วิจัยและพัฒนาวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อนสำหรับกำจัดแมลงวันทอง ในผลมะละกอเพื่อการส่งออก

Research and Development of Quarantine Heat Treatment to Disinfest the Oriental Fruit Fly in Papaya for Export

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์[1/] ชัยณรัตน์ สนศิริ[1/] สลักจิต พานคำ[1/]
รัชฎา อินทรกำแหง[1/] อุดร อุณหวุฒิ[2/]
[1/]กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช
[2/]ผู้เชี่ยวชาญ กรมวิชาการเกษตร

รายงานความก้าวหน้า

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีกำจัดแมลงวันทองในกลุ่ม *B. dorsalis* species complex ด้วยความร้อนที่ได้มาตรฐานของวิธีกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืชในผลมะละกอก่อนการส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น ศึกษาด้านความเสียหายของมะละกอจากวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำเปรียบเทียบกับวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์จะใช้เวลาในการอบมะละกอนานกว่าวิธีการอบไอน้ำ การสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณน้ำตาล ทั้ง 2 วิธีการไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับมะละกอที่ไม่ผ่านความร้อน เมื่อพิจารณาจากความเสียหายที่ผิวภายนอก และภายในผลมะละกอที่ผ่านความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 46^{0}C นาน 2 ชั่วโมง พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวที่ผลจากสีเขียวเป็นสีเหลืองใกล้เคียงกับมะละกอที่ไม่ผ่านความร้อน ในขณะที่มะละกอที่ผ่านความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 46^{0}C นาน 2 ชั่วโมง จะแสดงความเสียหายภายนอกที่ผิว โดยเกิดรอยบุ๋ม และภายในผลเกิดอาการช้ำ และนิ่ม เนื่องจากความร้อนอย่างเด่นชัด เมื่อพิจารณาจากข้อมูลเบื้องต้น วิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวิธีกำจัดแมลงวันทองในผลมะละกอมากกว่าวิธีการอบไอน้ำ ศึกษาความทนทานต่อความร้อนของแมลงวันทองในระยะไข่ และหนอนวัยต่าง ๆ ในผลมะละกอด้วยวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อกำหนดระยะการเจริญเติบโตที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด พบว่าหนอนวัยที่ 1 เป็นวัยที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด โดยที่หนอนวัยที่ 1 ตายทั้งหมดที่อุณหภูมิ 46.5^{0}C นาน 30 นาที ในมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ จากผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้พิจารณาเพื่อศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการกำจัดแมลงด้วยความร้อนต่อไป

รหัสการทดลอง 03-04-54-03-05-00-04-54

คำนำ

มะละกอมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Carica papaya* L. วงศ์ Caricaceae (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2555) เป็นหนึ่งในผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีปัญหาด้านกักกันพืชในการส่งออก เนื่องจากเป็นพืชอาศัยของแมลงวันทองในกลุ่ม *Bactrocera dorsalis* complex ที่มีความสำคัญทางด้านกักกันพืชระหว่างประเทศ (White and Elson-Harris, 1992; Iwaizumi, 2004) มะละกอเป็นผลไม้ที่มีเปลือกบางซึ่งจะถูกทำลายโดยแมลงวันทองได้ง่าย การเข้าทำลายของแมลงวันทองเกิดจากตัวเต็มวัยเพศเมียใช้อวัยวะวางไข่ (ovipositor) แทงลงใต้ผิวของผลมะละกอเพื่อวางไข่ เมื่อไข่ฟักเป็นหนอนจะชอนไช กัดกินเนื้อภายในผลจนทำให้มะละกอเน่าเสีย แมลงวันทองสามารถเข้าทำลายได้ตั้งแต่อยู่ในแปลงปลูก การทำลายอาจรุนแรงมากถึง 100 เปอร์เซ็นต์ หากไม่มีการป้องกันกำจัด ด้วยเหตุนี้มะละกอจากประเทศไทยจึงถูกห้ามนำเข้าประเทศญี่ปุ่น ซึ่งไม่มีแมลงชนิดดังกล่าวนี้แพร่ระบาดภายใต้ข้อกำหนดของกฎหมายกักกันพืช ข้อกำหนดนี้จะถูกยกเลิกไปหากประเทศไทยสามารถพัฒนาวิธีกำจัดศัตรูพืชที่ได้มาตรฐานของวิธีกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช (plant quarantine treatment) กระทรวงเกษตรป่าไม้และประมงญี่ปุ่น (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, MAFF) ได้กำหนดให้การขออนุญาตนำเข้าสิ่งต้องห้ามที่เป็นพืชอาศัยของแมลงวันทอง ต้องยื่นเสนอแผนการวิจัยการกำจัดแมลงวันทองก่อนการส่งออกไปให้กับ (MAFF) พิจารณาตรวจสอบและให้ความเห็นชอบก่อน โดยที่ขั้นตอนในการวิจัยและพัฒนาวิธีกำจัดแมลงวันทองด้วยความร้อนต้องเป็นไปตามข้อกำหนด และมีประสิทธิภาพซึ่งได้มาตรฐานตามวิธีกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช (Miyazaki, 2010)

