ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในผลลำไยสดหลังการรม และเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

The Sulfur Dioxide Residues in Fresh Longan at Different Periods after Fumigation

พัชรา วุ้นประเสริฐ[1/] วิทยา อภัย[2/] สุดชล วุ้นประเสริฐ[3/]

Patchara Wonprasaid[1/] Wittaya Apai[2/] Sodchol Wonprasaid[3/]

ABSTRACT

The degradation of sulfur dioxide residues in fresh longan was studied at the Office of Agricultural Research and Development Region 1 Chiang Mai in 2005. In the experiment, SO_2 was fumigated to fresh longan with the use of sulfur at 2 different levels namely 500 and 750 g per longan 1,100 kg and stored at 2°C. The results showed that the injury of the peel surface growth of fungi, and SO_2 residue levels in the treated longan depended on the level of SO_2 applied. The high level of SO_2 fumigation had effectively prevented from fruit skin browning and surface fungi infestation with the more yellowish outer skin during storage time. The longan treated with low level of SO_2 showed symptoms of SO_2 injury with irregular brown circles, where as longan without SO_2 fumigation had brown skin. The high level of SO_2 fumigation resulted in higher residues than the low level. Residues were much higher in the peel than in the pulp (15-2615 times). Sulfurdioxide residue levels declined rapidly in the first period fumingation and with the slower rate after fumingation. Sulfurdioxide in the longan pulp treated with low level was 3.13 ppm at the first day after fumigation (DAF). It declined to 50% at the 3 DAF and was not detected at the 12 DAF. While SO_2 in longan pulp treated with high level was 89-99 ppm during the first 5 DAF. It declined below 50 ppm within 12 DAF and reached 5 ppm at 56 DAF. The results had shown that high level of SO_2

[1/] ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา 30140

[1/] Nakornrachasima Field Crop Research Centre, Sikhio district, Nakhon Ratchasima province 30140

[2/] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่1 อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

[2/] Office of Agricultural Research and Development Rigion 1, Mueang district, Chiang Mai 50200

[3/] สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

[3/] Institute of Agricultural Technology, School of Crop Production Technology, Suranaree University of Technology, Mueang district, Nakhon Ratchasima province 30000

fumigation gave a better result of storage, but the residues were higher.

Key words: longan, sulfurdioxide, fumigation, residues

บทคัดย่อ

การศึกษาการสลายตัวของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในผลลำไยสด ดำเนินการที่สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 จ.เชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2548 โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 6 ซ้ำ 3 กรรมวิธี ได้แก่ ไม่รมกำมะถัน การรมกำมะถันอัตราต่ำและอัตราสูง ที่ 500 และ 750 ก. ลำไย 1,100 ก. และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°ซ. พบว่าการเน่าเสียของเปลือกผล การเจริญเติบโตของเชื้อราและผลตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระดับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการรม ลำไยรมกำมะถันอัตราสูงสามารถควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและการเกิดเชื้อราได้ และมีสีผิวเปลือกนอกเหลืองมากกว่าลำไยสดปกติตลอดระยะเวลามี่เก็บรักษา สำหรับลำไยที่รมกำมะถันอัตราต่ำเกิดวงสีน้ำตาลที่ผิวเปลือกเป็นแห่งๆในระหว่างการเก็บรักษา ลำไยที่ไม่รมกำมะถันมีสีผิวเปลือกนอกและในคล้ำลงเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งในเนื้อและในเปลือกลำไย มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาทั้ง 2 ระดับการรมกำมะถัน โดยมีการลดลงอย่างรวดเร็วในระยะแรกหลังจากรมและค่อยๆลดลงในระยะหลัง ปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการรมกำมะถันอัตราสูง มีมากกว่าการรมกำมะถันอัตราต่ำตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบปริมาณตกค้างที่เปลือกมากกว่าในเนื้อหลายเท่า (15 - 2615 เท่า) สำหรับการรมกำมะถันอัตราต่ำพบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อลำไย 3.13 ppm ในวันแรกที่ทำการรม และลดลงเหลือ 50% ภายใน 3 วัน หลังจากนั้นลดลงจนไม่พบผลตกค้างในวันที่ 12 สำหรับลำไยที่รมกำมะถันอัตราสูง พบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อในระยะ 5 วันแรก 83-99 ppm และลดลงต่ำกว่าระดับ MRL ของจีนที่ 50 ppm ภายใน 12 วัน หลังจากนั้นจะลดลงไปเรื่อยๆจนเหลือ 5 ppm ในวันที่ 56 การรมกำมะถันในอัตราสูงสำหรับผลลำไยสดให้ผลดีต่อการเก็บรักษา ในขณะที่การรมกำมะถันอัตราต่ำพบปัญหาวงสีน้ำตาลที่ผิวเปลือก แต่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อลำไยในการรมกำมะถันระดับสูงมีมากกว่า

คำหลัก: ลำไย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การรม ผลตกค้าง

คำนำ

ลำไยเป็นผลไม้เขตกึ่งร้อนประเภทบ่มไม่สุก (non-climacteric fruit) การเก็บเกี่ยวจึงจะต้องดำเนินการเมื่อสุกแก่ ผลลำไยสดที่เก็บเกี่ยวแล้วมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 2-3 วัน ซึ่งนับว่าสั้นมาก (ชิงชิงและคณะ, 2540; ดนัย, 2535) สาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลลำไยมีอายุการเก็บรักษาสั้นเริ่มจากการเปลี่ยนแปลงของเปลือกผลเป็นสี

น้ำตาลและแห้ง ซึ่งไม่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อทั้งในด้านกลิ่นและรสชาติในช่วงแรก แต่มีผลให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และมีอีกสาเหตุหนึ่งคือ การเน่าเสียเนื่องบนผิวเปลือกเนื่องจากเชื้อรา

ความเสียหายของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยวที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากหลายปัจจัยซึ่งน่าจะมีความสัมพันธ์กัน โดยมีสาเหตุจากการปกติเสื่อมสภาพของผลที่เปลือกก่อน คล้ายกับการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกลิ้นจี่หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่ง Underhill (1992) Jiang (1999) และ Jiang และคณะ (2002) ได้รายงานว่าการสูญเสียน้ำประกอบกับความเครียดจากความร้อน อุณหภูมิต่ำมาก หรือการมีแผล กระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสารฟีนอล (phenol) ซึ่งเป็น substrate จากกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และ peroxidase (POD) ก่อให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลขึ้นในชั้นเปลือกลิ้นจี่สด และ Underhill และ Critchley (1994) ก็พบปฏิกิริยาออกซิไดซ์ดังกล่าวในลิ้นจี่เกิดขึ้นมากภายหลังจากการเก็บเกี่ยว สำหรับเนื้อลำไยมีการเสื่อมสภาพช้ามากกว่าเปลือกมาก โดยเฉพาะความหวานซึ่งจะไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่เก็บรักษา (พรวิสาข์, 2544; สิริคียา, 2545)

