ผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อคุณภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษา กล้วยหอมทองในบรรจุภัณฑ์

Sitvilay Soutthixaiyalath

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2565

ผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อคุณภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษา กล้วยหอมทองในบรรจุภัณฑ์

Sitvilay Soutthixaiyalath

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อคุณภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษา
กล้วยหอมทองในบรรจุภัณฑ์

Sitvilay Soutthixaiyalath

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดฝน ทนงการกิจ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อคุณภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในบรรจุภัณฑ์

ชื่อผู้เขียน Mrs. Sitvilay Soutthixaiyalath

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองสดด้วยแก๊สโอโซนซึ่งมีความเข้มข้นของโอโซนแตกต่างกันเพื่อยับยั้งการสังเคราะห์เอทีลีน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน คือ การศึกษาพฤติกรรมการผลิตแก๊สเอทิลีนและอัตราการหายใจของกล้วยหอมทอง การศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนในภาชนะปิด การศึกษาอัตราในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน และการศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง โดยแบ่งตัวแปรที่ศึกษาออกเป็น 5 กรณี คือตัวอย่างควบคุม อัตราส่วนแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน 2:1, 4:1, 6:1 และ 12:1 ผลการศึกษาพบว่ากล้วยหอมทองมีการผลิตแก๊สเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 6 ของการทดลองโดยมีค่าเท่ากับ 5.58 μl/kg-hr นอกจากนั้นยังมีอัตราการหายใจโดยมีค่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยหอมทองปล่อยออกมาสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองโดยมีค่าเท่ากับ 20.38 mg/kg-hr ผลการศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนด้วยเครื่องโอโซน และเวลาที่เสื่อมสลายภายในภาชนะปิดสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อทำการควบคุมกระบวนรมแก๊สโอโซน จากผลการศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง พบว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นของแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน 6:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมและสามารถเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ยาวนานขึ้น 4 วัน เมื่อเทียบกับคุณภาพของกล้วยหอมทองตัวอย่างตามห้างสรรพสินค้าและตลาด

คำสำคัญ : กล้วยหอมทอง, การยืดอายุการเก็บรักษา, แก๊สโอโซน, แก๊สเอทิลีน

Title EFFECT OF GASEOUS OZONE ON QUALITY AND SHELF-LIFE EXTENSION OF BANANA IN PACKAGING

Author Mrs. Sitvilay Soutthixaiyalath

Degree Master of Engineering in Food Engineering

Advisory Committee Chairperson Associate Professor Dr. Somkiat Jaturonglumlert

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 4 parts, namely, the study of ethylene production and respiration rate behavior of Hom thong banana, the study of gaseous ozone concentration on closed container, the study of 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, 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 μl/kg-hr. In addition, respiration rate using the carbon dioxide production of the Hom thong Banana was found on days 4 with 20.38 mg/kg-hr. The study of gaseous ozone concentration the deterioration time inside the closed container can be applied to control the fumigation 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 quality according to the specified standards. Compared to the quality of the Hom thong banana from the local market.

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นผลงานที่ผู้วิจัยได้ทุ่มเทความตั้งใจ สติปัญญา กำลังกายและกำลังใจจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์คำแนะนำและความช่วยเหลือ จากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ ซึ่งเป็นประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งได้สละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้คำแนะนำ และคำปรึกษา ตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดีจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจึงขอขอบพระคุณไว้ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร ที่กรุณารับเป็นกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ ความรู้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ คณาจารย์ข้าราชการและเจ้าหน้าที่ของสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำดี ๆ เสมอ และที่ให้ความช่วยเหลือ เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ Keoudone Soutthixaiyalath ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม ส่งเสริมการศึกษา เป็นกำลังใจที่ดีให้การสนับสนุนทั้งในด้านการเรียนและการดำเนินชีวิต ให้คำปรึกษา จนทำให้ผู้จัดทำโครงงานประสบความสำเร็จในการเรียน

ท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านไม่มากก็น้อยต่อไป

Sitvilay Soutthixaiyalath

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 4

1.5 สถานที่ดำเนินงานโครงงาน 4

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 5

2.1 กล้วยหอมทอง (Hom Thong Banana) 5

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (Botanical characteristics) 5

2.1.2 การปลูก (Planting) 6

2.1.3 การเก็บเกี่ยว 6

2.1.4 การตลาดและขนส่ง (Marketing and transportation) 7

2.1.5 ภาพรวมธุรกิจกล้วยหอมทอง 8

2.1.6 ตลาดกล้วยหอมทองภายในประเทศไทย 9

2.1.7 ตลาดกล้วยหอมทองภายในประเทศญี่ปุ่น 10

2.1.8 กฎระเบียบและมาตรการนำเข้าของประทศญี่ปุ่น.....11
2.1.9 กฎหมาย JAS (Japan Agricultural Standard Law).....15
2.2 เอทิลีน (Ethylene : C_2H_4).....16
2.2.1 การสังเคราะห์เอทิลีน.....20
2.3 โอโซน (Ozone : O_3).....21
2.3.1 หลักการผลิตโอโซน.....22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....25
บทที่ 3 อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....28
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....28
3.2 การเตรียมวัตถุดิบ.....29
3.3 วิธีการดำเนินงาน.....30
3.3.1. การศึกษาพฤติกรรมการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง.....31
3.3.2 การศึกษาความเข้มข้นของโอโซน (Ozone concentration).....31
3.3.3 การศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน.....32
3.3.4 การศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง.....33
3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของกล้วยหอมทอง.....34
3.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพด้านสี.....34
3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส.....36
3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพด้านปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....37
3.4.4 การตรวจวัดค่าน้ำหนักที่สูญเสีย.....37
3.4.5 การวัดปริมาณแก๊ส.....38
3.4.6 การบันทึกภาพ.....38
3.5 สถานที่ดำเนินการวิจัย.....39

3.6 งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย 39
3.7 แผนภูมิการดำเนินงาน 40
3.8 ระยะเวลาดำเนินการ 41
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ 42
4.1 การศึกษาพฤติกรรมการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง 42
4.2 การศึกษาความเข้มข้นของโอโซน (Ozone concentration) 46
4.3 การศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซน (O_3) กับแก๊สเอทิลีน (C_2H_4) 49
4.4 การศึกษาผลของโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง 52
4.5 การทวนสอบการศึกษาผลของโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองในถุงพลาสติกเชิงการค้า กรณีศึกษาใส่ถุงพลาสติกแบบ Polyethylene (PE) 64
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 70
5.1 สรุปผลการศึกษา 70
5.2 ข้อเสนอแนะ 71
ภาคผนวก 72
ภาคผนวก ก ภาพขั้นตอนกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง 73
ภาคผนวก ข ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 79
ภาคผนวก ค บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 84
บรรณานุกรม 95
ประวัติผู้วิจัย 99

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงรหัสขนาดของกล้วยหอมทอง 8
ตารางที่ 2 กลุ่มของผักและผลไม้ที่ผลิตเอทิลีนในอัตราต่าง ๆ 17
ตารางที่ 3 การจำแนกผลไม้บางชนิดตามการหายใจ 18
ตารางที่ 4 ผลของเอทธิลีนต่อเนื้อเยื่อของพืชชนิดต่าง ๆ 20
ตารางที่ 5 ข้อมูลเฉพาะของโอโซน 22
ตารางที่ 6 สารออกซิไดซ์ชนิดต่าง ๆ และค่า Oxidation potential 22
ตารางที่ 7 ระดับความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่มีผลทางด้านสุขภาพ 24
ตารางที่ 8 อัตราการคายแก๊สเอทิลีนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมทอง 31
ตารางที่ 9 อัตราการผลิตแก๊สโอโซนของเครื่อง Ozone generator ในภาชนะปิด 32
ตารางที่ 10 อัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซน ในภาชนะปิด 32
ตารางที่ 11 การศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน 33
ตารางที่ 12 ตารางบันทึกค่าการทดลอง 34
ตารางที่ 13 พฤติกรรมการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง 2 ผลในกล่องปริมาตร 2.5 ลิตร 43
ตารางที่ 14 พฤติกรรมการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง 5 ผลในกล่องปริมาตร 5 ลิตร 43
ตารางที่ 15 อัตราการผลิตโอโซนของเครื่อง Ozone generator ในภาชนะปิด 47
ตารางที่ 16 อัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซน ในภาชนะปิด 48
ตารางที่ 17 การทดสอบเวลาที่แก๊สโอโซนทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีน 50
ตารางที่ 18 ข้อมูลตัวอย่างคุณภาพกล้วยหอมทอง 53
ตารางที่ 19 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองกรณีตัวอย่างควบคุม (Control) 54
ตารางที่ 20 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองรมแก๊สโอโซนในอัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อ 55

ตารางที่ 21 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองรมแก๊สโอโซนในอัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อ 56

ตารางที่ 22 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองรมแก๊สโอโซนในอัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อ 57

ตารางที่ 23 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองรมแก๊สโอโซนในอัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อ 58

ตารางที่ 24 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมตลอดกระบวนการทดลอง 59

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กระบวนการจัดการผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองหลังการเก็บเกี่ยว 3

ภาพที่ 2 กล้วยหอมทอง สายพันธุ์กราสมิเชล 6

ภาพที่ 3 กล้วยหอมทองหลังการเก็บเกี่ยว 7

ภาพที่ 4 การสังเคราะห์เอทิลีน 20

ภาพที่ 5 กล้วยหอมทองดิบ สายพันธุ์กรอสมิเชล 29

ภาพที่ 6 เครื่อง Ozone generator ขนาดห้องปฏิบัติการ 30

ภาพที่ 7 การติดตั้งชุดทดสอบการใช้รมแก๊สโอโซน 30

ภาพที่ 8 เครื่องวัดสี (ซ้าย) และการบรรยายสีในระบบ CIE Lab (ขวา) 34

ภาพที่ 9 แผนภาพของสีที่แสดงค่าเป็นค่า L*, Chroma และ Hue angle 35

ภาพที่ 10 CIELAB color chart 36

ภาพที่ 11 เครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT. plus 36

ภาพที่ 12 เครื่อง Hand refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น N-1$\propto$ 37

ภาพที่ 13 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลข ยี่ห้อ OHAUS รุ่น TR15RS 37

ภาพที่ 14 เครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เครื่องวัดแก๊สโอโซน (O_3) เครื่องวัดแก๊สเอทิลีน (C_2H_4) 38

ภาพที่ 15 สตูดิโอขนาดเล็กสำหรับถ่ายภาพ 38

ภาพที่ 16 แผนภูมิการดำเนินงาน 40

ภาพที่ 17 การวัดแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองดิบ (1) กล้วย 2 ผล ในกล่อง 2.5 L 42

ภาพที่ 18 อัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง 44

ภาพที่ 19 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจของกล้วยหอมทอง 45

ภาพที่ 20 ค่าเฉลี่ยของอัตราการคายแก๊สเอทิลีนและอัตราการหายใจของกล้วยหอมทอง 46

ภาพที่ 21 การผลิตแก๊สโอโซนและการเสื่อมสลายของเครื่อง Ozone generator ขนาด 400 mg/h 48

ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของแก๊สทั้ง 3 ชนิด หลังการทำปฏิกิริยา 51

ภาพที่ 23 แบบจำลองการทดลองการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซน กับแก๊สเอทิลีน 51

ภาพที่ 24 ตัวอย่างการรมกล้วยหอมทองโดยแก๊สโอโซน.....52

ภาพที่ 25 กล้วยตัวอย่างจากแหล่งที่มาต่าง ๆ (1) 7-Eleven (2) Rimping Supermarket.....53

ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle ระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง....61

ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง...62

ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหวานระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง.....63

ภาพที่ 29 น้ำหนักที่สูญเสียระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษา.....64

ภาพที่ 30 ผลของข้อมูลที่ศึกษาในถุงพลาสติกเชิงการค้าระหว่าง T:C และ T6:1.....65

ภาพที่ 31 การอธิบายผลความสามารถยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนจาการลดการกระตุ้นในการสร้างฮอร์โมนในกล้วยหอมทอง.....65

ภาพที่ 32 หลักการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนแบบทั่ว ๆ ไป.....66

ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle ระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก.....66

ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก.....67

ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก.....68

ภาพที่ 36 น้ำหนักที่สูญเสียระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก.....68

ภาพที่ 37 นำกล้วย 1 หวี แบ่งเป็น 5 ผล เพื่อใช้ทำการทดลอง.....74

ภาพที่ 38 นำกล้วย 5 ผล ไปล้างทำความสะอาด.....74

ภาพที่ 39 เช็ดกล้วย 5 ผล ให้แห้งด้วยผ้าสะอาด.....75

ภาพที่ 40 นำกล้วยทั้ง 5 ผลใส่กล่องปิดฝาให้สนิทรมแก๊สโอโซน หลังจากนั้นทิ้งให้แก๊สทำปฏิกิริยา 15 นาที แล้วเปิดฝาออก....75

ภาพที่ 41 การตรวจสอบคุณภาพ เริ่มจากการชั่งน้ำหนัก....76

ภาพที่ 42 การวัดค่าสี ทำการวัดผลกล้วยปืนจำนวน 10 ซ้ำ และทำการหาค่าเฉลี่ย....76

ภาพที่ 43 ทำการเซ็ตเครื่อง Texture Analyser การวัดความแน่นเนื้อโดยเลือกใช้หัวเข็ม ขนาด 2 mm และค่าความเครียดเป็น 50% แล้วนำกล้วยวางบนแท่นและทำการทดสอบ โดยจะทดสอบ 10 ซ้ำ....77

ภาพที่ 44 หั่นกล้วยและทำการบดเนื้อกล้วยให้ละเอียดและคั้นน้ำออกมา....77

ภาพที่ 45 ทำการอ่านค่า Brix....78

ภาพที่ 46 ทำการบันทึกค่า และหาค่าเฉลี่ยในโปรแกรม Microsoft excel....78

ภาพที่ 47 เครื่องผลิตแก๊สโอโซนกำลังการผลิต 400 mg/h....80

ภาพที่ 48 เซ็นเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)....80

ภาพที่ 49 เซ็นเซอร์วัดแก๊สโอโซน (O_3)....81

ภาพที่ 50 เซ็นเซอร์วัดแก๊สเอทิลีน (C_2H_4)....81

ภาพที่ 51 เครื่องชั่งน้ำหนัก....82

ภาพที่ 52 เครื่องวัดค่าสีแบบ CIE....82

ภาพที่ 53 เครื่อง Texture Analyser....83

ภาพที่ 54 เครื่อง Hand refractometer....83

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีหลายสายพันธุ์ในสกุล (Musa) ของตระกูล (*Musasaceas*) โดยส่วนมากนิยมปลูกสายพันธุ์ (*Musa*) เพราะว่าสายพันธุ์นี้มีความนิยมสืบทอดกันมา และเป็นที่รู้จักกันดีกับสายพันธุ์ *Musa accuminata* จีโนม A (A Genome) และ *Musa balbisiana* จีโนม B (B Genome) ประเภทพื้นฐานของกลุ่มจีโนม *Musa accuminata* จีโนม A (A Genome, 2n=22) และ *Musa balbisiana* จีโนม B (B Genome, 2n=22) กล้วยหอมทอง (Homthong banana) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า (*Musa acuminate*) AAA Group, Cultivar “Hom Thong” กล้วยหอมเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ที่อุดมไปด้วยใยอาหาร วิตามินที่ช่วยในระบบขับถ่าย กล้วยมีสารแทนนินช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ *Escherichia coli* และ สามารถปลูกได้ทั่วทุกภูมิภาค และมีการส่งออกไปขายที่ต่างประเทศ ปัจจุบันการส่งออกกล้วยหอมทองนั้น อยู่ในรูปผลสดและการแปรรูป โดยในปี พ.ศ. 2555-2561 ประเทศไทยมีการส่งออกกล้วยสดเป็นจำนวนมากสูงถึง 24.182 28.499 และ 37.914 ตัน คิดเป็นมูลค่า 329. 466 และ 725 ล้านบาท ตามลำดับ (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2555) ตลาดส่งออกกล้วยหอมทองที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น ฮ่องกง จีน มาเลเซีย และสหภาพยุโรป การส่งออกกล้วยหอมทองทั้งในประเทศ และต่างประเทศมีข้อจำกัด คือ อายุการเก็บรักษาสั้น กล้วยจัดเป็นผลไม้ประเภท Climacteric fruit ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพค่อนข้างเร็วหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะในช่วงระยะการสุกผลกล้วยจะมีอัตราการหายใจ การผลิตแก๊สเอทิลีนเพิ่มมากและเร็วขึ้น มันจะส่งผลทำให้เกิดการเร่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสรีรวิทยาต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสี รสชาติ ตลอดจนเนื้อสัมผัส ซึ่งจะนำไปสู่การเสื่อมสภาพ และเกิดการสูญเสีย (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ดังนั้นการศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการชะลอการสุกของผลกล้วยหอมทองมีความสำคัญต่อคุณภาพ และอายุการเก็บรักษา โดยวิธีการชะลอการสุกของผลไม้ สามารใช้สาร -1เมทิลไซโคลโพรพีน (-1methylcyclo-propene, -1MCP) (Rocklin et al., 2004; ชัยยรัตน์, 2562) จากการศึกษา (Dominguez and Vendrell, 1994) ยังเปิดเผยว่า -1MCP MBs เป็นวิธีที่งายและรวดเร็วในการระงับการสุกของผลกล้วย เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำให้สุกมากกว่าการรมควันแบบทั่วไป สารที่นำมาใช้ในการลดการทำงานของเอทิลีน ลดการเสื่อมสภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น กล้วย มะม่วง กล้วยไม้ การใช้สารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) (จริงแท้ และดารณี, 2539)บรรจุใส่ซองขนาดเล็ก นำมาวางไว้ในข้างบรรจุภัณฑ์ จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษา แต่เนื่องจาก $KMnO_4$ มีลักษณะออกซิไดซ์ได้ง่าย จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสอาหารโดยตรง และถ่านกัม

มันต์ (Activated Carbon, AC) มีสมบัติเฉพาะตัวเช่นมีรูพรุน และพื้นที่ผิวภายในจำนวนมาก จึงเป็นตัวดูดซับที่ดีสามารถดูดซับกลิ่นไอน้ำและแก๊ส ต่าง ๆ (Buchanan et al., 2015) รวมถึงแก๊สเอทิลีน ยังมีหลายบริษัทในไทยที่พบปัญหาในเรื่องการเก็บรักษากล้วยหอมทองระหว่างการขนส่งไปต่างประเทศ การขนส่งภายในประเทศยังมีปัญหาระหว่างการขนส่งกล้วยที่เป็นต้นจากสวนไปหาโรงงานตัดแต่ง และส่งไปวางขายตามตลาด และร้านสะดวกซื้อ ทำให้พบปัญหาเรื่องระยะเวลาในการวางขายกล้วยที่สั้น เพียงแต่ 4-5 วันเท่านั้น เมื่อถึงมือผู้บริโภค กล้วยพร้อมทาน แต่ไม่สามารถเก็บรักษาไว้ต่อได้ เพาะไม่กี่วันกล้วยก็จะเกิดการสูญเสีย และก็จะเน่า ขั้นตอนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยหอมทองสามารถแบ่งได้ออกเป็น 8 ขั้นตอนดังต่อไปนี้เริ่มต้นจาก การ เก็บเกี่ยวผลิตผล (Harvest) ขั้นต่อมาคือการขนส่งผลิตผลไปยังโรงคัดบรรจุ (Transport to packing house) ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตผล (Sorting) หลังจากนั้นจึงทำการตัดแต่งกล้วยและทำความสะอาดผลิตผล (Cut bunches/Cleaning) เมื่อทำความสะอาดแล้ว นำกล้วยไปผึ่งลมให้แห้ง เมื่อแห้งแล้วนำผลิตผลไปบ่ม (Curing) โดยการใช้ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ประมาณหนึ่งคืน หลังจากนั้นนำผลิตผลออกมาทำการบรรจุภัณฑ์ (Packing) เพื่อเตรียมขนส่ง ผลิตผลโดยใช้รถยนต์ (Transport) เพื่อไปสู่ตลาดและวางจำหน่าย (Panou et al., 2021; จิตตา และคณะ, 2563) ดังภาพที่ 1 (Wholesale Market / Retail Market) บริษัท โอเทนโต (ประเทศไทย) จำกัด ได้ก่อตั้งในปี พ.ศ. 2550 ซึ่งมีนายเคนจิ มาซากิ ประธานกรรมการและเป็นบริษัทในเครือของวาโกกรุ๊ป (Wago group) โอเทนโต ร่วมมือกับเกษตรกรผู้ผลิตกล้วยในสหกรณ์การเกษตรท่ายาง จำกัด เพื่อพัฒนาและจำหน่ายกล้วยหอมทองพันธุ์กรอสมิเชล ซึ่งกล้วยพันธุ์กรอสมิเชลนั้นเคยถูกนำมาปลูกกันอย่างแพร่หลายมาแล้วทั่วโลก แต่ปัจจุบันกลายเป็นพันธุ์ที่หายากเนื่องจากเกิด “โรคตายพราย” หรือเรียกว่าโรคปานามาที่เกิดขึ้นในอเมริกาใต้ในปี พ.ศ. 2493 ปัจจุบันกล้วยที่ประเทศต่าง ๆ นิยมนำมาปลูกจะเป็นกล้วยหอมพันธุ์คาเวนดิช ในทางกลับกันเกษตรกรไทย ยังคงนิยมปลูกกล้วยหอมพันธุ์กรอสมิเชล โดยมีศูนย์กลางการปลูกกล้วยหอมคุณภาพสูงและมีกลิ่นหอมอยู่ที่ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี การปลูกกล้วยเพื่อการส่งออก จะปลูกโดยปลอดยาฆ่าแมลงและปลอดสารเคมีเพื่อส่งมอบให้กับลูกค้าชาวญี่ปุ่น ซึ่งเป็นลูกค้าหลักก็คือร้านค้าส่ง, ร้านค้าปลีก (CVS), กลุ่มธุรกิจร้านอาหาร, โรงแรม นอกจากนี้บริษัท โอเทนโต จำกัด ยังส่งกล้วยขายในเซเว่น และซุปเปอร์มาร์เก็ต

ภาพที่ 1 กระบวนการจัดการผลิตภัณฑ์กล้วยหองทองหลังการเก็บเกี่ยว

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้ประโยชน์จากแก๊สโอโซน เพื่อยับยั้งฮอร์โมนเอทิลีนที่กล้วยหอมทองปล่อยออกมา ซึ่งแก๊สโอโซนเป็นแก๊สเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถสูญสลายได้ตามธรรมชาติ และไม่ทิ้งสารพิษตกค้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของแก๊สโอโซนในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในบรรจุภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการรมแก๊สโอโซนในการควบคุมการผลิตแก๊สเอทิลีน และการหายใจของกล้วยหอมทอง
2. เพื่อศึกษาผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อคุณภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบระยะเวลา และความเข้มข้นที่เหมาะสมของแก๊สโอโซนในการควบคุมการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองสด
2. เพื่อทราบผลของแก๊สโอโซนสามารถช่วยชะลอการสุกของกล้วยหอมทองได้จริง

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ในการศึกษาใช้กล้วยสายพันธุ์กรอสมิเชล *Musa acuminata* (AAA Group), cultivar ‘Hom Thong’ จากแหล่งผลิตเดียวกันที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่
2. ใช้เครื่องผลิตแก๊สโอโซนขนาด 400 mg/h
3. เลือกใช้บรรจุภัณฑ์เป็นถุงพลาสติกแบบ Polyethylene (PE)

1.5 สถานที่ดำเนินงานโครงงาน

ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร อาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 กล้วยหอมทอง (Hom Thong Banana)

กล้วยหอมทอง (Hom Thong Banana) สายพันธุ์กรอสมิเชล (Gros Michel) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa acuminata* (AAA Group), cultivar 'Hom Thong' กล้วยหอมเป็นไม้ล้มลุกชนิดหนึ่ง เป็นผลไม้ที่นิยมรับประทานเป็นอย่างมากทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ เนื่องจากมีเนื้อนุ่มเหนียว และมีกลิ่นหอมแรงกว่ากล้วยอื่น ๆ จึงทำให้นิยมปลูกและส่งออกไปยังต่างประเทศจำนวนมากในแต่ละปี โดยมีตลาดหลักที่ประเทศทางยุโรป และอเมริกา มีอยู่หลากหลายสายพันธุ์ เช่น กล้วยหอมจันท์ กล้วยหอมทอง กล้วยหอมเขียว จัดเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารครบถ้วนตามหลักทางโภชนาการ ประกอบไปด้วยวิตามิน ไฟเบอร์ ที่มีส่วนช่วยในเรื่องของการขับถ่าย มีสารแทนนินซึ่งมีส่วนช่วยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีชื่อว่า *Escherichia coli* ที่ทำให้เกิดอาการท้องร่วงได้ เป็นต้น ซึ่งกล้วยหอมได้ถูกจัดว่าเป็นผลไม้ของเขตเมืองร้อน สามารถปลูกได้เกือบทุกประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้นหลายแห่ง สำหรับประเทศไทยสามารถปลูกกล้วยหอมได้ทั่วทุกภาค คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอมทองปริมาณ 100 กรัม (ประมาณ 1 ลูกขนาดกลาง) ให้พลังงานทั้งหมด 132 กิโลแคลอรี่ มีน้ำอยู่ 66.3 กรัมโปรตีน 0.9 กรัมไขมัน 0.2 กรัมคาร์โบไฮเดรต 31.7 กรัม ไฟเบอร์ 1.9 กรัม แคลเซียม 26 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส 46 มิลลิกรัมเหล็ก 0.8 มิลลิกรัม เบต้า-แคโรทีน 99 ไมโครกรัม วิตามินเอ 17 ไมโครกรัม วิตามินบีหนึ่ง (ไทอะมีน) 0.04 มิลลิกรัมวิตามินบีสอง (ไรโบฟลาวิน) 0.07 มิลลิกรัม ไนอะซีน 0.1 มิลลิกรัม และวิตามินซี 27 มิลลิกรัม กล้วยหอมทองจึงมีประโยชน์และสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ (Siddiq et al., 2020; จริงแท้, 2538)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (Botanical characteristics)

กล้วยหอมทอง เป็นสายพันธุ์ที่มาจากกล้วยป่า ความสูงของลำต้นมีประมาณ 2.5-3.5 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นจะมีมากกว่า 15 เซนติเมตรขึ้นไป ลำต้นภายนอกจะมีกาบเป็นรอยประสีดำเล็กน้อยส่วนภายในจะเป็นสีเขียว ลักษณะใบยาวมีเส้นกลางใบเป็นสีเขียว ลำต้นด้านในสีเขียวอ่อน และมีเส้นลายสีชมพู ใบกล้วยหอมทองเป็นใบเดี่ยว เป็นแบบขนาน มีก้านใบที่มีร่องค่อนข้างกว้าง และ เส้นกลางใบมีสีเขียว ใบยาวประมาร 3 เมตร ดอกหรือปลีจะแทงออกจากตรงกลางปลายยอดของต้นกล้วย เมื่อแทงออกช่วงแรกจะตั้งตรง และค่อย ๆ โค้งงอลงด้านล่าง ก้านเครือมีขนอ่อนปกคลุม ปลีมีรูปไข่ ค่อนข้างแหลมยาว และมีปลายแหลม มีเปลือกหุ้มด้านนอกสีแดงอมม่วง ด้านในสีแดงซีด ปลีกล้วยหอมทองมีความยาวประมาณ 1-1.5 เมตร และมีขนอ่อน ๆ ปกคลุมอยู่ มีลักษณะเป็นเครือยาวแยกออกเป็นหวี ๆ ในเครือหนึ่งจะมีอยู่ ประมาณ 4-6 หวี และในหวีหนึ่ง ๆ จะมีผลอยู่ประมาณ 12-16 ผล เปลือกผลหนา ผลอ่อนอยู่จะมีเปลือกสีเขียว และจะกลายเป็นสีเหลืองทองเมื่อ

สุกภายในผลจะมีเนื้อที่ละเอียดเป็นสีครีม สี เหลือง หรือสีส้มอ่อน ๆ ดังภาพที่ 2 มีกลิ่นหอม รสหวาน ไม่มีเมล็ด ความกว้างของผลมีประมาณ 3-4 เซนติเมตร ยาวประมาณ 18-25 เซนติเมตร (สังคม, 2564)

ภาพที่ 2 กล้วยหอมทอง สายพันธุ์กราสมิเชล

ที่มา : (กล้วยหอมทอง สวนคุณดาวชมพู จังหวัดสกลนคร, 2563)

2.1.2 การปลูก (Planting)

การปลูกกล้วยหอม จะใช้ระยะปลูก 2×2 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ ปลูกได้ 350-400 หน่อ หน่อที่นำมาปลูกต้องเป็นหน่อจากต้นที่มีอายุ 1 ปีขึ้นไป จึงจะเป็นหน่อที่สมบูรณ์ ขุดหลุมปลูกให้มีความกว้างประมาณ 30 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ลึกประมาณ 30 เซนติเมตร โดยเว้นระยะห่างของการปลูกในแต่ละต้นประมาณ 3 เมตร จากนั้นวางหน่อลงปลูกกลางหลุม ใส่ดินลงไปประมาณครึ่งหลุมแล้วกลบให้แน่น เพื่อป้องกันการโยกของต้นกล้วย ส่วนดินที่เหลือให้ใส่จนเต็มหลุม โดยไม่ต้องกดให้แน่นมากนัก แล้วคลุมบริเวณโคนต้นเพื่อรักษาความชื้นด้วยเศษพืช การให้ปุ๋ยจะให้ครั้งแรกช่วงรองพื้นก่อนปลูกครั้งหนึ่ง โดยให้เป็นปุ๋ยคอกคลุกเคล้ากับดินบริเวณปลูก เมื่อกล้วยอายุ 1 เดือน เริ่มให้ปุ๋ย 15-15-15 ในอัตรา 100-150 กรัม ต่อต้น เมื่อต้นอายุ 3-4 เดือน ให้สูตร 15-15-15 ในอัตรา 200-300 กรัม ต่อต้น อายุ 5 เดือน ให้ปุ๋ยสูตร 20-15-20 ในอัตรา 200-300 กรัม ต่อต้น (ศิริพร, 2551)

2.1.3 การเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวจะเริ่มเมื่อกล้วยหอมมีความแก่ประมาณ 70% หรือประมาณ 240 วัน ดูจากรูปร่างผลยังเป็นสีเขียวเข้มและยังมีเหลี่ยมอยู่ กล้วยหวีสุดท้ายเริ่มกลม โดยจะต้องมีขนาด และน้ำหนักมากกว่า 110-120 กรัมต่อลูก หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจะทำการแบ่งเครือกล้วยออกเป็นหวี คัดแยกกล้วยที่ได้ตามขนาดและมีความสมบูรณ์ หลังจากนั้นจะตัดเกสร ล้างทำความสะอาด ตัดครึ่งหวี กล้วยแช่น้ำ 5 นาที เพื่อล้างยางกล้วย ทำให้กล้วยแห้ง ชั่งน้ำหนัก ติดสติกเกอร์หมายเลขระบุที่มาของ

