

ค่าตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊ซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงที่ใช้ในการยืดอายุผลลำไยสด  
Response of high concentration SO<sub>2</sub> measuring device for shelf life extension of fresh longan

นราธิป สุจินดา<sup>1</sup> จาตุพงษ์ วาฤทธิ์<sup>1</sup> จักรพงษ์ พิมพ์พิมล<sup>2</sup> ชนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร<sup>1</sup> และ สมเกียรติ จตุรงค์กล้าเลิศ<sup>1</sup>  
Narathip Sujinda<sup>1</sup>, Jatuphong Varith<sup>1</sup>, Jakraphong Phimpimol<sup>2</sup>, Chanawat Nitawijit<sup>1</sup> and Somkiat Jaturonglamler<sup>1</sup>

#### Abstract

The objective of this research was to study the response of high-concentration sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) measuring device at a range of 2,000 to 20,000 ppm. The response was studied by sampling SO<sub>2</sub> from 99.99% SO<sub>2</sub> tank into a buffer tank to adjust the concentration in a range of 2,000 to 20,000 ppm. The SO<sub>2</sub> from the buffer tank was further sampled into a 200 ml cylinder equipped with a commercial SO<sub>2</sub> sensor. The output voltage from SO<sub>2</sub> sensor was then calibrated with SO<sub>2</sub> concentration by using titration method. It was found out that the sensor increased linearly when concentration increased from 2,000 to 20,000 ppm (R<sup>2</sup> = 0.99) with standard deviation ±121 ppm or 0.67% from a full range. The result of field test in a chamber for SO<sub>2</sub> fumigation on fresh longan with forced-air techniques used in industrial by sampling SO<sub>2</sub> from the chamber with 1 sampling/10 min of 60 minutes fumigation time found that SO<sub>2</sub> concentration from the device was not significantly different (p>0.05) with SO<sub>2</sub> concentration from using titration method. This research can be further applied as a mobile SO<sub>2</sub> measuring device used for monitor the SO<sub>2</sub> fumigation process for fresh longan, replacing the SO<sub>2</sub> titration and the gas detector tube methods.

**Keywords:** Sulfur dioxide fumigation, sulfur dioxide sensor, fresh longan

#### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊ซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ความเข้มข้นสูง ในช่วง 2,000 ถึง 20,000 ppm โดยการสุ่มตัวอย่าง SO<sub>2</sub> ความเข้มข้น 99.99% จากถังบรรจุ เข้าไปสู่ถังผสมเพื่อทำการปรับความเข้มข้นให้อยู่ในช่วง 2,000 ถึง 20,000 ppm จากนั้นจึงสุ่มตัวอย่าง SO<sub>2</sub> จากถังผสม ปล่อยให้เข้าสู่ทรงกระบอกปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่ติดตั้งเซ็นเซอร์วัด SO<sub>2</sub> อยู่ในถัง โดยนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการตอบสนองของเซ็นเซอร์ตรวจวัดเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของ SO<sub>2</sub> ที่ได้จากวิธีการไทเทรต พบว่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์ตรวจวัดมีลักษณะเป็นแบบเส้นตรง ในช่วงความเข้มข้น 2,000 ถึง 20,000 ppm (R<sup>2</sup> = 0.99) ความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัด ±121 ppm หรือ ร้อยละ 0.67 ของช่วงการวัด ในการทดสอบกับห้องรม SO<sub>2</sub> ผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับระดับอุตสาหกรรม ทำการสุ่มตัวอย่าง SO<sub>2</sub> ทุก 10 นาที ตลอดช่วงเวลาในการรม 60 นาที เปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรต พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 งานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาระบบตรวจวัด SO<sub>2</sub> แบบพกพา ในกระบวนการรม SO<sub>2</sub> กับผลลำไยสด เพื่อให้ทดแทนวิธีการไทเทรต SO<sub>2</sub> และการใช้หลอดตรวจวัดได้

**คำสำคัญ:** การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เซ็นเซอร์วัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ลำไยสด

