วิจัยและพัฒนาสถานภาพการเป็นพืชอาศัยและวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อน สำหรับกำจัดแมลงวันทองในผลมะนาวเพื่อการส่งออก
Development of Quarantine Heat Treatment to Disinfest the Oriental Fruit Fly in Lime Fruit for Export

สลักจิต พานคำ มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์ ชัยณรัตน์ สนศิริ
กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

บทคัดย่อ

ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการให้ความร้อนต่อคุณภาพผลมะนาว (*Citrus aurantifolia* Swing) โดยการอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำ โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปถึงระดับกำหนดอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน เฉพาะในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิผลมะนาวถึง 43°ซ.การอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มอุณหภูมิผลจากภายในสุดผลมะนาวถึง 46 และ 47 °ซ. เปรียบเทียบคุณภาพของมะนาวเมื่ออุณหภูมิภายในผลคงที่ 46 และ 47°ซ. นาน 1, 1:30 และ 2 ชั่วโมง

การสูญเสียน้ำหนัก ของมะนาวที่ผ่านความร้อนทั้งสองกรรมวิธีไม่แตกต่างทางสถิติกับมะนาวไม่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 46 °ซ. แต่ที่อุณหภูมิ 47 °ซ.การสูญเสียน้ำหนักแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของความเป็นกรดมะนาวที่ผ่านความร้อนทั้งสองกรรมวิธี พบว่าความเป็นกรดของมะนาวลดลง และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ กับมะนาวไม่ผ่านความร้อน การอบไอน้ำมะนาวด้วยการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธีไม่ทำให้เนื้อมะนาวเกิดความเสียหาย แต่การอบมะนาวโดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างช้าๆ พบว่ามะนาวเสียหายจากความร้อนโดยรวมจากอาการสีผิวเปลือกมะนาวจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองบางส่วนจนกระทั่งทั่วทั้งผล แต่วิธีการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 47 ° ซ. นาน 1:30 และ 2 ชั่วโมง มีแนวโน้มทำให้ผิวเปลือกมะนาวมีการขยายและหดตัวทำให้ผิวเปลือกเกิดรอยย่นยุบตัวลง รอยดังกล่าวจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงเทาดำ ซึ่งพบอาการนี้บางผลแต่ไม่รุนแรง การอบโดยวิธีเพิ่มระยะเวลาช้าหรือเร็วเกินไปมีผลกระทบต่อคุณภาพผิวเปลือกมะนาว ช่วงระยะเวลาในระหว่างการเพิ่มอุณหภูมิผลจากอุณหภูมิห้องถึง 43°ซ.มีความสำคัญมากในกระบวนการอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำ ถ้ามะนาวอยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิใช้เวลานานพอเหมาะจะกระตุ้นให้มะนาวสร้างความทนทานต่อความร้อน สามารถลดความเสียหายของมะนาวจากความร้อนได้ โดยทั่วไปมะนาวผ่านความร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น เมื่อพิจารณาข้อมูลจากงานวิจัยนี้ วิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อนกรรมวิธีอบไอน้ำโดยวิธีเพิ่มระยะเวลาช้า มีศักยภาพและ

รหัสการทดลอง 03-04-54-03-05-00-03-54

เหมาะสมกับมะนาวมากกว่าวิธีการเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นอย่างเร็ว แต่จะต้องปรับระยะเวลาช้าให้เร็วขึ้นกว่านี้เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอาการเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ดังนั้นจึงควรเลือกวิจัยพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อนกรรมวิธีอบไอน้ำ เพื่อการยอมรับเป็นวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืชสำหรับกำจัดแมลงวันผลไม้ในมะนาวก่อนส่งออกไปยังประเทศที่มีความเข้มงวดด้านกักกันพืช

คำนำ

วิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) เป็นวิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อน ซึ่งได้รับการพัฒนาเป็นวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช (plant quarantine treatment) และยอมรับจากหน่วยงานกักกันพืชของประเทศญี่ปุ่น สำหรับใช้กำจัดไข่และหนอนของแมลงวันทอง oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) และแมลงวันแตง melon fly, *B. cucurbitae* (Coquillett) ในผลมะม่วง (*Mangifera indica* Linn.) พันธุ์หนังกลางวัน น้ำดอกไม้ แรด พิมเสนแดง ก่อนส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศญี่ปุ่น (Unahawutti, 1991) นอกจากมะม่วงแล้ว มีรายงานว่าวิธีอบไอน้ำมีศักยภาพที่จะใช้กับการใช้วิธีอบไอน้ำมะละกอกำจัดแมลงวันผลไม้ โดยปรับกระบวนการให้ความร้อนกับมะละกอทำให้อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปอย่างช้าๆ ถึง 43.3 °ซ. ใช้ระยะเวลานาน 8 ชั่วโมง เป็นการวางแผนการอบมะละกอเพื่อวัตถุประสงค์ลดความเสียหายของมะละกอจากความร้อนในช่วงหลัง ซึ่งต้องคงความร้อนในผลมะละกอที่อุณหภูมิ 43.3° ซ. เป็นเวลานาน 8 : 45 ชั่วโมง (Seo et al., 1974) แต่อย่างไรก็ดี ในงานศึกษาวิจัยเบื้องต้นด้านความเสียหายของมะนาวจากความร้อน (fruit injury test) พบว่า วิธีการดังกล่าวนี้ไม่ทำให้มะนาวเกิดความเสียหาย โดยลักษณะความเสียหายที่สำคัญมีหลายอาการได้แก่ ผิวเปลือกเกิดรอยย่นยุบตัวลงในบางผล และสีผิวเปลือกมะนาวจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองบางส่วนจนกระทั่งเหลืองทั่วทั้งผล รวมถึงเกิดการสูญเสียกลิ่นหอมของผิวเปลือกมะนาว มีการศึกษาวิจัยหาวิธีลดความเสียหายของผลไม้จากความร้อน ความเสียหายจากอาการเนื้อนิ่มผิดปกติ (abnormal softening) ของมะละกอ (*Carica papaya* Linn.) ทำให้ลดลงหรือป้องกันได้โดยก่อนที่จะนำมะละกอไปผ่านความร้อนกำจัดศัตรูพืช เก็บมะละกอที่กำลังจะสุกไว้ที่อุณหภูมิ 42 ° ซ. นาน 4 ชั่วโมง หรือที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 35 ° ซ นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 22 ° ซ. นาน 3 ชั่วโมง (Paull and Chen, 1990) Chan and Linse (1989 a,b) พบว่า ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลแตง (*Cucumis sativa* Linn. Var. Burpee hubrid II') ด้วยวิธีจุ่มผลแตงในน้ำร้อน หากปรับสภาพผลแตงก่อนจุ่มในน้ำร้อนด้วยวิธีเก็บผลแตงไว้ที่อุณหภูมิ 32.5° ซ. เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จะกระตุ้นให้ผลแตงสร้างความทนทานต่อความร้อน ทำให้จุ่มผลแตงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 46° ซ. เป็นเวลานานถึง 50 นาที ซึ่งนานพอที่จะกำจัดแมลงวันผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ

เหตุผลของการเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานานถึง 8 ชั่วโมง นั้น เพื่อให้มะละกออยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงเป็นช่วงระยะเวลานานเพียงพอที่มะละกอจะสร้างความทนทานต่อความร้อน Sinclair and Lindgren (1955) ศึกษาความเสียหายของผลส้ม (*Citrus* spp.) จากความร้อนวิธีอบไอน้ำ โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีให้ความร้อน 2 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1 ให้ความร้อนกับผลไม้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึง 43.3° ซ. โดยใช้ระยะเวลานาน 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นควบคุมอุณหภูมิผลที่ระดับนี้เป็นเวลานาน 8 : 45 ชั่วโมง ส่วนกรรมวิธีที่ 2 อบผลไม้โดยหมุนเวียนอากาศร้อนที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูง 49 ° ซ. ทำให้ผลไม้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