การศึกษาวิจัยการใช้วิธีกำจัดแมลงวันทองด้วยความร้อนมีรายงานในหลายประเทศ ประเทศสหรัฐอเมริกา Armstrong et al., (1989) พบว่าวิธีอบอากาศร้อน (Hot air treatment, HAT) ที่อุณหภูมิ 47.2 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในกำจัดไข่ และหนอนของแมลงวันทองในผลมะละกอพันธุ์ “Solo” Jones (1939) พบว่าการอบมะละกอพันธุ์ “Solo” ด้วยวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (Modified Vapor Heat Treatment, MVHT) ที่อุณหภูมิ 43.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มะละกอเสียหายเพียงเล็กน้อย ซึ่งจากการวิจัยดังกล่าวกระทรวงเกษตรฯสหรัฐอเมริกาได้อนุมัติให้ใช้เป็นวิธีกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช สำหรับกำจัดแมลงวันทองในผลมะละกอก่อนส่งออกจากรัฐฮาวายไปยังสหรัฐอเมริกา ในประเทศไต้หวัน Dong et al., (2011) รายงานว่ากระทรวงเกษตรป่าไม้และประมงญี่ปุ่น (MAFF) ได้อนุญาตนำเข้ามะละกอพันธุ์ “Tainung No.2”ด้วยวิธีการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 47.2 องศาเซลเซียส ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2529 กลุ่มวิจัยการกักกันพืช ได้รับความช่วยเหลือทางด้านวิชาการจากรัฐบาลญี่ปุ่นให้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ความร้อนเพื่อกำจัดแมลงวันทอง *B. dorsalis* และแมลงวันแตง *B. cucurbitae* ในผลมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน พบว่าวิธีการอบไอน้ำ (Vapor Heat Treatment, VHT) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงวันทองทั้ง 2 ชนิด ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานของวิธีกำจัดศัตรูพืชด้านกักกันพืช (Unhawutti *et al*., 1986) และปี พ.ศ. 2534 ได้วิจัยและพัฒนาวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงวันทองครอบคลุมมะม่วงถึง 4 พันธุ์ ได้แก่ หนังกลางวัน น้ำดอกไม้ แรด และพิมเสนแดง (Unhawutti *et al*., 1991) โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของมะม่วง หลังจากนั้นกลุ่มวิจัยการกักกันพืชได้ประสบความสำเร็จจากการวิจัยและพัฒนาวิธีกำจัดแมลงวันทองด้วยความร้อนในผลมังคุด (ปี พ.ศ. 2546) มะม่วงพันธุ์มหาชนก (ปี พ.ศ. 2549) (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2551)

และส้มโอพันธุ์ทองดี (ปี พ.ศ. 2555) (Unhawutti *et al.,* 2006; อุดร และคณะ, 2549) วิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) นอกจากมีประสิทธิภาพกำจัดแมลงวันทองได้แล้ว ยังมีข้อดีในแง่ของความปลอดภัยจากสารพิษตกค้างภายในผลไม้ จึงผ่านการยอมรับได้โดยง่ายจากประเทศผู้นำเข้าหากมีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลง

ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีวิธีการใดที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับสำหรับกำจัดแมลงวันทองในผลมะละกอเพื่อการส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ (1) เพื่อศึกษาวิธีการอบไอน้ำ และวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงวันทองในผลมะละกอ (2) เพื่อศึกษาความเสียหายของผลมะละกอหลังผ่านความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำทั้ง 2 วิธี เพื่อพัฒนาวิธีการกำจัดศัตรูพืชให้ได้มาตรฐาน และใช้เป็นข้อมูลวิชาการนำเสนอต่อกระทรวงเกษตรป่าไม้ และประมง ประเทศญี่ปุ่น เพื่อพิจารณาและอนุญาตนำเข้ามะละกอจากประเทศไทยในอนาคต

วิธีดำเนินการ

วิธีการ

ดำเนินการทดลองโดยใช้ เครื่องอบไอน้ำกำจัดแมลงวันทองขนาดเล็กสำหรับงานทดลอง (Sanshu Vapor Heat Treatment System : Differential Pressure Type รุ่น EHK 1000 D จำนวน 2 เครื่อง) ณ ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช สำหรับแมลงวันทอง *Bactrocera dorsalis* (Hendel) ที่ใช้ทดลองได้มาจากผลมะละกอ ที่เก็บรวบรวมจากอำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ทำการขยายพันธุ์ประชากรแมลงให้เพิ่มขึ้น และมีความแข็งแรงโดยอาศัยการเลี้ยงแมลงด้วยอาหารเทียม การเตรียมแมลงวันทองให้เพียงพอสำหรับงานทดลอง โดยการเลี้ยงในกรงใหญ่ จำนวน 20,000 ตัว/กรง และในกรงเล็ก จำนวน 2,000 ตัว/กรง การเลี้ยงแมลงแต่ละรุ่นจะตรวจสอบอัตราการฟักไข่ (hatching rate) อัตราการออกเป็นตัวเต็มวัย (emerging rate) น้ำหนักของดักแด้(pupae weight) และอัตราส่วนของเพศผู้-เพศเมีย (sex ratio) เพื่อควบคุมคุณภาพของแมลงก่อนการทดลอง แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ศึกษาด้านความเสียหายของมะละกอจากวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำ (VHT) เปรียบเทียบกับวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) 2) ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีกำจัดแมลงวันทองด้วยความร้อนในผลมะละกอ

1) ศึกษาด้านความเสียหายของมะละกอจากวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อน

ศึกษาลักษะความเสียหายของมะละกอจากวิธีการอบไอน้ำ (VHT) เปรียบเทียบกับวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) วิธีการอบไอน้ำ (VHT) เป็นกรรมวิธีให้ที่ความร้อนกับผลมะละกอ โดยอาศัยการหมุนเวียนของไอน้ำร้อนที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (saturated condition) ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 % ตลอดเวลา สำหรับวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) เป็นกรรมวิธีที่ให้ความร้อนกับผลมะละกอ โดยอาศัยวิธีการอบไอน้ำ (VHT) ร่วมกับวิธีการอบอากาศร้อน (Hot air treatment, HAT) โดยช่วงแรกจะให้ความร้อนกับผลมะละกอด้วยวิธีอบอากาศร้อน (HAT) ซึ่งอากาศร้อนที่หมุนเวียนผ่านผลมะละกอจะมีความชื้นสัมพัทธ์ 50-80 % จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิในผลมะละกอเพิ่มขึ้นถึง 43^{0}C จึงปรับเปลี่ยนเป็นวิธีการอบไอน้ำ (VHT) ซึ่งอากาศร้อนจะอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ที่มีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 % (อุดร, 2541; อุดร และคณะ, 2549; Unahawutti *et al*., 2006) ดำเนินการโดยใช้เครื่องอบไอน้ำของกลุ่มวิจัยการกักกันพืช

