10 20 30 และ 40 นาที กับระดับอุณหภูมิในการลดอุณหภูมಿಯ่างรวดเร็วที่ 10 5 0 -20 และ -25 °C และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 °C ผลปรากฏว่าในระหว่างการเก็บรักษาผลมะม่วงมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น โดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ลดอุณหภูมಿಯ่างรวดเร็วที่ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 10 °C มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดคือ 1.48 % ความแน่นเนื้อลดลงจาก 182.80-191.01 N เหลือ 72.04 N ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจาก 10.2-10.8 % เป็น 13.10 % ปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้พบว่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.77-0.89 % เป็น 1.42% และมีค่าใกล้เคียงกับมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่บ่มสุกที่อุณหภูมิห้องก่อนการเก็บรักษา สีเปลือกและสีเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วที่ 30 นาที ที่อุณหภูมิ -25 °C มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดคือ 25 วัน และเมื่อนำออกมาบ่มให้สุกที่อุณหภูมิห้องพบว่ามีความคุณภาพและลักษณะภายนอกเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่มีอายุการเก็บรักษา 20 วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ Ertan *et al.* [87] ได้ทำการศึกษาดรอปเบอร์รี่ซึ่งถูกนำมาทำการลดอุณหภูมิ และไม่ทำการลดอุณหภูมิ และเก็บไว้เป็นระยะเวลา 5 หรือ 7 วันที่ 0 °C หรือ 20 °C ร่วมกับ 10 หรือ 20 %CO₂ พบว่าการลดอุณหภูมิจะช่วยลดการสูญเสียกลิ่นและคุณภาพ

2.3.4 การขนส่ง

การขนส่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสำคัญมาก หากขนส่งไม่ดีอาจทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหาย ทั้งจากการกระแทก การวางซ้อนทับ อุณหภูมิขณะขนส่ง ดังนั้นในการขนส่งจะต้องมีการใส่โฟมกันกระแทกให้กับมะม่วงทุกลูก จัดเรียงในตะกร้าในปริมาณที่พอเหมาะ ไม่ซ้อนทับกันมากเกินไป และใช้เวลาเดินทางให้น้อยที่สุด [50] ยิ่งการขนส่งมีขั้นตอนมากเท่าใด ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผลผลิตก็มีมากขึ้นเท่านั้น โดยเฉพาะหากต้องมีการขนเข้า-ขนออก (loading-unloading) และเก็บรักษาระหว่างขั้นตอนต่าง ๆ ในการขนส่งผักผลไม้ในเมืองไทยส่วนใหญ่เป็นการขนส่งทางรถยนต์ เพราะเส้นทางคมนาคมทางรถยนต์ค่อนข้างสะดวกและทั่วถึงกว่าทางรถไฟ ทางเรือ หรือทางอากาศ [42] สำหรับการขนส่งทางอากาศนั้นจะกล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.2 การขนส่งทางอากาศ ในหัวข้อการนี้จะพูดถึงปัญหาด้านการเปลี่ยนทางสรีรวิทยาจากการขนส่งในประเทศ ปัญหาจากการขนส่งนอกจากเส้นทางแล้วยังมีทางด้านพาหนะและภาชนะบรรจุผักผลไม้ ที่พาหนะจะมีมากมายหลายแบบตั้งแต่รถกระบะสี่ล้อไปจนถึงรถบรรทุก 10 ล้อ มีทั้งแบบควบคุมอุณหภูมิและไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภาชนะก็มีหลายหลายทั้ง เชง ตะกร้า หรือแม้กระทั่งการวางเรียงกันบนรถสิบล้ออย่างทุเรียน แต่ในมะม่วงที่ขนส่งภายในประเทศมักจะเป็นตะกร้าพลาสติกหูเหล็ก วางรองด้วยหนังสือพิมพ์ เพื่อที่จะได้เรียงซ้อนในการขนส่งได้ปริมาณมากหลายชั้น [88] การขนส่งมีมูลค่าต่ำเนื่องจากมักใช้แรงงานคนในการขนถ่ายผลิตผล เหตุที่ก่อให้เกิดความสูญเสียอีกอย่างคือสภาพถนนภายในประเทศ มีปัญหาอยู่พอสมควรโดยเฉพาะในชนบทหรือแหล่งผลิต

นอกจากนี้ ระยะเวลาในการขนส่งที่ยาวนานระหว่างการขนส่งผักผลไม้สดสามารถเร่งกระบวนการทางเอนไซม์และเมตาบอลิซึม เพิ่มอันตรายจากความเสียหายทางกลและมูลค่าตลาดที่ลดลง ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Al-Dairi *et al.* [186] พบว่าระยะทางในการขนส่งที่แตกต่างกันส่งผลกระทบบ่อยอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพทางกายภาพของมะเขือเทศ การศึกษานี้ประเมินการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะเขือเทศระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา มะเขือเทศถูกขนส่งในระยะทางสามระยะ (100, 154 และ 205 กม.) จากแหล่งปลูกในท้องถิ่น และส่งไปยังห้องแล็บหลังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บเกี่ยว ผลการวิจัยพบว่า การขนส่งทางไกลทำให้น้ำหนักและความแน่นลดลงอย่างมาก และทำให้เกิดการเปลี่ยนสีระหว่างการเก็บรักษามากขึ้น



ภาพที่ 2.16 รถกระบะขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในเวลากลางคืน [88]

สำหรับการปกป้องผลผลิตจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ในการขนส่งภายในประเทศมีการปกป้องเพียงเล็กน้อย รถบรรทุกส่วนใหญ่ใช้กระบะเปิด ระหว่างการขนส่งใช้ผ้าใบสำหรับบังแดดและฝนเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในภาพที่ 2.16 ผ้าใบสามารถป้องกันแสงแดดได้ดี แต่ไม่สามารถป้องกันความร้อนที่แผ่เข้าไปได้ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและเสื่อมสภาพเร็ว ถ้าเป็นการเก็บเกี่ยวตอนเช้าและขนส่งบ่าย จะยิ่งทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ถ้าขนส่งในตอนกลางคืน จะช่วยให้ผลผลิตมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งการใช้รถห้องเย็นจะเป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับควบคุมอุณหภูมิและป้องกันการสูญเสียน้ำเพื่อรักษาคุณภาพของผลผลิต แต่ยังคงมีราคาแพงและมักใช้สำหรับสินค้าส่งออก [42] ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งคือ ห้องเย็น โดยการขนส่งทางบกจะใช้รถบรรทุกที่เป็น Refrigerated Trucks ส่วนการขนส่งทางเรือจะใช้ Refrigerated container ขณะที่ทางเครื่องบินจะใช้ Refrigerated distribution center ซึ่งการขนส่งทั้งสามทางจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ค่อนข้างคงที่ โดยแตกต่างกันที่ระยะเวลาในการขนส่งเท่านั้น [46]

2.3.5 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและสรีระต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในทุกส่วนของพืชที่ยังมีชีวิตอยู่ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและสรีระที่เกิดขึ้นในพืชมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเก็บรักษาผลผลิตต่าง ๆ หลังการเก็บเกี่ยว [55] อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะไปเร่งอัตราการเกิดเมตาบอริซึมให้สูงขึ้น เป็นผลให้ปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ เกิดได้มากและเร็วขึ้น เช่น เร่งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และอัตราการหายใจของผลผลิตให้สูงขึ้น ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของตัวผลผลิต ขณะที่อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปก็จะมีผลให้เกิดการสูญเสียเช่นกัน คือ เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ซึ่งมีผลทำให้เซลล์ของตัวผลผลิตเกิดการแตกเนื่องจากน้ำภายในเซลล์เกิดการแข็งตัวแล้วดันทะลุเซลล์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมา ตัวผลิตผลเกิดบาดแผลและเชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตผลเกิดการเน่าเสีย [42] ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิต้องเหมาะสมกับผลิตผลนั้น ๆ และค่อนข้างคงที่ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้สามารถชะลอการเสื่อมเสียของผลิตผลได้ ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ คือ ห้องเย็นโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ [46]

โดยทั่วไปมะม่วงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-13 °C ความชื้นสัมพัทธ์ได้ 90-95% ได้นาน 2-3 สัปดาห์ [46] สอดคล้องกับ Handling of Australian mangoes at export destinations [29] ที่แนะนำอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับมะม่วงคือ 10-12 °C ส่วนผลมะม่วงส่งออกของไทยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13-15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ได้ 89-95% ได้นาน 2 สัปดาห์ [30]

Nunes and Emond [27] และ Nunes *et al.* [89] ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการเก็บรักษาสตอเบอร์รี่ในสภาพอุณหภูมิคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษากับการเก็บรักษาสตอเบอร์รี่ในสภาพอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง โดยจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ตั้งแต่โรงคัดบรรจุ การขนส่งทางอากาศ และการวางขายที่ซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่า สตอเบอร์รี่ที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง การสูญเสียน้ำหนักที่มากกว่า ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณน้ำตาลที่น้อยกว่าการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิคงที่ นอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงยังทำให้น้ำเกาะตัวอยู่ที่ผิวของสตอเบอร์รี่ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราและแบคทีเรีย

กุลบัณฑิต [90] ศึกษาผลของระดับอุณหภูมิ และระยะเวลาการลดอุณหภูมิ ต่อคุณภาพของลิ้นจี่พันธุ์สงฮวย พบว่าระดับของอุณหภูมิและระยะเวลาในการลดอุณหภูมิจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณ TSS และ TA คุณภาพทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษา แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิในภายหลังการลดอุณหภูมิ สีเปลือก สีเนื้อ และลักษณะเนื้อเยื่อของลิ้นจี่พันธุ์สงฮวย โดยลิ้นจี่พันธุ์สงฮวยที่ทำการลดอุณหภูมಿಯ่างรวดเร็วที่ระดับ -20 °C เป็นเวลา 10 นาที สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด 18 วัน โดยลักษณะภายนอกเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

Policegoudra and Arsdhya [91] ศึกษาผลของการเก็บมะม่วงที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 25 14 และ 4 °C พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีได้ดีที่สุด โดยผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C มีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด ส่วนผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเร็วที่สุดและมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด

เจือจันทร์ [92] พบว่าการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Mangifera indica* cv. Nam Dok Mai) ที่อุณหภูมิต่ำ 8 °C สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าที่อุณหภูมิ 20 °C โดยมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 10 และ 20 วันตามลำดับ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 8 °C ทำให้มะม่วงไม่เกิดการสุกซึ่ง

เป็นผลจาก Chilling injury และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและเคมีของมะม่วงพันธุ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำดอกไม้ ได้แก่ ความแน่นเนื้อ สีเปลือกและสีเนื้อ ปริมาณ soluble solids ปริมาณ titratable acidity และอัตราการหายใจมีการเปลี่ยนแปลงคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C เกิดการสุกตามปกติ มีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อลดลง สีเปลือกและสีเนื้อเปลี่ยนเป็นสีเหลืองตามค่า yellow index และค่า a เพิ่มขึ้น ปริมาณ soluble solids เพิ่มขึ้น ปริมาณ titratable acidity ลดลง และมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ ปริมาณ total nonstructural carbohydrates อัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน มีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างจากผลปกติที่อุณหภูมิ 20 °C นอกจากนี้มะม่วงที่เก็บรักษาทั้งสองระดับอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่ผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 8 °C มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า สำหรับโพลีเอมีน 3 ชนิด ได้แก่ putrescine, spermidine และ spermine พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงลดลง โดยผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C มีปริมาณโพลีเอมีนทั้ง 3 ชนิด มากกว่าผลปกติที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C โดยมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางสรีรวิทยา และทางเคมีอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ขณะที่ผลที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ 8 °C ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว และผลมะม่วงที่เก็บรักษาทั้งสองระดับอุณหภูมิเกิด ethylene peak ก่อน climacteric peak

วรรณวรงค์ และคณะ [93] รายงานว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 100-110 วันหลังดอกบาน นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% เป็นเวลา 30 วัน พบว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาในทุกอุณหภูมิมีปริมาณน้ำตาลฟรักโทสและกลูโคสลดลง ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา และมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสน้อยกว่าน้ำตาลฟรักโทส ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C มีน้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 และ 35 °C ตามลำดับ สำหรับกรดแอสคอร์บิกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 35 °C เมื่อสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา มีปริมาณลดลง 5.90, 2.38 และ 12.80% ตามลำดับ แสดงว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิสูงทำให้สูญเสียกรดแอสคอร์บิกมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

Raza *et al.* [94] พบว่ามะม่วงพันธุ์ Fajri ถูกเก็บเกี่ยวเมื่อครบกำหนดเชิงพาณิชย์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10, 12 หรือ 14 ± 1°C ด้วยความชื้นสัมพัทธ์ 80-85% เป็นเวลา 21 วัน หลังการเก็บรักษา อัตราการหายใจของผลไม้ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 12 และ 14°C ยังคงสูงกว่าผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็น 1 -2 เท่า การเก็บผลไม้ที่อุณหภูมิ 14°C ส่งผลให้ผิวผลไม้เหี่ยว ผลอ่อน และความรุนแรงของโรคสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 10 และ 12°C ผลไม้ที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 12°C มีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันทางสถิติเกี่ยวกับสีเปลือกผล ความอ่อนของผล อุบัติการณ์ของโรค ความรุนแรงของโรค ผิวเหี่ยว ความเป็นกรด อัตราส่วน SSC:TA ปริมาณทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ อย่างไรก็ตามไม่พบการบาดเจ็บของผลไม้ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาใด ๆ สีเหลืองของเปลือกและการเกิดโรคสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 14°C เมื่อเทียบกับผลไม้ที่เก็บไว้ที่ 10 และ 12°C สรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วผลของ cv. 'Fajri' มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น (21 วัน) โดยมีคุณภาพผลไม้ดีขึ้นที่อุณหภูมิ 10 และ 12°C เมื่อเทียบกับ 4-5 วันภายใต้สภาวะแวดล้อม ($32 \pm 1^{\circ}\text{C}$; 55-60% RH)

Noiwan *et al.* [12] ได้ทำการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ระยะแก่ทางการค้าขนาดประมาณ 380-400 กรัมต่อผล ไม้ที่อุณหภูมิ 13, 20, 27 และ 34 °C พบว่าการสูญเสียน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาทุกอุณหภูมิ โดยการสูญเสียน้ำหนักในมะม่วงที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง โดยเห็นได้ชัดว่าเมื่อเก็บที่ 34 °C กับ 13 °C น้ำหนักจะลดลงเป็น 2.25% และ 0.46% ต่อวันตามลำดับ ในการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้อัตราการหายใจลดลง ทำให้สุกช้าลง การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ รวมถึงค่าความเป็นกรด TA น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง มีการใช้ฟังก์ชัน Arrhenius คำนวณค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ของคุณภาพมะม่วง ได้แก่ ความแน่นเนื้อ SSC และ TA ซึ่งเท่ากับ 46.45 43.05 และ 54.22 kJ mol⁻¹ ตามลำดับ พลังงานกระตุ้นเหล่านี้บ่งบอกถึงความไวต่ออุณหภูมิในระดับปานกลาง การตอบสนองความสุขและเป็นเครื่องมือทำนายที่ดีสำหรับการประเมินคุณภาพมะม่วงตลอดห่วงโซ่อุปทานอาหาร แสดงให้เห็นว่าผลมะม่วงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 13 °C ช่วยยืดอายุคุณลักษณะด้านคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามในการขนส่งเป็นการยากที่จะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษามะม่วงคือ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90% เก็บรักษาได้ 2-3 สัปดาห์ [42] สอดคล้องกับที่ Kader [46] ที่แนะนำว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาคือ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% เก็บรักษาได้ 2-3 สัปดาห์ แต่ Sivakumar [3] กล่าวว่ามะม่วงสุกที่อุณหภูมิ 20-23 °C จะแสดงลักษณะคุณภาพที่ดีและเหมาะกับการรับประทาน

2.3.6 ความชื้นและองค์ประกอบของบรรยากาศ

ความชื้นหรือความดันไอน้ำในบรรยากาศโดยปกติจะมีอยู่ต่ำกว่าระดับความชื้นอิ่มตัว หรือมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 100% จึงมีโอกาที่จะรับน้ำได้อีกมาก ส่วนในผักและผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่า 70% และส่วนใหญ่มีน้ำอยู่ถึงกว่า 90% ความดันไอน้ำในผลไม้มีค่อนข้างสูง เพราะเปรียบเสมือนภาชนะปิด ดังนั้นจะมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับว่าบรรยากาศภายนอกจะมีความชื้นมากน้อยเพียงใด [42]

นอกจากนี้ความชื้นจะมีผลต่อตัวผลิตผลทำให้เกิดการสูญเสียด้านอื่น ๆ ได้คือ เมื่อความชื้นในอากาศสูง (มากกว่า 95%) จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเป็นผลให้ผลิตผลเกิดการเน่าเสียเพิ่มขึ้น ขณะที่ถ้าความชื้นในอากาศต่ำ (น้อยกว่า 90%) จะทำให้ผลิตผลเกิดการสูญเสีย ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะผลิตผลจำพวกผักใบ ซึ่งจะทำให้ใบเกิดการเหี่ยว ดังนั้นการควบคุมความชื้นในอากาศให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (90-95%) จะช่วยให้สามารถรักษาคุณภาพของผลิตผลไว้ได้ [14]

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการควบคุมความชื้นจะใช้ร่วมกับห้องเย็นคือ ทำการควบคุมอุณหภูมิไปพร้อม ๆ กับการควบคุมความชื้น แต่เมื่อระดับความชื้นในอากาศต่ำกว่า 90% จะมีวิธีการเสริมเพื่อเพิ่มระดับความชื้นภายในห้องเย็น ได้แก่ การใช้พัดลมเป่าให้อากาศวิ่งผ่านน้ำ การให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับน้ำโดยตรง คือ การใช้สเปรย์หมอกหรือสปริงเกอร์ สุดท้ายคือการใช้การควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบไอน้ำ [95]

ในสภาพบรรยากาศปกติ แก๊สออกซิเจน 21% และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03% จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็วเนื่องจากในสภาพบรรยากาศปกติจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การเกิดสีน้ำตาลของผลไม้เพิ่มมากขึ้น และเร่งอัตราการหายใจให้เพิ่มสูงขึ้น [46] แต่ถ้าออกซิเจนน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) และทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการหายใจก็เช่นเดียวกัน หากมีการสะสมในที่เก็บรักษาผลิตภัณฑ์มากเกินไป ก็อาจทำให้เกิดการผิดปกติในการหายใจ และทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้ [42] ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ช่วยควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศได้แก่ การควบคุมสภาพบรรยากาศ และการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ซึ่งการใช้งานจะขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการด้านอุณหภูมิและความชื้น [46]

2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงหลังเก็บเกี่ยว

วิจิตร [40] และ สายชล [55] กล่าวว่ามะม่วงเป็นผลไม้ที่เสียหายง่ายชนิดหนึ่ง เมื่อเก็บผลจากต้นมาแล้วย่อมมีการเสื่อมสภาพ สูญเสียระหว่างการขนส่งและในระหว่างการเก็บรักษา อาจมีการเน่าเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาทางเคมีและกายภาพ ซึ่งมีผลทำให้มะม่วงเกิดกระบวนการสุก เพราะผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวจากต้นมาแล้วจะยังคงมีกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิต อาหารและสารประกอบต่าง ๆ ภายในผลจะถูกเผาผลาญเพื่อให้ได้กำลังงานมาใช้ อาหารจะถูกใช้ไปเรื่อย ๆ โดยไม่ได้มาเพิ่มเติมดังเช่นที่อยู่บนต้น ในที่สุดก็จะเสื่อมสภาพและเน่าเสียไปในที่สุด นอกจากนี้การขนส่งอาจก่อให้เกิดแผลหรือรอยขีดข่วน ข้ำ ก็เร่งความเสียหายไปอีก ปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมีดังต่อไปนี้

2.4.1 การหายใจและการผลิตเอทิลีน

การหายใจ (respiration) เป็นกระบวนการเผาผลาญสารประกอบพวกแป้ง น้ำตาลและกรดอินทรีย์อื่น ๆ ภายในผล ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ พร้อมทั้งมีพลังงานออกมาสำหรับการทำงานของเซลล์ [40,81] อัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเนื่องจากปัจจัยภายใน ได้แก่ พันธุกรรม ระยะการเก็บเกี่ยวของผลิตภัณฑ์ และแหล่งที่เพาะปลูก เป็นต้น ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุด เพราะอุณหภูมิสูงขึ้นย่อมกระตุ้นให้สสารทุกอย่างมีพลังงานสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ก็สามารถเกิดในอัตราที่สูงขึ้น รวมถึงการหายใจ [96] การหายใจอาจเกิดได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน การหายใจในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนจะมีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นด้วย อัตราการหายใจของมะม่วงวัดได้ในรูปแบบของปริมาณ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่คายออกมาเป็น $\text{mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภทปมให้สุก (climacteric fruits) [42] มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ผลไม้เริ่มสุก โดยสามารถแบ่งช่วงการเกิด climacteric peak ออกได้เป็น 4 ระยะ [97] คือ

ระยะที่ 1 Pre-climacteric เป็นระยะที่มีการหายใจต่ำ ผิวผลมีสีเขียว และลักษณะเนื้อยังแข็ง

ระยะที่ 2 Climacteric rise ระยะนี้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ผิวของผลมะม่วงยังคงมีสีเขียวและเนื้อยังแข็งอยู่ ช่วงเวลาตั้งแต่เก็บเกี่ยวผลจากวันกระทั่งสิ้นสุดระยะนี้ ใช้เวลาประมาณ 6 วัน

ระยะที่ 3 Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด ผลเริ่มนิ่ม ผิวผลเริ่มเปลี่ยนสี เริ่มมีกลิ่นหอมเล็กน้อย โดยทั่วไประยะนี้เกิดขึ้นประมาณวันที่ 6-10 ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว

ระยะที่ 4 Post-climacteric เป็นระยะที่อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างช้า ๆ เกิดขึ้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน ผลมีผิวสีเหลือง เนื้อผลเริ่มนิ่มและมีกลิ่นหอมสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C มีอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจากวันแรก และเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 5 หลังจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงที่ 100-200 $\text{mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ในอุณหภูมิ 25 °C [98] ซึ่งโดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 °C ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดเร็วขึ้นประมาณ 2 เท่า [42] สำหรับในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่ามีอัตราการผลิต CO_2 เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกและเพิ่มสูงสุดในวันที่ 5 มีค่าเท่ากับ 56 $\text{mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ หลังจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว [99] เช่นเดียวกับที่เสาวภา [39] รายงานว่า อัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 5 มีค่าเท่ากับ 225 $\text{mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C สอดคล้องกับการศึกษาของจารุวัฒน์ [100] พบว่าอัตราการหายใจสูงสุดในวันที่ 6 มีค่าเท่ากับ 57.11 $\text{mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 °C ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และมีอัตราการผลิต CO_2 สูงสุดในวันที่ 24 มีค่าเท่ากับ 62.30 $\text{mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$

ชนิด [14] ได้มีการทดลองจำลองสภาวะการขนส่ง โดยผลของอุณหภูมิที่เก็บรักษาที่ 0, 5, 8, 10 และ 12 °C พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น มะม่วงจะมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น โดยการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิ 0 °C มีอัตราการหายใจเฉลี่ยต่ำสุด 30.44 $\text{mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ รองลงมาคือ การเก็บที่อุณหภูมิ 5, 8, 10 และ 12 °C มีอัตราการหายใจเฉลี่ย 44.69, 97.94, 103.37 และ 118.16 $\text{mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นย่อมกระตุ้นให้สสารทุกอย่างมีพลังงานสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ก็สามารถเกิดได้ในอัตราที่สูงขึ้น รวมถึงการหายใจ [96] เช่นเดียวกับการทดลองของ Ravindral and Goswami [101] ที่พบว่ามะม่วงจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น สอดคล้องกับกล้วยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C จะมีอัตราการหายใจสูงกว่าที่อุณหภูมิ 10 °C [102]

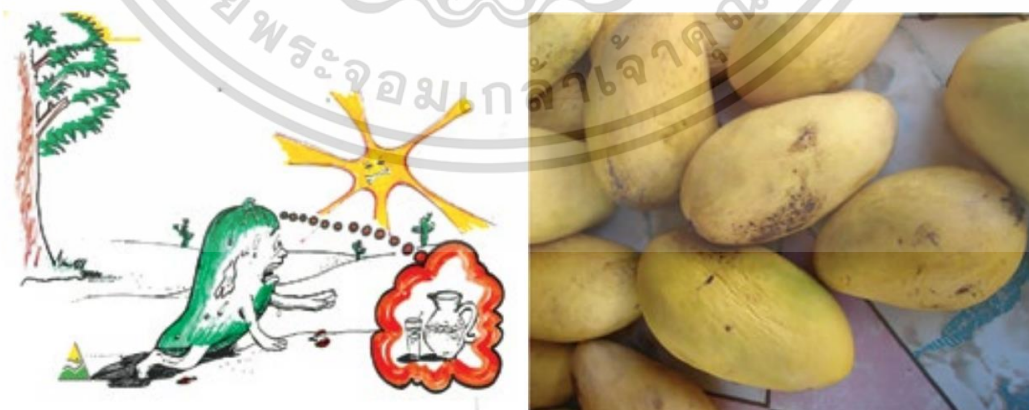
เอทิลีน (Ethylene) เป็นฮอร์โมนพืชที่กระตุ้นให้เกิดการสุกของผลไม้ได้ โดยลักษณะการผลิตเอทิลีนมีความสัมพันธ์กับการหายใจ ผลไม้ประเภท climacteric มีการผลิตและความเข้มข้นของเอทิลีนภายในระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ จนกระทั่งผลไม้เริ่มสุกการผลิตเอทิลีนจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้มักพบว่าการผลิตเอทิลีนและกระบวนการสุกมักเกิดควบคู่กัน [42]

มะม่วงอยู่ในกลุ่มผลไม้ที่มีการผลิตเอทิลีนปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วง $1.0-10.0 \mu\text{C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 20°C และมีรูปแบบการผลิตเอทิลีนคล้ายกับการหายใจ [42] เช่นเดียวกับที่ Kader [46] รายงานว่ามะม่วงมีการผลิตเอทิลีนเท่ากับ $0.2-1.0 \mu\text{C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 13°C สำหรับในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25°C การผลิตเอทิลีนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับสูงสุด ในวันที่ 4 มีปริมาณเท่ากับ 4.5 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C มีการผลิตเอทิลีนสูงสุดเท่ากับ 0.25 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ในวันที่ 12 แต่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C พบว่ามีการผลิตเอทิลีนสูงสุดเท่ากับ 1.14 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ในวันที่ 24 [99] สอดคล้องกับการทดลองของเสาวภา [39] ที่พบว่า มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองระยะแรกอัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำแต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถึงจุดสูงสุดหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 4-5 วัน จากนั้นจะมีค่าลดลง นอกจากนี้การผลิตเอทิลีนของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C พบว่าการผลิตเอทิลีนสูงสุดเท่ากับ $0.25 \mu\text{C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ในวันที่ 12 แต่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดมีค่าเท่ากับ $1.14 \mu\text{C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ในวันที่ 24 [100] โดย Mitra and Baldwin [103] สรุปว่ามะม่วงมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นหลังจากการผลิต CO_2 ที่เพิ่มสูงสุด

ความร้อนที่ผลไม้ดูดจากแสงอาทิตย์ที่เรียกว่า “field heat” ก็มีส่วนช่วยเร่งการหายใจเช่นกัน วิธีการลดความร้อนของผลไม้อาจทำได้โดยนำผลไม้มาฝังไว้ในร่มหรือค้ำคั้น หรือให้อากาศถ่ายเทสภาพห้องเก็บรักษาที่มีการระบายอากาศหรืออากาศถ่ายเทดีจะช่วยลดความร้อนและความชื้นของอากาศรอบ ๆ ผล บรรยากาศจะเย็นลง ทำให้อัตราการหายใจ การควบคุมให้ผลมะม่วงหายใจน้อยลงจะทำให้ผลสดอยู่ได้นานขึ้น [40] อุณหภูมิสำหรับเก็บรักษาผลมะม่วงโดยทั่วไปจะตกประมาณ 10°C ผลจากการหายใจจะมีความร้อนคายออกมาด้วย ถ้าไม่มีการระบายหรือกำจัดออกไปจากห้องเก็บผลไม้จะเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว ความร้อนที่คายออกจากผลมะม่วงที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ เป็น BTU/Tons/Day มีดังนี้คือ ที่ $40-41^\circ\text{F}$ ($4.4-5.0^\circ\text{C}$) = 2,200-4,800 ที่ $59-60^\circ\text{F}$ ($15.0-15.6^\circ\text{C}$) = 9,900 และที่ $68-70^\circ\text{F}$ ($20.0-21.1^\circ\text{C}$) = 16,500-33,300 [40,104] โดยจากการศึกษาพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บผลไม้สูงขึ้นจาก 0 เป็น 25°C พบว่าการปลดปล่อยเอทิลีนในผลไม้จะสูงขึ้นเช่นกัน และเอทิลีนจะไปทำให้การหายใจเริ่มเร็วขึ้น แต่ไม่เร่งอัตราการหายใจ เมื่อหายใจมากก็ปลดปล่อยเอทิลีนมากตามไปด้วย เอทิลีนที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะกระตุ้นการหายใจให้สูงขึ้น กล่าวได้ว่าการหายใจและการปลดปล่อยเอทิลีนในผลไม้เป็นกระบวนการส่งเสริมการสุกซึ่งกันและกัน [40,42,46,105]

2.4.2 การสูญเสียน้ำหนักและการคายน้ำของผล

ผลิตผลสดต่าง ๆ มีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ และปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมีความชื้นสูงกว่าอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงสูญเสียออกสู่อากาศ น้ำที่คายออกจากผลจะออกมาในรูป “ไอน้ำ” ผ่านออกมาตามรูเล็ก ๆ หรือออกตามเซลล์ผิวของผล การสูญเสียน้ำจะทำให้น้ำหนักและคุณภาพของผลิตผลลดลงโดยเฉพาะเนื้อสัมผัส (texture) [40,42] เนื้อของผลมะม่วงประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วจะไม่สามารถรักษาไว้ในผลทดแทนน้ำที่สูญเสียไปจากการหายใจได้ มะม่วงจึงอาจเหี่ยวเฉาได้ดังแสดงในภาพที่ 2.17 การสัมผัสกับแสงแดดจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วในระหว่างการจำหน่าย [180] ปัจจัยที่มีต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล มีทั้งปัจจัยภายใน ได้แก่ ขนาดของผลิตผล (พื้นที่ผิว) โครงสร้างลักษณะของผลิตผล cuticle (natural wax) Lenticels หรือบาดแผล รอยขีด ตำหนิ เป็นต้น และปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศ การเคลื่อนไหวของอากาศ เป็นต้น [81,98] โดยพบว่า การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 13 °C นาน 30 วัน มีการสูญเสียน้ำหนัก 13.41% [106] เช่นเดียวกับที่เสาวภา [39] รายงานว่า ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาที่นานมากขึ้น และพบว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 14 °C มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °C สอดคล้องกับการรายงานของ Noiwan *et al.* [12] ว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาที่นานขึ้นและเมื่อเก็บในอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาเท่ากัน ผลมะม่วงที่เก็บไว้ในอุณหภูมิสูงยิ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีอายุ 95, 105, 110 และ 115 วันหลังดอกบานเต็มที่จะสูญเสียน้ำหนักเมื่อวางไว้ในอุณหภูมิห้อง 7 วัน คือ 5.9, 9.0, 11.3 และ 11.9% ตามลำดับ [40] Tongdee *et al.* [107] พบว่ามะม่วงอกร่อง น้ำดอกไม้ หนึ่งกลางวัน และพิมเสนแดง ที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องสูญเสียน้ำหนักเมื่อเก็บไว้ 7 วัน คือ 12.64, 12.31, 8.97 และ 9.17% ตามลำดับ



ภาพที่ 2.17 การที่มะม่วงสัมผัสกับแสงแดดทำให้เหี่ยวเฉาและสูญเสียน้ำหนัก [180]

ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บควรสูงพอ เช่น 90-95% จะลดการคายน้ำลงมาก การสูญเสียความชื้นของผลอันเกิดจากการคายน้ำเกี่ยวข้องกับทั้งอุณหภูมิและความชื้นรอบ ๆ ผลิตผลในสภาพเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิ 0 °C และมีความชื้น 70% ผลผลิตที่เสียหายบางชนิดจะคายน้ำเป็น 3 เท่าของผลผลิตชนิดเดียวกันที่เก็บ ณ อุณหภูมิเดียวกันแต่มีความชื้นสูง 90% สภาพห้องเก็บที่มีความชื้นอย่างเดียวกัน เช่น 70% ผลผลิตชนิดเดียวกันที่เก็บ ณ 5 °C จะคายน้ำมากกว่าที่เก็บ ณ 0 °C ถึง 1.5 เท่า [40]

2.4.3 อาการสะท้อนหนาว

มะม่วงจัดเป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งที่ยอ่อนแอต่ออาการสะท้อนหนาวโดยสีผิวของเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเทา และเนื้อบางส่วนมีสีคล้ำ ซึ่งอาจเป็นสีม่วงหรือสีเทา บางครั้งผลมะม่วงดิบอาจไม่แสดงอาการที่ผิว แต่อาจแสดงอาการที่เนื้อติดกับเมล็ด ซึ่งจะเกิดสีเทา หรือสีดำคล้ำ ผลมะม่วงอาจสุกผิดปกติ รสชาติผิดปกติ สีเนื้อพัฒนาไม่สมบูรณ์ เกิดรอยบุ๋มที่ผิว (Surface pitting) และเน่าเสียหาย ดังภาพที่ 2.18 ความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากอาการสะท้อนหนาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความยาวนานของผลมะม่วงที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ [108] เช่น มะม่วงพันธุ์เฮเคนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 และ 5 °C นาน 20 วัน แล้วนำผลมะม่วงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C ปรากฏว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °C แสดงอาการยุบตัวที่ผิวของผลมากกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C [109] โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการสะท้อนหนาว [97] ได้แก่

- **ระยะความแก่:** ระยะความแก่ของผลไม้มีผลต่อการเกิดการสะท้อนหนาวได้แตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ ผลไม้ที่ยังไม่แก่ถ้าผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เมื่อเกิดอาการสะท้อนหนาวอาจทำให้ผลไม้ไม่สุกได้ หรืออาจสุกได้คุณภาพไม่ดี ซึ่งผลมะม่วงสุกสามารถต้านทานการเกิดอาการสะท้อนหนาวได้ดีกว่าผลดิบ

- **อุณหภูมิ:** อุณหภูมิจัดเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความรุนแรงของอาการสะท้อนหนาว อุณหภูมิที่ชักนำให้เกิดอาการสะท้อนหนาวในพืชทั่วไปในเขตร้อน คือ ประมาณ 10 °C พืชบางชนิดอาจเกิดอันตรายที่อุณหภูมิ 12.7 °C และมีบางชนิดที่เกิดอันตรายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 °C และความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากอาการสะท้อนหนาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ผลมะม่วงได้รับอุณหภูมิต่ำ ถ้าอุณหภูมิต่ำมากและสัมผัสอยู่นานอาการก็จะเกิดขึ้นมาก แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำไม่มากและสัมผัสอยู่นานอาการจะเกิดขึ้นน้อย

- **ลักษณะทางพันธุกรรม:** ผลไม้ที่มาจากแหล่งที่แตกต่างกันมีความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำแตกต่างกัน ผลไม้ในเขตร้อน เช่น ท้อ และแอปเปิ้ล จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลไม้ในเขตกึ่งร้อน เช่น ลิ้นจี่ และลำไย ผลไม้เขตร้อน เช่น มะม่วง มะละกอ ทุเรียน และเงาะ



ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างการเกิดอาการสะท้อนหนาวในมะม่วงการขนส่งทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

ความแน่นหรือความแข็งเป็นค่าคุณภาพที่ระบุคุณสมบัติพื้นผิวของผลไม้ เป็นหนึ่งในดัชนีคุณภาพทางอ้อมที่สำคัญซึ่งแสดงถึงระยะสุกของผลไม้ [110] นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อกำหนดการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมได้ หากทราบความแน่นเนื้อในเบื้องต้นแล้ว โดยทั่วไปผู้บริโภคจะรับรู้และทราบความแน่นเนื้อของผลไม้ด้วยการใช้มือบีบหรือกดเบา ๆ เพื่อประเมินความสุขของผลไม้ นั้น ๆ การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของผลไม้ไม่เพียงแต่เผยให้เห็นพัฒนาการของมันเท่านั้น แต่ยังเป็นข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความต้องการของผู้บริโภค [111]

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric เมื่อกระบวนการสุกเกิดขึ้นการอ่อนนุ่มจะเกิดขึ้นชัดเจน โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ระหว่างการสุกของผลไม้ทำให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ ในระหว่างการสุก ซึ่งพบว่า การอ่อนตัวของผลไม้เป็นผลจากการสูญเสียความตึงของเซลล์ การสลายตัวของแป้งและไขมัน และการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ [112] เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสารประกอบพวกเพคตินในรอยต่อระหว่างเซลล์ ซึ่งเดิมช่วยประสานเซลล์ให้เกาะกันแข็งแรง เมื่อสุก เพคตินจะเปลี่ยนรูปจากเดิมที่ไม่ละลายน้ำ ไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ [42] การอ่อนตัวของผลไม้เกิดจากเซลล์พาราไคมาที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น (stiffness; elastic modulus) เฮมิเซลลูโลสที่ผนังเซลล์ที่ผนังเซลล์มีน้ำหนักโมเลกุลลดลงทำให้ผนังเซลล์เสื่อมสภาพ เนื่องจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์เปลี่ยนไป สารภายในเยื่อหุ้มพลาสมาที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าภายนอกเยื่อหุ้ม ทำให้แรงดันเต่งภายในเซลล์ลดลง และการที่ผลไม้อ่อนตัวเนื่องจากการคืนตัวของเซลล์ (cell relaxation) เปลี่ยนไป เพราะแรงยึดเกาะระหว่างเซลล์ลดลง [113] การสูญเสียความตึงของเซลล์จะเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำของผล โดยผ่านทางช่องเปิดต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสระหว่างการสุกของผลไม้ ส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพคตินในผนังเซลล์ระหว่างการสุก [114]

สำหรับในมะม่วงได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C นาน 30 วัน พบว่ามีค่าลดลง 48.84 N เป็น 2.66 N [106] ขณะที่เสาวภา [39] พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 0.14-0.31 kg/cm² โดยค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °C นาน 10 และ 20 วัน มีค่ามากกว่าการเก็บรักษาที่ 14 °C และมีค่าลดลงจาก 67 N เป็น 30 N ที่อุณหภูมิ 12 °C และเป็น 25 N ที่อุณหภูมิ 14 °C ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อผลเริ่มมีได้ 1 วัน มีความแน่นเนื้อ 8.7 N และลดลงเป็น 0.5 N เมื่อผลมีได้ 10 วัน [115] นอกจากนี้การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Keitt ที่อุณหภูมิ 5 และ 14 °C นาน 28 วัน พบว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C มีความหนาแน่นเนื้อลดลงน้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C [116] ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระยะดิบ มีความแน่นเนื้อ 14.12 N และเมื่อผลสุกมีความแน่นเนื้อ 9.78 N [39] นอกจากนี้รายงานของ พิระศักดิ์ [50] พบว่า ความแน่นเนื้อ (เปลือก) ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งที่เก็บ

รักษาใน 13 °C มีความหนาแน่นเนื้อ (เปลือก) มากกว่าที่อุณหภูมิ 15 และ 27 °C โดยจากเริ่มต้นที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 0.8 N เมื่อผ่านไป 6 วัน ที่อุณหภูมิ 13, 15 และ 27 °C จะเหลือประมาณ 0.8, 0.7 และ 0.5 ตามลำดับ ส่วนความหนาแน่น (เนื้อ) จากเริ่มต้นประมาณ 0.7 N เมื่อผ่านไป 6 วัน ที่อุณหภูมิ 13, 15 และ 27 °C จะเหลือประมาณ 0.7, 0.65 และ 0.35 ตามลำดับ นอกจากนี้ Penchaiya [117] และ Penchaiya *et al.* [118] รายงานว่า ในการศึกษาความแน่นเนื้อจากผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13, 18, 25 และ 30 °C จะพบว่าอัตราการสูญเสียความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้น โดยการเก็บรักษาที่ 13 °C นั้นสามารถช่วยชะลอการสูญเสียความหนาแน่นเนื้อได้ดีที่สุด

2.4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ปริมาณ Total soluble solids (TSS) หรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เป็นดัชนีการหักเหของแสงที่ระบุสัดส่วน (%) ของของแข็งที่ละลายในสารละลาย [120] TSS คือผลรวมของน้ำตาล กรด และส่วนประกอบย่อยอื่น ๆ ในผลไม้ [121] โดยปริมาณน้ำตาลในผลไม้ที่สุกมีมากกว่าผลไม้ที่ดิบ ในช่วงระยะสุกของมะม่วงจะมีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ซึ่งโดยปกติจะแสดงเป็น TSS เนื่องจากของแข็งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล [122] โดยปริมาณน้ำตาลในผลไม้ที่สุกมีมากกว่าผลไม้ที่ดิบ เมื่อผลไม้เกิดการสุก แป้งที่สะสมไว้จะสลายตัวโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสได้น้ำตาล ทำให้ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้น ในผลมะม่วงน้ำตาลส่วนใหญ่ 75% เป็นน้ำตาลซูโครส [55] ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสในระดับเล็กน้อย เป็นคุณลักษณะคุณภาพโดยทั่วไปสำหรับการประเมินความหวานของมะม่วง และแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพระหว่างระยะสุก [123] น้ำตาลถูกระบุว่าเป็นกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสในมะม่วงสีสายพันธุ์จากงานวิจัยของ Liu *et al.* [124] และน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลเด่นในมะม่วงสีสายพันธุ์ ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดแสดงเป็น TSS% หรือ °Brix จากงานวิจัยของ Jha *et al.* [57] รายงานว่า TSS ในมะม่วงเพิ่มขึ้นจาก 6.9-8.1 °Brix จนกระทั่งถึงระยะสุก และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็น 8-13 °Brix หลังจากผลสุก ปริมาณ TSS ของผลไม้ที่เก็บไว้เพิ่มขึ้นถึง 19 °Brix เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นและ ลดลงจนเข้าสู่ระยะชราภาพเต็มที่ [125] การเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวผ่านกลไกที่ซับซ้อนเป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา [126-127] ความล่าช้าในการเปลี่ยนแปลงของ TSS บ่งชี้ถึงการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว [128]

มะม่วงน้ำดอกไม้เมื่ออายุได้ 16 สัปดาห์ หรือ 112 วัน จะวัด TSS ได้ 10.0 °Brix เมื่อบ่มสุกจะมีค่า TSS 22.1 °Brix [129] จากการรายงานของธีราพร [115] พบว่า ปริมาณ TSS หลังการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่า 9.5% หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 17.23% และเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อสุกมากขึ้น สำหรับการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์สีทองที่อุณหภูมิ 13 °C นาน 20 วัน ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นจาก 9.5% เป็น 16.5% หลังจากนั้นค่าลดลงเพียงเล็กน้อย [106] เช่นเดียวกับที่เสาวภา [39] พบว่า มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจะมีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ

14 °C และจากรายงานของ กฤษณาและคณะ [129] มะม่วงที่อายุเก็บเกี่ยว 80% บ่มด้วยถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) จะมีค่า TSS ก่อนบ่ม หลังบ่ม 1, 2 และ 3 วัน ที่ 8.965 ± 1.716 , 10.043 ± 1.977 , 11.508 ± 1.691 และ 16.848 ± 1.518 ตามลำดับ นอกจากนี้รายงานของ Noiwan et al. [12] ที่ทดลองผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของน้ำดอกไม้ส้มม่วงทอง พบว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (SSC) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก ค่า SSC ผลมะม่วงสุกในวันที่ 0 มีค่าประมาณ 11% และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นประมาณ 16-17% เมื่อสุกเต็มที่ ระดับของ SSC หลังจากผลมะม่วงสุกเต็มที่พบว่าคงที่หรือลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา จากรายงานของ Sothornvit and Rodsamran [128] พบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงขึ้นส่งผลให้ TSS ของมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วผลไม้ ที่อุณหภูมิ 34°C ผลไม้ใช้เวลาสุกสั้นที่สุด (3 วัน) และ TSS สูงกว่ามะม่วงผลไม้ที่เก็บที่อุณหภูมิ 27, 20 และ 13°C

2.4.6 ปริมาณกรด

กรดในมะม่วงประกอบด้วยกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดทาตาลิก และกรดออกซาลิก แต่กรดที่มีปริมาณมากที่สุดคือ กรดซิตริก [130] โดยปกติในผลมะม่วงมีปริมาณกรด citric และ succinic ช่วงแรกซึ่งจะค่อย ๆ ลดลงระหว่างการสุก ขณะที่กรด malic นั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ [131] โดยกรดจะอยู่ในส่วนเนื้อของผลมากที่สุด ในระหว่างการสุก ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์จะลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนกรดซิตริกเป็นน้ำตาลและการใช้ประโยชน์ต่อไปในการเผาผลาญอาหารกระบวนการของผลไม้ [132-135] และสิ่งเหล่านี้จะถูกบริโภคในระหว่างกระบวนการหายใจ [136-138] ซึ่งอุณหภูมิสูงส่งผลต่อค่า TA ของมะม่วงในระหว่างการเก็บรักษา โดยทั่วไปพบว่าอัตราการสุกของมะม่วงตามค่าความเป็นกรดลดลงพบว่าในห้องเย็นจะช้ากว่าสภาพแวดล้อม อุณหภูมิในการจัดเก็บค่อนข้างสูงทำให้อัตราการลดลงของค่า TA สูงขึ้นระหว่างการสุกและการเก็บรักษามะม่วง ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่เพิ่มขึ้นและลดลงของ TA สัมพันธ์กับระยะสุกของผลมะม่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตามรายงานของ O'Hare [139]

มะม่วงหลังจากติดผล 13 สัปดาห์ หรือ 91 วัน มีปริมาณกรด 8-9% [129] จริงแท้ [119] พบว่ามะม่วงพันธุ์ทองดำมีปริมาณกรดซิตริกลดลงจาก 1.45 เป็น 0.52 ซึ่งการลดลงอาจเกิดเนื่องจากผลไม้ใช้กรดบางส่วนเป็น substrate ของกระบวนการหายใจ โดยปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) ในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส มีค่า TA เพิ่มขึ้นจาก 2.22% เป็น 3.13% ใน 10 วันแรกและลดลงเหลือ 1.51% เมื่อเก็บรักษานาน 30 วัน ตามรายงานศศิธรและนิธิยา [106] เช่นเดียวกับที่เสาวภา [39] พบว่า มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจะมีปริมาณกรดลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 12 และ 14 องศาเซลเซียส โดยลดลงจาก 2.3% ในวันแรก เหลือเพียง 0.1% เมื่อผลสุก นอกจากนี้รายงานของ Noiwan et al. [12] พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า TA ของผลมะม่วงที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างกันั้นลดลงระหว่างการสุกของผลไม้ในทุกสภาวะ ในวันแรก TA ของผลสุกมีค่าประมาณ 2.8-3.0% และลดลงเหลือประมาณ 0.2-0.9% ในผลมะม่วงสุก TA ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 34°C ลดลงเร็วกว่าที่ 27, 20 และ 13°C ระหว่างการเก็บมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 34°C จะสุกในวันที่สี่ และพบว่าค่า TA ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับผลที่ยังไม่สุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 การเปลี่ยนแปลง pH

ค่าพีเอช หมายถึง ค่าลบของ \log ฐาน 10 ของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำผักหรือน้ำผลไม้ที่คั้นได้ โดยความเป็นกรดของผักและผลไม้มีความสำคัญต่อคุณภาพของผักและผลไม้ โดยเฉพาะผลไม้อ่อนจะมีปริมาณกรดสูงมาก เมื่อผลไม้แก่จัดจะมีปริมาณกรดลดลง และเมื่อผลไม้อ่อนจะมีปริมาณกรดน้อยมาก การวิเคราะห์หาปริมาณกรดจึงใช้เป็นตัวบ่งชี้ระยะการแก่และการสุก รวมถึงบ่งชี้รสชาติของผลไม้ได้ และความเป็นกรดยังมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา [184]

อาหารสามารถจำแนกออกตามค่าพีเอชได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1. ผัก ผลไม้ และอาหารที่มีความเป็นกรดสูงมาก (very high acid food) หมายถึง มีพีเอชต่ำกว่า 3.7

2. ผัก ผลไม้ และอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (high acid food) หมายถึง มีพีเอชอยู่ในช่วง 3.7-4.5

3. ผัก ผลไม้ และอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) หมายถึง มีพีเอชอยู่ในช่วง 4.5-7.0

4. ผัก ผลไม้ และอาหารที่มีความเป็นด่าง (basic food) หมายถึง มีพีเอชมากกว่า 7.0

ซึ่งจากข้อมูลของ U.S.FDA [185] มะม่วงสุก (Mango, ripe) จะมีค่าพีเอชอยู่ที่ 5.8-6.0 หรือมีความเป็นกรดสูงนั่นเอง

จากรายงานของ Islam *et.al* [174], ศศิธรและนิธิยา [106], เสาวภา [39] พบว่าค่า pH ของผลมะม่วงเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเมื่อผลสุก





2.4.8 การเปลี่ยนแปลงสี

สีและรงควัตถุแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ คลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียว แคโรทีนอยด์ซึ่งให้สีเหลือง-แดง และแอนโทไซยานินซึ่งให้สีแดง-น้ำเงิน นอกจากนี้ยังมีฟลาโวนอลและฟลาโวนซึ่งให้สีขาวและสีนวลโดยมีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับแอนโทไซยานิน คลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียวในผลไม้ยังเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคต้องการหรือไม่ก็ได้ สำหรับในมะม่วงที่ผู้บริโภคต้องการรับประทานสุก การทำให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์หายไปเป็นสิ่งจำเป็นเพราะช่วยให้ผู้บริโภคทราบว่าผลไม้สุกรับประทานได้แล้ว [117]

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลมะม่วงจากผลดิบเป็นผลสุกจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพันธุ์ โดยระหว่างการสุกจะมีการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์จากกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส [14,46] มีการสังเคราะห์แซนโทฟิลล์ แคโรทีน และแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองแดงหรือส้ม และสีม่วงน้ำเงิน ปรากฏขึ้น ทำให้เมื่อผลมะม่วงสุกเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือส้มแดง หรือม่วงแดง [140] เช่น เปลือกผลมะม่วงพันธุ์ Harden เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองส้ม และพันธุ์ Tommy Atkins เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้มแดง ในขณะที่พันธุ์ Keitt เปลือกผลมะม่วงยังคงเป็นสีเขียวอยู่ [141] ส่วนผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อยู่ในระยะแก่จัด ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะ

เปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stage/Degree of Symptom	1	2	3	4
Ripening-decay index				
	(Score 1–20) raw, yellow, hard texture	(Score 21–40) raw, yellow, semi-hard texture	(Score 41–60) ripe, orange-yellow, firm texture	(Score 61–100) overripe, orange-yellow, soft texture, slightly alcoholic smell
Indexes	Ripening 1	Ripening 2	Ripening 3	Ripening 4
Number	29	14	43	41
L*	81.52 ± 0.20 ^d	79.57 ± 0.53 ^c	75.59 ± 0.32 ^b	73.27 ± 0.35 ^a
a*	1.58 ± 0.14 ^a	1.83 ± 0.20 ^a	4.03 ± 0.25 ^b	5.71 ± 0.30 ^c
b*	31.37 ± 0.63 ^a	33.88 ± 1.03 ^b	40.8 ± 0.70 ^c	43.3 ± 0.48 ^d
F w/Peel (N)	31.37 ± 0.47 ^d	24.16 ± 1.48 ^c	13.49 ± 0.98 ^b	9.23 ± 0.51 ^a
F w/o Peel (N)	24.11 ± 0.76 ^d	14.64 ± 1.92 ^c	4.03 ± 0.30 ^b	1.53 ± 0.27 ^a
Weight loss (%)	1.71 ± 0.25 ^a	2.71 ± 0.18 ^b	4.17 ± 0.18 ^c	6.29 ± 0.31 ^d
pH	3.29 ± 0.04 ^a	3.42 ± 0.09 ^a	4.64 ± 0.10 ^c	5.37 ± 0.07 ^d
TSS	7.93 ± 0.28 ^a	8.61 ± 0.33 ^{ab}	8.96 ± 0.23 ^b	8.33 ± 0.20 ^{ab}
TA	0.94 ± 0.05 ^d	0.69 ± 0.08 ^c	0.17 ± 0.02 ^b	0.06 ± 0.01 ^a
TSS/TA	9.38 ± 0.73 ^a	15.94 ± 2.91 ^a	110.64 ± 12.68 ^b	169.83 ± 9.51 ^c

ภาพที่ 2.19 คุณลักษณะกายภาพและชีวภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่แต่ละระยะสุก [142]

รายงานของ Noiwan *et. al.* [12] พบว่าสีเปลือกของมะม่วงเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนในผลสุกเป็นสีเขียวเข้มหรือสีเหลืองทองในมะม่วงสุก ค่า L* ของผลมะม่วงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ทุกสภาวะการเก็บรักษาพบว่าค่า L* ลดลงอย่างต่อเนื่อง และค่า b* เพิ่มขึ้นในช่วงที่ผลมะม่วงสุก สภาพอุณหภูมิทำให้ค่าสี L*, a* และ b* ลดลงระหว่างการเก็บรักษา ในระยะที่สุกเต็มที่ ค่าสี L* และ a* มีค่าต่ำกว่าและค่า b* สูงกว่าในผลไม้ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 34 °C โดยไม่คำนึงถึงระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่สีเนื้อ (L*, a* และ b*) ที่โดยทั่วไปแล้วสีเนื้อของผลมะม่วงจะเปลี่ยนจากสีขาวในช่วงเริ่มต้น เป็นสีเหลืองเข้มในมะม่วงสุก ดังนั้นจะเห็นได้ชัดว่าค่า L* ลดลง ในขณะที่ค่า a* เพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกเต็มที่ (วันที่ 3, 6, 8 และ 16 ที่อุณหภูมิ 34, 27, 20 และ 13 °C ตามลำดับ)

Tangpao [142] ได้ทำการวิจัยการประเมินที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางสรีรวิทยาและชีวเคมีระหว่างการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ดังแสดงในภาพที่ 2.19

2.4.9 โรคหลังการเก็บเกี่ยว

โรคแอนแทรกโนสเป็นโรคที่สำคัญที่สุดของมะม่วง ที่ปลูกในสภาพอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย มีสาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ซึ่งสามารถทำให้เกิดโรคได้ในทุกระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วง [143] โดยในระยะเก็บเกี่ยวผลมะม่วงส่วนมาก เชื้อราจะพักตัวที่ผิวผลทำให้ไม่แสดงอาการจุดดำ แต่หลังจากการเก็บเกี่ยวจะเริ่มปรากฏอาการของโรคกับผลมะม่วงที่อยู่ในระยะบ่ม และผลสุก [144] ซึ่งจัดเป็นโรคที่สำคัญในระยะหลังเก็บเกี่ยวของมะม่วง จึงเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการส่งไปจำหน่ายทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ โดยเฉพาะมะม่วงที่ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับประทานแบบผลสุกและเปลือกบาง จะถูกเชื้อเข้าทำลายได้ง่าย เช่น พันธุ์น้ำดอกไม้ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมจากตลาดต่างประเทศและมีมูลค่าการส่งออกมากที่สุดกว่าพันธุ์อื่น ๆ จากการสำรวจความเสียหายของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในแหล่งวางจำหน่ายในเขตภาคเหนือและตลาดกลางสินค้าเกษตรกรในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าความเสียหายมากที่สุดในระยะวางจำหน่าย มีสาเหตุจากโรคแอนแทรกคโนสมากที่สุดคิดเป็น 63.2% สำหรับในระยะขนส่งพบว่า ความเสียหายจากโรคแอนแทรกคโนสพบเป็นอันดับที่สองรองจากอาการผลช้ำ [145] นอกจากนี้ยังพบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคนี้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ พันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง มหาชนก และโซคอนันต์ ตามลำดับ และพันธุ์แรดอ่อนแอน้อยที่สุด [146]

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว การบรรจุและการขนส่งที่ไม่เหมาะสมที่เกิดขึ้นในห่วงโซ่อุปทานของผักและผลไม้ ทำให้มะม่วงเกิดการสูญเสียคุณภาพอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการจัดการกระบวนการบรรจุ การขนส่งและควบคุมอุณหภูมิที่ถูกต้อง จะช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพและลดการสูญเสียของมะม่วง ทำให้มีอายุการเก็บรักษาและวางจำหน่ายที่ยาวนานได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ

Nunes *et al.* [17] ได้ทำการทดลองเก็บรักษามะละกอโดยจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ตั้งแต่โรงคัดบรรจุ การขนส่งทางอากาศ และการวางขายที่ซูเปอร์มาร์เก็ต เปรียบเทียบกับการเก็บรักษามะละกอที่อุณหภูมิคงที่ที่ 12 °C พบว่า การเก็บรักษามะละกอในสภาพที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงทั้งแบบอุณหภูมิสูงแบบอุณหภูมิต่ำจะทำให้มะละกอมีการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี การสูญเสียความแน่นเนื้อ และการเสื่อมเสียที่มากกว่า มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และปริมาณวิตามินซีที่น้อยกว่าการเก็บรักษามะละกอที่อุณหภูมิคงที่ที่ 12 °C นอกจากนี้การเก็บรักษามะละกอในสภาพที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงแบบอุณหภูมิต่ำจะทำให้มะละกอเกิดการสั่ก้านหนาว จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษามะละกอในสภาพที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงทั้งแบบอุณหภูมิสูงและแบบอุณหภูมิต่ำในเวลาไม่นานหรือ 2-3 ชั่วโมง ในระหว่างกระบวนการบรรจุและการขนส่ง สามารถทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในคุณภาพของมะละกอได้

Nunes and Emond [27] และ Nunes *et al.* [89] ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการเก็บรักษาสตอร์เบอร์รี่ในสภาพอุณหภูมิคงที่ โดยอุณหภูมิที่ผันผวนมี 3 ระดับคือ 1 วันที่ 1.0 °C±0.4 °C + 1 วันที่ 10.0 °C±0.5 °C) และอุณหภูมิคงที่ (6 d at 5.5 °C±0.5 °C) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษากับการเก็บรักษาสตอร์เบอร์รี่ในสภาพอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง โดยจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่โรงคัดบรรจุ การขนส่งทางอากาศ และการวางขายที่ซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่า สตอร์เบอร์รี่ที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง การสูญเสียน้ำหนักที่มากกว่า ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณน้ำตาลที่น้อยกว่าการเก็บรักษา

ในสภาพอุณหภูมิคงที่ นอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงยังทำให้น้ำเกาะตัวอยู่ที่ผิวของสตรอเบอร์รี่ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราและแบคทีเรีย

Nunes *et. al.* [147] ได้ทำการทดลองนำ Snap beans (cv. Opus) ที่ไม่เสียหายและและซ้ำถูกเก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิสองแบบ (กิ่งคงที่และผันผวน) ซึ่งมักพบระหว่างการดำเนินการภาคพื้นดินและบนเครื่องบิน Snap beans (cv. Opus) ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิกิ่งคงที่ จะสูญเสียน้ำหนักน้อยลง มีระดับสี ความแน่น และการหดตัวที่ดีกว่า การเกิดสีน้ำตาลและรอยช้ำน้อยกว่าที่เก็บไว้ในอุณหภูมิที่ผันผวน Snap beans (cv. Opus) ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิกิ่งคงที่ จะมีสีน้ำตาลและการสลายตัวน้อยกว่าที่เก็บไว้ในอุณหภูมิที่ผันผวน น้ำหนักที่ลดลง สี การเกิดสีน้ำตาล และการซ้ำ เป็นปัจจัยหลักที่จำกัดความสามารถในการขายได้ของถั่ว การสูญเสียคุณภาพมีความสำคัญมากกว่าในระหว่างการจำลองการดำเนินการจัดการสนามบีนและการจัดแสดงสินค้าขายปลีก Snap beans (cv. Opus) จากอุณหภูมิที่ผันผวนถือว่าขายไม่ได้ก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะการขายปลีก ในขณะที่ถั่วที่มาจากการรักษาอุณหภูมิคงที่จะไม่เป็นที่ยอมรับหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมงในการขายปลีก ผลลัพธ์บ่งชี้ว่า แม้จะเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ความผันผวนและ/หรืออุณหภูมิที่สูงซึ่งมักพบระหว่างการดำเนินการจัดการ อาจส่งผลให้มีการปฏิเสธ Snap beans (cv. Opus) ทั้งหมด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองเก็บเกี่ยวที่ระยะแก่ทางการค้าสำหรับการส่งออกทางอากาศ ซึ่งเป็นผลมะม่วงที่มีระยะความสุขหรือความบริบูรณ์ประมาณ 80-85% (92-95 วัน หลังดอกบาน) จากจังหวัดฉะเชิงเทรา (13.606977 °N, 101.298767 °E) ในภาคตะวันออกของประเทศไทยสำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (H1) และจังหวัดขอนแก่น (16.14964°N, 102.76750 °E) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยสำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (H2) ในการศึกษา ใช้มะม่วงที่มีรูปร่างและขนาดสม่ำเสมอ น้ำหนัก 350-450 กรัม เป็นมะม่วงที่ไม่มีตำหนิเนื่องจากรอยแตกและโรคภัยได้รับการคัดเลือกตามมาตรฐานสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออกมะม่วง [79]

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบดิจิทัล 6,200 g x 0.01 ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Shimadzu UX6200H Digital Scale, ประเทศญี่ปุ่น
2. Brix-Acidity Meter ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL-BXIACID1, ประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ยี่ห้อ Stable micro system รุ่น TA-HDPlus, ประเทศสหราชอาณาจักร
4. เครื่องวัดอุณหภูมิ IBUTTON TEMP LOGGER ยี่ห้อ Maxim Integrated Product, Inc. รุ่น DS1922L-F5, ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 174H, ประเทศเยอรมันนี
6. เครื่องวัด pH ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Starter 300 pH Portable, ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Hunter Associates Laboratory Inc รุ่น MiniScan EZ 4500L, ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. ฉนวนพอลิสไตรีนโฟม (Polystyrene Foam) ความหนา 2.54 เซนติเมตร (1 นิ้ว) โดยทำเป็นกล่องไม่ปิดฝา 1 ด้าน ขนาด กxยxส = 60x90x62.5 ซม. (ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)=0.031 W/m.K) [182]
9. ถุงพลาสติก Low-Density Polyethylene (LDPE) ความหนา 1 มิลลิเมตร
10. ถุงกรองชา
11. ตาข่ายโฟมสำหรับห่อหุ้มมะม่วง
12. กล่องกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ขนาด 40x52x10 ซม. มี 2 ช่องระบายอากาศด้านข้างแต่ละด้านของกล่อง ขนาด 7x2.5 ซม. ปิดด้วยตาข่ายแนวทแยงไม่เกิน 1.6 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.ห้องควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

14.โทรศัพท์มือถือ ยี่ห้อ Huawei รุ่น Mate 20 สำหรับถ่ายภาพ

15.กล่องสำหรับถ่ายภาพขนาด กว้างxยาวxสูง= 30x30x30 เซนติเมตร มีช่องเจาะรูสำหรับถ่ายภาพขนาด 2.54x2.54 เซนติเมตร ที่ด้านบน ภายในมีหลอดไฟ LED ที่มีค่าแสงสว่าง 11800-12000 LUX (วัดจากแหล่งกำเนิดแสง 30 เซนติเมตร)

16.พาเลทพลาสติก

3.3 วิธีการ

3.3.1 การเตรียมมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

เก็บผลมะม่วงเกรดส่งออกได้จากสวนผลไม้ ขนส่งไปโรงคัดบรรจุ จัดการตามกระบวนการส่งออกและขนส่งไปเตรียมทำการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 3.1

โดยการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (H1) มาจากจังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2565 และการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (H2) จากสวนผลไม้ในจังหวัดขอนแก่น เมื่อวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2565 เก็บมะม่วง คัดเกรด บรรจุ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิจริงที่โรงคัดแยกเบื้องต้นของแต่ละที่ หลังจากนั้นขนส่งไปยังบริษัท วิ.เอส.พีริซโก้ จำกัด จังหวัดนครปฐม (13.80253 °N, 100.06714 °E) ในรถกระบะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ดังนั้นผลไม้จาก H1 จึงถูกเก็บเกี่ยวและขนส่งโดยใช้เวลา 27 ชั่วโมงก่อนมาที่โรงจุ่มน้ำร้อน ในขณะที่ผลไม้จาก H2 จะถูกเก็บเกี่ยวและขนส่งโดยใช้เวลา 44 ชั่วโมงก่อนมาที่โรงจุ่มน้ำร้อน ผลไม้ถูกทำความสะอาดและจุ่มกับน้ำร้อน โดยให้อุณหภูมิแกนกลางถึง 46 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อฆ่าแมลงวันผลไม้ที่โรงบรรจุตามระเบียบการนำเข้ามะม่วงของสหภาพยุโรป[65] หลังจากนั้นจะถูกทำให้เย็นลงด้วยพัดลม ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20-23 °C ตัดขั้วให้สั้นประมาณ 1 cm. คว่ำบนตะกร้าที่มีกระดาษหนังสือพิมพ์หรือผ้ารองเพื่อให้ยางแห้ง มะม่วงหลังจากการทำให้เย็นจะถูกใส่ในถุงตาข่ายโพลีเอทิลีนและบรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก 5 ชั้นสำหรับการขนส่งทางอากาศ ขนาดกล่อง 40x52x10 ซม. มี 2 ช่องระบายอากาศด้านข้างแต่ละด้านของกล่อง ขนาด 7x2.5 ซม. ปิดด้วยตาข่ายแนวทแยงไม่เกิน 1.6 มม.[82] น้ำหนักผลไม้ต่อกล่องประมาณ 5 กก. มีจำนวน 12 ลูกต่อกล่อง ดังแสดงในภาพที่ 3.2 และระยะเวลาในการจุ่มน้ำร้อน, บรรจุ เก็บรักษาในโรงคัดบรรจุคือ 9 ชั่วโมง

หลังจากนั้น ผลไม้จะถูกส่งไปยังห้องปฏิบัติการ Food and Smart Agriculture Engineering KMITL ภายใน 2 ชั่วโมง ด้วยรถที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิและนำมะม่วงที่บรรจุกล่องไปเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ก่อนทำการจำลองสภาวะการขนส่ง ดังนั้นเวลาของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวใน H1 และ H2 ก่อนการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศคือ 53 และ 70 ชั่วโมงตามลำดับ ขั้นตอนและระยะเวลาดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยเลือกอุณหภูมิอ้างอิง 20 °C ในการเก็บรักษา เนื่องจากมะม่วงที่สุกที่อุณหภูมิ 20-23 °C มีลักษณะที่ดีและคุณภาพการกินที่ดี [3]



ภาพที่ 3.1 การขนส่งมะม่วงและขั้นตอนการจัดการมะม่วงเพื่อจำลองการขนส่งทางอากาศ



ภาพที่ 3.2 การจัดเรียงมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองขนาด 350-450 กรัมต่อลูก ภายในกล่องสำหรับการ

ขนส่งทางอากาศขนาด 5 กิโลกรัมต่อกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 การจัดเรียงกล่องมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสำหรับการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศใน
แต่ละทรีทเม้นต์

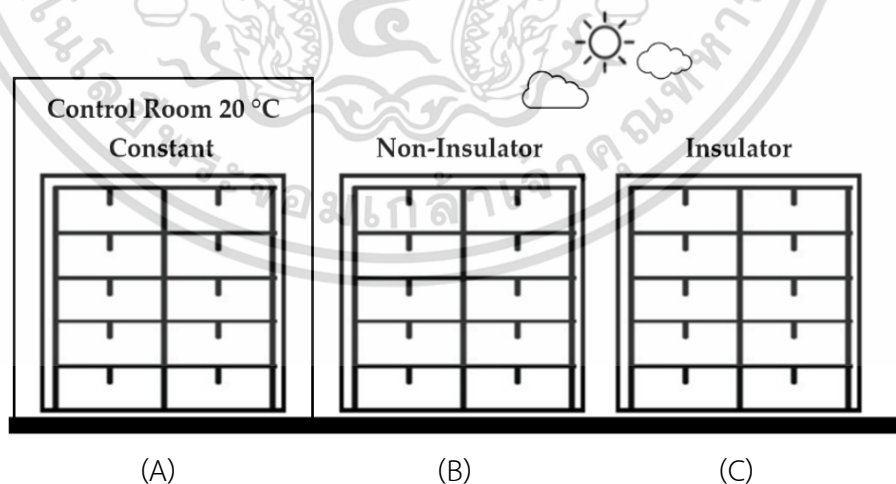
ตารางที่ 3.1 กิจกรรมและระยะเวลาจากสวนจนถึงก่อนการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ

No.	กิจกรรม	การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (H1)			การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (H2)		
		วันที่	เวลา	ระยะเวลา ระหว่างกิจกรรม ปัจจุบันและ กิจกรรมก่อนหน้า	วันที่	เวลา	ระยะเวลา ระหว่างกิจกรรม ปัจจุบันและ กิจกรรมก่อนหน้า
1	เก็บเกี่ยวมะม่วง	07/03/65	06:00	0 ชม.	19/06/65	13:00	0 ชม.
2	คัดเลือก จัดเรียงใส่ตะกร้า	07/03/65	13:00	7 ชม.	19/06/65	18:00	5 ชม.
3	จัดเก็บเบียงต้นที่สวนรอการขนส่ง	07/03/65	18:00	5 ชม.	19/06/65	23:00	5 ชม.
4	ขนส่งไปยังโรงคัดบรรจุ	08/03/65	07:00	13 ชม.	20/03/65	21:00	22 ชม.
5	ตรวจรับเข้ามะม่วงที่โรงคัดบรรจุ	08/03/65	09:00	2 ชม.	21/03/65	09:00	12 ชม.
6	แช่น้ำร้อน	08/03/65	10:00	1 ชม.	21/03/65	10:00	1 ชม.
7	ลดอุณหภูมิด้วยพัดลม	08/03/65	12:00	2 ชม.	21/03/65	12:00	2 ชม.
8	ตัดขั้วมะม่วง	08/03/65	13:30	1.5 ชม.	21/03/65	13:30	1.5 ชม.
9	จัดเรียงลงกล่อง	08/03/65	16:00	2.5 ชม.	21/03/65	16:00	2.5 ชม.
10	จัดเก็บเพื่อรอขนส่ง	08/03/65	17:00	1 ชม.	21/03/65	17:00	1 ชม.
11	ขนส่งไปยัง KMITL	08/03/65	18:00	1 ชม.	21/03/65	18:00	1 ชม.
12	แบ่งกลุ่มการทดลอง	08/03/65	19:30	1.5 ชม.	21/03/65	19:45	1.5 ชม.
13	จัดเก็บเพื่อรอจำลองสภาวะการขนส่ง ทางอากาศ	08/03/65	20:00	0.5 ชม.	21/03/65	20:00	0.5 ชม.
14	จำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ บริเวณลานขนถ่ายสินค้า	09/03/65	11:00	15 ชม.	22/03/65	11:00	15 ชม.
รวมระยะเวลาก่อนการจำลองสภาวะ				53 ชม.			70 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ

วางแผนการทดลองแบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ในแต่ละการเก็บเกี่ยว คือการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 หรือ H1 และการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 หรือ H2 ในแต่ละการเก็บเกี่ยวมะม่วงจะถูกจัดกลุ่มเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 10 ก่องและจัดเรียง 2 ก่องต่อชั้นวาง 5 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ทั้ง 10 ก่องจะถูกหุ้มด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร โดยกลุ่มการทดลองทั้ง 3 กลุ่มประกอบด้วย 1) วางในห้องอุณหภูมิ 20°C ตลอดอายุการเก็บรักษา 2) วางกลางแจ้ง และ 3) วางกลางแจ้งแต่หุ้มด้วยด้วยโฟมโพลีสไตรีนหนา 2.54 ซม. ซึ่งทั้งหมดจะวางอยู่บนพาเลทพลาสติก โดยวางกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 กลางแจ้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อจำลองสภาวะการขนส่งบริเวณลานขนถ่ายสินค้าดังแสดงในภาพที่ 3.4-3.5 ซึ่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL) อยู่ห่างจากสนามบินสุวรรณภูมิระยะห่างประมาณ 5 กม. ดังนั้นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จึงจึงสมมติฐานว่าไม่แตกต่างกัน หลังจากจำลองสภาวะการขนส่งบริเวณลานขนถ่ายสินค้าเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนั้น มะม่วงจะถูกส่งไปยังห้องควบคุมอุณหภูมิคงที่ 20°C หลังจากนั้นฉนวนโพลีสไตรีนโฟมถูกนำออกจากกลุ่มการทดลองที่ 3 พร้อมนำพลาสติก LDPE ออกจากการกลุ่มการทดลองทั้งหมดหลังจากเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมงเพื่อจำลองสภาวะการขนส่งบนเครื่องบินและบนลานขนถ่ายสินค้าปลายทาง ประเมินคุณภาพของมะม่วงก่อนการจำลองที่ลานขนถ่ายที่สนามบิน หลังการจำลองที่ลานขนถ่ายที่สนามบิน หลังการขนส่งโดยเครื่องบินและตลอดอายุการเก็บรักษาโดยใช้ผลมะม่วง 10 ผลต่อกลุ่มการทดลองที่ทุกขั้นตอนตามตารางที่ 3.2 ที่แสดงเวลาและอุณหภูมิของระหว่างการจัดการจำลอง จากลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินสู่ผู้บริโภคถูกแสดงในตารางที่ 3.2 โดยพิจารณาจากเวลาการขนส่งทางอากาศของผลมะม่วงจากสนามบินสุวรรณภูมิ ประเทศไทย ไปยังสนามบินปารีสชาร์ลเดอโกล สาธารณรัฐฝรั่งเศส

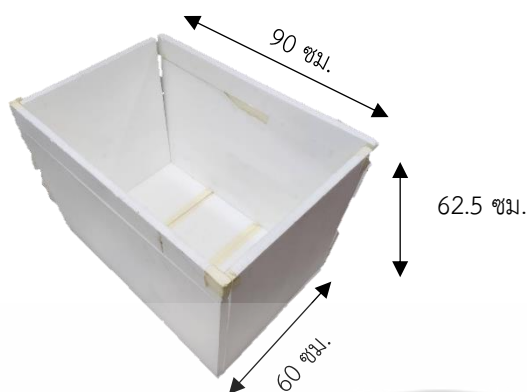


ภาพที่ 3.4 การจำลองสภาวะแวดล้อมก่องบรรจุมะม่วงในช่วงลานโหลดที่สนามบินที่ขนถ่ายมะม่วงเข้าเครื่องบินระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดย (A) 1stTreatment คือตัวควบคุมคลุมด้วยถุงพลาสติก LDPE ที่ห้องอุณหภูมิ 20 °C (B) 2nd treatment คลุมด้วยถุงพลาสติก LDPE และ (C) 3rd treatment

คลุมด้วย LDPE กับฉนวน polystyrene foam ที่อุณหภูมิกลางแจ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)



(B)

ภาพที่ 3.5 (A) ขนาดกล่องโฟมโพลีสไตรีนหนา 2.54 ซม. (B) สภาวะการวางกลางแจ้งหุ้มพลาสติก โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตรโดยไม่มีกล่องโฟมโพลีสไตรีน

ตารางที่ 3.2 การจำลองสภาวะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง

การจำลองสภาวะ การขนส่ง	ระยะเวลา		อุณหภูมิ (°C)		
	(h)	cumulative (h)	1 st treatment Constant	2 nd treatment Non-Insulated	3 rd treatment Insulated
คลังสินค้า	0	0	20 ^a	20	20
ลานขนถ่ายสินค้าที่ สนามบิน	2	2	20 ^a	≈40±5 ^b	≈40±5
ขนส่งทางเครื่องบิน	12	14	20	20	20
ลานโหลดสนามบิน	2	16	20	20	20
ขนส่ง+เก็บรักษา	10	26	20	20	20
อายุการเก็บรักษา (2 วัน)	48	74	20	20	20
อายุการเก็บรักษา (4 วัน)	48	122	20	20	20
อายุการเก็บรักษา (6 วัน)	48	170	20	20	20
อายุการเก็บรักษา (8 วัน)	48	218	20	20	20
อายุการเก็บรักษา (10 วัน)	48	266	20	20	20

^a 20.0±1.0 °C and 90.5% RH

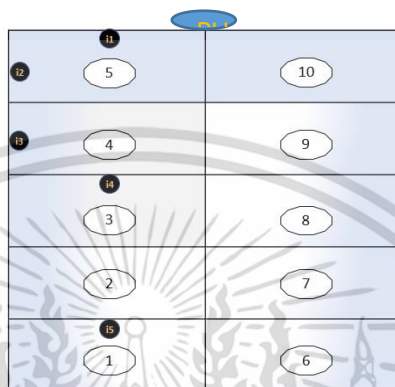
^b 40.0±5.0 °C and 70.0% RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 วิธีการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดดังนี้ อุณหภูมิภายในกล่องบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ใช้เครื่อง iButtonDS1922L-F5, Maxim Integrated Products, Inc., San Jose, USA). โดยวางตำแหน่งที่ i1-i5 ของแต่ละทรีทमेंต์ ดังแสดงในภาพที่ 3.6

ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกกล่องบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ใช้เครื่อง (Testo 174H, Testo SE & Co., Germany) โดยวางไว้ด้านนอกบนสุด ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การจัดเรียงกล่องบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและตำแหน่งการวางอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

3.3.4 อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาของผลไม้ได้รับการประเมินด้วยสายตาโดยพิจารณาจากสี การเหี่ยวเฉา และการเน่าเปื่อย และ 53 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 หรือ H1 และ 70 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 หรือ H2 การประเมินทำในช่วงเวลา 48 ชั่วโมงจนกว่าผลมะม่วงจะไม่สามารถยอมรับ

3.3.5 การสูญเสียน้ำหนัก Weight Loss

ดัดแปลงวิธีการจาก Shah and Hashmi [148] ใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบดิจิตอล 6,200 g x 0.01 ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Shimadzu UX6200H Digital Scale, ประเทศญี่ปุ่น ดังแสดงในภาพที่ 3.7 โดยก่อนจะเริ่มชั่งน้ำหนักให้กำหนดลูกที่จะทำการชั่งน้ำหนักจำนวน 10 ลูกต่อทรีทमेंต์ แล้วทำเครื่องหมายไว้ที่ผลมะม่วงแต่ละผล บันทึกน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนักที่เริ่มการทดลองและระหว่างการรักษาจนครบ แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้จากสมการ

$$\% \text{Weight loss} = \frac{(W_0 - W_t)}{W_0} \times 100$$

โดยที่ W_0 คือน้ำหนักของมะม่วงในวันที่ 0

W_t คือน้ำหนักของผลมะม่วงในวันที่ t

ทำการวัด 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบดิจิทัล 6,200 g x 0.01 ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Shimadzu UX6200H

3.3.6 การวัดความหนาแน่นเนื้อ Firmness

ใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Stable micro system รุ่น TA-HDPlus, ประเทศสหราชอาณาจักร ดังแสดงในภาพที่ 3.8 มีวิธีการวัด 2 แบบ คือ แบบทำลายและไม่ทำลาย โดยแบบไม่ทำลายดัดแปลงตามวิธีของ Penchaiya *et al.*[149] และ Sirisomboon & Pornchaloempong [150] มีการวัดความแน่นของเนื้อมะม่วงทั้งผลที่บริเวณกลางผลทั้ง 2 ด้าน โดยมะม่วงจะถูกวางในภาชนะที่มีทรายละเอียด ให้จมลงในทรายประมาณครึ่งลูก ดังภาพที่ 3.9 หลังจากนั้นตั้งค่าดังต่อไปนี้ คือ ใช้ หัวกดสแตนเลสตีลทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (P/5) ใช้แรงในการกดที่ 1 นิวตัน (N) pre-test speed= 1 mm/s test speed 0.2 mm/s และ post-test speed = 10.0 mm/s รายงานค่าเป็น Average Firmness (N/mm) และค่า Toughness (N.mm)

การวัดแบบทำลายจะทำการปอกเปลือกของมะม่วงและทำการเจาะทะลุที่จุดเดียวกับที่วัดแบบไม่ทำลาย มีการตั้งค่าดังต่อไปนี้ คือ ใช้หัวกดสแตนเลสตีลทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (P/5), ระยะทางในการกดที่ 10 mm pre-test speed = 1 mm/s test speed 0.2 mm/s และ post-test speed = 10.0 mm/s รายงานค่าเป็น Rupture force (N), Initial Firmness (N/mm), Average Firmness (N/mm) และค่า Toughness (N mm) โดยดัดแปลงวิธีของ Jha *et al.* [110] และ Sirisomboon & Pornchaloempong [150]



(A)

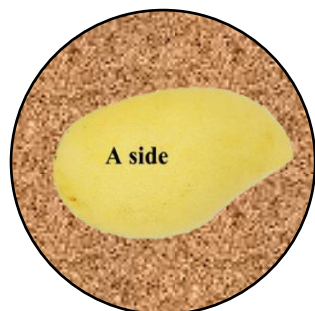


(B)

ภาพที่ 3.8 (A) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (รุ่น TA-HD.Plus, Stable Micro Systems, UK),

(B) หัวกดสแตนเลสตีลทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (P/5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 การวางมะม่วงในถาดที่มีทรายละเอียด และการตรวจวัดเนื้อสัมผัส

3.3.7 การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) การวัดปริมาณกรด (Acidity) และค่า pH

ดัดแปลงวิธีเตรียมตัวอย่างจาก Mitcham *et al.* [151] นำเนื้อมะม่วงส่วนกลางผลมา แบ่งเป็น 2 ด้านทำการวัดค่าทั้ง 2 ด้านแยกกัน โดยนำเนื้อมะม่วงมาปั่นด้วยเครื่องปั่นทรงกระบอก หรือใช้ที่ขูดควาซาบิขูดเนื้อมะม่วง เอามากรองด้วยถุงกรองชา นำน้ำมะม่วงมาแบ่งเป็น 3 ส่วน สำหรับการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) การวัดปริมาณกรดซिटริก (Acidity) และค่า pH



ภาพที่ 3.10 เครื่อง Brix-Acidity Meter ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL-BXIACID1

การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ใช้ Brix-Acidity Meter ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL-BXIACID1 ดังแสดงในภาพที่ 3.10 ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งค่า TSS และ Acidity ดัดแปลงวิธีการวัด จาก Xu *et.al.* [152]

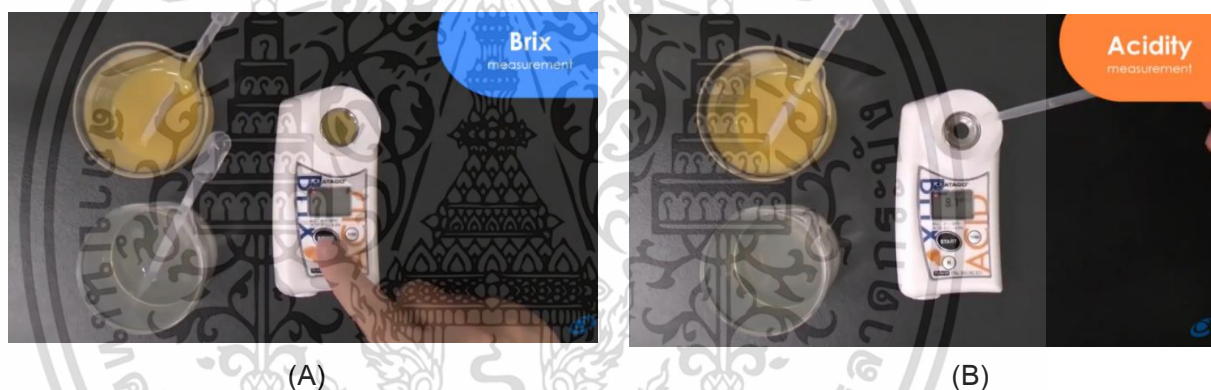
การวัดค่า Acidity นำน้ำมะม่วงมาเจือจางกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:50 โดยให้นำน้ำมะม่วง ใส่ในบีกเกอร์ที่มากับเครื่องชั่งจนได้ประมาณ 1.00 กรัม หลังจากนั้น Tare เครื่องชั่ง เป็น 0 กรัม เติมน้ำใส่ลงในบีกเกอร์จนถึงน้ำหนัก 50 กรัม หรือน้ำหนัก 50 เท่าจากน้ำหนักน้ำมะม่วง หรือดังแสดงใน ภาพที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 การเจือจางน้ำมะม่วงที่อัตราส่วน 1:50 เพื่อใช้สำหรับวัดค่า Acidity

โดยวิธีการใช้เครื่อง Brix-Acidity Meter ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL-BXIACID1 จะปรับมาตรฐานเครื่องมือเป็น 0 °Brix โดยหยดน้ำกลั่นลงบนจุดอ่านค่าและกด Read จนจอแสดงผลเป็น 0 °Brix เช็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษทิชชู แล้ววัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายที่ละลายได้ของตัวอย่าง ดังภาพที่ 3.12 (A) หลังจากนั้นหยดน้ำกลั่นลงบนจุดอ่านค่า เช็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษทิชชู แล้วนำตัวอย่างสำหรับวัดค่า Acid ที่ dilute แล้ว หยดในจุดอ่านค่าและกด Read ดังภาพที่ 3.12 (B)



ภาพที่ 3.12 (A) การวัดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (B) การวัดค่า Acidity

