ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุก

Effects of Sulfur Dioxide Concentration on Quality Changes of Ripe Mango (c.v. Nam Dok Mai) Pulp

โยธิน สระทองคื้น (Yothin Srathongkhuen)* ดร.ธวัชชัย ศุภวิทิตพัฒนา (Dr.Thawatchai Supavititpatana)**
ดร.ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา (Dr.Piyawan Supavititpatana)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อมะม่วงสุก โดยแปรผันความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้แช่เนื้อมะม่วงสุก 4 ระดับ คือ 500 1,000 1,500 และ 2,000 ppm เก็บรักษาเนื้อมะม่วงดังกล่าวในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง นาน 15 สัปดาห์ ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือ ค่าสี L* a* และ b* จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา ทุกสัปดาห์ พบว่า เนื้อมะม่วงสุกมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือสูงขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงขึ้น ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการคงคุณภาพของเนื้อมะม่วงสุกคือ 2,000 ppm โดยสามารถคงคุณภาพเนื้อมะม่วงสุกได้ไม่น้อยกว่า 15 สัปดาห์ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* a* และ b* น้อย มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุด มีจำนวนยีสต์และราน้อยที่สุด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 สัปดาห์

ABSTRACT

This research aimed to determine the effects of sulfur dioxide concentration on quality changes of ripe mango pulp. The concentrations of sulfur dioxide for mango pulp soaking were varied at 4 levels including 500, 1,000, 1,500 and 2,000 ppm, and treated mango pulp samples were kept in plastic bags at room temperature for 15 weeks. The samples were randomly analyzed for residual sulfur dioxide content, color value (L*, a* and b*), total counts of microorganisms and yeast and mold counts every week. It was found that the residual sulfur dioxide content in mango pulp increased with increasing sulfur dioxide concentration. The suitable concentration of sulfur dioxide for remaining the quality of mango pulp was 2,000 ppm which prolonged the quality of the sample not less than 15 weeks because this concentration induced the minimum change of the color values of mango pulp in the terms of L*, a* and b* value. In addition, the total plate counts and yeast and molds of the mango pulp at this concentration were found to be the lowest for the entire range of 15 weeks.

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เนื้อมะม่วงสุก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

Keywords: Quality changes, Mango pulp, Sulfur dioxide

*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

บทนำ

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในตลาดโลก ผลผลิตรวมของมะม่วงปี พ.ศ. 2558 มีประมาณ 3,131,237 ตัน บริโภคในประเทศ 3,060,162 ตัน และส่งออกในรูปของมะม่วงสด 33,903 ตันคิดเป็นมูลค่า 1,211 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) จากการวิเคราะห์ศักยภาพการแข่งขันของมะม่วงโดย Thailand Competitiveness Matrix (TCM) เพื่อรองรับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community, AEC) ซึ่งมีการเคลื่อนย้ายสินค้าอย่างเสรี มีตลาดและฐานการผลิตร่วมกันในประเทศกลุ่มอาเซียนได้ โดยมะม่วงอยู่ในช่วง New wave คือ ตลาดมีความต้องการสูง (High demand) และมีการแข่งขันต่ำ (Low competitiveness) จึงจำเป็นต้องมีการสร้างความเข้มแข็งให้กับกลุ่มเกษตรกรชาวสวน ผู้จำหน่ายและส่งออกผลมะม่วงเพื่อรับมือกับ AEC ประกอบกับพื้นที่การปลูกมะม่วงในจังหวัดพิษณุโลก 116,798 ไร่ มีพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกมากที่สุดใน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเนินมะปราง จำนวน 4,850 ไร่ จำแนกเป็นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจำนวน 3,160 ไร่ มะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 จำนวน 1,690 ไร่ อำเภอวังทองจำนวน 3,446 ไร่ จำแนกเป็นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจำนวน 2,246 ไร่ มะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 จำนวน 1,200 ไร่ อำเภอวัดโบสถ์ จำนวน 1,287 ไร่ จำแนกเป็นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจำนวน 987 ไร่ มะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 จำนวน 300 ไร่ โดยมีเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงเพื่อการส่งออกมากถึง 700 ราย ผลผลิตมะม่วงเฉลี่ยประมาณ 800 - 900 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วงออกผลผลิตในฤดูอยู่ในช่วง เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม และจากการสัมภาษณ์กลุ่มแม่บ้านมะม่วงแผ่นบ้านวังครุฑ อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก พบว่าในแต่ละฤดูกาลจะพบปัญหาในส่วนของมะม่วงที่ตกเกรด ไม่สามารถส่งออกไปขายต่างประเทศได้ โดยมะม่วงที่ตกเกรดเกษตรกรจะนำมาผลิตเป็นมะม่วงแผ่นหรือมะม่วงกวนตากแห้ง แต่อย่างไรก็ตามมะม่วงที่ตกเกรดมีปริมาณมากไม่สามารถนำมาผลิตเป็นมะม่วงแผ่นได้ทัน ทำให้มะม่วงเน่าเสียและถ้าจะเก็บรักษา โดยแช่เย็นต้องเสียค่าขนส่งและค่าเช่าห้องเย็น ซึ่งมีเฉพาะในอำเภอเมืองพิษณุโลก ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนสูงมากขึ้น

อุตสาหกรรมอาหารมีการใช้โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์เป็นสารต้านจุลินทรีย์ เนื่องจากโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์แตกตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Corte et al., 2012) ด้านอนุมูลอิสระ (Yargicoglu et al., 2007) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกในสภาวะอุณหภูมิห้องโดยใช้สารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการแตกตัวของโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS)

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุกในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 11 ระดับ คือ 50 100 200 300 400 500 600 700 1,000 1,500 2,000 และ 2,500 ppm จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังนี้

นำตัวอย่าง 50 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในขวดกลั่น เติมสารละลายเอทานอล (Ethanol) ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 โมลาร์ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร และนำมาต่อกับชุดกลั่นทันที เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และสารละลายเมทิลเรด (อินดิเคเตอร์) 3 หยด ลงในหลอดแก้วทรงสูง (Vessel) ที่รองรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งได้จากการกลั่น เปิดวาล์วก๊าซไนโตรเจน ปรับอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ระดับ 200

± 10 มิลลิลิตร/นาที ปรับความร้อนให้มีอัตราการกลั่นไหลกลับในขวดกลั่นคงที่เท่ากับ 80 - 90 หยด/นาที และเริ่มจับเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที นำหลอดแก้วทรงสูงที่รองรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากชุดกลั่น เทสารละลายในหลอดแก้วทรงสูงดังกล่าวลงในขวดรูปชมพู่และไตเตรตทันทีด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ จนสารละลายเป็นสีเหลืองอยู่นานไม่ต่ำกว่า 20 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่ใช้ (V_B) จากนั้นคำนวณปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดังนี้

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm) = (32.03 x V_B x M x 1000) / Weight

32.03	=	มิลลิกรัมของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์
V_B	=	ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายมาตรฐานโซเดียมดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง
M	=	ความเข้มข้น (โมลาร์) ของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์
Weight	=	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
1000	=	แฟคเตอร์ (Factor) ของการเปลี่ยนหน่วยจากกรัมเป็นกิโลกรัมของตัวอย่าง

2. ศึกษาผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อคุณภาพเนื้อมะม่วงสุกระหว่างการเก็บรักษา

2.1 การเตรียมเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุก

นำมะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้อายุผล 70 วัน จากอำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มาล้างทำความสะอาด จากนั้นชั่งน้ำหนักและปอกเปลือกเฉือนเนื้อมะม่วงสุกตามความยาวของผลมะม่วง จากนั้นนำเนื้อมะม่วงสุกมาแช่ในสารละลายที่มีแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้นร้อยละ 0.7 และกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.03 อัตราส่วนเนื้อมะม่วงสุกต่อสารละลายผสมของแคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริกเท่ากับ 1:1.5 โดยน้ำหนัก นาน 10 นาที เพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อมะม่วงสุกเละและป้องกันการเปลี่ยนสีของเนื้อมะม่วง ซึ่งสภาวะดังกล่าวได้จากการวิจัยเบื้องต้น

2.2 การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์

เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ให้มีความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 500 1,000 1,500 และ 2,000 ppm โดยคำนวณจากกราฟที่ได้จากการวิจัยในข้อ 1 จากนั้นนำเนื้อมะม่วงสุกในข้อ 2.1 มาแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 500 1,000 1,500 และ 2,000 ppm ในอัตราส่วนเนื้อมะม่วงสุกต่อสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก จากนั้นบรรจุถุงพลาสติก (Polypropylene: PP) ในสภาวะปกติ ปริมาณถุงละ 500 กรัม สุ่มตัวอย่างเนื้อมะม่วงสุกมาทำการวิเคราะห์ทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง (35 ± 2 องศาเซลเซียส) วิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.2.1 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามวิธีของ AOAC (2000)

2.2.2 ค่าสี วัดค่าสีโดยใช้ระบบ CIELAB แสดงเป็นค่า L* (Lightness) a* (Redness) และ b* (Yellowness) ด้วยเครื่อง Konica Minolta color reader (CR-10, Japan)

