

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทดสอบเชิงพาณิชย์ สำหรับการประยุกต์ใช้นวัตกรรมโอโซน เพื่อรักษาคุณภาพและ
ยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา

COMMERCIAL TESTING FOR QUALITY CONTROL AND STORABILITY OF
LONGKONG AT YALA PROVINCE WITH OZONE INNOVATION

ชื่อผู้วิจัย	1. ผศ.ดร.โสภณัฐ คงศรีประพันธ์	หัวหน้าโครงการ
	2. ดร.วิเชียร ศิริพรม	ผู้ร่วมวิจัย

เสนอ

สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินจาก

โครงการ ongoing จาก สกสว. ฝายนโยบายชาติและความสัมพันธ์ข้ามชาติ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	๖
สารบัญรูปภาพ.....	๗
สารบัญตาราง.....	๘
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
โอโซน.....	3
กระบวนการเกิดโอโซน.....	4
การผลิตโอโซน.....	9
การผลิตโอโซนโดยวิธี electric discharge.....	12
กลิ่นหอม.....	17
ลองกอง.....	21
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ.....	24
บทที่ 3 วิธีวิจัย.....	28
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	33
บทที่ 5 สรุป วิวิจารณ์ และข้อเสนอแนะ.....	73
บรรณานุกรม.....	76

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลของก๊าซโอโซน.....	3
2	แสดงการผลิตโอโซนโดยวิธี electric discharge.....	14
3	แสดงรูปคลื่นศักย์ไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (I) ที่อุปกรณ์ผลิตโอโซนโดยวิธี electric discharge.....	14
4	แสดงวงจรไฟฟ้าสมมูลของอุปกรณ์ผลิตโอโซนโดยวิธี electric discharge.....	15
5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและช่วงเวลาที่เกิด discharge.....	16
6	โรคแอนแทรกโนสในกล้วย.....	18
7	การเกิดโรคข้าวหวีเน่า.....	19
8	ลักษณะของโรคข้าวหวีเน่าในกล้วย.....	20
9	ลักษณะโคโลนีของเชื้อรา C. gloeosporiodes.....	20
10	ข้อผลแน่น.....	22
11	ข้อผลแน่นพอดี.....	22
12	ข้อผลไม่แน่น.....	23
13	ข้อผลไม่แน่น.....	23
14	โครงสร้างหลอดผลิตโอโซน.....	48
15	แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักย์สูงสำหรับหลอดผลิตโอโซน.....	48
16	ชุดอุปกรณ์สำหรับหลอดผลิตโอโซน.....	49
17	เครื่องผลิตโอโซนแบบวิธีไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดีสชาร์จ.....	50
18	ความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้ที่อัตราการไหลของออกซิเจนต่างๆ.....	54
19	ความเข้มข้นของโอโซนกับเวลาที่ใช้ในการผลิตโอโซนต่างๆ ที่อัตราการไหลออกซิเจน 10 L/min.....	57
20	การเกิดเชื้อโรคของลองกอง.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อดีและข้อเสียของแต่ละกระบวนการ.....	10
2	ข้อกำหนดขนาดของลองกองเดี่ยว.....	23
3	ข้อกำหนดขนาดของลองกองข้อ.....	24
4	แสดงประเภทของจุลินทรีย์บนผิวของผลลองกอง จังหวัดยะลา ด้วยเทคนิค PCR.....	40
5	แสดงประเภทของจุลินทรีย์บนผิวของผลลองกอง จังหวัดยะลา ด้วยเทคนิค PCR.....	40
6	แสดงประเภทของจุลินทรีย์บนผิวของผลลองกอง จังหวัดยะลา ด้วยเทคนิค PCR.....	41
7	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภทเชื้อรา.....	42
8	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (Candida jaroonii สายพันธุ์ 1).....	43
9	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (Pichia sp. สายพันธุ์ feni 101.).....	43
10	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (Meyerozyma caribbica สายพันธุ์ IFM 53331).....	44
11	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (Hanseniaspora opuntiae สายพันธุ์ JEY258).....	45
12	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (Pichia sp. สายพันธุ์ TCJ3).....	45
13	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (Kodamaea ohmeri สายพันธุ์ CBS 5367).....	46
14	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท แบคทีเรียใน Class Gamma-proteobacteria.....	46
15	รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท แบคทีเรียใน Class Alpha-proteobacteria.....	47
16	เงื่อนไขของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อความเข้มข้นของโอโซน.....	50
17	ความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้ที่อัตราการไหลของออกซิเจนต่างๆ.....	54
18	การเปลี่ยนแปลงของสีกล้วยหอมทองในการทดลอง.....	59
19	วิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองในการทดลอง.....	61
20	การเปลี่ยนแปลงของสีกล้วยหอมทองในการทดลอง.....	62

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาจังหวัดยะลา ได้มีการผลักดันและสร้างกลไก เพื่อแก้ปัญหาความเดือดร้อนอันเนื่องมาจากราคาผลผลิต ของชาวสวนที่เป็นเกษตรกรรายย่อย ที่ประสบปัญหาขายผลผลิตไม่ได้ราคา โดยเฉพาะ ลองกอง ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดยะลา ที่มีราคาตกต่ำ ทำให้เกษตรกรชาวสวนลองกอง หลายรายทิ้งสวนไปทำอาชีพอื่น จากข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกลองกองของจังหวัดยะลาพบว่า ในปี 2561 มีพื้นที่เพาะปลูกลดลงร้อยละ 1.41 จากพื้นที่เพาะปลูกเดิม ในปี 2560 มีพื้นที่เพาะปลูก 34,453 ไร่ ลดลงเหลือพื้นที่เพาะปลูกเพียง 33,968 ไร่ ในปี 2561 โดยเฉพาะชาวสวนลองกอง ในพื้นที่อำเภอ เบตง ที่มีพื้นที่เพาะปลูกลองกองลดลงถึงร้อยละ 25.53 (พื้นที่เดิม 1,880 ไร่ ในปี 2560 เหลือพื้นที่เพาะปลูกในปี 2561 เพียง 1,400 ไร่) โดยทางจังหวัดยะลา ได้มีแนวทางในแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการมุ่งเน้นไปที่การนำนวัตกรรม มาเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิต และผลิตผลทางการเกษตร เพื่อพัฒนาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อันจะนำไปสู่การผลิตลองกองที่มีคุณภาพสูง (Premium Product) หรือ เกรด A และ B ซึ่งจะทำให้ ลองกอง เป็นสินค้าในเชิงธุรกิจเกษตรรูปแบบใหม่ และสามารถเข้าสู่ตลาดผู้บริโภคที่มีกำลังซื้อสูง เช่น กลุ่มธุรกิจค้าปลีกสมัยใหม่ (Modern Trade) อันจะทำให้เกิดการสร้างมูลค่าสินค้าเกษตร

สำหรับปัญหาด้านความปลอดภัยในสินค้าเกษตรนั้น จัดได้ว่าเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อราคาของสินค้าเกษตร สำหรับอันตรายที่อาจเกิดจากสินค้าเกษตรนั้น มีทั้งด้านชีวภาพและ ด้านเคมี โดยด้านชีวภาพนั้นเกิดจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ส่วนด้านเคมีเกิดจาก สารเคมีทางการเกษตรจำพวกสารกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตร หรือสารเคมีในการเก็บรักษาเพื่อชะลอการเสื่อมสลายและการเน่าเสีย ซึ่งจากปัจจัยด้านชีวภาพและด้านเคมี ที่ส่งผลต่อปัญหาเรื่องราคาของสินค้าเกษตรดังกล่าว ทางคณะผู้วิจัยมีแนวทางในการปรับปรุง/พัฒนาศักยภาพการผลิตด้วยการใช้เทคโนโลยี/นวัตกรรม กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะทำให้ประชาชนผู้บริโภคสินค้าเกษตร มีความมั่นใจในสินค้าเกษตรเพิ่มมากขึ้นอันจะทำให้เกิดการสร้างมูลค่าสินค้าเกษตรอีกทางหนึ่ง สำหรับเทคโนโลยี/นวัตกรรมโอโซน เป็นเทคโนโลยี/นวัตกรรมกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ที่ทางคณะผู้วิจัยจะนำมาประยุกต์ใช้ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และสารเคมีตกค้าง รวมถึงป้องกันการเสื่อมสลายและการเน่าเสียของผลิตผลทางการเกษตรด้วย

ทั้งนี้เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสะอาด ปลอดภัยจากสารเคมี และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จะสามารถพัฒนาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้เกิด ผลิตผลลองกอง จังหวัดยะลา ให้เป็นผลิตผลที่มีคุณภาพสูง (Premium Product) หรือ เกรด A และ B และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาเพื่อชะลอการเสื่อมสลายและการเน่าเสีย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและเก็บรวบรวม ข้อมูลสถานภาพของลองกองในจังหวัดยะลา
2. ปรับปรุง/พัฒนา เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน สำหรับลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และสารเคมีตกค้าง เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา

3. ทดสอบประสิทธิภาพของเทคโนโลยี/นวัตกรรม สำหรับลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และสารเคมีตกค้าง เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา ในระดับห้องปฏิบัติการ ทดสอบกระบวนการเก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลาด้วย เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1 ออกแบบและสร้างส่วนที่สำคัญของเครื่องผลิตโอโซน 2 ส่วน ได้แก่ หลอดผลิตโอโซน และ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง
- 2 สังเคราะห์สารประกอบเปอร์ออกไซด์ จากกระบวนการรวม โอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

บทที่ 2

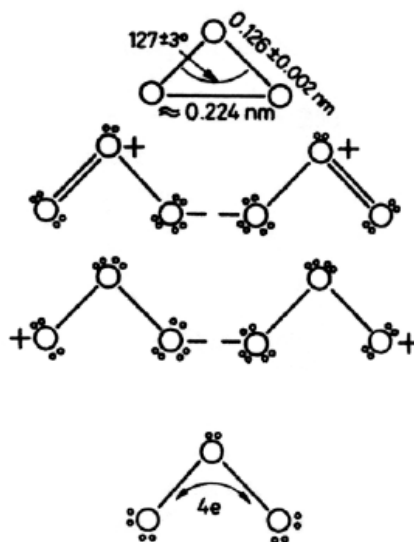
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โอโซน

ลักษณะพื้นฐานของโอโซน โอโซน (O_3) มีสูตรโมเลกุล คือ O_3 น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 อยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ ที่อุณหภูมิปกติโอโซนเป็นก๊าซที่มีสี แต่ที่อุณหภูมิต่ำจะสังเกตไม่เห็นสีโอโซนบริสุทธิ์ละลายที่อุณหภูมิ -192.5 ± 0.4 องศาเซลเซียสและเดือดที่อุณหภูมิ 119 ± 0.3 องศาเซลเซียส (Manley and Niegowski, 1967)

โอโซนมีสีอ่อนมาก อาจมีแววสีน้ำเงินให้เห็นบ้าง ความหนาแน่นประมาณ 1.6 เท่าของอากาศ ที่ความเข้มข้นต่ำอาจกล่าวได้ว่าเป็นก๊าซที่ไร้สีไร้กลิ่น และไม่เผาไหม้ที่ความเข้มข้นต่ำแต่ที่ระดับความเข้มข้นสูง โอโซนจะมีกลิ่นฉุนค่อนข้างรุนแรง (มันสิน, 2539)

การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธี electron diffraction ทำให้ทราบว่าโอโซนในสถานะก๊าซมีการจัดเรียงอะตอมของออกซิเจนทั้งสามเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีมุมยอด $127^\circ \pm 3^\circ$ ด้านข้างทั้งสองยาว 0.126 ± 0.002 nm และฐานยาว 0.224 nm (5-6)



รูปที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของก๊าซโอโซน

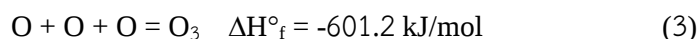
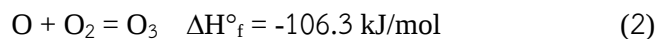
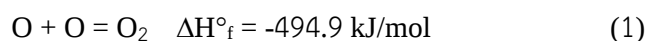
โอโซนเป็นก๊าซที่โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวอย่างว่องไว เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจน 3 ตัว ในสถานะไม่เสถียร ในช่วงอุณหภูมิปกติ 18-30 องศาเซลเซียสโอโซนจะแยกตัวกลายเป็นอะตอมของออกซิเจน ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Majumdar and Sproul, 1974)

นอกจากนั้นโอโซนยังเป็นตัวออกซิแดนท์ที่รุนแรงมาก มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายกลิ่น สี และรสในน้ำ และสามารถละลายในน้ำได้ประมาณ 20 เท่าของการละลายในน้ำของออกซิเจนแต่จะไม่เสถียรในน้ำ โอโซนมีความเสถียรในอากาศมากกว่าในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอากาศที่แห้งและเย็น (Weber, 1972;

Cheremisinoff and Cheremisinoff, 1993) โดยในสถานะก๊าซโอโซนมีครึ่งชีวิตที่ยาว (ประมาณ 12 ชั่วโมงที่บรรยากาศปกติ) แต่ในสถานะของเหลวหรือสารละลาย จะมีครึ่งชีวิตที่สั้นกว่านั้นมาก โอโซนมีครึ่งชีวิต 20 นาทีในน้ำกลั่น เนื่องจากน้ำบริสุทธิ์มีความเข้มข้นของสารประกอบที่ต้องการโอโซนน้อยลง โอโซนมีครึ่งชีวิตยาวนานขึ้น โดยโอโซนสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนโดยแตกตัวให้ radical ต่างๆ ได้แก่ Hydroxyl radical (OH $\cdot$), HO $_3$, HO $_4$ และ Super oxide (O $_2$) ซึ่ง radical ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ (strong oxidant)

กระบวนการเกิดโอโซน

โอโซนเกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนโดยใช้พลังงานจาก electric discharge รั้งสีอัลตราไวโอเลต การแผ่รังสีนิวเคลียร์และจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยมีปฏิกิริยาและ enthalpy ดังนี้



Enthalpy ของการผลิตโอโซนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และพลังงานขณะเกิดโอโซน จะเท่ากับพลังงานที่ปล่อยออกมา เมื่อเกิดการระเบิดเนื่องจากการสลายตัวอย่างรวดเร็ว

ก๊าซโอโซนที่เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนมี 2 รูปแบบ คือ



เป็นปฏิกิริยาชนิด endothermic (ดูดพลังงาน) ออกซิเจนอะตอมคู่จะรวมตัวกับออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่แตกออกจากโมเลกุลก๊าซออกซิเจน เกิดเป็นโมเลกุลของก๊าซโอโซน เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาแบบดูดพลังงาน สมดุลของปฏิกิริยาการเกิดโมเลกุลก๊าซโอโซนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมาก โมเลกุลออกซิเจนจะแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวในสัดส่วนที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลของโอโซนโดยตรง และในขณะเดียวกันก็เกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลของออกซิเจน และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเป็นโอโซนดังสมการ



โอโซนที่เกิดขึ้นสามารถสลายตัวเป็นอะตอมออกซิเจน และโมเลกุลออกซิเจน ดังนั้นความเข้มข้นของโอโซนที่เกิดขึ้น จะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิจำกัดค่าหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะส่งผลให้โมเลกุลโอโซนเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว

การเกิดโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนเนื่องจากการชนกันของออกซิเจนอะตอมเดี่ยว ($2\text{O} \rightarrow \text{O}_2$) เรียกว่า double collision และการเกิดโมเลกุลของก๊าซโอโซนเนื่องจากการชนกันของออกซิเจนอะตอมเดี่ยวกับโมเลกุลของออกซิเจนเรียกว่า triple collision ที่อุณหภูมิห้องและความดัน 1 บรรยากาศ triple collision มีอัตราการเกิด 1/1000 ของการเกิด double collision จากทฤษฎีจลน์ของก๊าซจะเกิดการชนกันของอะตอมออกซิเจนเป็น

จำนวน 6×10^9 ครั้ง ต่อวินาที และใน 1 วินาทีนี้จะเกิด triple collision ได้เป็นโมเลกุลของก๊าซโอโซนเพียง 6×10^6 สมมติฐานของการเกิดโอโซนโดยวิธี silent electric discharge (8) เป็นไปตามสมการต่อไปนี้



M คือ ก๊าซผสมที่ปรากฏอยู่แต่ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ในที่นี้คือโมเลกุลออกซิเจน อะตอมออกซิเจน และโมเลกุลโอโซน

O_2^+ คือ โมเลกุลก๊าซออกซิเจนในสภาวะ excited

สมการเริ่มต้น (7) แสดงการเกิดออกซิเจนอะตอมเดี่ยวโดยอิเล็กตรอน (e^-) ที่เกิดจาก electric discharge วิ่งเข้าชนโมเลกุลออกซิเจนด้วยความเร็วสูง แตกออกเป็นอะตอมออกซิเจน อิเล็กตรอนบางตัวที่หลุดออกจากอะตอมออกซิเจน จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าจนมีความเร็วสูง และเข้าชนโมเลกุลออกซิเจนเกิดการแตกตัวต่อเนื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาตามสมการ (7) ขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอน หรือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านช่องว่างอากาศที่เกิด electric discharge เนื่องจากผิวอิเล็กโทรดที่ประกอบขึ้นเป็น active volume ซึ่งเกิด electric discharge ไม่เรียบสม่ำเสมอเป็นผลให้ภายใน active volume เกิด discharge column (บริเวณที่มีกระแสไหลผ่าน) เป็นช่วงๆ เรียก discharge zone และบริเวณที่ไม่เกิด discharge เรียก free zone ดังนั้นใน active volume จะเกิดปฏิกิริยาตามสมการ (7) ทำให้เกิดออกซิเจนอะตอมเดี่ยวเฉพาะในช่วง discharge zone เท่านั้น ในขณะที่ปฏิกิริยาตามสมการ (8) ซึ่งเป็นการสร้างโมเลกุลโอโซน และปฏิกิริยาตามสมการ (9) ซึ่งเป็นการสลายตัวของโอโซน สามารถเกิดได้ทั้งช่วง discharge zone และ free zone

โดยสรุป silent electric discharge ก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง 3 ปฏิกิริยา คือ

A₁ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน discharge column เนื่องจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากผิวอิเล็กโทรดข้างหนึ่ง ไปยังผิวอิเล็กโทรดอีกข้างหนึ่งด้วยความเร็วสูงมาก เกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 10^{-6} s

A₂ ปฏิกิริยาที่เกิดใน discharge column ต่อเนื่องจาก A₁ ในช่วงเวลาระหว่างการเกิด electric discharge แต่แต่ละครั้งช่วงเวลานี้จะไม่มีปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าใด ๆ เกิดขึ้น

B ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนอก discharge column ภายใน active volume

ปฏิกิริยา A₁

ปฏิกิริยานี้เกิดจากอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกจากผิวหน้าอิเล็กโทรดส่วนที่เกิด discharge column ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนน้อยของพื้นที่ผิวอิเล็กโทรดทั้งหมด ดังนั้นความหนาแน่นของอิเล็กตรอนใน discharge column ซึ่งมีขนาดเล็กจึงมีค่าสูงมาก และยิ่งค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้มีค่าสูง ก็จะเป็นผลให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงขึ้น และความเร็วของอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น ($10^{-10} \text{ mol/dm}^3$) อะตอมออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากการชนของโมเลกุลออกซิเจนกับอิเล็กตรอนตามสมการ (7) จะเข้ารวมกับโมเลกุลออกซิเจน เกิดเป็นโมเลกุลของโอโซนตามสมการ (8) โมเลกุลของโอโซนที่เกิดขึ้นถูกทำให้สลายตัวได้โดยการชนกับอิเล็กตรอนตามสมการ (9) และชนกับอะตอมออกซิเจนตามสมการ (10)

ให้ x เป็นความเข้มข้นของโมเลกุลโอโซน (mol/dm^3)

y เป็นความเข้มข้นของอะตอมออกซิเจน (mol/dm^3)

F เป็นความเร็วการไหลของก๊าซ

อัตราการเกิดโมเลกุลโอโซนต่อเวลาแสดงโดยสมการดังนี้

$$\frac{dx}{dt} = Ay - Bx - Fx \quad (11)$$

อัตราการเกิดอะตอมออกซิเจนต่อเวลาแสดงโดยสมการดังนี้

$$\frac{dy}{dt} = -Ay + Bx - Fy + C \quad (12)$$

โดยที่

$A = k_1 [\text{O}_2]^2 = 1.1 \times 10^{-4} \text{ s}$ ที่อุณหภูมิ 300 K ความดัน 1 บรรยากาศ

$B = k_2 [e] = k_2 \times 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$ ค่าคงที่ของสมดุลปฏิกิริยา k_2 ยังไม่มี
รายงานการค้นพบแต่สันนิษฐานว่า B มีค่าน้อยกว่า A

$C = 2k_0 [\text{O}_2] [e]$ มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 10^7 mol/dm^3

F มีค่าโดยประมาณ 10^{-2} s

สมการ (11) และ (12) สามารถรวมเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลลำดับที่ 2

$$\frac{d^2x}{dt^2} + Q \cdot \frac{dx}{dt} + P \cdot x - AC = 0 \quad (13)$$

ซึ่งมีรากสมการเป็น

$$x = \frac{AC}{P}(1 - e^{-Qt}) \quad (14)$$

$$\frac{AC}{P} = \frac{2k_0k_1[\text{O}_2]^3[e]}{2k_0[\text{O}_2][e] + k_1[\text{O}_2]^2} \times \frac{1}{F} \quad (15)$$

สมการ (15) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของโมเลกุลโอโซนที่เกิดจาก electric discharge เป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณอิเล็กตรอนและโมเลกุลออกซิเจน และเป็นสัดส่วนกลับกับความเร็วการไหลของก๊าซ

ปฏิกิริยา A_2

เมื่อสิ้นสุดการเกิด electric discharge แต่ละครั้ง อะตอมออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดโมเลกุลโอโซนตามปฏิกิริยาสมการ (8) โดยมีความเข้มข้นขึ้นกับความเข้มข้นของอะตอมออกซิเจน

อัตราการเกิดอะตอมออกซิเจนต่อเวลา $\frac{dx}{dt} = -A_y - B_x - F_y$

เมื่อเริ่มต้นความเข้มข้นโมเลกุลไอออนเป็นศูนย์ $\frac{dy}{dt} = -A_y - B(0) - F_y$

$$\begin{aligned}\frac{dy}{dt} &= -A_y - F_y \\ d(\ln y) &= -(A + F)dt \\ y &= y_0 e^{-(A+F)t}\end{aligned}\quad (16)$$

