รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. ชื่อชุดโครงการ วิจัยและพัฒนาลำไย

2. ชื่อโครงการ พัฒนาเทคโนโลยีการลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยเพื่อการส่งออก

กิจกรรมที่ 4 การนำเทคโนโลยีการใช้สารทดแทน SO_2 ไปใช้ในโรงรมผู้ประกอบการ

3. ชื่อการทดลอง ทดสอบการส่งออกลำไยที่ใช้วิธีทดแทนซัลเฟอร์ไดออกไซด์

Export Testing of Longans Treated with the Alternative Treatments to Sulfur Dioxide

4. คณะทำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง	นายวิทยา อภัย	สังกัด สวพ.1
ผู้ร่วมงาน	นายสถิตย์พงศ์ รัตนคำ	สังกัด ศวศ.ชม.
	นางสาวสุทธินี ลิขิตตระกูลรุ่ง	สังกัด สวพ.1
	นายณัฐนัย ตั้งมั่นคงวรกูล	สังกัด สวพ.1
	นายสมเพชร เจริญสุข	สังกัด สวพ.1

5. บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบเทคโนโลยีในการลดปัญหาการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และยืดอายุการเก็บรักษาลำไยเพื่อการส่งออกดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2562 ณ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 (สวพ.1) จังหวัดเชียงใหม่ การทดสอบใช้ลำไยพันธุ์ดอเกรด A ที่บรรจุไว้ในตะกร้าพลาสติกขนาด 11.5 กก. โดยทดสอบรวมทั้งหมด 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1) รม SO_2 เข้มข้น 1.5% + แผ่นระเหยทางการค้า (Uvasys®) ที่ปล่อยสาร SO_2 จากสาร sodium metabisulfite (SMS pad) ที่เคลือบอยู่บนแผ่น 2) แช่ในกรดเกลือ (hydrochloric acid, HCl) 5% + SMS 1% นาน 5 นาที 3) รมก๊าซโอโซน (O_3) นาน 2 ชั่วโมง (ชม.) + รม SO_2 เข้มข้น 1.5% 4) รม SO_2 เข้มข้น 1.5% + รมก๊าซ O_3 นาน 1 ชม. และ 5) รม SO_2 วิธีทางการค้า ความเข้มข้น 1.5% (Control) นำไปเก็บรักษาที่ 5°C นาน 40 - 80 วัน พบว่ากรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพดีและเป็นไปได้ คือ การรม SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. และวิธีการแช่ใน HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที ช่วยลดการเกิดโรคได้นาน 70 และ 50 วัน ตามลำดับ และช่วยลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกและการเปลี่ยนสีของเนื้อผลเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ˚C ความชื้นสัมพัทธ์ 90% (RH) ได้นานเท่ากัน 80 และ 50 วัน การแช่ HCl 5% + SMS 1% มีค่า SO_2 ตกค้างคำนวณทั้งผลต่ำที่สุดไม่เกินมาตรฐานของประเทศสิงคโปร์ที่อ้างอิงค่ามาตรฐาน Codex (≤ 50 ppm) ตลอดอายุการเก็บรักษา สรุปแล้ว การรม SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. รม SO_2 1.5% การแช่ HCl 5% + SMS 1% รม O_3 นาน 2 ชม. + SO_2 1.5% และ SO_2 1.5% + SMS pad ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาที่ 5 ˚C, 90% RH และ (+) อายุการวางจำหน่ายได้ที่อุณหภูมิห้องนาน 40+5 40+5 40+5 30+5 และ 30+<5 วัน ตามลำดับ การทดสอบร่วมกับผู้ประกอบการส่งออกเพื่อหาทางเลือกสำหรับใช้แก้ไขปัญหาการตกค้างของ SO_2 โดยเฉพาะปัญหาเร่งด่วนในลำไยส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ พบว่าการแช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที เป็นทางเลือกหนึ่งในเชิงการค้าสามารถใช้ยืดอายุลำไยส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ได้เนื่องจากพบค่าตกค้าง SO_2 ทั้งผลมีค่าต่ำที่สุดมีค่า

11.74 – 24.80 ppm ผลการทดสอบการส่งออกเป็นที่น่าพอใจ และสามารถรักษาคุณภาพผล ได้แก่ สีผิวเปลือก สีเนื้อที่ผิดปกติ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นานเพียงพอตลอดเวลาการขนส่งและวางจำหน่ายนาน 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 °C 65% RH โดยมีอายุการวางจำหน่ายนาน 5 วัน ที่อุณหภูมิห้องเมื่อเปรียบเทียบลำไยไม่แช่สารวางจำหน่ายได้นานเพียง 2-3 วันที่อุณหภูมิห้อง

Abstract

The objective of this study was to test some alternative ways to decrease sulfur dioxide (SO_2) residue problem and prolong storage life in fresh longan for export. Office of Agricultural Research and Development Region 1, Chiang Mai province conducted the research and development from 2018-2019. A grade longan cv. Daw was packed in 11.5 kg perforated plastic baskets. They had 5 selected treatments comprising of 3 baskets as replication for each treatment, i.e. fruits fumigated with SO_2 1.5% + sodium metabisulfite (SMS)-impregnated pad (Uvasys®) that give slow release of SO_2 (SO_2 1.5% + SMS pad), dipping in hydrochloric acid (HCl) 5% mixed with SMS 1% for 5 min (HCl 5% + SMS 1%), ozone (O_3) fumigation for 2 hours (h) prior to SO_2 1.5% (O_3 2 h + SO_2 1.5%), SO_2 1.5% prior to O_3 fumigation for 1 h (SO_2 1.5% +O_3 1 h) and fruits fumigated with SO_2 1.5% alone as commercial treatment (SO_2 1.5%). They were stored at 5 ˚C, 90% RH for 40-80 days. The results found that the possible treatments, i.e. SO_2 1.5% + O_3 1 h and HCl 5% + SMS 1% could control disease incidence for 70 and 50 days respectively at 5 ºC. They equally prevented pericarp browning and flesh discoloration for 80 and 50 days in the same period of time. Dipping in HCl 5%+SMS 1% detected the least SO_2 residue in whole fruit not exceeding Codex and Singapore tolerant limit of 50 ppm throughout period of time. The fruit treated with SO_2 1.5% + O_3 1 h, SO_2 1.5%, HCl 5% + SMS 1%, O_3 2 h + SO_2 1.5% and SO_2 1.5% + SMS pad could prolong storage life for 40+5, 40+5, 40+5, 30+5 and 30+<5 days respectively at 5ºC, 90% RH and (+) display for sale at room temperature. Testing cooperated with an exporter for some alternative ways to decrease SO_2 residue problem in fresh longan for export to Singapore was recently urgently investigated. It was found that dipping in HCl 5% + SMS 1% for 5 min could be commercially used for extending shelf life of fresh longan exported to Singapore due to less SO_2 residue in whole fruit ranging from 11.74 to 24.80 ppm. Fruit qualities, i.e. pericarp browning, flesh discoloration and disease incidence was maintained for 14 days at 5 °C, 65% RH and during display for sale for 5 days at room temperature. The results of export testing for several times were accepted and satisfied. This was compared with untreated fruit which became rotting by 2-3 days at room temperature.

6. คำนำ

ลำไยเป็นผลไม้ส่งออกทางเศรษฐกิจที่สำคัญมากชนิดหนึ่งของประเทศไทย เช่นเดียวกับทุเรียน และมังคุด ประเทศส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สาธารณรัฐประชาชนจีน ฮ่องกง เวียดนาม อินโดนีเซีย สิงคโปร์ เป็นต้น ปัญหาสำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของลำไย คือ อายุการเก็บรักษาสั้นสาเหตุจากการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผล และการเน่าเสีย เป็นต้น การรมผลลำไยสดด้วยก๊าซ SO_2 ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาช่วยยืดอายุได้อย่างน้อย 40-60 วันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0-5˚C 85-90% RH ทำให้ลำไยส่งออกได้ปริมาณที่มากขึ้น (Tongdee, 1994) แต่ปัญหาการตกค้างของ SO_2 หลังการรมควันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการตกค้างในผลผลิตเกินมาตรฐานการนำเข้าของประเทศคู่ค้า เช่น ประเทศจีนกำหนดค่าตกค้างในเนื้อผลไม่เกิน 50 ppm สหภาพยุโรป (EU) กำหนดไว้ในเนื้อไม่เกิน 10 ppm สหรัฐอเมริกาห้ามใช้สารนี้กับผลิตผลด้านพืชสวนยกเว้นในผลองุ่น ประเทศสิงคโปร์กำหนดเป็นค่าทั้งผลตามมาตรฐาน Codex ไม่เกิน 50 ppm (ตารางที่ 1 ภาคผนวก) เป็นต้น และสาร SO_2 ยังมีรายงานถึงความเป็นพิษต่อผู้ป่วยบางประเภทที่เป็นโรคภูมิแพ้ การหาสารทดแทนหรือหาวิธีลดการตกค้างหลังรมจึงมีความสำคัญที่ต้องเร่งวิจัยโดยเร่งด่วน

มีงานวิจัยหาสารทดแทนมากมายในลำไย ลิ้นจี่ และองุ่นในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา ได้แก่ เทคโนโลยีการแช่ด้วยกรดชนิดต่างๆ เช่น การแช่กรดเกลือ หรือไฮโดรคลอริก (HCl) 5% นาน 20 นาที ลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลลำไยในประเทศออสเตรเลียได้นาน 40 วัน ที่ 5˚C และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการเก็บรักษาที่ไม่สูงมาก (Drinnan, 2004) การแช่กรด HCl 6.4% นาน 5 นาที และทดสอบการส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ในปี 2556 ช่วยยืดอายุได้นาน 25-27 วัน ที่ 5˚C 76-96% RH เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการค้ารม SO_2 และไม่แช่สารนาน 31 และ 12 วันตามลำดับ (Apai *et al*., 2015) ปัจจัยที่มีผลต่อการแช่ HCl ได้แก่ ความหนาเปลือก ความแก่ และขนาดผล รวมถึง HCl ควรผสมสารอื่นๆ เพื่อลดความเข้มข้นให้ต่ำลง การเพิ่มเวลาการผึ่งแห้ง และสภาพความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บรักษา การแช่ HCl 5.0% + sodium metabisulfite (SMS) 1.0% นาน 5 นาที พบว่ามีการตกค้างทั้งผล รวมทั้งในเปลือกและเนื้อต่ำ และลดการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อที่ผิดปกติได้เมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ HCl 6.4% ระหว่างการเก็บรักษาที่ 5˚C นาน 21 วัน (วิทยา และคณะ, 2559) เทคโนโลยีอื่นๆ ได้แก่ การเคลือบผิว การใช้บรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ รวมทั้งเทคโนโลยีลดการตกค้างหลังรมด้วย SO_2 ได้แก่ การรมด้วยก๊าซโอโซน (วราพรรณ กันคำ, 2556, Taimaneerak *et al*., 2018) การใช้แผ่นระเหยที่เคลือบสาร SMS ให้ก๊าซ SO_2 (SMS slow release pad) (บุษรา และคณะ, 2550, Uthairatanakij *et al*., 2010) และการล้างด้วยน้ำสะอาด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีเหล่านั้นยังขาดการทดสอบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริง ภายในสถานประกอบการ ดังนั้น สวพ.1 จ.เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตรได้จัดทำโครงพัฒนาเทคโนโลยีลดการตกค้างของ SO_2 ในลำไยส่งออกตั้งแต่ปี 2559 เป็นต้นมา โดยทดสอบเทคโนโลยีด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การศึกษาการใช้คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) และก๊าซบางชนิดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาลำไย พบว่าการใช้ก๊าซโอโซนร่วมกับรม SO_2 มีอายุการเก็บรักษา ที่ 5˚C + อุณหภูมิห้องนาน 42+3 วันไม่แตกต่างจากวิธีการค้า คือ รม SO_2 รองลงมา คือ การแช่สาร ClO_2 เข้มข้น 1.5% นาน 5 นาที และแช่กรดเกลือ 6.4% นาน 5 นาที (สุทธินี และวิทยา, 2561) การพัฒนาการใช้กรด HCl ร่วมกับ SMS พบว่าการแช่ HCl 5%+SMS 1% นาน 5 นาที ช่วยยืดอายุได้นาน 35 วัน ที่ 5˚C (สถิตย์พงศ์ และคณะ, 2560) การหาวิธีลดการตกค้างของ SO_2 พบว่าการรมผลลำไยด้วยวิธีทางการค้าร่วมกับการ

ใช้แผ่นระเหย ช่วยยืดอายุได้นาน 30 วัน ที่ 5˚C (ณัฐนัย และวิทยา, 2560) แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยียังขาดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อนำไปใช้แก้ไขปัญหาเร่งด่วนการส่งออกลำไยในประเทศที่เข้มงวดสาร SO_2 ตกค้าง เช่น การส่งออกลำไยไปประเทศสิงคโปร์ที่มีความเข้มงวด และมีรายงานการสุ่มตรวจพบค่าตกค้าง SO_2 ทั้งผลเกินค่าของประเทศสิงคโปร์กำหนดตามมาตรฐาน Codex คือ 50 ppm พบค่าระหว่าง 61.20-170 ppm และแจ้งเตือนผู้ประกอบการไทยจำนวน 2-3 รายหลายครั้งเป็นมูลค่าความเสียหายหลายล้านบาท คาดว่ามีลำไยในตลาดสิงคโปร์น้อยมากในปี 2562 ทำให้มีผู้ส่งออกสนใจ โจทย์ที่ผู้ประกอบการต้องการในเทคโนโลยีนี้ คือ ค่าทั้งผลไม่เกินมาตรฐาน 50 ppm และยืดอายุได้อย่างน้อย 14 วัน โดยสีผิวเปลือกสามารถคล้ำได้เล็กน้อย และสีเนื้อที่ขั้วผลต้องไม่เกิดสีแดงเกินเกณฑ์การยอมรับ รสชาติปกติ และผลไม่เน่าเสียระหว่างการขนส่งและวางจำหน่าย ดังนั้นการทดสอบเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำหรับการทดสอบการส่งออกจึงเป็นสิ่งจำเป็นต้องดำเนินการเร่งด่วน เพื่อคัดเลือกเทคโนโลยีที่มีศักยภาพให้ผู้ส่งออกไว้ใช้แก้ไขปัญหา และเตรียมไว้ใช้ในอนาคต

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์ และสารเคมี ลำไยสดเกรด AA และ A พาเลทวางรองตะกร้า กำมะถันผง ห้องรมลำไยสดด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ของผู้ประกอบการตาม มกษ.1004-2557 แผ่นระเหยทางการค้ายี่ห้อ Uvasys® ขนาด 260x440 มม. สำหรับปลดปล่อยก๊าซ SO_2 เป็นชนิดสองเฟส (Dual phase) มีสาร sodium metabisulfite (SMS) เคลือบอยู่ในแผ่น 2 ชั้น SMS มีความเข้มข้น 36.5% ถุงพลาสติก LLDPE เจาะรู เครื่องผลิตก๊าซโอโซน (O_3) กำลังการผลิต 10 และ 30 กรัมต่อชั่วโมง (กรัม/ชม.) ถุงพลาสติกใสหุ้มตะกร้าลำไยสำหรับรมโอโซนจำนวน 1 ตะกร้า ตู้รมก๊าซ O_3 จำลองขนาดเล็กปริมาตร 0.432 ลบ.ม.สำหรับรม O_3 จำนวน 4 ตะกร้า ตู้อบก๊าซ O_3 ที่ติดตั้งเครื่องโอโซนกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. ของศูนย์นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขนาด กxยxส = 1.2x0.7x1.0 ม. ปริมาตรตู้ 1.44 ลบ.ม. สำหรับรม O_3 จำนวน 12 ตะกร้า พัดลมอุตสาหกรรม กรดเกลือ (HCl) commercial grade 35% w/w น้ำหนัก 25 กก. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) commercial grade สารลดแรงตึงผิว (Tween 20) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ปูนขาว ตู้ดูดควัน (Hood) อุปกรณ์ดูดสารเคมีต้นแบบเป็นปั้มดูดสารเคมีพวกกรดเกลือ และ/หรือ สายยางดูดกรดยาว 2 เมตรโดยใช้หลักการแบบกาลักน้ำ ตะกร้าพลาสติกขนาดความจุ 11.5 กก. ถังพลาสติกแช่ความจุ 300 ลิตร เครื่องแช่แสตนเลสความจุ 1,500 ลิตร ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ กล่องพลาสติกแบบ clamshell ชุดอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในผลลำไยด้วยวิธี Monier William Method (AOAC, 2016) pH meter ที่ probe ทนกรดได้ เครื่องชั่งสารเคมี 1-2 ตำแหน่ง หน้ากากป้องกันสารเคมี ถุงมือยาง รองเท้าบูทป้องกันสารเคมี เสื้อแขนยาว และแว่นตาป้องกันสารเคมี ถุงพลาสติกพร้อมอุปกรณ์สำหรับการสุ่มตัวอย่าง กระดาษสติ๊กเกอร์สำหรับ Label เป็นต้น

แบ่งเป็น 3 การทดลอง และการทดลองย่อย ดังนี้ คือ

7.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีต่อการลดการตกค้างของ SO_2 และยืดอายุการเก็บรักษาลำไย นำกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพจากการดำเนินการในปีงบประมาณ 2559-2560 มาศึกษาในปีงบประมาณ 2561 โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD รวม 5 กรรมวิธี (Treatment, T) ๆ ละ 3 ซ้ำ (ตะกร้าพลาสติกความจุ 11.5 กก.) ได้แก่

T1 = การรม SO_2 1.5% + แผ่นระเหยทางการค้ายี่ห้อ Uvasys® (SMS pad) + LLDPE เจาะรู

T2 = การแช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที

T3 = การรมก๊าซโอโซน (O_3) นาน 2 ชั่วโมง (ชม.) + รม SO_2 1.5%

T4 = การรม SO_2 1.5% + รมก๊าซ O_3 นาน 1 ชม.