2.2.3 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด สุ่มตัวอย่างเนื้อมะม่วงสุก 25 กรัม เทสารละลายสำหรับเจือจาง (Diluent) คือ Butterfield's phosphate buffered-dilution water (BPB) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องตีผสมอาหาร 1 - 2 นาที ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายสำหรับเจือจาง 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างเจือจาง 1:10 ปิเปตตัวอย่างที่เจือจาง 1:10 มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายสำหรับเจือจาง 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างเจือจาง 1:100 ทำเช่นนี้ต่อไปจนได้ตัวอย่างที่เจือจางตามต้องการ ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความ

เจือจางที่ต้องการ 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อระดับความเจือจางละ 3 จานเพาะเชื้อ เท Plate Count Agar (PCA) ประมาณ 12 - 15 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้วุ้นแข็งแล้วพลิกจานเพาะเชื้ออีกด้านหนึ่งขึ้น บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส นาน 48 $\pm$ 2 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่วง 25 - 250 โคโลนี (BAM, 2001a)

2.2.4 จำนวนยีสต์และรา สุ่มตัวอย่างเนื้อมะม่วงสุก 25 กรัม เทสารละลายสำหรับเจือจาง (Diluent) คือ สารละลายเปปโตน (Peptone water) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องตีผสมอาหาร 1 - 2 นาที ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายสำหรับเจือจาง 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างเจือจาง 1:10 ปิเปตตัวอย่างที่เจือจาง 1:10 มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายสำหรับเจือจาง 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างเจือจาง 1:100 ทำเช่นนี้ต่อไปจนได้ตัวอย่างที่เจือจางตามต้องการ ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางที่ต้องการ 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อระดับความเจือจางละ 3 จานเพาะเชื้อ เท Potato Dextrose Agar (PDA) ประมาณ 20 - 25 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้วุ้นแข็ง บ่มที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน โดยไม่ต้องคว่ำจานเพาะเชื้อ และวางซ้อนกันไม่เกิน 3 จานเพาะเชื้อ เมื่อครบ 5 วัน ถ้าไม่มีการเจริญของเชื้อให้บ่มต่ออีก 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่วง 10 - 150 โคโลนี (BAM, 2001b)

3. แผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design; (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์และค่าเฉลี่ยปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผลิตได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์

3.2 ศึกษาผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อคุณภาพเนื้อมะม่วงสุกระหว่างการเก็บรักษา

จัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4 ระดับ คือ 500 1,000 1,500 และ 2,000 ppm ปัจจัยที่สองคือ ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 ระดับ คือ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 และ 15 สัปดาห์ ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design; (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

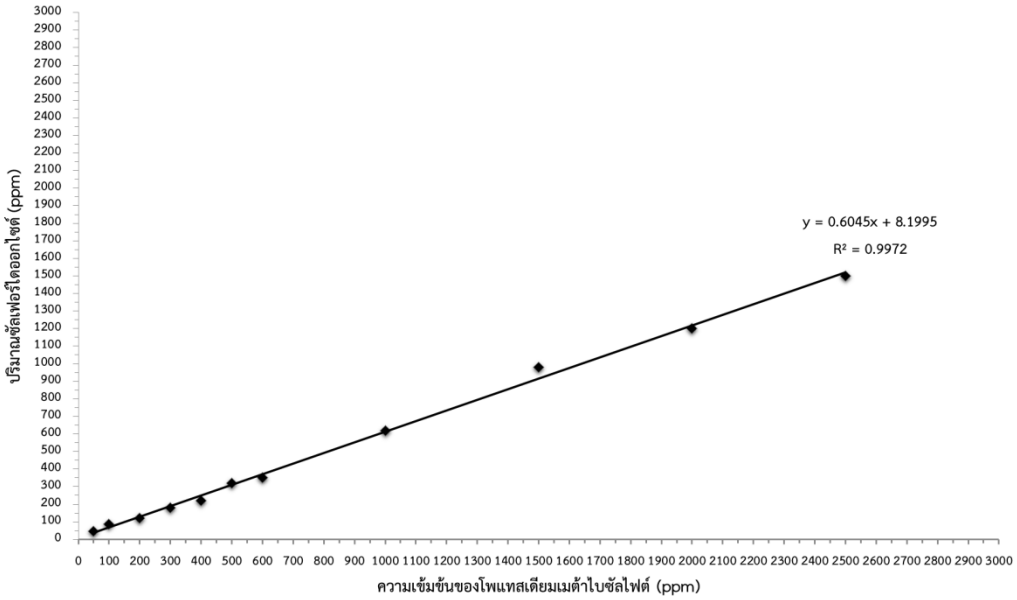
4. สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

อาคารปฏิบัติการแปรรูปอาหารและพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 15 สัปดาห์ ในช่วงเดือน มกราคม – มิถุนายน 2562