ทำการวัดด้านละ 3 ซ้ำ และนำค่าทั้ง 2 ด้านมาเฉลี่ยกัน รายงานค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix) ทศนิยม 1 ตำแหน่ง รายงานค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณกรดซิตริก (Acid) โดยหน่วยคือ gL^{-1}

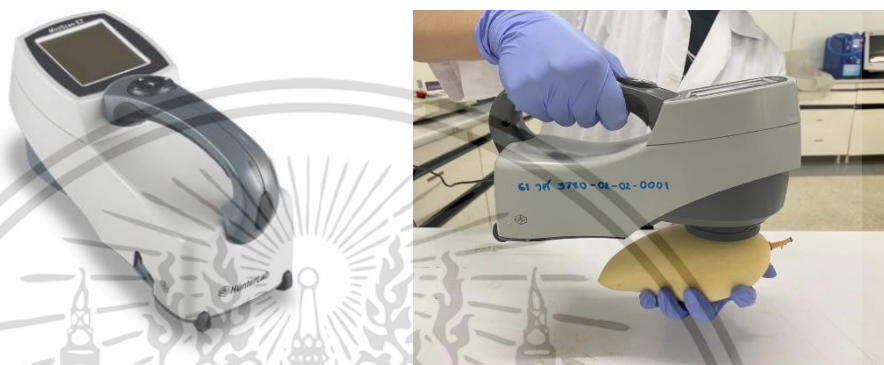
การวัดค่า pH ดัดแปลงวิธีจาก A.O.A.C. [153] โดยใช้เครื่องวัด pH ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Starter 300 pH Portable, ประเทศสหรัฐอเมริกา นำน้ำมะม่วงที่เตรียมไว้มาวัดค่าและรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยทศนิยม 2 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.13



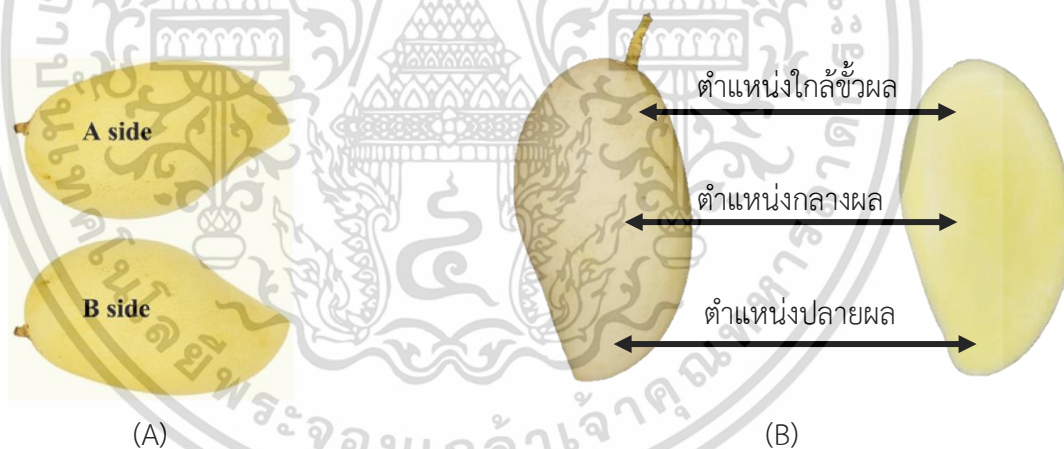
ภาพที่ 3.13 เครื่องวัด pH ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Starter 300 pH Portable, ประเทศสหรัฐอเมริกา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 การวัดสีเปลือกและเนื้อ

วัดสีเปลือก และสีเนื้อมะม่วงดิบเมล็ด ดัดแปลงวิธีการจาก Medina-Rendon *et al.* [154] และ ชนิด วานิกานุกูล [14] โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Hunter Associates Laboratory Inc รุ่น MiniScan EZ 4500L, ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังแสดงในภาพที่ 3.14 บันทึกค่าในระบบ CIE ให้ค่าเป็น L^* , a^* และ b^* แหล่งแสง D65 มุมผู้สังเกต 2° ทำการวัดการทดลองละ 5 ผล วัดผลละ 3 ตำแหน่ง ที่ตำแหน่งใกล้ขั้วผล กลางผล และปลายผล ทั้ง 2 ด้านของมะม่วง ดังแสดงในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.14 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Hunter Associates Laboratory Inc รุ่น MiniScan EZ 4500L



ภาพที่ 3.15 (A) การแบ่งด้านของมะม่วง Penchaiya *et al.* [118] (B) บริเวณการวัดสี รายงานค่าเฉลี่ยของ $L^*a^*b^*$

L^* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่า 0–100 ซึ่ง 0 แสดงค่ามืดที่สุด (ดำ) 100 แสดงค่าสว่างที่สุด (ขาว)

a^* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว ซึ่ง $+a^*$ แสดงความเป็นสีแดง $-a^*$ แสดงเป็นสีเขียว

b^* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ซึ่ง $+b^*$ แสดงความเป็นสีเหลือง $-b^*$ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ดัชนีความเหลือง (YI) คำนวณตามสูตรของ Francis and Clydesdale [155]

$$YI = 142.86b^*/L^*$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 การประเมินคุณภาพมะม่วงด้วยระดับคะแนน

3.3.9.1 การพิจารณาระดับคะแนนสีเปลือกมะม่วงด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น

ดัดแปลงจากวิธีการของ Jacobi *et. al.* [156] วัดโดยการประเมินด้วยสายตาพร้อมถ่ายภาพ

พิจารณาตามระบบคะแนน 1-5 คะแนน ดังแสดงในภาพที่ 3.16

- 1 = ครึ่งเขียว ครึ่งเหลือง
- 2 = เหลืองมากขึ้น (เหลืองอ่อน)
- 3 = เหลืองปานกลาง
- 4 = เหลืองเข้ม
- 5 = เหลืองเต็มที่/เหลืองเข้ม



ภาพที่ 3.16 ระดับคะแนนสีเปลือกมะม่วง

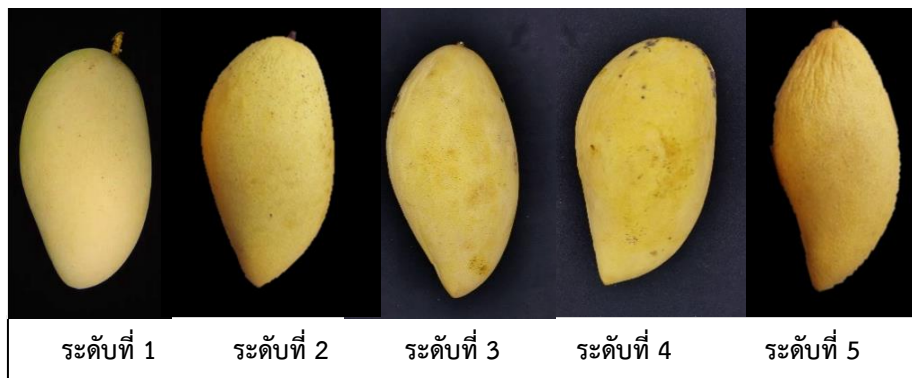
รายงานเป็นค่าคะแนน โดยระดับสีจากการประเมินด้วยสายตา จะไม่นำมาเป็นข้อกำหนดในการไม่ยอมรับผลมะม่วงสำหรับการขาย

3.3.9.2 การพิจารณาระดับคะแนนความเหี่ยวเฉา (Shriveling) ด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น

ดัดแปลงจากวิธีของ Quintana and Paull [157] วัดโดยการประเมินด้วยสายตา พิจารณาตามระบบคะแนน 1-5 คะแนน ดังแสดงในภาพที่ 3.17

- 1 = ไม่มีร่องรอยการเหี่ยวเฉา
- 2 = มีรอยเหี่ยวเฉาเล็กน้อย ยอมรับได้
- 3 = มีรอยเหี่ยวเฉาปานกลาง ไม่เป็นที่ยอมรับ
- 4 = มีรอยเหี่ยวเฉารุนแรง ไม่เป็นที่ยอมรับ
- 5 = มีรอยเหี่ยวเฉาและแห้งไม่ยอมรับภายใต้สภาวะปกติ

รายงานเป็นค่าคะแนน โดยระดับความเหี่ยวเฉาที่ระดับ 3 จะไม่สามารถยอมรับได้



ภาพที่ 3.17 ระดับคะแนนความเขียวเฉา

3.3.9.3 การพิจารณาระดับคะแนนความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว (Decay)

ด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น

ดัดแปลงจากวิธีของ Nunes *et al* [158] และชนิต วานิกานุกูล [14] วัดโดยการประเมินด้วยสายตา พิจารณาตามระบบคะแนน 1-5 คะแนน ดังแสดงในภาพที่ 3.18

1 = การเสื่อมเสีย 0% ไม่พบร่องรอยความเสื่อมเสียจากเชื้อโรค

2 = การเสื่อมเสีย 1-25% พบความเสื่อมเสียจากเชื้อโรค จุดเล็ก ๆ สีน้ำตาล / สีเทา

3 = การเสื่อมเสีย 26-50% พบความเสื่อมเสียจากเชื้อโรคเล็กน้อยปานกลาง (จุดที่มีการเสียหายและการเจริญเติบโตของไมซีเลียม)

4 = การเสื่อมเสีย 51-75% พบความเสื่อมเสียจากเชื้อโรคปานกลางถึงรุนแรง

5 = การเสื่อมเสีย 76-100% ความเสื่อมเสียจากเชื้อโรครุนแรงถึงเน่ามาก (มะม่วงเน่าเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด)

รายงานเป็นค่าคะแนน โดยที่ระดับ 3 จะไม่สามารถยอมรับได้



ภาพที่ 3.18 ระดับคะแนนความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว [14]

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis)

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม SPSS Version 28.0.0.0(190) สำหรับระบบ Windows (IBM Corporation, New York, NY, USA) เพื่อคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance ; ANOVA) โดยใช้วิธีของ Duncan เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ความเชื่อมั่น 95

เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

3.5.1 สถานที่ทำการทดลอง

3.5.1.1 ห้องควบคุมอุณหภูมิและห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางนวัตกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5.1.2 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5.1.3 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเกษตรอัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5.1.4 บริษัท วี.เอส.เฟรชโก้ จำกัด ที่อยู่ 159/1 ม. 6 ต.ห้วยจรเข้ อ. เมือง นครปฐม 73000

3.5.1.5 ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี.เค.เค. ฟู้ด ที่อยู่ 99/329 ซอยร่วมมิตร ถนนนนทรี แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร 10120

3.5.2 ระยะเวลาในการทำวิจัย

เริ่มทำวิจัยตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 และสิ้นสุดการวิจัยเดือนมกราคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกล่องบรรจุผลมะม่วงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสภาวะที่ลานขนถ่ายที่สนามบิน (ตารางที่ 4.1) ความแปรปรวนของอุณหภูมิในกล่องที่สัมผัสกับแสงแดดนั้นสูงกว่าในสภาพกล่องที่ไม่มีฉนวนโพลีสไตรีนมากกว่ามีฉนวนโพลีสไตรีน อุณหภูมิที่วัดได้มะม่วงที่ (H1) หรือจากฉะเชิงเทรา (มีฉนวน 28.1 ± 0.6 °C และไม่มีฉนวน 36.9 ± 3.2 °C) น้อยกว่ามะม่วงที่ (H2) หรือจากขอนแก่น (มีฉนวน 34.2 ± 0.4 °C และไม่มีฉนวน 38.0 ± 1.3 °C) เห็นได้ว่าฉนวนโพลีสไตรีนมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิภายในกล่องบรรจุ

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะต่าง ๆ

การเก็บเกี่ยวครั้งที่	ชนิดของบรรจุภัณฑ์	Treatment at tarmac	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
H1 (53 h*)		Outdoor	42.7 ± 1.9	77.8 ± 0.7
		Control room	20.7 ± 0.4	91.9 ± 2.0
	LDPE	Constant temperature 20 °C	21.3 ± 0.2	
	LDPE	Under sun	36.9 ± 3.2	
	LDPE and insulation	Under sun	28.1 ± 0.6	
H2 (70 h*)		Outdoor	39.1 ± 1.7	69.7 ± 3.6
		Control room	19.8 ± 0.5	90.1 ± 3.8
	LDPE	Constant temperature 20 °C	22.8 ± 0.9	
	LDPE	Under sun	38.0 ± 1.3	
	LDPE and insulation	Under sun	34.2 ± 0.4	

*ระยะเวลาหลังจากเก็บเกี่ยวจากสวนจนถึงโรงจุ่มน้ำร้อน

จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (H1) อุณหภูมิระหว่างการจำลองการจัดการบนลานขนถ่ายสินค้าในสนามบินทั้ง 3 treatment แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 (a) อุณหภูมิในห้องที่สภาวะอุณหภูมิคงที่คือ 20.7 ± 0.4 °C ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกอาคารขณะทำการจำลองอยู่ที่ประมาณ 42.7 ± 1.9 °C หลังจากวางกล่องบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ข้างนอกเป็นเวลา 120 นาที อุณหภูมิภายในกล่องมะม่วงจากห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนมีค่าเท่ากับ (21.3 ± 0.2 °C), 36.9 ± 3.2 °C และ 28.1 ± 0.6 °C ตามลำดับ นอกจากนี้ ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่สภาวะอุณหภูมิคงที่คือ $91.9 \pm 2.0\%$ โดยที่ภายนอกอาคารขณะทำการจำลองอยู่ที่ประมาณ $77.8 \pm 0.7\%$

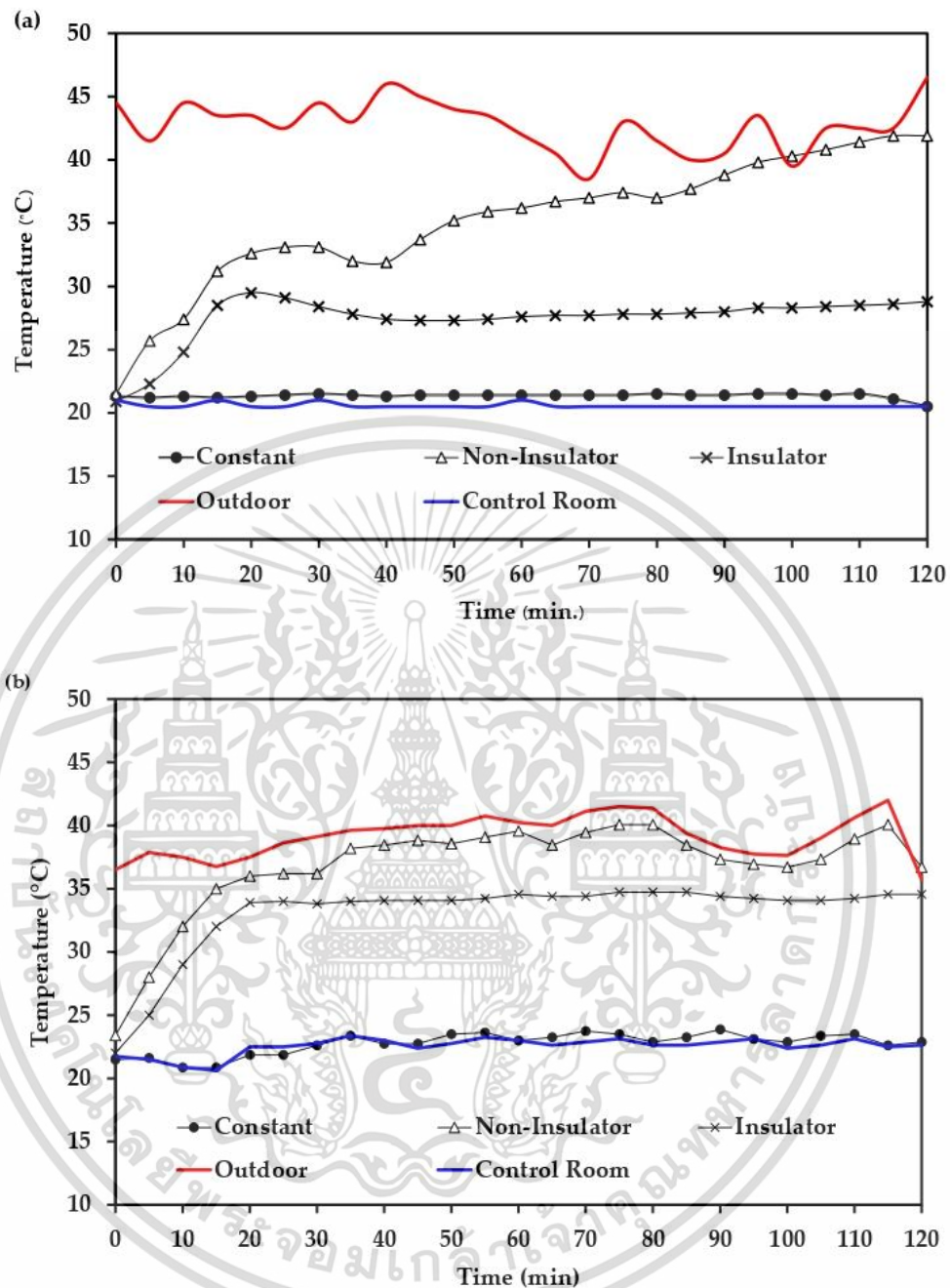
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.29 อุณหภูมิภายในกล่องภายใต้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีนเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 30°C ในช่วง 20 นาทีแรก แต่ลดลงเหลือประมาณ 28 °C หลังจากนั้น และอุณหภูมิค่อนข้างคงที่จนกระทั่งครบ 120 นาที ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 42.7±1.9°C ในสภาวะที่ไม่มีฉนวนโดยมีการปกปิดด้วย LDPE เพียงอย่างเดียว อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 36.9±3.2°C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก

จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (H2) อุณหภูมิระหว่างการจำลองการจัดการบนลานขนถ่ายสินค้าในสนามบินทั้ง 3 treatment แสดงในรูปที่ 3.29(b) อุณหภูมิในห้องที่สภาวะอุณหภูมิคงที่คือ 19.8±0.5 °C ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกอาคารขณะทำการจำลองอยู่ที่ประมาณ 39.1±1.7°C หลังจากวางกล่องบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ที่ภายนอกเป็นเวลา 120 นาที อุณหภูมิภายในกล่องมะม่วงจากห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนมีค่าเท่ากับ (22.8±0.9°C), 38.0±1.3°C และ 34.2±0.4°C ตามลำดับ นอกจากนี้ ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่สภาวะอุณหภูมิคงที่คือ 90.1±3.8 % โดยที่ภายนอกอาคารขณะทำการจำลองอยู่ที่ประมาณ 69.7±3.6 % อุณหภูมิภายในกล่องที่มีฉนวนโพลีสไตรีนโฟม เพิ่มขึ้นเป็น 34°C ในช่วง 20 นาทีแรก และอุณหภูมิค่อนข้างคงที่จนกระทั่งครบ 120 นาที

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวหรือคุณภาพของผลมะม่วง ดังนั้นห่วงโซ่ความเย็นที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นส่วนสำคัญของการจัดการผลไม้แปรรูปภายหลังการเก็บเกี่ยว สิ่งนี้สำคัญกว่าเมื่อผลิตผลถูกส่งไปยังตลาดทางไกล หรือต่างประเทศ อย่างไรก็ตามในห่วงโซ่ความเย็นจะมีช่วงเวลาที่ผลผลิตสัมผัสกับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมเป็นเวลา 2-3 ถึงหลายชั่วโมงที่บริเวณลานขนถ่ายของสนามบิน ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต การใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีนจะมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเมื่อสัมผัสแสงแดดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Margeirsson และคณะ [183] ที่รายงานว่า เนื้อปลาที่บรรจุในกล่องโพลีสไตรีน จะป้องกันการผันผวนจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ดีกว่าบรรจุใน Corrugated plastic

นอกจากนี้ผลลัพธ์เหล่านี้ยังสอดคล้องกับรายงานของ Pelletier *et. al.* [21] ซึ่งระบุว่าลานขนถ่ายสินค้าในสนามบินส่งผลให้อุณหภูมิภายในเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเป็น 13 °C เป็นผลกระทบที่เกิดจากรังสีของดวงอาทิตย์ต่อ ULDs ระหว่างการถ่ายโอนสินค้าที่ลานสนามบินเกิน 11 ชั่วโมง นอกจากนี้ข้อมูลของเรายังสอดคล้องกับรายงานของ Bollen *et. al.* [159] ซึ่งวัดอุณหภูมิภายในพาเลทหน่อไม้ฝรั่งที่ส่งทางอากาศจากไอซ์แลนด์ไปยังโตเกียว อุณหภูมิของหน่อไม้ฝรั่งเพิ่มขึ้นจาก 4 °C เป็น 14 °C ภายใน 30 นาทีของการดำเนินการภาคพื้นดินในไอซ์แลนด์ นอกจากนี้ ในระหว่างการขนถ่ายเครื่องบินจากแอฟริกาใต้ไปยังสเปน Abad *et. al.* [160] รายงานอุณหภูมิในปลาสดเพิ่มขึ้น 5 °C นอกจากนี้ Pelletier *et. al.* [161] ยังรายงานอีกว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 6 °C เป็นประมาณ 9-16 °C ในแต่ละด้านของผนัง ULDs เมื่ออยู่บนลานขนถ่ายสินค้าในสนามบินเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที



ภาพที่ 4.1 (a) อุณหภูมิการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (b) อุณหภูมิการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ในกล่องผลมะม่วง น้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน

นอกจากนี้อุณหภูมิภายในกล่องมะม่วงที่ผ่านอุณหภูมิกลางแจ้งที่สูงขึ้นและคงอยู่เป็นระยะเวลาอันยาวนานอาจมาจากการหายใจของมะม่วง เพราะเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้น จะไปกระตุ้นการหายใจของมะม่วงที่เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงที่ $100-200 \text{ mgCO}_2^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ในอุณหภูมิ 25°C ซึ่งโดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10°C ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดเร็วขึ้นประมาณ 2 เท่า รวมถึงการหายใจเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[42,96] ผลจากการหายใจนั้นจะมีความร้อนคายออกมาด้วย [40,81] ถ้าไม่มีการระบายหรือกำจัดออกไปแบบที่มะม่วงอยู่ภายในกล่องและปิดคลุมด้วยถุง LDPE อย่างในการทดลอง ก็จะมีมีการสะสมความร้อนภายในกล่อง โดย Lutz and Hardenburg [104] กล่าวว่าที่อุณหภูมิ 68-70 °F (20.0-21.1 °C) ความร้อนที่คายออกจากผลมะม่วงจะมีค่าประมาณ 16,500-33,300 BTU/Tons/Day ดังนั้นก็จะมีความร้อนออกจากผลมะม่วงทำให้อุณหภูมิภายในกล่องสูงขึ้น และจากการที่อุณหภูมิภายในกล่องมะม่วงสูงขึ้นนั้นก็จะเป็นการกระตุ้นการปลดปล่อยเอทิลีน โดยจากการศึกษาว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บผลไม้สูงขึ้นจาก 0 เป็น 25 °C พบว่าการปลดปล่อยเอทิลีนในผลไม้จะสูงขึ้นเช่นกัน และเอทิลีนจะไปทำให้การหายใจเริ่มเร็วขึ้น แต่ไม่เร่งอัตราการหายใจ เมื่อหายใจมากก็ปลดปล่อยเอทิลีนมากตามไปด้วย เอทิลีนที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะกระตุ้นการหายใจให้สูงขึ้น กล่าวได้ว่าการหายใจและการปลดปล่อยเอทิลีนในผลไม้เป็นกระบวนการส่งเสริมการสุกซึ่งกันและกัน [40,42,46,105]

4.2 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%Weight Loss)

ตัวทำนายนหลักของคุณภาพผลมะม่วงและระยะเวลาในการเก็บรักษาคือการลดลงของน้ำหนัก [162] การสูญเสียน้ำหนักเกี่ยวข้องกับการเสื่อมคุณภาพของผลไม้เนื่องจากการคายน้ำและกิจกรรมการเผาผลาญอื่น ๆ [42] เพอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในทุกสภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ในอุณหภูมิคงที่ (20 °C) จะช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า Treatment กล่องมะม่วงที่มีฉนวนหรือกล่องที่ไม่มีฉนวนแล้วสัมผัสกับแสงแดดโดยตรง ใน H2 อุณหภูมิคงที่ทำให้การสูญเสียน้ำหนักลดลงอย่างมีนัยสำคัญจนถึง 170 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับ treatment ที่หุ้มฉนวนหรือไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดดโดยตรง อย่างไรก็ตาม ใน H1 อุณหภูมิคงที่ทำให้น้ำหนักลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ treatment อื่น ๆ จนถึง 26 ชั่วโมง และเท่ากับกล่องที่มีฉนวนภายใน 74 ชั่วโมง สังเกตได้ว่าในครั้งแรก น้ำหนักลดลงที่หลังจากผ่านไป 122 ชั่วโมง เมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองยังเป็นที่ต้องการของตลาด ในขณะที่ในครั้งหลัง การสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นเมื่อผลไม้ยังเป็นที่ต้องการของตลาด ในทำนองเดียวกัน กล่องหุ้มฉนวนมีประสิทธิภาพสูงในการชะลอการสูญเสียน้ำหนักเมื่อเทียบกับกล่องที่ไม่หุ้มฉนวน แต่ได้ผลมากกว่ากับมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากพื้นที่เพาะปลูกระยะใกล้มากกว่าผลไม้จากพื้นที่เพาะปลูกระยะไกล เวลาเก็บเกี่ยวและอุณหภูมิที่ลดลงระหว่างการขนส่งมีความสำคัญต่อการลดน้ำหนักของผลไม้

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองนั้นสอดคล้องกับค่าที่ Nunes *et. al.* [158] ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้ พวกเขารายงานการสูญเสียน้ำหนักในการเก็บรักษามะม่วง 'Tommy Atkins' และ 'Palmer' ที่ 20 °C หลังจาก 2 วันจะสูญเสียน้ำหนักประมาณ 1.5% ของน้ำหนักเริ่มต้นของผลไม้และหลังจาก 5 วัน จะสูญเสียน้ำหนักประมาณ 4.0% ของน้ำหนักเริ่มต้นของผลไม้ โดยจากรายงานของ Nunes และ Emond [181] กล่าวว่าค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด

ของมะม่วงที่ยอมรับได้คือ 1.5-4.0% นอกจากนี้การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 13 °C นาน 30 วัน มีการสูญเสียน้ำหนัก 13.41% [106] เช่นเดียวกับที่เสาวภา [39] รายงานว่า ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาที่นานมากขึ้น และพบว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 14 °C มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °C สอดคล้องกับรายงาน Noiwan *et.al.* [12] ที่รายงานว่าการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 12% ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 12 วัน และเก็บไว้ที่ 34 °C เป็นเวลา 5 วัน ซึ่งผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ผ่านการจำลองสภาวะการขนส่งที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินที่อุณหภูมิกกลางแจ้งจะมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าแบบอุณหภูมิคงที่ และแบบมีฉนวนโพลีสไตรีน อาจเนื่องมาจากการผ่านอุณหภูมิกกลางแจ้ง ทำให้อุณหภูมิภายในกล่องมะม่วงเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มะม่วงมีอัตราการหายใจสูงขึ้น มะม่วงต้องระบายความร้อนจากการหายใจทำให้มีการคายน้ำมากขึ้น น้ำหนักจึงลดลงมาก ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักในผักและผลไม้สดสาเหตุหลักก็มาจากการสูญเสียน้ำที่เกิดจากการคายน้ำและหายใจนั่นเอง [42,163] การสูญเสียน้ำนั้นเป็นองค์ประกอบสำคัญอีกประการหนึ่งซึ่งส่งผลต่อคุณภาพผลมะม่วง [142] จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับการศึกษาในสตรอเบอร์รี่ มะละกอ และมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่พบว่า การจำลองอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายจะทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิคงที่ [14,17,27,89,164]

ตารางที่ 4.2 การสูญเสียน้ำหนัก (%) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการจัดการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ

Treatment	Weight Loss (%)							
	2	26	74	122	170	218	266	
H1								
Constant	0.08 ± 0.02 ^c	0.72 ± 0.17 ^c	2.34 ± 0.31 ^b	4.04 ± 0.44 ^a	6.17 ± 0.56 ^a	7.48 ± 0.77 ^a	9.38 ± 0.98 ^b	
Non-Insulated	0.15 ± 0.02 ^a	1.35 ± 0.22 ^a	2.74 ± 0.33 ^a	4.34 ± 0.48 ^a	6.32 ± 0.67 ^a	8.03 ± 0.83 ^a	10.08 ± 1.47 ^a	
Insulated	0.10 ± 0.02 ^b	0.93 ± 0.16 ^b	2.53 ± 0.37 ^{ab}	4.16 ± 0.56 ^a	6.23 ± 0.75 ^a	7.83 ± 0.89 ^a	9.71 ± 0.55 ^{ab}	
H2								
Constant	0.10 ± 0.02 ^b	1.14 ± 0.14 ^b	2.86 ± 0.25 ^b	4.50 ± 0.35 ^b	6.10 ± 0.46 ^b	7.90 ± 0.56 ^a	9.49 ± 0.65 ^a	
Non-Insulated	0.18 ± 0.04 ^a	1.28 ± 0.13 ^a	3.23 ± 0.14 ^a	5.05 ± 0.22 ^a	6.96 ± 0.82 ^a	8.36 ± 0.33 ^a	10.03 ± 0.43 ^a	
Insulated	0.13 ± 0.03 ^b	1.18 ± 0.10 ^{ab}	3.13 ± 0.29 ^a	4.74 ± 0.42 ^b	6.62 ± 0.46 ^{ab}	8.20 ± 0.51 ^{ab}	9.66 ± 0.59 ^a	

ข้อมูลจากการเก็บเกี่ยวทั้งสองครั้งได้รับการวิเคราะห์แยกกัน H1 คือการเก็บเกี่ยวครั้งแรก, H2 คือการเก็บเกี่ยวครั้งที่สอง; ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย ± SD ($n = 10$) และค่าที่มีตัวอักษรตัวยกต่าง ๆ บ่งชี้ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในแต่ละคอลัมน์ภายในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA) ด้วยการทดสอบของ Duncan's ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความแน่นเนื้อ (Firmness)

4.3.1 การตรวจวัดความแน่นเนื้อแบบไม่ทำลาย

4.3.1.1 ค่า Average firmness (N/mm)

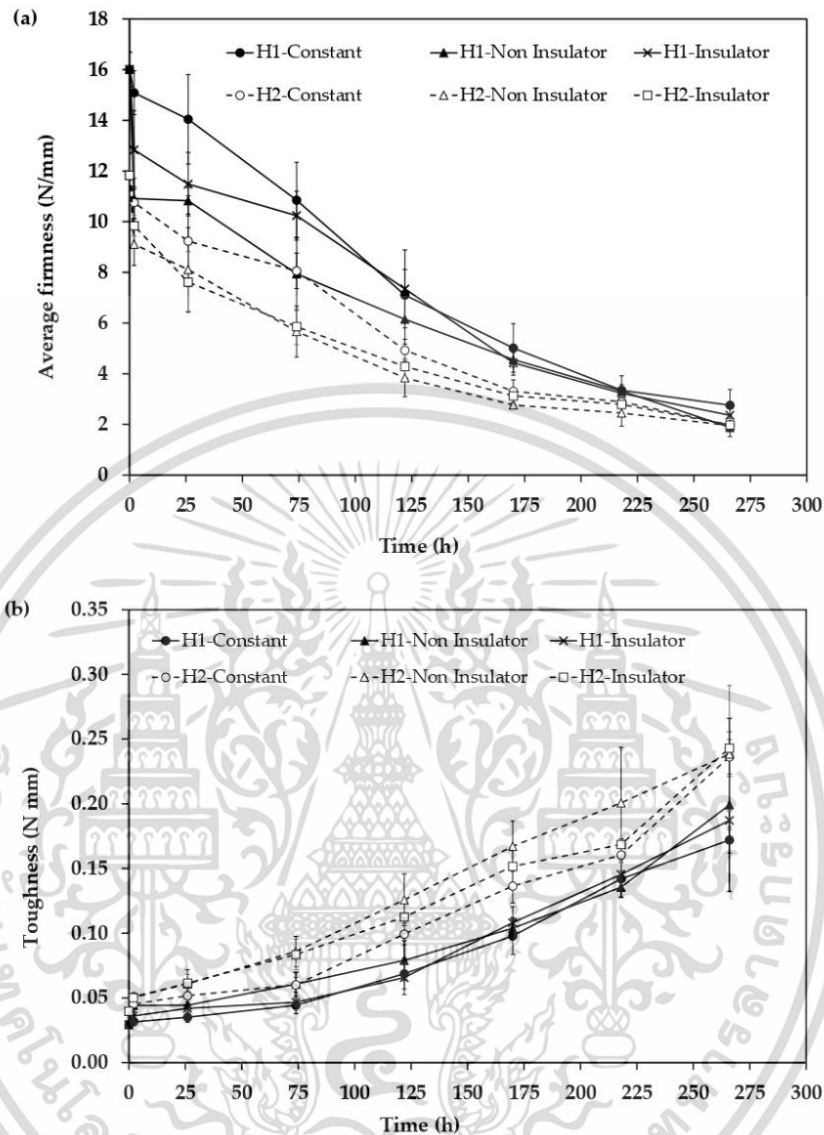
ค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อ Average firmness (N/mm) ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (H1) ในชั่วโมงที่ 0 จะมีค่า 16.01 ± 0.68 N/mm หลังจากผ่านการจำลองสภาวะการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน 2 ชั่วโมง Treatment ที่ห้องอุณหภูมิคงที่ 20°C , จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องที่มีฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดดจะมีค่า 15.09 ± 0.87 , 10.91 ± 0.80 และ 12.84 ± 1.55 N/mm และเมื่อเก็บรักษาที่ 20°C ไว้เป็นเวลา 170 ชั่วโมงหรือประมาณ 7 วัน จะมีค่า 5.02 ± 0.96 , 4.56 ± 0.50 และ 4.43 ± 0.49 N/mm ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อ Average firmness (N/mm) ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (H2) ในชั่วโมงที่ 0 จะมีค่า 11.83 ± 1.05 N/mm หลังจากผ่านการจำลองสภาวะการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน 2 ชั่วโมง Treatment ที่ห้องอุณหภูมิคงที่ 20°C , จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องที่มีฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดดจะมีค่า 10.75 ± 0.62 , 9.11 ± 0.84 และ 9.84 ± 0.41 N/mm และเมื่อเก็บรักษาที่ 20°C ไว้เป็นเวลา 122 ชั่วโมงหรือประมาณ 5 วัน จะมีค่า 4.92 ± 0.44 , 3.84 ± 0.74 และ 4.28 ± 0.48 N/mm ตามลำดับ

ความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่มีเปลือกลดลงระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิในลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินดังแสดงในรูปที่ 4.2(a) อุณหภูมิคงที่ (20°C) ทำให้ความแน่นเนื้อของผลลดลงช้าลง เมื่อเทียบกับกล่องที่มีฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงอาทิตย์ กล่องมะม่วงที่หุ้มฉนวนมีประสิทธิภาพในการช่วยลดสูญเสียความแน่นเนื้อได้มากเมื่อเทียบกับกล่องที่ไม่หุ้มฉนวน

อุณหภูมิและอัตราหายใจที่สูงขึ้นในกล่องจาก Treatment ที่มีฉนวนจะมีส่วนช่วยในการลดลงของความแน่นเนื้อได้มากเมื่อเทียบกับ Treatment ที่ไม่หุ้มฉนวน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานจากของ Nunes *et.al.* [17] ที่สังเกตความแน่นเนื้อของมะละกอในอุณหภูมิคงที่ที่เป็นที่ยอมรับมากกว่ามะละกอจากความผันผวนของอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน นอกจากนี้ Jha *et.al.* [111] รายงานว่าจากการจำลองอุณหภูมิด้านร้อนที่ผันผวน พบว่าความแน่นเนื้อของเปลือกของมะม่วงจะมีค่าตั้งแต่ระดับเริ่มต้น $13.4\text{--}27.1$ N ลดลงไปถึง $3.9\text{--}24.5$ N ในช่วงระยะเวลาการทำให้อ่อนตัว 10 วัน และยังคงสอดคล้องกับ Yasunaga *et.al.* [11] ที่รายงานว่ามะม่วงน้ำดอกไม้อ่อนตัวลงระหว่างการเก็บรักษาหลังจากอยู่ภายใต้อุณหภูมิการกระจายจริงจากประเทศไทยไปยังประเทศญี่ปุ่น นอกจากนี้สอดคล้องกับรายงานของ เสาวภา [39], พิระศักดิ์ [50], ชนิด [14], Penchaiya [117] และ Penchaiya *et. al.* [118] พบว่า ความแน่นเนื้อ (เปลือก) ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

4.3.1.2 ค่า Toughness (N.mm)



ภาพที่ 4.2. (a) ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื่องจากการวัดความหนาแน่นแบบไม่ทำลาย (รวมเปลือก) และ (b) ค่าเฉลี่ยของ Toughness จากการวัดความหนาแน่นแบบไม่ทำลาย (รวมเปลือก) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากค่าสถานะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องที่มีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n = 3$)

ค่าเฉลี่ย Toughness (N.mm) ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (H1) มีค่า 0.029 ± 0.002 N.mm หลังจากผ่านการจำลองสภาวะการจัดการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน 2 ชั่วโมง Treatment ที่ห้องอุณหภูมิคงที่ 20°C, จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องที่มีฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดดจะมีค่า 0.031 ± 0.002 , 0.044 ± 0.005 และ 0.036 ± 0.004 N.mm และเมื่อเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาที่ 20°C ไว้เป็นเวลา 170 ชั่วโมงหรือประมาณ 7 วัน จะมีค่า 0.098 ± 0.014 , 0.104 ± 0.007 และ 0.108 ± 0.012 N.mm ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย Toughness (N.mm) ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (H2) ใน ชั่วโมงที่ 0 จะมีค่า 0.040 ± 0.004 N.mm หลังจากผ่านการจำลองสภาวะการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน 2 ชั่วโมง Treatment ที่ห้องอุณหภูมิคงที่ 20°C, จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องที่มีฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดดจะมีค่า 0.045 ± 0.003 , 0.051 ± 0.003 และ 0.050 ± 0.003 N.mm และเมื่อเก็บรักษาที่ 20°C ไว้เป็นเวลา 122 ชั่วโมงหรือประมาณ 5 วัน จะมีค่า 0.099 ± 0.008 , 0.126 ± 0.020 และ 0.113 ± 0.012 N.mm ตามลำดับ

ค่า Toughness บนเปลือกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิในลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินดังแสดงในรูปที่ 4.2(b) อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิคงที่ (20 °C) ทำให้ความเหนียวของเปลือกผลเพิ่มขึ้นช้าลงเมื่อเทียบกับกล่องที่มีฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดด

ใน Treatment อุณหภูมิคงที่ (20 °C) การเพิ่มขึ้นของค่า Toughness ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองช้าลงเมื่อเทียบกับกล่องหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดด ค่า Toughness ของเปลือกเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา พิจารณาด้วยรายงานจาก Jha *et.al.* [111] ซึ่งสังเกตโดยทั่วไปว่า ค่า Toughness ของเปลือกของมะม่วงที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนดจะสูงขึ้นตลอดระยะเวลาในระหว่างการสุกในทุกพันธุ์ การเพิ่มขึ้นในวันแรกของการสุกนี้สามารถอธิบายได้จากความแตกต่างของความแก่และความสุกงอม [165]

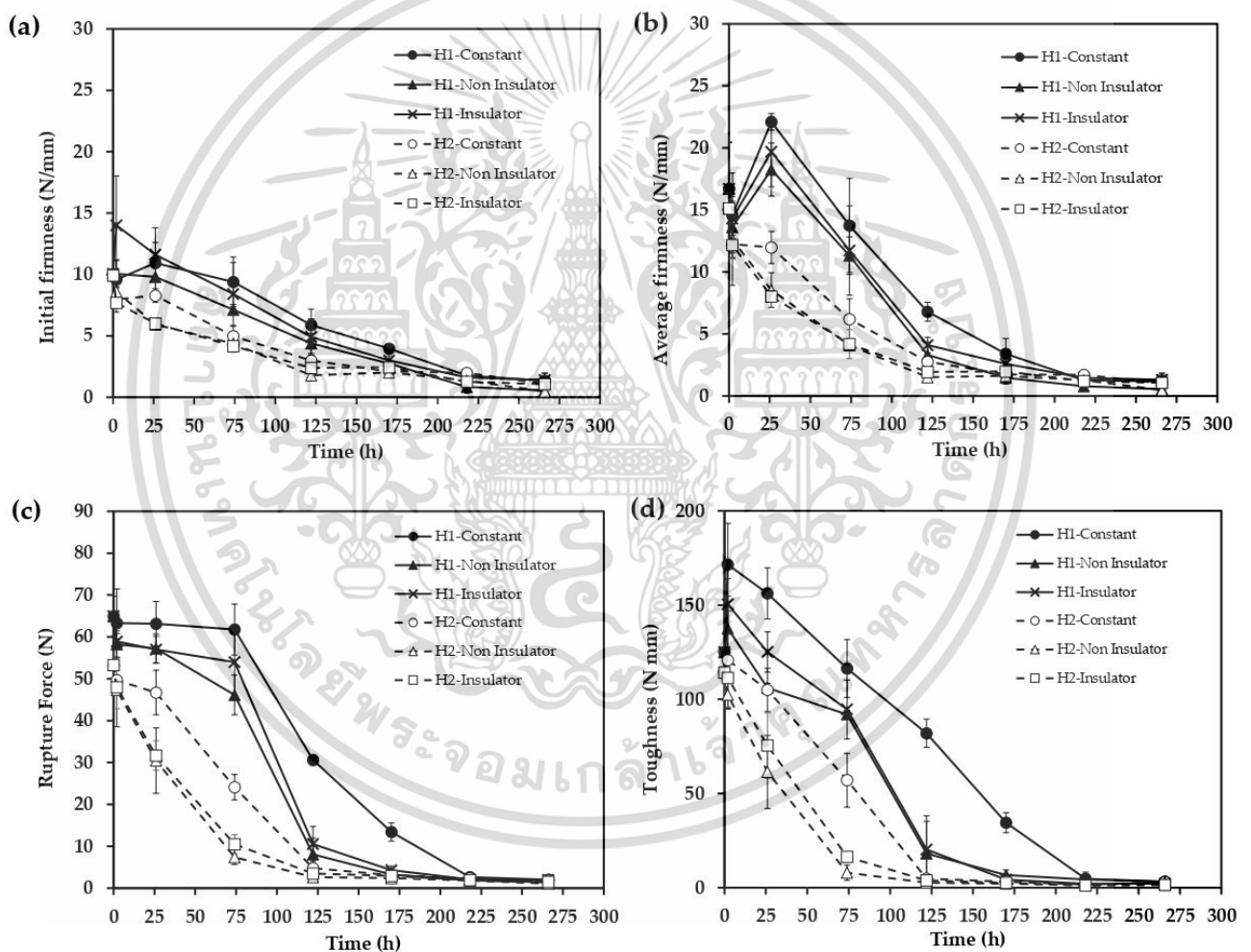
4.3.2 การตรวจวัดความแน่นเนื้อแบบทำลาย

การวัดเนื้อสัมผัสแบบทำลายของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับการวัดเนื้อสัมผัสแบบไม่ทำลายในกรณีของความแน่นเนื้อของเปลือก แต่จะขัดแย้งกับค่า toughness ของเปลือก (ภาพที่ 4.3d) ความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีการลดลงระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิในลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน (ภาพที่ 4.3b) นอกจากนี้ พารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ค่า initial firmness หรือ ค่า rupture force (ภาพที่ 4.3a, 4.3c) แสดงให้เห็นแนวโน้มที่คล้ายกัน อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิคงที่ (20 °C) ทำให้การอ่อนตัวช้าลงในพื้นที่การผลิตทั้งสองเมื่อเปรียบเทียบกับ Treatment ที่มีฉนวนหรือไม่มีฉนวน

