

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

แผนงานวิจัย : วิจัยมาตรการสุขอนามัย

โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาวิธีการกำจัดศัตรูพืชกักกันของพืชส่งออก

กิจกรรมที่ 1 : วิจัยและพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงด้วยวิธีการอบไอน้ำเพื่อการส่งออก

ชื่อการทดลอง 1.3 : วิจัยและพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อนเพื่อกำจัดแมลงวันผลไม้

Bactrocera dorsalis (Hendel) ในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเพื่อการส่งออก

Research and Development of Heated Air Quarantine Treatment for
Pummelo (Khao Nam Phueng) Variety Control Fruit Flies for Export

คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง : นายชัยรัตน์ สนศิริ

กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

ผู้ร่วมงาน :

นางสาวมลนิภา ศรีมาตรภิรมย์ กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นางสาวชุติมา อ้อมกิ่ง

กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นางสลักจิต พานคำ

กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นางวลัยกร รัตนเดชากุล

กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นายพุมพิงษ์ เพ็งฤกษ์

กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นายพงษ์ศักดิ์ จิณฤทธิ์

กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นางสาวปวีณา บุชาเทียน

กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

บทคัดย่อ

ส้มโอมีปัญหาในการส่งออกเนื่องจากเป็นพืชอาศัยของแมลงวันผลไม้ซึ่งเป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญทางด้านกักกันพืชหลายประเทศออกมาตรการด้านสุขอนามัยพืชห้ามนำเข้าผลไม้จากประเทศไทย ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงศัตรูพืชที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงวันผลไม้แล้วจะทำให้ประเทศไทยสามารถขยายตลาดของส้มโอให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น การศึกษาวิจัยและพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อนเพื่อกำจัดแมลงวันผลไม้ *Bactrocera dorsalis* (Hendel) ในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเพื่อการส่งออก จากการสืบค้นข้อมูล พบว่า ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งมีผลค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักผลประมาณ 700-2,000 กรัม เยื่อหุ้มกลีบสีขาว เนื้อกึ่งสีเหลืองอมน้ำตาลหรือเนื้อกึ่งสีขาวอมเหลือง รสชาติหวานและกรอบ การเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์เพิ่มปริมาณแมลงวันผลไม้สามารถเพาะเลี้ยงแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ได้มากกว่า 50,000 ตัว การศึกษาเทคนิคและวิธีการเตรียมผลส้มโอเพื่อใช้ในการทดลอง พบว่า หนอนวัย 1 มีอัตราการรอดชีวิตสูงและสามารถเจริญเติบโตอยู่ในผลส้มโอได้เป็นอย่างดี การศึกษารูปแบบของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) พบว่า วิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ตามค่าที่กำหนด การศึกษาปริมาณความจุของส้มโอในท้องบรรจุผลไม้ของเครื่องตู้อบความร้อนที่มีปริมาณความจุของผลส้มโอ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซนต์ พบว่า การทำงานของเครื่องตู้อบความร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ตามค่าที่กำหนด

โดยใช้เวลาอบส้มโอประมาณ 6-7 ชั่วโมง การปรับค่าความเที่ยงตรงของแห่งวัดอุณหภูมิ พบว่า แห่งวัดอุณหภูมิทั้งหมดสามารถคงอุณหภูมิที่ 46 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 99.9-100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลานาน 20 นาที การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ อบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 10 และ 20 นาที พบว่าแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1 มีอัตราการตายเฉลี่ย 99.34, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 10 นาทีขึ้นไป สามารถกำจัดหนอนวัย 1 ในผลส้มโอได้จำนวนประมาณ 12,432 ตัว ตายทั้งหมด การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลส้มโอ เพื่อประเมินความเสียหายต่อคุณภาพผลส้มโออบส้มโอที่อุณหภูมิ 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของส้มโอที่ผ่านความร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณน้ำตาล ค่าความเป็นกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอไม่มีความแตกต่างจากส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน การเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนสีจากเดิมที่มีสีเขียว เปลี่ยนเป็นสีที่ค่อนข้างเหลืองมากกว่าส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน และส้มโอที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 46 และ 47 องศาเซลเซียส โดยส้มโอที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ยังพบจุดดำ ซึ่งเป็นอาการที่เกิดจากต่อมน้ำมันที่เปลือกของผลส้มโอแตก เมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงและคงความร้อนไว้เป็นเวลานาน

การศึกษายืนยันประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการอบไอน้ำในผลส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที โดยวิธีการใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ในผลส้มโอ และวิธีการให้แมลงวันผลไม้วางไข่ในผลส้มโอ พบว่า ส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน จำนวน 60 และ 20 ผล มีแมลงรอดชีวิต จำนวน 9,961 และ 4,438 ตัว ส้มโอที่ผ่านความร้อน จำนวน 180 และ 60 ผล ไม่พบแมลงรอดชีวิต ผลการประเมินประสิทธิภาพกระบวนการกำจัดแมลงวันผลไม้มดังกล่าวสามารถกำจัดหนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ได้จำนวนประมาณ 43,170 ตัว ในผลส้มโอตายทั้งหมด การศึกษาความเสียหายต่อคุณภาพผลส้มโอ เพื่อประเมินความเสียหายของกระบวนการอบไอน้ำในสภาพจำลองการส่งออกส้มโอทางเครื่องบินและทางเรือ โดยทำการอบส้มโอในรูปแบบเดียวกัน จากนั้นเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 7 และ 14 วัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที โดยคุณภาพความหวานของส้มโอไม่เปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: แมลงวันผลไม้ *Bactrocera dorsalis*, ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง วิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์

Abstract

Currently, the vapor heat treatment schedule at 46 °C for 0:30 minutes was accepted as a quarantine treatment to disinfest all stages of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* species complex in pummelo cultivar Thong Dee from Thailand to Japan. To extend more variety of pummelo for Japan, the experiment was carried out to determine the heat tolerance of the first instar larvae of *B. dorsalis* (Hendel), the most tolerance stage to Modified Vapor Heat Treatment (MVHT) between Khao Nam Phueng and Thong Dee pummelo. The preliminary disinfestation test was to treat infested both pummelo cultivars with MVHT at 46 °C for 0:00, 0:10, 0:20 and 0:30 minutes respectively. The intermediate scale disinfestation test, infested both cultivars were subjected to MVHT at 46 °C for 0:00, 0:10 and 0:20 minutes respectively. MVHT was done by heating infested fruits with hot air from ambient temperature to 43 °C with 50-80 % RH (dry pre-heating period) then the fruits were gradually warmed up to 46 °C with saturated water vapor, and subsequently maintained the fruit target temperature for the desired duration holding time.

The results showed that oriental fruit fly first instar larvae infested in Khao Nam Phueng pummelo was less tolerance to MVHT than infested in Thong Dee pummelo. MVHT of fruit temperature 46 °C for 0:00 and 0:20 minutes was sufficient to completely kill all the oriental fruit fly first instar larvae in pummelo fruits. Large scale disinfestation test, complete mortality of the first instar larvae of the oriental fruit fly on fruits was achieved, when the infested fruits were heated with hot air at 50-80 % RH from ambient. In large scale efficacy test of this treatment schedule, none of the treated 43,170 first instar larvae survived.

The thermal injury was determined in Khao Nam Phueng pummelo. Fruits were treated with MVHT until fruit center temperature 46, 47 and 48 °C then fruits were maintained at these temperatures or greater for 0, 1 and 2 h. The thermal injury found change of peel color from green to yellow, black spot and damaged oil gland after treat at 48 °C for 2 h.

Based on the experiment results, we proposed the MVHT at 46 °C for 0:30 minutes access as a quarantine treatment for Khao Nam Phueng pummelo before export to Japan.

Key words: *Bactrocera dorsalis*, Khao Nam Phueng pummel, Modified vapor heat treatment

คำนำ

ปัญหาการกักกันพืชระหว่างประเทศนับวันจะยุ่งยากและสลับซับซ้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขยายตัวทางการค้าระหว่างประเทศอย่างรวดเร็ว การนำเข้าและส่งออกผักและผลไม้มีความเสี่ยงสูงที่แมลงศัตรูพืชร้ายแรงด้านกักกันพืชจะแพร่ระบาดจากประเทศหนึ่งไปยังอีกประเทศหนึ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งแมลงวันผลไม้ การวิจัยและพัฒนาวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช (plant quarantine treatment) เพื่อใช้สำหรับกำจัดแมลงในผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่องานกักกันพืชระหว่างประเทศ เพราะช่วยให้สามารถส่งผักและผลไม้ออกจากแหล่งแพร่ระบาดของแมลงวันผลไม้ได้ โดยปราศจากความเสี่ยงที่ศัตรูพืชร้ายแรงจะเล็ดลอดติดไปกับสินค้า (อุดร, 2541) การขยายตลาดของส้มโอจะทำให้เกษตรกรสามารถมีช่องทางในการจำหน่ายได้กว้างขวางมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในการช่วยเหลือเกษตรกรที่ได้รับผลกระทบโดยส่งเสริมและผลักดันให้มีการส่งออกส้มโอเพิ่มมากขึ้น

สินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยหลายชนิดไม่สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศที่เข้มงวดทางด้านกักกันพืช เนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งแพร่ระบาดของโรคและศัตรูพืชที่สำคัญทางด้านกักกันพืช ประเทศไทยมีแมลงวันผลไม้หลายชนิดแพร่ระบาด แต่ที่มีความสำคัญทางด้านกักกันพืชมี 2 ชนิด ได้แก่ แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* และแมลงวันแดง *B. cucurbitae* ซึ่งมีความสำคัญทางด้านกักกันพืชระหว่างประเทศ (White and Elson-Harris, 1992; Iwaizumi, 2004) ส้มโอเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญชนิดหนึ่ง ส้มโอ *Citrus maxima* Merr. วงศ์ Rutaceae เป็นหนึ่งในผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยปลูกมากในพื้นที่จังหวัดสมุทรสงคราม พิจิตร เชียงราย นครศรีธรรมราช นครนายก สุราษฎร์ธานี ชัยนาท ชัยภูมิ เชียงใหม่ และลำปาง โดยเฉพาะส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งปลูกมากในพื้นที่ อำเภอสามปราชญ์ อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอบ้านแพ้ว อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย อำเภอศรีมโหสถ จังหวัดปราจีนบุรี และมีแนวโน้มที่เกษตรกรจะขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้น ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง มีรสชาติหวานหอม เนื้อนุ่มรับประทาน ราคาสูงและตลาดต่างประเทศมีความต้องการเป็นอย่างมาก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) ส้มโอเป็นพืชอาศัยของแมลงวันผลไม้ที่มีความสำคัญทางด้านกักกันพืชระหว่างประเทศ ได้แก่ แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ด้วยเหตุนี้ส้มโอจากประเทศไทยจึงถูกห้ามนำเข้าประเทศญี่ปุ่นภายใต้เงื่อนไขข้อกำหนดของกฎหมายทางด้านกักกันพืช ซึ่งจะถูกลดเลิกไปหากประเทศไทยสามารถพัฒนาวิธีการกำจัดศัตรูพืชที่ได้มาตรฐานของวิธีกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช เพื่อใช้สำหรับกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอก่อนการส่งออก แต่อย่างไรก็ดีการส่งออกส้มโอไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ ประเทศไทยจำเป็นต้องยึดหลักการตามข้อตกลงว่าด้วยการบังคับใช้มาตรการสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช (agreement on the application of sanitary and phytosanitary measures: SPS agreement) เนื่องจากประเทศไทยได้จัดทำข้อตกลงเขตการค้าเสรี (free trade area, FTA) กับหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่มีความเข้มงวดทางด้านกักกันพืช อาทิเช่น ประเทศญี่ปุ่น สาธารณรัฐเกาหลี และนิวซีแลนด์ เป็นต้น ส้มโอเป็นพืชอาศัยของแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* species complex ซึ่งแมลงวันผลไม้ชนิดนี้จัดเป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญทางด้านกักกันพืช (White and Elson-Harris, 1992; CABI, 2014) แมลงวันผลไม้เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของผลไม้หลาย

ชนิด พบระบาดอยู่ทั่วโลก ทั้งในเขตหนาว เขตอบอุ่น และเขตร้อน (Shimizu *et al.*, 2007; Jennifer and Gillett-Kaufman, 2012) รวมทั้งประเทศไทย (มนตรี, 2544; CABI, 2014) ในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือ แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* มีพืชอาหารจำนวนมากถึง 123 ชนิด โดยเฉพาะผลไม้เปลือกบางหรืออ่อนนุ่มจะถูกทำลายได้ง่าย การเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้เกิดจากตัวเต็มวัยเพศเมียจะใช้อวัยวะวางไข่ (ovipositor) แทงลงใต้ผิวของผลไม้เพื่อวางไข่ เมื่อไข่ฟักเป็นตัวหนอนจะซ่อนไข่ กัดกินเนื้อภายในผลไม้ทำให้เน่าเสีย ซึ่งการเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้สามารถเข้าทำลายได้ตั้งแต่อยู่ในแปลงปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2556; Thomas, 2004; Jennifer and Gillett-Kaufman, 2012) การทำลายอาจรุนแรงมากถึง 100 เปอร์เซ็นต์ หากไม่มีการป้องกันกำจัด ตามข้อตกลงของการอนุญาตการนำเข้าพืชผักและผลไม้ของประเทศญี่ปุ่น ประเทศไทยจำเป็นต้องดำเนินการตามมาตรฐานขั้นตอนการยกเลิกห้ามการนำเข้าสิ่งต้องห้ามที่เป็นพืชอาศัยของแมลงวันผลไม้ (standard procedure for lifting import ban of prohibited host plants of fruit flies) ของกระทรวงเกษตรป่าไม้และประมงญี่ปุ่น (ministry of agriculture, forestry and fisheries, MAFF) โดยมีขั้นตอนที่สำคัญคือกำหนดให้การขออนุญาตการนำเข้าสิ่งต้องห้ามที่เป็นพืชอาศัยของแมลงวันผลไม้ต้องยื่นเสนอแผนการศึกษาวิจัยการกำจัดแมลงวันผลไม้ก่อนการส่งออกให้กับ MAFF พิจารณาตรวจสอบและให้ความเห็นชอบก่อน การวิจัยและพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงวันผลไม้ต้องเป็นไปตามขั้นตอนที่กำหนดและมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งได้มาตรฐานตามวิธีการกำจัดศัตรูพืชต้านกักกันพืช (MAFF, 2010; Miyazaki, 2010)

ในปี พ.ศ. 2529 กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร ประสบความสำเร็จในการวิจัยพัฒนาวิธีการอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ 2 ชนิด คือ oriental fruit fly, *B. dorsalis* และmelon fly, *B. cucurbitae* ในมะม่วงพันธุ์หนึ่งกลางวัน (Unahawutti *et al.*, 1986) ต่อมาได้มีการวิจัยพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อนกระบวนการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (modified vapor heat treatment, MVHT) ที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีประสิทธิภาพสูงสามารถกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลมะม่วง (*Mangifera indica* Linn.) ครอบคลุมถึง 4 พันธุ์ คือ หนึ่งกลางวัน น้ำดอกไม้ แรด และพิมเสนแดง โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของมะม่วง (Unahawutt *et al.*, 1991) ในปี พ.ศ. 2549 และ 2559 กระทรวงเกษตรป่าไม้และประมงญี่ปุ่นอนุญาตให้มีการนำเข้ามะม่วงเพิ่มอีก 3 พันธุ์ คือ มหาชนก เขียวเสวย และโชคอนันต์ (Intarakumheng *et al.*, 2006; Intarakumheng *et al.*, 2013) หลังจากนั้นประสบความสำเร็จในการวิจัยพัฒนาวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์มีประสิทธิภาพสูงสามารถกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลมังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 58 นาที สามารถกำจัดแมลงวันผลไม้ในกลุ่ม *B. dorsalis* species complex จำนวน 4 ชนิด คือ *B. carambolae*, *B. dorsalis*, *B. papayae* และ *B. pyrifoliae* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Unahawutt *et al.*, 1999) และในปัจจุบันได้ศึกษาวิจัยและพัฒนาวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์มีประสิทธิภาพสูงสามารถกำจัดแมลงวันผลไม้ในกลุ่ม *B. dorsalis* species complex จำนวน 4 ชนิด ในผลส้มโอ (*Citrus maxima* (Burman) Merr.) พันธุ์ทองดีได้เป็นผลสำเร็จที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที (อุตร และคณะ 2549) และได้ส่งรายงานผลการศึกษาวิจัยวิธีการกำจัดแมลงวันผลไม้ดังกล่าวให้กับกระทรวงเกษตรป่าไม้และประมงญี่ปุ่นพิจารณาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในต้นปี

พ.ศ. 2555 กระทรวงเกษตรป้าไม้และประมงญี่ปุ่นอนุญาตให้นำเข้าส้มโอพันธุ์ทองดีจากประเทศไทยเข้าไปจำหน่ายในประเทศญี่ปุ่นได้อีกหนึ่งชนิด (Unahawutti *et al.*, 2006) ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการสร้างโรงงานอบไอน้ำกำจัดแมลงวันผลไม้ด้วยความร้อนขนาดใหญ่ระดับการค้ากันอย่างแพร่หลาย โดยใช้กรรมวิธีอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) ในการอบมะม่วง มังคุด และส้มโอ เพื่อการส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น สาธารณรัฐเกาหลี และนิวซีแลนด์ โดยยึดหลักการตามเงื่อนไขและข้อกำหนดของแต่ละประเทศ (มลนิภา, 2550; 2552; 2554; 2555; Srimartpirom, 2010)

