

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. ชื่อชุดโครงการ วิจัยและพัฒนาลิ้นจี่
2. ชื่อโครงการ การพัฒนาเทคโนโลยีจัดการหลังการเก็บเกี่ยวลิ้นจี่ในเขตภาคเหนือ
- กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาเทคโนโลยีการรมควันด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลิ้นจี่ส่งออก
3. ชื่อการทดลอง พัฒนาการรมให้เหมาะกับลิ้นจี่แต่ละพันธุ์ในเขตภาคเหนือตอนบน
- Development on optimized fumigation process applied for litchi varieties each in the upper northern region.

4. คณะทำงาน

หัวหน้าการทดลอง	นายเกรียงศักดิ์ นักผูก	สังกัด ศวศ.ชม.
	นายสถิตย์พงษ์ รัตนคำ	สังกัด ศวศ.ชม.
	นายสมเพชร เจริญสุข	สังกัด สวพ.1
	นายวิทยา อภัย	สังกัด สวพ.1

5. บทคัดย่อ

ศึกษาพัฒนาการรม SO_2 ให้เหมาะสมกับลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยและจักรพรรดิ และค่าการสลายตัวระหว่างการเก็บรักษาเพื่อจำลองสภาพการส่งออก ดำเนินการทดสอบรมที่ห้องรมจำลองขนาด 6.9 ลบ.ม. ของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ระหว่างตุลาคม 2556 ถึงกันยายน 2558 การทดลองที่ 1 ทดสอบการรม SO_2 ในลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยด้วยวิธีการเผาผงกำมะถันรวม 4 ความเข้มข้น ได้แก่ 0, 0.16, 0.73 และ 1.30% รมนานเท่ากัน 45 นาที โดยทำการรมจำนวน 10 ตะกร้าต่อครั้ง จากนั้นแบ่งอย่างละครึ่งนำมาแช่กรด HCl 5% นาน 3 นาที และไม่แช่กรด นำไปเก็บรักษาที่ 8 °C, 55-65% RH นาน 28 วัน พบว่าการรม SO_2 0.73% ทั้งแช่และไม่แช่กรด HCl 5% นาน 3 นาที ค่าการตกค้างในเนื้อผลต่ำกว่าเกณฑ์ของ EU (10 ppm) ภายหลังจากเก็บรักษานาน 7 วัน ตามลำดับ การแช่กรด HCl เพื่อคืนสีแดงของเปลือกพบ SO_2 ตกค้างสูงขึ้น การใช้ SO_2 0.73%+ แช่กรด HCl พบว่าค่าการยอมรับบริโภคในสีผิวเปลือกมีค่าสูงขึ้น และช่วยรักษาคุณภาพเนื้อผลได้เมื่อเปรียบเทียบกับแช่และไม่แช่กรดหลังรม การทดลองที่ 2 ทดสอบการรม SO_2 0.7% + แช่ HCl เปรียบเทียบกับไม่แช่ และชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยใช้ผลลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยที่เก็บรักษาไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้องก่อนรม พบว่าหากพิจารณาความทนทานตะกร้าพลาสติกเหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกล่องกระดาษ และไม่ควรเก็บรักษาลิ้นจี่ไว้ 1 คืนก่อนรมทำให้การตกค้างในเนื้อผลสูงเกิน 10 ppm และสำหรับการทดสอบการรมลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิด้วย SO_2 รวม 3 ความเข้มข้น ได้แก่ 0, 0.7 และ 1.3% รมนาน 45 นาทีเปรียบเทียบกับแช่และไม่แช่กรดเกลือ พบว่า การรม SO_2 0.7 และ 1.3% ร่วมกับการแช่กรดหรือไม่แช่ พบค่า SO_2 หลังรมเกิน 10 ppm ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C, 45% RH จึงควรลดความเข้มข้นหรือเวลารวมให้น้อยลง

Abstract

Study on the technique development on SO_2 fumigation applied for Hong Huay and Emperor' litchis varieties were established including their degradations of SO_2 residue during

exporting stored simulation. The experiments were conducted for testing at 6.9 m³ volume model fumigation chamber at the Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Mae Hea, Mueang, Chiang Mai from October 2013 to September 2015. The experiment I was fumigation testing of SO₂ gas produced by burning sulfur powder in Hong Huay variety at 4 concentrations, i.e. 0, 0.16, 0.73 and 1.30% and fumigated time was for 45 min. Ten perforated plastic baskets per time were used and then half of lots were separated to dip in HCl 5% for 3 min and the rest was SO₂ alone without HCl dip. They were kept at 8 °C, 55-65% RH for 28 days. It was found that fruit fumigated SO₂ at 0.73% + HCl or without showed less SO₂ residue in fruit flesh below EU tolerance (10 ppm) after storage for 7 days respectively. Dipping in HCl to restore red pericarp color increased higher SO₂ residue in flesh. Apply of SO₂ 0.73%+ HCl could increase consumer acceptances, i.e. better high pericarp acceptance and maintaining flesh acceptance as compared with SO₂ alone. The experiment II was to test Hong Huay' litchi fumigated SO₂ 0.7% with or without HCl after kept in overnight at ambient temperature with suitable packaging. Results found that 3 kg perforated plastic basket was suitable packaging for litchi due to stronger when compared with perforated card board box. Fruit kept at overnight at ambient temperature before fumigation should be avoided because it increased high residue in fruit flesh above 10 ppm as compared with the previous study. The experiment III was to test SO₂ fumigation in Emperor' litchi at 3 concentrations, i.e. 0, 0.7 and 1.3% and fumigated time for 45 min with or without HCl dip. Results found that fruit fumigated SO₂ at 0.7 and 1.3% showed high residue of SO₂ than 10 ppm during storage at 5 °C, 45% RH thus either SO₂ concentration or fumigation time of applying Emperor variety should be decreased.

6. คำนำ

ลิ้นจี่เป็นผลไม้ส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ลิ้นจี่ใช้บริโภคภายในประเทศประมาณ 70% ส่งออก 15% และที่เหลือทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่ทั่วโลกนิยมรับประทานเนื่องจากรสชาติเปรี้ยวอมหวานมีคุณค่าทางอาหารสูงและเปลือกมีสีแดงทำให้น่ารับประทาน ปัจจุบันประเทศคู่ค้ามีกฎระเบียบในการนำเข้าเพิ่มเติมได้แก่ EU กำหนดให้ลิ้นจี่จากประเทศไทยต้องผ่านการคัดจากโรงคัดที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน GMP และต้องประยุกต์ใช้ HACCP และกำหนดค่าตกค้าง SO₂ ในเนื้อผลให้พบไม่เกิน 10 ppm. ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วยังพบปัญหา pesticide residue เกินค่า MRL อีกด้วย ลิ้นจี่สดหลังการเก็บเกี่ยวมีปัญหาสำคัญ คือ เปลือกเปลี่ยนสีผิวเป็นสีน้ำตาลเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องภายใน 2-3 วันและอุณหภูมิต่ำภายใน 7 วันเนื่องจากเป็นผลไม้เปลือกบาง และปัญหาการเน่าเสียทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง การรมด้วย SO₂ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า 30 วัน ทำให้สามารถส่งออกทางเรือได้ (Tongdee, 1994) ปัจจุบันใช้วิธีการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น (Hydrocooling) (จริงแท้, 2541) สำหรับส่งออกลิ้นจี่แบบช่อเริ่มมาตั้งแต่ปี 2530 โดยเฉพาะการไปจำหน่ายในพื้นที่ใกล้ๆ

ระยะเวลาขนส่งไม่เกิน 7-10 วัน ได้แก่ ประเทศจีน สิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ และหาดใหญ่แต่ยังขาดข้อมูลการสำรวจเทคโนโลยีการยืดอายุดังกล่าวว่า มีการพัฒนาหรือปัญหาข้อจำกัดอย่างไร ตลอดจนในปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรยังขาดข้อมูลมาตรฐานการรมควันผลลึ้นจีด้วย SO₂ เช่น ตารางการใช้ SO₂ สำหรับลึ้นจีส่งออก (Sulfur Table) ว่าควรใช้ความเข้มข้นเท่าไรและข้อมูลการสลายตัวระหว่างการเก็บรักษาในขณะขนส่งไปประเทศปลายทางยุโรป กำหนดตกค้างในเนื้อและเปลือกเท่ากับ 10 mg/kg ตามลำดับ และประเทศอื่นๆ ที่เข้มงวด เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และแคนาดาห้ามใช้สารนี้ บางประเทศนำมาตรฐานกลางของ Codex มาอ้างอิง เช่น ประเทศสิงคโปร์กำหนดค่าตกค้างทั้งผลไม่เกิน 50 ppm จึงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการส่งออกลึ้นจีที่รม SO₂ มีผู้ประกอบการรายใหม่ๆ 2-3 รายติดต่อกับเทคนิคและอัตราการรมควันลึ้นจีส่งไปยุโรปเพื่อไม่ให้ค่า SO₂ ตกค้างเกินค่ามาตรฐานที่ประเทศปลายทางกำหนดกับหน่วยงานสวพ.1 เขตภาคเหนือตอนบนแต่ยังไม่สามารถให้คำแนะนำได้มากนัก