การเก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำชะลอการเกิดเชื้อรา และการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของผิวเปลือกลำไยได้ เมื่อใช้ร่วมกับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยววิธีอื่นๆ (ชิงชิง, 2520; นิรนาม, 2541) เป็นการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อลำไยได้ดี ทั้งในด้านรสชาติ กลิ่นและลักษณะทางกายภาพ การเก็บรักษาลำไยในที่อุณหภูมิต่ำเพียงอย่างเดียวจะชะลอการเกิดเชื้อราในระยะแรกเท่านั้น เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5-7°ซ. ในระยะเวลาหนึ่งจะเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ปรากฏสีน้ำตาลที่เปลือก ง่ายต่อการเข้าทำลายโดยเชื้อราได้มากกว่าปรกติ (Tongdee *et al.* 1982)

กำมะถันหรือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) นิยมใช้ในการถนอมอาหาร ระดับนานาชาติ International food additives ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา ยับยั้งการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทั้งที่เกิดจากเอนไซม์และไม่ได้เกิดจากเอนไซม์ รวมทั้งมีคุณสมบัติในการฟอกสี ทำให้สีผิวเปลือกลำไยด้านนอกมีสีเหลืองนวลมากขึ้น การใช้ควันที่ได้จากการเผากำมะถัน เพื่อถนอมอาหารมีมาแต่ยุคเฟื่องฟูของอียิปต์และโรมัน และใช้ต่อมาจนถึงปัจจุบัน Underhill (1992) โดยทดลองในลิ้นจี่ เชื่อว่าซัลไฟต์อาจไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO และเอนไซม์อื่นๆ มีผลให้ชะลอการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกลิ้นจี่ ซึ่งน่าจะมีความสัมพันธ์ในทำนองเดียวกันนี้กับลำไย ชิงชิง (2535) พบว่าการรมโดยให้ลำไยดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 30-65% ของน้ำหนักผลมีปริมาณตกค้างในผลทันทีหลังจากรม 200-300 ppm ยับยั้งการเกิดเชื้อราและป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกได้ และปริมาณตกค้างที่ผลลดลงอย่างรวดเร็วใน 2-3 วันแรกหลังจากรม ผลตกค้างพบมากที่เปลือกและพบต่ำมากในเนื้อลำไย จนไม่เป็นปัญหากับระดับ MRL ในเนื้อ ที่ 30 ppm

การขนส่งลำไยสดในการส่งออกประเทศต่างๆใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน และเกี่ยวข้องกับวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยเฉพาะในลำไยสดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างผันแปรตามระยะเวลาที่เก็บรักษา ระยะเวลาการขนส่งจากท่าเรือไทยถึงสิงคโปร์ 3 วัน จีนและฮ่องกง 4-7 วัน อินโดนีเซียและมาเลเซีย 7-8 วัน ออสเตรเลีย 14-18 วัน ยุโรปและอเมริกาเหนือ 21-30 วัน

การรมลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการเผากำมะถันผง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เป็นวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสดเพื่อการส่งออกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สามารถยืดอายุการเก็บรักษาลำไยได้นาน 4-6 สัปดาห์ (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชินฮั้ว, ติดต่อส่วนตัว; บริษัทจำกัด เชียงใหม่อุทัยพืชผล, ติดต่อส่วนตัว; ชิงชิงและคณะ, 2540) ส่งผลให้ประเทศไทยสามารถส่งออกลำไยสดได้มากขึ้นจากเดิมหลายเท่าตัว อัตรากำมะถันที่ใช้ในการรมลำไยสดแตกต่างกันไปบ้างในแต่ละโรงรม และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของสินค้าและสภาพของลำไย จากการสอบถามจากโรงรมขนาดใหญ่ได้ทำการรมและส่งออกลำไยมานานที่ไม่ประสงค์ที่จะเปิดเผยสถานที่ได้ ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้กำมะถันอัตรา 500-750 ก./ลำไยสด 1100 กก. ในห้องรมขนาดประมาณ 4x5x2 ลบ.ม. ในปัจจุบันพบว่าการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดเพื่อการส่งออก เป็นปัญหาในการค้าระหว่างประเทศ ประเทศผู้นำเข้าหลายประเทศได้กำหนด MRL ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในลำไยสดแตกต่างกันคือ จีน 50 ppm ในเนื้อ ส่วนสิงคโปร์ มาเลเซีย แคนนาดาและสหราชอาณาจักร 0 ppm ในเนื้อ เนเธอร์แลนด์ 0 ppm ในเนื้อ และ 100 ppm ในเปลือก (300 ppm ในเปลือก ณ ประเทศที่ส่งออก) และ CODEX 10 ppm ในเนื้อ และ 30 ppm ในเปลือก (นิรนาม, 2550; ที่ปรึกษาการพานิชย์ ณ กงสุลไทยในประเทศต่างๆ อ้างจาก นิรนาม, 2545ก; นิรนาม, 2545ข; ที่ปรึกษาการพานิชย์ ณ กงสุลไทยในประเทศอังกฤษ อ้างจากรัตนา, 2535) ทั้งนี้มีผู้แสดงอาการแพ้ในบางราย หรือปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างมากเกินทำให้เป็นพิษต่อผู้บริโภคได้ เพราะเกินกว่าที่ร่างกายจะออกซิไดซ์ และขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะได้ จึงไปลดประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและไขมันในร่างกาย องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดค่า ADI (acceptable daily intake) ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ที่ 0.7 มล./น้ำหนักตัว 1 กก./วัน (Taylor and Bush, 1986) ดังนั้นจึงได้ศึกษาการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลลำไยสดเพื่อการส่งออก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับกำมะถัน 2 อัตรา ในระยะเวลาต่างๆที่เก็บรักษา การเปลี่ยนของสีผิวเปลือก ความหวานและการเกิดเชื้อรา เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการแก้ไขปัญหาการส่งออกลำไยสดต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการการรมลำไยสดด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2 อัตรา โดยใช้กำมะถันอัตราต่ำที่

500 ก. และอัตราสูงที่ 750 ก./ลำไยสด 1,100 กก. เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งไม่รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (control) โดยนำช่อลำไยสดพันธุ์ดอ เกรด A บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่ใช้สำหรับการส่งออก ตะกร้าละ 11 กก. รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสภาพห้องรมระดับการค้าขนาด 4.2 x 5 x 2.2 ลบ.ม. พร้อมชุดเตาเผากำมะถันแบบใช้ก๊าซและชุดบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำการจัดเรียงตะกร้าบนแท่นไม้ชั้นละ 4 ตะกร้า วางเรียงซ้อนกัน 8 ชั้น และทับบน 1 ตะกร้า และจัดเรียงแท่นไม้ จำนวน 17 แท่นไม้ในห้องรม ใช้ระยะเวลาเผากำมะถัน 30 นาที ตามด้วยการเป่าพัดลมภายในห้องรม 30 นาที หลังจากนั้นจึงระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออก 30 นาที แล้วนำลำไยมาผึ่งพัดลมนอกห้องรม 60 นาที วางแผ่นฟองอากาศกันกระแทกปะหน้าลำไยในตะกร้าก่อนทำการเก็บรักษาลำไยในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 2+1°ซ. ซึ่งเป็นอุณหภูมิจำลองจากตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ขนส่งลำไยเพื่อการส่งออก แล้วทำการสุ่มตัวอย่าง 10 ผล/ตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อและเปลือกลำไยในวันที่ 0 (วันที่รม), 1-6 8 10 12 14 21 28 35 42 49 และ 56 วันหลังจากการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการประยุกต์จากวิธี Optimized Monier – Williams Method (Anon, 2000) บันทึกการเกิดเชื้อราโดยการสังเกต และการเปลี่ยนสีผิวเปลือกโดยการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสแบบประยุกต์ ในวันที่ 0 (วันที่รม) 7 20 40 และ 60 วันหลังการรม

วิธีการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในการเปลี่ยนสีผิวเปลือก

การประเมินคุณภาพของผลลำไยในระหว่างการเก็บรักษา โดยการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ในการมองเห็นลักษณะปรากฏสีเปลือกลำไยของผู้ทดสอบ สีผิวเปลือกด้านนอกและสีผิวเปลือกด้านในของลำไย ด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Technique (ไพโรจน์, 2545; สรวงสุดา, 2540) แบบประยุกต์ โดยที่คะแนนของสีที่คาดว่าผู้บริโภคชอบมากที่สุด (ideal) คือ 5 และ 3 สำหรับสีผิวเปลือกด้านนอกและสีผิวเปลือกด้านในตามลำดับ จากผู้ทดสอบจำนวน 10 คน และใช้วิธีการประเมินโดยการให้คะแนน (profile test) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังนี้

สีผิวเปลือกด้านนอก (เฉพาะสีพื้นผิว ไม่รวมวงสีน้ำตาล)ให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 โดยที่ 0 = สีผิวเปลือกลำไยสีน้ำตาล 1. = สีผิวเปลือกลำไยสีน้ำตาลปนเหลือง (คล้ำ) 2. = สีผิวเปลือกลำไยสีเหลืองปนน้ำตาล (เริ่มคล้ำ) 3. = สีผิวเปลือกลำไยสีเหลือง (สีเปลือกลำไยธรรมชาติ) 4. = สีผิวเปลือกลำไยสีเหลืองนวล และ 5. = สีผิวเปลือกลำไยสีเหลืองนวลมาก

สีผิวเปลือกด้าน (เฉพาะสีพื้นผิว ไม่รวมวงสีน้ำตาลของ sulfur injury) ให้คะแนนตั้งแต่ 0 - 3 โดยที่ 0 = สีน้ำตาล 1. = สีคล้ำปานกลาง 2. = เริ่มมีสีคล้ำ และ 3. = สีขาว (สีเปลือกด้านในตามธรรมชาติ)

การทดลองดำเนินการระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 - กันยายน พ.ศ. 2548 ที่โรงรมระดับการค้าเพื่อการส่งออกใน จ.เชียงใหม่

และการเก็บรักษาและวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 จ. เชียงใหม่

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สีผิวเปลือก

ในวันแรกหลังจากรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้สีเปลือกด้านนอกของลำไยสดมีสีเหลืองนวลมากขึ้น อัตราการรมที่สูงขึ้นมีผลให้เกิดสีเหลืองนวลมากขึ้น จากค่าเฉลี่ยของคะแนนในการประเมินประสาทสัมผัสแบบ profile test มีค่าสูงกว่าเมื่อรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอัตราที่สูงขึ้น (Figure 1a and Tables 1, 3) โดยที่การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราสูง ทำให้สีผิวเปลือกลำไยมีสีเหลืองนวลมากที่สุด คะแนนของการประเมินคุณภาพในด้านสีของเปลือกนอกมีค่าสูงสุด 5 คะแนน ในขณะที่การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราต่ำและไม่รม มีสีเหลืองนวลน้อยกว่า ซึ่งคะแนนการประเมินมีค่า 4 1 และ 3 คะแนน ตามลำดับ สำหรับเปลือกด้านใน การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่ทำให้สีแตกต่างกันทั้ง 3 กรรมวิธี โดยสีเปลือกด้านในมีสีขาว (Figure 1a and Tables 2, 4)

1.1 การเปลี่ยนสีของเปลือกลำไยและการควบคุมการเปลี่ยนสีโดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ลำไยที่ไม่ได้รับการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สีของเปลือกด้านนอกและด้านในคล้ำลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษา จนเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่อเก็บรักษา 40 และ 60 วัน (Figure 1b, 1c, 1d, 1e and Tables 1 - 4) จากค่าเฉลี่ยคะแนนของการประเมินของสีที่มีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีคะแนนสูงสุดที่ระดับ 3 คะแนนในวันแรกของการเก็บรักษา และลดลงจนเป็น 0 คะแนนในวันที่ 40 และ 60 หลังการรม นอกจากนี้ยังสังเกตุพบว่าเปลือกด้านในบางผลมีรอยด่างสีน้ำตาลเกิดขึ้นเป็นจ้ำๆ หรืออาการสะท้านหนาว (chilling injury) ในวันที่ 7 และ 10 หลังการรม หลังการรมเปลือกด้านนอกและด้านในเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเกือบทั้งหมด และเมื่อเก็บรักษานานมากขึ้นครบ 20 และ 40 วัน หลังจากรม เปลือกด้านนอกและด้านในมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น ลักษณะอาการสะท้านหนาวนี้พบเช่นเดียวกันในการทดลองของ Boonyakiat และคณะ (2002) และสมคิดและคณะ (2549) เมื่อเก็บรักษาลำไยสดไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า5°ซ. โดยปรากฏอาการผิวสีคล้ำ และการฉ่ำน้ำของผิว ในวันที่ 6 และเป็นสีน้ำตาลทั้งผลเมื่อเก็บรักษา 14 วัน ซึ่งจะเอื้ออำนวยให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้มากขึ้นเมื่อนำออกมาไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสม (ambient condition) ทั้งนี้เนื่องมาจากลำไยเสียความแข็งแรงของ membrane และเกิดการรั่วไหลของน้ำผ่านออกมาจาก membrane ซึ่ง Jaitrong (2005) ได้ศึกษา ultrasonicstructure ของเปลือกลำไยพันธุ์ดอที่เกิดอาการสะท้านหนาวจากการเก็บที่อุณหภูมิ 5°ซ. พบว่าเกิดการเสียหายของชั้นของเปลือกลำไยทุกชั้นในลักษณะต่างๆกัน ซึ่ง Abe (1990) และ Wang (1990) ได้รายงานไว้ว่าความเสียหายของชั้นเซลล์ของเปลือกจากอาการสะท้านหนาว มีผลให้เกิดการฉ่ำน้ำของผิวเปลือกด้านใน และมีผลเร่งให้เกิดการ

oxidation ของ phenolic substance ซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลของ oxidation product ปรากฏด้านนอกและด้านในของเปลือก

การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอัตราต่ำ สีเปลือกด้านนอกมีแนวโน้มให้สีเหลืองนวลปานกลาง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยคะแนนการประเมิน 4 ตั้งแต่วันแรกจนถึง 20 วันหลังเก็บรักษา (Figures 1a, 1b, 1c, 1d, 1e and Tables 1-4) หลังจากนั้นจะคล้ำลงเล็กน้อยโดยมีค่าเฉลี่ย 3 ในวันที่ 40 และ 60 หลังการรม สำหรับสีเปลือกด้านในมีสีขาวเหมือนวันแรกจนถึงวันที่ 7 หลังจากรม และมีสีคล้ำลงเล็กน้อยในวันที่ 20-60 หลังจากรม โดยค่าเฉลี่ยที่ 2 คะแนน นอกจากนี้การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอัตราต่ำ มีผลให้พบวงสีน้ำตาลบนผิวเปลือก หรือที่เรียกว่าเกิดความเสียหายจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 injury) ในบางผลทั้งด้านนอกและด้านในเปลือก (Figure 1b) วงสีน้ำตาลที่เกิดจาก SO_2 injury นี้ เริ่มจากวงขนาดเล็กในระยะแรก และเมื่อเก็บรักษานานมากขึ้นในวันที่ 20 40 และ 60 ขนาดของวงโตขึ้นและมีจำนวนผลลำไยที่พบมากขึ้น (Figure 1c, 1d, 1e) แต่อย่างไรก็ตาม SO_2 injury นี้ไม่เกิดขึ้นในลำไยทุกผล โดยในวันที่ 7 พบปริมาณลำไยที่เกิด SO_2 Injury ประมาณ 15% ของลำไยทั้งหมด ซึ่งพบมากขึ้นเป็น 20 25 และ 30 ในวันที่ 20 40 และ 60 การเกิด SO_2 injury นี้พบเช่นเดียวกันในการทดลองของ Tongdee (1993) ซึ่งได้อธิบายว่าการเกิด SO_2 injury อาจเนื่องมาจากปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการฟอกหรือเคลือบที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกลำไยได้ทั้งหมด

การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราสูงส่งผลให้เปลือกด้านนอกมีสีเหลืองนวล มากกว่าการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอัตราต่ำและไม่รม ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาโดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุดที่ 5 คะแนน ในขณะที่การรมฯอัตราต่ำและไม่รมมีคะแนนการประเมินตั้งแต่ 0-4.1 (Figures 1b, 1c, 1d, 1e and Tables 1-4) การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลทำให้สีเปลือกด้านในมีสีขาวนานมากขึ้น โดยเฉพาะการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราสูงนี้ สีเปลือกด้านในมีสีขาวเหมือนวันแรกตลอดการเก็บรักษา ซึ่งค่าเฉลี่ยคะแนนการประเมินอยู่ที่ระดับ 3 ในขณะที่การรมซัลเฟอร์ออกไซด์อัตราต่ำและไม่รม มีสีเปลือกด้านในคล้ำลงเมื่อเก็บรักษานานมากขึ้น โดยค่าเฉลี่ยคะแนนการประเมินตั้งแต่ 0.0-2.6 แสดงว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราสูงนี้มีปริมาณมากพอที่จะควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกลำไยได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Tongdee (1993) ที่พบว่าการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอัตราที่สูงเพียงพอทำให้ควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกลำไยได้ และการศึกษาของ Underhill (1992) ที่อธิบายว่าซัลไฟต์สามารถไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO และเอนไซม์ POD ในขบวนการ oxidation ของสาร phenol ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของ oxidation product และมีผลทำให้ผิวเปลือกของลิ้นจี่ไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งน่าจะเกิดในทำนองเดียวกันในผลลำไยสด และการศึกษาของ Underhill และ Critchley (1994) ที่พบว่าปฏิกิริยาออกซิไดซ์ดังกล่าวในลิ้นจี่ พบมากภายหลังจากการเก็บเกี่ยว

Table 1. The average scores of outer skin colour evaluation by sensory evaluation - profile test

Sulfur used	Day(s) after fumigation				
(g per longan 1,100 kg)	1	7	20	40	60
0	3.0	1.8	1.0	0.0	0.0
500	4.1	4.0	3.8	3.2	2.8
750	5.0	5.0	5.0	4.8	4.7

Table 2. The average scores of inner skin colour evaluation by sensory evaluation - profile test

Sulfur used	Day(s) after fumigation				
(g per longan 1,100 kg)	1	7	20	40	60
0	3.0	1.7	1.0	0.0	0.0
500	3.0	2.7	2.2	2.0	2.0
750	3.0	3.0	3.0	2.9	2.7

Table 3. Outer skin colour changed after fumigation

Sulfur used	Day(s) after fumigation				
(g per longan 1,100 kg)	0	7	20	40	60
0	As fresh longan	Darker	Brown almost whole fruit	Dark brown whole fruit	* *
500	Yellow	Yellow with small irregular brown circles. Injured fruits 15%	Yellow with bigger irregular brown circles. Injured fruits 20%	Yellow with bigger irregular brown circles. Injured fruits 25%	Yellow with bigger irregular brown circles. Injured fruits 30%
750	More yellow	More yellow	More yellow	More yellow	More yellow

* * Rotten

Table 4. Inner skin colour changed after fumigation

Sulfur used (g per longan 1,100 kg)	Day(s) after fumigation				
	0	7	20	40	60
0	White as fresh longan	Slightly brown with water bruse circle in some fruit	Light brown	Dark brown	* *
500	White as fresh longan	White as fresh longan with small irregular brown circles. Injured fruits 5%	White as fresh longan with small irregular brown circles. Injured fruits 15%	White as fresh longan with small irregular brown circles. Injured fruits 25%	White as fresh longan with small irregular brown circles. Injured fruits 30%
750	White as fresh longan	White as fresh longan	White as fresh longan	White as fresh longan	White as fresh longan

* * Rotten

Table 5. The average of sulfur dioxide residues in longan peel after fumigation(ppm).