#### คำนำ

ลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน มีแนวโน้มในการขยายพื้นที่ปลูกออกไปในอีกหลายจังหวัดทั่วประเทศไทย มูลค่าการส่งออกลำไยสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะในช่วงเดือนกรกฎาคมและเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีผลผลิตลำไยสดออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมากที่สุด โดยมีการส่งออกในปี พ.ศ. 2552 ถึง 240,032 ตัน คิดเป็นมูลค่า 3,646 ล้านบาท ซึ่งมากกว่าปี พ.ศ. 2551 ถึง 70,000 ตัน หรือเป็นมูลค่า 1,000 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2553 ก็มีแนวโน้มที่จะมีการส่งออกเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) โดยการส่งออกลำไยสด มีกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญ คือ การรมผลลำไยสดด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO<sub>2</sub>) ซึ่ง SO<sub>2</sub> มีส่วนช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษา โดย Han et

<sup>1</sup> สาขาวิศวกรรมการแปรรูปผลผลิตเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

<sup>2</sup> Agro-Process Engineering Program, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiangmai, Thailand, 50290

<sup>3</sup> สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

<sup>4</sup> Postharvest Technology Program, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiangmai, Thailand, 50290

al.(2001) พบว่า SO<sub>2</sub> ช่วยลดการเปลี่ยนสีของเปลือกได้ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยสดได้นานขึ้นเมื่อเทียบกับผลลำไยที่ไม่ผ่านการรม SO<sub>2</sub> โดยช่วงของความเข้มข้นในการรมคือ 2,000 ถึง 20,000 ppm การตรวจวัด SO<sub>2</sub> นิยมใช้สองวิธีคือ การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 3% เป็นตัวดักจับ SO<sub>2</sub> และการใช้หลอดตรวจก๊าซ หรือหลอดชี้บอก (Gas Detector Tube) (มานัส, 2545) ซึ่งวิธีการแรก มีความถูกต้องสูง แต่มีขั้นตอนยุ่งยาก ส่วนวิธีที่สอง สะดวกรวดเร็ว แต่ค่าที่ได้เป็นการประมาณ เครื่องมือมีอายุการใช้งานสั้น ทำให้เป็นการสิ้นเปลือง นอกจากนี้เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด SO<sub>2</sub> ในช่วงความเข้มข้นสูงถึง 20,000 ppm ในรูปแบบอื่น มีราคาสูงไม่ต่ำกว่า 100,000 บาท และมีระดับการวัดสูงสุดไม่เกิน 5,000 ppm

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจวัด SO<sub>2</sub> ความเข้มข้นสูงเป็นแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับความเข้มข้น SO<sub>2</sub> เพื่อนำไปสู่การพัฒนาต่อยอดระบบตรวจวัด SO<sub>2</sub> แบบพกพา ทดแทนวิธีการไทเทรต SO<sub>2</sub> และการใช้หลอดตรวจวัด ในกระบวนการรม SO<sub>2</sub> กับผลลำไยสดในช่วงความเข้มข้น 2,000 ถึง 20,000 ppm

**อุปกรณ์และวิธีการ**

ในการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัด SO<sub>2</sub> ในห้องปฏิบัติการ ดำเนินการโดยสร้างถังพักปรับความดัน (Buffer tank) ทำจาก PVC มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีฝาปิดสนิททั้งสองด้าน ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร มีพัดลมสำหรับกวนอากาศอยู่ภายใน ทำการสูมตัวอย่าง SO<sub>2</sub> ความเข้มข้น 99.99% หรือ 999,900 ppm จากถังอัดความดันผ่านท่อนำแก๊สปล่อยทิ้งโดยกระบอกฉีดยา (ตำแหน่งที่ 1 ใน Figure 1) ปล่อยเข้าสู่ถังผสมเพื่อทำการปรับความเข้มข้นให้อยู่ในช่วง 2,000 ถึง 20,000 ppm (ตำแหน่งที่ 2 ใน Figure 1) จากนั้นจึงสูมตัวอย่าง SO<sub>2</sub> เพื่อทำการไทเทรตหาความเข้มข้นของ SO<sub>2</sub> (ตำแหน่งที่ 3 ใน Figure 1) และสูมตัวอย่าง SO<sub>2</sub> ปริมาตร 2 ml (ตำแหน่งที่ 4 ใน Figure 1) ปล่อยเข้าสู่หน่วยตรวจวัดทรงกระบอกปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่ติดตั้งเซนเซอร์วัด SO<sub>2</sub> และพัดลมผสมอากาศอยู่ภายใน (ตำแหน่งที่ 5 ใน Figure 1) โดยนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการตอบสนองของเซนเซอร์เชื่อมต่อและบันทึกข้อมูลโดย Data logger (รุ่น 34970A, Agilent Technology, Inc, USA) (ตำแหน่งที่ 6 ใน Figure 1) เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของ SO<sub>2</sub> ที่ได้จากวิธีการไทเทรต นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์หาสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้น จากนั้นนำไปทดสอบภาคสนามกับห้องรม SO<sub>2</sub> กับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับระดับอุตสาหกรรม (จักรพงษ์ และคณะ, 2550) (Figure 2) ที่อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากสมการกับการไทเทรต

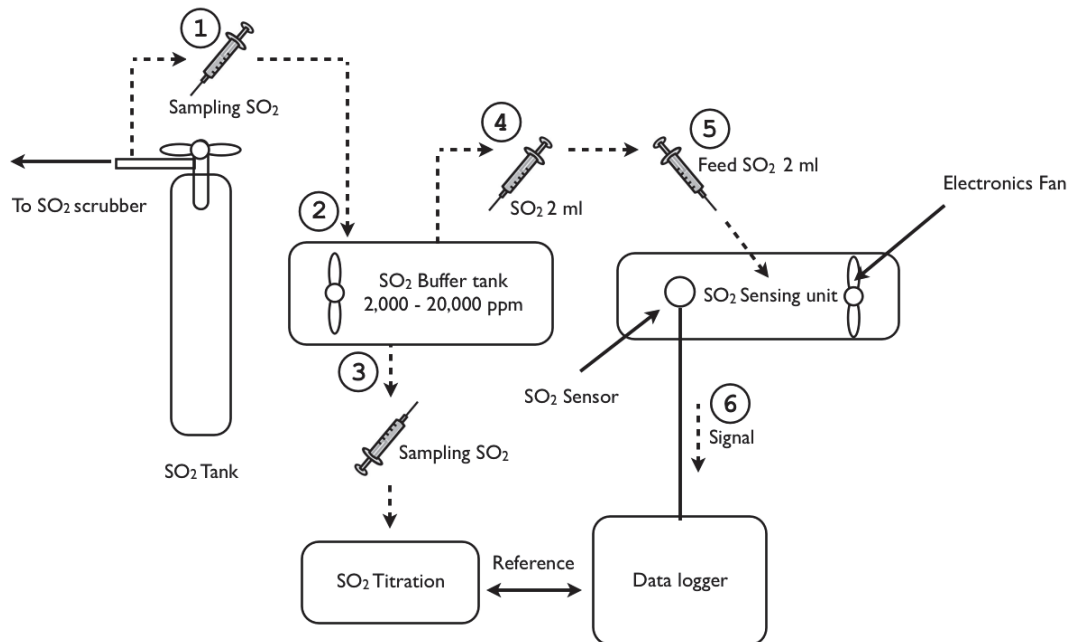


Figure 1 Flow diagram of SO<sub>2</sub> calibration technique used in this study, Numbers indicate position of SO<sub>2</sub> Sampling.



Figure 2 Field testing of SO<sub>2</sub> measuring device in 3x3x2.5 m<sup>3</sup> fumigation room.

**ผลการวิจัย**

ผลการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อทำการปรับความเข้มข้น SO<sub>2</sub> ให้อยู่ในช่วง 2,000 ถึง 20,000 ppm จากนั้นทำการสูบลำ SO<sub>2</sub> โดยใช้กระบอกฉีดยาสู่มา 2 มิลลิลิตร ปล่อยให้เข้าสู่หน่วยตรวจวัด SO<sub>2</sub> ที่สร้างขึ้นโดยเชื่อมต่อกับ Data logger Agilent รุ่น 34970A เพื่อเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้าที่ตอบสนองจากหน่วยตรวจวัด SO<sub>2</sub> โดยเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที พบว่ามีการตอบสนองหลังจากมีการปล่อย SO<sub>2</sub> เข้าสู่ระบบ ประมาณ 25 วินาที จากนั้นค่าที่วัดได้จะเริ่มคงที่ประมาณ 10 วินาที (Figure 3) โดยสามารถตอบสนองได้ในช่วงความเข้มข้น 2,000 ถึง 20,000 ppm เมื่อปรับเทียบกับวิธีการไทเทรต (Figure 4) และจากการวิเคราะห์ค่าการตอบสนองได้สมการที่ใช้ในการคำนวณดังสมการที่ 1