อัตราการเกิดโมเลกุลไอออนต่อเวลา

$$\frac{dx}{dt} = A_y - F_x \quad (\square 7)$$

ซึ่งรากของสมการเป็น

$$x = [x_0 + y_0(1 - e^{-At})]e^{-Ft} \quad (18)$$

ถ้า $t = t_0$ เป็นคาบของการเกิด electric discharge จะเกิดโมเลกุลไอออนที่ความเข้มข้น x_1 ก่อนที่จะเกิด electric discharge ครั้งต่อไป และเนื่องจากคาบการเกิด electric discharge ($t_0 \rightarrow 0$) เป็นผลให้ค่า $F \cdot t \ll 1$ ดังนั้น

$$x_1 = x_0 + y_0$$

แทนค่า x_0 จากสมการ (14) และอาศัยความสัมพันธ์จากสมการ (11) จะได้

$$y_0 = \frac{C}{P} [(A + F)e^{-Qt_0} + B + F] \quad (19)$$

$$y_0 = \frac{C}{P} (Ae^{-Qt_0} + B)_{F \rightarrow 0} \quad (20)$$

เนื่องจาก $P = (A+B)F$ ดังนั้น ความเข้มข้นของอะตอมออกซิเจน (y_0) จึงแปรผกผันกับความเร็วการไหลของก๊าซ และจากค่าโดยประมาณ $x_1 = x_0 + y_0$ แสดงว่าอะตอมออกซิเจนทั้งหมดทำปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นโมเลกุลไอออน

ปฏิกิริยา B

ก๊าซที่ไหลออกจาก active volume ประกอบด้วยโมเลกุลไอออนที่เกิดจากสมการ (8) เนื่องจากปฏิกิริยา A_2 รวมอยู่กับโมเลกุลออกซิเจนเดิมที่ไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ และอะตอมออกซิเจนที่เหลือจากสมการ (7) ในปฏิกิริยา A_1 เมื่อคิดว่าไม่มีการรั่วไหลของก๊าซออกจาก active volume ดังนั้นก๊าซที่ไหลเข้าสู่และไหลออกจาก active volume จะมีปริมาณเท่ากันจึงสามารถละทิ้งผลจากความเร็วการไหลของก๊าซได้
ดังนั้น

$$\frac{dx}{dt} = A_y \quad (21)$$

และ

$$\frac{dy}{dt} = -A_y \quad (22)$$

รากของผลรวมสมการ (21) และ (22) คือ

$$x = x_2 + y_a(1 - e^{-A_t}) \quad (\square 3)$$

x_a และ y_a คือความเข้มข้นของโมเลกุลโอโซนและอะตอมออกซิเจนขณะที่ก๊าซผสมนี้พ้นออกจากช่วง active volume จากข้อสรุปของปฏิกิริยา A_2 ที่ว่าอะตอมออกซิเจนทั้งหมดทำปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นโมเลกุลโอโซน ทำให้ y_a มีค่าน้อย และ x_a มีค่าโดยประมาณเท่ากับ x_1

$$x = x_1 \quad (24)$$

การเกิดโมเลกุลโอโซนในช่วงที่พ้นจาก active volume มีค่าต่ำมาก เนื่องจากอะตอมออกซิเจนมีความเข้มข้นน้อย

การผลิตโอโซน

ในการผลิตโอโซนกระทำได้โดยผ่านอากาศแห้งหรือออกซิเจนบริสุทธิ์ (O_2) ในช่องแคบ ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์สูงประมาณ 15,000-20,000 โวลต์ (สภาวะนี้เรียกว่า Corona discharge หรือ Cold plasma discharge) ซึ่งโมเลกุลของออกซิเจน (O_2) บางส่วนจะแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน (O) โดยการวิ่งชนของอิเล็กตรอน จากนั้นอะตอมของออกซิเจน (O) จะรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจน (O_2) กลายเป็นโอโซน (O_3) (Cheremisinoff และ Cheremisinoff, 1993; มั่นสิน, 2539; วราภรณ์, 2540)

เครื่องผลิตโอโซนทุกชนิดที่ใช้ในทางการค้า มักใช้หลักการ Corona discharge ดังกล่าวข้างต้น คือ ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าหมุนเวียนระหว่าง 2 อิเล็กโทรด ซึ่งจะถูกแยกออกจากกันโดยชั้นของ dielectric จะมีช่องว่างแคบๆ ให้ออกซิเจนผ่านเข้าไป พลังงานไฟฟ้าบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อน แต่ก๊าซปริมาณเล็กน้อยที่ผ่านไประหว่างอิเล็กโทรดไม่มีความจุเพียงพอที่จะกำจัดความร้อนนี้ออกไปได้ ดังนั้น แหล่งรับความร้อนภายนอกจึงจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อจะถ่ายเทความร้อนนี้ออกไป เพราะโอโซนสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Majumdar and Sproul, 1974) ความร้อนจะถูกผลิตขึ้นมา พร้อมกับ กับโอโซน และระบบจะต้องทำให้เย็น เพื่อป้องกันวัสดุที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะฉนวน และ ป้องกันการสลายตัวของโอโซนที่เกิดขึ้น

เครื่องผลิตโอโซน ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการโอโซนเนชั่น

เครื่องมือในระบบโอโซนเนชั่นประกอบด้วย 4 ส่วนหลักที่สำคัญ (Cheremisinoff และ Cheremisinoff (1993) คือ

1. ส่วนที่ใช้เตรียมก๊าซ (Gas Preparation Unit) โดยปกติจะใช้อากาศ (air) ซึ่งต้องเป็นอากาศที่แห้ง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตโอโซน

2. ส่วนจ่ายกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Unit) โดยทั่วไปเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

- Low frequency (60 Hz) และ variable voltage

- Medium frequency (600 Hz) และ variable voltage

- Fixed voltage และ variable frequency

ซึ่งมักจะใช้แบบ Low frequency (60 Hz) และ variable voltage แต่ถ้าเป็นระบบ โอโซนเนชั่นที่ใหญ่จะใช้แบบ Medium frequency (600 Hz) และ variable voltage ซึ่งทำให้สามารถผลิตโอโซนได้เพิ่มมากขึ้นเท่าตัว โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของส่วนผลิตโอโซน

3. ส่วนผลิตโอโซน (Ozone Generator) มีหลักการผลิตโอโซนดังกล่าวข้างต้น สามารถแบ่ง Ozone Generator ออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- Otto plate type

- Tube type

- Lowther plate type

4. ส่วนที่สัมผัสทำ ปฏิกิริยากัน (Contactor) เพื่อให้โอโซนละลายในน้ำได้มากที่สุด

Contactor ของระบบโอโซนนี้มีการออกแบบที่หลากหลาย ได้แก่

- Multistage porous diffuser contactors

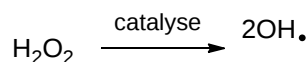
- Eductor-induced, ozone vacuum injector contactors

- Turbine contactors

- Packet-bed contactors

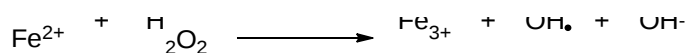
- Two-level diffuser contactors

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะมีเสถียรภาพคงตัวเมื่อบริสุทธิ์ จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมจึงเกิดการออกซิเดชันสารอินทรีย์ได้ยากมาก ภายใต้สภาวะของการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปและมักจะเป็นไปไม่ได้เลยถ้าปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างไฮดรอกซิลเรดิคัล (Marechal et al, 1997) ดังสมการ

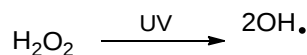


$OH\cdot$ มีศักยภาพในการออกซิเดชัน (Oxidation Potentials) สูงกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไปนี้ถูกนำมาใช้ร่วมกับ H_2O_2

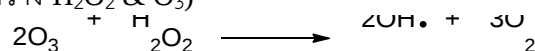
- Fenton's Regent (Ferrous iron & H_2O_2) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง H_2O_2 & Fenton's Regent เป็นดังสมการ



- UV ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง H_2O_2 & UV เป็นดังสมการ



- Ozone ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง H_2O_2 & O_3)



การเปรียบเทียบถึงข้อดี ข้อเสียของแต่ละกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว แสดงไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อเสียของแต่ละกระบวนการ

กระบวนการ	ข้อดี	ข้อเสีย
Fenton's Reagent/UV	- ใช้อุปกรณ์และขั้นตอนการบำบัดที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน - สามารถลดค่าซีโอดี	- เกิดตะกอนที่ต้องนำไปกำจัดต่อ - ระยะเวลาในการบำบัดค่อนข้างสูง - เกิดสารประกอบจำพวกเกลือ - ก่อให้เกิดสารประกอบเป็นพิษ
UV/H ₂ O ₂	- ไม่ก่อให้เกิดตะกอนที่ต้องนำไปบำบัดต่อ - ไม่เกิดสารประกอบจำพวกเกลือ - ค่อนข้างปลอดภัย และง่ายต่อการดำเนินการ - ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่สูงมาก - สามารถลดค่าซีโอดีได้	- ไม่สามารถใช้ในการบำบัดสีได้ทุกชนิด - ต้องการการแยกของแข็งแขวนลอยออกจากสารละลายก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัด
O ₃ /H ₂ O ₂	- ไม่ก่อให้เกิดตะกอนที่ต้องนำไปบำบัดต่อ - ไม่เกิดสารประกอบจำพวกเกลือ - ค่อนข้างปลอดภัย และง่ายต่อการดำเนินการ - ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่สูงมาก - ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในการบำบัดสั้นมาก	- ไม่สามารถใช้ในการบำบัดสีได้ - ไม่สามารถลดค่าซีโอดีได้

จากที่กล่าวไว้แล้วว่าก๊าซโอโซนเกิดจากอะตอมออกซิเจน และโมเลกุลออกซิเจนในสภาวะ excited รวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจนปกติ ดังนั้นการผลิตก๊าซโอโซน จึงต้องมีกระบวนการ ที่ทำให้เกิดการ แตกตัวของโมเลกุลออกซิเจน เป็นออกซิเจนอะตอม หรือทำให้โมเลกุลออกซิเจนอยู่ในสภาวะ excited การผลิตโอโซนมีได้หลายวิธี ซึ่งขอสรุปวิธีการต่างๆโดยย่อ ดังนี้

1. การผลิตโอโซนโดยให้พลังงานความร้อน

อาศัยพลังงานความร้อนในการแยกโมเลกุลออกซิเจน ปฏิกิริยานี้เกิดที่อุณหภูมิสูงมาก หลังจากนั้น จะถูกทำให้มีอุณหภูมิต่ำลงเพื่อป้องกันการสลายตัวของโอโซนที่ผลิตได้ ในปัจจุบันนี้ใช้วิธีการฉีดออกซิเจนเหลว (-182.96°C) เข้าสู่ plasma jet เพื่อให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลออกซิเจน และรวมตัว กับโมเลกุลออกซิเจนข้างเคียงเกิดเป็นโอโซน ซึ่งจะถูกทำให้เย็นลงด้วยออกซิเจนเหลว

2. การผลิตโอโซนโดยวิธี photochemical

อาศัยพลังงานจากโฟตอนในการแยกโมเลกุลออกซิเจนโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 253.7 nm

3. การผลิตโอโซนโดยวิธี electrolysis

อาศัยพลังงานกระแสไฟฟ้า ในการแยกออกซิเจนออกจากสารละลาย ที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โอโซนจะเกิดขึ้นที่ขั้วบวกเป็นจำนวนมาก ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงมาก

4. การผลิตโอโซนโดยวิธีการแผ่รังสีนิวเคลียร์

อาศัยพลังงานจากอนุภาคนิวเคลียร์ในการแตกตัวของโมเลกุลออกซิเจน เช่น รังสีแกมมา รังสีแอลฟา อนุภาคอิเล็กตรอน และนิวตรอน สามารถผลิตโอโซนได้มากเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

5. การผลิตโอโซนโดยวิธีเคมี

โอโซนเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาเคมีบางประเภท เช่น ปฏิกิริยาการสลายตัวของสารเคมีที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ ปฏิกิริยาของสารประกอบ peroxide กับกรด และปฏิกิริยาระหว่าง ฟลูโอรีน กับน้ำ กรดซัลฟิวริกและ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

6. การผลิตโอโซนโดยวิธี electric discharge

อาศัยพลังงานจากสนามไฟฟ้าในการแตกตัวของโมเลกุลออกซิเจน หรือกระตุ้นให้โมเลกุลออกซิเจนอยู่ในสภาวะ excited เป็นวิธีที่สะดวกที่สุดในการผลิตโอโซนปริมาณมาก

การผลิตโอโซนโดยวิธี electric discharge

บริเวณช่องว่างระหว่างผิวอิเล็กโทรดทั้งสอง ซึ่งมีออกซิเจนบริสุทธิ์หรือออกซิเจนในก๊าซผสมอิเล็กตรอนอิสระที่ปรากฏอยู่จะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้น (มากขึ้นอยู่กับระยะทาง mean free path) ระหว่างการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนมีโอกาสชนกับอะตอมของออกซิเจน (ที่ยังรวมตัวเป็นโมเลกุลออกซิเจนอยู่) เป็นผลให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรรอบอะตอม กลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ และโมเลกุลออกซิเจนที่มีประจุบวก อิเล็กตรอนอิสระจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้มีความเร็วสูงขึ้นวิ่งเข้าชนโมเลกุลออกซิเจนเกิดเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระเป็นเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนก็ถูกสนามไฟฟ้าเร่งเข้าสู่อิเล็กโทรดบวกเกิดการสะสมประจุลบบริเวณผิวอิเล็กโทรดบวก และโมเลกุลออกซิเจนที่มีประจุบวกก็ถูกสนามไฟฟ้าเร่งเข้าสู่อิเล็กโทรดลบด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากโมเลกุลมีขนาดใหญ่กว่าอิเล็กตรอนมากเคลื่อนที่ได้ช้าจึงเกิดการกระจายตัวทั้งช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดโดยมีความหนาแน่นสูงบริเวณผิวอิเล็กโทรดลบ

เมื่อการสะสมประจุที่ผิวอิเล็กโทรดทั้งสองมีมากพอ และศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดสูงพอ จะเกิด การนำไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองขึ้นโดยอาศัยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ และก๊าซซึ่งขณะนี้มี สภาพเป็นไอออนบวกเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเรียกว่า electric discharge ความสามารถในการ นำกระแสไฟฟ้า (I/V) หรือค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่ผิวอิเล็กโทรด (current density) จะ ใช้เป็นตัวจำแนกประเภทของการเกิด electric discharge

เมื่อไอออนของก๊าซระหว่างอิเล็กโทรดเริ่มนำกระแสไฟฟ้า อิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะมีความเร็วต่ำ เนื่องจากสูญเสียพลังงานไปเนื่องจากการชนกับโมเลกุลของก๊าซเป็นช่วงที่เรียกว่า dark discharge เมื่อสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการมี การชนกันของอิเล็กตรอนอิสระกับโมเลกุลออกซิเจนมากขึ้นเป็น ผลให้เกิดไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น อิเล็กตรอนที่มีความสูงเพิ่มจำนวนขึ้นเกิดการ เรืองแสงเป็นช่วงๆ เรียกว่า patch discharge หรือ silent discharge

ต่อจากช่วง patch discharge เมื่อจำนวนอิเล็กตรอนบวกมีมากพอและกระจายตัวสม่ำเสมอทั้งช่องว่าง ระหว่างอิเล็กโตรดเป็นผลให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ตลอดทั้งช่องว่าง เกิดแสงเรืองสม่ำเสมอเรียกช่วงนี้ว่า luminous silent discharge

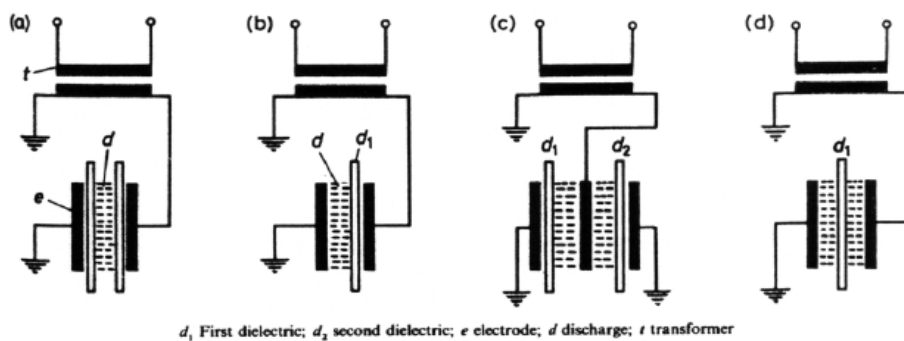
ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงพอ จำนวนอิเล็กตรอนบวกและอิเล็กตรอนอิสระจะเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้ความหนาแน่นกระแสสูงขึ้น ปริมาณอิเล็กตรอนบวกที่มากขึ้นจะทำให้เกิดการชนกันเองของอิเล็กตรอนเหล่านี้ และกับโมเลกุลออกซิเจนโดยมีความหนาแน่นสูงที่บริเวณผิวอิเล็กโตรดลบโมเลกุลออกซิเจนและอิเล็กตรอนบวกที่ชนกันนั้นจะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนสู่สภาวะ excited เมื่อกลับสู่สภาพปกติจะมีการปลดปล่อย photon ปรากฏเป็นชั้นเรืองแสงปกคลุมผิวอิเล็กโตรดลบเรียกว่า corona discharge

เมื่อการชนกันของอิเล็กตรอนและโมเลกุลออกซิเจนมีมากขึ้นจนถึงระดับโมเลกุลก๊าซในช่องว่าง ระหว่างอิเล็กโตรดทั้งหมดแตกตัวเป็นประจุ การนำไฟฟ้าจะเกิดได้เต็มที่เรียกช่วงนี้ว่า spark Discharge ถ้าหากว่าการเกิด spark discharge ยังคงเกิดอย่างต่อเนื่อง จะเป็นผลให้อุณหภูมิของก๊าซระหว่าง ช่องว่างอิเล็กโตรดสูงขึ้นมาก อิเล็กตรอนอิสระทั้งหมดมีพลังงานสูง และกลายเป็นพาหะหลักในการ นำไฟฟ้าค่าความหนาแน่นกระแสจะมีค่าสูงสุด เรียกช่วงนี้ว่า arc discharge วิธีที่มีความเป็นไปได้สูงในเชิง ธุรกิจและสามารถปฏิบัติได้จริงในการผลิตโอโซนจำนวนมากได้แก่ วิธี silent discharge ที่จะใช้ ศักย์ไฟฟ้าสูง โดยไม่เกิดประกายไฟฟ้าและการเรืองแสง

เนื่องจากเกิดความร้อนบริเวณ discharge space ต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธี spark และ arc discharge ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโอโซนโดยวิธี electric discharge ได้แก่

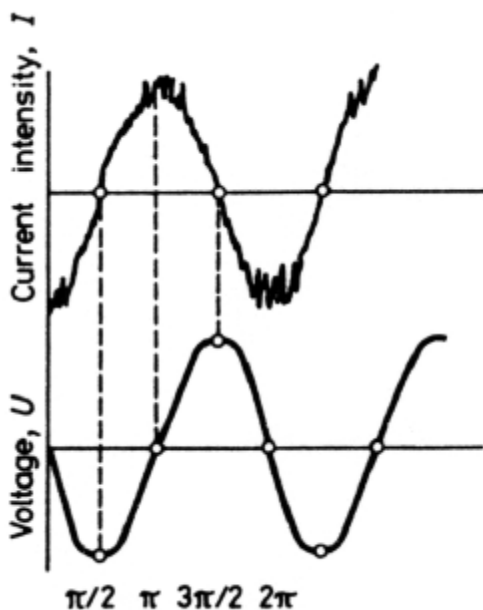
- ลักษณะของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ได้แก่ กระแสตรงหรือกระแสสลับ และรูปคลื่นไฟฟ้า
- ค่าของศักย์ไฟฟ้า
- ความถี่ของศักย์ไฟฟ้า
- ระยะห่างระหว่างผิวอิเล็กโตรด
- รูปร่างและวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโตรด
- รูปร่างและวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโตรด
- ชนิดของก๊าซที่อยู่ระหว่างผิวอิเล็กโตรดทั้งสอง
- รูปร่างและวัสดุที่ใช้ทำ dielectric
- สภาวะของก๊าซที่อยู่ระหว่างผิวอิเล็กโตรด ได้แก่ อัตราการไหล อุณหภูมิ และความดัน

การผลิตโอโซนโดยวิธี electric discharge มีโครงสร้างง่าย ๆ คือมีพื้นผิวดำนำไฟฟ้าวางขนานกัน โดยมีระยะห่างเล็กน้อย คั่นด้วย dielectric มีออกซิเจนหรืออากาศบรรจุเต็มช่องว่างที่เหลือระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสอง



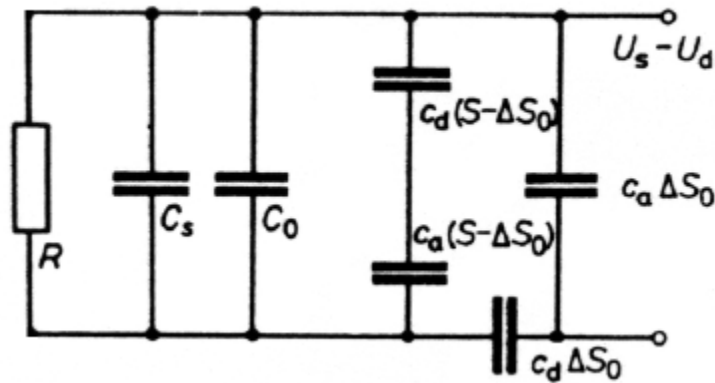
รูปที่ 2 แสดงการผลิตไอซอนโดยวิธี electric discharge

ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ผลิตไอซอนโดยวิธี electric discharge เทียบได้กับตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่กับตัวเหนี่ยวนำ เมื่อจ่ายศักย์ไฟฟ้าที่เป็นคลื่นรูป sine กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ผลิตไอซอนจะมีเฟสหน้าหน้าศักย์ไฟฟ้าไป $\pi/2$ radian ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงรูปคลื่นศักย์ไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (I) ที่อุปกรณ์ผลิตไอซอนโดยวิธี electric discharge

Dielectric ที่คั่นระหว่างผิวอิเล็กโตรดทำหน้าที่กระจายการเกิด discharge ให้สม่ำเสมอทั่วพื้นผิว