Sulfur used (ger longan 1,100 kg)	Day(s) after fumigation									
	0	2	4	8	12	14	21	28	42	56
0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
500	785	543	568	577	530	495	462	437	461	395
750	2,233	1,573	1,438	1,109	1,056	1,120	973	850	944	728
t-test	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**

* significant

** highly significant

2. ผลตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ชุดควบคุมซึ่งไม่รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่พบการตกค้างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกและเนื้อตั้งแต่เริ่มต้น เนื่องจากลำไยที่นำมาทดลองไม่ได้รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และจากการสอบประวัติที่มาของผลลำไยได้จากแปลงที่ไม่มีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จึงหยุดทำการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หลังจากวันที่ 2 ดังนั้นจึง

วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเฉพาะกรรมวิธีที่กำมะถัน 500 และ 750 ก. เท่านั้น โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบแบบ t-test

2.1 ผลตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือก

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ในเปลือกของการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระดับต่ำพบ 785 ppm ในวันที่ 1 (Figure 3 and Table 5) และลดลงอย่างรวดเร็วในระยะแรก 2-3 วันหลังการรม และมีอัตราการลดลงของปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงไปเรื่อยๆจนถึง 395 ppm เมื่อเก็บรักษาได้ 56 วัน ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างดังกล่าวยังคงมีมากกว่า 50% ของปริมาณตกค้างในวันแรก ความสัมพันธ์ของปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกจากการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระดับต่ำ กับระยะเวลาที่เก็บรักษา พบในลักษณะฟังชั่นยกกำลัง ดังสมการ y = 670.26 x -0.1157 และค่า R^2 = 0.7815 โดยที่ y คือ ปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ x คือ ระยะเวลาที่เก็บรักษา

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ในเปลือกของลำไยซึ่งผ่านการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระดับสูงพบถึง 2233 ppm ในวันที่รม (Figure 3 and Table 5) และลดลงจากวันแรกของการรมอย่างรวดเร็วในระยะ 2-3 วันแรก และมีอัตราการลดลงของปริมาณตกค้างลดลงไปเรื่อยๆ โดยพบปริมาณตกค้างเหลือ 50% หรือ 1109 ppm ในวันที่ 8 และลดลงต่อไปเหลือ 728 ppm เมื่อเก็บรักษาได้ 56 วัน โดยพบว่ามีความสัมพันธ์ของปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือก จากการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระดับสูงกับระยะเวลาที่เก็บรักษาในลักษณะฟังชั่นยกกำลังตามสมการ y = 2064.4 x -0.244 และค่า R^2 = 0.963 โดยที่ y คือ ปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ x คือ ระยะเวลาที่เก็บรักษา (Figure 3) สอดคล้องกับการทดลองของ Tongdee (1993) ซึ่งพบว่าปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกลดลงอย่างรวดเร็วในระยะแรก 2-3 วันหลังการรม และมีอัตราการลดลงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงในระยะต่อมา และมีปริมาณตกค้างเหลือ 50% ในวันที่ 7

ปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ในเปลือกของลำไย ซึ่งผ่านการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราต่ำและอัตราสูง มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (Figure 3 and Table 5) โดยปริมาณตกค้างที่เปลือกของการรมอัตราสูงมีมากกว่าตั้งแต่วันแรกที่รม และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกระยะการเก็บรักษา ยกเว้นในวันที่ 8 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกมีความแปรปรวนสูง ซึ่งที่เกิดขึ้นในสภาพของการรมลำไยสด แม้ว่าได้คัดเลือกให้ได้ผลที่อยู่ในเกรดเดียวกันในสภาพการค้า ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอลักษณะผิวเปลือกในแต่ละผล และ/หรือการเข้าถึงของควันกำมะถันที่ดำเนินการรมในสภาพการค้าอาจไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทั้ง 2 ประการน่าจะมีผลต่อความแปรปรวนที่เกิดขึ้น

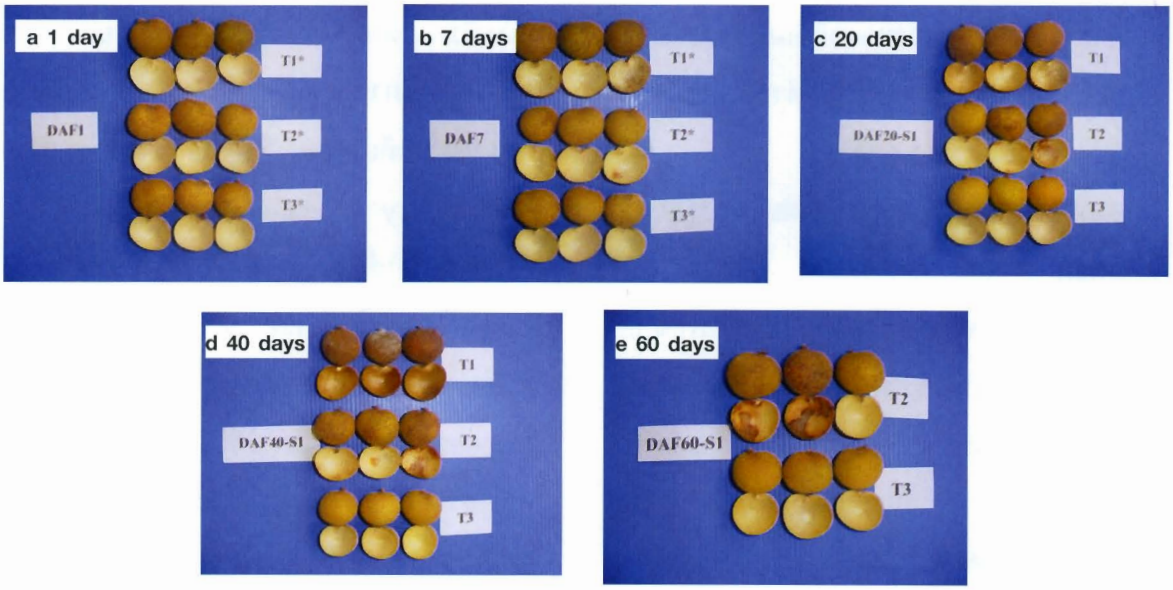

Figure 1. Outer and inner skin colour after 1, 7, 20, 40 and 60 days after fumigation.

Figure 2. Growth of fungi on longan skin and stem in non fumigation treatment

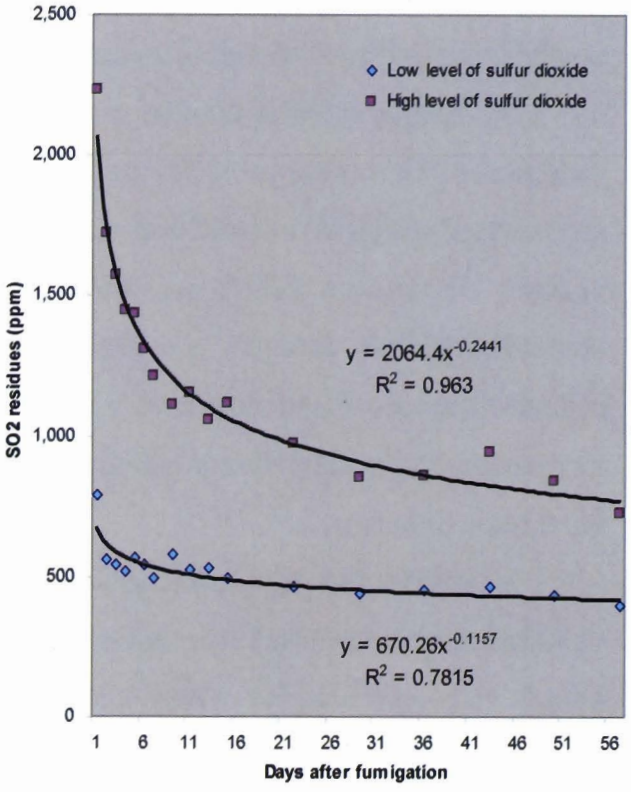

Figure 3. Sulfur dioxide residues in longan peel after fumigation at low and high level of sulfur

