



ผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน และสมบัติทางกายภาพและเคมีในกล้วยหอมทอง EFFECT OF OZONE EXPOSURE ON ETHYLENE BIOSYNTHESIS INHIBITION AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES IN BANANA (*Musa acuminata*)

สิตวิไลย สุตทิไชยะลาต, สมเกียรติ จตุรงค์กล้าเลิศ*, ชนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร จตุรภัทร วาฤทธิ
และ จักรพงษ์ พิมพพิมล

Sitvilay Souththixaiyalath, Somkiat Jaturonglumlert*, Chanawat Nitatwichit,
Jaturapatr Varith and Jakraphong Phimphimol

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, 50290, Thailand

*Corresponding author: yaidragon@mju.ac.th, Tel: 0-5387-5000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองสดด้วยแก๊สโอโซนซึ่งมีความเข้มข้นของโอโซนแตกต่างกันเพื่อยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ การศึกษาการผลิตแก๊สเอทิลีนและอัตราการหายใจของกล้วยหอมทอง การศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนในภาชนะปิดที่ใส่กล้วยหอมทองและการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน และการศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง โดยแบ่งตัวแปรที่ศึกษาออกเป็น 5 กรณี คือตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่แก๊สโอโซน) อัตราส่วนแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน 2:1, 4:1, 6:1 และ 12:1 ผลการศึกษาพบว่ากล้วยหอมทองมีการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 6 ของการทดลองโดยมีค่าเท่ากับ 5.58 $\mu\text{L/kg-hr}$ นอกจากนั้นยังมีอัตราการหายใจโดยมีค่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยหอมทองปล่อยออกมาสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองโดยมีค่าเท่ากับ 20.38 mg/kg-hr การศึกษาความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในภาชนะปิดและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการควบคุม ผลการศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง พบว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นของแก๊สโอโซนต่อเอทิลีน 6:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมและสามารถเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ยาวนานขึ้น 4 วัน โดยยังคงคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีสอดคล้องกับค่าคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการในท้องตลาด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้แก๊สโอโซนเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการดูแลรักษากล้วยหลังการเก็บเกี่ยว

คำสำคัญ: กล้วยหอมทอง; การยืดอายุการเก็บรักษา; แก๊สโอโซน;

ABSTRACT

The objective of the research was to study the shelf-life of Hom thong banana with gaseous ozone on different concentrations to ethylene biosynthesis inhibition. The study was divided into 3 parts, namely, the study of ethylene production and respiration rate behavior of Hom thong banana, the study of gaseous ozone concentration on closed container and reaction ratio between gaseous ozone to ethylene and the study of the appropriate gaseous ozone concentration for extending the shelf-life of Hom thong banana. The parameter was divided into 5 treatments as follows: control (no ozone), ozone to ethylene ratio 2:1, 4:1, 6:1 and 12:1. The results showed that the Hom thong banana produce the highest ethylene production on the days 6 of the experiment is 5.58 $\mu\text{L/kg}\cdot\text{hr}$. In addition, respiration rate using the carbon dioxide production of the Hom thong Banana was found on days 4 with 20.38 $\text{mg/kg}\cdot\text{hr}$. The study of gaseous ozone concentration inside the closed container and the reaction can be applied to control process. The results showed that optimum gaseous ozone concentration for extending the shelf-life of Hom thong banana with the ratio of gaseous ozone to ethylene of 6:1 was the optimum ratio which can extend the Hom thong banana shelf-life for a longer time of 4 days. While maintaining the physical and chemical properties according to the quality of customers want from local markets. It could be concluded that treatment with gaseous ozone is a new alternative for the postharvest handling of bananas.