รูปที่ 4 แสดงวงจรไฟฟ้าสมมูลของอุปกรณ์ผลิตไอโซนโดยวิธี electric discharge

โครงสร้างของอุปกรณ์ผลิตไอโซนมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นตัวเก็บประจุที่มี dielectric 2 ชนิด คั่นกลางระหว่างพื้นผิวอิเล็กโทรดทั้งสอง ได้แก่ แก้ว และ ออกซิเจน หรือ อากาศ ถ้าให้ C_d และ C_a แทนค่าความจุไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สำหรับ แก้ว และ ออกซิเจน หรือ อากาศ และ S แทนพื้นที่ผิวทั้งหมดของอิเล็กโทรด ค่า

$$\text{ความจุไฟฟ้ารวมเนื่องจาก dielectric ทั้งสองมีค่าเท่ากับ } C_1 = S \cdot \left[\frac{C_a \cdot C_d}{C_a + C_d} \right]$$

ถ้าช่องว่างระหว่างผิวอิเล็กโทรดมีระยะมากพอจะไม่ทำให้เกิดการ discharge เฉพาะที่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง โครงสร้างของอุปกรณ์ส่วนนี้จะเทียบได้กับตัวเก็บประจุเมื่ออิเล็กโทรดทั้งสองไม่มี dielectric (C_0) ดังนั้นค่าความจุไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ผลิตไอโซน จะมีค่าเป็น $C_e = C_1 + C_0$

เมื่อคิดรวมค่าความจุไฟฟ้าแฝง (C_s) ซึ่งประกอบขึ้นจากเส้นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าเข้าสู่และออกจากอุปกรณ์ผลิตไอโซน ทำให้ค่าความจุไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ผลิตไอโซนมีค่าเป็น $C' = C_e + C_s$

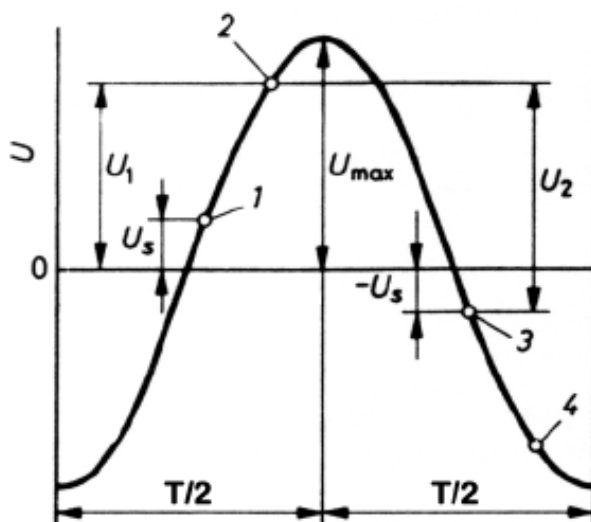
การ discharge เกิดขึ้นระหว่างผิวอิเล็กโทรดทั้งสองเมื่อศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงพอที่จะทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าได้ (U_s) และจะสิ้นสุดเมื่อศักย์ไฟฟ้าลดต่ำลงเป็น U_d และเนื่องจากระยะเวลาขณะเกิด discharge มีค่าสั้นมาก ($0.2-0.3 \mu s$) เมื่อเทียบกับ 1 คาบ ของคลื่นไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์ผลิตไอโซน การเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าขณะใดขณะหนึ่งขณะเกิด discharge จึงมีค่าน้อยจนสามารถตัดทิ้งได้สำหรับ discharge column หนึ่งๆ ซึ่งมีพื้นที่ผิว (ΔS_0) เล็กมาก เมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวทั้งหมดของอิเล็กโทรดที่เกิดการ discharge (S_0) ดังนั้น

$$C_e \gg S_0 \cdot \left[\frac{C_a - C_d}{C_a + C_d} \right]$$

และกระแสไฟฟ้าขณะเกิด discharge จะเป็นไปตามสมการ

$$I_d = \Delta S_0 \cdot \frac{C_d}{C'} \cdot \frac{(U_s - U_d)}{R} \cdot e^{-\tau/RC}$$

เมื่อ R เป็นความต้านทานไฟฟ้าสมมูลของอุปกรณ์ผลิตโอโซน
 τ เป็นช่วงเวลาระหว่างการเกิด discharge แต่ละครั้ง



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและช่วงเวลาที่เกิด discharge

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นการเกิด discharge ของก๊าซในอุปกรณ์ผลิตโอโซน เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ก๊าซแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า $U_s(1)$ ในขณะศักย์ไฟฟ้าเพิ่มค่าขึ้นจนถึงค่าสูงสุด การเกิด discharge จะยุติที่ตำแหน่ง $U_1(2)$ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นทิศตรงข้าม $I = C \frac{dU}{dt}$ และศักย์ไฟฟ้าเริ่มมีค่าลดลงเรื่อยๆ ผ่านจุดศูนย์และค่อยๆเพิ่มค่าเป็นลบมากขึ้น จนถึงค่าที่ก๊าซสามารถแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าได้อีกครั้งหนึ่ง $-U_s(3)$ และคงสภาพการเกิด discharge ไปจนถึงค่า $-U_1(4)$ การ discharge จึงหยุดเช่นเดียวกับครั้งแรกของคาบสัญญาณไฟฟ้าในหนึ่งคาบของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์ผลิตโอโซนจะเกิดการ discharge เพียง 2 ครั้ง ในช่วง 1 ถึง 2 สำหรับคลื่นครึ่งบวก และ 3 ถึง 4 สำหรับคลื่นครึ่งลบ นอกเหนือจากนี้แล้วจะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าใด ๆ ตลอดช่วงคลื่น

กล้วยหอม

กล้วยหอม เป็นไม้ล้มลุกชนิดหนึ่ง มีอยู่หลากหลายสายพันธุ์ เช่น กล้วยหอมจันทร์ กล้วยหอม กล้วยหอมเขียว โดยกล้วยหอมเขียวหรือกล้วยหอมคาเวนดิชเป็นกล้วยหอมที่นิยมปลูกทั่วไปจัดเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยคุณค่าสารอาหารครบถ้วนตากหลักโภชนาการ เช่น มีวิตามิน โยอาหารที่ช่วยในการขับถ่าย มีสารแทนนิน ซึ่ง

ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ *Escherichia coli* เป็นต้น กล้วยหอมถูกจัดเป็นผลไม้เมืองร้อน สามารถปลูกได้เกือบทุกประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้นหลายแห่ง สำหรับประเทศไทย สามารถปลูกกล้วยหอมได้ทั่วประเทศ

ปัจจุบันกล้วยหอมกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่น่าสนใจอย่างยิ่ง สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทำให้ราคากล้วยหอมพุ่งขึ้นเกือบเท่าตัวเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา จะเห็นราคาขายปลีกตามท้องตลาด จากเดิมราคาผลละ 3 บาท ปัจจุบันราคาอยู่ที่ 5-12 บาท จากข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2558) รายงานว่า ในปี 2557 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยหอมทั่วประเทศ 86,270 ไร่ ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ของภาคกลาง โดยเฉพาะ จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด 14,170.5 ไร่ รองลงมาคือจังหวัดเพชรบุรี (8,956 ไร่) ชุมพร (3,997 ไร่) และหนองคาย (3,254 ไร่) มีผลผลิตรวมทั่วประเทศ 235,747 ตัน ใช้บริโภคในประเทศ 234,273 ตัน ส่งออกต่างประเทศ 1,475 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 45.15 ล้านบาท ตลาดหลักส่วนใหญ่จะเป็นที่สี่มุมเมือง ตลาดไท โมเดิร์นเทรด และอีกส่วนหนึ่งส่งจำหน่ายในร้านสะดวกซื้อ หือคอนวีนีเยนส์โตร์ โดยเฉพาะร้านสะดวกซื้อเซเว่นอีเลฟเว่น ที่มีความต้องการกล้วยหอมคุณภาพวันละถึงถึง 1 แสนผล ขณะที่ตลาดต่างประเทศยังสามารถรองรับการนำเข้ากล้วยหอมจากประเทศไทยได้อีกปริมาณมาก โดยประเทศคู่ค้าที่สำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย และสิงคโปร์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558) อย่างไรก็ตามปัญหาหลักของการส่งออกกล้วยหอมไปตลาดต่างประเทศคือ กล้วยหอมมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น หากต้องใช้เวลาในการขนส่งทางเรือจำเป็นต้องมีวิธีการชะลอการสุกที่ดี รวมทั้งปัญหาในด้านการเน่าเสียจากเชื้อรา โดยเฉพาะเชื้อรา *Colletotrichum musae* ซึ่งก่อโรคแอนแทรคโนสในกล้วย ส่งผลให้เกิดปัญหาการขนส่งกล้วยเป็นอย่างมาก

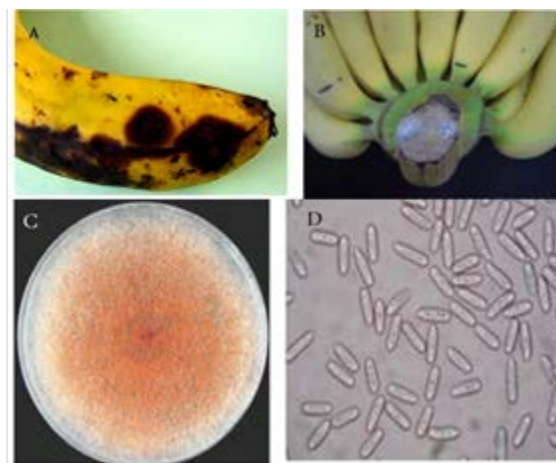
จุลินทรีย์และการเกิดโรคในกล้วยหอม

จุลินทรีย์ที่ก่อโรคในกล้วยหอม ส่วนใหญ่เป็นเชื้อรา โดยก่อให้เกิดโรคที่สำคัญคือ โรคแอนแทรคโนส (anthracnose) และโรคหัวเหี่ยว (crow rot) ดังนี้

1. โรคแอนแทรคโนส

โรคแอนแทรคโนส มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *C.musae* จัดเป็นโรคกล้วยที่มีความรุนแรงที่สุด (Zakaria et al., 2009) และเป็นปัญหาสำคัญของกล้วยส่งออก โดยเชื้อราเข้าทำลายหัวหวีบาดแผลขณะการขนส่ง เกิดเป็นสีน้ำตาลจนถึงดำ และเน่าลามอย่างช้า ๆ เกิดเส้นใยสีขาวบริเวณบาดแผล ก่อให้เกิดอาการของโรคเมื่อกล้วยหอมสุกเป็นสุกเป็นสีเหลืองทั้งผล โดยอาการรุนแรงมากขึ้นตามความสุกและปริมาณน้ำตาลในผล กล้วยหอมที่เป็นโรคแอนแทรคโนมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ และการผลิตก๊าซเอทิลีน (ethylene) สูงกว่ากล้วยหอมปกติ

เชื้อรา *C. musae* มีโคโลนีเป็นเส้นใยสีขาว ขอบเรียบ บนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) และสร้างกลุ่มโคนิเดีย (conidia) สีส้มจำนวนมาก แทรกอยู่ในโคโลนี โคนิเดียมีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว รูปไข่ถึงทรงกระบอก หัวท้ายมน (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 โรคแอนแทรคโนสในกล้วย (A และ B) ซึ่งมีสาเหตุจากเชื้อรา *C. musae* แสดงลักษณะโคโลนี (C) บนอาหาร Potato Dextrose Agar และโคินิเดีย (D)

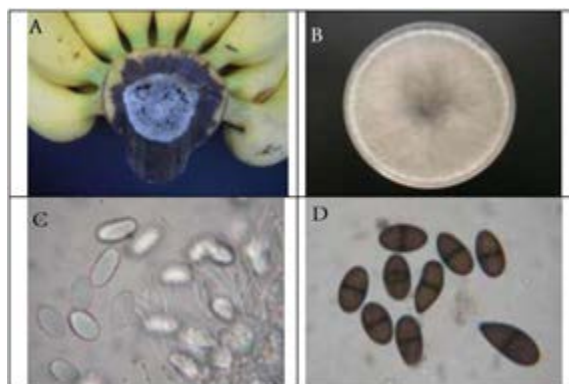
ที่มา : Infonet-biovision, 2016

2. โรคข้าวหิวเน่า

2.1 โรคข้าวหิวเน่าที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *L. theobromae*

L. theobromae ก่อโรคข้าวหิวเน่าในกล้วยหอม โดยเริ่มต้นจากบริเวณข้าวหิว บริเวณที่มีการติดเชื้อมีจุดสีน้ำตาลอ่อนในช่วงแรก แผลขยายลุกลามอย่างรวดเร็วที่บริเวณข้าวหิว จากนั้นเปลี่ยนสีน้ำตาลเข้มอย่างรวดเร็ว สร้างเส้นใยเทาฟูบนแผล (ภาพที่ 2.2 A) เชื้อราเข้าทำลายเนื้อเยื่อบริเวณข้าวหิวอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่มีการติดเชื้อรุนแรง พบเกิดการเน่าลามไปถึงข้าวผล ทำให้ผลหลุดร่วงจากหวีได้

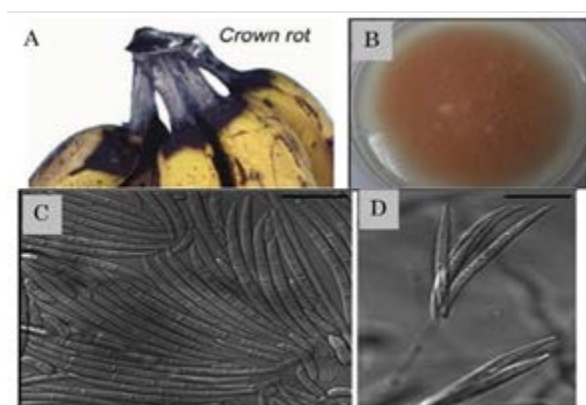
ลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *L. theobromae* บนอาหาร Potato dextrose Agar มีสีเทาอ่อน ถึงสีดำ เส้นใยฟู เส้นใยที่มีอายุน้อยมีสีขาวละเอียด ค่อนข้างฟู เชื้อเจริญเต็มจากเพาะเชื้อหลังการเพาะเชื้อประมาณ 2 วัน โคโลนีเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่ออายุมากขึ้น โคินิเดียของ *L. theobromae* ช่วงแรกใส ไม่มีสร เรียงตัวเดี่ยวๆ รูปไข่ หรือยาวรี เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่ออายุมากขึ้น และมีผนังกันแบ่งออกเป็นสองส่วนชัดเจน ผนังโคินิเดียค่อนข้างหนา (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 การเกิดโรคข้าวเหนียวที่มีสาเหตุจาก *L. theobromae* A) ลักษณะของโรคบนข้าวเหนียว B) ลักษณะเส้นใยของเชื้อรา *L. theobromae* บนอาหาร Potato Dextrose Agar C) ลักษณะของโคนิเดียที่มีอายุน้อย D) ลักษณะของโคนิเดียแก่

2.2 โรคข้าวเหนียวที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Fusarium* sp.

Fusarium sp. ก่อโรคในกล้วยหอม โดยเริ่มต้นจากบริเวณข้าวเหนียวที่เกิดเป็นจุดสีน้ำตาล แผลมีการขยายลุกลามอย่างช้าๆ ต่อมาเชื้อมีการสร้างเส้นใยสีขาวปนส้มอ่อน อาการไม่รุนแรงมากนัก ลักษณะของเชื้อรา *Fusarium* sp. บนอาหาร Potato Dextrose Agar มีสีส้มอมชมพูอ่อน เส้นใยฟูเจริญอย่างรวดเร็ว เชื้อราสร้างโคนิเดียบนโคนิดิโอฟอร์ (conidiophores) ที่อัดตัวเป็นสโตรมา (stroma) ประกอบด้วยโคนิเดีย 3 แบบ คือแมโครโคนิเดีย (macroconidia) รูปร่างโค้งคล้ายพระจันทร์เสี้ยว ใส ไม่มีสี มีผนังกัน 3-5 อัน ไมโครโคนิเดีย (microconidia) มีรูปร่างเป็นรูปไข่ ยาวรี หรือส้มป้อม จนถึงรูปทรงกระบอก ใส ไม่มีสี และแคลมิโดสปอร์ (chlamydospore) มีรูปร่างเป็นรูปไข่ หรือทรงกลม ผนังเรียบ เกิดบริเวณส่วนปลายเส้นใย หรือส่วนกลางเส้นใย (รูปที่ 8)

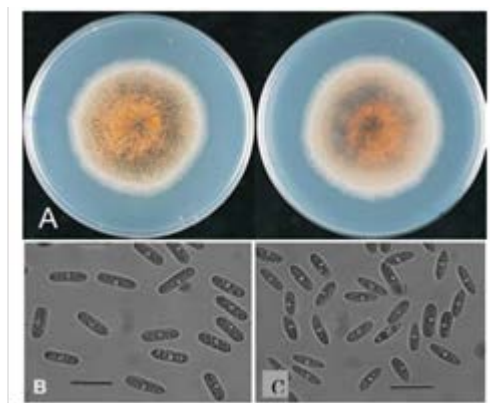


รูปที่ 8 ลักษณะของโรคข้าวเหนียวในกล้วย (A) ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Fusarium* sp. แสดงลักษณะโคโลนีบนอาหาร Potato Dextrose Agar (B) และลักษณะโคนิเดีย (C และ D)
ที่มา: Secor และคณะ, 2014

3. โรคผลเน่า (fruit rot)

โรคผลเน่าของกล้วยหอม มีสาเหตุมาจาก *C. gloeosporioides* อาการในช่วงแรกคือมีลักษณะเป็นจุดแปล ฉ่ำน้ำ และขยายเน่าลามเมื่อแผลยุบตัวลง แผลมีลักษณะเป็นวง ต่อมากเชื้อราสร้างกลุ่มของสปอร์เป็นเมือกเหนียว (slimy mass) สีชมพู ส้ม หรือแดงอมส้มบนแผล

ลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *C. gloeosporioides* บนอาหาร Potato Dextrose Agar มีสีขาวถึงเทา เส้นใยเจริญขึ้นฟูเล็กน้อยบนอาหาร ด้านใต้อาหารวันมีสีเทาอมควัน สร้างโคนิเดียสีชมพูอมส้ม เป็นจุกเล็กๆ เป็นวนบนอาหาร โคนิเดียมีรูปร่างกระบอก หัวท้ายมน ฐานปลายตัดเล็กน้อย (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 ลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *C. gloeosporioides* บนอาหาร Potato dextrose Agar (A) และลักษณะของโคนิเดีย (B และ C)

ที่มา: Kim และคณะ, 2009 และ Weir และคณะ, 2012

ลองกอง

ลองกองมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Aflaia dookkoo* Griff. จัดเป็นผลไม้เมืองร้อน สุกตลอดทั้งปี สุกเดียวกับกลางสาด และดูถูก อยู่ในตระกูล Meliaceas สกุล *Aglaia* ชนิด *dookkoo* มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Longkong ชื่อตามภาษาพื้นเมืองเรียก ลอกิ่ง (Paull et al., 1987; มงคล แซ่หลิม และคณะ, 2547) ลองกองมีแหล่งกำเนิดอยู่ในหมู่เกาะชวา มลายู อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และไทย ลองกองเป็นผลไม้ที่มีรสชาตหวานมีกลิ่นหอม มีเปลือกบาง เมล็ดน้อย (อภิชัย, 2541) โดยลองกองจะทยอยออกสู่ตลาดถึงปีละ 7 เดือน คือ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน โดยช่วงที่มีผลผลิตมากที่สุด คือ เดือนสิงหาคม และ กันยายน (กวิศร์ วานิชกุล และ วันทนา บัวทรัพย์, 2541) การเสื่อมคุณภาพของลองกอง เกิดจากการสุกที่ไม่พร้อมกันในต้นเดียวกัน และในช่อเดียวกัน (สุรกิตติ, 2536) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพและเคมีอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น เกิดการหลุดร่วงจากช่อผลทำให้ส่งผลต่อการเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่าย โดยทั่วไปผลลองกองจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 4-7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (สุรกิตติ ศรีกุล, 2537) ซึ่งการเน่าเสียของลองกองจะพบได้ง่ายที่ผิวเปลือก เช่น เกิดโรคที่ผิวเปลือก เปลือกเหี่ยว เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วจนใน 4-5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนั้นยังพบปัญหา แผลง มด และเพลี้ยแป้งติดไปกับผลผลิต และ ปัญหาการแตกของผลลองกองระหว่างการรอจำหน่ายเมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวลองกองหลังฝนตกใหม่เป็นต้น สำหรับลองกองสามารถจำแนกได้ 3 สายพันธุ์ คือ

1. ลองกองแห้ง หรือลองกองแท้ เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากและทำการค้า เพราะมีผลกลมเปลือกหนาผิวหยาบเล็กน้อย เกาะติดกันเป็นช่อยาวและแน่น เนื้อมีรสหวาน กลิ่นหอม เมล็ดน้อย
2. ลองกองน้ำ ลักษณะผลคล้ายลองกองแห้ง เปลือกบางและผลจะนุ่มกว่าเนื้อไม่ค่อยหวานและมีน้ำมาก เมื่อปลอกจะรู้สึกเปียก
3. ลองกองปาเลาเม มีผลคล้ายกลางสาด คือ กลมรี เปลือกบาง ซ่อไม่ค่อยแน่น ผิวลักษณะอ่อนนุ่ม เนื้อมีรสหวานและมีเมล็ดเล็ก

คุณภาพของลองกอง

การแบ่งชั้นคุณภาพของลองกอง สามารถแบ่งชั้นได้ 3 ระดับดังนี้

1. ชั้นพิเศษ (Extra Class)

ลองกองชั้นพิเศษต้องมีคุณภาพดีที่สุด ตรงตามพันธุ์ ผลไม่มีตำหนิ ในกรณีที่มีตำหนิต้องเป็นเป็นตำหนิผิวเล็กน้อยไม่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผล คุณภาพผลิตผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสมอในบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ช่อผลแน่น

2. ชั้นหนึ่ง (Class I)

ลองกองชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดี ตรงตามพันธุ์ ผลมีตำหนิได้เล็กน้อย โดยมีมีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผล คุณภาพของผลิตผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสมอในบรรจุภัณฑ์ ตำหนิที่ผิวมีได้เล็กน้อย โดยพื้นผิวมีตำหนิรวมต่อผลไม่เกิน 0.5 ตารางเซนติเมตร กรณีเป็นลองกองช่อ ต้องเป็นช่อที่แน่นพอดี ทุกผลมีความแก่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ซ่อผลแน่นพอดี

3. ชั้นสอง (Class II)

ลองกองชั้นนี้รวมผลลองกองที่ไม่เข้าชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพดี ตรงตามพันธุ์ ผลมีตำหนิได้เล็กน้อย โดยมีผลกระทบต่อรูปลักษณะทั่วไปของผลิตผล คุณภาพของผลิตผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสมอในบรรจุภัณฑ์ ตำหนิที่ผิวมีได้เล็กน้อย โดยพื้นผิวมีตำหนิรวมต่อผลไม่เกิน 1 ตารางเซนติเมตร กรณีเป็นลองกองซ่อ สามารถเป็นซ่อที่ผลไม่แน่น และซ่อที่มีผลร่วงไม่เกิน 30 % ดังรูปที่ 12-13



รูปที่ 12 ซ่อผลไม่แน่น



รูปที่ 13 ซ่อผลไม่แน่น

ข้อกำหนดเรื่องขนาด

พิจารณาขนาดของผลจากจำนวนผลต่อกิโลกรัม ผลลองกองที่จำหน่ายมี 2 รูปแบบ คือ ลองกองผลเดี่ยวและลองกองซ่อ ข้อกำหนดเรื่องขนาดมีรายละเอียดดังตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 โดยการแบ่งชั้นคุณภาพและข้อกำหนดเรื่องขนาดตาม ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 สามารถนำไปใช้พิจารณาในทางการค้า โดยนำข้อกำหนดการแบ่งชั้นคุณภาพไปใช้ร่วมกันข้อกำหนดเรื่องขนาด เพื่อกำหนดเป็นชั้นทางการค้า ซึ่งคู่ค้าอาจมีการเรียกชื่อชั้นทางการค้าที่แตกต่างกันขึ้นกับความต้องการของคู่ค้า หรือตามข้อกำหนดที่มีเนื่องจากฤดูกาล

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดขนาดของลองกองเดี่ยว

รหัสขนาด	น้ำหนักต่อผล (กรัม)
1	>25

2	>20-25
3	>15-20
4	10-15

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดขนาดของลองกองข้อ

รหัสขนาด	น้ำหนักต่อข้อ (กรัม)
1	>700
2	>500-700
3	>300-500
4	>200-300
5	100-200

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ไพฑูรย์ ไทยพันธ์. (2544) ศึกษากระบวนการไอโซไนเซชันที่มีขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกกลวง 2 ขั้ว ซ้อนกัน ขั้วไฟฟ้าภายในทำจากสแตนเลส และถูกหุ้มด้วยแก้ว pyrex ซึ่งทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กทริก ขั้วไฟฟ้าภายนอกทำจากแก้ว pyrex เมื่อผ่านก๊าซออกซิเจนไปยังดิสชาร์จระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง พร้อมจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความต่างศักย์สูงให้กับไฟฟ้าทั้งสองจะได้ไอโซนปริมาณความเข้มข้นของไอโซนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้า และเมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนตั้งแต่ 6 ถึง 10 L/min พบว่าอัตราการไหลของออกซิเจนที่ให้ปริมาณไอโซนสูงสุดคือ 8 L/min ปริมาณความเข้มข้นของไอโซนที่ได้มากขึ้น เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์มากขึ้น กระแสดิสชาร์จที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดไอโซน โดยใช้หัววัดกระแส CT-1 พบว่ากระแสดิสชาร์จที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นพัลส์ค่อนข้างคงที่ โดยความต่างศักย์เฉลี่ยประมาณ 4.17 V (เมื่อเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าที่เกิดระหว่างดิสชาร์จโดยใช้อัตราส่วน 5 mV ต่อ 1 mA) มีค่ากระแสเท่ากับ 0.834 A ค่า rise time ประมาณ 1.7 นาโนวินาที ส่วนตัวแปรที่ต่างกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่ให้เครื่องกำเนิดไอโซน คือค่า duration time ของการเกิดพัลส์แต่ละครั้ง (ช่วงเวลาระหว่างพัลส์) พบว่าที่ 2 kV พัลส์จะไม่ต่อเนื่องกันอย่างชัดเจน ทำให้สังเกตเห็นช่วงเวลาระหว่างแต่ละพัลส์ได้ แต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์เป็น 6 kV พัลส์ที่เกิดขึ้นจะมีช่วงเวลาระหว่างพัลส์แต่ละครั้งน้อยมาก มีลักษณะเหมือนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง นั่นคือมีค่า duration time ต่ำมาก กล่าวโดยสรุปคือเมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ค่า duration time ระหว่างพัลส์จะลดลง นั่นคือปริมาณไอโซนเพิ่มมากขึ้นเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ธวัชชัย เทพนวล. (2541) ศึกษาออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไอโซนที่อาศัยเทคนิคดิสชาร์จแบบไซเรนห์ ศึกษา 3 ส่วนคือ 1.แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ ความถี่ 50 Hz 2.การเตรียมอากาศแห้งสำหรับการใช้ในการผลิตไอโซน ตัวกรองอากาศแห้งที่ใช้สาร Zeolite (มีคุณสมบัติในการดูดซับไอน้ำ) และ 3.เซลล์ไอโซไนเซชัน ศึกษาทดลองเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่อการผลิตไอโซนที่เหมาะสมของระบบ (ศักย์ไฟฟ้า 7.90 kV อัตราการไหลของอากาศ 1.42 ลิตรต่อนาที และอุณหภูมิห้องปรับอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ

60%) เมื่อเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้า ผลผลิตโอโซนเพิ่มขึ้นตามสนามไฟฟ้าเป็นรูปเอกซ์โปเนนเชียล เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศพบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น (อัตราการผลิตโอโซนเพิ่มขึ้น) ทำให้ปริมาณความเข้มข้นที่ได้มีค่าลดลงและเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ นำผลผลิตโอโซนในสภาวะที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำดิบผ่านการกรองน้ำเสียและน้ำนากุ้ง พบว่าโอโซนใช้เวลาในการผ่านน้ำ 0.5 นาที สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ ที่ปริมาณเชื้อ 10^3 CFU/ml ได้ 100% สำหรับน้ำดิบผ่านการกรองและใช้เวลา 3 นาทีในน้ำนากุ้งซึ่งทำให้ปราศจากเชื้อแบคทีเรียชนิด *Vibrio* sp. ที่ระดับ 500 CFU/ml ได้ 100% สำหรับน้ำเสียต้องใช้เวลา 10 นาทีในการทำให้ปราศจากเชื้อแบคทีเรียได้ 100% ที่ระดับเชื้อ 2×10^4 CFU/ml

Murphy และ Morrow (2002) ศึกษาผลผลิตของโอโซนที่ได้จากดิสชาร์จไฟฟ้าแบรีเออร์ที่ช่องดิสชาร์จหุ้มด้วย glass sphere พบว่า การมีอยู่ของ glass sphere จะทำให้ศักย์ของการเบรกดาวน์ลดลง แต่อัตราการเกิดโอโซนจะน้อยกว่าที่มีศักย์มากกว่าช่องอากาศของโอโซนเซอร์ทั่วไป คุณลักษณะการดิสชาร์จพบในช่วงระหว่าง steady glow และ short-lived filament ขึ้นกับเส้นผ่านศูนย์กลางของ sphere ความกว้างของช่องดิสชาร์จศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหลของก๊าซและก๊าซที่ใช้ในการดิสชาร์จ

Wang และคณะ (2012) ทำการศึกษาเปรียบเทียบรูปร่างของอิเล็กโทรดที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น พบว่า รูปร่างของอิเล็กโทรดที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นแตกต่างกันด้วย โดยประโยชน์ของพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดิสชาร์จถูกนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม และการแพทย์ เช่น การผลิตโอโซน การฆ่าเชื้อแบคทีเรีย การนำพลาสมาไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสภาพพื้นผิว

เนเซอร์ล พูล (2547) กล่าวว่า โอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ได้เพียงไม่กี่วินาทีโดยปราศจากสารตกค้างพวกฮาโลเจน ที่มีผลต่อการปนเปื้อนในน้ำสะอาด คลอรีนซึ่งนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย จะมีผลทำให้เกิดสารตกค้างซึ่งเรียกว่า ไตรฮาโลมีเทน (THM) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ และเมื่อสารดังกล่าวสัมผัสกับโอโซนจะสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและไฮโดรเจนคลอไรด์ซึ่งไม่มีอันตราย

วรพรณี และคณะ (2547) ได้ศึกษาการบำบัดอากาศต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยใช้โอโซนความเข้มข้นประมาณ 10 ppm นาน 4 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเชื้อสัมผัสกับโอโซนในระยะเวลา 30 นาทีแรก เชื้อจะลดจำนวนอย่างรวดเร็ว จากนั้นจำนวนเชื้อจะลดลงอย่างช้าๆ โอโซนในระดับนี้มีประสิทธิภาพในการทำลาย เชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* ได้มากกว่าร้อยละ

ละ 99 อย่างไรก็ตาม โอโซนก็มีความเป็นพิษสามารถก่อให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์และสัตว์ได้ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดย Occupational Safety and Health Administration (OSHA) กำหนดให้ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศต้องไม่เกิน 0.1 ppm หากได้รับโอโซนในระดับ 0.1-1.0 ppm เป็นเวลา 8 นาที จะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ คอแห้งและแสบตา

สิริพร (2544) การเสื่อมคุณภาพของอาหาร หากมีการใช้โอโซนมากเกินไปอาจทำให้เกิด lipid oxidation ทำให้อาหารมีกลิ่นและรสผิดปกติ อาจมีสีเปลี่ยนไป โอโซนอาจไปลดกรดแอสคอบิกในบร็อคโคลี่ ลดปริมาณ hiamine ในแป้งข้าวสาลี แต่ในขณะเดียวกันก็มีรายงานว่าโอโซนทำให้รสและกลิ่นของอาหารดีขึ้น ดังนั้นการเสื่อมสภาพของอาหารเนื่องจากโอโซนจึงน่าจะขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีของอาหารนั้น และความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ในสภาวะที่ทดสอบ

สิริพร (2544) กล่าวว่ากลไกในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์สามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือโมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่อยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ และอนุมูลอิสระเป็นตัวเข้าทำลาย โอโซนสามารถเข้าทำลายเซลล์เมมเบรน ไซโทพลาสซึม โปรตีน และชั้นของไขมันในเซลล์จุลินทรีย์ เกิดการจับตัวเป็นก้อนของโปรตีน ทำให้เซลล์แตก หรือเข้าทำลายระบบหายใจของเซลล์จุลินทรีย์ นอกจากนี้โอโซนยังสามารถทำลายเอนไซม์ DNA และ RNA ของเซลล์จุลินทรีย์ได้อีกด้วย

สุรพล (2543) กล่าวว่าโอโซนในน้ำประปาจะมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 20 นาที ถ้ามีแสงแดดและตัวเร่งอื่นๆ ค่าครึ่งชีวิตก็จะยิ่งสั้นลง จึงสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรในอุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ปัจจุบันการใช้โอโซนได้กับการรับรองแล้วว่าเป็นสารที่มีความปลอดภัยที่จะนำมาใช้กับ (Generally Recognized as Safe-GRAS) เพื่อล้างผักและผลไม้

นภาพร (2547) กล่าวว่าโอโซนยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว โอโซนจะมีผลต่อเชื้อโรคที่จะก่อให้เกิดความสูญเสียกับผลิตภัณฑ์ โดยโอโซนจะไปลดปริมาณเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในผลไม้หลายชนิดเช่น แอปเปิ้ล สาลี่ เกรฟรุ๊ต ส้ม องุ่น และสตอร์เบอร์ Smilamick et al (1999) กล่าวว่าการใช้โอโซนนั้นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตผักและผลไม้ได้ Xu (1999) และ Guzel-Seydim et al (2004) กล่าวว่าในการใช้โอโซนในผลผลิตผักและผลไม้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสารพิษตกค้าง

ทิพวรรณ (2544) เมื่อเก็บรักษาผลกล้วยหอมทองในโอโซนที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา นานขึ้น พบว่าสีเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ หลังจากนำผลกล้วยหอมทองไปต้มให้สุกที่อุณหภูมิห้องสีของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากเอทธิลีนชักนำให้กิจกรรมของ chlorophyllase สูงขึ้นทำให้คลอโรฟิลล์สลายตัวจึงสามารถมองเห็นสีเหลืองของ carotenoid ที่มีอยู่แล้ว

สรยา รักษ์วงศ์ (2557) การเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกเป็นการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากเอนไซม์ (enzymatic browning) โดยสารประกอบฟีนอลภายในเซลล์ซึ่งเป็นสารตั้งต้น (substrate) ที่ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และสุดท้ายได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล Lichanpomm และคณะ (2009) รายงานว่าลองกองเริ่มเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกภายใน 2 วันหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำให้

ลองกองเกิดการสูญเสียระหว่างการจำหน่าย ลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องจะแสดงอาการเปลือกสีน้ำตาลเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 องศาเซลเซียส ทำให้ลองกองที่เก็บในอุณหภูมิห้องมีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ขณะที่ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีปริมาณการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าจึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกของลองกองได้ดีกว่าการเก็บรักษาในอุณหภูมิอื่นๆ

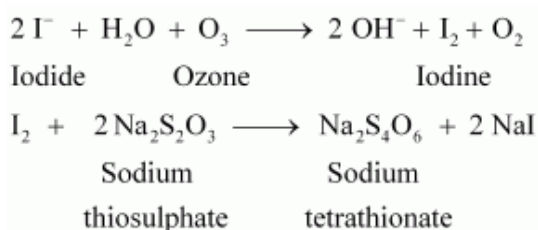
บทที่ 3

วิธีวิจัย

ทางคณะผู้วิจัยได้ออกแบบวิธีการดำเนินงานการประยุกต์ใช้นวัตกรรมโอโซน เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา โดยมีขั้นตอนการศึกษามีดังนี้

1. ประชุมชี้แจง ประชาสัมพันธ์ การทดสอบเชิงพาณิชย์ สำหรับการประยุกต์ใช้นวัตกรรมโอโซน เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา กับเกษตรกรและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในจังหวัดยะลา
2. เก็บรวบรวม และศึกษาข้อมูลสถานการณ์ของลองกองในจังหวัดยะลา อาทิ พื้นที่ปลูก ปริมาณผลผลิต การปนเปื้อนสารเคมี ปริมาณและมูลค่า
3. ตรวจหาการปนเปื้อนของ Total coliform bacteria Escherichia coli Salmonella spp. จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total plate count) และจำนวนยีสต์ และราทั้งหมด (Total yeast and mold count)
4. ออกแบบ ปรับปรุง/พัฒนา เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน
 - 4.1. ปรับปรุง/พัฒนางจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมอุปกรณ์สร้างโอโซน
 - 4.2. ปรับปรุง/พัฒนาส่วนประกอบทางกายภาพของเทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตสินค้าเกษตร ลองกองจังหวัดยะลา
5. ทดสอบกระบวนการเก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลาด้วยเทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน ในระดับเชิงพาณิชย์
6. ประเมินผลการใช้ เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา เพื่อ แก้ไข/ปรับปรุง/พัฒนา

สำหรับการออกแบบ ปรับปรุง/พัฒนา เทคโนโลยี/นวัตกรรม ปรับปรุง เครื่องผลิตโอโซนแบบวิธีไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดีสชาร์จ ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และทดสอบประสิทธิภาพ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตโอโซน โดยทำการศึกษาผ่านปฏิกิริยาไอโอดิเมทรี (Iodometry) ดังปฏิกิริยาข้างล่าง



สำหรับขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตโอโซน มีดังนี้

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต

1.1 นำ KIO_3 ใส่ขวดชั่งไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นเทใส่ขวดหุ้มห้องในเดซิเคเตอร์

1.2 ชั่ง KIO_3 หนัก 0.25 กรัม (น้ำหนักละเอียดถึง ± 0.1 มิลลิกรัม) ละลายในน้ำกลั่นและทำให้มีปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตรในขวดเชิงปริมาตร เทคนิคการเตรียมเหมือนกับการเตรียมสารละลายมาตรฐาน $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

2. การเตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

ชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ประมาณ 1.5 กรัม (± 0.01 มิลลิกรัม) ละลายด้วยน้ำกลั่นที่เพิ่งต้มใหม่ ๆ และเจือจางด้วยน้ำกลั่นต้มถึง 300 มิลลิลิตร คนจนกระทั่งเกลือละลายหมดและผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

ถ้าสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ใช้หมดภายในหนึ่งวัน น้ำกลั่นที่ใช้ไม่จำเป็นต้องต้ม สารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จะเกิดการสลายตัว ถ้าเตรียมทิ้งไว้นานกว่าหนึ่งสัปดาห์

3. การเทียบหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

3.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐาน KIO_3 25.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติม KI ประมาณ 1 กรัม (± 0.01 มิลลิกรัม) NaHCO_3 0.1 กรัม และ H_2SO_4 0.5 โมลาร์ 5 มิลลิลิตรที่ละขวดเมื่อพร้อมจะไทเทรต ปิดปากขวดรูปกรวยด้วยแผ่นพลาสติก

NaHCO_3 จะทำปฏิกิริยากับสารละลายเกิดแก๊ส CO_2 ทำให้บรรยากาศเหนือสารละลายเนือยและช่วยลดโอกาสที่อากาศจะออกซิไดส์ I^-

3.2 ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ทันที เมื่อสารละลายสีเหลืองน้ำตาลของ I_2 เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแ่ง 2 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อซ้ำ ๆ อย่างระมัดระวังจนกระทั่งถึงจุดยุติ สารละลายสีน้ำเงินเข้มจะจางหายไปได้สารละลายใสไม่มีสี ทำการวิเคราะห์ตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 2 ทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.3 บันทึกปริมาตรสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เป็นมิลลิลิตรและนำไปคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์

สำหรับการทดสอบกระบวนการเก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลาด้วยเทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน ในระดับเชิงพาณิชย์ แต่ในช่วงเวลาที่จะทำการทดสอบกระบวนการเก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลาด้วย เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน ในระดับเชิงพาณิชย์ นั้น ประสบปัญหา/ข้อขัดข้องจากสภาวะการแพร่ระบาดของณโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ส่งผลให้ผู้วิจัยไม่สามารถเดินทางลงพื้นที่ จังหวัดยะลา ในช่วงที่มีผลผลิตลองกองได้ ผู้วิจัยจึงได้ปรับเปลี่ยนมาทำการศึกษาผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษา การเน่าเสียของผลกล้วยหอม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ เทคโนโลยี/นวัตกรรม เครื่องผลิตโอโซนแบบวิธีไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ สำหรับการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา เมื่อถึงระยะช่วงเวลาที่ผลผลิตลองกองทางคณะผู้วิจัยจะได้นำสภาวะดังกล่าวไปปรับใช้เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง ต่อไป

โดยทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษา การเน่าเสียของผลกล้วยหอมมีรายละเอียด ดังนี้

1. นำกล้วยหอมทองดิบที่สมบูรณ์ มาตัดเป็นลูกย่อย 1 ผล

2. นำกล้วยหอมทองดิบที่ตัดเป็นลูกย่อย เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง และที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 14°C ภายใต้สภาวะการสัมผัสก๊าซโอโซนนาน 60 นาที จำนวน 8 ครั้งต่อวัน เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 15 วัน หรือจนสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา

3. สุ่มตรวจการสุกของกล้วยหอมทอง ทุก 3 วัน โดยสังเกตจากดัชนีการสุก และบันทึกคะแนนดัชนีการสุก ตามขั้นตอนการสุกของผลกล้วยที่แบ่งตาม CSIRO(1972) โดยให้เป็นคะแนนตามระยะสุกดังนี้

ระยะการสุก	ลักษณะของผล	ร้อยละการสุก	ระดับคะแนน
ระยะที่ 1	เปลือกสีเขียวผลแข็งยังไม่มีมีการสุก	0%	1 คะแนน
ระยะที่ 2	เปลือกเริ่มเปลี่ยนสี จากสีเขียว เป็น สีเหลืองนิต ๆ	20%	2 คะแนน
ระยะที่ 3	เปลือกเริ่มเปลี่ยนสี จากสีเหลืองนิต ๆ เป็น สีเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง	40%	3 คะแนน
ระยะที่ 4	เปลือกเริ่มเปลี่ยนสี จากสีเขียวออกเหลือง เป็น สีเหลืองมากกว่าสีเขียว	60%	4 คะแนน
ระยะที่ 5	เปลือกเริ่มเปลี่ยนสี จากสีเหลืองอมเขียว เป็น สีเหลือง แต่ปลายยังมีสีเขียว	80%	5 คะแนน
ระยะที่ 6	เป็นสีเหลืองทั้งผล	100%	6 คะแนน

4. สุ่มตรวจการการชะลอการสุกและคุณภาพของกล้วยของกล้วยหอมทอง ทุก 3 วัน ด้วยการวัด น้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss determination) ตามสูตรน้ำหนักผลและการสูญเสียน้ำหนัก

$$\alpha = \frac{W_0 - W}{W_0}$$

α คือ น้ำหนักที่สูญเสีย

W_0 คือ น้ำหนักเริ่มต้น

W คือ น้ำหนักหลังการเก็บรักษา

เนื่องจากสภาวะสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ที่ยังไม่คลี่คลาย ประกอบกับ คำสั่งศูนย์บริหารสถานการณ์ โควิด - 19 ที่ 11 /2564 เรื่อง พื้นที่สถานการณ์ที่กำหนดเป็นพื้นที่ควบคุมสูงสุดและเข้มงวด พื้นที่ควบคุมสูงสุด และพื้นที่ควบคุมฯ ส่งผลให้ผู้วิจัยไม่สามารถเดินทางลงพื้นที่ จังหวัดยะลา ในช่วงที่มีผลผลิตลองกองได้ แต่ในช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ในช่วงระยะเวลาที่มีผลผลิตของลองกองในพื้นที่จังหวัดระยอง ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ปรับเปลี่ยนมาทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน รักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง โดยใช้ผลผลิตลองกองจากจังหวัดระยองมาเป็นตัวอย่าง และใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษา การเน่าเสียของผลกล้วยหอม ข้างต้นเป็นตัวแปรในการศึกษาประกอบกับข้อมูลด้านคุณลักษณะเฉพาะของลองกองซึ่งพบว่าปัญหาจากการมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น เน่าเสียง่าย โดยที่ลองกองจะเน่าเสียภายในเวลาประมาณ 5-7 วัน ทำให้ผลผลิตส่วนใหญ่จะกระจายไปยังตลาดภายในพื้นที่ใกล้เคียงเป็นหลัก นอกจากนั้นยังมีปัญหาทางด้านการสูญเสียคุณภาพได้แก่ การหลุดร่วงของผลและช่อผล การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก ซึ่งเป็นข้อจำกัดหนึ่งของการค้าในตลาด ซึ่งในสภาวะสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19)

ที่ยังไม่คลี่คลาย ประกอบกับ คำสั่งศูนย์บริหารสถานการณ์ โควิด - 19 ที่ 11 /2564 เรื่อง พื้นที่สถานการณ์ที่กำหนดเป็นพื้นที่ควบคุมสูงสุดและเข้มงวด พื้นที่ควบคุมสูงสุด และพื้นที่ควบคุมฯ รูปแบบการค้าอยู่ในรูปแบบของการค้าขายออนไลน์ และมีรูปแบบการขนส่งผลผลิตลงช่องทางพัสดุ ซึ่งเป็นการบรรจุผลผลิตลงกล่อง ลงในกล่องพัสดุ ซึ่งเป็นสภาวะที่อับอากาศ ทำให้ปัญหาทางด้านการสูญเสียคุณภาพดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลผลผลิตลงกล่องมีการหลุดร่วงจากช่องผลและเกิดการเน่าเสียในระยะเวลาที่สั้นลงกว่ารูปแบบการขนส่งเดิม ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้เริ่มจากการศึกษาผลกระทบของโอโซน ต่อการลดการหลุดร่วงของผลลงกล่องหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. นำชื่อผลของลงกล่องที่สมบูรณ์ มาเก็บรักษาไว้ในสภาวะต่าง ๆ กันดังนี้
 - 1.1. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่อุณหภูมิห้อง
 - 1.2. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่มีก๊าซโอโซนสูง (ให้ชื่อผลของลงกล่องสัมผัสก๊าซโอโซน และบรรจุก๊าซโอโซนในถุงพลาสติกจนเต็มถุง) ที่อุณหภูมิห้อง
 - 1.3. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่มีการเติมก๊าซโอโซน (ให้ชื่อผลของลงกล่องสัมผัสก๊าซโอโซน และมีการเติมก๊าซโอโซนในถุงพลาสติกจนเต็มถุงวันละ 1 ครั้ง) ที่อุณหภูมิห้อง
 - 1.4. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) และความชื้นสูง (ผ่านการแช่น้ำโอโซน) ที่อุณหภูมิห้อง
2. สังเกตการหลุดร่วงของผลลงกล่อง จากช่องผล ทุก 1 วัน และบันทึกลักษณะทางกายภาพ
3. เก็บรักษาในสภาวะควบคุมอุณหภูมิโดยทางคณะผู้วิจัยพบว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 0 องศาเซลเซียส ถึง 15 องศาเซลเซียส ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกทดลองปรับอุณหภูมิในการเก็บรักษาจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยมีนำชื่อผลของลงกล่องที่สมบูรณ์ มาเก็บรักษาไว้ในสภาวะต่าง ๆ กันดังนี้
 - 3.1. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่อุณหภูมิห้อง
 - 3.2. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่มีก๊าซโอโซน (ให้ชื่อผลของลงกล่องสัมผัสก๊าซโอโซน และบรรจุก๊าซโอโซนในถุงพลาสติกจนเต็มถุง) ที่อุณหภูมิห้อง
 - 3.3. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) และความชื้นสูง (ผ่านการแช่น้ำโอโซน) ที่อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิห้อง
 - 3.4. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่มีก๊าซโอโซน (ให้ชื่อผลของลงกล่องสัมผัสก๊าซโอโซน และบรรจุก๊าซโอโซนในถุงพลาสติกจนเต็มถุง) ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
 - 3.5. สภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) และความชื้นสูง (ผ่านการแช่น้ำโอโซน) ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
4. สังเกตการหลุดร่วงของผลลงกล่อง จากช่องผล ทุก 1 วัน และบันทึกลักษณะทางกายภาพ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

หลังจากทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้นวัตกรรมโอโซน เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา ผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการศึกษาข้อมูลสถานการณ์ของลองกองในจังหวัดยะลา อาทิ พื้นที่ปลูก ปริมาณผลผลิต การแปรรูปสินค้า ปริมาณและมูลค่ามีรายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายใน ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Study) จากการสำรวจข้อมูล เกษตรกรชาวสวนลองกอง และ ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในจังหวัดยะลา พบว่า

- o ลองกองในพื้นที่ภาคใต้มีเนื้อที่ขึ้นต้น 174,916 ไร่ เนื้อที่ให้ผล 171,675 ไร่
- o ลองกองในพื้นที่ภาคใต้มีผลผลิตรวม 76,517 ตัน (นอกฤดู 2,046 ตัน ใน ฤดู 74,471 ตัน) โดยเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ ปี 2561 คิดเป็นร้อยละ 110.90 ผลผลิตเฉลี่ย 446 กิโลกรัมต่อไร่
- o ระยะเวลาที่ผลผลิตทะลักตัว อยู่ในช่วงเดือนกันยายน โดยมีปริมาณ 35,567 ตัน หรือ คิดเป็นร้อยละ 46.49 ของปริมาณผลผลิตทั้งหมด
- o ปริมาณการขายผลผลิตลองกอง มีการขายภายในประเทศ 73,477.10 ตัน และมีปริมาณการส่งออกผลผลิต 1,023.90 ตัน โดยจังหวัด ยะลา มีปริมาณการส่งออกผลผลิตสูงสุด มีปริมาณการส่งออก 924 ตัน และมีปริมาณการขายผลผลิตในประเทศเป็นอันดับสอง รองจากจังหวัด นราธิวาส โดยจังหวัด ยะลา มีปริมาณการขายผลผลิตในประเทศ 11,557 ตัน
- o ต้นทุนการผลิต 25.26 บาท/กิโลกรัม
- o ลองกอง เกรด เอ ราคาเฉลี่ย 25.18 บาท/กิโลกรัม
(ที่มา: การประชุมคณะกรรมการพัฒนาและบริหารจัดการผลไม้ ครั้งที่ 3/2562 เมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2562)
- o ข้อมูล จากการสำรวจเกษตรกรชาวสวนลองกอง ในอำเภอเบตง พบว่า
- o พื้นที่เพาะปลูก ลองกอง ในอำเภอเบตง มีจำนวน 1,290 ไร่
- o มีผลผลิตรวม 575,340 กิโลกรัม (ผลผลิตเฉลี่ย 446 กิโลกรัมต่อไร่)
- o เกษตรกรมีอาชีพหลักเป็น อาชีพเกษตรกร และ ปลูกพืชมากกว่า 3 ชนิด ประกอบด้วย ยางพารา มังคุด ทุเรียน และลองกอง
- o ระดับการศึกษา เกษตรกรส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาในระดับประถมศึกษา - มัธยมศึกษาตอนต้น
- o พื้นที่ทำการเกษตร จำนวน 435,919 ไร่ โดยเป็นสวนไม้ผล 21,679 ไร่
- o แรงงานส่วนใหญ่เป็น สมาชิกในครัวเรือน โดยมีจำนวนครัวเรือนที่ทำการเกษตร 10,010 ครัวเรือน จากทั้งหมด 26,497 ครัวเรือน
- o การผลิตสินค้าเกษตร (ลองกอง) เป็นการผลิตตามฤดูกาล
- o มาตรฐานการผลิต GAP (Good Agricultural Practice)

- o ผลผลิตลองกองส่วนใหญ่ มีการขายผลผลิต ออกนอก พื้นที่ 80% ขายในพื้นที่ 20%
- o ข้อมูล จากการสำรวจเกษตรกรชาวสวนลองกอง ในอำเภอเมืองยะลา พบว่า
- o พื้นที่เพาะปลูก ลองกอง ในอำเภอเมืองยะลา จำนวน 1,756 ไร่
- o มีผลผลิตรวม 957,020 กิโลกรัม (ผลผลิตเฉลี่ย 545 กิโลกรัมต่อไร่)
- o เกษตรกรมีอาชีพหลักเป็น อาชีพเกษตรกรรม และ ปลูกพืชมากกว่า 3 ชนิด ประกอบด้วย ยางพารา นาข้าว และไม้ผลผสมผสาน ได้แก่ มังคุด ทุเรียน และลองกอง
- o ระดับการศึกษา เกษตรกรส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาในระดับประถมศึกษา - มัธยมศึกษาตอนต้น
- o พื้นที่ทำการเกษตร จำนวน 116,506 ไร่ โดยเป็นสวนไม้ผล 6,537 ไร่
- o แรงงานส่วนใหญ่เป็น สมาชิกในครัวเรือน โดยมีจำนวนครัวเรือนที่ทำการเกษตร 11,266 ครัวเรือน จากทั้งหมด 31,985 ครัวเรือน
- o การผลิตสินค้าเกษตร (ลองกอง) เป็นการผลิตตามฤดูกาล
- o มาตรฐานการผลิต GAP (Good Agricultural Practice)
- o ผลผลิตลองกองส่วนใหญ่ มีการขายผลผลิตมีพ่อค้ามารับซื้อในพื้นที่ (เหมาะสม) และส่งขายตลาด เกษตร (มลายูบางกอก)
- o ข้อมูล จากการสำรวจเกษตรกรชาวสวนลองกอง ในอำเภอกงป๋นัง พบว่า
- o พื้นที่เพาะปลูก ลองกอง ในอำเภอกงป๋นัง จำนวน 1,474 ไร่
- o มีผลผลิตรวม 795,960 กิโลกรัม (ผลผลิตเฉลี่ย 540 กิโลกรัมต่อไร่)
- o เกษตรกรมีอาชีพหลักเป็น อาชีพเกษตรกรรม และ ปลูกพืชมากกว่า 3 ชนิด ประกอบด้วย ยางพารา และไม้ผลผสมผสาน ได้แก่ มังคุด ทุเรียน และลองกอง
- o ระดับการศึกษา เกษตรกรส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาในระดับประถมศึกษา - มัธยมศึกษาตอนต้น
- o พื้นที่ทำการเกษตร จำนวน 92,888 ไร่ โดยเป็นสวนไม้ผล 6,962 ไร่
- o แรงงานส่วนใหญ่เป็น สมาชิกในครัวเรือน โดยมีจำนวนแรงงานทั้งหมดประมาณ 4,000 คน ใช้แรงงานในครัวเรือนร้อยละ 80.66
- o การผลิตสินค้าเกษตร (ลองกอง) เป็นการผลิตตามฤดูกาล
- o มาตรฐานการผลิต GAP (Good Agricultural Practice)
- o ผลผลิตลองกองส่วนใหญ่ มีการขายผลผลิตมีพ่อค้ามารับซื้อในพื้นที่(เหมาะสม) และส่งขายตลาด เกษตร (มลายูบางกอก)

การวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์ (Strategic Analysis)

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก (External Environmental Analysis) ที่ส่งผลกระทบต่อ สถานภาพของ ลองกองในจังหวัดยะลา ซึ่งจะเริ่มจากการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทั่วไป (General Environment) โดยใช้ เครื่องมือ PESTEL ANALYSIS มีรายละเอียด ดังนี้

ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทั่วไป (General Environment) อำเภอ เบตง มีรายละเอียดดังนี้

1. สภาพแวดล้อมด้านการเมือง (Political Environment-P)

ประเด็น		สภาพแวดล้อมด้านการเมือง
P1	ระบบการปกครอง	- o ยุทธศาสตร์จังหวัด GAP ทูเรียน (ขอรายพีช) - o ในปี พ.ศ. 2548 มีการขอใบรับรองลองกอง มีอายุ 2 ปี ไม่ได้ต่ออายุ - o ปัจจุบัน เกษตรกรส่วนมากขอทูเรียน
P2	นโยบายรัฐ	- o เคยมีนโยบาย 2548 ศูนย์คัดแยกลองกอง (คอมมอนโด) - o นโยบายลองกองไม่มีใน พื้นที่เบตง
P3	ความร่วมมือระหว่างประเทศ	o ไม่มี
P4	เขตการค้าเสรี	o มีร้านค้าปลอดภาษี (The Zon Duty Free Shop)
P5	ความรุนแรงทางการเมือง	o ไม่มีปัญหาความรุนแรงใน พื้นที่
P6	การชุมนุมประท้วง	o ไม่มี
P7	การพึ่งพาต่างชาติ	o ไม่มีเงินทุน และเทคโนโลยีจากต่างชาติ
P8	นโยบายกาพัฒนาเศรษฐกิจ	o งบพัฒนายุทธศาสตร์จังหวัด

2. สภาพแวดล้อมด้านเศรษฐกิจ (Economic Environment-E)

ประเด็น		สภาพแวดล้อมด้านเศรษฐกิจ
E1	ต้นทุนทางการเงิน	o เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ทุนตนเอง
E2	ค่าแรงงาน	- o แรงงานเป็นคนในครัวเรือน - o มีการจ้างแรงงานเพิ่ม จากคนในท้องถิ่น
E3	กำลังซื้อ	o พ่อค้าคนกลางจากนอกพื้นที่
E4	การเปลี่ยนแปลงราคาสินค้า	o ยืนราคา 4-5 ปี
E5	การแข่งขันภายใน	o ยะลา นราธิวาสมากที่สุด ปัตตานี ทุกพื้นที่ออกพร้อมกัน ออกปลาย สิงหาคม-กันยายน
E6	คู่แข่งรายใหม่	o ไม่มี (เกษตรกรรายเก่าต้องการยกเลิกการปลูกลองกอง)
E7	อำนาจต่อรองของผู้ซื้อ ผู้ขาย	o พ่อค้าคนกลางเป็นคนกำหนดราคา (ราคาตก ทั้งที่ไม่มีคู่แข่ง)

3. สภาพแวดล้อมด้านสังคม (Sociological Environment-S)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมด้านสังคม
S1	วัฒนธรรมกลุ่ม	o มีทุกเชื้อชาติศาสนา จีน มุสลิม
S2	วิถีการใช้ชีวิต	o มีความหลากหลายทางวัฒนธรรม o เกษตรกรอายุเฉลี่ย 50-60 แต่เกิน 80 ยังทำสวนได้
S3	ค่านิยม ความเชื่อ	o ผู้สูงอายุคนจีนไม่ทานลองกอง (พิชเย็น ปวดหลัง ปวดเอว ปวดเข่า ปวดขา) ทานกลางสาดแทน (ราคาดีกว่าลองกอง)
S4	อาชีพ	o มีอาชีพเกษตรกรเป็นหลัก ประมาณ 80% ส่วนอีก 20%ค้าขายแต่มีสวนเป็นของตัวเอง
S5	สถานะทางเศรษฐกิจ	o เกษตรกรส่วนใหญ่มีฐานะ ใช้เงินทุนส่วนตัวในการลงทุน o เกษตรกรส่วนใหญ่มีฐานะ มีทุน ใช้วิธีการจ้างลูกจ้างให้อยู่ในสวน (ลูกจ้างท้องถิ่น)
S6	รูปแบบการดำเนินชีวิต	o ถ้าเป็นเจ้าของทำเอง มักจะเข้าเช่ากลับเย็น จ้างลูกน้องบ้าง (ส่วนใหญ่มีบ้านในเมือง มีค้าขายในเมือง)

4. สภาพแวดล้อมด้านเทคโนโลยี (Technology Environment-T)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมด้านเทคโนโลยี
T1	การวิจัยและพัฒนา	o ลองกองเริ่มจากการตัดแต่งข้อ เพื่อให้ได้ผลที่สมบูรณ์ แต่การตัดแต่งไม่คุ้มค่าการลงทุน
T2	การเข้าถึงเทคโนโลยี	o เทคโนโลยีที่ใช้ส่วนใหญ่ คือ สปริงเกอร์รดน้ำ เครื่องพ่นยาแรงดันสูง
T3	จำนวนบุคลากรด้านเทคโนโลยี	o มีร้านซ่อมในพื้นที่
T4	การสื่อสาร	o ขายออนไลน์ ส่วนใหญ่เป็นรุ่นลูกทำให้ (ผ่านเคอรี่)

5. สภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสภาพทางธรรมชาติ (Environment-NY)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสภาพทางธรรมชาติ
NY1	ภัยทางธรรมชาติ	o ลองกอง ตีตราดำ หนอนซอนเปลือกทำให้ยืนต้นตาย
NY2	สภาพภูมิอากาศ	o น้ำฝนมีผลต่อลองกอง ทำให้ลองกองแตก o ในกรณีฝนแล้งลองกองไม่ออก
NY3	พื้นที่ลาดชัน	o การขนส่งเป็นไปได้ยากเนื่องจากพื้นที่รถใหญ่เข้าไม่ถึง ขนส่งด้วยมอเตอร์ไซด์
NY4	สิ่งแวดล้อมในพื้นที่	o มีความชื้นสูง การปลูกพืชผัก ทำให้เกิดเชื้อรา (ใช้วิธีการ ฉีดสารเคมีในการป้องกัน)

6. สภาพแวดล้อมด้านทางกฎหมาย (Legal Environment–L)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมด้านทางกฎหมาย
L1	กฎหมายคุ้มครองผู้บริโภค	o ไม่มีการบังคับใช้กฎหมายคุ้มครองผู้บริโภค
L2	กฎหมายแรงงาน	o ไม่มีการบังคับใช้กฎหมายแรงงาน ส่วนใหญ่แรงงาน มีรายได้ตามรายกิจกรรม เช่น ตัดหญ้าคิดเป็นพื้นที่ไร่ ตัดแต่งคิดเป็นรายต้น

2. ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทั่วไป (General Environment) อำเภอ เมืองยะลา มีรายละเอียดดังนี้

1. สภาพแวดล้อมด้านการเมือง (Political Environment–P)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมด้านการเมือง
P1	ระบบการปกครอง	o ยุทธศาสตร์จังหวัด GAP ทูเรียน (ขอรายพีช) o ในปี พ.ศ. 2548 มีการขอใบรับรองรองกอง มีอายุ 2 ปี ไม่ได้ต่ออายุ มีต่ออายุบางแปลง
P2	นโยบายรัฐ	o ปัจจุบัน เกษตรกรส่วนมากขอทุเรียน o เคยมีนโยบาย 2548 ศูนย์คัดแยกลองกอง (คอมมอนโด) o นโยบายลองกองไม่มีใน พื้นที่เมืองยะลา
P3	ความร่วมมือระหว่างประเทศ	o ไม่มี
P4	เขตการค้าเสรี	o มีตลาดเกษตรมลายูบางกอก
P5	ความรุนแรงทางการเมือง	o ไม่มีปัญหาความรุนแรงในพื้นที่
P6	การชุมนุมประท้วง	o ไม่มี
P7	การพึ่งพาต่างชาติ	o ไม่มีทั้งทุนและเทคโนโลยีจากต่างชาติ
P8	นโยบายกาพัฒนาเศรษฐกิจ	o งบพัฒนายุทธศาสตร์จังหวัด

2. สภาพแวดล้อมด้านเศรษฐกิจ (Economic Environment–E)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมด้านเศรษฐกิจ
E1	ต้นทุนทางการเงิน	o เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ทุนตนเอง
E2	ค่าแรงงาน	o แรงงานเป็นคนในครัวเรือน
E3	กำลังซื้อ	o พ่อค้าคนกลางจากนอกพื้นที่
E4	การเปลี่ยนแปลงราคาสินค้า	o ยืนราคา 4-5 ปี
E5	การแข่งขันภายใน	o ยะลา นราธิวาสมากที่สุด ปัตตานี ทุกพื้นที่ออกพร้อมกัน ออกปลาย สิงหาคม-กันยายน
E6	คู่แข่งรายใหม่	o ไม่มี (เกษตรกรรายเก่าต้องการยกเลิกการปลูกลองกอง)

- E7 อำนาจต่อรองของผู้ซื้อ ผู้ขาย o พ่อค้าคนกลางเป็นคนกำหนดราคา (ราคาคง ที่ไม่มี คู่แข่ง)

3. สภาพแวดล้อมด้านสังคม (Sociological Environment-S)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมด้านสังคม
S1	วัฒนธรรมกลุ่ม	o มีทุกเชื้อชาติศาสนา จีน มุสลิม
S2	วิถีการใช้ชีวิต	o มีความหลากหลายทางวัฒนธรรม o เกษตรกรอายุเฉลี่ย 50-60
S3	ค่านิยม ความเชื่อ	o ผู้สูงอายุไม่ทานลองกอง (พิชเย็น ปวดหลัง ปวดเอว ปวดขา ปวดตา)
S4	อาชีพ	o มีอาชีพเกษตรกรเป็นหลัก ประมาณ 80% ส่วนอีก 20% ค้าขายแต่มีสวนเป็นของตัวเอง
S5	สถานะทางเศรษฐกิจ	o เกษตรกรส่วนใหญ่ ใช้เงินทุนส่วนตัวในการลงทุน
S6	รูปแบบการดำเนินชีวิต	o เกษตรกรส่วนใหญ่ทำสวนเอง ใช้แรงงานในครอบครัว

4. สภาพแวดล้อมด้านเทคโนโลยี (Technology Environment-T)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมด้านเทคโนโลยี
T1	การวิจัยและพัฒนา	o ลองกองเริ่มจากการตัดแต่งข้อ เพื่อให้ได้ผลที่สมบูรณ์ แต่การตัดแต่งไม่คุ้มค่าการลงทุน
T2	การเข้าถึงเทคโนโลยี	o เทคโนโลยีที่ใช้ส่วนใหญ่ คือ สปริงเกอร์รดน้ำ
T3	จำนวนบุคลากรด้านเทคโนโลยี	
T4	การสื่อสาร	

5. สภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสภาพทางธรรมชาติ (Environment-NY)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสภาพทางธรรมชาติ
NY1	ภัยทางธรรมชาติ	o ลองกอง ตีราดำ หนอนซอนเปลือกทำให้ยืนต้นตาย
NY2	สภาพภูมิอากาศ	o น้ำฝนมีผลต่อลองกอง ทำให้ลองกองแตก o ในกรณีฝนแล้งลองกองไม่ออก
NY3	พื้นที่ลาดชัน	o การขนส่งเป็นไปได้ยากเนื่องจากพื้นที่ลาดใหญ่เข้าไม่ถึง ขนส่งด้วยมอเตอร์ไซด์
NY4	สิ่งแวดล้อมในพื้นที่	o มีความชื้นสูง การปลูกพืชผัก ทำให้เกิดเชื้อรา (ใช้วิธีการ ฉีดสารเคมีในการป้องกัน)

6. สภาพแวดล้อมด้านทางกฎหมาย (Legal Environment-L)

	ประเด็น	สภาพแวดล้อมด้านทางกฎหมาย
L1	กฎหมายคุ้มครองผู้บริโภค	o ไม่มีการบังคับใช้กฎหมายคุ้มครองผู้บริโภค

L2 กฎหมายแรงงาน

- o ไม่มีการบังคับใช้กฎหมายแรงงาน ส่วนใหญ่แรงงาน มีรายได้ตามรายกิจกรรม เช่น ตัดหญ้าคิดเป็นพื้นที่ไร่ ตัดแต่งคิดเป็นรายต้น

3. ผลการสำรวจข้อมูลชนิดของจุลินทรีย์จากผลลองกอง จังหวัดยะลา

จากการทดลองแยกและการระบุชนิดของจุลินทรีย์บนผิวของผลลองกอง จังหวัดยะลา ด้วยเทคนิค PCR เพื่อเป็นข้อมูลชนิดของเชื้อจุลินทรีย์จากผลลองกอง จังหวัดยะลา เบื้องต้น พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ประเภท เชื้อราจำนวน 1 ชนิด ยีสต์ จำนวน 6 ชนิด และ แบคทีเรีย จำนวน 2 ชนิด ดังตาราง 4-6 ตารางที่ 4 แสดงประเภทของจุลินทรีย์บนผิวของผลลองกอง จังหวัดยะลา ด้วยเทคนิค PCR

ประเภทเชื้อจุลินทรีย์	การระบุสายพันธุ์ด้วยยีน ITS (ITS1, ITS4)	หลักฐานของโคโลนีเชื้อ
รา (Class Saccharomycetes)	<i>Geotrichum candidum</i> สายพันธุ์ S001 (KY486783.1, 94.86%)	 ø 100 mm , 120 h, 30 °C, Yeast Malt Agar

ตารางที่ 5 แสดงประเภทของจุลินทรีย์บนผิวของผลลองกอง จังหวัดยะลา ด้วยเทคนิค PCR

ยีสต์ จำนวน 6 ชนิด (Class Saccharomycetes)		
ประเภทเชื้อจุลินทรีย์	การระบุสายพันธุ์ด้วยยีน ITS (ITS1, ITS4)	หลักฐานของโคโลนีเชื้อ
	<i>Candida jaroonii</i> สายพันธุ์ 1 (KT175172.1, 88.33%)	 ø 1-3 mm , 48 h, 30 °C, Yeast Malt Agar
	<i>Pichia</i> sp. สายพันธุ์ feni 101 (KP223712.1, 98.71%)	 ø 2-3 mm , 48 h, 30 °C, Yeast Malt Agar

Meyerozyma caribbica
สายพันธุ์ IFM 53331
(LC413740.1, 98.89%)



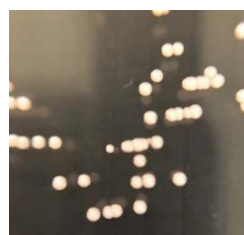
Ø 1-3 mm , 48 h, 30 °C,
Yeast Malt Agar

Hanseniaspora opuntiae
สายพันธุ์ JEY258
(KC111445.1, 88.54%)



Ø 2-3 mm , 48 h, 30 °C,
Yeast Malt Agar

Pichia sp.
สายพันธุ์ TCJ3
(HM044858.1, 97.89%)



Ø 1-2 mm , 48 h, 30 °C,
Yeast Malt Agar

Kodamaea ohmeri
สายพันธุ์ CBS 5367
(NR_121464.1, 98.59%)



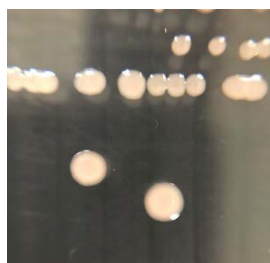
Ø 2-3 mm , 48 h, 30 °C,
Yeast Malt Agar

ตารางที่ 6 แสดงประเภทของจุลินทรีย์บนผิวของผลลองกอง จังหวัดยะลา ด้วยเทคนิค PCR

แบคทีเรียจำนวน 2 ชนิด		
ประเภทเชื้อ จุลินทรีย์	การระบุสายพันธุ์ด้วยยีน ITS (ITS1, ITS4)	สัณฐานของโคโลนีเชื้อ
Class Gamma- proteobacteria	<i>Pantoea dispersa</i> สายพันธุ์ LMG 2603 (NR_116755.1, 96.49%)	 Ø 3-5 mm , 24 h, 30 °C, Tryptic Soy Agar

Class Alpha-
proteobacteria

Gluconobacter japonicus
สายพันธุ์ LMG 26773
(NR_118638.1, 96.45%)



Ø 2-3 mm , 24 h, 30
°C,
Tryptic Soy Agar

สำหรับรายการละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละประเภท สามารถแสดงได้ในตารางที่ 7-15

ตารางที่ 7 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท เชื้อราใน Class Saccharomycetes

ไอโซ เลข	การระบุสายพันธุ์ด้วยยีน ITS (ITS1, ITS4)	สัณฐานของโคโลนีเชื้อ	ความหนาแน่น ของเชื้อ (โคโลนีต่อ 1 กรัมลองกอง)	นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ ทางการเกษตร
M1	<i>Geotrichum candidum</i> สายพันธุ์ S001 (KY486783.1, 94.86%)	 Ø 100 mm , 120 h, 30 °C, Yeast Malt Agar	1.00×10^3 $\pm 0.00 \times 10^3$	1. เกี่ยวข้องกับการเน่าเสีย ของผลไม้และพบว่าเป็น ราที่มักปนเปื้อนมากับ อุปกรณ์การเก็บเกี่ยว (Machinery mold) 2. ก่อโรคในพืช เช่น โรค เน่าเปรี้ยว (Sour rot) ใน ส้ม โรคเน่าเปรี้ยวในพืช โรคผลเน่า (Fruit rot) ในสตรอเบอร์รี่

ตารางที่ 8 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (*Candida jaroonii* สายพันธุ์ 1)

ไอโซ เลข	การระบุสายพันธุ์ด้วย ยีน ITS (ITS1, ITS4)	ลักษณะของโคโลนี	ความ หนาแน่น ของเชื้อ (โคโลนีต่อ 1 กรัม ลองกอง)	นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ ทางการเกษตร
Y1	<i>Candida jaroonii</i> สายพันธุ์ 1 (KT175172.1, 88.33%)	 Ø 1-3 mm , 48 h, 30 °C, Yeast Malt Agar	2.33×10^5 $\pm 0.58 \times$ 105	1. พบได้ทั่วไปในแหล่ง ธรรมชาติ โดยเฉพาะ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 2. เกี่ยวข้องกับการเน่าเสีย ของผลไม้โดยจะเปลี่ยน น้ำตาลในผลไม้ให้เป็น เอทานอลด้วย กระบวนการหมัก

ตารางที่ 9 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (*Pichia* sp. สายพันธุ์ feni 101.)

ไอโซ เลข	การระบุสายพันธุ์ด้วย ยีน ITS (ITS1, ITS4)	ลักษณะของโคโลนี	ความ หนาแน่น ของเชื้อ (โคโลนีต่อ 1 กรัม ลองกอง)	นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ ทางการเกษตร
Y2	<i>Pichia</i> sp. สายพันธุ์ feni 101 (KP223712.1, 98.71%)	 Ø 2-3 mm , 48 h, 30 °C, Yeast Malt Agar	$21.33 \times$ 105 $\pm 1.53 \times$ 105	1. พบได้ทั่วไปในแหล่ง ธรรมชาติ เช่น ผลไม้ 2. เกี่ยวข้องกับการเน่าเสีย ของผลไม้โดยจะเปลี่ยน น้ำตาลในผลไม้ให้เป็นเอ ทานอลด้วย กระบวนการหมัก

ตารางที่ 10 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (*Meyerozyma caribbica* สายพันธุ์ IFM 53331)

ไอโซ เลข	การระบุสายพันธุ์ด้วย ยีน ITS (ITS1, ITS4)	สัณฐานของโคโลนี	ความ หนาแน่น ของเชื้อ (โคโลนีต่อ 1 กรัม ลองกอง)	นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ ทางการเกษตร
Y3	<i>Meyerozyma caribbica</i> สายพันธุ์ IFM 53331 (LC413740.1, 98.89%)	 Ø 1-3 mm , 48 h, 30 °C, Yeast Malt Agar	2.67×10^5 $\pm 0.58 \times$ 10 ⁵	- พบได้ทั่วไปในแหล่ง ธรรมชาติ เช่น ผลไม้ - เป็นปรสิตกับรา <i>Colletotrichum</i> <i>gloeosporioides</i> ซึ่งก่อ โรคแอนแทรคโนส (Anthracnose) ในผลไม้ หลายชนิด เช่น พริก มะม่วง ลองกอง - จัดเป็น Killer yeast เนื่องจากสามารถยับยั้ง การเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์ และเราได้หลาย สายพันธุ์

ตารางที่ 11 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (*Hanseniaspora opuntiae* สายพันธุ์ JEY258)

ไอโซ เลข	การระบุสายพันธุ์ด้วย ยีน ITS (ITS1, ITS4)	สัณฐานของโคโลนี	ความ หนาแน่น ของเชื้อ (โคโลนีต่อ 1 กรัม ลองกอง)	นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ ทางการเกษตร
-------------	---	-----------------	--	--

Y4 (B1, B3, B5, B7)	Hanseniaspora opuntiae สายพันธุ์ JEY258 (KC111445.1, 88.54%)		3.00×10^5 $\pm 0.00 \times$ 105	1. พบได้ทั่วไปในแหล่ง ธรรมชาติ เช่น ผลไม้ 2. เกี่ยวข้องกับการเน่าเสีย ของผลไม้โดยจะเปลี่ยน น้ำตาลในผลไม้ให้เป็น เอทานอลด้วย กระบวนการหมัก
		Ø 2-3 mm , 48 h, 30 °C, Yeast Malt Agar		

ตารางที่ 12 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (Pichia sp. สายพันธุ์ TCJ3)

ไอโซ เลข	การระบุสายพันธุ์ด้วย ยีน ITS (ITS1, ITS4)	สัณฐานของโคโลนี	ความ หนาแน่น ของเชื้อ (โคโลนีต่อ 1 กรัม ลองกอง)	นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ ทางการเกษตร
YB5	Pichia sp. สายพันธุ์ TCJ3 (HM044858.1, 97.89%)		มากกว่า 300 $\times 10^5$	1. พบได้ทั่วไปในแหล่ง ธรรมชาติ เช่น ผลไม้ 2. เกี่ยวข้องกับการเน่า เสียของผลไม้โดยจะ เปลี่ยนน้ำตาลใน ผลไม้ให้เป็นเอทา นอลด้วยกระบวนการ หมัก ** เป็นจุลินทรีย์ที่เติบโต ได้ช้าที่สุดในสภาวะ เพาะเลี้ยงจาก จุลินทรีย์ทั้งหมด 9 ชนิดที่แยกได้ แต่มี ความหนาแน่นของ เชื้อสูงสุด**

ตารางที่ 13 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท ยีสต์ใน Class Saccharomycetes (Kodamaea ohmeri สายพันธุ์ CBS 5367)

ไอโซ เลข	การระบุสายพันธุ์ด้วย ยีน ITS (ITS1, ITS4)	สัณฐานของโคโลนี	ความ หนาแน่น ของเชื้อ	นิเวศวิทยาของ จุลินทรีย์ทางการเกษตร
-------------	---	-----------------	-----------------------------	--

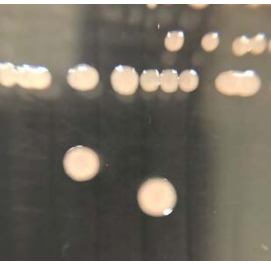
			(โคโลนีต่อ 1 กรัม ลองกอง)	
YB8 (B4)	Kodamaea ohmeri สายพันธุ์ CBS 5367 (NR_121464.1, 98.59%)		1.00×10^5 $\pm 0.00 \times 10^5$	1. พบได้ค่อนข้างยาก 2. เกี่ยวข้องกับการเน่า เสียของผลไม้โดยจะ ทำให้เกิดการหมัก และเปลี่ยนกลิ่น-รส
			Ø 2-3 mm , 48 h, 30 °C, Yeast Malt Agar	

ตารางที่ 14 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท แบคทีเรียใน Class Gamma-proteobacteria

ไอโซ เลท	การระบุสายพันธุ์ ด้วยยีน 16S rRNA	ลักษณะของโคโลนี	ความ หนาแน่น ของเชื้อ (โคโลนีต่อ 1 กรัม ลองกอง)	นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ ทางการเกษตร
B2	Pantoea dispersa สายพันธุ์ LMG 2603 (NR_116755.1, 96.49%)		2.00×10^5 $\pm 0.00 \times 10^5$	1. พบได้ทั่วไปในดิน น้ำ และพืช 2. มีลักษณะเด่น คือ การ ผลิตเมือกจำนวนมาก และมักทนอุณหภูมิสูง ** เป็นจุลินทรีย์ที่เติบโต ได้รวดเร็วที่สุดใน สภาวะเพาะเลี้ยงจาก จุลินทรีย์ทั้งหมด 9 ชนิดที่แยกได้**
			Ø 3-5 mm , 24 h, 30 °C, Tryptic Soy Agar	

ตารางที่ 15 รายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ประเภท แบคทีเรียใน Class Alpha-proteobacteria

ไอโซ เลท	การระบุสายพันธุ์ ด้วยยีน 16S rRNA	ลักษณะของโคโลนี	ความ หนาแน่นของ เชื้อ (โคโลนีต่อ 1 กรัมลองกอง)	นิเวศวิทยาของ จุลินทรีย์ทางการเกษตร
-------------	--------------------------------------	-----------------	--	--

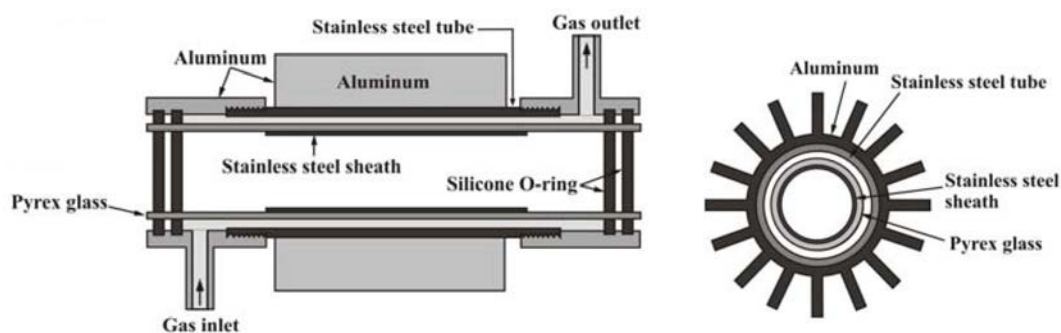
B6	<i>Gluconobacter japonicus</i> สายพันธุ์ LMG 26773 (NR_118638.1, 96.45%)	 ø 2-3 mm , 24 h, 30 °C, Tryptic Soy Agar	2.00×10^5 $\pm 0.00 \times 10^5$	1. มักพบในแหล่ง ธรรมชาติที่มีน้ำตาล ในปริมาณสูง 2. จัดเป็นแบคทีเรียที่มี ความสามารถในการ ผลิตกรดแอซิดิก 3. ในบางกรณีพบว่า มีส่วนในการทำให้ อาหารเกิดการเน่าเสีย
----	---	--	--	--

4. ผลการศึกษา ออกแบบ ประกอบ และ ปรับปรุง/พัฒนา เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน มีรายละเอียดดังนี้

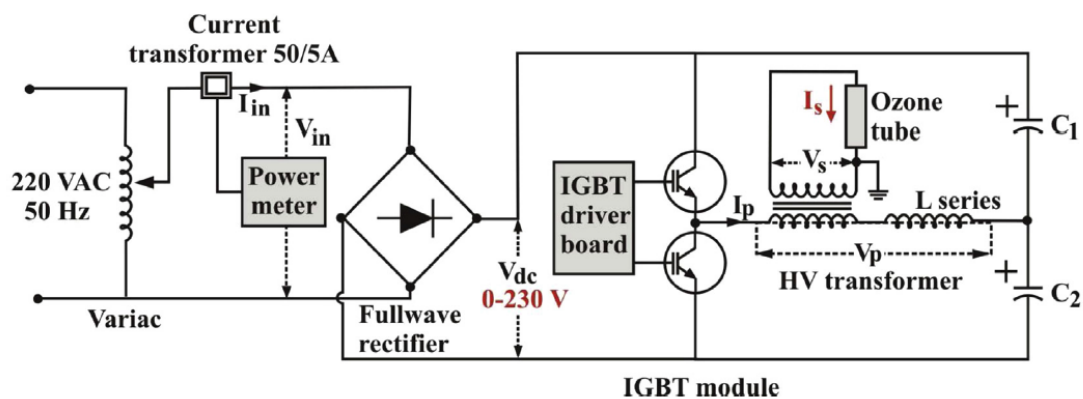
สำหรับการออกแบบเครื่องผลิตโอโซน ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. หลอดผลิตโอโซน
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง เพื่อจ่ายให้แก่หลอดผลิตโอโซน

สำหรับการออกแบบหลอดผลิตโอโซน ได้ทำการออกแบบหลอดผลิตโอโซน โดยอ้างอิงจากรายงานวิจัยเรื่อง “Effect of Oxygen Pressure and Flow Rate on Electrical Characteristic and Ozone Concentration of a CylinderCylinder DBD Ozone Generator” ของ S. Boonduang และคณะ ดังรูปที่ 14 สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง ทำการออกแบบหลอดผลิตโอโซน โดยอ้างอิงจากรายงานวิจัยเรื่อง “Dielectric barrier discharge ozone generator using aluminum granules electrodes” ของ S. Jodpimai และคณะ ดังรูปที่ 15

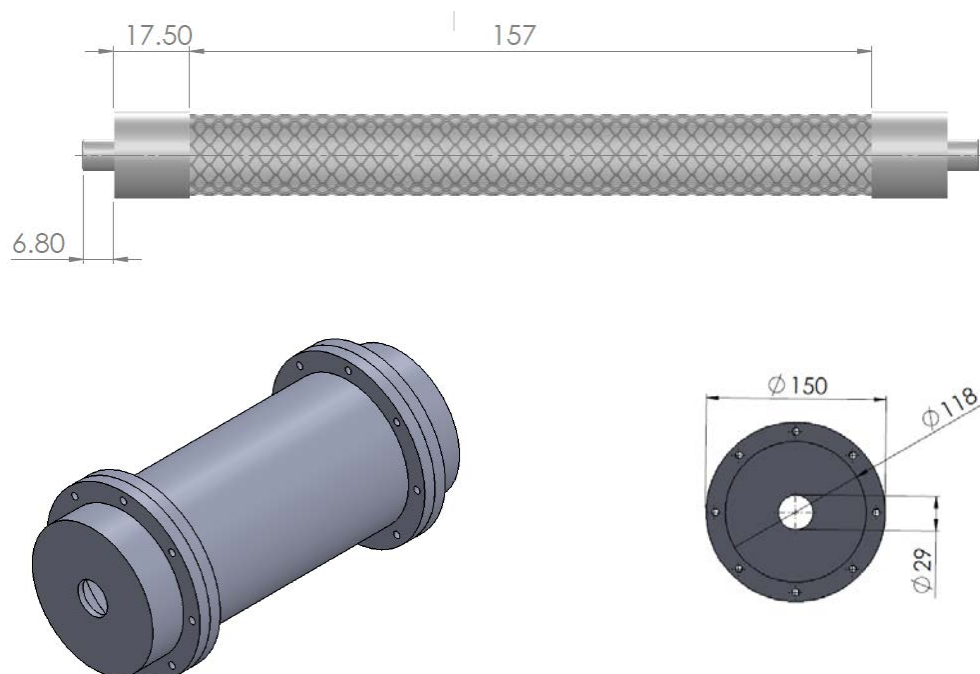


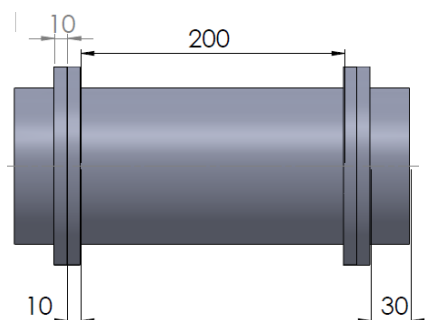
รูปที่ 14 โครงสร้างหลอดผลิตโอโซน (a) ภาพตามยาว (b) ภาพตามขวาง



รูปที่ 15 แหล่งจ่ายไฟฟ้าค้ำยสูงสำหรับหลอดผลิตโอโซน

และในส่วนของหลอดผลิตโอโซน ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ ปรับปรุง ดัดแปลงสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 16





รูปที่ 16 ชุดอุปกรณ์สำหรับหลอดผลิตโอโซน

คณะผู้วิจัย ได้ดำเนินการ ปรับแต่ง/ปรับปรุง เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน เพื่อผลิตโอโซนด้วยวิธี ไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ติสชาร์จ โดยมีรายละเอียดดังนี้

คณะผู้วิจัยอยู่ในระหว่างดำเนินการสร้างและประกอบ รวมถึง ปรับแต่ง/ปรับปรุง เครื่องผลิตโอโซน แบบวิธีไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ติสชาร์จ ที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังรูปที่ 17



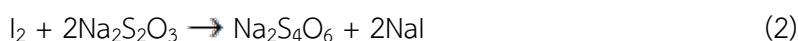
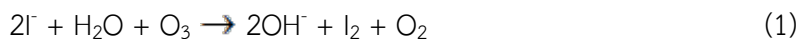
รูปที่ 17 เครื่องผลิตโอโซนแบบวิธีไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ติสชาร์จ

นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้ได้ทำการศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโอโซนด้วยวิธีไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ติสชาร์จ ด้วยการแปรค่าอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ โดยกำหนดอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่เหมาะสมในการผลิตโอโซนดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 เงื่อนไขของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อความเข้มข้นของโอโซน

เงื่อนไข	รายละเอียด
สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์	ความเข้มข้น 2%
ชนิดของก๊าซ	ก๊าซออกซิเจน (ความบริสุทธิ์ 99.5%)
เวลาในการผลิตโอโซน	10 นาที
กำลังไฟฟ้า	300 วัตต์
อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน	2 ลิตรต่อนาที ถึง 14 ลิตรต่อนาที

การหาความเข้มข้นของโอโซนด้วยวิธีไอโอดิเมทรี (Iodometry) สามารถหาได้จากปฏิกิริยาของโอโซนกับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ไอโอดีน โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 2% (w/v) หลังจากนั้นทำการไทเทรตผลิตภัณฑ์ไอโอดีนที่ได้ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.0188 M จนกระทั่งไอโอดีนถูกรีดิวซ์เป็นไอโอไดด์ ซึ่งเป็นสารละลายไม่มีสีที่จางๆ ดังสมการแสดงปฏิกิริยา



การคำนวณความเข้มข้นของโอโซน ดังนี้

จำนวนโมล $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ คือ $\text{mol.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$

ความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ คือ $\text{con.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$

จำนวนโมล I_2 คือ $\text{mol.}[\text{I}_2]$

ปริมาตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ คือ $\text{vol.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$

จำนวนโมล O_3 คือ $\text{mol.}[\text{O}_3]$

ความเข้มข้นของ O_3 คือ $\text{con.}[\text{O}_3]$

มวลโมเลกุลของ O_3 คือ $\text{Mw.}[\text{O}_3]$

ดังนั้น

$$\text{mol.}[\text{O}_3] = \text{mol.}[\text{I}_2] = \frac{1}{2} \times \text{mol.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] \quad (3)$$

$$\text{mol.}[\text{O}_3] = \text{mol.}[\text{I}_2] = \frac{1}{2} \times \frac{\text{con.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] \times \text{vol.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]}{1000} \quad (4)$$

$$\text{mol.}[\text{O}_3] = \text{mol.}[\text{I}_2] = \frac{\text{con.}[\text{O}_3] \times \text{vol.}[\text{O}_3]}{1000} \quad (5)$$

หลังจากนั้นจึงคำนวณหาความเข้มข้นของโอโซนจาก

$$\text{con.}[\text{O}_3] = \frac{1}{2} \times \frac{\text{con.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] \times \text{vol.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]}{\text{vol.}[\text{O}_3]} \text{ mol / L} \quad (6)$$

$$\text{con.}[\text{O}_3] = \frac{1}{2} \times \frac{\text{con.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] \times \text{vol.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]}{\text{vol.}[\text{O}_3]} \times \text{Mw.}[\text{O}_3] \times 1000 \text{ mg / L} \quad (7)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่อัตราการไหล 10 L/min เวลา 2 min ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ $\text{vol.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 9.6 \text{ mL}$, $\text{con.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 0.0188 \text{ M}$, $\text{Mw.}[\text{O}_3] = 48 \text{ g/mol}$ และ $\text{vol.}[\text{O}_3] = 200 \text{ mL}$
จากสมการ

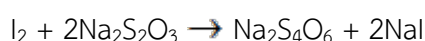
$$\text{con.}[\text{O}_3] = \frac{1}{2} \times \frac{\text{con.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] \times \text{vol.}[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]}{\text{vol.}[\text{O}_3]} \times \text{Mw.}[\text{O}_3] \times 1000 \text{ mg / L}$$

จะได้

$$\text{con.}[\text{O}_3] = \frac{1}{2} \times \frac{0.0188 \times 9.6}{200} \times 48 \times 1000$$

$$\text{con.}[O_3] = 21.66 \text{ mg / L}$$

ผลการศึกษาของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อความเข้มข้นของไอโชนและลักษณะสีของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ โดยแปรค่าอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที, 4 ลิตรต่อนาที, 6 ลิตรต่อนาที, 8 ลิตรต่อนาที, 10 ลิตรต่อนาที, 12 ลิตรต่อนาที และ 14 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ โดยผลของปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์กับไอโชนที่ผลิตได้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์กับไอโชนที่ผลิตได้ เกิดเป็นสารละลายที่มีสีแดงส้มซึ่งเป็นลักษณะผลิตภัณฑ์ไอโอดีน และเมื่อทำการหาความเข้มข้นของไอโชนที่ผลิตได้ด้วยวิธีไอโอโดเมทรี โดยทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.0188 M จนกระทั่งไอโอดีนถูกรีดิวซ์เป็นไอโอไดด์ ซึ่งเป็นสารละลายไม่มีสีที่จุดยุติ ตามสมการ

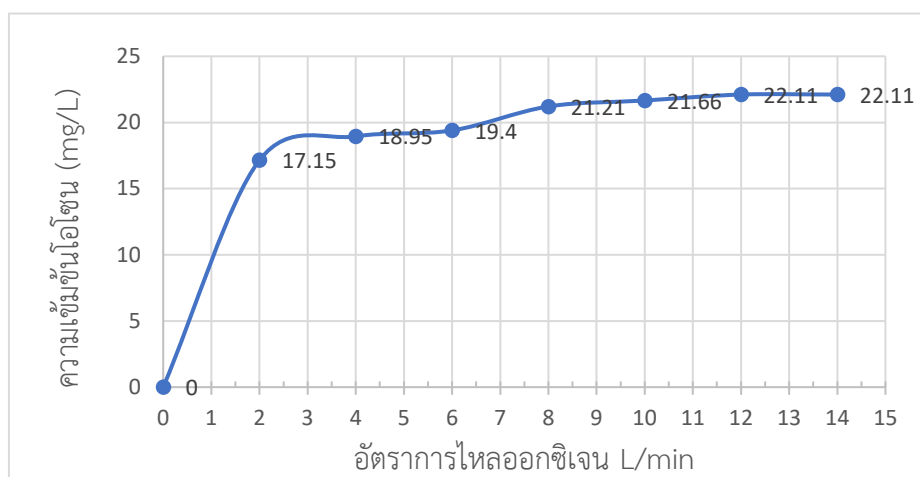


และนำปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาคำนวณหาความเข้มข้นของไอโชน จะพบว่าความเข้มข้นของไอโชนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 17.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 22.11 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 8 ลิตรต่อนาที พบว่าความเข้มข้นของไอโชนเริ่มมีค่าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งทางคณะผู้วิจัยคาดว่าเนื่องจากอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดเป็นไอโชน ดังนั้นหากเพิ่มอัตราการไหล จึงเป็นผลให้ปริมาณของออกซิเจนบางส่วนไม่สามารถถูกดิสซาร์จและเปลี่ยนไปเป็นไอโชนได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ พิษณุศักดิ์ (2551)

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (ลิตรต่อนาที)	ภาพถ่ายของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ทำปฏิกิริยากับไอโชน	ความเข้มข้นของไอโชน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0		-
2		17.15
4		18.95

6		19.40
8		21.21
10		21.66
12		22.11
14		22.11

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของโอโซนมาพิจารณาความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน จะพบความสัมพันธ์ดังรูปที่ 18 ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มข้นของโอโซนเริ่มไม่มีเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 8 ลิตร/นาที่ ดังนั้นอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่ทางผู้วิจัยได้กำหนดไว้ที่ 10 ลิตร/นาที่ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการผลิตโอโซน



รูปที่ 18 ความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้ที่อัตราการไหลของออกซิเจนต่างๆ

เพื่อประเมินผลการใช้ เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน จากเครื่องผลิตโอโซนด้วยวิธีไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดีสชาร์จเพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา คณะผู้วิจัย ได้เริ่มจากการแปรค่าเวลา ในการผลิตโอโซน จากอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่อัตรา 10 ลิตร/นาที และหาความเข้มข้นของโอโซนด้วยวิธีไอโอดิเมทรี ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ระยะเวลาในการผลิตที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของโอโซน

เงื่อนไข	รายละเอียด
สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์	ความเข้มข้น 2%
ชนิดของก๊าซ	ก๊าซออกซิเจน (ความบริสุทธิ์ 99.5%)
อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน	10 ลิตรต่อนาที
กำลังไฟฟ้า	300 วัตต์
เวลาในการผลิตโอโซน	5 วินาที ถึง 20 นาที

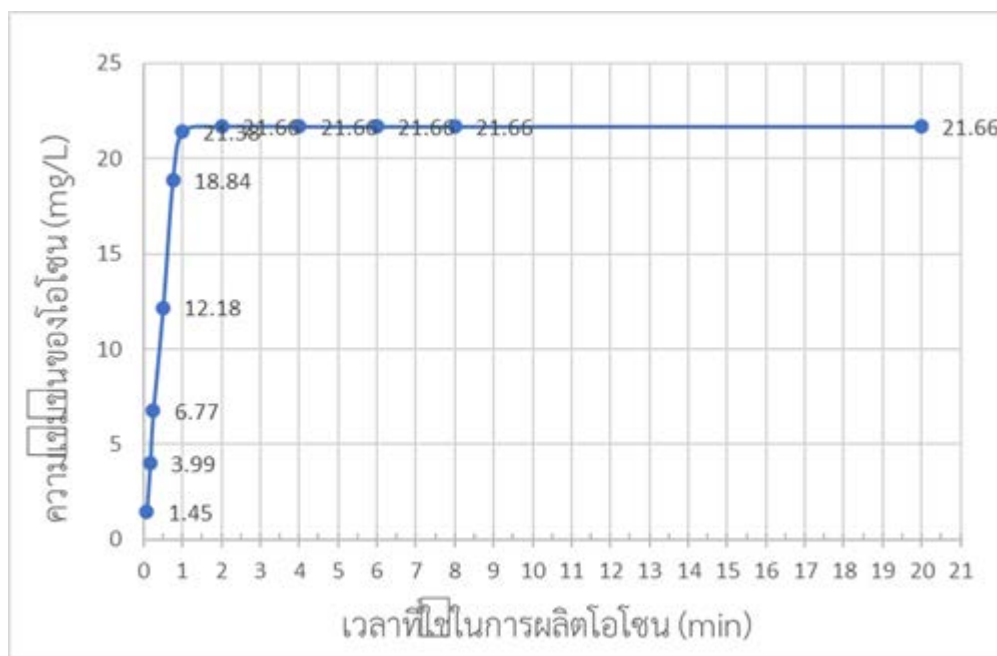
ผลการศึกษาของระยะเวลาในการผลิตที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของโอโซน พบว่าลักษณะภายนอกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์กับโอโซนมีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต พบว่าเมื่อระยะเวลายาวนานขึ้น ที่ระยะเวลาในการผลิตโอโซนเท่ากับ 1 นาที ค่าความเข้มข้นของโอโซนเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าคงที่ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 21.66 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระยะเวลานาน 2 นาที

ระยะเวลา	ภาพถ่ายของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ทำปฏิกิริยากับโอโซน	ความเข้มข้นของโอโซน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
----------	---	--

0 วินาที		-
5 วินาที		1.45
10 วินาที		3.99
15 วินาที		6.77
30 วินาที		12.18
45 วินาที		18.84

1 นาที		21.38
2 นาที		21.66
4 นาที		21.66
6 นาที		21.66
8 นาที		21.66
20 นาที		21.66

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของโอโซนมาพิจารณาความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการผลิตจะพบความสัมพันธ์ดังรูปที่ 19 ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มข้นของโอโซนเริ่มไม่มีเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเวลาในการผลิตเท่ากับ 2 นาที ดังนั้นอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่ทางผู้วิจัยได้กำหนดไว้ที่ 10 ลิตร/นาที จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการผลิตโอโซน



รูปที่ 19 ความเข้มข้นของโอโซนกับเวลาที่ใช้ในการผลิตโอโซนต่างๆ ที่อัตราการไหลออกซิเจน 10 L/min

5. ผลการศึกษาและเก็บข้อมูล การใช้เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน สำหรับสำหรับรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ของ ลองกองจังหวัดยะลา

เนื่องจากสภาวะการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ส่งผลให้ผู้วิจัยไม่สามารถเดินทางลงพื้นที่ จังหวัดยะลา ในช่วงที่มีผลผลิตลองกองได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษา การเน่าเสียของผลกล้วยหอม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน รักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา เมื่อถึงระยะช่วงเวลาที่ผลผลิตลองกอง ทางคณะผู้วิจัยจะได้นำสภาวะดังกล่าวไปปรับใช้เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ทางคณะผู้วิจัยพบว่าลักษณะสีผิวของกล้วยหอมทองที่อยู่ภายใต้สภาวะการสัมผัสก๊าซโอโซนนาน 60 นาที จำนวน 8 ครั้งต่อวัน มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสีผิวของเปลือกตามขั้นตอนการสุกของผลกล้วยที่แบ่งตาม CSIRO (1972) ดังตารางที่ 18 โดยพบว่าสีผิวของเปลือกมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มเป็นบางตำแหน่ง และมีลักษณะยุบตัวจนเห็นร่องรอยการยุบตัวอย่างชัดเจน ซึ่งทางคณะผู้วิจัยคาดว่าน่าจะเป็นผลจากการที่กล้วยหอมทองอยู่ภายใต้สภาวะการได้รับก๊าซโอโซนที่เข้มข้นมากเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสิคีรียา (2545) ที่ได้ศึกษาผลของโอโซนต่ออายุการรักษาลำไย พบว่าการให้ก๊าซโอโซนกับผลลำไยเป็นระดับที่มากเกินไปจะส่งผลทำให้สีเปลือกผลลำไยคล้ำลงเช่นกัน เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของโอโซนที่เข้มข้นมากเกินไป น่าจะส่งผลกระทบต่อเซลล์ที่บริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับโอโซน โดยเฉพาะบริเวณพื้นผิวที่มีร่องรอยเดิมจะได้รับผลกระทบดังกล่าวอย่างชัดเจน สำหรับในบริเวณที่ไม่มีร่องรอยเดิมนั้นยังคงสังเกตเห็นสีเขียวของเปลือกกล้วยใกล้เคียงกับสีผิวของกล้วยหอมทองชุดควบคุม ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังพบว่าผลกล้วยหอมทอง ที่ระยะเวลาผ่านไป 7 วัน มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวไปจนเป็นสีเหลืองทั้งลูก

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของสีกล้วยหอมทองในการทดลอง

อายุการเก็บรักษา (วัน)	กล้วยหอมทองชุดควบคุม	กล้วยหอมทอง ภายใต้สภาวะการสัมผัสก๊าซ
------------------------	----------------------	--------------------------------------

0 วัน



ระดับระยะของการสุก

ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีเขียวอยู่ใน
ระยะที่ 1 (0%)ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีเขียวอยู่ในระยะที่ 1
(0%)

3 วัน



ระดับระยะของการสุก

ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีเขียวอม
เหลืองเล็กน้อย อยู่ในระยะที่ 2 (20%)ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นเปลือกสีเขียวอยู่ใน
ระยะที่ 1 (0%)

7 วัน



ระดับระยะของการสุก

ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีเหลืองแต่
ปลายยังมีสีเขียว อยู่ในระยะที่ 5 (80%)ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวอมเหลือง
เล็กน้อย อยู่ใน ระยะที่ 3 (40%) และมีสีน้ำตาล
คล้ำซึ่งเกิดจากโอโซนที่ชัดเจนมากขึ้นอย่าง
ชัดเจน

10 วัน



ระดับระยะของการสุก	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเหลืองทั้งลูก อยู่ในระยะที่ 6 (100%)	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย อยู่ใน ระยะที่ 3 (40%) และมีสีน้ำตาลคล้ำซึ่งเกิดจากโอโซนครอบคลุมพื้นที่ผิวเปลือกส่วนใหญ่
--------------------	---	---

14 วัน



ระดับระยะของการสุก	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเหลืองทั้งลูก อยู่ในระยะที่ 6 (100%) และเริ่มมีการเน่าเสีย	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย อยู่ในระยะที่ 4 (60%) และนอกจากผิวเปลือกจะมีสีน้ำตาลคล้ำซึ่งเกิดจากโอโซนครอบคลุมพื้นที่ผิวเปลือกส่วนใหญ่แล้วยังสังเกตเห็นการเหี่ยวของผิวเปลือกอย่างชัดเจน
--------------------	---	--

17 วัน



ระดับระยะของการสุก	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเหลืองทั้งลูก อยู่ในระยะที่ 6 (100%) และมีการเน่าเสีย รวมถึงเกิดเชื้อราบนเปลือกกล้วยบางส่วน	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย อยู่ในระยะที่ 4 (60%) ไม่พบการเน่าเสีย นอกจากผิวเปลือกจะมีสีน้ำตาลคล้ำซึ่งเกิดจากโอโซนครอบคลุมพื้นที่ผิวเปลือกส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเหี่ยวของผิวเปลือกเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน
--------------------	--	---

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยหอมทอง พบว่ามีเริ่มมีการเน่าเสียเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วัน แต่กล้วยหอมทองที่อยู่ภายใต้สภาวะการได้รับก๊าซโอโซนไม่พบลักษณะการเน่าเสีย แต่พบลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีน้ำตาลคล้ำซึ่งเกิดจากโอโซนครอบคลุมพื้นที่ผิวเปลือกส่วนใหญ่แล้วยังสังเกตเห็นการเหี่ยวของผิวเปลือกอย่างชัดเจน ดังนั้นเพื่อยืนยันลักษณะการเน่าเสีย ทางคณะผู้วิจัยจึงได้พิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักสดของผลกล้วยหอมทอง มาประกอบซึ่งพบว่า ผลกล้วยหอมทองชุดควบคุม ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วัน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 22.56 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกล้วยหอมทองที่อยู่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 14°C ภายใต้สภาวะการได้รับก๊าซโอโซน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 16.72 เปอร์เซ็นต์ โดยมีลักษณะของสีผิวเปลือกบางส่วนจะเป็น สีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย อยู่ในระยะที่ 4 (60%) และ

นอกจากผิวเปลือกจะมีสีน้ำตาลคล้ำซึ่งเกิดจากโอโซนคลอบคลุมพื้นที่ผิวเปลือกส่วนใหญ่แล้วยังสังเกตเห็นการเหี่ยวยุบของผิวเปลือกอย่างชัดเจนซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักสดที่ลดลงของ กล้วยหอมทองชุดควบคุม ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะสอดคล้องกับ ระยะเวลาผ่านไป 10 วัน โดยผลกล้วยหอมทองจะมีลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเหลืองทั้งลูก อยู่ในระยะที่ 6 (100%) ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงคาดว่า การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่อยู่ภายใต้สภาวะการสัมผัสก๊าซโอโซนน่าจะเกิดจากการเสียหายของผิวเปลือกที่ได้รับการสัมผัสกับปริมาณโอโซนที่มากเกินไป

ตารางที่ 19 วิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองในการทดลอง

อายุการเก็บรักษา	กล้วยหอมทองชุดควบคุม			กล้วยหอมทอง ภายใต้สภาวะการสัมผัสก๊าซ		
	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง (กรัม)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย (ร้อยละ)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง (กรัม)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย (ร้อยละ)
0 วัน	203.78	203.78	0	203.78	203.78	0
3 วัน	200.75	187.32	6.69	186.54	174.92	6.27
7 วัน	204.04	179.72	11.93	173.72	146.02	15.97
10 วัน	173.40	146.50	15.52	189.97	166.95	12.168
14 วัน	195.73	154.48	21.11	180.01	150.01	16.72
17 วัน	199.90	154.81	22.56	187.36	147.22	21.43

เมื่อทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยมีการปรับเปลี่ยนสภาวะการสัมผัสก๊าซโอโซนใหม่ จากเดิมที่กำหนดระยะเวลาการสัมผัสก๊าซโอโซนนาน 60 นาที เปลี่ยนใหม่เป็น ระยะเวลาการสัมผัสก๊าซโอโซนนาน 20 นาที และจากจำนวนครั้งในการสัมผัส จากเดิมมีจำนวนครั้งที่สัมผัสจำนวน 8 ครั้งต่อวัน เปลี่ยนใหม่เป็นจำนวนครั้งสัมผัส 1 ครั้งต่อวัน เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 15 วัน หรือจนสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสีผิวของเปลือกตามขั้นตอนการสุกของผลกล้วยที่แบ่งตาม CSIRO (1972) ดังตารางที่ 20 พบว่า สีผิวของกล้วยหอมทองชุดควบคุม ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 วัน มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวไปจนเป็นสีเหลืองทั้งลูก และเริ่มมีการเสียหายบริเวณเปลือกเมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 วัน และเมื่อเวลาผ่านไป 15 วันเริ่มเกิดการเน่าเสียและมีราเกิดขึ้นบริเวณเปลือก ในขณะที่ กล้วยหอมทอง ภายใต้สภาวะการสัมผัสก๊าซ แม้ระยะเวลาจะผ่านไปถึง 18 วัน ลักษณะของสีผิวเปลือกยังคงมีสีเขียวออกเหลือง โดยมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว ซึ่งอยู่ใน ระยะที่ 4 (60%) จากผลการทดลองทำให้สังเกตได้ว่า ปริมาณโอโซนส่งผลกระทบต่ออายุกล้วยหอมทอง นอกจากนั้นปริมาณโอโซนที่กล้วยหอมทองสัมผัสยังต้องมีปริมาณที่เหมาะสมด้วยจึงจะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านกายภาพของกล้วยหอมทอง

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงของสีกล้วยหอมทองในการทดลอง

อายุการเก็บรักษา (วัน)	กล้วยหอมทองชุดควบคุม	กล้วยหอมทอง ภายใต้สภาวะการสัมผัสก๊าซ
0 วัน		
ระดับระยะของการสุก	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีเขียวอยู่ในระยะที่ 1 (0%)	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีเขียวอยู่ในระยะที่ 1 (0%)
3 วัน		
ระดับระยะของการสุก	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย อยู่ในระยะที่ 3 (40%)	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นเปลือกสีเขียวอยู่ในระยะที่ 1 (0%)
6 วัน		
ระดับระยะของการสุก	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายยังมีสีเขียว อยู่ในระยะที่ 5 (80%)	ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย อยู่ใน ระยะที่ 2 (20%)

9 วัน



ระดับระยะของการสุก

ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สี
เหลืองทั้งลูก อยู่ในระยะที่ 6
(100%) และเริ่มมีการเน่าเสีย



ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวอมเหลือง
เล็กน้อย อยู่ใน ระยะที่ 3 (40%)

12 วัน



ระดับระยะของการสุก

ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สี
เหลืองทั้งลูก อยู่ในระยะที่ 6
(100%) และเริ่มมีการเน่าเสีย



ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวอมเหลือง
เล็กน้อย อยู่ใน ระยะที่ 3 (40%)

15 วัน



ระดับระยะของการสุก

ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สี
เหลืองทั้งลูก อยู่ในระยะที่ 6
(100%) และมีการเน่าเสีย รวมถึง
เกิดเชื้อราบนเปลือกกล้วยบางส่วน



ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวอมเหลือง
เล็กน้อย อยู่ใน ระยะที่ 3 (40%)

18 วัน



ระดับระยะของการสุก

ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สี
เหลืองทั้งลูก อยู่ในระยะที่ 6
(100%) และมีการเน่าเสีย รวมถึง
เกิดเชื้อราบนเปลือกกล้วย



ลักษณะของสีผิวเปลือกเป็น สีเขียวออกเหลือง
โดยมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว อยู่ใน ระยะที่ 4
(60%)

จากสภาวะสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ที่ยังไม่คลี่คลาย ประกอบกับ คำสั่งศูนย์บริหารสถานการณ์ โควิด - 19 ที่ 11 /2564 เรื่อง พื้นที่สถานการณ์ที่กำหนดเป็นพื้นที่ควบคุมสูงสุดและเข้มงวด พื้นที่ควบคุมสูงสุด และพื้นที่ควบคุมฯ ส่งผลให้ผู้วิจัยไม่สามารถเดินทางลงพื้นที่ จังหวัดยะลา ในช่วงที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตลองกองได้ แต่ในช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ในช่วงระยะเวลาที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตของลองกองในพื้นที่จังหวัดระยอง ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน รักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง โดยใช้ผลผลิตลองกองจากจังหวัดระยองมาเป็นตัวอย่าง และใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษา การเน่าเสียของผลกล้วยหอม ข้างต้นเป็นตัวแปรในการศึกษาประกอบกับข้อมูลด้านคุณลักษณะเฉพาะของลองกอง ซึ่งพบว่า ปัญหาจากการมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น เน่าเสียง่าย โดยที่ลองกองจะเน่าเสียภายในเวลาประมาณ 5-7 วัน ทำให้ผลผลิตส่วนใหญ่จะกระจายไปยังตลาดภายในพื้นที่ใกล้เคียงเป็นหลัก นอกจากนั้นยังมีปัญหาทางด้านการสูญเสียคุณภาพได้แก่ การหลุดร่วงของผลและข้อผล การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก ซึ่งเป็นข้อจำกัดหนึ่งของการค้าในตลาด ซึ่งในสภาวะสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ที่ยังไม่คลี่คลาย ประกอบกับ คำสั่งศูนย์บริหารสถานการณ์ โควิด - 19 ที่ 11 /2564 เรื่อง พื้นที่สถานการณ์ที่กำหนดเป็นพื้นที่ควบคุมสูงสุดและเข้มงวด พื้นที่ควบคุมสูงสุด และพื้นที่ควบคุมฯ รูปแบบการค้าอยู่ในรูปแบบของการค้าขายออนไลน์ และมีรูปแบบการขนส่งผลผลิตลองกองทางพัสดุ ซึ่งเป็นการบรรจุผลผลิตลองกอง ลงในกล่องพัสดุ ซึ่งเป็นสภาวะที่อับอากาศ ทำให้ปัญหาทางด้านการสูญเสียคุณภาพดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลผลผลิตลองกองมีการหลุดร่วงจากข้อผลและเกิดการเน่าเสียในระยะเวลาที่สั้นลงกว่ารูปแบบการขนส่ง จากการศึกษา การการหลุดร่วงของลองกองจาก ข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าเริ่มมีการหลุดร่วงจาก ข้อผลของลองกอง เมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 วัน ในสภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อเวลาผ่านไป 4 วันพบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนสีผิวเปลือกรวมถึงเกิดการเน่าเสียและเกิดราขึ้นในผลลองกองบางส่วน แต่ลองกองในสภาวะที่สัมผัสก๊าซโอโซนยังคงยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ มีเพียงลองกองที่อยู่ภายในสภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) และมีการเติมก๊าซโอโซน (ให้ข้อผลของลองกองสัมผัสก๊าซโอโซน และมีการเติมก๊าซโอโซนในถุงพลาสติกจนเต็มถุงวันละ 1 ครั้ง) เริ่มมีการหลุดร่วงจาก ข้อผลของลองกอง เมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 วัน แต่ยังคงไม่เกิดการเน่าเสียและเกิดราขึ้นในผลลองกองแม้ระยะเวลาจะผ่านไปถึง 7 วัน แล้วก็ตาม โดยเฉพาะลองกองที่อยู่ในสภาวะอับอากาศที่มีก๊าซโอโซน ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ แม้ระยะเวลาจะผ่านไปถึง 7 วัน

วันที่	สภาวะอับอากาศ (ชุดควบคุม)	สภาวะอับอากาศ และความชื้นสูง	สภาวะอับอากาศที่มีก๊าซโอโซน	สภาวะอับอากาศที่มีการเติมก๊าซโอโซน
1				
	สภาวะทางกายภาพของลองกอง ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของ ลองกองที่สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์
2				
	สภาวะทางกายภาพของลองกอง ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของ ลองกองที่สมบูรณ์มีความชื้น เกิดขึ้นเล็กน้อย	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์

วันที่	สภาวะอากาศ (ชุดควบคุม)	สภาวะอากาศ และความชื้นสูง	สภาวะอากาศที่มีก๊าซโอโซน	สภาวะอากาศที่มีการเติมก๊าซโอโซน
3	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วงจากช่อผลและมีความชื้นเกิดขึ้นจนเป็นหยดน้ำ	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์มีความชื้นเกิดขึ้น	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์มีความชื้นเกิดขึ้นภายใน
4	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วงจากช่อผล และเริ่มมีการเปลี่ยนสีผิวเปลือกเริ่มถึงเกิดราในบางส่วน	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์มีความชื้นมากขึ้น	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ความชื้นมากขึ้น

วันที่	สภาวะอับอากาศ (ชุดควบคุม)	สภาวะอับอากาศ และความชื้นสูง	สภาวะอับอากาศที่มีก๊าซโอโซน	สภาวะอับอากาศที่มีการเติมก๊าซโอโซน
5	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุด ร่วงจากข้อผล และเริ่มเกิดการเน่าเสีย และเกิดราที่บริเวณผิวเปลือก	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคง มีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่ สมบูรณ์ มีความชื้นมากขึ้นจนเป็นหยด น้ำภายใน	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์และ เริ่มมีความชื้นเกิดขึ้น	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วง จากข้อผล
6	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุด ร่วงจากข้อผล และเกิดการเน่าเสีย และเกิดราที่บริเวณผิวเปลือก	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคง มีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่ สมบูรณ์ มีความชื้นมากขึ้นจนเป็นหยด น้ำภายใน	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์และ เริ่มมีความชื้นเกิดขึ้น	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วง จากข้อผล

วันที่	สภาวะอากาศ (ชุดควบคุม)	สภาวะอากาศ และความชื้นสูง	สภาวะอากาศที่มีก๊าซโอโซน	สภาวะอากาศที่มีการเติมก๊าซโอโซน
7	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุด ร่วงจากช่อผล และเกิดการเน่าเสียจน เสียสภาพ	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุด ร่วงจากช่อผล และมีความชื้นมากขึ้นจน เป็นหยดน้ำภายใน	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมี สภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์และ เริ่มมีความชื้นเกิดขึ้น	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วง จากช่อผล และมีความชื้นมากขึ้นจนเป็น หยดน้ำภายใน

จากการศึกษาการการหลุดร่วงของลองกองจากข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ พบว่าเริ่มมีการหลุดร่วงจาก ข้อผลของลองกอง เมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 วัน เริ่มมีการเปลี่ยนสีผิวเปลือกกรวมถึงเกิดการเน่าเสีย และเกิดราขึ้นในผลลองกองเมื่อเวลาผ่านไป 4 วัน ในสภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่อุณหภูมิห้อง โดยในสภาวะที่สัมผัสก๊าซโอโซนยังคง พบว่า ในสภาวะอับอากาศที่มีก๊าซโอโซน แม้ระยะเวลาจะผ่านไปถึง 7 วัน สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะเพิ่มระยะเวลาของการหลุดร่วงของลองกองจากข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ ให้มากกว่า 7 วัน จากข้อมูลของโครงการ การใช้โอโซนร่วมกับกรดอินทรีย์บางชนิด เพื่อทดแทนการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการควบคุมโรคลำไย (กานดา หวังชัย และคณะ, 2548) เพื่อแก้ปัญหาการเน่าเสียง่ายของลำไยสด และ ปัญหาสารตกค้างจากการใช้สารซัลไฟท์ ซึ่งได้ทำการทดสอบการควบคุมการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว 2 วิธีการ คือ การรมด้วยก๊าซโอโซนและการแช่น้ำโอโซน และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อเมื่อเก็บรักษา 18 วัน ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้วางแผนทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน รักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง ด้วยการการรมด้วยก๊าซโอโซนและการแช่น้ำโอโซน และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งผลจากการศึกษาการการหลุดร่วงของลองกองจาก ข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าเริ่มมีการหลุดร่วงจาก ข้อผลของลองกอง เมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 วัน ในสภาวะอับอากาศ (ถุงพลาสติก) ที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 วันพบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนสีผิวเปลือกกรวมถึงเกิดการเน่าเสียและเกิดราขึ้นในผลลองกองบางส่วน และเกิดการการเน่าเสียจนเสียสภาพเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน แต่ลองกองในสภาวะที่สัมผัสก๊าซโอโซน ยังคงยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ มีเพียงลองกองที่อยู่ภายใต้สภาวะอับอากาศ และความชื้นสูง เริ่มมีการหลุดร่วงจาก ข้อผลของลองกอง เมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 วัน แต่ยังคงไม่เกิดการเน่าเสีย โดยเริ่มเกิดการเน่าเสียและเกิดราขึ้นในผลลองกองเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน สำหรับลองกองที่อยู่ในสภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ แม้ระยะเวลาจะผ่านไปถึง 7 วัน แต่พบว่าผลของอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส ทำให้สีผิวเปลือกของลองกองมีการเปลี่ยนสีเป็นสีคล้ำจนถึงสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งทางคณะผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะปรับการควบคุมอุณหภูมิเป็น สภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้ลองกองยังคงสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่สมบูรณ์ ยาวนานกว่า 7 วัน แต่ด้วยสภาวะสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ที่รุนแรงมากขึ้น ประกอบกับ คำสั่งศูนย์บริหารสถานการณ์ โควิด - 19 ที่ 11 /2564 เรื่อง พื้นที่สถานการณ์ที่กำหนดเป็นพื้นที่ควบคุมสูงสุดและเข้มงวด พื้นที่ควบคุมสูงสุด และพื้นที่ควบคุมฯ จึงทำให้ไม่สามารถเดินทางไปรวบรวม ผลผลิตลองกองในพื้นที่จังหวัดระยองได้อีก แต่ทางคณะได้ตั้งใจไว้ว่าเมื่อสภาวะสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) จะทำการศึกษาการประยุกต์ใช้นวัตกรรมโอโซน เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง ภายใต้สภาวะที่สัมผัสก๊าซโอโซน และควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส และจะนำเสนอรายงานเพิ่มเติมต่อไป

วันที่	สภาวะัับอากาศ (ชุดควบคุม)	สภาวะัับอากาศ และความชื้นสูง	สภาวะัับอากาศ ที่มีก๊าซโอโซน	สภาวะัับอากาศ ที่ควบคุมอุณหภูมิ	สภาวะัับอากาศที่ควบคุม อุณหภูมิและก๊าซโอโซนสูง
1					
	สภาวะทางกายภาพของลองกอง ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่ สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกอง ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของ ลองกองที่สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคง มีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่ สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคง มีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่ สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกอง ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของลองกอง ที่สมบูรณ์
3					
	สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุด ร่วงจากข้อผลและความชื้นเกิดขึ้น จนเป็นหยดน้ำ และเริ่มเกิดการเน่า เสียในบางผลของลองกอง	สภาวะทางกายภาพของลองกอง ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของ ลองกองที่สมบูรณ์ มีความชื้น เกิดขึ้นภายในเล็กน้อย	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคง มีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่ สมบูรณ์	สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคง มีสภาพเป็นข้อผลของลองกองที่ สมบูรณ์ มีหยดน้ำเกิดขึ้นภายใน	สภาวะทางกายภาพของลองกอง ยังคงมีสภาพเป็นข้อผลของลองกอง ที่สมบูรณ์

วันที่	สภาวะอับอากาศ (ชุดควบคุม)	สภาวะอับอากาศ และความชื้นสูง	สภาวะอับอากาศ ที่มีก๊าซโอโซน	สภาวะอับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิ	สภาวะอับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิและก๊าซโอโซนสูง
5	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วงจากช่อผลและมีความชื้นเกิดขึ้นจนเป็นหยดน้ำ และเกิดการเน่าเสียรวมถึงเริ่มมีราเกิดขึ้นในบางผลของลองกอง	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วงจากช่อผลและมีความชื้นเกิดขึ้นจนเป็นหยดน้ำ	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ มีหยดน้ำเกิดขึ้นภายใน สีผิวเปลือกของลองกองมีสีคล้ำขึ้น	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ ผิวเปลือกของลองกองมีสีคล้ำขึ้น
7	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วงจากช่อผลและเกิดการเน่าเสียรวมถึงเกิดราขึ้นในผลของลองกองจนเสียสภาพ	 สภาวะทางกายภาพของลองกองหลุดร่วงจากช่อผลและมีความชื้นเกิดขึ้นจนเป็นหยดน้ำ และเกิดการเน่าเสียรวมถึงเริ่มมีราเกิดขึ้นในบางผลของลองกอง	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ แต่มีราเกิดขึ้นในบางผลของลองกอง	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ มีหยดน้ำเกิดขึ้นภายใน สีผิวเปลือกของลองกองมีสีคล้ำ มากขึ้นจนเป็นสีน้ำตาล	 สภาวะทางกายภาพของลองกองยังคงมีสภาพเป็นช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ ผิวเปลือกของลองกองมีสีคล้ำขึ้น

บทที่ 5

สรุป วิจัย และข้อเสนอแนะ

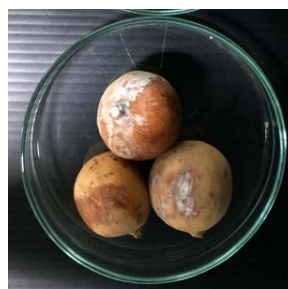
ข้อมูลสถานภาพของลองกองในจังหวัดยะลาจากการลงพื้นที่ เพื่อเก็บข้อมูลจากเกษตรกร ในพื้นที่อำเภอเมืองยะลา และอำเภอเบตง พบว่า ผลผลิตลองกอง กระจุกตัว อยู่ในช่วงเดือนกันยายน เฉลี่ย 446 กิโลกรัมต่อไร่ และมีต้นทุนการผลิต 25.26 บาท/กิโลกรัม โดยจังหวัด ยะลา มีปริมาณการส่งออกผลผลิตสูงที่สุด มีปริมาณการส่งออก 924 ตัน และมีปริมาณการขายผลผลิตในประเทศเป็นอันดับสอง รองจากจังหวัด นราธิวาส

ซึ่งผลผลิตลองกองส่วนใหญ่ มีการค้าขายผ่านพ่อค้าคนกลางโดยมีพ่อค้ามารับซื้อในพื้นที่ (เหมาสวน) และส่งขายตลาดเกษตร (มลายูบางกอก) โดยเป็นการค้าขายออกนอก พื้นที่ 80% และค้าขายในพื้นที่เพียง 20% พ่อค้าคนกลางจึงเป็นคนกำหนดราคา (ราคาตก ทั้งที่ไม่มีคู่แข่ง) จากสภาวะการแข่งขันส่งผลให้เกษตรกร รายเก่าต้องการยกเลิกการปลูกลองกอง เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่อายุเฉลี่ย 50-60 และมีเกษตรกรบางส่วน เป็นเกษตรกรที่มีฐานะ มีทุน ใช้วิธีการจ้างลูกจ้างให้อยู่ในสวน (ลูกจ้างท้องถิ่น) เพื่อดูแลตั้งแต่การตัดแต่งข้อ เพื่อให้ได้ผลที่สมบูรณ์ แต่ไม่คุ้มค่าการลงทุน ประกอบกับปัญหาด้านเชื้อโรคของลองกอง อาทิเช่น การติดราดำ หนอนขนเปลือกทำให้ยืนต้นตาย รวมถึงการขนส่งในบางพื้นที่ยังเป็นไปได้ยากเนื่องจากพื้นที่รถใหญ่เข้าไม่ถึงขนส่งด้วยมอเตอร์ไซด์ ล้วนเป็นปัจจัยด้านลบที่ส่งผลต่อสถานภาพการทำสวนลองกองในอนาคต

สำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับเชื้อโรคของลองกอง ดังแสดงในรูปที่ 20 นั้น



ผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว



ผลลองกองที่แสดงอาการของโรค

รูปที่ 20 การเกิดเชื้อโรคของลองกอง

ทางคณะผู้วิจัยได้มีการเก็บตัวอย่างเพื่อสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของการปนเปื้อนของ Total coliform bacteria *Escherichia coli* *Salmonella* spp. จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total plate count) และ จำนวนยีสต์ และราทั้งหมด (Total yeast and mold count) ซึ่งผลจากการทดลองแยกและการระบุชนิดของ จุลินทรีย์บนผิวของผลลองกอง จังหวัดยะลา ด้วยเทคนิค PCR เพื่อเป็นข้อมูลชนิดของเชื้อจุลินทรีย์จากผล ลองกอง จังหวัดยะลา พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ประเภท เชื้อราจำนวน 1 ชนิด ยีสต์ จำนวน 6 ชนิด และ แบคทีเรีย จำนวน 2 ชนิด ดังนั้นเพื่อยกระดับผลิตผลทางการเกษตรของจังหวัดยะลา ทั้งทางด้าน คุณภาพและมาตรฐาน สินค้าเกษตร ให้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพสูง (Premium Product) ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มรายได้ของ เกษตรกรในจังหวัดยะลา ทางคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนา ปรับปรุง/ดัดแปลง กระบวนการเก็บรักษาคุณภาพและ ยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลาด้วย เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการ

เก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง จังหวัดยะลา โดยเทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซนที่ คณะผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง นั้นมีค่าความเข้มข้นของโอโซนอยู่ที่ 21.66 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบการควบคุมการเน่าเสียกับกล้วยหอมทองพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ที่ได้นานกว่า 18 วัน และเมื่อนำมาทดสอบการควบคุมการการการหลุดร่วงของลองกองจาก ช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ ในสภาวะอับอากาศ (ในถุงพลาสติก) พบว่าสามารถเก็บรักษาช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ได้นานกว่า 7 วัน จากในกรณีปรกติลองกองจะหลุดร่วงจาก ช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ในระยะเวลาเพียง 3 วัน และเมื่อทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสพบว่าเก็บรักษาช่อผลของลองกองที่สมบูรณ์ได้นานกว่า 7 วัน แต่พบปัญหาสีผิวของเปลือกลองกองมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จากข้อมูลข้างต้นชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีสำหรับการนำ เทคโนโลยี/นวัตกรรม โอโซน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ลองกอง ซึ่งทางคณะผู้วิจัยคาดว่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมการเน่าเสียของลองกองให้สามารถมีอายุการเก็บรักษาไว้ที่ได้นานกว่า 14 วัน เมื่อปรับเปลี่ยนการควบคุมอุณหภูมิการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม (มากกว่า 5 องศาเซลเซียส)

บรรณานุกรม

- กวิศร์ วานิชกุล และ วันทนา บัวทรัพย์. 2541. ความเป็นไปได้ในการขยายแหล่งผลิตลองกองสู่ภาคต่างๆ ของประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา. กรุงเทพฯ.
- ทิพวรรณ เกิดศิริ, 2544. อิทธิพลของอายุ สารดูดซับเอทิลีน และสัดส่วนของ $\text{Co}_2\text{:O}_2$ ต่อพัฒนาการสุกคุณภาพ และอายุการเก็บรักษากลับหอมทอง. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา พืชสวน.
- ธวัชชัย เทพนวล. 2541. ศึกษาออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนที่อาศัยเทคนิคดีสชาร์จแบบไซเรนท (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต).สาขาฟิสิกส์.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- นภาพร เชี่ยวชาญ. (2547). การควบคุมการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในผักและผลไม้. สืบค้นเมื่อ 2 มกราคม 2564, จาก <http://www.phtnet.org/article/ViewArticle.asp?id=13>
- เนเชอรัลพูล. (2547). โอโซนนำมาใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง. สืบค้นเมื่อ 3 มกราคม 2564, จาก <http://www.naturalpool2537.com>
- พิชญศักดิ์ จันทร์กุล. 2551. ดีสชาร์จไฟฟ้าของพลาสมาโอโซนเซอร์และการประยุกต์ใช้งาน.(วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต).สาขาฟิสิกส์.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- พิชญศักดิ์ จันทร์กุล, ชัยภรณ์ แก้วอ่อน, ลัญจกร จันทร์อุดม. 2560. Plasma Ozonizer System and its Application on Extending the Shelf Life of Seafood from Pak Nakhon Bay, Nakhon Si Thammarat.วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
- ไพฑูรย์ ไทยพันธ์. 2544. การผลิตโอโซนด้วยวิธีไฟฟ้าแรงสูง และการบำบัดน้ำเสียสีย้อมสีอะครีลิก. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต).สาขาฟิสิกส์.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มันสิน ตันจุลเวศม์. 2539. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วรพรรณี เผ่าทองสุข, จำรูญศรี พุ่มเทียน และ วิไล ปาคำทอง. (2547). การศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ. สืบค้นเมื่อ 3 มกราคม 2564, จาก <http://sci.hcu.ac.th>
- วรภรณ์ กัลยาเลิศ. 2540. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สรยา รักษ์วงศ์. (2557). การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและกายวิภาคที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้อนหนาวของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว.วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สิริพร สธนเสาวภาคย์. (2544). การประยุกต์ใช้ Ozone ในอุตสาหกรรมอาหาร. Lab Today, 1(2), 69-74.
- สุรพล รักปทุม. (2543). โอโซนเพื่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.
- Cheremisinoff, N.P. and P.N. Cheremisinoff. 1993. Water Treatment and Waste Recovery Advanced Technology and Applications. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Majumdar, S.B. and O.J. Sproul. 1974. Technical and Economic Aspects of Water And Wastewater Ozonation. Wat. Res. 9: 253-260.

- Manley, T.C. and S.J. Niegowshi. 1967. Ozone. Encyclopedia of Chemical Technology Vol. 14 (1967): 410-432.
- Murphy, A.B. and Morrow, R. 2002. Glass Sphere Discharges for Ozone Production. IEEE. Transactions on Plasma Science. Vol.30, No.1. February. P.18-181.
- Weber, W.J., Jr. 1972. Physicochemical Processes For Water Quality Control. John Wiley and Sons, Inc., New York.