จนกระทั่งอุณหภูมิภายในผลสูงถึง 48.5° ซ. ผลการทดลองพบว่า การอบไอน้ำโดยวิธีทำให้ผลไม้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปถึงกำหนดอย่างรวดเร็ว มักจะทำให้ส้มวาเลนเซีย (Valencia) และส้มเกรฟฟรุท (grapefruit) เสียหายรุนแรงกว่าการอบไอน้ำโดยวิธีทำให้อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ นอกจากนี้ Claypool and Vines (1956) รายงานผลการศึกษาวิจัยในลักษณะเดียวกันนี้ เมื่อทดลองอบไอน้ำกับผลไม้เขตหนาวหลายชนิด การอบไอน้ำโดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิของผลไม้ขึ้นไปอย่างรวดเร็วทำให้ผลไม้เกิดความเสียหายจากความร้อนมากกว่ากรรมวิธีเพิ่มอุณหภูมิของผลไม้ขึ้นไปอย่างช้าๆ รายงานผลการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาวิธีลดความเสียหายของมะนาวจากความร้อนวิธีอบไอน้ำ โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการให้ความร้อน (heating duration) ของวิธีอบไอน้ำ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะนาว

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. ตู้อบไอน้ำกำจัดแมลงขนาดเล็กสำหรับงานทดลองจำนวน 2 เครื่อง
2. ตู้ลดอุณหภูมิของผลไม้
3. เครื่องอ่างน้ำร้อน
4. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบต่อเนื่อง
5. ห้องเย็นสำหรับเก็บผลไม้สำหรับเก็บผลไม้ทดลอง
6. แท่งวัดอุณหภูมิขนาดเล็กสำหรับงานทดลอง
7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดผลไม้
8. ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับเก็บผลไม้ทดลอง ขนาดเล็ก โดยใช้อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์
9. ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับเก็บผลไม้ทดลอง ขนาดเล็ก 3 ตู้
10. ผลมะนาวทดลอง
11. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งสำหรับงานทดลอง
12. อุปกรณ์สำหรับใช้ในงานทดลอง ได้แก่ เครื่องแก้วต่างๆ จานทดลองขนาดเล็ก (plate) มีดปอกเปลือกผลไม้ หลอดดูดสารละลาย ถุงมือยาง ผ้าปิดปาก ถาดใส่ผลไม้ ถุงขยะดำ
13. อุปกรณ์ทำความสะอาดอื่นๆ

วิธีการ

ดำเนินการทดลองอบมะนาวโดยใช้เครื่องตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ “Sanshu” Vapor Heat Treatment System (Differential Pressure Type) (model: EHK-1000B, Sanshu Sangyo Co., Ltd., Kagoshima, Japan) จำนวน 2 เครื่อง มะนาวทดลองมีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 3-4 วัน ผลขนาดเล็ก น้ำหนัก 35-45กรัม/ผล จากแหล่งปลูกในท้องที่จังหวัด สมุทรสาคร เก็บมะนาวทั้งหมดในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (Thermo/humidity chamber) (model: STH-2, Sanshu Sangyo Co., Ltd., Kagoshima, Japan) อุณหภูมิ 27±1 °ซ. ความชื้นสัมพัทธ์ 75±1 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งนำมะนาวเข้าอบในเครื่องตู้อบความร้อน ดำเนินการอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำ ซึ่งมีกรรมวิธีการให้ความร้อนโดยเพิ่มอุณหภูมิผลมะนาวถึงระดับที่กำหนด 2 วิธี ดังรายละเอียดต่อไปนี้คือ วิธีที่ 1 อบมะนาวภายใต้สภาพอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิคงที่ (Constant temperature vapor

heat treatment, CONSTANT VHT) โดยอบมะนาวที่อุณหภูมิ 46 หรือ 47° ซ. จนกระทั่งอุณหภูมิภายในสูงสุดของผลมะนาว (Fruit center temperature) เพิ่มขึ้นถึง 46 หรือ 47° ซ. ตามลำดับ วิธีที่ 2 อบมะนาวภายใต้สภาพอากาศร้อนอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแต่ละระดับภายในช่วงเวลาที่กำหนด (stepped temperature vapor heat treatment, STEPPED VHT) อบมะนาวโดยอุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับขั้นดังนี้ จาก 30 °ซ. ถึง 35 °ซ. ภายในเวลา 30 นาที จาก 35 °ซ. ถึง 43 °ซ. ภายในเวลา 30 นาที จาก 43 °ซ ถึง 46 หรือ 47 °ซ. ภายในเวลา 10 นาที และอุณหภูมิคงอยู่ที่ 46 หรือ 47 °ซ. จนกระทั้งอุณหภูมิภายในสุดผลเพิ่มขึ้นถึง 46 หรือ 47 °ซ. ตามลำดับ

ทำการอบมะนาวทั้ง 2 วิธี พร้อมกันโดยแยกอบมะนาวแต่ละวิธีด้วยเครื่องตู้อบความร้อนวิธีละเครื่อง เปรียบเทียบคุณภาพผลมะนาวเมื่ออุณหภูมิภายในสูงสุดตรงบริเวณกึ่งกลางผลคงอยู่ที่ 46 และ 47 °ซ. เป็นระยะเวลานาน 1, 1:30 และ 2 ชั่วโมง โดยแต่ละอุณหภูมิและระยะเวลากำหนดมีมะนาวผ่านความร้อนแต่ละกรรมวิธีจำนวน 20 ผล สำหรับมะนาวที่ใช้เปรียบเทียบ (control) มีจำนวน 20 ผล ไม่ต้องผ่านความร้อน ดำเนินการทดลองอบมะนาวเปรียบเทียบกันแต่ละอุณหภูมิจำนวน 3 ครั้ง

วิธีวัดอุณหภูมิผลมะนาว จะวัดอุณหภูมิจากมะนาวกำหนดอุณหภูมิ (sensor fruit) จำนวน 3 ผล น้ำหนัก 40±1 กรัม/ผล ซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนที่จะแสดงอุณหภูมิผลมะนาวทั้งหมดภายในเครื่องตู้อบความร้อน โดยทำการวัดอุณหภูมิผลมะนาวตามรายละเอียดใน สลักจิตและคณะ (2555) เมื่อมะนาวกำหนดอุณหภูมิ 2 ผล เพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิกำหนด แสดงว่าขณะนั้นผลมะนาวทดลองทั้งหมดในเครื่องตู้อบความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกันกับมะนาวที่กำหนดอุณหภูมิ เมื่อมะนาวทดลองมีอุณหภูมิคงที่อยู่เป็นระยะเวลานานตามกำหนด นำมะนาวที่ระยะเวลานั้นออกจากเครื่องตู้อบความร้อนลดอุณหภูมิผลมะนาวทันทีหลังจากสิ้นสุดการให้ความร้อนโดยวิธีเป่าด้วยลมนาน 0:30 ชั่วโมง ในเครื่องลดอุณหภูมิผลไม้ “Sanshu” Shower Cooling System (Differential Pressure Type) (model: SHS-12, Sanshu Sangyo Co., Ltd., Kangoshima, Japan)

เก็บมะนาวทดลองทั้งหมดในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นนาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ. ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เปอร์เซ็นต์ และตรวจผลการทดลองตามรายละเอียดใน สลักจิตและคณะ (2555) การประเมินคุณภาพมะนาวใช้หลักเกณฑ์พิจารณาในหัวข้อต่างๆ ดังนี้คือ การสูญเสียน้ำหนัก ความเป็นกรด และระดับความเสียหายของมะนาวจากความร้อน ได้แก่ อาการสีผิวเปลือกมะนาวจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองบางส่วนจนกระทั่งเหลืองทั่วทั้งผล และผิวเปลือกมีการขยายและหดตัวทำให้ผิวเปลือกเกิดรอยย่นยุบตัวลงในบางผล โดยทำการตรวจสอบอาการสีผิวเปลือกมะนาวจากนั้นมะนาวที่เหลือจึงจะตรวจความเสียหายจากอาการอื่นๆ บันทึกจำนวนมะนาวที่แสดงความเสียหายจากอาการต่างๆ นำข้อมูล การสูญเสียน้ำหนัก และความเป็นกรด วิเคราะห์ทางสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีทดสอบแบบ T-test