Keywords: Hom thong banana; Shelf-life; Gaseous Ozone; Ethylene

1. บทนำ

กล้วยหอมทอง (Gros Michel Banana) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa acuminata* (AAA Group), cultivar 'Hom Thong' กล้วยหอมเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ที่อุดมไปด้วยวิตามิน โยอาหารที่ช่วยในการขับถ่าย และมีสารแทนนิน (Tannin) ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ *Escherichia coli*. สามารถปลูกได้ทั่วประเทศ และมีศักยภาพในการส่งออกไปยังต่างประเทศ โดยเฉพาะกล้วยหอมทองปัจจุบันการส่งออกกล้วยหอมทองนั้นอยู่ในรูปผลสดและการแปรรูป โดยในปี พ.ศ. 2562-2564 ประเทศไทยมีการส่งออกกล้วยสดในปีแรกประมาณ 24,182 ตัน ปีที่ 2 ได้ 28,499 ตัน และปีที่ 3 ได้ 37,914 ตัน คิดเป็นมูลค่า 329, 466 และ 725 ล้านบาท ตามลำดับ โดยเฉพาะญี่ปุ่นซึ่งล่าสุดได้ประสานความร่วมมือกับบริษัทธุรกิจค้าปลีกสมัยใหม่ (Modern Trade) ขนาดใหญ่ของประเทศไทย Beisia Supermarkets ที่มีความต้องการกล้วยหอมทองเฉลี่ย 1,125 ตัน/เดือน หรือ 13,500 ตัน/ปี

ตลาดส่งออกกล้วยหอมทองที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย มาเลเซีย และสหภาพยุโรป เป็นต้น [1]

การส่งออกกล้วยหอมทองทั้งในประเทศและต่างประเทศมีข้อจำกัด คือ อายุการเก็บรักษากลายหอมทองสั้น เนื่องจากกล้วยจัดเป็นผลไม้ประเภท Climacteric fruit ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพค่อนข้างรวดเร็ว หลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสุกที่นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากในช่วงระยะการสุกนี้ผลกล้วยจะมีอัตราการหายใจ และการผลิตแก๊สเอทิลินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งทั้งอัตราการหายใจและการผลิตแก๊สเอทิลินที่เพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลทำให้เกิดการเร่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสรีรวิทยาต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ รสชาติ ตลอดจนเนื้อสัมผัส ซึ่งจะนำไปสู่การเสื่อมสภาพและเกิดการเน่าเสีย [2]-[4]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้จากแก๊สโอโซนในกระบวนการทางอาหาร เช่นฆ่าเชื้อและยับยั้งการเกิดโรค [5] สำหรับงานวิจัยที่แก๊สโอโซนใช้ทำปฏิกิริยากับ

แก๊สเอทิลีนในผักและผลไม้โดยพบว่าสามารถช่วยยับยั้งการเกิดเอโนไซม์ที่สร้างฮอร์โมนผลิตเอทิลีนได้ (ACC synthetase) [6]-[11]

ดังนั้นการศึกษาจึงมีแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากแก๊สโอโซนที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีน นอกจากนี้ยังวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทองได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี ค่าความแน่น เนื้อที่เปลือก ค่าการสูญเสียน้ำหนัก ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และระยะเวลาในการเก็บรักษา เพื่อศึกษาผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อสมบัติของกล้วยหอมทอง

2. อุปกรณ์และการวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ใช้กล้วยหอมทองสด ที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวในระยะเปลือกสีเขียว (Mature Green) ความแก่ประมาณ 70-80% มีน้ำหนักประมาณ 160-170 กรัมต่อลูก ความยาวอยู่ที่ประมาณ 18-20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของผลกล้วยประมาณ 3.6-4.0 เซนติเมตร [3]

2.2 วิธีการทดลองและเครื่องมือสำหรับการศึกษาอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีน

นำกล้วยหอมทองมาชั่งน้ำหนักและบรรจุในภาชนะที่มีปริมาตร 5 ลิตร เก็บที่อุณหภูมิห้อง 24-26 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงเก็บตัวอย่างก๊าซต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ รุ่น WASP-XM-R-CO₂ ซึ่งมีช่วง 0-10,000 ppm เครื่องวัดแก๊สเอทิลีน รุ่น HT-XS-C₂H₄ ซึ่งมีช่วง 0-200 ppm แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการหายใจ และอัตราการปลดปล่อยเอทิลีน ที่มีหน่วยเป็น mg.CO₂/kg.hr และ $\mu\text{L.C}_2\text{H}_4/\text{kg.hr}$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1

2.3 วิธีการทดลองและเครื่องมือสำหรับการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (Gaseous ozone) และปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน

ก๊าซโอโซนถูกสร้างจากจากเครื่องกำเนิดโอโซน (Ozone generator, O₃) รุ่น GLORY HI - 400i ซึ่งกำลังการผลิต 400 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดแก๊สโอโซน รุ่น WASP-XM-E-O₃ ซึ่งมีช่วง 0-1,800 ppm โดยใช้สัดส่วนก๊าซโอโซนต่อก๊าซเอทิลีน ตามสมการเคมีดังสมการที่ 1-4 [5]



2.4 วิธีการทดลองและเครื่องมือสำหรับการศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