T5 = การรม SO_2 1.5% วิธีทางการค้า (ชุดควบคุม)

โดยใช้ลำไยจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP อ.สันทราย จ. เชียงใหม่ นำมาคัดขนาดเกรด A คัดเลือกเฉพาะผลดีไม่มีตำหนิจากโรคและแมลงจำนวน 15 ตะกร้าในช่วงเช้า แบ่งลำไยอีก 3 ตะกร้ามารมก๊าซโอโซน (O_3) เพื่อฟอกสีผิวเปลือกในกรรมวิธีที่ 3 รม O_3 ด้วยเครื่องผลิตก๊าซ O_3 กำลังการผลิต 10 กรัม/ชั่วโมง นาน 2 ชม. จากนั้นช่วงเย็นขนส่งลำไยในกรรมวิธีที่ 1 และ 3 - 5 จำนวน 12 ตะกร้า รมก๊าซ SO_2 เข้มข้น 1.5% (ความเข้มข้นแนะนำทางการค้า) ที่โรงรม SO_2 และนำมาปฏิบัติต่อดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 นำมาใส่แผ่นระเหยที่จำหน่ายยี่ห้อ Uvasys® จำนวน 2 แผ่น/ตะกร้า ขนาด 260 x 440 ม.ม. (ชนิด Dual phase) วางแผ่นประกบกับแผ่นกระดาษซับทิชชู่ด้านบนและล่างของตะกร้า และหุ้มทั้งตะกร้าด้วยถุงพลาสติกชนิด Linear low density polyethylene (LLDPE) เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 ซม. จำนวน 8 รู จากนั้นนำลำไยทั้งหมดมาเก็บรักษาในห้องเย็นที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 ช่วงเช้าวันถัดมานำลำไยที่เก็บไว้ 1 คืนมาผึ่งไว้ด้านนอกทั้งหมด และนำกรรมวิธีที่ 3 นำมารมต่อด้วยก๊าซ O_3 นาน 1 ชม. และกรรมวิธีที่ 2 แช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที ผึ่งให้แห้งสนิท และทดสอบการส่งออกโดยจำลองสภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5˚C 90% RH นาน 40-80 วัน และสุ่มตัวอย่างทุก 1 15 30 และ40 วัน และวางจำหน่ายนาน 1 5 10 และ15 วันที่อุณหภูมิห้อง

การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่

- คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือก (1 = ผลปกติ 3 = ผลเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่า 25% และ 5 = ผลเกิดสีน้ำตาลมากกว่า 50%) ทั้งเปลือกด้านนอกและด้านใน (Jiang and Li, 2001) ความผิดปกติของสีเนื้อด้วยคะแนน 5 ระดับ เปอร์เซ็นต์ผลดี และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค โดยตรวจสอบคุณภาพตลอดอายุการเก็บรักษาจนกระทั่งผลเริ่มเน่าเสีย

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ได้แก่ pH ของเปลือกและเนื้อผล และวัดการตกค้างของสาร SO_2 ที่ใช้ในเปลือก เนื้อและคำนวณค่าทั้งผล (AOAC, 2016)

- การประเมินการยอมรับด้านประสาทสัมผัสด้วยคะแนน 5 ระดับ วิธี hedonic scaling ในสีผิวและคุณภาพเนื้อผล โดยตรวจสอบเฉพาะช่วงเก็บรักษานาน 1 15 30 และ40 วัน และวางจำหน่ายนาน 1 และ 5 วันที่อุณหภูมิห้อง

- อายุการเก็บรักษา พิจารณาจากการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผล และความผิดปกติของสีเนื้อ เมื่อคะแนนมากกว่า 3.0 คะแนน การยอมรับด้านประสาทสัมผัสของเนื้อผลน้อยกว่า 3.0 คะแนน และมีการเกิดโรคขึ้นระหว่างการเก็บรักษามากกว่า 25% ถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา

7.2 การทดสอบการลดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างด้วยก๊าซโอโซน ทดสอบต่อเนื่องในปีงบประมาณ 2562 เพื่อนำวิธีการรม SO_2 เข้มข้น 1.5% (วิธีทางการค้า) + รมก๊าซโอโซน (O_3) นาน 1 ชม. มาทดสอบขยาย

สเกลให้ใหญ่ขึ้นด้วยเครื่องผลิตก๊าซ O_3 ที่มีกำลังการผลิตแตกต่างกันในตู้รมขนาดต่างๆ ที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ โดยมี 3 การทดลองย่อย ได้แก่

7.2.1 ทดสอบครั้งที่ 1 การรม SO_2 ความเข้มข้นทางการค้า (1.5%) + การรม O_3 ด้วยเครื่องผลิตก๊าซ O_3 2 กำลังการผลิต ได้แก่ 10 และ30 กรัม/ชม. ตามลำดับ โดยใช้ตู้รมขนาดเล็กปริมาตร 0.432 ลบ.ม. (ภาพที่ 1 ภาคผนวก) ขั้นตอนเริ่มโดยทำการรม SO_2 1.5% ที่โรงรม SO_2 (วิธีทางการค้า) ตาม SOP ของบริษัทตามมาตรฐาน มกษ.1004: 2557 รวม 7+7 =14 ตะกร้า รมกลางคืน และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-35ºC) นาน 1 คืน และช่วงเช้าเอามาทดสอบรมก๊าซ O_3 ในช่วงเช้านาน 1 และ 2 ชม. ครั้งละ 3 ตะกร้า และเปรียบเทียบกับลำไยไม่รม O_3 1 ตะกร้า (Control) หลังรมเป่าบำบัดนาน 5 นาที และสุ่ม 50 ผลต่อตะกร้า เพื่อตรวจสอบการตกค้างของสาร SO_2 ที่ใช้ในเปลือกและเนื้อผล และทั้งผล (AOAC, 2016) และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลง SO_2 บนผลในแต่ละช่วงเวลาที่รม O_3 และนำลำไยแบ่งโดยใส่กล่อง Clamshell ละ 10 ผล ทดสอบการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง และตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลด้านนอกและในความผิดปกติของสีเนื้อ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และเปอร์เซ็นต์ผลดี

7.2.2 ทดสอบครั้งที่ 2 การรม SO_2 ความเข้มข้นสูง + รมก๊าซ O_3 (กำลังการผลิต 30 กรัม/ชม.) ทำการรม SO_2 ที่โรงรม SO_2 รวม 4 ตะกร้า รมกลางคืน และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 คืน และช่วงเช้านำมาทดสอบรม O_3 ตู้รมขนาดเล็กปริมาตร 0.432 ลบ.ม. นาน 1 2 3 4 และ 5 ชม. จำนวน 3 ตะกร้า และเปรียบเทียบกับลำไยไม่รม O_3 1 ตะกร้า (Control) หลังรมเป่าบำบัดนาน 5 นาที และสุ่ม 50 ผลต่อตะกร้า เพื่อตรวจสอบการตกค้างของสาร SO_2 ที่ใช้ในเปลือกและเนื้อผล และทั้งผล (AOAC, 2016) และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของ SO_2 บนผลในแต่ละช่วงเวลาที่รม O_3 และนำลำไยแบ่งโดยใส่กล่อง Clamshell ละ 10 ผล ไปจำลองสภาพการส่งออกโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2-5ºC นาน 10 วัน ทดสอบการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง และตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลด้านนอกและใน ความผิดปกติของสีเนื้อ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และเปอร์เซ็นต์ผลดี

7.2.3 ทดสอบครั้งที่ 3 การลดสาร SO_2 ในผลลำไยด้วยตู้อบ O_3 ที่มีกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. และมีระบบไหลเวียนอากาศแบบดูดหมุนวนของศูนย์นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว ม.เชียงใหม่ ปริมาตร 1.44 ลบ.ม. ขนาดตู้กxยxส = 1.2x0.7x1.0 ม. (ภาพที่ 2 ภาคผนวก) ทำการรม SO_2 ที่ห้องรมของผู้ประกอบการรวม 18 ตะกร้า และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 คืน และทดสอบรมโอโซนในช่วงเช้า การทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่ม รวม 8 กรรมวิธีๆ ละ 6 ซ้ำ (ตำแหน่งของตะกร้า) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 = รม SO_2 ทางการค้า+รม O_3 ในตู้อบโอโซน นาน 0 1 2 และ 4 ชม.

T1 = รม SO_2 ทางการค้า+รม O_3 นาน 0 ชม.

T2 = รม SO_2 ทางการค้า+รม O_3 นาน 1 ชม.

T3 = รม SO_2 ทางการค้า+รม O_3 นาน 2 ชม.

T4 = รม SO_2 ทางการค้า+รม O_3 นาน 4 ชม.

กลุ่มที่ 2 = รม SO_2 ทางการค้า+ไม่รม O_3 แต่ใช้พัดลมอุตสาหกรรม 2 ตัวเป่าที่ตะกร้าลำไย นาน 0 1 2 และ 4 ชม.

T5 = รม SO_2 ทางการค้า+เป่าพัดลมนาน 0 ชม.

T6 = รม SO_2 ทางการค้า+เป่าพัดลมนาน 1 ชม.

T7 = รม SO_2 ทางการค้า+เป่าพัดลมนาน 2 ชม.

T8 = รม SO_2 ทางการค้า+เป่าพัดลมนาน 4 ชม.

เมื่อจัดเรียงตะกร้าเรียบร้อยทำการรมก๊าซ O_3 (กำลังการผลิต 20 กรัม/ชม.) รมกับลำไยที่รม SO_2 นาน 0 1 2 และ 4 ชม. จำนวน 12 ตะกร้า (ภาพที่ 2 ภาคผนวก) และเปรียบเทียบกับลำไยไม่รม O_3 6 ตะกร้า (Control) (ภาพที่ 3 ภาคผนวก) หลังรมเป่าบำบัดนาน 5 นาที และสุ่ม 50 ผลต่อตะกร้า วิเคราะห์สาร SO_2 ตกค้าง ในส่วนเนื้อ เปลือก และคำนวณค่าทั้งผล และทดสอบวางจำหน่าย 3 กล่องพลาสติกชนิด Clamshell เจาะรู จำนวน 10 ผล/กล่อง สุ่มวัดทุก 5 8 และ10 วัน จนครบ 3 ครั้ง การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ การตกค้างของ SO_2 ในส่วนเนื้อผล เปลือก และค่าทั้งผลเมื่อทดสอบรมทั้งสองกลุ่ม นาน 0 1 2 และ 4 ชม. ค่าการสลายตัวเบื้องต้นของสารตกค้างในรูป pesticides residue เมื่อทดสอบรมโอโซนนาน นาน 0 1 2 และ 4 ชม. ด้วย LC/MS/MS และ GC/MS/MS จำนวน 224 สารต่อตัวอย่างด้วยวิธี EURL-FV (2013) และคุณภาพผลระหว่างการวางจำหน่ายนาน 0 5 8 และ 10 วันที่อุณหภูมิห้อง

7.3 การทดสอบการยอมรับในวิธีการแช่ HCl+SMS ต่อคุณภาพผล และลดสาร SO_2 ตกค้างร่วมกับผู้ประกอบการ เพื่อทดสอบการส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ในปีงบประมาณ 2562 ดังนี้

7.3.1 การทดสอบแช่ HCl+SMS ในลำไยส่งออกที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1

1) การทดสอบครั้งที่ 1 ทดสอบแช่จำนวน 24 ตะกร้า รวม 2 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ (ครั้ง) ๆ ละ 4 ตะกร้า รวม 12 ตะกร้า/กรรมวิธี ได้แก่

T1 = HCl 5% + SMS 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที

T2 = HCl 5% + SMS 1% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที

ลำไยสดเกรด A เก็บเกี่ยวจากสวนเกษตรกร จ.เชียงใหม่ และเก็บรักษาไว้ 1 คืนที่ 2 ºC ที่ตู้คอนเทนเนอร์ของผู้ประกอบการโรงคัดบรรจุบริษัทหยวนเชิงเฟรชจำกัด อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ช่วงเช้านำมาทดสอบที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ โดยทดสอบแช่ในถังพลาสติกที่มีสารละลาย HCl+SMS ปริมาตร 300 ลิตรเติมสารลดแรงตึงผิว Tween 20 0.1% และตรวจวัดค่าพีเอชสารละลายก่อนและหลังแช่ทุกครั้ง ก่อนแช่ล้างผลลำไยด้วยน้ำสะอาด จากนั้นแช่กรรมวิธีละ 4 ตะกร้า/ครั้ง รวม 3 ครั้ง แช่นาน 5 นาที ผึ่งให้แห้งสนิทนาน 3 ชม. และสุ่มลำไยแบบ Composited sample จาก 4 ตะกร้ารวมกัน 1 กก./ครั้ง เพื่อวิเคราะห์สาร SO_2 ตกค้างทั้งผล (AOAC, 2016, ภาพที่ 6 ภาคผนวก) ลำไยทั้งหมดแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งจำนวน 18 ตะกร้า บริษัทขนกลับไปโรงคัดบรรจุนำไปตัดขั้วผลยาวไม่เกิน 0.5 ซม. แบ่งใส่กล่อง clamshell เจาะรูมีความจุ 0.7-1.0 กก. สำหรับจำลองสภาพการวางจำหน่ายโดยเก็บรักษาที่ตู้คอนเทนเนอร์อุณหภูมิ 2ºC และสุ่มตัวอย่างลำไยมาวิเคราะห์ SO_2 ตกค้างทั้งผล ภายหลังเก็บรักษาผ่านไป 11 วัน ส่วนที่สอง คือ ลำไยแบ่งทดสอบที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 รวม 6 ตะกร้า โดยการสุ่มเลือก 1 ตะกร้า/ครั้งที่แช่ รวม 3 ตะกร้า/กรรมวิธี นำมาเก็บรักษาไว้ที่ 5 ºC นาน

1 คืน ตัดขั้วยาวไม่เกิน 0.5 ซม. และบรรจุในกล่อง clamshell เจาะรู สำหรับจำลองสภาพการส่งออกทางเรือไปประเทศสิงคโปร์และการวางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า โดยนำไปเก็บรักษาไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ 5˚C + 5 วันที่อุณหภูมิห้อง (25-35 °C) สุ่มตรวจสอบคุณภาพลำไยเมื่อเก็บรักษาผ่านไป 1 และ 7 วัน ที่ 5 °C 65% RH และนำลำไยมาวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 3 และ 5 วันตามลำดับ การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ สุ่มวิเคราะห์การตกค้างของ SO_2 ทั้งผล และประเมินเปอร์เซ็นต์ผลดี ผลนิ่ม/บุบ และผลเกิดโรค/เน่าเสีย คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกผลด้านนอก ด้านใน ความผิดปกติของสีเนื้อ การทดสอบด้านประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษา เป็นต้น

2) การทดสอบครั้งที่ 2 รวม 4 กรรมวิธีๆ ละ 4 ซ้ำ (ตะกร้า) รวม 16+1 = 17 ตะกร้า ได้แก่

T1 = HCl 2.5% + SMS 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที

T2 = T1 + เติม SMS~0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที

T3 = HCl 3.75% + SMS 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที

T4 = T3 + เติม SMS~0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที

T5 = ลำไยไม่แช่สาร (Control)

ลำไยสดเกรด A เก็บเกี่ยวจากสวนเกษตรกร จ.เชียงใหม่ และเก็บรักษาไว้ 1 คืนที่ 2 °C ที่ตู้คอนเทนเนอร์ของผู้ประกอบการโรงคัดบรรจุบริษัทหยวนเชิงเฟรชจำกัด อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ในช่วงเช้านำมาทดสอบที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

การเตรียมสารปริมาตร 300 ลิตรในกรรมวิธีที่ 1 (T1) แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ HCl 2.5 % ดูดกรดเกลือ 1 ถัง ด้วยสายยางลงในถังพลาสติกที่มีน้ำรองไว้ก่อน 200 ลิตร + ส่วนที่ 2 คือ SMS 0.5% โดยชั่ง SMS 100% น้ำหนัก 1.5 กก. ละลายลงในน้ำ 10 ลิตร ผสมน้ำให้เจือจางค่อยๆ เทลงในถัง ละลาย Tween 20 ความเข้มข้น 0.1% ลงในถังแช่ และปรับปริมาตรให้ครบ 300 ลิตรพร้อมกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันในขณะที่ T2 เตรียมสารจาก T1 เดิมแต่เติมสาร SMS เพิ่มอีก 0.5% จะได้ SMS เข้มข้นประมาณ 1.0%

การเตรียมสารปริมาตร 300 ลิตร ใน T3 แบ่งเป็น 2 ส่วนเช่นกัน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ HCl 3.75 % ดูดกรดเกลือ 1.5 ถัง ด้วยสายยางลงในถังพลาสติกที่มีน้ำรองไว้ก่อน 200 ลิตร + ส่วนที่ 2 คือ SMS 0.5% โดยชั่ง SMS 100% น้ำหนัก 1.5 กก. ละลายลงในน้ำ 10 ลิตรให้ได้ความเข้มข้น 0.5% ผสมน้ำให้เจือจางค่อยๆ เทลงในถัง ละลาย Tween 20 ความเข้มข้น 0.1% ลงในถังแช่ และปรับปริมาตรให้ครบ 300 ลิตรพร้อมกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันในขณะที่ T4 เตรียมจาก T3 เดิมแต่เติมสาร SMS เพิ่มอีก 0.5% จะได้ SMS เข้มข้นประมาณ 1.0%

ก่อนแช่ให้ล้างผลลำไยด้วยน้ำสะอาด จากนั้นแช่ครั้งละ 4 ตะกร้า/ครั้ง แช่นาน 5 นาที ระหว่างแช่ระวังไอก๊าซ SO_2 สวมหน้ากากป้องกันสารเคมี และใช้ไม้ขยับตะกร้าไปมา ผึ่งทิ้งไว้นาน 2-3 ชม. หรือใช้พัดลมเป่าให้แห้งไวขึ้นโดยเฉพาะในกลางตะกร้าที่แห้งยาก ต้องเป่านานๆ และสุ่มลำไยสำหรับวัดสาร SO_2 ตกค้างในลำไยทั้งผล (AOAC, 2016) โดยการสุ่มแบบ Composited sample จาก 4 ตะกร้ารวมให้ได้ 1 กก. ลำไยทั้งหมดแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งจำนวน 12 ตะกร้า บริษัทขนกลับไปโรงคัดบรรจุนำไปตัดขั้วผลยาวไม่เกิน 0.5 ซม. แบ่งใส่กล่อง clamshell เจาะรูมีความจุ 0.7-1.0 กก. สำหรับจำลองสภาพการวางจำหน่ายโดยเก็บรักษาที่ตู้คอนเทน

เนอร์อุณหภูมิ 2ºC และสุ่มตัวอย่างลำไยมาวิเคราะห์ SO_2 ตกค้างทั้งผล ภายหลังเก็บรักษาผ่านไป 8 วัน ส่วนที่สอง คือ ลำไยแบ่งทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ สวพ.1 รวม 5 ตะกร้า โดยการสุ่มเลือก 1 ตะกร้า/ครั้งที่แช่ รวม 1 ตะกร้า/กรรมวิธี มาเก็บรักษาไว้ที่ 5 ºC นาน 1 คืน และตัดขั้วบรรจุใส่กล่องพลาสติกในวันถัดไปนำมาคัดเลือกผลดี ตัดขั้วยาวไม่เกิน 0.5 ซม. และบรรจุในกล่อง clamshell นำไปเก็บรักษาไว้นาน 7 วันที่ 5 ˚C + 5-7 วันที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตรวจสอบคุณภาพผลรวม 4 ครั้งโดยสุ่มคุณภาพจำนวน 15 กล่อง/ครั้ง ทุกวันที่ 1 และ 7 วัน ที่ 5 ºC 65% RH และนำลำไยมาวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 3 และ 5-7 วัน ตามลำดับ การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ สุ่มวิเคราะห์การตกค้างของ SO_2 ทั้งผล และประเมินเปอร์เซ็นต์ผลดี ผลนิ่ม/บุบ และผลเกิดโรค/เน่าเสีย คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกผลด้านนอก ด้านใน ความผิดปกติของสีเนื้อ เป็นต้น

7.3.2 การทดสอบแช่ HCl+SMS ในลำไยส่งออกในสถานประกอบการต้นแบบ

1) การทดสอบหาความเข้มข้นและวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม รวม 5 กรรมวิธี ได้แก่ ชุดที่ 1 จำนวน 500 ตะกร้า คือ กรรมวิธีที่ 1-2 (T1-T2) กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ (ครั้ง) และชุดที่ 2 จำนวน 40 ตะกร้า ได้แก่ T3-T4 และ T5-T6 กรรมวิธีละ 3 และ 2 ซ้ำ (ครั้ง) ตามลำดับ กรรมวิธี ได้แก่

T1 = HCl 2.5% + SMS 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที (แช่ครั้งที่ 1-5)

T2 = T1 + เติม SMS อีก 0.5% นาน 5 นาที (ครั้งที่ 6-10)

T3 = HCl 3.75% + SMS 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที (ครั้งที่ 1-3)

T4 = HCl 5% + SMS 1% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที (ครั้งที่ 1-3)

T5 = T3 + เติม SMS เพิ่มอีก 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที (ครั้งที่ 4-5)

T6 = T4 + เติม SMS เพิ่มอีก 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที (ครั้งที่ 4-5)

ลำไยสดเกรด AA เก็บเกี่ยวจากสวนเกษตรกร จ.ตาก เป็นลำไยผลใหญ่ และเปลือกหนา เก็บรักษาไว้ 1 คืนที่ 5 ºC ดำเนินการทดสอบที่โรงคัดบรรจุบริษัทหยวนเชิงเฟรชจำกัด อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ การแช่ของกรรมวิธีที่ 1 และ2 (T1-T2) ใช้ถังพลาสติกรวม 10 ถัง ปริมาตรถังละ 300 ลิตรสำหรับทดสอบแช่ความเข้มข้นต่ำ โดย T1 แช่ 5 ครั้งๆ ละ 50 ตะกร้า รวม 250 ตะกร้า และ T2 เติม SMS อีก 0.5% และแช่ต่อเนื่องอีก 5 ครั้ง รวม 250 ตะกร้า แต่ T3-T6 ใช้เพียงสองถังแช่สำหรับทดสอบแช่ความเข้มข้นสูงขึ้น โดย T3-T4 ใช้จำนวน 2 ถัง แช่ 3 ครั้งๆ ละ 4 ตะกร้า รวม 24 ตะกร้า และ T5-T6 เติม SMS อีกกรรมวิธีละ 0.5% และแช่ต่อเนื่องอีก 2 ครั้งๆ ละ 4 ตะกร้า รวม 16 ตะกร้า ผึ่งแห้งนาน 3 ชม. สุ่มลำไยแบบ Composited sample จำนวน 1 กก./ครั้งที่แช่ สำหรับวิเคราะห์ SO_2 ตกค้างทั้งผล (AOAC, 2016) และตรวจสอบคุณภาพผล นำมาเก็บรักษาไว้ 1 คืนที่ 5 ˚C วันถัดมาตัดขั้วผลยาวไม่เกิน 0.5 ซม. บรรจุใส่กล่อง clamshell สำหรับทดสอบการวางจำหน่าย การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ วิเคราะห์ SO_2 ทั้งผล และคุณภาพลำไยระหว่างการเก็บรักษา ที่ 5 ˚C นาน 7 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 1 3 และ5 วัน ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ผลดี ผลนิ่ม/บุบ และผลเกิดโรค/เน่าเสีย คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกผลด้านนอก ด้านใน และความผิดปกติของสีเนื้อ

2) การทดสอบแช่และวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม จำนวน 50 ตะกร้า รวม 4 กรรมวิธี ได้แก่ T1 และT3 กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ (ครั้ง) และ T2 และT4 กรรมวิธีละ 2 ซ้ำ (ครั้ง) กรรมวิธี ได้แก่

T1 = ถังที่ 1 HCl 5% + SMS 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที (แช่ครั้งที่ 1-3)

T2 = ถังที่ 1 + เติม SMS เพิ่มอีก 0.5% นาน 5 นาที แช่ 2 ครั้งๆ ละ 5 ตะกร้า (ครั้งที่ 4-5)

T3 = ถังที่ 2 HCl 5.0% + SMS 0.5% + Tween 20 0.1% นาน 5 นาที (ครั้งที่ 1-3)

T4 = ถังที่ 2 + เติม SMS เพิ่มอีก นาน 5 นาที แช่ 2 ครั้งๆ ละ 5 ตะกร้า (ครั้งที่ 4-5)

ลำไยสดเกรด AA เก็บเกี่ยวจากสวนเกษตรกร จ. เชียงใหม่ ขนาดผลใหญ่ และเปลือกบาง และเก็บรักษาไว้ห้องเย็น 1 คืนที่ 5 ºC ดำเนินการที่โรงคัดบรรจุบริษัทหยวนเชิงเฟรชจำกัด อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ จำนวนถังแช่รวม 2 ถัง ได้แก่ T1 และT3 แช่ถังละ 3 ครั้งๆ ละ 5 ตะกร้า รวม 30 ตะกร้า และ T2 และT4 เติม SMS เพิ่มอีกกรรมวิธีละ 0.5% แช่ต่อเนื่องอีก 2 ครั้งๆ ละ 5 ตะกร้า รวม 20 ตะกร้า ผึ่งแห้งนาน 3 ชม. สุ่มลำไยแบบ Composited sample จำนวน 1 กก./ครั้งที่แช่ สำหรับวิเคราะห์ SO_2 ตกค้างทั้งผล (AOAC, 2016) และตรวจสอบคุณภาพผล เก็บรักษาไว้ 1 คืน ที่ 5 ˚C วันถัดมาตัดขั้วผลยาวไม่เกิน 0.5 cm ใส่กล่อง clamshell จำลองสภาพการส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ทางเครื่องบินนาน 4 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 3-5 วัน ตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ วิเคราะห์ SO_2 ทั้งผล เปอร์เซ็นต์ผลดี ผลนิ่ม/บุบ และผลที่เกิดโรค/เน่าเสีย คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกผลด้านนอก ด้านใน และความผิดปกติของสีเนื้อ

3) ทดสอบการส่งออก ผู้ประกอบการทดสอบการแช่ใน HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที ตัดขั้วผลและส่งออกทางเครื่องบินจำนวน 3-4 ครั้งเพื่อดูการยอมรับในสินค้าของผู้นำเข้าและผู้บริโภคของประเทศสิงคโปร์ และส่งออกทางเรือเป็นตู้คอนเทนเนอร์แบบสั้นและยาว ขนาด 20 และ 40 ฟุต ตามลำดับ เป็นต้น

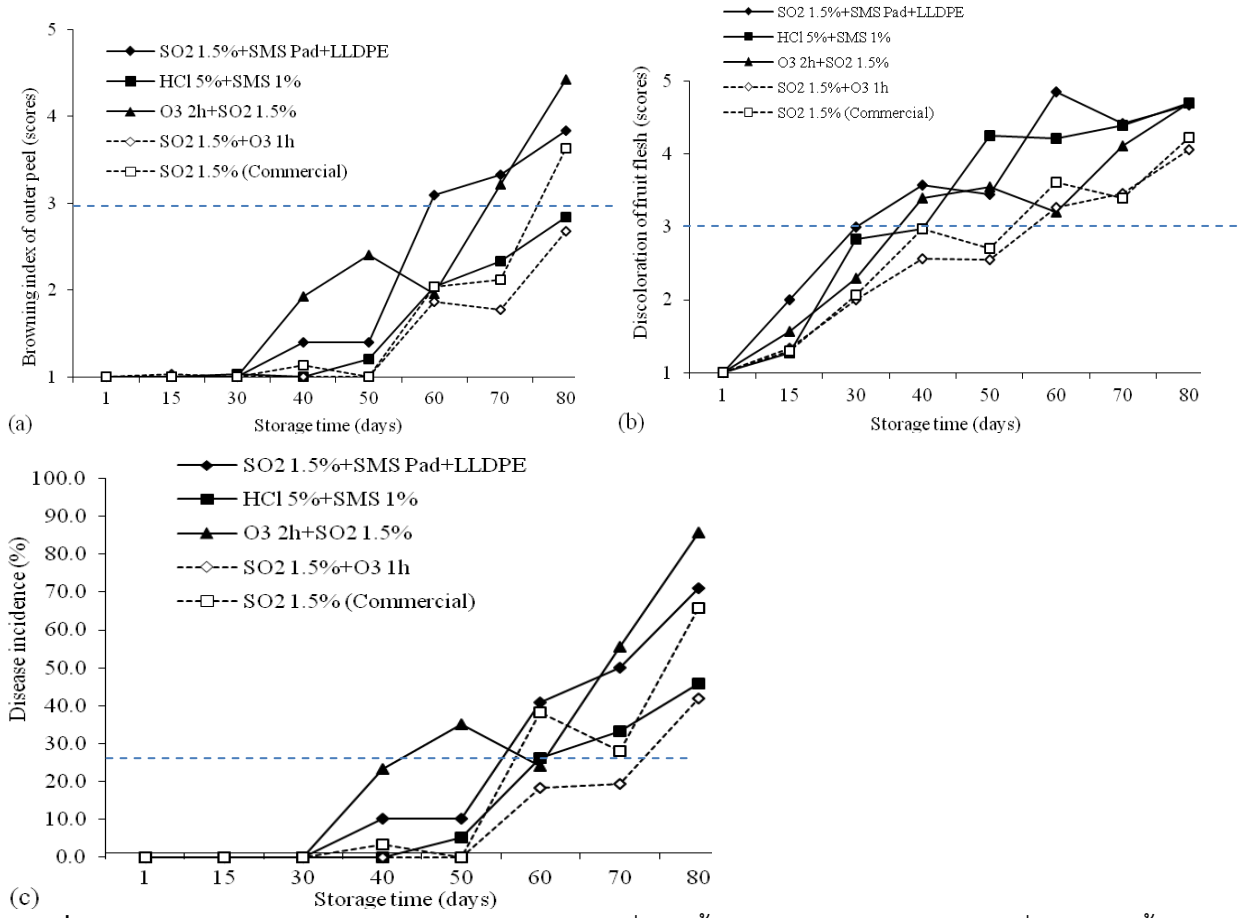
- เวลาและสถานที่ ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2560 – กันยายน 2562 ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีต่อการลดการตกค้างของ SO_2 และยืดอายุการเก็บรักษาลำไย

กรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพดีและเป็นไปได้ คือ SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. และการแช่ HCl 5% + SMS 1% เมื่อเปรียบเทียบกับการรมด้วย SO_2 วิธีทางการค้าปัจจุบัน (Control) ช่วยลดการเปลี่ยนน้ำตาลได้นาน 80 วันเท่ากัน ที่ 5°C (ภาพที่ 1a) (โดยมีคะแนนการยอมรับไม่เกิน 3.0) การใช้ SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม.และ SO_2 ช่วยลดการเปลี่ยนสีของเนื้อที่ผิดปกติได้นาน 50 วันเท่ากัน ขณะที่กรรมวิธีอื่นๆ ได้แก่ การรม SO_2 1.5% + แผ่นระเหยทางการค้ายี่ห้อ Uvasys® (SMS pad) การแช่ HCl 5% + SMS 1% การรมก๊าซ O_3 นาน 1 ชม.+ รม SO_2 เข้มข้น 1.5% การยอมรับด้านคุณภาพเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนสีของเนื้อ (เกณฑ์คะแนนการยอมรับไม่เกิน 3.0) ได้นาน 30, 40 และ30 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 1b) การแช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาทีช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนสีของเนื้อผล จากเดิมใช้ HCl 6.4% มีผลกับคุณภาพเนื้อและสีผิวเปลือกไม่สม่ำเสมอ นอกจากนั้นการเกิดไอระเหยของก๊าซ SO_2 ขณะแช่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ SMS 5% + HCl 1% ที่มีปริมาณก๊าซ SO_2 เกิดขึ้นมาก จาก SMS ที่ความเข้มข้นสูงถึง 5% ทำให้อันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน (สถิตย์พงศ์ และคณะ, 2560, Apai *et al*, 2015) การใช้ SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. ยังช่วยลดการเกิดโรคได้นานตลอด 70 วัน (เกณฑ์การยอมรับต่ำกว่า 25%) เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีอื่นๆ คือ HCl 5% + SMS 1%, SO_2 1.5%, SO_2 1.5%+SMS pad, O_3 นาน 2 ชม. + SO_2 1.5% ลดได้นาน 50 50 50 และ 40 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 1c) การ

รม O_3 มีแนวโน้มช่วยลดการเกิดโรคได้ดีขึ้นรวมทั้งการรักษาสีผิวเปลือกเมื่อเปรียบเทียบกันรม SO_2 เพียงอย่างเดียวสอดคล้องงานวิจัยของ Taimaneerak *et al.* (2018) และยังลดการตกค้างให้ต่ำลงหากรมก๊าซโอโซนเป็นระยะเวลานานขึ้น

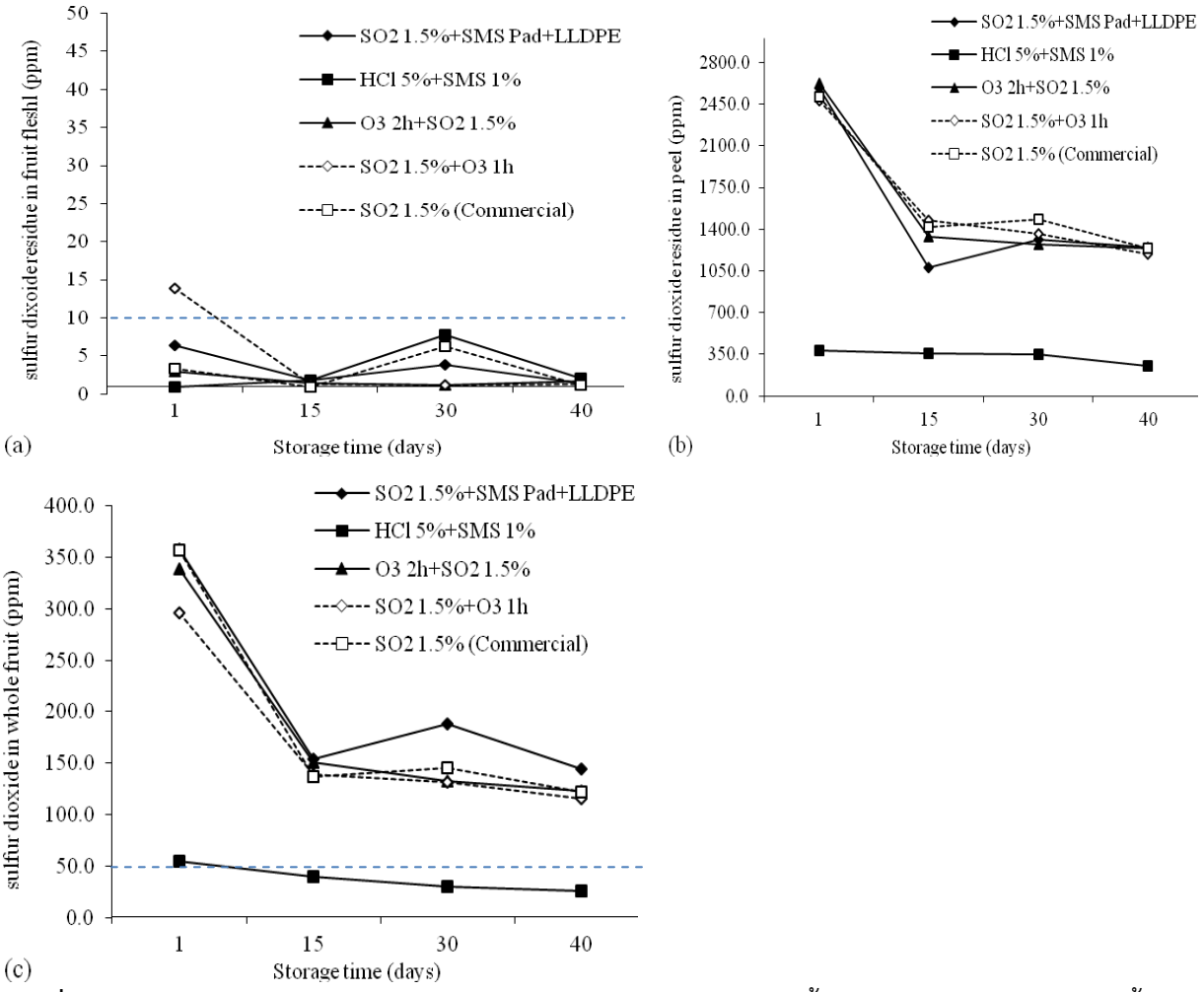


ภาพที่ 1 ผลของการทดสอบกรรมวิธี 5 วิธีการต่อการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือก (a) การเปลี่ยนสีของเนื้อผล (b) และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (c) ระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 80 วัน (เส้นประ คือ ระดับการยอมรับได้)