(Figure 1) จำนวน 2 เครื่อง โดยตั้งค่าอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องอบไอน้ำตามรูปแบบของวิธีการอบไอน้ำ (VHT) และวิธีการอบไอน้ำแบบ (MVHT) ในตู้ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (จำนวนมะละกอที่ใช้ทดลอง treatment จำนวน 15 ผล/ตู้ และ control 5 ผล) ก่อนการอบผลมะละกอต้องบันทึกน้ำหนัก และถ่ายรูปผลมะละกอทุกครั้ง **(Figure 2)** สำหรับการวัดอุณหภูมิผลมะละกอที่ทดลองอาศัยการวัดจากเซ็นเซอร์กำหนดอุณหภูมิผลมะละกอ (sensor fruit) จำนวน 3 ผล น้ำหนัก 650-750 กรัม **(Figure 3)** โดยให้อุณหภูมิตรงบริเวณกึ่งกลางผลคงอยู่ที่ 46^{0}C (เซ็นเซอร์กำหนดอุณหภูมิผลมะละกอจะต้องอ่านค่าได้ 46 ^{0}C ครบทั้ง 3 เส้น) และคงอุณหภูมิ นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ หลังจากที่อบมะละกอครบตามอุณหภูมิ และระยะเวลาที่กำหนดไว้ นำมะละกอจำนวน 15 ผลที่ผ่านความร้อนออกจากตู้อบไอน้ำ มาลดอุณหภูมิผลมะละกอทันทีโดยการเป่าด้วยพัดลมนาน 1 ชั่วโมง จากเครื่องลดอุณหภูมิผลไม้ “Sanshu” Shower Cooling System (Differential Pressure Type) (model : SHS-12, Sanshu Sangyo Co., Ltd., Kagoshima, Japan) จากนั้นเก็บมะละกอที่ทดลองตามรายละเอียดใน (Unahawutti *et al*, 2006) แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 12 ^{0}C **(Figure 4)** บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งภายนอก และภายในของผลมะละกอ ด้านการสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณน้ำตาลของมะละกอหลังอบด้วย 2 กรรมวิธี แล้ว 7 วัน เปรียบเทียบกับมะละกอที่ไม่ผ่านความร้อน

2) ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีกำจัดแมลงวันทองด้วยความร้อนในผลมะละกอ

แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ

<u>การทดลองที่ 2.1</u> : ศึกษาวิธีเตรียมมะละกอทดลองในสภาพที่มีไข่และหนอนของแมลงวันทองอยู่ภายในผล โดยใช้เทคนิคการใส่ไข่ของแมลงวันทองเข้าไปในชิ้นเนื้อของมะละกอโดยตรง (Artificial infestation method) ใช้มีดผ่าตัดกรีดบริเวณผิวของมะละกอให้ลึกจนถึงเนื้อในประมาณ 0.5 เซนติเมตร โดยกรีดบริเวณผิวให้เปิดออก (Beneath the peel method) ดัดแปลงจากวิธีการของ Srimartpirom (2010) ใช้พู่กันย้ายไข่และหนอนใส่เข้าไปในเนื้อมะละกอ จำนวน 100, 150 และ 200 ฟอง/ตัว/ผล ตามลำดับ **(Figure 5)** จากนั้นปิดเทปกาวที่ผลมะละกอ นำมะละกอแต่ละผลใส่ในถุงผ้าขาวบางและปิดปากถุงด้วยหนังยาง แล้วนำไปเก็บไว้ในกระบะพลาสติก โดยวางมะละกอลงบนแท่นพลาสติกทรงกลม ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ อุดร และคณะ (2549) และรองด้วยแผ่นพลาสติกที่เป็นตาข่าย ปิดกระบะด้วยผ้ามัสลิน เพื่อป้องกันไม่ให้แมลงวันทองจากภายนอกวางไข่ซ้ำเข้าไปภายในผล เก็บมะละกอไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ (25-27 ^{0}C) บันทึกจำนวนแมลงรอดชีวิตในแต่ละผลหลังจากใส่ไข่ หนอนวัยที่ 1, 2 และ 3 แล้วเป็นเวลา 7, 5, 3 และ 2 วัน ตามลำดับ

<u>การทดลองที่ 2.2</u> : ศึกษาความทนทานต่อความร้อนของแมลงวันทองในระยะไข่ และหนอนในผลมะละกอด้วยวิธีอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) โดยเปรียบเทียบความทนทานของไข่ (อายุ 24 ชั่วโมง) และหนอนวัยต่าง ๆ ของแมลงวันทองในผลมะละกอด้วยวิธีอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) เพื่อกำหนดระยะการเจริญเติบโตที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด เปรียบเทียบอัตราการตายของแมลงแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยอบมะละกอให้อุณหภูมิตรงบริเวณกึ่งกลางผลคงอยู่ที่ 45, 46 และ 46.5^{0}C (เซ็นเซอร์กำหนดอุณหภูมิผลมะละกอจะต้องอ่านค่าได้ 45, 46 และ 46.5^{0}C จำนวน 2 ใน 3 เส้น) และคงอุณหภูมิเป็นเวลานาน 0, 0:10, 0:20, 0:30, 0:40, 0:50 และ 0:60 ชั่วโมง **(Figure 6)** โดยช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิผลจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส อาศัยอากาศร้อนหมุนเวียนผ่านผลมะละกอจะมีความชื้นสัมพัทธ์ 50 %