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีการอบไอน้ำเพื่อกำจัดแมลงวันผลไม้ได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เพราะสามารถกำจัดแมลงวันผลไม้หลายชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังปลอดภัยจากสารพิษตกค้างภายในผลจึงผ่านการยอมรับได้โดยง่ายจากประเทศผู้นำเข้า ส้มโอเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพสูงในการส่งออกแต่ส้มโอเป็นพืชอาศัยของแมลงวันผลไม้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการวิจัยและพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อนกรรมวิธีอบไอน้ำ ตามขั้นตอนที่มีประสิทธิภาพและได้มาตรฐานตามวิธีการกำจัดศัตรูพืชทางด้านกักกันพืช

วิธีการดำเนินการ

อุปกรณ์

1. แมลงที่ใช้ในการทดลอง
 - แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis*
2. พืชที่ใช้ในการทดลอง
 - ผลส้มโอพันธุ์ชวาน้ำผึ้ง *C. maxima*
3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
 - ตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก “Sanshu” vapor heat treatment system (differential pressure type) รุ่น EHK-1000B และ EHK-1000D, Sanshu Sangyo Co., Ltd., Kagoshima, Japan
 - เครื่องลดอุณหภูมิผลไม้ “Sanshu” shower cooling system (differential pressure type) รุ่น SHS-12, Sanshu Sangyo Co., Ltd., Kagoshima, Japan
 - เครื่องอ่างน้ำร้อน (water bath; Yamato, model: DK-43)
 - พรอทวัดความร้อนมาตรฐาน (standard thermometer)
 - ที่เจาะรู (cock borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
 - กล้องจุลทรรศน์ (microscope)
 - เครื่องใช้ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการต่างๆ เช่น จานทดลอง (petri dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร กระจกพลาสติก และอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ปิเปต (pipettes) หลอดทดลอง (test tube) ปีกเกอร์ (beaker) หลอดหยด (dropper) ปากคีบ (forceps) ผ้ามีสลิน กระดาษกรองสีดำ ฟู่กัน หนัวยาง และผ้าขาวบาง

วิธีการ

1. สืบค้นฐานข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะประจำพันธุ์ชีววิทยาของส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้งเพื่อใช้ในการทดลอง

โดยการสืบค้นข้อมูลทางเว็บไซต์ของกรมวิชาการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร และจากแหล่งข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งได้จัดหาและคัดเลือกส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้งเพื่อนำมาใช้ในการทดลองในขั้นตอนของการกำจัดแมลงด้วยความร้อนและขั้นตอนของการประเมินความเสียหายต่อความร้อนจากอำเภอสามพราน และอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ใช้ผลส้มโอน้ำหนัก 1,100-1,300 กรัม/ผล (ส้มโอขนาดกลาง) นำมาเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ของกลุ่มงานกำจัดศัตรูพืชกักกัน กลุ่มวิจัยการกักกันพืช เพื่อรักษาคุณภาพของส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้งและนำมาใช้ในขั้นตอนของการทดลองต่อไป

โดยน้ำหนักผลของส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้งที่ใช้ในการทดลอง แบ่งน้ำหนักได้ดังนี้

Small size (S)	900-1,100 g
Medium size (M)	1,100-1,300 g
Large size (L)	1,300-1,500 g

2. แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 แหล่งที่มาของแมลงวันผลไม้

แมลงวันผลไม้ที่ใช้ในการทดลองได้มาจากแมลงวันผลไม้ที่เข้าทำลายผลมะเฟือง ในพื้นที่อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช และอำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง โดยทำการรวบรวมและเลี้ยงจนเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย จากนั้นจะคัดแยกชนิดอย่างละเอียดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ คัดแยกเอาเฉพาะแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* แล้วจึงนำแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยไปเลี้ยงไว้ในห้องปฏิบัติการและเพิ่มจำนวนให้มากขึ้นโดยใช้การเลี้ยงด้วยอาหารเทียม (artificial diet) ที่ห้องเลี้ยงแมลงวันผลไม้ ของกลุ่มงานกำจัดศัตรูพืชกักกัน กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร

2.2 เทคนิคและวิธีการเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์แมลงวันผลไม้

แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดใช้เทคนิคและวิธีการเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ตามวิธีการของ Watanabe *et al.*, (1973) และอุตร (2541)

สภาพห้องเลี้ยงแมลง: ห้องเลี้ยงแมลงวันผลไม้เป็นห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นและแสงสว่าง (Figure 1) ห้องเลี้ยงแมลงมีขนาด 3.5x4.6x2.3 เมตร อุณหภูมิ 26±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65±5 เปอร์เซ็นต์ แสงสว่างภายในห้องได้จากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent lights) จำนวน 20 หลอด ติดตั้งบนเพดานห้องเลี้ยงแมลง มีระยระอบของความมืดและสว่าง (light-dark cycle) เป็น 12:12 ชั่วโมง ไฟจะสว่างในช่วงเวลา 6:00-18:00 นาฬิกา ภายในห้องเลี้ยงแมลงติดหลอดไฟขนาด 15 วัตต์ จำนวน 1 หลอด ให้แสงสลัว (dim light) เป็นเวลานาน 15 นาที ก่อนและหลังที่ไฟในห้องเลี้ยงแมลงจะสว่างเพื่อช่วยกระตุ้นให้แมลงวันผลไม้ผสมพันธุ์

ตัวเต็มวัย: เลี้ยงแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยกรงใหญ่ จำนวนประมาณ 20,000 ตัว/กรง และกรงเล็ก จำนวนประมาณ 2,000 ตัว/กรง กรงเลี้ยงแมลงมีขนาด 65.5x69.0x77.0 เซนติเมตร และ 35x50x35 เซนติเมตร ทำด้วยมุ้ง

ลวดตาข่ายอลูมิเนียมขนาด 16 เมช ภายในกรงมีจานพลาสติกบรรจุอาหารสำหรับตัวเต็มวัย ซึ่งประกอบด้วย ส่วนผสมโดยน้ำหนักดังนี้ น้ำตาล 10 ส่วน เอ็นไซม์โปรตีนไฮโดรไลเซส (enzymatic protein hydrolysate; Amber series 100) 1 ส่วน และยีสต์เอ็กแทรก (yeast extract) 1 ส่วน การให้น้ำจะใช้ขวดพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 เซนติเมตร สูง 7.5 เซนติเมตร ฝาขวดเจาะรูขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 3 รู วิธีให้น้ำจะคว่ำขวดน้ำลงบนกระดาษกรองซึ่งวางอยู่บนหลังกรงเลี้ยงแมลง หลังจากเลี้ยงแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยครบ 6 สัปดาห์ แมลงที่เหลือในกรงทั้งหมดจะถูกนำไปทำลายและทำความสะอาดกรงเลี้ยงแมลง เพื่อเตรียมไว้สำหรับใส่แมลงในรุ่นต่อไป ในระหว่างการทดลองจะต้องมีแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยอายุต่างๆ กันเพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลอง กรงใหญ่ไม่น้อยกว่า 5 กรง และกรงเล็กไม่น้อยกว่า 10 กรง

วิธีการเก็บไข่: เก็บไข่แมลงวันผลไม้เมื่อตัวเต็มวัยมีอายุประมาณ 15 วัน โดยใช้กระบอกพลาสติก ขนาด 7x17 เซนติเมตร ด้านข้างเจาะรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ประมาณ 80-100 รู (Figure 2) เพื่อให้แมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยเพศเมียแทงอวัยวะวางไข่ผ่านรูจากด้านข้างเข้าไปวางไข่ภายในกระบอกพลาสติกในการเก็บไข่แต่ละครั้งจะใส่น้ำส้มประมาณ 30 มิลลิลิตร ไว้ในกระบอกเก็บไข่เพื่อกระตุ้นให้แมลงมาวางไข่ในขณะเดียวกันยังจะให้ความชื้นภายในกระบอกพลาสติกป้องกันไม่ให้ไข่ของแมลงแห้งและแตก รวบรวมไข่แมลงด้วยวิธีเติมน้ำสะอาดในกระบอกพลาสติกเก็บไข่แล้วเขย่าเบาๆ เพื่อให้ไข่ที่ติดอยู่ด้านข้างภายในกระบอกหลุด ใช้ผ้ามีสลิขนาด 150 เมช แยกไข่ออกจากน้ำส้ม รวบรวมไข่ทั้งหมดที่ได้ใส่ในน้ำกลั่นเก็บไว้ในถ้วยแก้ว (beaker) ขนาด 200 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารเทียมพร้อมทั้งตรวจหาอัตราการฟักไข่ด้วยวิธีสุ่มไข่จำนวน 100 ฟอง วางไข่ให้กระจายเป็นแถวยาวบนกระดาษกรองสีดำที่ชุ่มน้ำเก็บไว้ในจานแก้ว (petri-dish) ตรวจนับจำนวนไข่ที่ฟักเป็นตัวหนอน 2 วัน

ระยะหนอน: เลี้ยงหนอนแมลงวันผลไม้ด้วยอาหารเทียมบนสูตรข้าวโพดปน อาหารเทียมสำหรับระยะหนอน ประกอบด้วยส่วนผสมดังนี้ข้าวโพดบด 50 กรัม กระดาษชำระ 3 กรัม น้ำกลั่น 85 มิลลิเมตร น้ำตาล 5 กรัม brewer's yeast 5 กรัม butyl p-hydroxybenzoate 0.15 กรัม HCl (conc.) 0.2 มิลลิเมตร นำอาหารเทียมประมาณ 900 กรัม ใส่ในถาดพลาสติกขนาด 23x32x5 เซนติเมตร ตัดกระดาษชำระขนาด 5.5x11.0 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น วางไว้บนอาหารเทียม ใช้หลอดดูดขนาด 1 มิลลิเมตร ตวงไข่จำนวน 0.4 มิลลิเมตร แล้วนำไปวางบนกระดาษชำระ เกลี่ยไข่ด้วยพู่กันให้กระจายทั่วๆ กันบนกระดาษชำระ ด้วยวิธีการนี้จะช่วยให้หนอนไม่แก่งแย่งอาหารกันเมื่อฟักออกจากไข่ ปิดถาดอาหารเทียมด้วยถาดเปล่าอีกหนึ่งใบ เพื่อให้ภายในมีความชื้น ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับไข่จะฟักออกเป็นหนอน นำถาดอาหารเก็บไว้ในห้องเลี้ยงแมลงจนกระทั่งหนอนเจริญเติบโตเต็มที่

ระยะดักแด้: หนอนแมลงวันผลไม้เจริญเติบโตเต็มที่พร้อมที่จะเข้าดักแด้ภายใน 6 วัน เปิดฝาครอบถาดอาหารเทียม และย้ายไปวางไว้ในภาชนะสำหรับให้แมลงเข้าดักแด้ ซึ่งเป็นกระเบพลาสติกขนาด 43x74x23 เซนติเมตร ภายในบรรจุขี้เลื่อย ขนาด 20 เมช พรมน้ำให้ชื้นพอประมาณสำหรับให้หนอนเข้าดักแด้ หนอนวัย 3 ที่เจริญเติบโตเต็มที่พร้อมที่จะเข้าดักแด้จะติดตัวออกจากอาหารเทียมและเข้าดักแด้ในขี้เลื่อย ก่อนที่ดักแด้จะออกเป็นตัวเต็มวัยประมาณ 2 วัน ใช้ตระแกรงขนาด 20 เมช ร่อนแยกเอาดักแด้ออกจากขี้เลื่อย คัดดักแด้ที่ไม่สมบูรณ์หรือ

ตายทิ้งให้หมด นำดักด้วที่สมบูรณ์จำนวนประมาณ 20,000 และ 2,000 ดักด้วใส่ในภาชนะพลาสติก ขนาด 23x32x5 เซนติเมตร แล้วนำไปวางไว้ในกรงเลี้ยงแมลงที่เตรียมไว้รอให้ออกเป็นตัวเต็มวัย

การควบคุมคุณภาพแมลง: แมลงวันผลไม้ซึ่งเลี้ยงไว้ในห้องปฏิบัติการจะต้องมีความแข็งแรง เพื่อที่ข้อมูลจากผลการศึกษาวิจัยจะได้ถูกต้องและเป็นที่ยอมรับ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของแมลงเป็นประจำ โดยในการเลี้ยงแมลงแต่ละรุ่นจะตรวจสอบอัตราการฟักไข่ (hatching rate) อัตราการออกเป็นตัวเต็มวัย (emerging rate) น้ำหนักของดักด้ว และอัตราส่วนของเพศผู้และเพศเมีย (sex ratio)

3. วิธีเตรียมแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1 สำหรับใช้ในการทดลอง

ส้มโอที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ผลส้มโอมีขนาดกลางน้ำหนัก 1,100-1,300 กรัม/ผล โดยตรวจสอบสภาพความผิดปกติของผลส้มโอ ซึ่งส้มโอทุกผลจะต้องไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลงศัตรูพืชหรือรอยแตกบนผลส้มโอ

3.1 การเตรียมแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1

เก็บไข่จากแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยซึ่งเลี้ยงไว้ในห้องปฏิบัติการตามวิธีการข้างต้น รวบรวมไข่ที่ได้วางไว้บนผ้าที่ชุ่มน้ำ เก็บไว้ในกล่องพลาสติกขนาด 12x18x4.5 เซนติเมตร แล้วนำไปไว้ในห้องเลี้ยงแมลงเป็นเวลา 2 วัน เมื่อไข่ฟักออกเป็นหนอนวัย 1 ใช้ตะแกรงขนาด 80 เมช ร่อนแยกหนอนวัย 1 ออกจากเปลือกไข่ ย้ายหนอนวัย 1 ใส่ในน้ำกลั่น เก็บไว้ในถ้วยแก้ว (beaker) ขนาด 200 มิลลิลิตร ใช้หลอดดูดสารละลาย (dropper) ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดหนอนวัย 1 นำไปใส่ไว้ในจานแก้ว (petri-dish) ขนาด 10x2 เซนติเมตร พร้อมทั้งนับหนอนภายใต้กล้องจุลทรรศน์

3.2 การเตรียมส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งให้มีแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1 อยู่ภายในผล

เก็บไข่จากแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยซึ่งเลี้ยงไว้ในห้องปฏิบัติการตามวิธีการข้างต้น รวบรวมไข่ที่ได้วางไว้บนผ้าที่ชุ่มน้ำ เก็บไว้ในกล่องพลาสติกขนาด 12x18x4.5 เซนติเมตร แล้วนำไปไว้ในห้องเลี้ยงแมลงเป็นเวลา 2 วัน เมื่อไข่ฟักออกเป็นหนอนวัย 1 ใช้ตะแกรงขนาด 80 เมช ร่อนแยกหนอนวัย 1 ออกจากเปลือกไข่ ย้ายหนอนวัย 1 ใส่ในน้ำกลั่น เก็บไว้ในถ้วยแก้ว (beaker) ขนาด 200 มิลลิลิตร ใช้หลอดดูดสารละลาย (dropper) ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดหนอนวัย 1 นำไปใส่ไว้ในจานแก้ว (petri-dish) ขนาด 10x2 เซนติเมตร พร้อมทั้งนับหนอนภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Figure 3) ใช้พู่กันเขี่ยหนอนวัย 1 ให้รวมกันเป็นกลุ่มๆ ละ 200 ตัว เจาะส้มโอโดยใช้ที่เจาะรู (cock borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เจาะผลส้มโอบริเวณด้านข้างผลให้ทะลุถึงก้นผล จากนั้นดึงแกรนกลางซึ่งติดกับปลายที่เจาะรูออกจากผล แล้วใช้ที่เจาะรูเจาะผลส้มโอทางด้านข้างอีก 1 รู ให้ถึงแกรนกลางผล จากนั้นแคะเมล็ดภายในผลออกให้หมด นำส้มโอวางไว้บนภาชนะซึ่งพร้อมที่จะใส่หนอนวัย 1 ในผลส้มโอจำนวน 200 ตัว/ผล โดยใส่หนอนวัย 1 ลงบนเนื้อส้มโอภายในผลตรงบริเวณที่เจาะรูไว้ทางด้านข้าง อุดรูทั้งหมดด้วยสำลีเพื่อป้องกันไม่ให้หนอนวัย 1 เล็ดลอดออกจากผล นำส้มโอใส่ในถุงผ้าปิดปากถุงวางลงบนแป้นรองส้มโอ เพื่อให้ของเหลวภายในผลส้มโอซึ่งเกิดจากเนื้อส้มโอถูกหนอนกัดกินไหลออกจากผลซึมผ่านรูที่เจาะไว้ วิธีนี้จะช่วยให้อัตราการรอดชีวิตของแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอสูงขึ้นและวางไข่ในกระบะพลาสติกขนาด 36x54x15 เซนติเมตร

คลุมด้วยผ้าปิดกระบะ หลังจากนั้นนำส้มโอเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 5 วัน ตรวจสอบผลการทดลอง

4. การศึกษาเทคนิคและวิธีการเตรียมผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเพื่อใช้ในการทดลอง

ในการทดลองใช้ส้มโอขนาดกลางน้ำหนัก 1,100-1,300 กรัม/ผล ทำการทดลองโดยใช้ที่เจาะรู (cock borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เจาะรูบนผลส้มโอ จำนวน 3 รู ให้ลึกจนถึงกึ่งกลางผล รูที่ 1 เจาะตรงตำแหน่งขั้วผลให้ทะลุแกนกลางผล (Figure 4) รูที่ 2 เจาะด้านตรงกันข้ามกับรูที่ 1 ส่วนรูที่ 3 เจาะบริเวณด้านข้างผลให้อยู่เลยจากส่วนครึ่งบนของผล (Figure 5) สำหรับเหตุผลในการเจาะรูที่ 2 ตรงบริเวณส่วนใต้ของผลนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ของเหลวที่เกิดขึ้นจากการกินของหนอนแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอสามารถไหลออกมาได้ ซึ่งจะทำให้ภายในผลส้มโอมีสภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันผลไม้ ดึงแกนกลางซึ่งติดกับปลายที่เจาะรูออกจากผล จากนั้นแคะเมล็ดภายในผลส้มโอออกให้หมด ซึ่งพร้อมที่จะใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ จำนวน 200 ตัว/ผล โดยใส่หนอนวัย 1 ลงบนเนื้อส้มโอภายในผลตรงบริเวณที่เจาะรูไว้ทางด้านข้าง อุดรูทั้งหมดด้วยสำลีเพื่อป้องกันไม่ให้หนอนวัย 1 เล็ดลอดออกจากผล นำส้มโอใส่ในถุงผ้าปิดปากถุงวางลงบนแผ่นรองส้มโอ (Figure 6) เพื่อให้ของเหลวภายในผลส้มโอซึ่งเกิดจากเนื้อส้มโอถูกหนอนกินไหลออกจากผลซึมผ่านรูที่เจาะไว้ วิธีนี้จะช่วยให้มีอัตราการรอดชีวิตของแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอสูงขึ้น วางไว้ในกระบะพลาสติกขนาด 36x54x15 เซนติเมตร คลุมด้วยผ้าปิดกระบะ (Figure 7) นำส้มโอเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 5 วัน ตรวจสอบผลการทดลอง

5. การศึกษารูปแบบของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ทำการทดลองด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำลังแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก จำนวน 2 เครื่อง (Figure 8) ในการทดลองใช้ส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ (sensor fruit) น้ำหนัก 900-1,000 กรัม/ผล จำนวน 3 ผล วางไว้ในกระบะชั้นล่างสุด ซึ่งใช้เป็นตัวแทนแสดงอุณหภูมิของส้มโอทั้งหมดภายในเครื่องตู้อบความร้อน เมื่อส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ จำนวน 3 ผล มีอุณหภูมิคงอยู่ที่ 46 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตามที่กำหนด แสดงว่าขณะนั้นส้มโอทดลองทั้งหมดในเครื่องตู้อบความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกันกับส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ

การอบส้มโอด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (modified vapor heat treatment, MVHT) เป็นกรรมวิธีที่ให้ความร้อนกับส้มโอโดยอาศัยวิธีอบไอน้ำ (vapor heat treatment, VHT) ร่วมกับวิธีอบอากาศร้อน (hot air treatment, HAT) โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนกับส้มโอด้วยวิธีอบอากาศร้อน (HAT) อากาศร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบความร้อนผ่านส้มโอจะมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิในผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 43 องศาเซลเซียส แล้วจึงปรับเปลี่ยนเป็นวิธีอบไอน้ำ (VHT) ซึ่งอากาศร้อนจะอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ (saturated condition) ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิผลส้มโอถึง 46 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง (เซ็นเซอร์กำหนดอุณหภูมิผลส้มโอ (sensor fruit) จะต้องอ่านค่าได้ 46 องศาเซลเซียส ทั้ง 3 เส้น) ขณะอบส้มโอทำการ

บันทึกอุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาในการอบส้มโอ จากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น (hybrid recorder) ของเครื่องตู้อบความร้อน ตามค่าที่กำหนดไว้ (อุตร, 2541; อุตรและคณะ, 2549; Unahawutti *et al.*, 2006)

ซึ่งแบบแผนของการเพิ่มอุณหภูมิภายในเครื่องตู้อบความร้อน (pattern MVHT test for pummelo) ที่ใช้ในการทดลองในผลส้มโอนี้ทั้งหมดใช้แผนวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ ดังนี้

Pattern MVHT test for pummelo					
Temperature (°C)	30.0	30.0	43.0	47.0	47.0
Time (h)	0:00	0:10	0:10	0:10	10:00
Humidity RH (%)	51.0	51.0	95.0	95.0	
Time (h)	0:00	5:00	0:10	10:00	

6. การศึกษาปริมาณความจุของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในห้องบรรจุผลไม้ของเครื่องตู้อบความร้อน

ดำเนินการทดลองด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก จำนวน 2 เครื่อง ในการทดลองใช้ส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ (sensor fruit) น้ำหนัก $1,200 \pm 25$ กรัม/ผล จำนวน 3 ผล วางไว้ในกระบะชั้นล่างสุด ซึ่งใช้เป็นตัวแทนแสดงอุณหภูมิของส้มโอทั้งหมดภายในเครื่องตู้อบความร้อน เมื่อส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ จำนวน 3 ผล มีอุณหภูมิคงอยู่ที่ 46 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตามที่กำหนดแสดงว่าขณะนั้นส้มโอทดลองทั้งหมดในเครื่องตู้อบความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกันกับส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ ส้มโอที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนักประมาณ 700-900 กรัม/ผล (ส้มโอดกเกรด) จำนวนประมาณ 200 ผล การศึกษาการทำงานของเครื่องตู้อบความร้อนเพื่อกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องตู้อบความร้อนภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ กัน โดยศึกษาการทำงานของเครื่องตู้อบความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) อบส้มโอโดยให้อุณหภูมิภายในผลถึง 46 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ในขณะที่ภายในห้องอบไอน้ำ (treatment chamber) ของเครื่องตู้อบความร้อนมีปริมาณความจุ (capacity) ของผลส้มโอ จำนวน 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของความจุตู้อบความร้อน

วิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์จะอาศัยวิธีอบไอน้ำร่วมกับวิธีอบอากาศร้อน โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนด้วยวิธีอบอากาศร้อน อากาศร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบความร้อนผ่านส้มโอจะมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิภายในตู้เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งและอุณหภูมิภายในผลส้มโอมีอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียส จึงปรับเปลี่ยนการให้ความร้อนเป็นวิธีอบไอน้ำ อากาศร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ โดยให้อุณหภูมิภายในผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 46 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ในห้องอบไอน้ำใช้ภาชนะบรรจุผลไม้เป็นกระบะพลาสติกแข็งทนความร้อนขนาด 36x70x15 เซนติเมตร ขอบทั้ง 4 ด้านของกระบะทำด้วยพลาสติกแข็งทนความร้อน ส่วนบริเวณพื้นด้านล่างทำด้วยแผ่นสแตนเลส เจาะรูกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5

เซนติเมตร เรียงเป็นแถวตลอดทั่วทั้งแผ่น แต่ละรูห่างกันประมาณ 1 เซนติเมตร ทำให้ไอร้อนสามารถไหลเวียนผ่านผลไม้ได้จากกระเบหนึ่งไปยังผลไม้ในอีกกระเบหนึ่ง ในการอบส้มโอโดยใช้ภาชนะดังกล่าวนี้จะวางกระเบในห้องบรรจุผลไม้เป็น 3 แถว บนช่องที่เจาะไว้ แต่ละแถวมีกระเบวางเรียงซ้อนกัน 4 ชั้น ใส่ผลส้มโอในกระเบพลาสติกให้เต็มความจุ (Figure 9) จัดเรียงกระเบส้มโอตามปริมาณความจุ ดังนี้

ความจุ 25 เปอร์เซนต์ จำนวน 3 กระเบ วางเรียง 1 ชั้น น้ำหนักส้มโอ เท่ากับ 32.71 กิโลกรัม

ความจุ 50 เปอร์เซนต์ จำนวน 6 กระเบ วางเรียง 2 ชั้น น้ำหนักส้มโอ เท่ากับ 64.18 กิโลกรัม

ความจุ 75 เปอร์เซนต์ จำนวน 9 กระเบ วางเรียง 3 ชั้น น้ำหนักส้มโอ เท่ากับ 95.95 กิโลกรัม

ความจุ 100 เปอร์เซนต์ จำนวน 12 กระเบ วางเรียง 4 ชั้น น้ำหนักส้มโอ เท่ากับ 130.84 กิโลกรัม

อบส้มโอตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดไว้ (เช่น เซอร์กำหนดอุณหภูมิผลส้มโอ (sensor fruit) จะต้องอ่านค่าได้ 46 องศาเซลเซียส ครบทั้ง 3 เส้น) ขณะอบส้มโอทำการบันทึกอุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาในการอบส้มโอ จากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น (hybrid recorder) ของเครื่องตู้อบความร้อน ในระดับความจุที่จำนวน 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซนต์ (ทำการทดลอง 2 ครั้ง)

7. เครื่องตู้อบความร้อนและการปรับค่าความเที่ยงตรงของแท่งวัดอุณหภูมิ

ดำเนินการด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ขนาดเล็กสำหรับทดลอง จำนวน 2 เครื่อง ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลอง แท่งวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งภายในเครื่องตู้อบความร้อนทั้งหมดจะต้องนำมาตรวจสอบความเที่ยงตรง และปรับค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิที่วัดได้ของแท่งวัดอุณหภูมิแต่ละแท่ง (calibration sensor) โดยตรวจสอบเปรียบเทียบกับปรอทวัดความร้อนมาตรฐาน (standard thermometer) ซึ่งมีวิธีการดังนี้ จุ่มแท่งวัดอุณหภูมิทั้งหมดรวมทั้งปรอทวัดความร้อนมาตรฐานลงในเครื่องอ่างน้ำร้อน (water bath; Yamato, model: DK-43) (Figure 10) ตั้งค่าเครื่องอ่างน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำร้อน และมีอุณหภูมิคงที่จึงเริ่มการบันทึกอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 20 นาที

ปรอทวัดความร้อนมาตรฐานจะแสดงค่าอุณหภูมิจริงของน้ำในเครื่องอ่างน้ำร้อน อ่านค่าอุณหภูมิของแท่งวัดอุณหภูมิแต่ละแท่งจากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น (hybrid recorder; Chino, model: LE series และ FTH, model: FLE-073504E) ที่อ่านค่าได้ทุก 5 นาที (Figure 11) เครื่องตู้อบความร้อนจะติดตั้งอุปกรณ์พิเศษคือ ชุดปรับค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้า (correction resistance unit) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับปรับค่าอุณหภูมิที่แท่งวัดความร้อนอ่านได้ให้เท่ากับค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากปรอทวัดความร้อนมาตรฐาน การทดสอบความเที่ยงตรงของแท่งวัดอุณหภูมิจะเสร็จสิ้นเมื่อแท่งวัดอุณหภูมิทั้งหมดแสดงค่าอุณหภูมิที่ 46 องศาเซลเซียส โดยมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลานานติดต่อกันในช่วงเวลา 20 นาที

8. แบบแผนการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องตู้อบความร้อน

แบบแผนของการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องตู้อบความร้อนที่ใช้ในการทดลองกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอนี้ทั้งหมดใช้แผนการอบไอน้ำดังนี้ เริ่มต้นการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนด้วยวิธีอบอากาศร้อน อากาศร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบความร้อนจะมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซนต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิภายในตู้เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งและอุณหภูมิภายในผลส้มโอมีอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียส จึง

ปรับเปลี่ยนการให้ความร้อนเป็นวิธีอบไอน้ำ อากาศร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพที่อึดตัวด้วยไอน้ำโดยความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องตู้อบความร้อนต้องมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จนถึงอุณหภูมิภายในผลส้มโอได้ 46 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาที่กำหนดตลอดเวลาที่ทำการอบไอน้ำ

8.1 ขั้นตอนการกำจัดแมลงด้วยความร้อน

1. อุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในห้องบรรจุผลไม้ = 47 องศาเซลเซียส
2. อุณหภูมิภายในสุดผลส้มโอ = 46 องศาเซลเซียส
3. ระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
ก่อนอุณหภูมิผล 43 องศาเซลเซียส = 51 เปอร์เซ็นต์ RH %
หลังอุณหภูมิผล 43 องศาเซลเซียส = มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ RH %
4. วิธีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ
ภายในห้องบรรจุผลไม้ = อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแต่ละระดับใน
ช่วงเวลาดำหนด
(stepped temp. MVHT)
5. วิธีการลดอุณหภูมิผลส้มโอ = เป่าด้วยลม นาน 1 ชั่วโมง
6. การตรวจสอบการตายของแมลงวันผลไม้ = 5 วัน หลังผ่านความร้อน

ในการทดลองใช้ส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ (sensor fruit) น้ำหนัก 1,200±25 กรัม/ผล จำนวน 3 ผล วางไว้ในกระบะชั้นล่างสุด (Figure 12) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนแสดงอุณหภูมิของส้มโอทั้งหมดภายในเครื่องตู้อบความร้อน เมื่อส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ จำนวน 2 ผล มีอุณหภูมิคงอยู่ที่ 46 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตามที่กำหนด แสดงว่าขณะนั้นส้มโอทดลองทั้งหมดในเครื่องตู้อบความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกันกับส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ

8.2 ขั้นตอนการประเมินความเสียหายต่อความร้อน

1. อุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในห้องบรรจุผลไม้ = 47, 48 และ 49 องศาเซลเซียส
2. อุณหภูมิภายในสุดผลส้มโอ = 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส
3. ระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
ก่อนอุณหภูมิผล 43 องศาเซลเซียส = 65 เปอร์เซ็นต์ RH %
หลังอุณหภูมิผล 43 องศาเซลเซียส = มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ RH %
4. วิธีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ
ภายในห้องบรรจุผลไม้ = อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแต่ละระดับใน
ช่วงเวลาดำหนด
(stepped temp. MVHT)
5. วิธีการลดอุณหภูมิผลส้มโอ = เป่าด้วยลม นาน 1 ชั่วโมง
6. การประเมินความเสียหายต่อความร้อน = 7 วัน หลังผ่านความร้อน

ในการทดลองใช้ส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ (sensor fruit) น้ำหนัก 1,200±25 กรัม/ผล จำนวน 3 ผล วางไว้ในกระบะชั้นล่างสุด ซึ่งใช้เป็นตัวแทนแสดงอุณหภูมิของส้มโอทั้งหมดภายในเครื่องตู้อบความร้อน เมื่อ

ส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ จำนวน 3 ผล มีอุณหภูมิคงอยู่ที่ 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตามที่กำหนด แสดงว่าขณะนั้นส้มโอทดลองทั้งหมดในเครื่องตู้อบความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกันกับส้มโอที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิ

9. การจัดการกับส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งหลังจากการอบไอน้ำ

ในขั้นตอนการกำจัดแมลงด้วยความร้อน แยกเก็บส้มโอทดลองที่ผ่านความร้อน (treatment) และไม่ผ่านความร้อน (control) แต่ละระยะเวลาใส่ในถุงผ้าปิดปากถุง วางลงบนแป้นรองส้มโอเพื่อให้ของเหลวภายในผลส้มโอซึ่งเกิดจากเนื้อส้มโอถูกหนอนกัดกินไหลออกจากผลส้มผ่านรูที่เจาะไว้และวางไว้ในกระบะพลาสติกขนาด 36x54x15 เซนติเมตร คลุมด้วยผ้าปิดกระบะ หลังจากนั้นนำส้มโอเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (Figure 13) ที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ตรวจนับจำนวนหนอนแมลงวันผลไม้ที่รอดชีวิตในส้มโอแต่ละผล หลังจากผ่านความร้อนเป็นเวลานาน 5 วัน (Figure 14) โดยบันทึกจำนวนหนอนที่รอดชีวิตทั้งหมดในส้มโอทดลองที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดนำข้อมูลไปคำนวณหาอัตราการตายที่แท้จริง (corrected mortality) โดยอาศัยสูตรของ Abbott (Abbott, 1925)

10. การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ ศึกษา 2 การทดลอง แต่ละการทดลองมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้ ดำเนินการทดลองด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก จำนวน 2 เครื่อง ใช้ส้มโอพันธุ์ทองดีเป็นตัวเปรียบเทียบพันธุ์กับส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง (การทดลองที่ 1) โดยใช้หนอนวัย 1 เพื่อเป็นตัวแทนของแมลงในการเตรียมส้มโอให้มีแมลงวันผลไม้ที่อยู่ในผล (artificial infestation method) จากรายงานของอุตรและคณะ (2549) และ Unahawutti *et al.* (2006) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความทนทานต่อความร้อนของแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอพันธุ์ทองดี เพื่อกำหนดระยะเวลาการเจริญเติบโตที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด โดยอบส้มโอด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์กำจัดแมลงวันผลไม้ในระยะไข่ หนอนวัย 1, 2 และ 3 เพื่อเปรียบเทียบอัตราการตายของแมลงแต่ละระยะการเจริญเติบโต อบส้มโอให้อุณหภูมิภายในผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 45 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที จากผลการทดลอง พบว่าระยะไข่ หนอนวัย 2 และ 3 ตายทั้งหมดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 50, 20 และ 30 นาที ส่วนหนอนวัย 1 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที ยังคงรอดชีวิต จากผลการทดลองแสดงว่าหนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอมีความทนทานต่อความร้อนมากที่สุดด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์

อุตรและคณะ (2549) และ Unahawutti *et al.* (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการกำจัดแมลงกับแมลงจำนวนน้อยในผลส้มโอพันธุ์ทองดี โดยใช้หนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ซึ่งมีความทนทานต่อความร้อนมากที่สุดด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ โดยเปลี่ยนอุณหภูมิผลจากเดิมที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิผลที่ 46 องศาเซลเซียส อบส้มโอด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อ

อุณหภูมิของผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 46 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 46 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที จากผลการทดลอง พบว่า หนอนวัย 1 ตายทั้งหมด ที่อุณหภูมิผล 46 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