กล้วยหอมทอง รองด้วยวัสดุกันกระแทกในกล่องก่อนบรรจุกล้วย และกล้วยในกล่องสูงไม่เกิน 2 เซนติเมตรจากขอบกล่อง บรรจุกล้วยลงในกล่อง กล่องละ 13-13.6 กิโลกรัม ห่อกล้วยภายในกล่องด้วยถุงพลาสติกดูดอากาศออกมัดปากถุงให้แน่นจากนั้นขนเข้าห้องเย็นที่อุณหภูมิ 13-16 องศาเซลเซียส เรียงกล่องซ้อนกันไม่เกิน 10 กล่อง ให้มีช่องว่างระบายอากาศ ทิ้งไว้ในห้องเย็นอย่างน้อย 18 ชั่วโมง จึงพร้อมสำหรับการขนส่งไปยังประเทศญี่ปุ่น โดยจะส่งครั้งละ 1 ตู้คอนเทรนเนอร์หรือหนักประมาณ 3-5 ตันต่อการส่งแต่ละครั้ง โดยคิดเป็นจำนวนต้นกล้วยประมาณ 5,000-10,000 หน่อหรือประมาณ 15-25 ไร่ (350-400 หน่อต่อไร่) (จริงแท้, 2549; วรางคณา และทวีศักดิ์, 2565) ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 กล้วยหอมทองหลังการเก็บเกี่ยว

ที่มา : (สุวิทย์, 2558)

2.1.4 การตลาดและขนส่ง (Marketing and transportation)

กล้วยหอมทองเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งออกโดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นที่มีความต้องการสูงด้วยคุณลักษณะของกล้วยหอมทองพันธุ์แท้ที่มีน้ำหนัก และลักษณะของกล้วยแต่ละลูกที่เรียงตัวกันอยู่ในหวีอย่างสวยงาม สีสวย ผลมีความสมบูรณ์ รสชาติดี มีกลิ่นหอม อีกทั้งผลผลิตมีความปลอดภัยไร้สารเคมี และสารพิษตกค้าง และปนเปื้อนทำให้กล้วยหอมทองของไทยได้รับความนิยม และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะตลาดประเทศญี่ปุ่นมีแนวโน้มต้องการกล้วยหอมทองเพิ่มสูงขึ้น ผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจของกล้วยหอมทองที่เกษตรกรได้รับสูงขึ้นตามภาวะเศรษฐกิจ และความต้องการของตลาดภายในและต่างประเทศ จึงทำให้มีแนวโน้มความต้องการปลูกและนำผลผลิตสู่ตลาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2555; กรมวิชาการเกษตร, 2555) จากข้อมูลของสำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบุรีพบว่าพื้นที่ปลูกกล้วยหอมทองเพิ่มขึ้นจากจำนวน 2,149 ไร่ และผลผลิต 480 ตัน ในปี พ.ศ. 2544 เป็น

3,490 ไร่ และ 3,450 ตัน ในปี พ.ศ. 2550 หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจะทำการแบ่งเครือกล้วยออกเป็นหวี คัดแยกกล้วยที่ได้ตามขนาด และมีความสมบูรณ์ หลังจากนั้นจะตัดเกสร ล้างทำความสะอาด ตัดครึ่งหวีกล้วยแช่น้ำ 5 นาทีเพื่อล้างยางกล้วย เป่าลมตาม ระหว่างลูกเพื่อกำจัดแมลง และทำให้กล้วยแห้ง ชั่งน้ำหนัก ติดสติกเกอร์หมายเลขระบุที่มาของกล้วยหอมทอง รองด้วยวัสดุกันกระแทกในกล่องก่อนบรรจุกล้วย และกล้วยในกล่องสูงไม่เกิน 2 เซนติเมตรจากขอบกล่อง บรรจุกล่องละ 13-13.6 กิโลกรัม ห่อกล้วยภายในกล่องด้วยถุงพลาสติก ดูดอากาศออกมัดปากถุงให้แน่นจากนั้นขนเข้าห้องเย็นที่อุณหภูมิ 13-16 องศาเซลเซียส เรียงกล่องซ้อนกันไม่เกิน 10 กล่อง ให้มีช่องว่างระบายอากาศทิ้งไว้ในห้องเย็นอย่างน้อย 18 ชั่วโมง จึงพร้อมสำหรับการขนส่งไปยังประเทศญี่ปุ่น โดยจะส่งครั้งละ 1 ตู้คอนเทรนเนอร์หรือหนักประมาณ 3-5 ตันต่อการส่งแต่ละครั้ง โดยคิดเป็นจำนวนต้นกล้วยประมาณ 5,000-10,000 หน่อ หรือประมาณ 15-25 ไร่ ข้อกำหนดเรื่องขนาดของกล้วยหอมทอง จะพิจารณาตามน้ำหนักผล หรือความยาวผล หรือเส้นผ่านศูนย์กลางผลอย่างใดอย่างหนึ่ง (ภูมิพงษ์ และคณะ, 2563) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรหัสขนาดของกล้วยหอมทอง

รหัสขนาด	น้ำหนักผล (กรัม)	ความยาวผล (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางผล (เซนติเมตร)
1	>230	>24	>4.6
2	>200-230	>22-24	>4.3-4.6
3	>170-200	>20-22	>4.0-4.3
4	>140-170	>18-20	>3.6-4.0
5	>110-140	>16-18	>3.3-3.6
6	>80-110	>14-16	>3.0-3.3
7	70-80	12-14	2.8-3.0

ที่มา : (กรมวิชาการเกษตร, 2555)

2.1.5 ภาพรวมธุรกิจกล้วยหอมทอง

การปลูกกล้วยหอมทองในประเทศไทยนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพทั้งการผลิตเพื่อการจำหน่ายภายในประเทศและเพื่อการส่งออก เนื่องจากราคาจำหน่ายนั้น เป็นราคาที่ทั้งชาวสวนและผู้บริโภคยอมรับ จากการประมาณการณ์ต้นทุนการผลิตไว้ที่ 22,000-25,000 บาทต่อไร่ 1 ไร่ จะปลูกกล้วยได้ 350-400 ตัน น้ำหนักกล้วยต่อเครือ 10-15 กิโลกรัม ราคารับซื้อ 15 บาทต่อกิโลกรัม จะมี

รายได้ เครือละ 180-200 บาท รายได้ต่อไร่จะอยู่ที่ 50,000-60,000 บาท จึงมีเกษตรกรให้ความสนใจในการขยายพื้นที่ปลูกกันมาก พื้นที่เพาะปลูกกล้วยหอมทองที่มากกว่า 10,000 ไร่ จะกระจายอยู่ทุกภาคของประเทศไทย จากการสำรวจแหล่งปลูกกล้วยเพื่อการส่งออกพบว่าในจังหวัดชุมพรและจังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่ปลูกกล้วยมากที่สุด เป็น 2 อันดับแรก เพราะเป็นจังหวัดที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ มีการระบายน้ำที่ดี สภาพดินมีความเป็นกรดเป็นด่างพอเหมาะ สภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ปริมาณฝนตกเฉลี่ย 20-22 เซนติเมตรต่อเดือน ซึ่งเหมาะแก่การปลูกกล้วย (จริงแท้, 2549)

โดยจากการศึกษาของ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการปลูกกล้วยหอมทองในปีปัจจุบันของทั้งประเทศ คือ ราคากล้วยหอมที่เกษตรกรได้รับในปีที่ผ่านมา พื้นที่ปลูกกล้วยหอมในปีที่ผ่านมา และปริมาณน้ำฝนในปีปัจจุบัน ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นรายภาคแล้วพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบดังกล่าวพบได้ในพื้นที่ภาคกลาง และภาคเหนือ แต่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัจจัยที่มีผลกระทบได้แก่ ราคากล้วยหอมในปีที่ผ่านมา และพื้นที่ปลูกกล้วยหอมในปีที่ผ่านมา ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบของภาคใต้ขึ้นอยู่กับราคากล้วยหอมปีที่ผ่านมา ปริมาณน้ำฝนและค่าจ้างแรงงาน ในปัจจุบันโดยมีค่าความยืดหยุ่นของพื้นที่เพาะปลูกกล้วยหอมต่อราคากล้วยหอมในปีที่ผ่านมาของภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และทั้งประเทศเท่ากับ 0.353, 0.633, 0.045 และ 0.074 ตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจบริโภคกล้วยหอมทองจีเอพีที่มีระดับความสำคัญมาก ได้แก่ การมีตรารับรองความปลอดภัย (เครื่องหมาย Q) ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม (ลดการใช้สารเคมี) ความสด น่ารับประทาน คำแนะนำจากผู้ขาย ความมั่นใจในแหล่งผลิต ขนาดของผลเหมาะสมกับความต้องการซื้อ จำนวนผลเหมาะสมกับความต้องการซื้อ ความสะดวกในการซื้อ ราคาที่เหมาะสม และสถานที่จำหน่ายน่าเชื่อถือ ตามลำดับ ขณะที่ปัจจัยเรื่องรอยตำหนิบนผิว และการโฆษณาทางสื่อต่าง ๆ ไม่ใช่ปัจจัยหลัก และจากการศึกษายังชี้ให้เห็นว่า ผลผลิตกล้วยหอมทองที่มีการระบุถึงความปลอดภัยนั้นทำให้เกิดความ แตกต่างในการตัดสินใจของผู้บริโภค การส่งเสริมการผลิตระบบจีเอพีจะเพิ่มปริมาณผลผลิตที่ได้ คุณภาพไปสู่กลุ่มผู้บริโภคได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

2.1.6 ตลาดกล้วยหอมทองภายในประเทศไทย

จากความนิยมรักสุขภาพที่กำลังมาและการขายปลีกกล้วยหอมทองลูกเดียวผ่าน ช่องทางโมเดิร์นเทรดและร้านสะดวกซื้อต่าง ๆ ซึ่งเหมาะกับพฤติกรรมคนเมืองที่ต้องการความ สะดวกสบาย ส่งผลให้ประมาณความต้องการกล้วยหอมทองจากปี 2556 ที่เริ่มทดลองตลาดที่ 900 ลูกต่อวัน ภายในปี 2558 ปริมาณความต้องการกล้วยหอมทองบรรจุถุงลูกเดียวผ่านช่องทางร้าน สะดวกซื้อมียอดขายถึง 1 แสนลูกต่อวัน และยังเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผล ให้ราคาขายกล้วยหอมทองภายในประเทศปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.1.7 ตลาดกล้วยหอมทองภายในประเทศญี่ปุ่น

กล้วยหอม เป็นผลไม้ที่มีการบริโภคสูงที่สุดเป็นอันดับหนึ่งในญี่ปุ่น โดยข้อมูลจากศุลกากรญี่ปุ่น คนญี่ปุ่นมีการบริโภคกล้วยหอมทองปีละกว่า 1,000,000 ตัน องค์กร Japan Banana Importer Association (JBIA) ในประเทศญี่ปุ่นคาดการณ์ว่าการบริโภคกล้วยในญี่ปุ่นมีแนวโน้มจะขยายตัวต่อไป เนื่องจากปัจจุบันการรับประทานกล้วยโดยเฉลี่ยของคนญี่ปุ่นอยู่ที่คนละ 7.7 กิโลกรัมต่อปี ต่ำกว่าอัตราการบริโภคกล้วยในประเทศอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีการรับประทานกล้วยโดยเฉลี่ยคนละ 10 กิโลกรัมต่อปี โดยสมาคมได้มีความพยายามเพิ่มอัตราการบริโภคกล้วยของคนญี่ปุ่น โดยรณรงค์ให้กล้วยเป็น “ผลไม้มหัศจรรย์” (Miracle fruit) โดยอ้างอิงรายงานผลการวิจัยของนักโภชนาการสนับสนุนข้อดีของการรับประทานกล้วยว่า สามารถเพิ่มภูมิคุ้มกันโรค ลดอาการติดเชื้อและลดสารก่อมะเร็ง ลดความดันโลหิต รักษาระดับน้ำตาลในเลือด และไม่เพิ่มไขมันในเลือด สื่อมวลชนต่าง ๆ ต่างสนับสนุนการรับประทานกล้วยทั้งทางโทรทัศน์ หนังสือพิมพ์และนิตยสารต่าง ๆ ช่วยให้ประชาชนเห็นว่ากล้วยเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่สามารถรับประทานได้ทุกวัยตั้งแต่ทารกถึงผู้สูงอายุ และยังให้นักกีฬาที่มีชื่อเสียง เช่น นักเทนนิส นักกอล์ฟ และอื่น ๆ รับประทานอาหารว่างที่ทำจากกล้วยระหว่างพักครึ่งเวลาของการแข่งขันช่วยสนับสนุนให้ผู้ที่รักกีฬาและการออกกาลังกายตระหนักถึงภาพพจน์ ทางโภชนาการของผลไม้มากขึ้น กล้วยที่ญี่ปุ่นนิยมบริโภคกันมากที่สุดคือ กล้วยหอม เป็นผลมาจากในประเทศญี่ปุ่น “อะสะบานาน่า ไดเอ็ท” เป็นโปรแกรมลดน้ำหนักที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในหมู่สาว ๆ โดยกล้วยหอมเป็นเมนูหลักของโปรแกรมลดน้ำหนักนี้ กล้วยหอมจึงเป็นกล้วยที่ญี่ปุ่นนิยมบริโภคกันมาก โดยส่วนใหญ่จะเป็นการนำเข้ากล้วยจากฟิลิปปินส์ผ่านเครื่องหมายการค้า Dole, Del Monte และ Chiquita เนื่องจากมีความได้เปรียบในการขนส่งและได้รับการสนับสนุนการวิจัยพันธุ์ที่เหมาะสมกับรสนิยมของคนญี่ปุ่น เช่น “Super sweet” และ “Premium one” ในปี 2010 ฟิลิปปินส์ได้ส่วนแบ่งตลาดในญี่ปุ่นถึงร้อยละ 93 และปัจจุบันในช่วงมกราคม – กันยายน 2015 ญี่ปุ่นมีการนำเข้ากล้วยหอมทอง 725,069.903 ตัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี 2014 ร้อยละ 0.44 คิดเป็นมูลค่า 637.67 ล้านเหรียญสหรัฐฯ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.16 โดยนำเข้าจากฟิลิปปินส์มากอันดับ 1 และคิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 86.42 ของตลาดทั้งหมด นำเข้าจากเอกวาดอร์ (ร้อยละ 9.64) มูลค่า 61.47 ล้านเหรียญสหรัฐฯ เพิ่มขึ้นร้อยละ 86.58 นำเข้าจากกัวเตมาลา (ร้อยละ 0.79) มูลค่า 5.02 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ลดลงร้อยละ 19.29 แต่นำเข้าจากไทยอยู่อันดับที่ 9 (ร้อยละ 0.24) ช่วงมกราคม–กันยายน 2010 นำเข้าปริมาณ 1,408.508 ตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 52.72 คิดเป็นมูลค่า 1.51 ล้านเหรียญสหรัฐฯ (1.07 เหรียญสหรัฐฯต่อกิโลกรัม) เพิ่มขึ้นร้อยละ 32.05 โดยสูงกว่าราคานำเข้าเฉลี่ยทั่วโลกในช่วงมกราคม–กันยายน 2015 ที่ 0.88 เหรียญสหรัฐฯ ต่อกิโลกรัม แต่ก็ถือได้ว่าเป็นราคานำเข้าประเทศญี่ปุ่นที่ปรับตัวลดลงมาต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2013 และ 2014 อยู่ที่ 1.38 และ 1.24 เหรียญสหรัฐฯต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

กล้วยหอมทองพันธุ์ที่ได้รับความนิยมสูงสุดในญี่ปุ่น แบ่งเป็น 2 ชนิดได้แก่

1. กล้วยหอมที่นิยมรับประทานสด คือ Giant-cavendish, Senorita (Monkey bananas), Morado, Latundan

2. กล้วยหอม (Plantain)ที่นิยมนำไปปรุงอาหาร คือ Tindok, Cardava, Lingkit

จากการสำรวจพบว่าชาวญี่ปุ่นนิยมซื้อผลไม้จากร้านสะดวกซื้อ (Convenience store) มากกว่าซุปเปอร์มาร์เก็ต และห้างสรรพสินค้า รวมถึงการซื้อผลไม้ออนไลน์ยังเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้น จะสามารถแบ่งกลุ่มผู้บริโภคในตลาดผลไม้ของญี่ปุ่นเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มคนรุ่นใหม่ที่ทำงานนอกบ้านและพักอาศัยอยู่เพียงลำพังกับกลุ่มผู้สูงอายุที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง

จากการศึกษาเพิ่มเติมยังพบว่าไทยยังเสียเปรียบฟิลิปปินส์ และไต้หวัน เนื่องจากมีราคาสูงกว่า แต่จากการที่ไทยมีความคุ้นเคยกับตลาดญี่ปุ่นเป็นอย่างดี จึงทำให้ไทยสามารถทำการค้ากับญี่ปุ่นได้ง่ายกว่าประเทศอื่น ๆ ดังนั้นการลดราคาต้นทุนให้ต่ำลง รวมถึงระบบการขนส่งที่มีประสิทธิภาพและการประชาสัมพันธ์ให้ผู้บริโภคญี่ปุ่นได้ทราบถึงความพิเศษหรือเอกลักษณ์ของกล้วยหอมไทยมากขึ้น จะช่วยเพิ่มมูลค่าได้ เช่น วิธีการเพาะปลูกที่แตกต่างจากผู้อื่น เพื่อดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค (Smartsme.tv พฤศจิกายน 2558) โดยคนญี่ปุ่นมีความนิยมกล้วยหอมทองจากประเทศไทยมากที่สุดเป็นพื้นฐานอยู่แล้ว มากกว่าประเทศฟิลิปปินส์ เอกวาดอร์ และโคลัมเบีย เนื่องจากรสชาติหอมหวานเปลือกบาง เนื้อไม่เหนียว (ข้อมูลจากตัวแทนกลุ่มสหกรณ์ของญี่ปุ่น PAL SYSTEM) ที่มาของผลผลิตกล้วยหอมทองจากประเทศไทยจะมาจากกลุ่มสหกรณ์ทั้ง จ.สุราษฎร์ธานี ชุมพร เพชรบุรี และบ้านลาด โดยมีสัญญา JTEA ประเทศญี่ปุ่นที่ได้อนุญาตยกเลิกภาษีนำเข้า (FTA) กล้วยถึง 8 พันตันต่อปี แต่ผู้ผลิตในประเทศไม่สามารถส่งออกได้ถึงโควตาที่กำหนดไว้ เนื่องจากปัญหาทางด้านคุณภาพของกล้วยหอมทองยังไม่ผ่านเกณฑ์ และตลาดผู้รับซื้อในประเทศญี่ปุ่นยังมีอยู่อย่างจำกัด การติดต่อประสานงานส่งออกในปัจจุบันจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างสหกรณ์ผู้บริโภค ประเทศญี่ปุ่นกับสหกรณ์ผู้ผลิตที่จะต้องมีการวางการปลูกในแต่ละเดือนให้สอดคล้องกับความต้องการในแต่ละช่วงเวลา โดยสหกรณ์จะทำหน้าที่กระจายการปลูกไปยังพื้นที่ของสมาชิก ลดความเสี่ยงจากการผลิตของสมาชิกที่จะทับซ้อนกัน เพื่อให้สามารถส่งกล้วยหอมออกไปยังประเทศญี่ปุ่นได้ตรงความต้องการของลูกค้า

2.1.8 กฎระเบียบและมาตรการนำเข้าของประเทศญี่ปุ่น

การจัดทำความตกลงหุ้นส่วนทางเศรษฐกิจที่ทางรัฐบาลไทยและรัฐบาลญี่ปุ่นได้ลงนามในข้อตกลงร่วมกันนั้น ในส่วนของข้อตกลงนั้นไม่ได้เป็นเรื่องเฉพาะการเปิดเสรีทางการค้าหรือ FTA (Free Trade Area) เพื่อลดหรือยกเว้นภาษีและอำนวยความสะดวกด้านการค้าระหว่างกัน เท่านั้น แต่ได้รวมถึงความร่วมมือในสาขาต่าง ๆ ด้วย โดยใช้ชื่อว่าความตกลงหุ้นส่วนทางเศรษฐกิจไทย-ญี่ปุ่น (Japan-Thailand Economic Partnership Agreement: JTEPA) ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปิด

เสรีทางการค้าและอำนวยความสะดวกให้แก่การค้าสินค้าและบริการ ส่งเสริมให้มีการค้าไร้กระดาษ อำนวยความสะดวกการยอมรับผลการตรวจประเมินสินค้า หรือกระบวนการร่วมกันส่งเสริม และคุ้มครองการลงทุนของกันและกัน อำนวยความสะดวกการเคลื่อนย้ายของบุคคลธรรมดา เสริมสร้างการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาที่เพียงพอและมีประสิทธิภาพ และไม่เลือกปฏิบัติเพื่อส่งเสริมการค้าและการลงทุน เสริมสร้างความร่วมมือเพื่อประโยชน์ร่วมกันในด้านการจัดซื้อจัดจ้าง ส่งเสริมการแข่งขันที่ยุติธรรมและเสรี จัดตั้งกรอบความร่วมมือสองฝ่าย และส่งเสริมความโปร่งใสในการใช้กฎหมายและระเบียบที่เกี่ยวข้องกับเรื่องต่าง ๆ ในข้อตกลงนี้ แต่การดำเนินการจัดทำความตกลงหุ้นส่วนเศรษฐกิจไทย-ญี่ปุ่นนั้น กว่าจะบรรลุข้อตกลงร่วมกันได้นั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากทางประเทศญี่ปุ่นต้องการปกป้องสินค้าเกษตรของตนขณะที่มีการนำเข้าสินค้าเกษตรจำนวนมาก ในขณะที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกสินค้าเกษตร และต้องการให้ญี่ปุ่นลดหรือยกเว้นภาษีนำเข้าให้มากที่สุด ดังนั้นจึงทำให้การเจรจาข้อตกลง JTEPA ต้องใช้เวลายาวนานถึง 3 ปี (ตั้งแต่กันยายน 2545 ถึง สิงหาคม 2548) จึงได้ข้อยุติและมีผลบังคับใช้ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 โดยที่ความตกลงหุ้นส่วนเศรษฐกิจ ไทย-ญี่ปุ่น จะครอบคลุมความสัมพันธ์ทางเศรษฐกิจทุกด้านรวม 21 สาขา ซึ่งสาขาที่เกี่ยวข้องกับด้านเกษตรมีอยู่ 3 สาขา คือ การค้า (เกษตรและอุตสาหกรรม) แหล่งกำเนิดสินค้า และความร่วมมือด้านเกษตร ป่าไม้ ประมง สำหรับการส่งออกกล้วยหอมสดของประเทศไทยในอดีตก่อนมีการทำความตกลงหุ้นส่วนเศรษฐกิจไทย-ญี่ปุ่นนั้น ประเทศญี่ปุ่นเก็บภาษีในการนำเข้ากล้วยหอมในอัตราร้อยละ 20-25 และเมื่อมีการทำความตกลงหุ้นส่วนเศรษฐกิจไทย-ญี่ปุ่นนั้นได้กำหนดให้กล้วยหอมอยู่ในกลุ่มสินค้าที่มีโควตาพิเศษ (นอกเหนือจากสินค้าโควตาตาม WTO) โดยทางประเทศญี่ปุ่นให้โควตาปลอดภาษีโดยมีรายละเอียดดังนี้ ปี 2550 กำหนดโควตาปลอดภาษีจำนวน 4,000 ตัน ปี 2551 กำหนดโควตาปลอดภาษีจำนวน 5,000 ตัน ปี 2552 กำหนดโควตาปลอดภาษีจำนวน 6,000 ตัน ปี 2553 กำหนดโควตาปลอดภาษีจำนวน 7,000 ตัน ปี 2554 กำหนดโควตาปลอดภาษีจำนวน 8,000 ตัน ในกรณีที่ส่งออกเกินกว่าโควตาตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน ถึง 30 กันยายน ทางญี่ปุ่น จะเก็บภาษีนำเข้าร้อยละ 10 และตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม ถึง 31 มีนาคม จะเก็บภาษีนำเข้าร้อยละ 20 (กระทรวงการต่างประเทศ, 2549) สำหรับการทำความตกลงหุ้นส่วนเศรษฐกิจไทย-ญี่ปุ่นนั้นผลกระทบของการลดภาษีนำเข้าของกล้วยหอมส่วนใหญ่จะตกอยู่กับผู้นำเข้ากล้วยหอมทองปลอดสารพิษจาก ประเทศไทยซึ่งก็คือ สหกรณ์ผู้ผลิตวาโกเอ็น ซึ่งเป็นผู้นำเข้ากล้วยหอมทองปลอดสารพิษจากสหกรณ์ การเกษตรท่ายาง จำกัด และบริษัท แพน แปซิฟิค เพลส เจแปน จำกัด (PPJ) ซึ่งเป็นผู้นำเข้ากล้วย หอมทองปลอดสารพิษจากสหกรณ์การเกษตรบ้านลาด จำกัด และกลุ่มเกษตรกรทำสวนทุ่งคาวัด แต่ในส่วนของผลกระทบที่เกษตรกร และสหกรณ์ทั้ง 3 ได้รับนั้นจะเป็นผลพลอยได้จากการลดภาษีนำเข้าทำให้ต้นทุนการนำเข้ากล้วยหอมของผู้นำเข้าลดลง ซึ่งส่งผลให้สหกรณ์ผู้บริโภคในประเทศญี่ปุ่นอาจจะลดราคาจำหน่ายกล้วยหอมทองปลอดสารพิษให้แก่สมาชิก ทำให้สมาชิกเพิ่มการ

สั่งซื้อกล้วยหอมทองปลอดสารพิษได้มากขึ้น นอกจากนั้นทางสหกรณ์ของไทยยังสามารถเจรจาขอเพิ่มราคา ส่งออกกล้วยหอมทองปลอดสารพิษให้สูงขึ้นได้ กฎหมายการกักกันโรคพืชที่เกี่ยวข้องในการนำสินค้าเข้ามาขายในประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นประเทศมีอาณาเขตติดกับทะเลจึงต้องมีการป้องกันโรคติดต่อที่มาจากการค้าขายระหว่างประเทศ ประกอบกับมีการลักลอบนำเข้าสินค้าเกษตรจากต่างประเทศ ทำให้มีการแพร่ระบาดของเชื้อโรคเข้ามาในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตทางการเกษตรภายในประเทศ จึงเป็นจุดเริ่มต้นของระบบการกักกันโรคพืชในปี 1914 หลังจากนั้น ระบบการกักกันโรคพืชได้มีการพัฒนาและค่อย ๆ ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ทำให้ในปัจจุบันการกักกันโรคพืชส่งออกนั้นได้รับการยอมรับจากต่างประเทศ และมีบริการฉุกเฉินในการควบคุมโรคติดต่อประเภทใหม่ที่เกิดขึ้นจากต่างประเทศ รวมถึงการกักกันโรคสำหรับการนำเข้าเพื่อป้องกันโรคพืชที่มาจากต่างประเทศไม่ให้เกิดการแพร่ระบาดในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งอยู่ภายใต้กฎหมายป้องกันโรคพืช ที่เกิดขึ้นในปี 1950 สำหรับการป้องกันการแพร่ระบาดของโรคพืช แมลง ศัตรูพืช และพืชปรสิต ฯลฯ เข้ามาในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งแบ่งประเภทสินค้าเกษตรออก (พิสุทธิ์, 2563) เป็นดังนี้

1. สินค้าอาหารที่ต้องผ่านด่านการกักกันโรคพืช
    1.1 ผลไม้ดิบ และผลไม้เปลือกแข็ง
    1.2 ผลไม้ดิบแช่แข็ง หรือตากแห้ง
    1.3 ธัญพืช และแป้งจากธัญพืช (เช่น ข้าวสาลี แป้งข้าวสาลี)
    1.4 ถั่วต่าง ๆ
    1.5 เครื่องหอม และเครื่องเทศ (เช่น เมล็ดกาแฟ) ส่วนผสมยาสมุนไพร (ยาจีน)
    1.6 ไขมัน (เช่น น้ำมันจากเมล็ดพืช งา ฯลฯ)

2. สินค้าที่ไม่อยู่ในข่ายนี้สินค้าอาหารที่ได้รับการแปรรูปอย่างเหมาะสมจะกลายเป็นสินค้าที่ไม่อยู่ในข่ายที่ต้องตรวจการกักกันโรคพืช ตัวอย่างเช่น สินค้าเกษตร ที่ทำเค็ม ทำหวาน หมักในน้ำสม สายชู ผลไม้แห้งบางรายการ เครื่องเทศอบแห้งบรรจุขวดเพื่อการจำหน่ายปลีก ฯลฯ สำหรับสินค้าเกษตรที่ แปรรูปหลากหลายในกรรมวิธี จึงควรสอบถามกับหน่วยงานกักกันสินค้า (Quarantine station)

3. สินค้าห้ามนำเข้า
    3.1 สินค้าที่มีดินติดมาด้วย
    3.2 ผลไม้ดิบ ฯลฯ จากพื้นที่จำเพาะ (เช่น เขตที่มีการระบาดของแมลงวัน ผลไม้เมดิตอร์เรเนียน)

ในกรณีพื้นที่ที่มีแมลงที่เป็นพาหะของโรค (Mediterranean Fruit Fly, Mandarin Orange Fruit Fly และ Lodling Moth) ซึ่งอาจสร้างความเสียหายอย่างใหญ่หลวงเมื่อแพร่กระจายจากภายนอกเข้าสู่ประเทศญี่ปุ่น ดังนั้นพืชที่มีแมลงศัตรูพืชอาศัยอยู่ ซึ่งถูกนำมาจากพื้นที่ที่มีการระบาด

ของแมลงดังกล่าวหรือมีเส้นทางขนส่งผ่านพื้นที่ดังกล่าวจึงเป็นสินค้าที่ห้ามนำเข้า สินค้าที่ห้ามนำเข้าจะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดของแมลงศัตรูพืช ซึ่งหากพบว่ามีการนำเข้าสินค้าดังกล่าวจะถูกจัดการด้วยการเผาทำลาย หรือโดยวิธีอื่น ๆ สำหรับสินค้าอาหารที่เข้าข่ายดังกล่าวต้องผ่านการตรวจกักกันโรคพืชจะต้อง ได้รับการตรวจสอบตามขั้นตอนการตรวจกักกันโรค แต่ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนดังกล่าวในการตรวจสอบนั้นผู้นำเข้าจะต้องมีใบรับรองการปลอดโรคพืช (Phytosanitary certificate) ซึ่งเป็นใบรับรองที่ยืนยันการปลอดแมลงศัตรูพืช ฯลฯ จากการตรวจสอบโดยหน่วยงานของรัฐในประเทศผู้ส่งออก และใบรับรองนี้ยังเปรียบเสมือนหนังสือเดินทางในการเข้าประเทศหนึ่ง ๆ ถ้าในกรณีที่ไม่มีใบรับรองจะไม่อนุญาตให้นำเข้าสินค้าประเภทนั้น

ในการส่งออกกล้วยหอมทองปลอดสารพิษตามกฎหมายการกักกันโรคพืช (Plant quarantine law) นั้น ประเทศญี่ปุ่นอนุญาตให้นำเข้าเฉพาะกล้วยหอมดิบเท่านั้น โดยเมื่อถึงด่านกักกันโรคที่ญี่ปุ่นผู้นำเข้าจะต้องยื่น “แบบคำร้องขอให้มีการตรวจสอบสินค้านำเข้า” พร้อมกับแนบเอกสาร Phytosanitary Certificate ที่ออกโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ซึ่งเจ้าหน้าที่จะทำการตรวจเอกสาร หลังจากนั้นก็จะตรวจสินค้าเพื่อตรวจดูดิน แมลง และเพลี้ยที่ติดมากับผลกล้วย ถ้ากรณีพบแมลง หรือเพลี้ย จะถูกส่งไปทำลายหรือทิ้งทะเลหรือรมควัน แต่ถ้าไม่พบก็จะออกใบรับรองปลอดโรคพืช ในการตรวจสอบการตรวจกักกันโรคที่ผ่านมากล้วยหอมของกลุ่มเกษตรกรทำสวนทุ่งคาวัด ไม่ผ่านการตรวจสอบ 4 ครั้ง ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2537 ตรวจพบกล้วยสุกจึงต้องทิ้งกล้วยหอมทั้งตู้คอนเทนเนอร์ ครั้งที่ 2 และ 3 มีการตรวจพบแมลง ส่วนครั้งล่าสุดเดือนตุลาคม 2550 ตรวจพบแมลงจึงต้องทำลายทิ้งทั้งตู้ นอกจากทำลายทิ้งเราสามารถนำเอากล้วยมารมควันฆ่าเชื่อได้ แต่ทางผู้บริโภคจะไม่รับซื้อกล้วยหอม เพราะถือว่าการรมควันมีสารเคมี ในส่วนของสหกรณ์การเกษตรบ้านลาดยังไม่มีกรณีตรวจพบกล้วยสุก แมลง และเพลี้ย และในส่วนของสหกรณ์การเกษตรท่ายางนั้น ในปี 2544 กล้วยหอมที่สหกรณ์ส่งออกไปถูกรมควัน 12 ครั้งเนื่องจากสงสัยว่ามีแมลง เสียค่าใช้จ่ายครั้งละ 15,000 บาท โดยทางสหกรณ์ผู้บริโภคโตโต้กับสหกรณ์การเกษตรท่ายางออกคนละครึ่ง และตรวจพบแมลงอีก 1 ครั้ง ก็คือมอดกินไม้ 2 ตัว จึงถูกส่งกลับประเทศไทย นอกจากนั้นเมื่อปี 2549 ตรวจ พบกล้วยสุกจำนวน 6 กล่องจาก 1,224 กล่อง ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบและทำลาย 130,000 บาท แต่สำหรับกล่องกล้วยหอมทองที่ไม่สุกก็นำไปจำหน่ายต่อได้กฎหมายสุขอนามัยอาหาร (Food sanitation law) เป็นกฎหมายที่ป้องกันอันตรายต่อสุขภาพที่มีสาเหตุเนื่องมาจากอาหาร และเครื่องดื่มที่ไม่ได้มาตรฐานจึงมีการกำหนดข้อห้ามผลิตขาย หรือนำเข้าอาหารที่เป็นพิษหรือมีส่วนผสมที่เป็นอันตรายหรือไม่ถูกลักษณะ รวมทั้งสารปรุงแต่งหรืออาหารปรุงแต่งที่ไม่ได้รับอนุญาตจากรัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข แรงงาน และสวัสดิการสังคม (Minister of health, Labor and Welfare) โดยสินค้าอาหารทั้งหมดที่มีวางจำหน่ายในประเทศญี่ปุ่นไม่ว่าจะเป็นผลิตในประเทศหรือนำเข้าจากต่างประเทศ จำเป็นจะต้องปฏิบัติตามกฎหมายสุขอนามัยอาหาร

เช่นเดียวกัน นอกจากนั้นกฎหมายดังกล่าวยังได้กำหนดความรับผิดชอบของผู้นำเข้าสินค้าอาหารไว้เทียบเท่าผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายภายในประเทศ อาหารที่ผลิตในประเทศญี่ปุ่นนั้นจะต้องได้รับการตรวจสอบ และปฏิบัติตามคำแนะนำของสำนักงานสุขอนามัยทางอาหารขององค์การบริหารส่วนท้องถิ่นนั้น ๆ ภายใต้กฎหมายสุขอนามัย อาหาร เกี่ยวกับวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการที่ใช้ในทุกขั้นตอนของการผลิตในขณะเดียวกันผู้จำหน่ายก็จะต้องได้รับการตรวจสอบ และปฏิบัติตามคำแนะนำของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ ณ ศูนย์สาธารณสุขประจำท้องถิ่น สำหรับสินค้านำเข้าจะได้รับการตรวจสอบและให้คำแนะนำจากเจ้าหน้าที่ตรวจสอบ ณ หน่วยงานกักกัน (Quarantine station) สังกัดกระทรวงสาธารณสุข แรงงาน และ สวัสดิการสังคม ในระหว่างการนำเข้า และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์สาธารณสุขท้องถิ่นในระหว่างการจัด จำหน่ายสำหรับสินค้านำเข้านั้นหากนำมาเปรียบเทียบกับสินค้าในประเทศแล้ว ในส่วนของการ ตรวจสอบรายละเอียดของสภาพการผลิตกรรมวิธีในการผลิตหรือแปรรูป รวมทั้งการเก็บรักษาจะทำได้ไม่ง่ายนัก ซึ่งบางครั้งอาจต้องตรวจสอบคุณภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการขนส่งด้วย สำหรับการนำเข้าอาหารจากต่างประเทศนั้นต้องปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดขั้นตอนการตรวจสอบภายใต้กฎหมายสุขอนามัยของอาหาร

ในการส่งออกกล้วยหอมทองปลอดสารพิษตามกฎหมายสุขอนามัยอาหารนั้นผู้นำเข้าจะต้องยื่นเอกสารคำร้องขอนำเข้าสินค้าอาหาร ฯลฯ พร้อมเอกสารประกอบคำร้อง และใบรับรองสุขอนามัยพืชที่ออกโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จะทำให้ได้รับการยกเว้นการตรวจสอบสุขอนามัยอาหาร ณ หน่วยงานกักกัน ทำให้กระบวนการนำเข้าทำได้รวดเร็วขึ้นนอกจากนั้นในการตรวจสอบตามกฎหมายสุขอนามัยอาหารนั้นได้มีการกำหนด “มาตรฐานเกี่ยวกับการตกค้างของสารเคมีทางการเกษตร” ซึ่งจะระบุระดับสารตกค้างที่สามารถยอมรับได้โดยกล้วยหอมก็เป็นสินค้าหนึ่งที่มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทางการเกษตร (MRLs) สำหรับกรณีที่สินค้าอาหารถูกตัดสิทธิ์นำเข้าไม่ใช่แต่เพียงผู้นำเข้าที่ต้องสูญเสียมูลค่าของสินค้าให้กับผู้ส่งออกเท่านั้น แต่ยังต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งค่าธรรมเนียมในการเก็บรักษาค่าใช้จ่ายในการทิ้งหรือทำลายสินค้า แต่กล้วยหอมของไทยสามารถส่งออกได้โดยไม่มีสารเคมีเนื่องจากเป็นกล้วยหอมทองปลอดสารพิษ จึงไม่มีปัญหาในเรื่องสารเคมีตกค้าง

2.1.9 กฎหมาย JAS (Japan Agricultural Standard Law)

เป็นกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการติดฉลากแสดงคุณภาพและการกำหนดมาตรฐานของสินค้าเกษตรและป่าไม้ โดยมีกระทรวงเกษตร ป่าไม้และประมง เป็นหน่วยงานที่คอยกำกับดูแล และกำหนดมาตรฐานของฉลากแสดงคุณภาพ ซึ่งในการกำหนดมาตรฐานของฉลากนั้นประเภทของสินค้าที่อยู่ในมาตรฐานจะถูกกำหนดโดยคณะกรรมการ วิจัยเพื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์ด้านการเกษตรและป่าไม้ (JAS Research Committee) ซึ่งประกอบด้วยตัวแทนผู้บริโภค ผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย ผู้ส่งออกและนักวิชาการ สำหรับการนำเข้ากล้วยหอมปลอดสารพิษมาจำหน่ายในประเทศญี่ปุ่นนั้นจะต้องปฏิบัติ

ตามกฎหมาย JAS โดยต้องระบุข้อความบนฉลาก ดังนี้ 1. ชื่อสินค้า 2. ชื่อประเทศผู้ผลิต และ 3. ปริมาณสุทธิ ในส่วนของ Food sanitation law นั้นจะไม่มีผลกระทบต่อการส่งออกกล้วยหอมทองปลอดสารพิษของสหกรณ์ทั้ง 3 สหกรณ์ เนื่องจาก Food sanitation law มีข้อห้ามในการผลิต ขาย หรือนำเข้าอาหารที่เป็นพิษ หรือมีส่วนผสมที่เป็นอันตราย แต่ในการส่งออกกล้วยหอมของทั้ง 3 สหกรณ์นั้น เป็นการส่งออกกล้วยหอมทองที่มีการผลิตแบบปลอดสารพิษ ซึ่งไม่มีสารเคมีตกค้างและประกอบกับในการส่งออกของทั้ง 3 สหกรณ์ ต้องมีใบรับรองสุขอนามัยพืชที่ออกโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จึงจะสามารถส่งออกกล้วยหอมไปยังประเทศญี่ปุ่นได้ แต่สิ่งสำคัญในที่ต้องระบุในฉลากหรือบนกล่องก็คือ ชื่อสินค้า ชื่อประเทศผู้ผลิต และปริมาณสุทธิ ที่ต้องระบุให้ชัดเจนและถูกต้อง

หลังจากที่ JTEPA มีผลใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 เป็นต้นมา พบว่า JTEPA ช่วยให้ไทยกับญี่ปุ่นได้รับประโยชน์จากการลด/ยกเว้นภาษีระหว่างกัน ทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงจากปัจจัยที่เกิดจากความผันแปรของเศรษฐกิจ และนโยบายภาครัฐ ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยความเสี่ยงที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากการเจรจา JTEPA เป็นเครื่องมือขยายความเชื่อมโยงทางเศรษฐกิจการค้า การลงทุน และการตลาดระหว่างไทยกับญี่ปุ่น เพื่อรักษาส่วนแบ่งตลาดไทยในญี่ปุ่นไม่ให้ลดลง ขณะเดียวกัน JTEPA ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือปรับโครงสร้างเศรษฐกิจไทยให้มีศักยภาพการผลิตสินค้าและบริการ ยกระดับทักษะการประกอบการของธุรกิจไทยให้มีมาตรฐานสูงขึ้นทั้ง JTEPA ยังเป็นตัวกำหนดให้ ภาครัฐของทั้งสองฝ่ายออกมาตรการช่วยเหลือผู้ส่งออก ในแง่ของการลดหรือยกเว้นภาษีระหว่างกัน เพื่อขจัดปัญหาและอุปสรรคที่อาจเกิดจากนโยบายของรัฐบาลอีกฝ่ายอีกด้วย

2.2 เอทิลีน (Ethylene : C_2H_4)

เอทิลีน เป็นฮอร์โมนที่ส่งเสริมให้พืชเกิดการเสื่อมสภาพตามอายุ (Senescence) มีชื่อตามการเรียกชื่อในระบบ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ว่าอีธีน (Ethene) เป็นสารประกอบอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนประเภทแอลคีน (Alkene) เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นหวานเล็กน้อย สามารถติดไฟได้ สูตรโมเลกุล C_2H_4 มวลโมเลกุล 28.05 g/mol ระหว่างธาตุคาร์บอนทั้งสองในโมเลกุลจับตัวด้วยพันธะโควาเลนท์ (Covalent) ประเภทพันธะคู่ (Double bond) จุดหลอมเหลวและจุดเดือดอยู่ที่ -169.2 องศาเซลเซียสและ -103.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Dominguez and Vendrell, 1994) โดยทั่วไปเอทิลีนอยู่ในรูปของก๊าซไม่สามารถมองเห็นหรือได้กลิ่น เป็นไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ๆ สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติหรือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ จากโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งที่พบเอทิลีนประกอบด้วยไอเสียจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์/เครื่องทำความร้อน การสูบบุหรี่ การเชื่อมโลหะ หรือแม้แต่ในผลไม้สุก เอทิลีนจัดเป็นฮอร์โมนพืชที่มี

ผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ในพืชรวมทั้งการสุกของผลไม้ การเหนี่ยวนำให้เกิดดอก การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การหลุดล่วงของใบ การหุบของใบ ความผิดปกติทางสรีรวิทยา การแตกหน่อ การเกิดสีน้ำตาล (Browning) และการกระตุ้นของระบบการป้องกัน ปริมาณการผลิตเอทิลีนในผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ นั้นแตกต่างกันออกไป สามารถจัดเป็นกลุ่มได้ 5 กลุ่ม (Siddiq et al., 2020) ดังตารางที่ 2 และการหายใจ (Respiration) เป็นกระบวนการทำลายสารอินทรีย์ที่พืชสะสมไว้ (Catabolic) เปลี่ยนให้เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน พร้อมกับมีการปลดปล่อยพลังงานออกมากระบวนการนี้มีการใช้ออกซิเจน (Oxidation) และมีการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ การหายใจทำให้เกิดการสูญเสียของอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อทำให้ผลสูญเสียคุณค่าทางอาหาร นอกจากนี้ยังเกิดการสูญเสียน้ำหนักแห้งและอาจทำให้ผลมีรสชาติเปลี่ยนไป ผลไม้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามรูปแบบการหายใจ คือ ผลไม้กลุ่ม Climacteric fruit คือ ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเปลี่ยนแปลงตามอายุ นับจากที่ผลไม้แก่จัดอัตราการหายใจจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด จากนั้นอัตราการหายใจจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภายใน เช่น มีการเปลี่ยนสีของเปลือก การเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้สุกมีรสหวาน เนื้อนิ่ม กลิ่นหอมมากกว่าผลไม้ดิบ และ ผลไม้กลุ่ม Non-climacteric fruit คือ ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจค่อย ๆ ลดลงเมื่อผลไม้อายุมากขึ้น และเมื่อผลไม้สุกอัตราการหายใจจะไม่เพิ่มขึ้น เมื่อเก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้วจะไม่สุกต่อ และไม่สามารถบ่มให้สุกได้ สามารถจัดเป็นกลุ่มตามการหายใจได้ 5 กลุ่ม ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 กลุ่มของผักและผลไม้ที่ผลิตเอทิลีนในอัตราต่าง ๆ

กลุ่ม	**อัตราที่ 20 °C ($\mu l\ C_2H_4/kg\text{-}h$)**	**ชนิดพืช**
ต่ำมาก	0.01 – 0.1	ส้มต่าง ๆ, องุ่น, สตรอเบอรี่, เชอรี่, ทับทิม, ดอกไม้, ผักรับประทานใบเมืองหนาว, ผักรับประทานราก, มันฝรั่ง
ต่ำ	0.11 – 1.0	แตงกวา, กระเจี๊ยบเขียว, พริกยักษ์, พลับ, สับปะรด, เงาะ, กระเทียม, ข้าวโพดฝักอ่อน, ถั่วฝักยาว, หน่อไม้ฝรั่ง, ผักกาดขาวปลี, มะเขือยาว, หอมหัวใหญ่,
ปานกลาง	1.0 – 10.0	กล้วยหอม, แตงเทศ, มะม่วง, มะเขือเทศ, ทุเรียน, มังคุด, น้อยหน่า
สูง	10.0 – 100.0	แอปเปิล, อะโวกาโด, แคนตาลูป, กีวี, มะละกอ, พลับ
สูงมาก	>100	แพชชั่นฟรุท, ละมุด

ที่มา : (Siddiq et al., 2020)

ตารางที่ 3 การจำแนกผลไม้บางชนิดตามการหายใจ

กลุ่ม	ปริมาณการหายใจที่ 5°C ($mg\ CO_2/Kg\text{-}h$)	ชนิดพืช
ต่ำมาก	น้อยกว่า 5	แตงโม, Honey Dew พวกถั่วเปลือกแข็ง
ต่ำ	5-10	ส้ม, มันฝรั่ง, องุ่น, มะเขือเทศ, แตงกวา, พริก, แอปเปิล, กีวี, แคนตาลูป
ปานกลาง	10-20	กล้วย, มะเขือ, มะเดื่อฝรั่ง, ท้อ, สาลี่, พีช, แอปริคอต, เชอร์รี่, พลัม
สูง	20-40	เสาวรส, อะโวคาโด, สตรอเบอรี่, แบลคเบอรี่
สูงมาก	>40	ถั่วเมล็ดกลม, ข้าวโพดหวาน, หน่อไม้ฝรั่ง

ที่มา : (Siddiq et al., 2020)

เอทิลีนมีอิทธิพลต่อการพัฒนาของพืชค่อนข้างมาก แม้จะมีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ppm ก็อาจกระตุ้นให้เกิดการสุกของผลไม้หรือการร่วงของใบได้ ซึ่งอาจเป็นประโยชน์หรือเป็นโทษต่อมนุษย์แล้วแต่กรณี เช่น ชาวจีนเคยใช้ธูปในการบ่มผลไม้ให้สุก (ทราบภายหลังว่าในการเผาไหม้ธูปทำให้เกิดแก๊สเอทิลีนออกมาด้วย) จนกระทั่งในปี 1901 นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ Neljubov จึงได้แสดงให้เห็นได้ชัดเจนเป็นครั้งแรกว่าเอทิลีนทำให้ต้นกล้าถั่ว (Pea) โค้งงอผิดปกติไป สำหรับข้อคิดเห็นที่ว่าพืชสามารถผลิตเอทิลีนได้เอง นั้นได้จากการรายงานของ Cousins ในปี 1910 ซึ่งรายงานว่าส้มมีการผลิตแก๊สบางอย่างไปกระตุ้นให้ผลกล้วยสุก (ความจริงแล้วเอทิลีนนี้เกิดจากเชื้อราที่เจริญอยู่บนผลส้ม ซึ่งปกติจะผลิตเอทิลีนในปริมาณที่ต่ำมาก จนกระทั่งในปี 1934 Denny แสดงให้เห็นว่าเอทิลีนคือแก๊สที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนสีขึ้นในปี 1934 มีการพิสูจน์ทางเคมีเป็นครั้งแรกว่าพืชสามารถผลิตเอทิลีนได้

เอทิลีนมีความสำคัญทางการเกษตรในฐานะฮอร์โมนพืชตามธรรมชาติที่มนุษย์สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาใช้เพื่อทำให้ผลไม้ที่จะเก็บเกี่ยวหรือเก็บเกี่ยวมาแล้วสุกพร้อมกัน และแต่ละผลมีสีที่สม่ำเสมอทั้งผล นอกจากนี้การบ่มด้วยเอทิลีนทำให้ผลไม้สุกมีการเน่าเสียช้ากว่าปล่อยให้สุกเองตามธรรมชาติ เนื่องจากกระบวนการพัฒนาของเชื้อยังไม่ทันเข้าทำลายผลไม้ ซึ่งตามปกติผลจะเกิดการสุกอย่างช้า ๆ ระหว่างที่เกิดการสุกมีการผลิตเอทิลีน 2 ระบบ ระบบที่หนึ่ง เป็นการสร้างเอทิลีนในระดับต่ำพบในเนื้อเยื่อพืชทุกชนิด ระบบที่สอง เป็นการสร้างเอทิลีนตอบสนองต่อเอทิลีนในผลไม้ประเภท climacteric เป็นการที่ เอทิลีนกระตุ้นตัวเอง หรือ autocatalysis ซึ่งสามารถตอบสนองต่อเอทิลีนได้ทั้งจากภายในผลไม้เองและภายนอก เช่นการได้จากผลไม้ข้างเคียงหรือได้จากการให้ก๊าซเอทิลีน

สังเคราะห์ เอทิลีนยังมีประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีกเช่น เร่งการไหลของน้ำยางพารา เพิ่มปริมาณน้ำยางมะละกอเพื่อการผลิตปาเปน (Papain) ช่วยในการลงหัวของหอมหัวใหญ่เร่งการเกิดรากของพืชหลายชนิด ลดความสูงหรือลดการยืดตัวของต้นพืชบางชนิด เช่น มันเทศพิทูเนีย บานชื่น ทำลายการพักตัวของตาองุ่น และกระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชหลายชนิด อย่างไรก็ตามในบางกรณีที่พืชสร้างเอทิลีนหรือได้รับเอทิลีนโดยบังเอิญในบางช่วงของการเจริญเติบโตอาจก่อให้เกิดผลเสียที่ไม่ต้องการได้เช่นกัน ดังในกรณี (Dominguez and Vendrell, 1994) ต่อไปนี้

1. ใบร่วง พืชที่ได้รับเอทิลีนในปริมาณมาก เช่น ถูกรมด้วยควันไฟเป็นเวลานานจะทำให้ใบร่วงได้ เนื่องจากในควันไฟมีเอทิลีนเป็นองค์ประกอบในบางสภาวะที่พืชอยู่ในสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น น้ำท่วม แล้งจัด หรือถูกรบกวนจากแมลง โรค หรือพืชได้รับการกระทบกระเทือน และเกิดบาดแผล สภาพเหล่านี้จะส่งเสริมให้พืชสร้างเอทิลีนขึ้นมามากผิดปกติและจะทำให้ใบร่วงได้เช่นกัน

2. ผลสุกเร็วเกินไป ผลไม้บางชนิดที่ใช้บริโภคผลดิบ เช่น มะม่วงมันถ้าเก็บไว้เพียงไม่กี่วันก็จะเกิดการสุกและขายได้ราคาต่ำลง การสุกของผลในกรณีนี้เป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เช่นเดียวกับกรณีที่ต้องการเก็บผลไม้บางชนิดให้อยู่ในสภาพดิบเป็นเวลานานเพื่อประโยชน์ในการขนส่งไปจำหน่ายไกลๆ เช่น ส่งไปต่างประเทศ การสุกของผลเกิดขึ้นจากการที่ผลไม้สร้างเอทิลีนขึ้นมา ดังนั้นถ้าสามารถกำจัดเอทิลีนออกไปได้ก็จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้เหล่านี้ให้อยู่ในสภาพดิบได้เป็นเวลานานขึ้น

3. การเหี่ยวของดอกไม้ ดอกไม้ที่ได้รับการผสมเกสรแล้วจะพบว่ากลีบดอกเหี่ยวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงนั้นดอกไม้จะสร้างเอทิลีนขึ้นมามากกว่าปกติ ในกรณีไม้ตัดดอกก็เช่นกัน เมื่อตัดดอกจากต้นแล้วจะเกิดการสร้างเอทิลีนขึ้นมาอย่างมากที่บริเวณรอยตัด ซึ่งมีผลทำให้กลีบดอกเหี่ยว ท่อน้ำในบริเวณก้านดอกใกล้รอยตัดเกิดการอุดตัน ดังนั้นอายุการปักแจกันของดอกไม้จึงสั้น

การสังเคราะห์เอทิลีนในเซลล์พืชมีสารเริ่มต้นจากกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (Methionine) และอาจมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพียงเล็กน้อย จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดลิโนเลอิคเอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชในรูปก๊าซมีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถละลายน้ำ และละลายได้ดีในไขมัน สามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ และเนื้อเยื่อพืชได้ และอาจเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อพืชตายแล้วแบบเมสโฟล สำหรับผลของเอทธิลีนต่อเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของพืช แสดงไว้ในตารางที่ 4

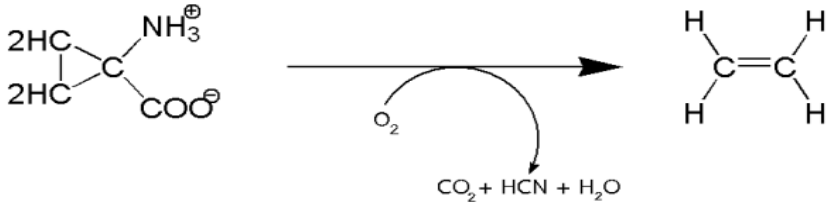
ตารางที่ 4 ผลของเอทธิลีนต่อเนื้อเยื่อของพืชชนิดต่าง ๆ

ความเข้มข้นของเอทิลีน (ppm)	ผลของเอทิลีน
> 0.002	การเสื่อมสภาพของกลีบดอก (Floral senescence)
0.01 – 0.1	ใบเหี่ยว (Epinasty)
0.1	ยับยั้งการเจริญเติบโตของราก
>0.1	การเสื่อมสภาพของผลไม้
10	เกิดการบวมพองของเยื่อหุ้มยอด (Coleoptile) ของพืชตระกูลหญ้า
300	การยับยั้งการออกดอกของยอด

ที่มา: (Siddiq et al., 2020)

2.2.1 การสังเคราะห์เอทิลีน

เอทิลีนผลิตจากเมทไทโอนีน (Methionine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนเป็น SAM, (S-adenosyl-L-methionine) ด้วยเอนไซม์ MetAdenosyltransferase โดย SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic-acid) แล้วเปลี่ยนเป็นเอทิลีนโดยที่คาร์บอนอะตอมที่ 3 และ4 ของเมทไธโอนีนจะกลายเป็นคาร์บอนของเอทิลีน ซึ่งในการสังเคราะห์จะให้ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนจะสิ้นสุดเมื่อในปฏิกิริยาขาด O_2 (Buchanan et al., 2015; Dominguez and Vendrell, 1994) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การสังเคราะห์เอทิลีน

ที่มา : (Buchanan et al., 2015)

การสังเคราะห์เอทิลีนสามารถเกิดขึ้นได้กับทุกเซลล์ เนื่องจากเอทิลีนมีสภาพเป็นก๊าซที่สามารถซึมผ่านได้ การจัดการหลังเก็บเกี่ยวจึงต้องพยายามควบคุมการสังเคราะห์ และการแพร่ของเอทิลีน โดยการใช้สภาพอุณหภูมิต่ำ (Refrigerated condition) สภาพควบคุมองค์ประกอบของอากาศ (Controlled atmosphere) หรือมีองค์ประกอบของอากาศที่ผิดไปจากปกติ (Modified

atmosphere) เพื่อควบคุมการสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อเยื่อ การใช้สภาพความกดอากาศต่ำ (Hypobaric condition) เพื่อให้ก๊าซ เอทิลีนถูกสร้างขึ้นแพร่ออกจากเนื้อเยื่อเร็วขึ้นและมีการระบายอากาศเพื่อไม่ให้มีการสะสมเอทิลีน และมีการกำจัดเอทิลีน โดยการใช้ด่างทับทิม (Potassium permanganate) โบรมีน (Bromine) เป็นสารดูดซับเอทิลีน (Ethylene absorber) หรือทำให้เอทิลีนเปลี่ยนสภาพไป โดยการใช้ก๊าซโอโซนหรือแสงอัลตราไวโอเลต (Buchanan et al., 2015)

2.3 โอโซน (Ozone : O_3)

โอโซน (Ozone : O_3) เป็นแก๊สสีฟ้า ประกอบด้วยออกซิเจนจับตัวกัน 3 อะตอมในสภาวะกึ่งเสถียร (Meta-stable state) มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 ดังตารางที่ 5 จุดเดือดที่ -111.9 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ -192.5 องศาเซลเซียส (ที่ 1 สภาพบรรยากาศปกติ) โอโซนมีน้ำหนักประมาณ 0.135 ปอนด์ต่อตารางฟุต โดยคุณสมบัติของโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง โดยเมื่อสัมผัสสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วโอโซนมีค่า Oxidation potential เท่ากับ 2.07 mV ซึ่งมากกว่าการใช้สารประกอบคลอรีนต่าง ๆ (Prabha et al., 2015; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

การใช้โอโซน (Ozone) โอโซนเป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี และมีการสลายตัวอย่างรวดเร็ว จึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสารพิษตกค้าง สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) ได้รับรองว่าโอโซนเป็นสารที่ใช้ได้อย่างปลอดภัย (GRAS ; Generally Recognized As Save) กลไกในการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยโอโซน (ชมภูศักดิ์ และเทพนม, 2540) เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ โมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่อยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ และอนุมูลตัวกลางอิสระ (Free radical-mediated) เป็นตัวเข้าทำลาย บางครั้งพบว่าโอโซนจะเข้าทำลายระบบหายใจ (Respiratory system) ของเซลล์จุลินทรีย์ พบว่าแก๊สโอโซนเป็นแก๊สที่ไม่คงตัวหรือไม่เสถียรโอโซนสามารถสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้ง่ายสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าอากาศ โดยการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ถึงแม้โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีบริเวณพื้นผิวของผลไม้ แต่มีข้อจำกัดในการแทรกซึมหรือทำลายเชื้อโรคที่ฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อของผลไม้ (ฉัฏฐา และณราเดช, 2559; ชนัญชิดา, 2551)

ตารางที่ 5 ข้อมูลเฉพาะของโอโซน

		รายละเอียด
1. คุณสมบัติ	ชื่อ	OZONE
	ชื่อพ้อง	Activated Oxygen, Triatomic Oxygen
	คุณสมบัติทางเคมี	เป็นตัว Oxidize
	สูตรโมเลกุล	O_3
	น้ำหนักโมเลกุล	48
2.	ลักษณะ	สภาพแก๊ส
องค์ประกอบ	ความเข้มข้น	0-4% โดยน้ำหนัก
3. ข้อมูล	ความเข้มข้นที่ยอมรับให้มีได้	0.1 ppm ในอากาศ
ความ	อาการ	ทำให้ระคายเคืองกับดวงตา จมูก ลำคอ
ปลอดภัย		ถ้า ได้รับติดต่อกนเป็นเวลานานหรือได้รับ
		ใน อัตราความเข้มข้นที่สูงเกินไป

ตารางที่ 6 สารออกซิไดซ์ชนิดต่าง ๆ และค่า Oxidation potential

สารออกซิไดซ์	**ค่า Oxidation potential (mV)**
Fluorine	3.06
โอโซน	2.07
ด่างทับทิม	1.67
Chlorine dioxide (CLO_2)	1.50
Hypochlorous acid	1.49
Chlorine gas	1.36

ที่มา : (Prabha et al., 2015)

2.3.1 หลักการผลิตโอโซน

การผลิตโอโซนใช้หลักการของพลังงานไฟฟ้าที่เรียกทั่วไป คือโอโซเนเตอร์ (Ozonator) ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถผลิตและควบคุมระดับของแก๊สโอโซนได้หลักการทั่วไป คืออะตอมของออกซิเจนจะได้รับการถ่ายพลังงานจนทำให้เกิดเป็นโมเลกุลที่เร่งสภาพหรือมีพลังงานสูงและในที่สุดก็เกิดการรวมเป็นโมเลกุลของโอโซน ทฤษฎีของการทำ corona discharge หรือการเร่งประจุไฟฟ้าให้ออกมาเป็นกลุ่มก้อนหรือเป็นประกายในบรรยากาศจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา

และเร่งปฏิกิริยาของก๊าซออกซิเจน ดังนั้นทฤษฎีของโคโรน่าจึงใช้เป็นบรรทัดฐานในการผลิตอุปกรณ์โอโซน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการผลิตโดยใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) เพราะแสงอัลตราไวโอเลตไม่สามารถควบคุมปริมาณละเอียดได้และจะมีการผลิตได้ในระดับความเข้มข้นต่ำด้วยคุณสมบัติในการเป็นตัวออกซิไดซ์โอโซนจึงมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคที่เหนือกว่าสารเคมีจำพวกคลอรีน คลอรีน ไดออกไซด์โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลายประเทศในยุโรปได้มีการเลือกใช้แก๊สโอโซนแทนสารเคมีดังกล่าว ในต่างประเทศได้มีการค้นคว้าหาสารเคมีที่จะนำมาเป็นตัวฆ่าเชื้อโรคในผักและผลไม้เพื่ออายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น ในบางผลิตภัณฑ์หรือในบางขั้นตอนของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวได้มีการนำเอาโอโซนมาใช้ฆ่าเชื้อโรคเพื่อทำน้ำบริสุทธิ์ สำหรับใช้ล้างผลิตผลทั้งที่ปอกเปลือกและยังไม่ได้ปอกเปลือก หรืออาจใช้ฆ่าเชื้อโรคในห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษาผลิตผลซึ่งได้รับการรับรองว่าปลอดภัยว่าเป็นสารจำพวก Generally Recognized As Safe (GRAS) ในการผลิตน้ำดื่มโอโซนเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอัตรา 0.5-2.0 ppm โอโซนส่วนใหญ่ละลายในน้ำ ทั้งนี้โอโซนเป็นแก๊สที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน และหากได้รับเกินกว่า 4 ppm จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังตารางที่ 7 สามารถได้กลิ่นเมื่อโอโซนมีความเข้มข้นในช่วง 0.01-0.04 ppm ซึ่งสมาคมนักสุขศึกษาอุตสาหกรรมแห่งประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดระดับสูงสุดของแก๊สโอโซนไว้ 0.1 ppm สำหรับการทำงาน 8 ชั่วโมง และมาตรฐานนี้เท่ากับมาตรฐานที่สมาคม American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดไว้ นอกจากนั้นยังได้มีมาตรฐานช่วงระยะเวลาสั้นๆ คืออนุญาตให้สัมผัสได้ 0.3 ppm ในช่วงระยะเวลา 15 นาที โอโซนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าคลอรีนถึง 52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และสิ่งมีชีวิตที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้อย่างดี โอโซนมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียเร็วกว่าคลอรีนถึง 5,000 เท่า ในเวลาเพียงไม่กี่วินาทีโอโซนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันฆ่าเชื้อโรคโดยปราศจากสารตกค้างพวกฮาโลเจนที่มีผลต่อการปนเปื้อนในน้ำสะอาด ส่วนคลอรีน ซึ่งนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะมีผลทำให้เกิดสารตกค้าง ซึ่งเรียกว่าไตรฮาโลมีเทน (Tritalomethane ;THM) ซึ่งสาร THM นี้เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้ (Prabha et al., 2015)

ตารางที่ 7 ระดับความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่มีผลทางด้านสุขภาพ

ระดับของแก๊สโอโซน (ppm)	ข้อมูลด้านสุขภาพ
0.02-0.05	สามารถได้กลิ่น
0.1-0.3	ใน 2-3 ชม. จะรู้สึกแสบจมูกและคอ
0.6-0.8	ใน 2-3 ชม. จะมีการกระตุ้นระบบทางเดินหายใจ
1.0-2.0	ใน 2-3 ชม. จะทำให้ระบบทางเดินหายใจผิดปกติ
10	อันตรายต่อสุขภาพไม่ควรสัมผัสเกิน 60 นาที
20	อันตรายต่อสุขภาพไม่ควรสัมผัสเกิน 10 นาที

ที่มา : (Prabha et al., 2015)

โอโซนได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำไปใช้เพื่อช่วยลดความเป็นพิษของสารอินทรีย์ลดค่า BOD (Biological Oxygen Demand) และ COD (Chemical Oxygen Demand) ใน สภาพแวดล้อม โอโซนสามารถเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ไปเป็นสารที่ย่อยสลายได้ โดยธรรมชาติโมเลกุลของโอโซนจะแตกตัวเป็นออกซิเจนได้โดยอัตโนมัติดังนั้น การใช้โอโซนจะช่วยลดการ สะสมของอินทรีย์สารในสภาพแวดล้อมได้การที่โอโซนมีสภาพเป็นสารออกซิไดซ์สูง และมีการสลายตัวโดย อัตโนมัติทำให้โอโซนเป็นสารกำจัดเชื้อได้อย่างปลอดภัยในอาหาร โดยคุณภาพของอาหารนั้นยังคงสภาพ อยู่ จึงมีการนำโอโซนไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมนม เนื้อเจลาติน และอัลบูมิน ตลอดจนโรงงานผลิตไวน์ เหล้า เป็นต้น ซึ่งพบว่าการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับ เวลาและความเข้มข้นของโอโซน ได้มีการนำโอโซนมาใช้ในการเก็บรักษาผัก และผลไม้โดยได้ศึกษาการใช้โอโซนในการเก็บรักษาแบล็คเบอร์รี (Blackberries) ตั้งแต่ระยะการเก็บ เกี่ยวจนถึงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของโอโซน 0.3 ppm พบว่าสามารถ ยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ทำให้เกิดอาการผิดปกติ และไม่ทำให้สีของผล เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษานาน 12 วัน นอกจากนี้การเก็บรักษามันฝรั่งโดยใช้โอโซนความเข้มข้น 3 ppm ที่อุณหภูมิ 6-14 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 93-97 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษามัน ฝรั่งได้นานถึง 6 เดือน โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของมันฝรั่ง นอกจากนี้โอโซนสามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้ เช่น การรมแก๊สโอโซนเป็นระยะเวลา 60 นาที สามารถทำลายเชื้อราที่ผิวเปลือกลำไยได้ นอกจากนั้นการรมแก๊สโอโซนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กับผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้ง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Penicillium digitatum และทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคในผลส้มต่ำที่สุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน และช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลส้มได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xu et al. (2006) ทำการศึกษาการตรวจสอบเอทิลีนไดนามิกการควบคุมหลายกลยุทธ์เพื่อลดการสูญเสียคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งประเมินไว้สำหรับบลูเบอร์รี่ เชอร์รี่หวาน และแอปเปิ้ล ผลการวิจัยพบว่าการตรวจสอบเอทิลีนไดนามิกมีความเร็วการตอบสนองแบบสถิต/ไดนามิกอย่างรวดเร็ว (2 ppm/s) และการตรวจสอบปริมาณเอทิลีนอย่างแม่นยำ (ความแม่นยำ 99%) นอกจากนี้วิวัฒนาการของพารามิเตอร์คุณภาพ (ความแน่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ อัตราการสูญเสียน้ำหนักและความคลาดเคลื่อนสี) แสดงให้เห็นว่าการควบคุมเอทิลีนหลายกลยุทธ์สามารถลดการสูญเสียคุณภาพของผลไม้ที่ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีศักยภาพในการปรับปรุงการจัดการคุณภาพของผลไม้ในห่วงโซ่อุปทาน วัตถุประสงค์ของการควบคุมปริมาณเอทิลีนในสิ่งแวดล้อมระดับจุลภาคคือเพื่อให้มีระยะเวลาในการจัดเก็บนานขึ้น และให้คุณภาพที่ดีที่สุดแก่ผู้บริโภคตลอดทั้งปี ดังนั้น เส้นทางการสังเคราะห์เอทิลีนทางชีวภาพภายในผลไม้ และผลกระทบที่ตามมาต่อคุณภาพของผลไม้ การตรวจสอบเอทิลีนไดนามิกถึงค่าการตอบสนองสูงสุด (20.40 ppm) ที่ประมาณ 600 วินาที จากนั้นคงความเสถียรแบบไดนามิกไว้ที่ 20.13 ppm จึงถือได้ว่าเซ็นเซอร์เอทิลีนแสดงการตอบสนองไดนามิกที่ดี

McGuire (1992) ได้ศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนในระหว่างกระบวนการสุกของผลแบบจำลองจลนศาสตร์ของการตอบสนองถูกสร้างขึ้นจากเซ็นเซอร์ไฟฟ้าเคมีเอทิลีนอัจฉริยะ ความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนเฉลี่ยอยู่ที่ 5.29 ppm, 1.38 ppm และ 0.45 ppm สำหรับแอปเปิ้ลกีวีและลูกแพร์ตามลำดับ ความสามารถในการทำซ้ำของค่าเอทิลีนคือ 38%, 58%, 5% ใน RSD ด้วยการวัดผลแอปเปิล กีวี และลูกแพร์สามครั้งตามลำดับ ผลลัพธ์ปัจจุบันแสดงให้เห็นชัดเจนว่าเป็นไปได้ที่จะศึกษากระบวนการสุกของผลโดยใช้ไฟฟ้าเคมีที่ไม่เป็นการรบกวนเซ็นเซอร์เอทิลีน สำหรับการเก็บเกี่ยวและการตลาดผลไม้ สิ่งสำคัญคือต้องรู้ความสุกและระยะสุกเต็มที่ของผลไม้ เพื่อให้ได้ข้อตกลงกับเรื่องการประเมินผลสุกต้องกำหนดเกณฑ์สำหรับผลไม้แต่ละประเภทอย่างมั่นคง

Minas et al. (2018) ได้ศึกษาผลของการใช้แก๊สโอโซนที่มีต่อสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้ ได้แก่ สับปะรด กล้วย และฝรั่ง โดยใช้แก๊สโอโซนที่อัตราการไหล 8 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดและสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสับปะรด และกล้วยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการรมด้วยแก๊สโอโซนมากกว่า 20 นาที จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP ซึ่งในผลตรงกันข้ามกันกับการศึกษาในฝรั่ง นอกจากนั้นยังพบอีกว่าการใช้แก๊สโอโซนส่งผลให้วิตามินซีในผลไม้ทั้งสามชนิดมีค่าลดลง จากงานวิจัยนี้ทำให้เห็นว่าการใช้แก๊สโอโซนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการนำไปใช้กับผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเพื่อคงความสด และคุณค่าของสารอาหารให้ได้นานที่สุดโดยผ่านกระบวนการน้อยที่สุดและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ชินานาฏ และคณะ (2563) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองโดยอาศัยเทคโนโลยีฟองอากาศขนาดเล็กหรือเทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ล (Micro/Nano Bubbles technology, MNBs) โดยทำการศึกษาน้ำในกระบวนการแช่ล้างกล้วยหอมทอง 5 ประเภท ได้แก่ 1) น้ำประปา (TW) 2) น้ำแอร์ไมโครนาโนบับเบิ้ล (Air MNBs) 3) น้ำแอร์นาโนบับเบิ้ล (Air NBs) 4) น้ำโอโซนไมโครนาโนบับเบิ้ล (O_3 MNBs) และ 5) น้ำโอโซนนาโนบับเบิ้ล (O_3 NBs) โดยกำหนดระยะเวลาการแช่ล้างนาน 20 นาที จากผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำที่มีฟองอากาศขนาดเล็กที่ผลิตจากเทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ลสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ โดยช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำหนักและชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของกล้วยอย่างเห็นได้ชัด รวมทั้งช่วยลดปริมาณเชื้อราอันเป็นสาเหตุของโรคขั้วหวีเน่าได้ โดยพบว่าเมื่อใช้เทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ลร่วมกับแก๊สโอโซนทำให้ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเชื้อราที่ขั้วกล้วยสูงขึ้น

จริงแท้ และดารณี (2539) ได้ทำการศึกษาผลของการเคลือบกระดาษที่มีส่วนผสมของ $KMnO_4$ เป็นสารเติมแต่งในการชะลอการสุกของผลไม้ โดยใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีนทำการเคลือบลงบนกระดาษลูกฟูกเพื่อสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิด RSC0204 โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $KMnO_4$ 5 ระดับพบว่าความเข้มข้นของ $KMnO_4$ ร้อยละ 5%wt มีคุณสมบัติในการยับยั้งการสุกของกล้วยหอมได้นานที่สุด 14 วัน ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สารดูดซับเอทีลีนทั่วไปสามารถยับยั้งการสุกของกล้วยหอมได้ 15 วัน ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สารเคลือบ $KMnO_4$ มีสมบัติด้านความต้านแรงดันทะลุ และน้ำหนักมาตรฐานเพิ่มขึ้นแปรผันตามกับความเข้มข้นของ $KMnO_4$ แต่ไม่ส่งผลต่อสมบัติของบรรจุภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลต่อน้ำหนักมวลของผลกล้วยหอมทองลดลงแปรผันตามกับความเข้มข้นของ $KMnO_4$ ที่เพิ่มมากขึ้น และมีผลต่อค่าสีของบรรจุภัณฑ์ที่เปลียนแปลงไปทางสีน้ำตาลอมเหลือง

ณัฐชัย และคณะ (2555) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองโดยอาศัยเทคโนโลยีฟองอากาศขนาดเล็กหรือเทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ล (Micro/Nano Bubbles technology, MNBs) โดยทำการศึกษาน้ำในกระบวนการแช่ล้างกล้วยหอมทอง 5 ประเภท ได้แก่น้ำประปา (TW) น้ำแอร์ไมโครนาโนบับเบิ้ล (Air MNBs) น้ำแอร์นาโนบับเบิ้ล (Air NBs) น้ำโอโซนไมโครนาโนบับเบิ้ล (O_3 MNBs น้ำโอโซนนาโนบับเบิ้ล (O_3 NBs) โดยกำหนดระยะเวลาการแช่ล้างนาน 20 นาที จากผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำที่มีฟองอา กาศขนาดเล็กที่ผลิตจากเทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ลสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ โดยช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำหนักและชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของกล้วยอย่างเห็นได้ชัด รวมทั้งช่วยลดปริมาณเชื้อราอันเป็นสาเหตุของโรคขั้วหวีเน่าได้ โดยพบว่าเมื่อใช้เทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ลร่วมกับแก๊สโอโซนทำให้ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเชื้อราที่ขั้วกล้วยสูงขึ้น

วัฒนา และสมโภชน์ (2564) ได้ทำการศึกษาผลของโอโซนต่อการควบคุมปริมาณเอทิลีนของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองระหว่างการรักษา จากการทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซโอโซนในการกำจัดเอทิลีน โดยนำเอทิลีนมาตรฐานความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ มาทดสอบกับก๊าซโอโซนเป็นเวลานาน 1, 3, 5, 10 และ 15 นาที ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 13 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าชุดที่รมโอโซนนาน 10 และ 15 นาที ให้ผลดีที่สุดในการลดปริมาณเอทิลีน โดยโอโซนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนของทุกชุดการทดลอง ส่วนการทดลองที่ 2 ได้นำผลมะม่วงมารมด้วยก๊าซโอโซนเป็นเวลา 10 และ 15 นาทีเป็นเวลา 7 วัน เพื่อสังเกตอาการผิดปกติโดยพบอาการผิดปกติหลังจากได้รับโอโซนเป็นเวลา 15 นาที ส่วนชุดที่รมโอโซนนาน 10 นาที พบอาการ Ozone injury น้อยกว่าในการทดลองที่ 3 ได้นำมะม่วงมารมโอโซนเป็นเวลา 10 นาที วันเว้นวัน ในตู้ควบคุมที่อุณหภูมิ 13 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 และ 10 วันตามลำดับ พบว่าชุดที่รมโอโซนมีปริมาณเอทิลีนต่ำกว่าชุดควบคุม ส่วนการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ พบว่าชุดควบคุมมีค่าอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงสุดในวันที่ 20 และ 6 ของการเก็บรักษาตามลำดับขณะที่ชุดที่ได้รับโอโซนสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจได้ นอกจากนี้ โอโซนมีผลทำให้ผลมะม่วงมีความแน่นเนื้อมากกว่า และมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคต่ำกว่าชุดควบคุม ดังนั้นการให้โอโซนแบบต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองให้นานขึ้น

วรางคณา และทวีศักดิ์ (2565) เปรียบเทียบการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยไข่ในถุงพลาสติก Polyethylene (PE), active Polyethylene (AC) และถุงกำจัดเอทิลีน (EA) ปิดผนึกเทียบกับการไม่บรรจุถุง และเก็บรักษากล้วยไข่ที่ 13°C เป็นเวลา 30 วัน พบว่ากรรมวิธีไม่บรรจุถุงกล้วยไข่สุกในวันที่ 24 ในขณะที่กรรมวิธีใส่ถุงต่าง ๆ ยังคงเก็บรักษาได้ถึงวันที่ 30 โดยการเก็บรักษาในถุง PE มีแนวโน้มการสะสมแก๊สเอทิลีนต่ำกว่า และสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่ากล้วยไข่ที่บรรจุในถุงพลาสติก AC และEA ในช่วง 18 วันแรกของการเก็บรักษา นอกจากนี้กล้วยไข่ในถุง PE ยังได้รับการยอมรับจากการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงดำเนินการศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาที่ระดับต่าง ๆ ที่บรรจุในถุง Polyethylene (PE) ต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยไข่ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพในการส่งออก

บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แก๊สโอโซนในการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทอง ขั้นตอนของการศึกษาเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ วิธีการดำเนินงานวิจัย รวมถึงสถานที่ดำเนินงานวิจัย ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
   - กล้วยหอมทอง สายพันธุ์กรอสมิเชล
2. อุปกรณ์ในการยืดอายุกล้วยหอมทอง
   - กล่องพลาสติก (Chamber) ปริมาตร 1.5 L
   - กล่องพลาสติก (Chamber) ปริมาตร 2.5 L
   - กล่องพลาสติก (Chamber) ปริมาตร 5 L
   - กล่องพลาสติก (Chamber) ปริมาตร 12 L
3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมทอง
   - เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลข
     ยี่ห้อ Sartorius รุ่น GP 3202 – 0CE
     Max. Cap: 3,200 กรัม Readability 0.01 กรัม
   - เครื่องมือวัดสี Spectrophotometer
     ยี่ห้อ Hunterlab รุ่น Mini Scan XE plus
   - เครื่อง Texture analyzer
     รุ่น TA.XT2i.plus
   - เครื่องกำเนิดโอโซน (Ozone generator)
     ขนาดห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ GLORY รุ่น HI - 400i
     กำลังการผลิต 400 mg/h.
   - เครื่องมือวัดปริมาณของแข็งละลายได้
     Hand refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น N-1∝ (Brix 0-32%)
   - เครื่องวัดแก๊สโอโซน (O_3) รุ่น WASP-XM-E-O3 วัดได้ในช่วง 0-1,800 ppm
   - เครื่องวัดแก๊สเอทิลีน (C_2H_4) รุ่น HT-XS-C2H4 วัดได้ในช่วง 0-200 ppm

- เครื่องวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) รุ่น WASP-XM-R-CO2 วัดได้ในช่วง 0-10,000 ppm
- กล้องบันทึกภาพ Canon EOS 250D
- สตูดิโอขนาดเล็กสำหรับถ่ายภาพ

3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

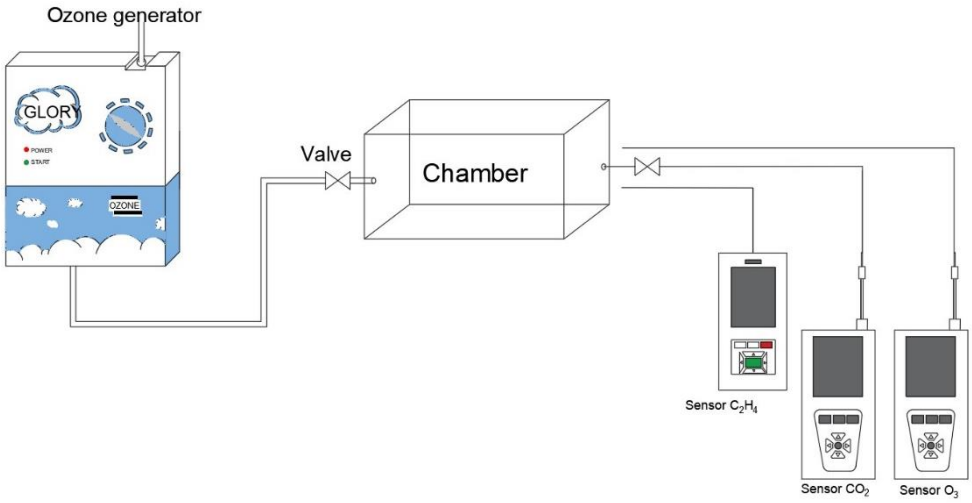
1. คัดเลือกกล้วยหอมทอง สายพันธุ์กรอสมิเชล โดยซื้อจากสวนเดียวกันในอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ เลือกใช้หวีที่มีความสุกใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 5

2. บรรจุกล้วยหอมทองลงกล่อง ก่อนนำไปทดลอง

ภาพที่ 5 กล้วยหอมทองดิบ สายพันธุ์กรอสมิเชล

3. การติดตั้งชุดทดลองรมแก๊สโอโซน เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของการใช้แก๊สโอโซนในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองโดยใช้เครื่องสร้างแก๊สโอโซน (Ozone generator) ขนาดห้องปฏิบัติการและขนาดกลางในการทดลอง ซึ่งเครื่องโอโซนขนาดห้องปฏิบัติการมีกำลังการผลิต 400 mg/h. ดังภาพที่ 6 และระบบการติดตั้งชุดทดสอบการใช้รมแก๊สโอโซน ดังภาพที่ 7

ภาพที่ 6 เครื่อง Ozone generator ขนาดห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 7 การติดตั้งชุดทดสอบการใช้รมแก๊สโอโซน

4. เมื่อทำการรมแก๊สโอโซนแล้วนำกล้วยออกจากกล่อง

5. ทำการวัดแก๊สเอทิลีน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยนำกล้วยใส่ลงในกล่อง แล้วปิดฝาทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

6. ทำการเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของกล้วยหอมทอง คือ น้ำหนัก ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ และสมบัติทางเคมีของกล้วยหอมทองคือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

3.3 วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แก๊สโอโซนในการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทองโดยเริ่มต้นวางแผนการทดลองโดยแบ่งเป็น 4 การทดลอง คือ การศึกษาพฤติกรรมการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง การศึกษาความเข้มข้นของโอโซน (Ozone concentration) การทดสอบ

เวลาที่แก๊สโอโซนทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีน และศึกษาหาความเข้มข้นและช่วงเวลารมแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุกล้วยหอมทอง

3.3.1. การศึกษาพฤติกรรมการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง

การศึกษาการทดลองยืดอายุกล้วยหอมทองด้วยแก๊สโอโซน เพื่อให้การทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนและข้อบกพร่องน้อยที่สุด จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาธรรมชาติของกล้วยหอมทอง โดยเฉพาะอัตราการปล่อยแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองซึ่งเป็นตัวแปลสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษา และระหว่างการเก็บรักษายังมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเนื่องจากยังมีการหายใจเกิดขึ้น เพื่อนำไปประกอบการทดลองที่ 4 ดังนั้นจึงต้องมีการบันทึกค่าไว้ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อัตราการคายแก๊สเอทิลีนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้วยหอมทอง

Day	Weight (g)	C_2H_4 (ppm/kg-h)	C_2H_4 (µl/kg-h)	CO_2 (ppm/kg-h)	CO_2 (mg/kg-h)
1					
2					
3					
4					
...					

3.3.2 การศึกษาความเข้มข้นของโอโซน (Ozone concentration)

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองด้วยการรมแก๊สโอโซน จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่เครื่องผลิตได้ในภาชนะ 3 ขนาด คือ 1.5, 5 และ 12 L เพื่อนำข้อมูลไปประกอบการทดลองที่ 3.3 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10 จากนั้นนำข้อมูลจากการทดลองหาสมการทำนายในรูปของ $O_3 = f(t)$ โดย O_3 คือ ความเข้มข้นแก๊สโอโซนหน่วยเป็น ppm, t_1 คือ เวลาในการผลิตแก๊สโอโซนหน่วยเป็น min, t_2 คือ เวลาในการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนหน่วยเป็น min, b และ c คือ ค่าคงที่

ตารางที่ 9 อัตราการผลิตแก๊สโอโซนของเครื่อง Ozone generator ในภาชนะปิด

Time (t_1, min)	O_3 (ppm)
10	
20	
30	
40	
...	

ตารางที่ 10 อัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซน ในภาชนะปิด

Time (t_2, min)	O_3 (ppm)
10	
20	
30	
40	
...	

3.3.3 การศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน

การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง คือ การทำให้แก๊สโอโซนเข้าไปทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีนเพื่อชะลอการสุกของกล้วยหอมทอง โดยแก๊สโอโซนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีนดังสมการของ Vithu Prabha (Prabha, 2015) ดังนี้

$$C_2H_4 + 2O_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O \quad ...(1)$$

$$C_2H_4 + 4O_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 3O_2 \quad ...(2)$$

$$C_2H_4 + 6O_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 6O_2 \quad ...(3)$$

$$C_2H_4 + 12O_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 15O_2 \quad ...(4)$$

จากสมการที่ 1 เป็นสมการการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน 1 เท่า หรือแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 สมการที่ 2 เป็นสมการการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน 2 เท่า หรือแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 สมการที่ 3 เป็นสมการการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน 3 เท่า หรือแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนใน

อัตราส่วน 6 ต่อ 1สมการที่ 4 เป็นสมการการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน 6 เท่า หรือแก๊สโอโซนต่อแก๊ส เอทิลีนในอัตราส่วน 12 ต่อ 1 ดังตารางที่ 11 โดยทำการทดลองอัตราส่วนทางเคมีฐานโมล (mol)

ตารางที่ 11 การศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน

Reaction time (min)	C_2H_4 (ppm)	O_3 (ppm)	CO_2 (ppm)	%RH
0				
5				
10				
15				
...				

3.3.4 การศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

การศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง โดยจากการศึกษาที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง เมื่อทราบอัตราการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยแล้วจะกำหนดค่าเอทิลีนสูงสุดที่กล้วยหอมทองคายออกมาในการเปลี่ยนความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่ใช้ในการยับยั้งแก๊สเอทิลีนตามสมการที่ 1 โดยจะแบ่งเป็น 5 กรณีคือ กรณีที่ 1 Control คือ ไม่มีการปล่อยแก๊สโอโซนเพื่อยับยั้งแก๊สเอทิลีน กรณีที่ 2 Treatment 1 คือ ปล่อยแก๊สโอโซน 2 เท่าของแก๊สเอทิลีนที่ปล่อยออกมาในหน่วย ppm กรณีที่ 3 Treatment 2 คือ ปล่อยแก๊สโอโซน 4 เท่าของแก๊สเอทิลีนที่ปล่อยออกมาในหน่วย ppm กรณีที่ 4 Treatment 3 คือ ปล่อยแก๊สโอโซน 6 เท่าของแก๊สเอทิลีนที่ปล่อยออกมาในหน่วย ppm (ดังสมการที่ 3) และกรณีที่ 5 Treatment 4 คือ ปล่อยแก๊สโอโซน 12 เท่าของแก๊สเอทิลีนที่ปล่อยออกมาในหน่วย ppm ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ตารางบันทึกค่าการทดลอง

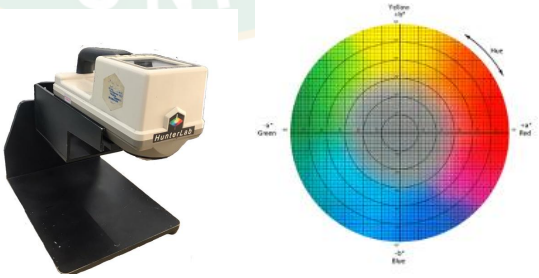
Case study (Control, Treatment 1, Treatment 2, Treatment 3, Treatment 4)							
Day	Color			Hue Angle	Firmness	Weight	Brix
	L*	a*	b*	(h°)	(N)	(g)	(°Brix)
1							
2							
3							
⋮							
12							

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของกล้วยหอมทอง

การวิเคราะห์ผลของการใช้แก๊สโอโซนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของกล้วยหอมทอง มีดังนี้

3.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพด้านสี

การทดสอบคุณภาพด้านสีของกล้วยหอมทองจะใช้เครื่องวัดค่าสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น Mini Scan XE Plus ดังภาพที่ 8 การตรวจสอบสีด้วยระบบ CIE โดยการตรวจวัดค่าสีในเทอมของค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดงและสีเขียว (a*) และค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b*) พร้อมทั้งคำนวณหาค่าความแตกต่างสีโดยรวม (Total Color Difference, ΔE) โดยเทียบกับค่าสีเริ่มต้นของกล้วยหอมทอง ดังแสดงในสมการที่ 5 เมื่อ L_0, a_0 และ b_0 คือตัวอย่างสีของกล้วยหอมทองเริ่มต้น

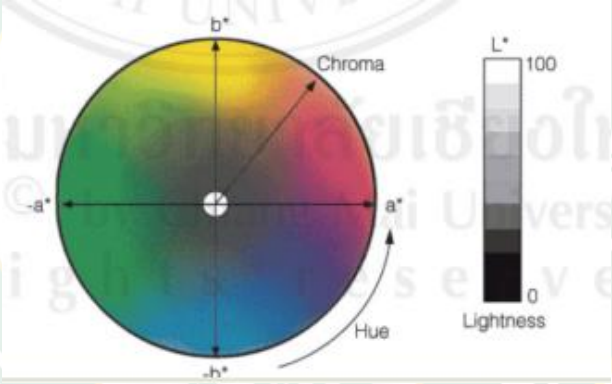


ภาพที่ 8 เครื่องวัดสี (ซ้าย) และการบรรยายสีในระบบ CIE Lab (ขวา)

$$\Delta E=\sqrt{(L^{*}-L_0)^2+(a^{*}-a_0)^2+(b^{*}-b_0)^2} \quad \text{... (5)}$$

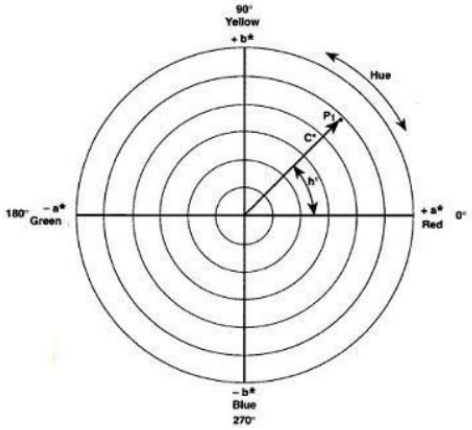
Hue angle (h°) หรือค่าเฉดสี เป็นค่าที่แสดงมุมในการตกกระทบของค่า “chroma” Hue angle เป็นตัวเลขที่ระบุตำแหน่งของสีในกราฟ มีหน่วยเป็นองศาซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา ซึ่งจะเป็นค่าที่แสดงช่วงสีของวัตถุ ดังนี้ (McGuire,1992)

0-45 องศา	แสดงช่วงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง
45-90 องศา	แสดงช่วงสีส้มแดงถึงสีเหลือง
90-135 องศา	แสดงช่วงสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว
135-180 องศา	แสดงช่วงสีเหลืองเขียวถึงสีเขียว
180-225 องศา	แสดงช่วงสีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว
225-270 องศา	แสดงช่วงสีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน
270-315 องศา	แสดงช่วงสีน้ำเงินถึงสีม่วง
315-360 องศา	แสดงช่วงสีม่วงถึงสีม่วงแดง



ภาพที่ 9 แผนภาพของสีที่แสดงค่าเป็นค่า L*, Chroma และ Hue angle

นอกจากนี้ในระบบ CIELAB ยังมีการปรับปรุงต่อไป โดยการเชื่องค่า a และ b เข้ากับ “hue” และ “chroma” โดยกำหนด color term อีก 2 ตัว คือ hue (h*) และ chroma (C*) ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 CIELAB color chart

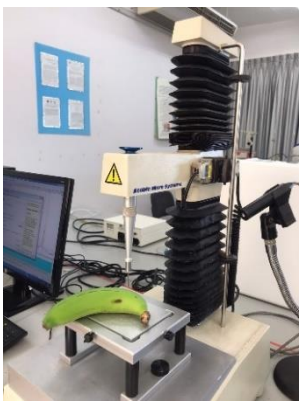
โดย $h° = \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*})$; a*>0 , b*>0 ... (*6*)

$h° = \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*}) + 180$; a*<0 ... (*7*)

$h° = \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*}) + 360$; a*>0, b*<0 ... (*8*)

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

การตรวจสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสความแน่นเนื้อ (Firmness) ในหน่วย นิวตัน (N) ทำได้โดยใช้เครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT. plus (Stable microsystems Texture Technologies lnc., UK) ด้วยหัวกดรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วในการกดก่อนการทดสอบ 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ในการทดสอบ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และหลังการทดสอบ 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดไว้ที่ 50% ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 เครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT. plus

3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพด้านปริมาณของแข็งที่ละลายได้

การตรวจสอบคุณภาพด้านของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้เครื่องมือปริมาณของแข็งละลายได้ Hand refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น N-1∝ (Brix 0-32%) ดังภาพที่ 12 โดยทำการบดเนื้อของผลกล้วยหอมทอง จากนั้นคั้นน้ำที่ได้จากผลกล้วยหอมทองหยดลงบนเครื่องมือเพื่ออ่านค่า

ภาพที่ 12 เครื่อง Hand refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น N-1∝

3.4.4 การตรวจวัดค่าน้ำหนักที่สูญเสีย

การตรวจวัดค่าน้ำหนักที่สูญเสีย (%Weight loss) โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลข ยี่ห้อ Sartorius รุ่น GP 3202–0CE ดังภาพที่ 13 เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของผลกล้วยในวันแรกกับน้ำหนักของผลกล้วยในระหว่างการทดลอง

ภาพที่ 13 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลข ยี่ห้อ OHAUS รุ่น TR15RS

3.4.5 การวัดปริมาณแก๊ส

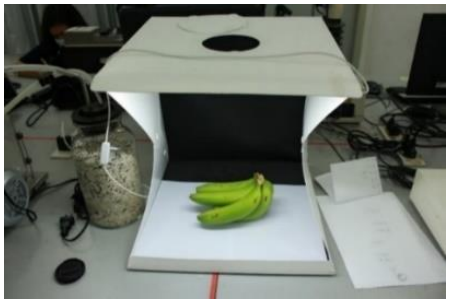
การวัดปริมาณแก๊สใช้เครื่อง Gas detector ทำการตรวจวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สโอโซน (O_3) และแก๊สเอทิลีน (C_2H_4) ที่กล้วยหอมทองปล่อยออกมาตลอดช่วงเวลาในการเก็บรักษา 7 วัน ดังภาพที่ 14 ใช้เซ็นเซอร์วัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0-10,000 ppm, เซ็นเซอร์การตรวจวัดค่าแก๊สโอโซนในช่วง 0-300 ppm, เซ็นเซอร์การตรวจวัดค่าแก๊สเอทิลีนในช่วง 0-200 ppm

ภาพที่ 14 เครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เครื่องวัดแก๊สโอโซน (O_3) เครื่องวัดแก๊สเอทิลีน (C_2H_4)

ทำการตรวจวัดแก๊ส 3 ชนิด คือ แก๊สโอโซน แก๊สเอทิลีน และแก๊สคาร์บอนได้ออกไซด์ โดยทำการวัดตามแบบจำลอง เป็นแบบจำลองการตรวจวัดแก๊สทั้ง 3 โดยการต่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดแก๊สเข้ากับกล่องที่บรรจุกล้วยและผ่านการรมแก๊สโอโซนแล้ว เพื่อพิสูจน์สมการที่ 2 คาดว่าผลที่ออกมาโอโซนสามารถลดปริมาณแก๊สเอทิลีนได้จริง

3.4.6 การบันทึกภาพ

การบันทึกภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิตอล ทำการบันทึกภาพถ่ายในทุก ๆ วันเพื่อให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงสีเปลือกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา และทำการบันทึกภาพโดยใช้สตูดิโอขนาดเล็กเพื่อควบคุมแสงในการถ่ายภาพให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด



ภาพที่ 15 สตูดิโอขนาดเล็กสำหรับถ่ายภาพ

ตัวอย่างตารางบันทึกค่าทั้งหมด โดยจะทำการทดลอง 5 กรณี กรณีที่ 1 ตัวอย่างควบคุม คือ ไม่มีการปล่อยแก๊สโอโซนเพื่อยับยั้งแก๊สเอทิลีน กรณีที่ 2 Treatment 1 คือปล่อยแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ในหน่วย ppm กรณีที่ 3 Treatment 2 คือปล่อยแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 ในหน่วย ppm กรณีที่ 4 Treatment 3 คือปล่อยแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 ในหน่วย ppm และ กรณีที่ 5 Treatment 4 คือปล่อยแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 12 ต่อ 1 ในหน่วย ppm

3.5 สถานที่ดำเนินการวิจัย

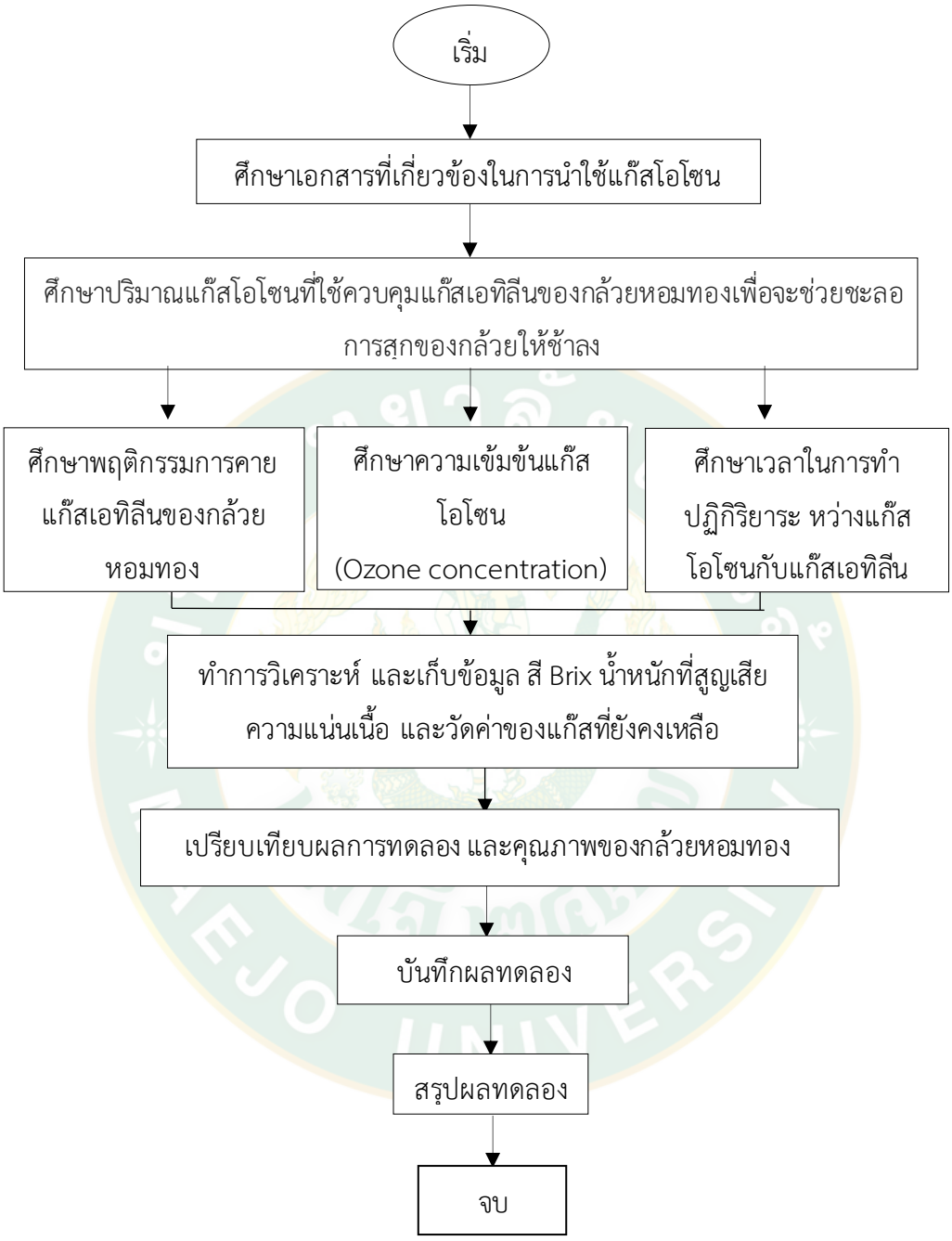
ดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย

3.6 งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้คาดว่าจะใช้งบประมาณมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1)	ค่าวัตถุดิบกล้วยหอมทอง	5,000 บาท
2)	ค่ากล่องบรรจุการทดลอง	2,500 บาท
3)	ค่าเครื่องผลิต Ozone Generator	15,000 บาท
4)	ค่าเครื่องวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	15,000 บาท
5)	ค่าเครื่องวัดแก๊สโอโซน	15,000 บาท
6)	ค่าเครื่องวัดแก๊สเอทิลีน	20,000 บาท
	งบประมาณรวม	**72,500 บาท**

3.7 แผนภูมิการดำเนินงาน



ภาพที่ 16 แผนภูมิการดำเนินงาน

3.8 ระยะเวลาดำเนินการ

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้รวมทั้งสิ้น 12 เดือน

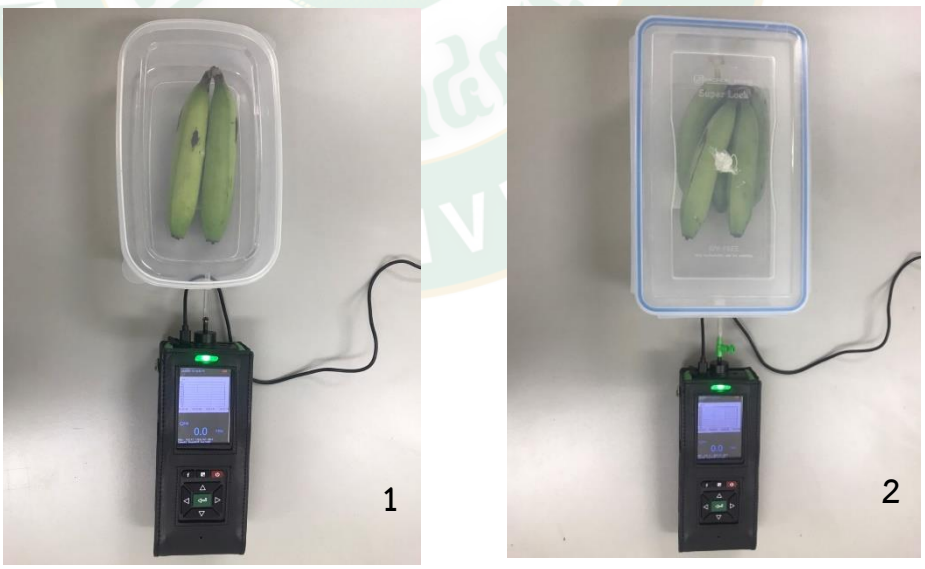
ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษางานวิจัยตัวแปร และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการยืดอายุการเก็บรักษากล้วย และการนำโอโซนเพื่อใช้ในการยืดอายุผัก และผลไม้	◄	———	———	———	———	►						
2. ศึกษาผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับขั้นตอนการปฏิบัติงานในการรมแก๊สโอโซน		◄	———	———	———	———	———	———	———	►		
3. ดำเนินการติดตามผลของการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง และทดสอบการใช้แก๊สโอโซนในการควบคุมแก๊สเอทิลิน					◄	———	►					
4. เลือกใช้ความเข้มข้นและเวลาในการรมแก๊สโอโซนที่ดีที่สุดต่อคุณภาพในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง							◄	———	———	►		
5. สรุปผลการศึกษา											◄	►
6. เขียนรายงาน											◄	►

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงการใช้แก๊สโอโซนและแก๊สเอทิลีน พบว่าแก๊สโอโซนมีผลต่อการชะลอการเติบโต ชะลอการสุก และยังสามารถรักษาคุณภาพของผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวได้ แก๊สโอโซนสามารถยับยั้งการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองสดได้ จึงต้องมีการศึกษาและทดลองการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง การศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซน การศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน และศึกษาผลของแก๊สโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง ดังนี้

4.1 การศึกษาพฤติกรรมการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง

การศึกษาพฤติกรรมการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง โดยเริ่มจากการนำกล้วยดิบจำนวน 2 ผล และ 5 ผล วางในกล่องพลาสติกปริมาตร 2.5 ลิตรและกล่องพลาสติกปริมาตร 5 ลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 17 ทำการวัดค่าแก๊สเอทิลีนโดยปิดฝาทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 11.00 – 12.00 น. จากนั้นทำการวัดค่าแก๊สและบันทึกค่าหลังจากวัดเสร็จแล้วจึงเปิดฝากล่องออกทำซ้ำจนครบ 12 วัน ดังแสดงในตารางที่ 13 และ 14



ภาพที่ 17 การวัดแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองดิบ (1) กล้วย 2 ผล ในกล่อง 2.5 L (2) กล้วย 5 ผล ในกล่อง 5 L

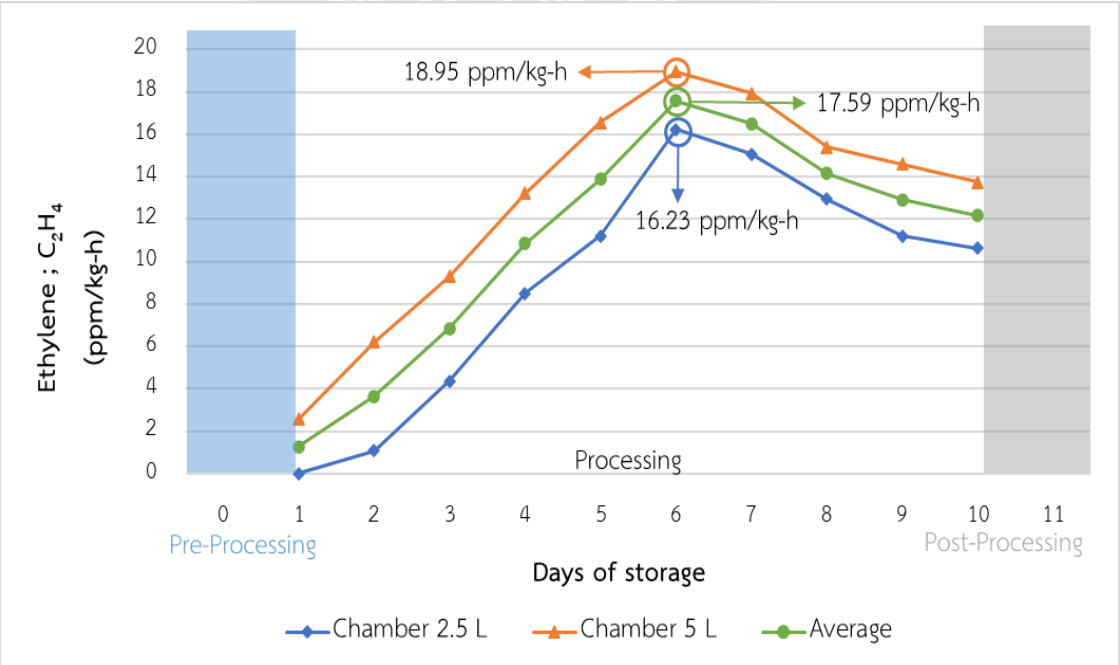
ตารางที่ 13 พฤติกรรมการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง 2 ผลในกล่องปริมาตร 2.5 ลิตร

Day	Weight (g)	C_2H_4 (ppm/kg-h)	C_2H_4 (µl/kg-h)	CO_2 (ppm/kg-h)	CO_2 (mg/kg-h)
1	285	0.00	0.00	31,548.53	22.71
2	280	1.07	0.43	35,204.75	25.35
3	275	4.36	1.75	36,813.35	26.51
4	271	8.49	3.39	39,980.33	28.79
5	268	11.19	4.48	33,452.72	24.09
6	265	16.23	6.49	30,125.77	21.69
7	259	15.06	6.02	30,736.18	22.13
8	255	12.94	5.18	25,166.00	18.12
9	250	11.20	4.48	29,857.32	21.50
10	245	10.61	4.24	33,330.61	24.00

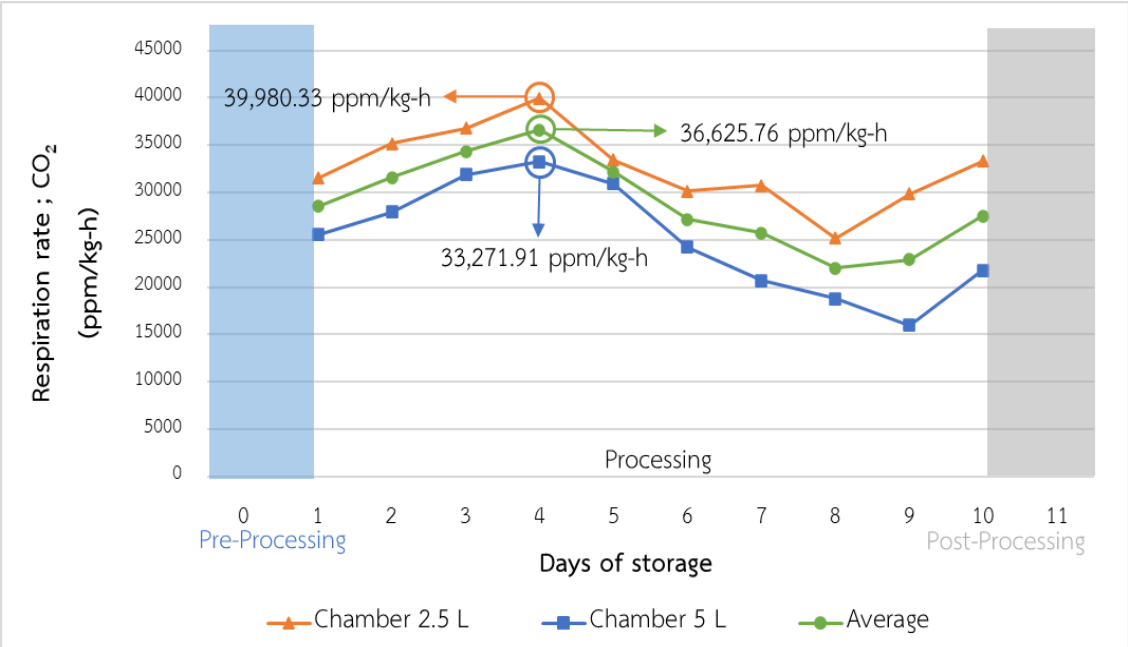
ตารางที่ 14 พฤติกรรมการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง 5 ผลในกล่องปริมาตร 5 ลิตร

Day	Weight (g)	C_2H_4 (ppm/kg-h)	C_2H_4 (µl/kg-h)	CO_2 (ppm/kg-h)	CO_2 (mg/kg-h)
1	313	2.56	0.64	25,533.55	9.19
2	306	6.21	1.55	27,931.37	10.06
3	301	9.30	2.33	31,857.14	11.47
4	295	13.22	3.31	33,271.19	11.98
5	290	16.55	4.14	30,944.83	11.14
6	285	18.95	4.74	24,207.02	8.71
7	279	17.92	4.48	20,673.84	7.44
8	273	15.38	3.85	18,798.53	6.77
9	267	14.61	3.65	15,988.76	5.76
10	262	13.74	3.44	21,744.27	7.83

จากตารางที่ 13 และ14 พบว่ากล้วยหอมทองมีอัตราการคายแก๊สเอทิลีนสูงที่สุดในช่วงวันที่ 6 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดของกล้วย 2 ผลในกล่องปริมาตร 2.5 ลิตร คือ 16.23 ppm/kg-h (6.46 µl/kg-h) ค่าความเข้มข้นสูงสุดของกล้วย 5 ผลในกล่องปริมาตร 5 ลิตร คือ 18.95 ppm/kg-h (3.79 µl/kg-h) และค่าเฉลี่ยของแก๊สเอทิลีนคือ 17.59 ppm/kg-h (5.14 µl/kg-h) ดังภาพที่ 17 และมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากการหายใจมากที่สุดในช่วงวันที่ 4 โดยมีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วย 2 ผลในกล่องขนาด 2.5 ลิตร คือ 39,980.33 ppm/kg-h (28.79 mg/kg-h) ค่าความเข้มข้นของกล้วย 5 ผลในกล่องขนาด 5 ลิตร คือ 33,271.19 ppm/kg-h (11.98 mg/kg-h) และค่าเฉลี่ยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คือ 36,625.76 ppm/kg-h (20.38 mg/kg-h) ดังภาพที่ 18 และ19

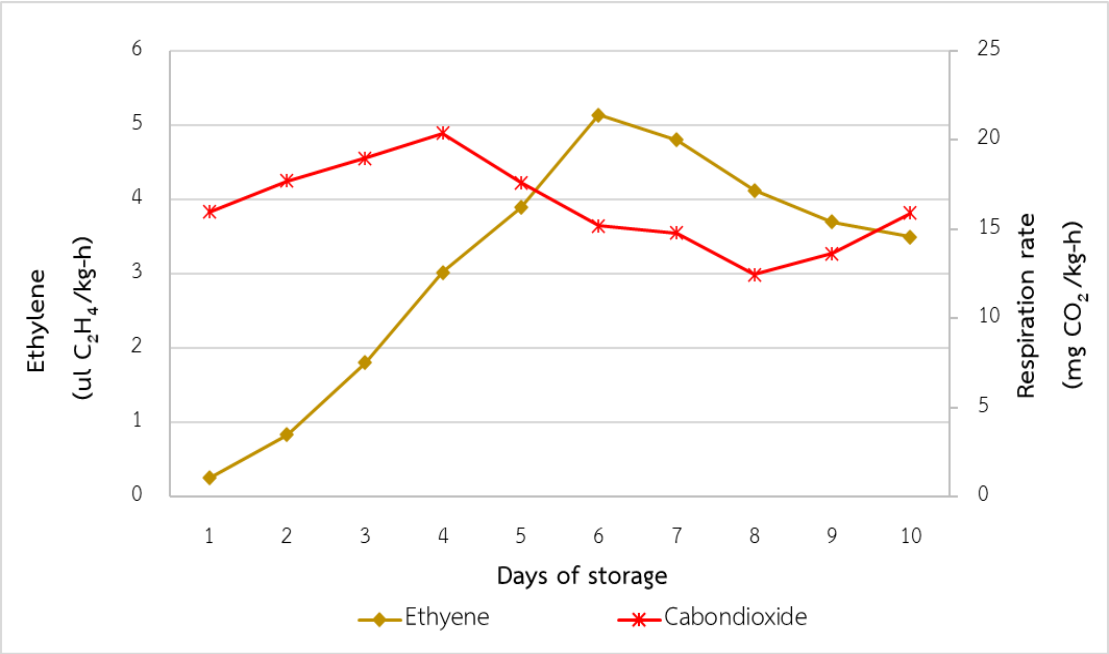


ภาพที่ 18 อัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง



ภาพที่ 19 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจของกล้วยหอมทอง

จากภาพที่ 18 และ19 พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้หน่วยของแก๊สเอทิลีน ในหน่วย µl C_2H_4 /kg-h แต่เนื่องจากเครื่องเซ็นเซอร์วัดแก๊สเอทิลีน สามารถวัดได้ในหน่วย ppm/kg-h จึงมีการแปลงหน่วย และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบงานวิจัย เพื่อให้ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำปริมาณแก๊สเอทิลีน (ppm/kg-h) / ปริมาตรของภาชนะ (L) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในงานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้ในหน่วย mg CO_2 /kg-h แต่เนื่องจากเครื่องเซ็นเซอร์วัดคาร์บอนไดออกไซด์สามารถวัดได้ในหน่วย ppm/kg-h เพื่อให้ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm/kg-h) x 1.8 / 1000 x ปริมาตรของภาชนะ (L)



ภาพที่ 20 ค่าเฉลี่ยของอัตราการคายแก๊สเอทิลีนและอัตราการหายใจของกล้วยหอมทอง

จากภาพที่ 20 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของอัตราการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง ในหน่วย µl C_2H_4 /kg-h และค่าเฉลี่ยของอัตราการคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจของกล้วยหอมทอง ในหน่วย mg CO_2/kg-h

4.2 การศึกษาความเข้มข้นของโอโซน (Ozone concentration)

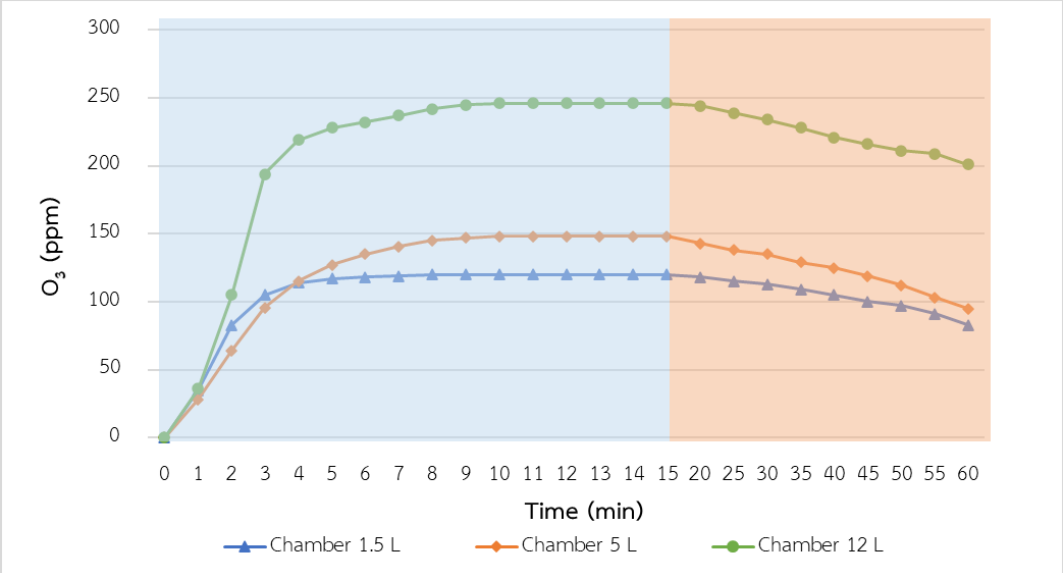
ทำการศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซน โดยใช้เครื่อง Ozone generator ขนาด 400 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ที่ผลิตได้ในกล่องแต่ละขนาด โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนในกล่องอยู่ 3 ขนาด คือ 1.5 ลิตร, 5 ลิตร และ 12 ลิตร เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแก๊สโอโซน และทำการศึกษาอัตราการเสื่อมสลายแก๊สโอโซนในกล่องภาชนะปิดจะได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 15 และ16 จากนั้นจึงนำมาจัดเป็นรูปแบบกราฟ ดังภาพที่ 21

ตารางที่ 15 อัตราการผลิตโอโซนของเครื่อง Ozone generator ในภาชนะปิด

Time (min)	O_3 (ppm)		
	1.5 L	**5 L**	**12 L**
1	35.0	28.0	36.0
2	83.0	64.0	105.0
3	105.0	95.5	194.0
4	114.0	115.0	219.0
5	117.0	127.0	228.0
6	118.0	135.0	232.0
7	119.0	140.5	237.0
8	120.0	145.0	242.0
9	119.0	147.0	245.0
10	120.0	148.0	246.0
11	120.0	148.0	246.0
12	120.0	148.0	246.0
13	120.0	148.0	246.0
14	120.0	148.0	246.0
15	120.0	148.0	246.0

ตารางที่ 16 อัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนในภาชนะปิด

Time (min)	O_3 (ppm)		
	1.5 L	5 L	12 L
0	120.0	148.0	246.0
15	118.0	140.0	244.0
20	115.0	140.0	239.0
25	114.0	138.0	235.0
30	111.0	137.0	231.0
35	104.0	135.0	231.0
40	107.0	129.0	229.0
45	105.0	125.0	221.0
50	100.0	119.0	219.0
55	83.0	100.0	209.0
60	80.0	96.0	203.0



ภาพที่ 21 การผลิตแก๊สโอโซนและการเสื่อมสลายของเครื่อง Ozone generator ขนาด 400 mg/h ในกล่องภาชนะปิด (แถบสีฟ้า=เวลาในการผลิต, แถบสีส้ม=เวลาในเสื่อมสลาย)

จากภาพที่ 21 พบว่าความเข้มข้นของแก๊สโอโซนขึ้นอยู่กับขนาดปริมาตรของกล่องพลาสติก เมื่อกล่องพลาสติกมีขนาดใหญ่จะสามารถจุความเข้มข้นแก๊สโอโซนได้มากกว่ากล่องพลาสติกที่ขนาดปริมาตรน้อย จากการทดลองกล่องพลาสติกปริมาตร 1.5 ลิตร สามารถจุความเข้มข้นโอโซนได้สูงสุด

120 ppm กล่องพลาสติกปริมาตร 5 ลิตร สามารถจุความเข้มข้นโอโซนได้สูงสุด 148 ppm และกล่องพลาสติกปริมาตร 12 ลิตร สามารถจุความเข้มข้นโอโซนได้สูงสุด 246 ppm โดยความเข้มข้นสูงสุดที่เครื่อง Ozone generator ผลิตได้ในภาชนะแต่ละขนาดใช้เวลา 10-15 นาที ความเข้มข้นสูงสุดคงที่ และผลของการเสื่อมสลายของโอโซน ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีอัตราการเสื่อมสลายของโอโซนในภาชนะทั้ง 3 ขนาด อยู่ในช่วง 15-20 ppm

จากการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนพบว่าสามารถวิเคราะห์สมการทำนายค่าของอัตราการผลิตแก๊สโอโซนในภาชนะทั้ง 3 ขนาดให้ในรูปของ $O_3 = f(t)$ โดย O_3 คือ ความเข้มข้นแก๊สโอโซน หน่วยเป็น ppm, t_1 คือ เวลาในการผลิตแก๊สโอโซนหน่วยเป็น min, t_2 คือเวลาในการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนหน่วยเป็น min, b และ c คือ ค่าคงที่ โดยสมการลำดับที่ 1-3 เป็นการผลิตแก๊สโอโซนในรูปสมการโพลิโนเมียล สำหรับสมการลำดับที่ 4-6 เป็นสมการสามารถทำนายอัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนในภาชะปิดสนิท ในภาชนะทั้ง 3 ขนาด ในรูปสมการเส้นตรง

1. สมการทำนายอัตราการผลิตแก๊สโอโซนในภาชนะขนาด 1.5 ลิตร คือ $O_3 = 0.1654t_1^3 - 4.7982t_1^2 + 42.923t_1 + 4.2276$ และมีค่าความน่าเชื่อถือ $R^2=0.9686$
2. สมการทำนายอัตราการผลิตแก๊สโอโซนในภาชนะขนาด 5 ลิตร คือ $O_3 = 0.1135t_1^3 - 3.8317t_1^2 + 42.178t_1 - 36186$ และมีค่าความน่าเชื่อถือ $R^2=0.9965$
3. สมการทำนายอัตราการผลิตแก๊สโอโซนในภาชนะขนาด 12 ลิตร คือ $O_3 = 0.2694t_1^3 - 8.367t_1^2 + 82.673t_1 - 13.215$ และมีค่าความน่าเชื่อถือ $R^2=0.973$
4. สมการทำนายอัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนในภาชนะขนาด 1.5 ลิตร คือ $O_3 = -0.7939t_2 + 134.87$ และมีค่าความน่าเชื่อถือ $R^2= 0.9681$
5. สมการทำนายอัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนในภาชนะขนาด 5 ลิตร คือ $O_3 = -1.1382\ t_2 + 167.38$ และมีค่าความน่าเชื่อถือ $R^2 = 0.9801$
6. สมการทำนายอัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนในภาชนะขนาด 12 ลิตร คือ $O_3 = -1.0315t_2 + 263.58$ และมีค่าความน่าเชื่อถือ $R^2 = 0.9917$

4.3 การศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซน (O_3) กับแก๊สเอทิลีน (C_2H_4)

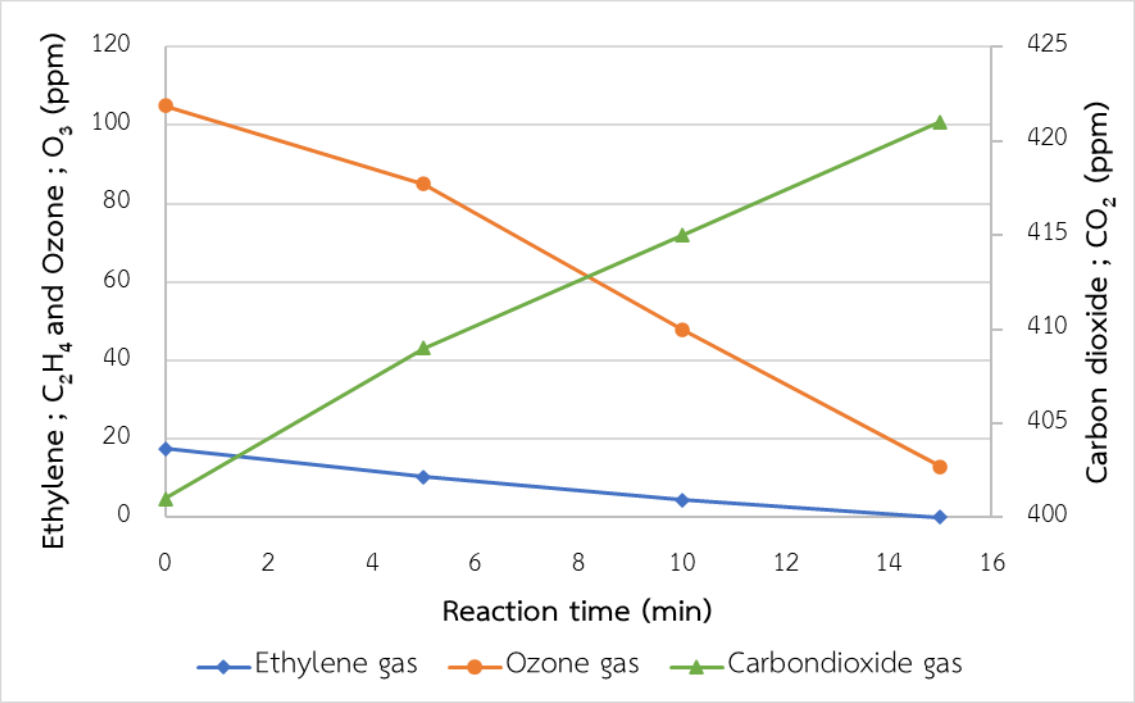
เพื่อให้การทดลองเป็นไปตามสมการที่ 3 จำเป็นต้องมีการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน และนำผลไปใช้ต่อในการทดลองที่ 4.4 การศึกษาผลของ แก๊สโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง ทำการทดสอบโดยกำหนดค่าเริ่มต้นโดยค่าแก๊สเอทิลีนที่ได้จากการทดลองที่ 4.1 (ตารางที่ 13 และ 14) แก๊สเอทิลีนจะสูงสุดในช่วง 16-19 ppm ดังนั้น

จึงเลือกใช้แก๊สเอทิลีน C_2H_4 = 17.59 ppm เป็นค่าเริ่มต้นในการทดลองที่ 4.4 จากสมการที่ 3 จึงเลือกใช้แก๊สโอโซนเป็น 6 เท่าของแก๊สเอทิลีน O_3 = 105.54 ppm และในวันที่ทำการทดลองได้ทำการอ่านค่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศปกติได้ CO_2 = 401 ppm ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) คืออัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่สภาวะความดันและอุณหภูมิเดียวกันมักแสดงในรูปร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ (%) จะได้ผลการศึกษา ดังตารางที่ 17

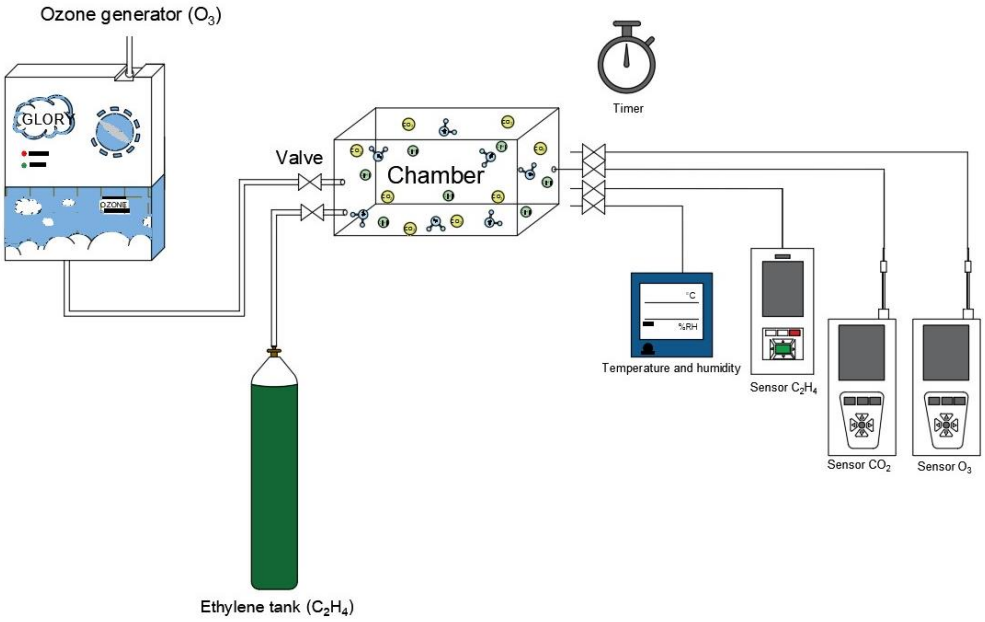
ตารางที่ 17 การทดสอบเวลาที่แก๊สโอโซนทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีน

Reaction time (min)	C_2H_4 (ppm)	O_3 (ppm)	CO_2 (ppm)	%RH
0	17.59	105.54	401	65.4
5	10.30	85.23	409	65.5
10	4.50	41.98	415	65.8
15	0.00	13.11	421	66.4

จากการทดลองพบว่าแก๊สโอโซนสามารถทำปฏิกิริยายับยั้งแก๊สเอทิลีนได้ และจากการทำปฏิกิริยาจะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ภายในระยะเวลา 15 นาที แก๊สโอโซนสามารถยังยั้งแก๊สเอทิลีน จะได้กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของแก๊สทั้ง 3 ชนิดหลังจากการทำปฏิ กิริยา คือ แก๊สเอทิลีน แก๊สโอโซน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 22 และ23



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของแก๊สทั้ง 3 ชนิด หลังการทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 23 แบบจำลองการทดลองการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซน กับแก๊สเอทิลีน

4.4 การศึกษาผลของโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง

ทำการศึกษาผลของโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง โดยแบ่งเป็น 2 กรณีการศึกษา คือ กรณีที่ 1 ช่วงเวลาในการรมแก๊สโอโซน กรณีที่ 2 อัตราส่วนของความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน

ในกรณีที่ 1 ทำการรมโอโซนเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกทำการรมแก๊สโอโซนตั้งแต่วันที่เริ่มการทดลอง และรมแก๊สโอโซนในช่วงวันที่กล้วยหอมทองปล่อยแก๊สเอทิลีนออกมามากที่สุดในช่วง 16-19 ppm เป็นวันที่ 6 ของการทดลอง (ข้อมูลจากการทดลองที่ 4.1)

ในกรณีที่ 2 อัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน โดยจะทำการศึกษา 4 อัตราส่วน คือ อัตราส่วนที่ 1 ความเข้มข้นของแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนเป็นอัตราส่วน 2 ต่อ 1 (ดังสมการที่ 1) อัตราส่วนที่ 2 ความเข้มข้นของแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนเป็นอัตราส่วนเป็น 4 ต่อ 1 อัตราส่วนที่ 3 ความเข้มข้นของแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนเป็นอัตราส่วนเป็น 6 ต่อ 1 อัตราส่วนที่ 4 ความเข้มข้นของแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนเป็นอัตราส่วน 12 ต่อ 1 ในการรมแก๊สโอโซนในการทดลองนี้จะปิดฝากล่องทิ้งไว้ให้แก๊สทำปฏิกิริยากันเป็นระยะเวลา 15 นาที (ตามผลการทดลองที่ 4.3)

การศึกษาทั้ง 2 กรณีนี้จะทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องในช่วง 22-27 องศาเซลเซียส และจะเปรียบเทียบผลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของกล้วยหอมทอง คือ ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Brix) และน้ำหนักที่สูญเสียระหว่างการยืดอายุ ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 12 วัน และในการทดลองแต่ละครั้งจะกำหนดจำนวนกล้วยหอมทองกรณีศึกษาละ 5 ผล ดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24 ตัวอย่างการรมกล้วยหอมทองโดยแก๊สโอโซน

ทำการศึกษาข้อมูลตัวอย่างคุณภาพของกล้วยหอมทองโดยจะทำการศึกษาค่าสี ค่าความหวาน ค่าความแน่นเนื้อ จากแหล่งที่มา 3 ตัวอย่าง คือ 7-Eleven, Rimping Supermarket และ

Top Supermarket ดังตารางที่ 18 เพื่อนำข้อมูลตัวอย่างคุณภาพกล้วยหอมทองที่ได้เป็นตัวชี้วัดในการประเมินคุณภาพของกล้วยหอมทองในการทดลอง

ตารางที่ 18 ข้อมูลตัวอย่างคุณภาพกล้วยหอมทอง

ตัวอย่าง	Color			Hue Angle (h°)	TSS (°Brix)	Peel Firmness (N)
	L*	a*	b*			
7-Eleven	60.04	5.29	36.50	84.10°	25.18	7.09
Rimping Supermarket	60.17	5.34	36.87	83.88°	25.17	6.47
Top Supermarket	60.69	5.26	36.92	84.91°	25.16	7.17
QCW	60.24	5.29	36.89	84.30°	25.17	7.08

จากตารางที่ 18 พบว่ากล้วยหอมทองจากแหล่งที่มา 3 ตัวอย่าง คือ 7-Eleven, Rimping Supermarket และ Top Supermarket มีค่า L* เป็นค่าที่แสดงถึงค่าความสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 60.24 ค่า a* แกนสีของสีเขียวถึงสีแดงเฉลี่ยเท่ากับ 5.29 และค่า b* แสดงถึงแกนสีน้ำเงินถึงสีเหลืองเฉลี่ยเท่ากับ 36.89 และนำค่า a*, b* คำนวณหาค่า Hue angle จะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.30° ค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 25.17 °Brix และค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ยเท่ากับ 7.08 นิวตัน โดยค่าดังกล่าวให้เป็นค่าเฉลี่ยเชิงคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการ (Quality of Customers Want, QCW)

ภาพที่ 25 กล้วยตัวอย่างจากแหล่งที่มาต่าง ๆ (1) 7-Eleven (2) Rimping Supermarket และ (3) Top Supermarket

ตารางที่ 19 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองกรณีตัวอย่างควบคุม (Control)

Day	Color			Hue Angle	Firmness	Weight (g)	TSS
	L*	a*	b*	(h°)	(N)		(°Brix)
1	56.31	-9.79	36.48	105.29°		740.00	
2	57.17	-7.03	38.19	100.43°	13.1	734.00	21
3	64.35	2.54	44.85	86.76°		726.33	
4	59.01	3.77	44.20	85.12°	8.90	720.33	23
5	58.29	4.63	44.55	84.06°		714.67	
6	60.55	4.89	46.76	84.02°	6.71	708.00	26
7	61.54	5.33	48.35	83.71°		703.33	
8	62.97	6.77	42.68	80.98°	3.42	696.33	27
9	53.81	7.34	35.74	78.39°		690.00	
10	47.82	7.99	33.05	76.41°	1.60	682.00	29
11	44.83	8.84	30.19	73.68°		673.00	
12	42.82	9.17	28.97	72.44°	1.20	668.67	30

หมายเหตุ : กรอบสีเหลืองแสดงถึงกล้วยที่พร้อมรับประทาน เมื่อเทียบกับค่า Hue Angle ตารางที่ 18

จากตารางที่ 19 พบว่าสีของเปลือกกล้วยมีค่า L* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่างมากที่สุดในวันที่ 3 ค่า a* แกนสีของสีเขียวและสีแดง ซึ่งค่าลบแสดงถึงสีเขียว และค่าบวกแสดงถึงสีแดง จากตารางกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 3 และค่า b* เป็นค่าบวกคือแกนสีเหลือง จะมีสีเหลืองสูงที่สุดในวันที่ 7 จากการศึกษาค่ามุมของสี Hue angle พบว่าสามารถยืดอายุกล้วยได้ถึงวันที่ 6 เนื่องจากเมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าสีดัชนีตัวอย่างแล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าประมาณ 84.02° หมายถึงค่าไปทางสีเหลือง จากการศึกษาค่าความหวานพบว่าในวันที่ 2 ของการทดลองมีค่าความหวานน้อยที่สุดอยู่ที่ 21°Brix และวันที่ 12 ของการทดลองมีค่าความหวานมากที่สุดอยู่ที่ 30 °Brix (การทดลองนี้มีช่วงความหวานอยู่ที่ 21-30 °Brix) และมีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุดอยู่ที่ 13.1 นิวตัน และค่าความแน่นเนื้อน้อยสุดอยู่ที่ 1.20 นิวตัน รวมถึงอัตราการสูญเสียน้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 4.80%

ตารางที่ 20 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองรมแก๊สโอโซนในอัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน 2 ต่อ 1

Day	Color			Hue Angle	Firmness	Weight (g)	TSS
	L*	a*	b*	(h°)	(N)		(°Brix)
1	53.55	-9.52	35.28	105.10°		659.00	
2	52.06	-6.02	37.24	99.19°	12.41	654.33	20
3	64.16	0.47	46.95	89.43°		648.67	
4	56.43	0.70	42.96	86.29°	9.09	644.00	22
5	64.55	3.94	48.29	85.33°		639.00	
6	61.97	4.98	48.62	84.15°	7.11	633.00	25
7	59.41	4.91	46.81	84.01°		628.67	
8	59.82	5.87	49.95	83.29°	2.34	622.00	26
9	52.29	8.25	36.38	77.22°		616.33	
10	42.61	7.67	27.14	74.22°	1.99	609.33	28
11	36.50	7.87	26.25	73.30°		601.33	
12	35.72	7.99	23.28	71.29°	1.80	597.67	30

หมายเหตุ : กรอบสีเหลืองแสดงถึงกล้วยที่พร้อมรับประทาน เมื่อเทียบกับค่า Hue Angle ตารางที่ 18

จากตารางที่ 20 พบว่าสีของเปลือกกล้วยมีค่า L* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่างมากที่สุดในวันที่ 5 ค่า a* แกนสีของสีเขียวและสีแดง ซึ่งค่าลบแสดงถึงสีเขียว และค่าบวกแสดงถึงสีแดง จากตารางกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 5 และค่า b* เป็นค่าบวกคือแกนสีเหลือง จะมีสีเหลืองสูงที่สุดในวันที่ 8 จากการศึกษาค่ามุมของสี Hue angle พบว่าสามารถยืดอายุกล้วยได้ถึงวันที่ 7 เนื่องจากนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าสีดัชนีตัวอย่างแล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าประมาณ 84.01° หมายถึงค่าไปทางสีเหลือง จากการศึกษาค่าความหวานพบว่าในวันที่ 2 ของการทดลองมีค่าความหวานน้อยที่สุดอยู่ที่ 20 °Brix และวันที่ 12 ของการทดลองมีค่าความหวานมากที่สุดอยู่ที่ 30 °Brix และมีความแน่นเนื้อมากที่สุดอยู่ที่ 12.41 นิวตัน และค่าความแน่นเนื้อน้อยสุดอยู่ที่ 1.80 นิวตัน รวมถึงอัตราการสูญเสียน้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 4.70%

ตารางที่ 21 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองรมแก๊สโอโซนในอัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน 4 ต่อ 1

Day	Color			Hue Angle (h°)	Peel Firmness (N)	Weight (g)	TSS (%)
	L*	a*	b*				
1	55.44	-9.32	34.97	104.92°		670.33	
2	56.48	-5.68	38.72	98.34°	12.84	666.00	18
3	64.90	-1.46	45.59	91.83°		659.33	
4	56.43	0.70	42.96	89.06°	9.44	655.33	24
5	57.86	3.02	43.68	86.04°		651.67	
6	62.96	3.53	44.10	85.43°	7.84	645.33	25
7	59.78	4.31	43.87	84.39°		643.33	
8	54.99	4.73	45.31	84.03°	6.35	637.33	25
9	56.81	4.81	44.81	83.87°		629.67	
10	49.13	7.57	38.19	78.79°	4.66	623.00	26
11	44.53	9.77	34.53	74.20°		615.67	
12	43.13	9.79	30.26	72.07°	3.60	608.33	28

หมายเหตุ : กรอบสีเหลืองแสดงถึงกล้วยที่พร้อมรับประทาน เมื่อเทียบกับค่า Hue Angle ตารางที่ 18

จากตารางที่ 21 พบว่าสีของเปลือกกล้วยมีค่า L* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่างมากที่สุดในวันที่ 3 ค่า a* แกนสีของสีเขียวและสีแดง ซึ่งค่าลบแสดงถึงสีเขียว และค่าบวกแสดงถึงสีแดง จากตารางกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 5 และค่า b* เป็นค่าบวกคือแกนสีเหลือง จะมีสีเหลืองสูงที่สุดในวันที่ 3 จากการศึกษาค่ามุมของสี Hue angle พบว่าสามารถยืดอายุกล้วยได้ในช่วงวันที่ 8 เนื่องจากเมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าสีดัชนีตัวอย่างแล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าเท่ากับ 84.03° หมายถึงค่าไปทางสีเหลือง จากการศึกษาค่าความหวานพบว่าในวันที่ 2 ของการทดลองมีค่าความหวานน้อยที่สุดอยู่ที่ 18 °Brix และวันที่ 12 ของการทดลองมีค่าความหวานมากที่สุดอยู่ที่ 28 °Brix (การทดลองนี้มีช่วงความหวานอยู่ที่ 18-28 °Brix) และมีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุดอยู่ที่ 12.84 นิวตัน และค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุดอยู่ที่ 3.60 นิวตัน รวมถึงอัตราการสูญเสียน้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 4.19%

ตารางที่ 22 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองรมแก๊สโอโซนในอัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน 6 ต่อ 1

Day	Color			Hue Angle (h°)	Peel Firmness (N)	Weight (g)	TSS (°Brix)
	L*	a*	b*				
1	52.79	-9.78	35.79	105.28°		654.33	
2	51.99	-7.91	36.80	102.14°	12.55	651.00	18
3	61.31	-6.84	43.23	98.99°		647.67	
4	61.07	-2.02	45.66	92.53°	9.61	640.67	24
5	52.95	1.12	46.77	88.62°		637.67	
6	61.99	3.18	49.13	86.30°	8.16	634.00	25
7	57.10	4.36	51.32	85.15°		629.33	
8	59.01	5.50	52.33	84.00°	7.36	625.00	25
9	53.84	5.07	52.11	84.45°		619.67	
10	53.13	5.16	49.93	84.10°	6.90	615.33	26
11	51.52	6.27	49.27	82.74°		609.67	
12	44.12	7.79	40.25	79.05°	3.80	604.00	28

หมายเหตุ : กรอบสีเหลืองแสดงถึงกล้วยที่พร้อมรับประทาน เมื่อเทียบกับค่า Hue Angle ตารางที่ 18

จากตารางที่ 22 พบว่าสีของเปลือกกล้วยมีค่า L* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่างมากที่สุดในวันที่ 6 ค่า a* แกนสีของสีเขียวและสีแดง ซึ่งค่าลบแสดงถึงสีเขียว และค่าบวกแสดงถึงสีแดง จากตารางกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 5 และค่า b* เป็นค่าบวกคือแกนสีเหลือง จะมีสีเหลืองสูงที่สุดในวันที่ 8 จากการศึกษาค่ามุมของสี Hue angle พบว่าสามารถยืดอายุกล้วยได้ในวันที่ 10 เนื่องจากเมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าสีดัชนีตัวอย่างแล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าเท่ากับ 84.10° หมายถึงค่าไปทางสีเหลือง จากการศึกษาค่าความหวานพบว่าในวันที่ 2 ของการทดลองมีค่าความหวานน้อยที่สุดอยู่ที่ 18 °Brix และวันที่ 12 ของการทดลองมีค่าความหวานมากที่สุดอยู่ที่ 28 °Brix (การทดลองนี้มีช่วงความหวานอยู่ที่ 18-28 °Brix) และมีความแน่นเนื้อมากที่สุดอยู่ที่ 12.55 นิวตัน และค่าความแน่นเนื้อน้อยสุดอยู่ที่ 3.80 นิวตัน รวมถึงอัตราการสูญเสียน้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 3.74%

ตารางที่ 23 การทดสอบคุณภาพกล้วยหอมทองรมแก๊สโอโซนในอัตราส่วนความเข้มข้นแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน 12 ต่อ 1

Day	Color			Hue Angle (h°)	Peel Firmness (N)	Weight (g)	TSS (°Brix)
	L*	a*	b*				
1	58.53	-10.31	34.42	106.68°		650.00	
2	54.94	-9.28	52.83	99.96°	13.43	638.00	11.0
3	53.62	-6.32	52.09	96.92°		626.00	
4	61.88	-0.51	53.41	90.54°	8.05	616.00	23.0
5	58.75	2.07	54.79	87.84°		606.67	
6	60.05	4.01	54.65	85.81°	4.74	598.67	26.0
7	64.00	4.74	47.81	84.34°		588.67	
8	57.43	5.07	48.29	84.01°	2.35	586.67	28.0
9	55.91	7.76	39.33	78.84°		584.00	
10	41.08	10.07	22.64	66.03°	1.82	580.67	29.9
11	35.53	11.12	20.98	62.09°		577.33	
12	27.59	14.87	15.72	46.59°	1.45	572.00	31.6

หมายเหตุ : กรอบสีเหลืองแสดงถึงกล้วยที่พร้อมรับประทาน เมื่อเทียบกับค่า Hue Angle ตารางที่ 18

จากตารางที่ 23 พบว่าสีของเปลือกกล้วยมีค่า L* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่างมากที่สุดในวันที่ 7 ค่า a* แกนสีของสีเขียวและสีแดง ซึ่งค่าลบแสดงถึงสีเขียว และค่าบวกแสดงถึงสีแดง จากตารางกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 5 และค่า b* เป็นค่าบวกคือแกนสีเหลือง จะมีสีเหลืองสูงที่สุดในวันที่ 5 จากการศึกษาค่ามุมของสี Hue angle พบว่าสามารถยืดอายุกล้วยได้ในช่วงวันที่ 8 เนื่องจากเมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าสีดัชนีตัวอย่างแล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าเท่ากับ 84.01° หมายถึงค่าไปทางสีเหลือง จากการศึกษาค่าความหวานพบว่าในวันที่ 2 ของการทดลองมีค่าความหวานน้อยที่สุดอยู่ที่ 11 °Brix และวันที่ 12 ของการทดลองมีค่าความหวานมากที่สุดอยู่ที่ 31.6 °Brix และมีความแน่นเนื้อมากที่สุดอยู่ที่ 13.43 นิวตัน และค่าความแน่นเนื้อน้อยสุดอยู่ที่ 1.45 นิวตัน รวมถึงอัตราการสูญเสียน้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 8.0%

ตารางที่ 24 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมตลอดกระบวนการทดลอง

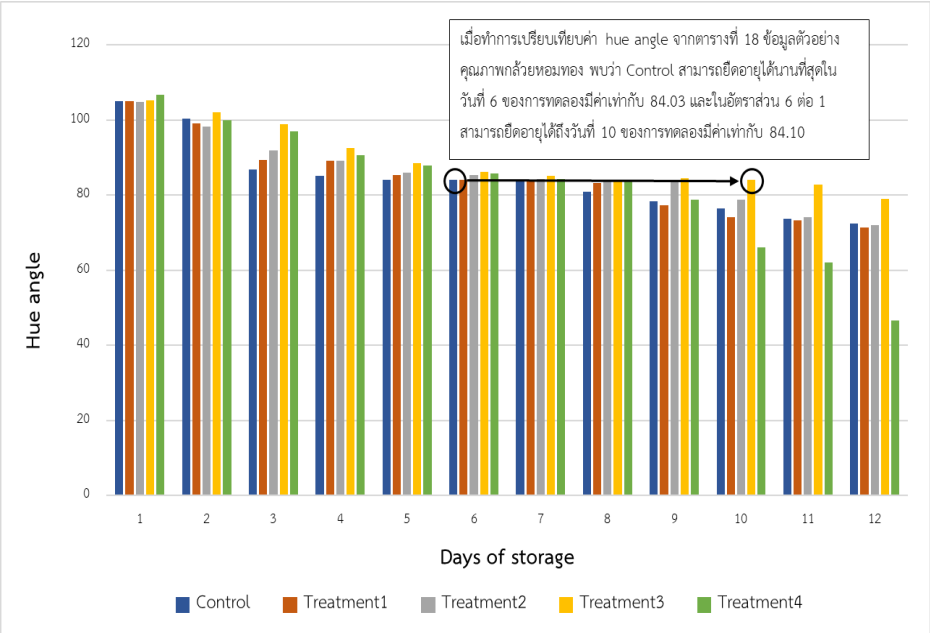
Days	Control		2:1		4:1		6:1		12:1	
1	ยังเขียวอยู่		ยังเขียวอยู่		ยังเขียวอยู่		ยังเขียวอยู่		ยังเขียวอยู่	
2	มีสีเหลืองปนเขียวเล็กน้อย		มีสีเหลืองปนเขียวเล็กน้อย		มีสีเหลืองปนเขียวเล็กน้อย		มีสีเหลืองปนเขียวเล็กน้อย		มีสีเหลืองปนเขียวเล็กน้อย	
3	เริ่มเหลืองแต่ยังเขียว		เริ่มเหลืองแต่ยังเขียว		เริ่มเหลืองแต่ยังเขียว		มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น		มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น	
4	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น		มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น	
5	เริ่มเหลืองแต่ยังมีเขียว		ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น		มีสีเหลืองและมีจุดสีน้ำตาล	
6	มีสีเหลืองสวย		ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		ยังมีสีเขียวตรงหัวและปลาย		ยังมีสีเขียวตรงหัวและปลาย		ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	
7	มีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น		มีจุดสีน้ำตาลแต่ปลายยังคงเขียว		มีจุดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น		มีสีเหลืองสวย		มีจุดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น	

ตารางที่ 24 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมตลอดกระบวนการทดลอง (ต่อ)

Days	Control		2:1		4:1		6:1		12:1	
8	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		มีความช้ำมีจุดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น		สีเหลืองมากขึ้นปลายเขียว		ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		มีความช้ำมากและเกิดการเน่า	
9	มีจุดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น		มีความช้ำมีจุดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น		มีจุดสีน้ำตาลปลายเขียว		ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		มีความช้ำมากขึ้นและเกิดการเน่า	
10	มีจุดสีน้ำตาลมาก และช้ำมาก		มีจุดสีน้ำตาลและช้ำ		มีจุดสีน้ำตาลและช้ำ		มีจุดสีน้ำตาลมาก		เกิดการเน่าเสียมากขึ้น	
11	-	-	-	-	มีความช้ำและกล้วยหลุดออกจากขั้ว		มีจุดสีน้ำตาลมากขึ้นหลายจุด		-	-
12	-	-	-	-	กล้วยหลุดออกจากขั้วและเกิดการเน่าเสีย		มีจุดสีน้ำตาลมากขึ้นหลายจุด		-	-

จากตารางที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบสีของกล้วยที่สุก ระหว่างชุดควบคุมกับการใช้โอโซน 6 ต่อ 1 ซึ่งพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้จาก 6 วัน เป็น 10 วัน ซึ่งแสดงว่าสามารถเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาจากเดิมได้ 4 วัน

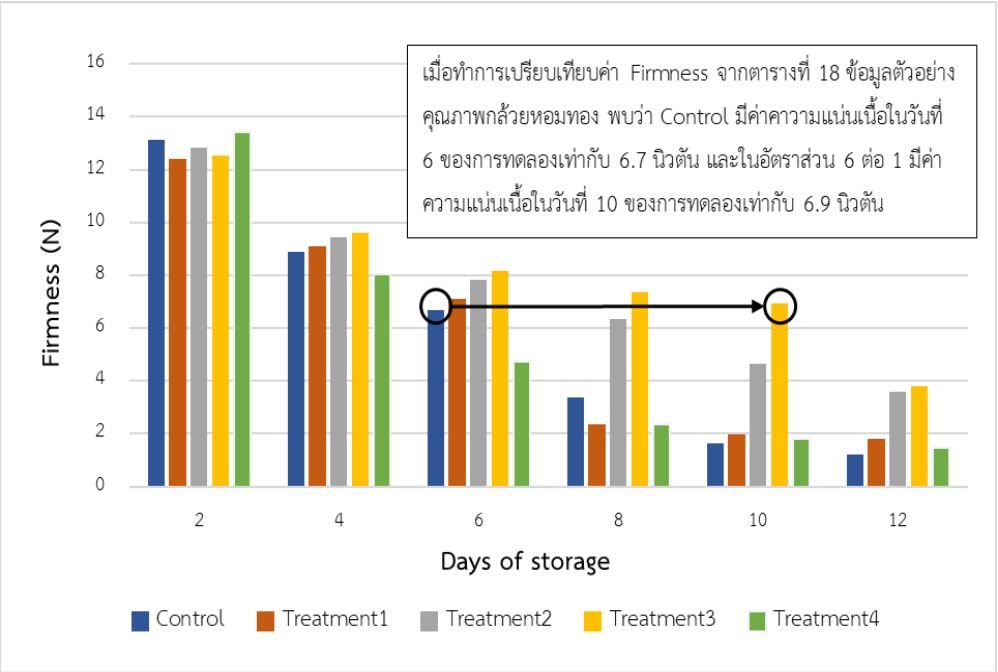
การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองเป็นระยะเวลา 12 วัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า L*, a*และ b* ของกล้วยหอมทอง แล้วทำการคำนวณหาค่า Hue angle ซึ่งจะเห็นได้ ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle ระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

จากภาพที่ 26 พบว่าค่า Hue angle ของกรณีตัวอย่างควบคุม (Control) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 6 ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 84.03° กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 7 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 84.01° กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 8 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 84.04° กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 10 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 84.10° กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 12 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 8 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 84.01° เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับดัชนีข้อมูลตัวอย่าง (ตารางที่ 18) ซึ่งมีค่า Hue angle เท่ากับ 84.30°

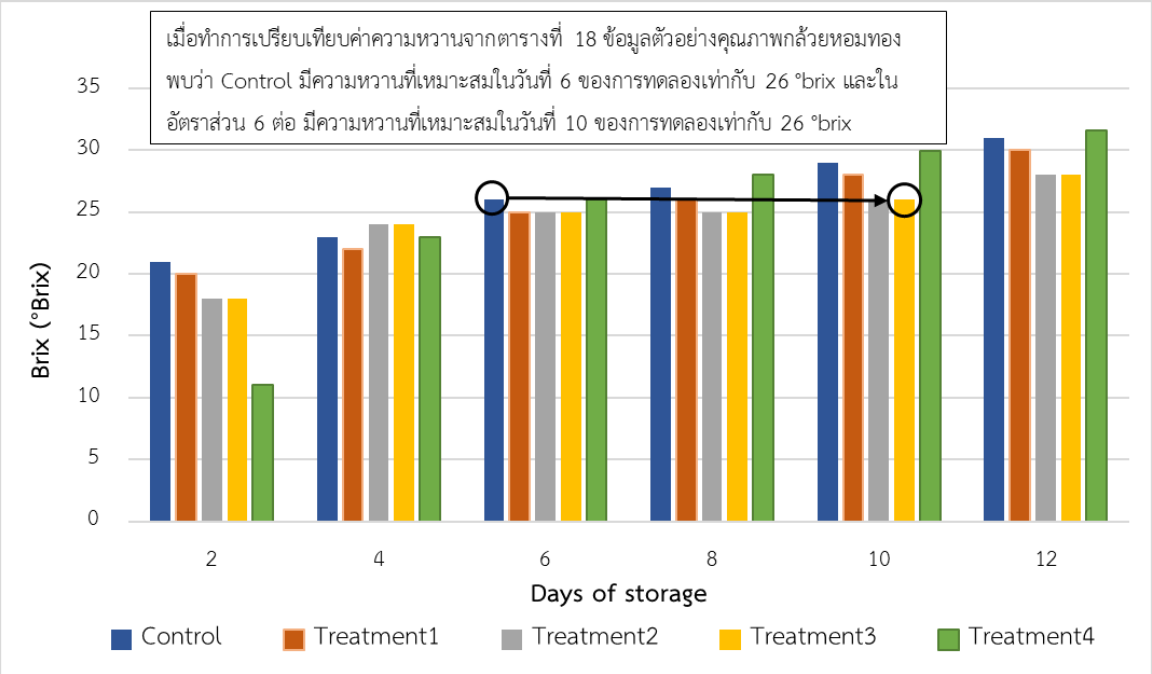
การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองเป็นระยะเวลา 12 วัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของกล้วยหอมทอง ซึ่งจะเห็นได้ ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

จากภาพที่ 27 พบว่าค่าความแน่นเนื้อของกรณีตัวอย่างควบคุม (Control) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 6 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 6.7 นิวตัน กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้วันที่ 6 ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.1 นิวตัน กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 8 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 6.3 นิวตัน กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 10 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 6.9 นิวตัน กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 12 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 6 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 8.2 นิวตัน เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับดัชนีข้อมูลตัวอย่าง (ตารางที่ 18) ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 7.35 นิวตัน

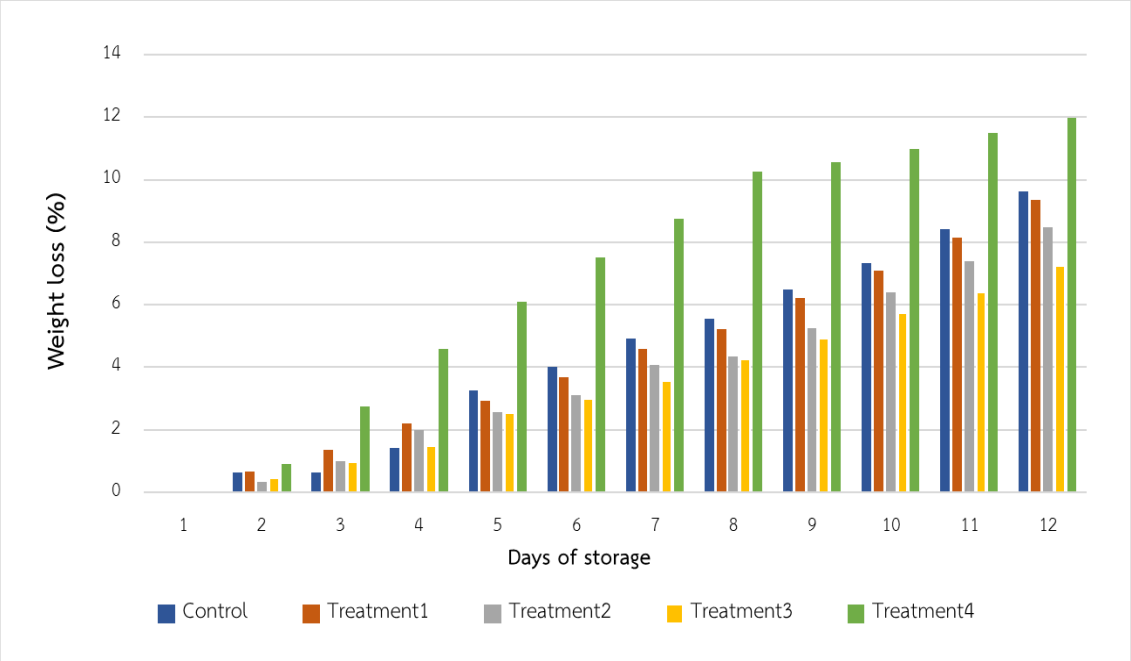
การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองเป็นระยะเวลา 12 วัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหวาน (°Brix) ของกล้วยหอมทอง ซึ่งจะเห็นได้ ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหวานระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

จากภาพที่ 28 พบว่าค่าความหวานของกรณีตัวอย่างควบคุม (Control) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 8 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 27 °Brix กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 8 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 28 °Brix กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 10 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 26 °Brix กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 10 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 26 °Brix กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 12 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 6 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 26 °Brix เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับดัชนีข้อมูลตัวอย่าง (ตารางที่ 18) ซึ่งมีค่าความหวานเท่ากับ 26 °Brix

การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองเป็นระยะเวลา 12 วัน จะเกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาซึ่งจะเห็นได้ ดังภาพที่ 29

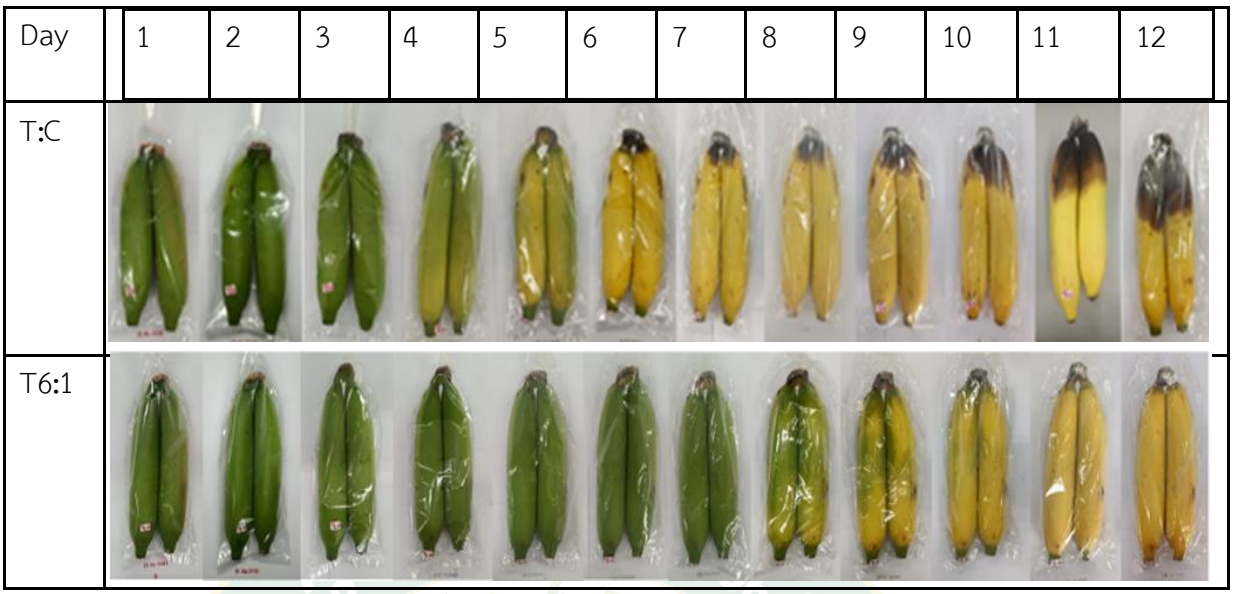


ภาพที่ 29 น้ำหนักที่สูญเสียระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษา

จากภาพที่ 29 แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมทองในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า กรณีที่ 1 ชุดควบคุม (Control) เกิดการสูญเสียน้ำหนัก 4.80% กรณีที่ 2 ชุดการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 เกิดการสูญเสียน้ำหนัก 4.70% กรณีที่ 3 ชุดการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 เกิดการสูญเสียน้ำหนัก 4.19% กรณีที่ 4 ชุดการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 เกิดการสูญเสียน้ำหนัก 3.74% และกรณีที่ 5 ชุดการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 12 ต่อ 1 เกิดการสูญเสียน้ำหนัก 8.0%

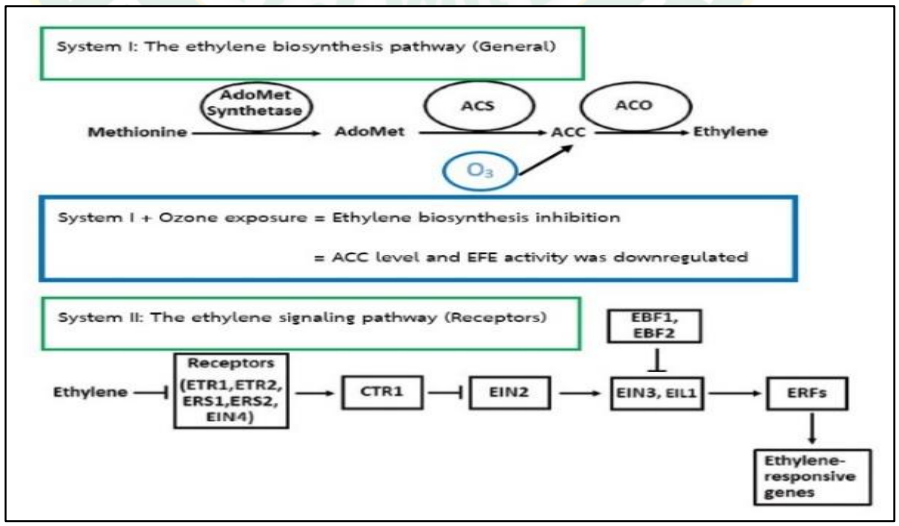
4.5 การทวนสอบการศึกษาผลของโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองในถุงพลาสติกเชิงการค้า กรณีศึกษาใส่ถุงพลาสติกแบบ Polyethylene (PE)

จากผลการศึกษาทั้งหมดที่ผ่านมาทางนักวิจัยจึงได้ทำการทวนสอบผลการศึกษา โดยใช้ผลของกรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 ที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ดีที่สุดมาทำซ้ำอีกครั้งในถุงพลาสติกเชิงการค้า กรณีศึกษาใส่ถุงพลาสติกแบบ Polyethylene (PE) ซึ่งทำการเก็บรักษาต่อเนื่อง 12 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (25 °C ± 2 °C) ดังแสดงในภาพที่ 30



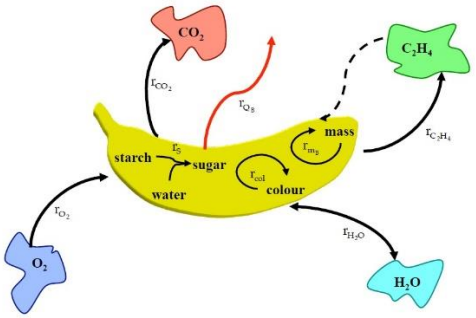
ภาพที่ 30 ผลของข้อมูลที่ศึกษาในถุงพลาสติกเชิงการค้าระหว่าง T:C และ T6:1

โดยสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งทำการวิจัยในผลสตรอเบอร์รี่และผลกีวีสดของ โดยเหตุผลที่สามารถยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนของผลไม้ได้เนื่องจากการที่แก๊สโอโซนไปลดการกระตุ้นในการสร้างฮอร์โมน 1-aminccyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthetase ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการสร้างสาร Ethylene Forming Enzyme (EFE) ที่ใช้ผลิตแก๊สเอทิลีนในพืชเกือบทุกชนิดลงได้ ดังนั้นทีมนักวิจัยสร้างแผนภาพเส้นทางการยับยั้ง (Inhibition pathway) เพื่ออธิบายกลไกดังกล่าวดังภาพที่ 31



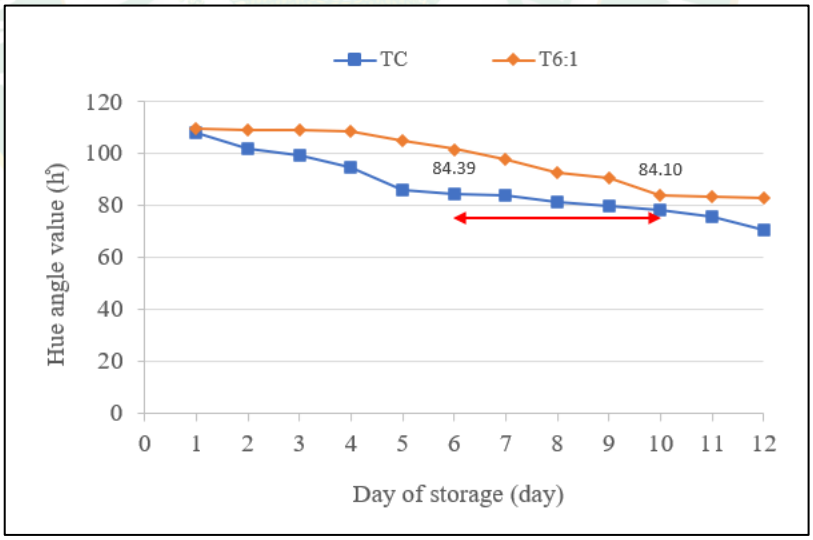
ภาพที่ 31 การอธิบายผลความสามารถยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนจาการลดการกระตุ้นในการสร้างฮอร์โมนในกล้วยหอมทอง

ซึ่งโดยปกติกล้วยหอมทอง เป็นผลไม้ประเภท Climacteric ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการผลิตเอทิลีนก่อนการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจ ซึ่งกลไกการควบคุมการสังเคราะห์เอทิลีนตามธรรมชาติ (Biosynthesis Inhibition) จะต้องลดกระบวนการระบบที่ 1 (System I) ซึ่งเป็นการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนในเนื้อเยื่อทั่ว ๆ ไป ในปริมาณเพียงเล็กน้อยของวันแรกให้ได้ ก่อนที่จะเกิดการกระตุ้นเพื่อผลิตแก๊สเอทิลีนแบบ Autocatalysis หรือแบบระบบที่ 2 (System II) เองในช่วงท้ายที่กล้วยหอมเริ่มสุกดังภาพที่ 32 โดยมีผลการศึกษาประกอบการศึกษาทางกายภาพและเคมี ดังนี้



ภาพที่ 32 หลักการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนแบบทั่ว ๆ ไป

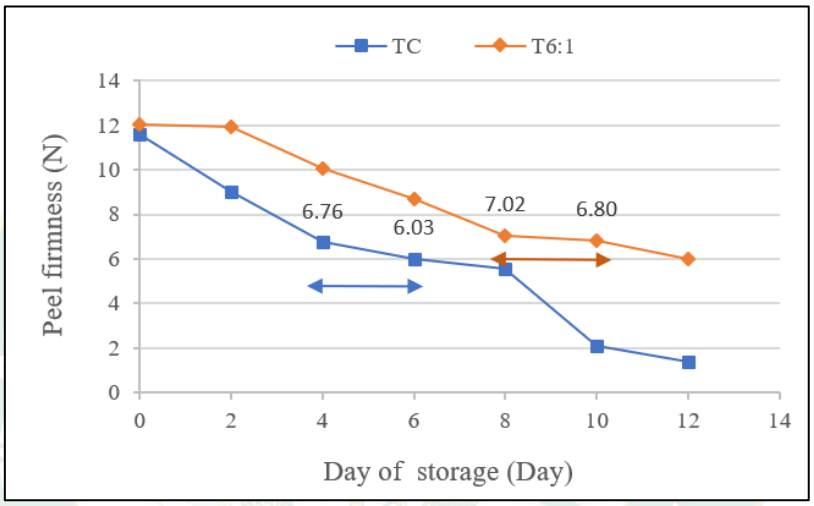
การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก เป็นระยะเวลา 12 วัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า L*, a* และ b* ของกล้วยหอมทอง แล้วทำการคำนวณหาค่า Hue angle จะเห็นได้



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงของค่า Hue angle ระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก

จากภาพที่ 33 พบว่าค่า Hue angle ของกรณีตัวอย่างควบคุม (Control) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 8 ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 83.67° กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 8 107.02° เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับดัชนีข้อมูลตัวอย่าง (ตารางที่ 18) ซึ่งมีค่า Hue angle เท่ากับ 84.30°

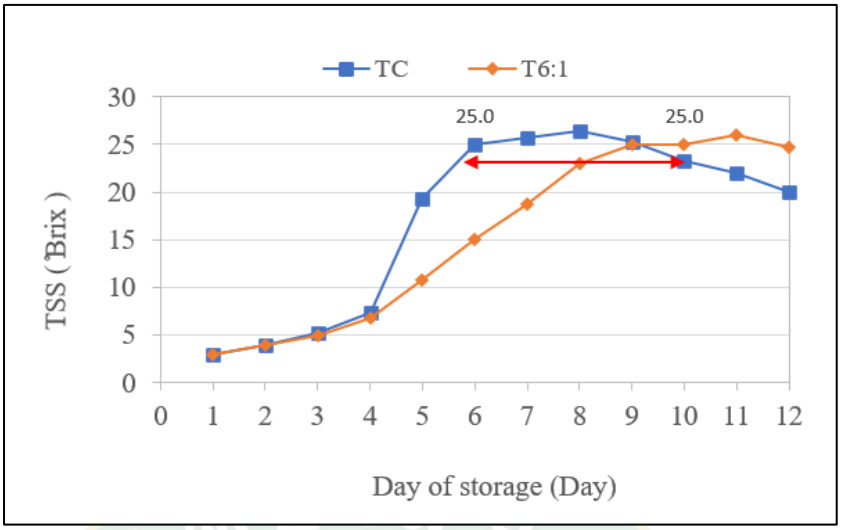
การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองเป็นระยะเวลา 12 วัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อที่เปลือก (Peel Firmness) ของกล้วยหอมทอง ซึ่งจะเห็นได้ ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก

จากภาพที่ 34 พบว่าค่าความแน่นเนื้อของกรณีตัวอย่างควบคุม (Control) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 4-6 ของการทดลอง มีค่ามีค่า 6.03-6.76 นิวตัน กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 8-12 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 6.02-7.02 นิวตัน เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับดัชนีข้อมูลตัวอย่าง ตารางที่ 18

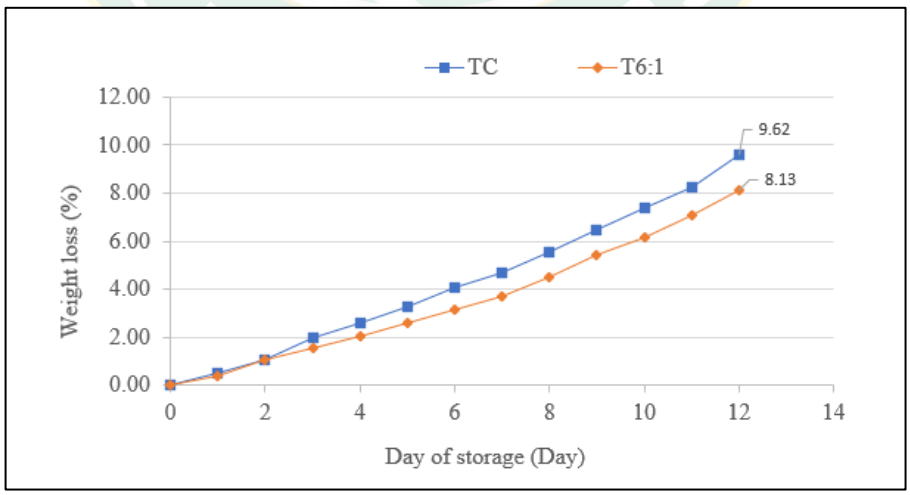
การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองเป็นระยะเวลา 12 วัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหวาน (°Brix) ของกล้วยหอมทอง ซึ่งจะเห็นได้ ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก

จากภาพที่ 35 พบว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของกรณีตัวอย่างควบคุม (Control) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 8 มีค่าเท่ากับ 25.7 °Brix กรณีการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ในวันที่ 9-11 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 26°Brix เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับดัชนีข้อมูลตัวอย่าง ดังตารางที่ 18

การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองเป็นระยะเวลา 12 วัน จะเกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาซึ่งจะเห็นได้ ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 น้ำหนักที่สูญเสียระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองในถุงพลาสติก

จากภาพที่ 36 แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยหอมทองในระหว่างการเก็บรักษา พบว่ากรณีที่ 1 ชุดชวบคุม (Control) เกิดการสูญเสียน้ำหนัก 9.62% กรณีที่ 2 ชุดการรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 เกิดการสูญเสียน้ำหนัก 8.13%

โดยผลการศึกษาทั้งหมดยืนยันได้ว่า การรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 ที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้เป็นระยะเวลา 10 วัน โดยคิดเป็นระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเทียบกับชุดควบคุมเป็นเวลา 4 วัน โดยยังมีคุณภาพดีแสดงจากสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ปรากฏ ดังนั้นการใช้แก๊สโอโซนเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการดูแลรักษากล้วยหลังการเก็บเกี่ยว

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองด้วยแก๊สโอโซนสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาการหายใจและการคายแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองสดมีอัตราการคายแก๊สเอทิลีนสูงที่สุดในช่วงวันที่ 6 ของการทดลอง โดยมีปริมาณเอทิลีนเท่ากับ 17.59 ppm/kg-h และกล้วยหอมทองจะมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากการหายใจมากที่สุดในช่วงวันที่ 4 โดยมีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 36,625.76 ppm/kg-h

2. การศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซน (Ozone concentration) จากผลการทดลองความเข้มข้นของโอโซนขึ้นอยู่กับขนาดของภาชนะ โดยภาชนะที่ใช้ในการทดลองจะมีขนาดที่ต่างกันทำให้ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแก๊สโอโซนสามารถกำหนดความเข้มข้นได้ตามขนาดปริมาตรของกล่อง

3. การศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีน จากผลการทดลองในภาชนะปิดสนิท แก๊สโอโซนสามารถยับยั้งแก๊สเอทิลีนได้ภายในระยะเวลา 15 นาที และจากการทำปฏิกิริยาจะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

4. การศึกษาคุณภาพของกล้วยหอมทองหลังผ่านกระบวนการรมโอโซน จากการทดลองกรณีที่ 1 การทดลองรมแก๊สโอโซนในวันเริ่มต้นด้วยอัตราส่วน 2 ต่อ 1 สามารถเก็บรักษาได้ 10 วัน พร้อมรับประทานมากที่สุดในวันที่ 6 ค่า hue angle ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 84.01° เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาทั้งหมดเท่ากับ 4.80% กรณีที่ 2 การทดลองรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 สามารถเก็บรักษาได้ 12 วัน พร้อมรับประทานมากที่สุดในวันที่ 8 ค่า hue angle ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 84.04° เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาทั้งหมดเท่ากับ 4.19% กรณีที่ 3 การทดลองรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 6 ต่อ 1 สามารถเก็บรักษาได้ 12 วัน พร้อมรับประทานมากที่สุดในวันที่ 10 ค่า hue angle ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 84.10° เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาทั้งหมดเท่ากับ 3.74% กรณีที่ 4 การทดลองรมแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนในอัตราส่วน 12 ต่อ 1 สามารถเก็บรักษาได้ 10 วัน พร้อมรับประทานมากที่สุดในวันที่ 8 ค่า hue angle ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 84.30° เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาทั้งหมดเท่ากับ 8.0%

สรุปผลการทดลองได้ว่าการยืดอายุกล้วยหอมทองด้วยแก๊สโอโซนถือว่าได้ผลจริง โดยที่สามารถยืดอายุได้นานกว่า 7 วัน ซึ่งปกติแล้วกล้วยที่ไม่ผ่านการรมโอโซนจะสามารถรับประทานได้ใน

วันที่ 6 แต่เมื่อทำการรมโอโซนกล้วยหอมทองพบว่าบสามารถยืดได้เพิ่มขึ้น 3-4 วัน กล้วยที่ผ่านการรมโอโซนนั้นจะมีสีที่สม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ โอโซนจะมีผลต่อกล้วยโดยจุดที่โดนโอโซนน้อยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเร็วกว่าจุดที่โดนโอโซนมาก ในแต่ละการทดลองจะมีการรมโอโซนในอัตราที่ต่างกันอัตราส่วนน้อย เช่น 2 ต่อ 1 จะยืดอายุได้ไม่ต่างจากตัวที่ไม่ได้รมโอโซน (Control) ส่วนตัวที่ถูกรมโอโซนในปริมาณมาก เช่น 6 ต่อ 1 จะมีการยืดอายุการเก็บรักษาได้มากกว่า

ดังนั้นอัตราส่วนแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน 6 ต่อ 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้นานยิ่งขึ้น และเหมาะสมในการรับประทานเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามการเลือกรับประทานขึ้นอยู่กับผู้บริโภค ซึ่งมีความชอบที่ต่างกันบางคนชอบรับประทานแบบสีไม่สม่ำเสมอ (เขียวปนเหลือง) สามารถรับประทานได้ในช่วงวันที่ 6-8 บางคนชอบรับประทานแบบสีเหลืองสม่ำเสมอ สามารถรับประทานได้ในวันที่ 8-10

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนกับแก๊สเอทิลีนเพิ่มเติม เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

2. ทำการบันทึกอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ทุกวันเพื่อลดความคลาดเคลื่อนผลการทดลอง

3. ศึกษาอัตราส่วนของแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาเพิ่มเติม

4. ควรเพิ่มระยะเวลาและจำนวนครั้งในการบันทึกผลการทดลอง เนื่องจากกล้วยหอมทองมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอยู่เสมอ

5. ควรทำการทดลองโดยการปล่อยแก๊สโอโซนเพื่อรมกล้วยในทุก ๆ วัน และทำศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกล้วย เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับการทดลองที่มีการรมแก๊สโอโซนในวันที่กล้วยปล่อยแก๊สเอทิลีนสูงสุด

6. ควรทำการทดลองโดยการใช้ระบบ Automatic food โดยให้เซ็นเซอร์วัดแก๊สทำงานอัตโนมัติ เมื่อความเข้มข้นแก๊สเอทิลีนถึงช่วงที่กำหนด จะส่งสัญญาณไปยังเครื่อง Ozone generator ให้ปล่อยแก๊สโอโซนออกมาทำปฏิกิริยาตามเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นเครื่อง Ozone generator จะหยุดการทำงานอัตโนมัติ และทำเซนเซอร์เพื่อระบบควบคุมอุณหภูมิของห้องรมแก๊สโอโซนให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ประมาณ 18- 20 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพขั้นตอนกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

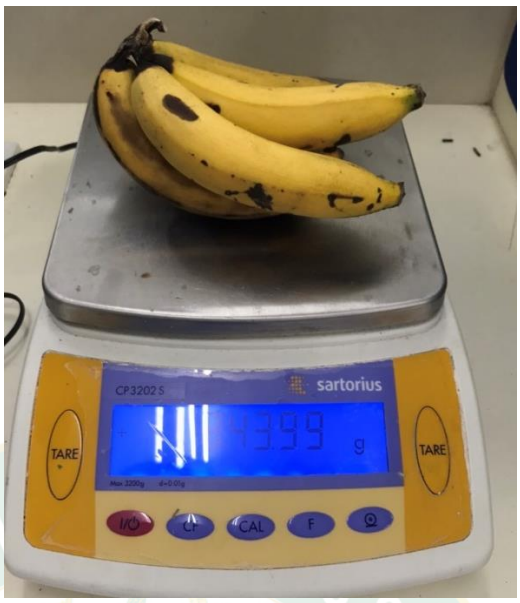
ภาพขั้นตอนกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

ภาพที่ 37 นำกล้วย 1 หวี แบ่งเป็น 5 ผล เพื่อใช้ทำการทดลอง

ภาพที่ 38 นำกล้วย 5 ผล ไปล้างทำความสะอาด

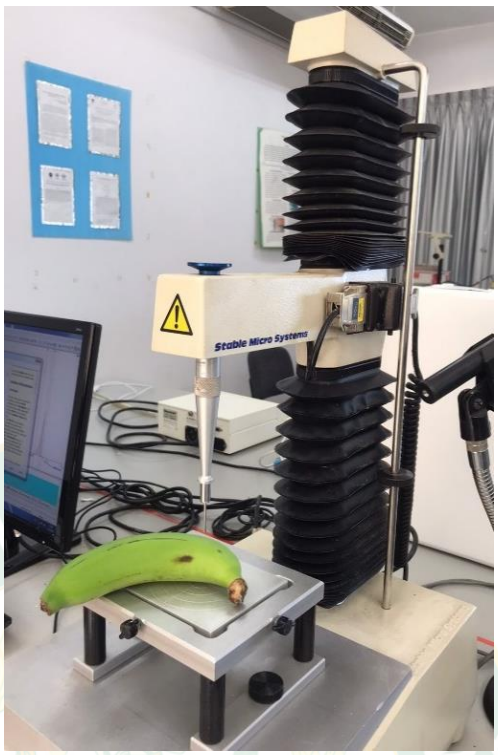
ภาพที่ 39 เช็ดกล้วย 5 ผล ให้แห้งด้วยผ้าสะอาด

ภาพที่ 40 นำกล้วยทั้ง 5 ผลใส่กล่องปิดฝาให้สนิทรมแก๊สโอโซน หลังจากนั้นทิ้งให้แก๊สทำปฏิกิริยา 15 นาที แล้วเปิดฝาออก



ภาพที่ 41 การตรวจสอบคุณภาพ เริ่มจากการชั่งน้ำหนัก

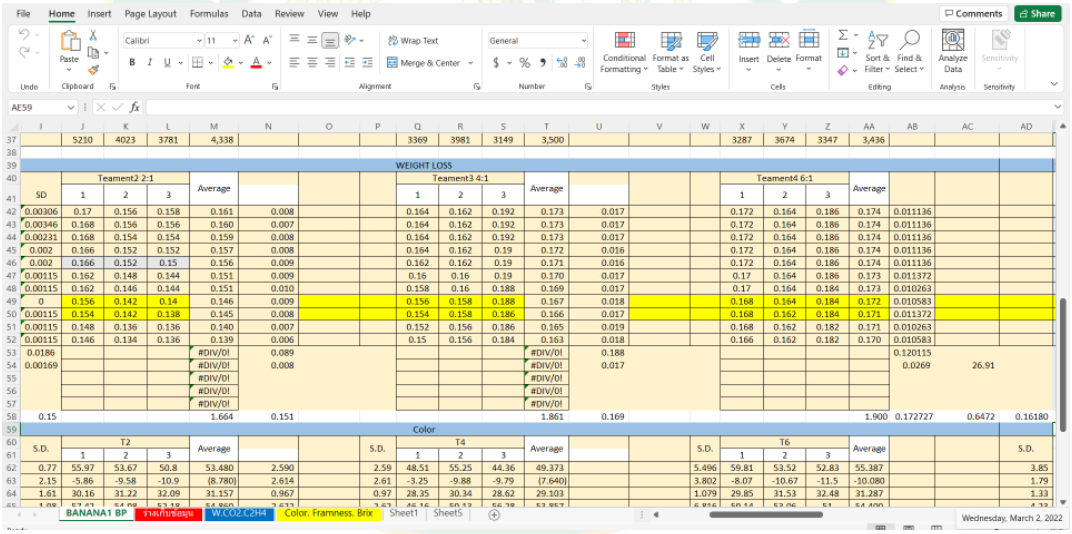
ภาพที่ 42 การวัดค่าสี ทำการวัดผลกล้วยป็นจำนวน 10 ซ้ำ และทำการหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 43 ทำการเซ็ตเครื่อง Texture Analyser การวัดความแน่นเนื้อโดยเลือกใช้หัวเข็มขนาด 2 mm และค่าความเครียดเป็น 50% แล้วนำกล้วยวางบนแท่นและทำการทดสอบโดยจะทดสอบ 10 ซ้ำ

ภาพที่ 44 หั่นกล้วยและทำการบดเนื้อกล้วยให้ละเอียดและคั้นน้ำออกมา

ภาพที่ 45 ทำการอ่านค่า Brix



ภาพที่ 46 ทำการบันทึกค่า และหาค่าเฉลี่ยในโปรแกรม Microsoft excel.

ภาคผนวก ข

ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

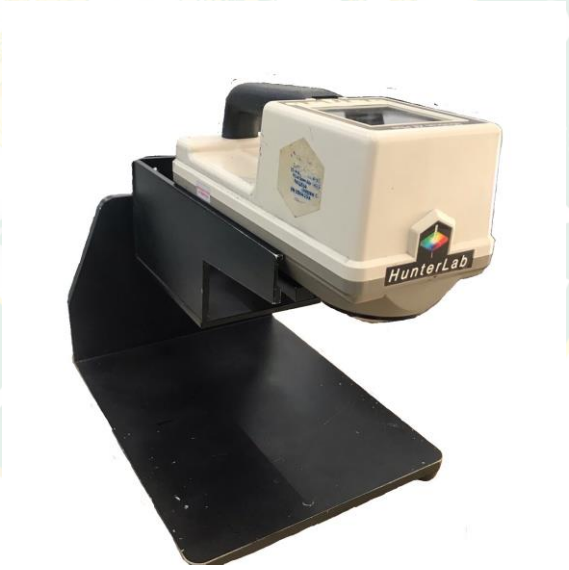
ภาพที่ 47 เครื่องผลิตแก๊สโอโซนกำลังการผลิต 400 mg/h

ภาพที่ 48 เซ็นเซอร์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

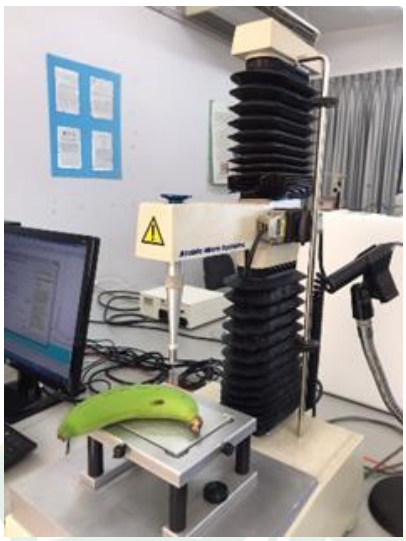
ภาพที่ 49 เซ็นเซอร์วัดแก๊สโอโซน (O_3)

ภาพที่ 50 เซ็นเซอร์วัดแก๊สเอทิลีน (C_2H_4)

ภาพที่ 51 เครื่องชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ 52 เครื่องวัดค่าสีแบบ CIE



ภาพที่ 53 เครื่อง Texture Analyser

ภาพที่ 54 เครื่อง Hand refractometer

ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โทรศัพท์ (๐๕๓) ๙๔๔๑๗๗ ต่อ ๑๔-๑๕ โทรสาร (๐๕๓) ๒๑๗๒๘๗
Engineering Journal Chiang Mai University, Thailand
Tel. +66(53) 944176-7 ext. 14-15 Fax. +66(53) 217287

ที่ อว ๘๓๙๓(๑๔).๑(๕)/๓๓๐

๒๖ สิงหาคม ๒๕๖๕

เรื่อง ตอบรับบทความ

เรียน คุณสิดวิลัย สุดทีไชยะลาด คุณสมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ คุณชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร คุณจตุรภัทร วาฤทธิ์ และคุณจักรพงษ์ พิมพ์พิมล

ตามที่ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง "ผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนและสมบัติทางกายภาพและเคมีในกล้วยหอมทอง EFFECT OF OZONE EXPOSURE ON ETHYLENE BIOSYNTHESIS INHIBITION AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES IN BANANA (Musa acuminate)" เพื่อเผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นั้น

บรรณาธิการได้พิจารณาแล้ว มีความเห็นว่า บทความของท่านมีความเหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ ๒๙ เล่มที่ ๒ พฤษภาคม–สิงหาคม ๒๕๖๕ ซึ่งจะเผยแพร่ในเว็บไซต์ https://research.eng.cmu.ac.th/engjcmu ต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม)
บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Eng.J.CMU.[2022] 29 [2], 31-39

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

ผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน และสมบัติทางกายภาพและเคมีในกล้วยหอมทอง

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

สิตวิลัย สุดทิไชยะลาด, สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ*, ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร จตุรภัทร วาฤทธิ์ และ จักรพงษ์ พิมพ์พิมล

Sitvilay Soutthixaiyalath, 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

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองสดด้วยแก๊สโอโซนซึ่งมีความเข้มข้นของโอโซนแตกต่างกันเพื่อยับยั้งการสังเคราะห์เอทีลีน 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 µl/kg-hr นอกจากนั้นยังมีอัตราการหายใจโดยมีค่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยหอมทองปล่อยออกมาสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองโดยมีค่าเท่ากับ 20.38 mg/kg-hr การศึกษาความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในภาชนะปิดและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการควบคุม ผลการศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง พบว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นของแก๊สโอโซนต่อเอทิลีน 6:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมและสามารถเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ยาวนานขึ้น 4 วัน โดยยังคงคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีสอดคล้องกับค่าคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการในท้องตลาด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้แก๊สโอโซนเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการดูแลรักษากล้วยหลังการเก็บเกี่ยว

คำสำคัญ: กล้วยหอมทอง; การยืดอายุการเก็บรักษา; แก๊สโอโซน; เอทิลีน

Received 18 April 2022
Revised 18 August 2022
Received 18 August 2022

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 μl/kg-hr. In addition, respiration rate using the carbon dioxide production of the Hom thong Banana was found on days 4 with 20.38 mg/kg-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 ใยอาหารที่ช่วยในการขับถ่าย และมีสารแทนนิน (Tannin) ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ *Escherichia coli*. สามารถปลูกได้ทั่วทุกภูมิภาค และมีศักยภาพในการส่งออกไปขายยังต่างประเทศ โดยเฉพาะกล้วยหอมทองปัจจุบันการส่งออกกล้วยหอมนั้นอยู่ในรูปผลสดและการแปรรูป 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) ขนาดใหญ่ของประเทศญี่ปุ่น Beisia Supermarkets ที่มีความต้องการกล้วยหอมทองเฉลี่ย 1,125 ตัน/เดือน หรือ 13,500 ตัน/ปี ตลาดส่งออกกล้วยหอมทองที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น ฮ่องกง จีน มาเลเซีย และสหภาพยุโรป เป็นต้น [1]

การส่งออกกล้วยหอมทองทั้งในประเทศและต่างประเทศมีข้อจำกัด คือ อายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองสั้น เนื่องจากกล้วยจัดเป็นผลไม้ประเภท Climacteric fruit ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพค่อนข้างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสุกที่นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากในช่วงระยะการสุกนี้ผลกล้วยจะมีอัตราการหายใจ และการผลิตแก๊สเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งทั้งอัตราการหายใจและการผลิตแก๊สเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลทำให้เกิดการเร่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสรีรวิทยาต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ รสชาติ ตลอดจนเนื้อสัมผัส ซึ่งจะนำไปสู่การเสื่อมสภาพและเกิดการเน่าเสีย [2]-[4]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้จากแก๊สโอโซนในกระบวนการทางอาหาร เช่นฆ่าเชื้อและยับยั้งการเกิดโรค [5] สำหรับงานวิจัยที่แก๊สโอโซนใช้ทำปฏิกิริยากับ

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

ดังนั้นการศึกษาจึงมีแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากแก๊สโอโซนที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีน นอกจากนี้ยังวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทองได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี ค่าความแน่นเนื้อที่เปลือก 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 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงเก็บตัวอย่างก๊าซต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ รุ่น WASP-XM-R-CO_2 ซึ่งมีช่วง 0-10,000 ppm เครื่องวัดแก๊สเอทิลีน รุ่น HT-XS-C_2H_4 ซึ่งมีช่วง 0-200 ppm แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการหายใจ และอัตราการปลดปล่อยเอทิลีน ที่มีหน่วยเป็น mg.CO_2/kg.hr และ µL.C_2H_4/kg.hr ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1

2.3 วิธีการทดลองและเครื่องมือสำหรับการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (Gaseous ozone) และปฏิกิริยาระหว่างแก๊สโอโซนต่อแก๊สเอทิลีน

ก๊าซโอโซนถูกสร้างจากจากเครื่องกำเนิดโอน (Ozone generator, O_3) รุ่น GLORY HI - 400i ซึ่งกำลังการผลิต 400 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดแก๊สโอโซน รุ่น WASP-XM-E-O_3 ซึ่งมีช่วง 0-1,800 ppm โดยใช้สัดส่วนก๊าซโอโซนต่อก๊าซเอทิลีน ตามสมการเคมีดังสมการที่ 1-4 [5]

$$C_2H_4 + 2O_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O \quad (1)$$

$$C_2H_4 + 4O_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 3O_2 \quad (2)$$

$$C_2H_4 + 6O_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 6O_2 \quad (3)$$

$$C_2H_4 + 12O_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 15O_2 \quad (4)$$

2.4 วิธีการทดลองและเครื่องมือสำหรับการศึกษาความเข้มข้นแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง

นำกล้วยหอมทองสดไปรมแก๊สโอโซน (Ozone, O_3) 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, $h^o = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ ตามมาตรฐาน CIE LAB scale

2. ความแน่นเนื้อที่เปลือก (Peel firmness)

นำผลกล้วยหอมทองมาวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่นTA-500 ใช้หัวกดแบบทรงกระบอก ขนาด 0.5 cm กดบนเปลือกกล้วย 3 ครั้งต่อผล และรายงานผลการวัดเป็นหน่วยของนิวตัน (N)

3. การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

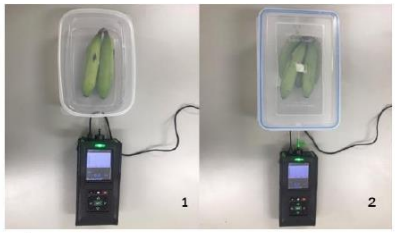
นำกล้วยหอมทองมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นก่อนเก็บรักษา และหลังการเก็บรักษาทุก ๆ วัน แล้วนำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียน้ำหนักสด ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS)

โดยการนำเอาน้ำจากเนื้อกล้วยหอมทองมาปั่นผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 จากนั้นกรองเอาเฉพาะส่วนใสไปวัดด้วยเครื่อง Hand refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น N-1 แล้วอ่านค่า TSS มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (̊Brix)

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป



รูปที่ 1 การทดลองการผลิตเอทิลีนและการหายใจของกล้วยหอมทองสดในกล่องพลาสติกปริมาตร

รูปที่ 2 การทดลองผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองสด

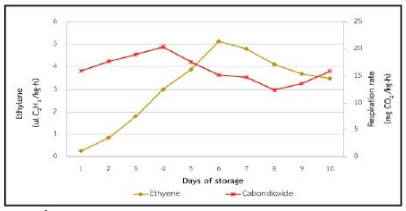
3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลของความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่เหมาะสมในการยับยั้งแก๊สเอทิลีน และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทอง มีดังนี้

3.1 การศึกษาการผลิตแก๊สเอทิลีนและหายใจของกล้วยหอมทองสด

การศึกษาพฤติกรรมการคายเอทิลีนของกล้วยหอมทอง 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 µl/kg-hr) ค่าความเข้มข้นสูงสุดของกล้วย 5 ผลในกล่องปริมาตร 5 ลิตรคือ 18.95 ppm/kg-hr (3.79 µl/kg-hr) และค่าเฉลี่ยของแก๊สเอทิลีนคือ 17.59 ppm/kg-hr (5.14 µl/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

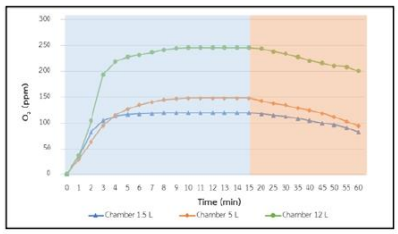
ค่าเฉลี่ยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คือ 36,625.76 ppm/kg-hr (20.38 mg/kg-hr) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการศึกษาการผลิตเอทิลีนและการหายใจของกล้วยหอมทอง

3.2 การศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซน

ทำการศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนด้วยเครื่องกำเนินโอโซน 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

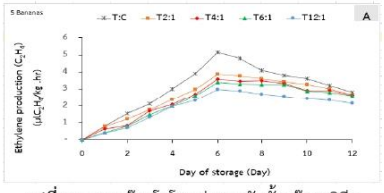
ผลการศึกษาความเข้มข้นของแก๊สโอโซนสามารถนำไปวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์เพื่อทำนายค่าของอัตราการผลิตความเข้มข้นและอัตราการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนในภาชนะปิดได้ในรูปที่ 4 และสมการที่ 5 และ 6 เป็นตัวอย่างที่ภาชนะขนาด 5.0 ลิตร ซึ่งมีค่า R^2 = 0.9965 และ 0.9801 ตามลำดับ โดย O_3 คือ ความเข้มข้นแก๊สโอโซนหน่วยเป็น ppm, t_1 คือ เวลาในการผลิตแก๊สโอโซนหน่วยเป็นนาที, t_2 คือเวลาในการเสื่อมสลายของแก๊สโอโซนหน่วยเป็นนาที [12]

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

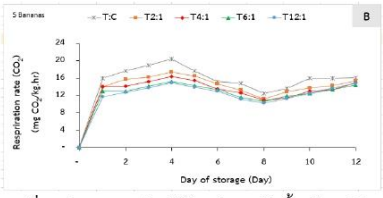
$$O_3 = -1.1382t_2 + 167.38 \quad (6)$$

3.3 การศึกษาผลของก๊าซโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง

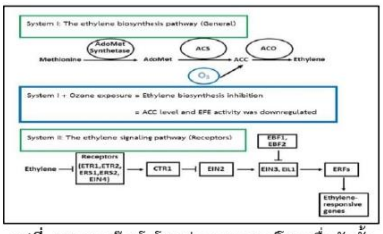
ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าเอทิลีนที่ปล่อยจากกล้วยหอมทองสูงสุดในแต่ละช่วงเวลา เพื่อหาผลจากการยับยั้งแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทอง ดังรูปที่ 5 (A) ผลการศึกษาพบว่าการใช้แก๊สโอโซนที่ความเข้มข้นสูงขึ้นสามารถช่วยยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนของกล้วยหอมทองในวันแรกลงได้ และมีเปอร์เซ็นต์การลดอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนในวันที่ 6 ได้ในช่วง 25-42% ซึ่งส่งผลในทิศทางเดียวกันกับการหายใจของกล้วยหอมทองที่ลดลงตลอดช่วงการเก็บรักษา 12 วันดังรูปที่ 5 (B) โดยผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำมาในผลสตรอเบอร์รี่และผลกีวีสด [8]-[9] โดยเหตุผลที่สามารถยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนของผลไม้ได้เนื่องจากการที่แก๊สโอโซนไปลดการกระตุ้นในการสร้างฮอร์โมน 1-aminccyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthetase ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการสร้างสาร Ethylene Forming Enzyme (EFE) ที่ใช้ผลิตแก๊สเอทิลีนในพืชเกือบทุกชนิดลงได้ [6-11] ดังนั้นที่มนักวิจัยสร้างแผนภาพเส้นทางการยับยั้ง (Inhibitiobn pathway) เพื่ออธิบายกลไกดังกล่าวดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ผลของก๊าซโอโซนต่อการยับยั้งแก๊สเอทิลีน (A) การหายใจ (B) ของกล้วยหอมทอง



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



รูปที่ 6 ผลของก๊าซโอโซนต่อการลดฮอร์โมนเพื่อยับยั้งการผลิตแก๊สเอทิลีนในพืช

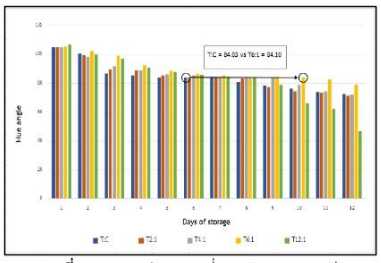
3.4 การศึกษาคุณภาพของกล้วยหอมทองจากการใช้แก๊สโอโซนเพื่อช่วยการยืดอายุการเก็บรักษา

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

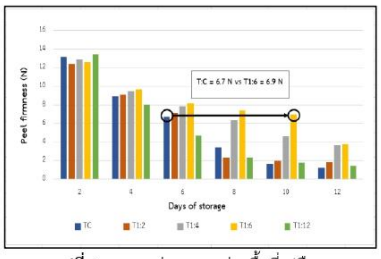
สำหรับรูปที่ 8 เป็นผลของค่าความแน่นเนื้อที่เปลือกกล้วยหอมทอง ผลการศึกษาพบว่าความแน่นเนื้อลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ปฐมภูมิ และผนังเชื่อมระหว่างเซลล์จากเดิมที่มีคุณสมบัติไม่ค่อยละลายน้ำ กลายเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้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

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

และรูปที่ 10 เป็นการการศึกษาคุณภาพของกล้วยหอมทองจากการใช้แก๊สโอโซน ในส่วนของผลของการสูญเสียน้ำหนัก โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจะมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่เป็นที่น่าสังเกตคือที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 12 ต่อ 1 มีแนวโน้มสูญเสียน้ำหนักมากกว่าปกติเนื่องจากที่ผิวเปลือกน่าจะเกิดการถูกทำลายมากเกินไปจากการใช้ความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่สูงเกินซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในผลกีวี [9]



รูปที่ 7 ผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี



รูปที่ 8 ผลของค่าความแน่นเนื้อที่เปลือก

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการกับผลผลิตกล้วยหอมทองจากผลการศึกษาทดลองในวันที่ดีใกล้เคียงที่สุด

Treatment	Days of Storage (Extended)	Peel Color			Hue angle (h^o)	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 $^{a\,a\,a}$
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) โดยใช้เทคโนโลยีการรมและระบบบำบัดแก๊สโอโซน (Ozone fumigation) จึงเป็นอีกทางเลือกที่นำมาใช้ในการรักษาคุณภาพกล้วยหอมทองสดในอนาคตเพื่อการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศหรือจำหน่ายในรูปผลปลีกย่อยในบรรจุภัณฑ์พลาสติกตามห้องตลาดภายในประเทศต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ Savannakhet University ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, เอกสารสถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2564. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565.

[2] จริงแท้ ศิริพานิช, สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. 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. Dominguez 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 พิมพ์พิมลม ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และจาตุพงศ์ วาฤทธิ์, “สภาวะที่เหมาะสมของหอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบเปียกสำหรับกระบวนการรมผลลำไยสด,” วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, ปีที่ 31, เล่มที่ 3, หน้า 72-84, 2557.

[14] สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ, จักรพงษ์ พิมพ์พิมล, นวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และจตุพงศ์ วาฤทธิ์, “การพัฒนาหอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบหมุนเวียนการบำบัดกับสำหรับกระบวนการรมผลลำไยสด,” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 46, เล่มที่ 1, หน้า 19-30, 2558.

[15] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหรือฆ่าเชื้อที่ใช้กับอาหาร ฉบับที่ 412 พ.ศ. 2562, ราชกิจจานุเบกขา. เล่ม 136 ตอนพิเศษ 278 ง, หน้า 34-37, 2562.

[16] National Fire Protection Association. Material Safety Data Sheet, Ozone, NFPA 704, 2014.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. 2555. **ขั้นตอนการส่งออก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.thaifta.com/trade/document/aunz_subj5finol.doc (24 มกราคม).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2552. **เทคโนโลยี "การบำบัดและปรับสภาพน้ำด้วยโอโซน"**: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพมหานคร.

กรมวิชาการเกษตร. 2555. **การเก็บรักษาผลไม้และผัก**: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพมหานคร.

กล้วยหอมทอง สวนคุณดาวชมพู จังหวัดสกลนคร. 2563. **กล้วยหอมทอง.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://sites.google.com/site/bananagardenpinkstars/-sinkha-xu-pk-rn-xun-ni-kar-tha-swn-klwy-hxmthxng (7 ธันวาคม).

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช.** โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและการฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน.

จริงแท้ ศิริพานิช และดารณี ศิริวงศ์ไพศาล. 2539. การใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นพาหะของ KMnO4 สำหรับกำจัด เอทิลีน. น. 88-99. ใน **การประชุมวิชาการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน ครั้งที่ 4**. โรงแรมไดมอนพลาซ่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. . สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กองโครงการและประสานงานวิจัย.

จิตตา สาตร์เพ็ชร์, มยุรา ล้านไชย, ประชุมพร แสนรักษ์, เนตรนภา ทรัพย์ประโคน และคนึงนิจ บุศราคำ. 2563. ประสิทธิภาพของกระดาษดูซับเอทิลีนจากกาบกล้วยที่มีถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง. **Thai Journal of Science and Technology**501-511.

ฉัฏฐา ขวัญใจ และณราเดช หนูโพธิ์. 2559. **ผลของโอโซนความเข้มข้นสูงต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวสารไรซ์เบอร์รี.** สารนิพนธ์ปริญญาตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

ชนัญชิดา สิงคมณี. 2551. **การใช้โอโซนและน้ำอิเล็กโทรไลต์ ในการควบคุมเชื้อรา** Penicillium digitatum **ของส้มสายน้ำผึ้ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชมภูศักดิ์ พลูเกษม และเทพนม เมืองแมน. 2540. **การใช้โอโซนทางการแพทย์ และสิ่งแวดล้อม**. สำนักพิมพ์เดือนตุลาคม: กรุงเทพมหานคร

ชัยยรัตน์ บูรณะ. 2562. ผลของฟองก๊าซ 1-MCP ขนาดไมโครต่อคุณภาพของกล้วยหอมทอง. **วารสาร**

วิทยาศาสตร์บูรพา, 23(3), 1597-1603.

ชินานาฏ วิทยาประภากร, วิษณุทองเล็ก และนภัสนันท์ไชยเลิศ. 2563. การยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองด้วยใช้เทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ล. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา**, 4(2), 1-11.

ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย และวาริช ศรีละออง. 2555. การใช้ฟองก๊าซ 1-MCP ขนาดไมโครและนาโน: เทคนิคใหม่ในการชะลอการสุกของกล้วยหอม. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, 284-287.

พิสุทธิ์ กุลธนวิทย์. 2563. **การส่งออกมะม่วง กล้วย ทุเรียน และมังคุด ของไทยไปญี่ปุ่นภายใต้ความตกลงหุ้นส่วนเศรษฐกิจไทย-ญี่ปุ่น (JTEPA)**: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.).

ภูมิพงษ์ ชูช่วยสุวรรณ, เทพปัญญา เจริญรัตน์, สุเปญญา จิตตพันธ์ และนวลกมล อำนวยสิน. 2563. การพยากรณ์ระยะการสุกของกล้วยหอมทองโดยใช้การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน. **Thai Journal of Science and Technology,** 288-297.

วรางคณา มากกำไร และทวีศักดิ์ แสงอุดม. 2565. **ผลของอายุการเก็บเกี่ยวที่ระดับต่าง ๆ ต่อถุงบรรจุ PE เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยไข่**. สถาบันวิจัยพืชสวน, 1-13.

วัฒนา อัจฉริยะโพธา และสมโภชน์ น้อยจินดา. 2564. 1-methylcyclopropene (1-MCP) : สารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในผักผลไม้และดอกไม้สด. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 10-26.

ศิริพร งามเชย. 2551. **การวิเคราะห์การตอบสนองอุปทานกล้วยหอมในประเทศไทย.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://bananacenterkp.weebly.com/ (7 มกราคม).

สังคม เตชะวงค์เสถียร. 2564. **สรีรวิทยาการสุกของผล**: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุวิทย์ กิ่งแก้ว. 2558. **ปอกไอเดีย ‘กล้วยหอม’ เงินล้านของดีเมืองเพชรเสิร์ฟอิ่มสุขภาพคนกรุง.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.manager.co.th/iBizChannel/ViewNews.aspx?NewsID=9580000124489 (7 ธันวาคม)

Buchanan, Bob B, Gruissem, Wilhelm and Jones, Russell L. 2015. **Biochemistry and molecular biology of plants**. John wiley & sons.

Dominguez, M and Vendrell, M. 1994. Effect of ethylene treatment on ethylene production, EFE activity and ACC levels in peel and pulp of banana fruit. **Postharvest biology and technology**, 4(1-2), 167-177.

McGuire, Raymond G. 1992. Reporting of objective color measurements. **Hort Science**, 27(12), 1254-1255.

Minas, Ioannis S, Tanou, Georgia, Krokida, Afroditi, Karagiannis, Evangelos, Belghazi, Maya, Vasilakakis, Miltiadis, Papadopoulou, Kalliope K and Molassiotis, Athanassios. 2018. Ozone-induced inhibition of kiwifruit ripening is amplified by 1-methylcyclopropene and reversed by exogenous ethylene. **BMC plant biology**, 18(1), 1-19.

Panou, Andreas A, Akrida-Demertzi, Konstantoula, Demertzis, Panagiotis และ Riganakos, Kyriakos A. 2021. Effect of gaseous ozone and heat treatment on quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage. **International Journal of Fruit Science** ,21(1), 218-231.

Prabha, VITHU, Barma, Rahul Deb, Singh, RANJIT and Madan, Aditya. 2015. **Ozone technology in food processing: A review**.

Rocklin, Amy M, Kato, Keisuke, Liu, Hung-wen, Que, Lawrence and Lipscomb, John D. 2004. Mechanistic studies of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase: single turnover reaction. **JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry**, 9(2), 171-182.

Siddiq, Muhammad, Ahmed, Jasim and Lobo, Maria Gloria. 2020. **Handbook of banana production, postharvest science, processing technology, and nutrition**. Wiley Online Library.

Xu, Yongfu, Jia, Long, Ge, Maofa, Du, Lin, Wang, Gengchen and Wang, Dianxun. 2006. A kinetic study of the reaction of ozone with ethylene in a smog chamber under atmospheric conditions. **Chinese Science Bulletin**, 51(23), 2839-2843.

.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	Mrs. Sitvilay Soutthixaiyalath
เกิดเมื่อ	21 March 1987
ประวัติการศึกษา	2005-2010 ปริญญาตรี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยจำปาสัก
ประวัติการทำงาน	2013-2020 มหาวิทยาลัยสะหวันนะเขต คณะวิทยาศาสตร์อาหาร สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว