

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยเพื่อการส่งออกสำเร็จ ล่วงได้โดยได้รับความร่วมมือจากคณะนักวิจัยในหลายหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตรทั้งห้องปฏิบัติการกลุ่ม พัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1 และศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ รวมทั้งผู้ประกอบการ โรงคัดบรรจุ/โรงรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลำไยส่งออก และผู้ส่งออกนำเข้าลำไย เป็นต้น เจ้าหน้าที่ฝ่ายสถิติ กอง แผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตรที่เอื้อเฟื้อในการให้คำแนะนำการวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผล และหน่วยงานสนับสนุน ได้แก่ ผศ.ดร.ชรินทร์ เตชะพันธุ์ รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่สำหรับการให้ คำปรึกษาเกี่ยวกับเครื่องมือวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ผศ.ดร.กานดา หวังชัย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับความอนุเคราะห์การใช้เครื่องอบโอโซนต้นแบบเพื่อลดสารตกค้างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดส่งออก ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์เชียงใหม่สำหรับการอนุเคราะห์เครื่องผลิตโอโซนระหว่างการทดสอบ บริษัท Tessara (Pty) Ltd. ประเทศแอฟริกาใต้สำหรับการสนับสนุนแผ่นระเหยทางการค้ายี่ห้อ Uvasys® ในการทดสอบ Ms Luk Seow Cheng จากสำนักงานอาหารและสัตว์แห่งประเทศสิงคโปร์ (Agri-Food & Veterinary Authority, AVA) สาธารณรัฐสิงคโปร์สำหรับคำแนะนำวิธีวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งผลของประเทศสิงคโปร์ น.ส.หทัยรัตน์ คลองดี และผู้เกี่ยวข้องที่ช่วยเหลือในการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง ดร.นิพัฒน์ สุขวิบูลย์ อดีตหัวหน้าชุดโครงการวิจัยและพัฒนาลำไยและผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการจัดการพืชที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ (ภาคเหนือตอนบน) สวพ.1 นายอุทัย นพคุณวงศ์ และนายจำรอง ดาวเรือง อธิบดีกรมวิชาการเกษตร และ ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืช และปัจจัยการผลิต สวพ.1 และบริษัทส่งออกทุกท่าน ได้แก่ บริษัทหยวนเซิงเพรชจำกัด ที่สนับสนุนการทดลอง ลำไยและการประยุกต์ใช้การแช่กรดเกลือในเชิงการค้าลำไยส่งออกและการทดสอบในสถานประกอบการจนการ ส่งออกประสบความสำเร็จ รวมทั้งบริษัทอินเตอร์เพรชจำกัด (ชินฮั่ว) บริษัทรอยัล 88 (พงษ์เจริญ) บริษัทลำพู บริษัทมาโนชการค้า และบริษัทโอเคอินเตอร์เพรชสำหรับการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่โรงรม และการทดสอบการ ส่งออกไปสาธารณรัฐสิงคโปร์ สาธารณรัฐประชาชนจีน ประเทศแคนาดา ประเทศฝรั่งเศส เป็นต้น และทุกท่านที่ ได้ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานต่างๆ ของโครงการ คณะทำงานโครงการขอขอบคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

- | | | |
|----------------------------------|---|----------------|
| 1. นายวิทยา อภัย | นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ
สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 | หัวหน้าโครงการ |
| 2. นายสถิตย์พงศ์ รัตนคำ | วิศวกรการเกษตรชำนาญการ
ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ | ผู้ร่วมงาน |
| 3. นางสาวสุทธิณี ลิขิตตระกูลรุ่ง | นักวิชาการเกษตรชำนาญการ
สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 | ผู้ร่วมงาน |
| 4. นายณัฐนัย ตั้งมั่นคงวรกุล | นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ
สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 | ผู้ร่วมงาน |
| 5. นายสมเพชร เจริญสุข | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 | ผู้ร่วมงาน |
| 7. นายเกรียงศักดิ์ นักผูก | วิศวกรการเกษตรชำนาญการพิเศษ
ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ | ผู้ร่วมงาน |
| 6. นายสนอง อมฤกษ์ | วิศวกรการเกษตรชำนาญการพิเศษ
ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ | ผู้ร่วมงาน |
| 7. นายปรีชา ชมเชียงคำ | นายช่างเครื่องกลชำนาญงาน
ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ | ผู้ร่วมงาน |
| 8. นายชัยวัฒน์ เผ่าสันตตพาศินชัย | วิศวกรการเกษตรชำนาญการพิเศษ
ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ | ผู้ร่วมงาน |
| 9. นายเกรียงไกร สุภโตษะ | ผู้เชี่ยวชาญด้านมาตรฐาน
คุณภาพสินค้าเกษตร
กองพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐาน
สินค้าพืช | ผู้ร่วมงาน |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

SO ₂	=	sulfur dioxide	AVA	=	Agri-Food & Veterinary Authority of Singapore
HCl	=	hydrochloric acid (กรดเกลือ)	มม.	=	มิลลิเมตร
ClO ₂	=	chlorine dioxide	ชม.	=	ชั่วโมง
O ₃	=	ozone gas	BI	=	Browning index
°C	=	Degree Celsius	มกษ 1004-2557	=	มาตรฐานบังคับกระบวนการรมผลไม้ด้วย SO ₂
MRL	=	Maximum residue limit	SOP	=	Standard operating procedure
ML	=	Maximum use limit	GMP	=	Good Manufacturing Practice
กก.	=	กิโลกรัม	L*	=	Lightness
CRD	=	Completely randomized design	C*	=	Chroma
ppm	=	Part per million	h°	=	Hue angle
Solution pH	=	ความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย	GFP	=	Good Fumigation practice
Pericarp pH	=	ความเป็นกรดเป็นด่างของเปลือกผล	BI	=	Browning index
Flesh pH	=	ความเป็นกรดเป็นด่างของเนื้อผล (น้ำคั้น)	FDI	=	Flesh discoloration index
GAP	=	Good agricultural practice	SMS pad	=	แผ่นระเหยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์
A, AA	=	ลำไยเกรดเอ และเอเอ	Codex	=	Codex alimentarius
% RH	=	Relative humidity percentage	LLDPE	=	Linear low density polyethylene
SMS	=	Sodium metabisulphite	AOAC	=	Association of Official Analytical Chemists
กพป.	=	กลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต	DRSD pads	=	Dual release sulfur dioxide pads
สวพ.1	=	สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1	I ₂	=	ไอโอดีน
กมพ.	=	กองพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช	ศวศ.ชม.	=	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม เชียงใหม่

บทนำ

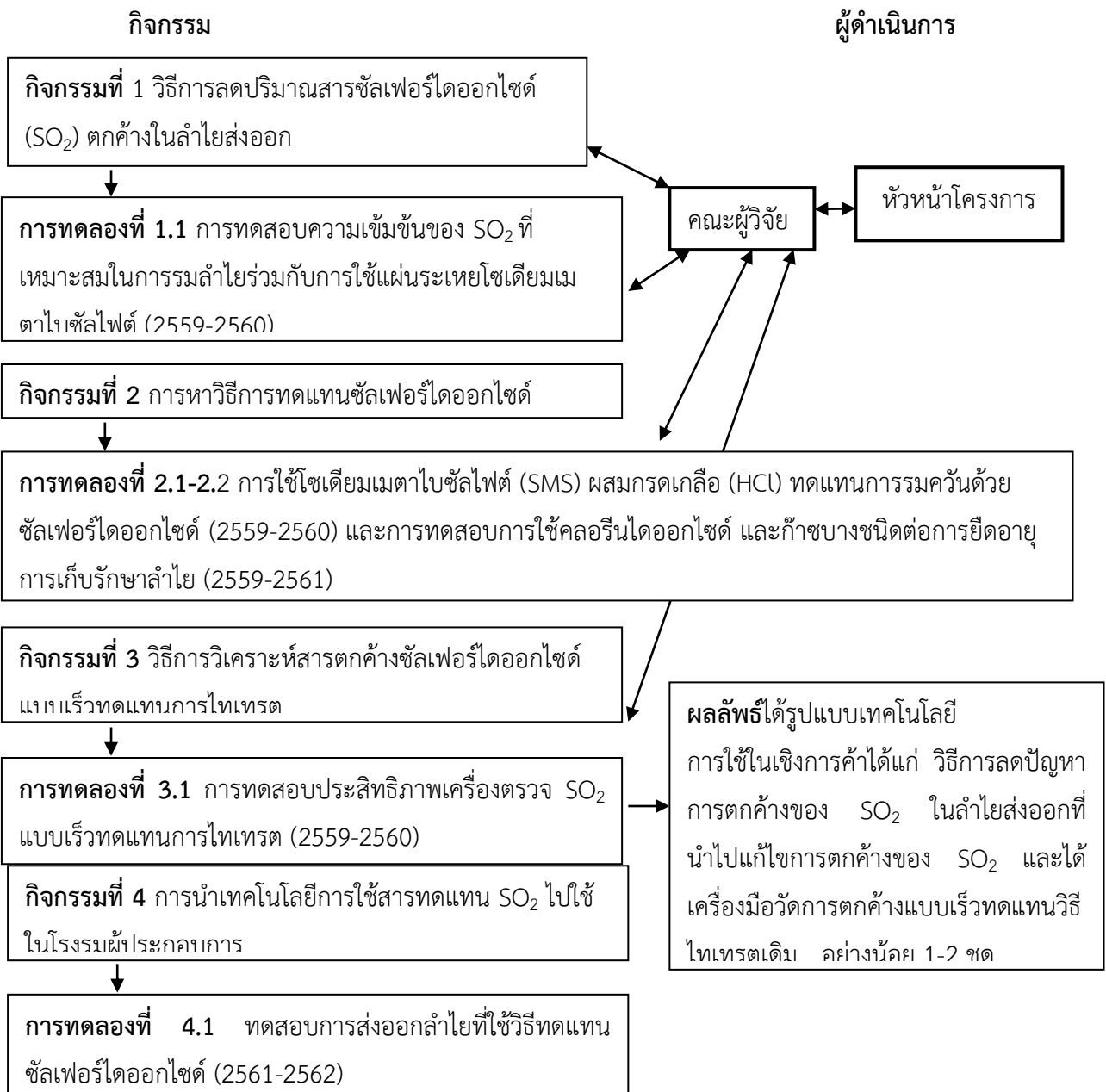
1. ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

โครงการพัฒนาเทคโนโลยีการลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยเพื่อการส่งออกเป็นโครงการหนึ่งที่อยู่ภายใต้ชุดโครงการวิจัยและพัฒนาลำไย ดำเนินการตั้งแต่ปี 2559-2562 ตามยุทธศาสตร์ เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันการส่งออกลำไยให้มีศักยภาพและปริมาณการส่งออกสูงขึ้น จนสามารถแข่งขันกับประเทศอื่นๆ ได้ และต่อมาปี 2562 ได้ปรับโครงการชุดโครงการวิจัยและพัฒนาลำไยให้ไปอยู่ในภายใต้แผนบูรณาการวิจัยและพัฒนา ชื่อแผนบูรณาการวิจัยและพัฒนาไม้ผลเศรษฐกิจ

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาวิธีการลดปัญหาการตกค้างของ SO_2 ในลำไยส่งออก
- 2.2 เพื่อหาเทคโนโลยียืดอายุเก็บรักษาลำไยทดแทน SO_2
- 2.3 เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบการตกค้างของ SO_2 ที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการวิจัย



พัฒนาเทคโนโลยีการลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยเพื่อการส่งออก

วิทยา อภัย¹ สติത്യพงศ์ รัตนคำ² สุทธิณี ลิขิตตระกูลรุ่ง¹ ณัฐนัย ตั้งมั่นคงวรกุล¹
 เกรียงศักดิ์ นักผูก² สมเพชร เจริญสุข¹ สอนง อมฤกษ์² ชัยวัฒน์ เผ่าสันทัตพาณิชย์²

คำสำคัญ : ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างทั้งผล กรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความผิดปกติของสีเนื้อ การทดสอบการส่งออก เครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบเทคโนโลยีในการลดปัญหาการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และยืดอายุการเก็บรักษาลำไยเพื่อการส่งออกดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2559 – 2562 ณ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 (สวพ.1) จังหวัดเชียงใหม่ การทดสอบใช้ลำไยพันธุ์ดอกเกรด A ที่บรรจุไว้ในตะกร้าพลาสติกขนาด 11.5 กก. โดยทดสอบรวมทั้งหมด 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1) รม SO₂ ความเข้มข้น 1.5% + แผ่นระเหยทางการค้า (Uvasys[®]) ที่ปล่อยสาร SO₂ จากสาร sodium metabisulfite (SMS pad) ที่เคลือบอยู่บนแผ่น, 2) แช่ในกรดเกลือ (hydrochloric acid, HCl) ความเข้มข้น 5% + SMS ความเข้มข้น 1% นาน 5 นาที, 3) รมก๊าซโอโซน (O₃) นาน 2 ชั่วโมง (ชม.) + รม SO₂ ความเข้มข้น 1.5%, 4) รม SO₂ ความเข้มข้น 1.5% + รมก๊าซ O₃ นาน 1 ชม. และ 5) รม SO₂ วิธีทางการค้า ความเข้มข้น 1.5% (Control) นำไปเก็บรักษาที่ 5°C นาน 40 - 80 วัน พบว่ากรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพดีและเป็นไปได้ คือ การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.5% + O₃ นาน 1 ชม. และวิธีการแช่ใน HCl ความเข้มข้น 5% + SMS ความเข้มข้น 1% นาน 5 นาที ช่วยลดการเกิดโรคได้นาน 70 และ 50 วัน ตามลำดับ และช่วยลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกและการเปลี่ยนสีของเนื้อผลเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 90% (RH) ได้นานเท่ากัน 80 และ 50 วัน การแช่ HCl ความเข้มข้น 5% + SMS ความเข้มข้น 1% มีค่า SO₂ ตกค้างคำนวณทั้งผลต่ำที่สุดไม่เกินมาตรฐานของประเทศสิงคโปร์ที่อ้างอิงค่ามาตรฐาน Codex (≤ 50 ppm) ตลอดอายุการเก็บรักษา สรุปลแล้ว การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.5% + O₃ นาน 1 ชม., รม SO₂ ความเข้มข้น 1.5%, การแช่ HCl ความเข้มข้น 5% + SMS ความเข้มข้น 1%, รม O₃ นาน 2 ชม. + SO₂ ความเข้มข้น 1.5% และ SO₂ ความเข้มข้น 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 SO₂ โดยเฉพาะปัญหาเร่งด่วนในลำไยส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ พบว่าการแช่ HCl ความเข้มข้น 5% + SMS ความเข้มข้น 1% นาน 5 นาที เป็นทางเลือกหนึ่งในเชิงการค้าสามารถใช้ยืดอายุลำไยส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ได้เนื่องจากพบค่าตกค้าง SO₂ ทั้งผลมีค่า 11.74 – 16.04 ppm ผลการทดสอบการส่งออกเป็นที่น่าพอใจ และสามารถรักษาคุณภาพผล ได้แก่

^{1/} สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ต. แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

^{2/} ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

สีผิวเปลือก สีเนื้อที่ผิดปกติ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นานเพียงพอตลอดเวลาการขนส่ง และวางจำหน่ายนาน 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 °C, 85% RH โดยมีอายุการวางจำหน่ายนาน 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเปรียบเทียบลำไยไม่แช่สารวางจำหน่ายได้นานเพียง 2-3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ด้วยวิธีคูโลมเมตริกไทเทรชัน จากวิธีชรินทร์ และวัฒนากร (2550) โดยการศึกษาการทำปฏิกิริยาของ SO₂ กับไอโอดีนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ไฟฟ้าในสถานะที่เป็นกรด และหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับความเข้มข้น SO₂ แล้วจึงสร้างเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) วงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ 2) วงจรจับเวลาที่จ่ายกระแสไฟฟ้า และ 3) ระบบการกวนผสม จากนั้นทดสอบหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนกับความเข้มข้นของ SO₂ ได้จากสารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulfate สมการที่ได้ คือ $y = 0.0464x$, $R^2 = 0.9144$ และทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วเปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่รม SO₂ มีค่าการตกค้างต่ำกว่า 50 ppm พบว่า การวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วตรวจพบค่าการตกค้างของ SO₂ ในเนื้อใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) จึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์คัดกรอง (Screening) เบื้องต้นกับตัวอย่างลำไยที่ผ่านการรม SO₂ ได้ และเครื่องต้นแบบมีต้นทุนประมาณ 50,000 บาท โดยจุดคุ้มทุนของต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต อยู่ที่ 179 ตัวอย่าง

Study on Technological Development for Reducing the Sulfur Dioxide Residue Problem in Fresh Longan (*Dimocarpus longan*) for Exporting

Wittaya Apai¹ Satippong Rattanakam² Suttinee Likhitragulrung¹
 Nuttanai Tangmunkongvorakul¹ Kriangsak Nukphuk¹ Sompech Charoensuk¹ Sanong Amaroek²
 Chaiwat Paosantanpanid^{2/}

Key words: sulfur dioxide (SO₂) residue in whole fruit, hydrochloric acid (HCl), sodium metabisulfite (SMS), flesh discoloration, export testing, rapid SO₂ detection equipment.

ABSTRACT

The objective of this study was to test some alternative ways to decrease sulfur dioxide (SO₂) 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 2016-2019. 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 SO₂ 1.5% + sodium metabisulfite (SMS)-impregnated pad (Uvasys[®]) that give slow release of SO₂ (SO₂ 1.5% + SMS pad), dipping in hydrochloric acid (HCl) 5% mixed with SMS 1% for 5 min (HCl 5% + SMS 1%), ozone (O₃) fumigation for 2 hours (h) prior to SO₂ 1.5% (O₃ 2 h + SO₂ 1.5%), SO₂ 1.5% prior to O₃ fumigation for 1 h (SO₂ 1.5% + O₃ 1 h) and fruits fumigated with SO₂ 1.5% alone as commercial treatment (SO₂ 1.5%). They were stored at 5 °C, 90% RH for 40-80 days. The results found that the possible treatments, i.e. SO₂ 1.5% + O₃ 1 h and HCl 5% + SMS 1% could control disease incidence for 70 and 50 days respectively at 5 °C. 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 SO₂ residue in whole fruit not exceeding Codex and Singapore tolerant limit of 50 ppm throughout period of time. The fruit treated with SO₂ 1.5% + O₃ 1 h, SO₂ 1.5%, HCl 5% + SMS 1%, O₃ 2 h + SO₂ 1.5% and SO₂ 1.5% + SMS pad could prolong storage life for 40+5, 40+5, 40+5, 30+5 and 30+<5 days respectively at 5°C, 90% RH and (+) display for sale at room temperature. Testing cooperated with an exporter for some alternative ways to decrease SO₂ residue problem in fresh longan for export to Singapore was recently urgently investigated. It was found that dipping in HCl 5% +

^{1/}Office of Agricultural Research and Development Region 1, Mae Hea, Muaeng, Chiang Mai

^{2/} Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Muaeng, Mae Hea, Chiang Mai

SMS 1% for 5 min could be commercially used for extending shelf life of fresh longan exported to Singapore due to less SO₂ residue in whole fruit ranging from 11.74 to 16.04 ppm. Fruit qualities, i.e. pericarp browning, flesh discoloration and disease incidence was maintained for 14 days at 5 °C, 85% 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.

Performance testing of the rapid sulfur dioxide (SO₂) detection equipment by coulometric titrations method following Techapun and Kaewpakdee (2007) to replace standard method (AOAC, 2016) was carried out. This principle was initially from the study of the reaction of SO₂ with iodine produced by electrolysis in acidic conditions and then determines the relationship between the times taken to react with the SO₂ concentration. It was then building the rapid SO₂ detection equipment, consists of three main parts: 1) constant current supply 2) timer circuit that supplies electricity and 3) mixing system. Testing for the relationship of iodine coloring time to 0-300 ppm SO₂ interval produced from formaldehyde sodium bisulfite as a standard solution, the equation was $y = 0.0464x$, $R^2 = 0.9144$ and tested the efficiency with longan samples use fumigated with SO₂. The results showed that it was the residual SO₂ content of fruit pulp was not different from that of standard titrations method (AOAC, 2016) and the prototype cost about 50,000 baht. The breakeven point of the prototype was 179 samples.

กิจกรรมที่ 1

วิธีการลดปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ตกค้างในลำไยส่งออก

ณัฐนัย ตั้งมั่นคงวรกุล¹ วิทยา อภัย¹

คำสำคัญ : แผ่นระเหยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยี่ห้อ Uvasys[®] ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์
ถุงพลาสติกเจาะรูชนิดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

บทคัดย่อ

ลำไยเป็นไม้ผลส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ปกติลำไยมีการเน่าเสียในเวลาอันสั้น จึงใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์รมลำไยเพื่อให้สีผิวเปลือกสวย และช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ในปัจจุบันประเทศคู่ค้ามีกฎระเบียบที่เข้มงวดในการจำกัดค่าการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยนำเข้า ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย เพื่อการส่งออกโดยใช้แผ่นระเหย หลังรมลำไยด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นำแผ่นระเหยยี่ห้อ Uvasys[®] ขนาด 260x440 มิลลิเมตร ชนิด dual phase ประกอบกับแผ่นกระดาษซับพิษชูแล้ววางไว้ด้านบน และด้านล่างภายในตะกร้าลำไย จากนั้นคลุมทั้งตะกร้าด้วยถุงพลาสติกชนิด linear low density polyethylene (LLDPE) เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร และนำตะกร้าลำไยไปเก็บรักษาที่ห้องเย็น อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส การทดสอบความเข้มข้นของการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมกับการใช้แผ่นระเหยผลิตจากโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โดยตรวจปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยและอายุการเก็บรักษา ผลการทดสอบ พบว่า วิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการยืดอายุการเก็บรักษา คือการรมควันซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยที่จำหน่ายยี่ห้อ Uvasys[®] ยืดอายุได้นาน 30 วันที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

^{1/} สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ต. แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

Research Activity I
Technological Development on Reducing Sulfur Dioxide Residue in Longan
***(Dimocarpus longan)* for Export**

Nuttanai Tangmunkongvorakul¹ Wittaya Apai¹

Key words: sulfur dioxide generating sheet (Uvasys[®]) sulfur dioxide residue, sodium metabisulfite (SMS), perforated linear low density polyethylene (LLDPE) bag.

Abstract

Longan is an important exporting fruit for Thailand. Normally, the longan is very short shelf life due to fruit rot. Sulfur dioxide fumigation has been commercially used to bleach the brighter yellow peel color and thus extend the shelf life for longan. At present, the imported countries have restricted the rules to limit the amount of sulfur dioxide residue in the imported longan. Therefore, development technologies to reduce sulfur dioxide residue in the exporting fresh longan incorporated with SO₂ generated pads was needed. After fumigation with sulfur dioxide, a sulfur dioxide generating sheet with dual phase type (260x440 mm.) (Uvasys[®]) was put on a sheet of tissue paper and then inserted the top and the bottom of position inside longan basket. After that, the whole basket was covered with the perforated linear low density polyethylene (LLDPE) bag with the size of 0.3 cm Ø hole. They were stored at 5 °C. The suitable concentration of sulfur dioxide is tested cooperate with sodium metabisulfite generating sheets for determination of the sulfur dioxide residue in longan was carried out. The results found that the appropriate method for extend the shelf life was sulfur dioxide fumigation with the concentration at 1.3% incorporated with Uvasys[®] generating sheets could extend the shelf life for 30 days when kept at 5 °C.

^{1/}Office of Agricultural Research and Development Region 1, Muaeng, Mae Hea, Chiang Mai

บทนำ

ลำไย (longan) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญที่จัดอยู่ในกลุ่มสินค้าเพื่อการส่งออก โดยลำไยสดส่วนใหญ่จะส่งออกไปยังประเทศจีน อินโดนีเซีย และเวียดนาม และคู่แข่งที่สำคัญในการผลิตลำไย คือ เวียดนาม และจีน สำหรับประเทศไทยพื้นที่การผลิตลำไยอยู่ในเขตภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย และตาก เป็นผลผลิตลำไยทั้งในและนอกฤดู ส่วนภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรีซึ่งเป็นผลผลิตลำไยนอกฤดูเท่านั้น โดยพันธุ์ส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์อีตอง ลำไยในภาคเหนือออกสู่ตลาดช่วงกลางเดือนกรกฎาคม และออกสู่ตลาดมากที่สุดในเดือนสิงหาคมของทุกปี ในปี 2557 มีปริมาณการส่งออกลำไยสด 410,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 9,500 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ปัจจุบันประเทศคู่ค้ามีกฎระเบียบในการนำเข้าลำไย เช่น จีนกำหนดให้ลำไยต้องมาจากแปลงที่ได้รับการรับรอง GAP และโรงคัดบรรจุ/โรงรมต้องได้รับการรับรอง GMP/GFP ต้องมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อลำไยไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโรงรม ต้องมีการจัดทำเอกสาร standard operating procedure (SOP) สำหรับการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามมาตรฐาน มกษ 1004-2557 ลำไยมีอายุการเก็บรักษาเพียง 2-3 วันสีผิวเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเน่าเสียง่าย จึงมีการรมลำไยด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อให้สีผิวเปลือกสวยและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ปัญหาที่พบ คือพบค่าตกค้างเกินมาตรฐานที่ปลายทางและผลลำไยรมกำมะถันความเข้มข้นสูงและเก็บบรรจุในตะกร้าพลาสติกส่งทางเรือพบปัญหาการสูญเสียน้ำหนักและเนื่อยุบตัวลงทำให้อายุการวางจำหน่ายที่ปลายทางสั้นลง และพบว่าการลดการตกค้างหลังรมควันทันที ได้แก่ การเป่าบำบัด การล้างน้ำไอโซน น้ำเกลือ น้ำคลอรีนสามารถลดการตกค้างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้เฉพาะเปลือกเท่านั้นแต่เนื้อผลยังขาดวิธีการที่มีประสิทธิภาพ การรมก๊าซไอโซนนาน 1 ชั่วโมงขึ้นไปหลังการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดการตกค้างในเนื้อได้การใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปริมาณ 0.4% จากถังก๊าซโดยตรงช่วยลดการตกค้างในเนื้อผลได้แต่มีต้นทุนสูงถึง 13,000 บาท/ถัง การใช้แผ่นระเหยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้รมผลยังไม่เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจอาจลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ การรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยเผาผงกำมะถันแบบเดิมที่ใช้ปริมาณกำมะถันต่ำ 1 ครั้งและใช้แผ่นในถุงพลาสติกเจาะรูแพคใส่ตะกร้าก่อนส่งออกช่วยลดการเน่าเสีย ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและเพิ่มอายุการวางจำหน่ายที่ปลายทาง

การศึกษาโดย Uthairatanaki et al. (2010) พบการรมผลลำไยจากเชียงใหม่ และบรรจุในกล่องกระดาษ (cardboard box) บุด้วยฟิล์ม polyethylene bag (PE) นำไปใส่แผ่นระเหยแบบ dual phase จำนวน 2-3 แผ่น (dual release sulfur dioxide (DRSD) pads) เปรียบเทียบกับลำไยไม่ใช้แผ่นระเหยและไม่บุพลาสติก และทุกกรรมวิธีผ่านการฉายรังสีแกมมาฆ่าแมลง โดยจำลองสภาพขนส่งทางเรือไปประเทศสหรัฐอเมริกา มีคุณภาพดีนาน 30 วัน ที่ 2 องศาเซลเซียส และการตกค้างในเปลือกลดลงและไม่พบสาร ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในเนื้อผล ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและรักษาค่าความหวาน (% brix)

การศึกษาร่วมระหว่างการใช้ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แบบ slow release กับถุงพลาสติกชนิดต่างๆ ต่อการควบคุมโรคเน่าของลำไยซึ่งเป็นปัญหาสำคัญสำหรับส่งออกทางเรือ จำนวน 2-3 แผ่นต่อถุงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95% นาน 28 วัน พบว่าลำไยที่บรรจุในถุงแอคทีฟ (active packaging) ร่วมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ grape guards จำนวน 3 แผ่น/ถุง สามารถชะลอการเกิดโรคเน่าได้ดี โดยมีการเกิดโรค

ผลเน่าเท่ากับ 11.42 % และสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกได้ดีที่สุด ตลอดจนมีคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคสูงเมื่อเปรียบกับการเก็บในฟิล์มโพลีโพลีลีน (PP) (ผ่องเพ็ญ และอภิรดี, 2550)

การศึกษาการใช้วัสดุให้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสด พบว่าวิธีการที่ใช้แผ่นวัสดุสำเร็จรูป UVASYS® และวิธีการใช้แผ่นกระดาษซึบสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) เข้มข้น 17% พบการตกค้างที่เปลือกต่ำกว่าวิธีการใช้ถุงผ้าบรรจุ KMS ปริมาณ 10 กรัม และวิธีการรมควันทางการค้า พบว่าผลลำไยรมควันทางการค้ายังมีคุณภาพดีกว่าลำไยใช้แผ่นระเหยอย่างเดียว ผลลำไยที่ใช้วัสดุให้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีคุณภาพดีนาน 13-25 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับรมควันทางการค้าอย่างเดียวยังมีคุณภาพดีนาน 29 วัน จึงพบว่าการใช้วัสดุให้สารอย่างเดียวพบการตกค้างต่ำกว่า และมีอายุสั้นกว่าวิธีการรมควันอย่างเดียว หากสามารถนำมาปรับใช้แบบผสมผสานกันได้โดยรมควันด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมร่วมกับการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่มีแผ่นระเหยที่เหมาะสมจะทำให้คุณภาพดียิ่ง และการยอมรับด้านคุณภาพและเทคโนโลยียังต้องศึกษาต่อไป (บุชรา และคณะ, 2550)

การใช้แผ่นระเหยร่วมกับการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงน่าสนใจนำมาใช้ทดสอบลดการตกค้างลำไยส่งไปต่างประเทศได้ โดยทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษา และการตกค้างเปรียบเทียบกับวิธีการการค้า และการยอมรับของผู้บริโภค

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

การทดลองที่ 1 การทดสอบความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เหมาะสมในการรมลำไยร่วมกับการใช้แผ่นระเหยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2558 – กันยายน 2560 ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1

1) การทดสอบความเข้มข้นของการรมควันร่วมกับการใช้แผ่นระเหยผลิตจากโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ต่อการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยส่งออก วางแผนการทดลองแบบ 3x2 factorial in RCB จำนวน 3 ซ้ำ โดย ปัจจัยที่ 1 อัตราซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้รม 3 อัตรา ได้แก่ 1.5 1.3 และ 1.0% (ความเข้มข้นตาม S-Table) และปัจจัยที่ 2 แผ่นระเหยขนาด 260x440 มิลลิเมตร สำหรับตะกร้า 11.5 กิโลกรัม ได้แก่ ไม้ไผ่ และแบบไม้ไผ่ 6 กรรมวิธีมี 6 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 (T1) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.5% + ไม้ไผ่แผ่นระเหย (no pad)

กรรมวิธีที่ 2 (T2) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.3% + ไม้ไผ่แผ่นระเหย (no pad)

กรรมวิธีที่ 3 (T3) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.0% + ไม้ไผ่แผ่นระเหย (no pad)

กรรมวิธีที่ 4 (T4) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.5% + ไม้ไผ่แผ่นระเหย (pad)

กรรมวิธีที่ 5 (T5) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.3% + ไม้ไผ่แผ่นระเหย (pad)

กรรมวิธีที่ 6 (T6) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.0% + ไม้ไผ่แผ่นระเหย (pad)

วิธีการดำเนินการ เตรียมลำไยพันธุ์ดีออกจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP จังหวัดเชียงใหม่ นำคัสดผลเกรดเอบรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกความจุ 11.5 กิโลกรัม จัดเรียงในห้องรมและรมกำมะถันด้วยวิธีการเผาผงกำมะถันของซิง ซิง ทองดีและคณะ (2541) คำนวณน้ำหนักกำมะถันตามมาตรฐาน มกษ. 1004-2557 รมซัลเฟอร์ได

ออกไซด์ความเข้มข้น 1.5 1.3 และ 1.0% จะมีน้ำหนักกำมะถันที่ใช้เท่ากับ 0.60 0.43 และ 0.34 กิโลกรัม ตามลำดับโดยใช้ห้องรมปริมาตร 18.696 ลูกบาศก์เมตร การรมครั้งละ 12 ตะกร้าใช้เวลารมนาน 60 นาที และดูดบำบัดนาน 30 นาที จากนั้นนำออกจากห้องรมมาเป่าบำบัดด้วยพัดลมอุตสาหกรรมนาน 30 นาทีเท่ากัน หลังรมควัณนำมาบรรจุใส่ตะกร้าที่รองพื้นด้วยแผ่นระเหยยี่ห้อ Uvasys[®] ขนาด 260x440 มิลลิเมตร ชนิด dual phase จำนวน 2 แผ่นต่อตะกร้าโดยวางไว้ด้านบนและด้านล่างประกบกับแผ่นกระดาษซับทิชชูจากนั้นสวมทั้งตะกร้าด้วยถุงพลาสติกชนิด linear low density polyethylene (LLDPE) เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และนำตะกร้าลำไปเก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% แบ่งเป็นสองชุด ชุดแรกส่งแถบเอเชียสุ่มทุก 7 วันนานตั้งแต่วันที่ 1-28 วัน และชุดที่สองส่งออกไปยุโรป เก็บรักษานาน 28 วันจึงสุ่มทุก 7 วันจนครบ 42 วัน

การบันทึกข้อมูล สุ่มตัวอย่างมา 1.5 กิโลกรัม วิเคราะห์คุณภาพทุกสัปดาห์ ได้แก่

- การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ เปลือก และทั้งผลด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2016) และวัด pH ของเปลือกและเนื้อผล
- ตรวจนับเปอร์เซ็นต์ผลดีคะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001) การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ค่า $L^* C^* h^{\circ}$) ความผิดปกติของสีเนื้อ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค
- เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก
- การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี hedonic scaling ระดับคะแนนตามความพึงพอใจในการชิม 5 ระดับ

2) การทดสอบความเข้มข้นของการรมควัณร่วมกับการใช้แผ่นระเหยผลิตจากโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ต่อการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยส่งออก (ทดสอบซ้ำ) การทดลองจำนวน 3 ซ้ำ มี 4 กรรมวิธีดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 (T1) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.5% + ไม่ใส่แผ่นระเหย (no pad)

กรรมวิธีที่ 2 (T2) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.3% + ไม่ใส่แผ่นระเหย (no pad)

กรรมวิธีที่ 3 (T3) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.5% + ใส่แผ่นระเหย (pad)

กรรมวิธีที่ 4 (T4) การรม SO₂ ความเข้มข้น 1.3% + ใส่แผ่นระเหย (pad)

วิธีการดำเนินการ เตรียมลำไยพันธุ์ดีจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP จังหวัดเชียงใหม่คัดผลเกรดเอบรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกความจุ 11.5 กิโลกรัม จัดเรียงในห้องรมและรมกำมะถันด้วยวิธีการเผาผงกำมะถันของ ชิง ชิง ทองดีและคณะ (2541) คำนวณน้ำหนักกำมะถันตามมาตรฐาน มกษ. 1004-2557 รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ความเข้มข้น 1.5 และ 1.3% จะมีน้ำหนักกำมะถันที่ใช้เท่ากับ 0.60 และ 0.43 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยใช้ห้องรมปริมาตร 18.696 ลูกบาศก์เมตร รมครั้งละ 6 ตะกร้า ใช้เวลารมนาน 60 นาที และดูดบำบัดนาน 30 นาที จากนั้นนำออกจากห้องรมมาเป่าบำบัดด้วยพัดลมอุตสาหกรรมนาน 30 นาทีเท่ากัน หลังรมควัณนำมาบรรจุใส่ตะกร้าที่รองพื้นด้วยแผ่นระเหยยี่ห้อ Uvasys[®] ขนาด 260x440 มิลลิเมตร ชนิด dual phase จำนวน 2 แผ่นต่อตะกร้าโดยวางไว้ด้านบนและด้านล่างประกบกับแผ่นกระดาษซับทิชชูจากนั้นสวมทั้งตะกร้าด้วยถุงพลาสติกชนิด linear low density polyethylene (LLDPE) เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และนำตะกร้าลำไป

เก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% นาน 11 วัน จากนั้นนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25-35 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน

การตรวจสอบคุณภาพ ทำภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน และหลังจากย้ายมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องทุก 2 วัน โดยทำการสุ่มตัวอย่าง ดังนี้

- สุ่มลำไย 1 กิโลกรัมต่อตะกร้า ตรวจสอบการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ เปลือก และทั้งผลด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2016) และวัด pH ของเปลือกและเนื้อผล

- สุ่มลำไย 1 กิโลกรัมต่อตะกร้า ตรวจสอบนับเปอร์เซ็นต์ผลดีคะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001) ความผิดปกติของสีเนื้อ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

3) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นระเหยที่เตรียมใช้เองกับแผ่นที่จำหน่ายทางการค้า

วางแผนการทดลองแบบ Split plot มี 3 ชั้น โดย Main plot คือ วิธีการรมลำไย 4 กรรมวิธี คือ T1, T2, T3 และ T4 ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 (T1) การรมควัน SO₂ ความเข้มข้น 1.3%

กรรมวิธีที่ 2 (T2) การรมควัน SO₂ ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยที่ผลิตเองโดยดัดแปลงจากวิธีของ บุขราและคณะ (2550)

กรรมวิธีที่ 3 (T3) การรมควัน SO₂ ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยที่จำหน่ายยี่ห้อ Uvasys[®]

กรรมวิธีที่ 4 (T4) รมกำมะถันวิธีทางการค้า

Sub plot คือ อายุการเก็บรักษา 4 ระยะ คือ 0 10 30 และ 60 วัน ใช้ผลผลิตลำไยพันธุ์อีดอ 3 ชั่วๆ ละ 11.5 กิโลกรัม (ตะกร้า)

วิธีการดำเนินการ เตรียมลำไยพันธุ์อีดอจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP จังหวัดเชียงใหม่คัดผลเกรดเอบรรจุใส่ตะกร้าพลาสติก 11.5 กิโลกรัม จัดเรียงในห้องรมและรมกำมะถันด้วยวิธีการเผาผงกำมะถันของชิง ชิงทองดีและคณะ 2541 ในอัตราตามกรรมวิธี หลังรมควันนำมาบรรจุใส่ฟิล์มพลาสติกชนิด Linear low density polyethylene (LLDPE) เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร บุกภายในตะกร้าใส่แผ่นระเหยยี่ห้อ Uvasys[®] ชนิด dual phase กับตะกร้า จำนวน 2 แผ่นต่อตะกร้า เปรียบเทียบกับแผ่นระเหยที่ทำขึ้นเองโดยดัดแปลงจากวิธีของบุขราและคณะ (2550) เป็นแผ่นกระดาษซับจุ่มสาร SMS ที่ความเข้มข้น 17% ขนาด 26x44 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่นต่อตะกร้าจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% นาน 0 10 30 และ 60 วัน โดยวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วันก่อนตรวจสอบคุณภาพทุกครั้ง

การตรวจสอบคุณภาพ สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพจำนวน 12 ตะกร้าต่อครั้ง ได้แก่

- การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ เปลือก และทั้งผลด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2016) และวัด pH ของเปลือกและเนื้อผล

- ตรวจสอบนับเปอร์เซ็นต์ผลดี และผลเสีย คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001) การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ค่า $L^* C^* h^{\circ}$) ความผิดปกติของสีเนื้อ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

- เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

- การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่

1. การเปลี่ยนสีน้ำตาล สุ่มจำนวน 10 ผลต่อซ้ำประเมินสีเปลือกนอกด้วยสายตา จากนั้นผ่าผลดูสภาพผิวเปลือกใน และความผิดปกติของสีเนื้อ โดยให้คะแนนในระดับ 1-5 คะแนนวัดคุณภาพผล
 - 1.1 การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยสดทั้งด้านนอกและในผลด้วยการให้คะแนนด้วยสายตาด้วยการประเมินการเปลี่ยนสีน้ำตาลแบบให้คะแนน (Browning index) บนผล 5 ระดับตามวิธีของ Jiang and Li (2001) ได้แก่ ระดับ 1 คือ ผลปกติไม่เปลี่ยนสีผิวเป็นสีน้ำตาล, ระดับ 2 คือ ผลเปลี่ยนสีน้ำตาลเล็กน้อย ระดับ 3 คือ ผลเปลี่ยนสีน้ำตาลน้อยกว่า 25% ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้งหมด ระดับ 4 คือ ผลเปลี่ยนสีน้ำตาลระหว่าง 25-50% ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้งหมด และระดับ 5 คือ ผลเปลี่ยนสีน้ำตาลมากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้งหมด ผลลำไยที่มีระดับคะแนนของการเกิดสีน้ำตาลที่พื้นที่ผิวเปลือกสูงกว่า 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 ผลต่อตะกร้าวัดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อเปลือก และทั้งผลด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2016) สุ่มจำนวน 10 ผลตรวจสอบหาค่า pH ของเปลือกและเนื้อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)
5. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในสีผิวเปลือกและคุณภาพเนื้อ ได้แก่ การทดสอบประสาทสัมผัสในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี hedonic scaling คะแนนความชอบ 5 ระดับโดยใช้ผู้บริโภคอย่างน้อย 10 คน ที่มีประสบการณ์ 2 ปีขึ้นไป

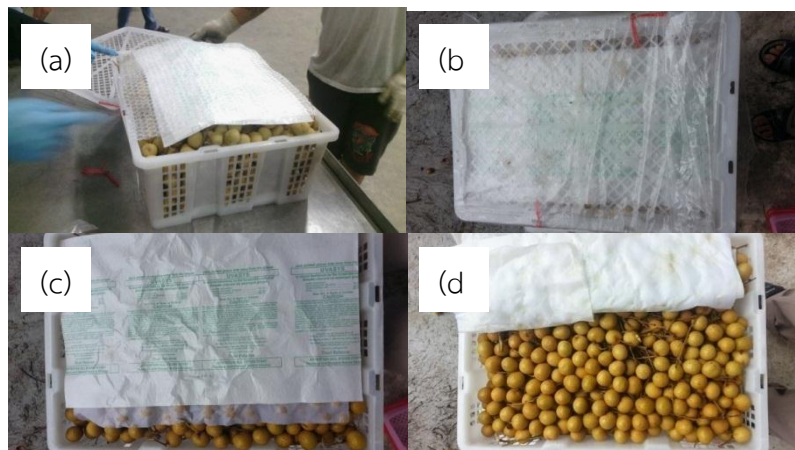
ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองที่ 1 การทดสอบความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เหมาะสมในการรมลำไยร่วมกับการใช้แผ่นระเหยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ การทดลองจากการใช้แผ่นระเหยร่วมกับการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยการทดสอบใช้แผ่นระเหยและฟิล์มพลาสติกพบว่าการใช้แผ่นระเหยชนิด dual phase ขนาด 260 x 440 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่นทั้งด้านล่าง และด้านบนตะกร้ากับผลลำไยไม่ได้รับควันร่วมกับการใช้คลุมตะกร้าด้วยถุงฟิล์มพลาสติก LLDPE เจาะรูมีการเน่าเสียจากเชื้อราต่ำกว่าทุกกรรมวิธี

1) การทดสอบความเข้มข้นของการรมควันร่วมกับการใช้แผ่นระเหยผลิตจากโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ต่อการตกค้าง ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยส่งออก พบว่า ความเข้มข้นทั้ง 3 ความเข้มข้นมีค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นโดยทุกกรรมวิธีการตกค้างในเนื้อต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับในเปลือกและทั้งผล

การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทุกความเข้มข้น+แผ่นระเหยไม่พบการเน่าเสียเมื่อเก็บรักษานาน 28 วัน ขณะที่การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทุกความเข้มข้น+ไม่ใช้แผ่นระเหยมีเชื้อราขึ้นอยู่ทุกกรรมวิธี การเก็บรักษาผลลำไยร่วมกับการเก็บในตะกร้าที่หุ้มทั้งตะกร้าด้วยฟิล์ม LLDPE เจาะรูมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตะกร้าสูง (สังเกตจากมีหยดน้ำเกาะใต้ถุง) ช่วยคงความสด และทำให้คุณภาพการบริโภคดีขึ้นแต่ทำให้เชื้อราเกิดได้เร็วขึ้น (ภาพที่ 1)

จากการทดลองจะให้เห็นว่าภาพที่ 1 มีปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อลำไย ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลำไยทั้งผล ไม่เกิน 350 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในเปลือกไม่ได้กำหนดไว้ว่าไม่เกินเท่าไร ซึ่งเปรียบเทียบกับค่าส่งออกถือว่าปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สามารถส่งออกได้ ส่วนการวัดสี สีที่มีค่าเป็น 0 สีนั้นจะไม่มีสี คือ สีขาว สีเทาหรือสีดำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า L^* เป็นค่าบอกความสว่างของสี มีตั้งแต่ 0-100 จะไม่มีหน่วย ถ้าค่า L^* มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าสีนั้นมีความสว่างสีดำสุด เป็นสีดำ แต่เมื่อค่า L^* มีค่ามากขึ้น แสดงว่าสีนั้นมีความสว่างมากขึ้น จนเท่ากับ 100 สีนั้นจะเป็นสีขาว (ไม่แสดงข้อมูล) และจากการที่นำตะกร้าที่มีลำไยมาใส่แผ่นระเหยและมีการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยก็จะทำให้เห็นว่าเมื่อถึง 28 วันทำให้มั่นใจว่าลำไยยังมีความสดและยังไม่เน่าเสียแสดงว่าลำไยยังสามารถยืดอายุการเก็บได้อีก



ภาพที่ 1 วันแรกใส่แผ่นระเหยหลังรม (a) หุ้มด้วยฟิล์ม LLDPE เจาะรู (b) หลังเปิดตะกร้าเมื่อครบ 28 วัน 5 °C (c) การรม SO_2 + pad ทุกความเข้มข้นไม่เน่าเสียและสภาพผิวมีคุณภาพดี (d) เป็นลำไยชุดที่สองที่จำลองสภาพส่งไปยุโรป

2) การทดสอบความเข้มข้นของการรมควันร่วมกับการใช้แผ่นระเหยผลิตจากโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ต่อการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยส่งออก (ทดสอบซ้ำ) พบว่า การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยลดความเข้มข้นเท่ากับ 1.3% + ใส่แผ่นระเหย (pad) มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 10% ไม่แตกต่างจากการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 1.5% + ใส่แผ่นระเหย (pad) ภายหลังจากย้ายจากอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 11 วันและนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 12 วัน จึงนำวิธีการนี้ไปทดสอบต่อในการทดลองที่ 3 ได้ ส่วนการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 1.3 และ 1.5%+ ไม่ใส่แผ่นระเหย (no pad) มีการเน่าเสีย 100% ทั้งสองกรรมวิธี อย่างไรก็ตาม

ตามทุกกรรมวิธีพบค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อ เปลือกผล และทั้งผลไม่แตกต่างกัน ในเนื้อทุกกรรมวิธีมีค่าต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (เกณฑ์ของ EU ในเนื้อไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของการกรรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการใช้แผ่นระเหยแบบ Dual phase แบบ slow release ต่อการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลลำไย ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน และย้ายมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 วัน

กรรมวิธี	การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในส่วนต่างๆ ของผล (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
	เนื้อผล		เปลือกผล		ทั้งผล	
	วันที่ 11	วันที่ 11+12	วันที่ 11	วันที่ 11+12	วันที่ 11	วันที่ 11+12
1.5% SO ₂ + no pad	1.44	NA	1,077.20	NA	171.98	NA
1.3% SO ₂ + no pad	1.34	NA	1,232.00	NA	178.8	NA
1.5% SO ₂ + pad	1.4	1.27	1,109.9	901.68	181.93	133.33
1.3% SO ₂ + pad	1.83	1.63	1,156.5	947.43	192.16	154.88

หมายเหตุ NA ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากเกิดการเน่าเสีย
Day ลำไยมีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C

การนำลำไยมาทำการทดสอบความเข้มข้นของการกรรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมกับการใช้แผ่นระเหยและไม้ใส่แผ่นระเหย เพื่อที่จะนำมาหาเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค การเน่าเสียและสารตกค้างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทุกกรรมวิธี จะเห็นได้ว่าการลดความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการกรรมไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค จึงควรเลือกใช้ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1.3% ในการกรรม เพื่อลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย และควรใช้ร่วมกับแผ่นระเหยเนื่องจากแผ่นระเหยมีการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างช้าๆ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคต่ำ

3) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นระเหยที่เตรียมใช้เองกับแผ่นที่จำหน่ายทางการค้า

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นระเหยที่เตรียมใช้เองกับแผ่นที่จำหน่ายทางการค้า พบว่า วิธีการที่ดีที่สุด คือ T3 การกรรมควั่นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยที่จำหน่ายยี่ห้อ Uvasys[®] ยึดอายุได้นาน 30 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส รองลงมา ได้แก่ T2 การกรรมควั่นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยที่ผลิตเองด้วยการดัดแปลงตามวิธีของบุษราและคณะ (2550) T4 รมกำมะถันวิธีทางการค้า และ T1 การกรรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.3% ตามลำดับ

การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยพบว่า T1-T4 มีปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ เปลือก และทั้งผล เมื่อเก็บไว้ที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 0 วัน ถึง 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน พบว่า ทุกกรรมวิธีมีค่าลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ส่งออก EU คือ ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี โดยกรรมวิธี T2 มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อมากที่สุด (ตารางที่ 2) ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเปลือกเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 0

วัน ถึง 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี (ตารางที่ 3) และ ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยทั้งผลเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 0 วัน ถึง 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ใน 0 วัน ถึง 30 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ใน 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน โดยกรรมวิธี T3 รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยยี่ห้อ Uvasys[®] มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยทั้งผลมากที่สุด (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 2 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 0 วัน ถึง 60 วันแล้ว นำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน (เกณฑ์การยอมรับส่งไป EU ≤ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

กรรมวิธี	ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อผล (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	วันที่ 0	วันที่ 10+3	วันที่ 30+3	วันที่ 60+3
	รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% (T1)	23.74a	2.12b	2.18b
รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยที่ผลิตเอง ด้วยวิธีของบุษราและคณะ (2550) (T2)	9.00b	2.14b	3.78a	3.50a
รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยยี่ห้อ Uvasys [®] (T3)	7.50b	1.62b	2.15b	1.48b
รมกำมะถันวิธีทางการค้า (รมแบบส่งจีน) (T4)	2.22b	4.05a	1.77b	1.19b
CV (%)	73.40	36.61	22.10	21.99
F-test	*	*	*	*

หมายเหตุ * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
a,b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 3 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเปลือกเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 0 วัน ถึง 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน

กรรมวิธี	ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเปลือกผล (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	วันที่ 0	วันที่ 10+3	วันที่ 30+3	วันที่ 60+3
รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% (T1)	1576.42	1020.48	837.87	540.75
รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยที่ผลิตเองด้วยวิธีของบุษราและคณะ (2550) (T2)	1932.27	1043.62	851.84	704.00
รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยยี่ห้อ Uvasys® (T3)	1678.41	1064.18	796.89	817.68
รมกำมะถันวิธีทางการค้า (รมแบบส่งเงิน) (T4)	1388.66	1772.31	801.45	747.64
CV (%)	18.67	47.07	17.02	27.73
F-test	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยทั้งผลเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 0 วัน ถึง 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน

กรรมวิธี	ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยทั้งผล (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	วันที่ 0	วันที่ 10+3	วันที่ 30+3	วันที่ 60+3
รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% (T1)	241.98	142.35	128.54	85.32c
รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยที่ผลิตเองด้วยวิธีของบุษราและคณะ (2550) (T2)	261.52	161.07	129.22	114.15ab
รม SO ₂ ความเข้มข้น 1.3% + แผ่นระเหยยี่ห้อ Uvasys® (T3)	223.94	151.52	137.56	127.80a
รมกำมะถันวิธีทางการค้า (รมแบบส่งเงิน) (T4)	187.11	127.01	101.96	96.65bc
CV (%)	16.55	19.9	10.91	12.69
F-test	NS	NS	NS	*

หมายเหตุ NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

a,b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

จุดประสงค์ของการใช้แผ่นระเหยที่ตัวเองกับแผ่นระเหยทางการค้าหรือรมปกติทางการค้า ก็เพื่อที่จะเปรียบเทียบการเก็บรักษาลำไยโดยดูว่าอย่างไรจะสามารถเก็บรักษาได้นานกว่ารวมทั้งปริมาณของสารตกค้าง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่พบ เพื่อจะหาวิธีที่ดีที่สุด คุณภาพการเก็บรักษาพบว่าการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกนอกและเนื้อของลำไยเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ที่ 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน พบว่า มีค่าไม่เกินเกณฑ์การยอมรับและไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี เพอร์เซ็นต์การเกิดโรค พบว่า กรรมวิธี T1, T2 และ T3 มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเท่ากับ 100 เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน แต่ T4 มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 31.00 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เพอร์เซ็นต์ผลดีของลำไย พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน โดยกรรมวิธี T4 รมกำมะถันวิธีทางการค้ามีเปอร์เซ็นต์ผลดีน้อยที่สุด คือ 6.00% ส่วน T1, T2 และ T3 มีเปอร์เซ็นต์ผลดีของลำไยเกิน 40 เปอร์เซ็นต์ผลนิ่มของลำไย พบว่า T4 รมกำมะถันวิธีทางการค้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน โดยกรรมวิธี T4 มีเปอร์เซ็นต์ผลนิ่มของลำไยต่ำที่สุด คือ 66.00% ค่าความเป็นกรด/ด่างในเปลือกและเนื้อ พบว่า โดยภาพรวมค่าความเป็นกรด/ด่างในเปลือกมีค่า pH ประมาณ 4

การยอมรับของผู้บริโภค พบว่า คะแนนการยอมรับด้านสีผิวเปลือกนอกของลำไย คะแนนการยอมรับด้านสีผิวเปลือกในของลำไย คะแนนการยอมรับด้านสีเนื้อผลของลำไย คะแนนการยอมรับความแน่นเนื้อของลำไย เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 0 วัน ถึง 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน พบว่า มีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี ผลการทดลองดังตารางที่ 8-12 คะแนนการยอมรับด้านสีผิวเปลือกนอกของลำไยไม่เกินเกณฑ์การยอมรับทั้ง 4 กรรมวิธี ส่วนคะแนนการยอมรับด้านสีผิวเปลือกในของลำไยเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน T2 และ T4 มีคะแนนต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ สำหรับคะแนนการยอมรับด้านสีเนื้อผลของลำไย และคะแนนการยอมรับความแน่นเนื้อของลำไย พบว่า เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน มีคะแนนต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับทั้ง 4 กรรมวิธี คะแนนการยอมรับรสชาติของลำไยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน โดย T3 และ T4 คะแนนการยอมรับรสชาติของลำไยต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ และเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน พบว่าทั้ง 4 กรรมวิธีมีคะแนนการยอมรับรสชาติของลำไยต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ คะแนนการยอมรับลักษณะโดยรวมของลำไยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 กรรมวิธี เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน พบว่า T2, T3 และ T4 คะแนนการยอมรับลักษณะโดยรวมของลำไยต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ ข้อสังเกต ค่าการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อผลในการทดลองนี้ต่ำกว่าเกณฑ์ของลำไยส่งออกไป EU คือ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตลอดอายุการเก็บรักษานาน 60 วัน โดยสีเนื้อยอมรับได้นาน 30 วัน

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

1. การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อลำไยไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลำไยทั้งผลไม่เกิน 350 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ สามารถยืดอายุการเก็บได้ถึง 28 วัน โดยที่ลำไยมีความสดและไม่เน่าเสีย ส่วนความแตกต่างของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการรม คือ 1.0 1.3 และ 1.5% ไม่ทำให้การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อยืดอายุลำไยได้ดีจึงเลือกการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.3 และ 1.5%

2. การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดที่ความเข้มข้น 1.3 และ 1.5% ร่วมกับการใช้แผ่นระเหยแบบ dual phase แบบ slow release และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน จากนั้นย้ายมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 วัน การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อลำไยและผลลำไยไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อยืดอายุลำไยได้ดีและลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ควรเลือกการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.3%

3. วิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการยืดอายุการเก็บรักษา คือ กรรมวิธีที่ 3 ยืดอายุได้นาน 30 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ส่วนกรรมวิธีที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคดำเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน และเปอร์เซ็นต์ผลดีสูงสุดลำไยเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน และผ่านเกณฑ์การยอมรับลักษณะโดยรวมของลำไยเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ 0 วัน ถึง 60 วันแล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน โดยภาพรวมกรรมวิธีที่ 2 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกรรมวิธีที่ 3 แต่กรรมวิธีที่ 2 มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อสูงที่สุดแต่ไม่เกินเกณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แล้วนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน ดังนั้น การใช้แผ่นระเหยทำเองสามารถทดแทนการใช้แผ่นระเหยที่จำหน่ายยี่ห้อ Uvasys[®] ได้ และการใช้แผ่นระเหยร่วมกับการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะสามารถลดการใช้กัมมะถันในการรมรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงได้และค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่ส่งไปจีน สำหรับข้อเสนอแนะ คือ ควรทดสอบแผ่นระเหยทำเองซ้ำโดยลดความเข้มข้นของ SMS ให้ต่ำกว่า 1.7×10^5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อลดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

กิจกรรมที่ 2

การหาวิธีการทดแทนซัลเฟอร์ไดออกไซด์

วิทยา อภัย¹ สติตย์พงศ์ รัตนคำ² สุทธิณี ลิขิตตระกูลรุ่ง¹ เกรียงศักดิ์ นักผูก²
สมเพชร เจริญสุข¹ สอนอง อมฤกษ์² ชัยวัฒน์ เผ่าสันทัตพาณิชย์²

คำสำคัญ : โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์, กรดเกลือ, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, คลอรีนไดออกไซด์, โอโซน

บทคัดย่อ

การทดสอบหาสารทดแทนซัลเฟอร์ไดออกไซด์การทดลองได้ดำเนินการตั้งแต่ตุลาคม 2558 ถึงกันยายน 2561 ที่ห้องปฏิบัติการสำนักวิจัยและพัฒนาเกษตรเขตที่ 1 และศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ การทดลองที่ 1 ศึกษาการใช้สารทดแทนของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ผสมกรดเกลือ (HCl) ในการแช่ลำไย ทดแทนการรมควันด้วย SO₂ เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะใช้เตรียมไว้ใช้ทดแทน หากมีมาตรการกีดกันทางการค้าจากประเทศคู่ค้า พบว่า การใช้สาร HCl 5%+ SMS 1% แช่ผลลำไยสดนาน 5 นาที สามารถช่วยยืดอายุผลลำไยได้ดีที่สุด มีคุณภาพผลดี ได้แก่ ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกด้านนอกและ ด้านใน และสีเนื้อ และการยอมรับของผู้บริโภคคุณภาพโดยรวมไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับการรมควันด้วย SO₂ รวมถึงการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อไม้เกินค่าตกค้างเกินมาตรฐาน EU (10 ppm) และการตกค้างของ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งผลต่ำกว่า 50 ppm (Codex) แล้วจึงดำเนินการทดสอบแช่ลำไยเพื่อส่งออกต่างประเทศ ร่วมกับผู้ประกอบและมีการสุ่มวัดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่า การตกค้างของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในเนื้อไม้มีค่า 2.52 ppm ซึ่งไม่เกินค่าตกค้างมาตรฐาน EU (10 ppm) การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือก 381.23 ppm ซึ่งต่ำกว่าวิธีการรมควันด้วย SO₂ (1000-2200 ppm) และการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งผล 43.46 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 50 ppm (Codex) ในส่วนผู้ประกอบการมีความพอใจ ในเรื่องคุณภาพสีผิวเปลือก ด้านนอกที่ไม่แตกต่างกับวิธีการรม SO₂ และการทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของสารและวิธีการเพื่อทดแทน การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ การใช้คลอรีนไดออกไซด์ (ClO₂) โอโซน (O₃) และกรดเกลือ (HCl) ต่อการยืดอายุ การเก็บรักษาลำไย พบว่าการรม O₃ 60 นาที+SO₂ มีอายุการเก็บรักษาไม่ต่างจากการรม SO₂ มีอายุการเก็บรักษา นานเท่ากันคือ 42+3 วัน ที่อุณหภูมิ 25°C รองลงมา คือการแช่ ClO₂ 1.5% มีอายุการเก็บรักษาได้นาน 42 วัน ที่ 5°C ในขณะที่การไม่แช่สารมีอายุการเก็บรักษา 7 วัน ที่ 5°C โดยสรุปแล้ว การรมโอโซน+ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และการแช่คลอรีนไดออกไซด์ 1.5-2.0% สามารถใช้เป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง ในอนาคต

^{1/} สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ต.แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

^{2/} ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

Research Activity II

Investigation of alternative treatments to sulfur dioxide

Wittaya Apai¹ Satippong Rattanakam² Suttinee Likhitrarung¹ Kriangsak Nukphuk¹
Sompetch Jaroensuk¹ Sanong Amaroek² Chaiwat Paosantanpanid²

Key words: sodium metabisulphite (SMS), hydrochloric acid (HCl), sulfur dioxide (SO₂), chlorine dioxide (ClO₂), ozone (O₃).