มลนิภาและคณะ (2554) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความทนทานต่อความร้อนของแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1 ในผลส้มโอพันธุ์ทองดีเปรียบเทียบกับส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยอบส้มโอทั้ง 2 สายพันธุ์ภายในเครื่องตู้อบความร้อนเดียวกันด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ เมื่ออุณหภูมิของผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 45 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที จากผลการทดลอง พบว่า หนอนวัย 1 ในผลส้มโอพันธุ์ทองดีและส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งตายทั้งหมดที่อุณหภูมิผล 45 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที

ส้มโอที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนัก 1,100-1,300 กรัม/ผล (ส้มโอขนาดกลาง) ใช้ส้มโอทั้งหมดจำนวน 176 ผล นำส้มโอทดลองเข้าเครื่องตู้อบความร้อน (Figure 15) วางเรียงส้มโอที่ทำการใส่หนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ ในผลส้มโอ ผลละ 200 ตัว จำนวน 4 ผล/ถาด อบส้มโอโดยการเพิ่มอุณหภูมิผลส้มโอให้เป็นไปตามข้อ 8 และ 8.1 โดยมีการอบเป็นเวลานานที่แตกต่างกัน ดังนี้

การทดลองที่ 1: ใช้ระยะเวลาอบนาน 0, 10, 20 และ 30 นาที แต่แต่ละระยะเวลาที่กำหนดมีส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) จำนวน 64 ผล และมีส้มโอที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) ไม่ผ่านความร้อนจำนวน 16 ผล ทำการทดลอง 4 ครั้ง

การทดลองที่ 2: ใช้ระยะเวลา 0, 10 และ 20 นาที แต่แต่ละระยะเวลาที่กำหนดมีส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) จำนวน 72 ผล และมีส้มโอที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) ไม่ผ่านความร้อนจำนวน 24 ผล ทำการทดลอง 3 ครั้ง

11. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ในขั้นตอนการประเมินความเสียหายของกระบวนการอบไอน้ำต่อส้มโอ ตรวจสอบสภาพความผิดปกติของผลส้มโอ ซึ่งส้มโอทุกผลจะต้องไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลงศัตรูพืชหรือรอยแตก แยกเป็นส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) และส้มโอที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) ไม่ผ่านความร้อน นำส้มโอทดลองเข้าเครื่องตู้อบความร้อน อบส้มโอโดยการเพิ่มอุณหภูมิผลส้มโอให้เป็นไปตามข้อ 8 และ 8.2 อบส้มโอภายในเครื่องตู้อบความร้อนให้อุณหภูมิภายในสุดผลของส้มโอเพิ่มขึ้นจนถึง 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส และคงความร้อนภายในผลไว้ที่อุณหภูมิ 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการให้ความร้อนลดอุณหภูมิส้มโอทันทีโดยวิธีเป่าด้วยลม นาน 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องลดอุณหภูมิผลไม้ (Figure 16) เปรียบเทียบกับส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน นำส้มโอทดลองทั้งหมดที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อนบรรจุใส่ในกล่องกระดาษขนาด 34x47x18 เซนติเมตร (Figure 17) ด้านยาวทั้งสองข้างเจาะรู พร้อมทั้งปิดด้วยผ้าตาข่ายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1.6 มิลลิเมตร จำนวน 4 รู เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน (Figure 18) เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำส้มโอทั้งหมดที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อนมาประเมินความเสียหายจากความร้อน โดยใช้หลักเกณฑ์พิจารณาและดำเนินการในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) ศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของส้มโอโดยคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปด้วยวิธีการบันทึกน้ำหนักส้มโอก่อนการทดลอง และในวันที่ตรวจผลการทดลองซึ่งน้ำหนักผลส้มโออีกครั้งหนึ่ง

2. ปริมาณน้ำตาล (brix value) ในการทดลองแต่ละครั้งคั้นน้ำจากเนื้อส้มโอที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล ซึ่งปริมาณน้ำตาลในรูปปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) มีหน่วยเป็นค่าองศาบริกซ์ การวัดปริมาณน้ำตาลจากเนื้อส้มโอใช้เครื่อง digital refractometer (รุ่น DBX-30, atago Co., Ltd., Tokyo, Japan) (Figure 19)

3. ปริมาณกรด (acidity value) ในการทดลองแต่ละครั้ง คั้นน้ำจากเนื้อส้มโอที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรด ซึ่งปริมาณกรดในรูปปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ การวัดปริมาณกรดจากเนื้อส้มโอใช้เครื่อง digital acilyzer (รุ่น 5 006P) (Figure 20)

4. การเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอ (peel color) ใช้เกณฑ์การประเมิน ดังนี้

0	=	100 เปอร์เซ็นต์ สีเปลือกส้มโอมีสีเขียว (ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง)
1	=	0-25 เปอร์เซ็นต์ สีเปลือกส้มโอมีสีเหลือง
2	=	25-50 เปอร์เซ็นต์ สีเปลือกส้มโอมีสีเหลือง
3	=	50-75 เปอร์เซ็นต์ สีเปลือกส้มโอมีสีเหลือง
4	=	75-100 เปอร์เซ็นต์ สีเปลือกส้มโอมีสีเหลือง

นำข้อมูลการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอ วิเคราะห์ผลทางสถิติ และตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีการตรวจสอบแบบ t-test

12. การศึกษายืนยันประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การศึกษายืนยันประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ โดยการประเมินประสิทธิภาพการกำจัดแมลงมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้ การทดลองนี้ใช้รูปแบบการทำลายของแมลงวันผลไม้ 2 รูปแบบ คือ ใช้วิธีการใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ในผลส้มโอ (artificial infestation method) และใช้วิธีการให้แมลงวันผลไม้วางไข่ในผลส้มโอ (forced infestation method) แต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

1. รูปแบบการทำลายโดยวิธีการใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ในผลส้มโอ (artificial infestation method) ทำเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 10 ใช้ส้มโอทดลอง จำนวน 240 ผล แยกเป็นส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) จำนวน 180 ผล และส้มโอที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) ไม่ผ่านความร้อนจำนวน 60 ผล นำส้มโอทั้งหมดเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิโดยมีอุณหภูมิประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำส้มโอไปใช้ในการทดลอง

2. รูปแบบการทำลายโดยวิธีการให้แมลงวันผลไม้วางไข่ในผลส้มโอ (forced infestation method)
 เจาะรูด้วยเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร บนผลส้มโอ จำนวน 10 รู/ผล ให้ทะลุเปลือกไปถึงเนื้อ (Figure 21) เพื่อบังคับให้แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ตัวเต็มวัยเพศเมียแทงอวัยวะวางไข่เข้าไปวางไข่ในผลส้มโอ ผ่านรูที่เจาะไว้ ใช้ส้มโอทดลอง จำนวน 80 ผล แยกเป็นส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) จำนวน 60 ผล และ ส้มโอที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) ไม่ผ่านความร้อน จำนวน 20 ผล นำไปวางไว้ในกรงเลี้ยงแมลงขนาดเล็กที่มีแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัย จำนวนประมาณ 2,000 ตัว (Figure 22) ใช้ระยะเวลาในการให้แมลงวางไข่ 1 ชั่วโมง นำส้มโอทั้งหมดเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ โดยมีอุณหภูมิประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำ ส้มโอไปใช้ในการทดลอง

ทำการอบส้มโอในสภาพของตู้อบความร้อนมีปริมาณส้มโอน้ำหนัก 61-125 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (low load and full load) แบ่งส้มโอที่มีแมลงวันผลไม้หนอนวัย 1 ที่อยู่ภายในผล ทั้ง 2 วิธี ออกเป็น 4 ส่วน เลือกส้มโอทดลองที่ได้จากวิธีการใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ในผลส้มโอ และวิธีการให้แมลงวันผลไม้วางไข่ในผลส้มโอ 1 ส่วน จำนวน 6 และ 2 ผล เก็บไว้สำหรับใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) ไม่ผ่านความร้อน ส้มโอส่วนนี้จะใช้สำหรับการประมาณจำนวนแมลงทั้งหมดในส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) เนื่องจากว่าจำนวนแมลงที่มีชีวิตในส้มโอที่ผ่านความร้อนนั้นไม่สามารถที่จะทำการตรวจสอบได้โดยตรง สำหรับส้มโออีก 3 ส่วน แบ่งจำนวนเท่าๆ กัน ใส่ในภาชนะบรรจุผลไม้แบบกระเบพลาสติกแข็งทนความร้อนขนาด 36x70x15 เซนติเมตร กระเบเดียวกัน จำนวน 3 กระเบ ในแต่ละกระเบมีส้มโอทดลองโดยวิธีการใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ในผลส้มโอ จำนวน 6 ผล/กระเบ และวิธีการให้แมลงวันผลไม้วางไข่ในผลส้มโอ จำนวน 2 ผล/กระเบ (Figure 23) และใส่ส้มโอที่ไม่ใช้ในการทดลอง (filler fruit) (Figure 24) เฉลี่ยจำนวนเท่าๆ กัน ในกระเบบรรจุผลไม้ อีก 9 กระเบ และนำไปวางซ้อนลงบนกระเบซึ่งบรรจุส้มโอทดลองในสภาพที่ห้องบรรจุผลไม้ของเครื่องตู้อบความร้อนมีปริมาณส้มโอ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (low load and full load) ของความจุ (Figure 25) นำส้มโอเข้าเครื่องตู้อบความร้อนเพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1 โดยให้มีแมลงทดลองจำนวนไม่น้อยกว่า 30,000 ตัวตายทั้งหมด

13. การศึกษาความเสียหายต่อคุณภาพผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การประเมินความเสียหายของกระบวนการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่อส้มโอในสภาพจำลอง การส่งออกส้มโอทางเครื่องบินและทางเรือ โดยตรวจสอบสภาพความผิดปกติของผลส้มโอซึ่งส้มโอทุกผลจะต้องไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลงหรือรอยแตก แยกเป็นส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) จำนวน 12 ผล และส้มโอที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) ไม่ผ่านความร้อน จำนวน 4 ผล นำส้มโอทดลองเข้าเครื่องตู้อบความร้อนวางส้มโอที่ผ่านความร้อนไว้ในกระเบชั้นล่างสุดใส่ในภาชนะบรรจุผลไม้แบบกระเบพลาสติกแข็งทนความร้อนขนาด 36x70x15 เซนติเมตร จำนวน 3 กระเบ ในแต่ละกระเบมีส้มโอทดลอง จำนวน 8 ผล/กระเบ (Figure 26) แยกเป็นส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) ทางเครื่องบิน จำนวน 4 ผล และทางเรือ จำนวน 4 ผล และใส่ส้มโอที่ไม่ใช้ในการทดลอง (filler fruit) เฉลี่ยจำนวนเท่าๆ กัน ให้เพิ่มความจุของกระเบ ในกระเบบรรจุผลไม้ อีก 9 กระเบ

และนำไปวางซ้อนลงบนกระเบซึ่งบรรจุส้มโอทดลองในสภาพที่ห้องบรรจุผลไม้ของเครื่องตู้อบความร้อนมีปริมาณ ส้มโอ 100 เปอร์เซ็นต์ ของความจุตู้ (Figure 27) เพื่อประเมินความเสียหายของกระบวนการอบไอน้ำปรับสภาพ ความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที อบส้มโอโดยการเพิ่มอุณหภูมิผลส้มโอให้เป็นไปตามข้อ 8 และ 8.2 โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนด้วยวิธีอบอากาศร้อน อากาศร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบความร้อนมี ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิภายในตู้เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งและอุณหภูมิ ภายในผลส้มโอมีอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียส จึงปรับเปลี่ยนการให้ความร้อนเป็นวิธีอบไอน้ำ อากาศร้อนมี ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพที่อึดตัวด้วยไอน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการให้ ความร้อนลดอุณหภูมิส้มโอภายในตู้อบความร้อน โดยวิธีเป่าด้วยลม นาน 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับส้มโอที่ไม่ผ่าน ความร้อน นำส้มโอทดลองทั้งหมดที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อน บรรจุใส่ในกล่องกระดาษขนาด 34x47x18 เซนติเมตร ด้านยาวทั้งสองข้างเจาะรูพร้อมทั้งปิดด้วยผ้าตาข่าย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1.6 มิลลิเมตร จำนวน 4 รู เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน เพื่อ จำลองสภาพการส่งออกส้มโอทางเครื่องบินและทางเรือ เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำส้มโอทั้งหมดที่ผ่านความ ร้อนและไม่ผ่านความร้อนมาประเมินความเสียหายจากความร้อน โดยใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาและดำเนินการให้ เป็นไปตามข้อ 11

เวลาและสถานที่

ระยะเวลาดำเนินงาน 3 ปี (ตุลาคม 2559 ถึง กันยายน 2561) ที่ห้องปฏิบัติการของกลุ่มงานกำจัดศัตรูพืช กักกัน กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สืบค้นฐานข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะประจำพันธุ์ชีววิทยาของส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้งเพื่อใช้ในการทดลอง

ส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้งมีชื่อวิทยาศาสตร์และลักษณะทางพฤกษศาสตร์เหมือนกับส้มโอทั่วไป เป็นไม้ยืนต้น สูงประมาณ 5-10 เมตร กิ่งก้านมีขนและมีหนามแหลม ใบเป็นใบประกอบชนิดมีใบย่อยเพียงใบเดียว ออกเรียง สลับ รูปรี ดอกออกเป็นช่อตามซอกใบและปลายยอด กลีบดอกสีขาว มีกลิ่นหอม ขนาดผลค่อนข้างใหญ่ ทรงผล ค่อนข้างกลมสูง ไม่มีจุดที่หัวผล ก้านผลเรียบ ต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกผลเป็นสีเขียวเข้ม เปลือกผลหนาประมาณ 2.3 เซนติเมตร น้ำหนักเปลือก 300-780 กรัม สีของเปลือกในและผนังกลีบสีขาว ผลมีน้ำหนักประมาณ 700-2,000 กรัม มีเส้นรอบวง 17-24 นิ้ว ใน 1 ผล จะมีเนื้อ 12-15 กลีบ เยื่อหุ้มกลีบสีขาว เนื้อกึ่ง (juice sac) สีเหลืองอม น้ำตาลหรือเนื้อกึ่งเป็นสีขาวอมเหลืองคล้ายสีของน้ำผึ้ง แกะเนื้อออกจากเยื่อหุ้มกลีบได้ง่าย ให้น้ำเยอะแต่เนื้อไม่ แฉะ มีเมล็ดน้อย รสชาติหวานอมเปรี้ยวและกรอบ ผลแก่จัดเนื้อแห้ง ไม่มีรสขมและรสซ่า แหล่งปลูกส้มโอพันธุ์ ชาวน้ำผึ้งที่สำคัญอยู่ในพื้นที่ อำเภอสามพราน อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม อำเภอไทรโยค จังหวัด กาญจนบุรี อำเภอบ้านแพ้ว อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี อำเภอ ศรีสังขลาลัย จังหวัดสุโขทัย และอำเภอศรีมโหสถ จังหวัดปราจีนบุรี

2. การเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์และเพิ่มปริมาณแมลงวันผลไม้ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการทดลอง

การเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์และเพิ่มปริมาณแมลงวันผลไม้ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการทดลองภายในห้องเลี้ยงแมลงวันผลไม้ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 65-70 เปอร์เซ็นต์ โดยในการเลี้ยงแมลงแต่ละรุ่นจะตรวจสอบอัตราการฟักไข่ (hatching rate) อัตราการออกเป็นตัวเต็มวัย (emerging rate) น้ำหนักของดักแด้ (pupa weight) และอัตราส่วนของเพศผู้และเพศเมีย (sex ratio) จากการเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์และเพิ่มปริมาณแมลงวันผลไม้ พบว่า แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* มีความแข็งแรงตามมาตรฐานงานทดลองและสามารถเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณได้มากกว่า 50,000 ตัว ซึ่งเพียงพอเพื่อใช้สำหรับงานทดลองการกำจัดแมลงด้วยความร้อนในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์

3. การศึกษาเทคนิคและวิธีการเตรียมผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเพื่อใช้ในการทดลอง

โดยใช้ที่เจาะรู (cock borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เจาะรูบนผลส้มโอ จำนวน 3 รู ให้ลึกจนถึงกึ่งกลางผล รูที่ 1 เจาะตรงตำแหน่งขั้วผลให้ทะลุแกนกลางผล รูที่ 2 เจาะด้านตรงกันข้ามกับรูที่ 1 ส่วนรูที่ 3 เจาะบริเวณด้านข้างผลให้อยู่เลยจากส่วนครึ่งบนของผล สำหรับเหตุผลในการเจาะรูที่ 2 ตรงบริเวณส่วนใต้ของผลนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ของเหลวที่เกิดขึ้นจากการกินของหนอนแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอสามารถไหลออกมาได้ ซึ่งจะทำให้ภายในผลส้มโอมีสภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันผลไม้ ดึงแกนกลางซึ่งติดกับปลายที่เจาะรูออกจากผล แคระเมล็ดภายในผลส้มโอออก นำส้มโอวางไว้ซึ่งพร้อมที่จะใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ จำนวน 200 ตัว/ผล โดยใส่หนอนวัย 1 ลงบนเนื้อส้มโอภายในผลตรงบริเวณที่เจาะรูไว้ทางด้านข้าง อดูรูทั้งหมดด้วยสาลีเพื่อป้องกันไม่ให้หนอนวัย 1 เล็ดลอดออกจากผล นำส้มโอใส่ในถุงผ้าปิดปากถุงวางลงบนแป้นรองส้มโอ เพื่อให้ของเหลวภายในผลส้มโอซึ่งเกิดจากเนื้อส้มโอถูกหนอนกินไหลออกจากผลส้มโอซึมผ่านรูที่เจาะไว้ วางไว้ในกระบะพลาสติกขนาด 36x54x15 เซนติเมตร คลุมด้วยผ้าปิดกระบะ หลังจากนั้นนำส้มโอเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 5 วัน ตรวจสอบผลการทดลอง จากการทดลอง พบว่า เทคนิคและวิธีการเตรียมผลส้มโอเพื่อใช้ในการทดลองวิธีการดังกล่าว หนอนวัย 1 มีอัตราการรอดชีวิตสูงและสามารถเจริญเติบโตอยู่ภายในผลส้มโอได้เป็นอย่างดี

4. การศึกษารูปแบบของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ทำการทดลองด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก จำนวน 2 เครื่อง การอบส้มโอด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) เป็นกรรมวิธีที่ให้ความร้อนกับส้มโอโดยอาศัยวิธีอบไอน้ำ (VHT) ร่วมกับวิธีอบอากาศร้อน (HAT) โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนกับส้มโอด้วยวิธีอบอากาศร้อน อากาศร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบความร้อนผ่านส้มโอจะมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิในผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 43 องศาเซลเซียส แล้วจึงปรับเปลี่ยนเป็นวิธีอบไอน้ำ ซึ่งอากาศร้อนจะอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ (saturated condition) ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ อบส้มโอโดยให้อุณหภูมิภายในผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 46 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิไว้ที่ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ขณะอบส้มโอทำ

การบันทึกอุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาในการอบส้มโอ จากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น (hybrid recorder) ของเครื่องตู้อบความร้อน ระยะเวลาที่ใช้ในการอบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง รวมทั้งน้ำหนักส้มโอกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งได้แสดงไว้ใน (Table 1) จากการทดลองพบว่า วิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในผลส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง สามารถคงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องตู้อบความร้อนได้ตามค่าที่กำหนด (Table 2 and 3) ซึ่งวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์นี้มีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้ในการทดลองการกำจัดแมลงด้วยความร้อนเพื่อกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอ

5. การศึกษาปริมาณความจุของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในท้องบรรจุผลไม้ของเครื่องตู้อบความร้อน

ทำการทดลองด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก จำนวน 2 เครื่อง ส้มโอที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดมีจำนวนประมาณ 200 ผล ศึกษาการทำงานของเครื่องตู้อบความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) อบส้มโอโดยเพิ่มอุณหภูมิภายในผลส้มโอให้อุณหภูมิผลถึง 46 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ในขณะที่ภายในห้องอบไอน้ำ (treatment chamber) ของเครื่องตู้อบความร้อนมีปริมาณความจุ (capacity) ของผลส้มโอจำนวน 25, 50, 75 และ 100 เพอร์เซ็นต์ ของความจุตู้เครื่องตู้อบความร้อน ใส่ผลส้มโอในกระบะพลาสติกให้เต็มความจุจัดเรียงกระบะส้มโอตามปริมาณความจุ ดังนี้

ความจุ 25 เพอร์เซ็นต์ จำนวน 3 กระบะ วางเรียง 1 ชั้น น้ำหนักส้มโอ เท่ากับ 32.71 กิโลกรัม

ความจุ 50 เพอร์เซ็นต์ จำนวน 6 กระบะ วางเรียง 2 ชั้น น้ำหนักส้มโอ เท่ากับ 64.18 กิโลกรัม

ความจุ 75 เพอร์เซ็นต์ จำนวน 9 กระบะ วางเรียง 3 ชั้น น้ำหนักส้มโอ เท่ากับ 95.95 กิโลกรัม

ความจุ 100 เพอร์เซ็นต์ จำนวน 12 กระบะ วางเรียง 4 ชั้น น้ำหนักส้มโอ เท่ากับ 130.84 กิโลกรัม

จากการศึกษา พบว่า การทำงานของเครื่องตู้อบความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์ สามารถคงอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องตู้อบความร้อนได้ตามค่าที่กำหนด ในสภาพของเครื่องตู้อบความร้อนมีปริมาณความจุของผลส้มโอแตกต่างกัน จำนวน 25, 50, 75 และ 100 เพอร์เซ็นต์ ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการอบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบนาน 7:00, 6:35, 6:45 และ 6:25 ชั่วโมง ตามลำดับ ในเครื่องตู้อบความร้อนที่ 1 และในเครื่องตู้อบความร้อนที่ 2 ใช้ระยะเวลาอบนาน 6:53, 6:20, 6:10 และ 5:45 ชั่วโมง ตามลำดับ (Table 4) ซึ่งวิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์ของผลส้มโอในสภาพความจุที่แตกต่างกันดังกล่าว จะใช้ระยะเวลาในการอบส้มโอในแต่ละครั้งประมาณ 6:00-7:00 ชั่วโมง

6. เครื่องตู้อบความร้อนและการปรับค่าความเที่ยงตรงของแท่งวัดอุณหภูมิ

จากการปรับค่าความเที่ยงตรงของแท่งวัดอุณหภูมิตรวจสอบเปรียบเทียบกับปรอทวัดความร้อนมาตรฐาน โดยจุ่มแท่งวัดอุณหภูมิทั้งหมดรวมทั้งปรอทวัดความร้อนมาตรฐานลงในเครื่องอ่างน้ำร้อน ตั้งค่าเครื่องอ่างน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำร้อนและมีอุณหภูมิคงที่จึงเริ่มการบันทึกอุณหภูมิ จากการปรับค่าความเที่ยงตรงของแท่งวัดอุณหภูมิ พบว่า แท่งวัดอุณหภูมิทั้งหมดสามารถคงอุณหภูมิที่ 46 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 99.9-100 เพอร์เซ็นต์ จากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น (hybrid recorder) ที่อ่านค่าได้ทุก 5 นาที

ซึ่งระยะเวลา อุณหภูมิ และความชื้นในการปรับค่าความเที่ยงตรงของแห่งวัดอุณหภูมิที่ 46 องศาเซลเซียส ได้แสดงไว้ใน (Table 5) โดยมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลานานติดต่อกันในช่วงเวลานาน 20 นาที

7. การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอพันธุ์ชวบน้ำผึ้ง

การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ ศึกษา 2 การทดลอง แต่ละการทดลองมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้ ดำเนินการทดลองด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก จำนวน 2 เครื่อง ใช้ส้มโอพันธุ์ทองดีเป็นตัวเปรียบเทียบกับส้มโอพันธุ์ชวบน้ำผึ้ง (การทดลองที่ 1) และใช้หนอนวัย 1 เพื่อเป็นตัวแทนของแมลงในการเตรียมส้มโอให้มีแมลงวันผลไม้ที่อยู่ในผล (artificial infestation method) ออบส้มโอกำจัดแมลงวันผลไม้หนอนวัย 1 เพื่อกำหนดกระบวนการอบไอน้ำที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงวันผลไม้จำนวนไม่น้อยกว่า 3,000 ตัวในผลส้มโอให้ตายทั้งหมด ในการทดลองนี้ใช้ส้มโอทั้งหมดจำนวน 176 ผล นำส้มโอทดลองเข้าเครื่องตู้อบความร้อน วางเรียงส้มโอที่ทำการใส่หนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอผลละ 200 ตัว จำนวน 4 ผล/ถาด ออบส้มโอโดยการเพิ่มอุณหภูมิผลส้มโอให้เป็นไปตามข้อ 8 และ 8.1 ออบส้มโอภายในเครื่องตู้อบความร้อนให้อุณหภูมิภายในผลส้มโอเพิ่มขึ้นจนถึง 46 องศาเซลเซียส และคงความร้อนภายในผลไว้ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานที่แตกต่างกันดังนี้

การทดลองที่ 1 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 10, 20 และ 30 นาที รวมทั้งน้ำหนักส้มโอกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งได้แสดงไว้ใน (Table 6 and 7) จากการทดลอง 4 ครั้ง พบว่า ส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน จำนวน 16 ผล มีแมลงวันผลไม้รอดชีวิต จำนวน 2,644 ตัว แสดงว่าในส้มโอจำนวน 64 ผล ซึ่งผ่านความร้อนแต่ละระยะเวลาที่กำหนดแมลงวันผลไม้หนอนวัย 1 รอดชีวิต จำนวน 4 ตัว ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 10, 20 และ 30 นาที โดยมีอัตราการตายของหนอนวัย 1 เฉลี่ย 100, 98.82, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 8 and 9)

การทดลองที่ 2 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 10 และ 20 นาที รวมทั้งน้ำหนักส้มโอกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งได้แสดงไว้ใน (Table 10 and 11) จากการทดลอง 3 ครั้ง พบว่า ส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน จำนวน 24 ผล มีแมลงวันผลไม้รอดชีวิต จำนวน 4,144 ตัว ซึ่งในส้มโอที่ผ่านความร้อนแต่ละระยะเวลาที่กำหนดจำนวน 72 ผล แมลงวันผลไม้หนอนวัย 1 รอดชีวิต จำนวน 9 ตัว ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 10 และ 20 นาที โดยมีอัตราการตายของหนอนวัย 1 เฉลี่ย 99.34, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 12)

จากการทดลองจึงประมาณการได้ว่าส้มโอซึ่งผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส แต่ละระยะเวลาที่กำหนดจะมีหนอนที่รอดชีวิตได้จำนวนไม่น้อยกว่าประมาณ 12,432 ตัว ผลการตรวจนับจำนวนแมลงในผลส้มโอจากการทดลองปรากฏว่า หนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอตายทั้งหมดเมื่อคงความร้อนที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานตั้งแต่ 10 นาทีขึ้นไป กระบวนการกำจัดแมลงดังกล่าวนี้มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงได้ตามข้อกำหนดของวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช ดังนั้นควรจะได้มีการ

ทดสอบการศึกษายืนยันกระบวนการกำจัดแมลงดังกล่าวข้างต้น เพื่อใช้เป็นวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืชสำหรับกำจัดระยะไข่ และหนอนวัยต่างๆ ของแมลงวันผลไม้ในส้มโอก่อนการส่งออก

8. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้ง

การประเมินความเสียหายของกระบวนการอบไอน้ำต่อส้มโอ ตรวจสอบสภาพความผิดปกติของผลส้มโอ ซึ่งส้มโอทุกผลจะต้องไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลงศัตรูพืชหรือรอยแตก แยกเป็นส้มโอที่ผ่านความร้อน (treatment) และส้มโอที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) ไม่ผ่านความร้อน นำส้มโอทดลองเข้าเครื่องตู้อบความร้อน อบส้มโอด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) โดยการเพิ่มอุณหภูมิผลส้มโอภายในเครื่องตู้อบความร้อนให้อุณหภูมิภายในผลส้มโอเพิ่มขึ้นจนถึง 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส และคงความร้อนภายในผลไว้ที่อุณหภูมิ 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ระยะเวลาที่ใช้ในการอบส้มโอรวมทั้งน้ำหนักส้มโอกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งได้แสดงไว้ใน (Table 13 and 14) เมื่อสิ้นสุดการให้ความร้อนลดอุณหภูมิผลส้มโอโดยวิธีเป่าด้วยลมนาน 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน นำส้มโอทดลองทั้งหมดที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อน บรรจุใส่ในกล่องกระดาษขนาด 34x47x18 เซนติเมตร ด้านยาวทั้งสองข้างเจาะรูพร้อมทั้งปิดด้วยผ้าตาข่าย จำนวน 4 รู เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำส้มโอทั้งหมดที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อนมาประเมินความเสียหายจากความร้อนจากการทดลองพบว่า การสูญเสียน้ำหนักของส้มโอที่ผ่านความร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 15) ปริมาณน้ำตาล ค่าความเป็นกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง หลังจากเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน โดยคุณภาพความหวานของส้มโอไม่เปลี่ยนแปลง (Table 16 and 17) นอกจากนี้การเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง จะเปลี่ยนสีจากเดิมที่มีสีเขียว เปลี่ยนเป็นสีที่ค่อนข้างเหลืองมากกว่าส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อนและส้มโอที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 46 และ 47 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง (Table 18) โดยที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ยังพบจุดดำ (black spot) ซึ่งเป็นอาการที่เกิดจากต่อมน้ำมันที่เปลือกของผลส้มโอแตก (damaged oil gland) (Figure 28) เมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงและคงความร้อนไว้เป็นระยะเวลานาน

9. การศึกษายืนยันประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้ง

เตรียมส้มโอทดลองให้มีแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1 อยู่ในผล ศึกษา 2 วิธีการ คือ 1. วิธีการใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ในผลส้มโอ (artificial infestation method) และ 2. วิธีการให้แมลงวันผลไม้วางไข่ในผลส้มโอ (forced infestation method) นำส้มโอเข้าเครื่องตู้อบความร้อนเพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ในการกำจัดแมลงวันผลไม้หนอนวัย 1 จำนวนไม่น้อยกว่า 30,000 ตัว ให้ตายทั้งหมด เพื่อการยอมรับเป็นวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการอบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที รวมทั้งน้ำหนักส้มโอกำหนด

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งได้แสดงไว้ใน (Table 19 and 20) จากการทดลองพบว่า ส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อนจำนวน 60 และ 20 ผล มีแมลงรอดชีวิตจำนวน 9,961 และ 4,438 ตัว ซึ่งส้มโอที่ผ่านความร้อน จำนวน 180 และ 60 ผล ไม่พบแมลงรอดชีวิต โดยสามารถกำจัดหนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ได้ประมาณ 43,170 ตัว ในผลส้มโอตายทั้งหมด (Table 21)

ซึ่งวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนด้วยวิธีอบอากาศร้อน อากาศร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบความร้อนจะมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิภายในตู้เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งและอุณหภูมิภายในผลส้มโอมีอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียส จึงปรับเปลี่ยนการให้ความร้อนเป็นวิธีอบไอน้ำ อากาศร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ (saturated condition) ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการอบส้มโอดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพสูงได้ระดับมาตรฐานที่ยอมรับเป็นวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช เพื่อใช้กำจัดแมลงวันผลไม้ระยะไข่และหนอนวัยต่างๆ ในส้มโอก่อนการส่งออก เพราะสามารถกำจัดแมลงวันผลไม้หนอนวัย 1 ได้ตามมาตรฐานข้อกำหนดของประเทศญี่ปุ่นที่ระบุไว้ว่าวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืชจะต้องกำจัดแมลงจำนวนไม่น้อยกว่า 30,000 ตัว ตายทั้งหมด

10. การศึกษาความเสียหายต่อคุณภาพผลส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้ง

การประเมินความเสียหายของกระบวนการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่อส้มโอในสภาพจำลองการส่งออกส้มโอทางเครื่องบินและทางเรือ อบส้มโอโดยช่วงแรกจะให้ความร้อนด้วยวิธีอบอากาศร้อน อากาศร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบความร้อนจะมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิภายในตู้เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งและอุณหภูมิภายในผลส้มโอมีอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียส จึงปรับเปลี่ยนการให้ความร้อนเป็นวิธีอบไอน้ำ อากาศร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เพื่อประเมินการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อน เมื่อเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการอบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที รวมทั้งน้ำหนักส้มโอกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งได้แสดงไว้ใน (Table 22) จากการทดลองพบว่า การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาล ค่าความเป็นกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 23 and 24) เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที โดยคุณภาพความหวานของส้มโอไม่เปลี่ยนแปลง

ผลไม้เกิดความเสียหายได้ทุกๆ ขั้นตอนทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผลไม้ที่ต้องผ่านวิธีการกำจัดศัตรูพืชก่อนการส่งออก เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขด้านกักกันพืชวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช นั้นจะต้องมีประสิทธิภาพในการกำจัดศัตรูพืชและไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลไม้ ถ้าหากทำให้คุณภาพของผลไม้เสียไปแล้วถือว่าวิธีการนั้นไม่มีประสิทธิภาพอย่างแท้จริง ดังนั้นวิธีการใดก็ตามที่ใช้สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวควรมีผลทำให้ผลไม้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด ความเสียหายของผลไม้จากวิธีการกำจัดศัตรูพืชหลังการเก็บเกี่ยว นั้น แสดงออกโดยสูญเสียคุณสมบัติด้านการตลาดหลายรูปแบบ ได้แก่ สีผล อายุการเก็บรักษา รูปลักษณ์ภายนอก การสุก รสชาติ กลิ่น และความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุของโรค

พืชหลังการเก็บเกี่ยว (Goodwin and Jamikorn, 1952; McDonald and William, 1994) การที่คุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นลดลงหรือผิดไปจากปกติจะมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. สืบค้นฐานข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะประจำพันธุ์ชีววิทยาของส้มโอพันธุ์ขนาน้ำผึ้งเพื่อใช้ในการทดลอง

ส้มโอพันธุ์ขนาน้ำผึ้ง มีขนาดผลค่อนข้างใหญ่ ทรงผลค่อนข้างกลมสูง ไม่มีจุดที่หัวผล ก้านผลเรียบ ต่อม น้ำมันที่ผิวเปลือกผลเป็นสีเขียวเข้ม ผลมีน้ำหนัก 700-2,000 กรัม มีเส้นรอบวง 17-24 นิ้ว ใน 1 ผล จะมีเนื้อ 12-15 กิโลกรัม เนื้อหุ้มกลีบสีขาว เนื้อกึ่งมีสีเหลืองอมน้ำตาลหรือสีขาวอมเหลืองคล้ายสีของน้ำผึ้ง แกะเนื้อออกจากเยื่อหุ้มกลีบได้ง่าย ให้น้ำเยอะแต่น้ำไม่แฉะ มีเมล็ดน้อย รสชาติหวานอมเปรี้ยวและกรอบ ผลแก่จัด เนื้อแห้งไม่มีรสขมและรสซ่า แหล่งปลูกส้มโอพันธุ์ขนาน้ำผึ้งที่สำคัญและมีพื้นที่ปลูกมาก ได้แก่ จังหวัดนครปฐม กาญจนบุรี สมุทรสาคร ราชบุรี สุโขทัย และปราจีนบุรี

2. การเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์และเพิ่มปริมาณแมลงวันผลไม้ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการทดลอง

การเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์และเพิ่มปริมาณแมลงวันผลไม้ในห้องปฏิบัติการ ภายในห้องเลี้ยงแมลงวันผลไม้ที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ในการเลี้ยงแมลงแต่ละรุ่นจะตรวจสอบอัตราการฟักไข่ อัตราการออกเป็นตัวเต็มวัย น้ำหนักของดักแด้ และอัตราส่วนของเพศผู้และเพศเมีย จากการเพาะเลี้ยงและเพิ่มปริมาณแมลงวันผลไม้ พบว่าแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* มีความแข็งแรงตามมาตรฐานงานทดลองและสามารถเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณได้มากกว่า 50,000 ตัว ซึ่งเพียงพอสำหรับการทดลอง

3. การศึกษาเทคนิคและวิธีการเตรียมผลส้มโอพันธุ์ขนาน้ำผึ้งเพื่อใช้ในการทดลอง

เจาะรูบนผลส้มโอจำนวน 3 รู ให้ลึกจนถึงกึ่งกลางผล รูที่ 1 เจาะตรงตำแหน่งหัวผลให้ทะลุแกนกลางผล รูที่ 2 เจาะด้านตรงกันข้ามกับรูที่ 1 ส่วนรูที่ 3 เจาะบริเวณด้านข้างผลให้อยู่เลยจากส่วนครึ่งบนของผล แคระเมล็ดภายในผลส้มโอออก ใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ จำนวน 200 ตัว/ผล ลงบนเนื้อส้มโอภายในผลตรงบริเวณที่เจาะรูไว้ทางด้านข้าง อุดรูทั้งหมดด้วยสำลี นำส้มโอใส่ในถุงผ้า ปิดปากถุงวางลงบนแป้นรองส้มโอวางไว้ในกระบะพลาสติก คลุมด้วยผ้าปิดกระบะ นำส้มโอเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจากการทดลอง พบว่า เทคนิคและวิธีการเตรียมผลส้มโอเพื่อใช้ในการทดลองวิธีการดังกล่าว หนอนวัย 1 มีอัตราการรอดชีวิตสูงและสามารถเจริญเติบโตอยู่ภายในผลส้มโอได้เป็นอย่างดี

4. การศึกษารูปแบบของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในผลส้มโอพันธุ์ขนาน้ำผึ้ง

อบส้มโอด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำลังแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก จำนวน 2 เครื่อง การอบส้มโอด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) เป็นกรรมวิธีที่ให้ความร้อนกับส้มโอโดยอาศัยวิธีอบไอน้ำ (VHT) ร่วมกับวิธีอบอากาศร้อน (HAT) โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนกับส้มโอด้วยวิธีอบอากาศร้อน อากาศร้อนที่หมุนเวียนผ่านส้มโอภายในตู้อบความร้อนจะมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิในผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 43 องศาเซลเซียส แล้วจึงปรับเปลี่ยนเป็นวิธีอบไอน้ำซึ่งอากาศร้อนจะอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ (saturated condition) ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ อบส้มโอโดยให้อุณหภูมิภายในผลส้ม

โอเพิ่มขึ้นถึง 46 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง จากการทดลอง พบว่า วิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในผลส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง สามารถคงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องตู้อบความร้อนได้ตามค่าที่กำหนด ซึ่งวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์มีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอ

5. การศึกษาปริมาณความจุของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในห้องบรรจุผลไม้ของเครื่องตู้อบความร้อน

อบส้มโอด้วยเครื่องตู้อบความร้อนกำจัดแมลงวันผลไม้ขนาดเล็ก จำนวน 2 เครื่อง ส้มโอที่ใช้ในการทดลอง ทั้งหมดมีจำนวนประมาณ 200 ผล ศึกษาการทำงานของเครื่องตู้อบความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) อบส้มโอโดยเพิ่มอุณหภูมิภายในผลส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 46 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิผลไว้ที่ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ในขณะที่ภายในห้องอบไอน้ำของเครื่องตู้อบความร้อนมีปริมาณความจุของผลส้มโอจำนวน 25, 50, 75 และ 100 เพอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักของส้มโอทั้งหมดเท่ากับ 32.71, 64.18, 95.95 และ 130.84 กิโลกรัม ตามลำดับ ของความจุตู้ของเครื่องตู้อบความร้อน

จากการศึกษา พบว่า การทำงานของเครื่องตู้อบความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์ สามารถคงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องตู้อบความร้อนได้ตามค่าที่กำหนด ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการอบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส ในเครื่องตู้อบความร้อนที่ 1 และ 2 ใช้เวลาอบนาน 7:00, 6:35, 6:45 และ 6:25 ชั่วโมง และ 6:53, 6:20, 6:10 และ 5:45 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งวิธีการอบไอน้ำปรับความชื้นสัมพัทธ์ของผลส้มโอในสภาพความจุที่แตกต่างกันดังกล่าวจะใช้ระยะเวลาในการอบส้มโอในแต่ละครั้งประมาณ 6:00-7:00 ชั่วโมง

6. เครื่องตู้อบความร้อนและการปรับค่าความเที่ยงตรงของแท่งวัดอุณหภูมิ

จากการปรับค่าความเที่ยงตรงของแท่งวัดอุณหภูมิตรวจสอบเปรียบเทียบกับปรอทวัดความร้อนมาตรฐาน โดยจุ่มแท่งวัดอุณหภูมิทั้งหมดรวมทั้งปรอทวัดความร้อนมาตรฐานลงในเครื่องอ่างน้ำร้อน ตั้งค่าเครื่องอ่างน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำร้อนและมีอุณหภูมิคงที่จึงเริ่มการบันทึกอุณหภูมิ จากการปรับค่าความเที่ยงตรงของแท่งวัดอุณหภูมิ พบว่า แท่งวัดอุณหภูมิทั้งหมดสามารถคงอุณหภูมิที่ 46 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 99.9-100 เปอร์เซ็นต์ จากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น (hybrid recorder) ที่อ่านค่าได้ทุก 5 นาที โดยมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลานานติดต่อกันในช่วงเวลานาน 20 นาที ซึ่งได้มาตรฐานงานทดลองของเครื่องตู้อบความร้อนในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ในผลส้มโอ

7. การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

อบส้มโอกำจัดแมลงวันผลไม้หนอนวัย 1 เพื่อกำหนดกระบวนการอบไอน้ำที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* จำนวนไม่น้อยกว่า 3,000 ตัว ในผลส้มโอให้ตายทั้งหมด จากการศึกษ พบว่า การทดลองที่ 1 ส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน จำนวน 16 ผล มีแมลงวันผลไม้รอดชีวิต จำนวน 2,644 ตัว แสดงว่าในส้มโอจำนวน 64 ผล ซึ่งผ่านความร้อนแต่ละระยะเวลาที่กำหนดมีแมลงวันผลไม้หนอนวัย 1 รอดชีวิต จำนวน 4 ตัว ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 10, 20 และ 30 นาที มีอัตราการตายของหนอนวัย 1 เฉลี่ย 100, 98.82, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองที่ 2 ส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน จำนวน 24 ผล มีแมลงวันผลไม้รอดชีวิต

จำนวน 4,144 ตัว ซึ่งในส้มโอที่ผ่านความร้อนแต่ละระยะเวลาที่กำหนด จำนวน 72 ผล พบว่า อัตราการตายของหนอนวัย 1 ในส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 0, 10 และ 20 นาที มีอัตราการตายของหนอนวัย 1 เฉลี่ย 99.34, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อนซึ่งใช้เป็นวิธีการกำจัดแมลงศัตรูพืชด้านกักกันพืชสำหรับกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลไม้ก่อนการส่งออกต่างประเทศ การกำจัดแมลงโดยให้ความร้อนกับผลไม้ทำให้อุณหภูมิผลไม้เพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิระหว่าง 40-50 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดระยะไข่ และระยะหนอนวัยต่างๆ ของแมลงวันผลไม้ในผลไม้ให้ตายทั้งหมด การทำให้ผลไม้ร้อนอุณหภูมิสูงขึ้นอาจจะเป็นการให้ความร้อนโดยตรงกับผลไม้ โดยอาศัยอากาศหรือน้ำเป็นสื่อนำความร้อน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปที่เปลือกของผลไม้ และจากเปลือกจึงจะถ่ายเทเข้าไปยังเนื้อถึงบริเวณที่อยู่ภายในสุดผล จากการทดลองแสดงว่า การอบส้มโอกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1 ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที สามารถกำจัดหนอนวัย 1 ในผลส้มโอจำนวนไม่น้อยกว่าประมาณ 12,432 ตัว ตายทั้งหมด กระบวนการกำจัดแมลงดังกล่าวนี้มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงได้ตามข้อกำหนดของวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช

8. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การประเมินความเสียหายของกระบวนการอบน้ำต่อส้มโอ อบส้มโอโดยการเพิ่มอุณหภูมิผลส้มโอภายในเครื่องตู้อบความร้อนให้อุณหภูมิภายในผลของส้มโอเพิ่มขึ้นถึง 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส และคงความร้อนไว้ที่อุณหภูมิ 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง จากการทดลอง พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของส้มโอที่ผ่านความร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน ปริมาณน้ำตาล ค่าความเป็นกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 46, 47 และ 48 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน โดยคุณภาพความหวานของส้มโอไม่เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง จะเปลี่ยนสีจากเดิมที่มีสีเขียว เปลี่ยนเป็นสีที่ค่อนข้างเหลืองมากกว่าส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน และส้มโอที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 46 และ 47 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ยังพบจุดดำ (black spot) ซึ่งเป็นอาการที่เกิดจากต่อมน้ำมันที่เปลือกของผลส้มโอแตก (damaged oil gland) เมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงและคงความร้อนไว้เป็นระยะเวลาานาน

9. การศึกษายืนยันประสิทธิภาพของวิธีการอบน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการอบน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในผลส้มโอ ที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ในการกำจัดแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* หนอนวัย 1 จำนวนไม่น้อยกว่า 30,000 ตัว ให้ตายทั้งหมด เพื่อการยอมรับเป็นวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช โดยวิธีการใส่หนอนวัย 1 แมลงวันผลไม้ในผลส้มโอและวิธีการให้แมลงวันผลไม้วางไข่ในผลส้มโอ จากการทดลอง พบว่า ส้มโอที่ไม่ผ่านความร้อน จำนวน 60 และ 20 ผล มีแมลงรอดชีวิต จำนวน 9,961 และ 4,438 ตัว ส้มโอที่ผ่านความร้อน จำนวน 180 และ 60 ผล ไม่พบแมลง

รอดชีวิต โดยสามารถกำจัดหนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ได้จำนวนประมาณ 43,170 ตัว ในผลส้มโอตายทั้งหมด

ซึ่งวิธีการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนด้วยวิธีอบอากาศร้อน อากาศร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบความร้อนจะมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิภายในตู้เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งและอุณหภูมิภายในผลส้มโอมีอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียส จึงปรับเปลี่ยนการให้ความร้อนเป็นวิธีอบไอน้ำ อากาศร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ (saturated condition) ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการอบส้มโอดังกล่าวนี้นี้มีประสิทธิภาพสูงได้ระดับมาตรฐานที่ยอมรับเป็นวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช เพื่อใช้กำจัดแมลงวันผลไม้ในระยะไข่ และหนอนวัยต่างๆ ในส้มโอก่อนการส่งออก

10. การศึกษาความเสียหายต่อคุณภาพผลส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้ง

การประเมินความเสียหายของกระบวนการอบไอน้ำปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่อส้มโอในสภาพจำลองการส่งออกส้มโอทางเครื่องบินและทางเรือ อบส้มโอที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ซึ่งการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของส้มโอที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อนเมื่อเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส นาน 7 และ 14 วัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด และการเปลี่ยนสีเปลือกของผลส้มโอไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที โดยคุณภาพความหวานของส้มโอไม่เปลี่ยนแปลง

ผลไม้เกิดความเสียหายได้ทุกๆ ขั้นตอนทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผลไม้ที่ต้องผ่านวิธีการกำจัดศัตรูพืชก่อนการส่งออกเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขด้านกักกันพืช วิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช นั้นจะต้องมีประสิทธิภาพในการกำจัดศัตรูพืชและไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลไม้ ถ้าหากทำให้คุณภาพของผลไม้เสียไปแล้วถือว่าวิธีการนั้นไม่มีประสิทธิภาพอย่างแท้จริง ดังนั้นวิธีการใดก็ตามที่ใช้สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวควรมีผลทำให้ผลไม้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด ความเสียหายของผลไม้จากวิธีการกำจัดศัตรูพืชหลังการเก็บเกี่ยว นั้น แสดงออกโดยสูญเสียคุณสมบัติด้านการตลาดหลายรูปแบบ ได้แก่ สีผล อายุการเก็บรักษา รูปลักษณ์ภายนอก การสุก รสชาติ กลิ่น และความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุของโรคพืชหลังการเก็บเกี่ยว การที่คุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นลดลงหรือผิดไปจากปกติจะมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ทำให้การปฏิบัติงานกักกันพืชรัดกุมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นสามารถป้องกันศัตรูพืชร้ายแรงชนิดใหม่จากต่างประเทศมิให้ระบาดเข้ามาทำลายการเกษตรของประเทศไทย
2. ทำให้สามารถกำหนดมาตรการกักกันพืชได้อย่างรัดกุมมีประสิทธิภาพและโปร่งใสสอดคล้องกับข้อตกลงระหว่างประเทศ
3. สามารถส่งออกสินค้าเกษตรไปจำหน่ายยังประเทศที่เข้มงวดทางด้านกักกันพืชได้ ใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาขออนุญาตส่งออก และเปิดตลาดผลไม้จากประเทศไทย

4. สามารถส่งสินค้าเกษตรโดยเฉพาะส้มโอไปจำหน่ายยังประเทศที่เข้มงวดด้านกักกันพืช และกำหนดให้ประเทศผู้ส่งออกต้องกำจัดศัตรูพืชตามวิธีการกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช (quarantine treatment) และได้ข้อมูลสถานภาพการเป็นพืชอาศัยของแมลงทำให้สินค้าเกษตรของประเทศไทยมีคุณภาพดี ถูกสุขอนามัยพืช ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม และสามารถส่งไปแข่งขันกับนานาประเทศได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยพัฒนาวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อนเพื่อกำจัดแมลงวันผลไม้ในผลส้มโอก่อนการส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านการเกษตร ขอขอบพระคุณท่านผู้เชี่ยวชาญด้านกักกันพืชและที่ปรึกษากรมวิชาการเกษตร คุณอุตร อุณหวุฒิ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มงานกำจัดศัตรูพืชกักกันทุกท่านที่มีส่วนช่วยในการเตรียมการทดลองรวมถึงตรวจผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2556. แมลงวันผลไม้และการป้องกันกำจัด. [ออนไลน์] [อ้างถึง 26 กรกฎาคม 2557]

แหล่งข้อมูล: http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n12/v_10_nov/rai.html.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2559. ส้มโอ. [ออนไลน์] [อ้างถึง 24 พฤษภาคม 2560]

แหล่งข้อมูล: <http://www.agritech.doae.go.th/fruit2/pomelo>.

มนตรี จิระสุรัตน์. 2544. แมลงวันผลไม้ที่สำคัญของประเทศไทยและการแพร่กระจาย. แมลงวันผลไม้

ในประเทศไทย. เอกสารวิชาการกองกีฏวิทยาและสัตววิทยา, กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 6 หน้า.

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์. 2550. โรงงานอบไอน้ำเพื่อการส่งออก. คู่มืออารักขาพืช 13 (1): 2.

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์. 2552. การกำจัดแมลงในผลไม้เพื่อการส่งออกด้วยวิธีการอบไอน้ำ หน้า. 43-46.

ใน: เทคโนโลยีการผลิตและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองนอกฤดูเพื่อการส่งออก โดยภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์. 2552. ขั้นตอนการอบไอน้ำมะม่วงและมังคุดสดจากประเทศไทยเพื่อการส่งออกปญี่ปุ่น.

ใน: การประชุมเชิงปฏิบัติการเรื่องเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก. 30 มิถุนายน - 1 กรกฎาคม 2552. ณ โรงแรมที่อปลแลนด์พลาซ่า จ. พิษณุโลก.

(เอกสารแจกในที่ประชุม)

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์. 2554. วิจัยและพัฒนาวิธีกำจัดแมลงวันผลไม้ด้วยความร้อนในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเพื่อการส่งออก. หน้า. 43-46. ใน: การประชุมสัมมนาวิชาการอารักขาพืช 28-30 มิถุนายน 2554.

ณ. โรงแรมทวาราวดี จ. ปราจีนบุรี. เอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการอารักขาพืช. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช, กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์. 2555. วิจัยและพัฒนาวิธีกำจัดแมลงวันทองด้วยความร้อนในผลมะละกอเพื่อการส่งออก.

เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาศัตรูพืชหมดปัญหาเมื่ออารักขาถูกวิธี. 7-9 สิงหาคม 2555.

สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช, กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 100 หน้า.