ผลการวิจัย

1. ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์

นำค่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผลิตได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์มีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์กับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผลิตได้มีค่าความชัน 0.6046 (ภาพที่ 1) เนื่องจากโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์เป็นสารเคมีที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบซัลไฟต์ซึ่งแตกตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Jankovic, 2008)



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2. ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อมะม่วงสุกระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์กับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ผลิตซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 500 1,000 1,500 และ 2,000 ppm สำหรับเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุก พบว่าต้องใช้สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต้องการ คือต้องใช้สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์มากกว่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต้องการ 1.63 – 1.66 เท่า (ตารางที่ 1)

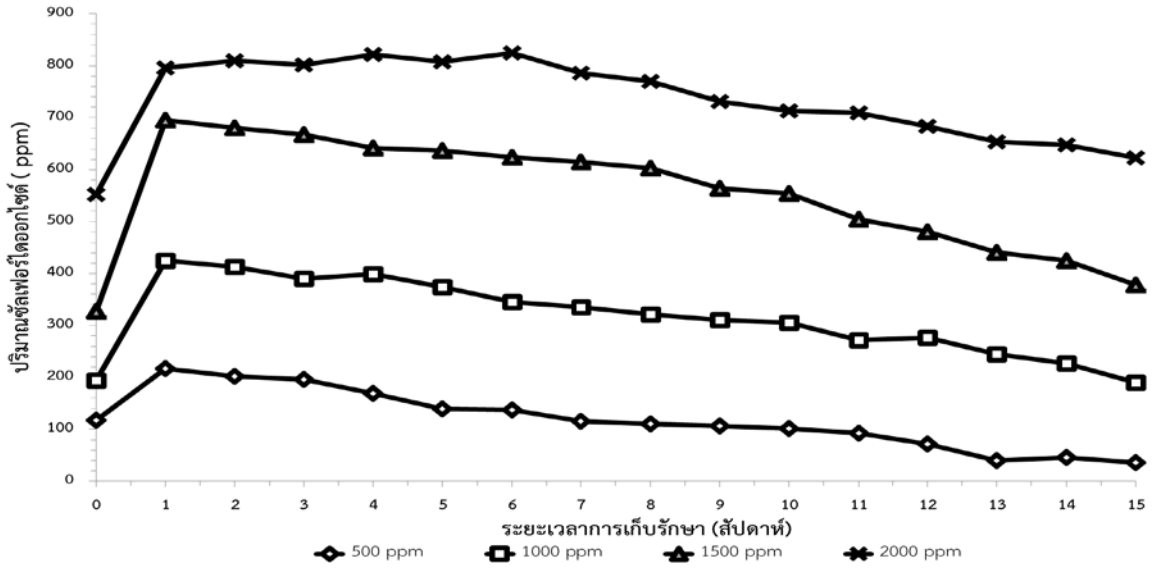
ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ผลิตซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 500 1,000 1,500 และ 2,000 ppm สำหรับแช่เนื้อมะม่วงสุก

ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์	
(ppm)	(ppm)	เท่าของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์
500	813.73	1.63
1,000	1,640.72	1.64
1,500	2,467.72	1.65
2,000	3,294.71	1.66

2.1 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อมะม่วงสุกมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเนื้อมะม่วงสุกสามารถดูดซับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ประมาณร้อยละ 20 – 28 ของความเข้มข้นที่ใช้แช่เนื้อมะม่วงสุก ในสัปดาห์ที่ 0 และเนื้อมะม่วงสุกมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากที่สุดในอายุการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ โดยมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร้อยละ 40.00 – 46.67 ของปริมาณที่ใช้แช่เนื้อมะม่วงสุก หลังจากนั้นปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อมะม่วงสุกลดลงตามลำดับสำหรับการใช้ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 500 1,000 และ

1,500 ppm ส่วนเนื้อมะม่วงสุกที่แช่ในซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 2,000 ppm มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 6 จากนั้นมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 7 - 15 (ภาพที่ 2) การที่เนื้อมะม่วงสุกที่ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 500 1,000 และ 1,500 ppm มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากที่สุดในอายุการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ ส่วนเนื้อมะม่วงสุกที่ใช้ซัลเฟอร์ไดออกซ์ความเข้มข้น 2,000 ppm มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 6 อาจเนื่องมาจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ค่อย ๆ ซึมเข้าสู่เนื้อมะม่วงอย่างทั่วถึงสำหรับความเข้มข้น 500 – 1,500 ppm ใช้เวลา 1 สัปดาห์ ส่วนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 2,000 ppm ต้องใช้เวลาในการซึมเข้าสู่เนื้อมะม่วงอย่างทั่วถึงนานกว่าคือ 6 สัปดาห์ และหลังจากนั้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อมะม่วงมีปริมาณลดลงเนื่องมาจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่มีในเนื้อมะม่วงสอดคล้องกับการรายงานของ Ilett, Simpson (1995), Sen et al. (2015) ซึ่งพบว่าปริมาณซัลเฟอร์ไดอออกไซด์ในเบียร์และแอพพริคอตรมควันลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น และซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนเกิดเป็นสารประกอบซัลเฟต (Wedzicha, 1984) เนื่องจากสภาวะการเก็บเนื้อมะม่วงในการวิจัยนี้เก็บในสภาวะปกติซึ่งยังคงมีออกซิเจนในภาชนะบรรจุ