$$\text{ค่าความเข้มข้น SO}_2 = (13,465 \times \text{ค่าแรงดันไฟฟ้าตอบสนอง}) - 52,204 \quad ; R^2_{\text{adj}} = 0.99 \quad (1)$$

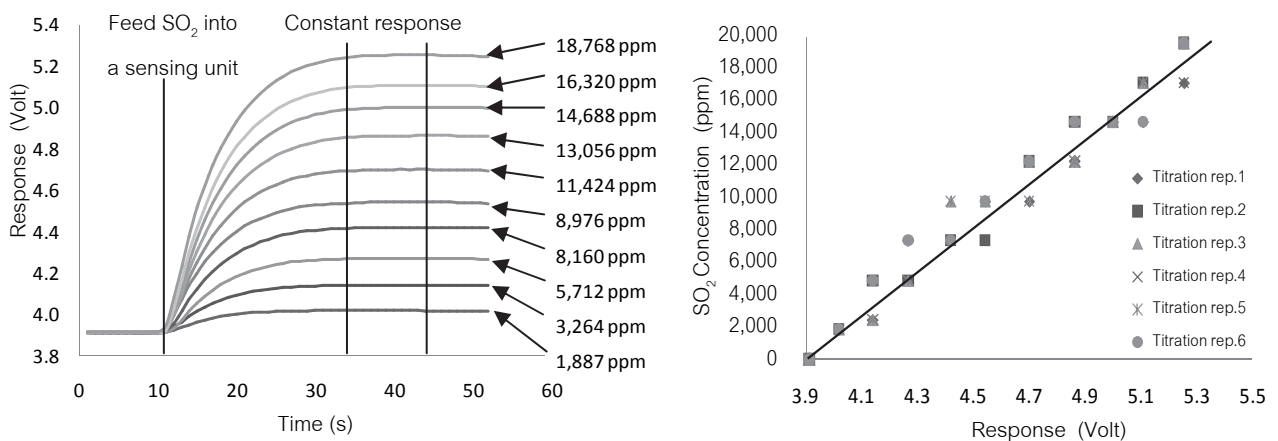


Figure 3 Time interval of SO<sub>2</sub> measuring device responded. Figure 4 Response of SO<sub>2</sub> measuring device calibrated with SO<sub>2</sub> concentration by titration method.

สำหรับผลการทดสอบค่าตอบสนองในภาคสนามของอุปกรณ์ตรวจวัด SO<sub>2</sub> กับห้องรม SO<sub>2</sub> กับผลลำไยสดระดับอุตสาหกรรม ในระหว่างการรม SO<sub>2</sub> กับลำไยสดประมาณ 4,500 กิโลกรัม ใช้ SO<sub>2</sub> จากถังอัดความดัน โดยสูบลำตัวอย่าง SO<sub>2</sub> ด้วยกระบอกฉีดยาจากห้องรม 2 มิลลิลิตร ทุกๆ 10 นาที ตลอดระยะเวลาในการรม 60 นาที และปล่อยให้ SO<sub>2</sub> เข้าสู่หน่วยตรวจวัด SO<sub>2</sub> เชื่อมต่อกับ Data logger Agilent รุ่น 34970A เพื่อบันทึกข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตอบสนองและคำนวณเป็นค่าความเข้มข้น โดยใช้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการตอบสนองในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรต (Table 1) ทำการทดสอบจำนวน 2 ครั้ง พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

Table 1 A comparison between SO<sub>2</sub> concentration from calculated by using equation(1) and the titration method.

Time (min.)	SO <sub>2</sub> concentration from measuring device (ppm)		SO <sub>2</sub> concentration from titration (ppm)	
	Rep.1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2
0	17,284	10,330	19,584	8,160
10	17,294	11,509	19,584	12,240
20	13,919	10,698	12,240	11,016
30	11,137	11,046	10,608	9,792
40	6,035	10,072	7,344	8,568
50	8,017	9,085	8,568	11,016
60	5,932	8,027	7,344	8,976

### วิจารณ์ผล

อุปกรณ์ตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นเริ่มมีการตอบสนองหลังจากมีการปล่อย SO<sub>2</sub> เข้าสู่ระบบ ประมาณ 25 วินาที จากนั้นค่าที่วัดได้จะเริ่มคงที่ประมาณ 10 วินาที (Figure 3) โดยสามารถตอบสนองได้เหมาะสมในช่วงความเข้มข้น 2,000 ถึง 20,000 ppm โดยค่าแรงดันไฟฟ้าตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจวัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้น SO<sub>2</sub> เพิ่มขึ้น มีลักษณะเป็นแบบเส้นตรง (Figure 4) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2_{adj}$ ) เท่ากับ 0.99 ความคลาดเคลื่อนในการวัด  $\pm 121$  ppm หรือร้อยละ 0.67 ตลอดช่วงการวัด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรต ในระดับห้องปฏิบัติการ และได้สมการที่นำไปใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้น SO<sub>2</sub> เพื่อใช้ในการทดสอบในภาคสนามกับห้องรม SO<sub>2</sub> กับผลล้าไยสดระดับอุตสาหกรรม โดยการนำค่าแรงดันไฟฟ้าตอบสนองที่เริ่มคงที่ หลังจากมีการปล่อย SO<sub>2</sub> เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจวัดมาใช้ในการคำนวณ เปรียบเทียบกับการไทเทรต (Table 1) โดยในการทดสอบครั้งที่ 1 ค่าความเข้มข้น SO<sub>2</sub> ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดมีแนวโน้มลดลง ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการรม SO<sub>2</sub> มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความเข้มข้นที่ได้จากการไทเทรต เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการทดสอบครั้งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในกระบวนการรม SO<sub>2</sub> เนื่องจากในการทดสอบครั้งที่ 2 บรรจุล้าไยไม่เต็มห้องรม ทำให้ค่าความเข้มข้น SO<sub>2</sub> ไม่มีแนวโน้มที่ลดลงเหมือนการทำสอบครั้งที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาในด้านของการตรวจวัด และเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น SO<sub>2</sub> ระหว่างการไทเทรตกับค่าตอบสนองจากอุปกรณ์ตรวจวัด พบว่าค่าความเข้มข้นที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกับค่าที่ได้จากการไทเทรต มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### สรุป

อุปกรณ์ตรวจวัด SO<sub>2</sub> ความเข้มข้นสูงสำหรับใช้ในกระบวนการรม SO<sub>2</sub> กับผลล้าไยสด มีลักษณะการตอบสนองเป็นแรงดันไฟฟ้า สามารถตอบสนองได้เหมาะสมในช่วงความเข้มข้น 2,000 ถึง 20,000 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรตแล้ว พบว่ามีความสะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากไม่ต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี ซึ่งต้องใช้เวลาและมีความยุ่งยากในการเตรียม งานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาระบบตรวจวัด SO<sub>2</sub> แบบพกพา ในกระบวนการรม SO<sub>2</sub> กับผลล้าไยสด เพื่อใช้ทดแทนวิธีการไทเทรต SO<sub>2</sub> และการใช้หลอดตรวจวัดได้

### เอกสารอ้างอิง

- จักรพงษ์ พิมพ์พิมล จาตุรงค์ วาฤทธิ และ สมเกียรติ จาตุรงค์ล้ำเลิศ. 2550. การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับผลล้าไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบ forced-air. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. 87 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. นำเข้า-ส่งออกสินค้าเกษตรที่สำคัญ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.oae.go.th/oae\\_report/export\\_import/export\\_result.pht](http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.pht).
- มานัส แจ่มจำรูญ. 2545. การวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ. คู่มือการตรวจสอบโรงรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ล้าไยสดสำหรับพนักงานตรวจประเมิน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 56 หน้า.
- Han D. M., Z. X. Wu, and Z. L. Ji. 2001. Effect of SO<sub>2</sub> treatment on the overall quality of longan fruits (cv.Shixia) during cold storage. *Acta Horticulturae* 558: 375-379.