เวลาและสถานที่

เวลา ตุลาคม 2555 ตุลาคม 2556

สถานที่ กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช
กรมวิชาการเกษตร ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิผลมะนาว ในระหว่างการทดลองอบมะนาวด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 เมื่ออบมะนาวให้อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้น 46 และ 47 °ซ. ตามลำดับ ตารางที่ 1 แสดงระยะเวลาที่อากาศร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 47 และ 48 °ซ. ในการอบมะนาวที่อุณหภูมิผล 46 และ 47 °ซ. ตามลำดับ รวมทั้งรายละเอียดอื่นๆ ในการอบมะนาวแต่ละครั้ง เมื่ออบมะนาวด้วยวิธีที่ 1 อากาศร้อนภายในห้องบรรจุผลไม้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 47 และ 48 °ซ. ภายในระยะเวลา 15 นาที ในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง (ตารางที่ 1) ส่วนวิธีที่ 2 อุณหภูมิอากาศจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ถึง 47 และ 48 ° ซ. ภายในระยะเวลา 2 และ 1 ชั่วโมง จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง (ตารางที่ 1) เมื่ออบมะนาวด้วยวิธีที่ 1 อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นถึง 47 และ 48° ซ. เร็วกว่าวิธีที่ 2 เป็นระยะเวลานานแตกต่างกันถึง 1:45 และ 45 นาที ตามลำดับ ในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

การอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำ ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปที่เปลือกมะนาว และจากเปลือกจึงถ่ายเทเข้าไปยังเนื้อถึงบริเวณที่อยู่ภายในสุด ดังนั้นถ้าอุณหภูมิบริเวณเปลือกนอกและเนื้อที่อยู่ในสุดแตกกันมากเท่าไร ความร้อนที่บริเวณเปลือกจะถ่ายเทเข้าไปในผลได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้นเท่านั้น ตารางที่ 2 แสดงระยะเวลาการอบมะนาวให้อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นถึง 46 และ 47 °ซ. เมื่ออบมะนาวด้วยวิธีที่ 1 อุณหภูมิผลมะนาวเพิ่มขึ้นถึง 46°ซ. ในเวลา 0.41, 0.47 และ 0.39 ชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับ ส่วนวิธีที่ 2 ใช้เวลานาน 2.25, 2.09 และ 2.05ชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) สำหรับการอบมะนาวที่อุณหภูมิผล 47 °ซ. วิธีที่ 1 ใช้เวลา 0.42, 0.33 และ 0.40 ชั่วโมง เพิ่มอุณหภูมิผลถึงกำหนดจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ตารางที่ 2 ส่วนวิธีที่ 2 ใช้เวลานาน 2.08, 2.07 และ 2.03 ชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การอบมะนาวด้วยวิธีที่ 1 อุณหภูมิอากาศร้อนรอบผลมะนาวเพิ่มขึ้นถึงระดับกำหนด 46 และ 47°ซ. อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่บริเวณเปลือกนอกมะนาวและเนื้อที่อยู่ในสุดแตกต่างกันมาก ดังนั้นการอบมะนาววิธีที่ 1 จะทำให้อุณหภูมิภายในสุดผลมะนาวเพิ่มขึ้นถึงระดับกำหนด 46 และ 47 °ซ. รวดเร็วกว่าวิธีที่ 2 ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองอบมะนาววิธีที่ 1 อุณหภูมิผลมะนาวเพิ่มขึ้นถึง 46°ซ. เร็วกว่าวิธีที่ 2 เป็นเวลา 1:44, 1.22 และ 1:26 ชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการอบมะนาวที่อุณหภูมิผล 47°ซ. วิธีที่ 1 จะเพิ่มอุณหภูมิผลมะนาวถึงกำหนดก่อนวิธีที่ 2 เป็นเวลานานถึง 1:26, 1.34 และ 1:23 ชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

โดยทั่วไป มะนาวที่ผ่านความร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ามะนาวไม่ผ่านความร้อน การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมะนาวได้รับความร้อนระยะเวลานานขึ้น อย่างไรก็ดี การอบมะนาวที่อุณหภูมิผล 46 °ซ. ด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ไม่ทำให้การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวแตกต่างทางสถิติกับมะนาวไม่ผ่านความร้อน แต่เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิผล 47 °ซ. กับมะนาวไม่ผ่านความร้อน การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ระยะเวลานาน 1:30 และ 2 ชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 2 และ 3 ตารางที่ 3 แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 พบว่าการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน สำหรับคุณภาพในส่วนที่เกี่ยวกับความเป็นกรด ปรากฏผลในทำนองเดียวกัน ความเป็นกรดของมะนาวที่ผ่านความร้อนทั้งสองวิธีแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับมะนาวไม่ผ่านความร้อนทุกระยะเวลากำหนดที่อุณหภูมิผล 46 °ซ.

(ตารางที่ 5) และ 47 °ซ. ตารางที่ 6 เมื่อมะนาวผ่านความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นยิ่งทำให้ค่าของความเป็นกรดลดลงเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับระดับกลิ่นหอมของต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกมะนาว

การอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำ ทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 พบความเสียหายมะนาวจากอาการสีผิวเปลือกมะนาวจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองบางส่วนจนกระทั่งเหลืองทั่วทั้งผล แสดงไว้ใน ตารางที่ 7 และผิวเปลือกมีการขยายและหดตัวทำให้ผิวเปลือกเกิดรอยย่นยุบตัวลงในบางผล แสดงไว้ในตารางที่ 8 ระดับความเสียหายเมื่ออบมะนาวด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 เมื่ออบมะนาวที่อุณหภูมิผล 46°ซ. และ 47°ซ. การทดลองครั้งที่ 1 มะนาวเสียหายจากอาการสีผิวเปลือกมะนาวเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง พบว่ากรรมวิธีที่ 2 เสียหายมากกว่า กรรมวิธีที่ 1 ทั้ง 3 ระยะเวลา คือ 1, 1: 30 และ 2 ชั่วโมง ความเสียหายวิธีที่ 1 ที่ 31.25, 35.50 และ 40 เปอร์เซ็นต์ และความเสียหายวิธีที่ 2 ที่ 46.25, 50 และ 66.55 เปอร์เซ็นต์ และแตกต่างจากมะนาวที่ไม่ผ่านความร้อนอย่างชัดเจนที่ 32.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมะนาวที่ผ่านความร้อนวิธีที่ 1 และ 2 แตกต่างกันมากโดยเฉพาะ เมื่ออบมะนาวใช้ระยะเวลานานถึง 2 ชั่วโมง ความเสียหายของมะนาวจากอาการดังกล่าวเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่1และวิธีที่ 2 แตกต่างกันสูงถึง 26.55 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 46°ซ

การทดลองครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 47°ซ มะนาวเสียหายจากอาการสีผิวเปลือกมะนาวเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง พบว่ากรรมวิธีที่ 2 เสียหายมากกว่า กรรมวิธีที่ 1 ทั้ง 3 ระยะเวลา คือ1, 1: 30 และ 2 ชั่วโมง ความเสียหายวิธีที่ 1 ที่ 51.25, 50 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับความเสียหายในกรรมวิธีที่ 2 ดูเหมือนจะมีผลกระทบต่อความเสียหายจากอาการสีผิวเปลือกมะนาวเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้มะนาวเสียหายจากอาการเนื้อเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลน้อยกว่าวิธีการเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นอย่างรวดเร็ว มะนาวเสียหายอยู่ที่ระดับ 72.50, 68.75 และ 77.55 เปอร์เซ็นต์ และแตกต่างจากมะนาวที่ไม่ผ่านความร้อนอย่างชัดเจนที่ 45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมะนาวที่ผ่านความร้อนทั้ง 2 วิธีแตกต่างกันมากโดยเฉพาะ เมื่ออบมะนาวใช้ระยะเวลานานถึง 2 ชั่วโมง ความเสียหายของมะนาวจากอาการดังกล่าวเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่1และวิธีที่ 2 แตกต่างกันสูงถึง 27.50 เปอร์เซ็นต์

และการทดลองครั้งที่ 2 และ 3 มะนาวที่ผ่านความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำของทั้ง 2 การทดลอง และทั้ง 2 กรรมวิธีมีความเสียหายเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ เมื่ออบมะนาวทั้ง 3 ระยะเวลา คือ1, 1: 30 และ 2 ชั่วโมง พบว่าความเสียหายด้านการเปลี่ยนสีผิวเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (รูปที่1 และ 2) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออบมะนาวเป็นระยะเวลานานขึ้น และแตกต่างกันมาก กับมะนาวที่ไม่ผ่านความร้อน จากการเปลี่ยนของสีเปลือก โดยเฉพาะการอบมะนาวโดยใช้ระยะเวลานาน 1:30 และ 2 ชั่วโมง มะนาวที่ผ่านความร้อนทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อใช้เวลานานขึ้นทั้ง 2 วิธีมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันคือเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

ผลจากการทดลองจำนวน 3 ครั้ง สามารถสรุปได้ว่าความเสียหายในเรื่องการเปลี่ยนสีผิวเปลือกเป็นสีเหลืองไม่สัมพันธ์กันมากนัก ทั้งนี้อาจเกิดจากอายุการเก็บเกี่ยวผลมะนาวแตกต่างกัน ความอ่อนแก่ของผลมะนาวแตกต่างกัน เมื่อดูจากสภาพผิวเปลือกมะนาว พบว่าลักษณะของต่อมน้ำมันค่อนข้างแตกต่างกันในแต่ละผล ระยะความถี่ห่างของต่อมน้ำมัน ฐานต่อมน้ำมันอาจจะเล็กหรือใหญ่แตกต่างกันไป ซึ่งสภาพต่างๆดังที่กล่าวมานี้ มีผลกระทบโดยตรงกับมะนาวที่ผ่านความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำมาก เมื่อระยะห่างของต่อมน้ำมันมะนาวมีความถี่สูง แสดงว่าอายุมะนาวยังไม่แก่เต็มที่ โอกาสที่ผิวเปลือกมะนาวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมีน้อยกว่า ซึ่งนั่นก็หมายถึงหากมะนาวมีระยะความห่างของต่อมน้ำมันสูง อายุของผลมะนาวอาจแก่เต็มที่มะนาวมีแนวโน้มการเปลี่ยนสีผิวเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลืองมากยิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและใช้เวลานานขึ้น

ตารางที่ 8 แสดงระดับความเสียหายที่ผิวเปลือกมีการขยายและหดตัวทำให้ผิวเปลือกเกิดรอยย่นยุบตัวลงรอยยุบดังกล่าวมีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลจนถึงสีเทาดำในบางผล แผลมีขนาดตั้งแต่เป็นจุดเล็กจนถึงหัวเข็มหมุด ความเสียหายอย่างรุนแรงของมะนาวบางผลมีขนาดใหญ่กว้างประมาณ 1 ใน 4-ของผล (รูปที่2) เป็นลักษณะอาการที่เสดงให้เห็นบนผิวเปลือก ซึ่งจะแห้งแข็งเป็นแผ่นบางคล้ายกับเอาเปลือกมะนาวไปตากไว้ในขณะที่มีแสงแดดจัด ความเสียหายดังกล่าวจากความร้อนด้วยวิธีอบไอน้ำพบว่า เมื่ออบมะนาวด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 มีผลกระทบกับมะนาวที่ผ่านความร้อนสูงขึ้นและใช้เวลานานขึ้น อาการดังกล่าวจะแสดงให้เห็นได้ชัดเจนเฉพาะวิธีที่ 1 ที่อุณหภูมิผล 47°ซ. ระยะเวลานาน 1:30 และ 2 ชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 1 พบความเสียหายจำนวน 5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองครั้งที่ 2 พบความเสียหาย 5 และ10 เปอร์เซ็นต์ และการทดลองครั้งที่ 3 ความเสียหายที่เกิดขึ้น 10 และ10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความเสียหายผิวเปลือกมีการขยายและหดตัวทำให้ผิวเปลือกเกิดรอยย่นยุบตัวลงรอยยุบดังกล่าวมีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลไปจนถึงสีเทาดำนั้น เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนใช้ระยะเวลาที่สั้นเกินไป ทำให้ผิวเปลือกมะนาวขยายตัวอย่างรวดเร็ว ต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกบางส่วนขยายตัวเต็มที่และสุดท้ายต่อมน้ำมันแตกและสลายไปกับความร้อน ซึ่งผิวเปลือกไม่สามารถเก็บน้ำมันไว้ได้ทำให้ผิวแห้ง อาการดังกล่าวนี้เมื่อเก็บไว้ในระยะเวลาสั้นจะยังไม่แสดงออกทันทีทันได แต่เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานานถึง 1 สัปดาห์ จึงจะเห็นอาการนี้อย่างชัดเจน ในขณะที่การทดลองวิธีที่ 2 และการอบมะนาว ที่อุณหภูมิผล 46°ซ.ทั้ง 2 กรรมวิธี ไม่พบความเสียหายจากอาการนี้เลย

แบคทีเรีย พืช และสัตว์ เมื่ออยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงช่วงระยะเวลาหนึ่งจะสร้างภูมิต้านทานต่อความร้อน (themotolerance) (Lindquist and Craig, 1988) ในขณะที่ความทนต่อความร้อนเริ่มพัฒนาขึ้นนั้น จะมีการสร้างสารโปรตีนกลุ่มหนึ่งที่มีลักษณะพิเศษเรียกว่า heat shock protein (HSP) ในการพัฒนาการใช้ความร้อนและความเย็นกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลไม้ ได้มีการคิดค้นวิธีการต่างๆ เพื่อลดความเสียหายของผลไม้จากความร้อน (heat injury) และความเย็น (chilling injury) วิธีการหนึ่งซึ่งให้ผลดีได้แก่ การปรับสภาพของผลไม้โดยให้ผลไม้อยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงสุดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (pre-condition) ก่อนที่จะนำผลไม้ไปเก็บรักษาหรือผ่านกระบวนการกำจัดแมลงด้วยความร้อนหรือความเย็นตามขั้นตอนและวิธีการที่กำหนด (McDonald and Miller, 1994) การเก็บผลส้มเกรฟฟรุทไว้ในอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิปกติที่ใช้ในการเก็บรักษาภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง พบว่าสามารถลดความเสียหายจากความเย็นของส้มเกรฟฟรุทอย่างได้ผลเมื่อต้องนำผลส้มเกรฟฟรุทนั้นเก็บไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน (Hatton and Cubbedge, 1993) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ถ้าเก็บมะเขือเทศ (Lurie and Klein, 1991) และมะม่วง (McCollum, 1993) ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 30-40 ° ซ. เป็นเวลานาน 2 หรือ 3 วันก่อนเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยป้องกันความเสียหายจากความเย็น การเก็บรักษาผลแตงไว้ที่อุณหภูมิ 32.5 °ซ. เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ทำให้จุ่มผลแตงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 46 ° ซ. เป็นเวลานานถึง 50 นาที ซึ่งนานพอที่จะกำจัดแมลงวันผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ (Chan and Linse, 1989 a, b) โดยที่อุณหภูมิ 32.5 ° ซ. ถึงแม้ว่าจำเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิปกติที่ใช้สำหรับการกระตุ้นให้เกิดการสร้าง HSP แต่ทว่าช่วงเวลา 24 ชั่วโมงอาจจะนานเพียงสำหรับกระตุ้นการสร้าง HSP

ความเสียหายจากความร้อนของมะนาวซึ่งแตกต่างกันระหว่างการอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำโดยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 จึงอาจอธิบายได้ว่า เมื่ออบมะนาวด้วยวิธีที่ 1 ซึ่งมะนาวอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มะนาวจึงอยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงเพิ่มอุณหภูมิถึง 46.0 ° ซ. และ 47.0 ° ซ. เป็น

ระยะเวลานาน 2.42 และ 2.38 ชั่วโมง อาจจะเป็นช่วงเวลาสั้นมากเกินไปที่จะกระตุ้นให้มะนาวเกิดการพัฒนาความทนทานต่อความร้อน ในขณะที่วิธีที่ 2 มะนาวอยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน 4.13 และ 4.06 ชั่วโมง ซึ่งอาจจะเป็นเวลาค่อนข้างนานเกินไปที่จะกระตุ้นให้เกิดการสร้างความทนทานต่อความร้อนได้ระดับหนึ่ง ทำให้มะนาวสามารถทนทานต่อความร้อนสูงได้ไม่ดีเท่าที่ควร ในช่วงแรกซึ่งมะนาวต้องอยู่ภายใต้สภาพอากาศร้อนที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำสภาพความชื้นสัมพัทธ์สูง ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาวิจัยในรายละเอียดเพิ่มขึ้น เพื่อหาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมซึ่งนานเพียงพอที่มะนาวจะสร้างความทนทานต่อความร้อนได้สูงสุด

อุดร และคณะ (2539) ได้รายงานเกี่ยวกับความชื้นสัมพันธ์ของอากาศร้อนในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิผลถึง 43 °ซ. มีอิทธิพลต่อความเสียหายของมะนาวจากความร้อนของวิธีอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพันธ์ โดยอากาศร้อนความชื้นสัมพันธ์ต่ำในช่วงระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดความเสียหายของมะนาวจากความร้อนได้ในระดับหนึ่งเช่นเดียวกัน จากผลงานวิจัยของ อุดร และพิทวัฒน์ (2539) และงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิมะนาวถึง 43 °ซ. มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำ หากสามารถกำหนดสภาพช่วงระยะเวลาการให้ความร้อนที่เหมาะสมได้ อาจจะยังผลให้สามารถพัฒนากระบวนการอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในมะนาวได้ตามมาตรฐานกำหนดด้านกักกันพืช โดยมะนาวไม่เกิดความเสียหายจากความร้อน

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

การอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำโดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้นเปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน มีผลกระทบต่อมะนาวสรุปได้ดังนี้คือ

1. การอบมะนาวโดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็ว และกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นอย่างช้าๆ ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของมะนาวในส่วนที่เกี่ยวกับ การสูญเสียน้ำหนัก ถึงแม้ว่าจะคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 46 °ซ. เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิผลสูงขึ้นเป็น 47 °ซ.เป็นเวลานาน 1:30 และ 2 ชั่วโมง พบว่าในการทดลองครั้งที่ 2 และ 3 มีผลกระทบต่อคุณภาพของมะนาวในส่วนที่เกี่ยวกับการสูญเสียน้ำหนักเป็นอย่างมากซึ่งสอดคล้องกับความเป็นกรด

2. พบความเสียหายอย่างเด่นชัด คือ

2.1 มะนาวแสดงอาการสีผิวเปลือกมะนาวจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองบางส่วนจนกระทั่งเหลืองทั่วทั้งผล อาการนี้พบว่า วิธีการให้ความร้อนแบบที่2 คือค่อยๆเพิ่มความร้อนมีแนวโน้มก่อเกิดความเสียหายมากกว่าวิธีที่ 1

2.2 ความเสียหายที่ผิวเปลือกมีการขยายและหดตัวทำให้ผิวเปลือกเกิดรอยย่นยุบตัวลง รอยยุบดังกล่าวมีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลจนถึงสีเทาดำในบางผล ซึ่งพบอาการนี้บางผลแต่ไม่รุนแรง พบอาการนี้กับการอบมะนาวโดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างเร็ว

3. ระยะเวลาในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิผลมะนาวจากอุณหภูมิห้องถึง 43 °ซ. เป็นช่วงเวลาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการอบมะนาวด้วยวิธีอบไอน้ำ ถ้ามะนาวอยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาดังกล่าวนี้เป็นระยะเวลานานพอดี จะกระตุ้นให้มะนาวสร้างความทนทานต่อความร้อน ซึ่งช่วยให้สามารถลดความเสียหายของมะนาวจากความร้อนได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญอุดร อุณหวุฒิ และ คุณรัชฎา อินทรกำแหง ที่มีส่วนช่วยให้คำปรึกษาในงานทดลอง และขอขอบคุณ คุณประชุม นุ้ยจำนัล คุณสมิทธิ์ อยู่เอี่ยม คุณกัลยา วงศ์สุวรรณ คุณมีนา จริงจิตร คุณนวลนิสา ตั้งสัจจะกุล ที่มีส่วนช่วยในการเตรียมการทดลอง รวมถึงการเช็คผลการทดลอง ฝ่ายวิชาการสถิติ กองแผนงานและวิชาการ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้านสถิติ

เอกสารอ้างอิง

อุดร อุณหวุฒิ และ พิทวัฒน์ อ่อนทองหลาง. 2539. อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อคุณภาพของผลมังคุดที่ผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์. รายงานผลวิจัยประจำปี พ.ศ. 2539. กองควบคุมพืชและวัสดุเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

Chan, H.T. and E. Lines. 1989 a. Conditioning cucumbers for quarantine heat treatments. Hort Science. 24: 985-989.

Claypool, L.L. and H.M. Vines. 1956. Commodity tolerance studies of deciduous fruits to moist heat and fumigants. Hilgardia. 24: 297-355.

Lindquist, S. and E.A. Carig. 1988. The heat shock proteins. Ann. Rev. Genetics. 22: 631-677.

Hatton, T.T.and R.H. Cubbedge.1983. Preferred temperature for prestorage conditioning of “Marsh” grapefruit to prevent chilling injury at low temperature. Hort Science. 18:7201-722

Lurie, S. and J.D. Klein. 1991. Accquistion of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 1007-1012.

McCollum, T.G.., S. D’Aquino and R.E. McDonald. 1993. Heat treatment inhibits chilling injury on mangoes. Hort Science. 28: 197-198.

Seo, S.T., B.K.S. Hu, M. Komura, C.Y.L. Lee and E.J. Harris. 1974. *Dacs dorsalis*. Vapor heat treatment in papaya. J. Econ. Entomol. 67: 240-242.

Sinclair, W.B. and D.L. Lindgren. 1955. Vapor heat sterilization of California citrus and avocado fruits against fruit-fly insects. J. Econ. Entomol. 48: 395-403.

Unahawutti, Udorn, Mana Poomthong, Rachada Intarakumheng, Walaikorn Worawisitthumrong, Chamlong Lapasathukool, Eueychai Smitasiri, Pratuang Srisook and Chanuan Ratanawaraha. 1991. Vapor heat as plant quarantine treatment of ‘Nang Klarngwan’, ‘Nam Dokmai’, ‘Rad’ and ‘Pimsen Daeng’ mangoes infested with fuit flies (Diptera : Tephritidae). A report submitted to the Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries for approval of quarantine treatment on Thai mangoes to be exported to Japan. Tech. Plant Quarant. Sub-Div., Agr. Regulat. Div., Dept. of Agr., Bangkok. 342 pp.

ตารางที่ 1 ระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในสุดผลมะนาวเพิ่มขึ้นถึง 46 °ซ และ 47 °ซ ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (vapor heat treatment, VHT) โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขั้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped)

อุณหภูมิอากาศ	การทดลองครั้งที่	น้ำหนักมะนาวกำหนดอุณหภูมิ(กรัม)		ปริมาณมะนาวในตู้ (กก/ลบ.ม.)		ระยะเวลา[1/] (ชั่วโมง)	
		constant	Stepped	constant	Stepped	constant	Stepped
47 °ซ	1	40.50	40.50	2.40	2.37	15	2
		40.40	40.45				
		40.39	40.49				
	2	40.65	40.01	2.36	2.34	15	2
		40.67	40.18				
		40.70	40.40				
	3	40.68	46.41	2.36	2.36	15	2
		40.76	40.48				
		40.77	40.54				
48°ซ	1	40.45	40.48	2.34	2.40	15	1
		40.49	40.64				
		40.60	40.66				
	2	40.61	40.10	2.45	2.46	15	1
		40.85	40.18				
		40.86	40.21				
	3	40.41	40.24	2.41	2.41	15	1
		40.48	40.24				
		40.52	40.30				

[1/] ระยะเวลาที่อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นถึงที่กำหนดจากมะนาวกำหนดอุณหภูมิจำนวน 3 ผล

ตารางที่ 2 ระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในสุดผลมะนาวเพิ่มขึ้นถึง 47°ซ ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขั้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped)

อุณหภูมิ(°ซ)	การทดลองครั้งที่	เวลาอุณหภูมิภายในสุดผลมะนาวขึ้นถึง 46°ซ		อุณหภูมิภายในสุดผลมะนาวขึ้นถึง 47°ซ	
		constant	Stepped	constant	Stepped
46	1	0.41	2.25	-	-
	2	0.47	2.09	-	-
	3	0.39	2.05	-	-
47	1	-	-	0.42	2.08
	2	-	-	0.33	2.07
	3	-	-	0.40	2.03

[1/] ระยะเวลาที่อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นถึงที่กำหนดจากมะนาวกำหนดอุณหภูมิจำนวน 3 ผล

ตารางที่ 3 การสูญเสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped) ที่อุณหภูมิภายในสุดผล 46 °ซ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ และเก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

การทดลองครั้งที่	กรรมวิธี	การสูญเสียน้ำหนัก (%)[1/]		
		1 ชั่วโมง	1.30 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
1	constant	11.12	11.30	11.37
	Stepped	11.58	11.63	11.72
	ไม่ผ่านความร้อน	11.54		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	ns
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	ns
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	ns	ns
2	constant	11.81	11.93	11.97
	Stepped	11.71	11.76	12.28
	ไม่ผ่านความร้อน	11.65		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	ns
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	**
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	ns	ns
3	constant	11.53	11.53	11.66
	Stepped	11.32	11.62	11.33
	ไม่ผ่านความร้อน	11.49		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	ns
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	ns
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	ns	ns

[1/] ค่าเฉลี่ยจากมะนาว 20 ผล

ns= ไม่แตกต่างทางสถิติ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 การสูญเสียน้ำหนัก (%) ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (vapor heat treatment, VHT)โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น(constant)เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน(stepped) ที่อุณหภูมิภายในสุดผล 47 °ซ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ และเก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

การทดลองครั้งที่	กรรมวิธี	การสูญเสียน้ำหนัก (%)[1/]		
		1 ชั่วโมง	1.30 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
1	constant	10.84	11.06	11.45
	Stepped	11.33	11.45	11.67
	ไม่ผ่านความร้อน	11.10		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	ns
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	*	ns
2	constant	10.35	11.23	11.85
	Stepped	10.54	10.13	11.15
	ไม่ผ่านความร้อน	10.26		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	*	*
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	*	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	ns	*
3	constant	10.82	11.28	11.79
	Stepped	10.95	11.35	11.37
	ไม่ผ่านความร้อน	10.41		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	*	*
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	*	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	ns	ns

[1/] ค่าเฉลี่ยจากมะนาว 20 ผล

ns= ไม่แตกต่างทางสถิติ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5 ความเป็นกรด (%) ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped) ที่อุณหภูมิภายในสุดผล 46 °ซ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ และเก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

การทดลองครั้งที่	กรรมวิธี	ความเป็นกรด (%)		
		1 ชั่วโมง	1:30 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
1	constant	5.62	5.43	5.08
	Stepped	5.50	5.23	5.14
	ไม่ผ่านความร้อน	5.66		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	*	*
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	*	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	ns	ns
2	constant	5.18	5.28	4.89
	Stepped	5.23	5.46	5.08
	ไม่ผ่านความร้อน	5.51		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	ns	*
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	ns	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	ns	ns
3	constant	5.49	5.44	5.28
	Stepped	5.67	5.42	5.29
	ไม่ผ่านความร้อน	5.69		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	ns	*
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	ns	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	ns	ns

1/ ค่าเฉลี่ยจากมะนาว 20 ผล

ns= ไม่แตกต่างทางสถิติ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6 ความเป็นกรด (%) ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped) ที่อุณหภูมิภายในสุดผล 47 °ซ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ และเก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

การทดลองครั้งที่	กรรมวิธี	ความเป็นกรด (%)		
		1 ชั่วโมง	1:30 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
1	constant	5.20	4.76	4.76
	Stepped	5.44	5.14	4.90
	ไม่ผ่านความร้อน	5.44		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	*	*
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	*	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	*	*	ns
2	constant	5.11	4.82	4.77
	Stepped	5.09	4.99	4.99
	ไม่ผ่านความร้อน	5.49		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	*	*
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	*	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	ns	*	*
3	constant	5.72	5.62	5.45
	Stepped	6.16	6.10	5.82
	ไม่ผ่านความร้อน	6.72		
	t-test constant เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	*	*	*
	t-test Stepped เทียบกับไม่ผ่านความร้อน	ns	ns	*
	t-test constant เทียบกับ Stepped	*	*	*

1/ ค่าเฉลี่ยจากมะนาว 20 ผล

ns= ไม่แตกต่างทางสถิติ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7 ระดับการเปลี่ยนสีผิวเปลือกเป็นสีเหลือง (%) ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped) ที่อุณหภูมิภายในสุดผล 46°ซ และ 47 °ซ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ และเก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

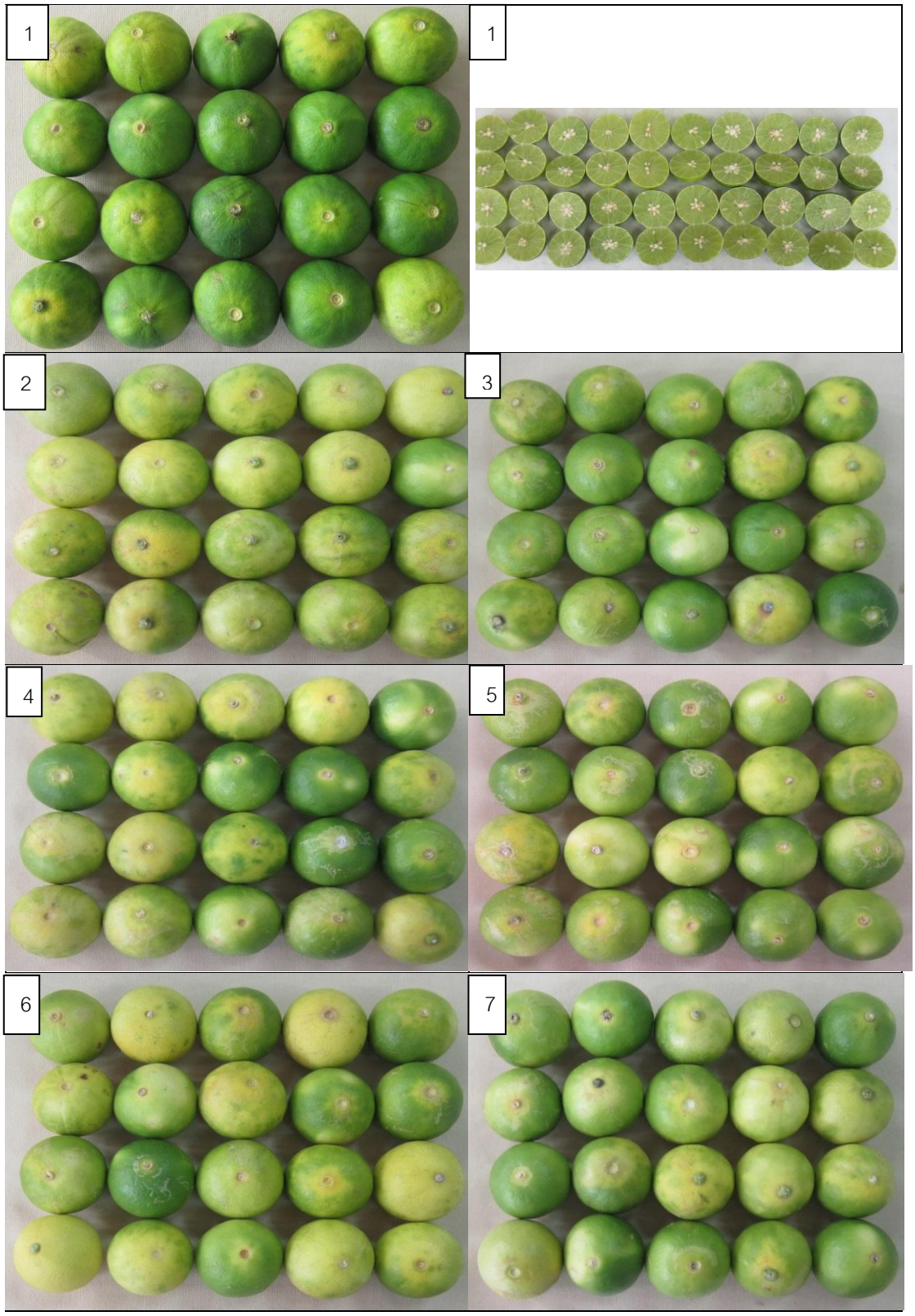
อุณหภูมิ (°ซ)	การทดลองครั้งที่	กรรมวิธี	สีผิวเปลือกเป็นสีเหลือง (%)[1/]		
			1 ชม.	1:30 ชม.	2 ชม.
46	1	constant	31.25	35.50	40.00
		Stepped	46.25	50.00	66.55
		ไม่ผ่านความร้อน	32.50		
	2	constant	41.25	48.50	52.75
		Stepped	48.75	50.25	53.75
		ไม่ผ่านความร้อน	37.50		
	3	constant	40.00	45.25	51.25
		Stepped	47.50	48.75	53.75
		ไม่ผ่านความร้อน	33.75		
47	1	constant	51.25	50.00	50.00
		Stepped	72.50	68.75	77.50
		ไม่ผ่านความร้อน	45.00		
	2	constant	40.00	43.75	55.25
		Stepped	43.75	50.00	58.75
		ไม่ผ่านความร้อน	6.25		
	3	constant	30.25	47.50	50.00
		Stepped	32.50	51.25	55.00
		ไม่ผ่านความร้อน	11.25		

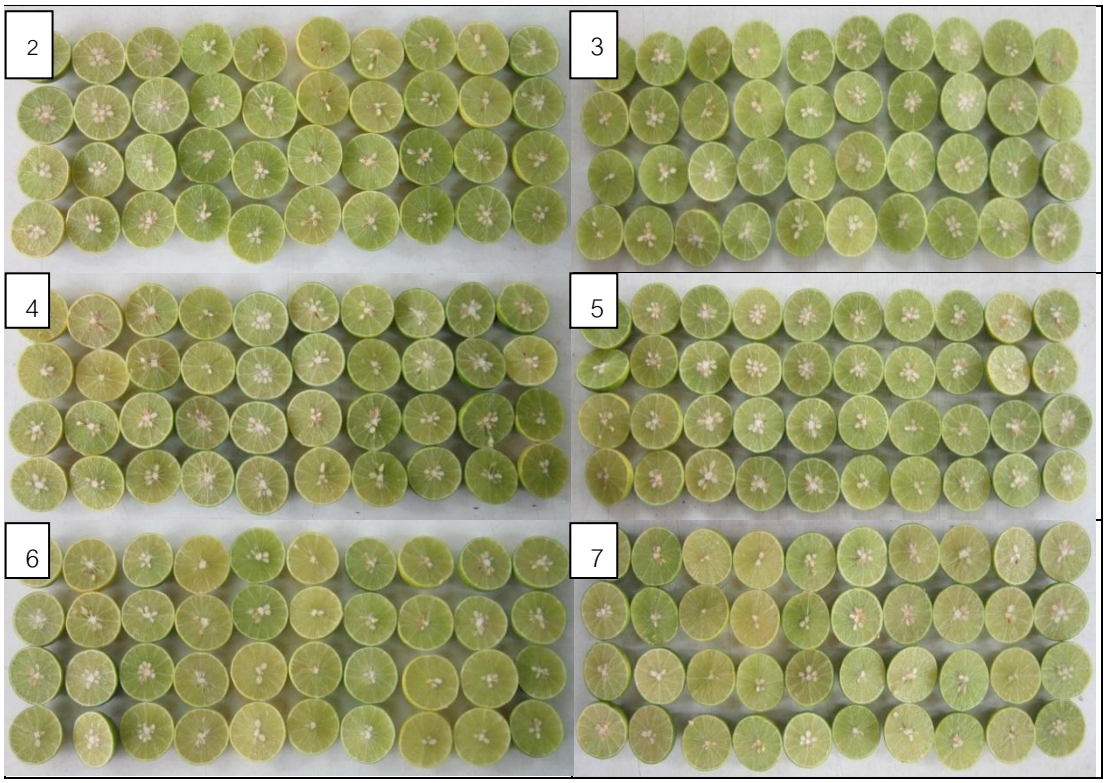
[1/] ค่าเฉลี่ยความเสียหายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากมะนาว 20 ผล

ตารางที่ 8 ระดับการเปลี่ยนแปลงของต่อมน้ำมันยุบเป็นหลุมเล็กๆ (%) ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขั้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped) ที่อุณหภูมิภายในสุดผล 46°ซ. และ 47 °ซ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ และเก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิ (°ซ)	การทดลองครั้งที่	Method	Flesh pitting (%)[1/]		
			1 h	1:30 h	2 h
46	1	constant	0	0	0
		Stepped	0	0	0
		ไม่ผ่านความร้อน	0		
	2	constant	0	0	0
		Stepped	0	0	0
		ไม่ผ่านความร้อน	0		
	3	constant	0	0	0
		Stepped	0	0	0
		ไม่ผ่านความร้อน	0		
47	1	constant	0	5	15
		Stepped	0	0	0
		ไม่ผ่านความร้อน	0		
	2	constant	0	5	10
		Stepped	0	0	0
		ไม่ผ่านความร้อน	0		
	3	constant	0	10	10
		Stepped	0	0	0
		ไม่ผ่านความร้อน	0		

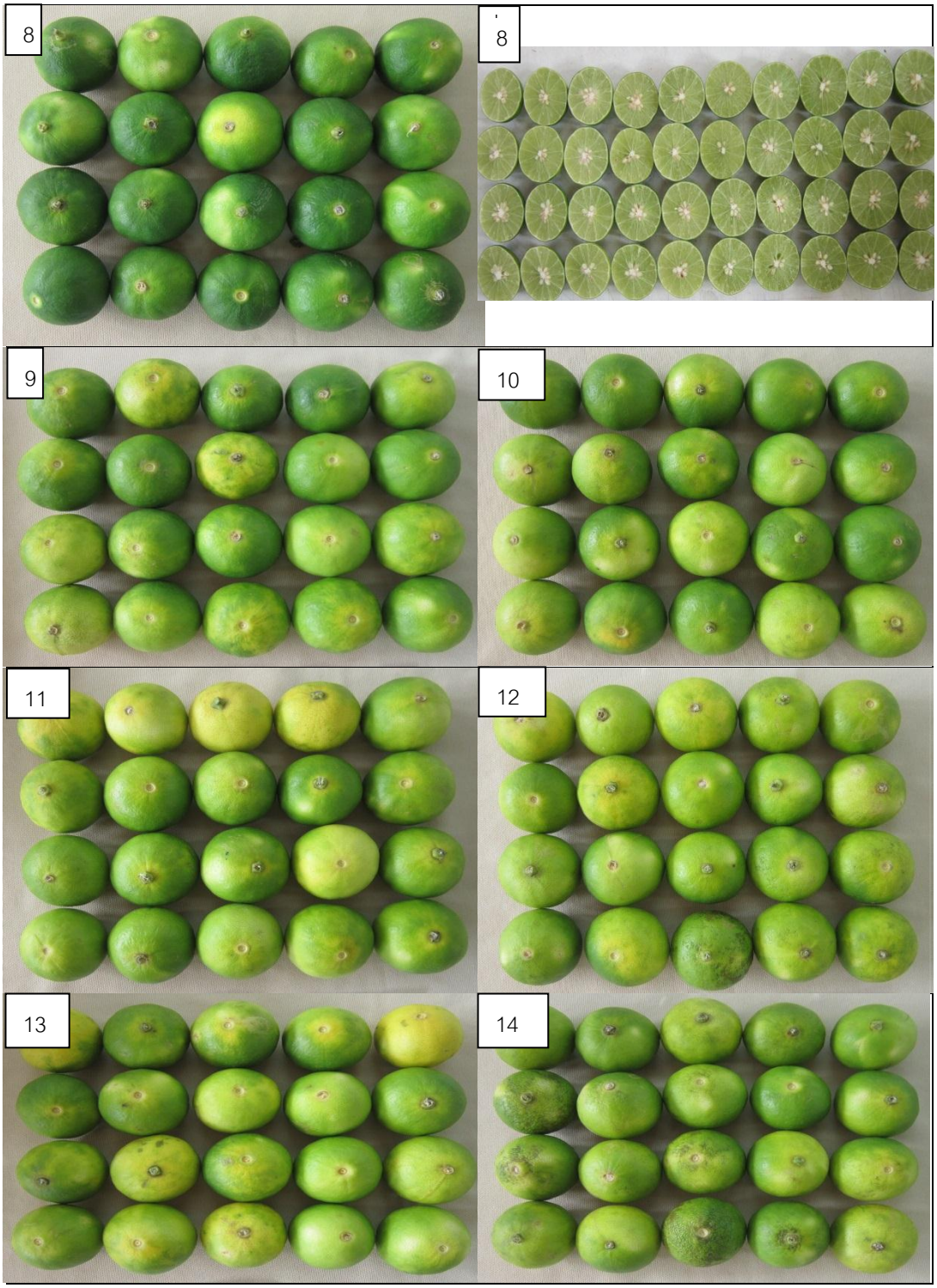
[1/]ค่าเฉลี่ยความเสียหายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากมะนาว 20 ผล

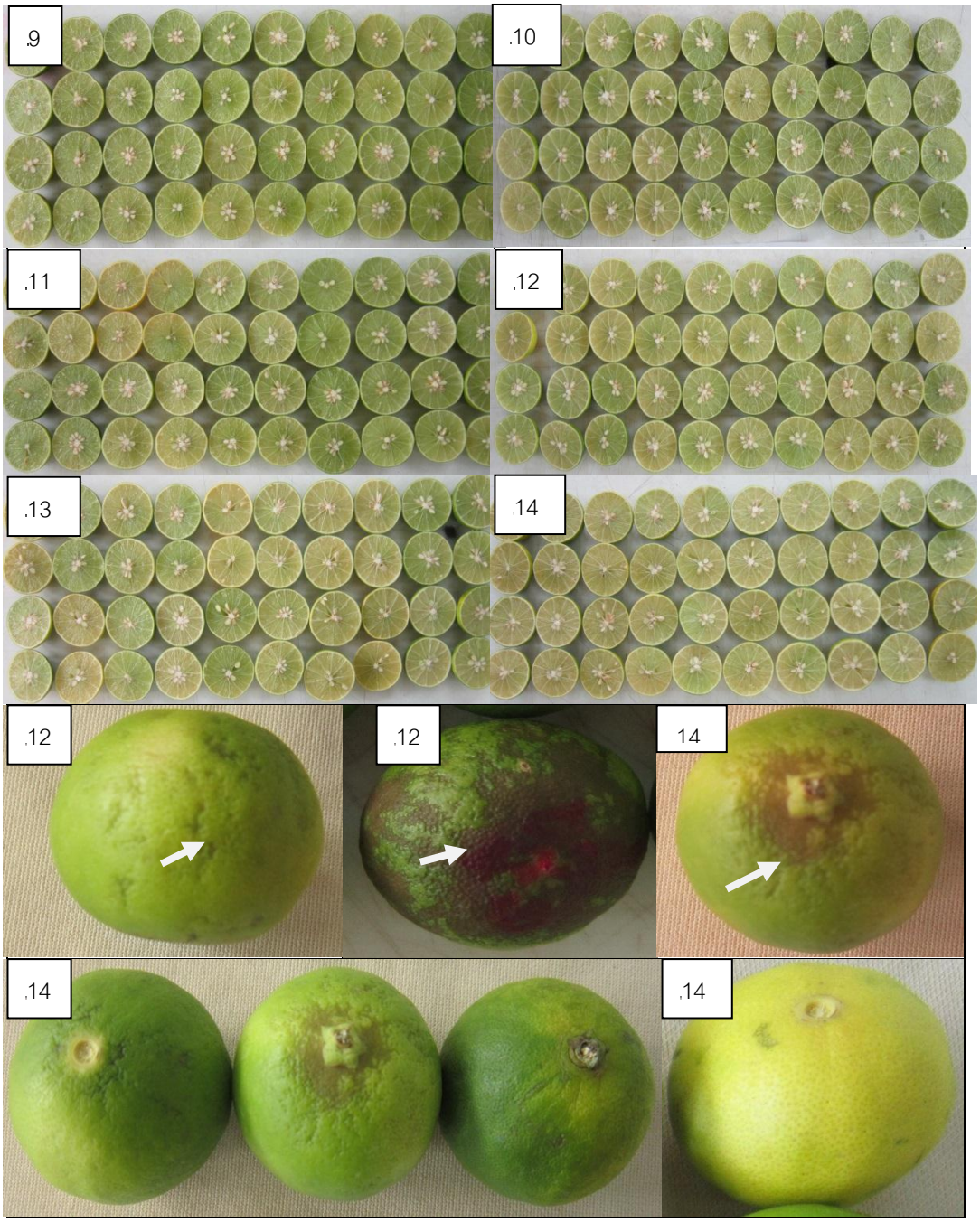

1
1
2
3
4
5
6
7



ภาพแสดงความเสียหายการเปลี่ยนสีผิวเปลือกเป็นสีเหลือง (%) ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT)โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขั้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped) ที่อุณหภูมิภายในสุดผล 46°ซ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ และเก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 1 มะนาวเปรียบเทียบไม่ผ่านความร้อน
รูปที่ 2 อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน 1ชั่วโมง
รูปที่ 3 อุณหภูมิผลขั้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น1ชั่วโมง
รูปที่ 4 อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน 1:30 ชั่วโมง
รูปที่ 5 อุณหภูมิผลขั้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น1ชั่วโมง1:30 ชั่วโมง
รูปที่ 6 อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน 2 ชั่วโมง
รูปที่ 7 อุณหภูมิผลขั้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น1ชั่วโมง 2 ชั่วโมง


8
8
9
10
11
12
13
14



แสดงความเสียหายการเปลี่ยนสีผิวเปลือกเป็นสีเหลือง และการเปลี่ยนแปลงของต่อมน้ำมันยุบเป็นหลุมเล็กๆ (%) ของมะนาวหลังจากผ่านความร้อนวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT)โดยวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น (constant) เปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน (stepped) ที่อุณหภูมิภายในสุดผล 47 °ซ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ และเก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 27±1 °ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 8 มะนาวเปรียบเทียบไม่ผ่านความร้อน
รูปที่ 9 อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน 1ชั่วโมง
รูปที่ 10 อุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น 1ชั่วโมง
รูปที่ 11 อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน 1:30 ชั่วโมง
รูปที่ 12 อุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น1ชั่วโมง1:30 ชั่วโมง
รูปที่ 13 อุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นไปแต่ละระดับอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลานาน 2 ชั่วโมง
รูปที 14 อุณหภูมิผลขึ้นไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น1ชั่วโมง 2 ชั่วโมง