ภาพที่ 2 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อมะม่วงสุกที่แปรผันความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง

2.2 ค่าสี

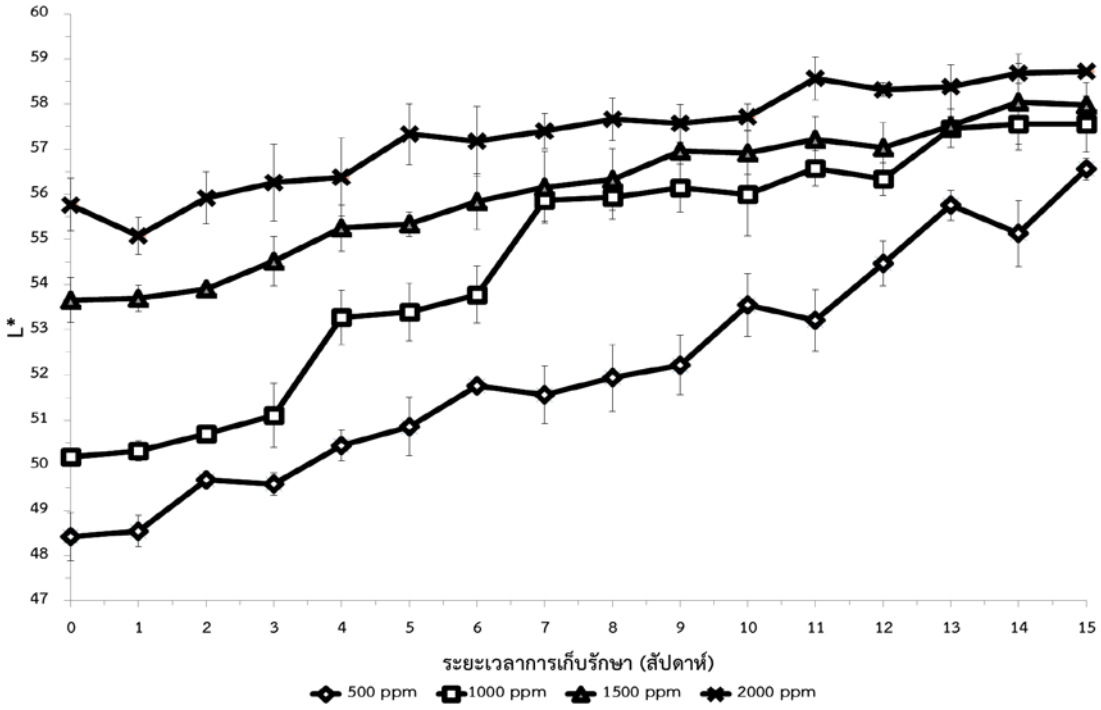
ค่าสี L* (0 = สีดำ 100 = สีขาว) (Mapari et al., 2006) ของเนื้อมะม่วงสุกที่แช่ในซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมีค่าสูงขึ้นและเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี L* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้แสดงว่าเนื้อมะม่วงสุกมีความสว่างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ณ อายุการเก็บรักษา 15 สัปดาห์และ 0 สัปดาห์ พบว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมีผลให้การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* มีค่าน้อยลงตามลำดับ (ภาพที่ 3)

ค่าสี a* ของเนื้อมะม่วงสุกมีค่าอยู่ในช่วงติดลบ หมายความว่ามีลักษณะสีเขียวมากกว่าสีแดง (ค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง ค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว) (Mapari et al., 2006) โดยพบว่าเมื่อใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