- อุตร อุณหภูมิต. 2541. การกำจัดแมลงวันผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว. ฝ่ายกักกันพืช, กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 129 หน้า.
- อุตร อุณหภูมิต สลักจิต พานคำ ชัยณรงค์ สนศิริ มลนิภา ศรีมาตริภิมย์ ชูติมา อ้อมกิ่ง จารุวรรณ จันทรา และรัชฎา อินทรกำแหง. 2549. การวิจัยพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงด้วยความร้อนสำหรับกำจัดแมลงวันผลไม้ในส้มโอเพื่อส่งออก. ผลงานวิจัยเพื่อพัฒนาเป็นผลงานวิจัยดีเด่นประจำปี 2549 กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 125-143.
- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.
- CABI. 2014. Invasive Species Compendium. *Bactrocera dorsalis* <http://www.cabi.org/isc/datasheet/17685>. (26 July 2014).
- Goodwin, T.W. and M. Jamikorn. 1952. Biosynthesis of carotenes in ripening tomatoes. Nature. 170: 104-105.
- Intarakumheng, R., U. Unahawutti, S. Phankum, C. Sonsiri, M. Srimartpirom, C. Ormking and J. Chantra. 2006. Thermal tolerance of the first instar larvae of oriental fruit fly to modified vapor heat treatment in Mahachanok and Nang Klarngwan mangoes. A report submitted to the Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) for approval of a quarantine treatment on Mahachanok mango to be exported from Thailand to Japan. Plant Quarantine Sub-Division, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture, Bangkok.
- Intarakumheng, R., S. Phankum, C. Sonsiri, M. Srimartpirom, C. Ormking and U. Unahawutti. 2013. Evaluation of modified vapor heat treatment as quarantine treatment for Khiasawoey and Chokanan mangoes infested with oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae). A report submitted to the Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) for market access of Khiasawoey and Chokanan mangoes from Thailand to Japan. Plant Quarantine Sub-Division, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture, Bangkok. 139 p.
- Iwaizumi, R. 2004. Species and host record of the *Bactrocera dorsalis* complex (Diptera: Tephritidae) detected by the plant quarantine of Japan. Applied Entomology and Zoology 39 (2): 327-333.
- Jennifer, L. and G. Kaufman. 2012. Featured Creatures. University of Florida http://www.entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/oriental_fruit_fly.htm (26 July 2014).

- MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries). 2010. Summary of proposed Revisions to the Enforcement Ordinance of the Plant Protection Law and Concerned Public Notice Retrieved February 1, 2012 from http://www.members.wto.org/crnattachments/2010/sps/JPN/10_4194_00_e.pdf
- McDonald, R.E. and W.R. Miller. 1994. Quality and condition maintenance. *In*: J.L. Sharp and G.Y. Hallman (eds.), Quarantine treatment for pests of food plant. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado, USA. pp. 249-277.
- Miyazaki, I. 2010. How to prepare the technical report on vapor heat disinfestations test. *In*: Report of the thermal treatment for the disinfestations of fruit flies. Naha Plant Protection Station, Ministry of Agriculture Forestry and Fisheries, Okinawa International Centre. Japan International Cooperation Agency, Japan. 30 p.
- Shimizu, Y., T. Kohama, T. Uesato., T. Matsuyama and M. Yamagishi. 2007. Invasion of solanum fruit fly *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) to Yonaguni Island, Okinawa Prefecture, Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 42 (2): 269-275.
- Srimartpirom, M. 2010. The final report of thermal treatment for the disinfestations of fruit flies from Thailand. p 95. *In*: Report of the thermal treatment for the disinfestations of fruit flies. Naha Plant Protection Station, Ministry of Agriculture Forestry and Fisheries, Okinawa International Centre. Japan International Cooperation Agency, Japan. 100 p.
- Thomas, D. B. 2004. Hot peppers as a host for the Mexican fruit fly *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist* 87 (4): 603-608.
- Unahawutti, U., C. Chettanachitara, M. Poomthong, P. Konson, E. Smitasiri, C. Lapasathukool, W. Worawisitthumrong and R. Intarakumheng. 1986. Vapor heat treatment for 'Nang Klarngwun' mango, *Mangifera indica* Linn., infested with eggs and larvae of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* Hendel and the melon fly, *Dacus cucurbitae* Coquillett (Diptera: Tephritidae). Technical Plant Quarantine Sub-Division, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture. Bangkok. 108 p.
- Unahawutti, U., M. Poomthong, R. Intarakumheng, W. Worawisitthumrong, C. Lapasathukool, E. Smitasiri, P. Srisoon and C. Ratanawaraha. 1991. Vapor heat as plant quarantine treatment of 'Nang Klarngwan', 'Nam Dorkmai', 'Rad' and 'Pimsen Daeng' mangoes infested with fruit flies (Diptera: Tephritidae). Technical Plant Quarantine Sub-Division, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture. Bangkok. 342 p.

- Unahawutti, U., S. Phankum, P. Ongthonglang and C. Chettanachitara. 1999. Heated-air quarantine treatment for mangosteen infested with oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae). A report submitted to the Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries for approval of quarantine treatment on Thai mangosteen to be exported to Japan. Technical Plant Quarantine Sub-Division, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture. Bangkok. 630 p.
- Unahawutti, U., S. Phankum, M. Srimartpirom, C. Ormking, C. Sonsiri, J. Chantra, and R. Intarakumheng. 2006. Heated-air quarantine treatment for pummelo infested with oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae). A report submitted to the Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries for approval of quarantine treatment on Thai pummelo to be exported to Japan. Technical Plant Quarantine Sub-Division, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture. Bangkok. 135 p.
- Watanabe, N., F. Ichinohe and M. Sonda. 1973. Improvement of corn flour medium for larval culture of oriental fruit fly. Res. Bull. Plant Prot. Japan. 11: 57-58.
- White, I. M. and M. M. Elson-Harris. 1992. Fruit flies of economic significance: Their identification and bionomics. CAB International, Wallingford, UK. 601 p.

Table 1. Time for pummelo to attain 46.0 °C for various holding times during test chamber no. 1 and chamber no. 2 for modified vapor heat treatment.

Rep.	Sensor fruit weight (g)			Time (h) ^{1/}		
				0:00	1:00	2:00
1	967.61	978.40	999.73	6:35	7:35	8:35
2	945.55	952.40	965.98	5:45	6:45	7:45

^{1/}Time for center of only 3 sensor fruits to attain target temperature.

Table 2. Temperature and humidity during operation for pummelo to attain 46.0 °C for various holding times during test chamber no. 1 for modified vapor heat treatment.

Time (h)	Air temp. (°C)	RH (%)	Sensor fruit center temp. (°C) ^{1/}		
			9	10	11
Operation	Control with fix set point constant set mode				
HAT: +0:30	40.8	54.7	27.7	27.6	27.7
0:00	25.8	86.6	27.5	27.4	27.5
VHT: 4:18	47.0	52.7	<u>44.3</u>	<u>44.4</u>	<u>43.0</u>
* 6:35 [+0:00]	46.9	94.9	<u>46.5</u>	<u>46.6</u>	<u>46.0</u>
* 7:35 [+1:00]	47.0	94.9	<u>46.8</u>	<u>46.9</u>	<u>46.5</u>
* 8:35 [+2:00]	47.0	95.2	<u>47.0</u>	<u>47.0</u>	<u>46.8</u>

^{1/}Time for center of only 3 sensor fruits to attain target temperature.

Table 3. Temperature and humidity during operation for pummelo to attain 46.0 °C for various holding times during test chamber no. 2 for modified vapor heat treatment.

Time (h)	Air temp. (°C)	RH (%)	Sensor fruit center temp. (°C) ^{1/}		
			9	10	11
Operation	Control with fix set point constant set mode				
HAT: +0:30	36.2	59.8	28.5	28.5	30.0
0:00	28.3	89.5	28.0	28.0	29.4
VHT: 4:09	47.1	51.8	<u>43.0</u>	<u>43.1</u>	<u>43.7</u>
* 5:45 [+0:00]	47.1	95.0	<u>46.0</u>	<u>46.1</u>	<u>46.5</u>
* 6:45 [+1:00]	47.1	95.1	<u>46.6</u>	<u>46.7</u>	<u>46.9</u>
* 7:45 [+2:00]	47.1	94.9	<u>47.0</u>	<u>47.0</u>	<u>47.2</u>

^{1/}Time for center of only 3 sensor fruits to attain target temperature.

Table 4. Time for pummelo to attain 46.0 °C for various holding times and different loading factor during modified vapor heat treatment.

Rep.	Capacity (%)	Loading factor (kg/cum.)	Sensor fruit weight (g)			Time (h) ^{1/}		
						0:00	1:00	2:00
1	25	32.87	1,204.33	1,207.36	1,208.09	7:00	8:00	9:00
	50	62.86	1,194.31	1,198.23	1,223.86	6:35	7:35	8:35
	75	95.05	1,180.02	1,192.35	1,197.70	6:45	7:45	8:45
	100	130.15	1,185.97	1,187.52	1,191.88	6:25	7:25	8:25
2	25	32.55	1,208.35	1,219.14	1,224.33	6:53	7:53	8:53
	50	65.50	1,223.70	1,223.98	1,224.20	6:20	7:20	8:20
	75	96.84	1,207.15	1,212.09	1,218.55	6:10	7:10	8:10
	100	131.53	1,179.02	1,183.01	1,183.40	5:45	6:45	7:45

^{1/}Time for center of only 2 sensor fruits to attain target temperature.

Table 5. Calibration factor obtained from each sensor of the vapor heat treatment system.

Date/Time	Number of sensor ^{1/}							
	1	2	6	7	8	9	10	11
17/07/2017								
10:20	46.0	99.9	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
10:25	46.0	99.9	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
10:30	46.0	100	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
10:35	46.0	99.9	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
10:45	46.0	100	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0

^{1/}The test was conducted by dipping all sensors into constant temperature water bath at 46.0 °C for 0:20 minutes.

Table 6. Time for center of pummelo to attain 46.0 °C for various holding times during modified vapor heat treatment in preliminary disinfestation test.

Rep.	Load	Sensor fruit weight			Time (min.) ^{1/}			
	factor							
	(kg/cum.)	(g)	0:00	0:10	0:20	0:30		
1	18.94	1,187.04	1,195.76	1,202.96	6:57	7:07	7:17	7:27
2	19.21	1,205.83	1,213.59	1,224.54	5:35	5:45	5:55	6:05
3	19.53	1,216.16	1,221.71	1,224.94	6:35	6:45	6:55	7:05
4	19.34	1,201.36	1,206.50	1,209.22	6:09	6:19	6:29	6:39

^{1/}Time for center of only 2 sensor fruits to attain target temperature.

Table 7. Time for center of pummelo to attain 43.0 and 46.0 °C during modified vapor heat treatment in preliminary disinfestation test.

Rep.	Time for fruit	Time for fruit	Time form
	center to reach 43.0 °C (h) ^{1/}	center to reach 46.0 °C (h) ^{1/}	43.0 to 46.0 °C (h) ^{1/}
1	4:37	6:57	2:20
2	4:02	5:35	1:33
3	4:36	6:35	1:59
4	4:25	6:09	1:44
Average	4:31	6:09	2:04

^{1/}Time for center of only 2 sensor fruits to attain target temperature.

Table 8. Mortality^{1/} of first instar of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in pummelo (Khao Nam Phueng) treated with modified vapor heat treatment in preliminary disinfestation test.

Treatment ^{2/}	Number of treated (larvae)	Number of alive (larvae)	Number of dead (larvae)	Corrected mortality (%) ^{3/}
Control	1,600	1,315	285	0
46.0 ° C + 0 min.	1,600	0	1,600	100
46.0 ° C + 10 min.	1,600	0	1,600	100
46.0 ° C + 20 min.	1,600	0	1,600	100
46.0 ° C + 30 min.	1,600	0	1,600	100

^{1/}Combined data of 4 replicates.

^{2/}Treatment: 2 fruits infested with 200 individuals/fruit.

Control: 2 fruits infested with 200 individuals/fruit.

^{3/}Mortality is corrected by using Abbott's formula (Abbott, 1925).

Table 9. Mortality^{1/} of first instar of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in pummelo (Thong Dee) treated with modified vapor heat treatment in preliminary disinfestation test.

Treatment ^{2/}	Number of treated (larvae)	Number of alive (larvae)	Number of dead (larvae)	Corrected mortality (%) ^{3/}
Control	1,600	1,329	271	0
46.0 ° C + 0 min.	1,600	0	1,600	100
46.0 ° C + 10 min.	1,600	4	1,596	98.82
46.0 ° C + 20 min.	1,600	0	1,600	100
46.0 ° C + 30 min.	1,600	0	1,600	100

^{1/}Combined data of 4 replicates.

^{2/}Treatment: 2 fruits infested with 200 individuals/fruit.

Control: 2 fruits infested with 200 individuals/fruit.

^{3/}Mortality is corrected by using Abbott's formula (Abbott, 1925).

Table 10. Time for center of pummelo to attain 46.0 ° C for various holding times during modified vapor heat treatment in intermediate disinfestation test.

Rep.	Load factor (kg/cum.)	Sensor fruit weight (g)			Time (min.) ^{1/}		
					0:00	0:10	0:20
1	29.86	1,191.02	1,191.59	1,201.52	6:51	7:01	7:11
2	29.82	1,203.07	1,210.77	1,217.40	6:08	6:18	6:28
3	30.90	1,219.25	1,219.31	1,221.27	6:40	6:50	7:00

^{1/}Time for center of only 2 sensor fruits to attain target temperature.

Table 11. Time for center of pummelo to attain 43.0 and 46.0 °C during modified vapor heat treatment in intermediate disinfestation test.

Rep.	Time for fruit center to reach 43.0 °C (h) ^{1/}	Time for fruit center to reach 46.0 °C (h) ^{1/}	Time form 43 to 46.0 °C (h) ^{1/}
1	4:37	6:51	2:14
2	4:22	6:08	1:46
3	4:30	6:40	2:10
Average	4:29	6:33	2:03

^{1/}Time for center of only 2 sensor fruits to attain target temperature.

Table 12. Mortality^{1/} of first instar of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in pummelo (Khao Nam Phueng) treated with modified vapor heat treatment in intermediate disinfestation test.

Treatment ^{2/}	Number of treated (larvae)	Number of alive (larvae)	Number of dead (larvae)	Corrected mortality (%) ^{3/}
Control	4,800	4,144	656	0
46.0 °C + 0 min.	4,800	9	4,791	99.34
46.0 °C + 10 min.	4,800	0	4,800	100
46.0 °C + 20 min.	4,800	0	4,800	100

^{1/}Combined data of 3 replicates.

^{2/}Treatment: 8 fruits infested with 200 individuals/fruit.

Control: 8 fruits infested with 200 individuals/fruit.

^{3/}Mortality is corrected by using Abbott's formula (Abbott, 1925).

Table 13. Time for center of pummelo to attain 46.0, 47.0 and 48.0 °C for various holding times during modified vapor heat treatment in fruit injury test.

Temp.	Load	Rep.	Sensor fruit weight			Time (h) ^{1/}		
	factor (kg/cum.)					0:00	1:00	2:00
46.0 °C	13.88	1	1,175.40	1,178.40	1,179.49	6:43	7:43	8:43
	14.15	2	1,178.92	1,183.67	1,195.41	6:42	7:42	8:42
47.0 °C	14.70	1	1,182.60	1,183.03	1,192.02	7:05	8:05	9:05
	14.98	2	1,192.90	1,195.55	1,196.25	7:31	8:31	9:31
48.0 °C	15.00	1	1,204.71	1,208.25	1,209.92	7:25	8:25	9:25
	14.89	2	1,215.10	1,218.95	1,221.10	7:30	8:30	9:30

^{1/}Time for center of only 3 sensor fruits to attain target temperature.

Table 14. Time for center of pummelo to attain 43.0, 46.0, 47.0 and 48.0 °C during modified vapor heat treatment in fruit injury test.

Temp.	Rep.	Time for fruit	Time for fruit	Time form
		center to reach 43.0 °C (h) ^{1/}	center to reach 46.0, 47.0, 48.0 °C (h) ^{1/}	43 to 46.0, 47.0, 48.0 °C (h) ^{1/}
46.0 °C	1	4:35	6:43	2:08
	2	4:37	6:42	2:05
47.0 °C	1	4:23	7:05	2:42
	2	4:40	7:31	2:51
48.0 °C	1	4:15	7:25	3:10
	2	4:18	7:30	3:12
Average		4:28	7:02	2:55

^{1/}Time for center of only 3 sensor fruits to attain target temperature.

Table 15. Weight loss (%) of pummelo treated with modified vapor heat treatment center temperature 46.0, 47.0 and 48.0 °C for various holding times and 7 days chamber at 10 °C.

Rep.	Treatment ^{1/}	Weight loss (%)*		
		0:00 h	1:00 h	2:00 h
1	46.0 °C	2.79	2.73	4.85
	Control	2.14		
	t-test 46.0 °C vs Control			
	47.0 °C	3.80	3.47	4.15
	Control	3.86		
	t-test 47.0 °C vs Control			
	48.0 °C	4.96	5.16	5.20
	Control	3.66		
	t-test 48.0 °C vs Control			
2	46.0 °C	2.18	2.82	5.34
	Control	2.27		
	t-test 46.0 °C vs Control			
	47.0 °C	4.18	5.01	4.69
	Control	3.60		
	t-test 47.0 °C vs Control			
	48.0 °C	5.07	5.22	4.84
	Control	4.56		
	t-test 48.0 °C vs Control			

^{1/} Treatment: mean of 4 fruits, Control: mean of 4 fruits.

^{ns} Non difference was statistically significant by t-test.

* The difference was statistically significant by t-test.

Table 16. Total soluble solid ($^{\circ}$ Brix) of pummelo treated with modified vapor heat treatment center temperature 46.0, 47.0 and 48.0 $^{\circ}$ C for various holding times and 7 days chamber at 10 $^{\circ}$ C.

