

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการปรับปรุงกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสดโดยเป็นการออกแบบห้องรม SO_2 ที่มีระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับทั้งแนวตั้งและแนวนอนเข้ามาช่วยในกระบวนการรม SO_2 ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง (vertical forced-air) มีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสด เนื่องจากสามารถบังคับอากาศหรือแก๊ส SO_2 เข้าไปสัมผัสกับผลลำไยที่บรรจุในตะกร้าทั้งทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและทรงสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งเป็นตะกร้าที่ใช้ในทางการค้ามากกว่าระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวนอน (horizontal forced-air) ที่สามารถบังคับอากาศหรือแก๊ส SO_2 ได้เฉพาะผลลำไยซึ่งบรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่านั้น และพัฒนาคูอากาศสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งที่จะนำมาใช้ในกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสดต้องมีอัตราการไหลอากาศไม่ต่ำกว่า 0.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จึงจะทำให้มีความเร็วการไหลอากาศภายในตะกร้าบรรจุผลลำไยที่เหมาะสมและช่วยให้ผลลำไยมีปริมาณ SO_2 ตกค้างที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน

เมื่อทำการศึกษาถึงกระบวนการรม SO_2 ทั้งที่ได้จากการเผาฟางกำมะถันและจากถังอัดความดันโดยตรงกับผลลำไยสดที่บรรจุในตะกร้าทรงสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งเป็นตะกร้าที่ใช้ในทางการค้าด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้งพบว่า การใช้แก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงใช้เวลาสำหรับขั้นตอนการปล่อยแก๊ส SO_2 เข้าสู่ห้องรมน้อยกว่าการเผาฟางกำมะถันประมาณ 3-4 เท่า แต่การใช้แก๊ส SO_2 ทั้งสองรูปแบบมีผลต่อปริมาณ SO_2 ตกค้างและคุณภาพของผลลำไยสดใกล้เคียงกัน ($p \geq 0.05$) โดยระดับความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 หลังสิ้นสุดการรม 4,000 ppm ซึ่งต่ำกว่าระดับความเข้มข้นตามคำแนะนำของสถาบันอาหารหรือตามที่คุณประกอบการใช้กันโดยทั่วไปคือ 15,000-20,000 ppm ประมาณ 4-5 เท่า มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสด โดยสามารถป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไยได้ไม่ต่ำกว่า 20 วัน ที่อุณหภูมิ 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่สำคัญคือ ช่วยให้ผลลำไยมีปริมาณ SO_2 ตกค้าง โดยเฉพาะในเนื้อผลหลังจากรมทันทีไม่เกิน 8 ppm ต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนกำหนดไว้คือ 50 ppm ถึงร้อยละ 80 และจากการศึกษาร่วมกับสถานประกอบการถึงความเป็นไปได้ในการนำเอาแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมาใช้ปฏิบัติในเชิงการค้ากับผลลำไยสด โดยการส่งออกผลลำไยสดซึ่งผ่านกระบวนการรม SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงตามกรรมวิธีที่เหมาะสมดังกล่าวไปยังประเทศฮ่องกงและประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนแล้วพบว่า มีความเป็นไปได้สูงที่จะนำเอาแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงมาใช้งานในเชิงการค้า เนื่องจากช่วยให้ผลลำไยมีลักษณะปรากฏ โดยเฉพาะความสดของผิวเปลือกดีกว่าผลลำไยที่ผ่านกระบวนการรม SO_2 จากการเผาฟางกำมะถันของสถานประกอบการ สาเหตุนี้นี้อาจเป็นไปได้ว่า การเผาฟางกำมะถันเพื่อให้ได้แก๊ส SO_2 ออกมา

ต้องใช้ความร้อนสูงถึง 250 °ซ ดังนั้นจึงทำให้ภายในห้องรม SO₂ มีความร้อนเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อความสดของผิวเปลือกผลลำไยดังกล่าว

สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการรม SO₂ ทั้งที่ได้จากถังอัดความดันโดยตรง และจากการเผาพวงกำมะถันกับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งพบว่า การใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยประมาณ 0.50 บาทต่อกิโลกรัมผลลำไยสด ส่วนการเผาพวงกำมะถันมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อหน่วยประมาณ 0.10 บาทต่อกิโลกรัมผลลำไยสด หรือถูกกว่าการใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรงประมาณ 5 เท่า และเมื่อนำเอาค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างห้องรม SO₂ ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวดิ่งพร้อมชุดอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งมีกำลังการผลิต 10.6 ตันต่อวัน มารับจ้างรม SO₂ กับผลลำไยสดในราคา 1 บาทต่อกิโลกรัมผลลำไยสด พบว่า การใช้แก๊ส SO₂ จากถังอัดความดันโดยตรง มีจุดคุ้มทุนที่ 1,075 ตันต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 3.4 เดือน ส่วนการใช้แก๊ส SO₂ จากการเผาพวงกำมะถัน มีจุดคุ้มทุนที่ 617 ตันต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 2 เดือน

Abstract

The objective of this research was to improve the SO₂ fumigation process on fresh longan by applying the forced-air circulation technique in semi-industrial scale. The SO₂ fumigation chamber was designed to facilitate both vertical and horizontal forced-air circulation experiments. It is found that the vertical forced-air circulation was suitable for both rectangular (ideal experimental purpose) and trapezoidal baskets (commonly used in commercial practice). The vertical forced-air circulation allowed SO₂ gas to contact with pre-packed longan inside both types of baskets better than the horizontal forced-air circulation which worked well only for the rectangular basket. The basket flow-thru for vertical-forced air circulation must be supplied at least 0.6 m³/sec to ensure a uniform air flow throughout the basket and SO₂ residue on the longan.

The study of SO₂ fumigation process on the longan pre-packed in trapezoidal basket using vertical forced-air technique indicates that SO₂ gas from direct gas tank required less process time than SO₂ fumigation from incinerating sulfur powder 3-4 times. However, SO₂ residue and quality of fumigated longan were not significant different ($p \geq 0.05$). The final SO₂ concentration of 4,000 ppm was effective to extend shelf life of fresh longan longer than 20 days at 2 °C / 95%RH. This SO₂ concentration was 4-5 times lower than the recommended dose by National Food Institute or the regular usage by the processor of 15,000 and 20,000 ppm. The SO₂ residue in the pulp on our fumigation experiment was 8 ppm, less than the maximum residue level (MRL) exported to China of 50 ppm by 80%. Preliminary study of commercial practice on direct-gaseous with vertical forced-air fumigated longan shipped to Hong Kong and China showed satisfaction to longan exporter where fumigated longan appeared more peel freshness than the longan fumigated by regular commercial technique. It was possible that the high process temperature of SO₂ fumigation by sulfur powder incineration which required 250 °C in the burning process causing high temperature in fumigation room deteriorate the quality of longan fruit.

For economic analysis of SO₂ fumigation process on longan with forced-air technique, it was found that directly SO₂ gas yielded the operating expense about 0.5 baht/kg fresh longan. Meanwhile the fumigation expense from sulfur incineration was about 0.10 baht/kg fresh longan, which was lower than those from directly SO₂ gas by 5 times. With the estimated investment of research-graded fumigation chamber with capacity of 10.6 tons/day, applying on fumigation service price of 1 baht/kg fresh longan using directly SO₂ gas, the breakeven point and pay back period were 1,075 tons/year and 3.4 months whereas the breakeven point and pay back period of sulfur incineration were 617 tons/year and 2 months.

ชื่อโครงการ: การออกแบบห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ (forced-air) ในระดับอุตสาหกรรม

Chamber design for sulfur dioxide (SO_2) fumigation on fresh longan with forced-air techniques of industrial scale

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ต้องการวิจัย

ลำไยเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย สามารถส่งออกและนำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละหลายล้านบาท ซึ่งในปี พ.ศ.2551 และ พ.ศ.2552 ที่ผ่านมามีปริมาณการส่งออกผลลำไยจำนวน 168,630 และ 203,274 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,630 และ 3,182 ล้านบาท ตามลำดับ โดยมีสาธารณรัฐประชาชนจีนเป็นตลาดส่งออกที่สำคัญ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่จำเป็นและมีความสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับผลลำไยสดคือ การรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แต่ในปัจจุบันการรมผลลำไยสดด้วย SO_2 มักมีปัญหาเกี่ยวกับการมี SO_2 ตกค้างในผลลำไยสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทำให้ผลลำไยจากประเทศไทยถูกห้ามนำเข้าจากประเทศคู่ค้ามากขึ้น ปัญหาการตกค้างของ SO_2 ในผลลำไยที่สูงกว่าเกณฑ์นั้นอาจเนื่องมาจากผู้ประกอบการขาดความเข้าใจที่ถูกต้องในเทคโนโลยีดังกล่าว หรือส่วนหนึ่งอาจเกิดจากตัวของเทคโนโลยีเอง ทั้งนี้เพราะการรม SO_2 ในปัจจุบันเป็นการเผาไหม้ผงกำมะถันเพื่อให้ได้แก๊ส SO_2 ออกมา ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่มักมีข้อเสียคือ เมื่อมีการเผาผงกำมะถันในปริมาณมากกว่า 1 กิโลกรัมภายในระยะเวลาที่จำกัด ผงกำมะถันมักจะเผาไหม้ไม่หมด ทำให้ความเข้มข้นของ SO_2 ที่ได้ไม่ค่อยแม่นยำเท่าที่ควร และที่สำคัญคือ ยังต้องใช้ความเข้มข้นของ SO_2 หลังจากลิ้นสุดการรมควันสูงถึง 15,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm)

จากการทดลองของจักรพงษ์ และคณะ (2550 ก) ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เพื่อศึกษาถึงแนวทางในการปรับปรุงรูปแบบการใช้ SO_2 กับผลลำไยสด โดยนำเอาระบบการหมุนเวียนอากาศแบบบังคับเข้ามาช่วยในกระบวนการรม SO_2 จากการเผาผงกำมะถัน และจากถังอัดความดันโดยตรง (directly SO_2 gas) กับผลลำไยสดทั้งในลักษณะที่เป็นงานเชิงนำร่อง (pilot scale) และกึ่งการค้า (semi-commercial scale) พบว่า สามารถลดระดับความเข้มข้นของ SO_2 หลังสิ้นสุดการรมให้เหลือเพียง 2,000 ppm หรือประมาณ 6-10 เท่า เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นของ SO_2 ตามคำแนะนำของชิงชิง (2535) และ สถาบันอาหาร (2541) หรือตามที่คุณประกอบการใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ 15,000-20,000 ppm โดยยังคงป้องกันการเกิดโรคและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลำไยได้หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 5 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่สำคัญคือ ไม่พบปริมาณ SO_2 ตกค้างในส่วนเนื้อผล

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการนำเอาระบบการหมุนเวียนอากาศแบบบังคับเข้ามาใช้ในกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสดสามารถช่วยลดระดับความเข้มข้นของ SO_2 หลังสิ้นสุดการรมและลดปัญหาปริมาณ SO_2 ตกค้างในผลลำไยได้ แต่การที่จะนำวิธีการดังกล่าวมาใช้ในทางการค้านั้นยังมีสิ่งที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติมอีกมาก ทั้งวิธีการที่จะทำให้ระบบการหมุนเวียนอากาศแบบบังคับมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการออกแบบและสร้างห้องรม SO_2 ที่มีมาตรฐานและนำไปใช้งานได้จริงในเชิงการค้า

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงต้องการขยายขนาดการทดลองในเชิงการค้าให้มาอยู่ในระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางหรือเชิงการค้ามากขึ้น โดยการออกแบบและสร้างห้องรม SO_2 ทั้งที่ได้จากการเผาผลาญถ่านและจากถังอัดความดัน โดยตรงกับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับตามหลักการทางวิศวกรรม ตั้งแต่ชนิดหรือคุณสมบัติของพัดลมดูดอากาศที่เหมาะสมสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแนวตั้ง (vertical forced-air) และแนวนอน (horizontal forced-air) เพื่อให้เหมาะกับชนิดหรือลักษณะช่องระบายอากาศของเตาอบบรรจุผลลำไยที่ใช้ในทางการค้าโดยทั่วไป รวมถึงการศึกษาทิศทางการไหลและการกระจายของอากาศภายในห้องรม เพื่อช่วยบังคับ SO_2 ให้สัมผัสกับผลลำไยในแต่ละเตาได้อย่างสม่ำเสมอมากขึ้น นอกจากนี้ยังต้องการออกแบบอุปกรณ์สำหรับนำแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรงเข้าสู่ห้องรม เพื่อช่วยลดเวลาในการปล่อยแก๊ส SO_2 การศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสดด้วยห้องและระบบที่ออกแบบขึ้นมา รวมถึงการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์โดยเปรียบเทียบกับกระบวนการปฏิบัติเชิงการค้าของผู้ประกอบการในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์

เพื่อต้องการออกแบบและสร้างห้องรม SO_2 กับผลลำไยสดที่มีระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับทั้งแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งเหมาะสมและสามารถนำมาใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมขนาดกลางหรือเชิงการค้าได้