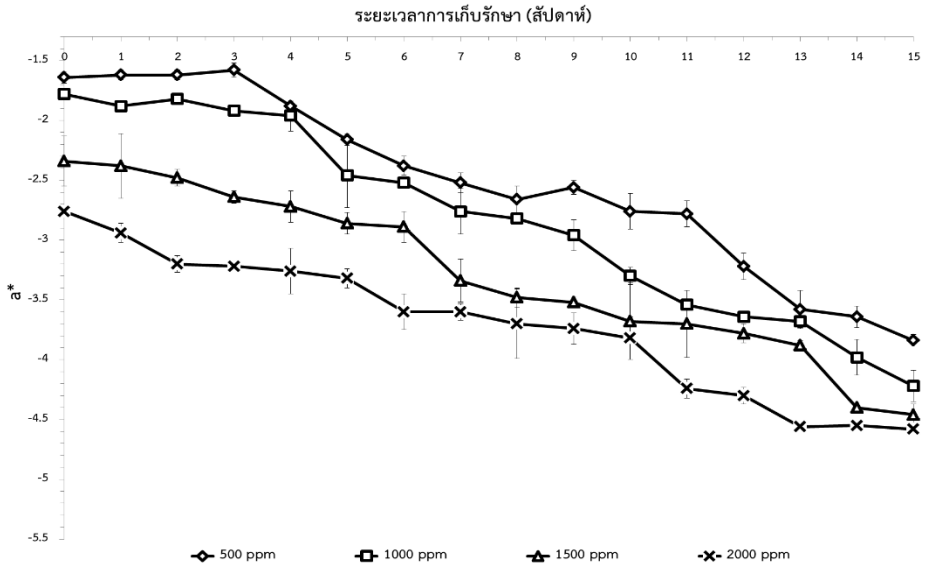
เนื้อมะม่วงสุกมีค่าสี a* ติดลบเพิ่มขึ้น และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นค่าสี a* ติดลบเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าสี a* มีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงโดยเทียบจากสัปดาห์ที่ 15 และสัปดาห์ที่ 0 แสดงว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีของเนื้อมะม่วงสุกได้ (ภาพที่ 4)

ค่าสี b* ของเนื้อมะม่วงสุกมีค่าเป็นบวก หมายความว่ามีสีเหลือง (ค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง ค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน) (Mapari et al., 2006) ค่าสี b* ลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นค่าสี b* มีค่าลดลง เมื่อพิจารณาค่าสี b* ของเนื้อมะม่วงสุกที่มีอายุการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ เทียบกับอายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าสี b* มีการลดลงน้อย (ภาพที่ 5)

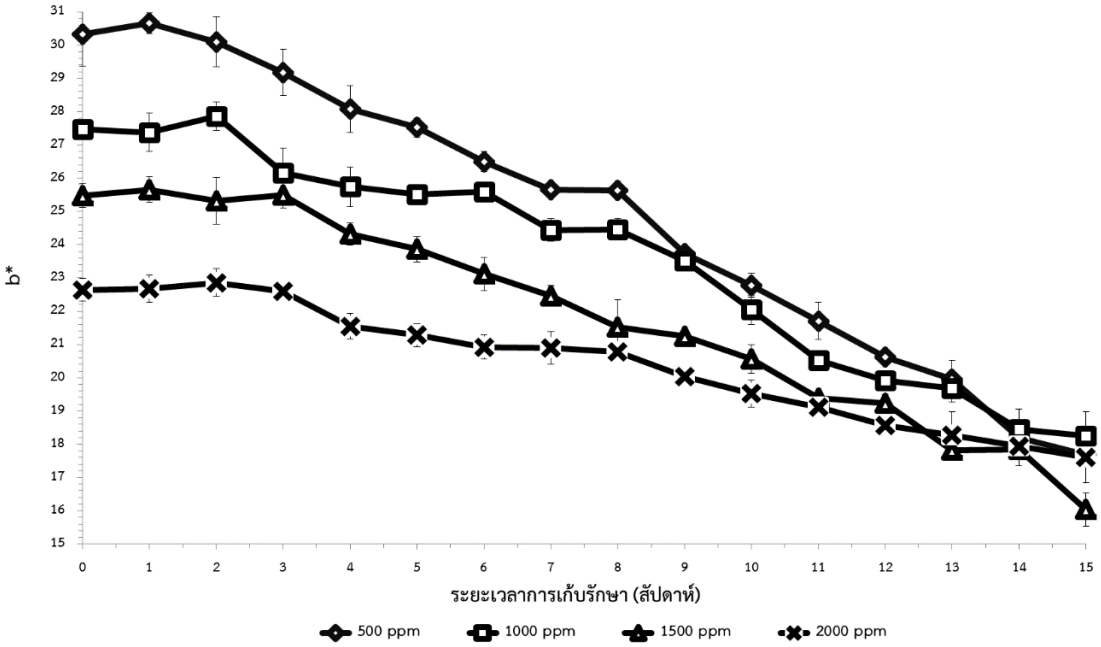
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีในภาพรวมจึงกล่าวได้ว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อมะม่วงสุกได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าสี L* a* และ b* มีการเปลี่ยนแปลงลดลงระหว่างการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากซัลไฟต์ที่เกิดจากการแตกตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agents) (Sgroppo, 2010) ทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลและหยุดการเกิดรงควัตถุสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้มาจากเอนไซม์ (Non-browning reaction) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Ahmadi et al., 2018)