Rep.	Treatment ^{1/}	Brix value (Brix) ^{ns}			
		0:00 h	1:00 h	2:00 h	
1	46.0 $^{\circ}$ C	10.78	10.75	10.40	
	Control	10.68			
	t-test 46.0 $^{\circ}$ C vs Control				
	47.0 $^{\circ}$ C	10.13	9.95	10.00	
	Control	10.75			
	t-test 47.0 $^{\circ}$ C vs Control				
	48.0 $^{\circ}$ C	9.75	9.75	10.03	
	Control	9.28			
	t-test 48.0 $^{\circ}$ C vs Control				
	2	46.0 $^{\circ}$ C	10.63	10.88	11.10
		Control	10.65		
		t-test 46.0 $^{\circ}$ C vs Control			
47.0 $^{\circ}$ C		10.38	10.85	11.00	
Control		10.25			
t-test 47.0 $^{\circ}$ C vs Control					
48.0 $^{\circ}$ C		9.80	10.03	10.08	
Control		10.35			
t-test 48.0 $^{\circ}$ C vs Control					

^{1/} Treatment: mean of 4 fruits, Control: mean of 4 fruits.

^{ns} Non difference was statistically significant by t-test.

* The difference was statistically significant by t-test.

Table 17. Acidity (%) of pummelo treated with modified vapor heat treatment center temperature 46.0, 47.0 and 48.0 °C for various holding times and 7 days chamber at 10 °C.

Rep.	Treatment ^{1/}	Acidity (%) ^{ns}		
		0:00 h	1:00 h	2:00 h
1	46.0 °C	0.88	0.87	0.72
	Control	0.89		
	t-test 46.0 °C vs Control			
	47.0 °C	0.94	1.12	1.09
	Control	1.11		
	t-test 47.0 °C vs Control			
	48.0 °C	0.70	0.58	0.70
	Control	0.77		
	t-test 48.0 °C vs Control			
2	46.0 °C	0.75	0.81	0.82
	Control	0.84		
	t-test 46.0 °C vs Control			
	47.0 °C	0.89	0.96	0.66
	Control	1.02		
	t-test 47.0 °C vs Control			
	48.0 °C	0.55	0.52	0.58
	Control	0.57		
	t-test 48.0 °C vs Control			

^{1/}Treatment: mean of 4 fruits, Control: mean of 4 fruits.

^{ns} Non difference was statistically significant by t-test.

* The difference was statistically significant by t-test.

Table 18. Peel color rating (0-4) of pummelo treated with modified vapor heat treatment center temperature 46.0, 47.0 and 48.0 °C for various holding times and 7 days chamber at 10 °C.

Rep.	Treatment ^{1/}	Peel color rating (0-4) ^{ns}			
		0:00 h	1:00 h	2:00 h	
1	46.0 °C	0.75	0.50	0.50	
	Control	0.25			
	t-test 46.0 °C vs Control				
	47.0 °C	0.25	0.25	0.50	
	Control	0.25			
	t-test 47.0 °C vs Control				
	48.0 °C	1.75	1.50	2.00	
	Control	0.25			
	t-test 48.0 °C vs Control				
	2	46.0 °C	0.50	0.75	1.00
		Control	0.25		
		t-test 46.0 °C vs Control			
47.0 °C		0.50	0.75	1.00	
Control		0.25			
t-test 47.0 °C vs Control					
48.0 °C		2.25	1.75	2.25	
Control		0.25			
t-test 48.0 °C vs Control					

^{1/} Treatment: mean of 4 fruits, Control: mean of 4 fruits.

^{ns} Non difference was statistically significant by t-test.

* The difference was statistically significant by t-test.

Table 19. Time for center of pummelo to attain 46.0 °C for 0:30 minutes during modified vapor heat treatment in large scale disinfestation test.

Rep.	Loading (kg/cum.)	Sensor fruit weight (g)			Time (h) ^{1/}	
					0:00	0:30
Low load: 61.19 - 62.75 kg/cum.						
1	61.94	1,182.11	1,183.83	1,183.90	6:12	6:42
2	62.75	1,187.89	1,185.87	1,184.01	6:05	6:35
3	62.07	1,189.06	1,191.50	1,192.51	6:25	6:55
4	61.79	1,196.62	1,197.66	1,199.47	5:55	6:25
5	61.19	1,207.73	1,208.09	1,208.50	5:50	6:20
Full load: 124.75 - 125.14 kg/cum.						
1	124.75	1,181.83	1,187.09	1,187.48	6:53	7:23
2	125.14	1,211.39	1,215.47	1,220.15	7:10	7:40
3	124.94	1,213.93	1,219.10	1,213.59	7:00	7:30
4	124.77	1,224.60	1,224.67	1,224.87	7:20	7:50
5	124.86	1,222.27	1,223.15	1,223.79	7:00	7:30

^{1/}Time for center of only 2 sensor fruits to attain target temperature.

Table 20. Time for center of pummelo to attain 43.0 and 46.0 °C during modified vapor heat treatment in large scale disinfestation test.

Rep.	Time for fruit center to reach 43.0 °C (h) ^{1/}	Time for fruit center to reach 46.0 °C (h) ^{1/}	Time form 43 to 46.0 °C (h) ^{1/}
Low load: 61.19 - 62.75 kg/cum.			
1	4:15	6:12	1:57
2	4:20	6:05	1:45
3	4:15	6:25	2:10
4	4:00	5:55	1:55
5	3:55	5:50	1:55
Average	4:01	6:09	2:04
Full load: 124.75 - 125.14 kg/cum.			
1	4:45	6:53	2:08
2	4:58	7:10	2:12
3	4:45	7:00	2:15
4	5:00	7:20	2:20
5	4:47	7:00	2:13
Average	4:59	7:07	2:14

^{1/}Time for center of only 2 sensor fruits to attain target temperature.

Table 21. Survival^{1/} of first instar of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in pummelo (Khao Nam Phueng) treated with modified treated vapor heat treatment at 46 ° C for 0:30 minutes in large scale disinfestation test.

Rep.	Infestation method	No. test fruit		No. alive individual in control (larvae)	Estimated treated population (larvae)	No. survivors
		Control	Treatment ^{2/}			
Low load: 61.19 - 62.75 kg/cum.						
1	Larval inoculation	6	18	984	2,952	0
	Forced infestation	2	6	372	1,116	0
2	Larval inoculation	6	18	980	2,940	0
	Forced infestation	2	6	316	948	0
3	Larval inoculation	6	18	1,013	3,039	0
	Forced infestation	2	6	515	1,545	0
4	Larval inoculation	6	18	976	2,901	0
	Forced infestation	2	6	394	1,182	0
5	Larval inoculation	6	18	1,003	3,009	0
	Forced infestation	2	6	414	1,242	0
	Sub-total	40	120	6,967	20,874	0

Table 21. Continued.

Rep.	Infestation method	No. test fruit		No. alive individual in control (larvae)	Estimated treated population (larvae)	No. survivors
		Control	Treatment ^{2/}			
Full load: 124.75 - 125.14 kg/cum.						
1	Larval inoculation	6	18	1,033	3,099	0
	Forced infestation	2	6	344	1,032	0
2	Larval inoculation	6	18	1,017	3,051	0
	Forced infestation	2	6	503	1,509	0
3	Larval inoculation	6	18	951	2,853	0
	Forced infestation	2	6	693	2,079	0
4	Larval inoculation	6	18	978	2,934	0
	Forced infestation	2	6	431	1,293	0
5	Larval inoculation	6	18	1,026	3,078	0
	Forced infestation	2	6	456	1,368	0
	Sub-total	40	120	7,432	22,296	0
	Total	80	240	14,399	43,170	0

^{1/} Combined data of 10 replicates.

^{2/} Treatment: 180 fruits (Larval inoculation) infested with 200 individuals/fruit.

Control: 60 fruits (Larval inoculation) infested with 200 individuals/fruit.

Treatment: 60 fruits (Forced infestation).

Control: 20 fruits (Forced infestation).

Table 22. Time for center of pummelo to attain 43.0 and 46.0 °C for 0:30 minutes during modified vapor heat treatment in commercial export simulation test.

Method of transportation	Rep.	Loading (kg/cum.)	Sensor fruit weight (g)	Time for fruit center to reach 43.0 °C (h) ^{1/}	Time for fruit center to reach 46.0 °C (h) ^{1/}	Time for fruit center to reach 46.0 °C 0:30 (h) ^{1/}
Air shipment	1	140.93	1,197.06	4.35	6.01	6.31
Sea shipment			1,213.29			
			1,217.10			
Air shipment	2	140.95	1,213.71	4.31	6.01	6.31
Sea shipment			1,217.77			
			1,218.32			

^{1/}Time for center of only 3 sensor fruits to attain target temperature.

Table 23. Air transportation: Quality of pummelo fruits treated with proposed heat quarantine treatment at center temperature 46.0 °C for 0:30 minutes and 7 days chamber at 10 °C.

Rep.	Item ^{ns}		Control ^{1/}	Treatment ^{1/}
1	Weight loss	%	2.84	3.73
	TSS	⁰ Brix	10.88	10.85
	Acidity	%	0.87	0.78
	Peel color	0-4 scale	0.50	0.67
	Damaged oil gland ^{2/}	Present	0/4	0/12
	Smell ^{2/}	Unusual	0/4	0/12
	Taste ^{2/}	Unusual	0/4	0/12
2	Weight loss	%	3.47	4.32
	TSS	⁰ Brix	12.18	12.32
	Acidity	%	0.89	0.78
	Peel color	0-4 scale	0.50	0.75
	Damaged oil gland ^{2/}	Present	0/4	0/12
	Smell ^{2/}	Unusual	0/4	0/12
	Taste ^{2/}	Unusual	0/4	0/12

^{1/}Control = mean of 4 fruits, Treatment = mean of 12 fruits.

^{2/}Fruits exhibited symptom/Total number of fruits observed.

^{ns} Non difference was statistically significant by t-test.

Table 24. Sea transportation: Quality of pummelo fruits treated with proposed heat quarantine treatment at center temperature 46.0 °C for 0:30 minutes and 14 days chamber at 10 °C.

Rep.	Item ^{ns}		Control ^{1/}	Treatment ^{1/}
1	Weight loss	%	4.54	5.04
	TSS	⁰ Brix	12.30	12.32
	Acidity	%	1.01	0.95
	Peel color	0-4 scale	1.50	2.08
	Damaged oil gland ^{2/}	Present	0/4	0/12
	Smell ^{2/}	Unusual	0/4	0/12
	Taste ^{2/}	Unusual	0/4	0/12
2	Weight loss	%	5.86	6.04
	TSS	⁰ Brix	11.73	11.05
	Acidity	%	0.96	1.00
	Peel color	0-4 scale	1.75	2.17
	Damaged oil gland ^{2/}	Present	0/4	0/12
	Smell ^{2/}	Unusual	0/4	0/12
	Taste ^{2/}	Unusual	0/4	0/12

^{1/}Control = mean of 4 fruits, Treatment = mean of 12 fruits.

^{2/}Fruits exhibited symptom/Total number of fruits observed.

^{ns} Non difference was statistically significant by t-test.



Figure 1. Fruit fly mass rearing room.

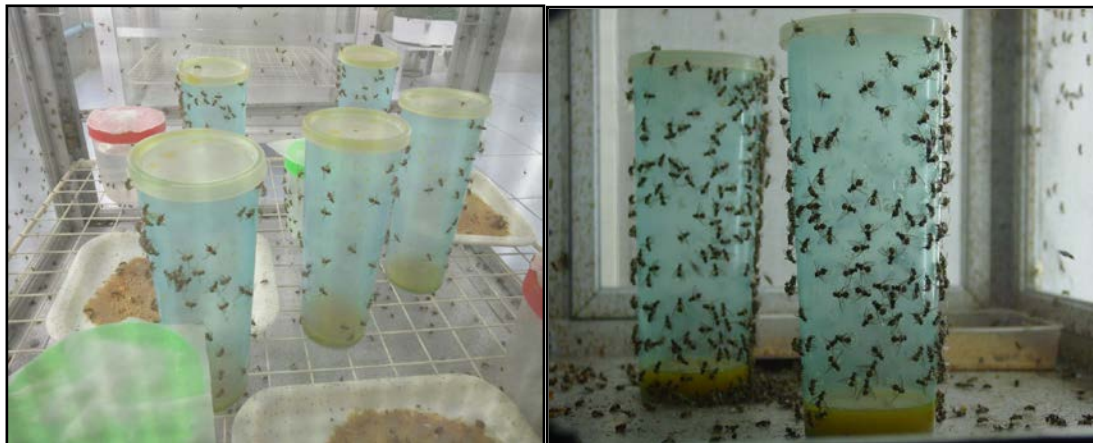


Figure 2. Fruit fly eggs.



Figure 3. Count fruit fly first instar under microscope.



Figure 4. The first hole was made on top at the area where the stalk attached with fruit.



Figure 5. The second hole was made on upper half of test fruits.



Figure 6. Test fruits were held in a plastic container. Each fruit was placed on top of a plastic ring to prevent larvae from drowning.



Figure 7. Fruit holding containers were covered with fine mesh muslin cloth to prevent fruit fly reinfestation.



Figure 8. Sanshu vapor heat treatment system (differential pressure type)
model: EHK-1000D.



Figure 9. Capacity treated modified vapor heat treatment in the chamber.



Figure 10. Calibration sensor of resistance thermometers.



Figure 11. Recorder in the vapor heat treatment system.

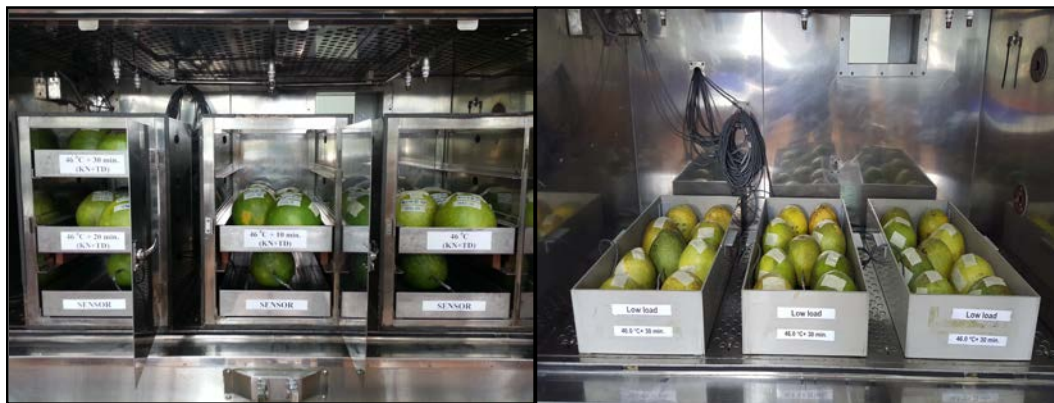


Figure 12. Place monitoring of fruit temperature (sensor fruit).



Figure 13. Control and test fruits infested with fruit fly first instar were held in room at 25-27 ° C after heat treatment.



Figure 14. Test fruits infested with fruit fly first instar were observed at each given treatment temperature and holding time.



Figure 15. Fruit holding containers (drawer-type boxes).



Figure 16. Showing cooling system (differential pressure type) model: SHS-12.



Figure 17. Control and treated fruits keep in box.



Figure 18. Control and treated fruits in chamber at 10 ° C after heat treatment.



Figure 19. The measurement of total soluble solid (TSS) by using 'atago' digital refractometer (model: DBX-30).



Figure 20. The measurement of acidity by using acilizer (model: 5 006P).



Figure 21. Forced infestation method ten punctures were made on the fruit surface by inserting pin (0.5 mm. diameter).



Figure 22. Forced infestation method test fruits were individually exposed to gravid females for oviposition.

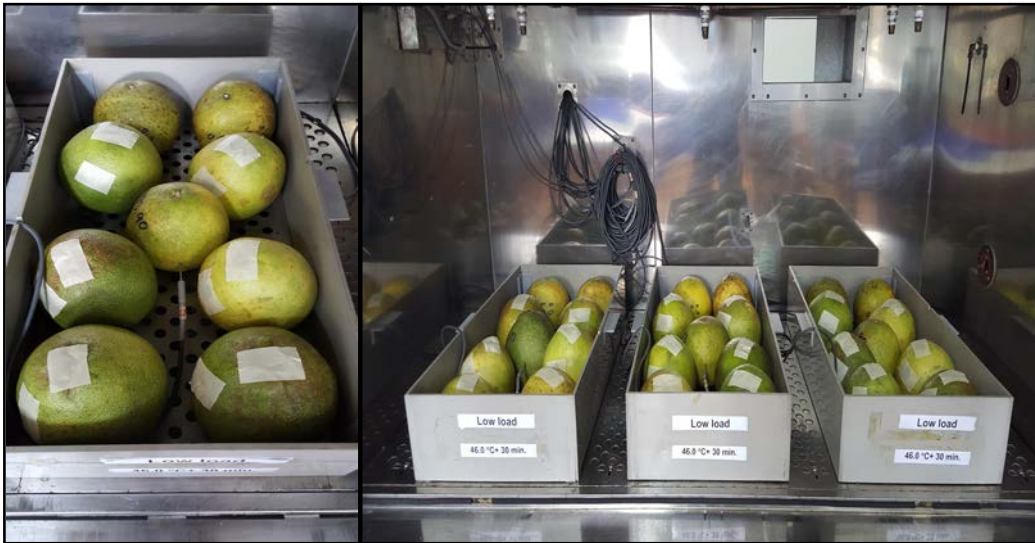


Figure 23. Artificial and Forced infestation method.



Figure 24. Filler fruits.



Figure 25. Low load and Full load in chamber (capacity 50 and 100 %).



Figure 26. Commercial export simulation test.



Figure 27. Filler fruits.



Figure 28. Symptom of damaged oil gland (black spot) found on peel of MVHT treated fruits at 48 ° C for 2 h after 7 days in chamber at 10 ° C.