Abstract

The objective to find some alternative to SO₂ was investigated. Experiments were conducted from October 2015 to September 2018 at the laboratory of Office of Agricultural Research and Development Region 1, Nong Han, Sansai, Chiang Mai. The first experiment was carried out by using sodium metabisulphite (SMS) mixed in hydrochloric acid (HCl) for dipping of longan in order to replace fumigated with SO₂ for consumer safety. It could be used as an option to use if trade barriers will be imposed by trade partners. The results showed that the use of HCl 5% + SMS 1% dipped longan for 5 minutes could help extend shelf life of longan. It helped slow down the browning of the fruit pericarp and color of fruit pulp. Consumer acceptance, overall quality was not significantly different from fumigated with SO₂. The sulfur dioxide residue in the pulp from this treatment did not exceed a value beyond the standard EU (10 ppm) and sulfur dioxide residue in whole fruit was lower than 50 ppm (Codex). Then the testing of longan dipped for export to foreign countries and measurement of sulfur dioxide residue was studied. The results showed that the sulfur dioxide residue in the pulp prior to export was 2.52 ppm which did not exceed a value beyond the standard EU (10 ppm). While sulfur dioxide residue in pericarp was 381.23 ppm lower than that of fumigated with SO₂ (1,000-2,200 ppm) and sulfur dioxide residue in whole fruit was 43.46 ppm, which was lower than 50 ppm (Codex). The exporters' acceptance was satisfied that in terms of skin color, the outer pericarp acceptance was not different from the fruit fumigated with SO₂. The second experiment was technological testing on the application of some alternative technology to sulfur dioxide (SO₂), i.e. chlorine dioxide (ClO₂), ozone (O₃) and hydrochloric acid (HCl) in extending shelf life of fresh longan. It was found that fruit fumigated with O₃ for 60 min prior to SO₂ was not significantly results in prolonging shelf life as compared with SO₂ only.

^{1/}Office of Agricultural Research and Development Region 1, Mae Hea, Mueang, Chiang Mai

^{2/} Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Mae Hea, Mueang, Chiang Mai

The residual SO_2 in fruit had the lowest values and shelf at life was maintained for 42 days at 5°C and followed by display for sale at ambient temperature for 3 days. The inferior performances were dipping in 1.5% ClO_2 for 42 days 5°C while untreated fruit showed the shortest shelf life for only 7 days at 5°C . In conclusion, the possible alternative treatment was O_3 fumigation + SO_2 followed by dipping in 1.5-2.0% ClO_2 solution could be studied to correct SO_2 residue problem in the future.

บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้ส่งออกทางเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เช่นเดียวกับทุเรียน และมังคุด ประเทศส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ประเทศจีน ฮองกง เวียดนาม อินโดนีเซีย สิงคโปร์ มาเลเซีย ออสเตรเลีย ฝรั่งเศส แคนาดา และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ปัญหาสำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของลำไย คือ อายุการเก็บรักษาสั้นได้แก่ การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผล และการเน่าเสีย การรมผลลำไยสดด้วยก๊าซ SO_2 เมื่อนำมาใช้ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ช่วยยืดอายุได้อย่างน้อย 40-60 วันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0-5 °C, 85-90% RH ทำให้ลำไยส่งออกได้ปริมาณที่มากขึ้น แต่ปัญหาการตกค้างของ SO_2 หลังการรมควันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการตกค้างในผลผลิตเกินมาตรฐานการนำเข้าของประเทศคู่ค้า เช่น ประเทศจีนกำหนดค่าตกค้างในเนื้อผลไม้ไม่เกิน 50 ppm EU กำหนดไว้ในเนื้อไม้ไม่เกิน 10 ppm สหรัฐอเมริกาห้ามใช้สารนี้กับผลิตผลด้านพืชสวนยกเว้นในผลองุ่น ประเทศสิงคโปร์กำหนดเป็นค่าทั้งผลตามมาตรฐาน Codex กำหนดไม่เกิน 50 ppm เป็นต้น และสาร SO_2 ยังมีรายงานถึงความ เป็นพิษต่อผู้ป่วยบางประเภทที่เป็นโรคภูมิแพ้ ทำให้การศึกษาเทคโนโลยีทดแทนเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องดำเนินการ

มีการศึกษาการแช่เกลือซัลไฟต์หลายชนิดที่นิยมที่สุด คือ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (sodium metabisulfite, SMS) โดย พรวิสาข์ บุญยงค์ (2544) ได้ทำการนำลำไยมาแช่ในสารละลาย SMS เข้มข้น 7.5 % และพ่นต่อด้วยสาร allyl isothiocyanate ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ในน้ำมันหอมระเหยจากมัสตาร์ด หลายความเข้มข้น พบว่าสาร allyl isothiocyanate ทุกความเข้มข้น ไม่สามารถช่วยชะลอการเน่าเสียและไม่มีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลาย SMS ในการยับยั้งการเกิดโรคในผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง แต่มีผลทำให้ปริมาณสารซัลไฟต์ที่ตกค้างในเปลือกของผลลำไยลดลงเร็วกว่าการใช้สารละลาย SMS เพียงอย่างเดียว หลังจากนั้นมีการนำการแช่สารนี้ไปต่อยอด เช่น การผสม SMS+oxalic acid พบว่ากรดออกซาลิกไปลดพีเอชสารละลายให้ต่ำลงทำให้เกลือซัลไฟต์ซึมเข้าเปลือกผลให้ดีขึ้นเนื่องจากสารซัลเฟอร์ละลายออกมามากขึ้นในสภาพเป็นกรดสูง หรือการศึกษาสาร SMS ในลำไยประเทศเวียดนามที่ทดแทนการใช้สารป้องกันกำจัดเชื้อรา ข้อดี คือ ทำได้ง่ายรวดเร็วสีเปลือกเหลืองนวลสวย ความเข้มข้นที่ใช้ SMS 7.5% สูงกว่าวิธีการรมควันมาก แต่มีข้อเสีย คือ ผลลำไยเปียกน้ำทำให้เชื้อราเข้าทำลายได้ง่าย

Jiang et al. (1997) ได้ศึกษาการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของผลลิ้นจี่หลังการเก็บเกี่ยวด้วยสารละลาย SMS และ HCl โดยนำผลลิ้นจี่มาแช่ในสารละลาย SMS ความเข้มข้น 1 % ตามด้วยแช่ใน HCl ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ แล้วหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า การแช่ใน HCl ความเข้มข้น 5 % นาน 8 นาที สามารถรักษาสีแดงของเปลือก และคุณภาพของผลลิ้นจี่ได้ดีที่สุด และในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา มี SO_2 ตกค้างที่เปลือกและเนื้อ 46 และ 4.2 ppm ตามลำดับ

วิทยา และคณะ (2557) พบว่า ผลลำไยที่เปียกชื้นจากน้ำฝนหรือหมอกหนาวควรแช่ HCl 1 %ผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) 5% นาน 5 นาที พบว่า การตกค้างของ SO_2 ในเนื้อผลต่ำกว่าการรมก๊าซ SO_2 ปกติ ผู้ประกอบการยอมรับคุณภาพผลและสามารถนำไปใช้ส่งออกไปประเทศจีนได้ การวิจัยเพิ่มเติม โดยจะศึกษาปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่าง SMS กับ HCl โดยศึกษาความเข้มข้นเพิ่มเติมเพื่อลดการตกค้างในเปลือกให้ต่ำกว่า 300 ppm (วิธีการรม SO_2 พบค่า 1000-2200 ppm) โดยคุณภาพผลไม่แตกต่างกัน หากทำได้จะลด

โอกาสสาร SO_2 จะซึมเข้าไปในเนื้อผลเพิ่มเติมได้ และวิจัยการนำไปใช้ให้ปลอดภัยทั้งผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาและพัฒนาการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ผสมกรดเกลือ (HCl) ทดแทนการรมควันด้วย SO_2 เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ปลอดภัยแก่ผู้บริโภค เพิ่มปริมาณการส่งออกให้มากขึ้นในอนาคต และเป็นอีกทางเลือกที่จะรองรับหากมีมาตรการกีดกันทางการค้าจากประเทศคู่ค้า

การรมด้วยแก๊สเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพถ้าพัฒนาการใช้ประโยชน์จะมีคุณค่ามากแต่ยังไม่มีแก๊สใดมีประสิทธิภาพเทียบเท่าแก๊ส SO_2 พบการศึกษารวมด้วยแก๊สโอโซน แก๊สคลอรีนไดออกไซด์ ไอร์อะเทียกรดอะซิติก และไอร์อะเทียไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น แก๊สคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) เป็นแก๊สชนิดหนึ่งที่น่าสนใจโดยวิธีเตรียมคลอรีนไดออกไซด์ที่ใช้ทั่วไปมี 2 วิธี คือ จากโซเดียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับก๊าซคลอรีนและโซเดียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกหรือกรดซัลฟูริก คลอรีนไดออกไซด์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเป็นสารฟอกขาวในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และในปี 1944 คลอรีนไดออกไซด์ได้ถูกใช้เป็นสารควบคุมกลิ่นและรสในสหรัฐอเมริกา และในปัจจุบันได้ถูกใช้ในการกำจัดเชื้อโรคอย่างกว้างขวางกว่าโอโซนทั้งในยุโรปและอเมริกา Wu et al. (2011) พบว่าการใช้ ClO_2 ฆ่าสปอร์เชื้อรา *Collectotrichum gleosporioides* ได้การทดสอบการแช่ผลลิ้นจี่ที่ให้แก๊ส ClO_2 ในรูปแบบสารละลายเข้มข้น 80 และ 120 mg/l ช่วยลดการเกิดโรค การเปลี่ยนสีน้ำตาล และเอนไซม์ PPO และ POD การใช้ระดับ 120 mg/l ClO_2 เหมาะสมที่จะนำไปใช้ ประโยชน์ การรมควันโดย Saeangnil et al. (2014) พบว่าการรมผลลำไยด้วยแก๊สคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคลอไรด์กับกรดเกลือพบว่าการรมด้วยแก๊ส ClO_2 10 และ 25 ppm ช่วยลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลได้นาน 5 วัน (คะแนนต่ำกว่า 25%) ที่อุณหภูมิ 25 °C ขณะที่ชุดควบคุมนานเพียง 1 วัน การใช้ ClO_2 เข้มข้น 10 ppm มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูงที่สุด ทุกความเข้มข้นไม่พบการตกค้างของ ClO_2 ในเนื้อผล และเปลือกพบ 0.414 มก./กก. ต่ำกว่า 3.0 มก./กก. ดังนั้นการใช้ ClO_2 น่าสนใจนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับการรมควันด้วย SO_2 การใช้สารฆ่าเชื้อในน้ำเย็นสำหรับการลดอุณหภูมิผลลิ้นจี่จำเป็นต้องศึกษาวิธีการฆ่าเชื้อควรศึกษาเพื่อออกมาเป็นคำแนะนำที่เป็นทางการ เพราะไม่รู้ว่าผู้ประกอบการใช้สารอะไรฆ่าเชื้อในน้ำเย็นนั้นบ้าง คลอรีนไดออกไซด์สามารถใช้แทนสารประกอบคลอรีนอื่นๆ ได้ เพราะไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ กลายเป็นสารก่อมะเร็ง มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีกว่าโอโซน ใช้ความเข้มข้นต่ำกว่า และเสถียรและแตกตัวได้ดีกว่า ฆ่าเชื้อในน้ำได้ดี (Han et al., 2012) ความเข้มข้น ClO_2 ที่ใช้ล้างผักและผลไม้เพื่อลดการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์พบว่าใช้ ClO_2 ความเข้มข้น 1000 ppm รมนาน 10 นาที กับสตรอเบอร์รี่ ในแคนตาลูปศึกษารวม ClO_2 2000 ppm นาน 10 นาที FDA อนุญาตให้ใช้ ClO_2 ล้างผักและผลไม้ได้ตกค้างไม่เกิน 3.0 มก./กก. (FDA, 1998) การหาสารทดแทนก๊าซ SO_2 เป็นงานวิจัยเชิงรุกหนึ่งที่ต้องวิจัยเตรียมไว้ใช้ทดแทน เช่น การรมหรือแช่ผลด้วยแก๊สคลอรีนไดออกไซด์รมหรือแช่ผลพบว่าประสิทธิภาพชะลอการเน่าเสียและเปลือกผลเปลี่ยนสีน้ำตาลได้ แต่ยังควรศึกษาถึงระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น (Saengnil et al., 2014) หากใช้ได้จึงนำมาเปรียบเทียบกับการใช้กรดเกลือ (วิทยาและคณะ, 2557) งานวิจัยลดการตกค้างของ SO_2 จึงมีความสำคัญและทำได้โดยลดกำมะถัน หรือ หาสารทดแทนสำหรับส่งออกประเทศที่เข้มงวดการใช้ SO_2 ควรวิจัยให้ได้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและสะดวกต่อผู้ประกอบการสำหรับใช้แก้ไขปัญหการใช้ SO_2 ต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

การทดลองที่ 1 การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ผสมกรดเกลือ (HCl) ทดแทนการรมควันด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2558 – กันยายน 2560 ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1 และศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่

1) ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องแช่สำหรับใช้แช่สารผสม HCl+SMS ในลำไยส่งออก และสร้างหอบำบัดสำหรับดูดควันของก๊าซ SO_2 ที่ระเหยระหว่างการแช่สารผสม HCl+SMS

2) ทดสอบการผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ผสมกรดเกลือ (HCl) เพื่อความสะดวกของผู้ปฏิบัติการให้มีความปลอดภัย

3) ทดสอบการผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ผสมกรดเกลือ (HCl) ต่อการตกค้างของ SO_2 ในลำไยส่งออก วางแผนการทดลองแบบ $3 \times 2 + 2$ Factorial in RCB จำนวน 3 ซ้ำ (ตะกร้า)

ปัจจัยมี 2 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้น SMS ได้แก่ 4, 5 และ 6%

ปัจจัยที่ 2 ความเข้มข้น HCl ได้แก่ 0 และ 1%

กรรมวิธีมี 8 กรรมวิธีดังนี้

T1 แช่ใน SMS 4% + HCl 0% นาน 5 นาที

T2 แช่ใน SMS 4% + HCl 1% นาน 5 นาที

T3 แช่ใน SMS 5% + HCl 0% นาน 5 นาที

T4 แช่ใน SMS 5% + HCl 1% นาน 5 นาที

T5 แช่ใน SMS 6% + HCl 0% นาน 5 นาที

T6 แช่ใน SMS 6% + HCl 1% นาน 5 นาที

T7 รม SO_2 วิธีทางการค้า

T8 แช่ใน SMS 1% + HCl 5% นาน 5 นาที

เตรียมสารละลายตามกรรมวิธีด้านบนแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ ละลายสาร SMS ให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ และส่วนที่ 2 คือ ละลาย HCl ที่ต้องการ ต่อมาค่อยๆ เทส่วนที่ 1 ลงส่วนที่ 2 อย่างช้าๆ ปริมาตร 50 ลิตรในถังแช่ปริมาตร 80 ลิตร ในตู้ดูดควัน นำลำไยพันธุ์อีดอเกรดเอมาบรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกขนาด 11.5 กก./ตะกร้า นำลำไยที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ โดยการแช่กรรมวิธีละ 5 นาที วัด pH ของสารละลายก่อนและหลังแช่ ผึ่งให้แห้งจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และความชื้น 85-90% RH นาน 35 วัน บันทึกข้อมูลคุณภาพและการเปลี่ยนแปลง

การตรวจสอบคุณภาพและการเปลี่ยนแปลง

- เพอร์เซ็นต์การเกิดโรค ในสภาพอุณหภูมิห้องเพื่อตรวจสอบการเน่าเสีย ทุก 3 วัน

- เพอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ทำการชั่งน้ำหนักทุก 7 วัน และคำนวณน้ำหนักที่สูญเสียไป

- สุ่มผลลำไยประมาณ 1 กิโลกรัม นำมาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย ทั้งด้านนอกและในผลด้วยการให้คะแนนด้วยการประเมินการเปลี่ยนสีน้ำตาลแบบให้คะแนน (Browning index) บนผล 5 ระดับตามวิธีของ Jiang and Li (2001) และ ความผิดปกติของเนื้อผล (Flesh discoloration)
- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยสุ่ม 10 ผล ต่อตะกร้าวัดการตกค้างของซิลิเฟอไรด์ออกไซด์ในเนื้อ ด้วยวิธี Optimized-Monier Williams Method (AOAC, 2016) และสุ่มจำนวน 10 ผลตรวจสอบค่า pH ของเนื้อผล
- การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ได้แก่ การทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี Hedonic scaling คะแนนความชอบ 5 ระดับโดยใช้ผู้บริโภคอย่างน้อย 10 คน ที่มีประสบการณ์ 2 ปีขึ้นไป

4) การตรวจสอบปริมาณสาร SO₂ ที่ตกค้างในผลลำไยและสารระเหยจากการใช้ SMS+HCl ที่เหมาะสมระหว่างการแช่ในกระบวนการส่งออก

วิธีการดำเนินงาน ได้มีการปรับเปลี่ยนแปลงภาชนะจากเครื่องแช่เป็นถังพลาสติก เนื่องจากมีความผิดพลาดในการนำถังสารอื่นๆ ที่นำไปใส่ Waste ไปใช้แทนกรด HCl เนื่องจากเก็บรักษารวมกัน เมื่อเทลงในเครื่องแช่มีผลทำให้เครื่องแช่เกิดการกัดกร่อน และสีเปลี่ยนชัดเจนจึงขอเปลี่ยนเป็นแช่ในถังพลาสติกปริมาตร 400 ลิตรแทน ขั้นตอนการแช่ได้แก่

- ทดสอบประสิทธิภาพการแช่ใน HCl+SMS จากกรรมวิธีที่เหมาะสมจากการทดลองข้อที่ 3 คือ กรรมวิธีที่ 8 แช่ใน SMS 1% + HCl 5% นาน 5 นาที เพราะมี SO₂ ตกค้างทั้งผลต่ำกว่า 50 ppm (Codex) การทดสอบผสมกันระหว่างสาร SMS และ HCl ในถังพลาสติกโดยเตรียมสารละลายปริมาตร 300 ลิตร เทน้ำลงไปในถังก่อน 200 ลิตร และแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 และ 2 คือ HCl 5% และ SMS 1% ตามลำดับ ดูดกรด HCl ลงไปในน้ำก่อนโดยใช้เทคนิคกัลกน้ำด้วยสายยางปล่อยลงใต้น้ำจนครบตามปริมาตร และค่อยเทส่วนที่ 2 ที่ผสม SMS ละลายในน้ำส่วนที่เหลือเรียบร้อยแล้วลงในส่วนที่ 1 จะมีสารระเหยก๊าซ SO₂ ในปริมาณที่น้อยลง

- การแช่ลำไยในสารละลายปริมาณ 24 ตะกร้า นาน 5 นาที โดยทดสอบแช่ลำไย 4 ตะกร้า/ครั้ง ทั้งหมดจำนวน 6 ครั้ง
- เมื่อผึ่งลำไยแห้งแล้วทำการสุ่มตัวอย่างลำไยที่แช่สารแล้ว มาวัดสาร SO₂ ตกค้างในผลลำไย (AOAC, 2016) จากนั้นไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C รอการขนส่งไปสถานประกอบการและส่งออกต่อไป
- ทดสอบวิธีการใช้สารทดแทนในการแช่ลำไยส่งออกไปต่างประเทศร่วมกับผู้ประกอบการส่งไป 3 ประเทศ ได้แก่ ประเทศจีนทางเรือ ประเทศสิงคโปร์ทางเรือ และแคนาดาทางเครื่องบิน จำนวน 5, 15 และ 2 ตะกร้า ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเก็บรักษาที่ห้องเย็นที่ห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบผลต่อไป

การทดลองที่ 2 การทดสอบการใช้คลอรีนไดออกไซด์ และก๊าซบางชนิดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาลำไย

ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2558 – กันยายน 2561 ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1

1) การทดสอบเทคโนโลยีการแช่ ClO₂ ต่อคุณภาพผล วางแผนการทดลองแบบ CRD รวม 6 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ (ตะกร้าพลาสติก) ได้แก่

T1 แช่สารละลาย ClO₂ ความเข้มข้น 2.0% นาน 5 นาที

- T2 แช่สารละลาย ClO_2 ความเข้มข้น 1.5% นาน 5 นาที
- T3 แช่สารละลาย ClO_2 ความเข้มข้น 1.0% นาน 5 นาที
- T4 แช่ HCl ความเข้มข้น 6.4% นาน 5 นาที (วิทยา และคณะ, 2557)
- T5 รมด้วย SO_2 วิธีการค้าปัจจุบัน
- T6 ล้างไอน้ำแช่สาร

นำลำไยจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP จ. เชียงใหม่ หรือลำพูน นำมาคัดขนาดเกรดเอคัดเลือกเฉพาะผลดีไม่มีตำหนิจากโรคและแมลง ตัดขั้วเป็นผลเดี่ยว ล้างน้ำสะอาด 1 ครั้ง ใช้ ClO_2 เตรียมจากการผสม HCl 9% และโซเดียมคลอไรท์ 7.5% ผสมกันอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร จะได้ ClO_2 ความเข้มข้น 2% ในตู้ดูดควัน นำมาเจือจางตามความเข้มข้นที่ต้องการ 1.5 และ 1.0% กรรมวิธีที่ 1-4 แช่นานเท่ากัน 5 นาที ส่วนการแช่ HCl ความเข้มข้น 6.4% ใช้เวลานาน 5 นาที หลังจากนั้น ผึ่งลำไยให้แห้งสนิท จำนวน 4 ตะกร้า (ซ้า) ต่อกรรมวิธี เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C 85% RH นาน 28 วัน และทดสอบการวางจำหน่ายโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25°C) นาน 3 วัน

การบันทึกข้อมูล

สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพทุก 7 วัน ได้แก่

- ด้านคุณภาพ ได้แก่ คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001), การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ค่า $L^* C^* h^\circ$) และความผิดปกติของสีเนื้อ
- การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

2) การทดสอบเทคโนโลยีการรมด้วย ClO_2 และผลต่ออายุการเก็บรักษา วางแผนการทดลองแบบ CRD รวม 6 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้า (กล่องพลาสติก) ซ้าละ 20 ผล ได้แก่

- T1 การรมด้วย ClO_2 ความเข้มข้น 1.0% รมนาน 30 นาที
- T2 การรมด้วย ClO_2 ความเข้มข้น 1.5% รมนาน 30 นาที
- T3 การรมด้วย ClO_2 ความเข้มข้น 2.0% รมนาน 30 นาที
- T4 การแช่สารละลาย ClO_2 2.0%
- T5 การแช่ HCl ความเข้มข้น 6.4% นาน 5 นาที (วิทยา และคณะ, 2557)
- T6 รมด้วย SO_2 วิธีการค้าปัจจุบัน

นำลำไยจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP จ. เชียงใหม่ หรือลำพูน นำมาคัดขนาดเกรดเอ คัดเลือกเฉพาะผลดีไม่มีตำหนิจากโรคและแมลง ตัดขั้วเป็นผลเดี่ยว ใช้ ClO_2 เตรียมจากการผสม ระหว่าง HCl 9% และโซเดียมคลอไรท์ 7.5% ผสมกันอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร จะได้ ClO_2 ความเข้มข้น 2% ในตู้ดูดควันนำมาเจือจางตามความเข้มข้นที่ต้องการ โดยใช้ผลลำไย 20 ผลต่อต่อการรม 1 ครั้ง โดยทดสอบในกล่องพลาสติกใสในตู้ดูดควัน รมนาน 30 นาที ปล่อยให้ระเหยนาน 60 นาที บรรจุในกล่องพลาสติกเจาะรู (Clamshell) จำนวน 3 กล่อง (ซ้า) ต่อกรรมวิธี รวมทั้งหมด 20 ซ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 5°C 85% RH นาน 28 วัน และทดสอบการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง (25°C) นาน 3 วัน

การบันทึกข้อมูล

สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพทุก 7 วัน ได้แก่

- ด้านคุณภาพ ได้แก่ คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001), การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ค่า $L^* C^* h^\circ$) และความผิดปกติของสีเนื้อ
- การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

3) การทดสอบเทคโนโลยีการเคลือบผิวลำไยด้วย Mixed wax และผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาลำไย วางแผนการทดลองแบบ CRD รวม 7 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ (กล่องพลาสติก) ซ้ำละ 20 ผล ได้แก่

- T1 เคลือบผิวด้วย Mixed wax ความเข้มข้น 6%
- T2 เคลือบผิวด้วย Mixed wax ความเข้มข้น 8%
- T3 เคลือบผิวด้วย Mixed wax ความเข้มข้น 10%
- T4 แช่ ClO_2 ความเข้มข้น 2% นาน 5 นาที
- T5 แช่ HCl ความเข้มข้น 6.4% นาน 5 นาที (วิทยา และคณะ, 2557)
- T6 แช่ HCl ความเข้มข้น 6.4% นาน 5 นาที + Mixed wax ความเข้มข้น 6%
- T7 รมด้วย SO_2 วิธีการค้าปัจจุบัน

ใช้ลำไยจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP จ. เชียงใหม่ หรือลำพูน นำมาคัดขนาดเกรดเอ คัดเลือกเฉพาะผลดีไม่มีตำหนิจากโรคและแมลง ตัดขั้วเป็นผลเดี่ยวโดยใช้ผลลำไย 20 ผลต่อการกรรม 1 ครั้ง

เตรียมสารผสมระหว่าง Bees wax+carnuba wax (อัตราส่วน 2:1) ตามวิธีของ Hai et al. (2014) ทำการต้มที่อุณหภูมิ 80–85 °C กวนสารด้วยความเร็วรอบประมาณ 90 rpm ต้มให้ละลาย กวนให้เข้ากัน จากนั้นค่อยๆ เติม oleic acid 4.8% และ palmitic acid 0.5% กวนสารให้เข้ากัน ค่อยๆ เติมน้ำลงไปจนครบปริมาตรที่ต้องการ เติมอุณหภูมิ (ประมาณ 150–170 °C) และความเร็วรอบ เพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ขั้นตอนนี้ใช้เวลา 30 นาที เมื่อละลายแล้วจะพบสารแยกชั้นกันระหว่างไขมันกับน้ำ หลังจากนั้นลดอุณหภูมิลงให้เหลือ 80–85 °C ค่อยๆ เติม ammonium water (ammonium hydroxide) ลงไป เพื่อให้ไขมันกับน้ำรวมเป็นเนื้อเดียวกัน หยุดเติมเมื่อสารรวมเป็น เนื้อเดียวกันและไม่มีตะกอน จะพบว่า Mixed Wax ที่สามารถนำไปใช้ได้จะเป็นสีขาว คล้ายนม และเมื่อนำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิปกติยังคงอยู่ในรูปของสารละลายไม่มีการแข็งตัว นำมาเจือจางให้มีความเข้มข้น 6, 8 และ 10% ตามลำดับ ผึ่งให้แห้ง และบรรจุในกล่องพลาสติกเจาะรู (Clamshell) จำนวน 3 กล่อง (ซ้ำ) ต่อกรรมวิธีรวมทั้งหมด 20 ซ้ำ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 5 °C และ 85% RH นาน 28 วัน และทดสอบการวางจำหน่ายโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) นาน 3 วัน

การบันทึกข้อมูล

สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพทุก 7 วัน ได้แก่

- ด้านคุณภาพ ได้แก่ คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล 5 ระดับ (Jiang and Li, 2001) ความผิดปกติของสีเนื้อ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค เปอร์เซ็นต์ผลดี และการสูญเสียน้ำหนัก

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ pH ของเปลือกและเนื้อผล
- การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

4) ทดสอบเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับลำไยปริมาณมากขึ้น

4.1) การทดสอบการส่งออก นำเทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยทดสอบการส่งออกพร้อมกับผู้ประกอบการส่งออกของประเทศไทยไปประเทศแคนาดาที่เข้มงวดการใช้ SO₂ โดยทดสอบแช่ HCl 6.4% นาน 5 นาที ส่งไปประเทศแคนาดาทางเครื่องบินใช้เวลาขนส่งนาน 2 วัน รวม 10 ตะกร้า ตรวจวัดปริมาณ SO₂ ที่ตกค้าง ตรวจวัดคุณภาพของลำไย และอายุการเก็บรักษา และทดสอบการส่งออกและการยอมรับของผู้บริโภคและผู้ประกอบการ

4.2) ได้นำเทคโนโลยีที่ทดแทนในรูปของก๊าซมาใช้ คือ การใช้ก๊าซโอโซนรมผลลำไยเพื่อฟอกสีผิว ร่วมกับการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสีผิว และการลดตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผล และเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดแทนที่ผ่านมา วางแผนการทดลองแบบ CRD รวม 5 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ (ตะกร้าความจุ 11.5 kg)

T1 = แช่ใน ClO₂ 1.5% นาน 5 นาที

T2 = รมโอโซน นาน 60 นาที ก่อนรม SO₂

T3 = แช่ใน HCl 6.4% นาน 5 นาที

T4 = รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (วิธีทางการค้า)

T5 = ไม่แช่สาร

ผลลำไยเกรดเอแบบช่อบรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยเก็บเกี่ยวจากสวนลำไยที่ได้รับรอง GAP ในจังหวัดเชียงใหม่/ลำพูน โดยนำมาจากโรงคัดบรรจุรวม 15 ตะกร้า และนำไปรมกำมะถันจำนวน 3 ตะกร้า จากนั้นนำตะกร้าทั้งหมดมาเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 5-7 °C ก่อนนำมาทดสอบแช่/รมก๊าซโอโซนในช่วงเช้าวัดถัดไป กรรมวิธีที่ 2 นำลำไยมารมก๊าซโอโซนทั้งตะกร้านาน 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปรมก๊าซ SO₂ ในห้องรมของโรงรมในเย็นวันเดียวกัน ส่วนกรรมวิธีที่ 1 และ 3 นำลำไยมาแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้ปริมาตร 60 ลิตร ในถังพลาสติกก่อนแช่ล้างด้วยน้ำสะอาด แช่นาน 5 นาที ระหว่างแช่ขยับตะกร้าไปมาเพื่อให้สารซึมเข้าไปผิวลำไยได้ทั่วถึง วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชสารก่อนและหลังแช่ทุกครั้ง ผึ่งให้แห้งสนิทพร้อมกันจึงนำไปเก็บรักษาที่ 5-7°C

การบันทึกข้อมูล

สุ่มตรวจวัดคุณภาพผลทุก 7 วัน จนครบ 42 วัน สุ่มจำนวน 1 kg/ตะกร้า นำมาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ ตรวจวัดปริมาณ SO₂ ที่ตกค้าง ตรวจวัดคุณภาพของลำไย และอายุการเก็บรักษา

ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองที่ 1 การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ผสมกรดเกลือ (HCl) ทดแทนการรมควันด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1) ดำเนินการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องแช่สำหรับใช้แช่สารผสม HCl+SMS ในลำไยส่งออก โดยนำต้นแบบเครื่องจุ่มสาร HCl สำหรับผลลำไยสด (สนองและคณะ, 2556) และมีการสร้างหอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามแบบหอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงรมลำไยสด (เกรียงศักดิ์และคณะ, 2556) พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ต้นแบบเครื่องจุ่มสาร HCl สำหรับผลลำไยสด (สนองและคณะ, 2556) มีกระบวนการ 4 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ กระจกบ่ล้าง ชุดสเปรย์น้ำ และสายพานลำเลียง, 2) ขั้นตอนการแช่สาร HCl ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ กระจกบ่แช่ HCl ระบบหมุนเวียนสารแช่ และสายพานลำเลียง, 3) ขั้นตอนการเป่าแห้ง ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ กระจกบ่เป่าแห้ง พัดลมเป่าแห้ง สายพานลำเลียง และชุดถ่ายเทดกกำลัง และ 4) ขั้นตอนการเติม-บำบัดสาร HCl ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ บั๊มป์สแตนเลส ระบบท่อ และถังพลาสติก กระจกบ่และระบบลำเลียงวัสดุที่ใช้ทำจะเป็นสแตนเลส เกรด 304 ส่วนระบบท่อวัสดุที่ใช้ทำจะเป็นพีวีซี หอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ภาพที่ 1) ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ 1) ชุดพัดลมดูดสารก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, 2) หอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, 3) อ่างสารบำบัด และ 4) บั๊มป์ดูดสารบำบัดส่วนระบบท่อวัสดุที่ใช้ทำจะเป็นพีวีซี



ภาพที่ 1 หอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปรับปรุงเพิ่มเติมกับเครื่องแช่ลำไย

2) ดำเนินการทดสอบการผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ผสมกรดเกลือ (HCl) เพื่อความสะดวกของผู้ปฏิบัติการให้มีความปลอดภัย โดยการลดความเข้มข้นของสารผสม HCl+SMS ก่อนที่จะใช้ในการแช่ลำไย ด้วยวิธีการเจือจางกับน้ำเปล่า อุปกรณ์ที่ใช้ คือ ตู้ดูดไอระเหย อุปกรณ์ดูดสารเคมี ถังมือยาง หน้ากากและแว่นตากันสารเคมี ปฏิบัติที่ห้องปฏิบัติการของ กพป.สวพ.1

3) ดำเนินการทดสอบแช่ลำไยด้วยสารทดแทน โดยใช้แรงงานคน แขนงาน 5 นาที/ตะกร้า เก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และความชื้น 85-90% RH นาน 35 วัน เก็บข้อมูลคุณภาพและการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การเน่าเสีย พบว่า เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 4 วัน Tr.1 – 6 เริ่มเน่าเสียเกิน 30% (เกณฑ์>25%) เพียงช่วงสัปดาห์ครั้งแรก ขณะที่ Tr.7 และ Tr.8 ชะลอการเน่าเสียต่ำกว่า 25% (ตารางที่ 1)

การสูญเสียน้ำหนักพบว่า การแช่ลำไยด้วยสารทดแทนทุกซ้ำการทดลองช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติ การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกด้านนอก พบว่า การแช่ลำไยด้วยสารทดแทน Tr.6 และ Tr.8 ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกด้านนอกได้ดีที่สุด นานถึง 35 วันและ Tr.6-8 ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกด้านนอกได้ดีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น เมื่อผ่านไป 22 วัน การเปลี่ยนสีเปลือกด้านใน พบว่า การแช่ลำไยด้วยสารทดแทน Tr.6 และ Tr.8 ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกด้านในได้ดีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น นานถึง 35 วัน (ตารางที่ 2)

การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ พบว่า การแช่ลำไยด้วยสารทดแทน Tr.6 และ Tr.8 ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อในได้ดีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น นานถึง 29 วันและ Tr.2, Tr.4 และ Tr.6-8 ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อในได้ดีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ การแช่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) อย่างเดียว เมื่อผ่านไป 22 วัน (ตารางที่ 3) การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อพบว่า ทุกกรรมวิธีมีค่า SO_2 ตกค้างในเนื้อไม่เกินค่าตกค้างมาตรฐาน EU (10 ppm) (ตารางที่ 4) การตรวจสอบค่า pH ของเนื้อใน พบว่า ทุกซ้ำการทดลองมีค่า pH ของไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ไม่แสดงข้อมูล)

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคคุณภาพโดยรวมพบว่า ผู้บริโภคผลลำไยด้วยสารทดแทน Tr.6 – 8 คะแนนยอมรับคุณภาพโดยรวมไม่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น นานถึง 15 วัน (ตารางที่ 5) จากการทดสอบแช่ผลลำไยในสารทดแทน SMS 4, 5 และ 6% มีความปลอดภัย เนื่องจากสาร SMS สามารถละลายในน้ำได้ ทำให้มีก๊าซ SO_2 เกิดขึ้นน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ การแช่ในผลลำไยในสารทดแทนที่มี HCl ผสมทุกความเข้มข้น เนื่องจากไอระเหยมีกลิ่นรุนแรงแต่ไม่สามารถป้องกันการเปลี่ยนสีน้ำตาลและการเน่าเสียได้ และการแช่ผลลำไยในสารทดแทน SMS 6% + HCl 1% และ SMS 1% + HCl 5% นาน 5 นาที สามารถช่วยยืดอายุผลลำไยได้มีคุณภาพผลดีกว่า ได้แก่ ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกด้านนอก-ด้านใน และสีเนื้อได้การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อไม่เกินค่าตกค้างมาตรฐาน EU (10 ppm) และการยอมรับของผู้บริโภคคุณภาพโดยรวม การแช่ผลลำไยในสารทดแทน SMS 1% + HCl 5% นาน 5 นาทีพบค่าตกค้างทั้งผลต่ำกว่า 50 ppm (Codex) เมื่อเปรียบเทียบกับ SMS 6%+ HCl 1%

ตารางที่ 1 ผลของการแช่ SMS+HCl ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 °C นาน 16 วัน

Treatment	1	4	7	10	13	16
T1 = SMS 4%	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
T2 = SMS 4% + HCl 1%	0.0	73.3	80.0	80.0	93.3	100.0
T3 = SMS 5%	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
T4 = SMS 5% + HCl 1%	0.0	60.0	100.0	100.0	100.0	100.0
T5 = SMS 6%	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
T6 = SMS 6% + HCl 1%	0.0	63.3	70.0	83.3	86.7	100.0
T7 = รถม SO_2	0.0	10.0	80.0	90.0	96.7	100.0
T8 = SMS 1% + HCl 5%	0.0	20.0	40.0	66.7	80.0	100.0

ตารางที่ 2 ผลของการแช่ SMS+HCl ต่อการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลด้านในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 85 - 90% นาน 35 วัน

Treatment	1	8	15	22	29	35
T1 = SMS 4%	1.00	4.87a	4.93a	5.00a	5.00a	5.00a
T2 = SMS 4% + HCl 1%	1.00	1.80b	2.40b	2.60b	5.00a	5.00a
T3 = SMS 5%	1.00	4.60a	5.00a	5.00a	5.00a	5.00a
T4 = SMS 5% + HCl 1%	1.00	1.33b	1.80bc	1.87b	5.00a	5.00a
T5 = SMS 6%	1.00	4.07a	4.73a	5.00a	5.00a	5.00a
T6 = SMS 6% + HCl 1%	1.00	1.27b	1.40c	1.53b	1.80b	2.67b
T7 = รม SO ₂	1.00	1.07b	1.13c	1.60b	5.00a	5.00a
T8 = SMS 1% + HCl 5%	1.00	1.60b	1.67bc	1.80b	1.80b	2.40b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3 ผลของการแช่ SMS+HCl ต่อการเปลี่ยนสีของเนื้อผลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 85 - 90% นาน 35 วัน

Treatment	1	8	15	22	29	35
Tr1 = SMS 4%	1.00	2.33a	2.53a	5.00a	5.00a	5.00a
T2 = SMS 4% + HCl 1%	1.00	1.47bc	1.87a	2.27b	5.00a	5.00a
T3 = SMS 5%	1.00	2.07ab	2.60a	5.00a	5.00a	5.00a
T4 = SMS 5% + HCl 1%	1.00	1.80abc	1.80a	2.13b	5.00a	5.00a
T5 = SMS 6%	1.00	1.67abc	2.47a	5.00a	5.00a	5.00a
T6 = SMS 6% + HCl 1%	1.00	1.47bc	1.80a	2.13b	2.33b	3.60c
T7 = รม SO ₂	1.00	1.13c	2.13a	2.20b	5.00a	5.00a
T8 = SMS 1% + HCl 5%	1.00	1.20c	1.60a	1.87b	2.47b	4.00b

ตารางที่ 4 ผลการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ (ppm) หลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 85 - 90% นาน 35 วัน

Treatment	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)					
	1	8	15	22	29	35
T1 = SMS 4%	1.1	2.03	1.81	0	0	0
T2 = SMS 4% + HCl 1%	1.42	2.51	2.03	1.3	0	0
T3 = SMS 5%	1.79	3.38	2.18	0	0	0
T4 = SMS 5% + HCl 1%	5.31	2.97	1.76	1.75	0	0
T5 = SMS 6%	2.02	1.9	1.74	0	0	0
T6 = SMS 6% + HCl 1%	1.14	1.47	1.47	1.68	3.52	0.98
T7 = ร่ม SO ₂	2.23	3.41	3.41	1.54	0	0
T8 = SMS 1% + HCl 5%	1.72	2.23	2.23	1.91	4.49	1.09

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการแช่ผลลำไยด้วยสารทดแทนต่อการยอมรับของผู้บริโภคคุณภาพโดยรวม หลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 85 - 90% นาน 35 วัน

Treatment	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)					
	1	8	15	22	29	35
T1 = SMS 4%	2.90	2.70 ab	2.20 bc	-	-	-
T2 = SMS 4% + HCl 1%	3.40	3.40 ab	3.10 abc	3.90	-	-
T3 = SMS 5%	2.90	2.90 ab	2.20 bc	-	-	-
T4 = SMS 5% + HCl 1%	3.00	3.40 ab	3.20 ab	3.50	-	-
T5 = SMS 6%	3.80	2.60 ab	2.00 c	-	-	-
T6 = SMS 6% + HCl 1%	3.80	3.30 ab	3.40 a	3.80	3.50	3.30
T7 = ร่ม SO ₂	3.70	3.90 a	3.70 a	3.40	-	-
T8 = SMS 1% + HCl 5%	3.30	3.20 ab	3.50 a	3.30	3.60	3.30
CV (%)	24.83	28.46	28.81	27.62	34.88	35.57

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4) ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการแช่ใน HCl+SMS จากกรรมวิธีที่เหมาะสมจากการทดลองข้อที่ (3) ใน คือ การแช่ใน HCl 5%+ SMS 1% นาน 5 นาที เพราะมีคุณภาพผลที่ยอมรับได้ และการตกค้างต่ำ และมีการระเหยของก๊าซ SO₂ ต่ำกว่าการใช้ HCl 1%+SMS 6% โดยเตรียมกรด HCl 5% ดูดจากถังกรดปริมาตร

171 ลิตรต่อน้ำ 1200 ลิตร ดูดด้วยปั๊มไฟฟ้า ลงในน้ำในรางเลื่อนที่มีน้ำไว้แล้ว 1000 ลิตร ส่วนสาร SMS 1% ซึ่งน้ำหนัก 12 kg ละลายในน้ำ 100 ลิตร และค่อยๆ ดูดลงในรางแช่ที่มี HCl อย่างช้าๆ พร้อมกับเปิด SO₂ waste scrubber ดูดแก๊ส จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายในรางเลื่อนที่มี HCl 5%+ SMS 1% ให้ครบ 1,200 ลิตร และเปิดระบบไหลเวียนน้ำนาน 1 ชั่วโมง (ไม่มีลำไยแช่) แต่ในขั้นตอนการเตรียมสารทดแทนสำหรับแช่ พบว่า สารทดแทนมีสีฟ้าขุ่น และมีตะกอนเกิดขึ้น เนื่องจากมีสารเคมีจำพวก waste ปะปนมาด้วย ทำให้ไม่สามารถใช้แช่ลำไยด้วยสารทดแทนที่เตรียมไว้ จึงปรับเปลี่ยนวิธีโดยใช้คนแช่ โดยทดสอบแช่ลำไย 4 ตะกร้า/ครั้ง ทั้งหมดจำนวน 6 ครั้ง เก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 85-90%

- การสุ่มวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในผลลำไย จากการแช่ครั้งละ 4 ตะกร้าจนครบ 6 ครั้ง สุ่มแบบ composite 4 ตะกร้าให้ได้ 1 กก. มาตรวจวัดสาร SO₂ ตกค้างในส่วนเนื้อ เปลือกผล และทั้งผล พบว่าค่าการตกค้างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.93, 403.81 และ 52.36 ppm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ untreated fruit 1 ตะกร้า มีค่าเท่ากับ 0.93, 12.45 และ 2.00 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 6) พบว่าค่าตกค้างของ SO₂ ในลำไยทั้งผลมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานประเทศสิงคโปร์เล็กน้อย (กำหนดตามมาตรฐาน Codex ไม่เกิน 50 ppm) เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 3 วันค่าการตกค้างลดลงเท่ากับ 2.52, 381.23 และ 43.46 ppm ตามลำดับ และค่าตกค้างทั้งผลไม่เกินมาตรฐานของประเทศสิงคโปร์ที่อ้างอิง Codex

ตารางที่ 6 ค่าตกค้างที่วัดทันทีและทิ้งไว้นาน 3 วันที่ 5 °C นาน 3 วัน ก่อนส่งออก

code	ลำดับการแช่	จำนวนตะกร้า	ค่าตกค้างของ SO ₂ (ppm)			หมายเหตุ
			เนื้อ	เปลือก	ทั้งผล	
1) วัดทันทีก่อนการเก็บรักษาที่ 5 °C						
T1	ครั้งที่ 1	4	0.40	481.31	60.35	
T2	ครั้งที่ 2	4	0.83	451.66	58.10	
T3	ครั้งที่ 3	4	0.87	345.07	43.73	
T4	ครั้งที่ 4	4	1.21	395.98	51.12	
T5	ครั้งที่ 5	4	1.02	320.03	48.88	
T6	ครั้งที่ 6	4	1.23	428.80	51.96	
	ค่าเฉลี่ย		0.93	403.81	52.36	
T7	Untreated fruit	1	0.57	12.45	2.00	
2) ตรวจวัดหลังจากเก็บรักษานาน 3 วัน						
		1	2.52	381.23	43.46	

- การสุ่มตรวจสอบคุณภาพที่ต้นทางประเทศไทย เมื่อจำลองการเก็บรักษาผ่านไป 10 วัน พบว่าผลที่แช่ HCl 5%+SMS 1% มีเปอร์เซ็นต์ผลดี ผลนิ่ม เกิดโรค และผลแตก เท่ากับ 86.89, 8.2, 4.92 และ 2.46 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลลำไยไม่แช่สาร (Untreated fruit) มีค่าเท่ากับ 74.28, 24.28, 1.43 และ 0% ตามลำดับ (ตารางที่ 7) มีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลดำและสีเนื่ออยู่ในเกณฑ์ปกติมีสีเนื้อเปลี่ยนสีเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 7 การสุ่มลำไยเพื่อทวนสอบคุณภาพผลลำไยที่เก็บรักษาบางตะกั่วไว้ที่ประเทศไทยนาน 10 วัน ที่ 5 °C

Fruit quality	HCl 5% + SMS 1% (สุ่ม 122 ผล)	Untreated fruit (สุ่ม 140 ผล)
เปอร์เซ็นต์ผลดี	86.89	74.28
เปอร์เซ็นต์ผลนิ่ม	8.2	24.28
เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค/เน่าเสีย	4.92	1.43
เปอร์เซ็นต์ผลแตก	2.46	0
คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาล (1-5)	1 (ปกติ)	5 (เกิดสีน้ำตาลมากกว่า 50%)
คะแนนการเปลี่ยนสีเนื้อ (1-5)	1.7 (สีเนื้อเปลี่ยนสีเล็กน้อย)	1.2 (สีเนื้อเปลี่ยนสีเล็กน้อย)

- แบ่งตัวอย่างส่งออกต่างประเทศรวม 3 ประเทศ ได้แก่ ส่งออกทางเรือไปประเทศสิงคโปร์และประเทศจีนจำนวน 15 และ 5 ตะกั่วตามลำดับ และส่งทางเครื่องบินไปประเทศแคนาดา 2 ตะกั่ว สรุปผลการทดสอบการส่งออกดังนี้ คือ

1) ประเทศสิงคโปร์ทางเรือ มีสาร SO₂ ตกค้างทั้งผลไม่เกินมาตรฐาน 50 ppm สีผิวเหลืองสวย แต่ลำไยมีสีแดงเรื่อๆ บริเวณขั้ว มีผลแตกเล็กน้อย รสชาติเปลี่ยนเล็กน้อยในบางผล ผู้ประกอบการชาวสิงคโปร์ได้เดินทางมาดูลำไยที่เก็บรักษาที่ประเทศไทยที่ห้องปฏิบัติการกพป.สวพ.1 จ.เชียงใหม่ควบคู่กัน และประเมินผลร่วมกันอีกครั้ง ผู้ประกอบการรู้สึกพึงพอใจจะนำผลที่ได้ไปแนะนำผู้นำเข้าจากประเทศสิงคโปร์มีประมาณ 3-5 บริษัทให้สามารถใช้อินนี้ได้ เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับแก้ไขปัญหาหากพบสาร SO₂ ตกค้างเกินมาตรฐานลำไยทั้งผล

2) ประเทศจีนทางเรือ ผลการประเมินคล้ายคลึงกับประเทศสิงคโปร์

3) ประเทศแคนาดา สามารถวางจำหน่ายที่ประเทศแคนาดาได้เลย แต่ไม่ควรมีสาร SO₂ ตกค้างในเนื้อผล โดยสรุปแล้วพบว่า ผู้ประกอบการมีความพอใจ ในเรื่องคุณภาพสีผิวเปลือกด้านนอกที่ไม่แตกต่างกับวิธีการรม SO₂ แต่เนื้อในมีสีชมพูที่บริเวณขั้วบางส่วน เนื่องจากลำไยมีเปลือกบาง จึงทำให้มีการซึมเข้าเนื้อในได้ง่าย

การทดลองที่ 2 การทดสอบการใช้คลอรีนไดออกไซด์ และก๊าซบางชนิดต่อการยืดอายุการเก็บรักษาลำไย

1) การทดสอบเทคโนโลยีการแช่ ClO₂ ต่อคุณภาพผล จากการตรวจสอบคุณภาพของผล ได้แก่ การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือก ความผิดปกติของสีเนื้อ การวัดสีเปลือก (ค่า L* C* และ h°) และการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสีเปลือก สีเนื้อ รสชาติ กลิ่น และการยอมรับโดยรวม พบว่า การแช่ด้วย ClO₂ 2% อยู่ในเกณฑ์การยอมรับตลอดอายุการเก็บรักษา 28+3 วัน ที่อุณหภูมิ 25 °C

2) การทดสอบเทคโนโลยีการรมด้วย ClO₂ และผลต่ออายุการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาในด้านคุณภาพของการเปลี่ยนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกความผิดปกติของสีเนื้อ การวัดสีเปลือก (ค่า L* C* และ h°) และการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสีเปลือก สีเนื้อ รสชาติ กลิ่นและการยอมรับโดยรวม พบว่า การรมด้วย ClO₂ 1% และ 1.5% อยู่ในเกณฑ์การยอมรับที่อุณหภูมิ 5 °C ในเก็บรักษาเป็นเวลา 14+3 วัน

3) การทดสอบเทคโนโลยีการเคลือบผิวลำไยด้วย Mixed wax และผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาลำไย พบว่าวิธีการที่ดีที่สุด คือ การแช่ HCl 6.4%+mixed wax 6% สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 28 วัน ที่อุณหภูมิ 5 °C รองลงมา ได้แก่การแช่ด้วย ClO₂ 2% และ HCl 6.4% ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม คือการรม SO₂ วิธีทางการค้า

- การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือก การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกนอก ในการทดลองตรวจบันทึกผลทุก 7 วัน โดยเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C และนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ในด้านคุณภาพการเก็บรักษาพบว่า การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกนอกการแช่ HCl 6.4%+mixed wax 6% มีคะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกเท่ากับ 4 ในการเก็บรักษาที่ 7+3 วัน ที่ 25 °C ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดควบคุมมีคะแนนเท่ากับ 3.3 แต่เมื่อวันที่ 14 +3 ของการเก็บรักษา การแช่ด้วย mixed wax เพียงอย่างเดียว พบว่าเกิดการเน่าเสียจากเชื้อราขึ้นปกคลุมทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ (ตารางที่ 8)

- การเปลี่ยนสีของเนื้อผล พบว่าการเคลือบด้วย Mixed wax สิ้นอายุการเก็บรักษาที่ 14+3 วัน ส่วนวิธีการรม SO₂, ClO₂ 2% และ HCl 6.4% วันที่ 28+3 มีคะแนนการเปลี่ยนสีของเนื้อผลเท่ากันมีค่า 2.0 ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการแช่ HCl 6.4%+mixed wax 6%, มีคะแนนที่ 2.6 (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 8 คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือก เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 28 วัน และที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) นาน 3 วัน (เกณฑ์การยอมรับ ≤3.0)

กรรมวิธี	Day 1+3	Day 7+3	Day 14+3	Day 21+3	Day 28+3
T1 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 6%	3.87a	4.07bc	-	-	-
T2 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 8%	3.80a	4.80a	-	-	-
T3 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 10%	4.07a	4.87a	-	-	-
T4 แช่ ClO ₂ เข้มข้น 2.0%	2.40b	3.93c	4.20b	5.00a	5.00a
T5 แช่ HCl เข้มข้น 6.4%	2.67b	4.47ab	4.47ab	4.80a	5.00a
T6 แช่ HCl 6.4%+ Mixed wax 6%	2.80b	4.00c	4.80a	5.00a	5.00a
T7 รมด้วย SO ₂ วิธีทางการค้า	2.20b	3.33d	4.20b	4.93a	5.00a
CV (%)	22.19	8.67	10.00	4.95	0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 9 คะแนนการเปลี่ยนของสีเนื้อ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 28 วัน และที่ อุณหภูมิห้อง (25°C) นาน 3 วัน (เกณฑ์การยอมรับ ≤ 2.00) (จาก 3 คะแนน)

กรรมวิธี	Day 1+3	Day 7+3	Day 14+3	Day 21+3	Day 28+3
T1 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 6%	1.00b	1.07b	-	-	-
T2 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 8%	1.00b	1.60a	-	-	-
T3 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 10%	1.00b	1.13b	-	-	-
T4 แช่ ClO ₂ เข้มข้น 2.0%	2.67a	1.67a	1.93b	2.07a	2.00b
T5 แช่ HCl เข้มข้น 6.4%	2.13a	2.00a	2.20ab	2.13a	2.00b
T6 แช่ HCl 6.4%+ Mixed wax 6%	2.40a	1.87a	2.47a	2.07a	2.60a
T7 รมด้วย SO ₂ วิธีการค้า	1.27b	1.73a	2.00ab	2.00a	2.00b
CV (%)	28.51	24.13	22.47	12.27	14.91

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95%

- เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค พบว่าการเคลือบด้วย mixed wax พบการเกิดโรค 100% ในวันที่ 14+3 ส่วนการแช่ HCl 6.4%+mixed wax 6% มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 6.67% การแช่ ClO₂ 2% มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 3.33% และการแช่ HCl 6.4% มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 16.67% ซึ่งทั้ง 3 กรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับวิธีการรม SO₂ ไม่พบการเกิดโรคในการเก็บรักษาที่ 28+3 วัน (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 28 วัน และที่อุณหภูมิห้อง (25°C) นาน 3 วัน

กรรมวิธี	Day 1+3	Day 7+3	Day 14+3	Day 21+3	Day 28+3
T1 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 6%	40.00a	60.00ab	100.00a	100.00a	100.00a
T2 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 8%	53.33a	86.67a	100.00a	100.00a	100.00a
T3 เคลือบผิวด้วย Mixed wax 10%	53.33a	86.67a	100.00a	100.00a	100.00a
T4 แช่ ClO ₂ เข้มข้น 2.0%	0.00b	3.33c	16.67b	3.33b	3.33b
T5 แช่ HCl เข้มข้น 6.4%	0.00b	6.67bc	0.00b	33.33b	16.67b
T6 แช่ HCl 6.4%+ Mixed wax 6%	0.00b	3.33c	3.33b	16.33b	6.67a
T7 รมด้วย SO ₂ วิธีการค้า	0.00b	0.00b	0.00b	0.00b	0.00b
CV (%)	58.92	54.34	24.34	29.00	14.03

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95%

- เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก พบว่าทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียไม่แตกต่างจากวิธีการรม SO₂ ในทุก 7 วันของการเก็บผล แต่การสูญเสียน้ำหนักจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 28+3 ของการเก็บรักษา โดยน้ำหนักที่ลดลงจะอยู่ในช่วง 2.46-3.80 กรัม

4) ทดสอบเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับลำไยปริมาณมากขึ้น

4.1) การทดสอบการส่งออก ทดสอบการส่งออกร่วมกับผู้ประกอบการส่งออกของประเทศไทยไปประเทศแคนาดาที่เข้มงวดการใช้ SO_2 กำหนดมาตรฐานค่าตกค้างของ SO_2 ในเนื้อผลต้องต่ำกว่า 0 ppm ทดสอบแช่ HCl 6.4% นาน 5 นาที ส่งไปประเทศแคนาดาทางเครื่องบินใช้เวลาขนส่งนาน 2 วัน รวม 10 ตะกร้า โดยตรวจสอบพบค่าตกค้างในเนื้อ เปลือก และทั้งผลเท่ากับ 1.33, 23.88 และ 3.77 ppm ตามลำดับ เมื่อถึงปลายทางผู้ประกอบการนำเข้าได้นำสินค้ามาเก็บรักษาเพื่อประเมินผลดูความเป็นไปได้ในการจำหน่ายที่ปลายทาง พบว่าลำไยแช่กรด HCl สามารถวางจำหน่ายได้ แต่ผู้ประกอบการปลายทางเก็บไว้เพื่อดูคุณภาพ มีบางผลเปลือกแตกและบวมบ้าง เนื่องจากเปลือกบาง สีผิวส้มเหลือง ผู้ประกอบการให้ข้อคิดเห็นสีผิวหากสีผิวเหลืองขึ้นจะดีมากให้เน้นแช่ HCl กับลำไยเปลือกหนาและเป่าผลให้แห้งสนิทโดยเฉพาะตำแหน่งกลางตะกร้าทุกครั้งก่อนส่งออก ซึ่งผู้ประกอบการให้ข้อมูลว่ามีลำไยพันธุ์ลองจากประเทศเวียดนามแช่ HCl เช่นกัน แต่ความเข้มข้นสูงถึง 13% สามารถส่งออกมาจำหน่ายที่ประเทศแคนาดาได้ โดยลำไยพันธุ์ลองมีเปลือกที่หนากว่าลำไยพันธุ์ต่อจากประเทศไทยมาก ดังนั้นหากใช้ลำไยพันธุ์ต่อเปลือกหนาแช่น่าจะดีกว่าลำไยที่เปลือกบาง คุณภาพจะดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการแช่ของ Drinan (2004) ที่แช่ลำไยพันธุ์เบียวเขียวที่เปลือกหนาและปลูกในประเทศออสเตรเลีย แช่ HCl 5% นาน 20 นาที สีผิวและคุณภาพผลดี

4.2) การนำเทคโนโลยีก๊าซมาใช้ โดยได้นำเทคโนโลยีที่ทดแทนในรูปของก๊าซมาใช้ คือ การใช้ก๊าซโอโซนรมผลลำไยเพื่อพอกสีผิวร่วมกับการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสีผิว และการลดตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผล และเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดแทนที่ผ่านมา อายุการเก็บรักษา พบว่า การรม O_3 60 นาที + SO_2 ไม่ต่างจากการรม SO_2 มีอายุการเก็บรักษานานเท่ากันคือ 42+3 วัน ที่อุณหภูมิ 25°C รองลงมา คือการแช่ ClO_2 1.5% มีอายุการเก็บรักษาได้นาน 42 วัน ที่ 5°C ในขณะที่การไม่แช่สารมีอายุการเก็บรักษา 7 วัน ที่ 5°C

การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เปลือกและเนื้อ ในกรรมวิธีที่รม SO_2 มีค่าตกค้างที่เปลือกอยู่ในช่วง 1,174.20-1,783.80 ppm ในเนื้อมีค่า 0.38-1.92 ppm ส่วน การรม O_3 60 นาที + SO_2 มีการค่าการตกค้าง ที่เปลือก 743.00-1,039.70 ppm ที่เนื้อมีค่า 0.54-1.78 ppm ค่าการตกค้างของกรดเกลือในเปลือกและเนื้อ พบว่าทุกกรรมวิธีมีการตกค้างของกรดเกลือไม่แตกต่างจากลำไยที่ไม่แช่สาร และค่า pH เปลือกและเนื้อ พบว่าการแช่ HCl 6.4% มีค่า pH เปลือกต่ำที่สุด

ในทุกกรรมวิธีมีค่า pH ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 3.38-5.98 ของลำไยปกติ ซึ่ง pH เปลือกจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วน pH ในเนื้อ ในทุกกรรมวิธีมีค่า pH ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 5.06-8.12 ของลำไยปกติ

การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกนอก พบว่าการรม O_3 60 นาที + SO_2 มีค่าการเปลี่ยนสี น้ำตาลที่เปลือกต่ำสุด มีค่าเท่ากับการรม SO_2 รองลงมา คือ การแช่ ClO_2 1.5% และ HCl 6.4% มี ค่าการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกนอก ≤ 3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ ส่วนการไม่แช่สารมีค่าสูงกว่า 3 ระยะเวลาการเก็บรักษา ที่ 42+3 วัน ความผิดปกติของสีเนื้อพบว่า รม O_3 60 นาที + SO_2 ซึ่งไม่ แตกต่างจากกรรมวิธีการรม SO_2 มีค่าเท่ากับ 2 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษานาน 42 +3 วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของการยอมรับที่ ≤ 2.0 และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคพบว่าตลอดอายุการเก็บรักษานาน 42+3 วัน ที่อุณหภูมิ 25°C การแช่ ClO_2 1.5% ไม่พบการเกิดโรค ไม่ต่าง

จากการรวม SO₂ การแช่ HCl 6.4% และการรวม O₃ 60 นาที+SO₂ ส่วนเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธีตลอดอายุการเก็บรักษานาน 42+3 วัน ที่ 5^oC

การทดสอบด้านประสาทสัมผัส ในการยอมรับโดยรวม พบว่า การรวม O₃ 60 นาที+SO₂ และ SO₂ มีการยอมรับโดยรวม ≥ 3 อยู่ที่ 35 วัน การแช่ ClO₂ 1.5% และ HCl 6.4% อยู่ที่ 14+3 วัน และ ไม่แช่สารมีการยอมรับอยู่ที่ 14 วัน

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

1. การใช้สาร HCl 5%+ SMS 1% แช่ผลลำไยสดนาน 5 นาที สามารถช่วยยืดอายุผลลำไยได้ดีที่สุด มีคุณภาพผลดี ได้แก่ ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกด้านนอก-ด้านใน และสีเนื้อ และการยอมรับของผู้บริโภคคุณภาพโดยรวมไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับการรมควันด้วย SO₂ รวมถึงการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อไม่เกินค่าตกค้างเกินมาตรฐาน EU (10 ppm) และการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งผลต่ำกว่า 50 ppm (Codex) แล้วจึงดำเนินการทดสอบแช่ลำไยเพื่อส่งออกต่างประเทศร่วมกับผู้ประกอบการและมีการสุ่มวัดการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่า การตกค้างของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ 2.52 ppm ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน EU (10 ppm) การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เปลือก 381.23 ppm ซึ่งต่ำกว่าวิธีการรมควันด้วย SO₂ (1000-2200 ppm) และการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งผล 43.46 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 50 ppm (Codex) ในส่วนผู้ประกอบการมีความพอใจ ในเรื่องคุณภาพสีผิวเปลือกด้านนอกที่ไม่แตกต่างกับวิธีการรม SO₂

2. การรวม O₃ 60 นาที+SO₂ มีอายุการเก็บรักษาไม่ต่างจากการรวม SO₂ มีอายุการเก็บรักษานานเท่ากัน คือ 42+3 วัน ที่อุณหภูมิ 25^oC รองลงมา คือการแช่ ClO₂ 1.5% มีอายุการเก็บรักษาได้นาน 42 วัน ที่ 5^oC ในขณะที่การไม่แช่สารมีอายุการเก็บรักษา 7 วัน ที่ 5^oC โดยสรุปแล้ว การรวมโอโซน+ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และการแช่คลอรีนไดออกไซด์ 1.5-2.0% และ/หรือ แช่กรดเกลือ 6.4% นาน 5 นาที สามารถใช้เป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาสารตกค้างได้

กิจกรรมที่ 3

วิธีการวิเคราะห์สารตกค้างซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบเร็วทดแทนการไทเทรต

สถิตย์พงศ์ รัตนคำ¹ วิทยา อภัย² เกียรติศักดิ์ นักผูก¹ และสนอง อมฤกษ์¹

คำสำคัญ : ลำไย, เครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต, วิธีไทเทรตมาตรฐาน AOAC (2016), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, วิธีคูลอมเมตริกไทเทรตขั้น

บทคัดย่อ

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แบบเร็วทดแทนการไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ด้วยวิธีคูลอมเมตริกไทเทรตขั้นจากวิธีชินริทซ์ และวัฒนากร (2550) โดยการศึกษาการทำปฏิกิริยาของ SO₂ กับไอโอดีนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ไฟฟ้าในสภาวะที่เป็นกรด และหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับความเข้มข้น SO₂ แล้วจึงสร้างเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) วงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ 2) วงจรจับเวลาที่จ่ายกระแสไฟฟ้า และ 3) ระบบการกวนผสม จากนั้นทดสอบหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนกับความเข้มข้นของ SO₂ ได้จากสารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulfite ความเข้มข้นระหว่าง 0-300 ppm สมการที่ได้ คือ $y = 0.0269x + 5.9454$, $R^2 = 0.9746$ และทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วเปรียบเทียบกับวิธีไทเทรต (AOAC, 2016) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่แช่สารประกอบซัลไฟต์ คือ sodium metabisulfite (SMS) 5%+ HCl 1% นาน 60 นาที พบว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วตรวจพบค่าการตกค้างของ SO₂ ในเนื้อไม้แตกต่างจากวิธีมาตรฐาน AOAC ที่ความเข้มข้นสูง 1000 ppm แต่พบว่าค่าความเข้มข้นต่ำระหว่าง 0-100 ppm ค่ามีความผันผวน ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วโดยการหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่าสามารถใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้น 0.05 % (จากเดิม 0.1%) และช่วงความเข้มข้นของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดิเมตริก (%) ที่ 90/75 ในการวิเคราะห์ SO₂ ได้ โดยมีความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนกับความเข้มข้นสารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulphate สมการที่ได้ คือ $y = 0.0464x$, $R^2 = 0.9144$ และทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วเปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่รม SO₂ มีค่าการตกค้างต่ำกว่า 50 ppm พบว่า การวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วตรวจพบค่าการตกค้างของ SO₂ ในเนื้อไม้ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) จึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์คัดกรอง (Screening) เบื้องต้นกับตัวอย่างลำไยที่ผ่านการรม SO₂ ได้ และเครื่องต้นแบบมีต้นทุนประมาณ 50,000 บาท โดยจุดคุ้มทุนของต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต อยู่ที่ 179 ตัวอย่าง

^{1/} ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

^{2/} สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ต. แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

Research Activity III

Development on the rapid sulfur dioxide detection equipment to replace standard method

Satitpong Rattanakam¹ Wittaya Apai² Kriangsak Nukphuk¹ and Sanong Amareuk¹

Key words: Longan, rapid SO₂ detection equipment, standard titrations method (AOAC, 2016), sulfur dioxide (SO₂), coulometric titration method.

Abstract

Performance testing of the rapid sulfur dioxide (SO₂) detection equipment by coulometric titrations method following Techapun and Kaewpakdee (2007) to replace standard method (AOAC, 2016) was carried out. This principle was initially from the study of the reaction of SO₂ with iodine produced by electrolysis in acidic conditions and then determines the relationship between the times taken to react with the SO₂ concentration. It was then building the rapid SO₂ detection equipment, consists of three main parts: 1) constant current supply 2) timer circuit that supplies electricity and 3) mixing system. Testing for the relationship of iodine coloring time to 0-300 ppm SO₂ interval produced from formaldehyde sodium bisulfite as a standard solution, the equation was $y = 0.0269x + 5.9454$, $R^2 = 0.9746$, and tested the efficiency with longan samples use of SMS 5% + HCl 1% dipped longan for 60 minutes. The results showed that the residual SO₂ content of fruit pulp in this method was not different from that of standard titrations method (AOAC, 2016) especially at 1000 ppm but found less consistency at low concentration below 100 ppm. Therefore, before the actual use had been improved and developed of the rapid SO₂ detection equipment by finding the optimized conditions. It was found that potassium iodide solution (KI) could be decreased at 0.05% (previously 0.1%) and the intensity of light in the iodometric reaction time (%) at 90/75. In SO₂ analysis, there was a correlation between iodine color change and formaldehyde sodium bisulphate. The equation was $y = 0.0464x$, $R^2 = 0.9144$ and tested the efficiency with longan samples use fumigated with SO₂. The results showed that it was the residual SO₂ content of fruit pulp was not different from that of standard titrations method (AOAC, 2016) and the prototype cost about 50,000 baht. The breakeven point of the prototype was 179 samples.

^{1/}Office of Agricultural Research and Development Region 1, Mueang, Mae Hea, Chiang Mai

^{2/}Agricultural Engineering Research Institute, Mae Hea, Mueang, Chiang Mai

บทนำ

การตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ยังคงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในปัจจุบันเพราะมีการแจ้งเตือนค่าตกค้างเกินมาตรฐาน ไม่ว่าจะลำไยส่งออกไปประเทศจีนและอีกหลายประเทศ (ตารางที่ 1) เช่น ประเทศแคนาดา สิงคโปร์ และมาเลเซีย เป็นต้น ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะวิเคราะห์ SO₂ ด้วยวิธีมาตรฐานในลำไย ส่งออกไปประเทศจีนทุกล็อตก็ตาม การหาวิธีการวิเคราะห์ที่สะดวกรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ ปลอดภัย ใช้งานง่ายจะเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการนำไปใช้คัดกรองผลการทดสอบ (Screening) เบื้องต้น กับลำไยที่ผ่านการรม SO₂ ก่อนส่งออกไปประเทศปลายทางได้

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 (เฉพาะผลอ่อน)	28-30

การพัฒนาการวิเคราะห์สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ที่ตกค้างในเนื้อผลลำไย ด้วยวิธีโคลอมเมตริกไทเทรชัน เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดเวลาในการตรวจสอบสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ที่ตกค้างในลำไยที่ส่งออกได้ และสะดวกต่อการนำไปใช้ภาคสนาม หรือตามด่านตรวจพืชต่างๆ รวมทั้งโรงรม SO₂ ที่ยังไม่มีเครื่องวิเคราะห์เป็นของตนเอง วิธีมาตรฐานที่นิยมใช้ตรวจมี 3 วิธี ได้แก่ 1) Tritimetric method (AOAC, 1990) 2) วิธีไทเทรต Optimized Monier-William Method (AOAC, 2016) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลำไยส่งออกต่างประเทศในปัจจุบัน และ 3) Chromatographic method ซึ่งแต่ละวิธียุ่งยาก ใช้เวลาวิเคราะห์นาน ผู้วิเคราะห์ต้องชำนาญ และเสียค่าวิเคราะห์สูง

การใช้ Test kit สำหรับองค์การอาหารและยา พบว่า ยังไม่สามารถระบุได้ถึงระดับค่าที่ต้องการ และระดับต่ำสุดที่พบ 150 ppm ซึ่งระบุเพียงพบหรือไม่พบสารซัลไฟต์เท่านั้น การใช้ส่วนมากพบในไวน์ น้ำผลไม้ ผลไม้อบแห้ง ปลาแห้ง เนื้อบดที่ใช้ test kit strip โดยการวัดหาปริมาณไบซัลไฟต์ไอออน (SO₃²⁻) ของบริษัท Merck วัดช่วงการเปลี่ยนสีโดยแผ่นกระดาษในสารละลาย กระดาษจะเปลี่ยนสีดังนี้ 10-40-80-180-400 mg/L SO₃²⁻ MQuantTM ข้อเสียของวิธีใช้แผ่นกระดาษเทียบสี คือ ไม่สามารถบอกตัวเลขค่าตกค้างได้แต่บอกเป็นช่วงที่พบและการดูสีบนแผ่นกระดาษด้วยสายตาแต่ละคนแตกต่างกัน

ชรินทร์ และวัฒนากร (2550) พบว่า ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในอาหารและเครื่องดื่มในรูปแบบไบซัลไฟต์ และซัลไฟต์ ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนที่ถูกสร้างขึ้นจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าสู่สารละลายไอโอดีนผ่าน

ชั่วไฟฟ้าทำงาน โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ การใช้กระแสไฟฟ้า 10 มิลลิแอมป์ ในสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ เมื่อคำนวณปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ไปในการทำปฏิกิริยา หรือเมื่อทราบระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาก็สามารถคำนวณหาปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่ต้องมีการพัฒนาก่อนนำไปใช้จริงในเชิงพาณิชย์ จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจนำมาทดสอบแก้ไขปัญหสำหรับผู้ประกอบการลำไยส่งออก Kanyanee et al. (2013) ได้นำเทคนิคนี้ไปตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกและ thiosulfate ที่มีความรวดเร็วและง่ายต่อการนำไปใช้งาน

ปัจจุบันยังไม่มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดปริมาณการตกค้างของ SO₂ แบบรวดเร็วในเนื้อผลลำไย ในตู้คอนเทนเนอร์ระหว่างขนส่ง (ภาคสนาม) หรือตามด่านตรวจพืชต่างๆ รวมทั้งโรงรม SO₂ ที่ยังไม่มีเครื่องวิเคราะห์เป็นของตนเอง จึงได้นำเทคนิคโคลอมเมตริกไทเทรชัน คือ อาศัยปฏิกิริยาระหว่าง SO₂ กับไอโอดีนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ไฟฟ้าในสภาวะที่เป็นกรด แล้วนำระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามาคำนวณหาปริมาณ SO₂ และมีการพัฒนาก่อนนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะสะดวกสำหรับการใช้งานภาคสนาม

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต

ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2558 – กันยายน 2560 ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1 และศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่

1) สร้างต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ด้วยวิธีโคลอมเมตริกไทเทรชัน จากวิธีชรินทร์ และวัฒนาการ (2550) โดยศึกษาเทคนิคการตรวจ SO₂ แบบเร็ว ด้วยวิธีโคลอมเมตริกไทเทรชัน คือ การทำปฏิกิริยาของ SO₂ กับไอโอดีน และสร้างต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต

2) การทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ด้วยปฏิกิริยาของ SO₂ และไอโอดีน และทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบในการตรวจ SO₂ เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) โดยดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1 ต.สันทราย จ.เชียงใหม่

2.1) การทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ด้วยปฏิกิริยาของ SO₂ และไอโอดีน และหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยเทคนิคโคลอมเมตริกไทเทรชัน โดยการเตรียมสารมาตรฐานซัลไฟต์ 2 ชนิด คือ สารมาตรฐานโซเดียมซัลไฟต์ (ชรินทร์ และวัฒนาการ, 2550) และสารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulphate (AOAC, 2016) เพื่อศึกษาปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง โดยใช้ปฏิกิริยาไอโอดิเมตริกสังเกตการเปลี่ยนสีของไอโอดีนที่เป็นจุดยุติ โดยตวงสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 200 ml, เติมน้ำแบ่งปริมาตร 4 ml และเติมสารมาตรฐานซัลไฟต์ ปริมาตร 2.5 ml สำหรับการไทเทรชัน จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าแอสแตนเลสทำงานที่ผลิตไอโอดีน (I₂) เข้าที่ขั้วบวก (anode) ส่วนขั้วไฟฟ้าแอสแตนเลสช่วย ต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode) ลงในสารละลายที่ต้องการวัดในปิแกเกอร์ ปริมาตร 500 ml จากนั้นจ่ายกระแสไฟฟ้า 10 mA พร้อมกับเริ่มจับเวลา ทันทีที่สารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงินม่วงให้หยุดเวลาบันทึกเวลาเป็นวินาที และให้มีระบบมีการกวนผสมด้วยเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็กหมุน (magnetic stirrer)

ตลอดเวลา จากนั้นสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์

2.1.1) ทดสอบการใช้สารมาตรฐานโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) (ชรินทร์ และวัฒนกร, 2550) ที่ความเข้มข้นต่างๆ มีกรรมวิธี 6 กรรมวิธี 10 ซ้ำ รวม 60 ครั้ง สร้างกราฟระหว่างเวลาที่เกิดการเปลี่ยนสีของไอโอดีนและระดับความเข้มข้นของ SO_2 เพื่อสร้างสมการ

2.1.2) ทดสอบการใช้สารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulphate (AOAC, 2016) ความเข้มข้นต่างๆ มีกรรมวิธี 5 กรรมวิธี 10 ซ้ำ รวม 50 ครั้ง ได้แก่ สร้างกราฟระหว่างเวลาที่เกิดการเปลี่ยนสีของไอโอดีนและระดับความเข้มข้นของ SO_2 เพื่อสร้างสมการ

2.2) ทดสอบประสิทธิภาพต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ในการตรวจสอบมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulphate เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) มีกรรมวิธี 5 กรรมวิธี 5 ซ้ำ รวม 25 ครั้ง ได้แก่ วิเคราะห์เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ% difference

2.3) ทดสอบประสิทธิภาพต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ในการตรวจ SO_2 ที่ตกค้างในตัวอย่างลำไย (แ่สารประกอบซัลไฟต์ คือ SMS 5%+ HCl 1%) เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) โดยนำผลลำไยสด 3 กก. แ่ด้วยสารละลายซัลไฟต์นาน 60 นาที (ให้สารซึมเข้าไปในเนื้อมากๆ) เป่าให้แห้งเก็บในตะกร้าพลาสติก 3 kg จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่ 5°C สำหรับรอวิเคราะห์เปรียบเทียบผลต่อไป ทดสอบเปรียบเทียบวิธีเตรียมตัวอย่างลำไยเพื่อสกัด และกรรมวิธี 3 กรรมวิธี 6 ซ้ำ รวม 18 ครั้ง

3) ปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานภาคสนาม และลดต้นทุนในการวิเคราะห์ตัวอย่าง เนื่องจากเครื่องมือมีความแม่นยำที่ดีเฉพาะค่า SO_2 ที่ช่วงเกิน 100-2000 ppm แต่ช่วงต่ำกว่า 100 ลงมาถึง 0 ppm โดยเฉพาะ 0-50 ppm เป็นช่วงที่สำคัญ เพราะเกณฑ์ค่าตกค้างของ SO_2 ในเนื้อผลลำไยส่งออกประเทศจีนเท่ากับ 50 ppm จึงต้องเน้นช่วง 0-100 ppm และจำเป็นต้องลดต้นทุนสารเคมีที่ใช้งานเพื่อสะดวกกับหน่วยงานอื่นๆ ในการนำไปใช้งานได้ไวขึ้น

3.1) ทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมกับการใช้งานภาคสนาม โดยมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ

1) สารละลายโพแทสเซียมไอโอดด์ (KI) ที่ 3 ความเข้มข้น คือ 0.025%, 0.05% และ 0.1%

2) ช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดเมตริก (%) คือ 75/90, 80/95 และ

85/90

โดยการใช้ formaldehyde sodium bisulphate เป็นสารมาตรฐานซัลไฟต์ ในการทำทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต โดยตวงสารละลายโพแทสเซียมไอโอดด์ (KI) ปริมาตร 200 ml, เติมน้ำแข็งปริมาตร 4 ml และเติมสารมาตรฐานซัลไฟต์ ปริมาตร 2.5 ml สำหรับการไทเทรชัน จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าสแตนเลสทำงานที่ผลิตไอโอดีน (I_2) เข้าที่ขั้วบวก (anode) ส่วนขั้วไฟฟ้าสแตนเลสช่วย ต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode) ลงในสารละลายที่ต้องการวัดในปิกรเกอร์ปริมาตร 500 ml จากนั้นจ่ายกระแสไฟฟ้า 10 mA พร้อมกับเริ่มจับเวลา ทันทีที่สารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงินม่วงให้หยุดเวลา บันทึกเวลาเป็นวินาที และให้มีระบบมี

การกวนผสมด้วยเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็กหมุน (magnetic stirrer) ตลอดเวลา จากนั้นสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์

3.1.1) ทดสอบการใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้น ต่างๆ มีกรรมวิธี 3 กรรมวิธี 5 ซ้ำ รวม 15 ครั้ง สร้างกราฟระหว่างเวลาที่เกิดการเปลี่ยนสีของไอโอดีนและระดับความเข้มข้นของ SO_2 เพื่อสร้างสมการ

3.1.2) ทดสอบการใช้ช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดิเมตริก ที่ช่วงความเข้มแสงต่างๆ กัน มีกรรมวิธี 3 กรรมวิธี 5 ซ้ำ รวม 15 ครั้ง สร้างกราฟระหว่างเวลาที่เกิดการเปลี่ยนสีของไอโอดีนและระดับความเข้มข้นของ SO_2 เพื่อสร้างสมการ

3.2) ทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต โดยการใช้ formaldehyde sodium bisulphate เป็นสารมาตรฐานซัลไฟต์ ในการทำทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต โดยตวงสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ความเข้มข้น 0.05 % ปริมาตร 200 ml, เติมน้ำแข็ง ปริมาตร 4 ml และเติมสารมาตรฐานซัลไฟต์ ปริมาตร 2.5 ml สำหรับการไทเทรชัน จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าสแตนเลส ทำงานที่ผลิตไอโอดีน (I_2) เข้าที่ขั้วบวก (anode) ส่วนขั้วไฟฟ้าสแตนเลสช่วย ต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode) ลงในสารละลายที่ต้องการวัดในปิกเกอร์ปริมาตร 500 ml จากนั้นจ่ายกระแสไฟฟ้า 10 mA พร้อมกับเริ่มจับเวลา ทันทีที่สารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงินม่วงให้หยุดเวลา บันทึกเวลาเป็นวินาที และให้มีระบบมีการกวนผสมด้วยเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็กหมุน (magnetic stirrer) ตลอดเวลา จากนั้นสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์ มีกรรมวิธี 6 กรรมวิธี 10 ซ้ำ รวม 25 ครั้ง ได้แก่

- 1) ความเข้มข้น ของ SO_2 ที่ 0 ppm จำนวน 10 ซ้ำ
- 2) ความเข้มข้น ของ SO_2 ที่ 10 ppm จำนวน 10 ซ้ำ
- 3) ความเข้มข้น ของ SO_2 ที่ 50 ppm จำนวน 10 ซ้ำ
- 4) ความเข้มข้น ของ SO_2 ที่ 100 ppm จำนวน 10 ซ้ำ
- 5) ความเข้มข้น ของ SO_2 ที่ 200 ppm จำนวน 10 ซ้ำ
- 6) ความเข้มข้น ของ SO_2 ที่ 300 ppm จำนวน 10 ซ้ำ

สร้างกราฟระหว่างเวลาที่เกิดการเปลี่ยนสีของไอโอดีนและระดับความเข้มข้นของ SO_2 เพื่อสร้างสมการ

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ในการตรวจ SO_2 ที่ตกค้างในตัวอย่างลำไยที่รม SO_2 เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) มี 2 กรรมวิธี 6 ซ้ำ รวม 12 ครั้ง

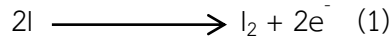
- 1) วิเคราะห์วิธีมาตรฐาน (AOAC, 2016) จำนวน 6 ซ้ำ
- 2) บดตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการรม SO_2 ชั่งน้ำหนัก 50 g ในปิกเกอร์ปริมาตร 500 ml เติมน้ำ

กลั่น 100 ml แชนนาน 60 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต จำนวน 6 ซ้ำ และค่า SO_2 ที่ตกค้างในตัวอย่างลำไย คือ ค่า SO_2 ที่ได้จากการคำนวณตามสมการ ($y = 0.0464x$, $R^2 = 0.9144$)

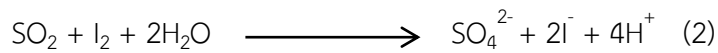
ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต

1) สร้างต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ด้วยวิธีคูอมเมตริกไทเทรชัน จากวิธีชรินทร์และวัฒนากร (2550) จากการศึกษาปฏิกิริยาของ SO₂ และไอโอดีนที่ขั้วไฟฟ้า โดย SO₂ อยู่ทางขั้วแอโนดในสารละลาย KI 0.1 M เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าลงไปจะเกิดการผลิตสารไอโอดีนขึ้นมาดังสมการที่ 1

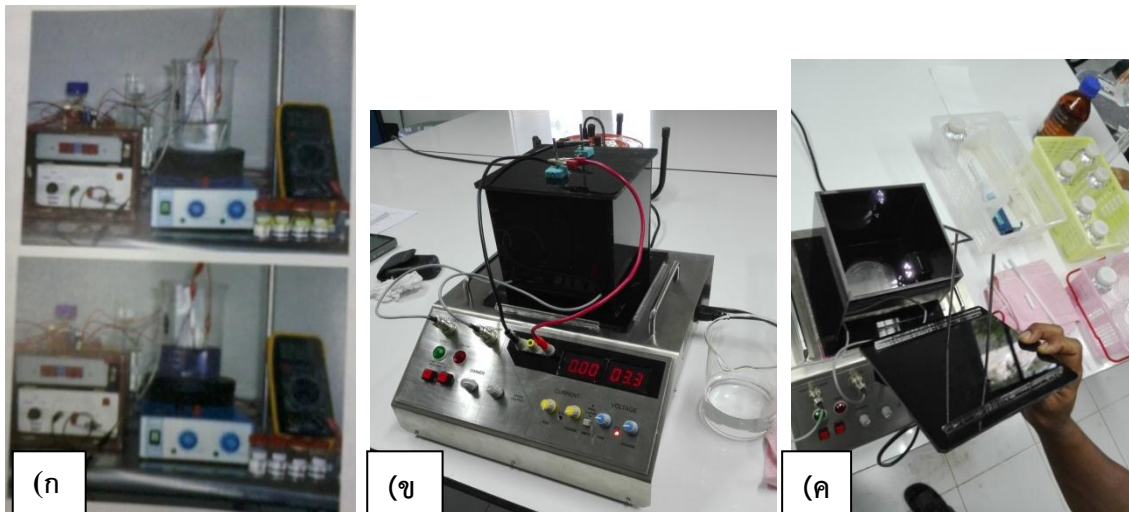


ไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ SO₃²⁻ (หรือ HSO₃⁻, SO₂) ต่อไปที่จนถึงจุดยุติที่อินดิเคเตอร์ คือ น้ำแป้งเกิดการเปลี่ยนสีจากสารละลายใสกลายเป็นสีน้ำเงิน แสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง SO₂ และไอโอดีนดังสมการที่ 2



ปริมาณไอโอดีนที่ถูกผลิตขึ้นและใช้ในปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ โดยปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จะสัมพันธ์กับปริมาณของสารตามหลักของฟาราเดย์ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้สามารถคำนวณได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการไทเทรต

สร้างต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต ด้วยวิธีคูอมเมตริกไทเทรชัน (เป็นชุดเครื่องมือวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีที่ประกอบไปด้วยวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ตั้งค่าได้ วงจรจับเวลาที่จ่ายกระแสไฟฟ้า จึงสามารถหาปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเพื่อทำปฏิกิริยาได้จากผลคูณของกระแสไฟฟ้าคงที่กับเวลาและมี sensor สำหรับวัดความเข้มของแสงที่ผ่านตัวอย่างที่ตั้งค่าได้ และมีรื่องหลุมวางลิ้นไปนเครื่องเครื่องต้นแบบปัจจุบันมีต้นทุนประมาณ 50,000 บาท (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรตตามแบบชรินทร์และวัฒนากร (2550) (ก) ต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต (ข) ใช้ขั้วไฟฟ้าจากแสดนเลสทดแทนแท่งกราไฟต์แบบเดิม (ค)

2) ทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต

2.1) ทดสอบการทำงานต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารมาตรฐานซัลไฟต์

2.1.1) ทดสอบการใช้สารมาตรฐานโซเดียมซัลไฟต์ ใช้สารอิเล็กโทรไลต์เป็น 0.1 M KI สามารถผลิตไอโอดีน (I₂) ซึ่งเป็นไทแรนตในการหาปริมาณ SO₂ ได้ พบว่า การวิเคราะห์สารละลายต้องผสมกับสารคงสภาพ คือ NaOH เข้มข้น 0.1% ในสารละลายมาตรฐานโซเดียมซัลไฟต์ทุกครั้งเพื่อเพิ่มความเสถียรของ SO₂ ไม่ให้สลายตัวตามงานของชรินทร์ (2550) โดยระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนสัมพันธ์กับความเข้มข้นทุกความเข้มข้นสมการที่ได้ เมื่อ $y = 0.4331x - 2.7485$, $R^2 = 0.9961$ เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการของคูลอมเมตริกไทเทรชัน ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

Direct current	0.01 A / 3.0 V
KI	200 ml
น้ำแฉ่ง	4 ml
สารมาตรฐานซัลไฟต์	2.5 ml
NaOH	0.1%
% แสงผ่านตัวอย่าง	90/85

2.1.2) ทดสอบการใช้สารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulphate สำหรับเป็นสารมาตรฐาน SO₂ ได้ตั้งแต่ความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง คือ 10, 50, 100, 200 และ 300 ppm ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนสัมพันธ์กับความเข้มข้นทุกความเข้มข้น สมการที่ได้ เมื่อ $y = 0.0269x + 5.9454$, $R^2 = 0.9746$ ผลสอดคล้องกับผลการทดลองของชรินทร์ และวัฒนากร (2550) ที่สารละลายมาตรฐาน sodium sulfite ในช่วงระหว่าง 0.25-2.5 mM (16-252 ppm, 64 ppm SO₂ = 1 mM) การทวนสอบผลของสารมาตรฐานกับสมการโดยการตรวจวัดความเข้มข้นละ 5 ชั่วโมง มีความแตกต่างอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการของคูลอมเมตริกไทเทรชัน ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

Direct current	0.01 A / 3.0 V
KI	200 ml
น้ำแฉ่ง	4 ml
สารมาตรฐานซัลไฟต์	2.5 ml
% แสงผ่านตัวอย่าง	90/85

2.2) การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในการตรวจ SO_2 เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) พบว่าการวัดสารมาตรฐานซัลไฟต์ คือ formaldehyde sodium bisulphate ที่ความเข้มข้นต่างๆ กันพบว่าวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) และวิธีที่พัฒนาขึ้นมีปริมาณ SO_2 ที่วัดได้ทุกความเข้มข้นไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการตรวจวัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลายมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulphate ที่ความเข้มข้นต่างๆ กันระหว่างวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) กับเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

Method	SO_2 (ppm)	ความเข้มข้นของ SO_2 ที่วัดได้ (ppm)	% difference
AOAC (2012)	10	12.81	28.1
	50	44.84	-10.3
	100	85.84	-14.2
	200	187.05	-6.5
	300	299.80	-0.1
วิธีที่พัฒนาขึ้น	10	11.19	11.9
	50	52.28	4.6
	100	93.38	-6.6
	200	202.97	1.5
	300	298.86	-0.4
%CV		27.16	

2.3) การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรตเปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่แช่สารประกอบซัลไฟต์ คือ SMS 5%+ HCl 1% พบว่า วิธีสกัดด้วยการนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 300 rpm นาน 15 นาที และวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีค่าการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อไม้แตกต่างจากวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) สอดคล้องกับผลของ วิธีชินทร์ และวัฒนากร (2550) (ตารางที่ 3) แต่การแช่นาน 60 นาที ค่าการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อลดลงอาจจะเนื่องจากการเตรียมตัวอย่างเนื้อผลด้วยวิธีการฉีกเป็นชิ้นเล็กๆ พื้นที่สัมผัสกับตัวทำละลายคือ น้ำกลั่นอาจจะน้อย ควรจะเปลี่ยนเป็นการบดตัวอย่างจะช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสได้ดีขึ้น ควรเพิ่มการกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง เป็นต้น การทดลองควรทดสอบซ้ำกับตัวอย่างลำไยที่รมความเข้มข้นในเนื้อต่ำลงใกล้กับค่า 0-50 ppm ที่วิธีการที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำเพียงพอหรือไม่

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการตรวจวัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในตัวอย่างลำไยที่มี SO₂ ตกค้างในเนื้อผลสูง (ที่แช่ด้วย SMS 5% + HCl 1 % นาน 60 นาที) กับวิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีมาตรฐาน AOAC (2016)

กรรมวิธี	ค่า SO ₂ ตกค้างในเนื้อผล ^{1/} (ppm)
วิธีมาตรฐาน AOAC (2016)	1,242.0a
เครื่องตรวจ SO ₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต (แช่ 60 นาที)	969.2b
เครื่องตรวจ SO ₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต (เขย่า 15 นาที)	1,181.5a

หมายเหตุ 1. ^{1/} = ผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 6 ครั้ง

2. ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3) ปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานภาคสนาม และลดต้นทุนในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

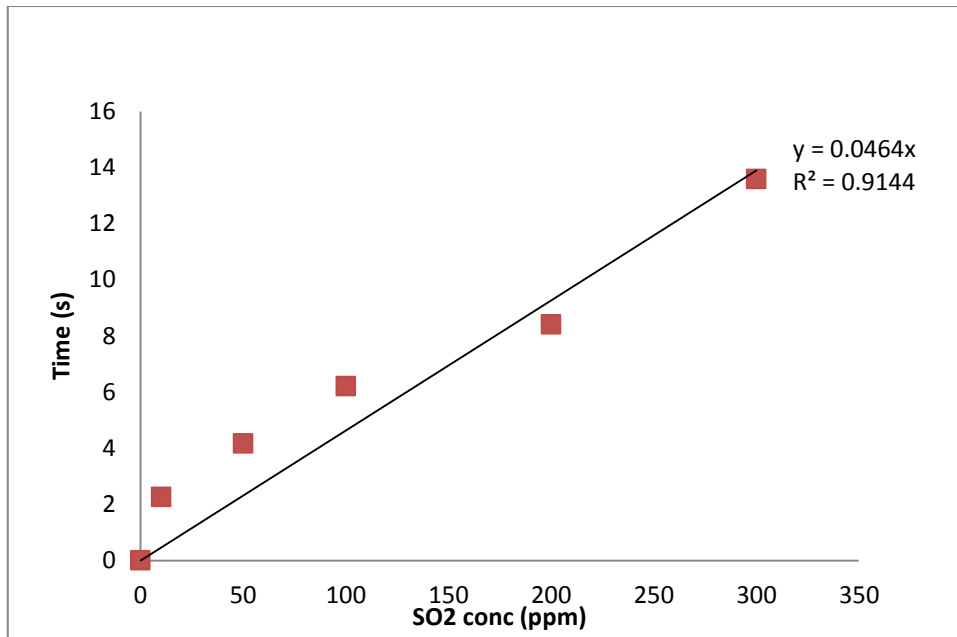
3.1) ทดสอบต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมกับการใช้งานภาคสนาม ดังนี้ คือ

3.1.1) การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้น 0.05 % และ 0.1% ให้ค่า R² ไม่แตกต่างกัน แต่สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้น 0.025 % ให้ค่า R² ลดลงนั้นหมายความว่าสามารถใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ความเข้มข้น 0.05 % ในการทดสอบของเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรตได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการวิเคราะห์ตัวอย่างจากเดิมที่ใช้ KI ความเข้มข้น 0.1%

3.1.2) การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดิเมตริก พบว่า ช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดิเมตริก (%) ที่ 90/75 ให้ค่า R² สูงสุด เมื่อเทียบกับช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาอื่นๆ จากเดิมที่ใช้ % ช่วงความเข้มที่ 90/85 และมีผลทำให้ความสามารถของเครื่องในการวัดค่าความเข้มข้นต่ำช่วงระหว่าง 0-100 ppm แยกดีขึ้น ค่าความชันของกราฟดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอื่นๆ

3.2) ทดสอบการใช้สารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulphate สำหรับเป็นสารมาตรฐาน SO₂ ได้ตั้งแต่ความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง คือ 0, 10, 50, 100, 200 และ 300 ppm ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนสัมพันธ์กับความเข้มข้นทุกความเข้มข้น สมการที่ได้ เมื่อ $y = 0.0464x$, $R^2 = 0.9144$ (ภาพที่ 2) เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการของคูอมเมตริกไทเทรชัน ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

Direct current	0.01 A / 3.0 V
KI (0.05 %)	200 ml
น้ำแปง	4 ml
สารมาตรฐานซัลไฟต์	2.5 ml
% แสงผ่านตัวอย่าง	90/75



ภาพที่ 2 ทดสอบการใช้สารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulfite ในสารอิเล็กโทรไลต์เป็น 0.05 M KI สามารถผลิตไอโอดีน (I_2) ซึ่งเป็นไทเทรนต์ในการหาปริมาณ SO_2 ได้ สมการที่ได้ เมื่อ y = เวลาที่ใช้ไทเทรชันสาร เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินม่วงอ่อน และ x = ความเข้มข้นของ SO_2

3.3) การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่รม SO_2 พบว่า การวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีค่าการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อที่พบใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) มีค่าความแตกต่างไม่มากนัก ซึ่งความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.95 – 8.38 ppm (ตารางที่ 4) ช่วงความแตกต่างพบใกล้เคียงกับชรินทร์และวัฒนากร (2550) ที่พบ 1-6 ppm ในอนาคตควรเพิ่มการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานกับจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้น

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบการตรวจวัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในตัวอย่างลำไยที่รม SO₂ ตกค้างในเนื้อ กับวิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีมาตรฐาน AOAC (2016)

ตัวอย่างลำไยที่รม SO ₂	ค่า SO ₂ (ppm) ตกค้างในเนื้อผล ^{1/} (ppm)		Difference	% Difference
	วิธีมาตรฐาน AOAC (2016)	เครื่องตรวจ SO ₂ แบบ เร็วทดแทนการ ไทเทรต		
ตัวอย่างที่ 1	2.63	1.68 ± 0.15	0.95	32.12
ตัวอย่างที่ 2	29.77	21.09 ± 1.06	8.38	29.16

หมายเหตุ ^{1/} = ผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 6 ครั้ง

4) วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการใช้ต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรตเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) หาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{รายจ่าย} &= \text{รายได้} \\ \text{คือ} \quad \text{ค่าเครื่องต้นแบบ} &= \text{จำนวนตัวอย่าง (ค่าวิเคราะห์สาร SO}_2\text{ - ค่าสารเคมี)} \\ \text{เมื่อ} \quad & - \text{ต้นแบบเครื่องตรวจ SO}_2\text{ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีราคาประมาณ 50,000 บาท} \\ & - \text{ค่าวิเคราะห์สาร SO}_2\text{ ด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2012) 300-500 บาท/ตัวอย่าง (คิดราคาที่} \\ & 400 \text{ บาท/ตัวอย่าง)} \\ & - \text{ค่าสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประมาณ 120 บาท/ตัวอย่าง} \\ \text{แทนค่า} \quad 50,000 &= \text{จำนวนตัวอย่าง (400 - 120)} \\ \text{จำนวนตัวอย่าง} &= 50,000/(280) \\ &= 178.57 \end{aligned}$$

ดังนั้น จุดคุ้มทุนของต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต อยู่ที่ 179 ตัวอย่าง

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

เครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรตด้วยหลักการคลอเมตริกจากวิธีชรินทร์และวัฒนากร (2550) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) วงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ตั้งค่าได้ 2) วงจรจับเวลาที่จ่ายกระแสไฟฟ้า และมี sensor วัดความเข้มของแสงที่ตั้งค่าได้สำหรับหยุดวงจรเวลา 3) ระบบการกวนผสม ด้วยเครื่องกวนชนิดแท่งแม่เหล็กหมุน (magnetic stirrer) มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบสาร SO₂ ตกค้างในเนื้อผลลำไย โดยสามารถใช้ screening ค่าเบื้องต้นได้ระหว่าง 0-300 ppm ในตัวอย่างเนื้อผล ต้นทุนต่ำกว่าวิธีมาตรฐาน AOAC การสกัดง่ายและใช้เวลาวิเคราะห์สั้นลง สารเคมีที่ใช้ปลอดภัย และสะดวกกว่าวิธีมาตรฐาน AOAC

ผลการทดสอบการทำงานเครื่องต้นแบบตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรตเบื้องต้น โดยทดสอบเปรียบเทียบการใช้สารมาตรฐานซัลไฟต์ พบว่า สารมาตรฐาน formaldehyde sodium bisulphate มีความเสถียรของ SO₂ มากกว่าสารมาตรฐานโซเดียมซัลไฟต์ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนสัมพันธ์กับความเข้มข้นทุกความเข้มข้น สมการที่ได้ เมื่อ $y = 0.0269x + 5.9454$, $R^2 = 0.9746$ แล้วทดสอบผลของสารมาตรฐานกับสมการ พบว่า มีค่าความแตกต่างอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรตเปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่แช่สารประกอบซัลไฟต์ คือ SMS 5%+ HCl 1% พบว่า วิธีสกัดด้วยการนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 300 rpm นาน 15 นาที และวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีค่าการตกค้างของ SO₂ ในเนื้อไม้แตกต่างจากวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) แต่การแช่นาน 60 นาที ค่าการตกค้างของ SO₂ ในเนื้อลดลงอาจจะเนื่องจากการเตรียมเนื้อผลด้วยวิธีการฉีกเป็นชิ้นเล็กๆ

การปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรตก่อนนำไปใช้งานจริง โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอดेट (KI) ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สามารถใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอดेट (KI) ที่ความเข้มข้น 0.05 % จากเดิมใช้ 0.1 % ในการทดสอบของเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วแทนได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการวิเคราะห์ตัวอย่าง และหาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดเมตริก พบว่า ช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาทำปฏิกิริยาไอโอดเมตริก (%) ที่ 90/75 ให้ค่า R² สูงสุด เมื่อเทียบกับช่วงความเข้มของแสงในการจับเวลาอื่นๆ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างระยะเวลาที่เปลี่ยนสีของไอโอดีนสัมพันธ์กับความเข้มข้นทุกความเข้มข้น สมการที่ได้เมื่อ $y = 0.0464x$, $R^2 = 0.9144$ และทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่รม SO₂ พบว่า การวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีค่าการตกค้างของ SO₂ ในเนื้อไม้แตกต่างจากวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) และเครื่องต้นแบบปัจจุบันมีต้นทุนประมาณ 50,000 บาท โดยจุดคุ้มทุนของต้นแบบเครื่องตรวจ SO₂ แบบเร็วทดแทนการไทเทรต อยู่ที่ 179 ตัวอย่าง

การนำไปใช้งานจริงในอนาคต ควรทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่ผ่านการรมจริงเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานให้มีจำนวนตัวอย่างที่เพียงพอต่อความเชื่อมั่นในผลวิเคราะห์ และควรเผยแพร่อย่างมีขั้นตอน เริ่มต้นสาธิตฝึกอบรม และให้ห้องปฏิบัติการภาคเอกชนเริ่มต้นทดสอบใช้ก่อนนำไปใช้ในโรงงานต่อไป ในปัจจุบันเริ่มมีบริษัทที่ใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังสนใจในการนำไปใช้ทดสอบ เป็นต้น

กิจกรรมที่ 4

การนำเทคโนโลยีการใช้สารทดแทน SO₂ ไปใช้ในโรงรมผู้ประกอบการ

วิทยา อภัย¹ สติตย์พงศ์ รัตนคำ² สุทธิณี ลิขิตตระกูลรุ่ง¹ ณัฐนัย ตังมั่นคงวรกุล¹

คำสำคัญ : ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างทั้งผล กรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความผิดปกติของสีเนื้อ การทดสอบการส่งออก

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบเทคโนโลยีในการลดปัญหาการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และยืดอายุการเก็บรักษาลำไยเพื่อการส่งออกดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2562 ณ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 (สวพ.1) จังหวัดเชียงใหม่ การทดสอบใช้ลำไยพันธุ์อีดอเกรด A ที่บรรจุไว้ในตะกร้าพลาสติกขนาด 11.5 กก. โดยทดสอบรวมทั้งหมด 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1) รม SO₂ เข้มข้น 1.5% + แผ่นระเหยทางการค้า (Uvasys[®]) ที่ปล่อยสาร SO₂ จากสาร sodium metabisulfite (SMS pad) ที่เคลือบอยู่บนแผ่น, 2) แช่ในกรดเกลือ (hydrochloric acid, HCl) 5% + SMS 1% นาน 5 นาที, 3) รมก๊าซโอโซน (O₃) นาน 2 ชั่วโมง (ชม.) + รม SO₂ เข้มข้น 1.5%, 4) รม SO₂ เข้มข้น 1.5% + รมก๊าซ O₃ นาน 1 ชม. และ 5) รม SO₂ วิธีทางการค้า ความเข้มข้น 1.5% (Control) นำไปเก็บรักษาที่ 5°C นาน 40 - 80 วัน พบว่ากรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพดีและเป็นไปได้ คือ การรม SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม. และวิธีการแช่ใน HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที ช่วยลดการเกิดโรคได้นาน 70 และ 50 วัน ตามลำดับ และช่วยลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกและการเปลี่ยนสีของเนื้อผลเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C และความชื้นสัมพัทธ์ 90% (RH) ได้นานเท่ากัน 80 และ 50 วัน การแช่ HCl 5% + SMS 1% มีค่า SO₂ ตกค้างคำนวณทั้งผลต่ำที่สุดไม่เกินมาตรฐานของประเทศสิงคโปร์ที่อ้างอิงค่ามาตรฐาน Codex (\leq 50 ppm) ตลอดอายุการเก็บรักษา สรุปลแล้ว การรม SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม., รม SO₂ 1.5%, การแช่ HCl 5% + SMS 1%, รม O₃ นาน 2 ชม. + SO₂ 1.5% และ SO₂ 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 SO₂ โดยเฉพาะปัญหาเร่งด่วนในลำไยส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ พบว่าการแช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที เป็นทางเลือกหนึ่งในเชิงการค้าสามารถใช้ยืดอายุลำไยส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ได้เนื่องจากพบค่าตกค้าง SO₂ ทั้งผลต่ำที่สุด มีค่า 11.74 – 24.80 ppm ผลการทดสอบการส่งออกเป็นที่น่าพอใจ และสามารถรักษาคุณภาพผล ได้แก่ สีผิวเปลือกสีเนื้อที่ผิดปกติ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรครยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นานเพียงพอตลอดเวลาการขนส่งและวางจำหน่ายนาน 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 °C, 65% RH โดยมีอายุการวางจำหน่ายนาน 5 วัน ที่อุณหภูมิห้องเมื่อเปรียบเทียบกับลำไยไม่แช่สารวางจำหน่ายได้ 2-3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

^{1/} ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ต.แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

^{2/} สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ต. แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่

Research Activity IV
Application of alternative technology in packing house of longan (*Dimocarpus longan*)
for export

Wittaya Apai¹ Satitpong Rattanakam² Suttinee Likhitragulrung¹
 Nuttanai Tangmunkongvorakul¹

Key words: sulfur dioxide (SO₂) residue in whole fruit, hydrochloric acid (HCl), sodium metabisulfite (SMS), flesh discoloration, export testing.

Abstract

The objective of this study was to test some alternative ways to decrease sulfur dioxide (SO₂) 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 SO₂ 1.5% + sodium metabisulfite (SMS)-impregnated pad (Uvasys[®]) that give slow release of SO₂ (SO₂ 1.5% + SMS pad), dipping in hydrochloric acid (HCl) 5% mixed with SMS 1% for 5 min (HCl 5% + SMS 1%), ozone (O₃) fumigation for 2 hours (h) prior to SO₂ 1.5% (O₃ 2 h + SO₂ 1.5%), SO₂ 1.5% prior to O₃ fumigation for 1 h (SO₂ 1.5% + O₃ 1 h) and fruits fumigated with SO₂ 1.5% alone as commercial treatment (SO₂ 1.5%). They were stored at 5 °C, 90% RH for 40-80 days. The results found that the possible treatments, i.e. SO₂ 1.5% + O₃ 1 h and HCl 5% + SMS 1% could control disease incidence for 70 and 50 days respectively at 5 °C. 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 SO₂ residue in whole fruit not exceeding Codex and Singapore tolerant limit of 50 ppm throughout period of time. The fruit treated with SO₂ 1.5% + O₃ 1 h, SO₂ 1.5%, HCl 5% + SMS 1%, O₃ 2 h + SO₂ 1.5% and SO₂ 1.5% + SMS pad could prolong storage life for 40+5, 40+5, 40+5, 30+5 and 30+<5 days respectively at 5°C, 90% RH and (+) display for sale at room temperature. Testing cooperated with an exporter for some alternative ways to decrease SO₂ 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

^{1/} Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Mae Hea, Mueang, Chiang Mai

^{2/} Office of Agricultural Research and Development Region 1, Mae Hea, Mueang, Chiang Mai

to Singapore due to less SO₂ 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.

บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้ส่งออกทางเศรษฐกิจที่สำคัญมากชนิดหนึ่งของประเทศไทย เช่นเดียวกับทุเรียน และมังคุด ประเทศส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สาธารณรัฐประชาชนจีน ฮองกง เวียดนาม อินโดนีเซีย สิงคโปร์ เป็นต้น ปัญหาสำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของลำไย คือ อายุการเก็บรักษาสั้นสาเหตุจากการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผล และการเน่าเสีย เป็นต้น การรมผลลำไยสดด้วยก๊าซ SO_2 ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาช่วยยืดอายุได้อย่างน้อย 40-60 วันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $0-5^\circ\text{C}$, 85-90% RH ทำให้ลำไยส่งออกได้ปริมาณที่มากขึ้น แต่ปัญหาหลังการรมควันคือเกิดการตกค้าง SO_2 ในผลผลิตเกินมาตรฐานการนำเข้าของประเทศคู่ค้า เช่น ประเทศจีนกำหนดค่าตกค้างในเนื้อผลไม้เกิน 50 ppm สหภาพยุโรป (EU) กำหนดไว้ในเนื้อไม้ไม่เกิน 10 ppm สหรัฐอเมริกาห้ามใช้สารนี้กับผลิตภัณฑ์ด้านพืชสวนยกเว้นในผลองุ่น ประเทศสิงคโปร์กำหนดเป็นค่าทั้งผลตามมาตรฐาน Codex ไม่เกิน 50 ppm 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 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการค้ำรม 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 พบว่ามีการตกค้างทั้งผลรวมทั้งในเปลือกและเนื้อต่ำ และลดการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อที่ผิดปกติได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแช่ HCl 6.4% ระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 21 วัน (วิทยา และคณะ, 2559) เทคโนโลยีอื่นๆ ได้แก่ การเคลือบผิว การใช้บรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ รวมทั้งเทคโนโลยีลดการตกค้างหลังรมด้วย SO_2 ได้แก่ การรมด้วยก๊าซไอโซน (Taimaneerak et al., 2018) การใช้แผ่นระเหยที่เคลือบสาร SMS ให้ก๊าซ SO_2 (SMS slow release pad) และการล้างด้วยน้ำสะอาด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีเหล่านั้นยังขาดการทดสอบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริงภายในสถานประกอบการ ดังนั้น สวพ.1 จ.เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตรได้จัดทำโครงการพัฒนาเทคโนโลยีลดการตกค้างของ SO_2 ในลำไยส่งออกตั้งแต่ปี 2559 เป็นต้นมา โดยทดสอบเทคโนโลยีด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การศึกษาการใช้คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) และก๊าซบางชนิดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาลำไย พบว่าการใช้ก๊าซไอโซนร่วมกับรม SO_2 มีอายุการเก็บรักษา ที่ 5°C + อุณหภูมิห้องนาน 42+3 วันไม่แตกต่างจากวิธีการค้ำ รม SO_2 รองลงมา คือ การแช่สาร ClO_2 เข้มข้น 1.5% นาน 5 นาที และแช่กรดเกลือ (HCl) 6.4% นาน 5 นาที (สุทธิณี 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 พบว่าการรมผลลำไยด้วยวิธีทางการค้ำร่วมกับการใช้แผ่นระเหย ช่วยยืดอายุได้นาน 30 วัน ที่ 5°C (ณัฐนัย และวิทยา, 2560) แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยียังขาดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อนำไปใช้แก้ไขปัญหาร่งด่วนการส่งออกลำไยใน

ประเทศที่เข้มงวดสาร SO₂ ตกค้าง เช่น การส่งออกลำไยไปประเทศสิงคโปร์ที่มีความเข้มงวด และมีรายงานการสุ่มตรวจพบค่าตกค้าง SO₂ 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 โดยสีผิวเปลือกสามารถล้างได้เล็กน้อย และสีเนื้อที่ขั้วผลต้องไม่เกิดสีแดงเกินเกณฑ์การยอมรับ รสชาติปกติ และผลไม่เน่าเสียระหว่างการขนส่งและวางจำหน่าย ดังนั้น การทดสอบเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำหรับการทดสอบการส่งออกจึงเป็นสิ่งจำเป็นต้องดำเนินการเร่งด่วน เพื่อคัดเลือกเทคโนโลยีที่มีศักยภาพให้ผู้ส่งออกไว้ใช้แก้ไขปัญหา และเตรียมไว้ใช้ในอนาคต

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

การทดลองที่ 1 ทดสอบการส่งออกลำไยที่ใช้วิธีทดแทนซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2560 – กันยายน 2562 ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.1 และโรงคัดบรรจุบริษัทห้วยนครเชิงเพชร จำกัด แบ่งเป็น 2 การทดลอง และการทดลองย่อย ดังนี้ คือ

1. การเปรียบเทียบเทคโนโลยีต่อการลดการตกค้างของ SO₂ และยืดอายุการเก็บรักษาลำไย นำกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพจากการดำเนินการในปีงบประมาณ 2559-2560 มาศึกษาในปีงบประมาณ 2561 โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD รวม 5 กรรมวิธี (Treatment, T) ๆ ละ 3 ซ้ำ (ตะกร้าพลาสติกความจุ 11.5 กก.) ได้แก่

T1 = การรม SO₂ 1.5% + แผ่นระเหยทางการค้ายี่ห้อ Uvasys[®] (SMS pad) + LLDPE เจาะรู

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

T3 = การรมก๊าซโอโซน (O₃) นาน 2 ชั่วโมง (ชม.) + รม SO₂ 1.5%

T4 = การรม SO₂ 1.5% + รมก๊าซ O₃ นาน 1 ชม.

T5 = การรม SO₂ 1.5% วิธีทางการค้า (ชุดควบคุม)

โดยใช้ลำไยจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรอง GAP อ.สันทราย จ. เชียงใหม่ นำมาคัดขนาดเกรด A คัดเลือกเฉพาะผลดีไม่มีตำหนิจากโรคและแมลงจำนวน 15 ตะกร้าในช่วงเช้า แบ่งลำไยอีก 3 ตะกร้ามารวมก๊าซโอโซน (O₃) เพื่อฟอกสีผิวเปลือกในกรรมวิธีที่ 3 รม O₃ ด้วยเครื่องผลิตก๊าซ O₃ กำลังการผลิต 10 กรัม/ชั่วโมง (กรัม/ชม.) นาน 2 ชม. จากนั้นช่วงเย็นขนส่งลำไยในกรรมวิธีที่ 1, 3 - 5 จำนวน 12 ตะกร้า รมก๊าซ SO₂ เข้มข้น 1.5% (ความเข้มข้นแนะนำทางการค้า) ที่โรงรม SO₂ และนำมาปฏิบัติต่อดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 นำมาใส่แผ่นระเหยที่จำหน่ายยี่ห้อ Uvasys[®] จำนวน 2 แผ่น/ตะกร้า ขนาด 260 x 440 มม. (ชนิด Dual phase) วางแผ่นประกบกับแผ่นกระดาษซับทิชชูด้านบนและล่างของตะกร้า และหุ้มทั้งตะกร้าด้วยถุงพลาสติกชนิด Linear low density polyethylene (LLDPE) เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 ซม. จำนวน 8 รู จากนั้นนำลำไยทั้งหมดมาเก็บรักษาในห้องเย็นที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 ช่วงเช้าวันถัดมานำลำไยที่เก็บไว้ 1 คืนมาฝังไว้ด้านนอกทั้งหมด และนำกรรมวิธีที่ 3 นำมารมต่อกับก๊าซ O₃ นาน 1 ชม. และกรรมวิธีที่ 2 แช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที ฝังให้แห้งสนิท และ

ทดสอบการส่งออกโดยจำลองสภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C, 90% RH นาน 40-80 วัน และสุ่มตัวอย่างทุก 1, 15, 30 และ 40 วัน และวางจำหน่ายนาน 1, 5, 10 และ 15 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่

- คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือก (1 = ผลปกติ, 3 = ผลเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่า 25% และ 5 = ผลเกิดสีน้ำตาลมากกว่า 50%) ทั้งเปลือกด้านนอกและด้านใน (Jiang and Li, 2001) ความผิดปกติของสีเนื้อด้วยคะแนน 5 ระดับ เปอร์เซ็นต์ผลดี และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค โดยตรวจสอบคุณภาพตลอดอายุการเก็บรักษา จนกระทั่งผลเริ่มเน่าเสีย
- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ได้แก่ pH ของเปลือกและเนื้อผล และวัดการตกค้างของสาร SO₂ ที่ใช้ในเปลือก เนื้อและค่านวนค่าทั้งผล (AOAC, 2016)
- การประเมินการยอมรับด้านประสาทสัมผัสด้วยคะแนน 5 ระดับ วิธี hedonic scaling ในสีผิวและคุณภาพเนื้อผล โดยตรวจสอบเฉพาะช่วงเก็บรักษานาน 1, 15, 30 และ 40 วัน และวางจำหน่ายนาน 1 และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง
- อายุการเก็บรักษา พิจารณาจากการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผล และความผิดปกติของสีเนื้อ เมื่อคะแนนมากกว่า 3.0 คะแนน การยอมรับด้านประสาทสัมผัสของเนื้อผลน้อยกว่า 3.0 คะแนน และมีการเกิดโรคขึ้นระหว่างการเก็บรักษามากกว่า 25% ถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา

2. การทดสอบการยอมรับในวิธีการแช่ HCl+SMS ต่อคุณภาพผล และลดสาร SO₂ ตกค้างร่วมกับผู้ประกอบการ เพื่อทดสอบการส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ในปีงบประมาณ 2562 ดังนี้

2.1 การทดสอบแช่ HCl+SMS ในลำไยส่งออกที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 ทดสอบแช่จำนวน 24 ตะกร้า รวม 2 กรรมวิธี 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 °C ที่ตู้คอนเทนเนอร์ของผู้ประกอบการโรงคัดบรรจุบริษัทห้วยนเชิงเพชรจำกัด อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ช่วงเข้านำมาทดสอบที่ห้องปฏิบัติการสวพ.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 Compositated sample จาก 4 ตะกร้ารวมกัน 1 กก./ครั้ง เพื่อวิเคราะห์สาร SO₂ ตกค้างทั้งผล (AOAC, 2016, ข้อที่ 2 ภาคผนวก) ลำไยทั้งหมดแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งจำนวน 18 ตะกร้าบริษัทขนกลับไปโรงคัดบรรจุนำไปตัดขั้วผลยาวไม่เกิน 0.5 ซม. แบ่งใส่กล่อง clamshell เเจาะรูมีความจุ 0.7-1.0 กก. สำหรับจำลองสภาพการวางจำหน่ายโดยเก็บรักษาที่ตู้คอนเทนเนอร์อุณหภูมิ 2°C และสุ่มตัวอย่างลำไยมาวิเคราะห์ SO₂ ตกค้างทั้งผล ภายหลังจากเก็บรักษาผ่านไป 11 วัน ส่วนที่สอง คือ ลำไยแบ่งทดสอบที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 รวม 6 ตะกร้า โดยการสุ่มเลือก 1 ตะกร้า/ครั้งที่แช่ รวม 3 ตะกร้า/กรรมวิธี นำมาเก็บรักษาไว้ที่ 5 °C ไว้ 1

คืน ตัดซ้ายยาวไม่เกิน 0.5 ซม. และบรรจุในกล่อง clamshell เจาะรู สำหรับจำลองสภาพการส่งออกทางเรือไปประเทศสิงคโปร์และการวางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า โดยนำไปเก็บรักษาไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิ $5^{\circ}\text{C} + 5$ วันที่อุณหภูมิห้อง ($25-35^{\circ}\text{C}$) สุ่มตรวจสอบคุณภาพลำไยเมื่อเก็บรักษาผ่านไป 1 และ 7 วัน ที่ 5°C , 65% RH และนำลำไยมาวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 3 และ 5 วันตามลำดับ การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ สุ่มวิเคราะห์การตกค้างของ SO_2 ทั้งผล และประเมินเปอร์เซ็นต์ผลดี ผลนิ้ม/บวบ และผลเกิดโรค/เน่าเสีย คະណະการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกผลด้านนอก ด้านใน ความผิดปกติของสีเนื้อ การทดสอบด้านประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษา เป็นต้น

2.2 การทดสอบแช่ HCl+SMS ในลำไยส่งออกในสถานประกอบการต้นแบบ

1) การทดสอบหาความเข้มข้นและวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม รวม 5 กรรมวิธี ได้แก่ ชุดที่ 1 จำนวน 500 ตะกร้า คือ กรรมวิธีที่ 1-2 (T1-T2) กรรมวิธีละ 5 ชั่วโมง (ครั้ง) และชุดที่ 2 จำนวน 40 ตะกร้า ได้แก่ T3-T4 และ T5-T6 กรรมวิธีละ 3 และ 2 ชั่วโมง (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°C ดำเนินการทดสอบที่โรงคัดบรรจุบริษัทห้วยหวงเชิงเพชรจำกัด อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ การแช่ของกรรมวิธีที่ 1 และ 2 (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 Compositated sample จำนวน 1 กก./ครั้งที่แช่ สำหรับวิเคราะห์ SO_2 ตกค้างทั้งผล (AOAC, 2016) และตรวจสอบคุณภาพผล นำมาเก็บรักษาไว้ 1 คืน ที่ 5°C วันถัดมาตัดซ้ายผลยาวไม่เกิน 0.5 ซม. บรรจุใส่กล่อง clamshell สำหรับทดสอบการวางจำหน่าย การตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ วิเคราะห์ SO_2 ทั้งผล และคุณภาพลำไยระหว่างการเก็บรักษา ที่ 5°C นาน 7 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องนาน 1, 3 และ 5 วัน ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ผลดี ผลนิ้ม/บวบ และผลเกิดโรค/เน่าเสีย คະណະการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกผลด้านนอก ด้านใน และความผิดปกติของสีเนื้อ

2) การทดสอบแช่และวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม จำนวน 50 ตะกร้า รวม 4 กรรมวิธี ได้แก่ ได้แก่ T1 และ T3 กรรมวิธีละ 3 ชั่วโมง (ครั้ง) และ T2 และ T4 กรรมวิธีละ 2 ชั่วโมง (ครั้ง) กรรมวิธี ได้แก่

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

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

ลำไยสดเกรด AA เก็บเกี่ยวจากสวนเกษตรกร จ. เชียงใหม่ โดยใช้ลำไยเกรดส่งประเทศจีน ผลไม้แก่ ขนาดผลใหญ่ และเปลือกบาง และเก็บรักษาไว้ห้องเย็น 1 คืนที่ 5 °C ดำเนินการที่โรงคัดบรรจุบริษัทห้วยเมี่ยง เพชรจำกัด อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ จำนวนถังแช่รวม 2 ถัง ได้แก่ T1 และ T3 แช่ถังละ 3 ครั้งๆ ละ 5 ตะกร้า รวม 30 ตะกร้า และ T2 และ T4 เต็ม SMS เพิ่มอีกกรรมวิธีละ 0.5% แช่ต่อเนื่องอีก 2 ครั้งๆ ละ 5 ตะกร้า รวม 20 ตะกร้า ผึ่งแห้งนาน 3 ชม. สุ่มลำไยแบบ Compositated sample จำนวน 1 กก./ครั้งที่แช่ สำหรับวิเคราะห์ SO₂ 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 SO₂ ทั้งผล เปอร์เซ็นต์ผลดี ผลนิ่ม/บวม และผลที่เกิดโรค/เน่าเสีย คะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลเปลือกผลด้านนอก ด้านใน และความผิดปกติของสีเนื้อ

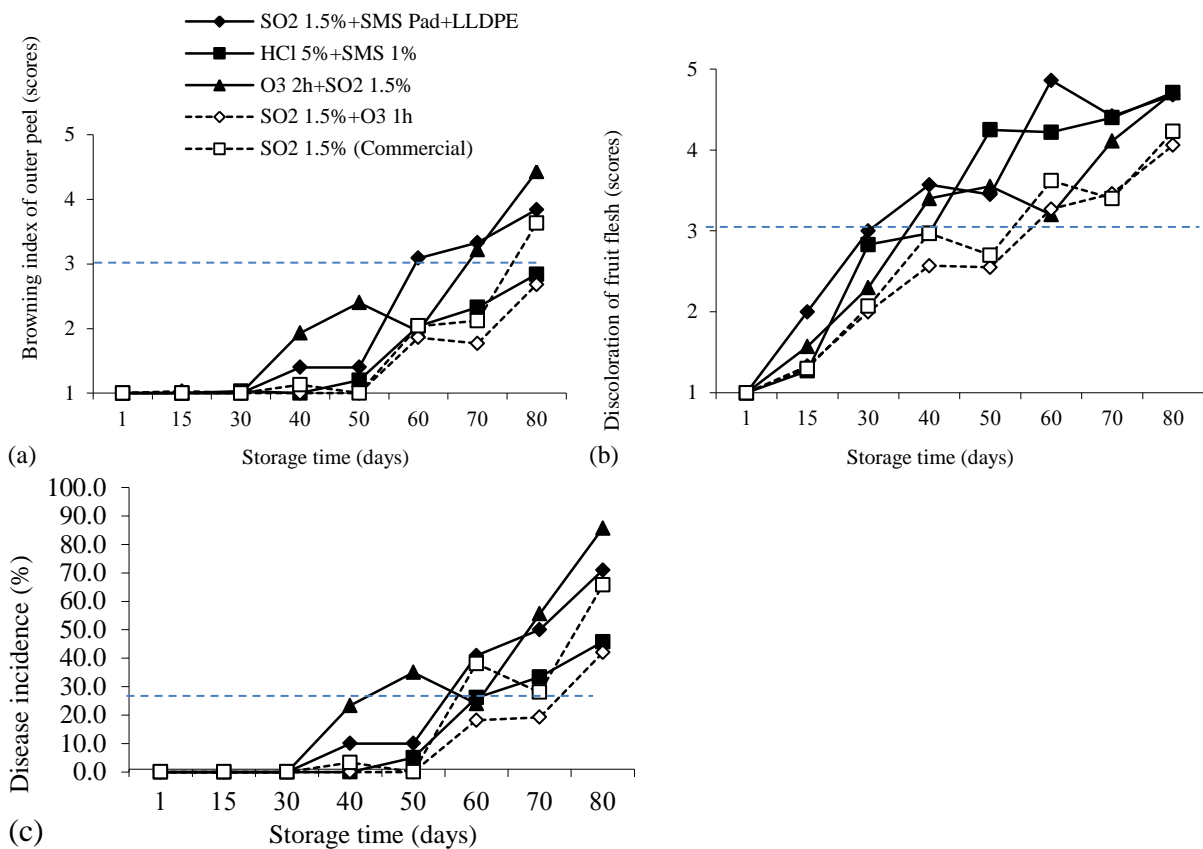
3) ทดสอบการส่งออก ผู้ประกอบการทดสอบการแช่ใน HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที ตัดขั้วผล และส่งออกทางเครื่องบินจำนวน 3-4 ครั้งเพื่อดูการยอมรับในสินค้าของผู้นำเข้าและผู้บริโภคของประเทศสิงคโปร์ และส่งออกทางเรือเป็นตู้คอนเทนเนอร์แบบสั้นและยาว ขนาด 20 และ 40 ฟุต ตามลำดับ เป็นต้น

ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองที่ 1 ทดสอบการส่งออกลำไยที่ใช้วิธีทดแทนซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1) การเปรียบเทียบเทคโนโลยีต่อการลดการตกค้างของ SO₂ และยืดอายุการเก็บรักษาลำไย กรรมวิธี ที่มีประสิทธิภาพดีและเป็นไปได้ คือ SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม. และการแช่ HCl 5% + SMS 1% เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมด้วย SO₂ วิธีทางการค้าปัจจุบัน (Control) ช่วยลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลได้นาน 80 วันเท่ากัน ที่ 5°C (ภาพที่ 1a) (โดยมีคะแนนการยอมรับไม่เกิน 3.0) การใช้ SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม.และ SO₂ ช่วยลด การเปลี่ยนสีของเนื้อที่ผิดปกติได้นาน 50 วันเท่ากัน ขณะที่กรรมวิธีอื่นๆ ได้แก่ กรรม SO₂ 1.5% + แผ่นระเหย ทางการค้ายี่ห้อ Uvasys[®] (SMS pad), การแช่ HCl 5% + SMS 1%, กรรมก๊าซ O₃ นาน 1 ชม.+ รม SO₂ เข้มข้น 1.5% การยอมรับด้านคุณภาพเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนสีของเนื้อ (เกณฑ์คะแนนการยอมรับไม่เกิน 3.0) ได้นาน 30 40 และ 30 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 1b) การแช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาทีช่วยลดปัญหา การเปลี่ยนสีของเนื้อผล จากเดิมใช้ HCl 6.4% มีผลกับคุณภาพเนื้อและสีผิวเปลือกไม่สม่ำเสมอ นอกจากนั้นการ เกิดไอรระเหยของก๊าซ SO₂ ขณะแช่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ SMS 5% + HCl 1% ที่มีปริมาณก๊าซ SO₂ เกิดขึ้นมาก จาก SMS ที่ความเข้มข้นสูงถึง 5% ทำให้อันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน (สถิตย์พงศ์ และคณะ, 2560, Apai et al, 2015) การใช้ SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม. ยังช่วยลดการเกิดโรคได้นานตลอด 70 วัน (เกณฑ์การยอมรับ ต่ำกว่า 25%) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ คือ HCl 5% + SMS 1%, SO₂ 1.5%, SO₂ 1.5%+SMS pad, O₃ นาน 2 ชม. + SO₂ 1.5% ลดได้นาน 50, 50, 50 และ 40 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 1c) กรรม O₃ มีแนวโน้มช่วยลด

การเกิดโรคได้ดีขึ้นรวมทั้งการรักษาสีผิวเปลือกเมื่อเปรียบเทียบกับกรรม SO₂ เพียงอย่างเดียวสอดคล้องงานวิจัยของ Taimaneerak et al. (2018) และยังคงการตกค้างให้ต่ำลงหากรรมก๊าซโอโซนเป็นระยะเวลาสั้นขึ้น

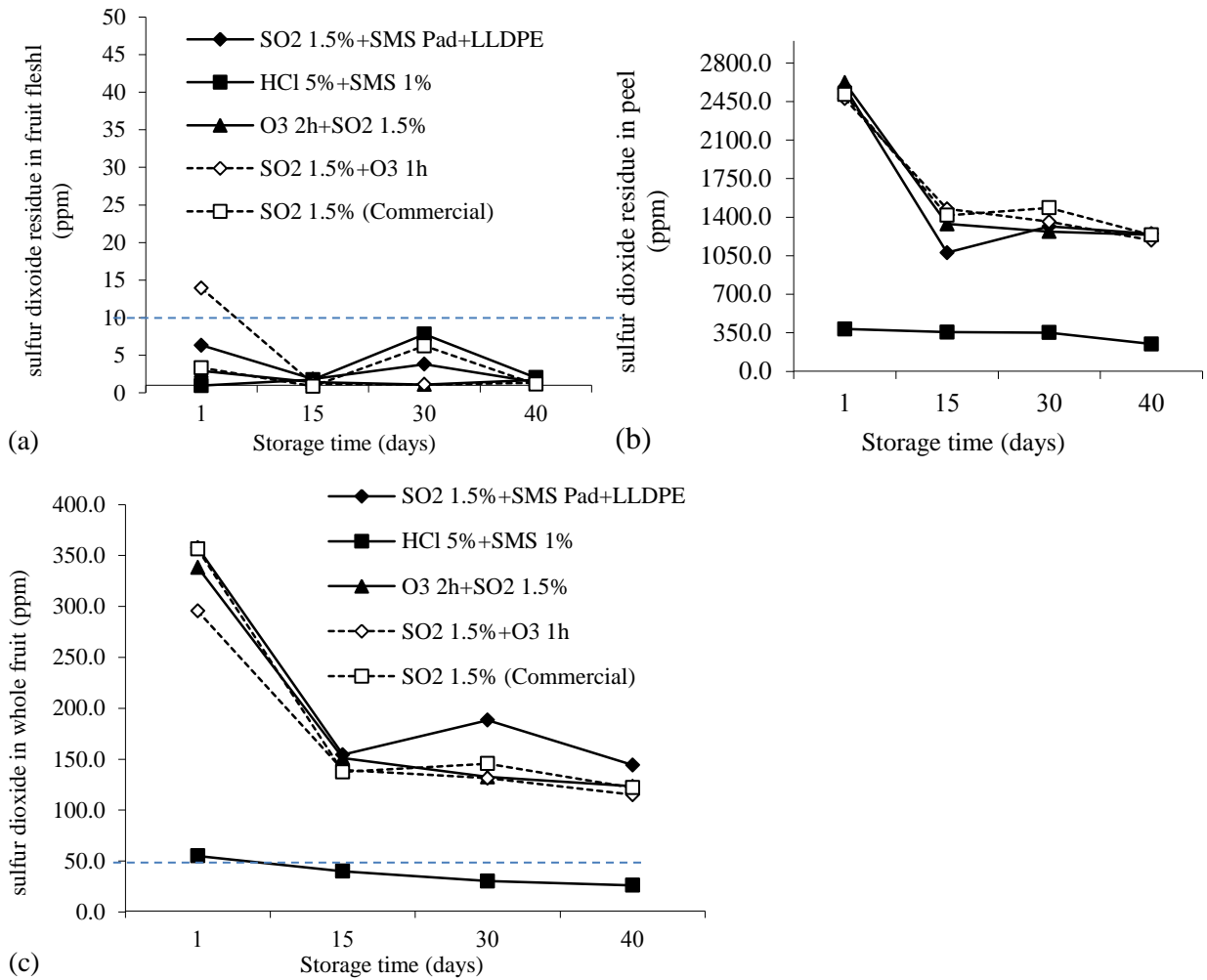


ภาพที่ 1 ผลของการทดสอบกรรมวิธี 5 วิธีการต่อการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลของเปลือก (a) การเปลี่ยนสีของเนื้อผล (b) และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (c) ระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 80 วัน (เส้นประ คือ ระดับการยอมรับได้)

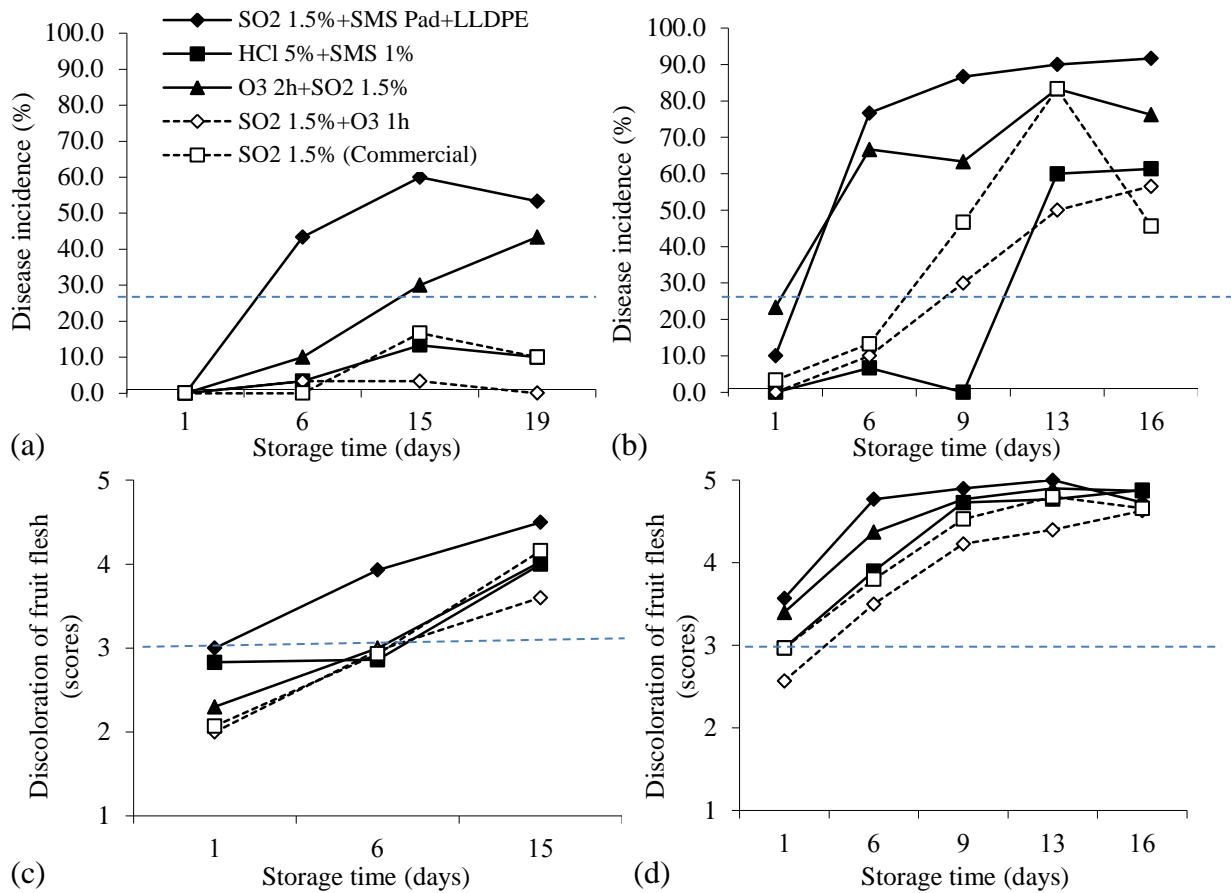
นอกจากนั้นค่าการตกค้างของสาร SO₂ ในเปลือกผลหลังรม SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม. มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทางการค้า SO₂ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 2b) การแช่ HCl 5%+SMS 1% มีค่าตกค้างในเปลือกต่ำที่สุด และลดลงภายหลังการเก็บรักษาผ่านไป 40 วัน มีค่าเท่ากับ 384 ppm ในวันแรก และวันที่ 40 มีค่าเท่ากับ 248.4 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ มีค่าระหว่าง 1,077 – 2,622.5 ppm โดยมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บรักษาผ่านไป 15 วัน กรรม SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม. มีค่าตกค้างในเปลือกลดลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกับวิธีการค้า SO₂ สันนิษฐานว่าเกิดจากกำลังการผลิตของเครื่อง O₃ ที่ใช้เพียง 10 กรัม/ชม. ต้องรมนานมากกว่า 1 ชม. สามารถลดการตกค้างได้มากขึ้นเมื่อศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยของ Taimaneerak et al. (2018) จึงควรทดสอบกำลังการผลิตเครื่อง O₃ 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 ที่รัฐบาลสิงคโปร์ให้ใช้ได้ ในขบวนการผลิตตามมาตรฐาน 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 นอกจากนี้ HCl ยังเคยใช้แช่ลื่นจีส่งออกในการค้าปัจจุบัน

การทดสอบอายุการจำหน่ายภายหลังการเก็บรักษานาน 30 และ 40 วัน ที่ 5°C โดยวางจำหน่ายนานจนลำไยเกิดการเน่าเสียที่อุณหภูมิห้อง (25-35°C) ในระยะเวลา 1-19 วัน พบว่าเมื่อสุ่มลำไยที่เก็บรักษานาน 40 วัน ที่ 5°C มาวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง การรวม SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม., การแช่ HCl 5% + SMS 1% และ SO₂ 1.5% ช่วยลดการเกิดโรคได้ดีนาน 19 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 3a) รวมทั้งช่วยลดการเปลี่ยนสีของเนื้อผลได้นาน 6 วัน (ภาพที่ 3c) โดยการรวม SO₂ 1.5% + SMS pad มีการเกิดโรคที่สูงที่สุดเนื่องจากการหุ้มทั้งตะกร้าด้วยถุงพลาสติก LLDPE เจาะรู มีการสะสมความชื้นภายในถุงสูงขึ้นทำให้เกิดเน่าเสียได้ง่าย เมื่อสุ่มลำไยที่เก็บรักษานาน 40 วันมาวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง พบว่าการแช่ HCl 5%+SMS 1% มีการเกิดโรคที่ต่ำที่สุดแต่ผลเน่า ร่องลงมา คือ SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม. และ SO₂ 1.5% ตามลำดับ (ภาพที่ 3b) แต่เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนสีของเนื้อในช่วงเวลาเดียวกันพบว่า SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม., HCl 5% + SMS 1% และ SO₂ 1.5% มีค่าต่ำกว่า 3.0 ในวันแรกมีค่าไม่แตกต่างกัน และไม่สามารถลดการเปลี่ยนสีของเนื้อได้เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 6 วัน (ภาพที่ 3d)

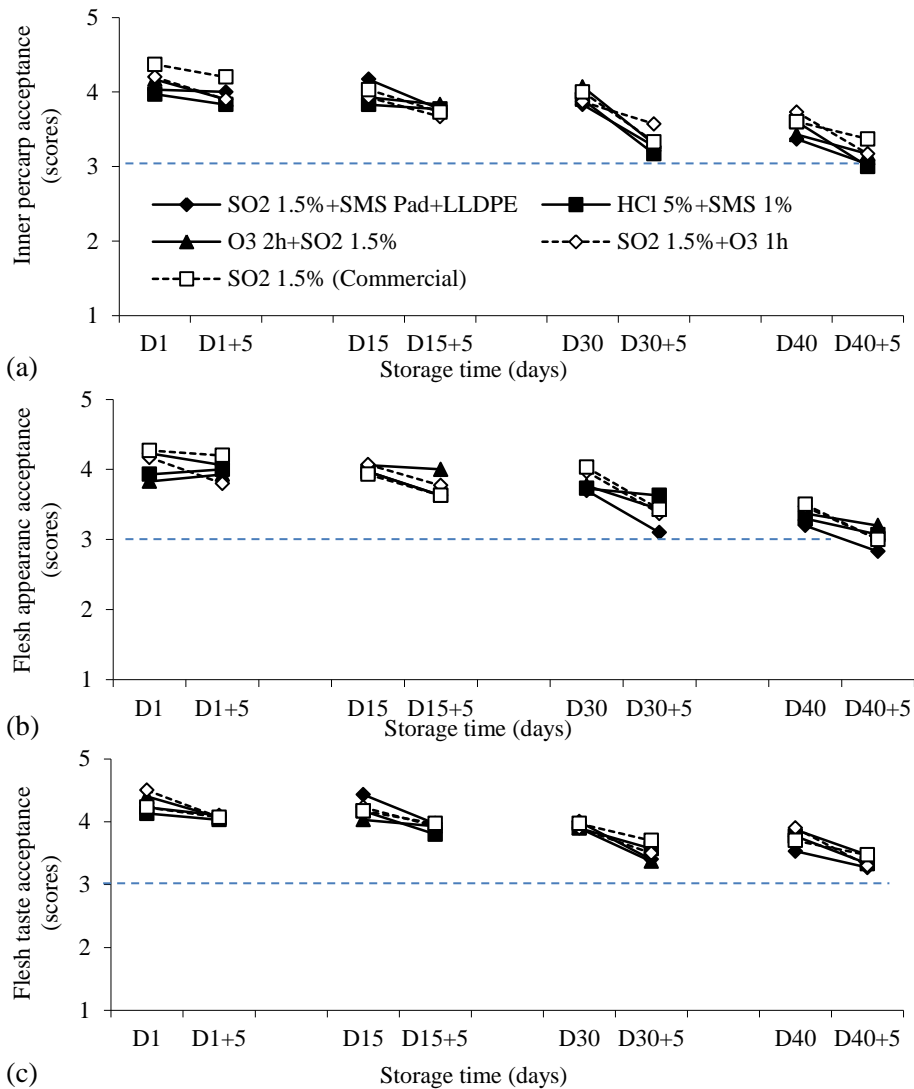


ภาพที่ 2 ผลของการทดสอบกรรมวิธี 5 วิธีการต่อการตกค้างของ SO₂ ในเนื้อผล (a) เปลือก (b) และค้ำทั้งผล (c) ระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 40 วัน



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

การทดสอบการยอมรับด้านประสาทสัมผัสโดยสุ่มและวางจำหน่ายนาน 5 วัน พบว่าทุกกรรมวิธีมีค่าการยอมรับลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ทุกกรรมวิธีมีคะแนนการยอมรับด้านสีผิวเปลือกอยู่ในเกณฑ์สูงกว่า 3.0 ตลอดอายุการเก็บรักษานาน 40 วัน และค่าลดลงเมื่อวางจำหน่ายนาน 5 วัน (ภาพที่ 4a) โดยการรม SO₂ 1.5% + O₃ นาน 1 ชม., HCl 5% + SMS 1% และ SO₂ 1.5% มีค่าสูงที่สุดและไม่ต่างกันเมื่อเก็บรักษานาน 40 วัน การยอมรับด้านสีเนื้อพบว่าคุณภาพลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 40 วันและวางจำหน่ายนาน 5 วัน โดยการรม SO₂ 1.5% + SMS pad มีค่าต่ำที่สุด คือ 2.83 เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ที่มีค่ามากกว่า 3.0 (ภาพที่ 4b) ซึ่งสอดคล้องกันการประเมินสีเนื้อมีค่าเกิน 3.0 ตลอดอายุการวางจำหน่าย (ภาพที่ 3c) เนื่องจากมีการเกิดโรคที่สูงกว่าทุกกรรมวิธี (ภาพที่ 3a) ส่วนคุณภาพการยอมรับด้านรสชาตินั้นพบว่าทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันและอยู่ในเกณฑ์การยอมรับมากกว่า 3.0 ตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 4c)



ภาพที่ 4 ผลของการทดสอบกรรมวิธี 5 วิธีการต่อการยอมรับของผู้บริโภคระหว่างการเก็บรักษาที่ 5°C นาน 1, 15 30 และ 40 วัน+วางจำหน่ายนาน 5 วัน ได้แก่ การยอมรับด้านสีผิวเปลือกด้านใน (a) สีเนื้อ (b) และรสชาติ (c) ตามลำดับ

2. การทดสอบการยอมรับในวิธีการแช่ HCl+SMS ต่อคุณภาพผล และลดสาร SO₂ ตกค้างร่วมกับผู้ประกอบการ

2.1 การทดสอบแช่ HCl+SMS ในลำไยส่งออกที่ห้องปฏิบัติการสวพ.1 กับลำไยเกรด A โดยทั้งสองกรรมวิธีมีค่าการตกค้างของ SO₂ ที่วิเคราะห์ทั้งหมดต่ำกว่า 50 ppm ตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 6.04 และ 24.84 ppm (ตารางที่ 1) เมื่อเก็บรักษาที่ห้องเย็นของห้องปฏิบัติการ สวพ.1 มีค่าลดลงมีค่าเท่ากับ 2.3 และ 3.39 ppm ภายหลังจากการเก็บรักษาผ่านไป 7 วันที่ 5°C, 65% RH และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง (25-35°C) นาน 3 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาที่ห้องเย็นผู้ประกอบการส่งออกมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 143.27 และ 160.02 ppm ภายหลังจากการเก็บรักษาผ่านไป 11 วันที่ 2°C, 90% RH มีค่าสูงขึ้น 6-20 เท่าเกิดจากการปนเปื้อนเมื่อเก็บรักษาในตู้คอนเทนเนอร์ร่วมกับลำไยรม SO₂ สภาพการค้า (ความเข้มข้นของก๊าซ SO₂ รม \geq 1.5%)

ลำไยเกรด A เมื่อแช่ใน HCl 5%+SMS 0.5% มีแนวโน้มช่วยรักษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 °C, 65% RH นาน 7 และ 11 วัน และวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้อง นาน 3-4 วัน ได้แก่ มีเปอร์เซ็นต์ผลดีที่สูงกว่า ผลนิ่มน้อยกว่า และช่วยลดความผิดปกติของสีเนื้อ (ไม่แสดงข้อมูล) และมีคะแนนการทดสอบต้านประสาทสัมผัสสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ HCl 5%+SMS 1% โดยทั้งสองกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันสถิติในคุณภาพอื่นๆ ได้แก่ ลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลทั้งเปลือกด้านนอก และใน และการเกิดโรคได้ดีไม่แตกต่างกัน เป็นต้น สรุปแล้ววิธีการนี้สามารถใช้ยืดอายุลำไยส่งไปประเทศสิงคโปร์ได้เมื่อจำลองสภาพการส่งออกนาน 14 วัน วางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องได้นาน 5-7 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่แช่สารที่ผลเน่าเสียจากเชื้อราภายใน 3 วัน (ไม่แสดงข้อมูล)

ตารางที่ 1

Treatments	pH solution					SO ₂ residue in whole fruit (ppm)				
	Before	AF ^{1/}	1st	2nd	3rd	Avg.	D1	D3	D7	D7+3
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

Note ^{1/} = After dipping time

^{2/} = Stored at cold container truck of company

2.2 การทดสอบแช่ HCl+SMS ในลำไยส่งออกในสถานประกอบการต้นแบบ

1) การทดสอบหาความเข้มข้นและวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม พบว่ามีค่าตกค้างของ SO₂ ทั้งผลไม่เกิน 50 ppm การแช่ลำไยจาก จ.ตาก ผลขนาดใหญ่เกรด AA ความเข้มข้นต่ำ HCl 2.5%+SMS 0.5% (T1) และเติม SMS คั้น คือ T1+เติม SMS ~ 0.5% (T2) มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.60 - 4.13 ppm เมื่อแช่ลำไย 500 ตะกร้า รวม 10 ครั้ง ทั้งสองกรรมวิธีไม่สามารถลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกได้ คะแนนมีค่าเกินเกณฑ์การยอมรับ 3.0 ผลของการลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกผลไม่สอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ที่ใช้ลำไยไม่แก่จากสวนเกษตรกร จ.เชียงใหม่ มีขนาดผลเล็กกว่าเป็นเกรด A ที่ความเข้มข้นระดับนี้ลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลและลดการเกิดสีเนื้อที่ผิดปกติได้ดี (ไม่แสดงข้อมูล) ผู้ประกอบการจึงต้องเพิ่มความเข้มข้น พบว่า แช่ใน HCl 5% + SMS 0.5% (T4) และเติม SMS คั้น คือ T4+เติม SMS~0.5% (T6) ช่วยลดการเปลี่ยนสีน้ำตาลได้ดีขึ้น ค่าตกค้างของ SO₂ ทั้งผลไม่เกิน 50 ppm การเติม SMS คั้นเมื่อแช่ซ้ำเพื่อป้องกันการสูญเสีย SO₂ ระหว่างการแช่ เมื่อแช่ซ้ำผ่านไป 3 ครั้ง แต่มีผลทำให้ค่า pH สารละลายสูงขึ้นจาก 0.31 เป็น 0.79 และค่าตกค้างสูงขึ้นจาก 1.72 เป็น 18.83 ppm (ไม่แสดงข้อมูล)

2) การทดสอบแช่และวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม

การทดสอบแช่ใน HCl 5% + SMS 0.5% รวม 2 ถึง กับลำไยผลขนาดใหญ่และเปลือกบาง เกรด AA โดยแช่ซ้ำ 3 ครั้งๆ ที่ 1-3 และเติม SMS คั้นในครั้งที่ 4-5 พบว่าค่าตกค้างของ SO₂ ทั้งผลไม่เกิน 50 ppm (ตารางที่ 2) แต่การเติม SMS มีผลทำให้ค่าตกค้างสูงขึ้นสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ โดยค่าเฉลี่ยกรรมวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าสูงขึ้นจาก 1.70 เป็น 15.95 ppm และกรรมวิธีที่ 3 และ 4 มีค่าสูงขึ้นจาก 1.43 เป็น 22.48 ppm สอดคล้อง

กับค่า pH ของสารละลายที่สูงขึ้นเกิดจากต้องมีน้ำปริมาตร 10 ลิตร มาละลาย SMS น้ำหนัก 1.5 กก. (ไม่แสดงข้อมูล) ส่วนด้านคุณภาพระหว่างการวางจำหน่ายภายหลังการเก็บรักษาที่ 5 °C, 65% RH นาน 4 วัน พบว่ามีอายุการวางจำหน่ายได้นาน 5 วันที่อุณหภูมิห้อง เมื่อประเมินจากค่าการยอมรับไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานได้แก่ การเกิดโรคต่ำกว่า 25% คะแนนสีน้ำตาลและการเกิดสีเนื้อที่ผิดปกติต่ำกว่า 3.0 (ไม่แสดงข้อมูล)

3) การทดสอบการส่งออก ผู้ประกอบการได้แช่ HCl 5%+SMS 0.5% แช่ซ้ำ และเติม SMS 0.5% คั้นและตัดซั้วบรรจุใส่กล่อง 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 SO₂ ทั้งผลที่ปลายทางพบมีค่าไม่เกิน 50 ppm ครั้งที่ 2 ส่งออกทางเครื่องบินจำนวน 1,000 กก. แช่และตัดซั้วบรรจุในกล่องทันทีในวันเดียวกันห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์และฟิล์มพลาสติกไว้ 1 คืน ที่ 5 °C พบมีปัญหาทำให้ไปเพิ่มความอับชื้นมีผลทำให้เปลือกเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลและมีการเกิดโรคทำลายซั้วที่รอยแผลระหว่าง 20-30% ระหว่างการวางจำหน่าย การแก้ไขควรฝังไว้ในห้องเย็นนาน 1 คืนและตัดผลในวันถัดไป ครั้งที่ 3 แก้ไขโดยการเพิ่ม SMS เป็น 1% คือ การแช่ HCl 5%+SMS 1% แช่ซ้ำได้หลายครั้งโดยไม่ต้องเติม SMS คั้น เก็บรักษาไว้ 1 คืน ที่ 5 °C และตัดซั้วในวันถัดไป พบว่าสีผิวเหลืองสวยและมีค่า SO₂ ตกค้างทั้งผลไม่เกินมาตรฐานมีค่า 16.04 ppm และผลการทดสอบการส่งออกมีผลที่ดีขึ้นสามารถวางจำหน่ายได้นานขึ้นในห้างสรรพสินค้าภายในประเทศสิงคโปร์ และการทดสอบการส่งออกทางเรือเป็นตู้สั้นรวม 2 ครั้ง ช่วงปลายเดือน ธ.ค. 2562 – ม.ค. 2563 โดยแช่ 2 วันๆ ละ 500 ตะกร้าจนเต็มตู้คอนเทนเนอร์มีค่า SO₂ ตกค้างทั้งผลไม่เกินมาตรฐานมีค่า 11.74 ppm ใช้เวลาเดินทางนาน 12 วัน สีผิวเปลือกมีตำหนิสีคล้ำในบางผล แต่ยังสามารถวางจำหน่ายได้ ผู้บริโภคภายในประเทศสิงคโปร์ และผู้นำเข้ายอมรับในคุณภาพลำไยจากประเทศไทย

ตารางที่ 2 ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างระหว่างการเก็บรักษาหลังแช่เสร็จและเก็บรักษานาน 4 วันที่ 5 °C, 70% RH.

Treatments	Sulfur dioxide residue in whole fruit (ppm)					
	1 st dipping time	2	3	4	5	Avg.
T1_HCl 5.0%+SMS 0.5% (red)	1.98	1.5	1.62	-	-	1.70
T2_T1+added SMS~0.5% (red)	-	-	-	21.99	9.91	15.95
T3_HCl 5.0%+SMS 0.5% (blue)	1.16	1.59	1.54	-	-	1.43
T4_T3+added SMS~0.5%(blue)	-	-	-	25.97	18.98	22.48

การทดสอบการส่งออกทางเรือโดยใช้ตู้แบบยาว 40 ฟุต รวม 2 ครั้ง ช่วงเดือนก.พ. 2563 เป็นต้นไป โดยแช่รวม 3 วันจนเต็มตู้คอนเทนเนอร์มีค่า SO₂ ตกค้างทั้งผลไม่เกินมาตรฐานมีค่า 24.80 ppm โดยลดความชื้นสัมพัทธ์ของตู้ให้ต่ำลงโดยการเปิดช่องระบายอากาศ (Vent) ให้มากขึ้น ช่วยลดปัญหาเรื่องคุณภาพได้ สีผิวเปลือกมี

ตำหนิสีคล้ำและเปลือกมีรอยแตกในบางผลประมาณ 3% แต่ยังสามารถวางจำหน่ายได้ และผู้ประกอบการได้พัฒนาวิธีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต



ภาพที่ 5 การทดสอบแช่ที่โรงคัดบรรจุเป็นสถานที่แช่เป็นที่โล่งแจ้งอากาศถ่ายเทดี กันฝนได้ ผู้ปฏิบัติงานแต่งกายป้องกันสารเคมี แช่ HCl 5.0%+SMS 0.5-1.0% นาน 5 นาที และผึ่งนานให้แห้งสนิทด้วยพัดลมอุตสาหกรรมนาน 2-3 ชม.

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

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 การแช่ HCl 5%+ SMS 1% ไปใช้แก้ไขปัญหาซึ่งตรวจพบค่าการตกค้างคำนวณค่าทั้งหมดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประเทศสิงคโปร์กำหนดต่ำกว่า 50 ppm

2. 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% คั้นกรณีแช่ซ้ำหลายครั้ง พบว่าการแช่ HCl 5%+SMS 1% นาน 5 นาที มีแนวโน้มปรับใช้วิธีการนี้ได้ใน การช่วยยืดอายุการเก็บรักษาลำไยส่งออกไปประเทศสิงคโปร์ โดยตัดหัวเป็นลำไยผลเดี่ยวและบรรจุในกล่อง clamshell เจาะรูความจุ 0.7-1.0 กก. ที่อุณหภูมิ 5 °C, 65% RH นานเพียงพอที่จะขนส่งและวางจำหน่ายรวมระยะเวลา 14 วัน สนิบเปลือก สีเนื้อที่ผิดปกติ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และค่าไม่เกินมาตรฐานพบค่า SO_2 ทั้งหมดระหว่าง 11.74 – 24.80 ppm ขณะที่ผลลำไยรม SO_2 1.5% (วิธีทางการค้า) และไม่แช่สารมีค่า SO_2 ตกค้างทั้งหมดเท่ากับ 152.15 และ 1.62 ppm โดยลำไยไม่แช่สารวางจำหน่ายได้นานเพียง 2-3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (25-35°C)

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ประกอบด้วย

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% ส่วนกรรมวิธีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การรม และ/หรือการแช่คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ค่าการตกค้างในผล และการยอมรับของผู้ประกอบการ และผู้บริโภคที่ประเทศปลายทางที่ต้องมีการศึกษาวิจัยหาข้อมูลเพิ่มเติม เป็นต้น

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) และ 1.44 ลบ.ม. (ความจุลำไย 12 ตะกร้า/ครั้ง) ด้วยระยะเวลารม O_3 นาน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชม. พบว่าความสามารถในการลดการตกค้างของ O_3 ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของลำไยที่รม SO_2 หากความเข้มข้นสูงเกินค่าตกค้างในเนื้อผลจะเกิน 50 ppm เครื่องผลิต O_3 ที่ใช้จะลดได้เฉพาะที่เปลือกผล แต่ในเนื้อไม่สามารถลด

ได้ วิธีแก้ไขต้องเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซ O_3 โดยใช้เครื่องที่มีกำลังผลิตที่สูงขึ้นหรือลดปริมาณของตู้รมให้เล็กลงหรือเพิ่มเวลาการรมให้นานขึ้น

จากการทดลองพบว่าหากใช้ความเข้มข้นของ SO_2 ที่คำนวณให้เท่ากับ 13,000-15,000 ppm (1.3-1.5%) ตามคู่มือการปฏิบัติงาน (SOP) มาตรฐานมกษ. 1004: 2557 ลำไยที่ผ่านการรมจะมีค่าตกค้างในเนื้อผลไม้เกิน 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 ด้วยความเข้มข้นสูงเกินมีผลค่าตกค้างในเนื้อผลไม้เกิน 50 ppm ก๊าซ O_3 จะลด SO_2 ได้เฉพาะเปลือก ดังนั้นหากนำไปใช้ในเชิงการค้าต้องใช้เครื่องโอโซนที่มีกำลังผลิตที่สูงพอกับขนาดห้องรม ดังนั้นหากนำไปใช้เชิงการค้าห้องรมมีขนาดใหญ่มากปริมาตรระหว่าง 25-70 ลบ.ม. (ความจุลำไย 200-700 ต่กร้า) จึงต้องใช้เครื่อง O_3 ที่มีกำลังผลิตที่สูงพอกับขนาดห้องรม การใช้เครื่องที่มีกำลังผลิตต่ำเกินไปกับขนาดห้องที่ใหญ่เกินไป เช่น ตู้รมที่มีปริมาตร 1.44 ลบ.ม. และใช้เครื่องผลิต O_3 ที่ 20 กรัม/ชม. มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการไปลดสารตกค้างและลดการเกิดโรคระหว่างการวางจำหน่าย

3. การทดสอบวิธีการแช่ HCl 5.0% + SMS 1.0% นาน 5 นาที สามารถใช้ลดปัญหาสาร SO_2 ตกค้างร่วมกับผู้ประกอบการสำหรับส่งออกประเทศสิงคโปร์ได้ 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% คั้นกรณีแช่ซ้ำหลายครั้ง พบว่าการแช่ HCl 5%+SMS 1% นาน 5 นาที มีแนวโน้มปรับใช้วิธีการนี้ได้ในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาลำไยส่งออกประเทศสิงคโปร์ โดยตัดหัวเป็นลำไยผลเดี่ยวและบรรจุในกล่อง clamshell เเจาะรูความจุ 0.7-1.0 กก. ที่อุณหภูมิ 5 °C, 65% RH นานเพียงพอที่จะขนส่งและวางจำหน่ายระยะเวลา 14 วัน สีผิวเปลือก สีเนื้อที่ผิดปกติ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และค่าไม่เกินมาตรฐานของประเทศสิงคโปร์ โดยพบค่า SO_2 ทั้งผลไม่เกิน 50 ppm มีค่าระหว่าง 11.74 – 24.80 ppm ขณะที่ผลลำไยรม SO_2 1.5% (วิธีทางการค้า) และไม่แช่สารมีค่า SO_2 ตกค้างทั้งผลเท่ากับ 152.15 และ 1.62 ppm โดยลำไยไม่แช่สารวางจำหน่ายได้นานเพียง 2-3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (25-35 °C)

ประเทศสิงคโปร์มีปริมาณการนำเข้าลำไยจากประเทศไทยปริมาณ 4 - 5 พันกว่าตัน/ปี และลดลงอย่างมากในปัจจุบันตามสภาวะเศรษฐกิจที่ถดถอย ข้อกีดกัน และสงครามทางการค้า วิธีการแช่ HCl 5% + SMS 1% นาน 5 นาที สามารถใช้เป็นวิธีทางการค้าและพัฒนาวิธีการใช้เพิ่มปริมาณการส่งออกให้มากขึ้นได้ในอนาคต แต่ขั้นตอนปฏิบัติงานค่อนข้างยุ่งยาก ได้แก่ การคัดเลือกผลลำไยจากสวนเกษตรกรต่างพื้นที่กันมีผลต่อสีผิว หากลำไยจ.ตากใช้เวลาเดินทางนานขึ้นมาถึงเชียงใหม่ก่อนเที่ยงคืน ควรแช่ทันทีในกลางคืน ลำไยในพื้นที่ จ.เชียงใหม่ การป้องกันผลแตกต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไว้ 1 คืนหากแช่ช่วงเช้า หรือเก็บรักษาอย่างน้อย 4-5 ชม. ลดผลแตกได้ หากแช่กลางคืน โดยส่วนมากนิยมแช่กลางคืน ผู้ปฏิบัติงานควรแต่งตัวให้รัดกุมสวมเสื้อแขนยาว ใส่หน้ากากกันแก๊ส ถุงมือยาง รองเท้าบูท ระวังความปลอดภัยการดูดกรดลงในน้ำ และควรใช้ SMS ไม่เกิน 1% การแช่สามารถแช่ซ้ำได้ 10 ครั้งอาจจะเพิ่มได้ ผึ่งลำไยไว้ 3 ชม. และเก็บรักษาต่อในห้องเย็นอีก 1 คืน ช่วงเช้าจึงตัดหัวบรรจุใน

กล่อง clamshell ใช้เวลานานพอสมควร และมีต้นทุนรวมการส่งออกทางเครื่องบิน 80 บาท/กก. แต่จำหน่ายได้ราคาสูงถึง 100-150 บาทที่ปลายทาง หากส่งทางเรือเป็นตู้สินค้าได้ต้นทุนรวมจะต่ำลงเหลือ 69 บาท/กก. หากใช้วิธีแช่ในถังพลาสติกรวม 10 ถังจะได้ 500 ตะกร้า/วัน ต้นทุนแรงงานสูงขึ้น หากในอนาคตใช้เครื่องแช่ลิ้นจี่ที่มีความยาวสามารถแช่ได้ครั้งละ 25 ตะกร้าต่อครั้ง จะช่วยลดต้นทุนแรงงานได้มากขึ้น และวิธีนี้ การแช่ HCl 1-3%+SMS 1% ยังสามารถพัฒนาการแช่กับลิ้นจี่ส่งออกได้เช่นเดียวกัน

4. การวิจัยเพื่อการแก้ไขปัญหาค่าการตกค้าง SO_2 ขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่กำหนดโดยประเทศปลายทางเป็นหลัก 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 จึงแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการรมในตูรมโอโซนขนาดเล็กก่อนด้วยโอโซนกำลังการผลิตไม่เกิน 30 กรัมต่อชั่วโมงก่อนขยายผลต่อไป เวลารมโอโซนที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 1-2 ชม./ครั้ง หากใช้เครื่องที่มีกำลังผลิตสูง 100-500 กรัม/ชม. ต้นทุนโดยประมาณสูงถึง 200,000 –1,000,000 บาท แต่สามารถหาเช่าเครื่องมือของบริษัทได้แต่มีต้นทุนการทดสอบต่อครั้งสูง หากทดสอบใช้ต้องวัดความเข้มข้นของแก๊สภายในห้องรมด้วย และต้องควบคุมการรั่วไหลของแก๊สเพื่อความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงาน

5. การปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรตก่อนนำไปใช้งานจริง สมการที่ได้ เมื่อ $y = 0.0464x$, $R^2 = 0.9144$ และทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต เปรียบเทียบกับวิธีไทเทรตมาตรฐาน (AOAC, 2016) ในการทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่รม SO_2 พบว่า การวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต มีค่าการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อไม่แตกต่างจากวิธีมาตรฐาน AOAC (2016) และเครื่องต้นแบบปัจจุบันมีต้นทุนประมาณ 50,000 บาท โดยจุดคุ้มทุนของต้นแบบเครื่องตรวจ SO_2 แบบเร็วทดแทนการไทเทรต อยู่ที่ 179 ตัวอย่าง การนำไปใช้งานจริงในอนาคต ควรทดสอบกับตัวอย่างลำไยที่ผ่านการรมจริงเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานให้มีจำนวนตัวอย่างที่เพียงพอต่อความเชื่อมั่นในผลวิเคราะห์ และควรเผยแพร่อย่างมีขั้นตอน เริ่มต้นสาธิตฝึกอบรม และให้ห้องปฏิบัติการภาคเอกชนเริ่มต้นทดสอบใช้ก่อนนำไปใช้ในโรงงานต่อไป

บรรณานุกรม

กิจกรรมที่ 1

- ชิง ชิง ทองดี, สมศักดิ์ ชัยมงคล, สดศรี เนียมเปรม, สัมพันธ์ ศรีสุริยวงษ์, มานัส แจ่มจำรูญ, ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์, อนวัช สุวรรณกุล, ยุวดี รัตนไชย, จิตตา ศาสตร์เพชร และน้ำเพชร ชัยวิภา. 2541. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ. 97 หน้า.
- บุษรา จันทร์แก้วมณี, สมคิด รื่นภาควุฒิ, เกรียงไกร สุภโตษะ, อุมารณณ์ สุจริตทวิสุข, ปรียานุช ทิพยะวัฒน์ และรุ่งทิวา รอดจันทร์. 2550. รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม การศึกษาบรรจุภัณฑ์เคลือบด้วยสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสด. สนับสนุนโดยเงินรายได้จากการดำเนินงานวิจัยด้านการเกษตรกรรมวิชาการเกษตร 50 หน้า.
- ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์และอภิรดี อุทัยรัตนกิจ. 2550. การศึกษาผลร่วมของการใช้ก๊าซ SO₂ แบบ slow release กับถุงพลาสติกชนิดต่างๆ ต่อการควบคุมโรคผลเน่าของลำไยพันธุ์ดอในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38 (5): 209-212.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2558. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ. หน้า 102.
- 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.
- Jiang, Y.M. and Y.B. Li. 2001. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan. *Food Chemistry*. 73, 139-143.
- Uthairatanakij, A., Jitareerat, P., Photchanachai, S. and leamtim, P. 2010. Combined treatments of sulfur dioxide and polyethylene bag on the quality and disease incidence in gamma irradiated longan fruit' Daw. *Acta Hort.* (ISHS) 877:1489-1494

กิจกรรมที่ 2

- พรวิสาข์ บุญยงค์. 2544. ผลของสารประกอบเกลือร่วมกับสารเคลือบผิวในการควบคุมการเน่าเสียของลำไยหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว.
- วิทยา อภัย, สมเพชร เจริญสุข, สุทธิณี ลิขิตตระกูลรุ่ง, นิพัฒน์ สุขวิบูลย์, อุทัย นพคุณวงศ์, สนอง อมฤกษ์, สกิตพงศ์ รัตนคำ, ชัยวัฒน์ เผ่าสันตพาดิษย์ และมานพ หาญเทวี. 2557. การพัฒนาการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวลำไยเพื่อการส่งออก. เรื่องเต็มการประชุมวิชาการกรมวิชาการเกษตรปี 2557
- 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.
- Drinnan, J. 2004. Longans postharvest handling and storage. Available [online] <http://www.rirde.gov.au/reports/NPP/03-125Sum.html>[cited [25 December 2019].

- FDA, Department of Health and Human Services, 1998. Secondary direct food additives permitted in food for human consumption. 21 CFR. Part 173.300 chlorine dioxide.
- Hai, H.L., Uthaibutra., J. Chanbang, Y. and Joomwong, A. 2014. Effects of bee-carnauba mixed wax coating on the reduction of respiration rate, weight loss, fruit decay, and the maintenance of visual appearance and quality of Vietnamese longan cv. Long during low temperature storage. *International Journal of Agriculture Innovation and Research*. 2 (4): 554-550.
- Han, Y. Linton, R.H. and Nelson, P.E. 2014. www.cfse.purdue.edu/media/annualreport/chlorinedioxidegas_han.pdf.
- Jiang ,Y., Liu,S., Chen,F., Li,Y. and Zhang, D. 1997. The control of postharvest browning of Litchi fruit by sodium bisulphite and hydrochloric acid. *Trop.Sci.* 37: 189-192.
- Jiang, Y.M. and Y.B. Li. 2001. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan. *Food Chem.* 73:39-143.
- Saengnil, K., Chumyarn, A., Faiyue, B. and Uthaibutra, J. 2014. Use of chlorine dioxide fumigation to alleviate enzymatic browning of harvested 'Daw' longan pericarp during storage under ambient conditions. *Post. Biol.Technol.* 91: 49-56.
- Trinetta, V., Vaidya, N., Linton, R., Morgan, M., 2011. Evaluation of chlorine dioxide gas residues on selected food produce. *J. Food Sci.* 76, 11–15.
- 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.
- Wu, B., Li, X.P., Hu, H.G., Liu, A.Y. and Chen, W.X. 2011a. Effect of chlorine dioxide on the control of postharvest diseases and quality of litchi fruit. *African Journal of Biotechnology*. 10 (32): 6030-6039.

กิจกรรมที่ 3

- ชรินทร์ เตชะพันธุ์ และวัฒนากร แก้วภักดี. 2550. การพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบเร็วสำหรับบ่งชี้ความปลอดภัยในอาหาร. วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วิทยาศาสตร์). 39 (2): 33-46.
- 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.
- Kanyanee, T, Fuekhad, P. and K. Grudpan. 2013. Micro coulometric titration in a liquid drop. *Talanta* 115: 258-262.

กิจกรรมที่ 4

- ณัฐนัย ตั้งมั่นคงวรกุล และวิทยา อภัย. 2560. การทดสอบความเข้มข้นของ SO_2 ที่เหมาะสมในการรมลำไยร่วมกับการใช้แผ่นระเหยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์. รายงานผลงานวิจัยการทดลองสิ้นสุดประจำปี 2560.
- สทิติย์พงศ์ รัตน์คำ, วิทยา อภัย, สมเพชร เจริญสุข, เกรียงศักดิ์ นักผูก, สอนง อมฤกษ์ และชัยวัฒน์ เผ่าสันทัตพาณิชย์. 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.
- 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 Sardud, 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.gov.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.

ภาคผนวก

1. 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 (เฉพาะผลอ่อน)	28-30

2. Determination of Sulphur Dioxide (Longan)

Steps:

1. Record weight of 20 pcs whole fruit, skin, flesh and seed

สุ่มผลลำไยจำนวน 20 ผล ชั่งน้ำหนักทั้งผล แยกเปลือก เนื้อ และเมล็ด

2. Carry out SO₂ analysis for:

Skin and Flesh (Blended together)

เปลือกและเนื้อมาบด แบ่งชั่งน้ำหนัก 50 กรัม ± 0.5

3. Using the calculation, the SO₂ present in the whole fruit is :

$$\text{Amount of SO}_2 \text{ in whole fruit} = \frac{\text{Result of Blended Skin \& Flesh (ppm)} \times \text{Weight of Skin (g) + Flesh (g)}}{\text{Weight of Whole Fruit (g)}}$$

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