การรม SO₂ หลายสิบปีที่ผ่านมาพบว่ามีรายงานการใช้ SO₂ หลายระดับ ได้แก่ กระทรวงวิทยาศาสตร์แนะนำอัตราการใช้ SO₂ ในรูปของแก๊สจากถังโดยตรงสำหรับลึ้นจีพันธุ์ฮวงฮวย และจักรพรรดิไว้ที่ 75-125 ml SO₂/kg และพันธุ์คอมไวท์ที่ 125 ml SO₂/kg โดยทั้งสามพันธุ์ควรมีความเข้มข้น SO₂ สุดท้ายในห้องรมเท่ากับ 0.3-0.45 และ 0.65% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับลำไยที่สูงถึง 1.5% แต่เป็นอัตราสำหรับใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันไม่ใช่การเผาพวงกำมะถัน (Tongdee, 1994) การรมควันด้วย SO₂ เข้มข้น 2% นาน 25 นาทีในลึ้นจีพันธุ์ฮวงฮวย ก่อนนำไปแช่ในสารละลายกรด HCl เข้มข้น 1.0 N นาน 15 นาที แล้วเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิ 5° ซ จะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และรักษาสีแดงของเปลือกได้นานกว่า 49 วัน (สันต์, 2558) การรมลึ้นจีด้วย SO₂ เข้มข้น 1.5% รมลึ้นจีผลลึ้นจีพันธุ์ฮวงฮวย จักรพรรดิ และกิมเจงและเก็บในนกลงกระดาศ (นิธิยาและदनัย, 2543) การรมควันลึ้นจีด้วย SO₂ 0.5% V/V นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้ระเหย 1 ชั่วโมง และแช่กรดเกลือ 1 M นาน 2 นาที ร่วมกับวิธีการทาง plant quarantine แช่น้ำร้อน 49 °C นาน 20 นาที และน้ำเย็น 20 นาที พบการตกค้างในเนื้อพบค่าต่ำกว่า 5 mg/kg (Paull *et al.*, 1998) การรมลึ้นจีพันธุ์จักรพรรดิรมด้วย SO₂ และทำ cold treatment ระหว่างขนส่งไปประเทศออสเตรเลีย จะพบปัญหาเมื่อถึงตลาดปลายทางคือ ผลลึ้นจีกว่า 20% จะมีการยุบตัว (เบญจมาศ และคณะ, 2550) ดังนั้นการทดสอบการรม SO₂ จึงเป็นสิ่งจำเป็น

การสำรวจวิธีการปฏิบัติในการยืดอายุลึ้นจีสำหรับส่งออก จำนวน 24 ราย จากผู้ประกอบการรวม 16 บริษัท ได้แก่ จ.พะเยา 15 ราย (9 บริษัท) และ จ.เชียงใหม่ 9 ราย (7 บริษัท) ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชาย 13 คน (54.2%) ส่วนมากอายุมากกว่า 36 ปีขึ้นไป (75%) พันธุ์ลึ้นจีที่รับซื้อ ได้แก่ ฮวงฮวย จักรพรรดิ และ กิมเจง คิดเป็น 87.5, 37.5 และ 4.2 % ตามลำดับ พบวิธีการยืดอายุ 2 แบบ ได้แก่ วิธีแรก คือ วิธีการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น (Hydrocooling) โดยบรรจุลึ้นจีแบบช่อในตะกร้าพลาสติกน้ำหนัก 11.5 กก. และแช่ผลในน้ำเย็นนานประมาณ 10 นาที ก่อนส่งออกประเทศจีนทางเรือ ใช้เวลาขนส่งและจำหน่ายให้หมดภายใน 10-13 วัน โดยส่งออกไปประเทศในแถบเอเชีย 66.7% ปัญหาที่พบการวางจำหน่าย คือ ฤดูกาลเก็บเกี่ยวตรงกับต่างประเทศทำให้ราคาถูกลง และอายุการวางจำหน่ายสั้น และวิธีที่ 2 รมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ใช้ลึ้นจีผลเดี่ยวรวมด้วยวิธีเผาพวงกำมะถันก่อนส่งออกทางเรือใช้เวลาเดินทาง 15-25 วันพบน้อยลง การสำรวจการรมควันแบบเผาพวงกำมะถันจำนวน 4 โรง พบว่าโรงรมคำนวณการใช้กำมะถันที่มีความเข้มข้น SO₂ ไม่เกิน 0.9% เมื่อส่งออกทางเรือค่าตกค้าง

ในเนื้อผลลดลงไม่เกินมาตรฐาน EU (10 ppm) และมีอายุการเก็บรักษานาน 28 วันที่ 8 °C (สมเพชร และคณะ, 2558) แต่อย่างไรก็ตามยังขาดข้อมูลการทดสอบการรมกับลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์เกี่ยวกับความเข้มข้นที่ใช้และการสลายตัวระหว่างการเก็บรักษาและค่าตกค้างไม่เกินมาตรฐานของประเทศปลายทาง ดังนั้นการทดสอบการรมควันจึงเป็นสิ่งจำเป็นต้องดำเนินการเพื่อพัฒนามาตรฐานลิ้นจี่ให้ดีขึ้น

7. วิธีดำเนินการ

- **อุปกรณ์** ตะกร้าพลาสติกความจุ 11.5 และ 3 ก.ก. กล่องกระดาษความจุ 3 ก.ก. ลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยและจักรพรรดิ ห้องรมจำลองขนาด 6.9 ลบ.ม. พร้อมอุปกรณ์การรม กำมะถันผง ตาชั่ง กรด HCl ห้องเย็น

- **วิธีการ** แบ่งเป็น 3 การทดลอง ได้แก่

7.1 ทดสอบการรมควันลิ้นจี่ส่งออก คุณภาพผลและการสลายตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเขตภาคเหนือตอนบน

นำลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยเก็บเกี่ยวช่วงเช้าและคัดเกรดเอาตัวเขียวยาวไม่เกิน 0.5 ซม. จากสวนเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP จังหวัดเชียงใหม่ บรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกน้ำหนัก 11.5 กก. ขนส่งไปที่โรงรมของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่โดยทดสอบรมในช่วงเย็นของวันเดียวกัน ทำการรมลิ้นจี่ในห้องรมทั้งตะกร้าพลาสติกครั้งละ 10 ตะกร้าจัดเรียง 5 แถวๆละ 5 ตะกร้าละ 11.5 กก. วางไว้กลางห้องรมจำลองปริมาตร 6.9 ม³ รม SO₂ ด้วยวิธีการเผาผงกำมะถัน/ความเข้มข้น/ครั้ง โดยกำหนดการรมกำมะถันคำนวณให้มีค่าความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซ SO₂ ในห้องรม (ค่า A) ตามสูตรของมาตรฐานมกษ.1004-2557 (ภาคผนวก) รวม 4 ครั้ง (ความเข้มข้น) ได้แก่ 0% (T1-T2), 0.16% (T3-T4), 0.73% (T5-T6) และ 1.30% (T7-T8) ตามลำดับ ใช้น้ำหนักกำมะถันเท่ากับ 0, 50, 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ ในเวลารมนานเท่ากัน 45 นาที และเป่าบำบัดแก๊สที่ไหลบนผลลิ้นจี่นาน 15 นาทีด้วยพัดลมเพื่อระเหยแก๊สส่วนเกินรอบๆ จากนั้นนำมาแบ่งครึ่งกรรมวิธีละ 5 ตะกร้า ได้แก่ แช่กรด HCl (กรดเกลือ) 5% ปริมาตร 60 ลิตร นาน 3 นาที และเปรียบเทียบกับไม่แช่ HCl กรรมวิธีปฏิบัติกรรมวิธีละ 2 ซ้ำๆ ละ 2-3 ตะกร้า (โดยสุ่ม composite 2-3 ตะกร้าต่อซ้ำให้ได้ 1 กก./ซ้ำ) ได้แก่

T1= ชุดควบคุม คือ ไม่รม SO₂ (0%) + ไม่แช่ HCl,

T2 = ชุดควบคุม คือ ไม่รม SO₂ (0%) + แช่ HCl,

T3 = การรม SO₂ 0.16% นาน 45 นาที + ไม่แช่ HCl,

T4 = การรม SO₂ 0.16% นาน 45 นาที + แช่ HCl,

T5 = การรม SO₂ 0.73% นาน 45 นาที + ไม่แช่ HCl,

T6 = การรม SO₂ 0.73% นาน 45 นาที + แช่ HCl,

T7 = การรม SO₂ 1.3% นาน 45 นาที + ไม่แช่ HCl

T8 = การรม SO₂ 1.3% นาน 45 นาที + แช่ HCl

ทำการขนย้ายผลลิ้นจี่ไปเก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 8 °C, 55-65% RH นาน 35 วัน การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001) ความผิดปกติของสีเนื้อ เเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ค่า L* a* b* C* h°) การเปลี่ยนแปลงทาง

เคมี ได้แก่ การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ เปลือก และทั้งผลด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2005) และค่า pH ของเปลือกและเนื้อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) การเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานิน (Ranganna, 1977) และการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

7.2 ทดสอบรูปแบบการรมควันและบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการตกค้างและคุณภาพลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวย

กรรมวิธีการทดลอง กำหนดรูปแบบการรมควัน 2 แบบ ได้แก่ รม SO_2 เข้มข้น 0.7% และรม SO_2 เข้มข้น 0.7%+แช่กรดเกลือเข้มข้น 5% นาน 3 นาที และชนิดของบรรจุภัณฑ์ช่วยลดการยุบตัว ได้แก่ ตะกร้าพลาสติก ความจุ 3 กก. และกล่องกระดาษเจาะรู ความจุ 3 กก รวม 4 กรรมวิธีๆ ละ 4 ตะกร้า (กล่องลังกระดาษ) ได้แก่

T1= รม SO_2 เข้มข้น 0.7% + ตะกร้าพลาสติก 3 กก,

T2=รม SO_2 เข้มข้น 0.7% + แช่ HCl 5% นาน 3 นาที+ตะกร้าพลาสติก 3 กก,

T3=รม SO_2 เข้มข้น 0.7%+กล่องกระดาษ 3 กก,

T4=รม SO_2 เข้มข้น 0.7% + แช่ HCl 5% นาน 3 นาที+กล่องกระดาษ 3 กก

นำลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยเกรดเอที่เก็บเกี่ยวช่วงเช้าที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ ขนส่งมาที่โรงคัดบรรจุเก็บไว้ 1 คืนที่ อุณหภูมิห้องช่วงเช้าขนส่งมารวมที่โรงรมของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ในช่วงบ่าย ขั้นตอนการรมควันในห้องรมทั้งตะกร้าพลาสติกทางการค้าทดสอบการรมควันที่โรงรม SO_2 ขนาด 6.9 m^3 โดยใช้ลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวย จากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP จังหวัดเชียงใหม่ขนาดตัดหัวเป็นผลเดี่ยว เกรดเอบรรจุในตะกร้าพลาสติก 11.5 กก จัดเรียงในห้องรมและรมก้ำมะถันด้วยวิธีการเผาผงก้ำมะถันที่ผู้ประกอบการใช้รมลำไยในปัจจุบัน รวมตะกร้าขนาด 10 กก รมทั้งหมด 4 ตะกร้า/ครั้งการรม โดยคำนวณใช้ SO_2 เข้มข้น 0.7% ตามสูตรคำนวณของมาตรฐานมกษ. 1004-2557 ใช้น้ำหนักก้ำมะถันเท่ากับ 134 กรัม รมนาน 45 นาที จากนั้นเป่าบำบัดแก๊สที่เหลือบนผลลิ้นจี่นาน 15 นาทีด้วยพัดลม จากนั้นนำลิ้นจี่ครึ่งหนึ่งไปแช่กรดเกลือ เข้มข้น 5% นาน 3 นาที แบ่งผลลิ้นจี่ทั้งหมดบรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกขนาด 3 กก และกล่องกระดาษขนาดเดียวกัน รวมทั้งหมด 32 ตะกร้า และ 32 กล่องๆ และขนส่งผลลิ้นจี่ไปเก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 5 °C, 45% RH นาน 21 วัน การตรวจสอบคุณภาพ สุ่มกรรมวิธีละ 4 ตะกร้า (กล่องลังกระดาษ) มาตรวจสอบคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาทุก 7 วัน ได้แก่ คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001) ความผิดปกติของสีเนื้อ เพอร์เซ็นต์การเกิดโรค และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ค่า $L^* a^* b^* C^* h^\circ$) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ เปลือก และทั้งผลด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2005) และค่า pH ของเปลือกและเนื้อผล การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

7.3 ทดสอบการรมควันลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิส่งออก คุณภาพผลและการสลายตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเขตภาคเหนือตอนบน

กรรมวิธีการทดลอง กำหนดระดับความเข้มข้นของ SO_2 จำนวน 3 ความเข้มข้น ได้แก่ 0% ลิ้นจี่ไม่รม (ชุดควบคุม) 0.7% กลาง และสูง 1.3% (อัตรา S-Table รมลำไย) และการแช่กรดเกลือเพื่อคืนสี ได้แก่ ผลไม่แช่กรดเกลือ และผลแช่กรด HCl 5% นาน 3 นาที รวม 6 กรรมวิธีๆ ละ 4 ซ้ำ (ตะกร้า) ได้แก่

T1= SO_2 0%+ผลไม่แช่กรดเกลือ,

- T2= SO₂ 0%+แช่กรด HCl 5% นาน 3 นาที,
 T3= SO₂ 0.7%+ผลไม้แช่กรดเกลือ,
 T4= SO₂ 0.7%+แช่กรด HCl 5% นาน 3 นาที,
 T5= SO₂ 1.3%+ผลไม้แช่กรดเกลือ
 T6= SO₂ 1.3%+แช่กรด HCl 5% นาน 3 นาที

นำลีนจี่พันธุ์จักรพรรดิเกรดเอเก็บเกี่ยวช่วงเช้าที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ และขนส่งมาทดสอบการรมในช่วงบ่ายวันเดียวกันที่โรงรมของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ขั้นตอนการรมควันในห้องรมทั้งตะกร้าพลาสติกทางการค้าทดสอบการรมควันที่โรงรม SO₂ ขนาด 6.9 ม³ โดยใช้ลีนจี่พันธุ์จักรพรรดิเก็บเกี่ยวจากแปลงเกษตรกรที่ อ.ฝาง จ. เชียงใหม่นำคัดขนาดเกรดเอบรรจุในตะกร้าพลาสติก 11.5 kg จัดเรียงในห้องรมและรกก้ามะถันด้วยวิธีการเผาผังก้ามะถันที่ผู้ประกอบการใช้รรมลำไยในปัจจุบัน วิธีการรมควันรมจำนวน 2 ความเข้มข้น ได้แก่ SO₂ 0.7% (T3-T4) และ 1.3% (T5-T6) รมครั้งละ 6 ตะกร้า จัดเรียงตะกร้ากลางห้องรมขนาด 6.9 ม³ ใช้น้ำหนักก้ามะถันเท่ากับ 70 กรัม และ 140 กรัม ตามลำดับ รมนานเท่ากับ 45 นาที จากนั้นเป่าบำบัดแก๊สที่เหลือนบนผลลีนจี่นาน 15 นาทีด้วยพัดลม จากนั้นนำลีนจี่ครึ่งหนึ่งไปแช่กรดเกลือเข้มข้น 5% นาน 3 นาที แบ่งผลลีนจี่ทั้งหมดบรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกขนาด 3 กก กรรรมวิธีละ 12 ตะกร้า รวมทั้งหมด 72 ตะกร้า นำลีนจี่ทั้งหมดขนส่งผลลีนจี่ไปเก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 5 °C, 45% RH นาน 21 วัน สุ่มกรรรมวิธีละ 4 ตะกร้า มาตรวจสอบคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาทุก 7 วัน ได้แก่ คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001) ความผิดปกติของสีเนื้อ เพอร์เซ็นต์การเกิดโรค และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก, การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ค่า L* C* h°), การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ เปลือก และทั้งผลด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2005) และค่า pH ของเปลือกและเนื้อผล และการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่

1. การเปลี่ยนสีน้ำตาล สุ่มจำนวน 10 ผลต่อซ้ำตรวจสอบสภาพผลดีหรือบวมและดูที่ผิวเปลือกนอกด้วยสายตา จากนั้นผ่าผลดูสภาพผิวเปลือกในและเนื้อใน โดยให้คะแนนในระดับ 1-5 คะแนนวัดคุณภาพผล (สีเปลือกนอก-ในและสีเนื้อ)

1.1 การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลลีนจี่สดทั้งด้านนอกและในผลด้วยการให้คะแนนด้วยสายตาด้วยการประเมินการเปลี่ยนสีน้ำตาลแบบให้คะแนน (Browning index) บนผล 5 ระดับตามวิธีของ Jiang and Li (2001) ผลลีนจี่ที่มีระดับคะแนนของการเกิดสีน้ำตาลที่พื้นที่ผิวเปลือกสูงกว่า 3.0 ถือว่าไม่ยอมรับด้านสีผิว

1.2 ความผิดปกติของเนื้อผล (Flesh discoloration) ด้วยการให้คะแนนด้วยสายตาด้วยการประเมินการเปลี่ยนที่เนื้อผลแบบให้คะแนน 5 ระดับ เนื้อผลที่มีคะแนนความผิดปกติสูงเกิน 3.0 ถือว่าไม่ยอมรับ

1.3 การวัดสีผิวเปลือกนอกตำแหน่งกึ่งกลางผลด้วยเครื่องวัดสี Chromameter ค่าที่วัดแสดงผลเป็นค่า L*, a*, b*, C* และ hue angle

3. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

4. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ สุ่ม 10 ต่อตะกร้าวัดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ เปลือก และทั้งผลด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2005) สุ่มจำนวน 10 ผลตรวจสอบหาค่า pH ของเปลือกและเนื้อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) การเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานิน (Ranganna, 1977)

5. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในสีผิวเปลือกและคุณภาพเนื้อ ได้แก่ การทดสอบประสาทสัมผัสในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี hedonic scaling คะแนนความชอบ 5 ระดับโดยใช้ผู้บริโภคอย่างน้อย 10 คน ที่มีประสบการณ์ 2 ปีขึ้นไป

- เวลาและสถานที่ ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2556 – กันยายน 2558 ที่ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม เชียงใหม่ และห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1

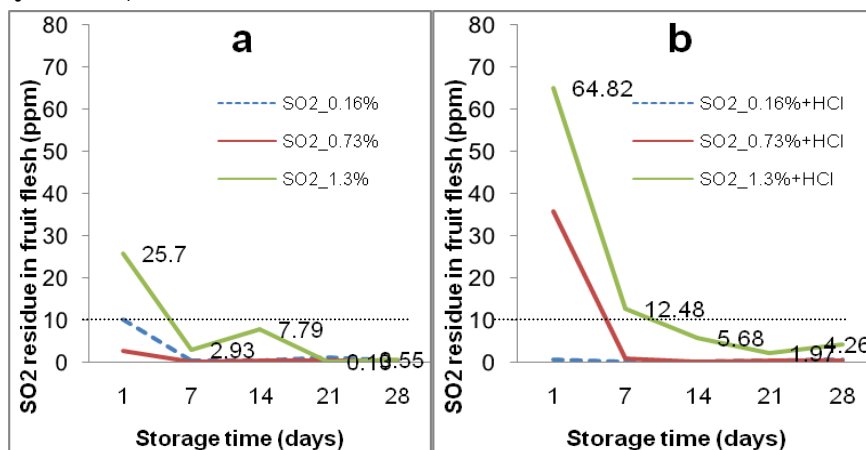
8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 ทดสอบการรมควันสั้นจี้ส่งออก คุณภาพผลและการสลายตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเขตภาคเหนือตอนบน พบว่าการรม SO_2 เข้มข้น 0, 0.16, 0.73 และ 1.3% นาน 45 นาทีเท่ากัน พบสาร SO_2 ตกค้างในเนื้อผลหลังรมทันที เท่ากับ 0, 2.47, 9.99 และ 25.70 ppm (ภาพที่ 1a, ตารางที่ 1 ภาคผนวก) แต่เมื่อนำผลหลังรมควันไปแช่กรดเกลือนาน 3 นาทีพบสาร SO_2 ตกค้างในเนื้อสูงขึ้นเท่ากับ 0, 0.56, 35.60 และ 64.82 ppm แต่อย่างไรก็ตามการตกค้างลดลงต่ำกว่า 10 ppm (มาตรฐาน EU) เมื่อเก็บรักษานาน 7-14 วัน (ภาพที่ 1b, ตารางที่ 1 ภาคผนวก) ผลการทดลองสอดคล้องกับ Lemmer and Kruger (2001) พบว่าการแช่กรดมีผลทำให้ค่าพีเอชเปลือกต่ำลงทำให้ SO_2 ซึมเข้าในเนื้อผลดีขึ้น โดยเฉพาะช่วงผลที่มีโพรงอากาศมาก และช่องว่างรอยแยกเปลือกทำให้ค่าตกค้างสูงขึ้นในเนื้อผล ในขณะที่การแช่กรดหลังรมกำมะถันทำให้การตกค้างของ SO_2 ในเปลือกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมแต่ไม่แช่กรด (ภาพที่ 1b, ตารางที่ 2 ภาคผนวก) การรม SO_2 เข้มข้น 0.73 และ 1.3% พบค่าตกค้างในเปลือกทันทีเท่ากับ 969.05 และ 1,245.40 ppm ตามลำดับ แต่เมื่อแช่กรดเกลือ 3 นาทีพบค่าต่ำลงเท่ากับ 167.00 และ 312.67 ppm ตามลำดับ การสลายตัวของ SO_2 ในเปลือกลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 28 วัน ที่อุณหภูมิ 8 °C, 55-65% RH เหลือค่าตกค้างระหว่าง 119.61 – 254.35 ppm การแช่กรดหลังรมพบว่าช่วยลดค่าการตกค้างของ SO_2 ทั้งผลที่คำนวณจากค่าตกค้างในเนื้อและเปลือกรวมกันต่ำกว่า 50 ppm (มาตรฐาน Codex และประเทศสิงคโปร์) เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 7 วันพบค่าระหว่าง 21.16 – 34.22 ppm ขณะที่การรมอย่างเดียวพบค่าระหว่าง 48.21 – 59.59 ppm (ตารางที่ 3 ภาคผนวก)

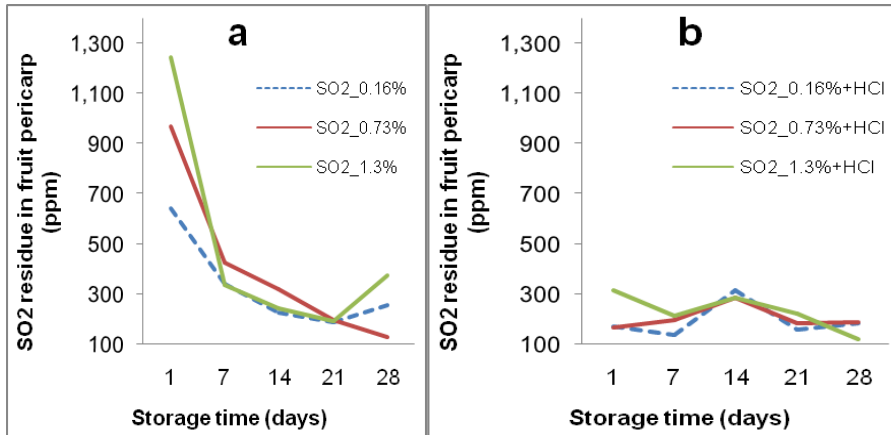
การรม SO_2 ทุกความเข้มข้น (0.16-1.3%) ร่วมกับการแช่และไม่แช่กรดช่วยลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกได้อย่างมีนัยสำคัญตลอดอายุการเก็บรักษาพบคะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล (BI) ระหว่าง 1.00-1.95 (จาก 5 คะแนน) ซึ่งอยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ต่ำกว่า 3.0) เมื่อเปรียบเทียบการแช่กรด HCl อย่างเดียวพบคะแนน BI ระหว่าง 1.00-2.65 และผลไม่แช่สารพบคะแนน BI เกินระดับการยอมรับภายใน 7 วันเนื่องจากผลได้รับอันตรายจากอาการสะท้อนหนาว (ตารางที่ 4 ภาคผนวก) นอกจากนั้นผลไม่แช่สารพบว่าค่าความสว่าง (ค่า L^*) ที่มีค่าต่ำที่สุด (ตารางที่ 5 ภาคผนวก) สอดคล้องกับคะแนน BI ที่สูงที่สุด การแช่กรดเกลือ 3 นาทีหลังรม SO_2 ช่วยเพิ่มคุณภาพการยอมรับของผู้บริโภคด้านสีผิวเปลือกนอกและด้านรสชาติให้สูงขึ้นกว่าการรม SO_2 อย่างเดียวเมื่อเก็บ

รักษานาน 21 วัน โดยเฉพาะสีผิวเปลือกที่แดงหลังการแช่กรดพบค่าคะแนนการยอมรับสูงขึ้นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 7 และ 8 ภาคผนวก) สอดคล้องกับการวัดสีพบว่าค่าสีแดง (a^*) ของการแช่กรดเกลือพบค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่แช่กรดอย่างชัดเจน (ตารางที่ 6 ภาคผนวก) สาเหตุที่ผิวเปลือกผลลึ้นที่หลังรม SO_2 เปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเนื่องจาก SO_2 จะพอกสีผิวโดยเข้าไปรวมตัวกับรงควัตถุแอนโทไซยานินกลายเป็น colourless anthocyanin- SO_3H complex จึงจำเป็นต้องแช่กรดเพื่อให้สีผิวกลับคืนมาเป็นสีแดงได้เร็วขึ้น กรณีไม่แช่กรดเปลือกจะคืนสีแดงไม่เกิน 70% เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเนื่องจากสารซัลไฟต์สลายตัวและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเก็บรักษา การแช่กรดช่วยลด pH เปลือกให้ต่ำลง และให้รงควัตถุสีแดง (anthocyanin) ของเปลือกกลับคืนเร็วและสม่ำเสมอ (สัณห์ , 2538) แต่มีแนวโน้มทำให้การเกิดโรคเกิดขึ้นเร็วกว่าการรม SO_2 อย่างเดียว และผลนี้เร็วขึ้น (ตารางที่ 9 ภาคผนวก) โดยสรุปแล้ว การรมควันด้วย SO_2 ทุกความเข้มข้น + แช่กรดเกลือช่วยเพิ่มคุณภาพการยอมรับในสีผิวเปลือกให้สูงขึ้น และยังมีคุณภาพการยอมรับด้านรสชาติสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไม่แช่กรด โดยการรมด้วย SO_2 0.73% + แช่กรดเกลือพบค่าการยอมรับด้านรสชาติสูงกว่าทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 7 และ 8 ภาคผนวก) นอกจากนั้นพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้พบค่าระหว่าง 15.70 – 20.35% พบค่าไม่แตกต่างกันและลดลงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาครบ 28 วัน แต่พบว่าการแช่กรดหลังรมพบมีแนวโน้มพบค่าสูงกว่ารมอย่างเดียวการแช่กรดมีผลทำให้รสชาติเนื้อหวานขึ้น (ตารางที่ 10 ภาคผนวก)

ในด้านเทคนิคการรมควันเมื่อพิจารณาตามห้องรมขนาด 6.9 m^3 ใหญ่เกินไปสัดส่วนไม่สมดุลระหว่างน้ำหนักลำไย (ตัน) กับปริมาตรห้อง (m^3) อัตราส่วนที่ว่าง 1 : 69 ค่อนข้างมากกว่าเกณฑ์กำหนดไว้ระหว่าง 1 : 15 - 1 : 6 (ประมาณ 40-100 ต่กร้า) (Tongdee, 1994) ก๊าซอาจจะลอยในช่องว่างในห้องทำให้รมแล้วการตกค้างในผลที่บรรจุในตระกร้าที่ตำแหน่งล่างต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ลิ้นจี่จัดเรียงตามเกณฑ์ ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการรมลิ้นจี่พันธุ์ฮวยควรอยู่ระหว่าง 0.73-1.3% โดยใช้เวลารมนาน 45 นาทีเท่ากัน ผลสอดคล้องกับการสำรวจการรมในลิ้นจี่โดยสมเพชรและคณะ (2557) พบว่าการสำรวจการรมควันแบบเผาผงกำมะถันจำนวน 4 โรงรมลิ้นจี่พันธุ์ฮวย พบว่าโรงรมคำนวณการใช้กำมะถันที่มีความเข้มข้น SO_2 ไม่เกิน 0.9% โดยอัตราส่วนที่ว่าง 1:13 รมนาน 45 นาที พบการตกค้างในเนื้อและเปลือกทันทีเท่ากับ 6.47 และ 1,802.02 ppm ตามลำดับ ค่าตกค้างในเนื้อผลไม้ไม่เกินมาตรฐาน EU (10 ppm) ความเข้มข้นที่ใช้จริงสูงกว่าคำแนะนำของ Tongdee (1994) กับลิ้นจี่พันธุ์ฮวยและจักรพรรดิที่แนะนำไว้ที่ 0.3-0.45 % ส่วนคำแนะนำให้รม 2% สูงเกินไป ทำให้การตกค้างสูงและผลยุบตัวลงไวขึ้นเพราะเนื้อผลลึ้นที่มีน้ำมากนั่นเองแตกต่างกันลำไย



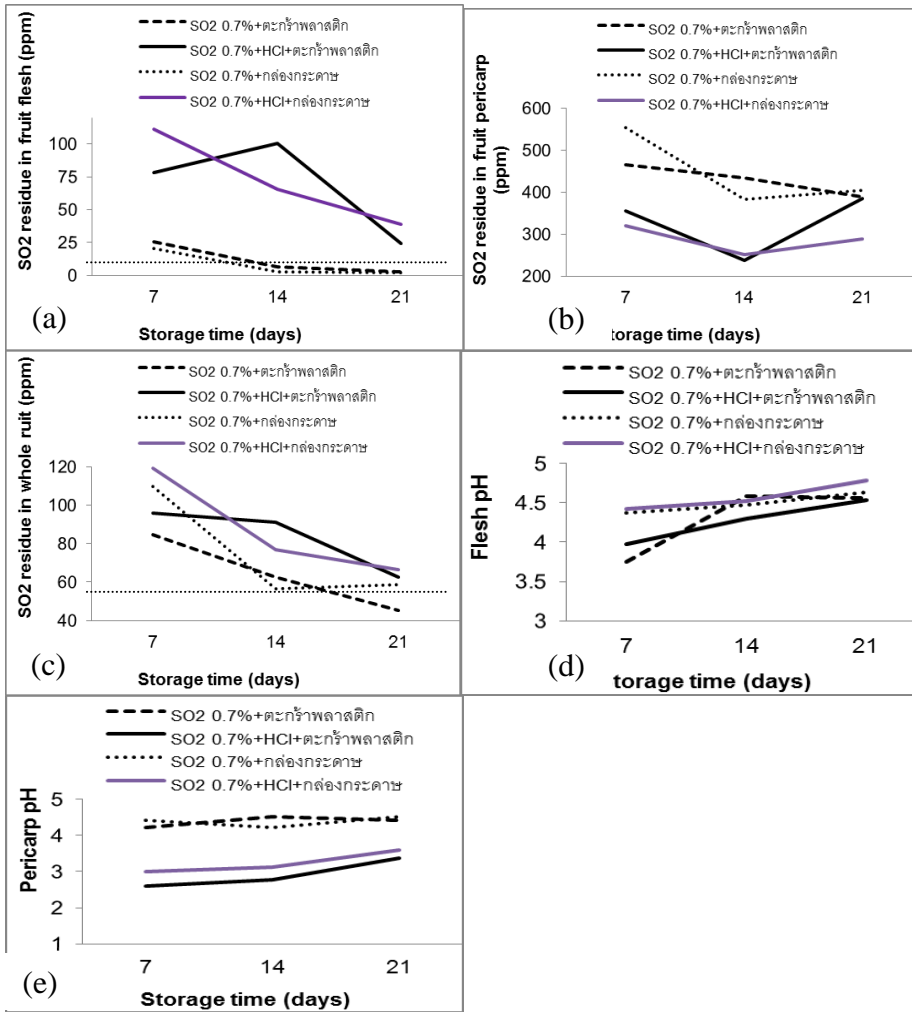
ภาพที่ 1 การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อผลหลังการรมควันเปรียบเทียบระหว่างผลที่ไม่แช่กรด (a) และ แช่กรดเกลือ 5% นาน 3 นาที (b) โดยรม SO_2 เข้มข้น 0.16 0.73 และ 0.13% นาน 45 นาที และเก็บรักษานาน 28 วัน ที่อุณหภูมิ 8°C , 55-65% RH



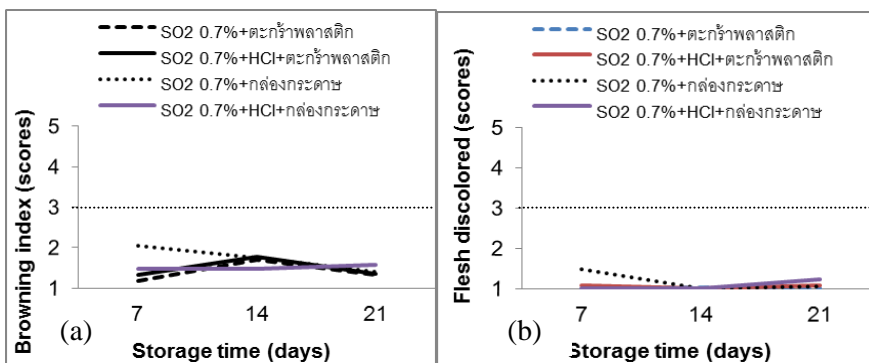
ภาพที่ 2 การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกผลหลังการรมควันเปรียบเทียบระหว่างผลที่ไม่แช่กรด (a) และแช่กรดเกลือ 5% นาน 3 นาที (b) โดยรม SO_2 เข้มข้น 1.3 0.73 และ 0.13% นาน 45 นาที และเก็บรักษานาน 28 วัน ที่อุณหภูมิ 8°C , 55-65% RH.

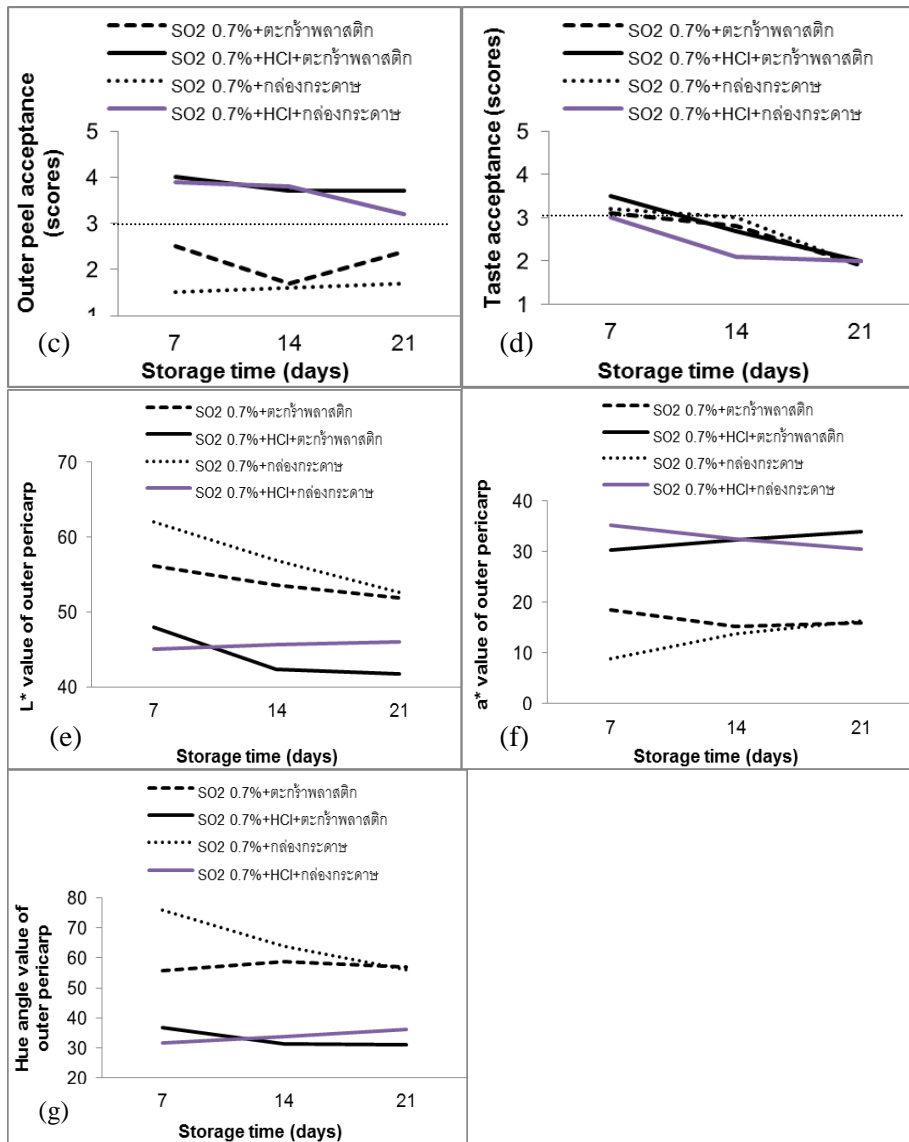
8.2 ทดสอบรูปแบบการรมควันและบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการตกค้างและคุณภาพลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย

พบว่ากรรม SO_2 0.7% นาน 45 นาที และไม่แช่ HCl 5% นาน 3 นาที และเก็บในตะกร้าพลาสติกน้ำหนัก 3 และกล่องกระดาษพบค่า SO_2 ตกค้างในเนื้อผลต่ำกว่า 10 ppm (มาตรฐาน EU) ภายหลังจากเก็บรักษาผ่านไป 14 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรรม SO_2 0.7% นาน 45 นาที + แช่กรด HCl ที่ความเข้มข้นเดียวกันและเก็บรักษาในตะกร้าพลาสติกหรือลังกระดาษซึ่งพบค่า SO_2 สูงเกินค่ามาตรฐาน EU ตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 3a) เนื่องจากเปลือกแห้งจากการเก็บไว้อายุกรรม 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง เมื่อรมควัน SO_2 ซึมเข้าไปในเนื้อมากกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมทดลองแรกที่เก็บและรมวันเดียวกันพบการตกค้างต่ำกว่าชัดเจนสอดคล้องกับผลของ Lemmer and Kruger (2001) พบว่าการเก็บรักษาไว้ 1 คืนหลังรมพบการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อสูงขึ้น ส่วนค่าตกค้างของ SO_2 ในเปลือกผลพบสอดคล้องกับผลการทดลอง 8.1 คือ การแช่กรดหลังรมค่าการตกค้างในเปลือกลดลง (ภาพที่ 3b) มีผลทำให้ค่าตกค้างเมื่อคำนวณทั้งผลลดลงตามไปด้วย (ภาพที่ 3c) และพบว่าทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเนื้อ (ภาพที่ 3d) คะแนนการเปลี่ยนน้ำตาลของเปลือกผล (ภาพที่ 4a) คะแนนการเปลี่ยนสีของเนื้อผล (ภาพที่ 4b) และการยอมรับด้านรสชาติ (ภาพที่ 5d) แต่การแช่กรดหลังรมมีผลทำให้ค่าพีเอชเปลือกลดต่ำลง (ภาพที่ 3e) ทำให้การตกค้างของ SO_2 ในเปลือกลดแต่ในเนื้อเพิ่มขึ้น และพบว่าคะแนนการยอมรับสีผิวเปลือกนอกของกรรม SO_2 0.7% + แช่ HCl พบค่าสูงกว่ารมอย่างเดียวสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ (ภาพที่ 4c) สอดคล้องกับค่า a^* ที่สูงขึ้น (ภาพที่ 4f) ดังนั้นกรรม SO_2 และแช่กรด HCl เพื่อให้สีผิวคืนสีแดงจึงลิ้นจี่ที่ใช้รมต้องเก็บเกี่ยวและรมวันเดียวกันจะลดปัญหานี้ได้



ภาพที่ 3 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อการสลายตัวของ SO₂ ในลิ้นจี่พันธุ์ฮวยในเนื้อผล (a) เปลือกผล (b) ทั้งผล (c) ค่าพีเอชเนื้อ (d) และพีเอชเปลือก (e) ระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 °C, 45% RH นาน 21 วัน

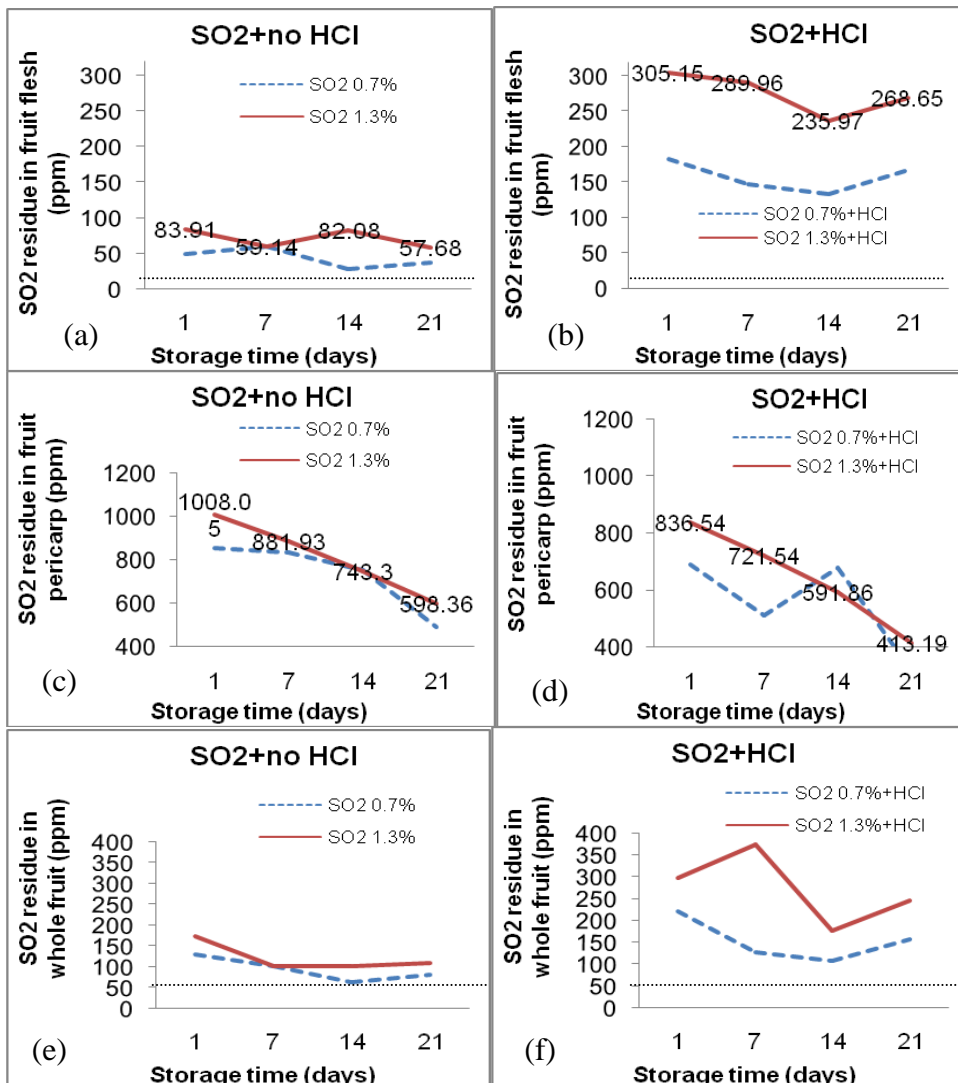


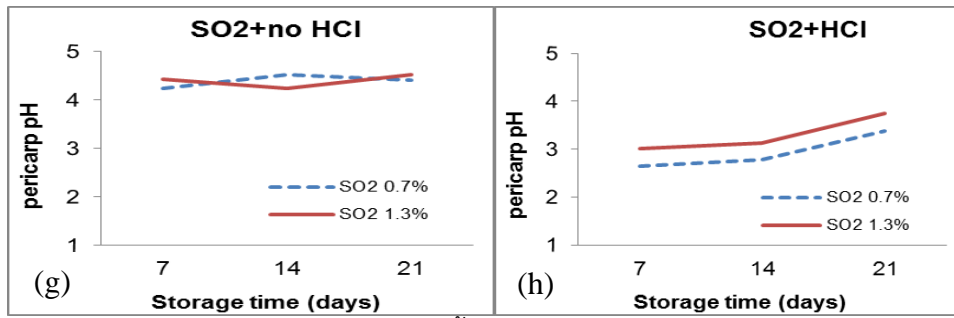


ภาพที่ 4 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือก (a) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (b) การยอมรับของผู้บริโภคสีผิวเปลือกนอก (c) การยอมรับด้านรสชาติ (d) ค่าความสว่างของผิวเปลือก L* (e) ค่าสีแดงค่า a* (f) และ hue angle (g) ในลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 °C, 45% RH

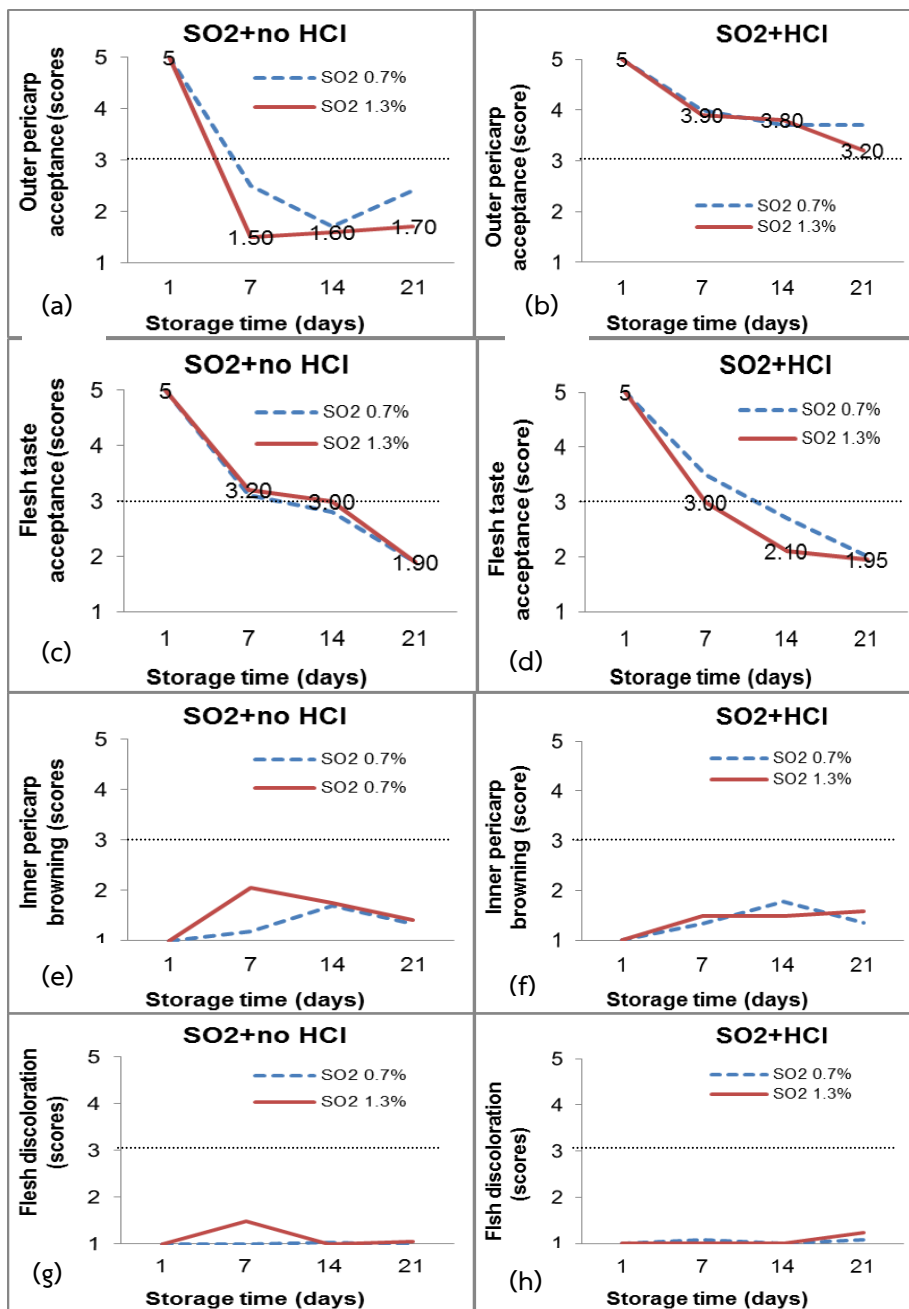
7.3 ทดสอบการรมควันลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิส่งออก คุณภาพผลและการสลายตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเขตภาคเหนือตอนบน พบว่าการรม SO₂ 0.7 – 1.3% นาน 45 นาที กับลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิทุกกรรมวิธีพบค่า SO₂ ตกค้างในเนื้อเกินค่ามาตรฐาน EU (10 ppm) (ภาพที่ 5a-b) การรมกับพันธุ์จักรพรรดิควรลดความเข้มข้น SO₂ ให้ต่ำลง หรือลดเวลาการรมให้น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ฮวงฮวย การรม SO₂ นาน 45 นาที+แช่ HCl 5% ค่าตกค้างของ SO₂ ในเนื้อผลสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรม SO₂ อย่างเดียว (ภาพที่ 5a-b) สอดคล้องกับผลการทดสอบกับลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยการทดลองที่ผ่านมา ส่วนการตกค้างในเปลือกผลและการตกค้างเมื่อคำนวณทั้งผลพบว่าผลลิ้นจี่รม SO₂ อย่างเดียวพบค่าสูงกว่าการแช่กรดหลังรม (ภาพที่ 5 c-f) นั้นสอดคล้องกับการทดสอบกับลิ้นจี่ฮวงฮวยในการทดลองที่ผ่านมาเช่นเดียวกับค่าพีเอชเปลือกพบว่าผลแช่กรดพบค่าต่ำกว่าผลรม SO₂ อย่างเดียว (ภาพที่ 5 g-h)

การยอมรับคุณค่าด้านสีผิวเปลือกนอกพบว่าการรวม SO_2 + แสงกรด HCl พบค่าการยอมรับสูงสุดอายุการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับรมอย่างเดียว (ภาพที่ 6 a-b) การใช้ SO_2 0.7%+HCl และ SO_2 1.3%+HCl ทั้งสองกรรมวิธีพบค่าคะแนนการยอมรับด้านสีผิวยอมรับได้นาน 3 และ 4 สัปดาห์ตามลำดับ (ภาพที่ 6b) ในขณะที่การรวม SO_2 อย่างเดียวทุกความเข้มข้นพบการยอมรับของผู้บริโภคต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ (3.0) ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาเนื่องจากสีผิวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจากผลการพอกสีของ SO_2 การแช่กรดเกลือเพื่อคืนสีทำให้การยอมรับสูงขึ้นสอดคล้องกับการทดสอบกับพันธุ์ฮวงฮวย ในขณะที่การยอมรับด้านรสชาติพบว่าการรวม SO_2 0.7%+HCl และ SO_2 1.3% +HCl ทั้งสองความเข้มข้นพบค่าต่ำกว่าการรวม SO_2 อย่างเดียวในสัปดาห์แรกแต่อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีมีค่าลดลงและไม่แตกต่างกันเมื่อเก็บรักษาผ่านไปสองสัปดาห์เป็นต้นไป (ภาพที่ 6 c-d) เนื่องจากผลลำไยพันธุ์จักรพรรดิมีน้ำมากกว่าพันธุ์ฮวงฮวยทำให้ผลบวบเร็วขึ้นกว่า ค่าการยอมรับจึงต่ำกว่าปกติ ผลสอดคล้องกับเบญจมาศและคณะ (2550) พบว่าการรมลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิรมด้วย SO_2 และทำ cold treatment ระหว่างขนส่งไปประเทศออสเตรเลีย จะพบปัญหาเมื่อถึงตลาดปลายทางคือ ผลลิ้นจี่กว่า 20% จะมีการยุบตัว คาดว่ารมด้วยความเข้มข้นสูงเกินไป นอกจากนี้พบว่าการใช้ SO_2 1.3% อย่างเดียวและ SO_2 1.3%+HCl ลดการเกิดโรคได้ดีกว่าทุกกรรมวิธี





ภาพที่ 5 การสลายตัวของสาร SO_2 ในลีนจี่พันธุ์จักรพรรดิหลังการรมด้วย SO_2 0.7 และ 1.3% + แช่หรือไม่แช่กรดเกลือในเนื้อผล (a-b) ในเปลือกผล (c-d) ทั้งผล (e-f) และพีเอชเปลือก (g-h) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C , 45% RH.



ภาพที่ 6 ผลของการรมด้วย SO₂ 0.7 และ 1.3% + แห้งหรือไม่แห้งกรดเกลือในลีนจี่พันธุ์จักรพรรดิต่อคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในสีผิวเปลือก (a-b) รสชาติ (c-d) คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล (e-f) และคะแนนการเปลี่ยนสีของเนื้อผล (g-h) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C, 45% RH.

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบการรมลีนจี่พันธุ์ฮวงฮวยพบว่ากรรม SO₂ 0.73% รมนาน 45 นาที + แห้งกรดเกลือพบค่าการยอมรับของผู้บริโภคด้านสีผิวเปลือกมีค่าสูง และรักษาคุณภาพเนื้อ ที่สำคัญพบค่าตกค้างต่ำกว่า 10 ppm เมื่อเก็บรักษานาน 7 วันที่ 8 °C และ การรมลีนจี่พันธุ์ฮวงฮวยด้วย SO₂ ความเข้มข้น 0.7% ไม่ควรทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้องแล้วนำมารมในวันถัดไป เพราะทำให้ค่าการตกค้างในเนื้อสูงเกินมาตรฐาน โดยพบว่ากรรม SO₂ และเก็บรักษาในตะกร้าพลาสติกห่อกระดาษเหมาะสมที่สุดเพราะทนทานต่อการขนส่งมากกว่ากล่องกระดาษ

2. การทดสอบการรมลีนจี่พันธุ์จักรพรรดิด้วย SO₂ ความเข้มข้น 0.7-1.3% รมนาน 45 นาทีร่วมกับการแห้งกรดหรือไม่แห้ง พบค่า SO₂ หลังรมเกินมาตรฐาน EU (10 ppm) โดยควรลดความเข้มข้นของการใช้ SO₂ ให้ต่ำกว่า 0.7% หรือลดเวลาการรมให้น้อยลง

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ใช้เป็นแนวทางในการจัดทำมาตรฐานการรมควินด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลีนจี่แต่ละสายพันธุ์เพื่อการส่งออกต่อไป สามารถส่งออกไปทางเรือไปต่างประเทศได้ เช่น ประเทศที่เข้มงวดได้แก่ EU หรือออสเตรเลีย

11. คำขอขอบคุณ (ถ้ามี) เจ้าหน้าที่สวพ.1 และผู้ประกอบการโรงคัดบรรจุลีนจี่ และฝ่ายสถิติ กรมวิชาการเกษตร

12. เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 200 หน้า.

นิธิยา รัตนพานนท์ และदनัย บุญเกียรติ. 2543. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีระหว่างการเก็บรักษาผลลีนจี่ที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 31(1-6):13-24.

เบญจมาศ รัตนชินกร; วีระอนงค์ คำศิริ; สุพัตรา วิชาชัย; จตุพร สิงห์โต; สายฉัตร พงศ์กระวี 2546. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของลีนจี่ที่ผ่านการปรับสภาพสีผิว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 34(4-6 (Suppl.): 72-75.

สันต์ ละอองศรี. 2538. ผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต่อคุณภาพ และสีผิวของลีนจี่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ดุสิตบัณฑิต (สาขาวิชาชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2538. 233 หน้า.

สมเพชร เจริญสุข, เกียรติศักดิ์ นักผูก และวิทยา อภัย. 2558. การสำรวจวิธีการยืดอายุ และทดสอบการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลีนจี่ส่งออก รายงานผลงานวิจัยสิ้นสุดประจำปี 2557 สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 หกจ.ดราวรรณการพิมพ์ กันยายน 2558.161-180.

AOAC. 2005. *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.

Lemmer, D. and Kruger, F.J. 2001. Identification and quantification of the factors influencing sulphur dioxide residue levels in South African export litchi fruit. *Acta Horticulturae* 558: 331-337.

Paull, R.E., M.E. Reyes, M. Reyes. 1998. Sulfite residues on litchi fruit with sulfur dioxide. *Postharv. Biol. Technol.* 14:229-233.

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.

13. ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อการตกค้าง SO₂ ในเนื้อผลภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21	28
ค่าที่ยอมรับได้	(EU)	10	10	10	10	10
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.16	0	2.47	0.00	0.31	0.20	0.24
	5	0.56	0.00	0.12	0.17	0.44
0.73	0	9.99	0.26	0.26	1.00	0.28
	5	35.60	0.73	0.00	0.38	0.41
1.3	0	25.70	2.93	7.79	0.13	0.55
	5	64.82	12.48	5.68	1.97	4.26

ตารางที่ 2 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อการตกค้าง SO₂ ในเปลือกผลภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21	28
ค่าที่ยอมรับได้						
0	0	0.00 d	0.00 d	0.00	0.00	0.00 b
	5	0.00 d	0.00 d	0.00	0.00	0.00 b
0.16	0	643.12 bc	338.03 ab	224.95	186.70	254.35 ab
	5	170.71 cd	135.85 cd	312.69	156.21	181.77 ab
0.73	0	969.05 ab	425.38 a	318.68	194.24	125.97 ab
	5	167.00 cd	195.23 bc	284.90	183.41	185.76 ab
1.3	0	1,245.40 a	334.65 ab	243.37	191.65	375.95 a
	5	312.67 cd	213.80 bc	286.12	221.50	119.61 ab

ตารางที่ 3 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อการตกค้าง SO₂ ลินจีทั้งผลภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21	28
ค่าที่ยอมรับได้	(Codex)	50	50	50	50	50
0	0	0.00 c	0.00 d	0.00 b	0.00	0.00 b
	5	0.00 c	0.00 d	0.00 b	0.00	0.00 b
0.16	0	109.82 b	48.21 ab	23.05 ab	22.29	30.80 ab
	5	29.17 bc	21.16 c	34.46 a	17.80	20.28 ab
0.73	0	255.69 a	59.59 a	27.98 ab	23.41	11.30 ab
	5	81.92 bc	25.87 c	31.41 ab	19.62	21.83 ab
1.3	0	224.07 a	53.93 a	32.11 ab	22.75	35.41 a
	5	93.08 b	34.22 bc	32.30 ab	27.11	14.90 ab

ตารางที่ 4 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกนอกภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21	28
ค่าที่ยอมรับได้	≤ 3.0					
0	0	2.05 a	4.05 a	4.00 a	5.00 a	5.00 a
	5	1.00 b	1.35 bc	2.55 b	2.65 b	2.35 b
0.16	0	1.00 b	1.00 c	1.80 c	1.35 c	1.45 c
	5	1.00 b	1.30 bc	1.85 c	1.65 c	1.85 bc
0.73	0	1.15 b	1.65 b	1.40 c	1.60 c	1.50 c
	5	1.15 b	1.55 b	1.80 c	1.80 bc	1.95 bc
1.3	0	1.05 b	1.45 b	1.50 c	1.65 c	1.65 c
	5	1.15 b	1.25 bc	1.70 c	1.95 bc	1.85 bc

ตารางที่ 5 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อค่าความสว่าง (L*) ของสีผิวเปลือกนอกภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21	28
0	0	54.57 c	51.10 c	38.97 c	37.12 d	39.79 d
	5	57.51 bc	50.16 c	48.45 b	48.35 bc	50.86 bc
0.16	0	65.90 a	62.86 a	57.22 a	53.35 ab	57.01 a

	5	55.32 c	50.88 c	48.09 b	45.42 c	47.66 c
0.73	0	65.71 a	61.18 ab	56.48 a	57.39 a	55.85 ab
	5	58.65 bc	47.18 c	48.27 b	48.90 bc	47.89 c
1.3	0	66.37 a	55.65 abc	56.37 a	49.64 bc	56.77 a
	5	61.84 ab	53.41 bc	48.79 b	50.87 abc	45.70 c

ตารางที่ 6 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อค่าสีแดง (a*) ของสีผิวเปลือกนอกภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21	28
0	0	6.38 bc	19.30 a	11.43 c	12.22 b	12.98 b
	5	16.18 a	5.06 b	27.87 a	26.09 a	22.04 ab
0.16	0	2.95 c	2.71 b	12.78 bc	12.28 b	12.50 b
	5	14.35 a	22.50 a	26.55 a	31.09 a	23.45 ab
0.73	0	3.15 c	3.58 b	11.53 c	13.26 b	11.24 b
	5	13.07 a	17.54 a	24.03 abc	23.66 ab	28.42 a
1.3	0	1.80 c	7.86 b	12.10 bc	20.58 ab	9.13 b
	5	10.14 ab	17.69 a	25.09 ab	20.70 ab	31.16 a

ตารางที่ 7 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อการยอมรับของผู้บริโภคด้านสีผิวเปลือกนอก หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C, 85% RH นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21
ค่าที่ยอมรับได้	≥3.0		≥3.0	≥3.0	≥3.0
0	0		1.63 b	1.38 d	1.67 d
	5		4.13 a	4.00 ab	4.50 a
0.16	0		2.88 ab	2.38 bcd	2.33 cd
	5		3.88 a	4.13 a	4.17 ab
0.73	0		2.63 ab	2.25 cd	2.33 cd
	5		3.50 ab	3.63 abc	3.67 abc
1.3	0		2.75 ab	2.38 bcd	2.67 bcd
	5		3.63 a	3.63 abc	3.67 abc

ตารางที่ 8 ผลของระดับความเข้มข้นของ SO₂ และ HCl ต่อการยอมรับของผู้บริโภคด้านรสชาติของเนื้อผลหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C, 55-65% RH นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21
ค่าที่ยอมรับได้	≥3.0		≥3.0	≥3.0	≥3.0
0	0		2.38	1.75	1.67
	5		3.25	2.88	3.33
0.16	0		3.00	2.00	2.33
	5		2.38	2.13	3.67
0.73	0		2.63	1.88	3.33
	5		2.88	2.63	3.33
1.3	0		2.88	1.38	2.33
	5		3.00	2.38	2.67

ตารางที่ 9 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อการเน่าเสียภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25-32 °C) นาน 30 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
ค่าที่ยอมรับได้	≤25%										
0	0	0.00	0.00	30.00	50.00	70.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	5	0.00	20.00	20.00	50.00	60.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
0.16	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00	30.00	100.00
	5	0.00	10.00	10.00	10.00	20.00	40.00	60.00	80.00	80.00	100.00
0.73	0	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	20.00	20.00	40.00	70.00	100.00
	5	0.00	30.00	10.00	20.00	40.00	70.00	70.00	90.00	90.00	100.00
1.3	0	0.00	0.00	10.00	30.00	30.00	40.00	40.00	40.00	40.00	100.00
	5	0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	30.00	30.00	40.00	50.00	100.00

ตารางที่ 10 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (%brix) ได้ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21	28
0	0	17.60	17.80	17.35	17.35	17.50
	5	19.20	18.15	17.85	17.60	17.60
0.16	0	17.60	17.85	18.55	18.50	18.70
	5	19.10	17.75	18.40	17.55	18.35
0.73	0	18.60	15.70	17.20	16.75	17.75
	5	19.65	17.00	16.95	16.75	18.05
1.3	0	18.45	17.70	17.55	18.10	17.90
	5	20.35	17.05	19.55	19.95	18.00

ตารางที่ 11 ผลของ SO₂ และ HCl ต่อปริมาณวิตามินซีในเนื้อผล (mg/g FW) ได้ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °C นาน 28 วัน

SO ₂ (%)	HCl (%)	1	7	14	21	28
0	0	0.004	0.007	0.023	0.005	0.005
	5	0.011	0.013	0.028	0.008	0.006
0.16	0	0.009	0.002	0.005	0.008	0.007
	5	0.008	0.014	0.021	0.008	0.007
0.73	0	0.016	0.018	0.019	0.012	0.011
	5	0.016	0.017	0.043	0.014	0.012
1.3	0	0.005	0.004	0.005	0.005	0.007
	5	0.004	0.004	0.004	0.005	0.006

ข้อที่ 12

ปริมาณกำมะถันที่ใช้ในการเผาเพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการรมภายในห้องรมโดยเทียบการรมของลำไยตามมาตรฐานมกษ.1004-2557 ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนัก SO}_2 (\text{กรัม}) &= S + M \\ &= (A \times B \times C) + (D \times E) \end{aligned}$$

S = ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เหลือในห้องรม เมื่อสิ้นสุดการรม (กรัม)

$$= (A \times B \times C)$$

M = ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ล้นจี้ดูดซับไว้ (กรัม)

$$= (D \times E)$$

โดยที่ A = ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลือในห้องรม เมื่อสิ้นสุดการรม (เปอร์เซ็นต์)

B = ปริมาตรที่วางในห้องรม (ลูกบาศก์เมตร)

C = ความหนาแน่นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ 30 องศาเซลเซียส (2.574 กรัม/ลิตร)

D = น้ำหนักของล้นจี้ (กิโลกรัม)

E = อัตราการดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อล้นจี้ (กรัม/กิโลกรัม)