นำกล้วยหอมทองสดไปรมแก๊สโอโซน (Ozone, O₃) ในอัตราส่วนโดยปริมาตรแก๊สโอโซนต่อเอทิลีนที่ 2:1 4:1 6:1 และ 12:1 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยเท่ากับ 60 120 180 และ 360 ppm ตามลำดับ เพียงครั้งเดียวในวันแรก เป็นระยะเวลารวม 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 25±1 องศาเซลเซียสเพียง จากนั้นนำกล้วยหอมทองแต่ละชุดมาทำการเก็บข้อมูลต่อทุกวัน โดยนับจากวันแรกที่รมไปอีกที่ 12 วัน ซึ่งทำการศึกษาและทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีน ดังแสดงในรูปที่ 2 และตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทองดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของเฉดสี (Hue angle)

โดยการวัดสี (Color) เปลือกของกล้วยหอมทอง ที่ตำแหน่งหัว กลาง และท้ายของทุกผลกล้วย จำนวน 3 ครั้งต่อผล โดยใช้เครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ Hunterlab รุ่น Mini Scan XE plus แสดงค่าเป็น L* a* และ b* แล้วคำนวณค่า hue angle, h° = $\tan^{-1} (b^*/a^*)$ ตามมาตรฐาน CIE LAB scale

2. ความแน่นเนื้อที่เปลือก (Peel firmness)

นำผลกล้วยหอมทองมาวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA-500 ใช้หัวกดแบบทรงกระบอก ขนาด 0.5 cm กดบนเปลือกกล้วย 3 ครั้งต่อผล และ รายงานผลการวัดเป็นหน่วยของนิวตัน (N)

3. การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

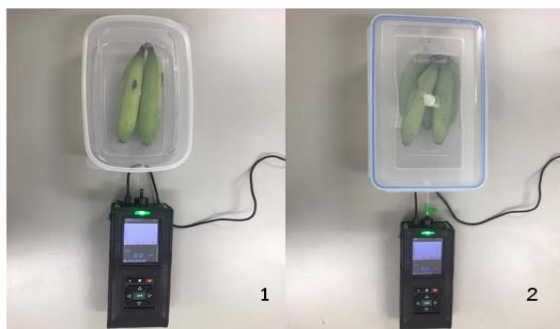
นำกล้วยหอมทองมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นก่อนเก็บรักษา และหลังการเก็บรักษาทุก ๆ วัน แล้วนำน้ำหนักที่ได้มา คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียน้ำหนักสด ในหน่วย เป็นเปอร์เซ็นต์

4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS)

โดยการนำเอาน้ำจากเนื้อกล้วยหอมทองมาปั่นผสมน้ำ กลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 จากนั้นกรองเอาเฉพาะส่วนใส ไปวัดด้วยเครื่อง Hand refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น N-1 แล้วอ่านค่า TSS มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (°Brix)

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่าง ชุดทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป



รูปที่ 1 การทดลองการผลิตเอทิลีนและการหายใจของกล้วยหอมทองสดในกล่องพลาสติกปริมาตร



รูปที่ 2 การทดลองผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองสด

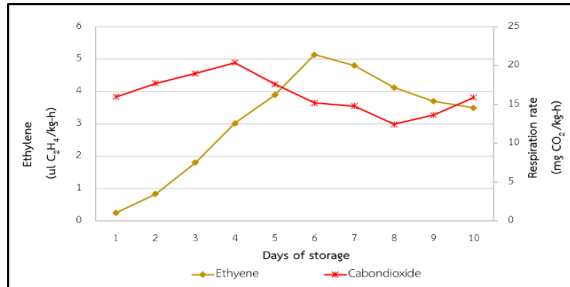
3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลของความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยับยั้งแก๊สเอทิลีน และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทอง มีดังนี้

3.1 การศึกษาการผลิตแก๊สเอทิลีนและหายใจของกล้วยหอมทองสด

การศึกษากฎการณ์การคายเอทิลีนของกล้วยหอมทอง โดยเริ่มจากการนำกล้วยหอมทองดิบจำนวน 2 ผล และ 5 ผล วางในกล่องพลาสติกปริมาตร 2.5 ลิตร และกล่องพลาสติกปริมาตร 5 ลิตรตามลำดับ โดยเปิดฝากล่องไว้ ทำการวัดค่าแก๊สเอทิลีนโดยปิดฝากล่องทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 11.00 – 12.00 น. จากนั้นทำการวัดค่าแก๊สและบันทึกค่า หลังจากวัดเสร็จแล้วจึงเปิดฝากล่องออก ทำซ้ำจนครบ 10 วัน ดังแสดงในรูปที่ 1 จากการทดลองพบว่ากล้วยหอมทองมีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนสูงที่สุดในช่วงวันที่ 6 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดของกล้วย 2 ผลในกล่องปริมาตร 2.5 ลิตรคือ 16.23 ppm/kg-hr (6.46 $\mu\text{L/kg-hr}$) ค่าความเข้มข้นสูงสุดของกล้วย 5 ผลในกล่องปริมาตร 5 ลิตรคือ 18.95 ppm/kg-hr (3.79 $\mu\text{L/kg-hr}$) และค่าเฉลี่ยของแก๊สเอทิลีนคือ 17.59 ppm/kg-hr (5.14 $\mu\text{L/kg-hr}$) ส่วนการหายใจมากที่สุดในช่วงวันที่ 4 โดยมีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วย 2 ผลในกล่องขนาด 2.5 ลิตร คือ 39,980.33 ppm/kg-hr (28.79 mg/kg-hr) ค่าความเข้มข้นของกล้วย 5 ผลในกล่องขนาด 5 ลิตรคือ 33,271.19 ppm/kg-hr (11.98 mg/kg-hr) และ

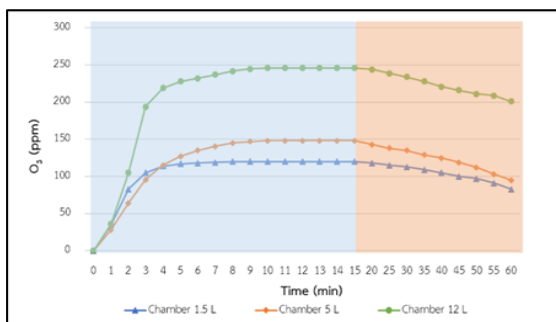
ค่าเฉลี่ยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คือ 36,625.76 ppm/kg-hr (20.38 mg/kg-hr) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการศึกษาการผลิตเอทิลีนและการหายใจของกล้วยหอมทอง

3.2 การศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซน

ทำการศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนด้วยเครื่องกำเนิดโอโซน Ozone generator ขนาด 400 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เพื่อหาความเข้มข้นที่สร้างได้สูงสุดในภาชนะกล่องพลาสติกปิด 3 ขนาดคือ 1.5 5.0 และ 12.0 ลิตร ตลอดระยะเวลาสร้าง 15 นาที และสลายตัว 45 นาที



รูปที่ 4 การสร้างก๊าซโอโซนและการสลายตัว

ผลการศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนสามารถนำไปวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์เพื่อทำนายค่าของอัตราการผลิตความเข้มข้นและอัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนในภาชนะปิดได้ในรูปที่ 4 และสมการที่ 5 และ 6 เป็นตัวอย่างที่ภาชนะขนาด 5.0 ลิตร ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.9965$ และ 0.9801 ตามลำดับ โดย O_3 คือ ความเข้มข้นแก๊สโอโซนหน่วยเป็น ppm, t_1 คือ เวลาในการผลิตแก๊สโอโซนหน่วย

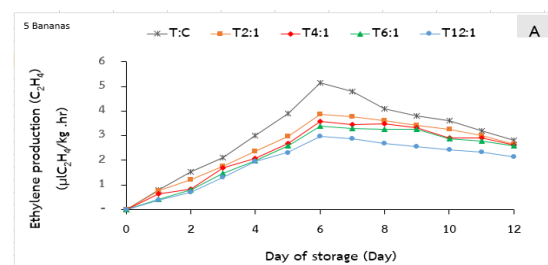
เป็นนาที, t_2 คือเวลาในการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนหน่วยเป็นนาที [12]

$$O_3 = 0.1135t_1^3 - 3.8317t_1^2 + 42.178t_1 - 3.6816 \quad (5)$$

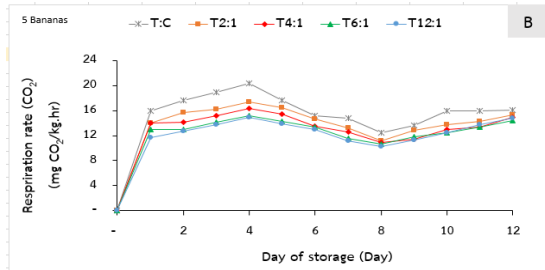
$$O_3 = -1.1382t_2 + 167.38 \quad (6)$$

3.3 การศึกษาผลของก๊าซโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง

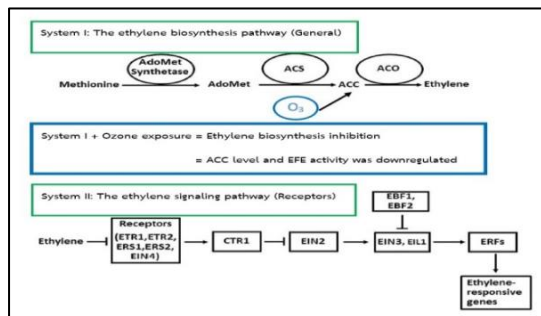
ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าเอทิลีนที่ปล่อยจากกล้วยหอมทองสูงสุดในแต่ละช่วงเวลา เพื่อหาผลจากการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง ดังรูปที่ 5 (A) ผลการศึกษาพบว่าการใช้แก๊สโอโซนที่ความเข้มข้นสูงชันสามารถช่วยยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองในวันแรกลงได้ และมีเปอร์เซ็นต์การลดอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนในวันที่ 6 ได้ในช่วง 25-42% ซึ่งส่งผลในทิศทางเดียวกันกับการหายใจของกล้วยหอมทองที่ลดลงตลอดช่วงการเก็บรักษา 12 วันดังรูปที่ 5 (B) โดยผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำมาในผลสตรเบอร์รี่และผลกีวีสต์ [8]-[9] โดยเหตุผลที่สามารถยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนของผลไม้ได้เนื่องจากการที่แก๊สโอโซนไปลดการกระตุ้นในการสร้างฮอร์โมน 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthetase ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการสร้างสาร Ethylene Forming Enzyme (EFE) ที่ใช้ผลิตแก๊สเอทิลีนในพืชเกือบทุกชนิดลงได้ [6-11] ดังนั้นทีมวิจัยสร้างแผนภาพเส้นทางการยับยั้ง (Inhibitory pathway) เพื่ออธิบายกลไกดังกล่าวดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ผลของก๊าซโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีน (A) การหายใจ (B) ของกล้วยหอมทอง



รูปที่ 5 (ต่อ) ผลของก๊าซโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีน (A) การหายใจ (B) ของกล้วยหอมทอง



รูปที่ 6 ผลของก๊าซโอโซนต่อการลดฮอร์โมนเพื่อยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนในพืช

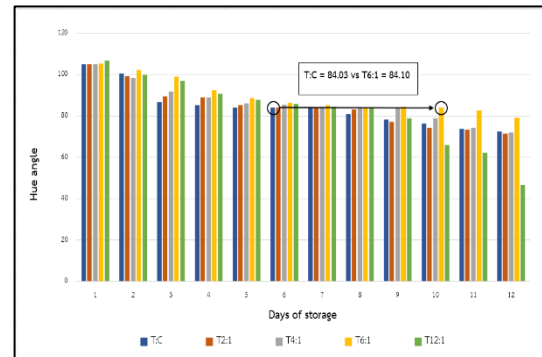
3.4 การศึกษาคุณภาพของกล้วยหอมทองจากการใช้แก๊สโอโซนเพื่อช่วยการยืดอายุการเก็บรักษา

จากรูปที่ 7 เป็นผลของค่าการเปลี่ยนแปลงเฉดสี ซึ่งจะพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 6 ต่อ 1 มีแนวโน้มดีกว่าที่ระดับอื่น ๆ คือเท่ากับ 84.10 โดยสามารถคงสภาพเฉดสีได้ใกล้เคียงชุดควบคุมที่ไม่ใส่แก๊สโอโซนในวันที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 84.03 โดยเป็นวันสุดท้ายก่อนจะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแย่งลง (เริ่มสุกเกินไป) ซึ่งสามารถช่วยยืดเวลาในการเก็บรักษาได้นานถึง 10 วัน หรือเพิ่มเท่ากับ 4 วัน

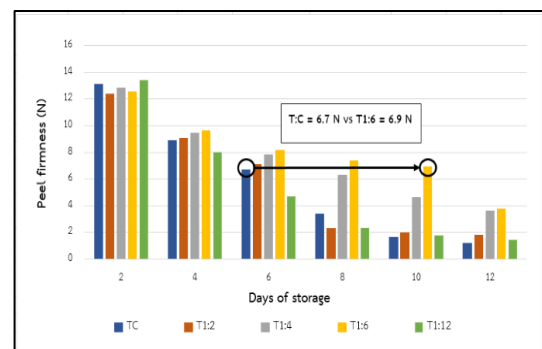
สำหรับรูปที่ 8 เป็นผลของค่าความแน่นเนื้อที่เปลือกกล้วยหอมทอง ผลการศึกษาพบว่าความแน่นเนื้อลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ปฐุมภูมิ และผนังเชื่อมระหว่างเซลล์จากเดิมที่มีคุณสมบัติไม่ค่อยละลายน้ำ กลายเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ [2] ซึ่งระดับความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 6 ต่อ 1 มีค่าเท่ากับ 6.9 N ใกล้เคียงชุดควบคุมซึ่งเท่ากับ 6.7 N

โดยรูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงด้านเคมีเมื่อกล้วยหอมทองสุกมากขึ้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) จะเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าทุกผลการศึกษามีค่า TSS ไปในทิศทางเดียวกันตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งผลไม่ที่สะสมอาหารไว้ในรูปแป้ง โดยเฉพาะในกล้วยหอมทองเมื่อผลสุกแล้วแป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแถบทั้งหมด จึงทำให้กล้วยมีรสชาติหวานขึ้น [2] ซึ่งระดับความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 6 ต่อ 1 มีค่าเท่ากับ 25.41 Brix ใกล้เคียงชุดควบคุมซึ่งเท่ากับ 26.50 Brix

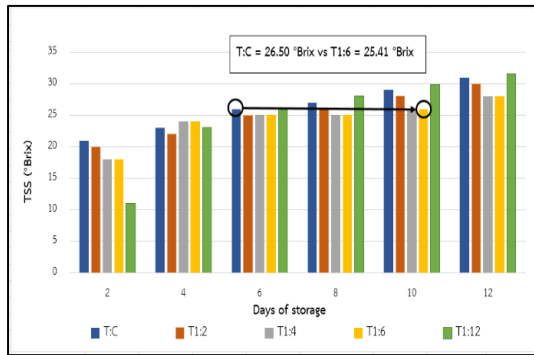
และรูปที่ 10 เป็นการการศึกษาค่าคุณภาพของกล้วยหอมทองจากการใช้แก๊สโอโซน ในส่วนของผลของการสูญเสียน้ำหนัก โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจะมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่เป็นที่น่าสนใจคือที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 12 ต่อ 1 มีแนวโน้มสูญเสียน้ำหนักมากกว่าปกติเนื่องจากที่ผิวเปลือกน่าจะเกิดการถูกทำลายมากเกินไปจากการใช้ความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่สูงเกินซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในผลกวี [9]



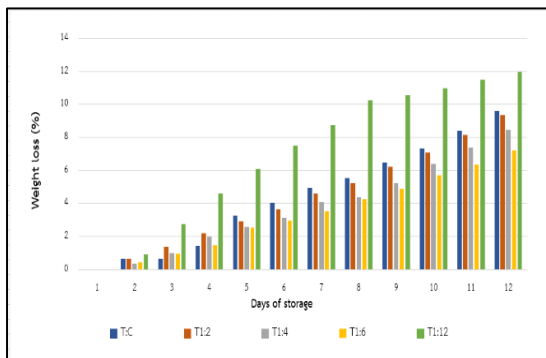
รูปที่ 7 ผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี



รูปที่ 8 ผลของค่าความแน่นเนื้อที่เปลือก



รูปที่ 9 ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้



รูปที่ 10 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก

จากตารางที่ 1 เป็นผลการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของกล้วยหอมทองจากการใช้และไม่ใช้แก๊สโอโซน เพื่อช่วยการยืดอายุการเก็บรักษา โดยเลือกใช้ค่าคุณภาพกล้วยหอมทองสดจากท้องตลาด 3 สถานที่ ๆ ละ 3 ผลัดกันมาทำการหาค่าเฉลี่ยเชิงคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ (Quality of Customers Want, QCW) เพื่อสร้างค่าคุณภาพเชิงเปรียบเทียบ เพื่อประเมินระยะเวลาที่เก็บรักษา (Days of storage) ซึ่งใกล้เคียงกับค่า QCW มากที่สุด จากนั้นจึงหาการยืดอายุการเก็บรักษา (Extended) ซึ่งผลการสำรวจข้อมูลดังกล่าวพบว่าสินค้ายังคงมีคุณภาพดีได้นานสุดในวันที่ 6-7 เพียงเท่านั้นนับจากวันที่รับสินค้า โดยงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับสมบัติทางกายภาพและเคมี ประกอบด้วยค่าการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี (Hue angle) ค่าความแน่นเนื้อที่เปลือก (Peel Firmness) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 84.30 7.08 และ 25.17 ตามลำดับ โดยผลการศึกษาพบว่าคุณภาพของกล้วย

หอมทองจากการใช้แก๊สโอโซนที่ระดับความเข้มข้นอัตราส่วน 6 ต่อ 1 (T6:1) สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานสุดเป็นระยะเวลา 10 วัน คิดเป็นระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจำนวน 4 วันเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใส่แก๊สโอโซน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติแล้วคุณภาพของกล้วยหอมทองสดในวันที่ 10 ทั้งค่าการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี ค่าความแน่นเนื้อที่เปลือก และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเท่ากับ 84.10 6.90 และ 25.41 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยเชิงคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ

ในขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ใส่แก๊สโอโซน (T:C) และการใช้แก๊สโอโซนที่ระดับความเข้มข้นอัตราส่วนอื่น ๆ พบว่ามีสมบัติทางเคมีบางส่วนแตกต่างจากค่าเฉลี่ยเชิงคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ เช่น ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยสามารถเก็บรักษาได้ปกติเพียงแค่ 6 วัน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้แก๊สโอโซนที่ระดับความเข้มข้นอัตราส่วน 6 ต่อ 1 มีความเหมาะสมในการใช้ยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน โดยสามารถช่วยเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ยาวนานขึ้น และยังคงคุณภาพกล้วยหอมทองได้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเชิงคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ

จากผลการศึกษาทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถนำไปพัฒนากระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยหอมทองสด โดยใช้เทคโนโลยีการรมแก๊สโอโซนซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น และตลาดเกษตรอินทรีย์ในแถบประเทศทางยุโรป ซึ่งระบบห้องรมต้องมีการออกแบบทางระบบวิศวกรรม และหอบำบัด [13]-[14]

อย่างไรก็ดีการใช้ก๊าซโอโซนสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารต้องคำนึงถึงเกณฑ์มาตรฐานและความปลอดภัย ซึ่งกฎหมายกำหนดให้ใช้ในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ [15] นอกจากนี้หากใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมต้องมีระบบบำบัดก๊าซโอโซนเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งไม่ควรมีในอากาศเกิน 0.3 ppm ตามข้อมูลเอกสารความปลอดภัยสารเคมี (Material Safety Data Sheet, MSDS) [16]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการกับผลผลิตกล้วยหอมทองจากผลการศึกษาทดลองในวันที่ดีใกล้เคียงที่สุด

Treatment	Days of Storage (Extended)	Peel Color			Hue angle (h°)	Peel firmness (N)	TSS (° Brix)
		L*	a*	b*			
QCW	6	60.24±1.56	5.29±0.80	36.89±1.46	84.30 ^a	7.08±0.24 ^a	25.17±0.10 ^{aaa}
T:C	6	61.54±2.72	6.35±0.10	44.60±4.46	84.03 ^a	6.72±0.15 ^a	26.50±0.52 ^b
T2:1	6(+0)	59.40±3.92	6.66±0.74	43.33±2.42	84.01 ^a	7.09±0.10 ^a	24.58±0.51 ^c
T4:1	8(+2)	54.99±4.91	8.16±1.34	40.11±3.65	84.04 ^a	6.29±0.10 ^b	24.33±0.49 ^c
T6:1	10(+4)	49.55±1.03	9.19±0.86	34.96±6.80	84.10 ^a	6.90±0.07 ^a	25.41±0.51 ^a
T12:1	8(+2)	55.91±1.03	7.83±0.20	38.02±0.38	84.01 ^a	2.29±0.02 ^c	24.58±0.51 ^c

Mean followed by different lowercase superscript letters within rows are significantly different (P<0.05)

4. สรุป

จากผลการศึกษาพบว่าแก๊สโอโซนมีศักยภาพในการยับยั้งฮอร์โมนที่ไปกระตุ้นการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองสด ซึ่งสามารถช่วยชะลอการสุกและรักษาคุณภาพของกล้วยหอมทองได้ โดยผลการศึกษาพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่ 6 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานสุด 10 วัน โดยยังคงมีคุณภาพเทียบเท่ากับค่าเฉลี่ยเชิงคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ และจากคุณภาพปกติของกล้วยหอมทองสดที่ไม่ผ่านก๊าซโอโซน ซึ่งเก็บรักษาได้เพียง 6 วัน (ชุดควบคุม) คิดเป็นระยะเวลาที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เพิ่มขึ้น 4 วัน ดังนั้นกระบวนการดูแลหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest handling) โดยใช้

เทคโนโลยีการรมและระบบบำบัดแก๊สโอโซน (Ozone fumigation) จึงเป็นอีกทางเลือกที่นำมาใช้ในการรักษาคุณภาพกล้วยหอมทองสดในอนาคตเพื่อการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศหรือจำหน่ายในรูปแบบผลปืกล้วยในบรรจุภัณฑ์พลาสติกตามท้องตลาดภายในประเทศต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ Savannakhet University ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, เอกสารสถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2564. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565.
- [2] จรุงแท้ ศิริพานิช, สรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538.
- [3] M.Siddiq, J. Ahmed abd M. G. Lobo, Handbook of banana production, postharvest science, processing technology, and nutrition. Wiely & Sons, 2020.
- [4] A. K. Thompson, S. Supapvanich and J. Sirison, Banana ripening science and technology. Springer, 2019.
- [5] V. Prabha, R. D. Barma, R. Singh, and A. Madan, "Ozone technology in food processing: a review", Trends in Biosciences, vol.8, no.16, pp. 4031-4047, 2015.
- [6] Yang, S., "Biosynthesis of ethylene and its regulation," In: J. Friend and M.J.C. Rhodes (Editors). Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables., New York: Academic Press, pp. 89-106, 1981.

- [7] M. Domínguez and M. Vendrell., “Effect of ethylene treatment on ethylene production, EFE activity and ACC levels in peel and pulp of banana fruit,” *Postharvest Biology and Technology*, vol. 4, pp. 167–177, 1994.
- [8] A. A. Panou, K. Akrida-Demertzi, P. Demertzis, and K. A. Riganakos, “Effect of gaseous ozone and heat treatment on quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage,” *International Journal of Fruit Science*, vol. 21, no.1, pp. 218-231, 2021.
- [9] S. Cao, L. Meng, C. Ma, L. Ba, J. Lei, N. Ji and R. Wang, “Effect of ozone treatment on physicochemical parameters and ethylene biosynthesis inhibition in Guichang Kiwifruit,” *Food Science and Technology*, vol. 42, Mar., 2022.
- [10] R. Botondi, M. Barone, and C. Grasso, “A review into the effectiveness of ozone technology for improving the safety and preserving the quality of fresh-cut fruits and vegetables,” *Foods*, Vol. 10, no. 4, Apr., pp. 748, 2021.
- [11] D. Triardianto and N. Bintoro, “The Effect of Gaseous Ozone Exposure and Storage Room Temperatures on Ethylene Production, Peel Colour, and Total Soluble Solid Content of Banana Fruit (*Musa acuminata*) During Storage,” *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 828, no. 1, p. 012044, Jul. 2021.
- [12] Y. Xu, L. Jia, M. Ge, L. Du, G. Wang, and D. Wang, “A kinetic study of the reaction of ozone with ethylene in a smog chamber under atmospheric conditions,” *Chinese Science Bulletin*, vol. 51, no. 23, Dec., pp. 2839–2843, 2006.
- [13] สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ, จักรพงษ์ พิมพ์พิมล, ชนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร และจตุพงศ์ วาฤทธิ์, “สภาวะที่เหมาะสมของหอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบเปียกสำหรับกระบวนการมผลลำไยสด,” *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้*, ปีที่ 31, เล่มที่ 3, หน้า 72-84, 2557.
- [14] สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ, จักรพงษ์ พิมพ์พิมล, ชนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร และจตุพงศ์ วาฤทธิ์, “การพัฒนาหอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบหมุนเวียนการบำบัดกับสำหรับกระบวนการมผลลำไยสด,” *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, ปีที่ 46, เล่มที่ 1, หน้า 19-30, 2558.
- [15] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหรือฆ่าเชื้อที่ใช้กับอาหาร ฉบับที่ 412 พ.ศ. 2562, ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 136 ตอนพิเศษ 278 ง, หน้า 34-37, 2562.
- [16] National Fire Protection Association. Material Safety Data Sheet, Ozone, NFPA 704, 2014.