ภาพที่ 3 ค่าสี L* ของเนื้อมะม่วงสุกที่แปรผันความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4 ค่าสี a* ของเนื้อมะม่วงสุกที่แปรผันความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 5 ค่าสี b* ของเนื้อมะม่วงสุกที่แปรผันความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง

2.3 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

เนื้อมะม่วงสุกที่มีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 500 1,000 ppm พบจุลินทรีย์น้อยกว่า 100 CFU/g ตลอดอายุการเก็บรักษา 4 และ 12 สัปดาห์ ตามลำดับ ส่วนเนื้อมะม่วงสุกที่มีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 1,500 และ 2,000 ppm พบจุลินทรีย์น้อยกว่า 10 CFU/g ตลอดอายุการเก็บรักษา 12 และ 13 สัปดาห์ ตามลำดับ และการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนจุลินทรีย์ในเนื้อมะม่วงสุกลดลง โดยการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 2,000 ppm ช่วยชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้มากที่สุด (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับการรายงานของ Ahmadi et al. (2018) ซึ่งศึกษาการยืดอายุของเศษผักและผลไม้ด้วยการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในเศษผักและผลไม้ จากนั้นเก็บรักษาในถังที่อุณหภูมิห้องนาน 12 วัน พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนน้อยลงเมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้นทุกระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ (Corte et al., 2012) โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับอะซีทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) และสร้างเปปไทด์ (Peptide) ซึ่งยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และทำให้จุลินทรีย์ตาย (Osborne, Edwards, 2007)

ตารางที่ 2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ในเนื้อมะม่วงสุกที่แปรผันความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง

สัปดาห์ที่	ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm)			
	500	1,000	1,500	2,000
0	<100	<100	<10	<10
1	<100	<100	<10	<10
2	<100	<100	<10	<10
3	<100	<100	<10	<10
4	<100	<100	<10	<10
5	$2.5X10^3$	<100	<10	<10
6	$8.0X10^6$	<100	<10	<10
7	$7.8X10^5$	<100	<10	<10
8	$2.8X10^7$	<100	<10	<10
9	$9.9X10^7$	<100	<10	<10
10	$1.1X10^6$	<100	<10	<10
11	$1.8X10^6$	<100	<10	<10
12	TNTC	<100	<10	<10
13	TNTC	$2.5X10^2$	$2.5X10^1$	<10
14	TNTC	$2.5X10^2$	$2.5X10^2$	<100
15	TNTC	$2.5X10^3$	$1.2X10^3$	$2.5X10^1$

หมายเหตุ: TNTC = too-numerous-to-count

2.4 จำนวนยีสต์และรา

เนื้อมะม่วงสุกที่ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 500 และ 1,000 ppm พบยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 10 และ 13 สัปดาห์ ตามลำดับ ส่วนเนื้อมะม่วงสุกที่ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 1,500 และ 2,000 ppm มีจำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 15 สัปดาห์ (ตารางที่ 3) จึงกล่าวได้ว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 1,500 และ 2,000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์และราได้ เนื่องจากสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่แช่เนื้อมะม่วงสุกแตกตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์แตกตัวให้ไอออนไบซัลไฟต์ซึ่งมีบทบาทเป็นไบโอซิดิค (biocidic effect) ยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ (Corte et al., 2012) โดยทำให้การหายใจของยีสต์บกพร่อง ทำปฏิกิริยาและทำลาย DNA ลดการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์จึงเพิ่มอัตราการตายของยีสต์ (Park, Hwang, 2008)

ตารางที่ 3 จำนวนยีสต์และรา (CFU/g) ในเนื้อมะม่วงสุกที่แปรผันความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง

สัปดาห์ที่	ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm)			
	500	1,000	1,500	2,000
0	<10	<10	<10	<10
1	<10	<10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10
5	<10	<10	<10	<10
6	<10	<10	<10	<10
7	<10	<10	<10	<10
8	<10	<10	<10	<10
9	<10	<10	<10	<10
10	<10	<10	<10	<10
11	$3.9X10^7$	<10	<10	<10
12	$7.1X10^7$	<10	<10	<10
13	$2.2X10^7$	<10	<10	<10
14	TNTC	$4.0x10^2$	<10	<10
15	TNTC	$6.8X10^5$	<10	<10

หมายเหตุ: TNTC = too-numerous-to-count

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การเตรียมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต้องเตรียมโดยการใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์มากกว่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต้องการ 1.63 เท่าเมื่อเริ่มต้นจากการต้องการความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 500 ppm และต้องเตรียมความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้น 0.01 เท่า ในทุก 500 ppm ของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต้องการ

การแปรผันความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลต่อคุณภาพเนื้อมะม่วงสุกระหว่างการเก็บรักษา 15 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง ดังนี้ เนื้อมะม่วงสุกที่มีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือสูงกว่าเนื้อมะม่วงสุกที่มีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณที่ต่ำกว่า ซึ่งส่งผลต่อค่าสี จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา โดยพบว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 2,000 ppm ช่วยรักษาสีเนื้อมะม่วงสุกได้ดีที่สุดเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* a* และ b* น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าสีของเนื้อมะม่วงสุกในสัปดาห์ที่ 15 และสัปดาห์ที่ 0 นอกจากนี้ยังยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราได้ดีที่สุด ดังนั้นปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกคือ 2,000 ppm โดยสามารถเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกได้ไม่น้อยกว่า 15 สัปดาห์ ณ อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลต่อสุขภาพคือ เมื่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าสู่ร่างกายสามารถรวมตัวกับน้ำกลายเป็นกรดซัลฟูรัสและแตกตัวให้เป็นไบซัลไฟต์หรือซัลไฟต์แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครมาทิตที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกัน เป็นผลให้ DNA ถูกทำลาย (Meng et al., 2004) ดังนั้นเนื้อมะม่วงสุกที่ผ่านการแช่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 2,000 ppm ควรนำไปผลิตอาหารที่มีกระบวนการลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ มะม่วงกวนตากแห้ง ซึ่งมาตรฐานตามข้อกำหนดของ Codex ระบุให้มะม่วงกวนตากแห้งมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซดได้ไม่เกิน 1,000 ppm (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) สำหรับการสนับสนุนงบประมาณดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หลักเกณฑ์และมาตรฐานประกอบการตรวจรับรองสินค้าเกษตรด้านพืช. นนทบุรี; โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2556.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้าปี 2558. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บริษัท 21 เซ็นจูรี่; 2559.

Ahmadi F, Lee YH, Lee WH, Oh YK, Park KK, Kwak WS. Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite. J Environ Manag 2018; 224: 113-121;

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Gaithersburg, MD, USA: The Association of Official Analytical Chemists. Method 990.28. Sulfites in Foods; 2000.

BAM. Chapter 3 Aerobic Plate Count. [cited 2018 August 24]: Available from: http://www.fda.gov/food/ laboratory-methods-food/bam-aerobic-plate-count.; 2001a.

_____. Chapter 18 Yeasts, Molds and Mycotoxins. [cited 2018 August 24]: Available from: http://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-yeast-molds-and-mycotoxins.; 2001b.

Corte L, Roscini L, Zadra C, Antonielli L, Tancini B, Magini A, Emiliani C, Cardinali G. Effect of pH on potassium metabisulphite biocidic activity against yeast and human cell cultures. Food Chem 2012; 134: 1327-1336.

Ilett, DR, Simpson, WJ. Loss of Sulphur dioxide during storage of bottled and canned beers. Food Res. Int 1995; 28(4): 393-396.

Jankovic B. Kinetic analysis of the nonisothermal decomposition of potassium metabisulfite using the model-free) methods. Chem Eng J 2008; 139: 128-135.

Mapari SAS, Meyer A, Thrane U. Colorimetric characterization for comparative analysis of fungal pigments and natural food colorants. J Agric Food Chem 2006; 54(19): 7027-7035.

Meng, A, Qin G., Zhang B, Bai J. DNA damaging effects of sulfur dioxide derivatives in cells from various organs of mice. Mutagenesis 2004; 19(6): 465-468.

Osborne JP, Edwards CG. Inhibition of malolactic fermentation by a peptide produced by Saccharomyces cerevisiae during alcoholic fermentation. Int J Food Microbiol 2007; 118(1): 27-34.

Park H, Hwang YS. Genome-wide transcriptional responses to sulfite in *Saccharomyces cerevisiae*. J Microbiol 2008; 46(5): 542-548.

Sen F, Ozgen M, Asma BM, Aksoy U. Quality and nutritional property changes in stored dried apricots fumigated by sulfur dioxide. Hort Environ Biotechnol 2015; 56(2): 200-206.

Sgroppo SC, Vergara LE, Tenev MD. Effects of sodium metabisulphite and citric acid on the shelf life of fresh cut sweet potatoes. Span J Agric Res 2010; 8(3): 686-693.

Wedzicha BL. Sulphur Dioxide in Foods – Chemical Interaction. London: Elsevier; 1984.

Yargicoglu P, Şahin E, Gümüşlü S, Ağar, A. The effect of sulfur dioxide inhalation on active avoidance learning, antioxidant status and lipid peroxidation during aging. Neurotoxicol and Teratol 2007; 29(2): 211-218.