นอกจากนั้นค่าการตกค้างของสาร SO_2 ในเปลือกผลหลังรม SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทางการค้า SO_2 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 2b) การแช่ HCl 5%+SMS 1% มีค่าตกค้างในเปลือกต่ำที่สุด และลดลงภายหลังการเก็บรักษาผ่านไป 40 วัน มีค่าเท่ากับ 384 ppm ในวันแรก และวันที่ 40 มีค่าเท่ากับ 248.4 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ มีค่าระหว่าง 1,077 – 2,622.5 ppm โดยมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บรักษาผ่านไป 15 วัน การรม SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. มีค่าตกค้างในเปลือกลดลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกับวิธีการค้า SO_2 สันนิษฐานว่าเกิดจากกำลังการผลิตของเครื่อง O_3 ที่ใช้เพียง 10 กรัม/ชม. ต้องรมนานมากกว่า 1 ชม. สามารถลดการตกค้างได้มากขึ้นเมื่อศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยของ Taimaneerak *et al*. (2018) จึงควรทดสอบกำลังการผลิตเครื่อง O_3 ที่เหมาะสมกับปริมาตรตู้รมโดยเฉพาะห้องรมลำไยทางการค้า เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในอนาคตหากนำไปใช้ทางการค้ากับลำไยส่งออก เมื่อคำนวณเป็นค่าการตกค้างทั้งผล พบว่าการแช่ HCl 5% + SMS 1% มีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธีมีค่าในวันแรก 54.93 ppm และวันที่

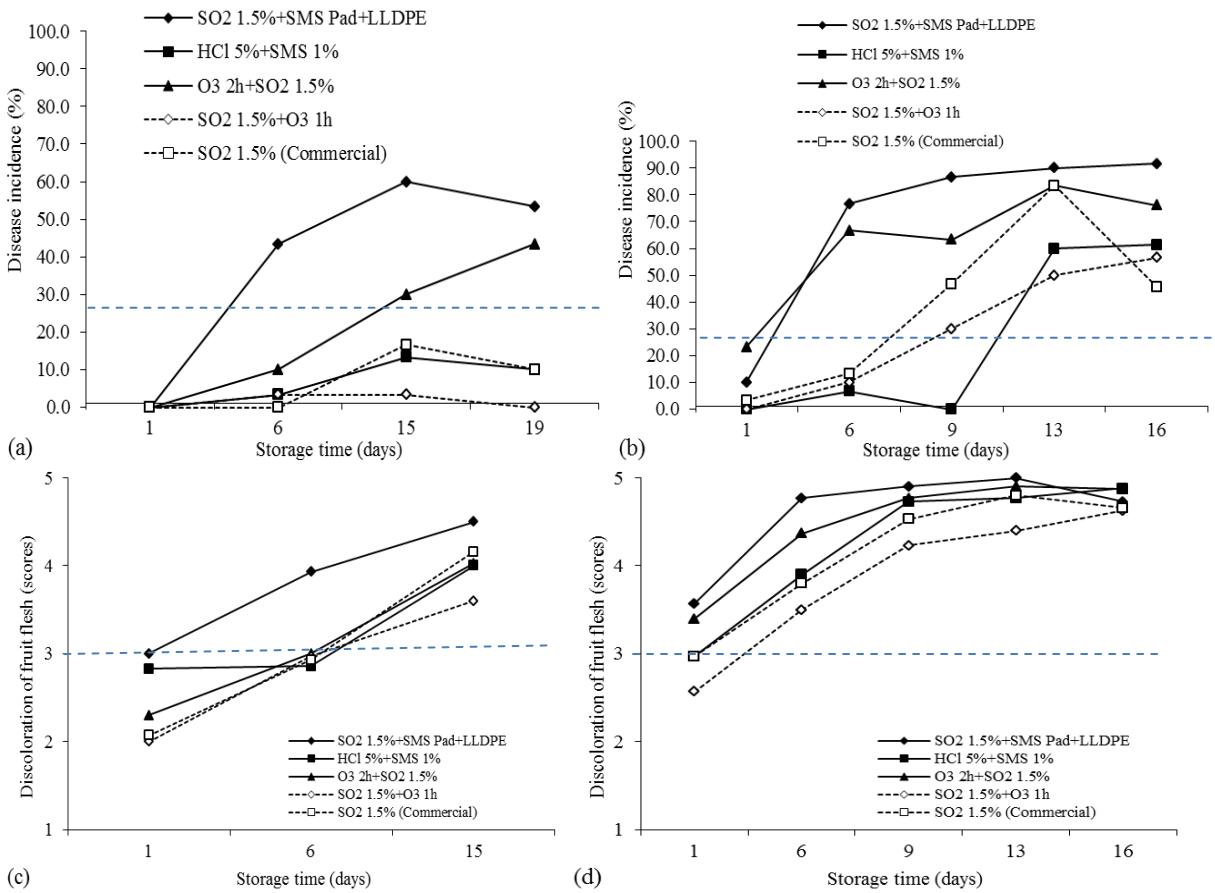
40 มีค่าเท่ากับ 26.16 ppm (ภาพที่ 2c) สอดคล้องกับรายงานของสถิตย์พงศ์ และคณะ (2560) และวิทยา และคณะ (2559) เป็นค่าที่ไม่เกินเกณฑ์ของ Codex กำหนดไว้ไม่เกิน 50 ppm ในขณะกรรมวิธีอื่นๆ มีค่าระหว่าง 115.13 – 357.74 ppm การใช้ HCl และ SMS เป็นสารที่อยู่ในรายชื่อ food additives ที่รัฐบาลสิงคโปร์ให้ใช้ได้ในขบวนการผลิตตามมาตรฐาน GMP โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน Codex ประเด็นการตกค้างของ HCl จากรายงานของ Apai *et al*. (2015) ที่ทดสอบการส่งออกกับผู้ส่งออกและนักวิจัยของ Agri-Food & Veterinary Authority (AVA) ของรัฐบาลประเทศสิงคโปร์พบค่าตกค้างมากเฉพาะที่เปลือกผลเท่านั้น แต่มีค่าต่ำที่เนื้อผลและมีค่าไม่แตกต่างกันกับผลลำไยไม่แช่สารสอดคล้องกับค่า pH เนื้อที่ไม่แตกต่างกัน กรดเกลือพบในกระเพาะมนุษย์สำหรับย่อยโปรตีนอยู่แล้วจึงมีความปลอดภัย และยังใช้เป็นสารสำหรับปรับค่า pH ของอาหารที่ Codex ให้ใช้ได้ในระดับที่เหมาะสม นอกจากนั้น HCl ยังเคยใช้แช่ลิ้นจี่ส่งออกในการค้าปัจจุบัน

การทดสอบอายุการจำหน่ายภายหลังการเก็บรักษานาน 30 และ 40 วัน ที่ 5˚C โดยวางจำหน่ายนานจนลำไยเกิดการเน่าเสียที่อุณหภูมิห้อง (25-35˚C) ในระยะเวลานาน 1-19 วัน พบว่าเมื่อสุ่มลำไยที่เก็บรักษานาน 40 วัน ที่ 5˚C มาวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง การรม SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. การแช่ HCl 5% + SMS 1% และ SO_2 1.5% ช่วยลดการเกิดโรคได้ดีนาน 19 วันที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 3a) รวมทั้งช่วยลดการเปลี่ยนสีของเนื้อผลได้นาน 6 วัน (ภาพที่ 3c) โดยการรม SO_2 1.5% + SMS pad มีการเกิดโรคที่สูงที่สุดเนื่องจากมีการหุ้มทั้งตะกร้าด้วยถุงพลาสติก LLDPE เจาะรู มีการสะสมความชื้นภายในถุงสูงขึ้นทำให้เกิดเน่าเสียได้ง่าย เมื่อสุ่มลำไยที่เก็บรักษานาน 40 วันมาวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง พบว่าการแช่ HCl 5%+SMS 1% มีการเกิดโรคที่ต่ำที่สุดแต่ผลนิ่ม รองลงมา คือ SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. และ SO_2 1.5% ตามลำดับ (ภาพที่ 3b) แต่เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนสีของเนื้อในช่วงเวลาเดียวกันพบว่า SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. HCl 5% + SMS 1% และ SO_2 1.5% มีค่าต่ำกว่า 3.0 ในวันแรกมีค่าไม่แตกต่างกัน และไม่สามารถลดการเปลี่ยนสีของเนื้อได้เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 6 วัน (ภาพที่ 3d)

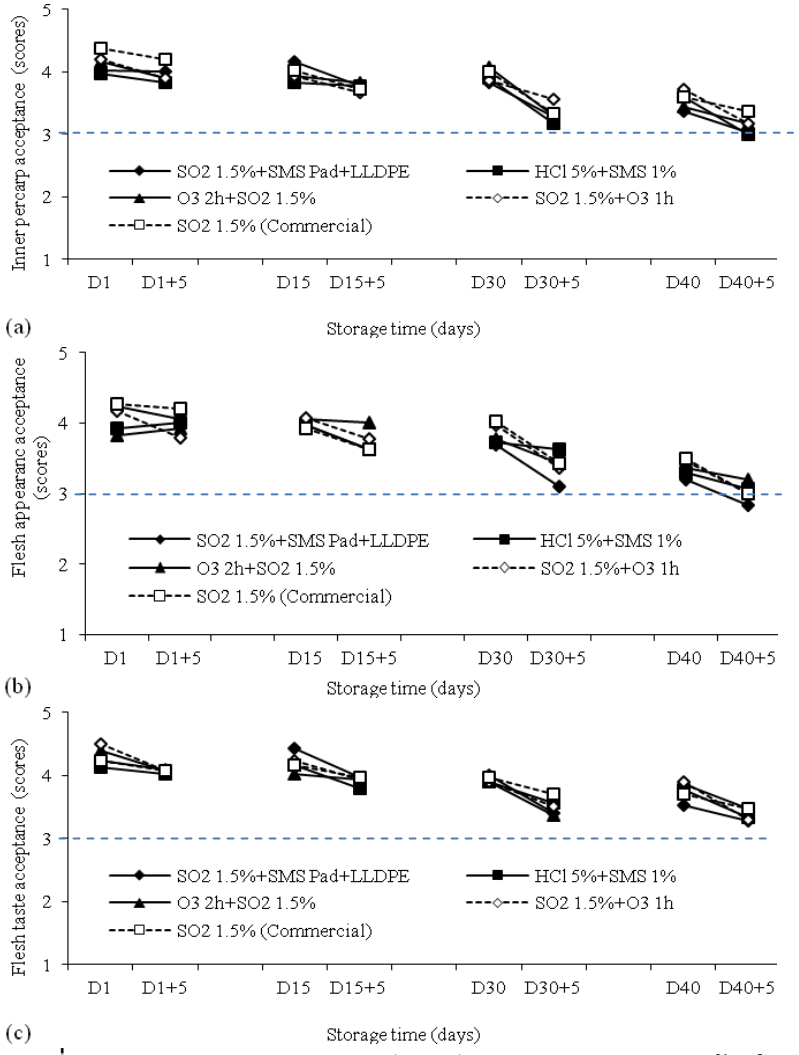


ภาพที่ 2 ผลของการทดสอบกรรมวิธี 5 วิธีการต่อการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อผล (a) เปลือก (b) และค่าทั้งผล (c) ระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 40 วัน

การทดสอบการยอมรับด้านประสาทสัมผัสโดยสุ่มและวางจำหน่ายนาน 5 วัน พบว่าทุกกรรมวิธีมีค่าการยอมรับลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ทุกกรรมวิธีมีคะแนนการยอมรับด้านสีผิวเปลือกอยู่ในเกณฑ์สูงกว่า 3.0 ตลอดอายุการเก็บรักษานาน 40 วัน และค่าลดลงเมื่อวางจำหน่ายนาน 5 วัน (ภาพที่ 4a) โดยการรม SO_2 1.5% + O_3 นาน 1 ชม. HCl 5% + SMS 1% และ SO_2 1.5% มีค่าสูงที่สุดและไม่ต่างกันเมื่อเก็บรักษานาน 40 วัน การยอมรับด้านสีเนื้อพบว่าคุณภาพลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 40 วันและวางจำหน่ายนาน 5 วัน โดยการรม SO_2 1.5% + SMS pad มีค่าต่ำที่สุด คือ 2.83 เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีอื่นๆ ที่มีค่ามากกว่า 3.0 (ภาพที่ 4b) ซึ่งสอดคล้องกันการประเมินสีเนื้อมีค่าเกิน 3.0 ตลอดอายุการวางจำหน่าย (ภาพที่ 3c) เนื่องจากมีการเกิดโรคที่สูงกว่าทุกกรรมวิธี (ภาพที่ 3a) ส่วนคุณภาพการยอมรับด้านรสชาตินั้นพบว่าทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันและอยู่ในเกณฑ์การยอมรับมากกว่า 3.0 ตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 4c)



ภาพที่ 3 ผลของการทดสอบกรรมวิธี 5 วิธีการต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 30 วัน+วางจำหน่ายนาน 1-19 วัน (a) และ 40 วัน+วางจำหน่ายนาน 1-16 วัน (b) และการเปลี่ยนสีของเนื้อผลระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 30 วัน+วางจำหน่ายนาน 1-19 วัน (c) และ 40 วัน+วางจำหน่ายนาน 1-16 วัน (d) ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ผลของการทดสอบกรรมวิธี 5 วิธีการต่อการยอมรับของผู้บริโภคระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 1, 15 30 และ40 วัน+วางจำหน่ายนาน 5 วัน ได้แก่ การยอมรับด้านสีผิวเปลือกด้านใน (a) สีเนื้อ (b) และรสชาติ (c) ตามลำดับ

8.2 การทดสอบการลดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างด้วยก๊าซโอโซน

8.2.1 ทดสอบครั้งที่ 1 พบว่า การรมโอโซน (O_3) กำลังการผลิต 10 กรัม/ชม. ประสิทธิภาพต่ำกว่ารมก๊าซ O_3 ทีมีกำลังการผลิตสูงกว่า คือ 30 กรัม/ชม. ในการลดการตกค้างของ SO_2 ตกค้างในผลในตู้รมขนาดเล็กปริมาตร 0.432 ลบ.ม. (ไม่แสดงข้อมูล) การรมก๊าซ O_3 ด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้น 1.5% (อัตราแนะนำตามมกษ.1004-2557) นาน 0, 1 และ 2 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างในเปลือก และเนื้อผล รม 4 ตะกร้าต่อครั้ง พบว่าในเปลือกลดได้ 8.40 – 19.36% (ตารางที่ 1) ในเนื้อลดได้ 41 – 59.60% เมื่อเปรียบเทียบกับลำไยที่รม SO_2 อย่างเดียว (ชุดไม่รม O_3) ที่มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงและแปรผัน (ตารางที่ 2) เมื่อพิจารณาค่าทั้งผลมีค่าลดลงได้ 7.24 – 7.86% (ตารางที่ 3) มีค่าลดลงจาก 115.79 - 106.69 ppm

ต้นทุนของราคาเครื่องผลิตโอโซนที่ใช้ทดสอบกำลังการผลิต 10 และ 30 กรัม/ชม. ต้นทุนโดยประมาณราคาเครื่องละ 24,500 และ 69,500 บาท ตามลำดับ (http://www.protechsci.com/?page_id=17) ราคานี้ยังไม่รวมอุปกรณ์อื่นๆ โดยราคาตู้รมจำลองปริมาตร 0.432 ลบ.ม. ผนังเป็นอะคลิริกขอบเหล็กบุกันรั่วรอยต่อด้วยซิลิโคน บานประตูเปิด/ปิดบุขอบยางกันรั่ว ราคาต้นทุน 9,000 บาท (ภาพที่ 1 ภาคผนวก) ผู้รมควรดูแลรอยรั่วตามขอบตู้รมให้ดีไม่เช่นนั้นการรั่วไหลจะทำให้ความเข้มข้นของโอโซนในตู้ลดลง และเป็นอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานหากรั่วไหลมากเกินไป ผู้รมต้องสวมหน้ากากทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน และไม่ควรรมโอโซนในห้องปฏิบัติการที่กั้นห้อง แต่ควรรมในที่โล่งแจ้งที่มีหลังคากันฝน เป็นต้น

ตารางที่ 1 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้น 1.5% นาน 0 1 และ 2 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างในเปลือกผล

ระยะเวลา	**Fruit pericarp (ppm)**			
การรม (ชม.)	ไม่รม O_3	% Reduction	รม O_3	% Reduction
0	1344.15	0.00	1387.92	0.00
1	1543.82	-14.85	1271.27	8.40
2	1431.89	-6.53	1119.27	19.36
ค่าเฉลี่ย	1439.95	-7.13	1259.49	9.25

ตารางที่ 2 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้น 1.5% นาน 0 1 และ 2 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างในเนื้อผล

ระยะเวลา	**Fruit flesh (ppm)**			
การรม (ชม.)	ไม่รม O_3	% Reduction	รม O_3	% Reduction
0	2.1	0.00	6.51	0.00
1	2.02	3.81	3.84	41.01
2	6.91	-229.05	2.63	59.60
ค่าเฉลี่ย	3.68	-75.08	4.33	33.54

ตารางที่ 3 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้น 1.5% นาน 0 1 และ 2 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างคำนวณทั้งผล

ระยะเวลาการรม (ชม.)	Whole fruit (ppm)			
	ไม่รม O_3	% Reduction	รม O_3	% Reduction
0	109.21	0.00	115.79	0.00
1	116.96	-7.10	107.41	7.24
2	121.92	-11.64	106.69	7.86
ค่าเฉลี่ย	116.03	-6.24	109.96	5.03