หลังจากอุณหภูมิผลเพิ่มขึ้นถึง 43^{0}C จึงปรับเปลี่ยนเป็นอากาศร้อนที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ที่มีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการให้ความร้อนแล้วลดอุณหภูมิผลโดยเป่าด้วยลมนาน 1 ชั่วโมง เก็บมะละกอไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ (25-27^{0}C) บันทึกจำนวนแมลงรอดชีวิตในแต่ละผลหลังจากใส่ไข่ หนอนวัยที่ 1, 2 และ 3 แล้วเป็นเวลา 7, 5, 3 และ 2 วัน ตามลำดับ

เวลาและสถานที่

เวลา: เดือนตุลาคม 2553 – กันยายน 2556

สถานที่: จังหวัดนครปฐม, สมุทรสงคราม, นครราชสีมา, ลพบุรี, กาญจนบุรี, ราชบุรี, ปราจีนบุรี, แพร่ เชียงใหม่ และห้องปฏิบัติการ กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1) ศึกษาด้านความเสียหายของมะละกอจากวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อน

ศึกษาด้านความเสียหายของมะละกอจากวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำ (VHT) เปรียบเทียบกับวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) โดยอบมะละกอให้อุณหภูมิตรงบริเวณกึ่งกลางผลคงอยู่ที่ 46^{0}C และคงอุณหภูมินาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) จะใช้เวลาในการอบมะละกอนานกว่าวิธีการอบไอน้ำ (VHT) เล็กน้อย **(Table 1)** และมะละกอที่ผ่านความร้อน ทั้ง 2 วิธีการ มีการเปลี่ยนแปลงของสีผิวที่ผลจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (skin yellowing) มากกว่ามะละกอที่ไม่ผ่านความร้อน **(Figure 7)** โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะละกอที่ผ่านความร้อนด้วยวิธีการอบไอน้ำ (VHT) ที่อุณหภูมิ 46^{0}C นาน 2 ชั่วโมง จะแสดงความเสียหายภายนอกที่ผิว โดยเกิดรอยบุ๋ม (pitting) และภายในผลเกิดอาการช้ำ และนิ่ม (flesh softening) เนื่องจากความร้อนอย่างเด่นชัด **(Figure 8)** สำหรับการสูญเสียน้ำหนัก **(Table 2)** และปริมาณน้ำตาล **(Table 3)** ทั้ง 2 วิธีการไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับมะละกอที่ไม่ผ่านความร้อน เมื่อพิจารณาจากข้อมูลเบื้องต้น วิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวิธีกำจัดแมลงวันทองในผลมะละกอมากกว่าวิธีการอบไอน้ำ (VHT) ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการใช้วิธีอบอากาศร้อน (HAT) ในผลมะละกอ พบว่าวิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการอบมะละกอนานกว่า 4 ชั่วโมง และมะละกอแสดงอาการเนื้อผลแข็ง (hardening) เนื่องจากความร้อนไปยับยั้งกระบวนการทำงานของเอนไซม์ polygalacturonase (PG) จึงทำให้เนื้อผลมะละกอเกิดความผิดปกติ (Toshiyo, 1996) ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองนี้ที่พบว่ามะละกอไม่ได้แสดงอาการเนื้อผลแข็ง (hardening) แต่แสดงอาการช้ำ และนิ่ม เนื่องจากเอนไซม์ดังกล่าวไม่ได้ถูกยับยั้งการทำงานจากความร้อนที่สูง จากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำตัวแปรที่สำคัญไปศึกษาในด้านความเสียหายของมะละกอด้วยวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่อไป

2) ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีกำจัดแมลงวันทองด้วยความร้อนในผลมะละกอ

<u>การทดลองที่ 2.1</u> : ศึกษาวิธีเตรียมมะละกอทดลองในสภาพที่มีไข่และหนอนของแมลงวันทองอยู่ภายในผล พบว่าการเตรียมผลมะละกอให้มีแมลงวันทองทุกระยะการเจริญเติบโตในอัตราที่เหมาะสมที่สุด คือ 100 ฟอง/ตัว/ผล โดยในระยะไข่มีการรอดชีวิตเท่ากับ 62.20 %หนอนวัยที่ 1 มีการรอดชีวิตเท่ากับ 86.45 % หนอนวัยที่ 2 มีการรอดชีวิตเท่ากับ 91.20 % และหนอนวัยที่ 3 มีการรอดชีวิตเท่ากับ 82.00 % ตามลำดับ **(Figure 9)** จากผลการทดลองการเตรียมมะละกอในสภาพที่มี

ไข่ และหนอนวัยต่าง ๆ ในอัตรา 100 ฟอง/ตัว/ผล มีแนวโน้มที่แมลงวันทองมีการรอดชีวิตมากกว่า 60 % ซึ่งถือว่าเป็นอัตราที่เหมาะสม จึงเลือกอัตรานี้เพื่อใช้ในการทดลอง และเป็นที่น่าสังเกตว่าในระยะหนอนวัย 3 มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตลดลง อาจเนื่องมาจากหนอนวัย 3 เตรียมเข้าสู่ระยะดักแด้ จึงทำให้มีการรอดชีวิตลดลงเมื่อเทียบกับหนอนวัยที่ 2 ที่มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตมากกว่า 90 %

การทดลองที่ 2.2 : ศึกษาความทนทานต่อความร้อนของแมลงวันทองในระยะไข่ และหนอนในผลมะละกอด้วยวิธีอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) เพื่อกำหนดระยะการเจริญเติบโตที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด พบว่าหนอนวัยที่ 1 เป็นวัยที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ ไข่, หนอนวัยที่ 2 และ หนอนวัยที่ 3 ตามลำดับ **(Table 4)** โดยหนอนวัยที่ 1 ตายทั้งหมดที่อุณหภูมิ 46.5 ^{0}C นาน 30 นาที ในมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ **(Figure 10)** จากผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้พิจารณาเพื่อศึกษาด้านการประเมินประสิทธิภาพการกำจัดแมลงด้วยความร้อนต่อไป