ในการศึกษาของ Nunes and Emond [27] และ Nunes *et. al.* [89] กล่าวว่าค่าความแน่นเนื้อของสตอร์เบอรี่ที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมากกว่าในสภาพอุณหภูมิคงที่ สอดคล้องกับรายงาน Nunes *et. al.* [147] ที่พบว่า Snap beans (cv. Opus) เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมากกว่าในสภาพอุณหภูมิคงที่

การประเมินการวัดเนื้อสัมผัสของมะม่วงแบบไม่มีเปลือกแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงแนวโน้มเช่นเดียวกับการประเมินแบบไม่ทำลายในกรณีของความแน่นเนื้อของเปลือก แต่ขัดแย้งกับกรณีของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Toughness ของเปลือก การศึกษาก่อนหน้านี้ของ Noiwan *et. al.* [12] รายงานว่ามะม่วงสุกสูญเสียความแน่นเนื่องจากประมาณ 48 N ในวันแรกของการเก็บเป็นประมาณ 10 N ภายใน 4 วันที่เก็บในอุณหภูมิ 20 °C การค้นพบที่คล้ายกันนี้ถูกพบโดย Jha *et. al.* [111], Ketsa *et. al.* [166] และ Nadeem *et. al.* [167] ที่กล่าวว่าความกระชับของผลเกิดจากการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบผนังเซลล์และพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากการกระทำของโพลีกลากูโรเนสและเพคตินเอสเทอเรสต่อการละลายของสารย่อยเพคติน [168-170] ความแน่นเนื้อของผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับคุณภาพผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว [2] อายุการเก็บรักษาและห่วงโซ่อุปทานของผลมะม่วงจะสั้นลงอย่างเห็นได้ชัดโดยเร่งการทำให้สุกและเกิดความอ่อนตัวของผล กระบวนการที่สลับซับซ้อนในระหว่างการสุกของผลมะม่วงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของการผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจ [171]



ภาพที่ 4.3. (a) ค่าเฉลี่ย initial firmness (b) ค่าเฉลี่ย average firmness (c) ค่าเฉลี่ย rupture force และ (d) ค่าเฉลี่ย toughness จากการวัดความหนาแน่นแบบทำลาย (ไม่รวมเปลือก) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ในสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่, กล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จะถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n = 3$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

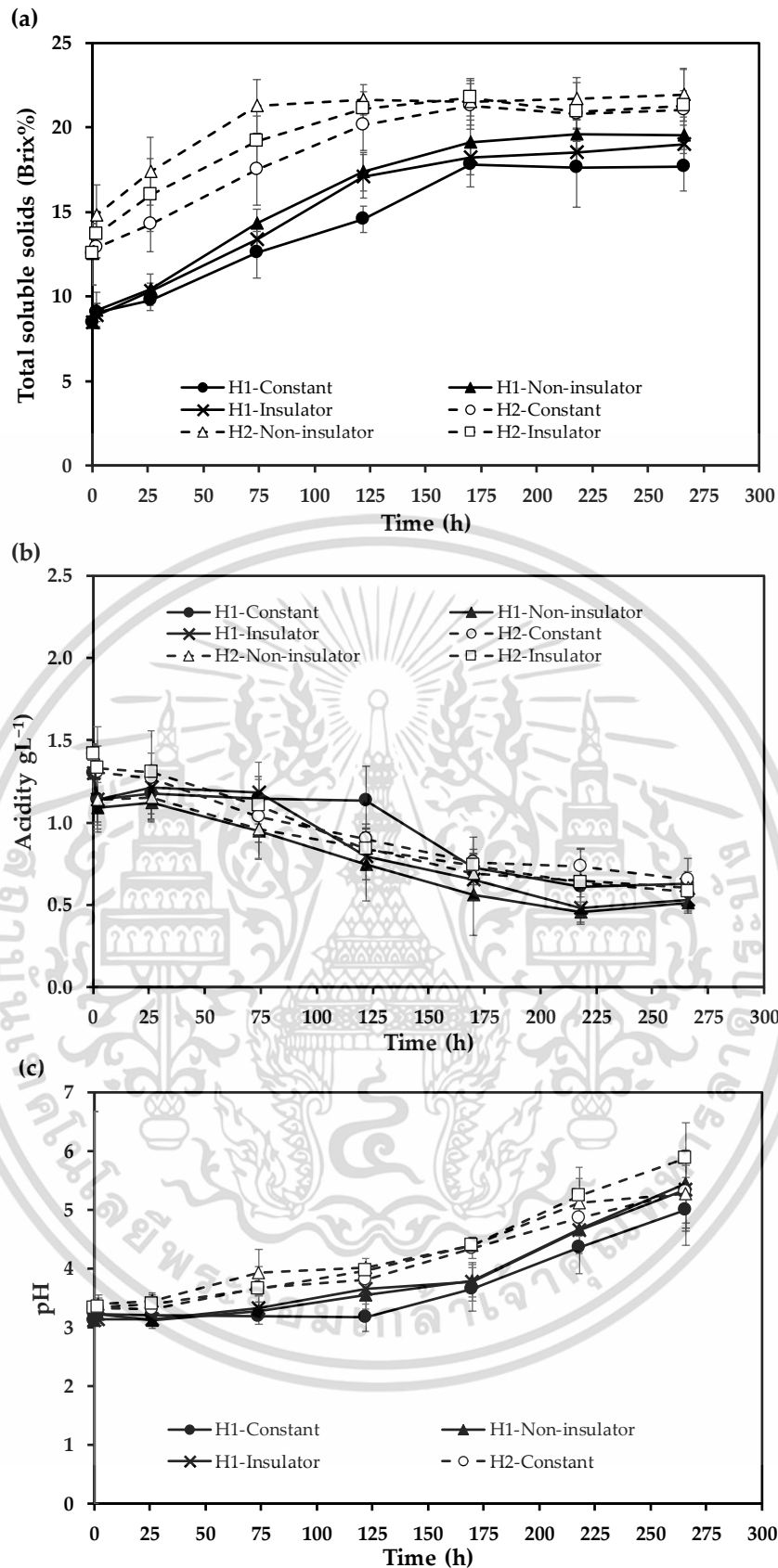
4.4 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ความเป็นกรด (Acidity) และ pH

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจะเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงระยะห่างของพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงและความแตกต่างของอุณหภูมิในลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (a) ใน Treatment อุณหภูมิคงที่ (20 °C) การเพิ่ม TSS ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองช้าลงเมื่อเทียบกับ Treatment ที่มีฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดด อุณหภูมิและอัตราการหายใจที่สูงขึ้นในกล่องมะม่วง สอดคล้องกับรายงานการเพิ่มขึ้นของ TSS ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองโดย Noiwan *et. al.* [12] นอกจากนี้ Yasunaga *et. al.* [11] รายงานว่า TSS ของมะม่วงน้ำดอกไม้จากผลพิชฌุโลกหลังการจำหน่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 1.8 เท่าเมื่อเทียบกับผลหลังเก็บเกี่ยว แต่จะค่อย ๆ ลดลงตามเวลาและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา ซึ่งมะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruits จะการเพิ่มสูงของ TSS ในมะม่วงจะมากในช่วงตอนแรก จากนั้นลดลงและในที่สุดก็เข้าสู่ระยะแก่เต็มที่ [125]

กรดที่วัดออกมาในการวิจัยนี้คือกรดซิตริก ซึ่งเป็นกรดที่มีปริมาณมากที่สุด ในมะม่วง [130] ความเป็นกรดลดลงที่ละน้อยเมื่อผลโตเต็มที่และสังเกตแนวโน้มที่คล้ายกันในภาพที่ 4.4 (b) โดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิในลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ใน Treatment ที่อุณหภูมิคงที่ (20 °C) หรือ Treatment ที่มีฉนวนไม่มีผลต่อการลดความเป็นกรด ซึ่งจากความเป็นกรดของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่จะค่อย ๆ ลดลงระหว่างการเก็บรักษานั้น เนื่องจากความเป็นกรดที่ลดลงในระหว่างการสุกของผลเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นน้ำตาล [172] โดยจะมีการเปลี่ยนกรดซิตริกเป็นน้ำตาลและใช้ในภายหลังในการเผาผลาญผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างกระบวนการหายใจ ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในผลมะม่วงสุกจะลดลงตลอดการทำให้สุก [173]

ซึ่งค่า pH ในทางตรงกันข้ามจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาจากประมาณ 3 เป็น 5 โดยไม่คำนึงถึงอุณหภูมิในลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 (c) ใน Treatment อุณหภูมิคงที่ (20 °C) หรือฉนวนไม่มีผลต่อค่า pH จากค่า pH ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเมื่อผลสุก ผลลัพธ์เหล่านี้สอดคล้องกับรายงานของ Islam *et. al.* [174], ศศิธร และนิธิยา [106], เสาวภา [39]

โดยจากการสัมผัสกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลาสั้น ๆ แค่ 2 ชั่วโมง ที่การจำลองสภาวะการขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในของมะม่วง ซึ่งสอดคล้องกับการกับรายงานการเปลี่ยนของมะละกอ สตรอเบอร์รี่ และ Snap beans (cv. Opus) ของ Nunes and Emond [27], Nunes *et. al.* [89] และ Nunes *et. al.* [147]



ภาพที่ 4.4. (a) ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids), (b) ความเป็นกรด (acidity) และ (c) pH of mango fruits ('Nam Dok Mai Si thong') ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD (n=5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลของสีเปลือกและเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

สีของผลมีความสำคัญมากต่อมูลค่าทางตลาดของผลมะม่วง และเป็นปัจจัยแรกที่ดึงดูดใจผู้บริโภค สิ่งนี้มีความสำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพราะมีเปลือกสีเหลืองตั้งแต่ผลยังไม่สุกจนสุก ค่า L^* ของเปลือกผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองลดลงในระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ดังแสดงในภาพที่ 4.5a ใน Treatment อุณหภูมิคงที่ (20°C) ช่วยชะลอการลดลงของค่า L^* ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อเทียบกับ Treatment ที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสแสงแดดในช่วงการจำลองสภาวะบริเวณลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในทางกลับกัน ค่า L^* ของผลมะม่วงจะลดลงอย่างรวดเร็วใน Treatment ที่ไม่มีฉนวน (ภาพที่ 4.7)

ค่า a^* และ b^* ของเปลือกผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ดังแสดงในภาพที่ 4.5 b, c ใน Treatment อุณหภูมิคงที่ (20°C) จะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า a^* และ b^* ของมะม่วงเมื่อเทียบกับ Treatment ที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสแสงแดดในช่วงการจำลองสภาวะบริเวณลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปลือกผลมะม่วงจาก Treatment ในกล่องที่ไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดดแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและเหลืองก่อนออกผลภายใต้สภาวะคงที่และมีฉนวน ดังแสดงในภาพที่ 4.7

ค่า L^* ของเนื้อใกล้เมล็ดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองลดลงในระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ดังแสดงในภาพที่ 4.6a ใน Treatment อุณหภูมิคงที่ (20°C) จะชะลอการลดลงของค่า L^* ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อเทียบใน Treatment กล่องที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดดดังแสดงในภาพที่ 4.8

ค่า a^* และ b^* ของเนื้อใกล้เมล็ดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ดังแสดงในภาพที่ 4.6 b, c ใน Treatment อุณหภูมิคงที่ (20°C) จะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า a^* และ b^* ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อเทียบใน Treatment กล่องที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดด ผลมะม่วงใน Treatment กล่องไม่หุ้มฉนวนที่สัมผัสกับแสงแดดจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและเหลืองบนเนื้อใกล้เมล็ดก่อนออกผลภายใต้สภาวะคงที่หรือหุ้มฉนวนดังแสดงในภาพที่ 4.8

ค่าความเป็นสีเหลืองหรือค่า Yellowness ของเปลือกและเนื้อใกล้เมล็ดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ใน Treatment อุณหภูมิคงที่ (20°C) จะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า Yellowness ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อเปรียบเทียบกับ Treatment กล่องที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนที่โดนแสงแดด

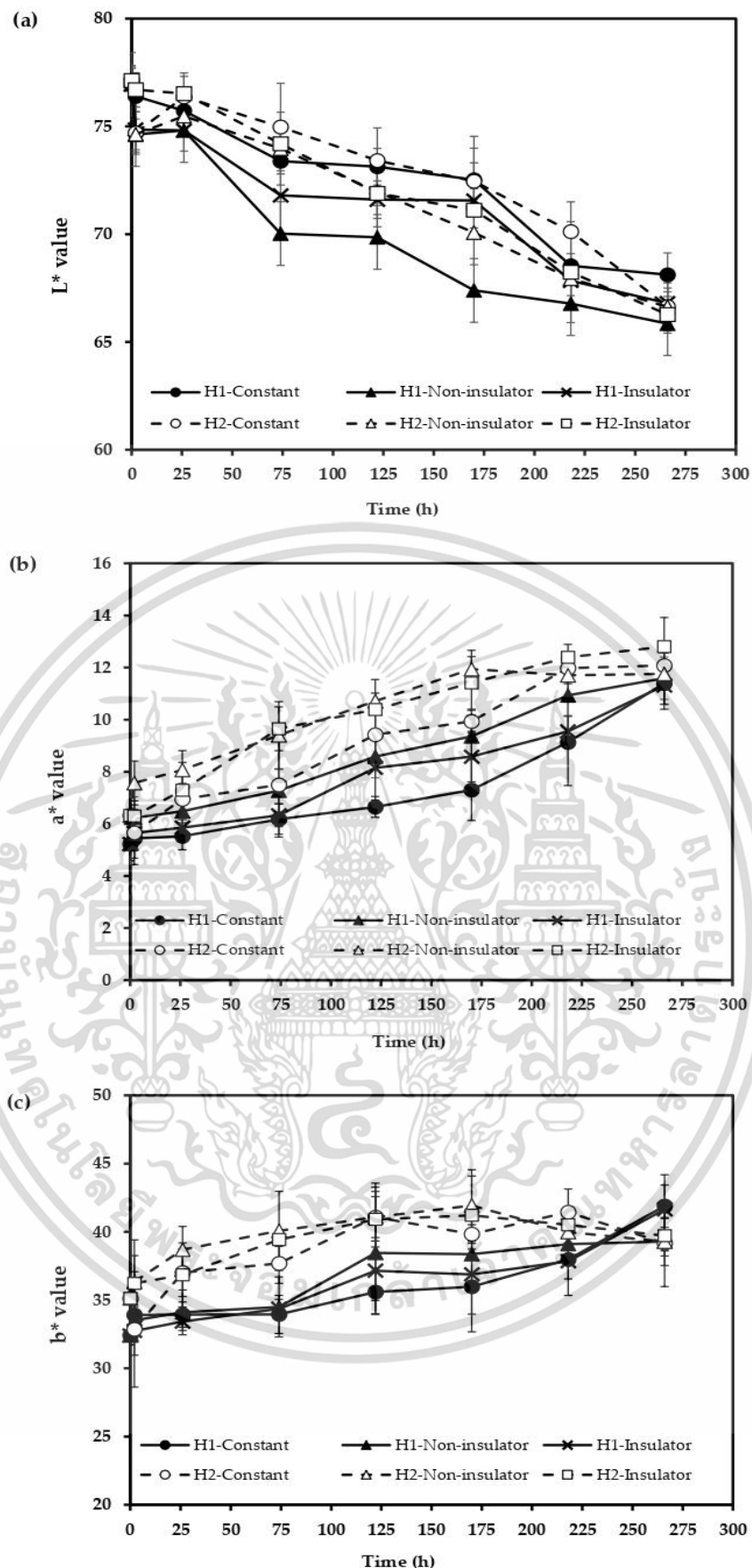
สีของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเป็นลักษณะที่สำคัญที่สุดในสายตาของผู้บริโภค และการพัฒนาของสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อสุก ค่าความเป็นสีเหลืองของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองได้รับอิทธิพลจากการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

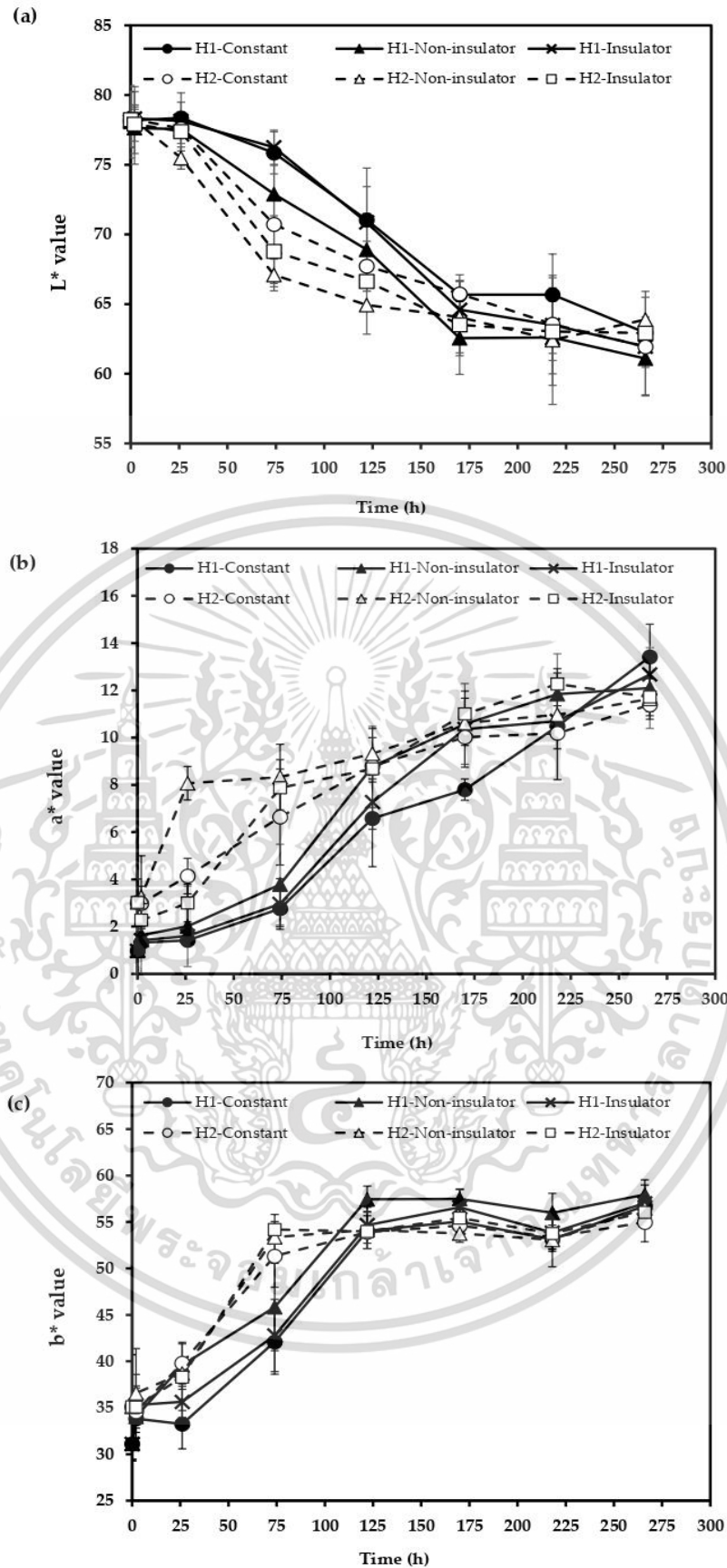
เพิ่มขึ้นของ b^* ซึ่งพบในผลที่แก่กว่า ในช่วงที่ผลมะม่วงสุก ผลมะม่วงจะรวบรวม phenolic และ carotenoid chemicals [175] แคโรทีนอยด์เป็นสารสีหลักที่ทำให้ผลมะม่วงสุกมีสีเหลืองถึงส้ม [176] ค่า L^* , a^* และ b^* สอดคล้องกับค่าที่รายงานโดย Noiwan *et.al.* [12], Nunes *et. al.* [158], Nadeem *et. al.* [167]. การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกมะม่วงเกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ระหว่างการสุก [177] การวัดความสมบูรณ์หรือความสุกงอมที่แม่นยำที่สุดอย่างหนึ่งคือสีของเนื้อด้านใน มะม่วงที่ยังไม่เจริญเต็มที่ จะมีเนื้อสีขาวหรือสีเหลืองซีดมาก เนื้อสีเหลืองเริ่มปรากฏออกมาจากเมล็ดเมื่อผลโตเต็มที่ภายหลังหลังการเก็บเกี่ยว มะม่วงสุกและส่วนอื่น ๆ ด้านในจะมีลักษณะสีที่เข้มข้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ [178]



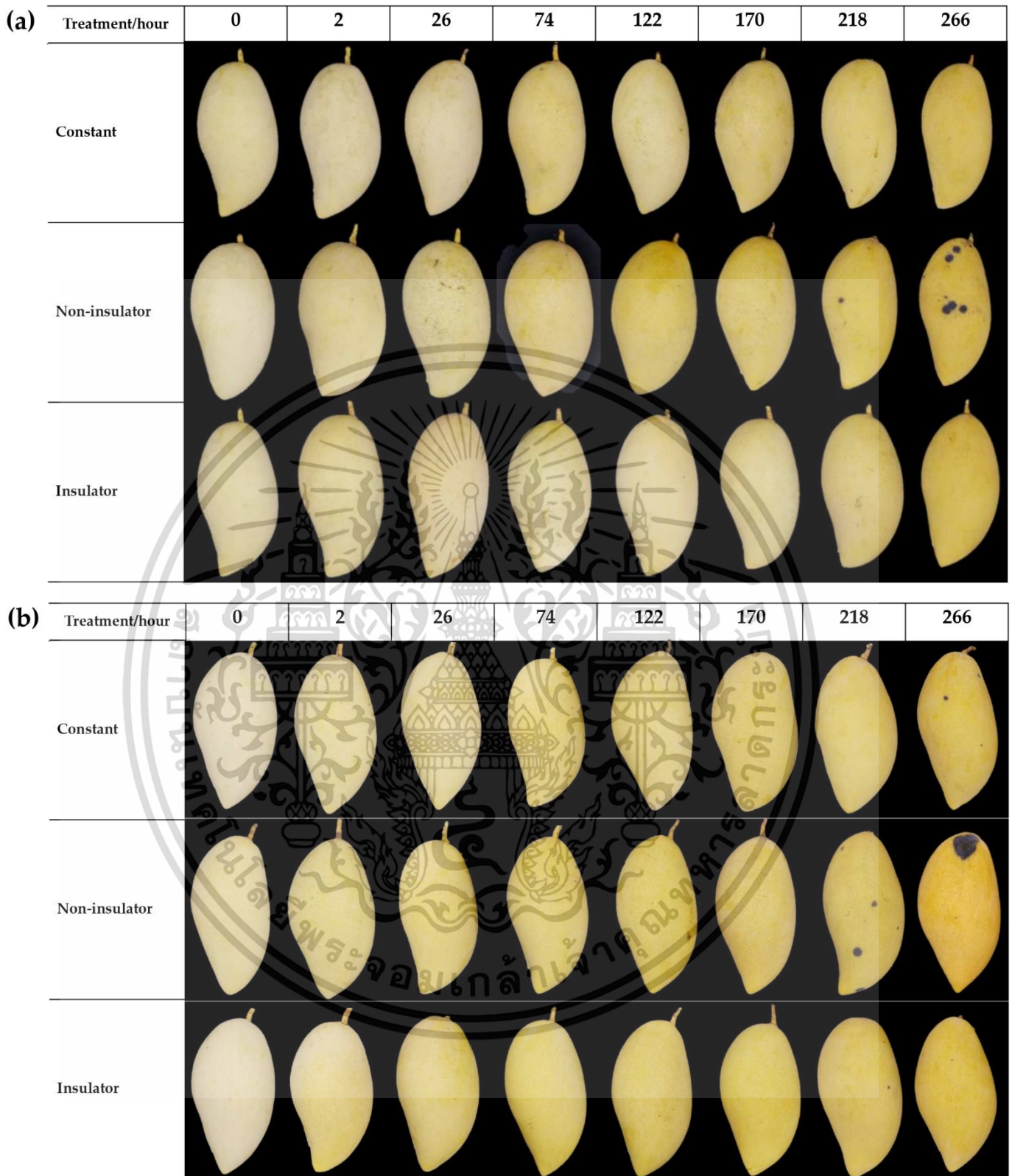
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 (a) L*, (b) a* และ (c) b* ของเปลือกผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=3) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

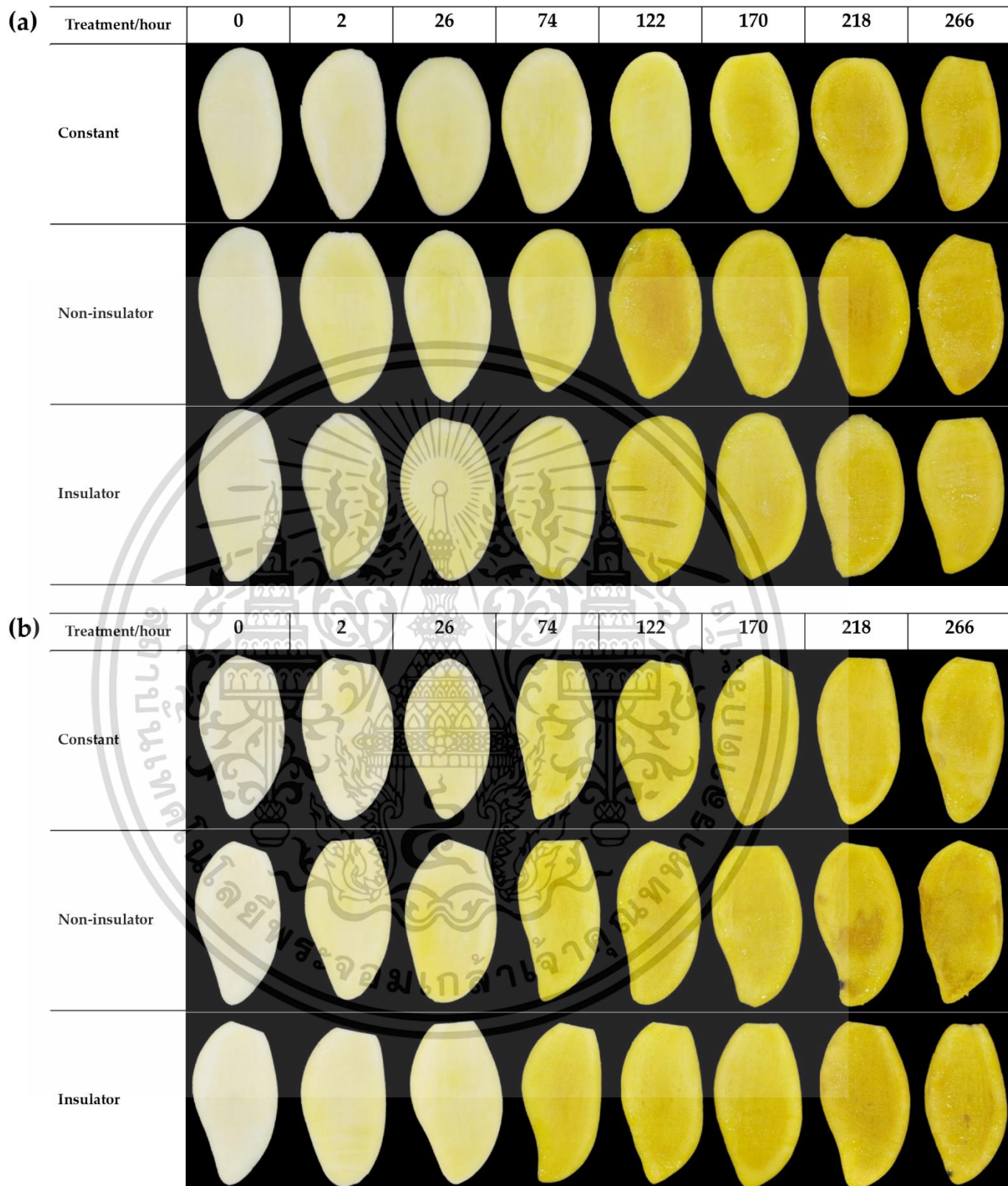


ภาพที่ 4.6 (a) L*, (b) a* และ (c) b* ของเนื้อไก่ต้มสดผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=3) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



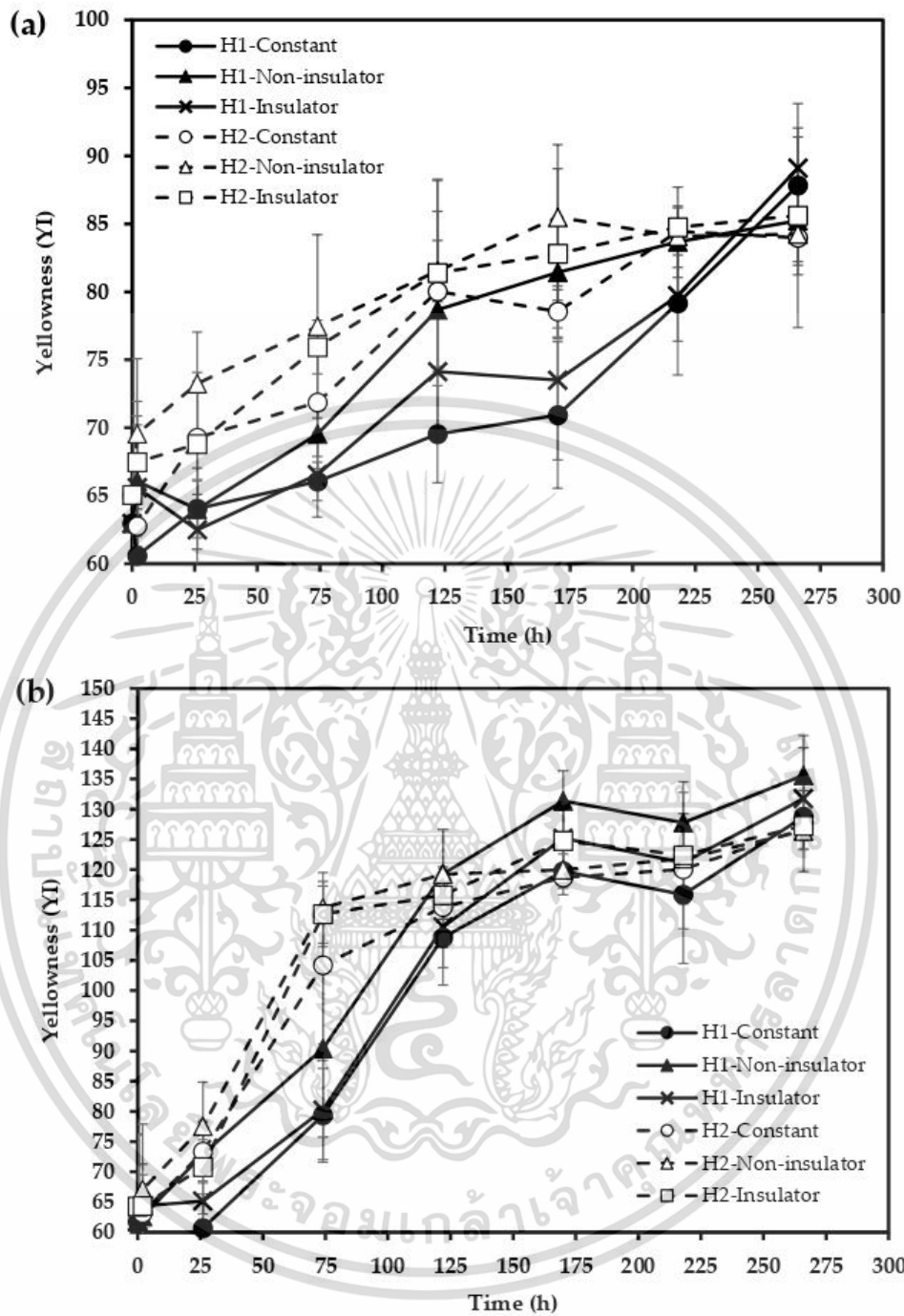
ภาพที่ 4.7 สีเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจาก (a) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และ (b) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 จากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน หลังจากนั้นถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 สีเนื้อใกล้เมล็ดของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจาก (a) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และ (b) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 จากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน หลังจากนั้นถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

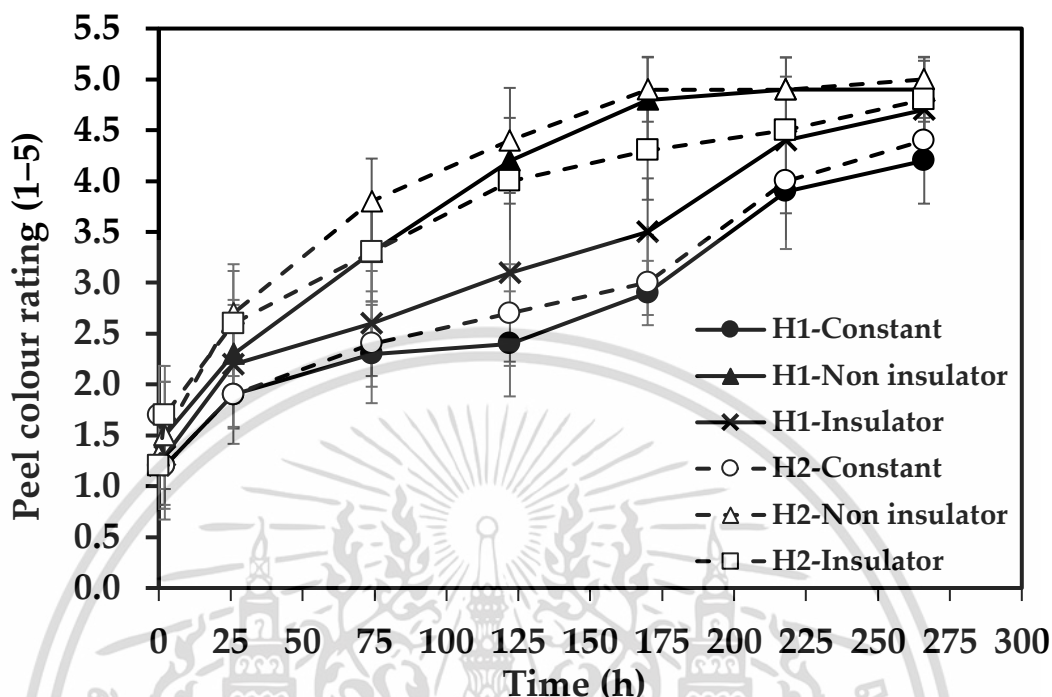


ภาพที่ 4.9 ค่า Yellowness ของ (a) เปลือก และ (b) เนื้อใกล้เมล็ด ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการประเมินคุณภาพมะม่วงด้วยระดับคะแนน

4.6.1 ผลการพิจารณาระดับคะแนนสีเปลือกมะม่วงด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น

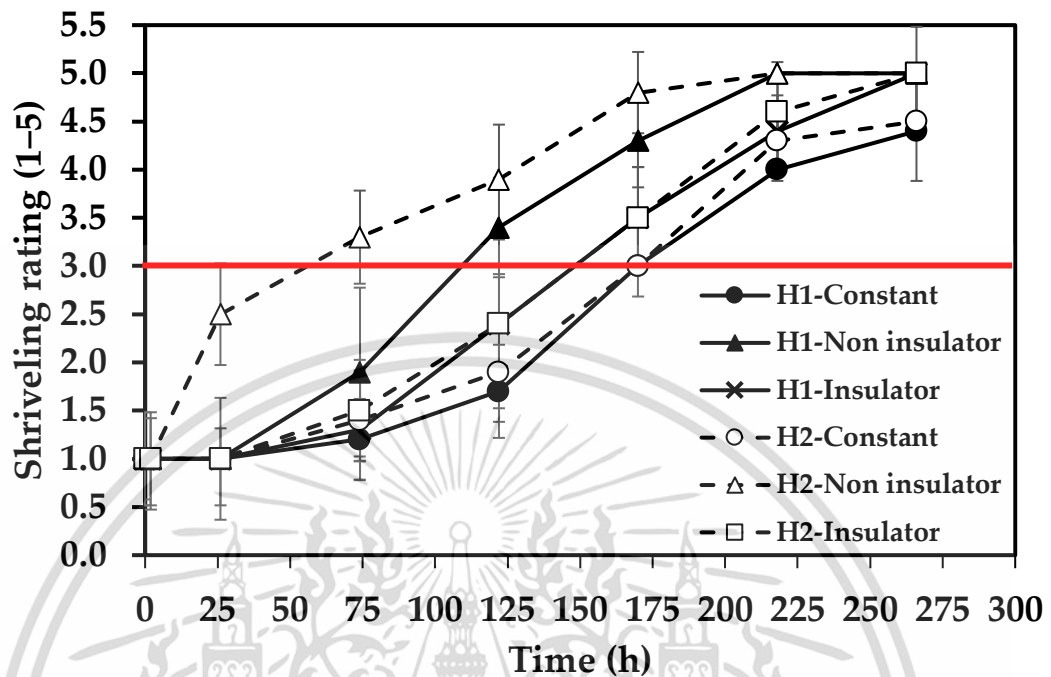


ภาพที่ 4.10 ค่าคะแนนตรวจพิจารณาด้วยสายตาสีเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=10)

สีเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนในผลที่ยังไม่สุกเป็นสีเหลืองเข้มหรือสีเหลืองทองในมะม่วงที่สุกแล้ว คะแนนการมองเห็นของความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิในลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน (ภาพที่ 4.10) ความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน Treatment ที่ไม่หุ้มฉนวน ตามด้วย Treatment ที่มีฉนวนและค่าคงที่

สีของเปลือกมะม่วงมีผลอย่างมากต่อความน่าดึงดูดใจของผู้บริโภค เนื่องจากผลไม้ที่มีความเป็นสีแดงและไม่มีโทนสีเขียวมักจะมียาราคาแพงกว่าหรือขายได้ง่ายกว่า [179] ในการศึกษาครั้งนี้ สีเหลืองที่สังเกตได้จากผลมะม่วงที่สัมผัสโดยไม่มีฉนวนที่อุณหภูมิ 36.9 ± 3.2 °C (H1) และ 38.0 ± 1.3 °C (H2) เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในระหว่างการปฏิบัติการสนามบินจำลองและการบินอาจเป็นผลของการสัมผัสกับอุณหภูมิสูงระหว่างการจำลองขนส่งที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน

4.6.2 การพิจารณาระดับคะแนนความเหี่ยวเฉา (Shriveling) ด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น



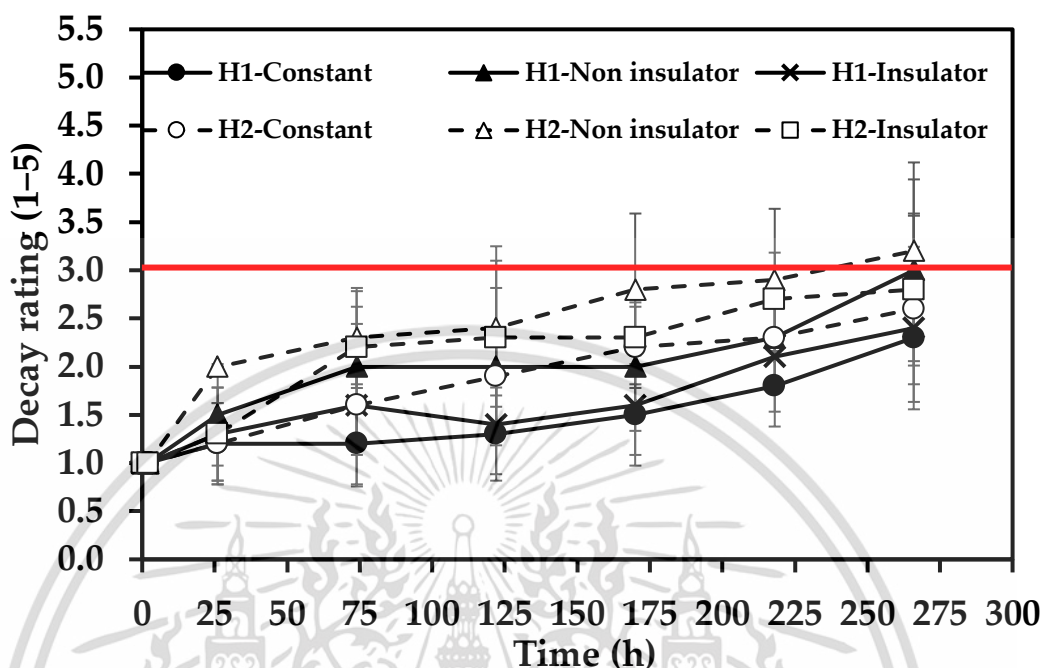
ภาพที่ 4.11 ค่าคะแนนตรวจพิจารณาความเหี่ยวเฉาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=10)

ความเหี่ยวเฉาที่เกินระดับ 3 ซึ่งเป็นระดับที่ใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการไม่ยอมรับ จะเกิดใน Treatment ที่ไม่มีฉนวนที่ 74 ชั่วโมง ใน (H2) เมื่อเทียบกับ (H1) ที่เกิดเมื่อเวลา 125 ชั่วโมงใน Treatment ที่ไม่มีฉนวน ดังแสดงในภาพที่ 4.11 อย่างไรก็ตาม สัญญาณของการความเหี่ยวเฉานั้นพัฒนาขึ้นก่อนหน้านั้นใน Treatment ที่ไม่มีฉนวน มีฉนวน และมีค่าคงที่ตามลำดับ การเหี่ยวเฉาที่เกินระดับที่ยอมรับได้ที่เกิดขึ้นก่อนในกล่องที่ไม่มีหุ้มฉนวนที่โดนแสงแดด อาจเกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นระหว่างการจำลองขนส่งที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน เพราะการที่มะม่วงสัมผัสกับแสงแดดทำให้เหี่ยวเฉาและสูญเสียน้ำหนัก [180]

4.6.3 การพิจารณาระดับคะแนนความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว (Decay) ด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น

ความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการจัดเก็บ แต่ไม่เคยเกินระดับที่ยอมรับไม่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 อย่างไรก็ตาม ระดับคะแนนของมะม่วงที่อยู่ในอุณหภูมิคงที่หรือหุ้มด้วยฉนวนโพลีสไตรีน ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกล่องที่ไม่มีหุ้มฉนวน ที่น่าสนใจคือตลอดระยะเวลาในการทดลอง ยกเว้นชั่วโมงที่ 266 ของมะม่วงที่ไม่มีฉนวนใน H1 และ H2 นั้นความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวจะไม่ถึงระดับ 3 หรือระดับที่ยอมรับไม่ได้ จึงไม่สามารถนำความรุนแรงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวมาใช้ในการพิจารณาอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการขนส่งได้



ภาพที่ 4.12 ค่าระดับคะแนนความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากค่าสภาวะห้องที่อุณหภูมิคงที่ จากกล่องที่ไม่มีฉนวนและกล่องมีฉนวนระหว่างการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D.(n=10)

จากการทดลองพบว่ามะม่วงที่สัมผัสกับอุณหภูมิหรือแสงแดดที่สูงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ แค่ 2 ชั่วโมงจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพมากกว่าในอุณหภูมิคงที่ สอดคล้องกับการศึกษาในสตรอเบอร์รี่ มะละกอ ถั่ว เห็ด มะเขือเทศและมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง [17,14,27,147,30]

4.7 อายุการเก็บรักษา Shelf life

อายุการเก็บรักษาของมะม่วงใช้การพิจารณาคะแนนด้วยสายตา พบว่าค่าระดับคะแนนความเหี่ยวเฉา (Shriveling) จะมีเกินระดับที่ยอมรับได้ จึงใช้เป็นปัจจัยหลักในการกำหนดอายุการเก็บรักษา โดยอายุการเก็บของผลมะม่วงมีอายุมากขึ้น 48 ชั่วโมงใน (H1) เมื่อเทียบกับ (H2) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ความแตกต่างนี้ส่วนใหญ่เป็นเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิที่ลานขนถ่ายที่สนามบิน โดยกล่องมะม่วงที่หุ้ม LDPE และอุณหภูมิคงที่ (20 °C) และ LDPE + ฉนวนโพลีสไตรีนทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น 48 ชั่วโมง (2 วัน) เมื่อเทียบกับ LDPE ที่ไม่มีฉนวน ประสิทธิภาพของ

LDPE และอุณหภูมิคงที่ (20 °C) และ LDPE+ฉนวนนั้น จะเพิ่มอายุการเก็บรักษา 48 ชั่วโมงในทั้งสองรอบการเก็บเกี่ยว

อายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งซึ่งเป็นที่ต้องการในเชิงพาณิชย์ ฉนวนจากโพลีไทรีนมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงที่จำหน่ายในท้องตลาดได้ 48 ชั่วโมง นี่เป็นข้อพิสูจน์อย่างชัดเจนว่าการใช้ LDPE และฉนวนใน ULD ช่วยลดผลกระทบด้านลบของสภาวะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมบนลานขนถ่ายสินค้าระหว่างการจัดการขนส่งทางอากาศ ฉนวนจะช่วยลดอุณหภูมิในกล่อง ซึ่งจะขัดขวางการหายใจและช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะม่วง ส่งผลให้ความเสียหายเกิดขึ้นช้า ส่งผลให้มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น ผลลัพธ์ของผลการศึกษาที่ก่อนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองนี้สอดคล้องกับรายงาน Nunes และคณะ [17] ซึ่งรายงานว่ามะละกอที่จัดการภายใต้อุณหภูมิที่คงที่มีอายุการเก็บรักษานานกว่ามะละกอที่จัดการภายใต้อุณหภูมิที่ผันผวน ในทำนองเดียวกัน สตรอว์เบอร์รี่ที่ใช้เวลา 10 ชั่วโมงในอุณหภูมิที่ผันผวน ไม่ได้รับการยอมรับก่อนที่จะวางจำหน่าย ในขณะที่สตรอว์เบอร์รี่ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิที่คงที่ (10 ชั่วโมงต่อเนื้อที่ 3 °C) ยังคงยอมรับได้หลังจาก 24 ชั่วโมงในการวางจำหน่าย[89] และยังคงสอดคล้องกับผลการศึกษาเกี่ยวกับ Snap beans (cv. Opus ซึ่งถั่วที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ผันผวนถือว่าขายไม่ได้ก่อนที่จะวางจำหน่าย ในขณะที่ถั่วที่อยู่ภายใต้การรักษาอุณหภูมิคงที่จะยอมรับไม่ได้หลังจากวางจำหน่ายไป 24 ชั่วโมง [147]

ตารางที่ 4.3 อายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงหลังการจัดการจำลองที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน

การเก็บเกี่ยวครั้งที่	Type of packaging	Treatment at tarmac	Shelf life	
			hour	days
H1 (53 h*)	LDPE	Constant temperature 20 °C	170	≈7
	LDPE	Under sun	122	≈5
	LDPE and insulation	Under sun	170	≈7
H2 (70 h*)	LDPE	Constant temperature 20 °C	122	≈5
	LDPE	Under sun	74	≈3
	LDPE and insulation	Under sun	122	≈5

*ระยะเวลาหลังจากเก็บเกี่ยวจากสวนจนถึงโรงแช่น้ำร้อน

4.8 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ โดยแบ่งเป็นวิเคราะห์จากการเก็บเกี่ยวทั้ง 2 ครั้ง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.1 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1

ซึ่งผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อสร้างสมการทำนายค่า TSS (Total soluble solid) โดยใช้ตัวแปรจากการตรวจวัดแบบไม่ทำลายผลมะม่วง 4 ค่าและค่าระยะเวลาชั่วโมงหลังจากขนส่งจำนวน 1 ค่า จะสามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.927 ดังแสดงในตารางที่ 4.4-4.5

ตารางที่ 4.4 บอกลักษณะประสิทธิภาพของสมการในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			Sig. F Change
						F Change	df1	df2	
1	.927 ^a	.859	.850	1.54440	.859	90.195	5	74	<.001

a. Predictors: (Constant), P_AveF, P_L, P_b, Time, P_a

ตารางที่ 4.5 บอกลักษณะค่าในการสร้างสมการในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	Correlations		Part
		B	Std. Error	Beta				Zero-order	Partial	
1	(Constant)	14.338	4.090			3.506	<.001			
	Time	.033	.004	.784		8.892	<.001	.917	.719	.388
	P_L	.009	.054	.012		.158	.875	-.370	.018	.007
	P_a	.078	.185	.050		.424	.673	.360	.049	.018
	P_b	-.123	.083	-.128		-1.480	.143	.229	-.170	-.065
	P_AveF	-.154	.067	-.189		-2.305	.024	-.823	-.259	-.101

a. Dependent Variable: Brix

Calibration model

$$y = 14.338 + 0.033(\text{Time}) + 0.009(\text{P}_L) + 0.078(\text{P}_a) - 0.123(\text{P}_b) - 0.154(\text{P}_{\text{AveF}})$$

โดย Time = ระยะเวลาหลังจากนำมะม่วงมาที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินก่อนการขนส่ง

P_L = ค่า L* ที่เลือกบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

P_a = ค่า a* ที่เลือกบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

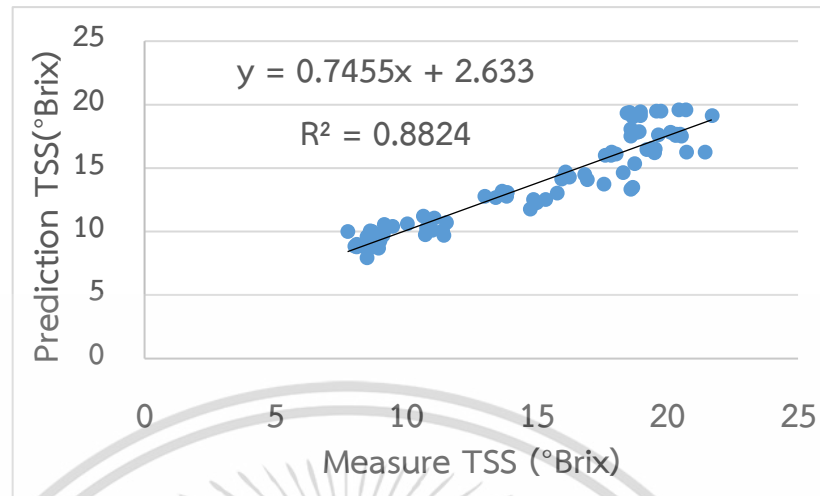
P_b = ค่า b* ที่เลือกบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

P_AveF = ค่า Average firmness(N/mm) แบบไม่ทำลายบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้

จากค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของ model ได้แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) คือ ค่า Average firmness(N/mm) และ ค่า b* ที่เลือกบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ตามลำดับ และนำเสนอสมการที่ได้มาทำนายค่า TSS (Total Soluble

Solid) ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ผ่านการสัมผัสแสงแดด จะได้ดังภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าค่าการทำนาย
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความใกล้เคียงและเมื่อวิเคราะห์โดยการสร้างกราฟด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ปรากฏว่าได้ค่า $R^2 = 0.8824$



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS (Total Soluble Solids) ที่วัดได้จริง และค่าที่ได้จากการทำนายของสมการของมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1

4.8.2 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

ซึ่งผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อสร้างสมการทำนายค่า TSS (Total soluble solid) โดยใช้ตัวแปรจากการตรวจวัดแบบไม่ทำลายผลมะม่วง 4 ค่าและค่าระยะเวลาชั่วโมงหลังจากขนส่งจำนวน 1 ค่า จะสามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.887 ดังแสดงในตารางที่ 4.6-4.7

ตารางที่ 4.6 บอกถึงประสิทธิภาพของสมการในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics			Sig. F Change	
					R Square Change	F Change	df1		df2
1	.887 ^a	.787	.773	1.87515	.787	54.708	5	74	<.001

a. Predictors: (Constant), Ex2_AveF, Ex2_P_b, Ex2_P_L, Time, Ex2_P_a

ตารางที่ 4.7 บอกถึงค่าในการสร้างสมการในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part
1	(Constant)	1.671	7.965		.210	.834			
	Time	.010	.006	.249	1.652	.103	.850	.189	.089
	Ex2_P_L	.147	.101	.128	1.450	.151	-.608	.166	.078
	Ex2_P_a	.692	.264	.426	2.628	.010	.810	.292	.141
	Ex2_P_b	.010	.098	.009	.099	.922	.618	.011	.005
	Ex2_AveF	-.377	.110	-.372	-3.430	<.001	-.813	-.370	-.184

a. Dependent Variable: Ex2_Brix

Calibration model

$$y=1.671 + 0.01(\text{Time}) + 0.147(P_L) + 0.692(P_a) + 0.01(P_b) - 0.377(P_AveF)$$

โดย Time = ระยะเวลาหลังจากนำมะม่วงมาที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินก่อนการขนส่ง

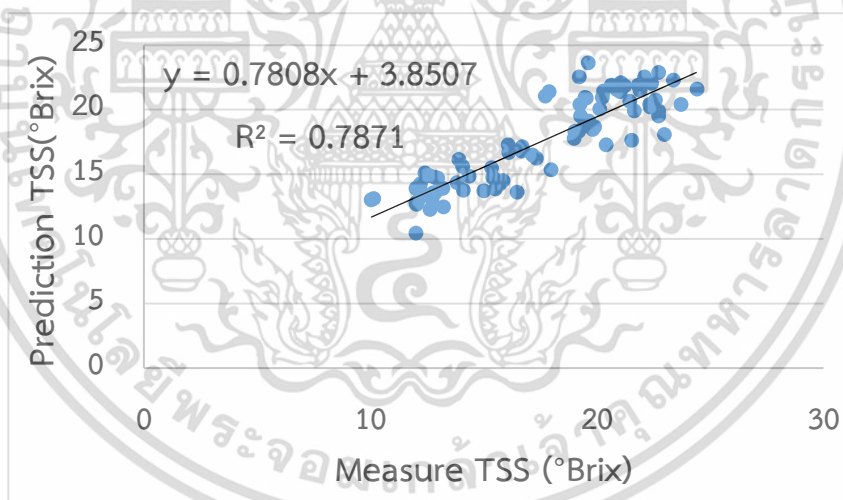
P_L = ค่า L* ที่เลือกบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

P_a = ค่า a* ที่เลือกบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

P_b = ค่า b* ที่เลือกบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

P_AveF = ค่า Average firmness(N/mm) แบบไม่ทำลายบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้

จากค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของ model ได้แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลในการทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) คือ ค่า Average firmness(N/mm) และ ค่า b* ที่เลือกบริเวณกึ่งกลางผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ตามลำดับ และนำสมการที่ได้มาทำนายค่า TSS (Total Soluble Solid) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผ่านการสัมผัสแสงแดด จะได้ดังภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่าการทำนายมีความใกล้เคียงและเมื่อวิเคราะห์โดยการสร้างกราฟด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ปรากฏว่าได้ค่า $R^2 = 0.7871$



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS (Total Soluble Solids) ที่วัดได้จริง และค่าที่ได้จากการทำนายของสมการของมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษานี้บ่งชี้ว่าอุณหภูมิที่บริเวณลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบินส่งผลต่อคุณภาพของผลมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องมะม่วงที่สัมผัสแสงแดดจะสูงกว่ากล่องที่หุ้มฉนวนโพลีสไตรีน ซึ่งจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 จะมีอุณหภูมิภายในกล่องที่ 28.1°C และ 36.9°C ตามลำดับ ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 จะมีอุณหภูมิภายในกล่องที่ 34.2 °C และ 38.0°C ตามลำดับ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ากล่องผลมะม่วงที่หุ้มด้วยฉนวนโพลีสไตรีนช่วยลดผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการสัมผัสแสงแดดโดยตรงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยช่วยลดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในกล่อง ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลมะม่วง ทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่มีฉนวนและสภาวะอุณหภูมิคงที่ ฉนวนยังมีประสิทธิภาพในการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลมะม่วง ชะลอการลดความแน่นเนื้อ ชะลอความเหี่ยวเฉา ชะลอการเกิดความเน่าเสียจากเชื้อโรค และรักษาคุณภาพสีเหลืองของเปลือกและเนื้อมะม่วง นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับคุณภาพคือความเหี่ยวเฉาของมะม่วงที่สามารถสังเกตได้ด้วยการประเมินด้วยประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นต้นแบบในการกำหนดสภาวะอุณหภูมิ และระยะเวลาในการขนส่ง ที่เหมาะสมบริเวณลานขนถ่ายเข้าสู่ขนส่งทางอากาศในการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง หรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันในเชิงพาณิชย์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดลองซ้ำในฤดูกาลเก็บเกี่ยวอื่น เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้การรักษาอุณหภูมิของมะม่วงระหว่างการขนส่งจะช่วยให้รักษาคุณภาพของมะม่วงได้ดีมากขึ้น ดังนั้นควรมีการศึกษาอุปกรณ์หรือวิธีการที่จะรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตลอดระยะเวลาการขนส่ง

บรรณานุกรม

- [1] Baldwin, E.A., Burns, J.K.; Kazokas, W., Brecht, J.K., Hagenmaier, R.D. Bender, R.J. and Pesis, E. (1999). "Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage." **Postharvest Biol. Technol.** 17: 215–226.
- [2] Hmam, I., Zaid, N., Mamdouh, B., Abdallatif, A., Abd-Elfattah, M. and Ali, M. (2021). "Storage Behavior of "Seddik" Mango Fruit Coated with CMC and Guar Gum-Based Silver Nanoparticles." **Horticulturae.** 7(3), 44.
- [3] Sivakumar, D., Jiang, Y. and Yahia, E.M. (2011). "Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain." **Food Res. Int.** 44: 1254–1263.
- [4] FAO. (2022) **Mango production worldwide from 2000 to 2020 (in Million Metric Tons) Statistica.** Accessed September, 05 2022. Available from: <https://www.statista.com/statistics/577951/world-mango-production/>
- [5] Torgbor, B.A., Rahman, M.M, Robson, A., Brinkhoff, J., and Khan, A. (2022). "Assessing the Potential of Sentinel-2 Derived Vegetation Indices to Retrieve Phenological Stages of Mango in Ghana." **Horticulturae.** 8, 11.
- [6] Javed, S., Fu, H., Ali, A., Nadeem, A., Amin, M., Razzaq, K., Ullah, S., Rajwana, I.A., Nayab, S. and Ziogas, V. (2022). "Comparative Response of Mango Fruit towards Pre- and Post-Storage Quarantine Heat Treatments." **Agronomy.** 12, 1476.
- [7] Win, S.T. and Setha, S. (2022). "Enhancement of Anti-Inflammatory and Antioxidant Activities of Mango Fruit by Pre- and Postharvest Application of Salicylic Acid." **Horticulturae.** 8, 555.
- [8] Tharanathan, R.N., Yashoda, H.M. and Prabha, T.N. (2006). "Mango (*Mangifera indica* L.), "The King of Fruits"—An Overview" **Food Reviews International.** 22, 2: 95-123
- [9] Department of Agricultural Extension, Thailand. Mango statistic. Accessed September 05, 2022. Available from: <https://production.doae.go.th/service/>
- [10] Office of Agricultural Economics, Thailand. **Mango export statistic.** Accessed September 05, 2022. Available from: http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2560&E_YEAR=2565&PRODUCT_GROUP=5252&PRODUCT_ID=4985&wf_search=&WF_SEARCH=Y

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Yasunaga, E., Fukuda, S., Takata, D., Spreer, W., Sardud, V. and Nakano, K. (2018). “Quality Changes in Fresh Mango Fruits (*Mangifera indica* L. ‘Nam Dok Mai’) Under Actual Distribution Temperature Profile from Thailand to Japan.” **Environ. Control Biol.** 56 (2): 45-49
- [12] Noiwan, D., Suppakul, P., Joomwong, A., Uthaibutra, J. and Rachtanapun, P. (2017) “Kinetics of mango fruits (*Mangifera indica* cv.‘Nam Dok Mai Si Thong’) quality changes during storage at various temperatures.” **J. Agric. Sci.** 9: 199–212.
- [13] Chimvaree, C., Cumsingnok, T., Wongs-Aree, C., Supapvanich, S., Charoenrat, T., Tepsorn, R. and Boonyarittongchai, P. (2020). “Substrate reactivity of polyphenol oxidase and browning inhibition of fresh-cut ‘Nam Dok Mai Si-Thong’ mangoes by protein-based sericin coating.” **Hortic. J.** 89: 537–544
- [14] ชนิด วานิกานุกูล. (2551). “การพัฒนากระบวนการบรรจุและขนส่งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [15] Kader, A.A. (1992). “Quality and safety factors: Definition and evaluation for fresh horticultural crops.” In **Postharvest Technology of Horticultural Crops**, pp. 185-189. 2nd ed. Kader, A.A. Ed., University of California Agriculture and Natural Resources: Davis, CA, USA.
- [16] Koiwanit, J., Riensuwarn, F., Palungpaiboon, P. and Pornchaloempong, P. (2020). “Business viability and carbon footprint of Thai-grown Nam Dok Mai mango powdered drink mix.” **Journal of Cleaner Production.** 254, 119991
- [17] Nunes, M.C.N., Emond, J.P. and Brecht, J.K. (2006). “Brief deviations from set point temperatures during normal airport handling operations negatively affect the quality of papaya (*Carica papaya*) fruit.” **Postharvest Biol. Technol.** 41: 328–340
- [18] Noiwan, D., Suppakul, P. and Rachtanapun, P. (2022). “Preparation of Methylcellulose Film-Based CO₂ Indicator for Monitoring the Ripeness Quality of Mango Fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong.” **Polymers.** 14, 3616.
- [19] สมภพ อยู่เอ. (2552) “การจัดการระบบสายโซ่ความเย็นในผลิตผลสด Cool Chain Management for Fresh Produce.” **วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม.** 5(1): 1-6
- [20] Hewett, E.W. (2003). “An Overview of horticultural postharvest systems: present and future.” In **Proceeding of The APEC Symposium on Postharvest Handling Systems.**, pp. 9-21, September 1-3, 2003, Bangkok, Thailand,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] Pelletier, W., Nunes, M.C.N. and Emond, J.-P. (2005). “Air transportation of fruits and vegetables: An update.” **Stewart Postharvest Rev.** 1:1–9.
- [22] Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M. and Uysa, I. (2017). “Time–Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments.” **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.** 16: 647–667
- [23] Pelletier, W. (2010). “Air Transport of Horticultural Products: A Thermal Analysis.” Ph.D. Thesis, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- [24] Villeneuve, S., Mercier, F., Pelletier, W., Ngadi, M.O. and Emond, J.P. (2000). “Effect of environmental conditions on air shipment of perishables during ground operations.” In **Proceedings of the ASAE Annual International Meeting, Technical Papers: Engineering Solutions for A New Century**, pp. 599–609, July 9–12, 2000, Milwaukee, WI, USA.
- [25] Villeneuve, S., Ngadi, M.O. and Emond, J.-P. (2001). “Heat transfer in air cargo unit load devices.” **Acta Hortic.** 566: 245–250.
- [26] IATA. (2009). **Perishable Cargo Regulations**. 9th ed., CITES—International Air Transportation Association: Montreal, QC, Canada; Geneva, Switzerland.
- [27] Nunes, M.C.N. and Emond, J.-P. (1999). Quality of strawberries after storage in constant or fluctuating temperatures. In **Proceedings of the 20th International Congress on Refrigeration**, Paper No.205, September 19–24, 1999. Sydney, Australia.
- [28] O. Laguerre, S. Duret, N. Chaomuang, A. Denis, E. Derens-Bertheau, P. Mawilai, F.T. Ndoye, T. Pongsuttiyakorn, S. Rakmae, K. Srisawat, P. Sirisomboon, P. Pornchaloempong. (2023). “Influence of long-distance air transport conditions on horticultural product quality: Case study of fresh mango shipment from Thailand to France.” **International Journal of Refrigeration**
- [29] Barker, L., Campbell, J., Ledger, S. and Campbell, T. (2007). **Handling of Australian mangoes at export destinations**. The State of Queensland, Department of Primary Industries and Fisheries.
- [30] นภกานต์ แดงสุวรรณ. (2547). “กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและโพลีฟีนอลออกซิเดสระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์โชคอนันต์แช่เยือกแข็ง”. การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [31] พงศ์ธร สังข์ทอง. (2564). **ประวัติมะม่วง**. เข้าถึงเมื่อ 18 กรกฎาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://armadrenalineup.wordpress.com>
- [32] สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. (2561). **สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2561**. กรุงเทพฯ : 21 เซ็นรีจำกัด.
- [33] Pattanavongngam, S. (2018). “Managing to Reduce the Risk of Mango Harvest and to Make the Value of Integrated Agro-Tourism: A Case Study of Mango Orchard Entrepreneurs in Chachoengsao, Thailand.” In **Proceedings of the IAFOR International Conference on Sustainability, Energy & the Environment-Hawaii 2018**, January 4-6, 2018, Honolulu, HI, USA.
- [34] Sornsena, P., Mikhama, K. and Borisudthi, Y. (2021). “Mango and COVID-19: The impact on and coping of Namdokmai Sithong mango export farmers in Khon Kaen, Thailand during the pandemic of COVID-19.” **For. Soc.** 5: 421–437.
- [35] เฉลิมชัย แก้ววราชติ. (2539). **การปลูกมะม่วง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : เกษตรสยาม จำกัด.
- [36] วิจิตร วังไ. (2546). **ชนิดและพันธุ์ไม้ผลเมืองไทย**.
- [37] ระจิตร์ สุวพานิช และปาริชาติ เทียนจุมพล. (2551). “การประเมินการเกิดอาการสะท้อนของ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.” รายงานการวิจัยสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [38] นิธิยา รัตนพานนท์ และดนัย บุญเกียรติ. (2548). **การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- [39] เสาวภา ไชยวงศ์. (2547). “ความแตกต่างทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ และดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษา.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [40] วิจิตร วังไ. (2529). **มะม่วง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [41] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. มกษ.9059-2564 **แนวทางปฏิบัติสำหรับการบรรจุหีบห่อและการขนส่งผักและผลไม้สด**. **ราชกิจจานุเบกษา** ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 138 ตอนพิเศษ 166ง.
- [42] จริงแท้ ศิริพานิช. (2541). **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [43] Brecht, R.E., Chau, K.V., Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Silva, F.M., Nunes, M.C.N. and Bender, R.J. (2003). "Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain." **Postharvest Biol. Tech.** 27: 87-101
- [44] Thai Airways International Public Company Limited. **NETWORKS & FACILITIES.** Accessed on 02 February 2023. Available from : <https://www.thaicargo.com/en/network-facilities/4/our-fleet>
- [45] Villeneuve, S., Pelletier, W. and Dea, S. (1999). "E'valuation des Installations Cargo de Diffe'rentes Compagnies Ae'riennes Ayant un Transit a 'l'ae'roport International de Miami." **Personal communication.**
- [46] Kader, A.A. (2002). **Postharvest Technology of Horticultural Crops.** Third Edition. The Regents of University of California Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3311.
- [47] บริษัท P.K. Siam. **ขั้นตอนการผลิตและส่งออกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง.** เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2566. เข้าถึงได้จาก : http://www.pk-siam.com/website/mart/fruits/mango/mango_exp.html
- [48] ธนรัตน์ แต่วัฒนา, มนต์ชัย สีสลาถาวรสุข, กนกพร เพียรประเสริฐ. (2561). "โซ่อุปทานมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออกไปยังสาธารณรัฐเกาหลี." **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** ฉบับที่ 1: หน้า 36-47
- [49] กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. **การส่งออกมะม่วงผลสดไปสหภาพยุโรป.** เข้าถึงเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2566. เข้าถึงได้จาก : <https://www.youtube.com/watch?v=ak8aChdNQVU>
- [50] พิระศักดิ์ ฉายประสาท, รณฤทธิ์ ฤทธิธิน, มาชะสิริ เขาวกุล, พุทธพงษ์ สร้อยเพชรเกษม และปณณวิชญ์ ไวกุหลาบ. (2559). "โครงการ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออกตลาดญี่ปุ่นโดยการขนส่งทางเรือ." รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [51] เบญจมาศ รัตน์ชินกร. (2549). **การคัดคุณภาพผลไม้เมืองร้อนเพื่อการส่งออก.** กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร.
- [52] ประพัฒน์ บุญประพันธ์. (2533). **มะม่วงเพื่อการส่งออก.** กรุงเทพฯ. ชมรมไม้ผลแห่งประเทศไทย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [53] Kosiyachinda, S., Lee, S.K. and Poernomo. (1984). "Maturity indices for harvesting of mango." pp.33-38. *In D.B. Mendoza JR and R.B.H. Wills (eds.). Mango Fruits Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN. ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur*
- [54] อูรามรณ์ สอาดสุด, วิชชา สะอาดสุด และ โสภณ สิงห์แก้ว. (2546). "รายงานการวิจัยเรื่องการประเมินความเสียหายในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว." สถาบันวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [55] สายชล เกตุษา. (2528). **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. โรงพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.
- [56] Mahayothee, B., Leitenberger, M., Neidhart, S., Mühlbauer, W. and Carle, R. (2004). "Non-destructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy." *Acta Horticulturae*. 645: 581-588
- [57] Jha, S.N., Kingsly, A.R.P. and Chopra, S. (2006). "Non-destructive Determination of Firmness and Yellowness of Mango during Growth and Storage using Visual Spectroscopy." *Biosystems Engineering*. Volume 94, Issue 3: Pages 397-402
- [58] พีระศักดิ์ ฉายประสาท. **การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. เข้าถึงเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2566. เข้าถึงได้จาก : https://www.agi.nu.ac.th/postharvest/downloads/upload_file/281118140408_Mango.pdf
- [59] ทวีศักดิ์ แสงอุดม และ วราภรณ์ มากกำไร. (2561). **เอกสารวิชาการ การผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก**. สถาบันพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.
- [60] มนุ ไปสมบุญ. (ม.ป.ป.). **คู่มือ การผลิตมะม่วงคุณภาพดี**. กลุ่มไม้ผล กองส่งเสริมพืชสวน.
- [61] แอดมิน Kaset Go. **การเก็บเกี่ยวมะม่วงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง**. เข้าถึงเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2566. เข้าถึงได้จาก : <https://kasetgo.com/t/topic/210541>
- [62] วีระชัย ประทักษ์วิริยะ. (2565). **กรรมการผู้จัดการ บริษัท วี.เอส.เฟรชโก้ จำกัด. สัมภาษณ์**, 11 มกราคม 2565.
- [63] วีรินทร์ อ้นทะแขก. (2535). "การใช้อุณหภูมิสลับต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้." *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
- [64] Fallik, E. (2004). "Review Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing)." *Postharvest Biol. Tech.* 32: 125-134.
- [65] นลินี โหมาศวิน. (2545). **การส่งออกมะม่วงของไทย**. สำนักการส่งออก กรมส่งเสริมการส่งออก

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [66] European Commission Directorate-General for Health and Food Safety. **Final Report of an Audit Carried Out in Thailand from 02 March 2020 to 13 March 2020 in Order to Evaluate the System of Official Controls for the Export of Plants and Plant Products to the European Union.** Accessed September 5, 2022. Available from: https://ec.europa.eu/food/audits-analysis/act_getPDF.cfm?PDF_ID=15021
- [67] Jacobi, K.K. and Giles, J.E. (1997). "Quality of 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.) fruit following combined vapour heat disinfestations and hot water disease control treatment." **Postharvest Biol. Tech.** 12: 285-292.
- [68] สมศิริ แสงโชติ, รศ.ดร. (2555). การควบคุมโรคแอนแทรกโนสของผลมะม่วง. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2566. เข้าถึงได้จาก <https://www.phtnet.org/2012/02/113/>
- [69] McDonald, R.E., McCollum, T.G. and Baldwin, E.A. (1999). "Temperature of water heat treatments influences tomato fruit quality following low-temperature storage." **Postharvest Biol. Tech.** 16, 2: 147-155
- [70] Smith, K.J. and Lay-Yee, M. (2000). "Response of 'Royal Gala' apples to hot water treatment for insect control." **Postharvest Biol. Tech.** 19: 111-122.
- [71] Jacobi, K.K., MacRae, E.A. and Hetherington, S.E. (2001). "Review: Postharvest heat disinfestation treatments of mango fruit." **Sci. Hort.** 89: 171-193.
- [72] Shellie, K.C. and Mangan, R. (2002). "Hot water immersion as a quarantine treatment for large mangoes: artificially versus cage infestation." **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 127: 430-434.
- [73] Abu-Kpawoh, J.C., Xi, Y.F., Zhang, Y.Z. and Jin, Y.F. (2002). "Polyamine accumulation following hot-water dips influences chilling injury and decay in 'Friar' plum fruit." **J. Food Sci.** 67: 2649-2653.
- [74] Hofman, P.J., Stubbings, B.A., Adkins, M.F., Meiburg, G.F. and Woolf, A.B. (2002). "Hot water treatment improve 'Hass' avocado fruit quality after cold disinfestation." **Postharvest Biol. Tech.** 24: 183-192.
- [75] เบญจมาศ รัตนชินกร, ศิริกานต์ ศรีธัญรัตน์, คมจันทร์ สรวงจันทร์ และปรารงค์ทอง กวานห้อง. (2548). "ผลของอุณหภูมิน้ำร้อนต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง." **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 36 ฉบับที่ 5-6(พิเศษ):** 76-79.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [76] สมภพ อยู่เอ. (2546). “ผลของการใช้อุณหภูมิลดและน้ำร้อนต่อการลดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [77] **โครงการจัดการห่วงโซ่อุปทานมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองครบวงจร สู้วิกฤตเศรษฐกิจจากโควิด-19.** คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2566. เข้าถึงได้จาก <https://thaimango.info/>
- [78] ทิพย์สุดา พรหมน้ำทรัพย์. (2565). Quality & Operation Manager ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี.เค.เค. ฟู้ด. สัมภาษณ์ 23 มิถุนายน 2565.
- [79] สุขสานต์ อริยรังสฤษฎ์. (2549). กลยุทธ์การส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง. **เมืองไม้ผล** ปีที่ 6 เดือนมิถุนายน ฉบับที่ 64: 87-106.
- [80] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2558). **มกษ.5-2558 มาตรฐานสินค้าเกษตร: มะม่วง.** เข้าถึงเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2566. เข้าถึงได้จาก : <https://www.acfs.go.th/standard/download/MANGO.pdf>
- [81] วรภัทร ลัคณาทินวงศ์. (2549). **บทปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.** พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัทเพชรเกษมพรีนติ้ง กรุ๊ป จำกัด.
- [82] Lin, M., Fawole, O.A., Saeys, W., Wu, D., Wang, J., Opara, U.L., Nicolai, B. and Chen, K. (2022). “Mechanical damages and packaging methods along the fresh fruit supply chain: a review.” *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* pp. 1-20
- [83] สมศักดิ์ วรณศิริ. (2561). **แผ่นพับที่ 9 การจัดการศัตรูมะม่วงด้วยวิธีอบไอน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [84] Niyomlao, W. and Kanlayanarat, S. (2004). Effects of hydrocooling on fruit quality and storage life of ‘namdokmai’ mango (*Mangifera indica* L.), pp. 361-368. In **Proceeding of The APEC Symposium on Postharvest Handling Systems.**
- [85] จริงแท้ ศิริพานิช, ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์ และ เจริญ ชุนพรม. (2532). เทคนิคการลดอุณหภูมิของผลมะม่วงหลังเก็บเกี่ยว, หน้า 38. ใน **การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 เทคนิคของวิธีการทางวิทยาศาสตร์.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 15-16 พฤศจิกายน 2532. นครปฐม.
- [86] สมชาย กล้าหาญ และศุภฤกษ์ พันภัย. (2553). “ผลของระยะเวลาการลดอุณหภูมิ ระดับอุณหภูมิ และภาชนะบรรจุต่อคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง.” รายงานการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [87] Ertan, U., Ozelkok, S., Celikel, F. and Kepenek, K. (1990). "The effect of precooling and increased atmospheric concentrations of CO₂ on fruit quality and postharvest life of strawberries." *Bahce*.19: 59-76
- [88] ศรณารายณ์ ภูพาที. (2565). ร้าน ภ.สมบูรณ์ทรัพย์ ตลาดสี่มุมเมือง. สัมภาษณ์, 11 มกราคม 2565.
- [89] Nune, M.C.N. and Brecht, J.K. (2003). "Quality of strawberries as affected by temperature abuse during ground, in-flight and retail handling operations." *Acta Hort*. 604: 239-246.
- [90] กุลบัณฑิต แสงดี. (2551). "ผลของระดับอุณหภูมิ ระยะเวลาการลดอุณหภูมิ และภาวะบรรจุต่อคุณภาพของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [91] Policegoudra, R.S. and Aradhya, S.M. (2007). "Biochemical change and antioxidant activity of mango ginger (*Curcuma amada* Roxb.) rhizomes during postharvest storage at different temperatures." *Postharvest Biol. Technol*. 46: 189-194.
- [92] เจื้อจันท์ ตั้งเต็มทอง. (2541). การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ. เข้าถึงเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2566. เข้าถึงได้จาก : https://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=ca004
- [93] วรณวรารักษ์ พัฒนะโพธิ์, ศศิธร การะบุญ, วรินทร์ มณีวรรณ และนิธิยา รัตนานนท์. (2554). "การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลและกรดแอสคอร์บิกในน้ำมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ." *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. ปีที่ 42 ฉบับที่ 3(พิเศษ): 105-108
- [94] Raza, S.A., Khan, A.S., Malik, A.U., Amin, M., Asad, H.U. and Razzaq, K. (2013). "Respiration rate, physico-chemical fruit quality and consumer acceptability for Fajri mango under different storage temperatures." *Pak. J. Agri. Sci.*, Vol. 50(4): 585-590.
- [95] Bachmann, J. and Earles, R. (2000). **Postharvest handling of fruits and vegetables**. Horticulture technical note. Appropriate Technology Transfer for Rural Area.
- [96] Thompson, A.K. (2003). **Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and Storage**. Blackwell Publishing Ltd.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [97] ศศธร ศรีวิเชียร. (2549). "กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและผลของเมทิลจัสโมเนตต่อการเกิดอาการส้ท้านหนาวในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง." วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [98] พีรพงษ์ แสงวานงศ์กุล. (2565). การเตรียมผลิตผลก่อนการตัดแต่ง(การตัดความแก่ การบ่ม). ใน เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการยืดอายุผลไม้ตัดแต่งเพื่อการส่งออก. ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วันที่ 4 เมษายน 2565, กรุงเทพฯ.
- [99] สุกันยา ชิตตระกูล.(2539).“ผลของการใช้อุณหภูมิที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [100] จารุวัฒน์ โรจนภัทรกุล. (2544). “ผลของ 1-methylcyclopropene ต่อการชะลอการสุกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [101] Ravindra, M.R. and Goswami, T.K. (2008). “Modelling the respiration rate of green mature mango under aerobic conditions.” **Biosystems Eng.** 99: 239-248.
- [102] Bhande, S.D., Ravindra, M.R. and Goswami, T.K. (2008). “Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures.” **J.Food Eng.** 87: 116-123
- [103] Mitra, S.K. and Baldwin, E.A. (1997). Mango, pp.35-122. In Mitra, S.K. ed. **Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruit.** Biddles Ltd, West Bengal.
- [104] Lutz, J.M. and Hardenburg, R.E. (1968). **The Commercial Storage of Fruits, Vegetables and Florist and Nursery Stock.** USDA Agric. Handbook No.66.
- [105] ไพลิน เกตตระการวิวัฒน์. (2560). “โครงการ การพัฒนาฟิล์มถนอมอาหารด้วยอนุภาคโลหะออกไซด์ขนาดนาโน.” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการแห่งชาติ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [106] ศศิธร อินอ่อน และ นิธิยา รัตนานนท์. (2546). “การตอบสนองของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ.” ใน รายงานการสัมมนาวิทยาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 2. โรงแรมเจริญธานีปรีนเซส, ขอนแก่น.
- [107] Tongdee, S.C., Kanlayarat, S. and Poonsawad, S. (1980). “Varietal Susceptibilities of Mango to *Botryodiplodia theobromae* Pat. And Chemical Changes During Pathogenesis.” **Res Proj. No.** 24-01/Rep. No.1, TISTR, Bangkok.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [108] ธเนศวร์ สรีระแก้ว และคณัย บุญยเกียรติ. (2541). “ผลของความร้อนต่ออาการสะท้อนขาวของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์.” *วารสารเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. 14(2): หน้า111-122
- [109] Fuchs, Y., Zaubennan, G., Rot, I. and Weksler, A. (1989). “Chilling injury and electrolyte leakage in cold storage mango and avocado fruits.” *Acta Hort.* 253: pp. 303-308
- [110] Jha, S.K., Sethi, S., Srivastav, M., Dubey, A.K., Sharma, R.R., Samuel, D.V.K. and Singh, A.K. (2010). "Firmness Characteristics of Mango Hybrids under Ambient Storage". *Journal of Food Engineering*, Vol. 97, No. 2, pp. 208-212.
- [111] Jha, S.N., Jaiswal, P., Narsaiah, K., Kaur, P.P., Singh, A.K. and Kumar, R. (2011). "Textural Properties of Mango Cultivars During Ripening." *Journal of Food Science and Technology*. Vol. 50, No. 6, pp. 1047-1057.
- [112] Tucker, G.A. and Seymour, G.B. (1991). “Cell wall degradation during the ripening of mango fruit.” *Acta Hort.* 291: 454-460.
- [113] Abbott, A. and Harker, F.R. (2003). Texture. pp. 1–19. Mt. Albert Research Centre, Auckland, New Zealand. Accessed February 12, 2023. Available from: <http://usna.usda.gov/hb66/021texture.pdf>
- [114] Kala, S.K., Tandon, D.K. and Singh, B.P. (1995). Mango. pp. 123-170. In Salunkhe, D.K. and Kadam, S.S.(eds.) *Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing*. M. Dekker, Inc., New York, USA.
- [115] อีราพร ไชยวรรณ. (2536). “การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ-เคมีระหว่างการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ หนึ่งกลาวินและแรด.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [116] Lederman, I.E., Zauberman, G., Weksler, A., Rot, I. and Fuchs, Y. (1997). “Ethyleneorming capacity during cold storage and chilling injury development in ‘Keitt’ mango fruit.” *Postharvest Biol. Tech.* 19: 61-72.
- [117] Penchaiya, P. (2018). “Assessing of postharvest quality of mango fruit with change of texture characteristics.” PhD thesis, School of bio resources and technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [118] Penchaiya, P., Tijskens, L.M.M., Uthairatanakija, A., Srilaonga, V., Tansakul, A. and Kanlayanarat, S. (2020). “Modelling quality and maturity of ‘Namdokmai Sithong’ mango and their variation during storage.” **Postharvest Biol. Tech.**159: 111000
- [119] จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวการวายของพืช**. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมการเกษตรแห่งชาติ
- [120] Sharma, S. (2018). “Online and Offline Measurement of Total Soluble Solids in Mango (*Mangifera Indica* L. cv Namdokmai Sithong).” M.Eng thesis, Agricultural Engineering, School of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang.
- [121] Beckle, D.M. (2012). “Factor affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits.” **Postharvest Biol. Tech.** 63(1): 129-140.
- [122] Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, H. and Fuchs, Y. (2000). “Determination of Mango physiological indices by near-infrared spectrometry.” **Postharvest Biol. Tech.** 19: 245-252.
- [123] Delwiche, S.R., Mekwatakarn, W. And Wang, C.Y. (2008). “Soluble solid and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy.” **Horticulture Technology.** 18(3): 410-416.
- [124] Liu, F.-X., Fu, S.-F., Bi, X.-F., Chen, F., Liao, X.-J., Hu, X.-S. and Wu, J.-H. (2013). “Physicochemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China.” **Food Chemistry.** 138(1): 396-405
- [125] Tefera, A., Seyoum, T. and Woldetsadik, K. (2007). “Effect of disinfection, packaging, and storage environment on the shelf life of mango.” **Biosystems Engineering,** 96(2), 201-212
- [126] Baloch, M. K., & Bibi, F. (2012). “Effect of harvesting and storage conditions on the post harvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit.” **South African Journal of Botany.** 83: 109-116.
- [127] Kays, S. J. (1999). “Preharvest factors affecting appearance.” **Postharvest Biol. Tech.** 15(3), 233-247.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [128] Sothornvit, R. and Rodsamran, P. (2008). "Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes." **Postharvest Biol. Tech.** 47(3).
- [129] กฤษฎา วิรุณหะ, คณาธิป โชศรี และวิจิวัต วันไชยรงค์. (2547). "การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเนื้อสัมผัสกับความอ่อนแก่ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้." **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.**
- [130] Hulme, A.C. (1971). The Mango. pp. 233-253. In A.C. Hulme (ed). **The Biochemistry of Fruits and Their Products. Vol. II.** Academic Press. London.
- [131] Lizada, C. (1993). Mango. pp.255-271. In G.B. Seymour, J.E. Taylor and G.A. Tucker, eds. **Biochemistry of Fruit Ripening.** Chapman and Hall, London.
- [132] Wills, R.H.H., McGlasson, B., Graham, D., and Joyce, D. (1998). **Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetable (p. 262).** New South Wales University Press, New South Wales.
- [133] Srinivasa, P. C., Baskaran, R., Ramesh, M. N., Harish Prashanth, K. V. and Tharanathan, R. N. (2002). "Storage studies of mango packed using biodegradable chitosan film." **European Food Research and Technology**, 215(6): 504-508.
- [134] Gupta, N., and Jain, S.K. (2014). "Storage behavior of mango as affected by postharvest application of plant extracts and storage conditions." **Journal of Food Science and Technology**, 51(10): 2499-2507.
- [135] Famiani, F., Battistelli, A., Moscatello, S., Cruz-Castillo, J. G. and Walker, R. P. (2015). "The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: Occurrence, metabolism and factors affecting their contents – A review." **Revista Chapingo Serie Horticultura.** 21: 97-128.
- [136] Hernández, Y., Lobo, M. G. and González, M. (2006). "Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods." **Food Chemistry**, 96(4): 654-664.
- [137] Gomez, M. L. P. A. and Lajolo, F. M. (2008). "Ascorbic acid metabolism in fruits: activity of enzymes involved in synthesis and degradation during ripening in mango and guava." **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 88(5): 756-762

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [138] Ibarra-Garza, I. P., Ramos-Parra, P. A., Hernández-Brenes, C. and Jacobo-Velázquez, D. A. (2015). “Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt).” **Postharvest Biology and Technology**, 103: 45-54.
- [139] O’Hare, T. (1995). “Effect of ripening temperature on quality and compositional changes of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kensington.” **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 35(2): 259-263.
- [140] Estrada, C.G. (2004). “Effect of fruit bagging on sanitation and pigmentation of six mango cultivars.” **Acta Hort.** 645: 195-200.
- [141] Cruze, M. and Garcia, H.S. (2002). Chapter XX Mango: Post -harvest operations. In **Information Network on Postharvest Operation**. AGSI/FAO.
- [142] Tangpao, T., Phuangsaujai, N., Kittiwachana, S., George, D.R., Krutmuang, P., Chutong, B. and Sommano, S.R. (2022). “Evaluation of Markers Associated with Physiological and Biochemical Traits During Storage of ‘Nam Dok Mai Si Thong’ Mango Fruits.” **Agriculture**. 12: 1407.
- [143] ปริญา จันทศรี. (2565). การควบคุมโรคแอนแทรกโนสในสวนมะม่วง. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. เข้าถึงเมื่อ 27 พฤษภาคม 2565. เข้าถึงได้จาก https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=11
- [144] นิพนธ์ วิสารทานนท์. (2542). โรคผลไม้เขตร้อนและการป้องกันกำจัด. บริษัท เจ फिल्म โพรเซส, กรุงเทพฯ.
- [145] อูราภรณ์ สะอาดสุด, วิชชา สะอาดสุด และโสภณ สิงห์แก้ว. (2546). “รายงานการวิจัยเรื่องการประเมินความเสียหายในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว.” สถาบันวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [146] อุดม พ้ารุ่งแสง และนวลพรรณ พ้ารุ่งแสง. (2544). ความอ่อนแอของผลมะม่วงรับประทานสุกพันธุ์ต่อการพัฒนาของโรคแอนแทรกโนส, น.326-333. ใน **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 (สาขาพืช สาขาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**, กรุงเทพฯ.
- [147] Nunes, M.C.N., Emond, J.P. and Brecht, J.K. (2001). “Temperature abuse during ground and in-flight handling operations affects quality of snap beans.” **HortScience** 36(3): 510.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [148] Shah, S. and Hashmi, M.S. (2020). “Chitosan–aloe vera gel coating delays postharvest decay of mango fruit.” **Hortic. Environ. Biotechnol.** 61: 279–289.
- [149] Penchaiya, P., Tijssens, L.M.M., Uthairatanakij, A., Srilaong, V., Tansakul, A. and Kanlayanarat, S. (2015). “Measurement of mango firmness by non-destructive limited compression technique.” **Acta Hortic.** 1088: 73–78.
- [150] Sirisomboon, P. and Pornchaloempong, P. (2011). “Instrumental Textural Properties of Mango (cv Nam Doc Mai) at Commercial Harvesting Time.” **Int. J. Food Properties.** 14: 441–449.
- [151] Mitcham, B., Cantwell, M. and Kader, A. (1996). “Methods for Determining Quality of Fresh Commodities” **Perishables Handling Newsletter.** Issue No. 85.
- [152] Xu, S., Lu, H., Wang, X., Ference, C.M., Liang, X. and Qiu, G. (2021). “Nondestructive Detection of Internal Flavor in ‘Shatian’ Pomelo Fruit Based on Visible/Near Infrared Spectroscopy.” **Hortscience.** 56: 1325–1330.
- [153] AOAC, Horwitz, W., Latimer, G.W. and Clark, D.H. (2006). Chapter 37. Fruits and Fruit Products. pp. 37–39. In **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, MD, USA.
- [154] Medina-Rendon, E.A., Guatemala-Morales, G.M., Padilla-Camberos, E., Corona-González, R.I., Arriola-Guevara, E. and García-Fajardo, J.A. (2021). “Production of Extrudate Food with Mango By-Products (*Mangifera indica*): Analysis of Physical, Chemical, and Sensorial Properties.” **Processes.** 9: 1660.
- [155] Francis, F.J. and Clydesdale, F.M. (1975). **Food Colorimetry: Theory and Applications.** The Avi Publishing Company, Inc.: Westport, CT, USA.
- [156] Jacobi, K.K., Macrae, E.A. and Hetherington, S.E. (1998). “Early detection of abnormal skin ripening characteristics of ‘Kensington’ mango (*Mangifera indica* Linn).” **Sci. Hortic.** 72: 215–225.
- [157] Quintana, M.E.G. and Paull, R.E. (1993). “Mechanical injury during postharvest handling of ‘solo’ papaya.” **J. Am. Soc. Hortic. Sci.** 118: 618–662.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [158] Nunes, M.C.N., Emond, J.P., Brecht, J.K., Dea, S. and Proulx, E. (2007). "Quality curves for Mango Fruit (cv. Tommy Atkins and Palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures." **J. Food Qual.** 30: 104–120.
- [159] Bollen, A.F., Brash, D.W. and Bycroft, B.L. (1998). "Air-freight coolchain Improvements Using Insulation and Supplemental Cooling." **Applied Engineering in Agriculture**, 14(1): 49-53.
- [160] Abad, E., Palacio, F., Nuin, M., González de Zárate, A., Juarros, A., Gómez, J.M. and Marco, S. (2009). "RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain." **Journal of Food Engineering** 93(4):394-399.
- [161] Pelletier, W., Chau, K. V., Bucklin, R. A., Brecht, J. K., Hahn, D. W. and Émond, J.-P. (2018). ANALYSIS OF AIR CARGO TEMPERATURE VARIATIONS DURING TRANSPORT OPERATIONS. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. Vol.61(2): 723-732
- [162] Cosme Silva, G.M., Silva, W.B., Medeiros, D.B., Salvador, A.R., Cordeiro, M.H.M., da Silva, N.M., Santana, D.B. and Mizobutsi, G.P. (2017). "The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. Cv. Palmer) fruit during storage." **Food Chem.** 237: 372–378.
- [163] Zhu, X., Wang, Q., Cao, J. and Jiang, W. (2008). "Effects of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruit." **J. Food Process. Preserv.** 32: 770–784.
- [164] Villeneuve, S., Pelletier, W. and Dea, S. (1999). "E'valuation des Installations Cargo de Diffe'rentes Compagnies Ae'riennes Ayant un Transit a 'l'ae'roport International de Miami." **Personal communication**
- [165] Jha, S.N. and Matsuoka, T. (2005). "Determination of post-harvest storage life of tomato fruits." **J. Food Sci. Technol.** 42: 526–529.
- [166] Ketsa, S., Chidtragool, S., Klein, J.D. and Lurie, S. (1998). "Effect of heat treatment on changes in softening, pectic substances and activities of polygalacturonase, pectinesterase and β -galactosidase of ripening mango." **J. Plant Physiol.** 153: 457–461.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [167] Nadeem, A., Ahmed, Z.F.R., Hussain, S.B., Omar, A.E.-D.K., Amin, M., Javed, S., Ali, A., Ullah, S., Razzaq, K., Rajwana, I.A., et al. (2022). “On-Tree Fruit Bagging and Cold Storage Maintain the Postharvest Quality of Mango Fruit.” **Horticulturae**. 8: 814.
- [168] Ali, Z.M., Chin, L. and Lazan, H. (2004). “A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruit.” **Plant Sci**. 167: 317–327.
- [169] lagher, F., Reicher, F. and Ganter, J.L.M.S. (2002). “Structural and rheological properties of polysaccharides from mango (*Mangifera indica* L.) pulp.” **Int. J. Biol. Macromol**. 31: 9–17.
- [170] Yashoda, H.M., Prabha, T.N. and Tharanathan, R.N. (2007). “Mango ripening—Role of carbohydrases in tissue softening.” **Food Chem**. 102: 691–698.
- [171] Bambalele, N.L., Mditshwa, A., Magwaza, L.S. and Tesfay, S.Z. (2021). “Recent Advances on Postharvest Technologies of Mango Fruit: A Review.” **Int. J. Fruit Sci**. 21: 565–586.
- [172] Anthon, G.E., LeStrange, M. and Barrett, D.M. (2011). “Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes.” **J. Sci. Food Agric**. 91: 1175–1181.
- [173] Hernández, Y., Lobo, M. G. and González, M. (2006). “Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods.” **Food Chemistry**. 96(4): 654-664.
- [174] Islam, M.K., Khan, M.Z.H., Sarkar, M.A.R., Yeasmin, S., Ali, Md.K. and Uddin, M.H. (2013). “Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit affected by different levels of gibberellic acid during storage.” **Malaysian Journal of Analytical Sciences**. Vol 17 No 3: 499 – 509
- [175] Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-Osuna, M.A., Guitierrez-Martinez, P., RoblesSanchez, M. and Gonzalez-Aguilar, G.A. (2012). “Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity.” **Sci. Hortic**. 135: 7-13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [176] Romainum, I.M., Worarad, K., Srilong, V., and Yamane, K. (2018). “Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars.” *Agric. Nat. Resour.* 52: 208–214.
- [177] Medlicott, A.P., Bhogal, M. and Reynolds, S.B. (1986). “Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Magnifera indica* var. Tommy Atkins).” *Ann. Appl. Biol.* 109: 551–656.
- [178] The National Mango Board. “Mango handling and ripening protocol.” page 5. Accessed September 05, 2022. Available from: https://www.mango.org/wp-content/uploads/2017/10/Mango_Handling_and_Ripening_Protocol_Eng.pdf
- [179] Saks, Y., Hofman, P.J. and Meiburg, G.F. (1999). “Potential for improvement of mango skin color during storage.” *Acta Hortic.* 485: 325–329.
- [180] Esguerra, E.B., Rolle, R., Rapusas, R., Saha, M.G. and Rahman, M.A. (2018). **Post-harvest management of mango for quality and safety assurance - Guidance for horticultural supply chain stakeholders.** Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy
- [181] Nunes, C.N. and Emond, J.P. (2007). "Relationship between Weight Loss and Visual Quality of Fruits and Vegetables". *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 120:235–245.
- [182] ทัศนัย ทองท้อพร. (2539). “การศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การต้านทานความร้อนและการลดค่าใช้จ่ายจากการใช้วัสดุฉนวนกันความร้อน”. กองฟิสิกส์และวิศวกรรมกรรมวิทยาศาสตร์บริการ
- [183] Margeirsson, B., Arason, S. and Pálsson, H. (2009). “**Thermal Performance of Corrugated Plastic Boxes and Expanded Polystyrene Boxes**”. Matis Food Research, Innovation & Safety-Report Summary Project No.1852
- [184] นิธิยา รัตนพานนท์ และคณัย บุญยเกียรติ. (2565). “การวิเคราะห์เพื่อประเมินคุณภาพของผักและผลไม้”. กรุงเทพฯ : บริษัท โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์ จำกัด.
- [185] U.S.FDA, the Center for Food Safety and Applied Nutrition. (2023). The documents used to be here pH of foods (FDA-CFSAN). Accessed July 12, 2023. Available from: <https://www.fda.gov/about-fda/fda-organization/center-food-safety-and-applied-nutrition-cfsan>
- [186] Al-Dairi, M., Pathare, P.B. and Al-Yahyai, R. (2021). “Effect of Postharvest Transport and Storage on Color and Firmness Quality of Tomato.” *Horticulturae* 7: 163.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ภาพการสำรวจสวนมะม่วง โรงคัดบรรจุ และท่าอากาศยาน

ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง

ภาคผนวก ค งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ภาพการสำรวจสวนมะม่วง โรงคั้ดบรรจุ และท่าอากาศยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 สํารวจสวนมะม่วงที่จังหวัดฉะเชิงเทรา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ใช่นโยบายหรือการดำเนินการใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และต้องอ้างอิงกับข้อมูลเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

ก.2 สำรวจโรงคัดบรรจุที่จังหวัดนครปฐม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 สํารวจบริเวณการขนถ่ายสินค้าที่ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 น้ำหนักมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (กรัม) ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 จาก Treatment
อุณหภูมิคงที่ 20 °C ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง

ลูกที่	ชั่วโมงที่							
	0	2	26	74	122	170	218	266
1	345.88	345.58	343.21	335.12	327.38	317.62	310.98	303.82
2	309.56	309.23	306.57	301.80	296.67	290.12	285.5	280.71
3	380.31	379.96	377.19	371.31	364.93	356.23	350.11	343.85
4	330.27	329.87	326.68	320.50	314.47	308.30	300.88	294.47
5	361.59	361.25	358.57	352.79	346.41	339.10	329.84	321.97
6	350.84	350.49	347.71	323.16	316.74	308.68	302.63	295.99
7	422.10	421.86	419.97	414.33	407.85	399.94	394.31	387.79
8	389.84	389.60	387.70	381.37	375.18	367.11	361.04	354.72
9	430.16	429.78	426.76	417.93	409.48	399.60	392.44	383.99
10	406.07	405.80	403.6	397.21	390.14	381.06	374.67	367.58

ตารางที่ ข2 น้ำหนักมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (กรัม) ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 จาก Treatment ที่
จำลองสภาวะบริเวณลานขนถ่ายที่สนามบินโดยวางไว้ที่อุณหภูมิภายนอก($\approx 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และไม่มีการหุ้ม
ฉนวนโพลีไสตรีน ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง

ลูกที่	ชั่วโมงที่							
	0	2	26	74	122	170	218	266
1	357.34	356.68	351.43	346.09	338.67	331.15	324.94	317.49
2	380.81	380.24	375.71	370.75	364.60	355.87	351.07	344.95
3	327.14	326.61	322.34	317.82	313.06	306.61	301.74	296.41
4	343.80	343.29	339.20	333.95	327.75	320.27	314.70	308.18
5	405.32	404.77	400.38	393.70	387.32	379.81	374.19	367.22
6	330.17	329.58	324.83	319.87	314.92	308.41	303.54	288.06
7	383.96	383.40	378.91	373.93	368.63	363.12	358.57	353.23
8	435.05	434.45	429.67	423.80	417.63	410.10	404.49	398.83
9	383.81	383.43	380.38	376.26	370.68	363.57	359.04	353.97
10	476.66	475.93	470.10	463.58	455.18	443.81	436.81	427.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข3 น้ำหนักมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (กรัม) ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 จาก Treatment ที่จำลองสภาวะบริเวณลานขนถ่ายที่สนามบินโดยวางไว้ที่อุณหภูมิภายนอก($\approx 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และมีการหุ้มฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ถูกเก็บรักษาที่ 20°C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง

ลูกที่	ชั่วโมงที่							
	0	2	26	74	122	170	218	266
1	394.65	394.23	390.85	383.31	375.95	366.78	360.42	353.00
2	384.62	384.21	380.93	374.70	368.41	359.85	354.14	348.28
3	423.32	422.87	419.24	411.13	404.21	395.46	388.47	382.57
4	373.78	373.32	369.62	363.82	357.66	349.55	343.97	338.32
5	430.42	429.89	425.64	418.86	411.79	403.08	397.36	390.01
6	386.93	386.46	382.74	375.28	368.15	359.53	353.32	346.12
7	371.67	371.38	369.09	363.37	358.23	351.40	345.74	339.27
8	370.97	370.67	368.25	362.33	356.74	349.49	344.04	337.47
9	437.37	437.01	434.11	429.29	424.33	417.14	411.11	404.78
10	427.49	427.05	423.57	418.10	409.51	400.15	389.47	386.38

ตารางที่ ข4 น้ำหนักมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (กรัม) ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 จาก Treatment อุณหภูมิคงที่ 20°C ถูกเก็บรักษาที่ 20°C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง

ลูกที่	ชั่วโมงที่							
	0	2	26	74	122	170	218	266
1	418.78	418.03	414.95	409.00	402.90	396.95	390.14	383.98
2	413.61	413.06	409.33	402.34	395.52	389.34	381.96	375.38
3	452.54	451.83	447.27	438.95	431.91	425.01	416.87	410.38
4	425.76	425.01	420.85	413.34	406.47	399.80	392.01	385.27
5	410.21	409.38	405.38	398.65	392.03	385.43	378.08	371.79
6	386.74	385.79	381.56	374.90	368.06	361.15	353.87	347.09
7	467.55	466.85	462.67	454.39	446.07	437.77	428.72	420.53
8	488.46	487.85	483.55	475.72	468.44	461.20	453.30	446.19
9	367.95	367.12	363.05	356.26	349.90	343.72	337.00	331.43
10	403.37	402.58	398.44	390.87	383.81	376.79	369.19	362.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข5 น้ำหนักมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (กรัม) ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 จาก Treatment ที่จำลองสภาวะบริเวณลานขนถ่ายที่สนามบินโดยวางไว้ที่อุณหภูมิภายนอก($\approx 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และไม่มีการหุ้มฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ถูกเก็บรักษาที่ 20°C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง

ลูกที่	ชั่วโมงที่							
	0	2	26	74	122	170	218	266
1	419.84	419.42	414.35	406.73	399.91	393.11	385.93	379.20
2	345.84	345.43	342.32	335.39	329.53	323.37	316.74	311.05
3	350.05	349.60	345.99	338.34	331.81	325.93	319.49	313.18
4	457.76	457.30	452.86	443.78	435.20	428.63	421.37	414.32
5	422.36	421.83	417.38	408.21	400.59	383.71	386.97	380.51
6	459.60	459.13	453.41	444.52	435.99	428.07	419.69	411.72
7	414.67	414.38	409.69	401.62	394.22	387.34	381.01	373.87
8	368.39	368.09	363.98	356.16	349.48	343.13	338.10	331.78
9	399.94	399.58	395.26	386.94	379.51	373.13	367.55	361.61
10	381.56	381.12	377.23	368.53	360.86	353.66	347.35	340.31

ตารางที่ ข6 น้ำหนักมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (กรัม) ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 จาก Treatment ที่จำลองสภาวะบริเวณลานขนถ่ายที่สนามบินโดยวางไว้ที่อุณหภูมิภายนอก($\approx 40 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และมีการหุ้มฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ถูกเก็บรักษาที่ 20°C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง

ลูกที่	ชั่วโมงที่							
	0	2	26	74	122	170	218	266
1	412.06	411.40	405.92	397.05	389.60	382.08	375.71	369.46
2	433.79	433.22	428.34	419.85	411.71	403.55	396.84	390.30
3	397.86	397.33	392.63	384.27	376.90	368.64	361.99	355.82
4	482.65	482.14	476.79	468.28	460.87	452.02	444.98	438.74
5	463.30	462.75	457.72	449.28	441.78	432.55	424.31	417.02
6	487.65	487.06	480.83	471.58	465.03	456.37	448.96	441.65
7	478.63	478.07	472.13	464.17	456.56	447.89	441.14	434.09
8	488.39	487.79	481.58	472.85	465.49	456.58	449.22	442.35
9	578.09	577.71	571.63	562.55	554.69	544.34	535.58	528.25
10	409.84	409.11	405.34	398.41	391.65	383.33	376.05	369.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข7 ค่า Non-Destructive : Average firmness (N/mm) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

Non-Destructive: Average firmness (N/mm)						
Hour	H1- Constant	H1- Non Insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non Insulator	H2- Insulator
0	16.01 \pm 0.68	16.01 \pm 0.68	16.01 \pm 0.68	11.83 \pm 1.05	11.83 \pm 1.05	11.83 \pm 1.05
2	15.09 \pm 0.87	10.91 \pm 0.80	12.84 \pm 1.55	10.75 \pm 0.62	9.11 \pm 0.84	9.84 \pm 0.41
26	14.04 \pm 1.77	10.82 \pm 0.52	11.48 \pm 1.25	9.23 \pm 1.79	8.11 \pm 1.66	7.61 \pm 1.20
74	10.85 \pm 1.49	7.94 \pm 1.44	10.24 \pm 0.97	8.06 \pm 0.70	5.67 \pm 1.01	5.86 \pm 0.71
122	7.11 \pm 1.01	6.15 \pm 0.98	7.35 \pm 1.54	4.92 \pm 0.44	3.84 \pm 0.74	4.28 \pm 0.48
170	5.02 \pm 0.96	4.56 \pm 0.30	4.43 \pm 0.49	3.31 \pm 0.45	2.76 \pm 0.04	3.13 \pm 0.28
218	3.34 \pm 0.58	3.31 \pm 0.26	3.23 \pm 0.16	2.89 \pm 0.17	2.45 \pm 0.52	2.79 \pm 0.49
266	2.75 \pm 0.62	1.88 \pm 0.36	2.36 \pm 0.03	1.98 \pm 0.13	1.95 \pm 0.11	1.98 \pm 0.26

ตารางที่ ข8 ค่า Non-Destructive : Toughness (N.mm) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

Non-Destructive: Toughness (N.mm)						
Hour	H1- Constant	H1- Non Insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non Insulator	H2- Insulator
0	0.029 \pm 0.002	0.029 \pm 0.002	0.029 \pm 0.002	0.040 \pm 0.004	0.040 \pm 0.004	0.040 \pm 0.004
2	0.031 \pm 0.002	0.044 \pm 0.005	0.036 \pm 0.004	0.045 \pm 0.003	0.051 \pm 0.003	0.050 \pm 0.003
26	0.035 \pm 0.004	0.044 \pm 0.001	0.042 \pm 0.005	0.052 \pm 0.010	0.061 \pm 0.011	0.062 \pm 0.007
74	0.044 \pm 0.007	0.061 \pm 0.009	0.047 \pm 0.003	0.060 \pm 0.006	0.086 \pm 0.012	0.084 \pm 0.012
122	0.069 \pm 0.012	0.079 \pm 0.015	0.066 \pm 0.013	0.099 \pm 0.008	0.126 \pm 0.020	0.113 \pm 0.012
170	0.098 \pm 0.014	0.104 \pm 0.007	0.108 \pm 0.012	0.136 \pm 0.013	0.167 \pm 0.020	0.152 \pm 0.012
218	0.142 \pm 0.014	0.136 \pm 0.008	0.145 \pm 0.009	0.161 \pm 0.012	0.201 \pm 0.043	0.169 \pm 0.029
266	0.172 \pm 0.010	0.199 \pm 0.067	0.187 \pm 0.007	0.236 \pm 0.013	0.238 \pm 0.017	0.243 \pm 0.049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข9 ค่า Destructive : Average firmness (N/mm) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จาก การจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

Non-Destructive: Average firmness (N/mm)						
Hour	H1- Constant	H1- Non Insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non Insulator	H2- Insulator
0	16.71 \pm 3.74	16.71 \pm 3.74	16.71 \pm 3.74	15.12 \pm 1.07	15.12 \pm 1.07	15.12 \pm 1.07
2	14.57 \pm 3.41	13.62 \pm 2.08	14.31 \pm 1.77	12.24 \pm 3.32	12.62 \pm 0.35	12.17 \pm 1.10
26	22.11 \pm 0.67	18.25 \pm 2.14	19.69 \pm 2.83	11.98 \pm 1.30	8.54 \pm 1.40	8.03 \pm 0.28
74	13.74 \pm 3.80	11.31 \pm 1.52	11.73 \pm 3.61	6.20 \pm 1.64	4.10 \pm 0.11	4.19 \pm 1.17
122	6.79 \pm 0.77	3.30 \pm 1.05	4.11 \pm 0.63	2.76 \pm 0.46	1.52 \pm 0.21	1.93 \pm 0.53
170	3.40 \pm 1.24	1.48 \pm 0.52	2.58 \pm 0.25	1.73 \pm 0.22	1.63 \pm 0.26	1.97 \pm 0.26
218	1.27 \pm 0.29	0.79 \pm 0.42	1.47 \pm 0.40	1.71 \pm 0.17	1.28 \pm 0.12	1.20 \pm 0.32
266	1.19 \pm 0.66	0.55 \pm 0.25	1.31 \pm 0.44	1.02 \pm 0.22	0.48 \pm 0.30	1.07 \pm 0.26

ตารางที่ ข10 ค่า Destructive : Initial firmness (N/mm) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการ จำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูก เก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

Non-Destructive: Initial firmness (N/mm)						
Hour	H1- Constant	H1- Non Insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non Insulator	H2- Insulator
0	10.06 \pm 1.11	10.06 \pm 1.11	10.06 \pm 1.11	9.94 \pm 0.30	9.94 \pm 0.30	9.94 \pm 0.30
2	9.59 \pm 1.55	10.06 \pm 1.16	14.02 \pm 4.01	7.97 \pm 1.03	8.61 \pm 0.58	7.70 \pm 0.43
26	10.93 \pm 2.87	9.81 \pm 1.44	11.62 \pm 0.98	8.29 \pm 0.56	5.93 \pm 0.46	6.02 \pm 0.38
74	9.40 \pm 2.02	7.14 \pm 0.42	8.41 \pm 2.57	4.98 \pm 0.80	4.38 \pm 0.53	4.17 \pm 0.51
122	5.88 \pm 1.30	4.39 \pm 0.82	4.92 \pm 1.48	3.00 \pm 0.43	1.79 \pm 0.18	2.39 \pm 0.31
170	3.97 \pm 0.25	2.75 \pm 0.80	3.00 \pm 0.38	2.11 \pm 0.20	2.03 \pm 0.34	2.44 \pm 0.28
218	1.76 \pm 0.39	0.85 \pm 0.51	1.61 \pm 0.56	1.98 \pm 0.26	1.37 \pm 0.26	1.27 \pm 0.41
266	1.36 \pm 0.62	0.55 \pm 0.25	1.41 \pm 0.54	1.09 \pm 0.33	0.48 \pm 0.30	1.07 \pm 0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข11 ค่า Destructive : Rupture force (N) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลอง การจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บ รักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

Non-Destructive: Rupture force (N)						
Hour	H1- Constant	H1- Non Insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non Insulator	H2- Insulator
0	64.96 \pm 4.75	64.96 \pm 4.75	64.96 \pm 4.75	53.30 \pm 4.62	53.30 \pm 4.62	53.30 \pm 4.62
2	63.32 \pm 8.14	58.23 \pm 3.21	58.91 \pm 0.64	49.67 \pm 11.13	47.34 \pm 0.67	48.00 \pm 5.15
26	63.15 \pm 5.32	57.22 \pm 3.47	56.98 \pm 3.17	46.72 \pm 5.33	30.47 \pm 7.82	31.68 \pm 3.51
74	61.77 \pm 6.09	46.13 \pm 4.74	53.98 \pm 8.55	24.11 \pm 3.02	7.39 \pm 1.75	10.49 \pm 2.29
122	30.61 \pm 1.27	8.08 \pm 3.88	10.54 \pm 4.20	4.77 \pm 0.42	2.62 \pm 0.46	3.48 \pm 0.93
170	13.42 \pm 2.18	3.25 \pm 0.84	4.27 \pm 1.00	3.07 \pm 0.40	2.41 \pm 0.38	2.92 \pm 0.34
218	2.64 \pm 0.61	1.86 \pm 0.44	2.10 \pm 0.24	2.37 \pm 0.08	1.82 \pm 0.34	1.91 \pm 0.24
266	2.02 \pm 0.18	1.40 \pm 0.01	1.97 \pm 0.45	1.80 \pm 0.50	1.09 \pm 0.12	1.50 \pm 0.12

ตารางที่ ข12 ค่า Destructive : Toughness (N.mm) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการ จำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูก เก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

Non-Destructive: Toughness (N.mm)						
Hour	H1- Constant	H1- Non Insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non Insulator	H2- Insulator
0	124.95 \pm 9.64	124.95 \pm 9.64	124.95 \pm 9.64	114.17 \pm 10.71	114.17 \pm 10.71	114.17 \pm 10.71
2	171.45 \pm 21.89	137.57 \pm 17.17	150.38 \pm 13.64	120.81 \pm 26.05	102.39 \pm 6.99	111.32 \pm 1.29
26	156.16 \pm 13.57	106.00 \pm 2.51	125.09 \pm 10.73	104.95 \pm 11.49	61.45 \pm 19.39	75.48 \pm 17.40
74	116.34 \pm 15.38	91.90 \pm 2.21	94.60 \pm 15.62	57.05 \pm 14.26	7.97 \pm 4.05	16.34 \pm 0.94
122	81.95 \pm 7.47	18.17 \pm 19.96	20.23 \pm 14.96	4.83 \pm 1.91	2.72 \pm 0.62	3.83 \pm 0.43
170	34.50 \pm 5.32	6.66 \pm 2.74	4.32 \pm 2.13	3.24 \pm 0.64	2.10 \pm 0.27	2.55 \pm 0.49
218	4.76 \pm 3.51	4.41 \pm 1.26	2.07 \pm 0.70	1.71 \pm 0.17	1.28 \pm 0.12	1.20 \pm 0.32
266	3.23 \pm 1.81	3.20 \pm 1.49	2.13 \pm 0.75	3.00 \pm 1.10	2.88 \pm 0.80	1.39 \pm 0.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข13 ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=5$)

TSS						
Hour	H1- Constant	H1- Non-insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non-insulator	H2- Insulator
0	8.44 \pm 0.27	8.44 \pm 0.27	8.44 \pm 0.27	12.53 \pm 1.83	12.53 \pm 1.83	12.53 \pm 1.83
2	9.06 \pm 0.55	9.21 \pm 1.08	8.90 \pm 0.67	12.89 \pm 0.62	14.83 \pm 1.79	13.66 \pm 1.38
26	9.79 \pm 0.60	10.42 \pm 0.95	10.35 \pm 0.46	14.30 \pm 1.61	17.40 \pm 2.01	16.04 \pm 2.16
74	12.58 \pm 1.50	14.35 \pm 0.80	13.36 \pm 0.53	17.49 \pm 2.07	21.27 \pm 1.58	19.19 \pm 1.49
122	14.59 \pm 0.79	17.39 \pm 1.12	17.11 \pm 1.30	20.16 \pm 1.53	21.66 \pm 0.88	21.09 \pm 1.01
170	17.83 \pm 1.31	19.11 \pm 1.36	18.21 \pm 1.00	21.26 \pm 1.37	21.52 \pm 1.37	21.74 \pm 1.05
218	17.62 \pm 2.32	19.63 \pm 0.83	18.53 \pm 0.91	20.82 \pm 0.87	21.72 \pm 1.21	20.93 \pm 1.75
266	17.68 \pm 1.46	19.57 \pm 1.09	18.99 \pm 1.16	21.07 \pm 2.37	21.94 \pm 1.54	21.30 \pm 0.91

ตารางที่ ข14 ค่าความเป็นกรดซिटริก (acidity) ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=5$)

Acidity						
Hour	H1- Constant	H1- Non-insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non-insulator	H2- Insulator
0	1.30 \pm 0.18	1.30 \pm 0.18	1.30 \pm 0.18	1.42 \pm 0.05	1.42 \pm 0.05	1.42 \pm 0.05
2	1.14 \pm 0.18	1.09 \pm 0.15	1.14 \pm 0.15	1.31 \pm 0.16	1.14 \pm 0.14	1.33 \pm 0.25
26	1.18 \pm 0.16	1.12 \pm 0.10	1.22 \pm 0.20	1.27 \pm 0.07	1.15 \pm 0.14	1.31 \pm 0.25
74	1.15 \pm 0.13	0.95 \pm 0.07	1.18 \pm 0.19	1.03 \pm 0.25	0.96 \pm 0.18	1.10 \pm 0.16
122	1.13 \pm 0.21	0.74 \pm 0.22	0.80 \pm 0.14	0.90 \pm 0.09	0.84 \pm 0.12	0.84 \pm 0.11
170	0.73 \pm 0.18	0.56 \pm 0.24	0.65 \pm 0.12	0.76 \pm 0.08	0.69 \pm 0.07	0.74 \pm 0.07
218	0.61 \pm 0.12	0.46 \pm 0.06	0.48 \pm 0.10	0.74 \pm 0.10	0.65 \pm 0.19	0.64 \pm 0.09
266	0.63 \pm 0.15	0.51 \pm 0.06	0.53 \pm 0.07	0.65 \pm 0.05	0.60 \pm 0.05	0.58 \pm 0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข15 ค่า pH ของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่ สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=5$)

pH						
Hour	H1-Constant	H1-Non-insulator	H1-Insulator	H2-Constant	H2-Non-insulator	H2-Insulator
0	3.11 \pm 0.05	3.11 \pm 0.05	3.11 \pm 0.05	3.33 \pm 0.06	3.33 \pm 0.06	3.33 \pm 0.06
2	3.22 \pm 0.07	3.22 \pm 0.14	3.13 \pm 0.09	3.32 \pm 0.07	3.39 \pm 0.11	3.34 \pm 0.21
26	3.20 \pm 0.12	3.12 \pm 0.08	3.14 \pm 0.16	3.30 \pm 0.18	3.44 \pm 0.12	3.39 \pm 0.20
74	3.19 \pm 0.13	3.27 \pm 0.03	3.32 \pm 0.11	3.66 \pm 0.37	3.93 \pm 0.40	3.65 \pm 0.10
122	3.16 \pm 0.23	3.54 \pm 0.35	3.64 \pm 0.34	3.80 \pm 0.12	4.01 \pm 0.16	3.96 \pm 0.09
170	3.65 \pm 0.37	3.79 \pm 0.28	3.78 \pm 0.33	4.35 \pm 0.19	4.39 \pm 0.07	4.39 \pm 0.06
218	4.36 \pm 0.44	4.67 \pm 0.40	4.66 \pm 0.38	4.86 \pm 0.31	5.11 \pm 0.41	5.24 \pm 0.47
266	5.00 \pm 0.36	5.44 \pm 1.04	5.34 \pm 0.65	5.30 \pm 0.53	5.27 \pm 0.28	5.88 \pm 0.13

ตารางที่ ข16 ค่า L* ของผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่ สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

L*						
Hour	H1-Constant	H1-Non-insulator	H1-Insulator	H2-Constant	H2-Non-insulator	H2-Insulator
0	76.95 \pm 0.86	76.95 \pm 0.86	76.95 \pm 0.86	77.13 \pm 0.56	77.13 \pm 0.56	77.13 \pm 0.56
2	76.40 \pm 0.73	74.62 \pm 0.75	74.85 \pm 1.05	74.70 \pm 0.99	74.63 \pm 0.71	76.70 \pm 0.79
26	75.72 \pm 0.41	74.81 \pm 1.70	74.81 \pm 0.96	76.37 \pm 0.95	75.48 \pm 0.79	76.52 \pm 0.96
74	73.39 \pm 0.60	70.03 \pm 0.88	71.80 \pm 2.05	74.97 \pm 2.03	73.97 \pm 1.69	74.20 \pm 1.04
122	73.13 \pm 0.85	69.85 \pm 0.86	71.60 \pm 0.87	73.42 \pm 1.51	71.97 \pm 1.06	71.90 \pm 1.56
170	72.52 \pm 1.47	67.39 \pm 2.69	71.56 \pm 2.98	72.46 \pm 0.85	70.07 \pm 0.22	71.12 \pm 0.99
218	68.53 \pm 0.24	66.78 \pm 1.53	67.84 \pm 0.69	70.12 \pm 1.38	67.94 \pm 1.16	68.24 \pm 2.34
266	68.12 \pm 1.01	65.85 \pm 1.42	66.80 \pm 1.39	66.64 \pm 0.86	66.63 \pm 1.11	66.27 \pm 0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข17 ค่า a* ของผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้า ที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

a*						
Hour	H1- Constant	H1-Non- insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non-insulator	H2- Insulator
0	5.23 \pm 0.65	5.23 \pm 0.65	5.23 \pm 0.65	6.33 \pm 0.11	6.33 \pm 0.11	6.33 \pm 0.11
2	5.44 \pm 0.76	6.23 \pm 0.67	5.65 \pm 0.63	5.66 \pm 1.22	7.57 \pm 0.84	6.30 \pm 0.25
26	5.52 \pm 0.52	6.49 \pm 0.63	5.86 \pm 0.31	6.95 \pm 0.60	8.07 \pm 0.74	7.29 \pm 1.07
74	6.18 \pm 0.58	7.28 \pm 0.80	6.33 \pm 0.44	7.50 \pm 2.01	9.40 \pm 1.29	9.65 \pm 0.84
122	6.65 \pm 0.40	8.58 \pm 2.11	8.15 \pm 1.24	9.42 \pm 0.95	10.71 \pm 0.31	10.39 \pm 1.15
170	7.30 \pm 1.17	9.36 \pm 0.47	8.58 \pm 0.97	9.93 \pm 0.43	11.94 \pm 0.72	11.41 \pm 1.01
218	9.13 \pm 1.66	10.93 \pm 0.42	9.55 \pm 0.60	11.98 \pm 0.60	11.70 \pm 0.89	12.39 \pm 0.50
266	11.39 \pm 0.80	11.59 \pm 0.57	11.31 \pm 0.91	12.08 \pm 0.48	11.76 \pm 1.17	12.80 \pm 1.12

ตารางที่ ข18 ค่า b* ของผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้า ที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

b*						
Hour	H1- Constant	H1-Non- insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non-insulator	H2- Insulator
0	32.40 \pm 0.68	32.40 \pm 0.68	32.40 \pm 0.68	35.12 \pm 1.36	35.12 \pm 1.36	35.12 \pm 1.36
2	33.90 \pm 1.91	33.52 \pm 1.44	32.74 \pm 1.78	32.85 \pm 4.23	36.34 \pm 3.07	36.21 \pm 2.05
26	33.93 \pm 0.93	34.10 \pm 1.64	33.42 \pm 0.65	37.01 \pm 1.75	38.69 \pm 1.71	36.84 \pm 2.35
74	33.95 \pm 1.40	34.50 \pm 2.20	34.36 \pm 0.69	37.69 \pm 1.47	40.07 \pm 2.90	39.43 \pm 0.50
122	35.58 \pm 1.58	38.45 \pm 4.51	37.15 \pm 2.18	41.08 \pm 2.19	41.08 \pm 1.50	40.91 \pm 2.66
170	35.98 \pm 2.01	38.36 \pm 0.37	36.88 \pm 4.21	39.84 \pm 0.68	41.93 \pm 2.62	41.21 \pm 2.88
218	37.98 \pm 2.64	39.10 \pm 0.41	37.84 \pm 1.29	41.44 \pm 0.05	39.99 \pm 0.79	40.51 \pm 2.63
266	41.89 \pm 2.29	39.29 \pm 1.76	41.64 \pm 0.66	39.17 \pm 0.57	39.28 \pm 1.05	39.71 \pm 3.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข19 ค่า L^* ของเนื้อไกล้มืดของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลาน
ขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็น
เวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

L^*						
Hour	H1- Constant	H1-Non- insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non-insulator	H2- Insulator
0	78.09 \pm 0.53	78.09 \pm 0.53	78.09 \pm 0.53	78.25 \pm 1.99	78.25 \pm 1.99	78.25 \pm 1.99
2	78.18 \pm 0.80	77.64 \pm 0.39	78.33 \pm 0.45	78.25 \pm 1.04	78.20 \pm 2.40	77.92 \pm 1.23
26	78.36 \pm 1.12	77.56 \pm 0.93	78.15 \pm 0.16	77.59 \pm 1.07	75.48 \pm 0.79	77.38 \pm 1.39
74	75.85 \pm 1.51	72.90 \pm 4.34	76.25 \pm 1.23	70.72 \pm 4.23	67.09 \pm 1.14	68.79 \pm 2.55
122	71.04 \pm 2.39	68.91 \pm 2.80	70.86 \pm 3.90	67.72 \pm 1.79	64.93 \pm 2.09	66.63 \pm 0.70
170	65.67 \pm 1.43	62.56 \pm 1.61	64.59 \pm 2.11	65.73 \pm 0.88	64.07 \pm 2.57	63.52 \pm 2.22
218	65.68 \pm 2.91	62.60 \pm 1.37	63.50 \pm 2.04	63.56 \pm 2.61	62.43 \pm 4.63	63.03 \pm 3.86
266	62.94 \pm 1.13	61.09 \pm 1.42	61.95 \pm 3.54	61.94 \pm 1.48	63.88 \pm 2.03	62.92 \pm 0.79

ตารางที่ ข20 ค่า a^* ของเนื้อไกล้มืดของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลาน
ขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็น
เวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

a^*						
Hour	H1- Constant	H1-Non- insulator	H1- Insulator	H2- Constant	H2- Non-insulator	H2- Insulator
0	0.98 \pm 0.04	0.98 \pm 0.04	0.98 \pm 0.04	3.02 \pm 1.00	3.02 \pm 1.00	3.02 \pm 1.00
2	1.32 \pm 0.58	1.64 \pm 0.37	1.42 \pm 0.55	2.98 \pm 0.73	3.26 \pm 1.74	2.27 \pm 0.20
26	1.42 \pm 0.25	2.02 \pm 0.21	1.60 \pm 0.07	4.14 \pm 0.75	8.07 \pm 0.71	3.00 \pm 0.80
74	2.76 \pm 0.76	3.78 \pm 1.24	2.96 \pm 1.07	6.64 \pm 2.03	8.33 \pm 1.39	7.88 \pm 1.19
122	6.58 \pm 0.46	8.77 \pm 1.87	7.27 \pm 2.73	8.79 \pm 0.38	9.32 \pm 1.07	8.68 \pm 0.56
170	7.80 \pm 0.45	10.58 \pm 1.42	10.36 \pm 1.61	10.02 \pm 0.35	10.62 \pm 0.63	11.00 \pm 0.67
218	10.48 \pm 2.26	11.84 \pm 0.39	10.70 \pm 1.17	10.18 \pm 0.23	10.97 \pm 0.38	12.27 \pm 0.65
266	13.42 \pm 1.38	12.10 \pm 0.70	12.67 \pm 0.84	11.39 \pm 0.29	11.64 \pm 0.86	11.72 \pm 0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข21 ค่า b^* ของเนื้อไกล้เมล็ดของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

b*						
Hour	H1-Constant	H1-Non-insulator	H1-Insulator	H2-Constant	H2-Non-insulator	H2-Insulator
0	31.12 \pm 1.83	31.12 \pm 1.83	31.12 \pm 1.83	35.10 \pm 5.63	35.10 \pm 5.63	35.10 \pm 5.63
2	33.82 \pm 2.09	34.02 \pm 1.66	35.28 \pm 1.83	34.57 \pm 4.02	36.58 \pm 4.79	35.08 \pm 2.27
26	33.24 \pm 2.66	39.59 \pm 0.80	35.64 \pm 1.67	39.81 \pm 2.24	38.69 \pm 1.71	38.29 \pm 3.59
74	42.09 \pm 3.48	45.84 \pm 4.70	42.78 \pm 3.89	51.33 \pm 3.36	53.37 \pm 2.44	54.19 \pm 0.85
122	54.03 \pm 0.67	57.45 \pm 1.41	54.66 \pm 1.95	53.90 \pm 1.77	54.14 \pm 2.00	53.99 \pm 0.61
170	55.06 \pm 1.51	57.48 \pm 1.01	56.59 \pm 1.95	54.61 \pm 0.96	53.76 \pm 0.95	55.43 \pm 1.00
218	53.12 \pm 2.94	55.97 \pm 2.11	53.86 \pm 1.45	53.37 \pm 1.29	53.07 \pm 1.00	53.77 \pm 1.94
266	56.73 \pm 1.20	57.94 \pm 1.60	57.02 \pm 1.96	54.97 \pm 2.10	56.46 \pm 1.16	56.04 \pm 0.51

ตารางที่ ข22 ค่า YI ของผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

YI						
Hour	H1-Constant	H1-Non-insulator	H1-Insulator	H2-Constant	H2-Non-insulator	H2-Insulator
0	62.97 \pm 4.15	62.97 \pm 4.15	62.97 \pm 4.15	65.06 \pm 2.87	65.06 \pm 2.87	65.06 \pm 2.87
2	60.59 \pm 1.42	66.07 \pm 4.81	65.60 \pm 2.18	62.76 \pm 7.45	69.55 \pm 5.53	67.47 \pm 4.47
26	64.06 \pm 2.98	64.00 \pm 2.09	62.49 \pm 3.70	69.27 \pm 4.17	73.25 \pm 3.80	68.82 \pm 5.26
74	66.06 \pm 1.41	69.54 \pm 2.54	66.55 \pm 3.12	71.87 \pm 3.97	77.46 \pm 6.75	75.94 \pm 1.98
122	69.53 \pm 3.57	78.68 \pm 9.51	74.13 \pm 4.58	80.02 \pm 5.90	81.53 \pm 2.25	81.38 \pm 6.89
170	70.94 \pm 5.39	81.43 \pm 4.09	73.51 \pm 5.87	78.56 \pm 1.88	85.49 \pm 5.34	82.80 \pm 6.26
218	79.17 \pm 5.28	83.68 \pm 2.63	79.72 \pm 3.35	84.44 \pm 1.73	84.08 \pm 0.30	84.75 \pm 2.95
266	87.83 \pm 3.56	85.24 \pm 3.01	89.10 \pm 2.96	83.99 \pm 2.03	84.25 \pm 2.99	85.61 \pm 8.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข23 ค่า YI ของเนื้อไกล้มล็ดของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=3$)

Hour	YI					
	H1-Constant	H1-Non-insulator	H1-Insulator	H2-Constant	H2-Non-insulator	H2-Insulator
0	61.78 \pm 3.43	61.78 \pm 3.43	61.78 \pm 3.43	64.28 \pm 11.92	64.28 \pm 11.92	64.28 \pm 11.92
2	56.94 \pm 3.68	62.60 \pm 3.33	64.35 \pm 3.69	63.17 \pm 8.09	67.05 \pm 10.86	64.38 \pm 5.15
26	60.66 \pm 5.67	72.95 \pm 2.36	65.16 \pm 3.01	73.34 \pm 4.88	77.53 \pm 7.32	70.77 \pm 7.75
74	79.35 \pm 7.77	90.41 \pm 14.64	80.23 \pm 8.21	104.20 \pm 13.08	113.67 \pm 5.86	112.66 \pm 5.41
122	108.76 \pm 4.97	119.27 \pm 7.43	110.56 \pm 9.65	113.82 \pm 6.68	119.25 \pm 7.42	115.77 \pm 1.91
170	119.76 \pm 2.84	131.35 \pm 5.02	125.22 \pm 4.70	118.69 \pm 0.88	119.97 \pm 4.12	124.78 \pm 5.60
218	115.86 \pm 11.38	127.75 \pm 5.05	121.18 \pm 0.64	120.05 \pm 3.07	121.80 \pm 7.47	122.37 \pm 12.16
266	128.76 \pm 0.61	135.61 \pm 6.58	131.77 \pm 8.43	126.77 \pm 3.32	126.40 \pm 6.70	127.26 \pm 2.45

ตารางที่ ข24 ค่าระดับคะแนนสีเปลือกของผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=10$)

Hour	ค่าระดับคะแนนสีเปลือกของผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง					
	H1-Constant	H1-Non-insulator	H1-Insulator	H2-Constant	H2-Non-insulator	H2-Insulator
0	1.20 \pm 0.42	1.30 \pm 0.48	1.20 \pm 0.42	1.70 \pm 0.48	1.30 \pm 0.48	1.20 \pm 0.42
2	1.20 \pm 0.42	1.50 \pm 0.53	1.30 \pm 0.48	1.20 \pm 0.42	1.50 \pm 0.53	1.70 \pm 0.48
26	1.90 \pm 0.32	2.30 \pm 0.48	2.20 \pm 0.63	1.90 \pm 0.32	2.70 \pm 0.48	2.60 \pm 0.52
74	2.30 \pm 0.48	3.30 \pm 0.48	2.60 \pm 0.52	2.40 \pm 0.52	3.80 \pm 0.42	3.30 \pm 0.48
122	2.40 \pm 0.52	4.20 \pm 0.42	3.10 \pm 0.88	2.70 \pm 0.48	4.40 \pm 0.52	4.00 \pm 0.00
170	2.90 \pm 0.32	4.80 \pm 0.42	3.50 \pm 0.53	3.00 \pm 0.47	4.90 \pm 0.32	4.30 \pm 0.48
218	3.90 \pm 0.57	4.90 \pm 0.32	4.40 \pm 0.52	4.00 \pm 0.47	4.90 \pm 0.32	4.50 \pm 0.53
266	4.20 \pm 0.42	4.90 \pm 0.32	4.70 \pm 0.48	4.40 \pm 0.52	5.00 \pm 0.00	4.80 \pm 0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข25 ค่าระดับคะแนนความเสียหายของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองการจัดการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=10$)

ค่าระดับคะแนนความเสียหายของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง						
Hour	H1-Constant	H1-Non-insulator	H1-Insulator	H2-Constant	H2-Non-insulator	H2-Insulator
0	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00
2	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00
26	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	2.50 \pm 0.53	1.00 \pm 0.00
74	1.20 \pm 0.42	1.90 \pm 0.88	1.30 \pm 0.48	1.40 \pm 0.52	3.30 \pm 0.48	1.50 \pm 0.53
122	1.70 \pm 0.48	3.40 \pm 0.52	2.40 \pm 0.52	1.90 \pm 0.74	3.90 \pm 0.57	2.40 \pm 0.52
170	3.00 \pm 0.00	4.30 \pm 0.48	3.50 \pm 0.53	3.00 \pm 0.00	4.80 \pm 0.42	3.50 \pm 0.53
218	4.00 \pm 0.00	5.00 \pm 0.00	4.40 \pm 0.52	4.30 \pm 0.48	5.00 \pm 0.00	4.60 \pm 0.52
266	4.40 \pm 0.52	5.00 \pm 0.00	5.00 \pm 0.00	4.50 \pm 0.53	5.00 \pm 0.00	5.00 \pm 0.00

ตารางที่ ข26 ค่าระดับคะแนนความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จากการจำลองจัดการการที่ลานขนถ่ายสินค้าที่สนามบิน ผลมะม่วงจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ถูกเก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 266 ชั่วโมง ค่าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย \pm SD ($n=10$)

ค่าระดับคะแนนความรุนแรงการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง						
Hour	H1-Constant	H1-Non-insulator	H1-Insulator	H2-Constant	H2-Non-insulator	H2-Insulator
0	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00
2	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00
26	1.20 \pm 0.42	1.50 \pm 0.53	1.30 \pm 0.48	1.20 \pm 0.42	2.00 \pm 0.00	1.30 \pm 0.48
74	1.20 \pm 0.42	2.00 \pm 0.82	1.60 \pm 0.84	1.60 \pm 0.52	2.30 \pm 0.48	2.20 \pm 0.42
122	1.30 \pm 0.48	2.00 \pm 0.82	1.40 \pm 0.52	1.90 \pm 0.32	2.40 \pm 0.70	2.30 \pm 0.95
170	1.50 \pm 0.53	2.00 \pm 0.67	1.60 \pm 0.52	2.20 \pm 0.42	2.80 \pm 0.79	2.30 \pm 0.48
218	1.80 \pm 0.42	2.30 \pm 0.48	2.10 \pm 0.57	2.30 \pm 0.48	2.90 \pm 0.74	2.70 \pm 0.48
266	2.30 \pm 0.48	3.00 \pm 0.94	2.40 \pm 0.84	2.60 \pm 0.97	3.20 \pm 0.92	2.80 \pm 0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Article

Temperature Difference in Loading Area (Tarmac) during Handling of Air Freight Operations and Distance of Production Area Affects Quality of Fresh Mango Fruits (*Mangifera indica* L. ‘Nam Dok Mai Si Thong’)

Kraisuwit Srisawat ^{1,*}, Panmanas Sirisomboon ², Umed Kumar Pun ², Warawut Krusong ³, Samak Rakmae ¹, Nattawut Chaoumuang ¹, Pornkanya Mawilai ¹, Thadchapong Pongsuttiyakorn ¹, Chalisa Chookaew ¹ and Pimpen Pornchaloempong ^{1,*}

- ¹ Department of Food Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
² Department of Agricultural Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
³ Division of Fermentation Technology, School of Food Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
* Correspondence: kraisuwit@gmail.com (K.S.); pimpen.po@kmitl.ac.th (P.P.)



Citation: Srisawat, K.; Sirisomboon, P.; Pun, U.K.; Krusong, W.; Rakmae, S.; Chaoumuang, N.; Mawilai, P.; Pongsuttiyakorn, T.; Chookaew, C.; Pornchaloempong, P. Temperature Difference in Loading Area (Tarmac) during Handling of Air Freight Operations and Distance of Production Area Affects Quality of Fresh Mango Fruits (*Mangifera indica* L. ‘Nam Dok Mai Si Thong’). *Horticulturae* **2022**, *8*, 1001. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111001>

Academic Editor: Katarzyna Pobiega

Received: 20 September 2022

Accepted: 22 October 2022

Published: 27 October 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Mango (*Mangifera indica* L.) ‘Nam Dok Mai Si Thong’ is an important cultivar for export from Thailand. Export mainly takes place via air transport, but for about 2 h at the loading area (tarmac), unit loading devices (ULDs) are exposed to ambient environmental conditions. In this research, the effects of different temperature conditions at the loading area (tarmac) and the distance of the production area from the tarmac on the quality of fresh mango fruits were studied. The treatments included three temperature conditions for 2 h (simulated handling in tarmac)—constant temperature (20 °C), non-insulated or insulated and exposed to sun—and two distances of the tarmac from the production area—short distance (i.e., transport occurring 53 h after harvest) and long distance (i.e., transport occurring 70 h after harvest). The temperature variation in the boxes exposed to the sun was greater in the non-insulated than in the insulated boxes, but this effect was more pronounced in fruit from the short-distance production area (28.1 °C insulated and 36.9 °C non-insulated) than in fruit from the long-distance production area (34.2 °C insulated and 38 °C non-insulated). Insulation and short distance increased the shelf life, decreased weight loss, delayed the decrease in average firmness and rupture force, etc. The insulation of mango fruit boxes mitigates the deleterious effect of exposure to 2 h of direct sun by reducing the increase in temperature, thus improving the shelf life and quality of mango fruit.

Keywords: *Mangifera indica*; Nam Dok Mai Si Thong; air freight; postharvest quality; quality attributes

1. Introduction

Mango (*Mangifera indica* L.) is a climacteric fruit and is a popular tropical fruit [1]. It is the sixth most widely grown fruit crop in the world, and Thailand ranked as the tenth highest producer in 2019–2020 [2–4]. In 2021, the total area under mango cultivation in Thailand was 146,217 hectares, with a fruit yield of more than 905,934 tons [5]. Thailand exports of fresh mangoes were valued at USD 734 million in 2020 [6]. Thailand has many mango varieties, and more than 60 types are commercially cultivated [7]. However, one of the most important leading mango cultivars for export is ‘Nam Dok Mai Si Thong’ [8]. The skin of the ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango is yellow, and it turns to golden-yellow with ripening. This variety is sweet, fragrant, and juicy, and has no fibrous tissue [9].

Consumer acceptance of mangoes is correlated with the internal and external quality factors of mango fruit [10]. The quality of mango is difficult to maintain, because mango

is a highly perishable fruit that ripens rapidly after harvest [3]. Hence, mango fruits have a short storage life after harvest due to poor postharvest handling, temperature, disease incidence, and sensitivity to chilling injury [11,12]. Quality losses in fresh fruit or rejection of the whole loads can result from temperature abuses encountered during handling [13]. Air freight is the fastest way to transport highly perishable horticultural crops over long distances [14]. However, normal air transport involves a significant break in the cold chain of perishable handling. The major causes for this rupture are the fluctuating temperatures that often occur during air freight and ground operations [15].

A schematic diagram of mango fruit transportation from the farm through the airport to the customer is shown in Figure 1. Studies measuring time–temperature profiles during the air freight of perishable foods indicate improper control of the temperature. It is estimated that only approximately half of the transit time attributed to air freight is spent in flight; during the other half of the time, the perishable food is being transported to or from the airport, stored at the airport, or loaded into or unloaded from the plane on the tarmac [16]. High temperatures can occur inside the unit loading devices (ULDs), especially when the perishable food is on the tarmac before being loaded into the airplane: on the tarmac, temperatures as extreme as $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ or $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ can be observed, depending on the location or season [13,17,18]. Furthermore, the studies of Villeneuve et al. [19] report the occurrence of a difference of about $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ inside ULDs between the worst-case and best-case scenarios. Temperature variations inside ULDs during airport operations can be caused by the presence of cooling and handling equipment at the airport, the type of ULDs used for the transportation of perishables (plastic, metal, or insulated), flight delays, solar radiation on the tarmac, and the airport's location [19–21].



Figure 1. Flow diagram of transportation of mango fruits through the airport from the farm to the customers.

Difficulties in controlling temperature during normal handling procedures such as loading, unloading, air freight or truck transportation, warehouse storage and retail have an impact on fruit and vegetables, which often encounter inappropriate temperatures. Observations at Miami airport have shown that containers with fresh produce are held for a minimum of 2 h at temperatures of $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ or higher before being loaded into the airplane [13]. In addition, fluctuating temperatures during the distribution of fresh fruit and vegetables may negatively affect their quality. For example, in a previous study, Nunes and Emond showed that strawberries stored in fluctuating temperatures exhibited more weight loss, higher pH, less firmness, and lower glucose content than those stored at constant temperature, even though the degree totals each day were the same [22].

Any fresh produce's postharvest supply chain must include transportation as a critical step [23]. Additionally, lengthy transportation times during the shipping of fresh produce can hasten enzymatic and metabolic processes, increasing the danger of mechanical damage and lowering market value [24]. For example, a previous study by Al-Dairi and others [25] showed that different transportation distances significantly affected tomato physical quality parameters. This study evaluated physical changes in tomatoes during transportation and storage. Tomatoes were transported over three distances (100, 154, and 205 km) from a local farm and delivered to the Postharvest Laboratory. The results showed that long transportation distances greatly increased the weight and firmness reduction, and produced greater colour changes during storage.

Therefore, the main purpose of this research is to evaluate the effects of different temperatures in loading areas (tarmac) different distances from the mango production

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

areas on the quality of the mango with respect to weight loss, firmness, total soluble solids, acidity, pH, colour change and visual assessment.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Mango cv. 'Nam Dok Mai Si Thong' from Chachoengsao province (13.606977° N, 101.298767° E) in the eastern part of Thailand for the first harvest (short distance) and Khon Kaen province (16.14964° N, 102.76750° E) in the northeastern part of Thailand for the second harvest (long distance) were used for this study. Mangoes of uniform shape and size (350–450 g) and at commercial harvesting stage, absent of defects due to cracks and diseases, were selected according to the Thai Agriculture Standard for export mango [26]. Chachoengsao is one of the five provinces in which mangoes are planted the most in Thailand, as the soil in this area is suitable for planting mangoes [27]. Furthermore, the province of Khon Kaen counts among the major producers of the 'Nam Dok Mai Si Thong' mango, with around 10% of the total export coming from Khon Kaen [28].

2.2. Mango Sample Preparation

Mango fruits of exportable grade were picked from an orchard in Chachoengsao, Thailand, on 8 March 2022 (first harvest) and picked from an orchard in Khon Kaen, Thailand on 21 June 2022 (second harvest). Mangoes were collected, graded, packed, and transported to the packing house (13.80253° N, 100.06714° E) in a regular pickup truck. Therefore, fruits from the first harvest were picked and transported within 27 h after treatment at the packing house, while those from the second harvest were picked and transported within 44 h after treatment at the packing house. The fruits were cleaned up and exposed to hot water treatments to kill fruit flies at the packing house in accordance with EU mango import regulations [29]. After drying, the fruits were placed in a foam net bag and packed in a 5-layer corrugated cardboard box for air transportation. The carton size was 40 × 52 × 10 cm, with 2 side vents on each side of the box with a size of 7 × 2.5 cm, and closed with diagonal net not exceeding 1.6 mm. The weight of fruits per carton was approximately 5 kg, and the time of processing in packing house was 9 h. After this, fruits were transported to the Food and Smart Agriculture Engineering KMITL laboratory within 2 h and stored at 20 °C for 15 h before the simulation of handling treatment. Therefore, the age of fruits after harvest in the first harvest and the second harvest after simulating handling treatment was 53 and 70 h, respectively. A constant temperature of 20 °C was used as a reference temperature, since mangoes matured at a temperature of 20–23 °C demonstrate good appearance and eating quality [30].

2.3. Simulated Handling Treatments

The fruits were grouped into 3 treatments. A total of 10 cartons per treatment and an arrangement of 2 boxes per shelf of 5 layers covered with Low-Density Polyethylene (LDPE) plastic were separated into three sections with treatments consisting of: (1) placed in a 20 °C temperature room throughout the shelf life; (2) placed outdoors; and (3) placed outdoors covered with polystyrene foam insulation with a thickness of 2.54 cm. The second and third treatments were placed outdoors for 2 h to simulate transport conditions at the tarmac. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) is not far from Suvarnabhumi Airport (about 5 km). Therefore, the temperature and relative humidity were assumed not to be significantly different. After outdoor treatment for 2 h, the fruits were returned to constant room temperature at 20 °C as the control group. The polystyrene foam insulation was removed from the third treatment, and LDPE plastic was removed from all treatments after 16 h to simulate transport conditions on the airplane and at the tarmac. The quality assessment of fruits was performed prior to the simulation at the tarmac, after simulation at the tarmac, after transportation by airplane, and throughout the shelf life using ten fruits per treatment at all steps, resulting in a total of one hundred fruits per treatment, as shown in Table 1. Handling times and temperature during simulated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

handling from the tarmac to the consumer are shown in Table 1, and were chosen as being representative for the purposes of our measurements (unpublished) on the basis of the required air freight time to transport mango fruits from Suvarnabhumi Airport, Thailand to Paris Charles de Gaulle Airport, France.

Table 1. Time and temperature used for ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mangoes during simulation of handling from the tarmac to the customer under constant, non-insulated, and insulated conditions.

Handling Simulation	Time		Temperature (°C)		
	(h)	Cumulative (h)	First Treatment Constant	Second Treatment Non-Insulated	Third Treatment Insulated
Warehouse	0	0	20 ^a	20	20
Tarmac	2	2	20	Real Temp ^b	Real Temp ^b
Airplane	12	14	20	20	20
Tarmac	2	16	20	20	20
Truck + Store	10	26	20	20	20
Shelf life (2 day)	48	74	20	20	20
Shelf life (4 day)	48	122	20	20	20
Shelf life (6 day)	48	170	20	20	20
Shelf life (8 day)	48	218	20	20	20
Shelf life (10 day)	48	266	20	20	20

^a 20.0 ± 1 °C and 90.5% RH. ^b 40.0 ± 2 °C and 70% RH.

2.4. Temperature and Relative Humidity Monitoring

The temperatures inside and outside of the corrugated cardboard box of mango fruits were monitored throughout the storage using temperature data loggers (iButtonDS1922L-F5, Maxim Integrated Products, Inc., San Jose, CA, USA). Relative humidity (RH) was monitored outside the corrugated cardboard box with a mini temperature and humidity data logger (Testo 174H, Testo SE & Co., Titisee-Neustadt, Germany).

2.5. Shelf Life

The shelf life of fruit was visually assessed on the basis of the colour, shrivelling and decay 53 h after harvest in H1 (short distance) and 70 h after harvest in H2 (long distance). Assessment was performed at 48 h intervals until the fruit was deemed marketable.

2.6. Weight Loss

The weight loss of the mango fruit samples was calculated as per Shah and Hashmi [31]. The loss of weight was calculated from the initial weight of ten individual fruits per treatment. The weight loss of the fruits was determined by weighing at the beginning of the experiment and during storage. The same was expressed as the percentage loss of the initial weight (Equation (1)).

$$\text{Weight loss (\%)} = [(W1 - W2)/W1] \times 100 \quad (1)$$

W1 is the weight of initial fruit.

W2 is the weight at the time of sampling.

2.7. Firmness

The initial firmness, average firmness, rupture force and toughness of the mango fruit samples were measured using a texture analyser (TA-HD. Plus, Stable Micro Systems, Surrey, UK) equipped with a stainless-steel cylinder probe 5 mm in diameter. The pre-test, test, and post-test speeds were 1, 0.2, and 10 mm s⁻¹, respectively. Measurements were performed on opposite sides of each fruit at the centre for a total of two measurements per fruit. The average of the two measurements was used, and the test was performed in three fruits per treatment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1. Non-Destructive

Firmness of mango fruit samples was measured as per Penchaiya et al. [32] with some modification. A non-destructive limited force compression at 1 Newton (N) compression was performed. Mango fruits with peel were placed in a box of dry sand on the platform of the texture analysers. All fruits were measured on both sides, and the values obtained on both were recorded, but the averaged value was used to represent fruit firmness as a whole.

2.7.2. Destructive

The firmness of mango fruit samples was measured as per Sirisomboon and Pornchaloempong [33]. A destructive penetration test of the flesh was performed after removing the skin of the fruit (approximately 0.5 cm thick). The flesh was penetrated using the probe at the same position of the non-destructive compression measurement. The obtained force–distance curves were further analysed using Exponent Stable Micro System software (version 6.1.9, Stable Micro Systems, Surrey, UK) to indicate the initial firmness, average firmness, toughness, and rupture force in the flesh.

2.8. Total Soluble Solids (TSS), Acidity and pH

The total soluble solids and acidity (citric acid) of the mango fruit samples were measured as per Xu et al. [34]. The TSS and acidity of the resulting clear juice samples were measured using a pocket Brix-Acidity Meter (ATAGO Model PAL-BX/ACID1, Tokyo, Japan). After the peel and seeds were removed, the centre of the flesh of both the sides were scraped using a fine grater, homogenized, and filtered through tea filter bag. One or two drops of fruit juice were placed on the Brix-Acidity meter to measure the TSS directly. To measure the acidity, the juice was diluted with distilled water in a ratio of 1:50, then one or two drops of the diluted juice were used for measurement. Each sample was measured three times, and the TSS and acidity for that sample were recorded as the average of these three values. Between each measurement, the Brix-Acidity meter was calibrated with distilled water. The unit of acidity is g L^{-1} .

The pH of the juice samples was determined using a digital pH meter (OHAUS ST300, NJ, USA) previously standardized to pH 4 and pH 7 following the standard method of AOAC [35].

The TSS, acidity and pH of fruit samples were measured on opposite sides of each fruit at the centre for a total of two measurements per fruit. Three replicate fruits were measured, and the average was calculated.

2.9. Colour Measurement

The skin and flesh colour near the seed of the mango fruit samples was measured as per Medina-Rendon et al. [36] using a spectrophotometer (model MiniScan EZ 4500 L (Hunter Associates Laboratory Inc., VA, USA)). Colour was measured at the top (near the stem), centre, and bottom of each fruit at both sides. The obtained values were averaged to represent the colour of each fruit. The colour was recorded using the CIE- $L^* a^* b^*$ uniform colour space, where ' L^* ' indicates lightness, ' a^* ' indicates chromaticity on the green (–) to red (+) axis, and ' b^* ' indicates chromaticity on the blue (–) to yellow (+) axis.

Yellowness Index (YI) was calculated as defined by the formula of Francis and Clydesdale (Equation (2)) [37]:

$$YI = 142.86b^*/L^* \quad (2)$$

2.10. Visual Quality

2.10.1. Visual Colour

The colour of each individual mango fruit was assessed using a visual rating scale as per Jacobi et al. [38], where 1 = very light yellow, 2 = light yellow, 3 = mostly yellow, 4 = predominantly yellow, and 5 = fully orange-yellow, as shown in Figure 2a. The peel colour was not considered to be a limitation to acceptability for sale.

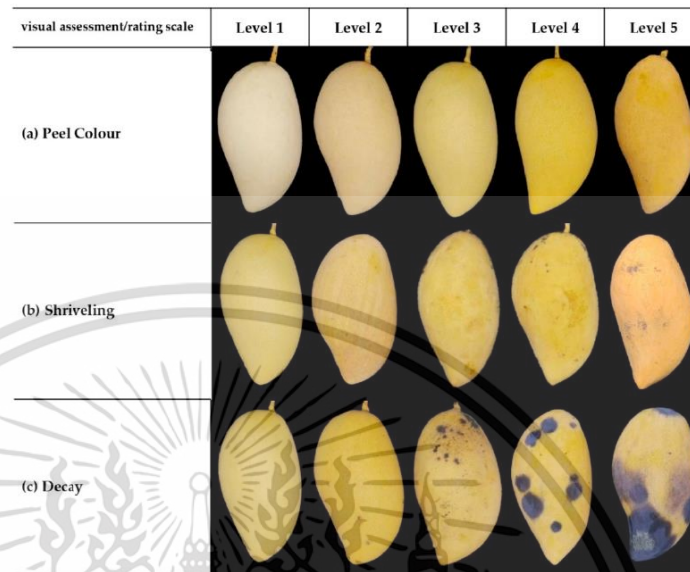


Figure 2. (a) Peel colour rating scale, (b) shrivelling rating scale, and (c) decay rating scale of ‘Nam Dok Mai Si thong’ mango fruits.

2.10.2. Shrivelling

The shrivelling of each individual mango fruit was assessed using a visual rating scale as per Quintana and Paull [39], where 1 = none, field-fresh, no signs of shrivelling, 2 = slight, minor signs of shrivelling, not objectionable, 3 = moderate, shrivelling evident, becoming objectionable, 4 = severe shrivelling, definitely objectionable, and 5 = extremely shrivelled, wrinkled, and dry, not acceptable under normal conditions, yellow, as shown in Figure 2b. A shrivelling rating of 3 was considered to be the limit of acceptability for sale.

2.10.3. Decay

The decay of each individual mango fruit was assessed using a modified visual rating scale as per Nunes et al. [40], where 1 = 0%, no decay, 2 = 1–25% decay, probable decay (brownish/grayish sunken minor spots), 3 = 26–50% decay, slight to moderate decay (spots with decay and some mycelium growth), 4 = 51–75% decay, moderate to severe decay, 5 = 76–100% decay, severe to extreme decay (the mango is either partially or completely rotten), as shown in Figure 2c. A decay rating of 3 was considered to be the limit of acceptability for sale.

2.11. Statistical Analysis

The experimental setup employed a completely randomized design (CRD). The statistical analysis of data was performed by one-way analysis of variance (one-way ANOVA), and the differences between means were analysed with Duncan’s test ($p < 0.05$) using the SPSS Statistic Version 28.0.0.0(190) software (IBM Corporation, New York, NY, USA).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Results

3.1. Temperature and Relative Humidity Monitoring

High temperature and low relative humidity are critical factors that negatively influence the postharvest shelf life of mango fruits. The increase in temperature in the boxes containing mango fruits was influenced by both the distance of production area from the tarmac and the difference in packaging. Temperature variation in the boxes exposed to the sun was higher in the non-insulated than in the insulated case, but effectiveness was better in the short-distance (28.1 °C insulated and 36.9 °C non-insulated) than in the long-distance (34.2 °C insulated and 38 °C non-insulated) case. Fruits transported from a production area a long distance away experienced higher temperature in the boxes irrespective of the packaging and outside temperature. Similarly, while packaging was effective for reducing the temperature of the boxes containing the mango fruits, it was more effective when the fruits were transported over short distances.

From the first harvest (short-distance production area), the temperature during the handling simulation on the tarmac under the three different conditions is shown in Figure 3a. The temperature in the room for the constant temperature condition was 20.7 ± 0.4 °C, while the outdoor temperature was approximately 42.7 ± 1.9 °C. After the placement of the box of ‘Nam Dok Mai Si Thong’ Mango outdoors for 120 min, the temperatures inside the corrugated cardboard boxes in the (constant), non-insulated and insulated cases were $(21.3 \pm 0.2$ °C), 36.9 ± 3.2 °C and 28.1 ± 0.6 °C, respectively. Additionally, the control room’s relative humidity was $91.9 \pm 2.0\%$, whereas outdoors it was $77.8 \pm 0.7\%$, as shown in Table 2.

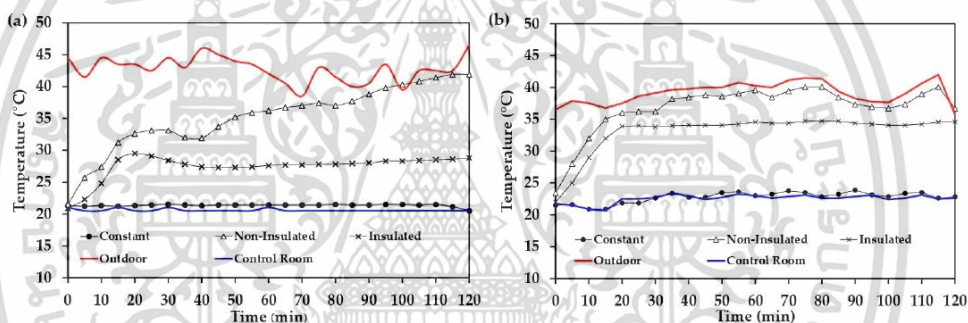


Figure 3. (a) First harvest temperature in the box, (b) second harvest temperature in boxes of mango fruits (‘Nam Dok Mai Si thong’) under constant, non-insulated, and insulated conditions during simulated handling at the tarmac.

Table 2. Temperature (°C) and relative humidity (%) during the handling simulation on the tarmac.

Production Area	Type of Packaging	Treatment at the Tarmac	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)
First Harvest Short Distance (53 h*)		Outdoor	42.7 ± 1.9	77.8 ± 0.7
		Control room	20.7 ± 0.4	91.9 ± 2.0
	LDPE	Constant temperature 20 °C	21.3 ± 0.2	
	LDPE	Under sun	36.9 ± 3.2	
	LDPE and insulation	Under sun	28.1 ± 0.6	
Second Harvest Long Distance (70 h*)		Outdoor	39.1 ± 1.7	69.7 ± 3.6
		Control room	19.8 ± 0.5	90.1 ± 3.8
	LDPE	Constant temperature 20 °C	22.8 ± 0.9	
	LDPE	Under sun	38.0 ± 1.3	
	LDPE and insulation	Under sun	34.2 ± 0.4	

* Hours after harvest from the tree to KMITL.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

From the second harvest (production area located a long distance away), the temperature during the handling simulation on the tarmac under three conditions is shown in Figure 3b. The temperature in the room for the constant temperature condition was 19.8 ± 0.5 °C, while the outdoor temperature was approximately 39.1 ± 1.7 °C. After placement of the box of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango outdoors for 120 min, the temperatures inside the corrugated cardboard boxes in the (constant), non-insulated and insulated cases were $(22.8 \pm 0.9$ °C), 38.0 ± 1.3 °C and 34.2 ± 0.4 °C, respectively. Additionally, the control room's relative humidity was $90.1 \pm 3.8\%$, whereas the relative humidity outside was $69.7 \pm 3.6\%$, as shown in Table 2. The temperature inside the box under polystyrene foam insulation of the second harvest increased to about 34 °C during the first 20 min, and the temperature was relatively stable until completion of 120 min.

3.2. Shelf Life

Shelf life is one of the most important postharvest parameters of mango fruit for better market reach, especially for export. The shelf life of Mango fruit was greater in the first harvest (short distance) by 48 h than in the second harvest (long distance), as shown in Table 3. This difference is mainly because of the longer time after harvest for the second harvest (70 h) compared to the first harvest (53 h). Similarly, LDPE and constant temperature (20 °C) and LDPE and insulation increased the shelf life by 48 h (2 days) compared to LDPE without insulation. The effectiveness of LDPE and constant temperature (20 °C) and LDPE and insulation is irrespective of whether the distance is short or long (i.e., belonging to the first or second harvest), and increases shelf life by 48 h in either case. However, the benefit is much higher when the mango production area is close to the airport.

Table 3. Shelf life of mango fruits after simulated handling treatments.

Production Area	Type of Packaging	Treatment at the Tarmac	Shelf Life	
			Hours	Days
First Harvest Short Distance (53 h *)	LDPE	Constant temperature 20 °C	170	≈7
	LDPE	Under sun	122	≈5
	LDPE and insulation	Under sun	170	≈7
Second Harvest Long Distance (70 h *)	LDPE	Constant temperature 20 °C	122	≈5
	LDPE	Under sun	74	≈3
	LDPE and insulation	Under sun	122	≈5

* Hours after harvest from the tree to KMITL.

3.3. Quality Assessment

3.3.1. Weight Loss

Weight loss is associated with the deterioration of fruit quality due to transpiration and other metabolic activities. Weight loss percentage increased with storage time in all fruits, irrespective of treatment, as shown in Table 4. Weight loss percentage was slightly greater in fruits from the long-distance production area (second harvest) compared to in those from the short-distance production area (first harvest), irrespective of the different tarmac treatments. The slightly greater weight loss in fruits from the long-distance production area could be due to the fact that the greater amount of time following harvest (70 h after harvest) results in a higher temperature built up in the simulated boxes. The constant temperature (20 °C) slowed down weight loss much more effectively than the insulated box or non-insulated boxes exposed to the sun, but was more effective in the long-distance production area (H2) than the short-distance production area (H1).

Table 4. Weight loss (%) of mango fruits after simulated handling treatments in first harvest.

Treatment/Hour	Weight Loss (%)						
	2	26	74	122	170	218	266
H1							
Constant	0.08 ± 0.02 ^c	0.72 ± 0.17 ^c	2.34 ± 0.31 ^b	4.04 ± 0.44 ^a	6.17 ± 0.56 ^a	7.48 ± 0.77 ^a	9.38 ± 0.98 ^b
Non-Insulated	0.15 ± 0.02 ^a	1.35 ± 0.22 ^a	2.74 ± 0.33 ^a	4.34 ± 0.48 ^a	6.32 ± 0.67 ^a	8.03 ± 0.83 ^a	10.08 ± 1.47 ^a
Insulated	0.10 ± 0.02 ^b	0.93 ± 0.16 ^b	2.53 ± 0.37 ^{ab}	4.16 ± 0.56 ^a	6.23 ± 0.75 ^a	7.83 ± 0.89 ^a	9.71 ± 0.55 ^{ab}
H2							
Constant	0.10 ± 0.02 ^b	1.14 ± 0.14 ^b	2.86 ± 0.25 ^b	4.50 ± 0.35 ^b	6.10 ± 0.46 ^b	7.90 ± 0.56 ^a	9.49 ± 0.65 ^a
Non-Insulated	0.18 ± 0.04 ^a	1.28 ± 0.13 ^a	3.23 ± 0.14 ^a	5.05 ± 0.22 ^a	6.96 ± 0.82 ^a	8.36 ± 0.33 ^a	10.03 ± 0.43 ^a
Insulated	0.13 ± 0.03 ^b	1.18 ± 0.10 ^{ab}	3.13 ± 0.29 ^a	4.74 ± 0.42 ^b	6.62 ± 0.46 ^{ab}	8.20 ± 0.51 ^{ab}	9.66 ± 0.59 ^a

Data from the two harvests were analyzed separately. H1, first harvest; H2, second harvest; All values indicate mean ± S.D. (*n* = 10), and values with various superscript alphabetic letters indicate significant differences in each column within each harvest according to one-way analysis of variance (ANOVA) with Duncan's test (*p* < 0.05).

In H2, the constant temperature significantly reduced weight loss until 170 h as compared with the insulated or non-insulated treatments exposed to the sun. However, in H1, the constant temperature only significantly reduced weight loss compared to the other treatments until 26 h, and was on par with the insulated box by 74 h. It can be observed that in H1, weight loss stabilized after 122 h, when the fruit was still marketable, whereas in H2, the weight loss occurred from the very beginning when the fruit is still marketable. Similarly, the insulated box was highly effective at slowing down weight loss compared to the non-insulated box, but was more effective for fruits from the short-distance production area than for fruits from the long-distance production area. Time of harvest and lower temperature during transit is critical to reducing the weight loss of fruits.

3.3.2. Firmness

The average firmness of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit with peel decreased during storage, regardless of the distance of the mango production area from the tarmac, and the temperature difference experienced at the tarmac, as shown in Figure 4a. However, the average firmness decreased more rapidly in fruits from the long-distance production area (H2) than in those from the short-distance area (H1). Constant temperature (20 °C) slowed down the decrease in firmness of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun, but was more effective in fruit from the short-distance production area than from that from the long-distance production area. Insulated boxes were highly effective at decreasing firmness losses compared to non-insulated boxes, but were more effective in fruit from the short-distance production area than in fruit from the long-distance production area.

The peel toughness of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit increased during storage, regardless of the distance of the mango production area from the tarmac and the temperature difference experienced at the tarmac, as shown in Figure 4b. However, the peel toughness increased more rapidly in fruit from the long-distance production area (H2) than in fruit from the short-distance area (H1). Constant temperature (20 °C) slowed down the increase in peel toughness of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun, but was more effective in fruit from the short-distance production area (H1) than in fruit from the long-distance production area (H2).

Destructive assessment of the fruit clearly showed the same trend as in the non-destructive assessment in the case of the peel's initial firmness, rupture force and average firmness (Figure 4c–e), but contradicted the non-destructive assessment in the case of peel toughness (Figure 4f). The average firmness of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit with peel decreased during storage regardless of the distance of mango production area from the tarmac and the temperature difference experienced at the tarmac. In addition, other parameters such as initial firmness, rupture force, and average firmness show a similar trend. However, the decreases in these parameters were much higher in fruit from the

long-distance production area (H2) than in fruit from the short-distance production area (H1). Constant temperature (20 °C) delayed the softening in both production areas as compared to the insulated and non-insulated boxes, but the delay was highly effective in fruit from the short-distance production area (H1).

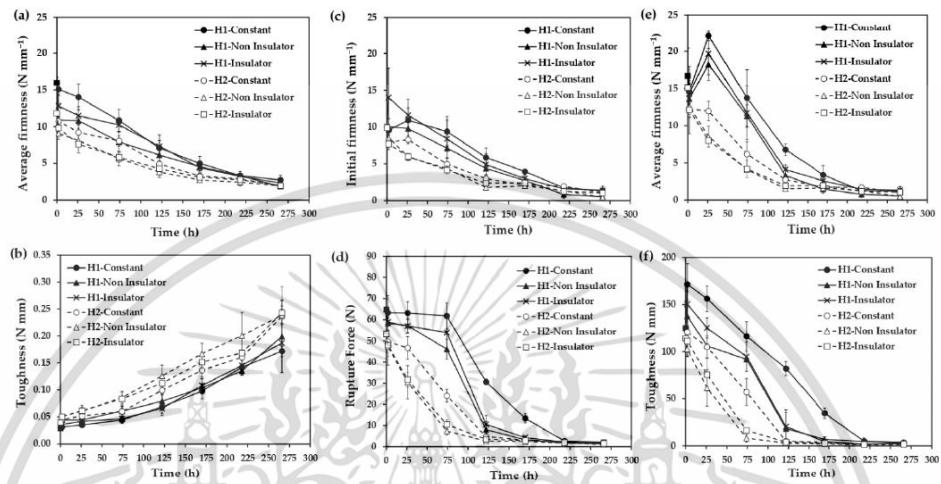


Figure 4. (a) Non-destructive—average firmness; (b) non-destructive—toughness; (c) destructive—initial firmness; (d) destructive—rupture force; (e) destructive—average firmness; and (f) destructive—toughness of mango fruit (*Nam Dok Mai Si Thong*) under constant, non-insulated, and insulated conditions during simulated handling at the farm. After simulated handling at the farm, mango fruits from the first and second harvest were transferred to a temperature of 20 °C for 266 h. H1, first harvest; H2, second harvest. Vertical bars on the graph indicate S.D. ($n = 3$).

3.3.3. Total Soluble Solids (TSS), Acidity and pH

Total soluble solids (TSS) are important for enhancing the sweetness of the mango fruit. During ripening, TSS increases, acidity decreases, and pH increases. The total soluble solids of *Nam Dok Mai Si Thong* mango fruit increased during storage regardless of the distance of the mango production area from the farm and the temperature difference experienced at the farm, as shown in Figure 5a. However, the TSS increased more rapidly in fruit from the long-distance production area (H2) than in fruit from the short-distance area (H1). Constant temperature (20 °C) slowed down the increase in the TSS of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun, but was more effective in fruit from the short-distance production area (H1) than in fruit from the long-distance production area (H2).

In contrast, acidity decreased gradually as the fruit matured, and a similar trend can be observed in Figure 5b regardless of the distance of production area from the farm or the temperature difference experienced at the farm. Constant temperature (20 °C) or insulation don't influence the reduction in acidity.

pH, conversely, gradually increased during storage from about 3 to 5 regardless of the distance of the production area from the farm and the temperature difference experienced at the farm, as shown in Figure 5c. However, the pH increased more rapidly in fruit from the long-distance area (H2) than in fruit from the short-distance area (H1). Constant temperature (20 °C) or insulation didn't influence the reduction in acidity.

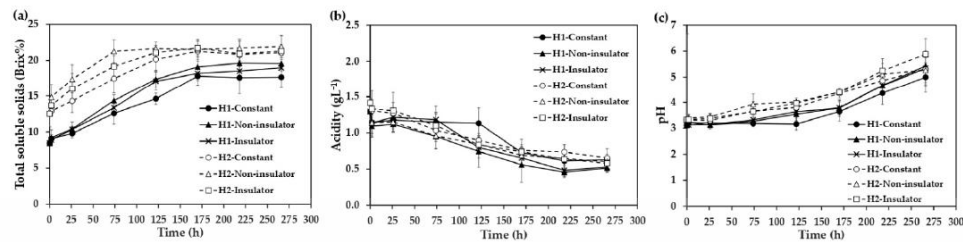


Figure 5. (a) Total soluble solids, (b) acidity, and (c) pH of mango fruits ('Nam Dok Mai Si Thong') under constant, non-insulated, and insulated conditions during simulated handling at the tarmac. After simulated handling at the tarmac, mango fruits from the first and second harvests were transferred to 20 °C for 266 h. H1, first harvest; H2, second harvest. Vertical bars on the graph indicate S.D. ($n = 5$).

3.3.4. Colour

The colour of the fruit is very important for the marketability of mango fruit, and is the first factor that attracts the consumer. This is more critical in cv. Nam Dok Mai Si Thong, because it has a yellow peel at both unripe and ripe stages. The L^* value of peel of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit decreased during storage, regardless of the distance of the mango production area from the tarmac and the temperature difference experienced at the tarmac, as shown in Figure 6a. However, the L^* value decreased more rapidly in fruit from the short-distance production area (H1) than in fruit from the long-distance area (H2). A higher decrease in L^* value was found in fruit from the short-distance production area (H1). Constant temperature (20 °C) slowed down the decrease in L^* value of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun. Conversely, the L^* value of the fruit rapidly decreased in non-insulated boxes irrespective of the distance of the production area from the tarmac (Figure 7).

The a^* and b^* values of the peel of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit increased during storage regardless of the distance of the mango production area from the tarmac and the temperature difference experienced at the tarmac, as shown in Figure 6b,c. However, the values of a^* and b^* increased more rapidly in fruit from the long-distance production area (H2) than in fruit from the short-distance area (H1). The greater increase in the values of a^* and b^* observed in fruit from the long-distance production area (H2) could be due to longer time after harvest (70 h) resulting in higher temperature built up in the simulated boxes and a higher respiration rate. Constant temperature (20 °C) slowed down the increase in a^* and b^* values of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun, but was more effective in fruit from the short-distance production area (H1) than in fruit from the long-distance production area. Mango fruit peel in non-insulated boxes exposed to the sun turned red and yellow before fruits under constant and insulated conditions (Figure 7).

The L^* value of the flesh near the seed of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit decreased during storage regardless of the distance of the mango production area from the tarmac and the temperature difference experienced at the tarmac, as shown in Figure 6e. However, the L^* value of flesh decreased more rapidly in fruit from the long-distance production area than in fruit from the short-distance area. Constant temperature (20 °C) slowed down the decrease in the L^* value of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun (Figure 8).

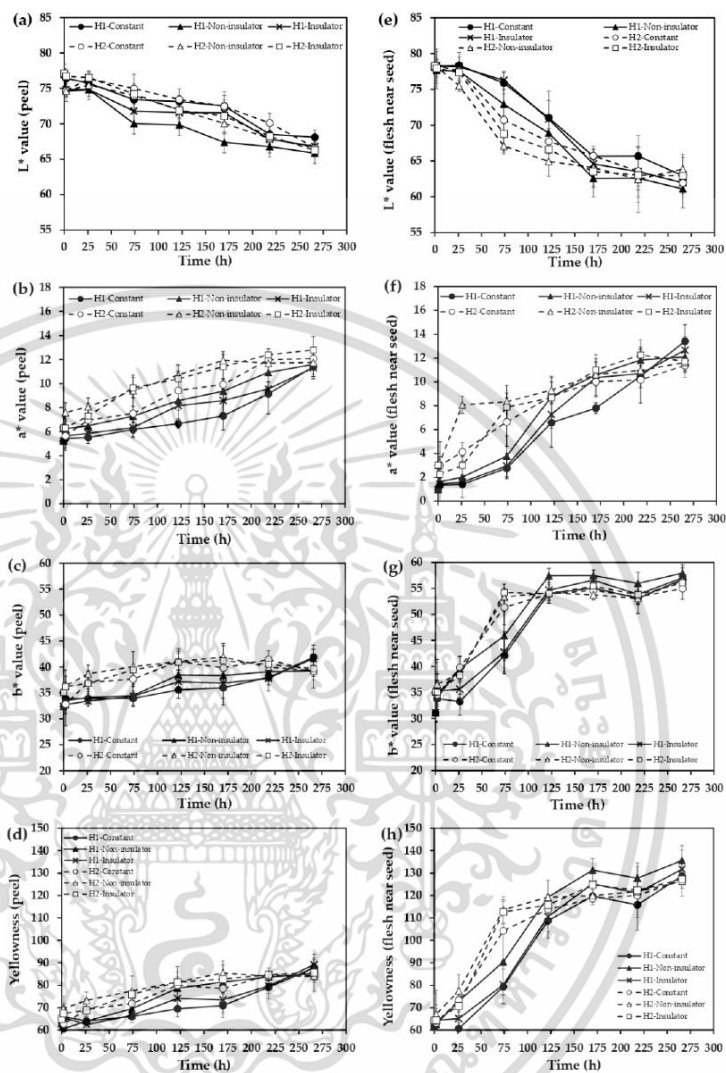


Figure 6. (a) L^* , (b) a^* , (c) b^* value, and (d) yellowness of the peel of mango fruits; (e) L^* , (f) a^* , (g) b^* value, and (h) yellowness of the flesh near the seed of mango fruits ('Nam Dok Mai Si thong') under constant, non-insulated, and insulated conditions during simulated handling at the tarmac. After simulated handling at the tarmac, mango fruits from the first and second harvest were transferred to 20 °C for 266 h. HI, first harvest; H2, second harvest. Vertical bars on the graph indicate S.D. ($n = 3$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Figure 7. Colour of the peel of mango fruits ('Nam Dok Mai Si Thong') from the (a) first harvest, and (b) second harvest under constant, non insulated, and insulated conditions during simulated handling at the tarmac. After simulated handling at the tarmac, mango fruits were transferred to 20 °C for 266 h.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Figure 8. Colour of the flesh near the seed of mango fruits ('Nam Dok Mai Si Thong') from the (a) first harvest and (b) second harvest under constant, non-insulated, and insulated conditions during simulated handling at the tarmac. After simulated handling at the tarmac, mango fruits were transferred to 20 °C for 266 h.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The a^* and b^* values of the flesh near the seed of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit increased during storage regardless of the distance of the mango production area from the tarmac and the temperature difference experienced at the tarmac, as shown in Figure 6f,g. However, the values of a^* , and b^* increased more rapidly in fruit from the long-distance production area than in fruit from the short-distance area. Constant temperature (20 °C) slowed down the increase in the a^* and b^* value of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun, but was more effective in fruit from the short-distance production area than in fruit from the long-distance production area. Mango fruit in non-insulated boxes exposed to the sun turned red and yellow on flesh near the seed before fruit under constant or insulated conditions.

The yellowness of peel and the flesh near the seed of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit increased during storage regardless of the distance of the mango production area from the tarmac and the temperature difference experienced at the tarmac, as shown in Figure 6d,h. However, the yellowness value increased more rapidly in fruit from the long-distance production area (H2) than in fruit from the short-distance area (H1). The greater increase in the yellowness of fruit from the long-distance production area could be due to the longer time after harvest (70 h) resulting in higher temperature built up in the simulated boxes. Constant temperature (20 °C) slowed down the increase in the yellowness of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun, but was more effective in fruit from the short-distance production area (H1) than in fruit from the long-distance production area (H2).

3.3.5. Visual Assessment

The peel colour of mangoes changes from light yellow in mature fruit to dark yellow or golden yellow in ripe mangoes. The visual score of yellowness increased steadily during storage, irrespective of the distance of the production area from the tarmac or the difference in temperature experienced at the tarmac, as shown in Figure 9a. Yellowness increased rapidly in fruit from the long-distance production area (H2) compared to in fruit from the short-distance production area (H1). Similarly, yellowness increased most rapidly under non-insulated conditions, followed by insulated and constant.

Shrivelling occurred earlier (75 h under constant conditions) in fruit from the long-distance mango production area (H2) compared to in fruit from the short-distance mango production area (H1) (125 h under constant conditions), as shown in Figure 9b. However, the signs of shrivelling developed in the following order: non-insulated, insulated, and constant conditions.

Decay tended to increase during storage, but it never attained the critical value of rejection (Figure 9c). However, the decay score was higher in fruit from the long-distance production area (H2) than in fruit from the short-distance production area (H1). Similarly, the score was lower under constant or insulated conditions than in non-insulated conditions.

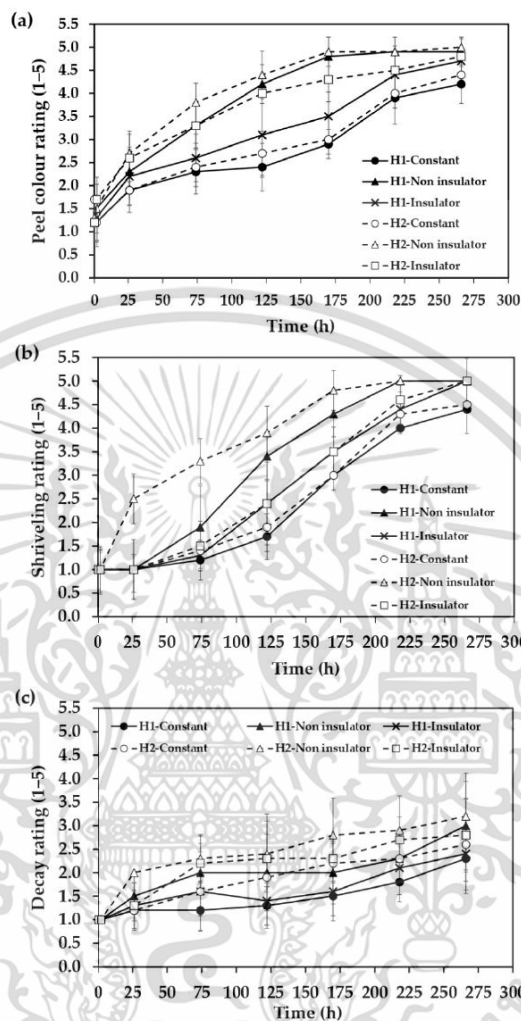


Figure 9. (a) Peel colour, (b) shrivelling, and (c) decay of mango fruits ('Nam Dok Mai Si thong') under constant, non-insulated, and insulated conditions during simulated handling at the tarmac. After simulated handling at the tarmac, mango fruits from the first and second harvest were transferred to 20 °C for 266 h. H1, first harvest; H2, second harvest. Vertical bars on the graph indicate S.D. (n = 10).

4. Discussion

4.1. Temperature and Relative Humidity Monitoring

Temperature is a critical factor for the postharvest shelf life and quality of mango fruit, and therefore, an effective cold chain is an integral part of the postharvest handling of perishable fruits. This is more important when perishable produce is shipped to far distant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

markets. However, the cold chain is interrupted for a few to several hours at the tarmac of the airport, causing irreparable damage to the produce. Insulating the mango boxes with polystyrene fibre was shown to be effective at reducing the temperature built up by 8.8 °C (H1) and by 3.8 °C (H2) when exposed to the sun for 2 h. The reduction in temperature was more prominent in from the short-distance production area (H1) than in fruits from the long-distance production area (H2). The length of time following harvest in fruits from the long-distance production area (H2) could have triggered higher respiration, resulting in higher temperature being built up in the boxes.

These results are consistent with a report by Pelletier et al. [16], who stated that this results in an increase in the average internal temperature of the product to 13 °C. Our data are also consistent with the report of Bollen and others [41], who measured the temperature inside pallets of asparagus sent by air from Auckland to Tokyo. The temperature of the asparagus jumped from 4 °C to 14 °C within 30 min of ground operations in Auckland. Additionally, during the loading and unloading of the aircraft from South Africa to Spain, Abad et al. [42] reported that the temperature in fresh fish increased by 5 °C. In addition, Pelletier et al. [43] reported an increase in temperature from 6 °C to approximately 9–16 °C on each side of the ULD wall when the instrumented container was on the tarmac for 1 h 50 min.

4.2. Shelf Life

The long shelf life of mango fruit is one of the most important characteristics that are desirable for commercial purposes. Insulation of mango with polystyrene fibre was effective for extending the marketable shelf life of mango fruits by 48 h. The effectiveness of LDPE and constant temperature (20 °C) and LDPE and insulation is unaffected by short (H1) or long distance (H2), with shelf life increasing by 48 h in either case. This clearly proves that use of LDPE and insulation in ULD negates the negative impact of abusive temperature conditions on the tarmac during air freight handling. Insulation lowers the temperature in the box, which inhibits respiration and slows weight loss, resulting in longer shelf life for the fruit. However, the benefit is much higher when the mango production area is close to the airport. The results of the present study parallel those reported by Nunes et al. [13], who reported that papayas handled under semi-constant temperature regimes had a longer shelf life than papayas handled in regimes with fluctuating temperatures. Similarly, strawberries that had spent a 10 h in a fluctuating-temperature regime were deemed unmarketable prior to retail, whereas those stored at a semi-constant temperature (10 h continuously at 3 °C) were still acceptable after 24 h in the retail display [44]. This is also consistent with the results of studies on Snap beans, where those subjected to fluctuating temperature were considered unmarketable prior to exposure to retail conditions, while those subjected to a constant temperature treatment were no longer acceptable only after spending 24 h in the retail display [45].

4.3. Quality Assessment

4.3.1. Weight Loss

The primary predictor of mango fruit quality and storage time is weight loss, which is correlated to the respiration rate and transpiration of the fruit [46]. Temperature is a critical factor influencing weight loss in fruits. Constant temperature (20 °C) effectively slowed down weight loss because of the lower temperature, probably by inhibiting respiration, although H1 and H2 responded differently. A higher effectiveness was found in H1 than in H2, in which the fruits were from the long-distance production area. Similarly, insulated boxes were highly effective at slowing down weight loss compared to non-insulated boxes, but were more effective in fruit from the long-distance production area than in fruit from the short-distance production area. The insulated boxes may have been more effective for H1 (28 °C) than H2 (34.2 °C) because of the lower temperature in H1 and the more physiologically mature fruits (72 h after harvest) in H2 compared to in H1 (53 h). The

amount of time after harvesting and lower temperatures during transit are critical to reducing weight loss in fruits.

The results obtained for weight loss in mango are in agreement with the values previously reported by Nunes and Emond. They reported that weight loss of 'Tommy Atkins' and 'Palmer' mangoes stored at 20 °C reached about 1.5% of the fruit's initial weight after 2 days, and weight loss reached about 4.0% of the fruit's initial weight after 5 days [47]. In addition, Noiwan et al. reported weight loss of around 12% in 'Nam Dok Mai Si Thong' mango stored at 20 °C for 12 days and stored at 34 °C for 5 days [8]. Weight loss in fresh fruits and vegetables is mostly caused by water loss from transpiration and respiration processes [48]. Water loss is another important element affecting mango fruit quality [49].

4.3.2. Firmness

The firmness of fruit is an essential quality parameter, and delaying the decrease in firmness increases the shelf life of fruit. The greater decrease in firmness found in fruit from the long-distance production area (H2) could be due to longer time after harvest (70 h after harvest and simulated airport handling treatment) resulting in a higher temperature being built up in the simulated boxes, and probably a higher respiration rate.

Insulated boxes were highly effective at decreasing firmness compared to non-insulated boxes, but this was more pronounced in fruit from the short-distance production area than in fruit from the long-distance production area. This is consistent with reports from previous studies, with Nunes et al. [13] observing that the firmness of papaya stored at a semi-constant temperature was more acceptable than papaya subjected to fluctuating cold and fluctuating warm temperature regimes during simulated handling. Jha et al. [50] reported that the peel firmness of mango cultivars varied from the initial level of 13.4–27.1 N to 3.9–24.5 N during the ripening period of 10 days. Yasunaga et al. [7] reported that the mango 'Nam Dok Mai' softened during storage following the actual distribution temperature profile from Thailand to Japan.

The higher increase in toughness observed in fruit from the long-distance production area could be due to the longer time after harvest (70 h after harvest and simulated airport handling treatment) resulting a higher temperature being built up in the simulated boxes, as well as a higher respiration rate. Constant temperature (20 °C) slowed down the increase in peel toughness of the fruit compared with insulated and non-insulated boxes exposed to the sun, but this was more pronounced in fruit from the short-distance production area than in fruit from the long-distance production area. Peel toughness increases during storage, as reported by Jha et al. [50]. In general, the peel toughness of early-harvested mangoes was found to be higher throughout the ripening period in all cultivars. This increase in the first days of ripening could be explained by differences in maturity and ripeness [51].

The destructive assessment of the fruit clearly showed the same trend as revealed by the non-destructive assessment in the case of peel firmness, rupture force, and initial and average firmness, but contradicted those results in the case of peel toughness. Decreased firmness in mango fruits has been reported by Noiwan et al. [8], who described a loss of firmness in mango from about 48 N on the initial day of storage to approximately 10 N within 4 days of storage at 20 °C. Similar findings have been reported by Jha et al. [50], Ketsa et al. [52], Nadeem et al. [53]. The decrease in firmness is caused by the degradation of cell wall constituents and polysaccharides caused by the action of polygalacturonase and pectin esterase on the solubilization of pectin substrates [54–56]. Fruit firmness is an essential factor for the postharvest fruit quality [11]. The shelf life and supply chains of mango fruit are significantly shortened by accelerated ripening and softness. The genetically intricate process of mango fruit ripening is brought on by an increase in ethylene production and respiration rate [57].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3. Total Soluble Solids (TSS), Acidity, and pH

Mango fruit ripening is associated with an increase in TSS, a decrease in acidity, and an increase in pH. Mango cv. Nam Dok Mai Si Thong also follows the same trend, and these behaviours were observed in fruit from both the short-distance production area and the long-distance production area. However, early increases were observed in fruit from the long-distance production area and fruits that were not insulated. The higher increase in the TSS of fruit from the long-distance production area could be due to the longer time after harvest (70 h) resulting in higher temperature being built up in the simulated boxes and a higher respiration rate. Increased TSS in mango fruits has also been reported by Noiwan et al. [8]. In addition, Yasunaga et al. [7] reported that the TSS of the 'Nam Dok Mai' mango from Phitsanulok fruit after distribution increased by about 1.8 times compared to the fruits after harvest, but that it gradually decreased with time, in a manner dependent on the storage temperature. A mango's TSS initially increases, then decreases, and finally reaches a stage of full senescence [58].

The acidity of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit decreases gradually during storage and is not influenced by the distance of the production area from the tarmac, temperature, or insulation. Decreased acidity during fruit ripening is connected to the transformation of organic acids into sugars [59]. Due to the conversion of citric acid into sugars and their subsequent usage in the fruit's metabolism, particularly during the respiration process, the concentration of organic acids in ripe mango fruits decreases throughout ripening [8,60].

The pH of 'Nam Dok Mai Si Thong' mango fruit increased during storage as the fruit ripened, and was influenced by the distance from the production area (70 h), but not by temperature or insulation. These results are consistent with those presented in a report by Islam et al. [61].

4.3.4. Colour

The colour of Nam Dok Mai Si Thong mango fruit is the most critical characteristic in consumers' eyes, and the development of colour increases with ripening. The decrease in L^* value was greater in fruit from the short-distance production area (H1), whereas the values of a^* and b^* increased in fruit from both the short- and long-distance production areas (H2). The yellowness of Nam Dok Mai Si Thong is influenced by the increase in b^* , which was observed in more mature fruits. During mango fruit ripening, mango fruits gather phenolic and carotenoid chemicals [62]. Carotenoids are the main pigments responsible for the yellow-to-orange colour of mature mango fruit [63]. The values of L^* , a^* , and b^* were consistent with those reported by Noiwan et al. [8], Nunes et al. [40], Nadeem et al. [53]. Changes in the colour of the mango peel occur because of both chlorophyll degradation and carotenoid synthesis during ripening [64].

One of the most accurate measures of maturity or ripeness is the colour of the flesh. The L^* value decreased and the a^* and b^* values of the flesh increased irrespective of the distance of the production area from the tarmac and the temperature. Unlike in peel, flesh colour in fruit from the long-distance production area showed a decrease in L^* value but an increase in a^* and b^* values. The yellow flesh colour starts to appear from the seed out as the fruit matures more. Following harvest, the mango ripens, and more of the interior is covered in a deeper shade of colour. The spectrum of colours varies by cultivar [65].

4.3.5. Visual Assessment, Shrivelling and Decay

The colour of mango peel has a significant impact on how appealing it is to consumers, because fruit with more red blush and no green tint is frequently more expensive or easier to sell [66]. Yellowness increased earlier in fruit from the long-distance production area (H2) than in fruit from the short-distance production area (H1), which was similar to the colour estimation, suggesting that both techniques provide similar outcomes. Therefore, in the present study, the yellow colour observed in the mango fruit exposed without insulation to $36.9 \pm 3.2^\circ\text{C}$ (H1) and $38.0 \pm 1.3^\circ\text{C}$ (H2) for 2 h during simulated airport operations and flight may have been a result of the exposure to high temperature during the handling of the

mango. Shrivelling occurred earlier in fruit from the long-distance production area (H2) and in non-insulated boxes exposed to the sun, which could be due to the higher temperature built up during the simulation. Interestingly, decay at critical value for rejection was not attained by any of the treatments. However, decay occurs more in mangoes subjected to a fluctuating regime than those at constant temperature. Nunes and Emond previously reported that the storage of mangoes under fluctuating temperatures during handling could cause water condensation on commodity surfaces, potentially increasing the development of decay due to fungal and bacterial pathogens [22]. This is consistent with the findings presented in the study by Nune et al. [18], which found that papayas handled in fluctuating temperature regimes developed an objectionable colour, were more shrivelled, and had more decay than papayas handled under semi-constant temperature regimes.

5. Conclusions

The results of this study indicate that the temperature at the tarmac and the distance of mango production area from the tarmac significantly affect the quality of mango fruit. Exposure to high temperatures for a short period of 2 h resulted in a reduction in shelf life, accelerated weight loss, decreased fruit firmness, etc. In addition, it proved that high temperature, which is frequently encountered during air cargo handling, can cause loss of quality. This could result in a significant amount of mango fruit being rejected upon arrival at the destination, even if the exposure to the abusive temperature at the tarmac is of short duration (i.e., 2 h at more than 36 °C). However, this research also showed that the insulation of mango fruit boxes with polystyrene fibre mitigates the deleterious effect of exposure to 2 h direct sun by reducing the temperature increase, thus extending the shelf life and quality of mango fruit. Shelf life was increased by 48 h under both insulated and constant conditions in fruit from both the short- and long-distance production areas. Insulation was also effective at delaying fruit weight loss, delaying the decrease in fruit firmness, delaying the decrease in rupture force, and maintaining the yellow colour of the peel and pulp. This paper also provided support for the advantageous nature of locating mango production areas close to an airport.

Author Contributions: Conceptualization, P.P. and P.S.; methodology, K.S., P.P., P.S. and N.C.; software, T.P. and S.R.; validation, U.K.P., P.P. and P.S.; formal analysis, K.S. and P.M.; investigation, K.S.; resources, P.P. and P.S.; data curation, K.S., C.C. and P.M.; writing—original draft preparation, K.S.; writing—review and editing, U.K.P. and W.K.; visualization, K.S.; supervision, P.P.; project administration, K.S.; funding acquisition, P.P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was financially supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: We would like to acknowledge Program Management Unit for Competitiveness (PMUC), Office of National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council, Thailand and, AOT TAEA Operator Company Limited. This research project was supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

References

- Baldwin, E.A.; Burns, J.K.; Kazokas, W.; Brecht, J.K.; Hagenmaier, R.D.; Bender, R.J.; Pesis, E. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biol. Technol.* **1999**, *17*, 215–226. [[CrossRef](#)]
- Javed, S.; Fu, H.; Ali, A.; Nadeem, A.; Amin, M.; Razaq, K.; Ullah, S.; Rajwana, I.A.; Nayab, S.; Ziogas, V.; et al. Comparative Response of Mango Fruit towards Pre- and Post-Storage Quarantine Heat Treatments. *Agronomy* **2022**, *12*, 1476. [[CrossRef](#)]

3. Win, S.T.; Seta, S. Enhancement of Anti-Inflammatory and Antioxidant Activities of Mango Fruit by Pre- and Postharvest Application of Salicylic Acid. *Horticulturae* **2022**, *8*, 555. [CrossRef]
4. Tharanathan, R.N.; Yashoda, H.M.; Prabha, T.N. Mango (*Mangifera indica* L.), “The King of Fruits”—An Overview. *Food Rev. Int.* **2006**, *22*, 95–123. [CrossRef]
5. Department of Agricultural Extension, Thailand. Mango Statistic. Available online: <https://production.doae.go.th/service/> (accessed on 5 September 2022).
6. Tangpao, T.; Phuangsaujai, N.; Kittiwachana, S.; George, D.R.; Krutmuang, P.; Chuttong, B.; Sommano, S.R. Evaluation of Markers Associated with Physiological and Biochemical Traits During Storage of ‘Nam Dok Mai Si Thong’ Mango Fruits. *Agriculture* **2022**, *12*, 1407. [CrossRef]
7. Yasunaga, E.; Fukuda, S.; Takata, D.; Spreer, W.; Sardud, V.; Nakano, K. Quality Changes in Fresh Mango Fruits (*Mangifera indica* L. ‘Nam Dok Mai’) Under Actual Distribution Temperature Profile from Thailand to Japan. *Environ. Control Biol.* **2018**, *56*, 45–49. [CrossRef]
8. Noiwan, D.; Suppakul, P.; Joomwong, A.; Uthaibutra, J.; Rachtanapun, P. Kinetics of mango fruits (*Mangifera indica* cv. ‘Nam Dok Mai Si Thong’) quality changes during storage at various temperatures. *J. Agric. Sci.* **2017**, *9*, 199–212. [CrossRef]
9. Chimvaree, C.; Cumsingnok, T.; Wongs-Aree, C.; Supapvanich, S.; Charoenrat, T.; Tepsorn, R.; Boonyaritthongchai, P. Substrate reactivity of polyphenol oxidase and browning inhibition of fresh-cut ‘Nam Dok Mai Si-Thong’ mangoes by protein-based sericin coating. *Hortic. J.* **2020**, *89*, 537–544. [CrossRef]
10. Kader, A.A. Quality and safety factors: Definition and evaluation for fresh horticultural crops. In *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, 2nd ed.; Kader, A.A., Ed.; University of California Agriculture and Natural Resources: Davis, CA, USA, 1992; pp. 185–189.
11. Himmam, I.; Zaid, N.; Mandouh, B.; Abdallatif, A.; Abd-Elfattah, M.; Ali, M. Storage Behavior of “Seddik” Mango Fruit Coated with CMC and Guar Gum-Based Silver Nanoparticles. *Horticulturae* **2021**, *7*, 44. [CrossRef]
12. Koivaniit, J.; Riensuwam, F.; Palungpaiboon, P.; Pornchaloempong, P. Business viability and carbon footprint of Thai-grown *Nam Dok Mai* mango powdered drink mix. *J. Clean. Prod.* **2020**, *254*, 119991. [CrossRef]
13. Nunes, M.C.N.; Emond, J.P.; Brecht, J.K. Brief deviations from set point temperatures during normal airport handling operations negatively affect the quality of papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* **2006**, *41*, 328–340. [CrossRef]
14. Laurin, E.; Nunes, M.C.N.; Brecht, J.K. Quality of Strawberries after Simulated Air Freight Conditions. *Acta Hortic.* **2003**, *604*, 659–664. [CrossRef]
15. Brecht, J.K.; Chau, K.V.; Fonseca, S.C.; Oliveira, F.A.R.; Silva, F.M.; Nunes, M.C.N.; Bender, R.J. Maintain optimal atmosphere condition for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. *Postharvest Biol. Technol.* **2003**, *27*, 87–101. [CrossRef]
16. Pelletier, W.; Nunes, M.C.N.; Emond, J.-P. Air transportation of fruits and vegetables: An update. *Stewart Postharvest Rev.* **2005**, *7*, 1–9. [CrossRef]
17. Mercier, S.; Villeneuve, S.; Mondor, M.; Uysa, I. Time–Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2017**, *16*, 647–667. [CrossRef]
18. Pelletier, W. Air Transport of Horticultural Products: A Thermal Analysis. Ph.D. Thesis, University of Florida, Gainesville, FL, USA, 2010.
19. Villeneuve, S.; Mercier, F.; Pelletier, W.; Ngadi, M.O.; Emond, J.P. Effect of environmental conditions on air shipment of perishables during ground operations. In Proceedings of the ASAE Annual International Meeting, Technical Papers: Engineering Solutions for A New Century, Milwaukee, WI, USA, 9–12 July 2000; Volume 2, pp. 599–609.
20. Villeneuve, S.; Ngadi, M.O.; Emond, J.-P. Heat transfer in air cargo unit load devices. *Acta Hortic.* **2001**, *566*, 245–250. [CrossRef]
21. IATA. *Perishable Cargo Regulations*, 9th ed.; CITES—International Air Transportation Association: Montreal, QC, Canada; Geneva, Switzerland, 2009.
22. Nunes, M.C.N.; Emond, J.-P. Quality of strawberries after storage in constant or fluctuating temperatures. In Proceedings of the 20th International Congress on Refrigeration, Sydney, Australia, 19–24 September 1999. Paper No. 205.
23. Al-Dairi, M.; Pathare, P.B.; Al-Yahyai, R. Chemical and nutritional quality changes of tomato during postharvest transportation and storage. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* **2021**, *20*, 401–408. [CrossRef]
24. Cheroni, K.; Workneh, T.S. A review of the role of transportation on the quality changes of fresh tomatoes and their management in South Africa and other emerging markets. *Int. Food Res. J.* **2018**, *25*, 2211–2228.
25. Al-Dairi, M.; Pathare, P.B.; Al-Yahyai, R. Effect of Postharvest Transport and Storage on Color and Firmness Quality of Tomato. *Horticulturae* **2021**, *7*, 163. [CrossRef]
26. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand. Thai Agricultural Standard: Mangoes. Available online: <https://www.acfs.go.th/standard/download/eng/Mango.pdf> (accessed on 5 September 2022).
27. Pattanavongngam, S. Managing to Reduce the Risk of Mango Harvest and to Make the Value of Integrated Agro-Tourism: A Case Study of Mango Orchard Entrepreneurs in Chachoengsao, Thailand. In Proceedings of the IAFOR International Conference on Sustainability, Energy & the Environment—Hawaii 2018, Honolulu, HI, USA, 4–6 January 2018.
28. Somsena, P.; Mikhama, K.; Borisudthi, Y. Mango and COVID-19: The impact on and coping of Namdokmai Sithong mango export farmers in Khon Kaen, Thailand during the pandemic of COVID-19. *For. Soc.* **2021**, *5*, 421–437. [CrossRef]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29. European Commission Directorate-General for Health and Food Safety. Final Report Ofan Audit Carried Out in Thailand from 02 March 2020 to 13 March 2020 in Order to Evaluate the System of Official Controls for the Export of Plants and Plant Products to the European Union. Available online: https://ec.europa.eu/food/audits-analysis/act_getPDF.cfm?PDF_ID=15021 (accessed on 5 September 2022).
30. Sivakumar, D.; Jiang, Y.; Yahia, E.M. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. *Food Res. Int.* **2011**, *44*, 1254–1263. [CrossRef]
31. Shah, S.; Hashmi, M.S. Chitosan–aloe vera gel coating delays postharvest decay of mango fruit. *Hortic. Environ. Biotechnol.* **2020**, *61*, 279–289. [CrossRef]
32. Penchaiya, P.; Tijssens, L.M.M.; Uthairatanakij, A.; Srilaong, V.; Tansakul, A.; Kanlayanarat, S. Measurement of mango firmness by non-destructive limited compression technique. *Acta Hort.* **2015**, *1088*, 73–78. [CrossRef]
33. Sirisomboon, P.; Pornchaloempong, P. Instrumental Textural Properties of Mango (cv Nam Doc Mai) at Commercial Harvesting Time. *Int. J. Food Properties* **2011**, *14*, 441–449. [CrossRef]
34. Xu, S.; Lu, H.; Wang, X.; Ference, C.M.; Liang, X.; Qiu, G. Nondestructive Detection of Internal Flavor in ‘Shatian’ Pomelo Fruit Based on Visible/Near Infrared Spectroscopy. *HortScience* **2021**, *56*, 1325–1330. [CrossRef]
35. AOAC; Horwitz, W.; Latimer, G.W.; Clark, D.H. Chapter 37. Fruits and Fruit Products. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, MD, USA, 2006; pp. 37–39. ISBN 0935584773.
36. Medina-Rendon, E.A.; Guatemala-Morales, G.M.; Padilla-Camberos, E.; Corona-González, R.I.; Arriola-Guevara, E.; Garcia-Fajardo, J.A. Production of Extrudate Food with Mango By-Products (*Mangifera indica*): Analysis of Physical, Chemical, and Sensorial Properties. *Processes* **2021**, *9*, 1660. [CrossRef]
37. Francis, F.J.; Clydesdale, F.M. *Food Colorimetry: Theory and Applications*; The Avi Publishing Company, Inc.: Westport, CT, USA, 1975; ISBN 0870551833.
38. Jacobi, K.K.; Macrae, E.A.; Hetherington, S.E. Early detection of abnormal skin ripening characteristics of ‘Kensington’ mango (*Mangifera indica* Linn). *Sci. Hortic.* **1998**, *72*, 215–225. [CrossRef]
39. Quintana, M.E.G.; Paull, R.E. Mechanical injury during postharvest handling of ‘solo’ papaya. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **1993**, *118*, 618–662. [CrossRef]
40. Nunes, M.C.N.; Emond, J.P.; Brecht, J.K.; Dea, S.; Proulx, E. Quality curves for Mango Fruit (cv. Tommy Atkins and Palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures. *J. Food Qual.* **2007**, *30*, 104–120. [CrossRef]
41. Bollen, A.F.; Brash, D.W.; Bycroft, B.L. Air-freight cool chain improvements using insulation and supplemental cooling. *Appl. Eng. Agric.* **1998**, *14*, 49–53. [CrossRef]
42. Abad, E.; Palacio, F.; Nuin, M.; Gonzalez de Zarate, A.; Juarros, A.; Gomez, J.M.; Marco, S. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. *J. Food Eng.* **2009**, *93*, 394–399. [CrossRef]
43. Pelletier, W.; Chau, K.V.; Bucklin, R.A.; Brecht, J.K.; Hahn, D.W.; Emond, J.-P. Analysis of air cargo temperature variations during transport operations. *Trans. ASABE* **2018**, *61*, 723–732. [CrossRef]
44. Nunes, M.C.N.; Emond, J.P.; Brecht, J.K. Quality of strawberries as affected by temperature abuse during ground, in-flight and retail handling operations. *Acta Hort.* **2003**, *604*, 239–246. [CrossRef]
45. Nunes, M.C.N.; Emond, J.-P.; Brecht, J.K. Temperature abuse during ground and in-flight handling operations affects quality of snap beans (Abstr). *HortScience* **2001**, *36*, 510.
46. Cosme Silva, G.M.; Silva, W.B.; Medeiros, D.B.; Salvador, A.R.; Cordeiro, M.H.M.; da Silva, N.M.; Santana, D.B.; Mizobutsi, G.P. The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. Cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chem.* **2017**, *237*, 372–378. [CrossRef]
47. Nunes, C.N.; Emond, J.-P. Relationship between Weight Loss and Visual Quality of Fruits and Vegetables. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* **2007**, *120*, 235–245.
48. Zhu, X.; Wang, Q.; Cao, J.; Jiang, W. Effects of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruit. *J. Food Process. Preserv.* **2008**, *32*, 770–784. [CrossRef]
49. Tangpao, T.; Kumpoun, W.; Withee, P.; Cheewangkoon, R.; Sommano, S.R. Usages of Thai basil oil vapour in controlling *Colletotrichum* sp. in postharvest storage of ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mangoes. *Acta Hort.* **2022**, *1336*, 221–228. [CrossRef]
50. Jha, S.N.; Jaiswal, P.; Narsaiah, K.; Kaur, P.P.; Singh, A.K.; Kumar, R. Textural properties of mango cultivars during ripening. *J. Food Sci. Technol.* **2011**, *50*, 1047–1057. [CrossRef]
51. Jha, S.N.; Matsuoaka, T. Determination of post-harvest storage life of tomato fruits. *J. Food Sci. Technol.* **2005**, *42*, 526–529.
52. Ketsa, S.; Chidtragool, S.; Klein, J.D.; Lurie, S. Effect of heat treatment on changes in softening, pectic substances and activities of polygalacturonase, pectinesterase and β -galactosidase of ripening mango. *J. Plant Physiol.* **1998**, *153*, 457–461. [CrossRef]
53. Nadeem, A.; Ahmed, Z.F.R.; Hussain, S.B.; Omar, A.E.-D.K.; Amin, M.; Javed, S.; Ali, A.; Ullah, S.; Razzaq, K.; Rajwana, I.A.; et al. On-Tree Fruit Bagging and Cold Storage Maintain the Postharvest Quality of Mango Fruit. *Horticulturae* **2022**, *8*, 814. [CrossRef]
54. Ali, Z.M.; Chin, L.; Lazan, H. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruit. *Plant Sci.* **2004**, *167*, 317–327. [CrossRef]
55. Tagher, F.; Reicher, F.; Ganter, J.L.M.S. Structural and rheological properties of polysaccharides from mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Int. J. Biol. Macromol.* **2002**, *31*, 9–17. [CrossRef]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

56. Yashoda, H.M.; Prabha, T.N.; Tharanathan, R.N. Mango ripening—Role of carbohydrases in tissue softening. *Food Chem.* **2007**, *102*, 691–698. [CrossRef]
57. Bambalele, N.L.; Mditshwa, A.; Magwaza, L.S.; Tesfay, S.Z. Recent Advances on Postharvest Technologies of Mango Fruit: A Review. *Int. J. Fruit Sci.* **2021**, *21*, 565–586. [CrossRef]
58. Tefera, A.; Seyoum, T.; Woldetsadik, K. Effect of disinfection, packaging, and storage environment on the shelf life of mango. *Biosyst. Eng.* **2007**, *96*, 201–212. [CrossRef]
59. Anthon, G.E.; LeStrange, M.; Barrett, D.M. Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* **2011**, *91*, 1175–1181. [CrossRef]
60. Hernández, Y.; Lobo, M.G.; González, M. Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chem.* **2006**, *96*, 654–664. [CrossRef]
61. Islam, M.K.; Khan, M.Z.H.; Sarkar, M.A.R.; Yeasmin, S.; Ali, M.K.; Uddin, M.H. Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit affected by different levels of gibberellic acid during storage. *Malays. J. Anal. Sci.* **2013**, *17*, 499–509.
62. Palafox-Carlos, H.; Yahia, E.; Islas-Osuna, M.A.; Guiterrez-Martinez, P.; RoblesSanchez, M.; Gonzalez-Aguilar, G.A. Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Sci. Hortic.* **2012**, *135*, 7–13. [CrossRef]
63. Romainum, I.M.; Worarad, K.; Srilaong, V.; Yamane, K. Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars. *Agric. Nat. Resour.* **2018**, *52*, 208–214. [CrossRef]
64. Medlicott, A.P.; Bhogal, M.; Reynolds, S.B. Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). *Ann. Appl. Biol.* **1986**, *109*, 551–656. [CrossRef]
65. The National Mango Board. Mango Handling and Ripening Protocol. Page 5. Available online: https://www.mango.org/wp-content/uploads/2017/10/Mango_Handling_and_Ripening_Protocol_Eng.pdf (accessed on 5 September 2022).
66. Saks, Y.; Hofman, P.J.; Meiburg, G.F. Potential for improvement of mango skin color during storage. *Acta Hortic.* **1999**, *485*, 325–329. [CrossRef]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายไกรสุวิทย์ ศรีสวัสดิ์
 วัน เดือน ปีเกิด 28 กรกฎาคม 2529
 ที่อยู่ 101/1605 ม.7 แขวงลำผักชี เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร
 E-mail: kraisuwit@gmail.com

ประวัติการศึกษา

2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2562 – ปัจจุบัน FACTory Classroom
 ตำแหน่งนักวิจัย
 -วิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และผลิตภัณฑ์ขนม
 -โครงการ "การจัดการระบบโซ่ความเย็นและการกระจายอุณหภูมิในระบบโลจิสติกส์เพื่อสร้างมาตรฐานรับรองการขนส่งผลิตภัณฑ์พรีเมียมทาอากาศ" [2565-2566]
 -โครงการ “ชุดโรงงานพร้อมเครื่องจักรแปรรูปผลไม้ตัวต่อเพื่อธนาคารผลไม้เคลื่อนที่” (เอกสารการผลิต, การควบคุมคุณภาพ และเอกสารสนับสนุนอื่นๆ สำหรับการตรวจสอบย้อนกลับ) [2563-2564]
 -ผู้บรรยาย : Food law and regulations, Production and Quality Manual et.al.

พ.ศ. 2555 – 2561 CPRAM Co., Ltd.
 ตำแหน่ง ผู้ช่วยผู้จัดการแผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้ก
 -พัฒนาผลิตภัณฑ์เค้ก ตั้งแต่ห้องปฏิบัติการจนถึงผลิตเพื่อจำหน่าย
 - Internal auditor ISO 9000&22000

พ.ศ. 2554 – 2555 Tipco F&B Co., Ltd.
 ตำแหน่ง Production Supervisor
 -ควบคุมและติดตามกระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้และธัญพืชทั้งหมด เช่น การเตรียมวัตถุดิบ (ส่วนผสม สารสกัดเข้มข้น และบรรจุภัณฑ์) ผลิตภัณฑ์ผสม ผลิตภัณฑ์สเตอริไรส์ ผลิตภัณฑ์บรรจุ และบรรจุ จนถึงคลังสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พ.ศ. 2553 – 2554 Leeman International Co., Ltd
 ตำแหน่ง Production Supervisor
 -ควบคุมและตรวจสอบกระบวนการทั้งหมดสำหรับผักและผลไม้สด ตัดแต่ง
 และแช่แข็ง

ผลงานทางวิชาการ

- พ.ศ. 2552 Pornchaloempong, P., Teptakhob, K., Lertamondireak, K. and Srisawat, K. (2009). "Process development of premium quality canned Thai red curry paste." **5th International Technical Symposium on Food Processing, Monitoring Technology in Bioprocesses and Food Quality Management.** Potsdam, Germany
- พ.ศ. 2565 Srisawat, K., Sirisomboon, P., Pun, U.K., Krusong, W., Rakmae, S., Chaomuang, N., Mawilai, P., Pongsuttiyakorn, T., Chookaew, C. and Pornchaloempong, P. (2022). "Temperature Difference in Loading Area (Tarmac) during Handling of Air Freight Operations and Distance of Production Area Affects Quality of Fresh Mango Fruits (*Mangifera indica* L. 'Nam Dok Mai Si Thong')." **Horticulturae.** 8: 1001.
- พ.ศ. 2565 Pornchaloempong, P., Sharma, S., Phanomsophon, T., Srisawat, K., Inta, W., Sirisomboon, P., Prinyawiwatkul, W., Nakawajana, N., Lapcharoensuk, R. and Teerachaichayut, S. (2022). "Non-Destructive Quality Evaluation of Tropical Fruit (Mango and Mangosteen) Purée Using Near-Infrared Spectroscopy Combined with Partial Least Squares Regression." **Agriculture.** 12: 2060.
- พ.ศ. 2566 O. Laguerre, S. Duret, N. Chaomuang, A. Denis, E. Derens-Bertheau, P. Mawilai, F.T. Ndoeye, T. Pongsuttiyakorn, S. Rakmae, K. Srisawat, P. Sirisomboon, P. Pornchaloempong. (2023). "Influence of long-distance air transport conditions on horticultural product quality: Case study of fresh mango shipment from Thailand to France." **International Journal of Refrigeration.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้