8.2.2 ทดสอบครั้งที่ 2 พบว่าผลของการรมก๊าซ O_3 ด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 ความเข้มข้นสูง นาน 0 1 2 3 4 และ 5 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างในเปลือกผลลำไยมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 0 6.38 12.89 15.80 21.50 และ 23.44 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4) จะลดลงได้ดีเฉพาะส่วนเปลือก หากใช้เวลารม O_3 เพียง 1-2 ชม. จะลดสารตกค้างได้ 6.38 – 12.89% ในส่วนเนื้อการตกค้างเริ่มต้นมีค่าสูงเกิน 50 ppm โดยมีค่าตกค้างเริ่มต้นสูงระหว่าง 200.23 - 326.86 ppm จึงมีการลดลงน้อยและมีค่าแปรผัน ก๊าซ O_3 ซึมผ่านเข้าไปในผลน้อย (ตารางที่ 5) แนวโน้มเช่นเดียวกับค่าทั้งผล (ตารางที่ 6) การลดลงของ SO_2 ในผลขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของ SO_2 ที่ใช้รมมีผลต่อการตกค้าง SO_2 เริ่มต้นในส่วนต่างๆ ของผล กำลังการผลิตของเครื่อง O_3 ระยะเวลาการรม O_3 ระบบหมุนเวียนในห้องรมและการกระจายก๊าซภายในห้องรม และสภาพผลลำไย ความสุกแก่ ผิวเปลือกผลต้องแห้ง เป็นต้น ด้านคุณภาพผลภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5˚C นาน 11 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 4 7 และ 10 วัน พบว่า การรมด้วย O_3 มีคะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลเฉลี่ยต่ำกว่า 3.0 อยู่ในเกณฑ์การยอมรับระหว่างการวางจำหน่ายนาน 10 วัน เมื่อเปรียบเทียบการไม่รม O_3 (ตารางที่ 7) การรม O_3 ช่วยยืดอายุสีเนื้อโดยเฉลี่ยได้นาน 4 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.6 เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่รม O_3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.3 (ตารางที่ 8) มีแนวโน้มช่วยลดการเกิดโรคระหว่างการเก็บรักษาได้นานกว่าการไม่รม O_3 (ตารางที่ 8) โดยการรม O_3 นาน 1 และ2 ชม. ช่วยลดการเกิดโรคได้นาน 7 วัน มีค่าเท่ากับ 16.7 และ 23.3% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 25% เมื่อเปรียบเทียบกับไม่รม O_3 มีค่าเท่ากับ 70 และ 60% ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้นสูง นาน 0 1 2 3 4 และ 5 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างในเปลือกผล

ระยะเวลา	Fruit pericarp (ppm)			
การรม (ชม.)	ไม่รม O_3	% Reduction	รม O_3	% Reduction
0	1502.58	0	1911.11	0
1	1644.73	-9.46	1789.21	6.38
2	1874.52	-24.75	1664.70	12.89
3	1794.77	-19.45	1609.13	15.80
4	2177.17	-44.90	1500.14	21.50
5	1716.47	-14.23	1463.17	23.44
ค่าเฉลี่ย	1785.0	-18.80	1656.2	13.34

ตารางที่ 5 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้นสูง นาน 0 1 2 3 4 และ 5 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างในเนื้อผล

ระยะเวลา	Fruit flesh (ppm)			
การรม (ชม.)	ไม่รม O_3	% Reduction	รม O_3	% Reduction
0	326.86	0	200.23	0
1	352.74	-7.92	216.43	-8.09
2	269.05	17.69	246.8	-23.26
3	283.63	13.23	319.72	-59.68
4	260.13	20.42	217.38	-8.57
5	221.49	32.24	253.07	-26.39
ค่าเฉลี่ย	285.7	12.61	242.3	-21.00

ตารางที่ 6 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้นสูง นาน 0 1 2 3 4 และ 5 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างคำนวณทั้งผล

ระยะเวลาการรม (ชม.)	**Whole fruit (ppm)**			
	ไม่รม O_3	% Reduction	รม O_3	% Reduction
0	493.81	0	381.39	0
1	504.96	-2.26	380.8	0.15
2	483.31	2.13	396.14	-3.87
3	450.02	8.87	447.44	-17.32
4	482.05	2.38	365.44	4.18
5	444.8	9.92	396.64	-4.00
ค่าเฉลี่ย	476.5	3.51	394.6	-3.47

ตารางที่ 7 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้นสูง นาน 0 1 2 3 4 และ 5 ชม. ต่อคะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ˚C นาน 11 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 4, 7 และ 10 วัน (เกณฑ์การยอมรับคะแนนต่ำกว่า 3.0)

ระยะเวลาการรม (ชม.)	**Browning index (scores)**					
	D4		D7		D10	
	ไม่รม O_3	รม O_3	ไม่รม O_3	รม O_3	ไม่รม O_3	รม O_3
0	1	1	3	2.5	1	2.1
1	1	1	3.8	1.7	3.8	2.2
2	1.4	1.3	3.4	1.9	3.4	2.1
3	1.8	1.5	3.4	2.7	3.4	3.3
4	1.8	1.7	3.0	2.1	2.6	3.0
5	2.2	1.4	3.0	2.1	3.4	2.3
ค่าเฉลี่ย	1.5	1.3	3.3	2.2	2.9	2.5

ตารางที่ 8 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้น 1.5% นาน 0 1 2 3 4 และ 5 ชม. ต่อคะแนนเปลี่ยนสีของเนื้อที่ผิดปกติภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5˚C นาน 11 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 4, 7 และ 10 วัน (เกณฑ์การยอมรับคะแนนต่ำกว่า 3.0)

ระยะเวลาการรม (ชม.)	**Flesh discoloration (scores)**					
	D4		D7		D10	
	ไม่รม O_3	รม O_3	ไม่รม O_3	รม O_3	ไม่รม O_3	รม O_3
0	3.2	2.8	3.8	3.9	4.8	4.1
1	3.4	2.3	4.5	3.0	4.8	4.3
2	3.6	2.2	4.3	3.4	4.6	4.1
3	3.2	2.7	4.4	4.1	4.6	4.5
4	3.5	2.7	4.2	3.5	5.0	4.3
5	3.0	2.8	4.1	3.9	4.6	4.7
ค่าเฉลี่ย	3.3	2.6	4.2	3.6	4.7	4.3

ตารางที่ 9 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 เข้มข้นสูง นาน 0 1 2 3 4 และ 5 ชม. ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ˚C นาน 11 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 4, 7 และ 10 วัน (เกณฑ์การยอมรับเปอร์เซ็นต์เกิดโรคต่ำกว่า 25%)

ระยะเวลาการรม (ชม.)	**Disease incidence (%)**					
	D4		D7		D10	
	ไม่รม O_3	รม O_3	ไม่รม O_3	รม O_3	ไม่รม O_3	รม O_3
0	0.0	0.0	50	36.7	60.0	36.7
1	0.0	0.0	70.0	16.7	70.0	30.0
2	10.0	6.7	60.0	23.3	60.0	26.7
3	20.0	13.3	60.0	30.0	60.0	56.7
4	20.0	16.7	50.0	26.7	40.0	50.0
5	30.0	10.0	50.0	26.7	60.0	33.3
ค่าเฉลี่ย	13.3	7.8	56.7	26.7	58.3	38.9

8.2.3 ทดสอบครั้งที่ 3 พบว่าการรม O_3 นาน 0-4 ชม. ในตู้รมปริมาตร 1.44 ลบ.ม. มีผลลดการตกค้างได้เฉพาะส่วนเปลือกผล (ตารางที่ 10) ในส่วนเนื้อค่ามีความแปรปรวนสูงโดยมีค่าติดลบเนื่องจากปริมาณสาร SO_2 หลังรม O_3 สูงขึ้น (ตารางที่ 11) การรม O_3 นาน 1 2 และ 4 ชม. ช่วยลดการตกค้างของ SO_2 ได้เท่ากับ 8.22 10.74 และ 16.63% ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมที่ใช้พัดลมเป่าสองตัวมีค่าระหว่าง 14.43 – 20.59% (ตารางที่ 11) ส่วนค่าทั้งผลแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 12) สาเหตุสันนิษฐานเกิดจากห้องรมมีขนาดใหญ่

เกินไป และเครื่องมีกำลังการผลิตต่ำเพียง 20 กรัม/ชม. ควรแก้ไขโดยเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องให้มากกว่า 50 กรัม/ชม. ให้เหมาะสมกับขนาดห้องและปริมาณลำไยที่รมเยอะขึ้น และคุณภาพผลระหว่างการวางจำหน่ายพบว่าการรมด้วย O_3 ต่อการเกิดโรคมีแนวโน้มสูงขึ้นเกินเกณฑ์การยอมรับที่ 25% เมื่อรม O_3 นานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมเมื่อเก็บรักษานาน 10 วันที่อุณหภูมิห้องแต่ทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 13) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกด้านใน และสีเนื้อที่ผิดปกติ (ตารางที่ 14-15)

ข้อสังเกต การลดลงของ SO_2 ในผลขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

- ความเข้มข้นของ SO_2 ที่ใช้รมโดยลำไยในการทดลองนี้ใช้อัตราสูง มีผลต่อการตกค้าง SO_2 เริ่มต้นในส่วนต่างๆ ของผลมีค่าสูงโดยมีค่าตกค้างของ SO_2 ในเนื้อผลวันแรกมีค่าต่ำกว่า 50 ppm แต่กลับสูงขึ้นเกิน 50 ppm เมื่อรมนานขึ้น แต่ในเปลือกสามารถลดได้แต่ยังไม่แตกต่างกันกับการใช้พัดลมเป่าบำบัดโดยตรง

- การลดการตกค้างอาจจะต้องใช้เครื่อง O_3 ที่มีกำลังการผลิตสูงขึ้นอาจจะต้องหาเครื่องโอโซนอีก 1 เครื่องมาเพิ่มอัตราความเข้มข้นของก๊าซให้เพียงพอต่อการลดสารตกค้างในเปลือกและเนื้อผล เพราะตู้อบมีปริมาตรมากขึ้น 1.44 ลบ.ม. หากเป็นห้องรมทางการค้ามีปริมาตรถึง 20-60 ลบ.ม. ควรจะใช้เครื่องผลิตโอโซนที่มีกำลังการผลิตสูงมากๆ และควรมีเครื่องวัดโอโซนสุ่มวัดความเข้มข้นเป็นช่วงๆ

- ระยะเวลาการรม O_3 ที่นานขึ้น โดยทั่วไปสภาพการค้าไม่ควรเกิน 1 ชม. หากรมนานขึ้นควรลดให้ค่าตกค้างทั้งผลต่ำกว่าเกณฑ์ของ Codex หรือ ประเทศสิงคโปร์ที่ไม่เกิน 50 ppm โดยอาจจะต้องพิจารณาระบบหมุนเวียนก๊าซภายในห้องรมและทิศทางการกระจายก๊าซภายในห้องรมควบคู่กันไปด้วย และคัดเลือกลำไยที่ดี ไม่มีตำหนิจากโรคหรือแมลง ความสุกแก่ ผิวเปลือกผลต้องแห้ง เป็นต้น

การสุ่มตัวอย่างลำไยที่ผ่านการรมโอโซนมาตรวจสารตกค้างในรูป Pesticide residue เบื้องต้น พบสารตกค้างชนิดเดียว คือ Cypermethrin สารนี้มีแนวโน้มลดลงเมื่อรมโอโซนนานขึ้น รมโอโซนนาน 0 1 2 และ 4 ชม. มีค่าเท่ากับ 0.05 0.05 0.04 และnot detected ppm ตามลำดับ ค่าที่พบต่ำกว่ามาตรฐาน Thai MRL คือ 1.0 ppm ต้นทุนของตู้รมทำจากแสตนเลสที่ใช้ปริมาตร 1.44 ลบ.ม. พร้อมเครื่องผลิตโอโซนกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. (ภาพที่ 2 ภาคผนวก) ราคาประมาณ 150,000 บาท

ตารางที่ 10 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 นาน 0 1 2 และ 4 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างในเปลือกผล

Time (ชม.)	no O_3	% การลดลง	O_3	% การลดลง
0	1872.48	0	1780.50	0
1	1557.43	16.83	1634.10	8.22
2	1487.01	20.59	1589.21	10.74
4	1602.27	14.43	1484.31	16.63

ตารางที่ 11 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 นาน 0 1 2 และ 4 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างในเนื้อผล

Time (ชม.)	no O_3	% การลดลง	O_3	% การลดลง
0	14.03	0	7.92	0
1	41.65	-196.86	18.05	-127.90
2	52.56	-274.63	50.18	-533.59
4	54.99	-291.95	48.00	-506.06

ตารางที่ 12 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 นาน 0 1 2 และ 4 ชม. ต่อการลดลงของสาร SO_2 ตกค้างเมื่อคำนวณเป็นค่าทั้งผล

Time (ชม.)	no O_3	% การลดลง	O_3	% การลดลง
0	215.22	0	205.45	0
1	207.00	3.82	204.41	0.51
2	215.73	-0.24	223.40	-8.74
4	206.80	3.92	200.12	2.59

ตารางที่ 13 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 นาน 0, 1, 2 และ 4 ชม. ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคภายหลังการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 1 5 8 และ 10 วัน (เกณฑ์การยอมรับเปอร์เซ็นต์เกิดโรคต่ำกว่า 25%)

Time (ชม.)	D1		D5		D8		D10	
	no O_3	O_3	no O_3	O_3	no O_3	O_3	no O_3	O_3
0	0	0	3.3	1.7	16.8	18.3	16.8	15.0
1	0	0	3.0	2.4	15.8	15.3	15.8	36.7
2	0	0	3.1	3.7	14.9	19.7	14.9	35.0
4	0	0	3.1	2.9	14.9	18.6	14.9	21.7
Average	0	0	3.1	2.7	15.6	18.0	15.6	27.1

ตารางที่ 14 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 นาน 0 1 2 และ 4 ชม. ต่อคะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลด้านในภายหลังการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 1 5 8 และ 10 วัน (เกณฑ์การยอมรับคะแนนต่ำกว่า 3.0)

Time (ชม.)	D1		D5		D8		D10	
	no O_3	O_3	no O_3	O_3	no O_3	O_3	no O_3	O_3
0	1	1	1.1	1.1	2.3	1.3	3.1	2.9
1	1	1	1.1	1.2	2	2.1	3.4	2.8
2	1	1	1.1	1.3	2.1	2.1	3.1	3.1
4	1	1	1.2	1.1	2.3	2.3	3	3.2
Average	1	1	1.1	1.2	2.2	2.0	3.2	3.0

ตารางที่ 15 ผลของการรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 20 กรัม/ชม. หลังรม SO_2 นาน 0 1 2 และ 4 ชม. ต่อคะแนนการเปลี่ยนสีเนื้อผลภายหลังการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 1 5 8 และ 10 วัน (เกณฑ์การยอมรับคะแนนต่ำกว่า 3.0)

Time (ชม.)	D1		D5		D8		D10	
	no O_3	O_3	no O_3	O_3	no O_3	O_3	no O_3	O_3
0	1	1	1.1	1	2.5	1.7	3.6	3.4
1	1	1	1.1	1.2	2.1	2.2	3.5	4.4
2	1	1	1.1	1.5	2.2	2.2	3.6	3.5
4	1	1	1.1	1	2.6	2.5	3.7	3.6
Average	1	1	1.1	1.2	2.4	2.2	3.6	3.7

8.3 การทดสอบการยอมรับในวิธีการแช่ HCl+SMS ต่อคุณภาพผล และลดสาร SO_2 ตกค้างร่วมกับผู้ประกอบการ

8.3.1 การทดสอบแช่ HCl+SMS ในลำไยส่งออกที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1

1) การทดสอบครั้งที่ 1 กับลำไยเกรด A โดยทั้งสองกรรมวิธีมีค่าการตกค้างของ SO_2 ที่วิเคราะห์ทั้งผลต่ำกว่า 50 ppm ตั้งแต่วันแรกของเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 6.04 และ 24.84 ppm (ตารางที่ 16) เมื่อเก็บรักษาที่ห้องเย็นของห้องปฏิบัติการ สวพ.1 มีค่าลดลงมีค่าเท่ากับ 2.3 และ3.39 ppm ภายหลังการเก็บรักษาผ่านไป 7 วันที่ 5˚C 65% RH และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง (25-35˚C) นาน 3 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่ห้องเย็นผู้ประกอบการส่งออกมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 143.27 และ160.02 ppm ภายหลังการเก็บรักษาผ่านไป 11 วัน ที่ 2˚C 90% RH มีค่าสูงขึ้น 6-20 เท่าเกิดจากการปนเปื้อนเมื่อเก็บรักษาในตู้คอนเทนเนอร์รวมกับลำไยรม SO_2 สภาพการค้า (ความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 รม $\geq$ 1.5%)

ลำไยเกรด A เมื่อแช่ใน HCl 5%+SMS 0.5% มีแนวโน้มช่วยรักษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาที่ 5˚C, 65% RH นาน 7 และ11 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง นาน 3-4 วัน ได้แก่ มีเปอร์เซ็นต์ผลดีที่สูงกว่า ผลนิ่มน้อยกว่า และช่วยลดความผิดปกติของสีเนื้อ (ตารางที่ 19) และมีคะแนนการทดสอบด้านประสาทสัมผัสสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ HCl 5%+SMS 1% (ตารางที่ 20-23) โดยทั้งสองกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันในคุณภาพอื่นๆ ได้แก่ ลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลทั้งเปลือกด้านนอก และใน และการเกิดโรคได้ดีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 17-18) เป็นต้น

ตารางที่ 16 ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างทั้งผลระหว่างการเก็บรักษา

Treatments	pH solution				SO_2 residue in whole fruit (ppm)					
		หลังแช่								
	ก่อนแช่	1	2	3	เฉลี่ย	D1	D3	D7	D7+3	D11***
HCl 5%+SMS 0.5%	0.24	0.24	0.19	0.27	0.24	6.04	4.79	2.67	2.3	143.27
HCl 5%+SMS 1.0%	0.17	0.21	0.20	0.15	0.18	24.84	16.53	13.4	3.39	160.02

หมายเหตุ ไม่ระบุ = เก็บรักษาที่ห้องเย็นของห้องปฏิบัติการสวพ.1, *** = เก็บรักษาที่ห้องเย็นบริษัท

ตารางที่ 17 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 1 3 7 11 และ14 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1 3 และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (25-35˚C) (เกณฑ์การยอมรับ $\leq$ 25%)

Treatments	D1	D3	D7			D11***			D14	
	1	1	4	1	3	5	1	3	1	4
HCl 5%+SMS 0.5%	0	0	8.33	0	5	33.33	1.67	6.67	1.67	3.33
HCl 5%+SMS 1.0%	0	0	20.00	0	10	58.33	1.67	5.00	3.33	15.00

ตารางที่ 18 คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลด้านในภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 1 3 7 11 และ14 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1 3 4 และ 5 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์คะแนนการยอมรับ $\leq$ 3.0)

Treatments	D1	D3	D7			D11***			D14	
	1	1	4	1	3	5	1	3	1	4
HCl 5%+SMS 0.5%	1	1.12	1.42	1.18	1.50	2.58	1.65	1.98	1.28	1.48
HCl 5%+SMS 1.0%	1	1.45	2.60	1.58	2.27	3.53	1.43	1.53	2.05	2.30

ตารางที่ 19 คะแนนการเปลี่ยนสีที่ผิดปกติของเนื้อผลภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 1 3 7 11 และ14 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1 3 4 และ 5 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์คะแนนการยอมรับ $\leq$ 3.0)

Treatments	D1	D3	D7			D11***		D14	
	1	1	4	1	3	5	1	3	1	4
HCl 5%+SMS 0.5%	1	1.30	2.43	1.50	2.22	2.83	2.15	2.68	1.83	2.60
HCl 5%+SMS 1.0%	1	1.22	2.95	1.78	2.43	3.93	2.55	3.23	2.47	2.97

ตารางที่ 20 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในสีผิวเปลือกนอกภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 7 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1 และ 4 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์คะแนนการยอมรับ $\geq$ 3.0)

Treatments	D1	D3	D7	
	1	1	1	4
HCl 5%+SMS 0.5%	5	4	3.83	3.42
HCl 5%+SMS 1.0%	5	3.96	3.79	2.96

ตารางที่ 21 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในสีเนื้อภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 7 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1 และ4 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์คะแนนการยอมรับ $\geq$ 3.0)

Treatments	D1	D3	D7	
	1	1	1	4
HCl 5%+SMS 0.5%	5	4.42	4.42	3.58
HCl 5%+SMS 1.0%	5	4.21	3.67	3.08

ตารางที่ 22 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในกลิ่นของเนื้อภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 7 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1 และ4 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์คะแนนการยอมรับ $\geq$ 3.0)

Treatments	D1	D3	D7	
	1	1	1	4
HCl 5%+SMS 0.5%	5	4.04	4.04 a	3.67
HCl 5%+SMS 1.0%	5	4.04	3.54 b	2.79

ตารางที่ 23 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในรสชาติของเนื้อภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 7 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1 และ4 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์คะแนนการยอมรับ $\geq$ 3.0)

Treatments	D1	D3	D7	
	1	1	1	4
HCl 5%+SMS 0.5%	5	4.54	4.08	3.92
HCl 5%+SMS 1.0%	5	4.29	3.75	3.25

2) การทดสอบครั้งที่ 2 พบว่าทุกกรรมวิธีมีค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างทั้งผลสูงขึ้นในวันแรกมีค่าระหว่าง 9.41 - 53.26 ppm (ตารางที่ 24) แต่มีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 8 และ 11 วันตามลำดับแต่เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่ห้องเย็นของผู้ประกอบการพบว่ามีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 8.3.1 สาเหตุไปเก็บรักษารวมกับลำไยรมทางการค้า ข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับค่าตกค้างที่สูงขึ้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ผลลำไยที่ใช้ผลเล็กเกรด A-B ปนกัน พื้นที่ผิวสัมผัสเมื่อแช่ทั้งตะกร้าจะมากกว่าลำไยที่ผลใหญ่กว่า ประเด็นต่อมาเกี่ยวกับความสุกแก่ของลำไยที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่แก่มาก เปลือกบางกว่าการทดลองที่ 8.3.1 ทดสอบครั้งที่ 1 และปัจจัยเกี่ยวกับการเติม SMS เพื่อป้องกันการสูญเสีย SO_2 มีผลทำให้ค่าตกค้างสูงขึ้นแต่ไม่เกินเกณฑ์ของประเทศสิงคโปร์ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 50 ppm เมื่อเก็บรักษานานขึ้น

ด้านคุณภาพผล พบว่าสองกรรมวิธี คือ T1= HCl 2.5%+SMS 0.5% และ T2 = T1+เติม SMS เพิ่ม 0.5% รวมทั้ง T3= HCl 3.75%+SMS 0.5% และT4 = T3+เติม SMS เพิ่ม 0.5% สามารถใช้ยืดอายุลำไยส่งไปประเทศสิงคโปร์ได้เมื่อจำลองสภาพการส่งออกนาน 14 วัน วางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง (25-35˚C) ได้นาน 5-7 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่แช่สารที่ผลเน่าเสียจากเชื้อราภายใน 3 วัน โดยทุกกรรมวิธีลดความเข้มข้นของ HCl จาก 5.0% เหลือ 2.5% และ 3.75% ตามลำดับสามารถช่วยยืดอายุลำไยได้ สรุปแล้วสภาพผลลำไยผลไม่ใหญ่และไม่แก่สามารถลดความเข้มข้นของ HCl ลงได้ ลดการเน่าเกิดโรคได้ และคุณภาพเนื้อยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ตารางที่ 25-27)

ตารางที่ 24 ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างทั้งผล (ppm) ระหว่างการเก็บรักษาทั้งสองสภาพ ได้แก่ เก็บรักษาที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 นาน 11 วันที่อุณหภูมิ 5˚C 65% RH และห้องเย็นของบริษัทอุณหภูมิ 2˚C 90% RH

Treatments	pH solution		Sulfur dioxide residue in whole fruit (ppm)			
	ก่อนแช่	หลังแช่	D1	D8	D8***	D11
T1_HCl 2.5%+SMS 0.5%	0.86	0.71	31.58	26.66	164.75	31.84
T2_T1+เติม SMS ~ 0.5%	0.71	0.68	53.26	33.48	173.55	39.95
T3_HCl 3.75%+SMS 0.5%	0.67	0.63	9.41	12.12	108.8	7.06
T4_T3+เติม SMS ~ 0.5%	0.63	0.61	17.44	48.92	155.56	34.96
T5_Untreated fruit (ไม่แช่สาร)	-	-	-	-	-	1.62
T6_SO_2 commercial (รมทางการค้า)	-	-	-	-	-	152.15

หมายเหตุ ไม่ระบุ = เก็บรักษาที่ห้องเย็นของห้องปฏิบัติการสวพ.1, *** = เก็บรักษาที่ห้องเย็นบริษัท

ตารางที่ 25 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 1 4 7 และ11 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1-7 วันที่อุณหภูมิห้อง (25-35˚C) (เกณฑ์การยอมรับ $\leq$ 25%)

Treatments	D1	D4	D7				D11			
ก. ห้องเย็นสวพ.1	1	4	4+4	7+1	7+5	7+7	11+1	11+3	11+5	11+7
T1_HCl 2.5%+SMS 0.5%	0	0	10.00	0	3.33	16.67	0.00	0.00	3.33	3.33
T2_T1+เติม SMS ~ 0.5%	0	0	0.00	0	0.00	10.00	0.00	0.00	3.33	0.00
T3_HCl 3.75%+SMS 0.5%	0	0	0.00	0	26.57	90.00	0.00	6.67	13.33	16.67
T4_T3+เติม SMS ~ 0.5%	0	0	0.00	0	6.67	33.33	6.67	0.00	3.33	6.67
T5_Untreated fruit	0	0	80.00	3.33	100		3.33	33.33	90.00	100.00

Treatments	D8		
ข. ห้องเย็นของบริษัท	8+1	8+5	8+7
T1_HCl 2.5%+SMS 0.5%	0.00	0.00	10.00
T2_T1+เติม SMS ~ 0.5%	0.00	3.33	6.67
T3_HCl 3.75%+SMS 0.5%	3.33	0.00	6.67
T4_T3+เติม SMS ~ 0.5%	0.00	3.33	16.67

ตารางที่ 26 คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของสีผิวเปลือกในภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 1 4 7 และ11 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1-7 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์การยอมรับ ≤ 25%)

Treatments	D1	D4		D7			D11			
ก. ห้องเย็นสวพ.1	1	4	4+4	7+1	7+5	7+7	11+1	11+3	11+5	11+7
T1_HCl 2.5%+SMS 0.5%	1	2.6	1.90	2.00	2.10	2.13	1.90	2.23	2.00	1.80
T2_T1+เติม SMS ~ 0.5%	1	2.6	2.50	2.47	2.10	2.70	2.37	2.47	2.87	2.30
T3_HCl 3.75%+SMS 0.5%	1	2.4	2.90	2.47	3.33	4.87	2.43	2.90	2.53	3.23
T4_T3+เติม SMS ~ 0.5%	1	2.3	1.90	1.83	1.93	2.67	2.13	1.90	2.17	1.93
T5_Untreated fruit	1	5	5.00	5.00	5.00		5.00	5.00	5.00	5.00

Treatments	D8		
ข. ห้องเย็นของบริษัท	8+1	8+5	8+7
T1_HCl 2.5%+SMS 0.5%	1.33	2.13	2.50
T2_T1+เติม SMS ~ 0.5%	1.37	1.76	1.47
T3_HCl 3.75%+SMS 0.5%	2.07	1.63	2.10
T4_T3+เติม SMS ~ 0.5%	1.20	1.67	2.43

ตารางที่ 27 คะแนนการเปลี่ยนสีที่ผิดปกติของเนื้อผลภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 1 4 7 และ11 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1-7 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์การยอมรับ ≤ 25%)

Treatments	D1	D4		D7			D11			
ก. ห้องเย็นสวพ.1	1	4	4+4	7+1	7+5	7+7	11+1	11+3	11+5	11+7
T1_HCl 2.5%+SMS 0.5%	1	1.10	1.10	1.03	1.40	2.13	1.00	1.13	1.60	1.60
T2_T1+เติม SMS ~ 0.5%	1	1.00	1.00	1.03	1.43	2.40	1.10	1.53	1.87	2.07
T3_HCl 3.75%+SMS 0.5%	1	1.00	1.00	1.07	2.70	4.70	1.00	1.87	1.77	2.47
T4_T3+เติม SMS ~ 0.5%	1	1.00	1.10	1.03	1.87	2.70	1.47	1.67	1.73	2.57
T5_Untreated fruit	1	1.00	4.20	1.17	5.00		1.17	2.70	4.60	5.00

Treatments	D8		
ข. ห้องเย็นของบริษัท	8+1	8+5	8+7
T1_HCl 2.5%+SMS 0.5%	1.30	2.30	3.57
T2_T1+เติม SMS ~ 0.5%	1.30	2.03	2.53
T3_HCl 3.75%+SMS 0.5%	1.73	2.57	4.20
T4_T3+เติม SMS ~ 0.5%	1.63	2.47	3.43

8.3.2 การทดสอบแช่ HCl+SMS ในลำไยส่งออกในสถานประกอบการต้นแบบ

1) การทดสอบหาความเข้มข้นและวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม

พบว่ามีค่าตกค้างของ SO_2 ทั้งผลไม่เกิน 50 ppm (ตารางที่ 28) การแช่ลำไยจาก จ.ตาก ผลขนาดใหญ่ เกรด AA ความเข้มข้นต่ำ HCl 2.5%+SMS 0.5% (T1) และเติม SMS คั่น คือ T1+เติม SMS ~ 0.5% (T2) มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.60 - 4.13 ppm เมื่อแช่ลำไย 500 ตะกร้า รวม 10 ครั้ง ทั้งสองกรรมวิธีไม่สามารถลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกได้ คะแนนมีค่าเกินเกณฑ์การยอมรับ 3.0 (ภาพที่ 5b) ผลของการลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลไม่สอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ที่ใช้ลำไยไม่แก่จากสวนเกษตรกร จ.เชียงใหม่ มีขนาดผลเล็กกว่าเป็นเกรด A ที่ความเข้มข้นระดับนี้ลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลและลดการเกิดสีเนื้อที่ผิดปกติได้ดี (ตารางที่ 26) ผู้ประกอบการจึงต้องเพิ่มความเข้มข้น พบว่า แช่ใน HCl 5% + SMS 0.5% (T4) และเติม SMS คั่น คือ T4+เติม SMS~0.5% (T6) ช่วยลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลได้ดีขึ้น (ภาพที่ 5b) ค่าตกค้างของ SO_2 ทั้งผลไม่เกิน 50 ppm การเติม SMS คั่นเมื่อแช่ซ้ำเพื่อป้องกันการสูญเสีย SO_2 ระหว่างการแช่ เมื่อแช่ซ้ำผ่านไป 3 ครั้ง แต่มีผลทำให้ค่า pH สารละลายสูงขึ้นจาก 0.31 เป็น 0.79 และค่าตกค้างสูงขึ้นจาก 1.72 เป็น 18.83 ppm (ตารางที่ 28-29)

ตารางที่ 28 ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างระหว่างการเก็บรักษาหลังแช่เสร็จนาน 2 วัน

6.1 ชุดที่ 1

Treatments	การตกค้างทั้งผลของ SO_2 (ppm)				
	การแช่ครั้งที่ 1	5	6	10	ค่าเฉลี่ย
T1_HCl 2.5%+SMS 0.5%	1.49	1.71	-	-	1.60
T2_T1+เติม SMS ~ 0.5%	-	-	1.71	6.55	4.13

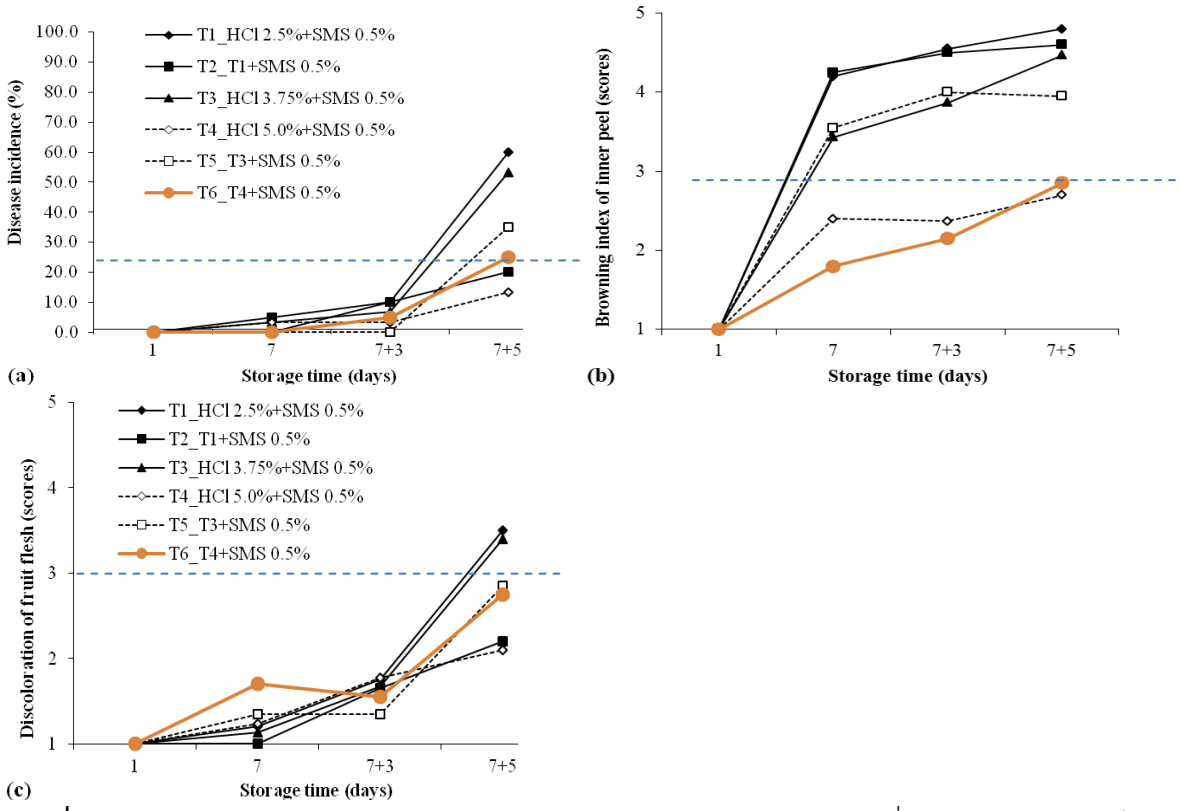
6.2 ชุดที่ 2

Treatments	การตกค้างทั้งผลของ SO_2 (ppm)					
	การแช่ครั้งที่ 1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
T3_HCl 3.75%+SMS 0.5%	2.75	1.51	1.56	-	-	1.94
T4_HCl 5.0%+SMS 0.5%	4.75	1.97	1.72	-	-	2.81
T5_T3+เติม SMS~0.5%	-	-	-	8.77	6.52	7.65
T6_T4+เติม SMS~0.5%	-	-	-	18.83	13.43	16.13

ตารางที่ 29 pH สารก่อนและหลังแช่

ถังแช่ที่	ก่อนแช่	หลังแช่1	หลังแช่2	ก่อนแช่[1/]	หลังแช่3	หลังแช่4
1	0.47	0.43	0.41	0.79	0.80	0.74
2	0.37	0.34	0.31	0.72	0.70	0.70

[1/] SMS ที่เติมอีก 0.5% (1.5 กก.) หลังแช่ครบ 3 ครั้ง ควรผสมในน้ำสะอาดปริมาตร 1 ลิตร



ภาพที่ 5 ผลของการทดสอบการแช่ในสาร HCl+SMS รวม 6 กรรมวิธี ได้แก่ ชุดที่ 1 และ2 ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค(a), การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกด้านใน (b) และการเปลี่ยนสีของเนื้อที่ผิดปกติ (c) ระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 7 วัน+วางจำหน่ายนาน 1 3 และ 5 วัน ตามลำดับ

2) การทดสอบแช่และวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม

การทดสอบแช่ใน HCl 5% + SMS 0.5% รวม 2 ถัง กับลำไยผลขนาดใหญ่และเปลือกบาง เกรด AA โดยแช่ซ้ำ 3 ครั้งๆ ที่ 1-3 และเติม SMS คั่นในครั้งที่ 4-5 พบว่าค่าตกค้างของ SO_2 ทั้งผลไม่เกิน 50 ppm (ตารางที่ 30) แต่การเติม SMS มีผลทำให้ค่าตกค้างสูงขึ้นสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ โดยค่าเฉลี่ยกรรมวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าสูงขึ้นจาก 1.70 เป็น 15.95 ppm และกรรมวิธีที่ 3 และ4 มีค่าสูงขึ้นจาก 1.43 เป็น 22.48 ppm สอดคล้องกับค่า pH ของสารละลายที่สูงขึ้นเกิดจากต้องมีน้ำปริมาตร 10 ลิตร มาละลาย SMS น้ำหนัก 1.5 กก. (ตารางที่ 30-31) ส่วนด้านคุณภาพระหว่างการวางจำหน่ายภายหลังการเก็บรักษาที่ 5 ˚C, 65% RH นาน 4 วัน พบว่ามีอายุการวางจำหน่ายได้นาน 5 วันที่อุณหภูมิห้อง เมื่อประเมินจากค่าการยอมรับไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ได้แก่ การเกิดโรคต่ำกว่า 25% คะแนนสีน้ำตาลและการเกิดสีเนื้อที่ผิดปกติต่ำกว่า 3.0 (ตารางที่ 32-34)

ตารางที่ 30 ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างระหว่างการเก็บรักษาหลังแช่เสร็จและเก็บรักษานาน 4 วันที่อุณหภูมิ 5 ºC 70% RH.

Treatments	การตกค้างทั้งผลของ SO_2 (ppm)					
	การแช่ครั้งที่ 1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
T1_HCl 5.0%+SMS 0.5% (I)	1.98	1.5	1.62	-	-	1.70
T2_T1+เติม SMS~0.5% (I)	-	-	-	21.99	9.91	15.95
T3_ HCl 5.0%+SMS 0.5% (II)	1.16	1.59	1.54	-	-	1.43
T4_T3+เติม SMS~0.5%(II)	-	-	-	25.97	18.98	22.48

ตารางที่ 31 ค่า pH ของสารละลายก่อนและหลังแช่

Treatments	ก่อนแช่	หลังแช่ 1	หลังแช่ 2	หลังแช่ 3	ก่อนแช่ 4	หลังแช่ 4	หลังแช่ 5
T1_HCl 5.0%+SMS 0.5% (I)	0.31	0.25	0.21	0.19	-	-	-
T2_T1+เติม SMS~0.5% (I)	-	-	-	-	0.73	0.73	0.82
T3_ HCl 5.0%+SMS 0.5% (II)	0.26	0.22	0.19	0.18	-	-	-
T4_T3+เติม SMS~0.5%(II)	-	-	-	-	0.72	0.75	0.80

ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 4 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1-6 วันที่อุณหภูมิห้อง (25-35˚C) (เกณฑ์การยอมรับ $\leq$ 25%)

Treatments	D1	D4	D4+3	D4+5	D4+6
T1 = HCl 5.0%+SMS 0.5%	0	0.00	6.67	6.67	16.67
T2 = T1+ เติม SMS 0.5%	0	0.00	0.00	10	20
T3 = HCl 5.0%+SMS 0.5%	0	0.00	6.67	3.33	30
T4 = T3+ เติม SMS 0.5%	0	0.00	5.00	25	10
ค่าเฉลี่ย	**0.00**	**0.00**	**4.59**	**11.25**	**19.17**

ตารางที่ 33 คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของสีผิวเปลือกในภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 4 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1-6 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์การยอมรับ $\leq$ 3.0)

Treatments	D1	D4	D4+3	D4+5	D4+6
T1 = HCl 5.0%+SMS 0.5%	1	1.97	2.70	2.53	2.6
T2 = T1+ เติม SMS 0.5%	1	2.15	2.15	2.35	2.55
T3 = HCl 5.0%+SMS 0.5%	1	2.53	2.80	3.03	3.63
T4 = T3+ เติม SMS 0.5%	1	1.95	2.35	2.4	2.7
ค่าเฉลี่ย	**1.00**	**2.15**	**2.50**	**2.58**	**2.87**

ตารางที่ 34 คะแนนการเปลี่ยนสีที่ผิดปกติของเนื้อผลภายหลังการแช่และเก็บรักษาผ่านไป 4 วันที่อุณหภูมิ 5˚C และย้ายมาวางจำหน่ายนาน 1-6 วันที่อุณหภูมิห้อง (เกณฑ์การยอมรับ $\leq$ 3.0)

Treatments	D1	D4	D4+3	D4+5	D4+6
T1 = HCl 5.0%+SMS 0.5%	1	1.33	1.80	2	2.1
T2 = T1+ เติม SMS 0.5%	1	1.55	1.45	2.1	2.45
T3 = HCl 5.0%+SMS 0.5%	1	1.43	1.53	1.9	2.7
T4 = T3+ เติม SMS 0.5%	1	1.85	1.95	2.5	2.65
ค่าเฉลี่ย	**1.00**	**1.54**	**1.68**	**2.13**	**2.48**

3) การทดสอบการส่งออก ผู้ประกอบการได้แช่ HCl 5%+SMS 0.5% แช่ซ้ำ และเติม SMS 0.5% คั่น และตัดขั้วบรรจุใส่กล่อง clamshell ภายหลังการเก็บรักษาผ่านไป 4 วัน ที่ 5 ˚C และส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ทางเครื่องบิน รวม 3-4 ครั้ง ช่วงเดือนธ.ค. 2562 โดยวางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า จำนวน 500-1,000 กก./ครั้ง ปริมาณ ~3,000 กก. พบว่า ครั้งที่ 1 พบว่าจำหน่ายหมดภายใน 1 วัน และผลการวิเคราะห์ SO_2 ทั้งผลที่ปลายทางพบมีค่าไม่เกิน 50 ppm ครั้งที่ 2 ส่งออกทางเครื่องบินจำนวน 1,000 กก. แช่และตัดขั้วบรรจุในกล่องทันทีในวันเดียวกันห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์และฟิล์มพลาสติกไว้ 1 คืน ที่ 5 ºC พบมีปัญหาทำให้ไปเพิ่มความอับชื้นมีผลทำให้เปลือกเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลและมีการเกิดโรคทำลายซ้ำที่รอยแผลระหว่าง 20-30% ระหว่างการวางจำหน่าย การแก้ไขควรผึ่งไว้ในห้องเย็นนาน 1 คืนและตัดผลในวันถัดไป ครั้งที่ 3 แก้ไขโดยการเพิ่ม SMS เป็น 1% คือ การแช่ HCl 5%+SMS 1% แช่ซ้ำได้หลายครั้งโดยไม่ต้องเติม SMS คั่น เก็บรักษาไว้ 1 คืน ที่ 5˚C และตัดขั้วในวันถัดไป พบว่าสีผิวเหลืองสวยและมีค่า SO_2 ตกค้างทั้งผลไม่เกินมาตรฐานมีค่า 16.04 ppm และผลการทดสอบการส่งออกมีผลที่ดีขึ้นสามารถวางจำหน่ายได้นานขึ้นในห้างสรรพสินค้าภายในประเทศสิงคโปร์

การทดสอบการส่งออกทางเรือโดยใช้ตู้แบบสั้น 20 ฟุต รวม 2 ครั้ง ช่วงปลายเดือน ธ.ค. 2562 – ม.ค. 2563 โดยแช่ 2 วันๆ ละ 500 ตะกร้าจนเต็มตู้คอนเทนเนอร์มีค่า SO_2 ตกค้างทั้งผลไม่เกินมาตรฐานมีค่า 11.74 ppm ใช้เวลาเดินทางนาน 12 วัน โดยลดความชื้นสัมพัทธ์ของตู้ให้ต่ำลงโดยการเปิดช่องระบายอากาศ (Vent) ให้มากขึ้น ช่วยลดปัญหาเรื่องสีผิวได้ สีผิวเปลือกมีตำหนิสีคล้ำและเปลือกมีรอยแตกในบางผลประมาณ 3% แต่ยังสามารถวางจำหน่ายได้ ผู้บริโภคภายในประเทศสิงคโปร์ และผู้นำเข้ายอมรับในคุณภาพลำไยจากประเทศไทย และผู้ประกอบการได้พัฒนาวิธีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

การทดสอบการส่งออกทางเรือโดยใช้ตู้แบบยาว 40 ฟุต รวม 2 ครั้ง ช่วงเดือนก.พ. 2563 เป็นต้นไป โดยแช่รวม 3 วันจนเต็มตู้คอนเทนเนอร์มีค่า SO_2 ตกค้างทั้งผลไม่เกินมาตรฐานมีค่า 24.80 ppm โดยลดความชื้นสัมพัทธ์ของตู้ให้ต่ำลงโดยการเปิดช่องระบายอากาศ (Vent) ให้มากขึ้น ช่วยลดปัญหาเรื่องคุณภาพได้ สีผิวเปลือกมีตำหนิสีคล้ำและเปลือกมีรอยแตกในบางผลประมาณ 3% แต่ยังสามารถวางจำหน่ายได้

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

9.1 วิธีการรม SO_2 1.5% +O_3 นาน 1 ชม., SO_2 1.5%, HCl 5%+ SMS 1%, O_3 นาน 2 ชม.+SO_2 1.5%, และ SO_2 1.5% + SMS pad ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาที่ 5°C, 90% RH + อายุการวางจำหน่ายได้ที่อุณหภูมิห้อง (25-35˚C) ได้นาน 40+5, 40+5, 40+5, 30+5 และ 30+<5 วัน ตามลำดับ วิธีที่มีความเป็นไปได้จะนำไปทดสอบใช้จริงในสถานประกอบการของผู้ส่งออก คือ การรม SO_2 1.5% +O_3 นาน 1 ชม. และการแช่ HCl 5%+ SMS 1% ไปใช้แก้ไขปัญหาซึ่งตรวจพบค่าการตกค้างคำนวณค่าทั้งผลต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประเทศสิงคโปร์กำหนดต่ำกว่า 50 ppm

9.2 การทดสอบการลดสาร SO_2 ตกค้างด้วยการรมด้วยก๊าซโอโซน (O_3) รวม 3 ครั้ง โดยใช้เครื่องผลิตโอโซนกำลังการผลิต 10, 20 และ 30 กรัม/ชม. รมในตู้ขนาดต่างๆ ได้แก่ 0.432 ลบ.ม. (ความจุลำไย 4 ตะกร้า/ครั้ง) และ1.44 ลบ.ม. (ความจุลำไย 12 ตะกร้า/ครั้ง) ด้วยระยะเวลารม O_3 นาน 0, 1, 2, 3, 4 และ5 ชม. พบว่าความสามารถในการลดการตกค้างของ O_3 ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของลำไยที่รม SO_2 หากรมความเข้มข้นสูงเกินค่าตกค้างในเนื้อผลจะเกิน 50 ppm เครื่องผลิต O_3 ที่ใช้จะลดได้เฉพาะที่เปลือกผล แต่ในเนื้อไม่สามารถลดได้ วิธีแก้ไขต้องเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซ O_3 โดยใช้เครื่องที่มีกำลังผลิตที่สูงขึ้นหรือลดปริมาตรของตู้รมให้เล็กลงหรือเพิ่มเวลาการรมให้นานขึ้น

จากการทดลองพบว่าหากใช้ความเข้มข้นของ SO_2 ที่คำนวณให้เท่ากับ 13,000-15,000 ppm (1.3-1.5%) ตามคู่มือการปฏิบัติงาน (SOP) มาตรฐานมกษ. 1004: 2557 ลำไยที่ผ่านการรมจะมีค่าตกค้างในเนื้อผลไม่เกิน 50 ppm โดยการรม SO_2 1.5% + รม O_3 จากเครื่องที่มีกำลังการผลิต O_3 ที่ 30 กรัม/ชม. ในตู้รมขนาด 0.432 ลบ.ม. รม O_3 นาน 1-2 ชม. ช่วยลดสารตกค้างได้ทั้งในเปลือกและเนื้อได้ดี แต่หากลำไยรม SO_2 ด้วยความเข้มข้นสูงเกินมีผลค่าตกค้างในเนื้อผลเกิน 50 ppm ก๊าซ O_3 จะลด SO_2 ได้เฉพาะเปลือก ดังนั้นหากนำไปใช้เชิงการค้าต้องใช้เครื่องโอโซนที่มีกำลังผลิตที่สูงพอกับขนาดห้องรม ดังนั้นหากนำไปใช้เชิงการค้าห้องรมมีขนาดใหญ่มากปริมาตรระหว่าง 25-70 ลบ.ม. (ความจุลำไย 200-700 ตะกร้า) จึงต้องใช้เครื่อง O_3 ที่มีกำลังผลิตที่สูงพอกับขนาดห้องรม การใช้เครื่องที่มีกำลังผลิตต่ำเกินไปกับขนาดห้องที่ใหญ่เกินไป เช่น ตู้รมที่มีปริมาตร 1.44 ลบ.ม. และใช้เครื่องผลิต O_3 ที่ 20 กรัม/ชม. มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการไปลดสารตกค้างและลดการเกิดโรคระหว่างการวางจำหน่าย

9.3 การทดสอบวิธีการแช่ HCl 5.0% + SMS 1.0% นาน 5 นาที สามารถใช้ลดปัญหาสาร SO_2 ตกค้างร่วมกับผู้ประกอบการสำหรับส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ได้ และมีอายุการเก็บรักษาอย่างน้อย 14 วันขึ้นไป ได้ทดสอบแช่ร่วมกันที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 และโรงคัดบรรจุของผู้ประกอบการส่งออก อ. จอมทอง จ.เชียงใหม่ จำนวน 2 และ 3 ครั้ง และทดสอบการส่งออก 5 ครั้ง พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อการแช่ HCl+SMS หลายประการ ได้แก่ ผลลำไยที่มีความแก่ ขนาดผล และพื้นที่ปลูกแตกต่างกัน ตลอดจนความเข้มข้นของสารละลายที่แช่ HCl 2.5-5.0%+SMS 0.5% และเติม SMS 0.5% คั่นกรณีแช่ซ้ำหลายครั้ง พบว่าการแช่ HCl 5%+SMS 1% นาน 5 นาที มีแนวโน้มปรับใช้วิธีการนี้ได้ในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาลำไยส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ โดยตัดขั้วเป็นลำไยผลเดี่ยวและบรรจุในกล่อง clamshell เจาะรูความจุ 0.7-1.0 กก. ที่อุณหภูมิ 5 ˚C, 65% RH นานเพียงพอที่จะขนส่งและวางจำหน่ายรวมระยะเวลานาน 14 วัน สีผิวเปลือก สีเนื้อที่ผิดปกติ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และค่าไม่เกินมาตรฐานพบค่า SO_2 ทั้งผลระหว่าง 11.74 – 24.80 ppm ขณะที่ผลลำไยรม SO_2 1.5% (วิธีทางการค้า) และไม่แช่สารมีค่า SO_2 ตกค้างทั้งผลเท่ากับ 152.15 และ1.62 ppm โดยลำไยไม่แช่สารวางจำหน่ายได้นานเพียง 2-3 วันที่อุณหภูมิห้อง (25-35˚C)

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

10.1 ประเทศสิงคโปร์มีปริมาณการนำเข้าลำไยจากประเทศไทยปริมาณ 4 - 5 พันกว่าตัน/ปี และลดลงอย่างมากในปัจจุบันตามสภาวะเศรษฐกิจที่ถดถอย ข้อกีดกัน และสงครามทางการค้า วิธีการแช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที สามารถใช้เป็นวิธีทางการค้าและพัฒนาวิธีการใช้เพิ่มปริมาณการส่งออกให้มากขึ้นได้ในอนาคต แต่ขั้นตอนปฏิบัติงานค่อนข้างยุ่งยาก ได้แก่ การคัดเลือกผลลำไยจากสวนเกษตรกรต่างพื้นที่กันมีผลต่อสีผิว หากลำไย จ.ตากใช้เวลาเดินทางนานขึ้นมาถึงเชียงใหม่ก่อนเที่ยงคืน ควรแช่ทันทีในกลางคืน ลำไยในพื้นที่ จ.เชียงใหม่ การป้องกันผลแตกต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไว้ 1 คืนหากแช่ช่วงเช้า หรือเก็บรักษาอย่างน้อย 4-5 ชม. ลดผลแตกได้หากแช่กลางคืน โดยส่วนมากนิยมแช่กลางคืน ผู้ปฏิบัติงานควรแต่งตัวให้รัดกุมสวมเสื้อแขนยาว ใส่หน้ากากกันแก๊ส ถุงมือยาง รองเท้าบูท ระวังความปลอดภัยการดูดกรดลงในน้ำ และควรใช้ SMS ไม่เกิน 1% การแช่สามารถแช่ซ้ำได้ 10 ครั้งอาจจะเพิ่มได้ ผึ่งลำไยไว้ 3 ชม. และเก็บรักษาต่อในห้องเย็นอีก 1 คืน ช่วงเช้าจึงตัดขั้วบรรจุในกล่อง clamshell ใช้เวลานานพอสมควร และมีต้นทุนรวมการส่งออกทางเครื่องบิน 80 บาท/กก. แต่จำหน่ายได้ราคาสูงถึง 100-150 บาทที่ปลายทาง หากส่งทางเรือเป็นตู้สั้นได้ต้นทุนรวมจะต่ำลงเหลือ 69 บาท/กก. หากใช้วิธีแช่ในถังพลาสติกรวม 10 ถังจะได้ 500 ตะกร้า/วัน ต้นทุนแรงงานสูงขึ้น หากในอนาคตใช้เครื่องแช่ลิ้นจี่ที่มีความยาวสามารถแช่ได้ครั้งละ 25 ตะกร้าต่อครั้ง จะช่วยลดต้นทุนแรงงานได้มากขึ้น และวิธีนี้ การแช่ HCl 1-3%+SMS 1% ยังสามารถพัฒนาการแช่กับลิ้นจี่ส่งออกได้เช่นเดียวกัน

10.2 การวิจัยเพื่อการแก้ไขปัญหาการตกค้าง SO_2 ขึ้นอยู่ค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยประเทศปลายทางเป็นหลัก แต่ละประเทศกำหนดค่าไม่เท่ากัน สามารถเลือกวิธีสำหรับใช้ทดสอบการยืดอายุให้ตกค้างไม่เกินได้ เช่น สาธารณรัฐประชาชนจีนกำหนดไม่เกิน 50 ppm ในเนื้อผล สามารถรม SO_2 ให้มีความเข้มข้น 1.3-1.5% ได้ตามวิธีปัจจุบัน มกษ.1004-2557 หากปฏิบัติตามค่าตกค้างในเนื้อไม่เกิน 50 ppm การประยุกต์ใช้โอโซนกับการรมสามารถทำได้เพราะโอโซนช่วยฟอกสีผิวให้ใสขึ้น ช่วยลดค่าการตกค้างในผลและลดการเกิดโรคได้ดีขึ้น แต่ต้องทดสอบความเป็นไปได้เพราะต้นทุนเครื่องสูง เครื่องผลิตโอโซนที่ผลิตทางการค้ายังมีกำลังผลิตที่ต่ำ หากทดสอบใช้รมห้องรมลำไยการค้าที่มีปริมาตร 40-60 ลบ.ม.จะต้องใช้เครื่องที่มีกำลังผลิตสูงมากๆ ซึ่งหายากและราคาสูง การทดสอบต้องคำนึงถึงความคุ้มค่า จึงแก้ไขปัญหาด้วยการรมในตู้รมโอโซนขนาดเล็กก่อนด้วยโอโซนกำลังการผลิตไม่เกิน 30 กรัมต่อชั่วโมงก่อนขยายผลต่อไป เวลารมโอโซนที่เหมาะสมควรไม่เกิน 1-2 ชม./ครั้ง หากใช้เครื่องที่มีกำลังผลิตสูง 100-500 กรัม/ชม. ต้นทุนโดยประมาณสูงถึง 200,000 –1,000,000 บาท แต่สามารถหาเช่าเครื่องรมของบริษัทได้แต่มีต้นทุนการทดสอบต่อครั้งสูง หากทดสอบใช้ต้องวัดความเข้มข้นของแก๊สภายในห้องรมด้วยและต้องควบคุมการรั่วไหลของแก๊สเพื่อความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงาน

11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1 และศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ทุกท่าน ผู้ประกอบการและพนักงานทุกคนของโรงคัดบรรจุลำไยบริษัทหยวนเชิงเฟรชฟรุ๊ตจำกัด อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ที่สนับสนุนการทดสอบลำไยในการแช่ HCl+SMS ที่โรงคัดบรรจุ และทดสอบการส่งออกไปประเทศสิงคโปร์จนประสบความสำเร็จ และผู้ประกอบการลำไยทุกท่าน และงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ผศ.ดร.กานดา หวังชัย คณะวิทยาศาสตร์ ม.เชียงใหม่ที่สนับสนุนเครื่องอบโอโซนสำหรับการวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์ และงบวิจัยเพิ่มเติมจากผอ.กลุ่มถ่ายทอดเทคโนโลยี สวพ.1 ที่สนับสนุนให้งานวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์แก้ไขปัญหาการส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ได้

12. เอกสารอ้างอิง

ณัฐนัย ตั้งมั่นคงวรกูล และวิทยา อภัย. 2560. การทดสอบความเข้มข้นของ SO_2 ที่เหมาะสมในการรมลำไยร่วมกับการใช้แผ่นระเหยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์**.** รายงานผลงานวิจัยการทดลองสิ้นสุดประจำปี 2560.

บุษรา จันทร์แก้วมณี สมคิด รื่นภาควุฒิ เกรียงไกร สุภโตษะ อุมาภรณ์ สุจริตทวีสุข ปรียานุช ทิพยะวัฒน์ และรุ่งทิวา รอดจันทร์. 2550. รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม การศึกษาบรรจุภัณฑ์เคลือบด้วยสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสด. สนับสนุนโดยเงินรายได้จากการดำเนินงานวิจัยด้านการเกษตร กรมวิชาการเกษตร 50 หน้า.

สถิตย์พงศ์ รัตนคำ วิทยา อภัย สมเพชร เจริญสุข เกรียงศักดิ์ นักผูก สนอง อมฤกษ์ และชัยวัฒน์ เผ่าสันทัดพาณิชย์. 2560. การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ผสมกรดเกลือ (HCl) ทดแทนการรมควันด้วย SO_2. รายงานผลงานวิจัยการทดลองสิ้นสุดประจำปี 2560.

สุทธินี ลิขิตตระกูลรุ่ง และวิทยา อภัย. 2561. การทดสอบประสิทธิภาพการใช้คลอรีนไดออกไซด์ และก๊าซบางชนิดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาลำไย. รายงานผลงานวิจัยการทดลองสิ้นสุดประจำปี 2561.

วิทยา อภัย, สุทธินี ลิขิตตระกูลรุ่ง และสมเพชร เจริญสุข. 2559. ผลของกรดไฮโดรคลอริกร่วมกับวิธีการอื่นต่อการลดปัญหาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยส่งออก. *ว. วิทย. กษ.* 47 : 3 (พิเศษ) : 345-348.

วราพรรณ กันคำ. 2556. การรมโอโซนเพื่อลดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง และการควบคุมโรคหลังเก็บเกี่ยวของผลลำไยสด.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 119 หน้า.

AOAC. 2016. *Sulfites in Food Optimized Monier – Williams Methods*, Vol.2, Ch. 47, Official Method 990.28, Section 47.3.43. In Official Method of AOAC, 17th edition.

Apai, W., Klongdee, H., Sukhvibul, N., Noppakoonwong, U.,Lim, S.S., Luk, S.C., Tan, S.C.A., Neo,S.Y., Khoo, G.H., Ch'ng, A.L., Amareok, S., Rattanakam, S. and Sardsud, V. 2015. Study on the feasibility of use of hydrochloric acid as an alternative to sulphur dioxide for preserving longan. *Food and Applied Bioscience Journal*. 3 (3): 193–205.

Drinnan, J. 2004. Longans postharvest handling and storage. Available [online] http:// www.rirde.qov.au/ reports/NPP/03-125Sum.html[cited [25 December 2019].

Jiang, Y.M. and Y.B. Li. 2001. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan. *Food Chem.* 73:39-143.

Taimaneerak, A., Uthaibutra, J., Sugaya, S., Kunkhum, W. and Whangchai, K. 2018. Ozone fumigation on sulfur dioxide treated longan for sulfur residue reduction and delaying of pericarp browning as well as disease control in longan fruit during storage. *Food and Applied Bioscience Journal* 6 (Special issue): 240–252.

Tongdee, S.C. 1994. Sulfur dioxide fumigation in postharvest handling of fresh longan and lychee for export. pp. 186-195. In: Postharvest Handling of Tropical Fruit. ACIAR Proceedings, vol. 50, Chang Mai, Thailand, July 19–23, 1993.

Uthairatanakij, A., Jitareerat, P., Photchanachai , S. and Ieamtim, P. 2010. Combined treatments of sulfur dioxide and polyethylene bag on the quality and disease incidence in gamma irradicated longan fruit' Daw. *Acta Hort. (ISHS)* 877:1489-1494

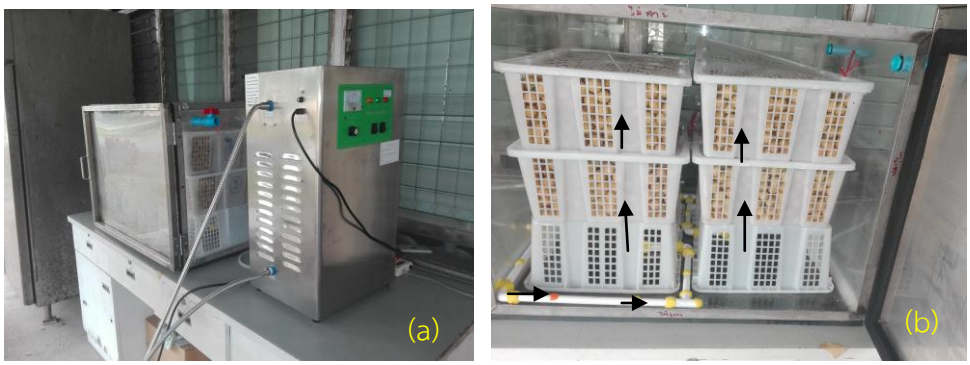
13. ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย

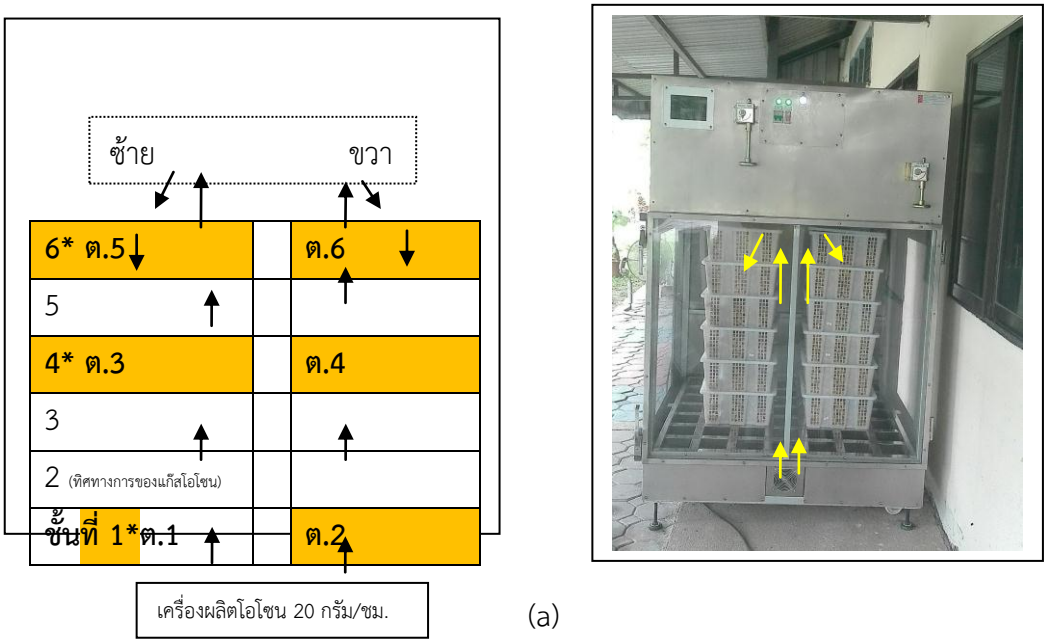
ประเทศ	ปริมาณสูงสุดของสารตกค้างยอมให้ตรวจพบ (ppm)	ระยะเวลาขนส่งทางเรือ (วัน)
สิงคโปร์	**50 (ค่าทั้งผล)**	**5-7**
จีน	50 (ในเนื้อผล, พิธีสารประเทศไทย/จีนปี 2547)	7-10
มาเลเซีย	30 (ในเนื้อผล)	3
Codex	50 (ค่าทั้งผล)	-
แคนาดา	0	30
อินโดนีเซีย	ไม่ตรวจ	7-10
เวียดนาม	ไม่ตรวจ	2-3
ฝรั่งเศส	10 (ในเนื้อผล) 350 (ในเปลือกผล)	25-28
สหรัฐอเมริกา	10 (เฉพาะผลองุ่น)	28-30

ตารางที่ 2 pH ของสารละลายก่อนและหลังการแช่ HCl 2.5%+SMS 0.5% แช่ซ้ำ 5 ครั้ง และเติม SMS เพิ่มก่อนแช่ซ้ำอีก 5 ครั้ง (การทดลองที่ 8.3.2)

ถังแช่ที่	ก่อนแช่	หลังแช่ 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.76	0.41	**0.35**	0.37	0.85	0.86	0.73	0.49	0.45	0.72	0.72
2	0.72	0.43	0.41	0.38	0.84	0.87	0.75	0.51	0.46	0.74	0.72
3	0.73	0.45	0.39	0.41	0.86	0.87	0.79	0.54	0.48	0.78	0.76
4	0.70	0.41	0.40	0.39	0.85	0.82	0.70	0.52	0.45	0.69	0.67
5	0.66	0.43	0.39	0.38	0.87	0.81	0.72	0.5	0.45	0.69	0.68
6	0.62	0.39	0.38	0.35	0.86	0.83	0.70	0.47	0.44	0.7	0.68
7	0.52	0.37	0.35	0.32	0.80	0.77	0.65	0.47	0.40	0.71	0.64
8	0.51	0.41	0.40	0.36	0.81	0.79	0.67	0.51	0.46	0.7	0.65
9	0.47	0.39	0.36	0.33	0.80	0.81	0.67	0.46	0.17	0.68	0.64
10	0.46	0.35	0.35	0.31	0.79	0.77	0.65	0.44	0.43	0.67	0.62



ภาพที่ 1 การรมโอโซนด้วยเครื่องกำลังการผลิต 30 กรัม/ชม. (a) หลังรม SO_2 เข้มข้น 1.5% โดยรม 3-4 ตะกร้าต่อครั้ง (b) ห้องรมขนาดเล็กมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง = 0.90x0.60x0.80 เมตร คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 0.432 ลบ.ม. ทำจากอะคิลิคใสหนา 5 มม. โครงเหล็กขอบประตูมียางกันแก๊สรั่ว มีจุดเชื่อมเป็นท่อพีวีซีเป็นท่อนำแก๊สโอโซนและมีท่อกระจายแก๊สอยู่บริเวณใต้พื้นตะกร้า 2 จุด (⟶)



ภาพที่ 2 กลุ่มที่ 1 รม SO_2 ทางการค้า+รม O_3 ในตู้อบโอโซน นาน 0, 1, 2 และ 4 ชม. ในตู้อบรมโอโซนรวม 12 ตะกร้าจัดวางซ้อนกันสองฝั่งละ 6 ตะกร้า ใช้ตำแหน่งตะกร้าเป็นซ้ำ รวม 6 ซ้ำ (ตะกร้าที่ ต.1-6) (a-b)

ต.5		ต.6
ต.3		ต.4
ต.1		ต.2

(a)

(b)

ภาพที่ 3 กลุ่มที่ 2 รม SO_2 ทางการค้า+ไม่รม O_3 แต่ใช้พัดลมอุตสาหกรรม 2 ตัวเป่าที่ตะกร้าลำไย นาน 0, 1, 2 และ 4 ชม. รวม 6 ตะกร้าจัดวางบนพาเลทในแนวราบ รวม 6 ซ้ำ (ตะกร้าที่ ต.1-6) (a-b)

ภาพที่ 4 กระบวนการแช่กรด HCl+SMS ผลผลลำไยก่อนแช่และหลังแช่ และการผึ่งให้แห้งนาน 2 h (a-e) การสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ SO_2 ตกค้างทั้งผล (f) การตัดขั้วผลยาวไม่เกิน 0.5 cm ใส่กล่อง clamshell ความจุ 0.7-1.0 กก. (g) ทดสอบที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 จะได้เฉลี่ย 8-10 กล่องต่อตะกร้า จำลองสภาพการเก็บรักษาขณะขนส่งไปประเทศสิงคโปร์ในห้องเย็นอุณหภูมิ 5˚C นาน 7 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 25-35˚C นาน 1 3 และ 5 วัน (การทดลองที่ 8.3.1)

ภาพที่ 5 การทดสอบแช่ที่โรงคัดบรรจุบริษัทหยวนเชิงเฟรช จำกัดเป็นสถานที่แช่เป็นที่โล่งแจ้งอากาศถ่ายเทดี กันฝนได้ ผู้ปฏิบัติงานแต่งกายป้องกันสารเคมี แช่ HCl 2.5-5.0%+SMS 0.5-1.0% แช่ครั้งๆ ละ 4-5 ตะกร้า/ถังกระบะ และผึ่งนานให้แห้งสนิทด้วยพัดลมอุตสาหกรรมนาน 2-3 h (a-e) สุ่มลำไยแบบ composite sample 5 ตะกร้า/ครั้งที่แช่/ตัวอย่าง (f) และสีผิวลำไยที่แช่วันแรก (g) และส่งออกถึงปลายทางประเทศสิงคโปร์ (h-i)

Determination of Sulphur Dioxide (Longan)

Steps:

1. Record weight of 20 pcs whole fruit, skin, flesh and seed
สุ่มผลลำไยจำนวน 20 ผล ชั่งน้ำหนักทั้งผล แยกเปลือก เนื้อ และเม็ด
2. Carry out SO_2 analysis for:
Skin and Flesh (Blended together)
เปลือกและเนื้อมาบด แบ่งชั่งน้ำหนัก 50 กรัม ± 0.5
3. Using the calculation, the SO_2 present in the whole fruit is :

$$\text{Amount of } SO_2 \text{ in whole fruit} = \text{Result of Blended Skin \& Flesh (ppm)} \times \frac{\text{Weight of Skin (g) + Flesh (g)}}{\text{Weight of Whole Fruit (g)}}$$

Longan	Weight (g)
Whole Fruit	180.57
Seed	33.86
Skin	27.68
Flesh	118.87

V HCl (ml) : **10.00**

N HCl : **0.0100**

V NaOH (ml) : **10.10**

N NaOH : **0.0099**

Application No.	Spl Info	Sample wt (g)	V_{NaOH} for SO_2 (ml)	**SO_2 (ppm)**	**Conversion to whole fruit (ppm)**
33-2015-07-3585	Skin + Flesh	50.46	23.70	149	**120.93**

ภาพที่ 6 ตัวอย่างการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างทั้งผลของประเทศสิงคโปร์โดยห้องปฏิบัติการของ Agri-Food & Veterinary Authority (AVA)