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

การใช้วิธีอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) อบผลมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ โดยให้อุณหภูมิตรงบริเวณกึ่งกลางผลคงอยู่ที่ 46^{0}C และคงอุณหภูมิ นาน 0, 1 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ เป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวิธีกำจัดแมลงวันทองในผลมะละกอมากกว่าวิธีการอบไอน้ำ (VHT) เมื่อพิจารณาจากตัวแปรความเสียหายที่สำคัญ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสีผิวที่ผลจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (skin yellowing), ความเสียหายภายนอกที่ผิวโดยเกิดรอยบุ๋ม (pitting) และภายในผลเกิดอาการช้ำ และนิ่ม (flesh softening) ภายหลังจากอบมะละกอที่อุณหภูมิ 46^{0}C นาน 2 ชั่วโมง ด้วยวิธีการอบไอน้ำ (VHT) แสดงความเสียหายอย่างเด่นชัด อย่างไรก็ดีระยะความสุกแก่ของผลมะละกอก่อนการทดลอง, อุณหภูมิเย็นที่ใช้เก็บผลมะละกอ และเปอร์เซ็นต์ความแน่นของเนื้อมะละกอ (firmness) หลังการทดลองก็เป็นอีกสามตัวแปรที่มีความสำคัญ จากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำตัวแปรที่สำคัญไปศึกษาในด้านความเสียหายของมะละกอด้วยวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่อไป ศึกษาความทนทานต่อความร้อนของแมลงวันทองในระยะไข่ และหนอนวัยต่าง ๆ ในผลมะละกอด้วยวิธีการอบไอน้ำแบบปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ (MVHT) เพื่อกำหนดระยะการเจริญเติบโตที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด พบว่าหนอนวัยที่ 1 เป็นวัยที่ทนทานต่อความร้อนมากที่สุด โดยที่หนอนวัยที่ 1 ตายทั้งหมดที่อุณหภูมิ 46.5^{0}C นาน 30 นาที จากผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้พิจารณาเพื่อศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการกำจัดแมลงด้วยความร้อนต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคุณกัลยา คูห์วัฒนศิลป์, คุณประชุม นุ้ยจำนัล, คุณมีนา จริงจิตร, คุณนวลนิสา ตั้งสัจจะกุล และคุณสมิทธิ์ อยู่เอี่ยม ที่มีส่วนช่วยในการเตรียมการทดลอง รวมถึงการเช็คผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549. มะละกอฮอลแลนด์. สืบค้นจาก: http://esc.agritech.doae.go.th/webpage/e-book/papaya-holland.pdf. [ก.ค. 2555].

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

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์ และชัยณรัตน์ สนศิริ. 2551. ศึกษาการเจริญเติบโตของแมลงวันทอง *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera:Tephritidae) ในผลพริกหวาน. โครงการวิจัยพัฒนาวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อนสำหรับกำจัดแมลงวันทองในผลพริกหวานเพื่อการส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 31 หน้า.

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์. 2552. การจัดการความเสี่ยงศัตรูพืชด้วยวิธีการอบไอน้ำมะม่วงและมังคุดส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น (ตอนที่1). เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาการจัดการความเสี่ยงศัตรูพืชบนผัก ผลไม้ที่นำเข้าและส่งออก. 24-26 มิถุนายน 2552. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 43 หน้า.

มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์. 2552. การอบไอน้ำมะม่วงและมังคุดสดจากประเทศไทยเพื่อการส่งออกไปญี่ปุ่น (ตอนที่ 2). เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาการจัดการความเสี่ยงศัตรูพืชบนผัก ผลไม้ที่นำเข้าและส่งออก. 24-26 มิถุนายน 2552. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 66 หน้า.

รสริน เกลี้ยงเกลา. 2551. รวยด้วยมะละกอแนวทางการลงทุนอย่างมืออาชีพ. สำนักพิมพ์นาคา อินเตอร์มีเดีย จำกัด. กรุงเทพฯ. 123 หน้า.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2555. มะละกอ. สืบค้นจาก: http://th.wikipedia.org/wiki/มะละกอ. [เม.ย. 2555].

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2551. กำจัดแมลงวันทองด้วยความร้อนดันผลไม้ไทยโกอินเตอร์ฯ. สืบค้นจาก: http://www.phtnet.org/news51/view-news.asp?nID=86. [มี.ค 2552].

สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช. 2553. มะละกอ *ใน*: ระบบงานรับรองแหล่งผลิตพืช : GAP DOA Online. สืบค้นจาก: http://gap.doa.go.th/gap/[ก.ค 2555].

อุดร อุณหวุฒิ. 2541. วิธีกำจัดแมลงในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวด้วยอากาศร้อน. การกำจัดแมลงในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว. ฝ่ายกักกันพืช กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 54.

อุดร อุณหวุฒิ รัชฎา อินทรกำแหง สลักจิต พานคำ ชัยณรัตน์ สนศิริ มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์ ชุติมา อ้อมกิ่ง และ จารุวรรณ จันทรา. 2549. การวิจัยพัฒนาวิธีกำจัดแมลงด้วยความร้อนสำหรับกำจัดแมลงวันทองในผลพริกหวานเพื่อส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น. แบบเสนอโครงการวิจัย (Project Proposal) เพื่อขอรับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านการเกษตร กรมวิชาการเกษตร: กรุงเทพฯ. 31 หน้า.

Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.

Armstrong, J.W., J.D. Hansen, B.K.S. Hu and S.A. Brown. 1989. High-temperature, forced-air quarantine treatment for papayas infested with teprhitid fruit flies (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 82: 1667-1674.

Dong, Y., C. Song, Y. Chuang, K. Chiang, W. Wu, L. Cheng and C. Chen. 2011. Degree of fruit ripeness affecting infestation of papaya by two species of fruit flies (Diptera : Tephritidae). J. Taiwan. Agric. Res. 60(4): 253-262.

Iwaizumi, R. 2004. Species and host record of the *Bactrocera dorsalis* complex (Diptera: Tephritidae) detected by the plant quarantine of Japan. Appl. Entomol. Zool. 39(2): 327-333.

Jaime, A., T. Silva, Z. Rashid, D. Nhut, D. Sivakumar, A. Gera, M. Teixeira and P. Tennant. 2007. Papaya (*carica papaya* L) biology and biotechnology. Tree and forest Science and Biotechnology. 73 p.

Jones, W. 1939. The influence of relative humidity on the respiration of papaya at high temperatures. Proceeding of the American Society for Horticultural Science. 37: 700-705.

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.

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.

Songpol, S. 2011. Current study of papaya production in Thailand. *In*: 3th The International Symposium on Papaya Dec 19-22, 2011 Imperial Maeping Hotel Chiangmai, Thailand. 70 p.

Thaipong, K., S. Srimart, K. Iamjud, P. Sangwanankul and S. Wasee. 2011. Collection evaluation and selection of papaya varieties in Thailand. *In*: 3th The International Symposium on Papaya Dec 19-22, 2011 Imperial Maeping Hotel Chiangmai, Thailand. 70 p.

Toshiyo, K. 1996. Textbook for vapor heat disinfestations test technicians (revised). Japan Fumigation Technology Association. Okinawa International Centre. Japan International Cooperation Agency, Japan.

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, D. *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, M. Srimartpirom, C. Ormking, C. Sonsiri, J. Chantra and R. Intarakumheng. 2006. Development of 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 (MAFF) for approval of a quarantine treatment on Thai pummel to be exported to Japan, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Chattuchak, Bangkok. 143 p.

White, I.M. and M.M. Elson-Harris. 1992. Fruit flies of economic significance : Their identification and bionomics. CAB International,Wallingford, UK.601 p.

ภาคผนวก

Table 1 Time for center of papaya "Holland" to attain 46^{0}C during vapor heat treatment (VHT) and modified vapor heat treatment (MVHT)

Rep	Sensor fruit weight (g)		Loading (Kg/cum.)		Time[1] (h)	
	VHT	MVHT	VHT	MVHT	VHT	MVHT
1	697.21	695.05	10.50	10.10	2:50	3:10
	704.34	701.12				
	699.10	704.00				
2	700.14	703.14	10.80	10.10	2:55	3:05
	701.20	695.04				
	705.00	702.61				

[1]Time for center of 3 sensor fruits to attain target temperature

Table 2 Weight loss (%) of papaya "Holland" after VHT and MVHT at 46^{0}C holding times at 0, 1 and 2 h. and 7 days storage at 12±1^{0}C, 75±5 % RH

	Method	Weight loss (%)[1]		
		0 h	1 h	2 h
1	VHT	3.54	3.67	3.85
	MVHT	3.21	3.17	3.34
	Control	3.00		
	t-test VHT vs Control	ns	ns	ns
	t-test MVHT vs Control	ns	ns	ns
	t-test VHT vs MVHT	ns	ns	ns
2	VHT	3.71	3.69	3.78
	MVHT	3.10	3.23	3.27
	Control	3.04		
	t-test VHT vs Control	ns	ns	ns
	t-test MVHT vs Control	ns	ns	ns
	t-test VHT vs MVHT	ns	ns	ns

[1]Value are mean of 5 fruits (treatment), and 10 fruits (Control), ns=non-significant *=significant at 5% level

Table 3 Total soluble solid (^{0}Brix) of papaya "Holland" after vapor heat treatment (VHT) and modified vapor heat treatment (MVHT) at 46^{0}C holding times at 0, 1 and 2 h. and 7 days storage at 12±1^{0}C, 75±5 % RH

Rep	Method	Total soluble solid (^{0}Brix)[1]		
		0 h	1 h	2 h
1	VHT	11.64	11.36	12.61
	MVHT	11.48	11.68	12.50
	Control	12.23		
	t-test VHT vs Control	ns	ns	ns
	t-test MVHT vs Control	ns	ns	ns
	t-test VHT vs MVHT	ns	ns	ns
2	VHT	11.51	12.00	12.43
	MVHT	11.37	12.12	12.51
	Control	12.45		
	t-test VHT vs Control	ns	ns	ns
	t-test MVHT vs Control	ns	ns	ns
	t-test VHT vs MVHT	ns	ns	ns

[1]Value are mean of 5 fruits (treatment), and 10 fruits (Control), ns=non-significant

Table 4 Mortality of eggs, 1st, 2nd and 3rd instar larvae of *B. dorsalis* in papaya "Holland" treated with modified vapor heat treatment (MVHT)

Treatment[1] condition	$Egg_{24}h$		1st instar larvae		2nd instar larvae		3rd instar larvae	
	Survival	CM %[2]	Survival	CM %	Survival	CM %	Survival	CM %
Control	1,748	0.00	1,795	0.00	1,762	0.00	1,313	0.00
45.0°C	267	49.08	419	22.19	415	21.49	72	81.72
46.0°C	62	88.18	162	69.92	264	50.06	48	87.81
46.5°C+0:0h	15	97.14	122	77.34	46	91.30	0	100.00
46.5°C+0:10h	14	97.33	116	78.46	0	100.00	0	100.00
46.5°C+0:20h	0	100.00	15	97.21	0	100.00	0	100.00
46.5°C+0:30h	0	100.00	0	100.00	0	100.00	0	100.00
46.5°C+0:40h	0	100.00	0	100.00	0	100.00	0	100.00
46.5°C+0:50h	0	100.00	0	100.00	0	100.00	0	100.00
46.5°C+0:60h	0	100.00	0	100.00	0	100.00	0	100.00

Combined data of 2 replicates
[1]Treatment : 3 fruits infested with 100 individuals/fruit
Control : 10 fruits infested with 100 individuals/fruit
[2]Corrected Mortality (CM %) is corrected by using Abbot

Fig. 1 Sanshu Vapor Heat Treatment System (Differential Pressure Type : Model EHK 1000 D) used for experiment of Plant Quarantine Research Group.

Fig. 2 Laboratory of phytotoxic response of papaya to heat treatment.
Before treatment : papayas were weighed, recorded, separated size, label by pen marker and take pictures of fruits.

Fig. 3 During treatment : The treatment fruits were placed in the chamber (on top of the metal trays) and monitoring of fruit temperature by using the sensors were placed in the bottom. Two methods VHT and MVHT 65%RH were compared each time by treated fruits until fruit center temperature reached 46 ^{0}C and held for 0, 1 and 2 h.

Fig. 4 After treatment : The heat-treated and untreated fruits were kept in constant temperature and humidity chamber at 12 ^{0}C±1 and 75±5% RH. For evaluate the quality of fruits 7 days after treatment.

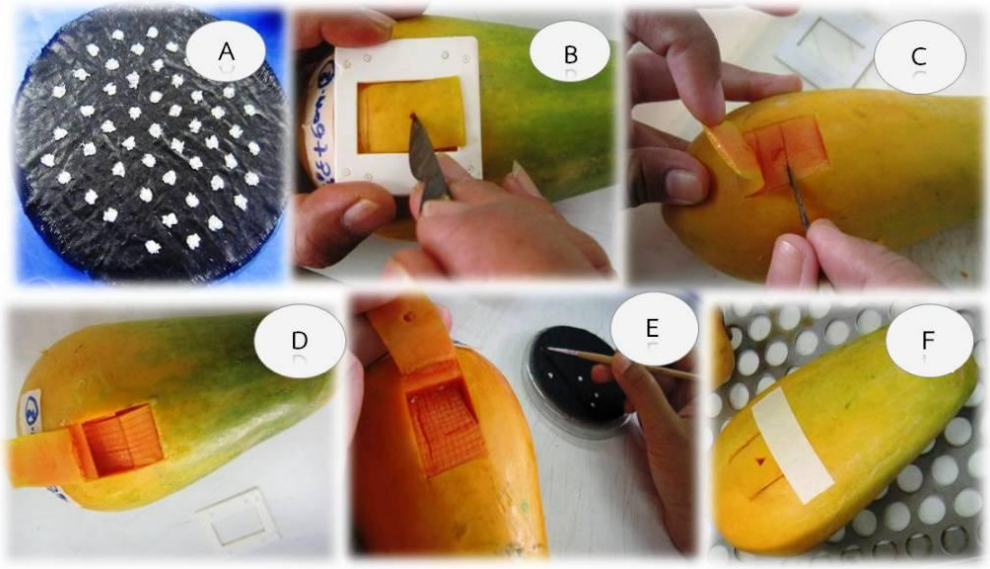

Fig. 5 Laboratory preparation of the infested fruit. (Egg inoculation method) Inoculation of eggs, 1st, 2nd and 3rd instar larvae of fruit fly to papaya with "Beneath the peel" method (A) Count eggs on black muslin cloth (B) Cut to slit the peel and make a hole (C) Lift the peel and take out a piece of the pulp (D) Notch the pulp (E) Transfer the eggs on the pulp (F) Close by surgical tape.

Fig. 6 Susceptibility of stages of *B. dorsalis* to modified vapor heat treatment test. All infested test fruits were placed in the chamber and monitoring of fruit temperature by using sensors reached the center fruit temperature at 45°C, 46°C, 46.5°C, and maintained at 46.5°C for 0, 0:10, 0:20, 0:30, 0:40, 0:50 and 0:60 h.

Fig. 7 The external appearance was similar between control (A) and MVHT treated fruits at 46°C for 2 h. (B)

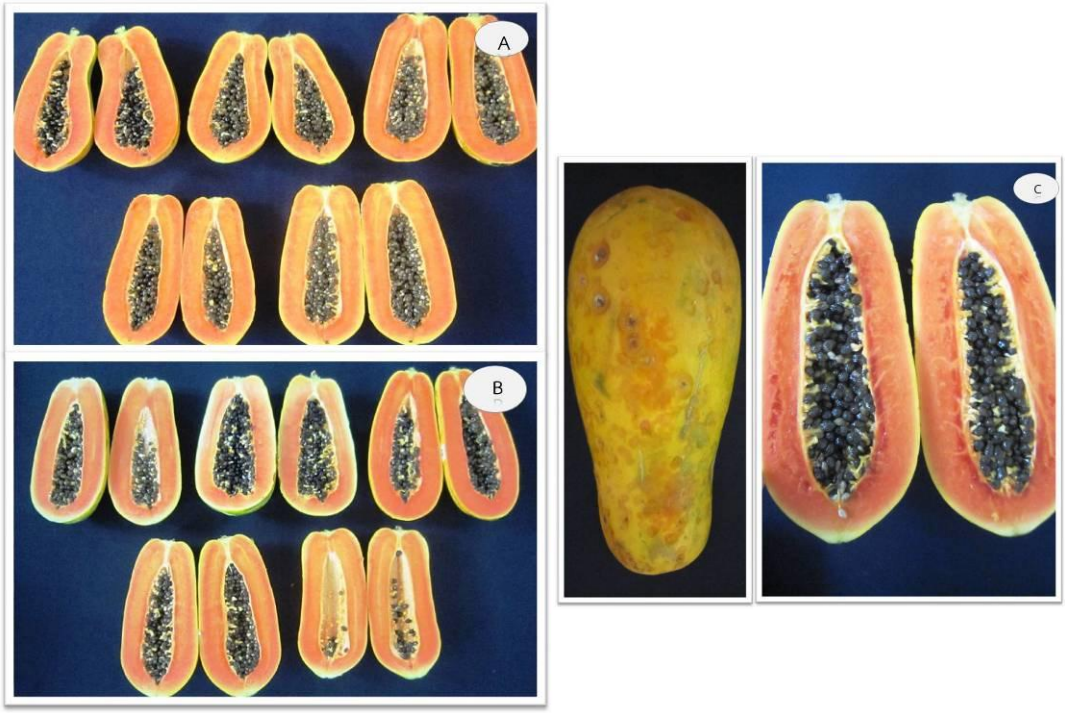

Fig. 8 The internal appearance was similar between control (A) and MVHT treated fruits at 46^{0}C for 2 h. (B), but differences were found between VHT treated fruits at 46^{0}C for 2 h. (C) with MVHT treated fruits and control.

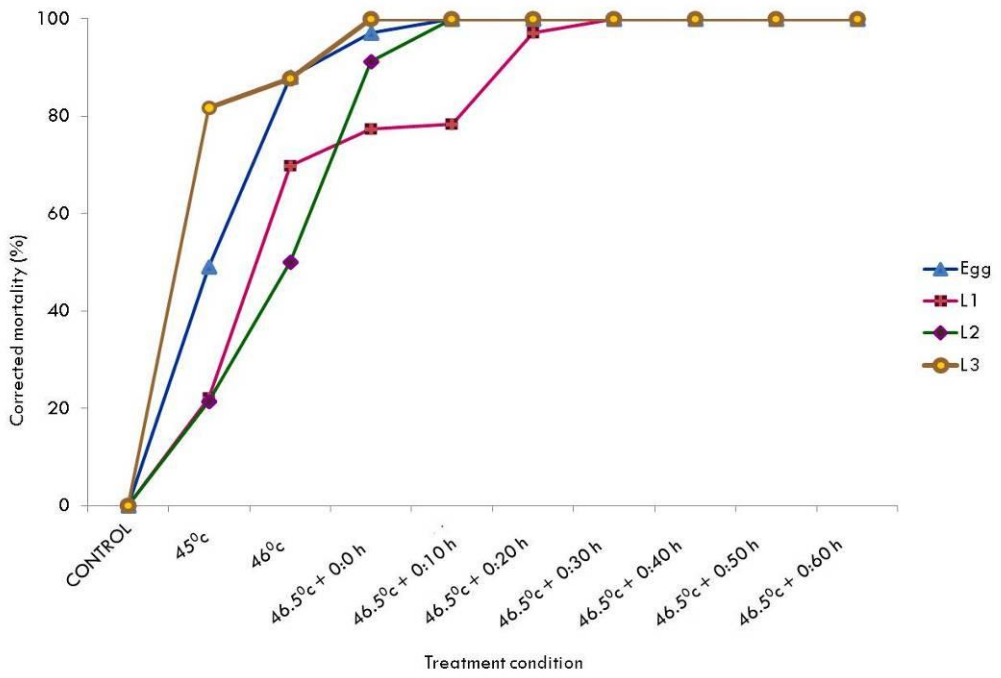

Fig. 9 The survival rate of eggs, 1st, 2nd and 3rd instar larvae of *B. dorsalis* in papaya.

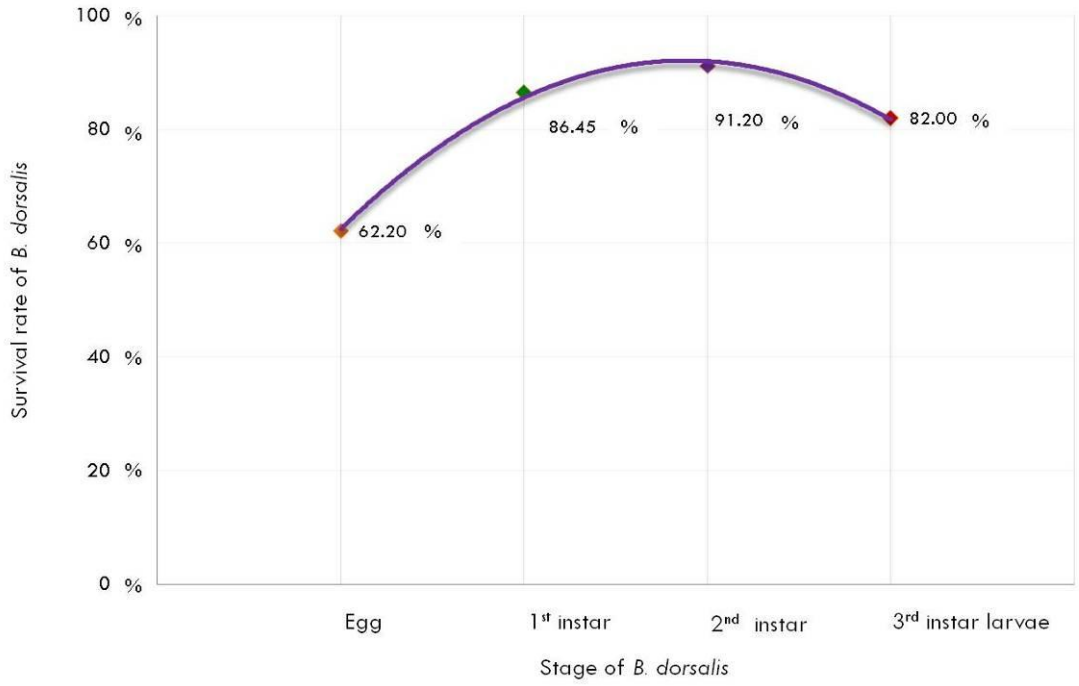

Fig. 10 Mortality of eggs, 1st, 2nd and 3rd instar larvae of *B. dorsalis* in papaya treated with modified vapor heat treatment.