2.2 ผลตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ในเนื้อของการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระดับต่ำที่ 3.13 ppm ในวันที่รม (Figure 4a and Table 6) และลดลงจากวันแรกของการรมอย่างรวดเร็วเหลือ 50% ในระยะแรกที่เก็บรักษา 2-4 วัน และมีอัตราการลดลงของปริมาณตกค้างไปเรื่อยๆ จนไม่พบการ

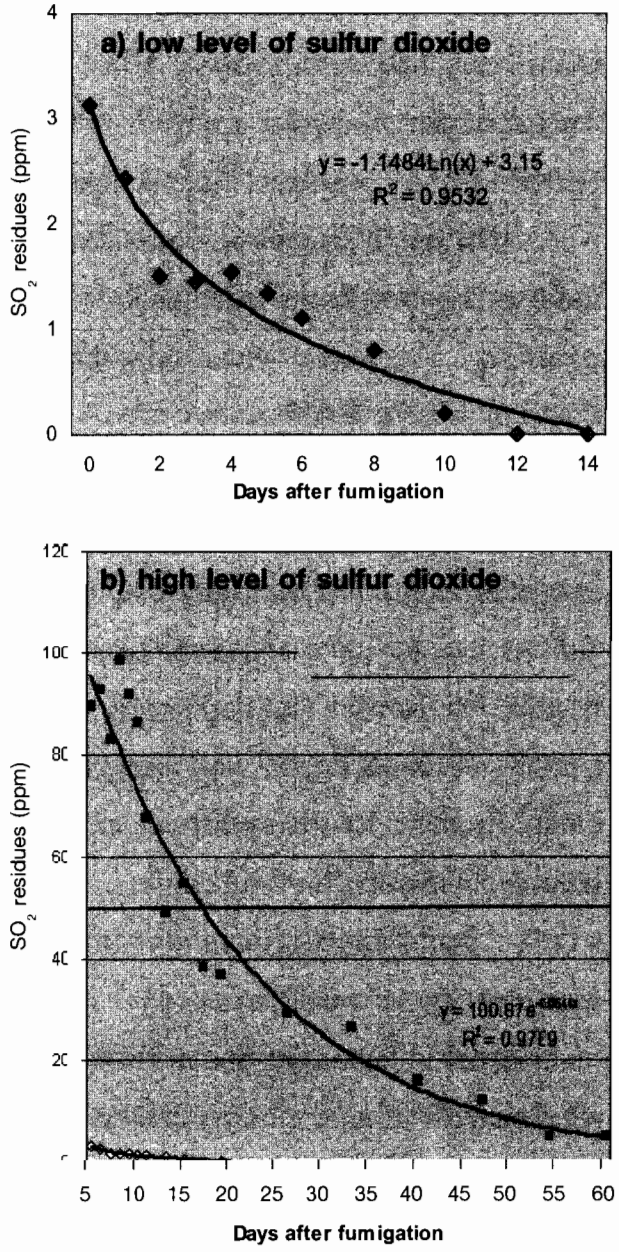

Figure 4. Sulfur dioxide residues in longan pulp after fumigation at low (a) and high (b) level of sulfur dioxide

ตกค้างเมื่อเก็บรักษาได้ 12 วัน โดยพบความสัมพันธ์ของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อจากการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระดับต่ำกับระยะเวลาที่เก็บรักษาในลักษณะ logarithm function ตามสมการ $y = -1.1484 \ln(x) + 3.15$ และค่า $R^2 = 0.95$ โดยที่ y คือ ปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ x คือ ระยะเวลาที่เก็บรักษา ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อดังกล่าวถือได้ว่าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า MRL ของจีน (50 ppm) แต่สำหรับประเทศอื่นๆ เช่น สิงคโปร์ มาเลเซีย แคนาดา เนเธอร์แลนด์และสหราชอาณาจักร ซึ่งมี MRL ที่ 0 ppm จะต้องพิจารณาระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งที่มากกว่าหรือเท่ากับ 12 วัน ผลตกค้างจึงลดลงมาที่ระดับ 0 ppm ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ในเนื้อของการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระดับสูง พบที่ระดับ 90 ppm ในวันที่รม (Figure 4b and Table 6) และมีค่าตกค้างที่ระดับ 83-99 ppm ในช่วง 5 วันแรก และลดลงอย่างรวดเร็วกายหลังจากนั้น จนเหลือน้อยกว่า 50% หรือ 50 ppm ภายใน 12 วัน หลังจากนั้นค่าเฉลี่ยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างต่ำกว่า MRL ของจีนหรือ 50 ppm และลดลงไปเรื่อยๆ จนถึง 5 ppm ในวันที่ 56 โดยพบว่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อจากการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระดับสูง มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เก็บรักษา ในลักษณะ exponential function โดยมีสมการ $y = 100.43 e^{-0.054}x$ และค่า $R^2 = 0.97$ โดยที่ y คือ ปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ x คือ ระยะเวลาที่เก็บรักษา (Figure 4b) เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้าไปประเทศจีนซึ่งเป็นผู้นำเข้ารายใหญ่ ถึงท่าเรือที่ฮ่องกงและขนส่งต่ออีกช่วงไปประเทศจีน ใช้เวลา 7 วันจากเชียงใหม่และลำพูน ส่วนท่าเรือเซียงไฮ้

ใช้เวลา 10 วัน พบว่าการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระดับนี้ซึ่งเพียงพอในการควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือก แต่มีระดับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างเกิน 50 ppm ซึ่งเป็นค่า MRL ที่ทำข้อตกลงไว้ร่วมกัน ผลการทดลองนี้ไม่สอดคล้องกับ Tongdee (1993) ซึ่งเมื่อรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้และมีค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตกค้างในเปลือกระหว่าง 1,200-3,200 ppm มีค่าตกค้างในเนื้อเพียง 1- 10 ppm สูงที่สุดในช่วง วันที่ 1 ที่ทำการเก็บรักษา และลดลงมาจนไม่พบการตกค้างในวันที่ 3 ความแตกต่างดังกล่าวอาจเนื่องมาจากวิธีการรมที่ใช้ scale ของงานทดลองเป็นระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์รมในภาชนะขนาดเล็กและทำการเก็บรักษาในสภาพที่มีประชากรของลำไยที่ถูกรมน้อย ทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มากเกินจุดสมดุลของเปลือก ถูกระบายออกสู่บรรยากาศรอบๆ มากกว่าเคลื่อนเข้าสู่เนื้อใน ปริมาณตกค้างในเนื้อในจึงมีน้อยกว่าในการทำการทดลองใน scale ระดับการค้า ซึ่งการนำลำไยที่รับการรมแล้วมาผึ่งก่อนการเข้าเก็บในตู้คอนเทนเน่อร์ เป็นไปในลักษณะ ใช้พัดลมเป่านอกห้องรม โดยลำไยอยู่ในตะกร้าซึ่งเรียงบนแท่นไม้ 33 ตะกร้า/แท่นไม้ และมีแท่นไม้วางใกล้ๆกันจำนวนมาก ซึ่งปัญหานี้เกิดขึ้นกับการส่งออกของลำไยในระยะที่ผ่านมา ดังนั้นจึงควรมีศึกษาต่อไป โดยใช้การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอัตราที่ต่ำกว่า 750 ก./ลำไย 1,100 กก. ไปเล็กน้อย ซึ่งอาจจะควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและการเกิดเชื้อราได้ดี และมีปริมาณตกค้างต่ำกว่า MRL ของประเทศจีน หรือการศึกษาปรับระบบการผึ่งลมหลังการรมให้มากกว่านี้ ซึ่งอาจทำให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าในเนื้อได้น้อยลง

ปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อ ระหว่างการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราต่ำและอัตราสูง มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (Table 6) โดยปริมาณตกค้างในการรมอัตราสูงมีมากกว่าตั้งแต่วันแรกที่รม และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในทุกระยะการเก็บรักษา ยกเว้นในวันที่ 28 และ 35 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในเนื้อพบมีความแปรปรวนปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูง ซึ่งสภาพที่เกิดขึ้นได้ในสภาพจริงของการรมลำไยสด แม้ว่าได้คัดเลือกให้ได้ผลที่อยู่ในเกรดเดียวกันในสภาพการค้า ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของรูของผิวเปลือกในแต่ละผล ความหนาบางของผิวเปลือก และ/หรือการเข้าถึงของควันกำมะถันที่ดำเนินการรมในสภาพการค้าอาจไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทั้ง 3 ประการน่าจะมีผลต่อความแปรปรวนที่เกิดขึ้น

2.3 ความแตกต่างระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเปลือกและในเนื้อ

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเปลือกและในเนื้อ มีความแตกต่างกันมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้ง 2 ระดับกำมะถันที่ใช้รม (Tables 5 and 6) โดยพบว่ามีความแตกต่างกันของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเปลือกและในเนื้อระหว่าง 251-2600 และ

Table 6. The average of sulfur dioxide residues in longan pulp after fumigation (ppm)

Sulfur used (g per longan 1,100 kg)	Day(s) after fumigation									
	0	2	4	8	12	14	21	28	42	56
0	0	0								
500	3.13	1.50	1.55	0.80	0	0	0	0	0	0
750	90	83	92	49	38	37	29	26	12	5
t-test	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**

* significant

** highly significant

5-25 เท่าในการรมระดับต่ำ และการรมระดับสูงตามลำดับ กรณีการตกค้างในวันแรกที่เก็บรักษา 785 และ 3.13 ppm หรือ วันที่ 12 ซึ่งพบ 530 และ 0 ppm ในเปลือกและเนื้อตามลำดับ ในการรมกำมะถันระดับต่ำ ส่วนการรมกำมะถันระดับสูง พบการตกค้างในวันแรกที่เก็บรักษา 2,233 และ 90 ppm หรือวันที่ 12 ซึ่งพบ 1,056 และ 38 ppm ในเปลือกและเนื้อตามลำดับ ปรากฏการน์นี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Tongdee (1993) และนิรนาม (2541) เนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนาระดับหนึ่ง จนทำให้การซึมผ่านของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าไปถึงเนื้อได้น้อย รวมทั้งลักษณะการเชื่อมถึงกันของเปลือกและเนื้อมีไม่มาก สังเกตุจากการแยกเปลือกและเนื้อได้ทำได้โดยไม่ต้องใช้มีด นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานทดลองของ McBean และคณะ (1995) ที่พบการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้อบแห้งที่มีเปลือกน้อยกว่าที่ไม่มีเปลือก

3. การเกิดเชื้อรา

ลำไยที่ไม่ได้รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เริ่มพบเส้นใยสีขาวของเชื้อรา เมื่อเก็บรักษาได้ 30 วัน (Figures 1-4) และเห็นเส้นใยสีขาวของเชื้อราจำนวนมากบนผิวเปลือกและก้านลำไย เมื่อเก็บรักษาได้ 40 วัน (Figure 2) ส่วนลำไยที่รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราต่ำ พบเชื้อราเพียงเล็กน้อยต่ำกว่า 1% บนผิวเปลือกในส่วนที่เปลี่ยนเป็นวงสีน้ำตาลพบเมื่อเก็บรักษาได้ 50 วัน สำหรับลำไยที่รมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราสูง ไม่พบเชื้อราตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา การรับเชื้อสาเหตุในลำไยสดสามารถเกิดได้โดยทั่วไป การเจริญเติบโตของเชื้อราในระยะแรกมักเกิดขึ้นบนผิวเปลือก และก้านในการเก็บรักษาลำไยสด เนื่องจากลำไยสดต้องได้รับการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำของเปลือก สภาพดังกล่าวเอื้ออำนวยต่อการเกิดเชื้อราในระดับหนึ่ง จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดในระดับสูง ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นแนวทางแก้ไขการเกิดเชื้อราในการเก็บรักษาลำไยสดในสภาพการค้าได้ดี การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เพียงพอทำให้ควบคุมการเกิดเชื้อราในลำไยสดได้ สอดคล้องกับงาน

ทดลองของ Tongdee (1993) ที่ไม่พบเชื้อราในลำไยและลิ้นจี่ที่ทำการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เพียงพอ แต่พบในเฉพาะระดับที่ปรากฏ SO_2 injury และงานทดลองของอรรณพและคณะ (2531) และ Salunkhe และ Kadam (1995) ที่ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการระเหยอย่างช้าๆ จากโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่บรรจุในซอง ควบคุมเชื้อราในลำไยได้ดี แต่มีปัญหาด้านกลิ่นและรสชาติของเนื้อลำไย

สรุปผลการทดลอง

การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลให้ผิวเปลือกลำไยสดมีสีเหลืองนวลมากขึ้นตามอัตราการรมที่มากขึ้น และทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลช้าลงหรือน้อยลง ปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผันแปรตามอัตราซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการรม และมีปริมาณตกค้างลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณตกค้างที่เปลือกพบมากกว่าในเนื้อมากถึง 251-2,600 และ 5-25 เท่าในการรมอัตราต่ำ และการรมอัตราสูงตามลำดับ การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราสูง 750 ก./ลำไย 1,100 กก. ควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและการเกิดเชื้อราได้ดี ขณะที่การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์อัตราต่ำ 500 ก./ลำไย 1,100 กก. มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เพียงพอที่จะควบคุมได้ แต่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อลำไยในการรมอัตราสูง ยังมีการตกค้างสูงเกินไปเล็กน้อย

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณโรงรมและผู้ส่งออกใน จ. เชียงใหม่และลำพูน ที่ให้ข้อมูลขั้นตอนการรมและการส่งออกลำไย เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ กลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ในการช่วยดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในลำไย คุณพงศ์พันธุ์ จึงอยู่สุข อดีตหัวหน้ากลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต และคุณสิรี สุวรรณเขตนิคม นักวิทยาศาสตร์ 8ว. ที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจในการทดลอง ตลอดจนครอบครัวของผู้เขียน และผู้อื่นที่มิได้กล่าวในที่นี้ ซึ่งให้การสนับสนุนและกำลังใจในการทดลองและการจัดทำรายงาน

เอกสารอ้างอิง

ชิงชิง ทองดี. 2520. การศึกษาพฤติกรรมของผลลำไยระหว่างการเก็บรักษา. *ว. กสิกร* 50(2): 95-97.

ชิงชิง ทองดี. 2535. *การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว และการรมควันก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดเพื่อการส่งออก.* เอกสารประกอบการประชุมเรื่อง การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับลำไยหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออก วันที่ 18 มีนาคม 2535 โรงแรมรามาการ์เด้นส์ กรุงเทพฯ. 14 หน้า.

ชิงชิง ทองดี ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์ สมศักดิ์ ชัยมงคล อนวัช สุวรรณกุ สดศรี เนียมเปรม ยุวดี รัตนไชย สัมพันธ์ ศรีสุริยวงษ์ จิตตา สาตร์เพชร์ มานัส แจ่มจำรูญ และน้ำเพชร ชัยวิภา. 2540. *เทคโนโลยีหลัง*

การเก็บเกี่ยว: การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สำหรับลำไยสดเพื่อการส่งออก. รายงานการวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 201 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2535. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวลำไย. หน้า 1-4. *ใน: เอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวลำไยเพื่อการส่งออก* วันที่ 26-27 มิถุนายน 2535 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.

นิรนาม 2541. *การรมลำไยสดด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้ได้คุณภาพเพื่อการส่งออก.* คู่มือการอบรมการรมควัน-อบแห้งลำไยพร้อมกรรมวิธีการผลิตและแบบแปลน. 70 หน้า.

นิรนาม. 2545ก. *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง ปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดที่ส่งออกไปต่างประเทศ.* กรมวิชาการเกษตร. 2 หน้า.

นิรนาม. 2545ข. *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดที่ส่งออกไปยังประเทศสิงคโปร์ ไต้หวัน และมาเลเซีย.* กรมวิชาการเกษตร. 2 หน้า.

นิรนาม. 2550. *สรุปข้อกำหนดการส่งออกผลไม้ไปสาธารณรัฐประชาชนจีน.* กรมวิชาการเกษตร. ออนไลน์ แหล่งที่มา http://www.doa.go.th, 1/2/ 2550.

พรวิสาข์ บุญยงค์. 2544. *การควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยวด้วยสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และน้ำมันหอมระเหยจากมัสตาร์ด.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 143 หน้า.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. *การประเมินทางสัมผัส (sensory evaluation).* คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 411 หน้า.

รัตนา อัตตปัญโญ. 2535. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการควบคุมการใช้กับลำไยสด. หน้า 20-28 . *ใน: เอกสารประกอบการฝึกอบรมเรื่องเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวลำไยเพื่อการส่งออก,* วันที่ 26-27 มิถุนายน 2535 อาคารเรียนรวมชั้น 3 คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมคิด ใจตรง นิธิยา รัตนาปนนท์ J.A. Manthey, E.A. Baldwin และดนัย บุณยเกียรติ. 2549. จุลกายวิภาคและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเปลือกผลลำไยปกติและที่เกิดอาการสะท้านหนาว. *ว.วิทยาศาสตร์เกษตร* 37 (5):79-85.

สิริคียา เรืองยุทธิการณ์. 2545. *ผลของโอโซนต่อการเก็บรักษาลำไย.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.176 หน้า.

สรวงสุดา ไชยทิพย์. 2540. *ผลของอุณหภูมิและสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพร้อมบริโภค.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 135 หน้า.

อรรณพ วราอัศวปติ สมโภชน์ โกมลมณี และดาวเรือง ศรีกอก. 2531. ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อคุณภาพลำไยที่เก็บรักษาในห้องเย็น. หน้า 536-537. *ใน: การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง*

การเก็บเกี่ยว: การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สำหรับลำไยสดเพื่อการส่งออก. รายงานการวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 201 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2535. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวลำไย. หน้า 1-4. *ใน: เอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวลำไยเพื่อการส่งออก* วันที่ 26-27 มิถุนายน 2535 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.

นิรนาม 2541. *การรมลำไยสดด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้ได้คุณภาพเพื่อการส่งออก.* คู่มือการอบรมการรมควัน-อบแห้งลำไยพร้อมกรรมวิธีการผลิตและแบบแปลน. 70 หน้า.

นิรนาม. 2545ก. *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง ปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดที่ส่งออกไปต่างประเทศ.* กรมวิชาการเกษตร. 2 หน้า.

นิรนาม. 2545ข. *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยสดที่ส่งออกไปยังประเทศสิงคโปร์ ไต้หวัน และมาเลเซีย.* กรมวิชาการเกษตร. 2 หน้า.

นิรนาม. 2550. *สรุปข้อกำหนดการส่งออกผลไม้ไปสาธารณรัฐประชาชนจีน.* กรมวิชาการเกษตร. ออนไลน์ แหล่งที่มา http://www.doa.go.th, 1/2/ 2550.

พรวิสาข์ บุญยงค์. 2544. *การควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยวด้วยสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และน้ำมันหอมระเหยจากมัสตาร์ด.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 143 หน้า.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. *การประเมินทางสัมผัส (sensory evaluation).* คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 411 หน้า.

รัตนา อัตตปัญโญ. 2535. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการควบคุมการใช้กับลำไยสด. หน้า 20-28 . *ใน: เอกสารประกอบการฝึกอบรมเรื่องเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวลำไยเพื่อการส่งออก,* วันที่ 26-27 มิถุนายน 2535 อาคารเรียนรวมชั้น 3 คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมคิด ใจตรง นิธิยา รัตนาปนนท์ J.A. Manthey, E.A. Baldwin และดนัย บุณยเกียรติ. 2549. จุลกายวิภาคและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเปลือกผลลำไยปกติและที่เกิดอาการสะท้านหนาว. *ว.วิทยาศาสตร์เกษตร* 37 (5):79-85.

สิริคียา เรืองยุทธิการณ์. 2545. *ผลของโอโซนต่อการเก็บรักษาลำไย.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.176 หน้า.

สรวงสุดา ไชยทิพย์. 2540. *ผลของอุณหภูมิและสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพร้อมบริโภค.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 135 หน้า.

อรรณพ วราอัศวปติ สมโภชน์ โกมลมณี และดาวเรือง ศรีกอก. 2531. ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อคุณภาพลำไยที่เก็บรักษาในห้องเย็น. หน้า 536-537. *ใน: การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง*