

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการใช้ไอโซนร่วมกับกรดอินทรีย์บางชนิดเพื่อทดแทนการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์
ไดออกไซด์ในการควบคุมโรคลำไย

โดย กานดาหวังชัย และคณะ

กันยายน 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการใช้ไอโซนร่วมกับกรดอินทรีย์บางชนิดเพื่อทดแทนการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์
ไดออกไซด์ในการควบคุมโรคลำไย

คณะผู้วิจัย สังกัด

1. กานดา หวังชัย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. จำนงค์ อุทัยบุตร ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. กอบเกียรติ แสงนิล ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนับสนุนโดยทบวงมหาวิทยาลัย และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

คำนิยม

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาที่ให้โอกาสแก่คณะผู้วิจัยที่ได้ทำการวิจัยโครงการนี้ กราบระลึกถึง ศ. ดร.สุรนนต์ สุรภัทรพันธุ์ ซึ่งอาจารย์ได้ให้คำแนะนำต่างๆในฐานะครู และนักวิจัยที่ปรึกษาก่อนที่อาจารย์จะจากไปด้วยโรคมะเร็ง

ขอขอบคุณอย่างยิ่ง ศ. ดร.สายชล เกตุษา ในฐานะที่อาจารย์ต้องทำหน้าที่ mentor แทน โดยอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในด้านการวิจัย การจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และช่วยแนะนำแก้ไข manuscript เพื่อตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการ

ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัย ผศ. ดร.จันทก อุตัญบุตร และ ผศ. ดร.กอบเกียรติ แสงนิล ที่ให้การสนับสนุน ให้คำแนะนำในการวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวกให้ใช้สถานที่ และเครื่องมือในการวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรี และปริญญาโทที่เป็นกำลังสำคัญในการทำวิจัยตลอดมา

กานดา หวังชัย

กันยายน 2548

สารบัญ

	หน้า
คำนิยม	i
สารบัญ	ii
สารบัญภาพ	iii
สารบัญตาราง	vii
หน้าสรุปโครงการ(Executive summary)	1
บทคัดย่อ	4
Abstract	5
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์	6
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	8
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	47
บทที่ 4 ผลการทดลอง	56
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย	109
เอกสารอ้างอิง	119
Output ที่ได้จากโครงการวิจัย	127
ภาคผนวก	128
- การรมเชื้อด้วยไอโซนใน fumigation chamber	
- การเตรียม suspension เชื้อรา	
- การเพาะเลี้ยงเชื้อราบนสไลด์	
- การเจียวนสีย้อม	
- Manuscript, reprint และบทความสำหรับเผยแพร่	

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์	24
2	ผลของระยะเวลาในการรมโอโซนต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนี <i>Lasiodiplodia</i> sp. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28°C นาน 30 ชั่วโมง	58
3	การเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา <i>Lasiodiplodia</i> sp. บนจานอาหาร PDA หลังจาก รมด้วยโอโซนเป็นเวลา 0 (A) 30 (B) 60 (C) และ 120 นาที (D) แล้วนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 ชั่วโมง	59
4	จำนวนโคโลนีและการเจริญเติบโตของเชื้อ <i>Cladosporium</i> sp. ภายหลังจากการรมด้วยโอโซนเป็นระยะเวลาต่างๆ	61
5	การงอกของสปอร์เชื้อ <i>Cladosporium</i> ชุดที่ไม่ได้รมด้วยโอโซน ที่ชั่วโมงที่ (A)0, (B)6, (C)12 และ (D)24	62
6	การงอกของสปอร์เชื้อ <i>Cladosporium</i> sp. ชุดที่รมด้วยโอโซนเป็นเวลา 60 นาที ที่ ชั่วโมงที่ (A)0, (B)6, (C)12 และ (D)24	63
7	ลักษณะเส้นใยเชื้อรา <i>Cladosporium</i> sp. หลังจากการรมโอโซนเป็นเวลา 60 นาที พบอาการผิดปกติของเส้นใย โดยมีอาการพองบวม (ลูกศรชี้) (B) เมื่อเทียบกับเส้นใยปกติ(A)	64
8	ลักษณะเส้นใยเชื้อรา <i>Cladosporium</i> sp. เมื่อดูด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) หลังจากการรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 120 นาที (A และ B) เทียบกับเส้นใยปกติ (C และ D)	65
9	ลักษณะสปอร์ของเชื้อ <i>Cladosporium</i> sp. หลังจากการรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 120 นาที (A) จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง (ตามลูกศรชี้) เมื่อเปรียบเทียบกับสปอร์ที่ไม่ได้ผ่านการรมด้วยโอโซน (B)	66
10	ความแน่นเนื้อของผลลำไยที่ไม่ได้รม และที่รมด้วยโอโซนที่ระยะเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	69
11	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำของผลลำไยที่ไม่ได้รม และที่รมด้วยโอโซนที่ระยะเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	70
12	การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกของผลลำไยที่ไม่ได้รมและที่รมด้วยโอโซนที่ระยะ 71 เวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	71
13	การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านในของผลลำไยที่ไม่ได้รมและที่รมด้วยโอโซนที่ระยะเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	72

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
14	เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลลำไยเมื่อรมด้วยโอโซนเป็นระยะเวลาต่างๆ หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C นาน 3 วัน (Vertical bars represent standard errors)	73
15	เปรียบเทียบการเกิดโรคและลักษณะผลลำไยที่รมด้วย SO ₂ และรมด้วยโอโซน เป็นเวลา 15 30 60 และ 120 นาที กับลำไยที่ไม่ได้รมด้วยโอโซน หลังจากเก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 6 วัน	74
16	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลลำไยที่ไม่ได้แช่และที่แช่น้ำโอโซนเป็น เวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	75
17	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลำไยที่ไม่ได้แช่และ ที่แช่น้ำโอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	76
18	การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกของผลลำไยที่ไม่ได้แช่และที่แช่น้ำโอโซน เป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	77
19	การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านในของผลลำไยที่ไม่ได้แช่และที่แช่น้ำโอโซน เป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	78
20	สีเปลือกผลลำไยหลังแช่น้ำโอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที และเก็บรักษาไว้นาน 18 วัน (A) สีเปลือกนอก และ (B) สีเปลือกใน	79
21	เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลลำไยที่ไม่ได้แช่ และที่แช่น้ำโอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที	80
22	แสดงผิวเปลือกลำไยที่ไม่ได้ผ่านการรมโอโซน จากภาพถ่าย top view (A) และ side view (B) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบเส้นใยเชื้อราปกคลุมผิวเปลือกผลจำนวนมาก	82
23	แสดงลักษณะ Epidermal hairs แบบ non gradular-trichome (ลูกศรชี้)(A)และ ลักษณะ cuticle ของผิวเปลือกลำไย (B) หลังจากผ่านการรมด้วยโอโซน เป็นเวลา 60 นาที	83
24	แสดงลักษณะ Epidermal hairs ที่ผิดปกติมีลักษณะหงิกงอ (ลูกศรชี้) (A) และ ผิวเปลือกที่พบรอยแตกเสียหายของ cuticle ของเปลือก (ลูกศรชี้) (B) หลังจากรม ด้วยโอโซนเป็นเวลา 120 นาที จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM)	84
25	แสดง Epidermal hairs ที่ผิดปกติโดยมีลักษณะลิบเล็ก (ลูกศรชี้)(A) และลักษณะ cuticleของเปลือก(B)ผลลำไยหลังจากผ่านการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM)	85

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
26	การเปลี่ยนแปลงความสว่าง (ค่า L) ของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	88
27	การเปลี่ยนแปลงความมีสีแดง (ค่า a) ของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	89
28	การเปลี่ยนแปลงความมีสีเหลือง (ค่า b) ของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	90
29	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solids) ของเนื้อผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	91
30	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	92
31	เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	93
32	การประเมินคุณภาพในการบริโภคของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C	94
33	เกณฑ์การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C นาน 3 วัน (Columns with different letters indicated significantly differences by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$))	95
34	ผลของกรดอินทรีย์บางชนิดต่อลักษณะเปลือกและสีของผลลำไยหลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 1 วัน	96
35	การเปลี่ยนแปลงความสว่างของเปลือกผลลำไยที่แช่สารละลายกรดร่วมกับกรรมโอโซน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C	100
36	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดร่วมกับโอโซนในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C	101
37	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดร่วมกับโอโซนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C	102
38	ผลของสารละลายกรดร่วมกับกรรมโอโซนต่อจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์บนผิวผลลำไยหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C	104
39	ผลของการใช้โอโซนร่วมกับสารละลายกรดต่อคุณภาพการบริโภค(a), การเกิดโรค(b) และเกณฑ์การเกิดสีน้ำตาล(c) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C นาน 3 สัปดาห์	105

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
40	การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในเปลือกผลลำไยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C นาน 3 สัปดาห์ (Columns with different letters indicated significantly differences by Duncan's multiple range test ($P_{0.05}$))	106
41	ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดร่วมกับโอโซนหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์	107
42	ผลของกรดอินทรีย์บางชนิดร่วมกับโอโซนต่อลักษณะของผลลำไยหลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์	108

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	มูลค่า และอัตราการขยายตัวของตลาดส่งออกลำไยแห้ง (สด) ของไทยปี 2542-2545	9
2	ส่วนประกอบของผลลำไยที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่ในปี พ.ศ. 2526 และ 2527	22
3	มาตรฐานลำไยของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์	23
4	ปริมาณสูงสุดของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างที่ยอมให้ตรวจพบ	33
5	แสดงข้อมูลเฉพาะของโอโซน	35
6	สาร oxidizing ชนิดต่างๆ และค่า oxidation potential	35
7	ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่มีผลทางด้านสุขภาพ	37
8	ผลของระยะเวลาในการรมโอโซนต่อการเติบโตของเชื้อ <i>Cladosporium</i> sp. หลังเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 28°C นาน 3 วัน	60
9	ความแน่นเนื้อและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลลำไยหลังจาก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์	103

หน้าสรุปโครงการ (Executive summary)

จากปัญหาการนำเข้ายางของลำไยสด และมีประเทศผู้นำเข้าลำไยบางประเทศห้ามไม่ให้ใช้สารฆ่าไฟท์ และมีแนวโน้มว่าประเทศอื่นๆ จะห้ามไม่ให้ใช้สารฆ่าไฟท์นี้ด้วย และยินยอมให้มีสารตกค้างได้เพียง 10 ppm นอกจากนี้คนไทยส่วนใหญ่เริ่มต้นตัวในการบริโภคอาหารที่ปลอดภัยต่อสุขภาพด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่นๆ ที่ปลอดภัยกว่ามาทดแทนหรือลดปริมาณการใช้ SO_2 ในผลลำไย จึงได้ดำเนินการวิจัย 3 หัวข้อใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรมโอโซนต่อเชื้อราสาเหตุของโรคและการควบคุมการนำเข้าของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว

การศึกษหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรมโอโซนต่อการเจริญของเส้นใย และการงอกของสปอร์เชื้อราสาเหตุโรคหลังเก็บเกี่ยวของผลลำไย และศึกษาผลของโอโซนต่อการควบคุมการนำเข้าของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว จากการแยกเชื้อราจากลำไยที่เกิดโรคพบเชื้อราสำคัญ 2 จินัส ได้แก่ *Lasiodiplodia* sp. และ *Cladosporium* sp. จากการทดสอบผลของโอโซนที่มีต่อการเจริญของเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. พบว่าการรมโอโซนที่เวลา 30 และ 60 นาที สามารถชะลอการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราบนจานอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญ และพบความผิดปกติของโครงสร้างของเส้นใย โดยเซลล์เกิดปุ่มปมที่ผิวและมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับลักษณะของเส้นใยก่อนการรมด้วยโอโซน เมื่อนำไปดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ส่วนผลของโอโซนที่มีต่อเชื้อรา *Cladosporium* sp. พบว่าการรมด้วยโอโซนที่เวลา 60 และ 120 นาที สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราบนจานอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เมื่อทดสอบการงอกของสปอร์ หลังจากการรมโอโซน พบว่าสปอร์สามารถงอกได้ที่ชั่วโมงที่ 24 ในขณะที่สปอร์ที่ไม่ผ่านการรมด้วยโอโซนสามารถงอกได้ที่ชั่วโมงที่ 6

เมื่อทดสอบผลของโอโซนต่อการควบคุมการนำเข้าของผลลำไยหลังเก็บเกี่ยวเปรียบเทียบวิธีการ 2 วิธีการคือ การรมด้วยก๊าซโอโซนและการแช่ในน้ำโอโซน และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 °C พบว่าการรมด้วยก๊าซโอโซน และการแช่ในน้ำโอโซน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อเมื่อเก็บรักษา 18 วัน แต่ถ้าเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ค่าความแน่นเนื้อของลำไยที่รมด้วยก๊าซโอโซนมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลำไยที่ได้รับการรมด้วยโอโซนทุกระยะเวลาของทั้ง 2 วิธีการ ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกด้านนอกของลำไยเมื่อรมด้วยก๊าซโอโซนเป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลช้ากว่าชุดควบคุม แต่การแช่ลำไยในน้ำโอโซนมีแนวโน้มทำให้สีเปลือกนอกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเร็วขึ้น ส่วนสีเปลือกในพบว่าทั้ง 2 วิธีการ ไม่มีผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ในส่วนของการเกิดโรค พบว่าการรมด้วยก๊าซโอโซนเป็นเวลา 60 นาที มีผลทำให้ลำไยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุด ทั้งการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 5 °C ดังนั้นการรม

ด้วยก๊าซโอโซนเป็นเวลา 60 นาที ช่วยลดการเน่าเสียของผลลำไยที่เกิดจากเชื้อราได้ ในขณะที่การแช่ผลลำไยในน้ำโอโซน ไม่มีผลในการชะลอการเน่าเสียได้

จากการศึกษาผิวเปลือกลำไยที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) พบว่า ผลลำไยที่ผ่านการรมโอโซนที่ระยะเวลาคือ 120 นาที ซึ่งเป็นเวลานานเกินไป พบผิวเปลือกลำไยมีรอยแตกและ cuticle ได้รับความเสียหายกระจายทั่วไป และลักษณะของ trichome มีรูปร่างผิดปกติโดยมีบางส่วนหักงอ

2. การศึกษาผลของกรดอินทรีย์บางชนิดต่อการชะลอการเกิดสีน้ำตาล

เมื่อศึกษาผลของกรดอินทรีย์บางชนิดต่อการชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย โดยแช่ผลลำไยในสารละลายกรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิก ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า เมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน ชุดที่แช่ในกรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลได้ดี โดยไม่แตกต่างกัน และสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลได้มากกว่าชุดอื่นๆ ค่าความแน่นเนื้อของลำไยและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีแนวโน้มลดลง และไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ส่วนคุณภาพการบริโภคหลังจากที่แช่สายละลายกรดอินทรีย์ทุกชนิด พบว่า ยังคงมีคุณภาพด้านการบริโภคที่ยอมรับอยู่ ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุม นอกจากนี้ในส่วนของการเกิดโรค พบว่า ทุกชุดการทดลองที่แช่กรดอินทรีย์เริ่มปรากฏเชื้อราในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาโดยจะเริ่มปรากฏเชื้อราบริเวณขั้วของผลหลังจากนั้นจะลามไปทั่วทั้งผล ซึ่งชุดที่ผ่านการแช่กรดซิตริกความเข้มข้น 10 % มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุด

3. การศึกษาผลของโอโซนร่วมกับกรดอินทรีย์บางชนิดต่อการควบคุมการเกิดโรคและชะลอการเกิดสีน้ำตาลของผลลำไย โดยแช่สารละลายกรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิก ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมารมด้วยก๊าซโอโซนเป็นระยะเวลา 60 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ดีที่สุดในการควบคุมโรค แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ชุดควบคุมมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลสูงสุด รองลงมาคือการแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกและรมด้วยโอโซน และการรมด้วยโอโซนอย่างเดียว โดยมีการเปลี่ยนแปลงของเปลือกเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนผลลำไยที่ผ่านการแช่กรดออกซาลิกแล้วรมด้วยก๊าซโอโซนสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าการแช่ด้วยกรดชนิดอื่นๆ แต่น้อยกว่าชุดที่รมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นอกจากนี้มีการแช่ผลลำไยด้วยกรดอินทรีย์ต่างๆ ตามด้วยการรมด้วยโอโซน รวมทั้งการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่า ทุกชุดการทดลอง สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยชุดที่มีการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุด รองลงมาคือชุดที่แช่กรดออกซาลิกและกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 5 % โดยสามารถควบคุมการปนเปื้อนของ

เชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้มีค่าสูงขึ้นมากตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่การรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่สามารถตรวจพบการปนเปื้อนเลย ส่วนการประเมินคุณภาพด้านการบริโภค พบว่า หลังจากแช่กรดอินทรีย์ทุกชนิดแล้วรมก๊าซโอโซน มีคุณภาพด้านการบริโภคที่ยังยอมรับอยู่ ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และ 2 และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็น 3 สัปดาห์ คุณภาพด้านการบริโภคมีแนวโน้มลดลงทุกชุดการทดลอง โดยพบเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค ในขณะที่การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่ต่ำตลอดอายุการเก็บรักษา

นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส(PPO) ในเปลือกผลลำไย พบว่า หลังจากที่น่าลำไยมาแช่กรดอินทรีย์แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที พบว่า มีแอคติวิตีของเอนไซม์ PPO ต่ำกว่าชุดควบคุม โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเทียบกับได้รับการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมีแอคติวิตีของเอนไซม์ PPO ต่ำที่สุด แต่ในชุดที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที พบว่ายังคงมีค่า PPO ต่ำกว่าชุดอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นการนำผลลำไยมาแช่ด้วยกรดออกซาลิก หรือกรดซิตริกและรมด้วยก๊าซโอโซน มีแนวโน้มที่สามารถทดแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แม้ว่าไม่สามารถทดแทนได้ทั้งหมด แต่วิธีดังกล่าวมีความปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับกับผู้บริโภค จึงควรหาวิธีการอื่นๆเพื่อใช้ร่วมกันเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เช่น การควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ภายหลังจากการรมด้วยก๊าซโอโซน เนื่องจากแม้ว่าก๊าซโอโซน จะสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่เป็นก๊าซที่สลายตัวได้ง่าย และไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปควบคุมเชื้อที่เข้าไปภายในได้เปลือกผลได้ ดังนั้นการบรรจุในภาชนะที่สามารถป้องกันการปนเปื้อนที่ดี หรือการรมด้วยโอโซนในห้องเย็นในขณะที่ใช้เก็บรักษาเพื่อควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ตลอดระยะเวลาในการส่งถึงผู้ซื้อปลายทาง

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG 4680072

ชื่อโครงการ: โครงการการใช้โอโซนร่วมกับกรดอินทรีย์บางชนิดเพื่อทดแทนการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการควบคุมโรคลำไย

ชื่อนักวิจัย: กานดา หวังชัย กอบเกียรติ แสงนิล และจำนงค์ อุทัยบุตร
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail Address: kanda@chiangmai.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 1 กรกฎาคม 2546 – 30 กันยายน 2548

การศึกษาผลของโอโซนต่อเชื้อราสาเหตุของโรคหลังการเก็บเกี่ยวของลำไย พบว่าการรมด้วยโอโซนความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลานาน 15, 30, 60 และ 120 นาที มีผลต่อการเจริญเส้นใยของเชื้อ *Lasiodiplodia* sp. และ spore suspension ของ *Cladosporium* sp. บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA โดยการรมโอโซนเป็นระยะเวลา 60 นาที สามารถชะลอการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Cladosporium* sp. ได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดความผิดปกติของเส้นใย *Lasiodiplodia* sp. และสปอร์ของ *Cladosporium* sp. ที่ได้รับโอโซน ได้รับความเสียหายโดยมีการแตกหักของสปอร์

ส่วนการแช่ผลในสารละลายกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิก ความเข้มข้น 0, 5 และ 10% W/V พบว่าชุดที่แช่ในการดองซาลิกความเข้มข้น 5 % สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับชุดที่แช่ในกรดชนิดอื่น นอกจากนี้ได้ศึกษาการใช้โอโซนร่วมกับกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิก ต่อการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว และการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยพันธุ์ “ดอ” โดยการแช่กรดที่ความเข้มข้น 5 % ก่อนการรมโอโซนความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลานาน 0 (ชุดควบคุม), 15, 30, 60 และ 120 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C และ 5°C พบว่าผลลำไยที่ผ่านการรมด้วยโอโซนร่วมกับการแช่ในการดองซาลิก หรือกรดซิตริก ให้ผลดีในการควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และแอคติวิตีของเอนไซม์ PPO และสามารถควบคุมการเกิดโรคได้ดี ดังนั้นการรมผลลำไยด้วยโอโซนร่วมกับการแช่ในการดองซาลิก หรือกรด ซิตริก สามารถเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อทดแทนการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการควบคุมการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว และการเกิดสีน้ำตาลของผลลำไย

คำหลัก : ozone, *Dimocarpus longan*, organic acids

Abstract

Project Code : MRG 4680072

Project Title : The Application of Ozone and some Organic acids for Substitution of Sulfurdioxide in Controlling Postharvest decay of Longan Fruit

Investigator : Kanda Whangchai, Kobkiat Saengnil and Jumnong Uthaibutra
Department of Biology, Faculty of Science Chiang Mai University

E-mail Address : kanda@chiangmai.ac.th

Project Period : 1 July 2003 – 30 September 2005

In order to study the effects of ozone gas treatment on postharvest diseases of longan fruits, cultures of the fungi *Lasiodiplodia* sp. and *Cladosporium* sp. cultures on potato dextrose agar (PDA) were exposed to 20 ppm of ozone. The ozone was applied directly on mycelia of *Lasiodiplodia* sp. or spore suspension of *Cladosporium* sp. for 15, 30, 60 and 120 minutes. In vitro studies showed that ozone exposure for 60 minutes significantly reduced mycelial growth of *Lasiodiplodia* sp. and completely inhibited *Cladosporium* sp. After fumigation with ozone, microscopic observation revealed the presence of abnormal mycelia of *Lasiodiplodia* sp. and spore of *Cladosporium* sp.

Longan fruits were dipped in citric acid, ascorbic acid and oxalic acid solutions at concentrations of 0, 5 and 10%w/v. Oxalic acid at 5% was more potent anti-browning agent compared with other acids. Moreover we studied the effects of ozone, in combination with citric acid, ascorbic acid and oxalic acid, on postharvest decay and pericarp browning of longan fruit cv. "Daw". Fruits were dipped in acid solution at 5 % and then exposed to ozone at a concentration of 200 ppm for 0 (control), 15, 30, 60 and 120 minutes; then stored at a 25°C. The results showed that fruits treated both ozone in combination with oxalic acid or citric acid showed a good control of browning and reduction of polyphenol oxidase (PPO) and was effective to control diseases incidence. Therefore, ozone in combination with oxalic acid or citric acid can be at least a partial alternative to sulphur dioxide fumigation as a control of postharvest decay and the browning.

Keywords : ozone, *Dimocarpus longan*, organic acids

บทนำ

ลำไยจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศ ปัจจุบันมีพื้นที่การปลูกลำไยในประเทศทั้งหมดประมาณ 600,000 ไร่ ผลผลิตลำไยสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศในปริมาณมาก ในปี 2544 ส่งออกจำนวน 102,903 ตัน มูลค่า 1974.96 ล้านบาท (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2544) และมีแนวโน้มว่าจะมีการส่งออกเพิ่มขึ้นอีก ตลาดต่างประเทศที่สำคัญได้แก่ สหราชอาณาจักร โปรตุเกส และประเทศต่างๆ ในยุโรป โดยส่งออกในรูปแบบผลสด อบแห้ง แช่แข็ง และลำไยบรรจุกระป๋อง เนื่องจากผลลำไยมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นมาก เมื่อขนส่งถึงปลายทางมักมีคุณภาพไม่ดีและอายุการวางจำหน่ายสั้น โดยมีการเสื่อมคุณภาพและเน่าเสียง่าย ประกอบกับเนื้อลำไยมีปริมาณน้ำตาลสูง จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหายของลำไยหลังเก็บเกี่ยว วิธีปฏิบัติในการส่งออกลำไยที่ยังนิยมทำกันในปัจจุบันคือ การรมผลลำไยสดด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide : SO₂) โดยก๊าซ SO₂ มีคุณสมบัติช่วยในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว และมีคุณสมบัติในการฟอกสี แต่มีข้อเสียคือทำให้เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจในผู้ที่มีการแพ้ มีรายงานการนำโอโซนไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร หรือการส่งออกผัก/ผลไม้ในต่างประเทศเพื่อควบคุมโรคได้ โดยถือว่า โอโซน (ozone:O₃) มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมี มีคุณสมบัติในการเป็นตัวออกซิไดซ์ จึงเกิดปฏิกิริยาได้ดีในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และมีการสลายตัวโดยอัตโนมัติ ทำให้มีพิษตกค้างน้อย ซึ่งปัจจุบันมีประเทศผู้นำเข้าลำไยบางประเทศห้ามไม่ให้ใช้สารซัลไฟท์ และมีแนวโน้มว่าประเทศอื่นๆ จะห้ามไม่ให้ใช้สารซัลไฟท์นี้ด้วย เช่นประเทศในแถบยุโรป ออสเตรเลีย และญี่ปุ่นยินยอมให้มีสารตกค้างได้เพียง 10 ppm ขณะที่อเมริกายินยอมให้ใช้ในองุ่น นอกจากนี้คนไทยส่วนใหญ่เริ่มต้นตัวในการบริโภคอาหารที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ ปัจจุบันจึงมีประเทศผู้นำเข้าลำไยบางประเทศห้ามไม่ให้ใช้สารซัลไฟท์ และมีแนวโน้มว่าประเทศอื่นๆ จะห้ามไม่ให้ใช้สารซัลไฟท์นี้ด้วย นอกจากนี้คนไทยส่วนใหญ่เริ่มต้นตัวในการบริโภคอาหารที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ ดังนั้นจากคุณสมบัติของโอโซนดังกล่าวจึงควรมีการศึกษาวิจัย เพื่อหากรรมวิธีใช้โอโซนที่เหมาะสมในการควบคุมโรคเน่าของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว หรือการใช้โอโซนร่วมกับสารอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคในการเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและฟอกสีผิวลำไยให้ใกล้เคียงหรือดีกว่าการรมด้วยก๊าซ SO₂ เพื่อทดแทนหรือลดปริมาณสารตกค้าง SO₂ ในผลลำไย และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยให้นานขึ้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลผลิตลำไยสด เพื่อการพัฒนาการส่งออกของลำไยให้มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่นๆ ที่ปลอดภัยกว่ามาทดแทนหรือลดปริมาณการใช้ SO₂ ในผลลำไยซึ่งปัจจุบันนักวิจัยยังไม่สามารถหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและฟอกสีผิวลำไยให้ใกล้เคียงหรือดีกว่าการรมด้วยก๊าซ SO₂ ในเชิงพาณิชย์ได้

ดังนั้นจากคุณสมบัติที่ดีของโอโซนที่ใช้ในการควบคุมโรค จึงน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการควบคุมโรคเน่าของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาลำไยสดที่ล้นตลาด และพัฒนาเพื่อเพิ่มปริมาณการส่งออกของลำไยให้มีประสิทธิภาพต่อไป

บททวนเอกสาร

ลำไยมีชื่อเรียกพื้นบ้านว่า บาลำไย ชื่อสามัญว่า Longan หรือ Longun หรือ Longyen หรือ Lumkeny ชาวจีนมักเรียกว่า “เล้งมัต” แปลเป็นไทยว่า “ตามังกร” จัดเป็นพืชในตระกูล Sapindaceae สกุล Euphoria และชนิด Longana มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Euphoria longana* Lamk. หรือ สามารถเรียกชื่อทางวิทยาศาสตร์อื่นได้คือ *Dimocarpus longan* Lour. หรือ *E. longan* Sternd หรือ *Nephelium longana* Combess. ลำไยเป็นพืชไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อน

ประวัติลำไย

ลำไยเป็นไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและกึ่งร้อนของเอเชีย ซึ่งอาจมีถิ่นกำเนิดในลังกาอินเดียน พม่า หรือจีนแต่ที่พบหลักฐานที่ปรากฏในวรรณคดีของจีน ในสมัยพระเจ้าเซ่งเตงของจีน เมื่อ 1,766 ปีก่อนคริสตกาลและจากหนังสือ RuYa ของจีน เมื่อ 110 ปีก่อนคริสตกาล ได้มีการกล่าวถึงลำไยไว้แล้ว และชาวยุโรปได้เดินทางไปยังประเทศจีน เมื่อปี พ.ศ. 1514 ก็เขียนเรื่องราวเกี่ยวกับลำไยไว้ในปี พ.ศ. 1585 แสดงว่าลำไยมีการปลูกในจีนที่มณฑลกวางตุ้ง เชนวนมีศูนย์กลางอยู่ที่มณฑลฝูเจี้ยน ลำไยได้แพร่หลายเข้าไปในประเทศอินเดีย ลังกา พม่า และประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเข้าสู่ประเทศอเมริกาในปลายพุทธศตวรรษที่ 25 ในประเทศไทยนั้น พบว่าลำไยอยู่ทั่วไปในภาคเหนือ

ลำไยมีการบริโภคกันมากและเป็นสินค้าที่มีการส่งออกในปริมาณที่สูงด้วย โดยมีการส่งออกหลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่งในปีพ.ศ. 2546 ปริมาณการส่งออกลำไยสดแช่แข็ง 82,731 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,718.29 ล้านบาท ปริมาณลำไยแห้ง 59,157 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,511.63 ล้านบาท ส่วนปริมาณลำไยบรรจุภาชนะอัดลม 13,542 ตัน คิดเป็นมูลค่า 495.70 ล้านบาท

ตาราง 1 มูลค่า และอัตราการขยายตัวของตลาดส่งออกกล้วยแห้ง (สด) ของไทยปี 2542-2545

รายการ	มูลค่า : ล้านบาท				อัตราการขยายตัว : ร้อยละ			
	2542	2543	2544	2545 (ม.ค.-เม.ย.)	2542	2543	2544	2545 (ม.ค.-เม.ย.)
1. จีน	213.4	496.2	1,126.3	226.1	449.20	132.54	126.98	67.64
2. ฮองกง	133.0	173.6	64.2	13.1	580.24	30.48	-63.01	-6.07
3. สิงคโปร์	31.0	51.2	22.5	8.8	246.81	34.91	-56.06	287.00
4. เกาหลีใต้	0.0	46.4	36.7	5.9	-	21,187,543. 38	-21.01	-78.77
5. แคเมอรูน	-	-	0.8	3.6	-	-	-	-
6. สหรัฐอเมริกา	8.4	12.8	11.9	3.0	299.38	52.29	-7.29	-22.01
7. ใต้หวัน	-	0.0	0.7	2.3	-100.00	-	32,865.48	-
8. ออสเตรเลีย	4.5	3.3	3.2	0.4	110.76	-25.68	-3.46	-68.21
9. แคนาดา	9.5	17.2	12.1	0.3	1,283.88	81.93	-30.07	-83.12
10. ฝรั่งเศส	0.9	0.9	1.1	0.3	-17.32	-1.52	14.86	30.13
รวม	400.7	801.7	1,279.4	264.0	445.72	100.05	59.59	41.71

ประโยชน์ของลำไย

เปลือกของต้นมีสีน้ำตาลอ่อนหรือเทาและมีรสฝาดใช้ต้ม เป็นยาหม้อแก้ท้องร่วง ลำต้นมีขนาดใหญ่ สูงประมาณ 30-40 ฟุต เนื้อไม้มีสีแดงและแข็งสามารถใช้ทำเครื่องใช้ประดับบ้านได้ ผลลำไยมีเปลือกสีน้ำตาลอมเขียวภายในมีเนื้อขาวอมชมพูขาวอมเหลืองแล้วแต่สายพันธุ์ เนื้อลำไยสามารถ บริโภคสด บรรจุกระป๋อง ตากแห้งสามารถทำเป็นชาชงใช้ดื่ม นอกจากนี้แล้ว ลำไยมีสรรพคุณใหญ่ๆอยู่สองประการด้วยกัน สรรพคุณประเภทแรก ได้แก่ การบำรุงหัวใจ (ในความเห็นของแพทย์จีนนั้น หัวใจมีความสำคัญครอบคลุมไปถึงสมอง อารมณ์และจิตใจด้วย) และบำรุงม้าม (ระบบย่อยอาหารและการดูดซึมทั้งหมด) เหมาะสำหรับผู้ร่างกายอ่อนแอหรือทรุดโทรม อาทิเช่นสตรีหลังคลอดบุตร สตรีที่มีประจำเดือนมาก คนไข้ที่ฟื้นฟื้นจากอาการป่วยหนัก รวมทั้งคนที่มีปัญหาเรื่องอาหารไม่ย่อย และการเบื่ออาหารด้วย สรรพคุณที่สองของลำไยได้แก่ ประโยชน์ทางด้านการบำรุงเลือด (Chemotherapy) เพื่อรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งได้ นอกจากนั้นแล้ว ยาน้ำที่รับประทานแล้วช่วยให้นอนหลับง่ายคลายความเครียดและความกังวล

คุณค่าทางอาหารของลำไย

กองวิทยาศาสตร์ กรมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ได้ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของลำไย ปรากฏผลว่า

1. ลำไยสดทั่วไป ประกอบด้วยน้ำ 81.1 % คาร์โบไฮเดรต 16.98 % โปรตีน 0.97 % ไขมัน 0.56 % กาก 0.28 % และไขมัน 0.11 % ในลำไยสด 100 กรัม จะมีค่าความร้อน 72.8 แคลอรีและมีวิตามิน 69.2 มิลลิกรัม แคลเซียม 57 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 35.17 มิลลิกรัมและธาตุเหล็ก 0.35 มิลลิกรัม

2. ลำไยแห้งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 69.06 % น้ำ 21.27 % ไขมัน 3.33 % กาก 1.50 % และไขมัน 0.171 % ในลำไยแห้ง 100 กรัม จะมีค่าความร้อน 296.1 แคลอรี แคลเซียม 32.05 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 150.5 มิลลิกรัม โซเดียม 4.78 มิลลิกรัม เหล็ก 2.85 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 1390.3 มิลลิกรัม กรดแพนโทนิค 0.72 มิลลิกรัม วิตามินบี 12 จำนวน 1.08 มิลลิกรัม

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลำไย

ลำไยเป็นพืชยืนต้น ทรงพุ่มขนาดปานกลางถึงใหญ่ ทรงพุ่มแผ่กิ่งก้านสาขาและอยู่สูงกว่าพื้นดิน ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดจะมีลำต้นตรงเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่มีความสูงประมาณ 12-15 เมตร และถ้าหากเป็นต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่งจะแตกกิ่งก้านสาขาใกล้ๆกับพื้น และถ้าไม่ได้รับการตัดแต่งในขณะที่ยังเล็ก มักแตกลำต้นเทียมหลายต้น ลำต้นของลำไยไม่ค่อยเหี่ยยตรงมักเอนหรือโค้งงอ เปลือกลำต้นขรุขระมีสีเทาปนน้ำตาลแตกเป็นสะเก็ด ทำให้กิ่งหักได้ง่ายเมื่อปะทะกับลมอย่างรุนแรง

ใบ เป็นใบรวมที่ประกอบด้วยใบย่อยอยู่บนก้านใบร่วมกัน (pinnately compound leaves) มีใบที่ปลายเป็นคู่มือมีใบย่อย 3-5 คู่ ความยาวใบ 20-30 เซนติเมตร ใบย่อยเรียงตัวสลับหรือเกือบตรงข้าม ความกว้างของใบย่อย 3-6 เซนติเมตร ยาว 7-5 เซนติเมตร รูปร่างใบ เป็นรูปรีหรือรูปหอก ไม่มีขน ส่วนปลายใบและฐานใบ ค่อนข้างป้าน ใบด้านบนมีสีเขียวเข้มกว่า ด้านล่างสาเล็กน้อย ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ใบเป็นคลื่นเล็กน้อย และเห็นเส้นแขนง (vein) แยกออกจากเส้นกลางใบชัดเจน และมีจำนวนมาก

ช่อดอก ส่วนมากจะเกิดจากตาที่ปลายยอด (terminal bud) บางครั้งอาจเกิดจากตาข้างของกิ่ง มีการแตกแขนงของช่อดอกมากมายบนก้านช่อที่ยาวถึง 30 เซนติเมตร ช่อดอกขนาดกลางจะมีดอกย่อยประมาณ 3,000 ดอก ช่อดอกแต่ละช่อประกอบด้วยดอก 3 ชนิดคือ ดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย และ ดอกสมบูรณ์เพศ ดอกมีกลีบเลี้ยงหนาแข็งจำนวน 5 กลีบมีสีเขียวปนน้ำตาล กลีบดอกสีขาวมีจำนวน 5 กลีบ ดอกมีสีขาวหรือขาวอมเหลืองมีขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6-8 มิลลิเมตร มีกลิ่นหอม

1. ดอกตัวผู้ มีขนาดเล็กที่สุด คือเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.65 ± 0.10 มิลลิเมตร มีเกสรตัวผู้ 6-8 อัน เรียงเป็นชั้นเดียวอยู่บนจานรองดอก (disc) ซึ่งมีสีน้ำตาลอ่อนและมีลักษณะอ้วนน้ำ ก้านชูเกสรตัวผู้มีขน เกสรตัวผู้มีความยาวสม่ำเสมอคือ ยาวประมาณ 3-5 มิลลิเมตร อับเรณูมี 2 หยัก และเมื่อแตกจะแตกตามยาว (longitudinal dehiscence)

2. ดอกตัวเมีย มีขนาดใหญ่ที่สุด คือเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.11 ± 0.7 มิลลิเมตร มีรังไข่ 1 อัน ที่มี 2 พู (bicarpellate) ตั้งอยู่ตรงกลางจานรองดอกเป็นแบบ superior ovary ด้านนอกของรังไข่มีขนปกคลุมอยู่ แต่ละพูจะมี 1 ช่อง (locule) เท่านั้น ที่จะเจริญเติบโตและพัฒนาเป็นผล ส่วนอีกพูหนึ่งจะค่อยๆ ฝ่อ ในบางกรณีอาจพบไข่ในพูทั้งสองเจริญจนเป็นผลได้ เกสรตัวเมียอยู่ตรงกลางระหว่างพู ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) ยาวประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ตรงปลายยอดเกสร (stigma) แยกออกเป็น 2 แฉก เห็นได้ชัดเมื่อดอกบานเต็มที่ เกสรตัวผู้มีประมาณ 8 อัน ก้านเกสรตัวผู้เป็นแบบ semi-sessile filament สั้นเพียง 1 มิลลิเมตร อับเรณูของเกสรตัวผู้จะไม่มีการแตกและไม่มียอก แต่จะค่อยๆ แห้งตายไปหลังดอกบาน

3. ดอกสมบูรณ์เพศ จะมีขนาดรองลงมาจากดอกตัวเมีย คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 10.87 ± 0.09 มิลลิเมตร เป็นดอกที่มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน รังไข่พองเป็นกระเปาะค่อนข้างกลม ขนาดเล็กกว่ารังไข่ของดอกเพศเมีย ยอดเกสรตัวเมียจะสั้นกว่าจะตรงปลายจะแยกเพียงเล็กน้อยเมื่อดอกบาน ก้านชูอับละอองของดอกสมบูรณ์เพศจะมีความยาวไม่สม่ำเสมอคือ มีความยาวอยู่ระหว่าง 1.5-3.0 มิลลิเมตร ดอกสมบูรณ์เพศสามารถติดผลได้เช่นเดียวกับดอกตัวเมีย

ผล เป็นผลสดแบบ berry ผลกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร ผิวเปลือกเรียบหรือขรุขระมีตุ่มแบนๆ ปกคลุมที่ผิวเปลือกด้านนอก เปลือกสีน้ำตาลปนเหลืองหรือปนเขียว ผลสุกมีเปลือกสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอมแดง เนื้อลำไยเป็นเนื้อเยื่อพารินไคมาที่เจริญล้อมรอบเมล็ด (outer integument) และอยู่ระหว่างเปลือกกับเมล็ด เนื้อหนาหรือบางสีขาวใสหรือขาวขุ่น มีลักษณะคล้าย

วุ้นหรือฉ่ำน้ำ มีกลิ่นหอม รสหวาน แตกต่างกันไปตามพันธุ์ แต่ละผลมีเมล็ดจำนวน 1 เมล็ด เมล็ดมีลักษณะกลมจนถึงแบน เมื่อยังไม่แก่มีสีขาวแล้วค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีดำมัน ส่วนของเมล็ดที่ติดกับขั้วผล (placenta) เป็นเนื้อเยื่อสีขาวบนเมล็ด ซึ่งมีลักษณะคล้ายตามังกร (dragon's eye) placenta นี้จะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ต่างกันไปตามพันธุ์ เมื่อผลแก่จัดถ้ายังไม่เก็บเกี่ยว placenta จะใหญ่ขึ้นเนื่องจาก placenta ดูดอาหารไปเลี้ยงเมล็ด ทำให้เนื้อไม้มีรสขาคิดลง(สำนักงานสนับสนุนกองทุนวิจัย, 2542)

นอกจากนี้ ลำไยยังสามารถแบ่งออกได้อีก 3 ลักษณะตามระยะเวลาในการติดดอกออกผลคือ

- . พันธุ์เบา ได้แก่ พันธุ์ดอ
- . พันธุ์ปานกลาง ได้แก่ พันธุ์เหว้า พันธุ์ชมพู
- . พันธุ์หนัก ได้แก่ พันธุ์อีดแดง เปี้ยวเขียว และพันธุ์พวงทอง

ชนิดของลำไย

1. ลำไยป่า (indigenous longan)

เป็นลำไยที่พบในบริเวณป่าทั่วไป ทรงพุ่มขนาดใหญ่ ผลขนาดเล็กมาก เนื้อบางเบา ใช้เป็นวัตถุดิบในการผสมพันธุ์ลำไย

2. ลำไยพื้นเมือง (common or native longan)

บางครั้งเรียกว่า “ลำไยกระดุก” พบเห็นอยู่ทั่วไปในภาคเหนือและเหลือน้อยเต็มทีเพราะไม่นิยมปลูกและไม่มีราคา มีลักษณะเป็นทรงพุ่มตั้งตรงและขนาดใหญ่มาก ลำต้นและกิ่งมีผิวเปลือกขรุขระมาก ให้ผลดกมาก ผลขนาดเล็ก เนื้อบาง เมล็ดใหญ่ คุณภาพไม่ดี ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ 13.75 % ใช้เป็นต้นตอ

3. ลำไยพันธุ์ดีหรือลำไยกระโหลก (commercial or cultivated longan)

เป็นลำไยที่นิยมปลูกกันมากเพราะมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ผลขนาดใหญ่ เนื้อหนา เมล็ดเล็ก กลุ่มพวกนี้จะเรียกอีกแบบได้อีกคือ กลุ่มลำไยอีดหรือถ้าจะเรียกแบบเมืองเหนือก็ต้องเรียกว่า พันธุ์อีด ดอ ซึ่งไม่ใช่คำหยาบคายอะไร พืชพันธุ์ใดที่เป็นพันธุ์เบาออกก่อนเขา ภาษาเหนือจะเรียกว่า พันธุ์ดอทั้งนั้น

4. ลำไยเครือหรือลำไยเถา (semi-vine longan)

เป็นลำไยที่มีทรงพุ่มมีลักษณะเป็นเถาเลื้อยคล้ายเฟื่องฟ้า ผลขนาดเล็กมาก เมล็ดโต เนื้อผลมีกลิ่นคล้ายกะมะฉัน พบทางภาคตะวันออกของประเทศไทย เช่น จังหวัดชลบุรี ใช้ปลูกเป็นไม้ประดับมากกว่ารับประทาน

พันธุ์ลำไย

พันธุ์ลำไยที่พบในปัจจุบันอาจแบ่งได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการเจริญเติบโต ลักษณะผล เนื้อเมล็ด และรสชาติ คือ

1. ลำไยเครือหรือลำไยเถา
2. ลำไยต้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1) ลำไยพันธุ์พื้นเมือง (Phuenmueang)

ลำต้น ทรงพุ่ม สูง >10 เมตร กว้าง 6 เมตร กิ่งกลมเปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวอมเหลือง ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและด้าน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้น ใบมีรูปร่างเป็นใบหอกค่อนข้างแคบ ก้านใบประกอบด้านบนสีน้ำตาลอมเขียว ส่วนด้านล่างสีเขียวอมน้ำตาล ใบย่อยสีเขียวซีดถึงเข้ม ขนาดเล็กถึงใหญ่มาก มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ดอก มีช่อขนาดปานกลาง ออกดอกคกปานกลาง ผล กลม ขนาดเล็กมากถึงใหญ่มาก ปลายผลป้านกลม ผิวเปลือกขรุขระ สีน้ำตาลอมเขียว กระละเอียดยถึงหยาบ สีเขียวมน้ำตาล ผิวเรียบ เหนียวและแข็ง เปลือกบาง เนื้อผลเนื้อมากถึงหนาปานกลาง สีขาวใส มีรสหวานและกลิ่นหอมเมล็ด กลมและแบนด้านข้าง มีขนาดใหญ่ สีน้ำตาลดำ

2.2) ลำไยกะโหลก มีอยู่หลายพันธุ์ดังนี้

2.) พันธุ์ดอ หรืออีดอ (E-daw) เป็นลำไยพันธุ์เบา คือออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น จะออกดอกในเดือนธันวาคม ผลแก่ปลายเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนกรกฎาคม ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด ราคาดีตลาดต่างประเทศนิยม เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะในดินที่อุดมสมบูรณ์และมีน้ำพอเพียง ทนแล้งและทนน้ำได้ดีปานกลาง ลำต้น ทรงพุ่ม กิ่งกลมและจะแตกออกจากลำต้นในลักษณะตัว v เปลือกลำต้นเรียบ ใบ สีของใบอ่อนสีเขียวอมเหลือง ใบแก่ด้านบนเป็นสีเขียวเข้มขอบใบเรียบ ปลายใบเรียวแหลมและบิดงอ ฐานใบเป็นลิ้น ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างกว้างมีขนาดใหญ่ แผ่นใบเป็นมัน ก้านใบประกอบด้านบนสีม่วงอมแดง และด้านล่างสีเขียว มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ผล กลมแบน กลมแป้น เบี้ยวเล็กน้อย ปลายผลป้าน ผิวเปลือกเรียบ สีน้ำตาล มีกระหรือตาห่างสีน้ำตาลเข้ม เนื้อผล หนา ค่อนข้างเหนียว สีขาวขุ่น เนื้อแน่น รสหวาน ปริมาณน้ำตาล 18 % เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง ขนาดปานกลาง สีน้ำตาลดำ ช่วงระยะเวลาออกดอก เดือนธันวาคม-เดือนมกราคม ช่วงระยะเวลาที่ผลแก่ ต้นเดือนกรกฎาคม ระยะเวลาดอกบานถึงผลแก่ 6-7 เดือน

พันธุ์ดอแบ่งตามสีของยอดอ่อนได้อีก 6 พันธุ์

1.1) อีคอดยอเขียว (E-daw Yodkhiao) หรืออีคอดยอขาว ลำต้น ทรงพุ่ม ลักษณะกิ่งกลม เปลือกลำต้นเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียว ใบย่อยยาว ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม ขอบใบเป็นคลื่น ปลายใบแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างกว้าง แผ่นใบเป็นมัน ก้านใบประกอบด้านบนและด้านล่างสีเขียวอมน้ำตาล มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ดอก ออกดอกคก ผล กลมเป็น ปลายผลป้าน ผิวเปลือกขรุขระสีเขียวอมน้ำตาล เนื้อผล สีขาวขุ่น ค่อนข้างเหนียว รสหวานและมีกลิ่นหอม เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ

1.2) อีคอดยอแดง (E-daw Yoddaeng) ลำต้น ทรงพุ่ม ลักษณะกิ่งกลม เปลือกลำต้นเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียว ใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเทา ขอบใบเรียบ แผ่นใบย่นและด้าน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างหอกกลับ ก้านใบประกอบด้านบนสีน้ำตาลอมเขียว ส่วนด้านล่างสีเขียวอมน้ำตาล ดอก ออกดอกคก ผล กลม ปลายผลป้านกลม เปลือกผิวเรียบ สีน้ำตาลอมเขียว เนื้อผล สีขาวขุ่นปนเหลือง นุ่ม หนา รสหวานและมีกลิ่นหอม เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ พันธุ์คอแบ่งตามลักษณะของก้านช่อผลได้ 2 พันธุ์

1.3) อีคอก้านอ่อน (E-daw Kaan-on) ใบ จำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดใหญ่ ผล ติดผลเป็นจำนวนมาก ก้านผลอ่อน เปลือกผลบาง ผลมีขนาดปานกลาง เนื้อผล รสหวานและมีกลิ่นหอม ปริมาณน้ำตาล 19-20 % เมล็ด ขนาดปานกลาง

1.4) อีคอก้านแข็ง (E-daw Kaankhaeng) ใบ จำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดเล็ก ผล จะออกผลเป็นกระจุก ก้านผลแข็ง เปลือกผลหนา ขนาดของผลไม่สม่ำเสมอ มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ในช่อเดียวกัน ทรงผลกลมเป็น เบี้ยวกว่าข้างเดียว ผิวสีน้ำตาล มีกระหรือตาห่าง สีน้ำตาลเข้ม เนื้อผล เนื้อแห้ง กรอบ รสหวาน เนื้อร้อนแต่ค่อนข้างเหนียว สีขาวขุ่น ปริมาณน้ำตาล 19-20 % เมล็ด ขนาดใหญ่ปานกลาง รูปร่างแบนเล็กน้อย ราคากล้าพันธุ์ ประมาณ 25 บาท (จากการตอนกิ่ง) ถ้าเป็นต้นที่เสียบยอดพันธุ์อีคอก้านแข็งประมาณ 45-50 บาท นอกจากนี้ยังมีลำไยพันธุ์อีคอกที่เกิดจากการผสมระหว่างลำไย 2 พันธุ์ จนเกิดเป็นพันธุ์ใหม่ ซึ่งมีอยู่ 2 พันธุ์

1.5) อีคอกำลาง (E-daw Khamlaang) สันนิษฐานว่า อาจเกิดจากพันธุ์คอดยอแดงผสมกับพันธุ์ดอหนองช้างคืบ (คอก้านแข็ง) ใบ จำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดใหญ่ ผล ผลอ่อนจะมีสีเขียวเข้ม ผลแก่จะมีสีน้ำตาลอมเขียว ผลจะแก่ก่อนพันธุ์ ดอหนองช้างคืบ ขนาดผลในช่อเดียวกันมีขนาดใกล้เคียงกัน หนักช่อละ 1-2 กิโลกรัม มีการสลับผลทิ้งในกรณีที่ติดผลมากเกินไป ขนาดผลมีขนาดปานกลางจนถึงใหญ่ เนื้อผล เนื้อหนาปานกลาง แห้ง มีรสหวานและกลิ่นหอม ปริมาณน้ำตาล 19-20 % เมล็ด ขนาดปานกลางถึงใหญ่

1.6) อีคอกแก้วยี่ สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากพันธุ์คอ (ก้านแข็ง) ผสมกับพันธุ์ชมพู ใบ มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง ผล ขนาดปานกลาง เปลือกหนา ผิวเปลือกเวลาแก่ไม่ค่อยเรียบ เนื้อผล เนื้อหนา เวลาแก่จัดมีสีชมพูจางๆ รสหวาน ปริมาณน้ำตาล 18-19 % เมล็ด มีขนาดปานกลาง

2.) พันธุ์ชมพูหรือสีชมพู (Chomphoo) เป็นลำไยพันธุ์กลาง การเจริญเติบโตดีพอใช้ ไม่ทนแล้ง ลำต้น ทรงพุ่มสูงโปร่ง กิ่งกลมเปราะหักง่าย เปลือกลำต้นเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวอมเหลือง ใบแก่สีเขียวเป็นมัน ใบขนาดไม่ใหญ่แต่ค่อนข้างหนา แผ่นใบเรียบ ปลายใบบิดเล็กน้อยและเรียวแหลมฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรี ก้านใบประกอบด้านบนสีแดงเข้มและด้านล่างสีเขียว ใบย่อยสีเขียวอมเหลือง ขนาดเล็กถึงใหญ่ มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลางถึงใหญ่ ออกดอกไม่ติดก เกิดดอกติดผลง่ายปานกลาง ผล การติดผลไม่สม่ำเสมอ ช่อผลยาว ผลขนาดใหญ่ปานกลางแต่ขนาดจะไม่สม่ำเสมอมีทั้งเล็กและใหญ่ปนกันใน 1 ช่อ ทรงผลค่อนข้างกลมและเบี้ยวเล็กน้อย ผิวสีน้ำตาลอมแดง มีกระดุมเล็กถึงหยาบ สีน้ำตาล ผิวเรียบถึงขรุขระ เปลือกหนา แข็งและเปราะ เนื้อผล เนื้อหนาปานกลาง นุ่มและกรอบ สีชมพูเรื่อๆเมื่อแก่จัดเนื้อ จะเป็นสีชมพูเข้ม เนื้อร้อน รสหวานและมีกลิ่นหอม น้ำน้อย ปริมาณน้ำตาล 21-28 % เมล็ด กลมและแบน สีดำ ขนาดค่อนข้างเล็ก จุกขนาดเล็กมากถึงใหญ่มาก ช่วงระยะเวลาออกดอก เดือนธันวาคม- เดือนมกราคม ช่วงระยะเวลาผลแก่ เดือนกรกฎาคม ระยะเวลาดอกบานถึงผลแก่ 8-9 เดือน

3.) พันธุ์เหั่วหรืออีเหั่ว (Haeo,E-Haeo) เป็นลำไยพันธุ์หนัก เป็นพันธุ์เจริญเติบโตดี ทนแล้งได้ดี ลำต้น ทรงพุ่มมีขนาดปานกลาง ไม่ค่อยแข็งแรง กิ่งกลม เปราะง่าย เปลือกเรียบ สีน้ำตาลอมแดงเขียว ใบ ใบขนาดปานกลาง ฐานใบเรียวด้านหนึ่ง และป้านอีกด้านหนึ่ง ปลายใบหู่ แผ่นใบเป็นคลื่นเล็กน้อย ใบแก่สีเขียวคล้ำ ก้านใบประกอบด้านบนสีแดง ด้านล่างสีเขียวอมเทา ใบย่อยสีเขียวเข้ม ขนาดเล็กถึงใหญ่มาก มีจำนวนใบย่อย 4-5 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดกลาง ออกดอกไม่ติดถึงติดผล ขนาดใหญ่หรือปานกลาง มีลักษณะกลมเบี้ยว ฐานผลนูน ผิวสีน้ำตาลเป็นกระ ผิวไม่เรียบ เปลือกหนามาก ปลายผลป้าน เนื้อผล ขาวใส หนาปานกลาง ร้อน นุ่ม รสหวานและมีกลิ่นหอม ปริมาณน้ำตาล 20-21 % เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง มีขนาดเล็ก สีดำเป็นมัน จุกขนาดเล็กมากถึงใหญ่มาก ช่วงระยะเวลาออกดอก เดือนมกราคม- เดือนกุมภาพันธ์ ช่วงระยะเวลาผลแก่ เดือนสิงหาคม ระยะเวลาดอกบานถึงผลแก่ 8-9 เดือน

4.) พันธุ์เหั่วแคะ (Haeo Khrae) ลำต้น กิ่งกลม เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวอมเหลือง ใบแก่สีเขียวเข้ม ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างเป็นใบหอกค่อนข้างแคบ ก้านใบประกอบด้านบนสีเขียวอมเทา ด้านล่างสีเขียวมน้ำตาล มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ผล กลมเป็น ปลายผลป้านกลม สีน้ำตาลปนเขียว ผิวขรุขระ เนื้อผล สีขาวนุ่น เนื้อแน่น รสหวาน เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ

5.) พันธุ์เบี้ยวเขียวหรืออีเบี้ยวเขียว (Biaokhiao, E-Biaokhiao) เป็นลำไยพันธุ์หนักเจริญเติบโตดี ทนแล้งได้ดี แต่มักอ่อนแอต่อโรคพุ่มไม้กวาด ลำต้น ทรงพุ่มปานกลาง ลำต้นไม่ค่อยแข็งแรง กิ่งเปราะง่าย ใบ ใบยาวมากและมีลักษณะคล้ายใบมะม่วง ใบอ่อนสีเขียวอมแดง ใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเทา ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบบางและด้าน ปลายใบแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรี ก้านใบประกอบด้านบนสีน้ำตาล ด้านล่างน้ำตาลอมเขียว ใบย่อยสีเขียวสด ขนาดเล็กถึงใหญ่มาก มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง เกิดดอกยาก มักออกดอกเว้นปี ผล ขนาดใหญ่กว่าทุกพันธุ์ มีการติดผลห่าง เมื่อยังเล็กผลมีสีเขียวเข้ม เมื่อแก่จะมีสีเขียวมน้ำตาล ผิวเรียบ ผลกลมแบนและเบี้ยวมาก เปลือกหนาและเหนียว เนื้อผล เนื้อหนามากสีขาวขุ่น มีน้ำน้อย แห้ง กรอบ รสหวานจัดและมีกลิ่นหอม ปริมาณน้ำตาล 22% เมล็ด ค่อนข้างเล็ก รูปร่างเบี้ยวและค่อนข้างแบน จุกขนาดเล็กมากถึงใหญ่มาก ช่วงระยะเวลาออกดอก ปลายเดือนมกราคม ช่วงระยะเวลาผลแก่ ปลายเดือนสิงหาคม-ต้นเดือนกันยายน ระยะเวลาดอกบานถึงผลแก่ 8-9 เดือน

6.) พันธุ์เบี้ยวเขียวเชียงใหม่ (Biaokhiao Chiangmai) เป็นพันธุ์ที่ทนต่อโรคพุ่มไม้กวาด ลำต้น กิ่งกลม เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวอมแดง ใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเหลือง ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างเป็นใบหอกค่อนข้างแคบ ก้านใบประกอบด้านบนสีน้ำตาลอมเขียว ด้านล่างสีเขียวมน้ำตาล มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ดอก ออกดอกปานกลาง ผล กลมแป้น ปลายผลป้านกลม เปลือกเรียบ สีน้ำตาลอมเขียว เนื้อผล สีขาวใส เนื้อแน่น รสหวานและมีกลิ่นหอม เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ

7.) พันธุ์ใบดำหรืออีดำหรือกระโหลกใบดำ (Baidam) เป็นลำไยพันธุ์กลาง ทนแล้งและน้ำได้ดี การเจริญเติบโตดีมาก ลำต้น กิ่งกลม เปลือกลำต้นเรียบ ใบ ขนาดค่อนข้างเล็ก ใบอ่อนและใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเหลือง ใบขนาดเล็กสุดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น ใบแคบและสั้น ขอบใบเป็นคลื่น แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างหอกกลับ ก้านใบประกอบด้านบนสีน้ำตาลและด้านล่างสีเขียวอมเหลือง ก้านใบขนาดใหญ่และแข็ง มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง เกิดดอกและติดผลง่าย ติดผลสม่ำเสมอ ผล ขนาดใหญ่ปานกลาง ค่อนข้างกลม แบนและเบี้ยวเล็กน้อย ผิวสีน้ำตาล ผิวขรุขระ เปลือกหนาและเหนียว ทนทานต่อการขนส่งได้ดี เนื้อผล เนื้อหนาปานกลางสีขาวครีม มีรสหวาน เนื้อแน่น น้ำมากและ เมล็ด ขนาดเล็กรูปร่างค่อนข้างยาวและแบน สีดำเป็นมัน จุกเล็ก ช่วงระยะเวลาออกดอก เดือนธันวาคม-เดือนมกราคม ช่วงระยะเวลาผลแก่ เดือนกรกฎาคม-เดือนสิงหาคม ระยะเวลาดอกบานถึงผลแก่ 7-8 เดือน

8.) พันธุ์แดงหรืออีแดงกลม (E-Daeng, Daengklome) เป็นลำไยพันธุ์กลาง การเจริญเติบโตดี ปานกลาง ไม่ทนแล้งและไม่ทนน้ำ มักยืนต้นตาย เมื่อเกิดสภาพน้ำขังหรือปีที่ให้ผลดก ลำต้น ทรง

พุ่มขนาดปานกลาง กิ่งกลม เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนและใบแก่สีเขียวอมเหลือง ขอบเรียบ แผ่นใบเรียบและด้าน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างกว้าง ก้านใบประกอบด้านบนสีเขียวอมเทาและด้านล่างสีเขียวอ่อน มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง ติดดอกและติดผลง่าย ติดผลค่อนข้างคงที่ ผล ขนาดปานกลาง ค่อนข้างสม่ำเสมอ ผิวสีน้ำตาลอมแดง ผิวเรียบเปลือกบาง ผลกลม เนื้อผล เนื้อหนาปานกลาง สีขาวครีม เนื้อเหนียว มีน้ำมากจึงมักฉ่ำ รสไม่หวานแหลม มีกลิ่นคล้ายกำมะถันอ่อนๆ ปริมาณน้ำตาล 17 % เมล็ด ขนาดใหญ่ กลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ ช่วงระยะเวลาออกดอก กลางเดือนมกราคม ช่วงระยะเวลาผลแก่ กลางเดือนกรกฎาคม- ต้นเดือนสิงหาคม ระยะเวลาดอกบานถึงผลแก่ 6-7 เดือน

9.) พันธุ์ฮีเหลืองหรือเหลือง ลำต้น เป็นทรงพุ่มค่อนข้างกลม กิ่งเปราะหักง่ายเมื่อมีผลดกมากๆ ใบ มีขนาดใหญ่ ขอบใบเรียบ ปลายแหลม ผิวเรียบ ก้านใบประกอบด้านบนสีม่วง ด้านล่างสีน้ำตาล ใบย่อยสีเขียวอมเหลือง ขนาดใหญ่มาก มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดใหญ่ ผล ติดผลหนาแน่น สม่ำเสมอ ผลค่อนข้างกลม ขนาดใหญ่ ผิวเปลือกเรียบ สีน้ำตาล หนา กระละเอียด สีเขียว เนื้อผล เนื้อหนา สีขาวอมเหลือง เมล็ด ขนาดใหญ่ กลมและแบน จุกขนาดใหญ่

10.) พันธุ์ฟางทอง (Phuangthong) การเจริญเติบโตดีมาก ทนแล้ง ลำต้น ทรงพุ่มมีขนาดปานกลาง ลำต้นไม่ค่อยแข็งแรง กิ่งเปราะง่าย ใบ ใบอ่อนและใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเหลือง ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างเป็นหอกกลับ ก้านใบประกอบด้านบนและด้านล่างสีเขียวอมเทา ใบย่อยสีเขียวอมเหลืองชนิด ขนาดใหญ่มาก มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดใหญ่และกว้าง ออกดอกไม่ดก ผล ติดผลเป็นช่อใหญ่ 2-3 กิโลกรัมต่อช่อ ขนาดผลปานกลาง ลักษณะค่อนข้างกลม และเบี้ยวเล็กน้อย ผิวสีน้ำตาล กระละเอียด สีน้ำตาล ผิวขรุขระ หนา เนื้อผล หนา แห้ง กรอบ สีขาวครีม รสหวานและมีกลิ่นหอม ปริมาณน้ำตาล 20-21 %

เมล็ัด ขนาดปานกลาง กลมและแบนด้านข้าง ช่วงระยะเวลาออกดอก เดือนธันวาคม- เดือนมกราคม ช่วงระยะเวลาผลแก่ ต้นเดือนสิงหาคม ระยะเวลาดอกบานถึงผลแก่ 6-7 เดือน

11.) พันธุ์เพชรสาร (Phetsakorn) ลำต้น กิ่งกลม เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวอมแดง ใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเหลือง ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างกว้าง ก้านใบประกอบด้านบนและด้านล่างสีเขียวน้ำตาล มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ผล กลม ปลายผลปานกลาง สีน้ำตาลปนแดง ผิวขรุขระ เนื้อผล สีขาวใส เนื้อนุ่ม น้ำมากและรสหวาน เมล็ด กลมแบน ดำเป็นมัน

12.) พันธุ์เพชรศรทวาย (Phetsakorn Thawaai) ใบ มีขนาดเล็ก เรียวแหลม ดอกและผล ผลกลม สามารถออกดอกมากกว่าหนึ่งครั้งต่อปี

13.) พันธุ์ปุมาดินโค้ง (Poomateenkhong) ปัจจุบันพันธุ์นี้ลดลงเป็นจำนวนมาก คงมีในสวนเก่าๆ ซึ่งมีเพียงบางต้นเท่านั้น ใบ ใบอ่อนสีเขียวอมเหลือง ใบแก่ด้านบนสีเขียว ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและด้าน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างคล้ายใบหอก ก้านใบประกอบด้านบนมีขนสีน้ำตาลอมเขียว ด้านล่างสีเขียวมน้ำตาล มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ผล กลมเป็น ปลายผลป้านกลม สีน้ำตาลอมแดง ผิวเรียบ ผลโต เปลือกบาง ผลมีขนาดสม่ำเสมอ เนื้อผล เนื้อแน่น สีขาวนวลอมเหลือง แห้ง รสหวานและมีกลิ่น เหม็นเขียว เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ

14.) พันธุ์บ้านโสง 60 (Baanhong 60) เกิดจากการกลายพันธุ์โดยการปลูกจากเมล็ดพันธุ์ดอกลำตัน ทรงพุ่มสูงโปร่ง ใบ มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง ผล ติดผลปานกลาง ขนาดของผลปานกลาง ผิวเปลือกขรุขระคล้ายหนาม ไม่เรียบแม้จะแก่จัด เนื้อนุ่มเนื้อหนามาก เนื้อผล แห้ง กรอบ หนา รสหวานปานกลาง ปริมาณน้ำตาล 18-19 % เมล็ด ขนาดใหญ่ ช่วงระยะเวลาออกดอก เดือนธันวาคม-เดือนมกราคม ช่วงระยะเวลาผลแก่ ปลายเดือนกรกฎาคม ระยะเวลาดอกบานถึงผลแก่ 7-8 เดือน

15.) พันธุ์น้ำผึ้ง (Namphueng) ใบ ใบอ่อนสีเขียวอมน้ำตาล ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม มีขนาดปานกลาง ขอบใบเรียบ แผ่นใบย่นและเป็นมัน ปลายใบมน ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างกว้าง ก้านใบประกอบด้านบนสีเขียวอมเทา ด้านล่างสีเขียว ใบย่อยสีเขียวถึงเขียวเข้ม ขนาดเล็กมากถึงใหญ่มาก มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดใหญ่ ออกดอกคกปานกลางถึงคก ผล รูปไข่และเบี้ยวเล็กน้อย มีขนาดเล็ก ผิวเปลือกเรียบถึงขรุขระ เหนียวและแข็ง สีน้ำตาลเหลืองแดง กระละเอียดยิ่งหยาบ สีน้ำตาลคล้ำ หนานปานกลาง ปลายผลป้านกลม เนื้อผล เนื้อหนาปานกลาง สีขาวนวล เนื้อแน่น กรอบ รสหวาน เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง ขนาดปานกลาง จุกขนาดเล็กมาก

16.) พันธุ์กระทุ่มแบน (Krathumban) ลำต้น เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวอมเหลือง ใบแก่ด้านบนสีเขียวชด ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและด้าน ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างกว้าง ก้านใบประกอบด้านบนและด้านล่างสีเขียวอมเหลือง มีจำนวนใบย่อย 5 คู่ ดอก ออกดอกคกมาก ผล กลม ในช่อเดียวกันขนาดของผลสม่ำเสมอ ปลายผลป้านกลม ผิวเรียบ สีน้ำตาลอมเหลือง เนื้อผล เนื้อแน่น สีเหลือง แห้ง มีรสหวาน เมล็ด กลมเป็น สีน้ำตาลดำ

17.) พันธุ์เถา (Thao) ลำต้น กิ่งกลม เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวปนน้ำตาล ใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเหลือง ขอบใบเป็นคลื่น แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้น ใบมีรูปร่างรี ก้านใบประกอบด้านบนสีเขียวมน้ำตาล ด้านล่างสีเขียวอมเทา ผล จำนวนผลต่อช่อ ๓-๕ ผล กลม รูปร่างปลายผลป้านกลม ผิวเรียบ สีน้ำตาลอมเขียว เนื้อผล นุ่ม สีขาวขุ่นปนเหลือง น้ำมากและรสหวานและมีกลิ่นหอม เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ

18.) พันธุ์ราภิรมย์ (Naraphirom) เป็นพันธุ์ที่ทนต่อโรคพุ่มไม้กวาด และไร ลำต้น กิ่งจะตั้งฉาก 90° กับลำต้น ใบ ใบแก่ด้านบนสีเขียวคล้ำ ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบแหลม ฐานใบเป็นลิ้น ใบมีรูปร่างรี ก้านใบ ประกอบด้านบนสีเขียวอมเทา ด้านล่างสีเขียว มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก ออกดอกคด ผล กลมแป้น ปลายผลป้านกลม ผิวเรียบ สีเขียวมน้ำตาล เนื้อผล นุ่ม น้ำมากและ สีขาวขุ่น เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง

19.) พันธุ์ใบหยก (Baiyoke) ลำต้น กิ่งกลม เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวปนแดง ใบแก่ด้านบนสีเขียว ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและด้าน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้น ใบมีรูปร่างเป็นใบหอกค่อนข้างแคบ ก้านใบประกอบด้านบนสีน้ำตาลอมเขียว ด้านล่างสีเขียวอมเทา มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก ออกดอกน้อย ผล กลม ปลายผลป้านกลม ผิวขรุขระ สีน้ำตาลอมเขียว เนื้อผล นุ่ม สีขาวขุ่น รสหวาน เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ

20.) พันธุ์ลินจี (Linjee) ใบ ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม ขอบใบเป็นคลื่น แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้น ใบมีรูปร่างรี ก้านใบประกอบด้านบนและด้านล่างสีเขียวอมเทา มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก ออกดอกคด ผล กลมแป้น ปลายผลป้านกลม ผิวเรียบ สีน้ำตาลอมเหลือง เนื้อผล นุ่ม ขาวใส น้ำมากและ รสหวานขาว

21.) พันธุ์เวียดนาม (Vietnam) ใบ ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและด้าน ปลายใบแหลม ฐานใบมน ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างแคบ ก้านใบประกอบด้านล่างสีเขียวอมเทา มีจำนวนใบย่อย 5 คู่ ดอก ออกดอกน้อย ผล กลมแป้น ปลายผลป้านกลม ผิวเรียบ สีน้ำตาลอมแดง เนื้อผล นุ่ม สีขาวขุ่นอมเหลือง น้ำมากและ รสหวานขาว เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง

22.) พันธุ์อีไว (E-wai) ลำต้น กิ่งเป็นร่องตื้นๆ 5 ร่อง เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนและใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเหลือง ขอบใบเป็นคลื่น แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้น ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างแคบ ก้านใบประกอบด้านบนสีเขียวอมแดง ด้านล่างเขียวอมเทา มีจำนวนใบย่อย

3-4 คู่ ดอก ออกดอกคดกมาก ผล กลมแป้น ปลายผลป้านกลม ผิวเรียบ สีนํ้าตาล เนื้อผล ค่อนข้างเหนียว สีขาวชุ่มอมเหลือง รสหวาน เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีดำเป็นมัน

23.) พันธุ์อีสร้อย (E-soi) ลำต้น กิ่งกลม เปลือกเรียบ ใบ ใบอ่อนสีเขียวปนแดง ใบแก่ด้านบนสีเขียวปนเทา ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรี ก้านใบประกอบด้านบนสีนํ้าตาลอมเขียว ด้านล่างสีเขียวอมนํ้าตาล มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอก ออกดอกคดก ผล กลม ปลายผลป้านกลม ผิวขรุขระ สีนํ้าตาลปนเขียว เนื้อผล นุ่ม สีขาวใส นํ้ามากและ รสหวาน เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง สีนํ้าตาลดำ

24.) พันธุ์ฮกเกี้ยน (Hokkian) ใบ ใบอ่อนสีเขียวปนเหลือง ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างแคบ ก้านใบประกอบด้านบนและด้านล่างสีเขียวอมเทา มีจำนวนใบย่อย 5 คู่ ผล กลมแป้น ปลายผลป้านกลม ผิวเรียบ สีนํ้าตาลปนเหลือง เนื้อผล นุ่ม สีขาวชุ่ม นํ้ามากและ รสหวานคาว เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง

25.) พันธุ์ไย่น ใบ ขนาดเล็ก มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง ผล ขนาดปานกลาง กลม ผิวค่อนข้างเรียบ สีนํ้าตาล เปลือกหนาปานกลาง เนื้อผล เนื้อค่อนข้างหนา เมล็ด ขนาดค่อนข้างกลม

26.) พันธุ์เปลือกเขียว (Plueakkhiao) ใบ ขนาดเล็ก ปลายใบแหลมมาก ผิวเรียบ ก้านใบด้านบนสีนํ้าตาลปนเขียว ด้านล่างสีเขียวปนนํ้าตาล ใบย่อยสีเขียวซีด ขนาดปานกลาง มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง ออกดอกคดกปานกลาง ผล ติดผลห่าง ผลกลมขนาดไม่สม่ำเสมอ ผิวเปลือกเรียบ สีนํ้าตาลอมเขียว กระละเอียด สีนํ้าตาล เนื้อผล เนื้อบาง สีขาวครีม เหนียว เมล็ด ขนาดใหญ่ กลมและแบนด้านข้าง จุกขนาดเล็กมาก

27.) พันธุ์สร้อยทอง ใบ ขนาดเล็ก ขอบใบเรียบ ปลายมน ผิวเรียบ ก้านใบด้านบนสีเขียวปนเทา ด้านล่างสีเขียว ใบย่อยสีเขียวคล้ำ ขนาดปานกลาง มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดใหญ่ ออกดอกปานกลาง ผล ผลกลมแบนขนาดใหญ่ ผิวเปลือกค่อนข้างเรียบ สีนํ้าตาลปนเหลือง เปลือกหนาปานกลาง กระละเอียด สีนํ้าตาล เนื้อผล เนื้อค่อนข้างหนา เนื้อสีเหลืองทอง กรอบ หนา เมล็ด ขนาดปานกลาง กลมและแบนด้านข้าง จุกขนาดเล็กมาก

28.) พันธุ์กระดุก (Kradook) ใบ ขนาดเล็ก ขอบใบเรียบ ปลายใบแหลม ผิวเรียบ บางถึงหนา ก้านใบด้านบนสีน้ำตาลปนเขียว ด้านล่างสีเขียวอมน้ำตาล ใบย่อยสีเขียวเข้ม ขนาดเล็กมากถึงเล็ก มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง กระจาย ออกดอกไม่คดถึงคดปานกลาง ผล ติด ผลห่าง ผลกลม มีขนาดเล็ก ผิวเรียบ สีน้ำตาลอมเขียวและแดง กระละเอียด สีน้ำตาลอมแดง เปลือกหนา เนื้อผล เนื้อบาง สีขาวอมเหลือง เมล็ด ขนาดเล็ก-ปานกลาง ทรงรี จุกขนาดเล็กมาก

29.) พันธุ์เขียวพระอินทร์ (Khiao Phra-in) ใบ ขนาดปานกลาง ขอบใบเป็นคลื่น ปลายใบแหลมมาก ผิวใบเรียบ ก้านใบด้านบนสีเขียวอมเทา ด้านล่างสีเขียว ใบย่อยสีเขียวเข้ม ขนาดปานกลาง มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลางถึงใหญ่ ออกดอกคดปานกลางถึงคด ผล ก่อนข้างกลม ขนาดปานกลาง ผิวค่อนข้างเรียบ สีน้ำตาลปนเขียว กระละเอียด สีน้ำตาล เปลือกหนา เนื้อผล สีขาวปนเขียว เหนียวและหนา รสหวาน เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง ขนาดใหญ่ จุกขนาดเล็ก

30.) พันธุ์ใบหุด (Baihode) ใบ ขนาดเล็กถึงใหญ่มาก ขอบใบเป็นคลื่นปานกลางถึงคลื่นมาก ปลายใบแหลมมาก ผิวขุ่น บางถึงหนา ก้านใบด้านบนสีม่วงปนแดง ด้านล่างสีเขียวอมม่วง มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ดอก เป็นช่อดอกขนาดปานกลาง ออกดอกคดปานกลาง ผล กลมแบนและเบี้ยวเล็กน้อย ขนาดเล็กถึงใหญ่มาก สีน้ำตาล กระละเอียด สีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบถึงขรุขระ เนื้อผล สีขาวขุ่น เหนียวถึงกรอบ หนาปานกลางถึงหนา เมล็ด กลมและแบนด้านข้าง ขนาดเล็กถึงปานกลาง จุกขนาดเล็กมากถึงเล็ก

31.) พันธุ์ฟิลิปปินส์ (Philippines) ใบ ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม แผ่นใบย่นและด้าน ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างแคบ ก้านใบประกอบด้านล่างสีเขียวอมน้ำตาล มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่

32.) พันธุ์สุขุม (Sukhum) ใบ ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบและเป็นมัน ปลายใบแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ก้านใบประกอบด้านล่างสีเขียว มีจำนวนใบย่อย 4 คู่

ลักษณะทาง morphology และ botany

ผลลำไยเมื่อโตเต็มที่มีสีดำหรือสีน้ำตาล ผลมีลักษณะกลมคล้ายรูปหัวใจ และเมื่อผลแก่เปลือกผลจะไม่แตก (indehiscent pericarp) สีเปลือกมีทั้งสีเหลืองไปจนถึงสีน้ำตาลอ่อน และมีผิวเรียบ เนื้อผลมีสีขาว (aril) มีกลิ่นคล้ายลิ้นจี่ แต่ลักษณะเนื้อผิวมีความแน่นเหนียวมากกว่า และมีน้ำน้อยกว่า ลำไยเป็นผลไม้ที่มีเมล็ดเดี่ยว และมี testa ที่เรียบ เมื่อโตเต็มที่เปลือกผลลำไยประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ชั้นนอกสุดของ epicarp มี cuticle ที่ต่อเชื่อมกัน และเป็น uniseriate epidermis มี

subepidermis เป็นเนื้อเยื่อ sclerenchyma ชั้น middle mesocarp เป็นเนื้อเยื่อ parenchyma และเนื้อเยื่อชั้น inner endocarp มีลักษณะของเซลล์ที่เล็ก และมีผนังเซลล์บาง (Jiang *et al.*, 2002)

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ลำไยเป็นผลไม้ชนิด non - climacteric หลังจากที่ทำกรเก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้วไม่มีการพัฒนาต่อเนื่องไปจนสุก (Paull and Chen, 1987) การเก็บเกี่ยวผลจึงทำเมื่อสีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง-น้ำตาล และเนื้อผลมีคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค ความแก่ของผลลำไยสามารถตรวจสอบได้จาก

1. ลักษณะทางกายภาพ เช่น น้ำหนักผล ขนาด และการเปลี่ยนสีของเปลือก การนับจำนวนวันหลังดอกบาน

2. ลักษณะทางด้านเคมี เช่น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด สัดส่วนน้ำตาลและกรด

การเก็บเกี่ยวผลลำไยในระยะเวลาที่ไม่เหมาะสม เช่น อ่อนหรือแก่เกินไปจะมีผลกระทบต่อคุณภาพ เช่น หากเก็บผลอ่อนเกินไป ลำไยจะมีรสหวานน้อย ผลโตไม่เต็มที่ ทำให้ไม่ได้น้ำหนัก ในขณะที่การเก็บเกี่ยวเมื่อแก่เกินไป ผลลำไยขึ้นหั่ว (หั่วจุกโต) ความหวานลดลง และเนื้อจะแห้ง ปกติแล้วผลลำไยที่แก่เต็มที่เปลือกด้านนอกจะเรียบ เปลือกด้านในมีเส้นคล้ายร่างแห เมล็ดสีดำ เมื่อชิมดูมีรสหวาน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในช่วง 16-22 ° Brix (พาวัน, 2543) ส่วนประกอบของผลลำไยระยะเก็บเกี่ยวมีดังนี้

ตาราง 2 ส่วนประกอบของผลลำไยที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่ในปี พ.ศ. 2526 และ 2527

ส่วนประกอบของผลลำไย	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	
	ปี พ.ศ. 2526	ปี พ.ศ. 2527
เนื้อผล (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง)	19.80 $\pm$ 0.20	16.50 $\pm$ 0.70
เปลือกผล (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง)	35.70 $\pm$ 0.60	35.60 $\pm$ 0.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (เปอร์เซ็นต์)	20.10 $\pm$ 0.10	18.30 $\pm$ 0.20
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)	184.00 $\pm$ 7.00	154.00 $\pm$ 11.00
ซูโครส (มิลลิกรัม/กรัม)	72.00 $\pm$ 15.00	29.00 $\pm$ 3.00
กลูโคส (มิลลิกรัม/กรัม)	22.00 $\pm$ 17.00	17.00 $\pm$ 1.00
ฟรุคโตส (มิลลิกรัม/กรัม)	28.00 $\pm$ 17.00	23.00 $\pm$ 1.00
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (meq.g ⁻¹)	2.30 $\pm$ 0.10	2.10 $\pm$ 0.10
pH	6.20 $\pm$ 0.10	6.40 $\pm$ 0.10
กรดซิตริก (meq.g ⁻¹)	0.13 $\pm$ 0.01	0.12 $\pm$ 0.01
กรดมาลิก (meq.g ⁻¹)	0.89 $\pm$ 0.16	0.35 $\pm$ 0.07
กรดซักซินิก (meq.g ⁻¹)	1.85 $\pm$ 0.19	1.15 $\pm$ 0.11
กรดแอสคอร์บิก (meq.g ⁻¹)	2.00 $\pm$ 0.20	1.40 $\pm$ 0.20

ปริมาณของฟีนอลทั้งหมด (mg.g ⁻¹)	0.80 ± 0.10	0.50 ± 0.10
--	-------------	-------------

ที่มา : Paull and Chen (1987)

การกำหนดเกรดลำไย

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดมาตรฐานลำไย โดยใช้เกณฑ์ของจำนวนผลต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ดังตารางที่ 3

ตาราง 3 มาตรฐานลำไยของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ขนาด	จำนวนผลต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม	
	ลำไยช่อ	ลำไยผลเดี่ยว
1	<85	<91
2	85 - 94	91 - 100
3	95 - 104	101 - 111
4	105 - 114	112 - 122
5	>115	>123

ที่มา : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2542)

สาเหตุที่ก่อให้เกิดการเน่าของผลลำไย

ชิง ชิง (2520) ได้สรุปถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของผลลำไยซึ่งมี 4 สาเหตุที่สำคัญ คือ

1. เชื้อจุลินทรีย์

เนื่องจากเนื้อผลลำไยมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูง เชื้อจุลินทรีย์จึงสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ผลจากการแยกเชื้อจุลินทรีย์จากผลลำไยที่เน่าพบว่าจุลินทรีย์ส่วนใหญ่คือ ยีสต์และแบคทีเรีย แต่เมื่อเก็บรักษาผลลำไยที่เน่าไว้ระยะเวลา 10 วัน แล้วทำการแยกเชื้อพบว่าเชื้อที่พบส่วนใหญ่เป็นเชื้อรา ได้แก่ *Lasiodiplodia* sp., *Pestalotiopsis* sp., พบรองลงมาได้แก่ *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp. นอกจากนี้ยังพบ *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Lasiodiplodia* sp., *Cephalosporium* sp., *Cladosporium* sp., *Colletotrichum* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Nigrospora* sp., *Penicillium* sp., *Pestalotiopsis* sp., *Paecilomyces* sp., *Phomopsis* sp., *Rhizopus* sp., *Rhizoctonia* sp. และ Yeasts (จริยา , 2542)

2. อายุระหว่างการเก็บรักษา

อายุของผลลำไยระหว่างการเก็บรักษามักจะสั้นกว่าผลไม้ชนิดอื่น จากการศึกษาพบว่าอายุการเก็บรักษาผลลำไยมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ กล่าวคือที่อุณหภูมิห้องลำไย 2 ใน 3 ส่วนที่เก็บไว้จะเน่าเสียภายใน 4 วันและผลลำไยทั้งหมดจะเน่าถ้าเก็บรักษาไว้นานเกิน 1 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสจะยืดเวลาการเน่าเสียได้อีก 2 วัน ลำไยประมาณ 20% จะเน่าเสียเมื่อเก็บรักษาไว้ 1 สัปดาห์และลำไยทั้งหมดที่เก็บรักษาจะเน่าภายหลังเก็บไว้นานเกินกว่า 2 สัปดาห์

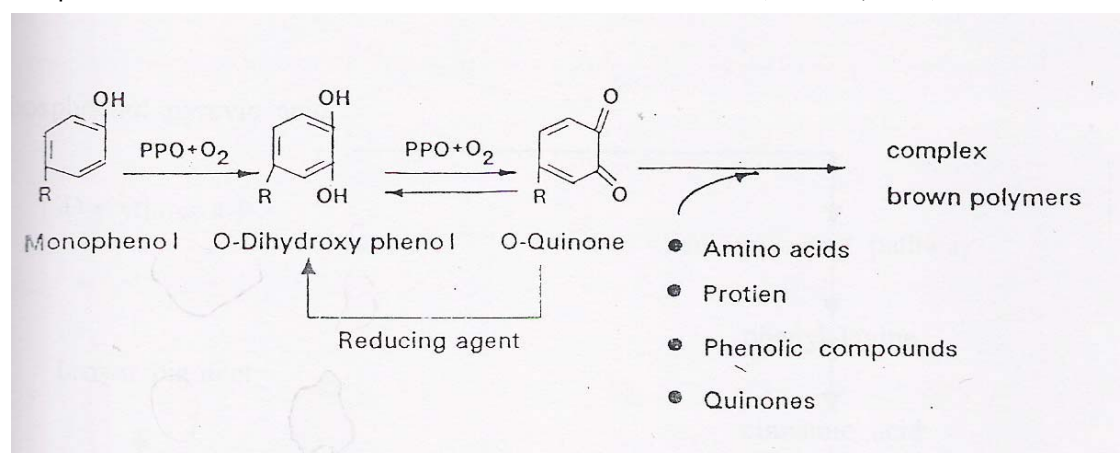
3. บาดแผลและความบอบช้ำในระหว่างเก็บรักษา

บาดแผลและรอยขีดที่ติดกับผลลำไยมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเน่าของผลลำไยสูง จากการทดลองใช้เข็มหมุดแทงทะลุเปลือกถึงเนื้อผล ผลละ 3 แห่งพบว่าประมาณ 75 % ของผลที่มีบาดแผลจะเน่าเสียภายใน 4 วันเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ผลที่ไม่ได้ทำแผลเสียหายเพียง 30 % และความบอบช้ำระหว่างการขนส่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย จากการทดลองพบว่าผลลำไยที่ใช้มือกดสร้างความบอบช้ำเน่าเสียหาย 70 % เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 11.5 °ซ เป็นเวลา 11 วัน ในขณะที่ผลที่ไม่บอบช้ำเน่าเสียหายเพียง 37 %

4. การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกเป็นสีน้ำตาล ผลลำไยมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วหลังจากทำการเก็บเกี่ยวได้ไม่กี่วัน การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำ และ/หรือ ความเครียดเนื่องจากการได้รับความร้อน การเสื่อมสภาพ การเกิดอาการสะท้านหนาวและการทำลายโดยโรคและแมลง (Jiang *et al.*, 2002 and Underhill, 1992) ซึ่ง Qu *et al.*, 2001 อ้างโดย Jiang *et al.* (2002) รายงานว่า cuticle ที่ปกคลุมส่วนของ pericarp อยู่มีความหนาแน่นมาก เนื้อเยื่อของเปลือกผลลำไยประกอบด้วยชั้นของ cork ที่ไม่มีการพัฒนา stone cell และ parenchyma cell ที่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ขนาดใหญ่ ในสภาพอุณหภูมิห้อง พบว่ามีการสลายตัวของโครงสร้างเซลล์อย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้เซลล์สูญเสียความสามารถในการกั้นเอนไซม์ เช่น PPO และ substrates

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์เป็นการเปลี่ยนสีที่เป็นผลมาจากการที่สารประกอบพวก monophenol ในสภาพที่มีออกซิเจน และเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) ถูกเติม hydroxyl groups เกิดเป็นสาร o-dihydroxyphenols ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น o-quinones (ภาพ) สารควิโนนที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาต่อไปกับสารประกอบฟีนอล กรดอะมิโนและสารอื่นๆ โดยไม่ใช่เอนไซม์ แล้วเกิดเป็นสารมีสีที่มีโครงสร้างซับซ้อน (ประสาร, 2538)



ภาพ 1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (ประสาร, 2538)

กิจกรรมของ PPO มีความสัมพันธ์กับการเกิดความเสียหายทางกายภาพของผลไม้โดยอาจเกิดจากการชักนำของอาการสะท้านหนาว (chilling injury) การได้รับอุณหภูมิสูงเกินไป การสูญเสียความชื้น การเสื่อมสภาพของผลไม้ และการเข้าทำลายของโรคและแมลง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โครงสร้างของเซลล์ได้รับความเสียหาย เมื่อโครงสร้างของเซลล์เกิดความเสียหาย เอนไซม์ที่อยู่ตรงบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์และช่องว่างภายในเซลล์ก็จะไหลมาพบกับ substrate เป็นผลให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น (Underhill, 1992) Jiang (1999) รายงานว่า PPO ในเปลือกลำไยมีการทำงานอยู่ในช่วงของ pH 4-7 และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของ PPO คือ 35°C โดย substrate ที่ PPO เข้ามาจับเพื่อทำปฏิกิริยาคือที่เปลือกของลำไย ได้แก่ 4-methylcatechol และ catechol

ลักษณะอาการเน่าเสียของลำไยและการแพร่ระบาด

ลักษณะอาการผลลำไยมีรอยแผล รอยขีด รอยแตก ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง ทำให้ผลลำไยเน่า น้ำเน่า เปลือกลำไยมีสีน้ำตาลคล้ำ มีของเหลวไหลออกมาเป็นผล มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว มีเส้นใยของเชื้อราขึ้นปกคลุม ขั้วผลเน่าเป็นสีน้ำตาล เนื้อลำไยมีสีขาวขุ่น (ธิดา, 2535) อาการของผลเน่าแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ (เสนอ, 2530) ได้แก่

1. เนื้อผลเน่า ผิวเปลือกเป็นสีดำ มีรอยแตกของเปลือกเป็นเกล็ดสีดำ มีจุดสีขาวฟูๆ บริเวณขั้วผล เนื้อผลเริ่มนิ่ม บางส่วนบวมลงไป มีกลิ่นฉุน
2. เนื้อผลเน่า ผิวเปลือกสีน้ำตาลคล้ำ บางส่วนผิวสีเหลืองคล้ำ บริเวณขั้วมีเส้นใยสีขาวปนน้ำตาลคลุมโยกกัน เนื้อผลนิ่มบางส่วนหลุดหายไป น้ำเน่ามีกลิ่นฉุน
3. เนื้อผลปกติ เปลือกมีสีน้ำตาลคล้ำ มีเส้นใยสีขาวหรือสีน้ำตาลคลุมทั่วผล บริเวณขั้วจะมีเส้นใยของเชื้อราคลุมมากกว่าผิวเปลือก ลำไยแห้ง มีกลิ่นฉุน
4. เนื้อผลและเปลือกปกติ มีเส้นใยปกคลุมบริเวณขั้วและบางส่วนของผลขาวแห้ง มีเกล็ดสีเทาดำขึ้นเป็นขี้ๆ บริเวณขั้วมีเส้นใยฟูมาก กลิ่นปกติ

เชื้อจุลินทรีย์สาเหตุก่อโรคของลำไยอาจเริ่มเจริญแฝงอยู่ตั้งแต่ในระยะเวลาที่เป็นดอกหรือผลอ่อน โดยที่ยังไม่แสดงอาการของโรค (ลักษณะของ endophytic fungi) หรือเชื้อที่ปนเปื้อนอยู่ตามเปลือกผลอาจเข้าทำลายได้ในระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งหากมีการจัดการไม่ถูกวิธีก็จะเกิดรอยแผลที่สร้างความบอบช้ำจากการขนส่ง การบรรจุหีบห่อ หรือมีแมลงเข้าทำลาย ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้เชื้อราเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น ทำให้ผลลำไยเกิดการเน่าหรือมีน้ำหวานไหลออกมาจากรอยแผลที่เปลือกและเชื้อสามารถลุกลามทำความเสียหายให้แก่ผลลำไยปกติอื่นๆ ที่บรรจุในภาชนะเดียวกัน (จริยา, 2542)

ชีววิทยาของเชื้อราก่อโรค (ธิดา, 2535 และ ศิริลักษณ์, 2542)

จากการศึกษาโรคในลำไยหลังการเก็บเกี่ยว มักมีสาเหตุมาจากเชื้อรา ซึ่งสามารถแยกเชื้อราออกมาได้ 7 ชนิด ได้แก่ *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Lasiodiplodia* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp. และ *Penicillium* sp. โดยเชื้อราที่พบมากในผลลำไยที่แสดงอาการของโรคเน่า ได้แก่ *Lasiodiplodia* sp. และ *Pestalotiopsis* sp. ที่พบรองลงมาได้แก่ *Cladosporium* sp. และ *Fusarium* sp.

Cladosporium sp.

Cladosporium sp. เป็นเชื้อราใน Division *Deuteromycotina* สร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศที่มีการแพร่กระจายสูง โดยจะสร้างโคนิเดียใหม่บนยอดโคนิเดียเดิม ก้านชูโคนิเดียมีสี่และแตกกิ่งได้ โคนิเดียสี่เหลี่ยม 1 หรือ 2 เซลล์ (รูป 2) แตกต่างกันทั้งรูปร่างและขนาด รูปไข่หรือทรงกระบอก หรือรูปร่างไม่แน่นอน บางชนิดรูปร่างแบบผลมะนาว เป็นพาราไซต์ของพืชชั้นสูง หรือเป็นแซปโตรไฟท์ สร้างสปอร์สู่อากาศ แพร่กระจายได้สูงและพบง่าย เมื่อสปอร์ตกบนใบพืช เชื้อราชนิดนี้จะเจริญอย่างรวดเร็ว และแพร่กระจายคลุมทั่วผิวพืช มองเห็นคล้ายเขม่าดำ จึงถูกเรียกว่า ราเขม่า



ลักษณะ *Cladosporium* sp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

Lasiodiplodia sp.

Lasiodiplodia sp. เส้นสี่เหลี่ยม (น้ำตาล) มีผนังกันตามขวาง โคนิดิโอฟอร์สั้น ไม่มีก้าน โคนิเดียสี่เหลี่ยมมี 2 เซลล์ เมื่อแก่มีรูปไข่หรือยาว เป็น parasitic หรือ saprophytic สร้าง pycnidia และ stromata แพร่กระจายและถ่ายทอดได้ทั้งในน้ำ อากาศ และดิน นอกจากนี้พบว่า เป็น endophyte ด้วย มักก่อโรคต่อใบพืชตระกูลแตง แครอท แรตดิช *Lasiodiplodia* บางชนิด เช่น *L. theobromae* จะผลิตสารที่ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น jasmanic acid และ mullein เป็นต้น



ลักษณะ *Lasiodiplodia* sp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

วิธีลดความเสียหายของลำไยภายหลังการเก็บเกี่ยว

การจุ่มในน้ำร้อน

กนกมณฑล (2526) จุ่มผลลำไยในน้ำร้อนอุณหภูมิ 48-52 °ซ จากนั้นบรรจุลำไยในถุง polypropylene เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ พบว่าลำไยสามารถเก็บได้นานถึง 4 สัปดาห์แต่ลำไยจะมีกลิ่นสุกด้วยความร้อนเล็กน้อย

ดาวเรือง (2530) พบว่าการจุ่มลำไยในน้ำร้อนอุณหภูมิ 52 °ซ นาน 5 นาที อาจฆ่าเชื้อ *Cladosporium* sp. ที่ผิวได้ แต่เปลือกลำไยจะเกิดสีน้ำตาลคล้ำใน 4 วัน

การจุ่มในสารป้องกันและกำจัดเชื้อรา

ดาวเรือง (2530) ทำการแช่ผลลำไยพันธุ์ดอและเหวใน benomyl ที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติก PVC นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 % พบว่าการแช่ลำไยใน benomyl ความเข้มข้น 1000 ppm มีผลชะลอการเกิดสีน้ำตาลเข้มของเปลือกและควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยทั้ง 2 พันธุ์ได้นาน 20 วัน และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโรคได้ดีกว่า แต่เปลือกลำไยจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำขึ้น

ธิดา (2535) ทดลองจุ่มผลลำไยในสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราชนิดต่างๆ พบว่า benomyl ความเข้มข้น 1,000 ppm มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดการเกิดโรคที่เกิดจากเชื้อ *Alternaria*,

Botryodiplodia และ *Fusarium* รองลงมาได้แก่สารละลายโปรคตอแรซความเข้มข้น 125 ppm และสารละลาย benomyl ความเข้มข้น 500 ppm

การควบคุมด้วยสารสกัดจากพืช

สุภัก (2542) ใช้ alcohol ความเข้มข้น 95% สกัดสารจากเปลือกและเมล็ดลำไยแล้วนำมาใช้ควบคุมโรคของผลลำไย พบว่าสารที่ได้มีแนวโน้มในการควบคุมโรคหลังเก็บเกี่ยวของผลลำไยได้ โดยสารสกัดนี้สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Cladosporium* sp., *Lasiodiplodia* sp. และ *Erwinia* sp. ได้

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

ลำไยเป็นไม้ผลกึ่งร้อนที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นมากในสภาพอุณหภูมิห้อง เนื่องจากลำไยเป็นไม้ผลชนิด non-climacteric ดังนั้นการเก็บเกี่ยวจึงกระทำเมื่อผลลำไยมีลักษณะของสีผิวและคุณภาพเหมาะต่อการบริโภค (Paull and Chen, 1987 และ Tongdee, 1993) Jiang *et al.* (2002) รายงานว่าภายใต้สภาพที่มีความชื้นต่ำเปลือกของผลลำไยมีการสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วถึงแม้ว่าส่วนของเปลือกจะมี stomata และ lenticels เพียงเล็กน้อยก็ตาม การสูญเสียความชื้นนี้เป็นผลให้เปลือกแห้งและมีสีน้ำตาล โดยทั่วไปแล้วผลลำไยสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1-5 °ซ ได้นานประมาณ 30 วัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (Tian *et al.*, 2002) Paull and Chen (1987) พบว่า การเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 4 และ 22 °ซ นาน 10 วันมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลและกรดที่ใดเทรทได้น้อยมาก กรดที่ปรากฏอยู่ในเนื้อลำไยคือกรด succinic กรด malic ในอัตราส่วน 10:5 ส่วนปริมาณวิตามินซีลดลงในระหว่างการเก็บรักษา และนอกจากนั้นในระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลน้อยมาก พูนศักดิ์และคณะ (2544) พบว่าการเก็บรักษาผลลำไยนาน 2 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °ซ ผลลำไยมีคุณภาพไม่แตกต่างกัน

Subhadrabandhu (1990) รายงานว่าการลดอุณหภูมิ โดยใช้วิธี hydrocooling หรือวิธี forced air cooling พบว่า ผลลำไยสามารถเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำได้เป็นระยะเวลานาน โดยไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลเกิดขึ้นด้วย

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2536) รายงานว่าการทำให้ผลของลำไยเย็นก่อนทำการขนส่งจะช่วยในการรักษาคุณภาพผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งถ้าลำไยได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น ความหวานจะลดลงและผลลำไยจะเน่าเสียมากขึ้นทำให้คุณภาพด้อยลง

สถาบันอาหาร (2541) รายงานว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลลำไยระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง คือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม หากที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% การเก็บที่อุณหภูมิ 2-5 °ซ จะเก็บได้ 30-45 วัน และที่อุณหภูมิ 5-10 °ซ จะเก็บได้ 20-30 วัน โดยหลังจากนำออกมาจากห้องเย็นควรรักษาอุณหภูมิให้ต่ำ (2-5°ซ) อย่างต่อเนื่อง

อรรณพและคณะ (2534) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลลำไย พบว่า ผลลำไยพันธุ์เบ๊ญจเขียวที่บรรจุอยู่ในถาด แล้วหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติก polyvinylchloride (PVC) เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ สามารถลดการเน่าเสียและรักษาคุณภาพของผลลำไยให้เก็บรักษาได้นานขึ้น ซึ่งถ้าเก็บรักษาไว้ไม่เกิน 1 สัปดาห์ ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °ซ แต่หากต้องการเก็บรักษาไว้นานกว่านี้ ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 °ซ ซึ่งสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 21 วัน

การรมด้วย acetaldehyde

วรุณรักษ์ (2539) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารอะเซทัลดีไฮด์ต่อการเน่าเสียของผลลำไย ภายหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าการรมผลลำไยด้วยสารอะเซทัลดีไฮด์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นเวลา 9 ชั่วโมง หรือการใช้ความเข้มข้นของอะเซทัลดีไฮด์ 100 % นาน 8 ชั่วโมง มีผลในการควบคุมโรคจากเชื้อราของผลลำไยพันธุ์ดอ ในขณะที่ใช้ความเข้มข้น 80 % เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือ จุ่มผลในสารละลายเข้มข้น 30 % เป็นเวลา 10 นาที มีผลในการควบคุมโรคจากเชื้อราของลำไยพันธุ์เบ๊ญจเขียวได้ และสารอะเซทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 40 % นาน 12 ชั่วโมง มีผลทำลายเส้นใยของเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp., *Fusarium* sp., *Curvularia* sp. และ *Phomopsis* sp. บนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และมีผลยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *Fusarium* sp., *Pestalotiopsis* sp. และ *Curvularia* sp. บน Slide culture ภายหลังการบ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามสำหรับการใช้อะเซทัลดีไฮด์ ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางการค้า เนื่องจากระดับความเข้มข้นที่ให้ผลในการควบคุมเชื้อรา ภายหลังการเก็บเกี่ยวมีผลกระทบต่อคุณภาพของผล คือ ทำให้สีเปลือกด้านในเข้มข้นและเนื้อผลมีสีเหลืองเข้มขึ้น รวมทั้งมีกลิ่นของสารที่ยังคงตกค้างอยู่ในเนื้อผล

การใช้วัตถุกันเสีย

กัลปพฤกษ์ (2534) ได้ทำการศึกษาการใช้สารเคมี การใช้ฟิล์มพลาสติก การลดอุณหภูมิ และการเก็บรักษาเพื่อลดการเน่าเสียและการเกิดสีน้ำตาลของผลลิ้นจี่หลายพันธุ์ พบว่าผลลิ้นจี่ที่จุ่มในสารละลายเบนโนมิล 500 มิลลิกรัม/ลิตร มีอุณหภูมิ 52 °ซ และบอเร็ท 50 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถควบคุมโรคผลเน่าได้แต่ลดการเกิดสีน้ำตาลของผิวผลได้ไม่ดี ขณะที่บอเร็ทให้ผลดี้อยกว่าในการควบคุมการเน่าเสียของผล แต่สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่า การศึกษาการใช้ฟิล์มพลาสติกพีอี (Polypropylene , PP) และพีวีซี (Polyvinylchloride , PVC) ห่อผลลิ้นจี่รวมกับการใช้สารละลายบอเร็ท 50 มิลลิกรัม/ลิตร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.5 °ซ พบว่า ผลลิ้นจี่ที่ห่อด้วยพลาสติกชนิดพีอี มีการสูญเสียน้ำหนักและการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด การเคลือบผิวลิ้นจี่ด้วยสารเคลือบผิว Sta Fresh 360 ผลปรากฏว่าสารเคลือบผิวไม่สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลและยังทำให้ผลลิ้นจี่เสื่อมสภาพได้เร็วกว่าที่ไม่ได้เคลือบผิว การจุ่มผลลิ้นจี่ใน HCl และ H₂SO₄ ที่ pH 0.6, 0.4, และ 0.2 นาน 5 10 และ

15 นาที พบว่าลื่นจี้ที่จุ่มลงใน H_2SO_4 ที่ระดับ pH 0.2 นาน 15 นาที เกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าผลลื่นจี้ที่จุ่มใน HCl และ H_2SO_4 ที่ระดับ pH และระยะเวลาอื่นๆ การศึกษาการลดอุณหภูมิโดยวิธีน้ำเย็น และห้องเย็น เพื่อให้อุณหภูมิภายในผลลดลงถึง 5 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำเย็นช่วยลดอุณหภูมิของผลลื่นจี้ได้เร็วกว่าห้องเย็น

จิราภรณ์ (2545) ได้ศึกษาผลของสารเคมีวัตถุกันเสียในอาหาร 6 ชนิด คือ โปตัสเซียมอะซิเตต โซเดียมเบนโซเอต โซเดียมโพรพิโอเนต โพรพิลพาราเบน โปตัสเซียมซอร์เบต และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ต่อการเจริญของเชื้อ *Penicillium* sp. และ *Botrydipodia* sp. เชื้อสาเหตุก่อโรคหลังการเก็บเกี่ยวของลำไยที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าสารโพรพิลพาราเบนและสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทั้งสองชนิดนี้ที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้

กัลยา (2540) ศึกษาผลของสารประกอบคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตโพแทสเซียม โซเดียม และแอมโมเนียม ต่อการเจริญของเส้นใยของเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. และ *Pestalotiopsis* sp. บนลำไยหลังการเก็บเกี่ยว พบว่ามีผลทำให้เส้นใยของเชื้อราทั้งสองชนิดหยุดการเจริญเติบโต การศึกษาผลของสารโพแทสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต แอมโมเนียมคาร์บอเนต และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 50 100 200 400 และ 800 มิลลิโมล (mM) ที่มีต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของลำไยพันธุ์ดอ พบว่า การจุ่มสารดังกล่าวทำให้ลำไยเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือกด้านนอกเป็นสีน้ำตาลเร็วขึ้น

Davidson and Juneja (1990) รายงานว่าการใช้ propionic acid และ propionate สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ยีสต์และแบคทีเรียบางชนิด ประสิทธิภาพของ propionate ขึ้นอยู่กับค่า pH ของอาหารที่ใช้ propionic acid และ propionate ความเข้มข้น 8-12 % จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผิวของชีสและเนยแข็ง กลไกการทำงานของ propionic acid คือเมื่อเข้าไปในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์แล้วจะแย่งจับกับ alanine และกรดอะมิโนอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จากการศึกษาของ Molina and Giannuzzi (1999) ที่ศึกษาถึงความเข้มข้นของ propionic acid (126, 258 และ 516 ppm) และอุณหภูมิ (25, 30 และ 36 °C) ที่มีต่อการเจริญเติบโตของ *Aspergillus parasiticus* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Sorbic acid ($CH_3-CH=CH-CH=CH-CO_2H$) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา และยีสต์ได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรีย (เวณิกา, 2538) อย่างไรก็ตาม Kabara and Eklund (1990) รายงานว่า sorbate ความเข้มข้น 0.015-0.05 % สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อ *Bacillus* sp. Davidson and Juneja (1990) กล่าวว่า Sorbic acid สามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ได้ในช่วงค่า pH ต่ำๆ เชื้อราที่ Sorbic acid สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและการทำงานได้แก่ *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Penicillium* และ *Trichoderma*

Tzatzarakis et al., (2000) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารกันเสียซึ่งได้แก่ acetic acid, acetic acid, potassium sorbate, propionic acid และ sorbic acid ที่มีต่อการเจริญของเชื้อ

Fusarium oxysporum ในแตงทอง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Fusarium oxysporum* เรียงตามลำดับ ดังนี้ sorbic acid, potassium sorbate, propionic acid, acetic acid และ formic acid

การใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้

สารเคลือบผิวผักและผลไม้ที่ใช้นั้นในปัจจุบันมักเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ เช่น จากพืชและสัตว์ แต่ในกระบวนการผลิตมักมีการเติมสารเคมีลงไปด้วย จึงอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ (दनัยและนิธิยา, 2542) สารเคลือบผิวที่บริโภคได้มีหลายชนิด เช่น โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ลิพิด สารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียว หรือใช้หลายชนิดร่วมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ (มณฑาทิพย์, 2535) ปัจจุบันการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้กำลังได้รับความสนใจ และมีการนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น (दनัยและนิธิยา, 2542) Jiang and Li (2001) ได้ศึกษาการใช้ไคโตแซนเคลือบผิวลำไย พบว่าการเคลือบผิวลำไยด้วยไคโตแซนสามารถลดอัตราการหายใจ และการสูญเสียน้ำหนักของผล ชะลอกิจกรรมของ PPO และยับยั้งการเน่าเสียของผลระหว่างการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ Zhang and Quantick (1997) พบว่าการเคลือบผิวลิ้นจี่ด้วยไคโตแซนสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด ชะลอการเพิ่มกิจกรรมของ PPO ลดการเสียน้ำหนักและยับยั้งการเพิ่มน้ำหนักของกิจกรรม POD carageenan และอนุพันธ์ของเซลลูโลส จัดเป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ในกลุ่มของโพลีแซคคาไรด์ ช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ ในช่วงอายุการเก็บรักษาสั้นๆ เช่น ผลลิ้นจี่เนื้อ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีออกซิเจนในลิพิด และองค์ประกอบอื่นในอาหารทำให้อาหารเหม็นหืน

กรรณพต (2545) ศึกษาผลของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตร่วมกับการเคลือบผิวของลำไยเพื่อควบคุมการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้ลำไยที่แช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 3 % นาน 5 นาทีมาเคลือบผิวลำไยด้วยสาร Stafresh 310 ความเข้มข้น 50, 60 และ 70 % และ Carnauba ความเข้มข้น 10 และ 15 % พบว่าลำไยที่แช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตแล้วเคลือบด้วยสารทั้ง 2 ชนิดทุกความเข้มข้นสามารถเก็บรักษาลำไยได้นาน 10 วัน และลำไยที่เคลือบด้วยสาร Stafresh 310 ความเข้มข้น 50 % เพียงอย่างเดียวสามารถเก็บได้นานถึง 12 วันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °ซ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม(แช่ในน้ำกลั่น)ที่สามารถเก็บรักษาได้เพียง 8 วัน

การจัดการลำไยหลังการเก็บเกี่ยว (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

การจัดการผลผลิตลำไย

การเก็บเกี่ยวลำไยนิยมใช้แรงงานคนไปหักข้อผลลำไยแล้วนำผลผลิตลำไยไปรวบรวมไว้ในที่ร่มได้ต้นลำไยเพื่อคัดคุณภาพและตัดแต่งข้อผล คัดเอาผลที่เล็ก สิบ แดก รวมทั้งผลที่มีโรคและแมลงทำลายออก ตัดแต่งก้านที่ไม่มีผลทิ้ง (ก้านลำไยควรมีไม่เกินร้อยละ 20 ของน้ำหนัก) เพื่อให้ได้ข้อผลที่มีลักษณะสวยงาม

การบรรจุหีบห่อ

ภาชนะที่ใช้บรรจุลำไยเพื่อนำไปจำหน่ายสดในปัจจุบันมีดังนี้

1. ตะกร้าพลาสติก ส่วนใหญ่ใช้บรรจุลำไยสดเพื่อจำหน่ายในประเทศหรือต่างประเทศ มี 2 ขนาด คือ ตะกร้าที่บรรจุลำไยขนาด 11 และ 20 กก. โดยมีใบลำไยรองพื้นและมัดตะกร้ารวมกันเฉลี่ยไม่เกิน 0.5 กก.
2. กล่องกระดาษ นิยมบรรจุลำไยสดเพื่อจำหน่ายภายในประเทศและกลุ่มประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียง เช่น สหราชอาณาจักร โปรตุเกส มาเลเซีย ฯลฯ มีขนาดบรรจุลำไยขนาด 10 และ 15 กก.
3. ข่งไผ่ ส่วนใหญ่เป็นการบรรจุเพื่อส่งจำหน่ายตลาดภายในประเทศเท่านั้น

การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ร่มผลลำไย

เพื่อป้องกันเชื้อราและยืดอายุผลผลิตลำไยให้ยาวนานเพื่อช่วยในการส่งออก ได้รายงานถึงการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับผลไม้สดทางการค้า การรมควันผลไม้สดด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้นนั้นเป็นการใช้วัตถุเจือปนอาหารที่แตกต่างไปจากวัตถุประสงค์ ชนิดอาหาร และปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้ ซึ่งผู้ใช้วัตถุเจือปนอาหารและการกรรวิธีรมควันดังกล่าว ตามกฎหมายต้องขออนุญาตจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ก่อน จึงจะดำเนินการได้ โดยทำให้เป็นหนังสืออนุญาตใช้พร้อมทั้งแจ้งรายละเอียดดังกล่าว

1. ชนิดของอาหารที่จะรมควัน
2. วัตถุประสงค์การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
3. แหล่งผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
4. รายละเอียดผังของห้องที่ใช้รมควันและผังโดยรอบของห้องรมควัน (โดยสังเขป)
5. กรรวิธีรมควันของสถานที่ผลิตนั้น
6. ปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อผลไม้สดนั้น

การยื่นขออนุญาตดังกล่าวอาจยื่นผ่านสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ในจังหวัดที่สถานที่ผลิตตั้งอยู่หรือยื่นโดยตรงที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

สำหรับเทคโนโลยีการใช้สารฟอร์ไดออกไซด์กับผลไม้สดนั้น สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการจนเป็นผลสำเร็จ และสามารถใช้กับผลลำไยและผลลิ้นจี่สดในเชิงการค้าได้ โดยมีการคำนวณอัตราการใช้สารฟอร์ไดออกไซด์กับปริมาณลำไยสดกับลิ้นจี่สดอย่างเหมาะสม พร้อมทั้งมีการใช้กระบวนการปฏิบัติที่ถูกต้อง (Good Manufacturing Practice, GMP) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตกค้างสูงเกินกว่าที่ประเทศนำเข้ากำหนด

ข้อกำหนดการใช้สารฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้สด

ข้อกำหนดปริมาณอนุญาตให้ใช้สารฟอร์ไดออกไซด์ในประเทศต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติการส่งออกผลไม้สดไปจำหน่ายในประเทศต่างๆ ดังนี้

ตาราง 4 ปริมาณสูงสุดของสารฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างที่ยอมให้ตรวจพบ

ประเทศ	ปริมาณสูงสุดของสารฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างที่ยอมให้ตรวจพบในผลไม้ (ppm)
สิงคโปร์	0 (ในเนื้อผลไม้สด)
ฮ่องกง	350*
มาเลเซีย	0
แคนาดา	0
เนเธอร์แลนด์	100* (จากต้นทางไม่เกิน 300 ppm.)
สหราชอาณาจักร	0 (อนุญาตให้ตรวจพบในองุ่นสดได้ไม่เกิน 15 ppm.)
ฝรั่งเศส	30 (ในลิ้นจี่สด)
สหรัฐอเมริกา	10 (ในองุ่นสด)

หมายเหตุ * เป็นข้อกำหนดที่พบได้ในส่วนของเปลือกผลไม้ สำหรับเนื้อผลไม้ต้องเป็นศูนย์
ที่มา : คัดแปลงจาก ชิง ชิง และ คณะ (2531)

ประโยชน์ของการใช้สารฟอร์ไดออกไซด์กับลำไยสดเพื่อการส่งออก

1. การรมควันลำไยด้วยสารฟอร์ไดออกไซด์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากในการควบคุมโรคเน่าหลังการเก็บเกี่ยวลำไย
2. การรมควันลำไยด้วยสารฟอร์ไดออกไซด์ในอัตราความเข้มข้นที่เหมาะสมจะสามารถป้องกันความเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อรา ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกได้

3. ถ้าใช้ผ่านการรมควันด้วยสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น และอายุการวางจำหน่ายนานขึ้น ดังนั้นประโยชน์ที่ได้รับคือ ช่วยให้อุตสาหกรรมการส่งออกขยายตัวมากขึ้น พร้อมทั้งมีคุณภาพเป็นที่ต้องการของตลาด

4. ลดการสูญเสียลงเมื่อถึงตลาดปลายทาง และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง คือ สามารถขนส่งทางเรือได้

ข้อพึงระวังในการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่เป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ กล่าวคือ ความเข้มข้นตั้งแต่ 8 ppm จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ความเข้มข้นตั้งแต่ 20 ppm จะทำให้เกิดระคายเคือง ลักษณะการเป็นพิษจะรุนแรงมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นดังนั้นการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงต้องระมัดระวังอย่างยิ่ง โดยเฉพาะผู้แพ้สารนี้

ผลกระทบจากการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับลำไยต่อตลาดส่งออก

เป็นเรื่องที่ทำให้การตลาดเคลื่อนไหวและเป็นปัญหายู่เสมอ จึงควรที่จะมีมาตรการในการป้องกันและแก้ไขต่อไป สาเหตุเนื่องจากมีพ่อค้าส่งออกอีกจำนวนหนึ่งประมาณ 50 เปอร์เซนต์ ยังขาดความรู้เกี่ยวกับการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับลำไยสด และมีการใช้อย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้มีปริมาณสารตกค้างเกินกว่าข้อกำหนดของประเทศผู้นำเข้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากขึ้น

โอโซน

โอโซน (ozone; O_3) เป็นก๊าซสีฟ้า ประกอบด้วยออกซิเจนจับตัวกัน 3 อะตอมในภาวะกึ่งเสถียร (meta-stable state) มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 (ตาราง 3) จุดเดือดที่ $-111.9^{\circ}C$ และจุดหลอมเหลวที่ $-192.7^{\circ}C$ (ที่ 1 atmosphere) โอโซนมีน้ำหนักประมาณ 0.135 ปอนด์/ตารางฟุต โดยคุณสมบัติของโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง โดยเมื่อสัมผัสสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว โดยปฏิกิริยาสูงถึง 2.07 mVolt (oxidation potential) เปรียบเทียบกับการใช้สารประกอบคลอรีนต่างๆ (ตาราง 4) ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้สาร โอโซนคือ การห้ามสัมผัสโอโซนความเข้มข้น 0.1 ppm เป็นเวลาติดต่อกัน 8 ชั่วโมง หรือความเข้มข้น 0.3 ppm เป็นเวลานาน 15 นาที ซึ่งอาจทำให้เกิดการระคายเคืองตาและที่ลำคอได้

ตาราง 5 แสดงข้อมูลเฉพาะของโอโซน

Section	Detail	
1. Product Identification	Product Name	OZONE
	Synonyms	Activated Oxygen, Triatomic Oxygen
	Chemical Family	Oxidizer
	Molecular Formula	O ₃
	Molecular Weight	48
2. Hazardous Ingredients	Component	Ozone Gas
	Concentration	0-4% by Weight
3. Health Hazard Data	Permissible Exposure	0.1 ppm. (in air)
	Symptoms	Irritation for sensitive tissues as eyes, nose and throat. Pungent smell, notice at 0.04 ppm. High concentration of OZONE destroyed lung.
	Toxicology Property	High concentration of OZONE Endanger Human respiratory organs. Effect on chromosomes structure. Destroyed the exposed tissue.

ตาราง 6 สาร oxidizing ชนิดต่างๆ และค่า oxidation potential

Oxidizing agents	Oxidation potential (mV)
Fluorine	3.06
Ozone	2.07
Permanganate	1.67
Chlorine dioxide	1.50
Hypochlorous acid	1.49
Chlorine gas	1.36

หลักการผลิตโอโซน

การผลิตโอโซนใช้หลักของพลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ที่เรียกทั่วไป คือ โอโซนเนเตอร์ (Ozonator) ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถผลิตและควบคุมระดับของก๊าซโอโซนได้ หลักการทั่วไปคือ อะตอมของออกซิเจนจะได้รับการถ่ายพลังงานจนทำให้เกิดเป็นโมเลกุลที่เร่งสภาพหรือมีพลังงานสูง และในที่สุดก็เกิดการรวมเป็นโมเลกุลของโอโซน ทฤษฎีของการทำ corona discharge หรือการเร่งประจุไฟฟ้าให้ออกมาเป็นกลุ่มก้อนหรือเป็นประกายในบรรยากาศ จะเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา และเร่งปฏิกิริยาของก๊าซออกซิเจน ดังนั้น ทฤษฎีของโคโรนาจึงใช้เป็นบรรทัดฐานในการผลิตอุปกรณ์โอโซน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการผลิตโดยใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) เพราะแสงอัลตราไวโอเลตไม่สามารถควบคุมปริมาณละเอียดได้ และจะมีการผลิตได้ในระดับความเข้มข้นต่ำ

ด้วยคุณสมบัติในการเป็นตัวออกซิไดซ์ โอโซนจึงมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคที่เหนือกว่าสารเคมีจำพวกคลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลายประเทศในยุโรปได้มีการเลือกใช้ก๊าซโอโซนแทนสารเคมีดังกล่าว ในต่างประเทศได้มีการค้นคว้าหาสารเคมีที่จะนำมาเป็นตัวฆ่าเชื้อโรคในผัก และผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้น ในบางผลิตภัณฑ์หรือในบางขั้นตอนของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ได้มีการนำเอาโอโซนมาใช้ฆ่าเชื้อโรคเพื่อทำน้ำบริสุทธิ์ สำหรับใช้ล้างผลผลิตทั้งที่ปอกเปลือกและยังไม่ได้ปอกเปลือก หรืออาจใช้ฆ่าเชื้อโรคในห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษาผลิตผล ซึ่งได้รับการรับรองว่าปลอดภัยว่าเป็นสารจำพวก Generally Recognized As Safe (GRAS) ในการผลิตน้ำดื่มจะใช้โอโซนเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอัตรา 0.5-2.0 ppm โอโซนส่วนใหญ่ละลายในน้ำ ทั้งนี้โอโซนเป็นก๊าซที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน และเป็นอันตรายต่อมนุษย์หากได้รับเกินกว่า 4 ppm (ตาราง) มนุษย์สามารถได้กลิ่นในช่วงความเข้มข้น 0.01-0.04 ppm สมาคมนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยญี่ปุ่นได้กำหนดระดับสูงสุดของก๊าซโอโซนไว้ 0.1 ppm สำหรับการทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่งมาตรฐานนี้เท่ากับมาตรฐานที่สมาคม American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIS) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดไว้ นอกจากนั้นยังได้มีมาตรฐานช่วงระยะเวลาสั้นๆ คือ อนุญาตให้สัมผัสได้ 0.3 ppm ในช่วงระยะเวลา 15 นาที

ตาราง 7 ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่มีผลทางด้านสุขภาพ

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

โอโซนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าคลอรีนถึง 52% ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และสิ่งมีชีวิตที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้อย่างดี โอโซนมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียเร็วกว่าคลอรีนถึง 5,000 เท่า ในเวลาเพียงไม่กี่วินาทีโอโซนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันฆ่าเชื้อโรค โดยปราศจากสารตกค้างพวกฮาโลเจนที่มีผลต่อการปนเปื้อนในน้ำสะอาด คลอรีนซึ่งนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะมีผลทำให้เกิดสารตกค้างซึ่งเรียกว่า ไตรฮาโลมีเทน (THM) ซึ่งสาร THM นี้เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้

การนำก๊าซโอโซนไปใช้ประโยชน์

1. การควบคุมสาหร่าย

ในช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงของอากาศตามฤดูกาล การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการปนเปื้อนของสารอาหารในน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสม ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่าย และโอโซนจะช่วยยับยั้งระบบการเผาผลาญอาหารของสาหร่ายหลายชนิด โดยทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับส่วนประกอบของสารอินทรีย์นั้นๆ

2. การควบคุมกลิ่นและรสชาติ

โดยปกติส่วนประกอบของรสและกลิ่นเป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติ แม้ว่าจะมีการปะปนของสารอินทรีย์บางตัวเป็นพวกซัลไฟด์ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นอย่างรุนแรง สารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ก่อให้เกิดรสชาติไม่สามารถจะรับได้เช่นเดียวกับกลิ่นซึ่งเกิดจากการสะสมจากการเน่าเปื่อยของบรรดาพืชผักในธรรมชาติ

3. ปฏิกริยาออกซิเดชันที่มีต่อธาตุเหล็กที่ละลายได้ และแมงกานีส

ธาตุเหล็กจะถูกทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วโดยไอโชนในสภาพความเป็นด่างปกติจนกลายเป็นประจุธาตุเหล็ก ซึ่งจะรวมตัวและตกตะกอนได้เช่นเดียวกัน สารแมงกานีสจะถูกออกซิไดซ์เป็น manganese ions ซึ่งทำให้สามารถแตกตัวเป็นสารแมงกานีสไดออกไซด์ และมีผลในการทำให้เกิดการตกตะกอนและสามารถกรองได้ง่าย

4. การจัดการแขวนลอย

ตะกอนต่างๆ เกิดขึ้นจากการรวมตัวของสารแขวนลอยที่มีอนุภาคเล็กและมีพื้นที่ผิวมาก ตะกอนเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าจำนวนมาก และด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการสะสมของปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อตะกอนเหล่านี้ผ่านขั้นตอนในการกรองจึงไม่สามารถกักเก็บไว้ได้

ก๊าซไอโชนสามารถเปลี่ยนประจุพื้นผิวและช่วยให้สารแขวนลอยและตะกอนรวมตัวได้ดีกว่า และสามารถกรองทิ้งได้ง่าย เช่น เมื่อมีประจุของธาตุเหล็กเกิดขึ้น ไอโชนจะทำหน้าที่ออกซิไดซ์ให้กลับเป็นธาตุเหล็กดั้งเดิม

5. การขจัดกลิ่นและอากาศเสีย

โมเลกุลของไอโชนค่อนข้างมีความไวสูง ทำให้มีความสามารถในการทำความสะอาดได้เป็นอย่างดีประมาณ 99% ของอากาศเสีย (กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ก๊าซต่างๆ) เกิดขึ้นจากโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัว โมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวนี้มีความต้องการที่จะจับโมเลกุล หรืออะตอม หรือประจุไฟฟ้าเพื่อให้อิ่มตัว เช่นเดียวกับโมเลกุลไอโชนซึ่งมีความไวสูง

6. ช่วยทำลาย หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

โดยการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไอโชนเกิดขึ้นได้สองลักษณะ อย่างแรกคือ โมเลกุลของไอโชนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Hunt and Marinas, 1999) และอีกลักษณะคือ อนุมูลตัวกลางอิสระ (free radical-mediated) เป็นตัวเข้าทำลาย การเข้าทำลายของไอโชนมีผลต่อเซลล์เมมเบรน ไซโตพลาสซึม โปรตีน และชั้นของไขมันในเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนในเซลล์จับตัวกันเป็นก้อน เซลล์แตก บางครั้งพบว่าไอโชนจะเข้าทำลายระบบหายใจ (respiratory system) ของเซลล์ ตลอดจนทำลายเอ็นไซม์ที่สำคัญในการดำรงชีพของเซลล์ และในบางกรณีไอโชนจะทำลาย DNA และ RNA ของเซลล์จุลินทรีย์ด้วย (สิริพร, 2543)

ไอโชนสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ (Restaino *et al.*, 1995) รวมทั้งฆ่าสปอร์ของแบคทีเรียได้ด้วย ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของไอโชนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอโชน ระยะเวลาที่สัมผัสกับเชื้อแบคทีเรีย และสภาพ pH ที่

เป็นกรดของ medium จะช่วยให้โอโซนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีขึ้น สำหรับเชื้อยีสต์จะ sensitive กับ โอโซนมากกว่าเชื้อรา (สิริพร, 2543)

โอโซนได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำไปใช้เพื่อช่วยลดความเป็นพิษของ สารอินทรีย์ ลดค่า BOD (Biological Oxygen Demand) และ COD (Biological Oxygen Demand) ใน สภาพแวดล้อม โอโซนสามารถเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ไปเป็นสารที่ย่อย สลายได้โดยธรรมชาติ โมเลกุลของโอโซนจะแตกตัวเป็นออกซิเจนได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นการใช้ โอโซนจะช่วยลดการสะสมของอินทรีย์สารในสภาพแวดล้อมได้ การที่โอโซนมีสภาพเป็นสารออก ซิไดซ์สูง และมีการสลายตัวโดยอัตโนมัติทำให้โอโซนเป็นสารกำจัดเชื้อได้อย่างปลอดภัยในอาหาร โดยคุณภาพของอาหารนั้นยังคงสภาพอยู่ จึงมีการนำโอโซนไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลาย ประเภท เช่น อุตสาหกรรมนม เนื้อ เกลาติน และอัลบูมิน ตลอดจนโรงงานผลิตไวน์ เหล้า เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2525 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (USFDA) รับรอง ว่าโอโซนเป็นสารที่ใช้ได้อย่างปลอดภัย (GRAS; Generally Recognized as Safe) (สิริพร, 2543) นอกจากนี้ยังมีการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม การประยุกต์ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย หรือการใช้โอโซนลดแอมโมเนียและฆ่าเชื้อ *Vibrio harveyi* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง (Matsumura *et al.*, 1998; Whangchai, 2001) ซึ่งพบว่าการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับเวลา และความเข้มข้นของโอโซน (Hunt and Marinas, 1999)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโอโซนในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยว

ธนัชชัย (2544) รายงานว่าผลของลำไยที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 100 มก./ ชม. เป็นเวลา 90 นาที เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 °ซ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยได้ แต่ยังไม่เพียงพอต่อการฟอกสีผล

สิริริยา (2545) รายงานว่าผลของลำไยที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 100 มก./ ชม. เป็นเวลา 30 นาที เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 °ซ สามารถเก็บรักษาผลลำไยได้นานที่สุด โดยสามารถ เก็บรักษาได้ 24 วัน

ธนัชชัย และ อรุณทิพย์ (2545) รายงานว่าการให้โอโซนแก่ผลลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิในอัตรา 100 มก./ชม. นาน 30, 40 และ 60 นาที ก่อนการเก็บรักษาที่ 10 °ซ พบว่าโอโซนสามารถการเน่าเสีย ได้ นาน 24 วัน ภายหลังการเก็บรักษา โดยใช้โอโซนไม่มีผลต่อ การสูญเสียน้ำหนักสดและแห้งของ ผล ความแน่นเนื้อ ปริมาณ TSS และ TA ปริมาณแอนโทไซยานิน และการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก ผล การใช้โอโซนอัตรา 100 มก/ชม นาน 10 นาที ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อัตรา 0.05, 0.1 และ 1.0% โดยปริมาตร สามารถควบคุมการเน่าเสียของผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ 10 °ซ ได้ ดีขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดและแห้ง ความแน่นเนื้อ ปริมาณ

TSS และ TA แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีผลในการปริมาณแอนโทไซยานิน และการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผล

ฉันทวรรณ และคณะ (2545) ศึกษาการล้างถ่วงออกเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธีน้ำโอโซนที่ไหลผ่าน อัตรา 3 ลิตร/นาที่ นาน 10 นาที ซ้ำ 2 ครั้ง แล้วสะเด็ดน้ำด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็ว 800 รอบ/นาที่ นาน 3 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ถึง $0.7 - 1.0 \log \text{CFU/g}$ และลดแบคทีเรียโคลิฟอร์ม ได้ $1.0 - 2.0 \log \text{CFU/g}$ ขณะที่การล้างด้วยน้ำประปา ลดได้เพียง $0.6 - 0.7 \log \text{CFU/g}$ และ $0.1 - 0.8 \log \text{CFU/g}$ ตามลำดับ

Sarig *et al.* (1996) รายงานการศึกษาในองุ่นพบว่าโอโซนสามารถใช้ทดแทนการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้ความเข้มข้น 8 mg/min เป็นเวลา 20 นาที ช่วยลดการเกิดโรคบนผิวของผล ซึ่งโอโซนกระตุ้นให้มีการสร้าง phytoalexins, resveratrol และ pterostilbene ทำให้ผลอ่อนต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อได้

Perez *et al.* (1999) รายงานว่าให้โอโซน 0.35 ppm กับผล strawberry ก่อนนำไปเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 2°C ช่วยลดการเน่าเสีย แต่ทำให้กลิ่นลดลง 40%

Liew and Prange (1994) พบว่าโอโซนสามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ประมาณ 50% ในหัวแครอทที่เก็บรักษาไว้

Palou *et al.* (2002) รายงานว่าการใช้โอโซนความเข้มข้น 0.3 ppm (v/v) อย่างต่อเนื่องช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Monilinia fructicola*, *Botrytis cinerera*, *Mucor piriformis* และ *Penicillium expansum* บนผิวของท้อพันธุ์ Elegant Lady เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

Khan *et al.* (1999) รายงานว่าการใช้โอโซนที่ 50, 100 และ 200 ppb เพื่อควบคุมโรค powdery mildew ในแตงกวา พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นสูง 200 ppm ช่วยลดการงอกของสปอร์ *Sphaerotheca fuliginea* ที่เลี้ยงบนแผ่นสไลด์ได้

Palou *et al.* (2003) รายงานว่าการใช้โอโซนสามารถควบคุมการงอกของสปอร์เชื้อ *Penicillium digitatum* และ *P. italicum* โดยปลูกเชื้อทั้งสองลงบนผิวส้ม และรมด้วยโอโซน 0.72 ppm . เป็นเวลา 14 วัน แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12.8°C ในภาชนะบรรจุต่างกัน พบว่าโอโซนจะมีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อทั้งสองเมื่อใช้ภาชนะบรรจุแบบตะกร้าพลาสติก ซึ่งเป็นภาชนะที่ก๊าซสามารถผ่านทะลุได้ดี

Hungsavanich (1999) รายงานว่าได้ใช้โอโซนในการทำลายการปนเปื้อนในพืชสมุนไพร 4 ชนิดคือ กระเทียม ทับทิม กระเจี๊ยบ และชา พบว่าสามารถเก็บรักษาสมุนไพรดังกล่าวได้นาน 1 ปี เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาโดยวิธีการตากแดดสามารถเก็บรักษาได้เพียง 6 เดือน โดยโอโซนไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ เช่น สารอัลลิซินของกระเทียม กรดแทนนิกของทับทิมและชา และฮิปีสซันของกระเจี๊ยบ

โอโซน (ozone:O₃) เป็นก๊าซที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมี มีคุณสมบัติในการเป็นตัวออกซิไดซ์ จึงเกิดปฏิกิริยาได้ดีและมีการสลายตัวโดยอัตโนมัติ ทำให้มีพิษตกค้างน้อย มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือ การส่งออกผัก/ผลไม้ ซึ่งถือว่ามีความปลอดภัยสูง โดยที่คุณภาพของอาหารนั้นยังคงอยู่ ในประเทศสหรัฐอเมริกาปัจจุบันยอมรับว่าโอโซนเป็นสารที่ใช้ได้อย่างปลอดภัย (GRAS ;generally recognized as safe) (Graham,1997) นอกจากนี้ยังมีการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่นฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม การประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย หรือการใช้โอโซนลดแอมโมเนียและฆ่าเชื้อ *Vibrio harveyi* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง (Matsumura *et al.*, 1998; Whangchai, 2001) ซึ่งพบว่าการฆ่าเชื้อให้มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับเวลาและความเข้มข้นของโอโซน (Hunt and Marinas,1999)

นอกจากนี้ในต่างประเทศได้มีการประยุกต์ใช้โอโซนในโรงงานส่งออกผัก และผลไม้บ้างแล้วโดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับเรื่องนี้เช่น Sarig *et al.* (1996) รายงานการศึกษาในองุ่นพบว่าโอโซนสามารถใช้ทดแทนการรมด้วยก๊าซ SO₂ ความเข้มข้น 8 mg/min เป็นเวลา 20 นาที โดยช่วยลดการเกิดโรคบนผิวของผล ซึ่งโอโซน กระตุ้นให้มีการสร้าง phytoalexins และ resveratrol pterostilbene เช่นเดียวกับใน strawberry เมื่อให้โอโซน 0.35 ppm ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ช่วยลดการเน่าเสีย แต่ทำให้กลิ่นลดลง 40% (Perez *et al.*,1999) รวมทั้ง Liew and Prange(1994) พบว่าโอโซนสามารถการเจริญเติบโตของเชื้อราในหัวแครอทที่เก็บรักษาไว้ประมาณ 50% และ Palou *et al.* (2002) รายงานว่าการใช้โอโซนความเข้มข้น 0.3 ppm(v/v) ช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Monillinia fructicola*, *Botrytis cinerera*, *Mucor piriformis* และ *Penicilium expansum* บนผิวของผลท้อ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สำหรับประเทศไทยได้ใช้โอโซนในการบำบัดน้ำ และอากาศเสียกันอย่างแพร่หลาย ส่วนการประยุกต์เพื่อใช้ในโรงงานส่งออกผักและผลไม้ และการลดพิษของสารตกค้างนั้น ยังมีข้อมูลสนับสนุนจากงานวิจัยของนักวิจัยไทยน้อยมาก เช่น การล้างถั่วงอกด้วยน้ำโอโซนที่ไหลผ่าน ที่ความเข้มข้น 0.03 ppm แล้วนำไปสะเด็ดน้ำ สามารถลดแบคทีเรียได้ (ฉันทวรรณ และคณะ, 2545) ส่วน ธนะชัย และอรุณทัย (2545) พบว่าโอโซนที่ความเข้มข้น 100 mg/hr. เป็นเวลา 30, 45 และ 60 นาที สามารถควบคุมการเน่าเสียของผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาที่ 10 °ซ แต่ทุกระยะเวลาที่ให้โอโซนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดและกำจัดสารประกอบซัลไฟต์ตกค้างในลำไยพบว่าโอโซนสามารถลดปริมาณซัลไฟต์ได้ 66.78 % (จิรวรรณ และคณะ,2545)

การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย

การเกิดสีน้ำตาลเกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันของสารฟีนอลิก โดย การเร่งของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ซึ่งทำให้เกิดสารสีน้ำตาลขึ้นมา (Ferrar and Walker, 1996) โดยมีการศึกษาถึงเอนไซม์ PPO กันอย่างแพร่หลายในผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิล (Harel *et al.*, 1964),

องุ่น (Harel and Mayer, 1971), ลิ้นจี่ (Tan and Li, 1984) และพลัม (Lin *et al.*, 1994) แต่มีผู้ศึกษาในลำไยน้อยมาก

Langdon (1987) รายงานว่าการใช้สารประกอบเคมี เช่น กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากผลของเอนไซม์ (enzymatic browning) ในมันฝรั่งหั่นชิ้นได้ กรดออกซาลิกเป็นกรดที่พบมากในพืชหลายชนิด เช่น ผักโขม, บรอกโคลี, มะเขือเทศ และ turnip (USDA/HMS, 1984) นอกจากนี้สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากผลของเอนไซม์ (enzymatic browning) ได้

กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส พบมากในผักและผลไม้สด เช่น สตรอเบอร์รี่ เชอร์รี่ มะขามป้อม ฝรั่ง ส้ม มะนาว มันฝรั่ง และผักชนิดต่างๆ เป็นต้น ผลไม้ส่วนใหญ่จะพบกรดแอสคอร์บิกที่เปลือกมากกว่าในเนื้อ เช่น เปลือกแอปเปิ้ลมีกรดแอสคอร์บิกมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ 2-3 เท่า (นิธิยา, 2539) กรดแอสคอร์บิกละลายได้ดีในน้ำ กรดแอสคอร์บิกมีบทบาทหลายอย่างในพืช เช่น การควบคุมกระบวนการสังเคราะห์แสง (Foyer and Harbinson, 1994) การยืดอายุของราก และการขยายขนาดของเซลล์ (Smirnoff, 1996) การสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน (Smith and Bartoli, 2000) และทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidation) ซึ่งหมายถึงสารที่ใช้ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (รัชนี, 2532) มีประโยชน์ในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น ชะลอการเสื่อมเสียของอาหาร และการห็น โดยทำหน้าที่เป็นรีดิวซิง (reducing agent) โดยจะถ่ายเทไฮโดรเจนอะตอมให้กับออกซิเจน ทำให้ออกซิเจนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ ส่วนกรดแอสคอร์บิกจะถูกออกซิไดซ์ได้เป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก ดังนั้นกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกจึงสามารถเปลี่ยนกลับไปมาหากันได้ (นิธิยา, 2539) นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกยังมีฤทธิ์สูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์เนื่องจากไปช่วยลดสารควิโนน โดยการปรีดิซ์ *o*-benzoquinone กลับไปเป็น *o*-diphenol แทนที่ *o*-benzoquinone ถูกสร้างขึ้น ซึ่งจะช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (รัชนี, 2532; ปราณี, 2535; Gill *et al.*, 1998; Duangmal and Apenten, 1999 และ Son *et al.*, 2001)

Saper and Ziokowski (1987) พบว่าการแช่ชิ้นเนื้อผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Red Delicious และ Wine sap ลงในสารละลายกรดแอสคอร์บิก หรือกรดอีริทริบิก (erythrobic acid) ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.8-1.6 % เป็นเวลา 90 วินาที สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลให้ช้าลงได้

Saper *et al.* (1990) พบว่าการใช้ ascorbic acid-2-phosphate (AAP) และ ascorbic acid-triphosphate (AATP) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของชิ้นเนื้อผลแอปเปิ้ลได้ แต่ไม่ได้ผลในน้ำคั้นแอปเปิ้ล และการใช้ ascorbic 6-fatty acid esters สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลได้ และการใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับ acidic polyphosphate สามารถใช้ได้ผลดีทั้งในน้ำคั้น และผิวของผลแอปเปิ้ล

Pre's tamo and Manzano (1993) พบว่ากรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นตั้งแต่ 2-170 โมลาร์ โมลาร์ สามารถยับยั้งเอนทิวิตีของเอนไซม์ POD ได้อย่างสมบูรณ์ในสภาพ *in vitro* ในผลกีวี มั นฝรั่ง แครอท มะเขือเทศ และถั่วลิสงเตา โดยเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกให้สูงขึ้น จะสามารถชะลอเอนทิวิตีของเอนไซม์ได้นานขึ้น

Lazano *et al.* (1994) พบว่าการแช่เนื้อผลแอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นตั้งแต่ 100-1200 ppm สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ในเนื้อผลได้ โดยกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นสูงจะสามารถยับยั้งเอนทิวิตีของเอนไซม์ได้นานกว่าเมื่อเวลาผ่านไป

อุไรวรรณ (2543) ศึกษาการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิก โดยการแช่ผลลิ้นจี่ลงในสารละลายกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 โมลาร์ เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C พบว่าผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกทุกชุดการทดลองสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ได้ โดยผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นเท่ากันคือ 1.0 โมลาร์ เป็นเวลา 10 และ 30 นาที ตามลำดับสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ได้ดีที่สุด และพบว่าสารละลายกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ค่าความเป็นกรดค่าของเปลือก อัตราการหายใจและอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน ของผลลิ้นจี่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลลิ้นจี่ชุดควบคุม แต่ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และคุณภาพในการยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้สารละลายกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อสีเปลือกของผลลิ้นจี่ และอายุการเก็บรักษา โดยผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกมีเปลือกผลสีแดงอมชมพู ผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกมีอายุการเก็บรักษา 42 วัน ในขณะที่ผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีอายุการเก็บรักษา 28 วัน

Son *et al.* (2001) ได้ศึกษาสารต่อต้านการเกิดสีน้ำตาล (antibrowning agent) 5 กลุ่ม รวมทั้งหมด 36 ชนิด ในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลบนชิ้นเนื้อแอปเปิลพันธุ์ Liberty โดยการแช่ชิ้นเนื้อผลแอปเปิลลงในสารละลาย antibrowning แต่ละชนิด ความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวัดค่าการเกิดสีน้ำตาล พบว่า (1) สารกลุ่ม carboxylic acids ได้แก่ oxalic acid และ oxaloacetic acid (2) สารกลุ่ม ascorbic acid derivatives ได้แก่ ascorbic acid-2-phosphate (3) สารกลุ่ม sulfur-containing amino acids ได้แก่ cystein, glutathione และ N-acrtylcystein (4) สารกลุ่ม phenolic acids ได้แก่ kojic acid (5) สารกลุ่มอื่นๆ ได้แก่ 4-hexyl resorcinol มีประสิทธิภาพในการต่อต้านการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด โดยสารแต่ละกลุ่มสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ เนื่องจากสารกลุ่ม carboxylic acids ทำหน้าที่เป็น chelating agent ไปจับกับโลหะของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล หรือทำให้ pH ต่ำลงทำให้ไม่เหมาะสมต่อการเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงไม่เกิดขึ้น ส่วนสารกลุ่ม ascorbic acid derivatives

ทำหน้าที่เป็น reducing agent ลดการเกิดสารควิโนนโดยการเปลี่ยนกลับไปเป็นสารประกอบฟีนอล เมื่อสารควิโนนถูกสร้างขึ้นมา ส่วนสารในกลุ่ม sulfur-containing amino acids จะไปจับโดยตรงกับ เอนไซม์ PPO ที่ copper ทำให้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาไม่ได้หรือไปรวมกับสารควิโนนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการเร่งปฏิกิริยาได้สารประกอบที่ไม่มีสี ส่วนสารในกลุ่ม phenolic acids จะไปจับกับ เอนไซม์ PPO ตรงบริเวณเร่งทำให้เอนไซม์ PPO เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลต่อไปไม่ได้ และสารในกลุ่มอื่นๆ เช่น 4-hexyl resorcinol ยังไม่ทราบกลไกแน่ชัด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการใช้ oxalic acid ความเข้มข้น 1.0% หรือร่วมกับ erythrobic acid ความเข้มข้น 1.0% โดยพบว่าทั้งสองวิธีสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นเนื้อผลไม้ที่เปิดได้อย่างดีที่สุด โดยไม่พบการเกิดสีน้ำตาลเลย

Kahn (1977) ศึกษาคุณสมบัติบางประการทางชีวเคมีของ PPO จากผลอะโวคาโด 2 พันธุ์ คือ Lerman และ Fuerte พบว่า PPO มีความเสถียรเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เพียง 3 วัน ส่วนการยับยั้งการทำงานของ PPO ทั้งใน 2 สายพันธุ์ เกิดในสภาพที่มี pH 5.5-6.5 และยังพบว่า PPO มีอยู่หลายรูปแบบ อาจอยู่ในรูป active หรือ latent forms จากการทดลองทั้ง 2 พันธุ์พบว่าเอนไซม์มีความไวหรือตอบสนองต่อ *o*-diphenol แต่ไม่ไวต่อ gallic acid, resorcinol หรือ *p*-cresol ในเรื่องความจำเพาะเจาะจงกับสับสเตรทเมื่อใช้ catechol เป็นสับสเตรท พบว่าอะโวคาโดพันธุ์ Lerman และ Fuerte ให้ค่าแอกติวิตีต่างกันคือ 42 และ 71% ตามลำดับ แต่มีความจำเพาะกับสับสเตรท 4-methyl catechol และ dopamine ได้ใกล้เคียงกันทั้ง 2 พันธุ์ และทำปฏิกิริยาได้ดีมากกับ chlorogenic acid, DL-DOPA และ caffeic acid เมื่อทดสอบในเรื่องสารต้านการทำงานของ PPO พบว่าให้ผลยับยั้งตามลำดับ โดยกรดแอสคอร์บิก > K-metabisulfite > thiourea ที่ความเข้มข้นเดียวกัน

Coseteng and Lee (1987) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ PPO ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ที่ถ่วงน้ำหนักและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90% โดยใช้ catechol เป็นสับสเตรทในการวัดแอกติวิตีของ PPO และวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดจากกรดโครโรจินิกที่เป็นสารฟีนอลตั้งต้นของ PPO พบว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและแอกติวิตีของ PPO ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงที่มีการเจริญเติบโตใหม่ๆ และคงที่เมื่อโตเต็มที่จนเก็บเกี่ยวได้ ภายหลังเก็บเกี่ยวมีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นสัมพันธ์กับแอกติวิตีของ PPO และสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้น

King and Bolin (1989) ศึกษาแอกติวิตีของ PPO ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในเนื้อผลไม้ที่เปิด พบว่า PPO เร่งการเปลี่ยน *o*-dihydroxy phenol ไปเป็นสารประกอบสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดของชิ้นเนื้อผลไม้ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จะถูกเร่งให้เกิดมากขึ้นในระหว่างที่เซลล์ของผลเกิดบาดแผล เช่น การปอกและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์เพคตินิลเอส (pectinase) เร่งให้เกิดการ

สลายตัวของผนังเซลล์ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในการเก็บรักษาผลไม้สดพร้อมบริโภค

Underhill and Critchley (1993) ศึกษาสรีรวิทยา ชีวเคมี โครงสร้างและแอคติวิตีของ PPO ที่เปลี่ยนแปลงไปในเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ Bengal หลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 60% พบว่าเมื่อยังไม่เก็บเกี่ยว ผลมีสีแดงอมชมพูน่ารับประทาน แต่หลังเก็บเกี่ยวแล้วเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ภายใน 48 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์แอคติวิตีของ PPO กลับลดลงซึ่งไม่สอดคล้องกัน แต่พบว่าสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำของผลซึ่งวัดจากการสูญเสียน้ำหนักสด โดยจะเริ่มสูญเสียน้ำมากหลังเก็บเกี่ยว 24 ชั่วโมง และเริ่มมีรอยแตกของเปลือกผลแล้วขยายลึกลงสู่เนื้อเยื่อพารนโคมา เนื่องจากคิวติเคิลที่เปลือกถูกทำลาย และยังพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินลดลงด้วย

Jiang and Fu (1998) ศึกษาผลของกลูตาไทโอน และกรดซิตริกต่อแอคติวิตีของ PPO และการเกิดสีน้ำตาลในผลลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi โดยนำผลมาแช่ในกลูตาไทโอน 10 mM และกรดซิตริก 100 mM นาน 5 นาที นำผลบรรจุในถาดหุ้มด้วยพลาสติก 20 ผลต่อ 1 ชุดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 °C พบว่าแต่ละชุดทดลองมีระดับการเกิดสีน้ำตาลและแอคติวิตีของเอนไซม์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ 80-85% ส่วนในสภาพ *in vitro* พบว่าผลรวมของกลูตาไทโอนและกรดซิตริกในอัตราส่วน 10 : 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลยับยั้งแอคติวิตีของ PPO ได้ดีที่สุด

Duangmal and Apenten (1999) ศึกษาคุณสมบัติบางประการของ PPO และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์นี้ในเฟือก (*Colocasia esculata*) เปรียบเทียบกับในมันฝรั่ง (*Solanum tuberosum* var. tomano) พบว่าสภาพ pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของ PPO คือ 5-6 และ 20-35 °C ตามลำดับในเฟือก 5-7 และ 10-25 °C ตามลำดับในมันฝรั่ง รวมทั้งศึกษาผลของสารเคมีบางชนิดในการยับยั้งแอคติวิตีของ PPO ได้แก่ EDTA โซเดียมคลอไรด์ กรดแอสคอร์บิก โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ พบว่าโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 100 mM ยับยั้งได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในเฟือกมากกว่าในมันฝรั่ง 100 และ 30% ตามลำดับ รองลงมาคือกรดแอสคอร์บิก ซึ่งยับยั้งในมันฝรั่งได้ดีกว่าในเฟือก 100 และ 35% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามถือว่ากรดแอสคอร์บิกมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการทำงานของ PPO ในผักทั้ง 2 ชนิด

Kayashima and Katayama (2002) ศึกษาสารต้านออกซิเดชัน คือ กรดออกซาลิกและกรดมาลิก ซึ่งพบในพืชหลายชนิด โดยนำมาทดสอบกับสมองหนูและตับหนูแล้ววัดแอคติวิตีในการเกิดออกซิเดชันจาก lipid peroxidation พบว่ากรดออกซาลิกชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้แปรผันตามความเข้มข้นของกรดออกซาลิก เมื่อเปรียบเทียบกับกรดมาลิกที่ความเข้มข้นเดียวกัน

Ozoglu and Bayindirli (2002) ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious ด้วยสารต้านการเกิดสีน้ำตาลต่างๆ คือ กรดแอสคอร์บิก กรดซินนามิก กรดไอโซแอสคอร์บิก และซีสเทอีน โดยดูการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำแอปเปิลและแอคติวิตีของเอนไซม์ในวันที่ 1

หลังการเก็บรักษาที่ 25 ± 1 °ซ พบว่าสารที่ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด คือ กรดแอสคอร์บิก ซีสเตอีน กรดซินนามิก เมื่อนำทั้ง 3 ชนิดมารวมกันในอัตราส่วนความเข้มข้น 0.49: 0.42: 0.05 mM ให้ผลด้านการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้สูงมาก

Gonzalez-Aguilar *et al.* (2003) ศึกษาการใช้สารด้านการเกิดสีน้ำตาลในผลสับปะรดที่ตัดแบ่งชิ้น ที่แช่ในสารละลายกรดไอโซแอสคอร์บิก (IAA) 0.1 mol/l กรดแอสคอร์บิก (AA) 0.05 mol/l อะซีติลซีสเตอีน (AC) 0.05 mol/l เป็นเวลา 2 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °ซ เป็นเวลา 14 วัน พบว่าสารทั้ง 3 ชนิด สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล และการเน่าเสียของผลที่ตัดแบ่งชิ้นได้ และยังลดการเปลี่ยนแปลงค่า L^* และ a^* value ได้ โดย IAA ให้ผลดีที่สุด ตามด้วย AC และ AA ซึ่งเทียบกับชุดควบคุมเก็บได้เพียง 5-7 วัน ที่อุณหภูมิเดียวกัน

Jiang and Li (2003) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเกิดสีน้ำตาลและคุณภาพของลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi ทำการทดลองโดยเก็บผลที่อุณหภูมิ 8 °ซ นาน 2 วัน และ 2 °ซ นาน 26 วัน จากนั้นย้ายมาไว้ในอุณหภูมิห้อง 6 ชั่วโมง พบว่าการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นสัมพันธ์กับแอกติวิตีของ PPO ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีผลเร่งการสูญเสียคุณภาพของผลลิ้นจี่ทำให้ราคาตลาดต่ำลง ในขณะที่ในอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของแอกติวิตีของ PPO และชะลอการเกิดสีน้ำตาล การลดลงของแอนโทไซยานิน รวมทั้งช่วยคงคุณภาพ และยับยั้งการเน่าเสียของผลได้

Nishimura *et al.* (2003) ศึกษาคุณสมบัติบางประการของเอนไซม์ PPO ในผลสาถูปู่ปุ่น (*Pyrus pyrifolia*) กับการเกิดสีน้ำตาล พบว่าแอกติวิตีของ PPO สูงขึ้นสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่าผลที่ยังโตไม่เต็มที่ที่มีศักยภาพในการเกิดสีน้ำตาลสูง รวมทั้งแอกติวิตีของเอนไซม์ และสารประกอบฟีนอลิกสูง ในขณะที่ผลที่แก่เต็มที่ที่มีการเกิดสีน้ำตาลน้อย แอกติวิตีของ PPO สูงแต่สารประกอบฟีนอลิกต่ำ

Vela *et al.* (2003) ศึกษาแอกติวิตีของ PPO ในระหว่างการสุกของผลมะม่วงพันธุ์ Manila กับการเกิดสีน้ำตาล โดยนำผลมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 12 °ซ ซึ่งชักนำให้เกิดอาการระคายเคืองหนวเทียบกับชุดควบคุมที่อุณหภูมิ พบว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 12 °ซ มีแอกติวิตีของ PPO เพิ่มขึ้นโดยที่ อุณหภูมิ 6 °ซ มีแอกติวิตีของ PPO มากกว่าที่ 12 °ซ และแอกติวิตีของ PPO จะเพิ่มสูงสุดในวันที่ 16 สัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นแอกติวิตีของ PPO ลดต่ำลง แต่การเกิดสีน้ำตาลยังคงเพิ่มสูงขึ้น

Ayranci and Tune (2003) ศึกษาการควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเคลือบผิวผักสด โดยนำกรดสเตียริก กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก เคลือบผิวเห็ดและดอกกะหล่ำ แล้วเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน พบว่าผักที่เคลือบผิวด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้น 0.6% ผสมกับกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.5% และกรดสเตียริกความเข้มข้น 0.6% ผสมกับกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5% มีผลชะลอการเกิดสีน้ำตาลและลดแอกติวิตีของ PPO ได้ดีกว่าผักสดที่ไม่ได้รับการเคลือบหรือเคลือบกรด สเตียริกอย่างเดียว

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาผลของโอโซนต่อการควบคุมการเน่าเสียและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลของลำไยหลังเก็บเกี่ยว
2. เพื่อศึกษาผลของโอโซนต่อการลดปริมาณสารตกค้าง SO_2 ในผลลำไย
3. เพื่อศึกษาผลของโอโซนร่วมกับการใช้กรดอินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังเก็บเกี่ยว
4. เพื่อหากรรมวิธีที่เหมาะสมในการใช้โอโซนเชิงพาณิชย์เพื่อควบคุมการเน่าเสียของลำไยหลังเก็บเกี่ยวและยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไย ในการเพิ่มมูลค่าการส่งออกต่อไป

การดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรมโอโซนต่อการเจริญของเส้นใยและการออกของสปอร์เชื้อราสาเหตุโรคหลังเก็บเกี่ยวของผลลำไย

1.1 ผลต่อการเจริญของเส้นใยเชื้อรา

วิธีการให้โอโซนและทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ โดยการทดสอบผลของโอโซนต่อการเจริญของเชื้อราที่แยกได้ คือ *Cladosporium* และ *Lasiodiplodia* (ซึ่งเป็นเชื้อราที่ไม่พบการสร้างสปอร์) ที่เลี้ยงบนจานอาหารแล้วนำมาทดสอบกับโอโซนโดยวิธีการรมที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 15, 30, 60, 120 นาที แล้วทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีของเชื้อรา หลังจากนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18, 21, 24, 27 และ 30 ชั่วโมง

1.2 ผลต่อจำนวนโคโลนีของ *Cladosporium*

ส่วนวิธีการศึกษา ผลของน้ำโอโซนต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Cladosporium* โดยการเตรียมสารละลายแขวนลอยสปอร์ โดย เติมน้ำกลั่นปลอดเชื้อบนผิวหน้าจานอาหาร แล้วเขี่ยสปอร์ของเชื้อราให้หลุดออกมา นำมากรองเศษวุ้นออก เขย่าสารแขวนลอยที่กรองได้ให้เข้ากัน ตรวจสอบนับสปอร์ของเชื้อราด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้ counting chamber slide (haemocytometer) (ภาคผนวก) แล้วปรับความเข้มข้นสารแขวนลอยสปอร์ให้ได้จำนวน 2×10^6 สปอร์/มิลลิลิตร นำสารละลายแขวนลอยสปอร์ที่เตรียมได้มาผ่านการให้โอโซนที่ต่อท่อลงที่สารละลายโดยตรง ตามระยะเวลาของการให้โอโซนตามข้างต้น หลังจากนั้นนำสารละลายแขวนลอยสปอร์มา 100 ไมโครลิตร หยดลงบนจานอาหาร และใช้แท่งแก้วเกลี่ยสปอร์ให้กระจายจนทั่วจานอาหารเลี้ยงเชื้อPDA หลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการนับจำนวน โคโลนีของเชื้อรา

1.3 ผลต่อการงอกของสปอร์

ใช้ micropipet คูด spore suspension ปริมาตร 20 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรองที่วางบนแผ่นสไลด์ แล้วนำแผ่นสไลด์ไปวางบนแท่งแก้วในจานเลี้ยงเชื้อ แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปเปิดฝาจานรมไอโซนเป็นเวลา 60 นาที อีกส่วนหนึ่งเก็บไว้เป็นชุดควบคุม บ่มที่อุณหภูมิห้อง หยด lactophenol cottonblue ลงบนกระดาษกรองของทั้งสองชุด ที่เวลา 0, 3, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ปริมาตร 40 ไมโครลิตร เพื่อย้อมสี สปอร์และหยุดการเจริญของเชื้อ ปิดด้วย cover slip นำไปดูใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อบันทึกจำนวนหาเปอร์เซ็นต์การงอก โดยสปอร์ที่ถือว่างอกต้องมี germ tube ที่ยาวกว่าความกว้างของสปอร์

1.4 ผลของไอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเส้นใยและสปอร์ของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. และ *Cladosporium* sp. อายุ 2 วัน และ 5 วัน ตามลำดับที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อแบบ slide culture แยกเอาแต่ละส่วนของ cover slip ที่จะมีเส้นใยติดมาด้วย นำมาวางใน petri dish แล้วรมด้วยไอโซนเป็นระยะเวลา 120 นาที แล้วนำไปดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยเชื้อราทั้ง 2 ชนิด และนำเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* อายุ 2 วันที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อแบบ slide culture แยกเอามาแต่ละส่วนของ coverslips ซึ่งจะมีเส้นใยติดมาด้วย แล้วนำไปวางใน Petri dish นำกระดาษกรองวางใน Petri dish แล้วหยด glutaraldehyde ความเข้มข้น 4% บนกระดาษกรองประมาณ 3-4 หยด ปิดฝา ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมา dehydrate ด้วย แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 50%, 70% และ 95% โดยนำตัวอย่างแช่ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้นละ 3 ครั้งๆละ 10 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ในอะซิโตนที่มีความเข้มข้น 100% แล้วนำไปทำ critical point drying ทันที หลังจากนั้นทำ mounting และ coating ด้วยทอง แล้วนำไปดูด้วยกล้อง SEM

3. ศึกษาผลของไอโซนต่อการควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังเก็บเกี่ยว

ส่วนการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการให้ไอโซนในการควบคุมโรคของลำไยโดยการเปรียบเทียบวิธีการให้ไอโซน 2 วิธีการ คือการรมด้วยก๊าซไอโซนและการแช่น้ำไอโซน โดยการเพาะเชื้อ *Cladosporium* และ *Lasiodiplodia* ลงบนผลลำไยก่อน ซึ่งการเพาะเชื้อ *Cladosporium* ลงบนผลลำไยนั้นใช้การหยด spore suspension ของเชื้อลงบนผล ผลละ 400 ไมโครลิตร ส่วนการเพาะเชื้อ *Lasiodiplodia* ทำโดยใช้ cork borer เจาะเนื้อวุ้นในจานอาหารที่มีเชื้ออายุ 2 วัน

เจริญอยู่ โดยเจาะบริเวณปลายเส้นใยแล้วนำชิ้นวันที่มีเส้นใยของเชื้อมาวางไว้บริเวณหัวผล ผลละ 1 ชิ้น หลังจากนั้น นำไปใส่ ozone generator แล้วต่อท่อลงไปในกล่องที่ทำด้วยอะคริลิกขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12 x 12 x 24 ซม. ที่บรรจุลำไย ปิดฝาให้สนิทแล้วรมด้วยก๊าซโอโซน ที่ความเข้มข้น 200 ppm ที่เวลาต่างๆ คือ 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที

ส่วนวิธีการแช่น้ำโอโซน คือ นำลำไยที่ผ่านการเพาะเชื้อใส่ลงไปในกล่องที่ทำด้วย อะคริลิกที่บรรจุ น้ำ deionized water (DW) แล้วต่อท่อจาก ozone generator ดังภาพที่ 1 แล้ว ผ่านให้ก๊าซโอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที เช่นเดียวกัน เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วนำ ผลลำไยไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ



ภาพ 1 แสดงวิธีการแช่ลำไยในน้ำโอโซน

บันทึกข้อมูลทุกๆ 6 วันดังนี้คือ

ความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกและด้านใน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และอายุการเก็บ โดยมีวิธีการดังนี้

1. ความแน่นเนื้อ (firmness) วัดด้วย firmness tester (Metex hunter spring model LKG-10 kg/div) โดยทำการวัดผลละ 1 ตำแหน่ง บริเวณกึ่งกลางของผล วิธีการวัดผลเป็นแบบทำลายตัวอย่าง (destructive method) โดยใช้หัวเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

2. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS) วัดด้วย hand refractometer โดยใช้น้ำลำไย ก่อนอ่านต้องปรับค่าให้เป็นศูนย์ด้วยน้ำกลั่น

3. การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลลำไย

3.1 สีผิวด้านนอกของผลลำไย

วัดด้วยเครื่องวัดสี (Hunter's colorimeter model CR-200 ของ Minolta) บริเวณกึ่งกลางผล ค่าที่ได้แสดงเป็นค่า L^* , a^* และ b^* โดย

L^* = The lightness factor (value)

a^*, b^* = The chromaticity coordinates (hue, chroma)

ค่า L^* มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 เมื่อค่า L^* มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงวัตถุมีสีคล้ำ หากค่า L^* ค่าเท่ากับ 0 วัตถุจะมีสีดำ แต่ถ้าค่า L^* มีค่าเข้าใกล้ 100 วัตถุจะมีความสว่างสดใส สำหรับค่า a^* และ b^* มีค่าอยู่ในช่วง -60 ถึง +60 เมื่อค่า a^* มีค่าเป็นบวก หมายถึง วัตถุมีสีแดง หากมีค่าเป็นลบ หมายถึง วัตถุมีสีเขียว ส่วนค่า b^* เมื่อมีค่าเป็นบวก หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง หากมีค่าเป็นลบ หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน แต่ถ้าหากทั้งค่า a^* และ b^* มีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าวัตถุเป็นสีขาว

3.2 สีผิวด้านในของผลลำไย

ประมาณพื้นที่ส่วนผิวเปลือกด้านในที่มีสีคล้ำด้วยประสาทสัมผัสทางสายตา โดยให้คะแนน 4 ระดับ ดังนี้

- | | |
|---|-------------------|
| 1 | = พื้นที่ 0-25% |
| 2 | = พื้นที่ 26-50% |
| 3 | = พื้นที่ 51-75% |
| 4 | = พื้นที่ 76-100% |

4. เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค โดยใช้การประมาณพื้นที่การเกิดโรคและให้คะแนน 4 ระดับ เช่นเดียวกับสีเปลือกด้านใน

3. ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อของเปลือกผลลำไย

นำผลลำไยมาทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 ในการทดลองที่ 3 แล้วนำเปลือกผลลำไยมาดูลักษณะเปลือกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) โดยนำเปลือกผลลำไยในแต่ละชุดการทดลองมาตัดให้มีขนาด 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร แล้วนำไปวางใน Petri dish นำกระดาษกรองวางใน Petri dish แล้วหยด glutaraldehyde ความเข้มข้น 4% บนกระดาษกรองประมาณ 3-4 หยด ปิดฝา ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมา dehydrate ด้วย แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 50%, 70% และ 95% โดยนำตัวอย่างแช่ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้นละ 3 ครั้งๆละ 10 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ในอะซิโตนที่ความเข้มข้น 100% แล้วนำไปทำ critical point drying ทันที หลังจากนั้นทำ mounting และ coating ด้วยทอง แล้วนำไปดูด้วยกล้อง SEM เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อของเปลือกผลหลังจากได้รับโอโซน และกรดอินทรีย์ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

4. การศึกษาผลของกรดอินทรีย์บางชนิดต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย

นำผลมาแช่ในสารละลายกรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิก โดยแช่ผลลำไยที่ระดับความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที ที่ระดับความเข้มข้นละ 180 ผล จำนวน 6 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ 30 ผล เมื่อครบกำหนดเวลา นำผลลำไยที่ผ่านการ

แช่ในสารละลายมาฟ้งให้แห้ง หลังจากนั้นแบ่งใส่กล่องพลาสติกขนาด 3.5x5.5 นิ้ว แล้วปิดด้วยแผ่นฟิล์มถนอมอาหาร นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C

การบันทึกผลการทดลอง

บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลลำไยทุก 2 วัน เป็นเวลา 7 วัน ศึกษาการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. วัดการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือก โดยใช้เครื่องวัดสี colorimeter Minolta DR-200 วัดค่าสีเปลือกของผลด้านข้าง ค่าวัดสีที่ได้จะแสดงในรูป L^* , a^* และ b^*

ค่า L^* แสดงความสว่างเมื่อใกล้ 100 และแสดงความมืดเมื่อใกล้ 0

ค่า a^* มีค่าเป็น + แสดงว่าสีผิวมีสีออกแดง

– แสดงว่าสีผิวมีสีออกเขียว

ค่า b^* มีค่าเป็น + แสดงว่าสีผิวมีสีออกเหลือง

– แสดงว่าสีผิวมีสีออกน้ำเงิน

ทั้งค่า a^* และ b^* หากมีค่าเป็น 0 แสดงว่าวัตถุมีสีเทา

2. การเปลี่ยนแปลงของระดับการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลโดยประเมินด้วยสายตา บันทึกเปอร์เซ็นต์พื้นที่เกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย โดยกำหนดคะแนน 1-5 ดังนี้

คะแนน 1 = สีเปลือกผลลำไยไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

คะแนน 2 = สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 21-40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

คะแนน 3 = สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 41-60 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

คะแนน 4 = สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 61-80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

คะแนน 5 = สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 81-100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

3. ความแน่นเนื้อ (firmness) ของผลลำไย ผ่าแบ่งครึ่งเป็น 2 ซีก นำซีกที่ไม่มีเมล็ดวัดค่าความแน่นเนื้อ ด้วยเครื่อง Effigi pressure tester ด้วยหัวกรวยเส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.79 เซนติเมตร กดลงบนเนื้อลึก 0.3 เซนติเมตร และนำค่าที่ได้มาคำนวณให้อยู่ในหน่วยเป็นกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids : TSS) นำเนื้อลำไยมาคั้นเอาเฉพาะน้ำ แล้ววัดค่า TSS ด้วย hand refractometer อ่านค่าเป็นองศาบริกซ์

5. การประเมินคุณภาพในการบริโภค โดยเป็นการประเมินตามลักษณะคุณภาพและความชอบของรสชาติของผู้ที่ทดสอบ บันทึกเป็นระดับคะแนนดังนี้ คือ

คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คะแนน 2 = ไม่ชอบมาก

คะแนน 3 = ไม่ชอบปานกลาง

คะแนน 4 = ไม่ชอบ

คะแนน 5 = เฉยๆ

คะแนน 6 = ชอบ

คะแนน 7 = ชอบปานกลาง

คะแนน 8 = ชอบมาก

คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด

5. การศึกษาผลของโอโซนร่วมกับกรดอินทรีย์บางชนิดต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไย

นำผลลำไยมาแช่ในกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิก ที่ความเข้มข้นในการแช่ที่ให้ผลดีที่สุด จากการศึกษาผลของกรด หลังจากนั้นนำผลลำไยมารมด้วยโอโซนในตู้ขนาด 30x30x40 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาที่ดีที่สุดจากการศึกษาผลของโอโซน โดยใช้ผลลำไยชุดการทดลองละ 300 ผล จำนวน 10 ซ้ำๆละ 30 ผล เมื่อครบกำหนดเวลา นำผลลำไยแบ่งใส่กล่องพลาสติกขนาด 3.5x5.5 นิ้ว แล้วปิดด้วยแผ่นฟิล์มถนอมอาหารนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C

บันทึกผลการทดลอง

บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงเคมีของผลลำไยทุก 7 วัน เป็นเวลา 30 วัน โดยบันทึกผลในเรื่องต่อไปนี้

1. บันทึกการตรวจวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยทำการ total plate count ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1.1 นำผลลำไยที่เลือกแบบสุ่มมา 3 ลูก ใส่ลงใน flask ขนาด 250 ml ภายในมีน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 100 ml เขย่านานประมาณ 1 นาที

1.2 ใช้ pipette ที่ทำการฆ่าเชื้อแล้ว คูดสารละลายภายใน flask มา 1 ml ทำการเจือจางให้ได้อัตราส่วน 1/100 และ 1/1000

1.3 นำสารละลายในแต่ละการเจือจางมา 0.1 ml มาใส่ใน Petri-dishes ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar : PDA แล้วทำการ spread plate โดยใช้ spreader แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง

1.4 ทำการนับจำนวนโคโลนีทุกๆ 24 ชั่วโมง รายงานผลเป็น CFU/ml

2. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

2.1 ความแน่นเนื้อ (firmness) ของผลลำไย ฝ่าแบ่งครึ่งเป็น 2 ซีก นำซีกที่ไม่มีเมล็ดวัดค่าความแน่นเนื้อ ด้วยเครื่อง Effigi pressure tester ด้วยหัวกรวยเส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.79 เซนติเมตร กดลงบนเนื้อลึก 0.3 เซนติเมตร และนำค่าที่ได้มาคำนวณให้อยู่ในหน่วยเป็นกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

2.2 วัดการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือก โดยใช้เครื่องวัดสี colorimeter Minolta DR-200 วัดค่าสีเปลือกของผลด้านข้าง ค่าวัดสีที่ได้จะแสดงในรูป L^* , a^* และ b^*

ค่า L^* แสดงความสว่างเมื่อใกล้ 100 และแสดงความมืดเมื่อใกล้ 0

ค่า a^* มีค่าเป็น + แสดงว่าสีผิวมีสีออกแดง

– แสดงว่าสีผิวมีสีออกเขียว

ค่า b^* มีค่าเป็น + แสดงว่าสีผิวมีสีออกเหลือง

– แสดงว่าสีผิวมีสีออกน้ำเงิน

ทั้งค่า a^* และ b^* หากมีค่าเป็น 0 แสดงว่าวัตถุมีสีเทา

2.3 การเปลี่ยนแปลงของระดับการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลโดยประเมินด้วยสายตา บันทึกเปอร์เซ็นต์พื้นที่เกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลของผลลำไย โดยกำหนดคะแนน 1-5 ดังนี้

คะแนน 1 = สีเปลือกผลลำไยไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

คะแนน 2 = สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 21-40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

คะแนน 3 = สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 41-60 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

คะแนน 4 = สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 61-80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

คะแนน 5 = สีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 81-100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกทั้งหมด

2.4 การประเมินคุณภาพในการบริโภค โดยเป็นการประเมินตามลักษณะคุณภาพและความชอบของรสชาติของผู้ที่ทดสอบ บันทึกเป็นระดับคะแนนดังนี้ คือ

คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คะแนน 2 = ไม่ชอบมาก

คะแนน 3 = ไม่ชอบปานกลาง

คะแนน 4 = ไม่ชอบ

คะแนน 5 = เฉยๆ

คะแนน 6 = ชอบ

คะแนน 7 = ชอบปานกลาง

คะแนน 8 = ชอบมาก

คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด

3. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

3.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids : TSS) นำเนื้อลำไยมาคั้นเอาเฉพาะน้ำ แล้ววัดหาค่า TSS ด้วย hand refractometer อ่านค่าเป็นองศาบริกซ์

3.2 แอคติวิตีของเอนไซม์ PPO ของเปลือกผล โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Jiang and Fu (1998) และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของเปลือกผล โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Singleton and Rossi (1965)

การวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์ PPO ของเปลือกผล

วิธีการสกัดเอนไซม์

วิธีการสกัดเอนไซม์ทั้งสองชนิดดัดแปลงจากวิธีการของ Huang *et al.* (1990) ซึ่งทำการสกัดภายใต้อุณหภูมิ 4 °C โดยนำเอาเนื้อผลฝรั่งบริเวณและเนื้อผลรวมกัน (เปลือกสีเขียวรวมกับเนื้อสีขาวทั้งหมดโดยไม่รวมบริเวณเมล็ด)หนัก 10 กรัม บดในโกร่งที่มีสารละลายสกัด (extraction solution) ซึ่งประกอบด้วย potassium phosphate buffer (pH 6.2) 0.05M, KCl 1 m และ polyvinylpolypyrrolidone (PVPP) 2% ในอัตราส่วนปริมาตรสารละลายสกัด: น้ำหนักเนื้อผลเท่ากับ 2:1 เมื่อบดเข้ากันดีแล้ว นำไปปั่นตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C ภายหลังการปั่นนำเฉพาะส่วนใส (supernatant) ซึ่งเป็น crude enzyme ไปใช้ในการวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและโพลีฟีนอลออกซิเดสในขั้นต่อไป

การวิเคราะห์หาแอคติวิตีของเอนไซม์ PPO

การวิเคราะห์เอนไซม์ PPO ดัดแปลงจากวิธีการของ Jiang and Fu (1998) โดยการเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (assay mixture) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วย 0.05 M potassium phosphate buffer (pH 7.5) และ 0.20 M catechol 0.20 มิลลิลิตร จากนั้นเติม crude enzyme ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบที่มีสารวิเคราะห์ดังกล่าวผสมให้เข้ากันนาน 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ดัดแปลงจากวิธีการของ Lowry *et al.* (1995) นำ crude enzyme ที่เจือจางลง 10 เท่า ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมลงในหลอดทดสอบที่มี alkaline copper solution (ซึ่งประกอบด้วย

Na_2CO_3 4% : NaOH 0.2 N : $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1% : potassium tartrate 2% ในอัตราส่วน 5:5:0.1:0.1) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที ต่อจากนั้นเติม Folin-Ciocalteu reagent 50 % ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบดังกล่าวแล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร โดยปริมาตรโปรตีนเมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปลือกลำไย ดังสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักเนื้อผล)} = 8.51Y$$

กำหนดให้ Y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

แอกติวิตีของเอนไซม์มีหน่วยเป็น หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน (unit/mg protein) โดยแอกติวิตีของเอนไซม์หนึ่งหน่วย (unit) มีค่าเท่ากับการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้น 0.1 หน่วย/ นาที

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compound)

การสกัดหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ทำการสกัดตามวิธีของ Ketsa and Atantee (1998) โดยนำเปลือกผลที่หั่นละเอียดน้ำหนัก 3 กรัม ใส่ในโถรงบดที่แช่เย็น เติม 80 % ethanol ที่เย็นลงไปปริมาตร 12 มิลลิลิตร บดให้เข้ากัน แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C หลังจากปั่นนำเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีการของ Singleton and Rossi (1965) โดยนำสารละลายสีที่สกัดได้ที่เจือจางลง 100 เท่า ปริมาตร 2 มิลลิลิตร มาใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลาย 10 % Folin – Ciocalteu reagent ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 8 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลาย 7.5 % Na_2CO_3 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐาน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปลือกผลสด ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/100 g fresh weight)} = 2000Y$$

กำหนดให้ Y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

ผลการทดลอง

1. ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรมโอโซนต่อการเจริญของเส้นใยและการงอกของสปอร์เชื้อราสาเหตุโรคหลังเก็บเกี่ยวของผลลำไย

1.1 ผลต่อการเจริญของเส้นใยเชื้อรา

การรมเส้นใยของเชื้อ *Lasiodiplodia* sp. ด้วยโอโซนที่ระยะเวลา 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าการรมที่ระยะเวลา 15, 30, 60 นาที ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยเชื้อราเพิ่มขึ้นช้ากว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รมสารอย่างเห็นได้ชัด (ภาพ 2 และ 3) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราในชุดการทดลองที่ไม่ได้รมด้วยโอโซน แตกต่างจากชุดการทดลองที่รมสารที่เวลา 30 และ 60 นาทีอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดการทดลองที่ไม่ได้รม พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่มีการรมก๊าซโอโซน แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 120 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกับชุดที่ไม่ได้รม

1.2 ผลต่อจำนวนโคโลนีของ *Cladosporium* sp.

การรมสปอร์ของ *Cladosporium* sp. ที่ spread บนจานอาหารที่เวลา 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าการรมที่ 60 และ 120 นาที มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อราโดยไม่พบโคโลนี *Cladosporium* เลย ส่วนการรมที่ 15 และ 30 นาที ยังพบการเจริญของโคโลนีเชื้อรา โดยพบจำนวนโคโลนีมากมายจนไม่สามารถนับได้ (ตาราง 1, ภาพ 4)

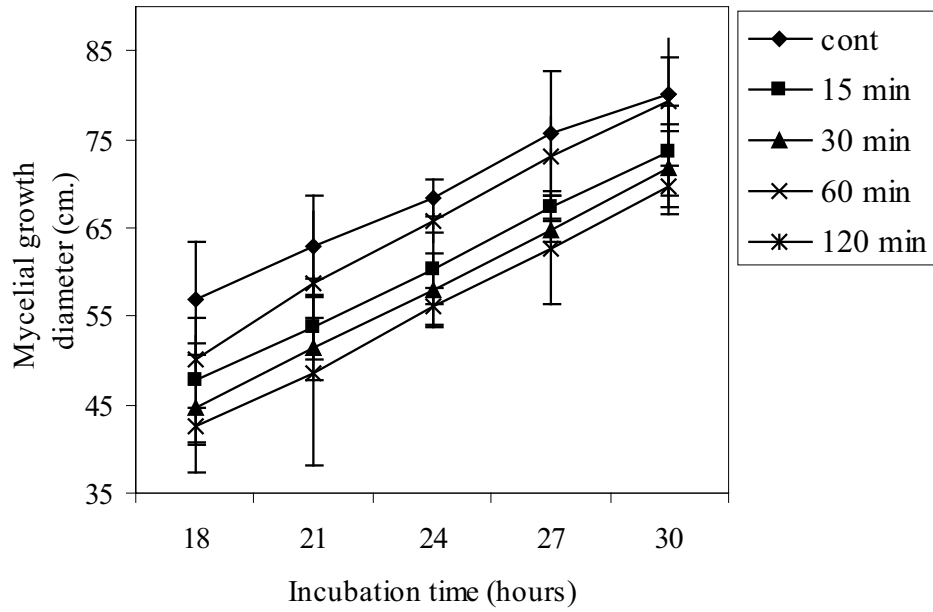
1.3 ผลต่อการงอกของสปอร์

จากการศึกษาผลของโอโซนต่อการงอกของสปอร์ของเชื้อรา สามารถตรวจพบการงอกของสปอร์เชื้อ *Cladosporium* sp. เท่านั้น แต่เชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. ไม่พบการสร้างสปอร์เลย โดยชุดที่ไม่ได้รมด้วยโอโซน พบการงอกของสปอร์เพียงเล็กน้อยตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 (ภาพ 5B) หลังจากเริ่มการทดลอง เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบการงอกของสปอร์เป็นจำนวนมาก (ภาพ 5D) ในขณะที่ชุดการทดลองที่รมด้วยโอโซนเป็นเวลา 60 นาที ตรวจไม่พบการงอกในชั่วโมงที่ 0-12 (ภาพ 6) ส่วนชั่วโมงที่ 24 พบการงอกของสปอร์น้อยมาก

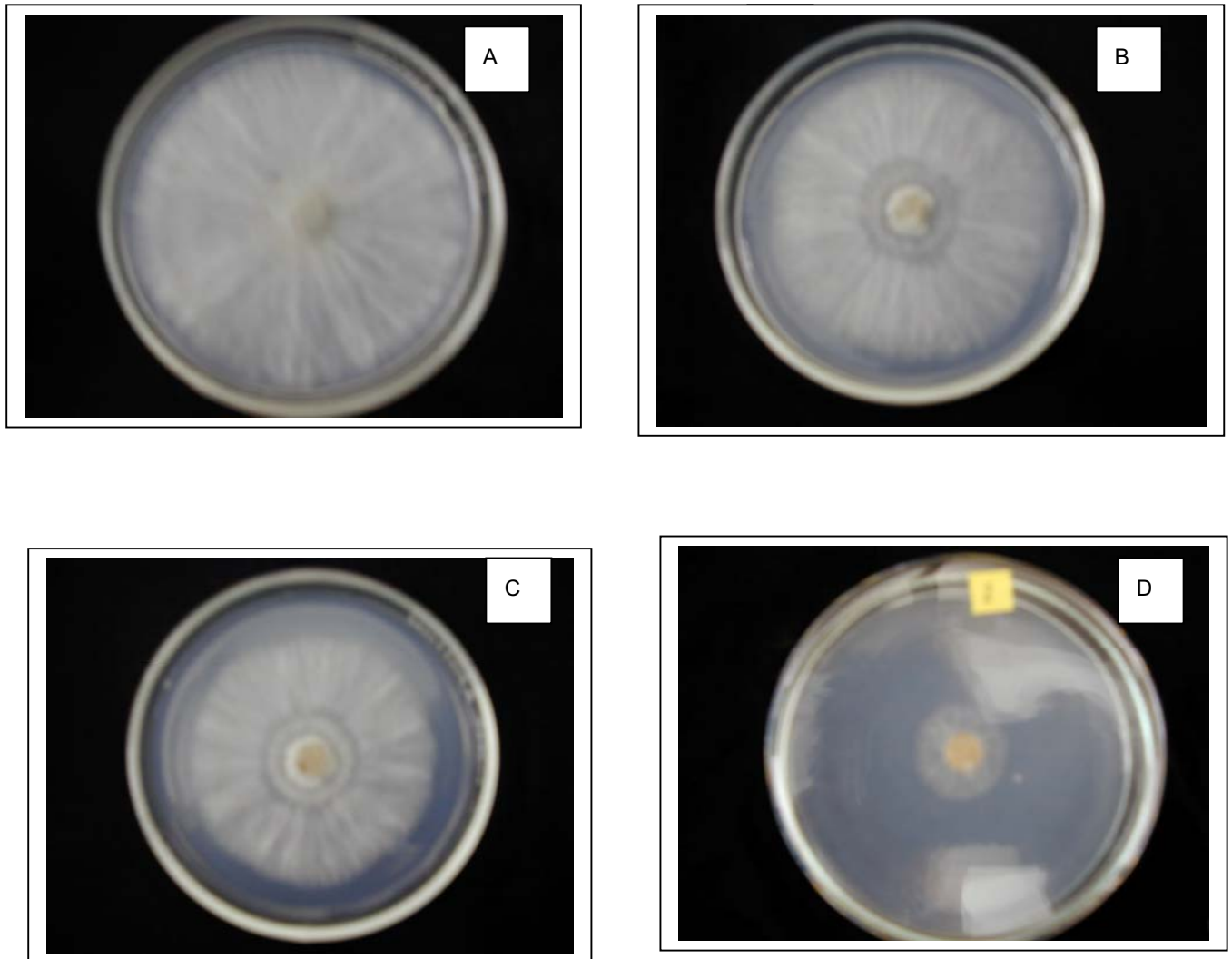
1.4 ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์

จากการนำเส้นใยเชื้อ *Lasiodiplodia* sp. ที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 60 นาทีพบว่า เส้นใยเกิดความผิดปกติ เช่น เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดปุ่มปมที่บริเวณผิวของเซลล์ (ภาพ 7B)

เมื่อเทียบกับเส้นใยปกติที่ไม่ได้ผ่านการรมด้วยโอโซน(ภาพ 7A) เช่นเดียวกับภาพที่ถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพ 8) นอกจากนี้ยังพบโครงสร้างของสปอร์ของ *Cladosporium* sp. ได้รับความเสียหายแตกหักเมื่อได้รับโอโซน (ภาพ 9)



ภาพ 2 ผลของระยะเวลาในการรมโอโซนต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนี *Lasiodiplodia* sp. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28°C นาน 30 ชั่วโมง



ภาพ 3 การเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. บนจานอาหาร PDA หลังจาก
 รมด้วยโอโซนเป็นเวลา 0 (A) 30 (B) 60 (C) และ 120 นาที (D) แล้วนำมาบ่มที่
 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 ชั่วโมง

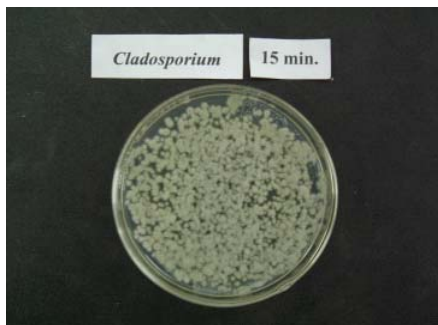
ตาราง 8 ผลของระยะเวลาในการรวมไอโซนต่อการเติบโตของเชื้อ *Cladosporium* sp. หลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28°C นาน 3 วัน

ระยะเวลาในการรวม (นาทีก)	จำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น (cfu/ml)
Control	ไม่สามารถนับได้
15	ไม่สามารถนับได้
30	644
60	0
120	0

Control



15 min.



30 min.



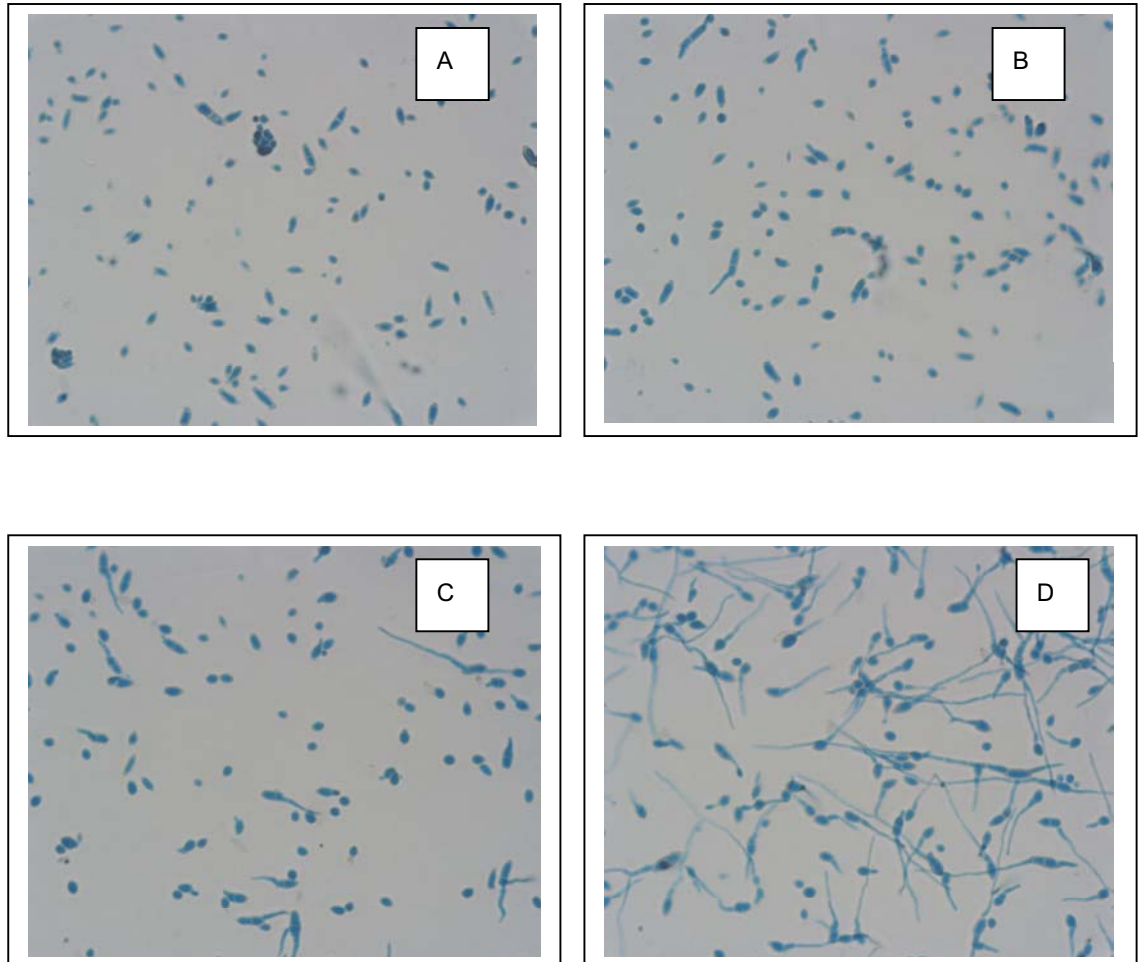
60 min.



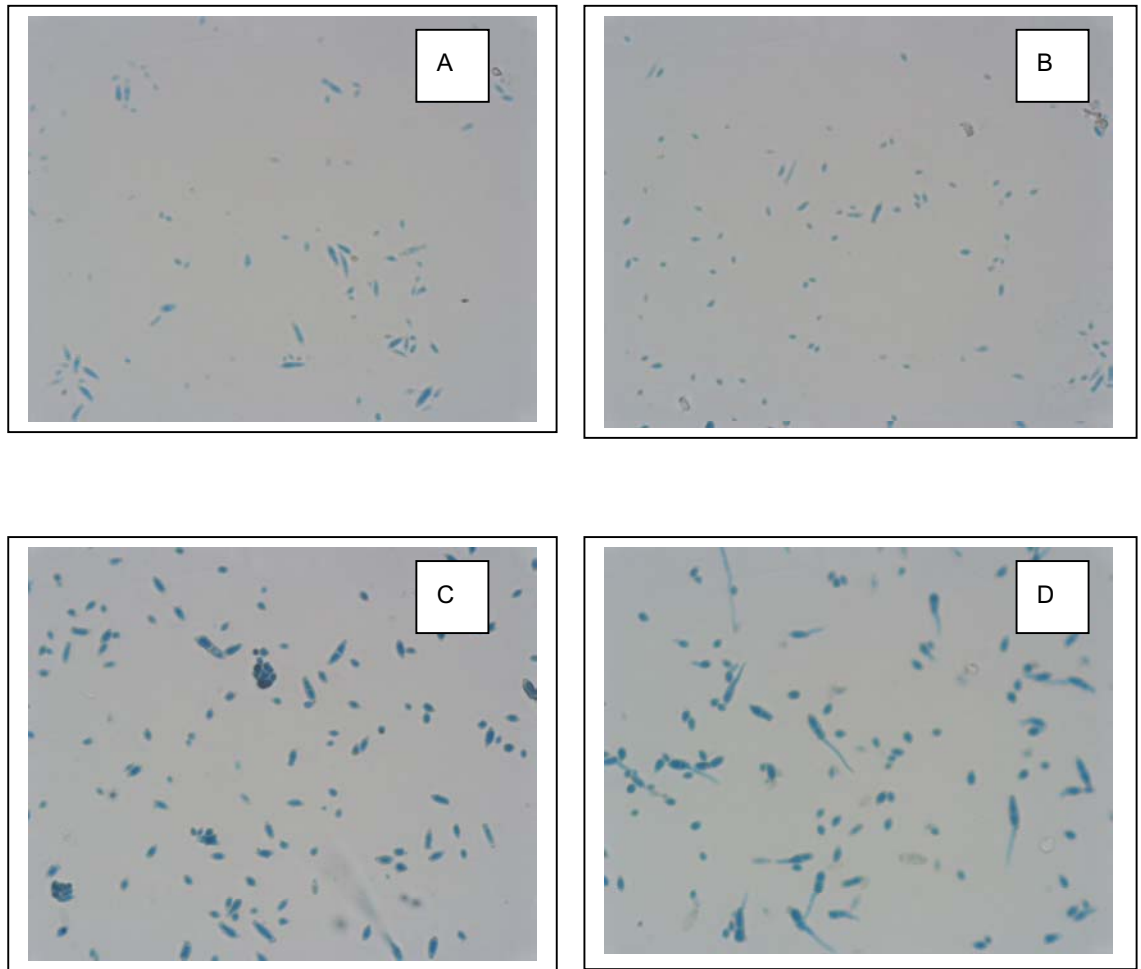
120 min.



ภาพ 4 จำนวนโคโลนีและการเจริญเติบโตของเชื้อ *Cladosporium* sp. ภายหลังจากการรมด้วยไอโซนเป็นระยะเวลาต่างๆ



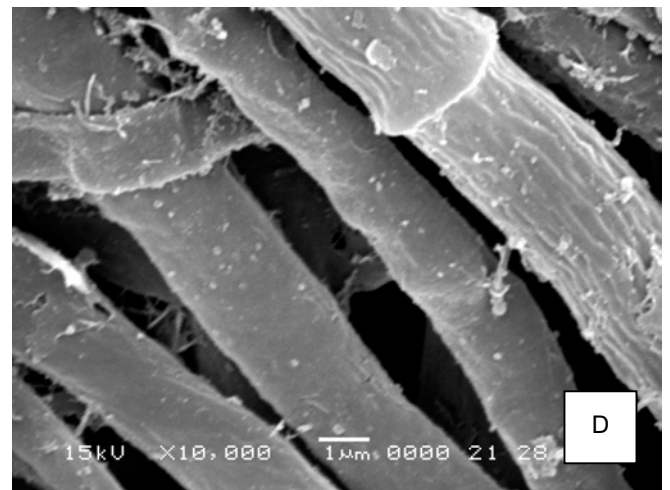
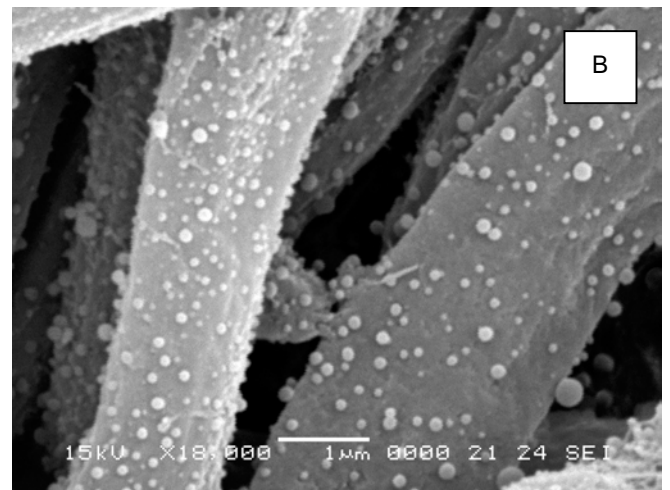
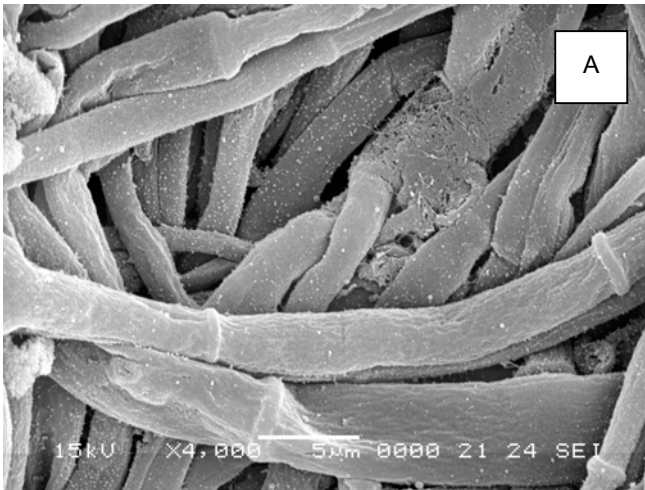
ภาพ 5 การงอกของสปอร์เชื้อ *Cladosporium* ชุดที่ไม่ได้รมด้วยโอโซน ที่ชั่วโมงที่
(A)0,(B)6, (C)12 และ (D)24



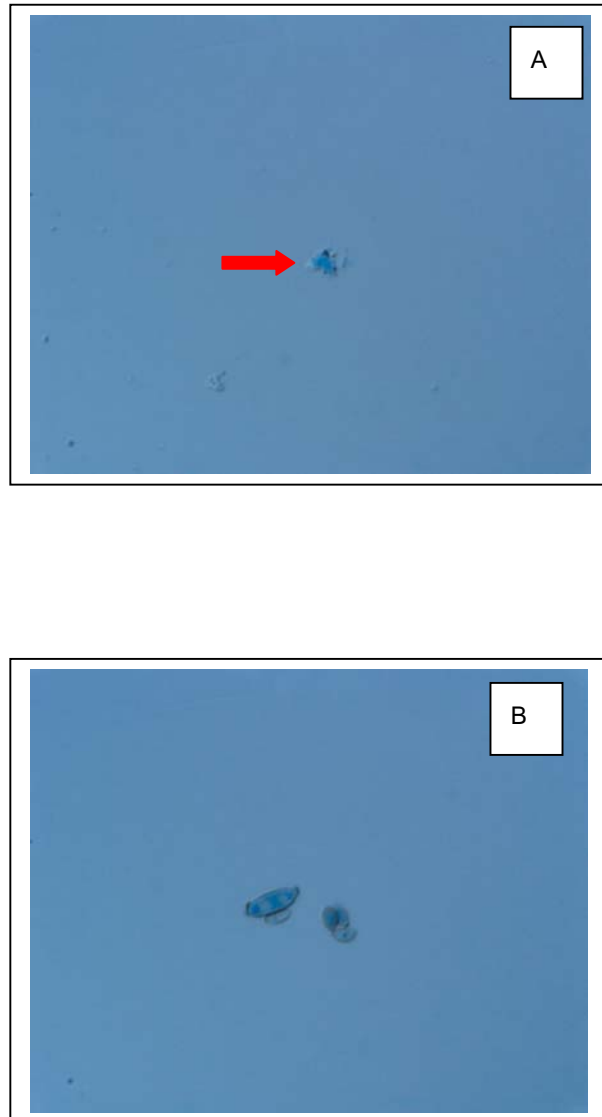
ภาพ 6 การงอกของสปอร์เชื้อ *Cladosporium* sp. ชุดที่รมด้วยไอโซนเป็นเวลา 60 นาที ที่ ชั่วโมงที่ (A)0, (B)6, (C)12 และ (D)24



ภาพ 7 ลักษณะเส้นใยเชื้อรา *Cladosporium* sp. หลังจากกรมโอโซนเป็นเวลา 60 นาที พบอาการ
ผิปกติของเส้นใย โดยมมีอาการพองบวม (ลูกศรชี้) (B) เมื่อเทียบกับเส้นใยปกติ (A)



ภาพ 8 ลักษณะเส้นใยเชื้อรา *Cladosporium* sp. เมื่อดูด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) หลังจากกรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 120 นาที (A และ B) เทียบกับเส้นใยปกติ (C และ D)



ภาพ 9 ลักษณะสปอร์ของเชื้อ *Cladosporium* sp. หลังจากรมด้วยไอโซนเป็นเวลา 120 นาที (A) จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง (ตามลูกศรชี้) เมื่อเปรียบเทียบกับสปอร์ที่ไม่ได้ผ่านการรมด้วยไอโซน (B)

2. ศึกษาผลของโอโซนต่อการควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังเก็บเกี่ยว

2.1 วิธีการรมด้วยก๊าซโอโซน

2.1.1 ความแน่นเนื้อของผล

เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ เป็นระยะเวลา 6 วันค่าความแน่นเนื้อไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้น การรมด้วยก๊าซโอโซนทุกระยะเวลามีแนวโน้มทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลงมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รมด้วยก๊าซโอโซน (ภาพ 10)

2.1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ทุกชุดการทดลองที่รมด้วยโอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาทีมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 29 วัน ที่อุณหภูมิ 5 °ซ (ภาพ 11)

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลลำไย

- สีเปลือกด้านนอก

หลังจากที่รมด้วยก๊าซโอโซนทันที ที่ระยะเวลา 30, 60 และ 120 นาที และหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน พบว่าสีเปลือกด้านนอกมีสีเหลืองสว่างกว่าชุดการทดลองอื่นๆ (ภาพที่ 8) แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวด้านนอกไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพ 12)

- สีเปลือกด้านใน

การรมด้วยก๊าซโอโซน ที่ระยะเวลา 60 และ 120 นาที พบว่าหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 วันทำให้สีเปลือกด้านในมีค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ (ภาพ 13)

2.1.4 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

จากผลการทดลองของ เปอร์เซ็นต์จำนวนผลลำไยที่เกิดโรคเน่า ภายหลังจากที่มีการปลูกเชื้อ *Cladosporium* sp. แล้วรมด้วยก๊าซโอโซนที่เวลาต่าง ๆ นั้น พบว่า ที่เวลา 60 นาที มีเปอร์เซ็นต์จำนวนผลลำไยที่เกิดโรคเน่าน้อยที่สุดเท่ากับ 38.5 % ในขณะที่ชุดควบคุมมีอยู่ 62.5 % (ภาพ 14 และ 15) ส่วนการรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 15 และ 30 นาที พบเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของลำไย เท่ากับ 50 และ 50.25 % ตามลำดับ

2.2 วิธีการแช่น้ำโอโซน

2.2.1 ความแน่นเนื้อของผล

เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ เป็นระยะเวลา 6 วันค่าความแน่นเนื้อไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้น การรมด้วยก๊าซโอโซนทุกระยะเวลามีแนวโน้มทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลงมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รมด้วยก๊าซโอโซน (ภาพ 16)

2.2.2 ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าต่ำกว่าปกติในลำไยที่แช่น้ำโอโซนเป็นเวลา 60 นาที และมีแนวโน้มลดต่ำลงเรื่อยๆเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ส่วนชุดการทดลองอื่นไม่มีความแตกต่างกันมากนัก (ภาพ 17)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลลำไย

- สีเปลือกด้านนอก

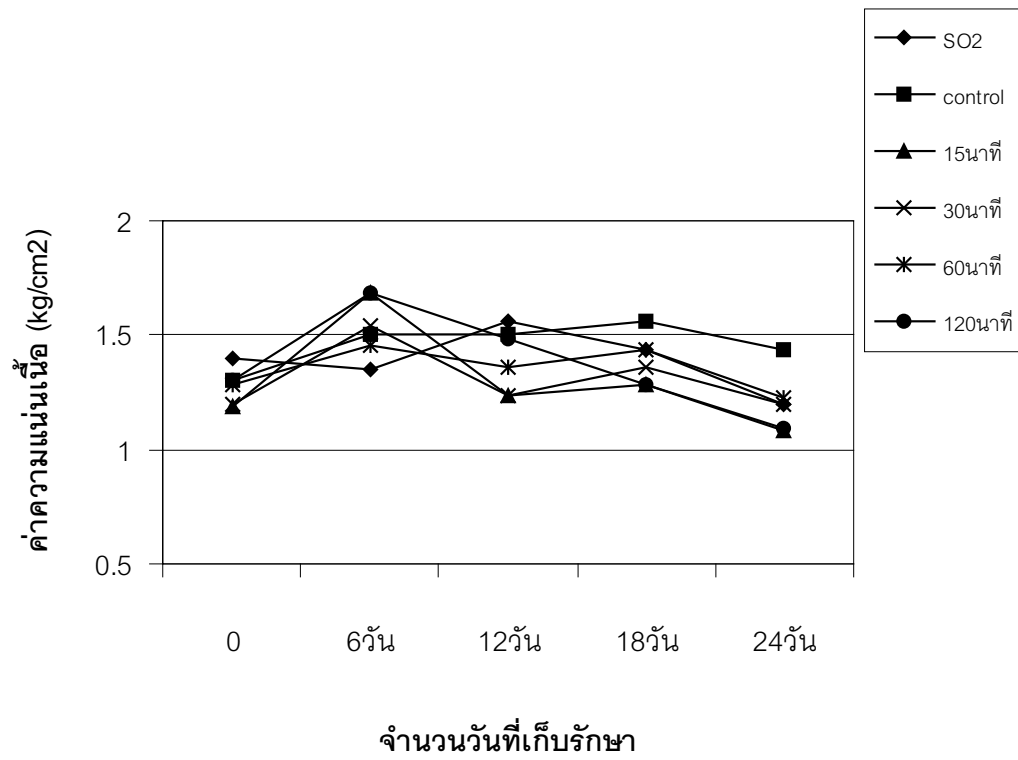
การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกนอกไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง แต่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าสีเปลือกใน แม้ว่าจะพบการเปลี่ยนแปลงสีผิวเพียงเล็กน้อยในช่วง 12 วันแรก แต่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็ว เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 18 วัน เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่รมด้วยก๊าซ (ภาพ 18)

- สีเปลือกด้านใน

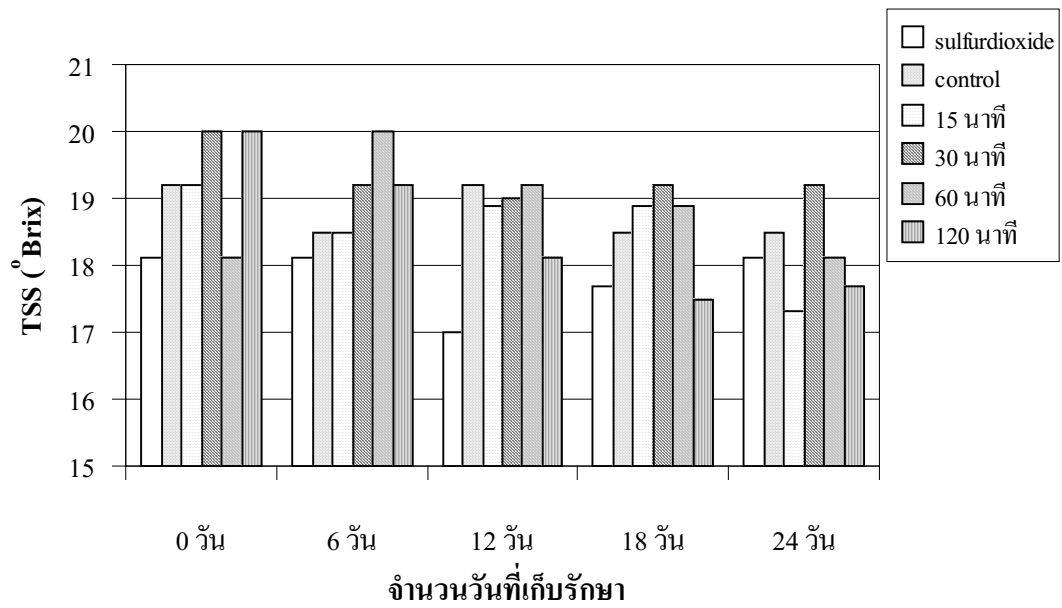
การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกในไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง แต่มีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลช้ากว่าชุดการทดลองที่รมด้วยก๊าซโอโซน (ภาพ 19 และ 20)

2.2.4 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

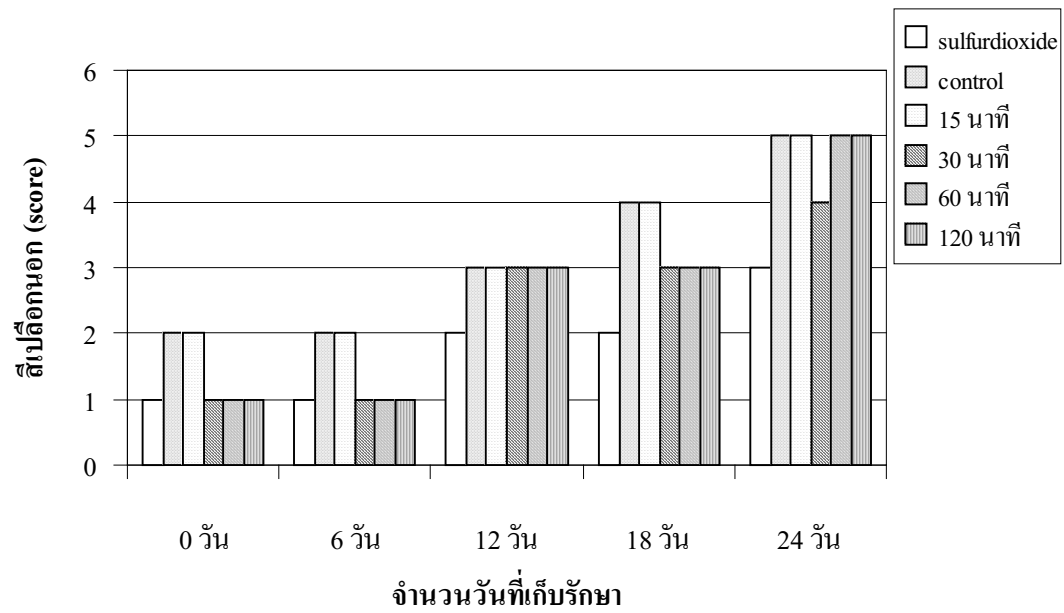
จากผลการทดลองของเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลลำไยที่เกิดโรคเน่าภายหลังที่มีการปลูกเชื้อและแช่น้ำที่มีโอโซนเป็นเวลา 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ เป็นเวลา 24 วัน พบว่า การแช่ผลลำไยด้วยน้ำโอโซนทุกระยะเวลามีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคไม่แตกต่างกันจากชุดควบคุม โดยเริ่มเกิดโรคมากที่สุด (85%) ตั้งแต่วันที่ 13 ของการเก็บรักษาในขณะที่การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเริ่มมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (19%) ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา (ภาพ 21)



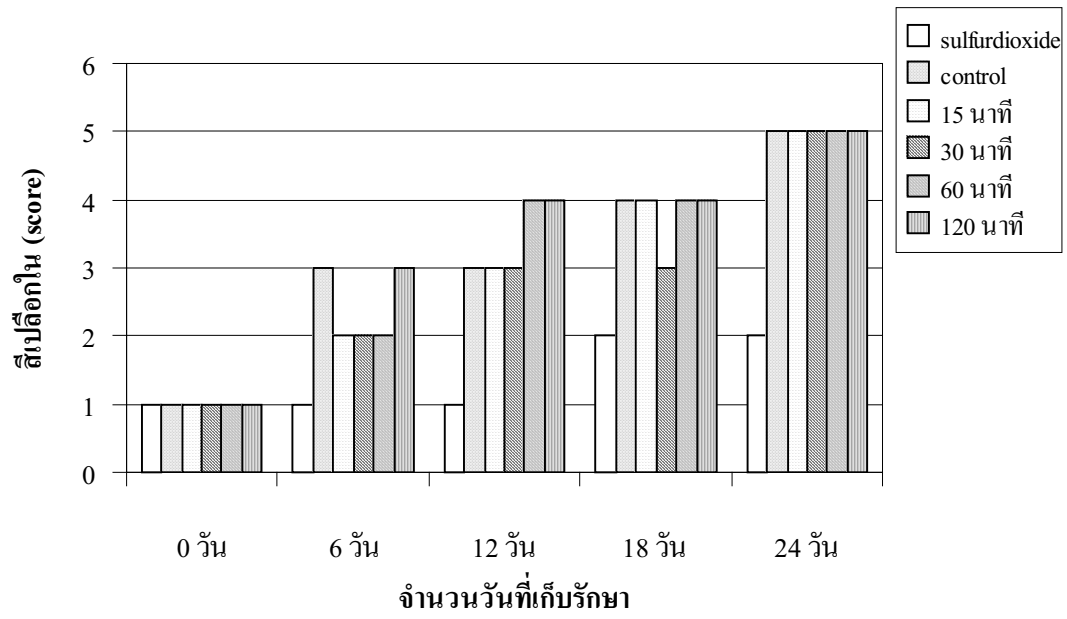
ภาพ 10 ความแน่นเนื้อของผลลำไยที่ไม่ได้รม และที่รมด้วยโอโซนที่ระยะเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที



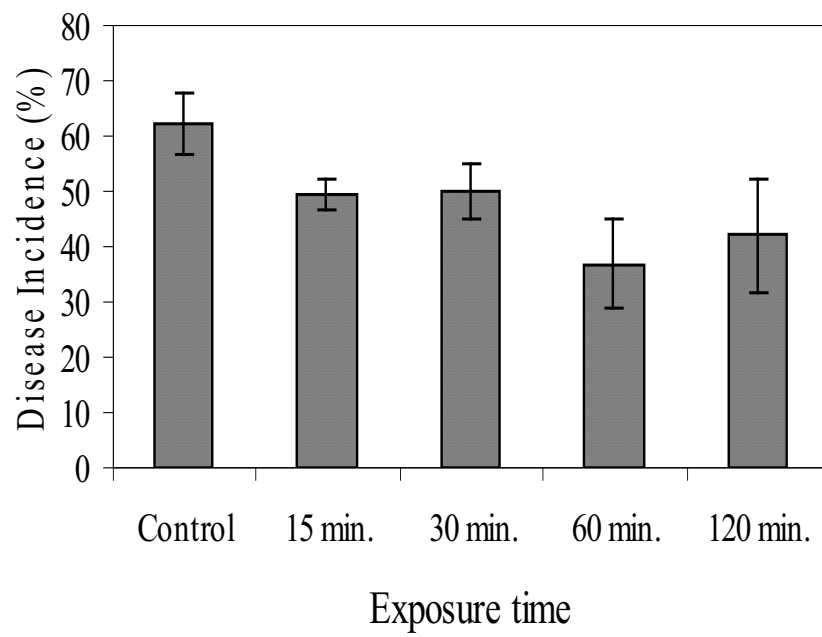
ภาพ 11 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำของผลลำไยที่ไม่ได้รม และที่รมด้วยโอโซนที่ระยะเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที



ภาพ 12 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกของผลลำไยที่ไม่ได้รมและที่รมด้วยโอโซนที่
ระยะ เวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที



ภาพ 13 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านในของผลลำไยที่ไม่ได้รมและที่รมด้วยไอโซนที่ระยะเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที



ภาพ 14 เปอร์เซนต์การเกิดโรคของผลลำไยเมื่อรมด้วยโอโซนเป็นระยะเวลาต่างๆ หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C นาน 3 วัน (Vertical bars represent standard errors)

SO₂

Cont

15 min

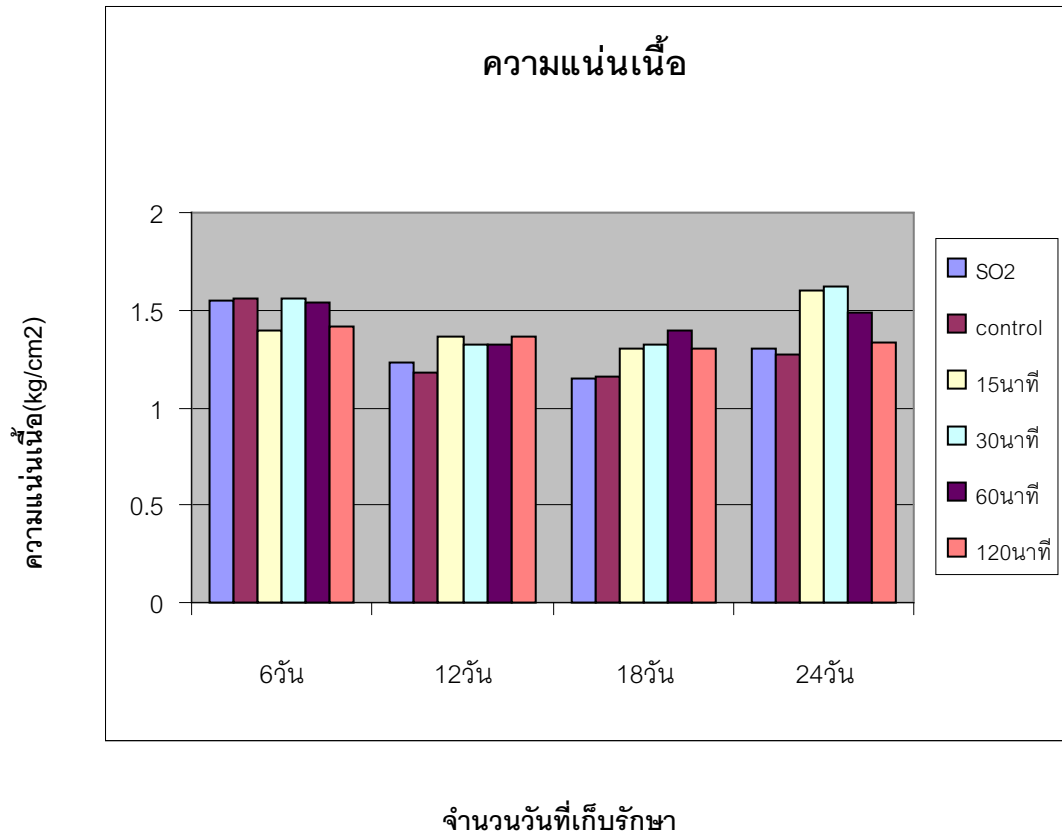


30 min

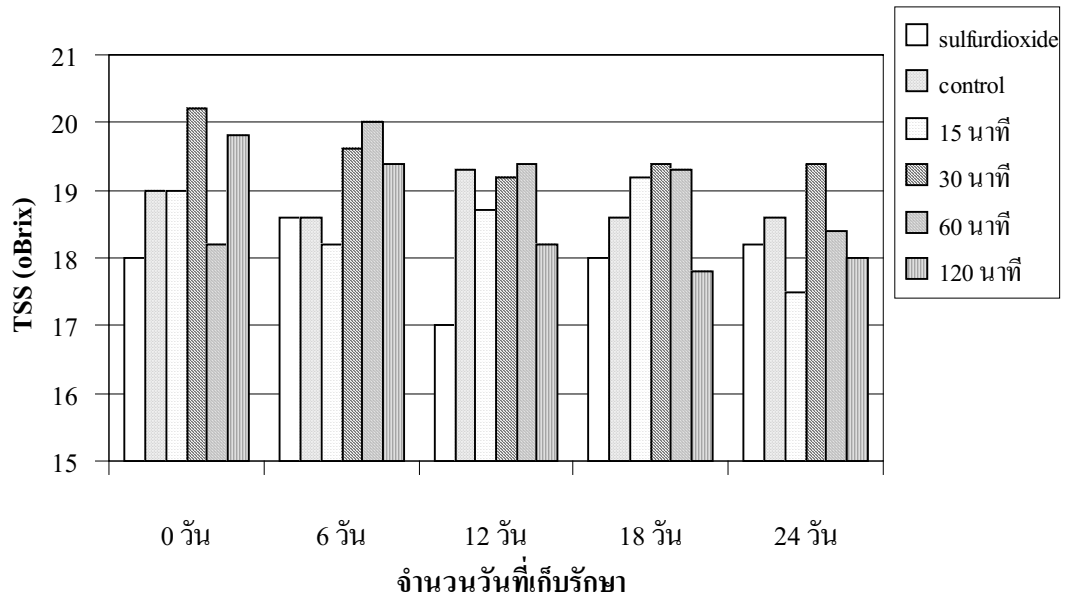
60 min

120 min

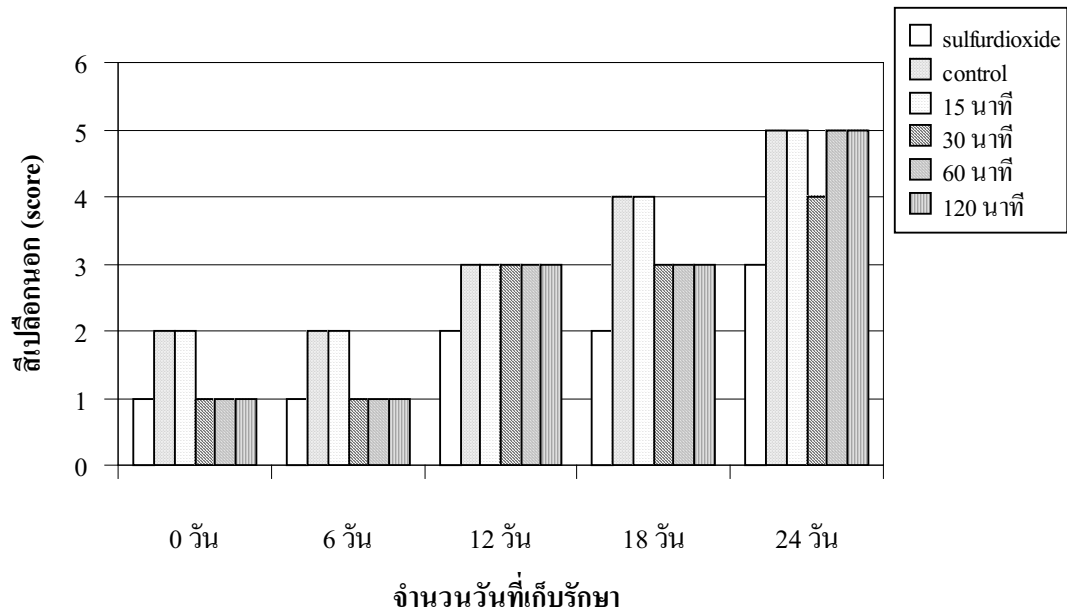
ภาพ 15 เปรียบเทียบการเกิดโรคและลักษณะผลลำไยที่รมด้วย SO₂ และรมด้วยโอโซน เป็นเวลา 15 30 60 และ 120 นาที กับลำไยที่ไม่ได้รมรมด้วยโอโซน หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 6 วัน



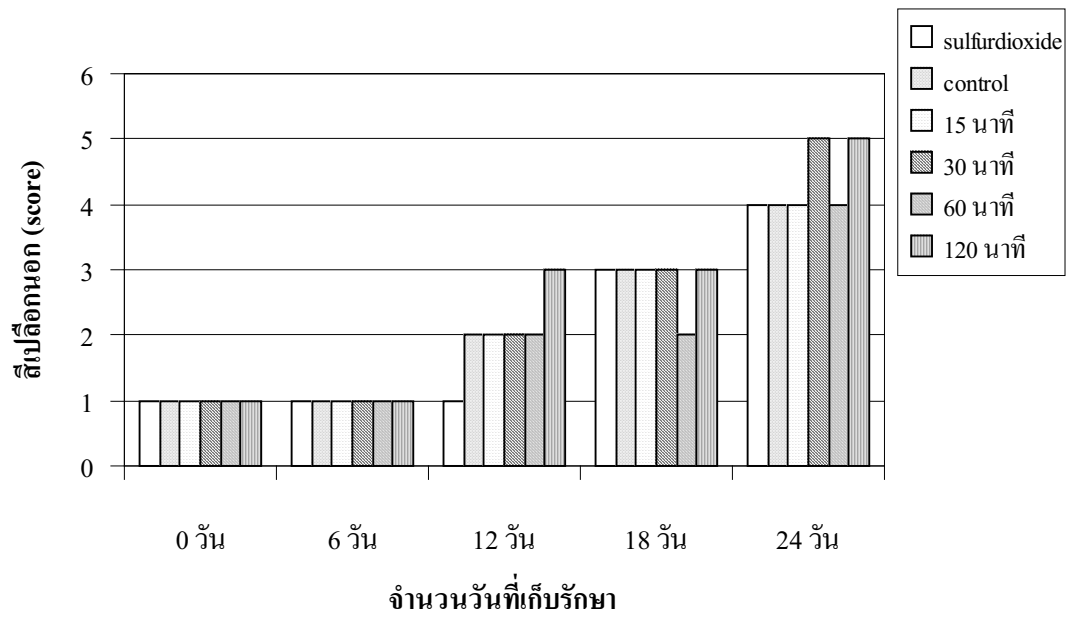
ภาพ 16 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลลำไยที่ไม่ได้แช่และที่แช่น้ำไอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที



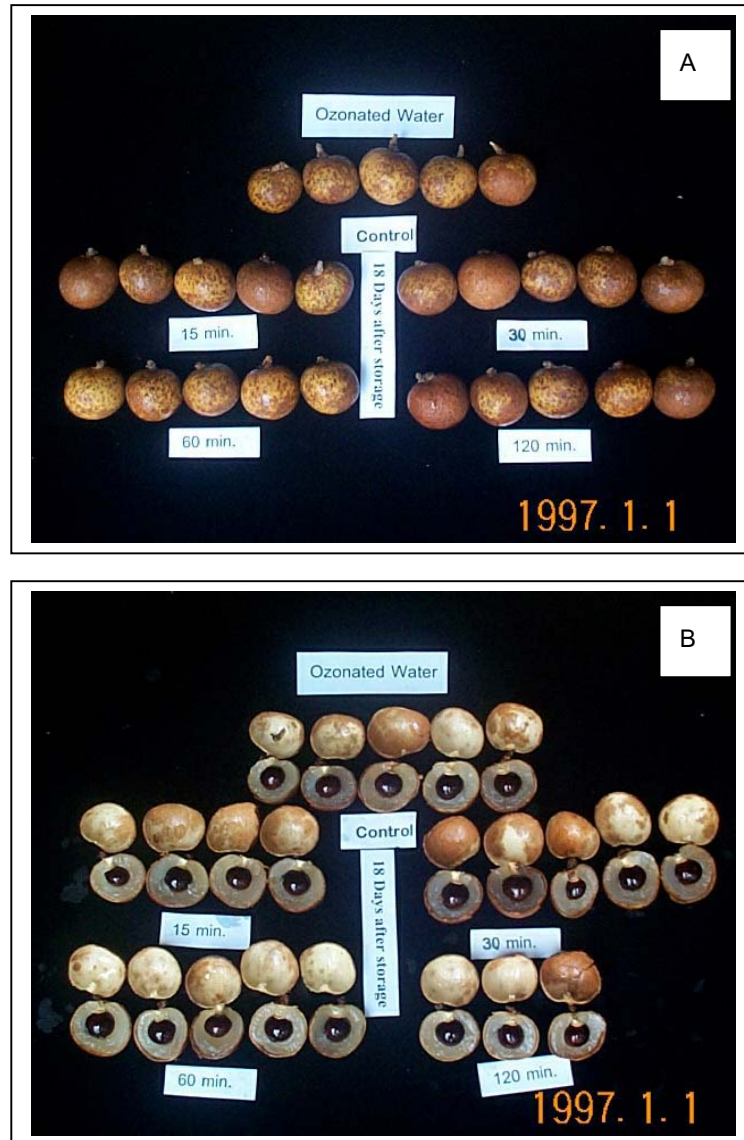
ภาพ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลำไยที่ไม่ได้แช่และที่แช่น้ำ
โอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที



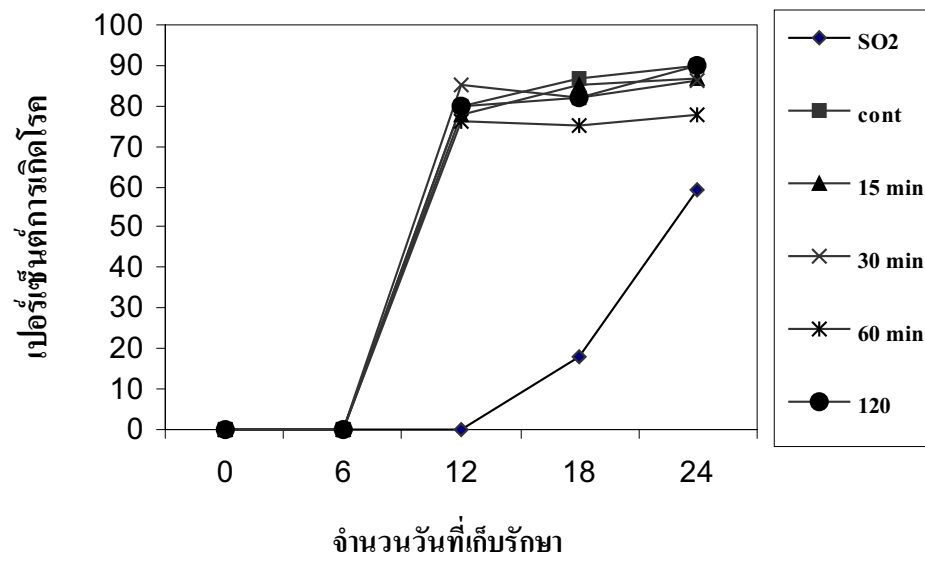
ภาพ 18 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกของผลลำไยที่ไม่ได้แช่และที่แช่น้ำไอโซน เป็น เวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที



ภาพ 19 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านในของผลลำไยที่ไม่ได้แช่และที่แช่น้ำไอโซน เป็น เวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที



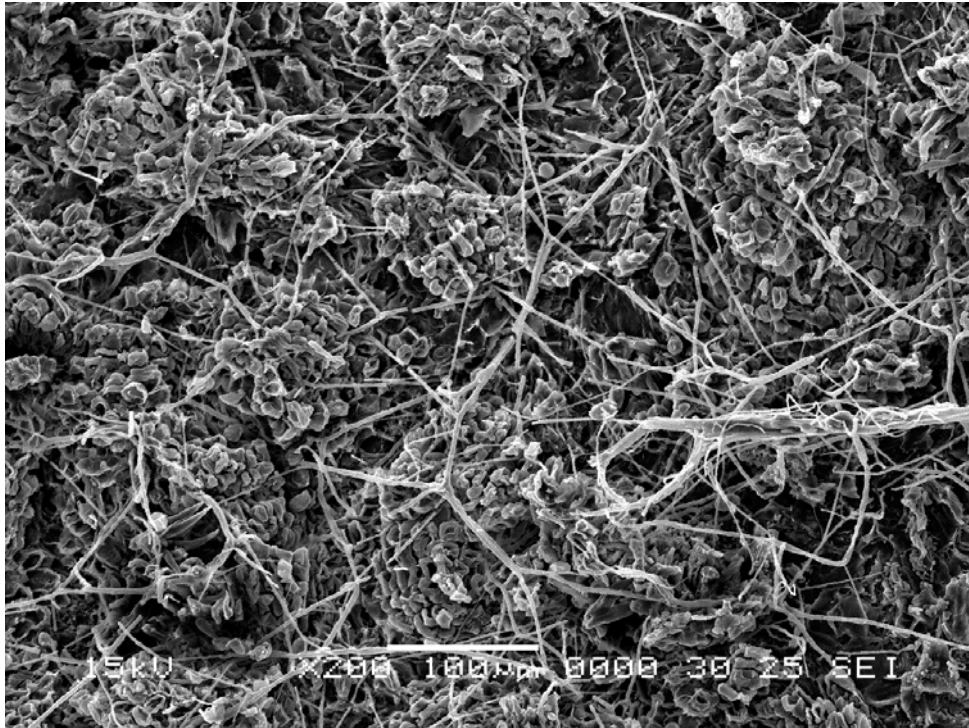
ภาพ 20 สีเปลือกผลลำไยหลังแช่ในน้ำโอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที และเก็บรักษาไว้นาน 18 วัน (A) สีเปลือกนอก และ (B) สีเปลือกใน



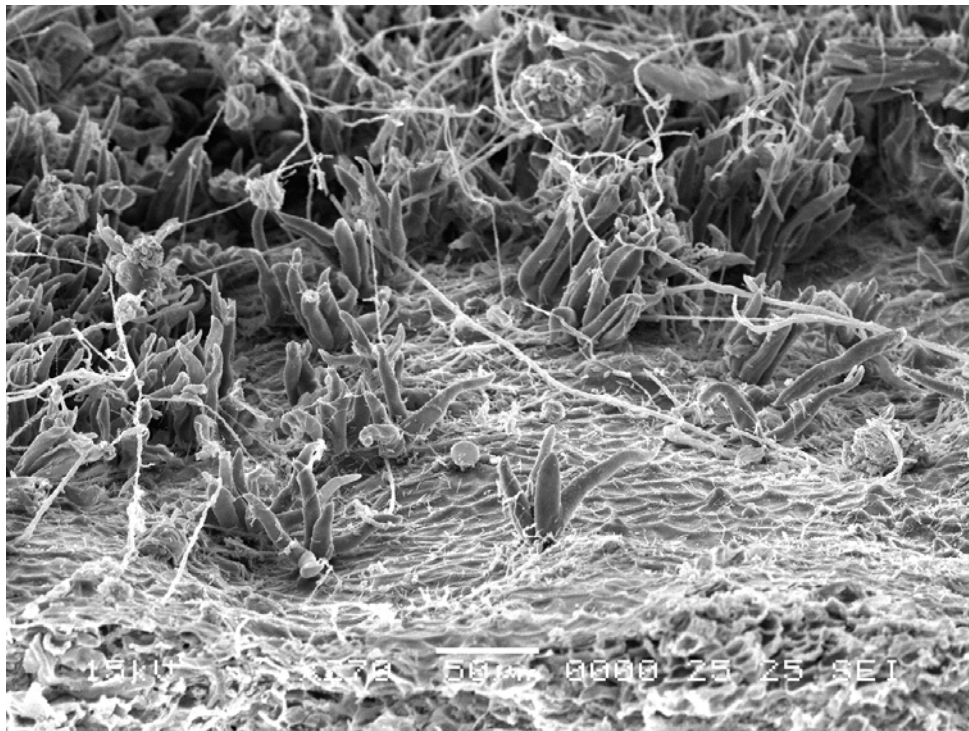
ภาพ 21 เปอร์เซนต์การเกิดโรคของผลลำไยที่ไม่ได้แช่ และที่แช่น้ำไอโซนเป็นเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที

3. การศึกษาผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อของเปลือกผลลำไยภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

จากการศึกษาผิวเปลือกลำไยที่ไม่ได้ผ่านการรมโอโซน จากภาพ 22 จะพบเส้นสายของเชื้อราปกคลุมบนเปลือกผลที่มีลักษณะของเปลือกที่ขรุขระ และพบกลุ่มของ epidermal hairs ที่มีเส้นใยของเชื้อราปกคลุมจำนวนมาก(ภาพ 22B) ส่วนผลลำไยที่ผ่านการรมโอโซนที่ระยะเวลา 60 นาที (ภาพ 23) ลักษณะของเปลือกผลมีรอยขรุขระ(ภาพ 23B) และลักษณะของ epidermal hairs คล้ายกับของ epidermal hairs ที่ไม่ได้ผ่านการรมโอโซน แต่พบการแตกหักบางส่วน และเส้นใยเชื้อราพบจำนวนน้อยมาก(ภาพ 22B) ต่อมาเมื่อผลลำไยที่ผ่านการรมโอโซนที่ระยะเวลานานขึ้นคือ 120 นาที (ภาพ 24) พบผิวเปลือกลำไยมีรอยแตกเสียหายกระจายทั่วไป (ภาพ 24B) และลักษณะของ epidermal hairs มีรูปร่างผิดปกติโดยมีบางส่วนหักงอ(ภาพ 24A) ส่วนผลลำไยที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ภาพ 25) ลักษณะของ epidermal hairs จะมีลักษณะลึบเล็ก และเปลือกผลจะมีรอยขรุขระ และพบรอยแตกกระจายทั่วไป(ภาพ 25B)

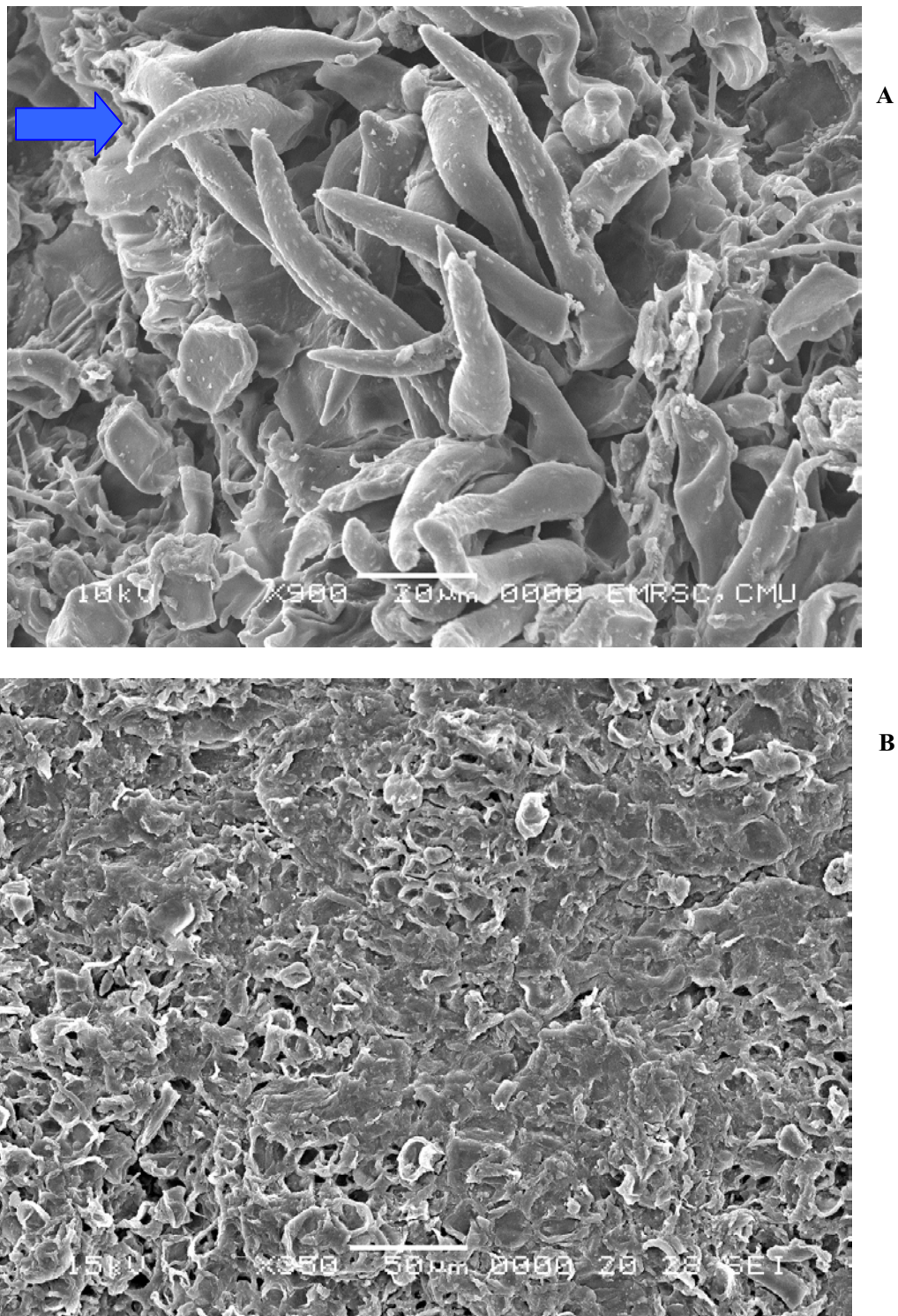


A

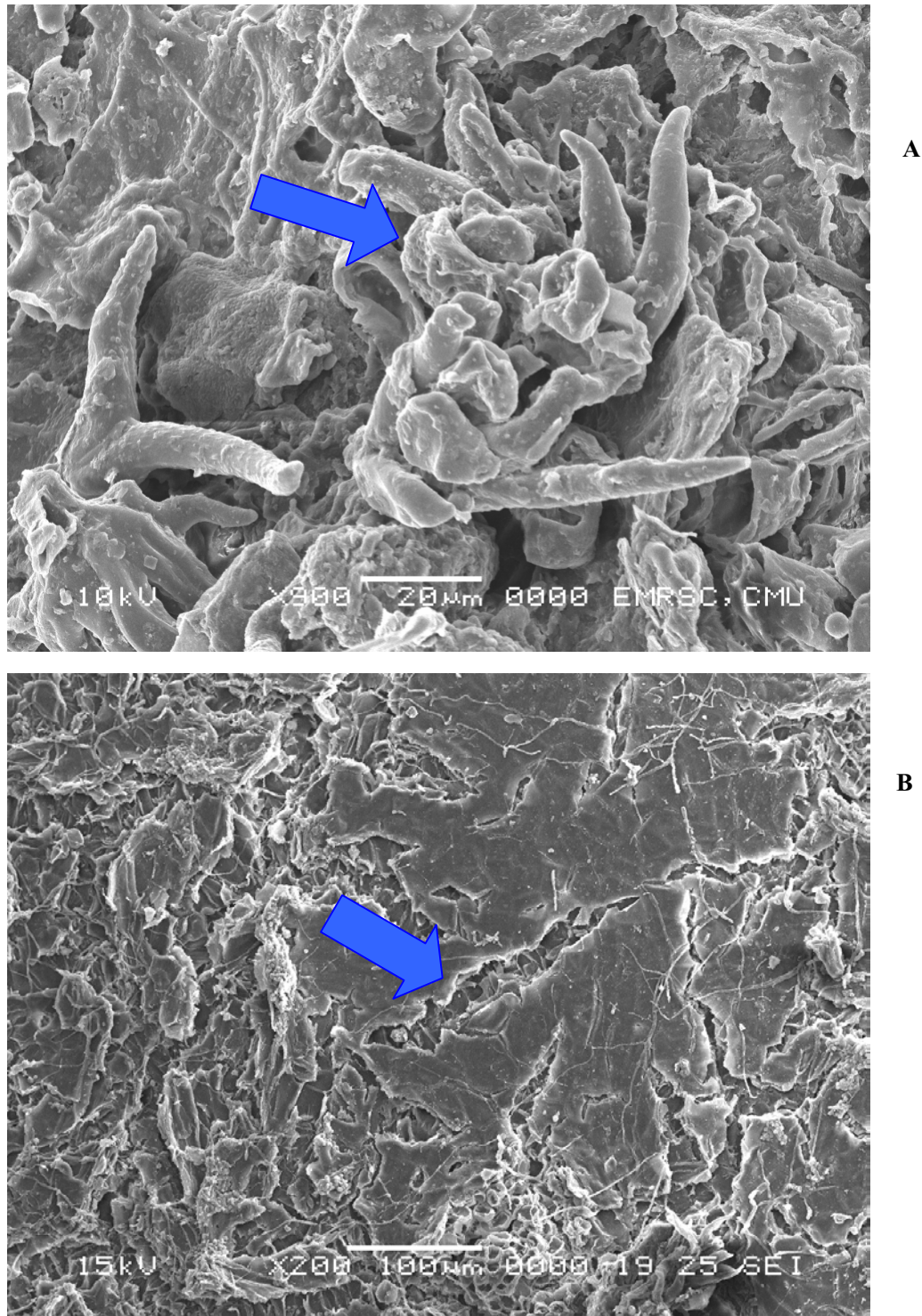


B

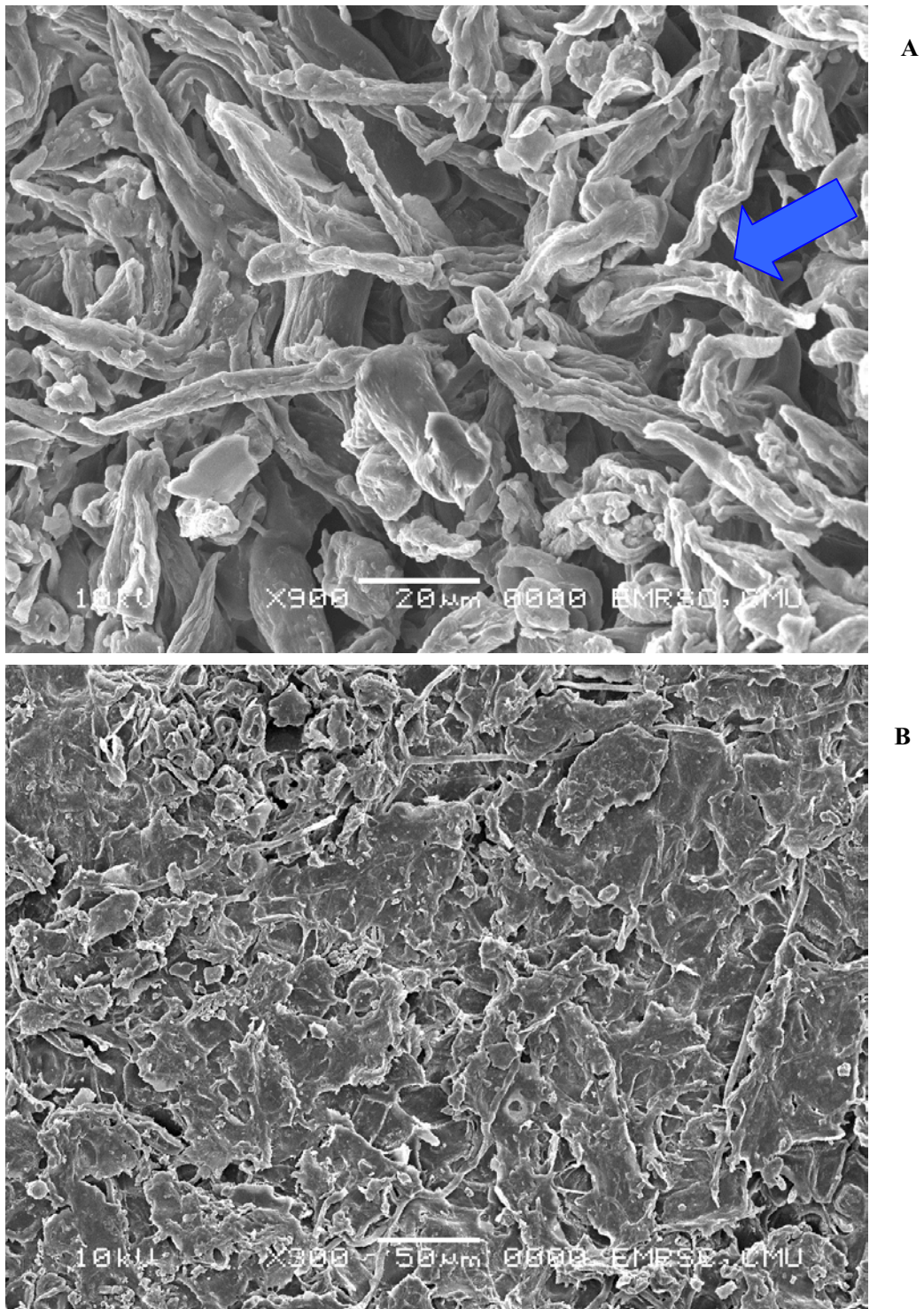
ภาพ 22 แสดงพืชเปือกกล้วยที่ไม่ได้ผ่านการรมโอโซน จากภาพถ่าย top view (A) และ side view (B) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบเส้นใยเชื้อราปกคลุมพืชเปือกกล้วยจำนวนมาก



ภาพ 23 แสดงลักษณะ Epidermal hairsแบบ non glandular-trichome (ลูกศรชี้)(A) และลักษณะ cuticle ของผิวเปลือกกล้วย (B) หลังจากผ่านการรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 60 นาที



ภาพ 24 แสดงลักษณะ Epidermal hairs ที่ผิดปกติมีลักษณะหงิกงอ (ลูกศรชี้) (A) และผิวเปลือกที่พบรอยแตกเสียหายของ cuticle ของเปลือก (ลูกศรชี้) (B) หลังจากรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 120 นาที จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM)



ภาพ 25 แสดง Epidermal hairs ที่ผิดปกติโดยมีลักษณะลิบเล็ก (ลูกสรชี้)(A) และลักษณะ cuticle ของเปลือก(B)ผลลำไยหลังจากผ่านการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM)

4. การศึกษาผลของกรดอินทรีย์บางชนิดต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย

1. การเปลี่ยนสีของเปลือก

จากการศึกษาการเปลี่ยนสีของเปลือก โดยการวัดค่า L (แสดงถึงความสว่างของสี) ค่า a^* (มีค่าบวกแสดงว่าวัตถุมีสีแดง) ค่า b^* (มีค่าบวกแสดงว่าวัตถุมีสีเหลือง) จากเปลือกของผลลำไย เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า L ของชุดควบคุมมีแนวโน้มลดลง และผลลำไยที่ผ่านการแช่กรดทั้ง 3 ชนิด ค่า L ในแต่ละความเข้มข้นมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ผลลำไยที่แช่กรดซิตริกความเข้มข้น 10 % มีค่าลดลงเล็กน้อย และผลลำไยที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 และ 10 % มีค่า L เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือ 55.69 และ 57.5 ตามลำดับ (ภาพ 26)

ค่า a^* ของเปลือกผล เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในผลลำไยที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % มีค่า a^* มากที่สุดคือ 8.58 (ภาพ 27)

ค่า b^* ของเปลือกผล หลังจากผลลำไยแช่กรดอินทรีย์แล้ว เปลือกผลลำไยมีค่า b^* มากกว่าชุดควบคุม และในชุดที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % มีค่า b^* มากที่สุดคือ 39.12 และเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง แต่ในชุดที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 และ 10 % ยังคงมีค่า b^* มากกว่าชุดอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด คือ 23.08 และ 24.78 ตามลำดับ (ภาพ 28)

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids : TSS)

จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง เมื่อมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยก่อนการเก็บรักษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าระหว่าง 19.85-21.05 °บริกซ์ เมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าระหว่าง 18.25-20.45 °บริกซ์ และในชุดการทดลองที่แช่กรดออกซาลิกมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ภาพ 29)

3. ความแน่นเนื้อ (Firmness) ของผลลำไย

ความแน่นเนื้อของผลลำไยที่เก็บรักษาไว้มีแนวโน้มลดลง โดยก่อนการเก็บรักษาความแน่นเนื้อของผลลำไยที่แช่กรดซิตริกความเข้มข้น 10 % มีค่ามากที่สุดคือ 14.71 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร รองลงมาคือผลลำไยที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % คือ 12.25 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และเมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน ความแน่นเนื้อของชุดควบคุมมีค่าต่ำสุดคือ 9.807 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และในผลลำไยที่แช่กรดทั้ง 3 ชนิด มีค่าความแน่นเนื้อลดลง (ภาพ 30)

4. เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

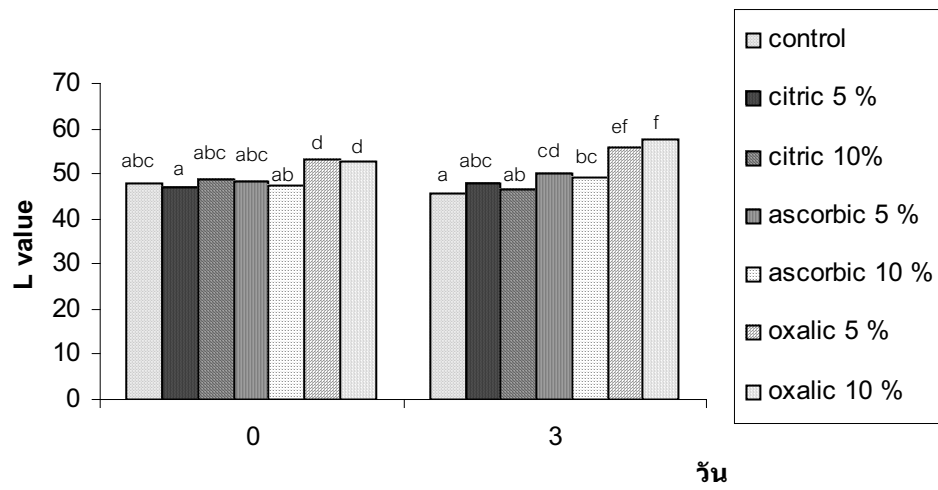
ผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์แล้วทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า เริ่มปรากฏเชื้อราในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาโดยจะเริ่มปรากฏเชื้อราบริเวณขั้วของผลหลังจากนั้นจะลามไปทั่วทั้งผล ซึ่งชุดที่ผ่านการแช่กรดซิตริกความเข้มข้น 10 % มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุด และชุดที่ผ่านการแช่กรดซิตริกความเข้มข้น 10 % มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยกว่าชุดควบคุม ส่วนและชุดที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิกและกรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 และ 10 % มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรรมากกว่าชุดควบคุม (ภาพ 31)

5. การประเมินคุณภาพด้านการบริโภค

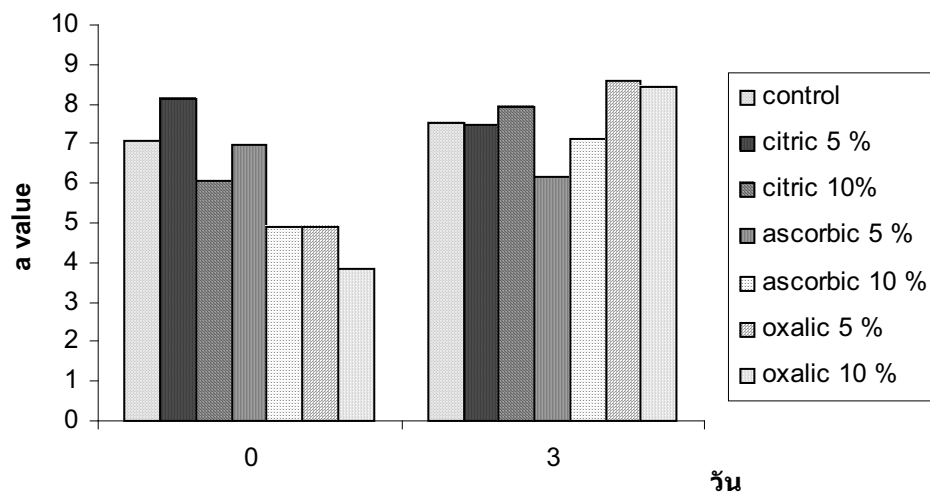
จากการประเมินคุณภาพด้านการบริโภค พบว่า หลังจากแช่กรดอินทรีย์ยังคงมีคุณภาพด้านการบริโภคที่ยังยอมรับอยู่ คือพอใจในรสชาติ กลิ่น ลักษณะของเนื้อผล ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมและเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น คุณภาพด้านการบริโภคมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในทุกชุดการทดลอง (ภาพ 32)

6. การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย

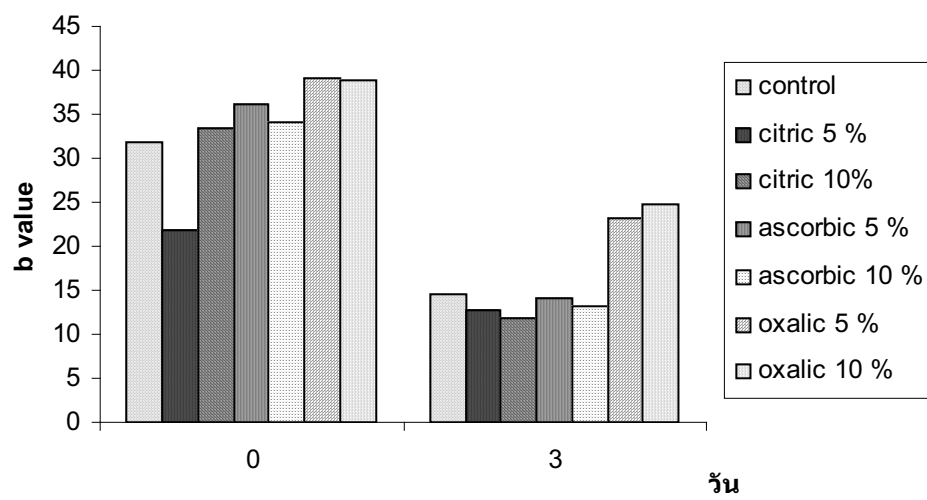
การเกิดสีน้ำตาลของของเปลือกผลลำไย หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C นาน 3 วัน พบว่า ระดับการเกิดสีน้ำตาลของชุดที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีระดับการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 1 รองลงมาคือชุดที่ผ่านการแช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 และ 10 % คือมีค่าเท่ากับ 2.1 และ 2.6 ตามลำดับ (ภาพ 33 และ 34)



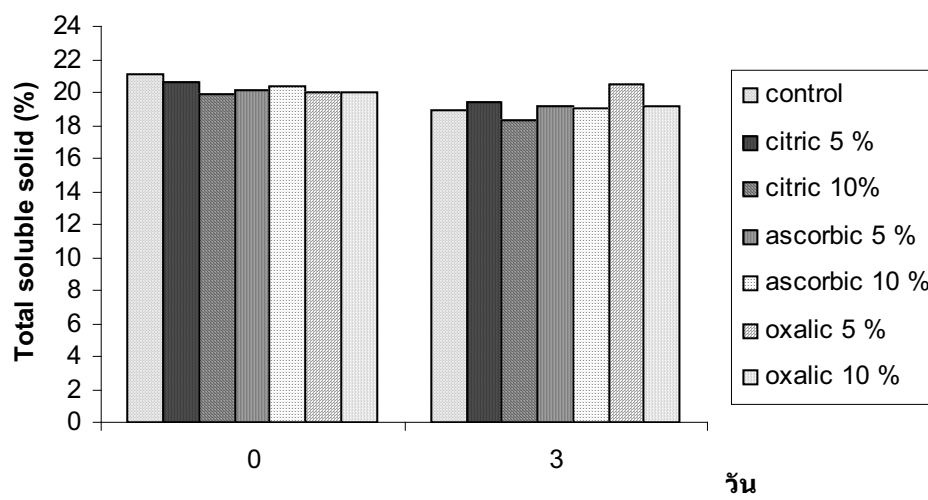
ภาพ 26 การเปลี่ยนแปลงความสว่าง (ค่า L) ของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C



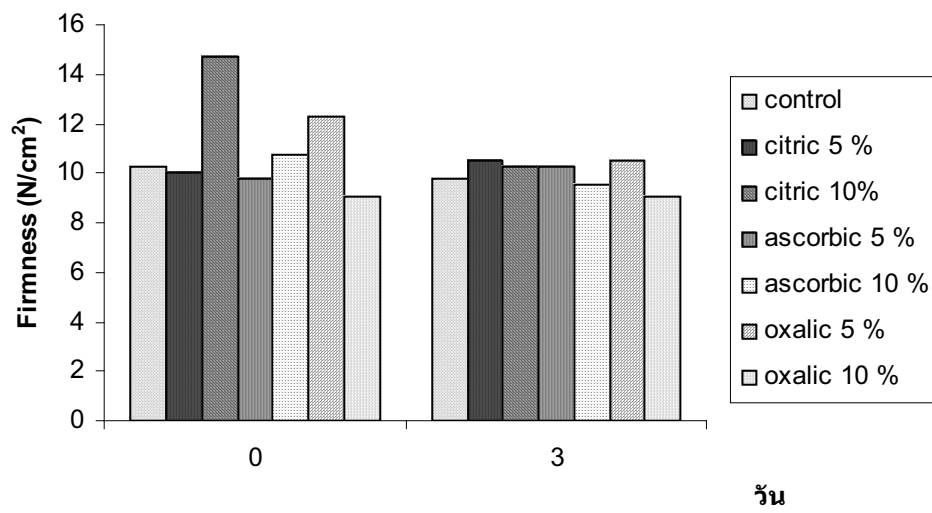
ภาพ 27 การเปลี่ยนแปลงความมีสีแดง (ค่า a) ของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้ว
เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C



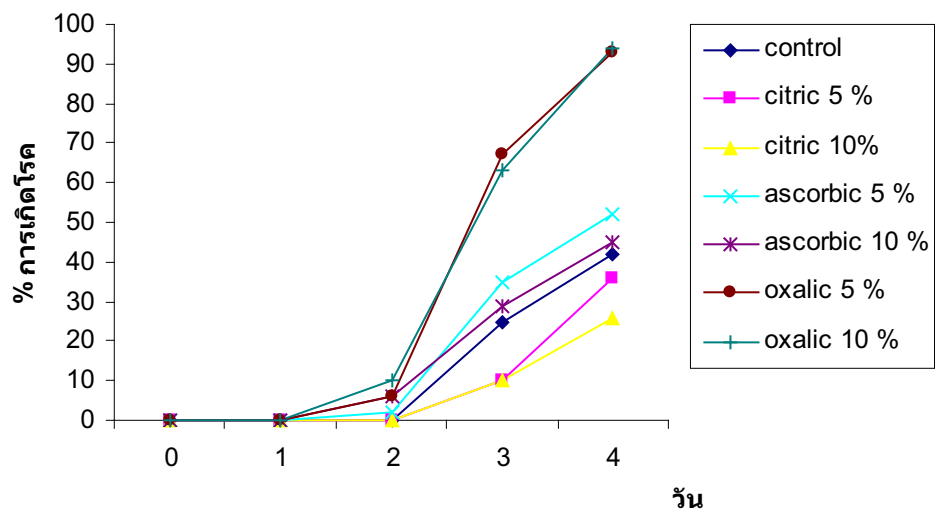
ภาพ 28 การเปลี่ยนแปลงความมีสีเหลือง (ค่า b) ของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิด แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C



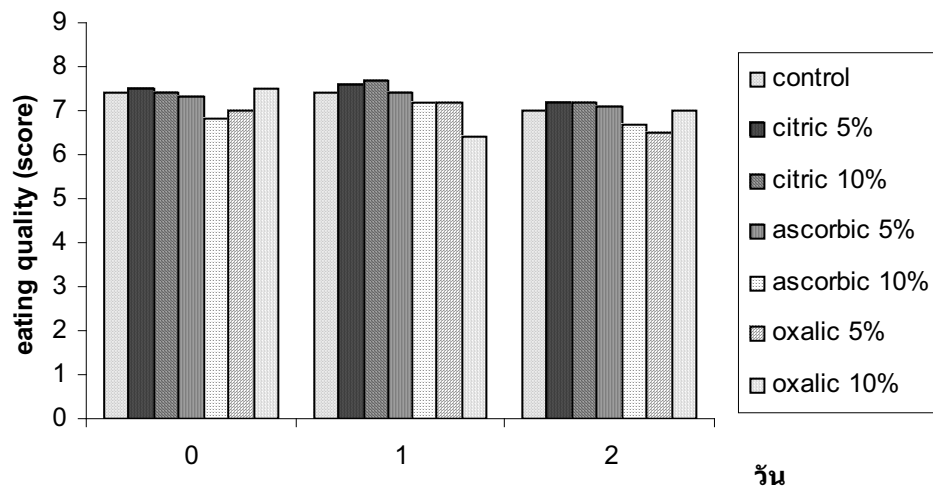
ภาพ 29 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solids) ของเนื้อผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C



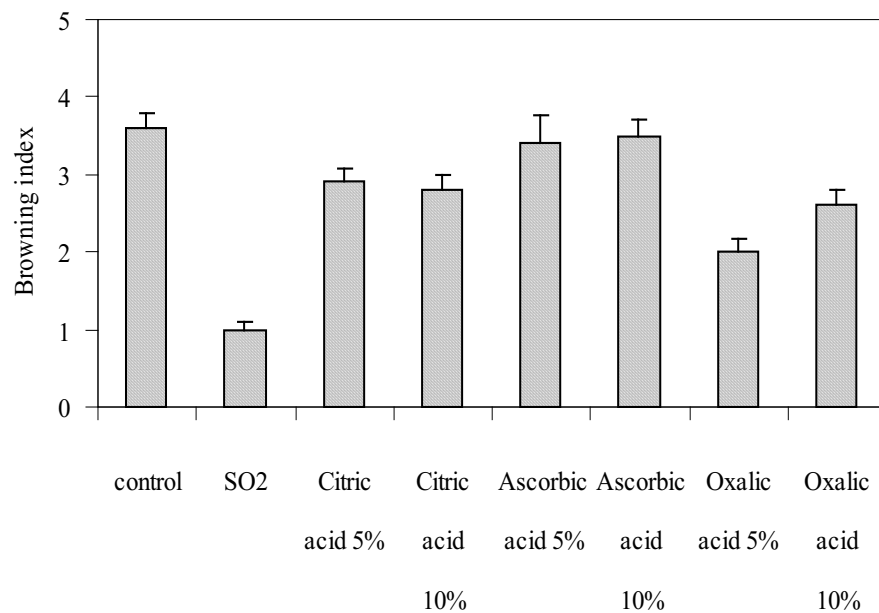
ภาพ 30 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C



ภาพ 31 เปอร์เซนต์การเกิดโรคของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C



ภาพ 32 การประเมินคุณภาพในการบริโภคของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C



ภาพ 33 เหนือการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C นาน 3 วัน (Columns with different letters indicated significantly differences by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$))

**Control****Citric 5 %****Ascorbic 5 %****Oxalic 5 %****Citric 10 %****Ascorbic 10 %****Oxalic 10 %**

ภาพ 34 ผลของกรดอินทรีย์บางชนิดต่อลักษณะเปลือกและสีของผลลำไยหลังจากเก็บที่
อุณหภูมิตั้งที่ 25°C เป็นเวลา 1 วัน

5. การศึกษาผลของโอโซนร่วมกับกรดอินทรีย์บางชนิดต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไย

1. การเปลี่ยนสีของเปลือก

จากการศึกษาการเปลี่ยนสีของเปลือก โดยการวัดค่า L (แสดงถึงความสว่างของสี) ค่า a^* (มีค่าบวกระบุว่าวัตถุมีสีแดง) ค่า b^* (มีค่าบวกระบุว่าวัตถุมีสีเหลือง) จากเปลือกของผลลำไย เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า L ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่า L มากที่สุดคือ 56.26 รองลงมาคือชุดที่ผ่านการแช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที ค่า L มีค่าเท่ากับ 55.23 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (44.43) (ภาพ 35)

ค่า a^* ของเปลือกผล เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในผลลำไยที่แช่กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที มีค่า a^* มากที่สุดคือ 9.49

ค่า b^* ของเปลือกผล หลังจากผลลำไยแช่กรดอินทรีย์แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที เปลือกผลลำไยมีค่า b^* มากกว่าชุดควบคุม และในชุดที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที มีค่า b^* มากที่สุดคือ 33.24 และเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง แต่ในชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าลดลงเล็กน้อย คือมีค่าเท่ากับ 26.22 ซึ่งมีความมากกว่าชุดอื่นๆ รองลงมาคือชุดที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที มีค่า b^* มีค่าเท่ากับ 22.84

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids : TSS)

จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง เมื่อมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยก่อนการเก็บรักษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าระหว่าง 17.74-18.92 °บrix เมื่อเก็บรักษานาน 2 สัปดาห์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าระหว่าง 17.68-18.68 °บrix และในชุดการทดลองที่แช่กรดซิตริกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาทีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตาราง 9 และภาพ 36)

3. ความแน่นเนื้อ (Firmness) ของผลลำไย

ความแน่นเนื้อของผลลำไยของทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในชุดที่ผ่านการแช่กรดซิตริกแล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที และชุดที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีความแน่นเนื้อต่ำเท่ากับ 10.05 และ 10.78 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วน

ชุดที่แช่ด้วยกรดออกซาลิกแล้วตามด้วยการรมด้วยโอโซนมีความแน่นเนื้อสูงที่สุดเท่ากับ 15.2 kg/cm² รองลงมาคือ ชุดที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิก มีค่าเท่ากับ 12.25 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร² (ภาพ 37)

4. ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์บนผิวเปลือกผลลำไยโดยการทำ Total plate count

จากการตรวจวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทันทีที่มีการแช่กรดอินทรีย์ต่างๆ ตามด้วยการรมด้วยโอโซน รวมทั้งการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่า ทุกชุดการทดลอง สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยชุดที่มีการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และชุดที่แช่กรดซิตริกมีค่าน้อยที่สุดคือ 11.0 และ 11.3 CFU/ml ตามลำดับ โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม โดยชุดควบคุมมีการตรวจนับพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด และชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีการตรวจนับพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุด รองลงมาคือชุดที่แช่กรดออกซาลิกและกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ชุดการทดลองที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ชุดที่แช่ด้วยกรดซิตริก, ออกซาลิก และชุดที่มีการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ยังคงมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ชุดการทดลองที่แช่ด้วยกรดซิตริกมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแช่ด้วยกรดออกซาลิกตามด้วยการรมโอโซนสามารถควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้นาน 2 สัปดาห์ โดยมาปริมาณจุลินทรีย์น้อยมาก (16.7 CFU/ml) ในขณะที่การรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่สามารถตรวจพบการปนเปื้อนเลย (ภาพ 38)

5. การประเมินคุณภาพด้านการบริโภค

จากการประเมินคุณภาพด้านการบริโภค พบว่า หลังจากแช่กรดอินทรีย์ทุกชนิดแล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาทีที่มีคุณภาพด้านการบริโภคที่ยังยอมรับอยู่ คือพอใจในรสชาติ กลิ่น ลักษณะของเนื้อผล ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และ 2 และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็น 3 สัปดาห์ คุณภาพด้านการบริโภคมีแนวโน้มลดลงโดยชุดควบคุมมีการลดลงมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3 ซึ่งไม่สามารถยอมรับจากผู้บริโภคได้ ส่วนชุดการทดลองอื่นที่แช่กรดเริ่มปรากฏของเชื้อราจึงไม่สามารถยอมรับจากผู้บริโภคเช่นกัน (ภาพ 39a)

6. เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคพบว่า ในช่วงการเก็บรักษา 2 สัปดาห์แรก ไม่พบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม และชุดที่รับโอโซน แต่ในสัปดาห์ที่ 3 ทุกชุดการทดลองที่แช่ด้วยกรดอินทรีย์ทุกชนิดก่อนได้รับโอโซนมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคระหว่าง 49.2-50.5 % ส่วนชุดควบคุมมี

เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 79.9 % ในขณะที่การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่ต่ำตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพ 39b)

6.การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย

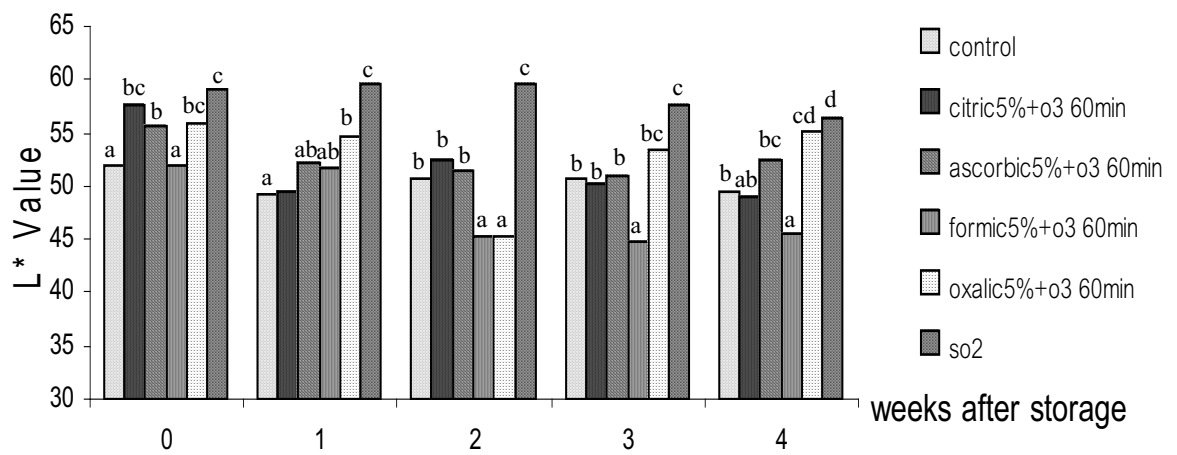
จากการศึกษาการเปลี่ยนสีของเปลือกด้านนอกโดยให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาล พบว่า ในสัปดาห์แรกทุกชุดการทดลองไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นสัปดาห์ที่ 2 ชุดควบคุมมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลสูงสุด รองลงมาคือผลลำไยที่แช่ด้วยกรดซิตริกตามด้วยการรมโอโซน แต่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ตลอดเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ในขณะที่การแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกตามด้วยการรมด้วยโอโซน และการรมด้วยโอโซนอย่างเดียวมีการเปลี่ยนแปลงของเปลือกเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 สัปดาห์ เช่นเดียวกับชุดควบคุม ส่วนรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการแช่ด้วยกรดออกซาลิกมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกน้อยในสัปดาห์ที่ 3 โดยมีค่า browning index เท่ากับ 1 และ 2.5 ตามลำดับ รองลงมาคือ การแช่ด้วยกรดซิตริก มีค่าเท่ากับ 3 ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่า browning index มากที่สุดเท่ากับ 5 (ภาพ 39c)

7.แอกติวิตีของเอนไซม์ PPO

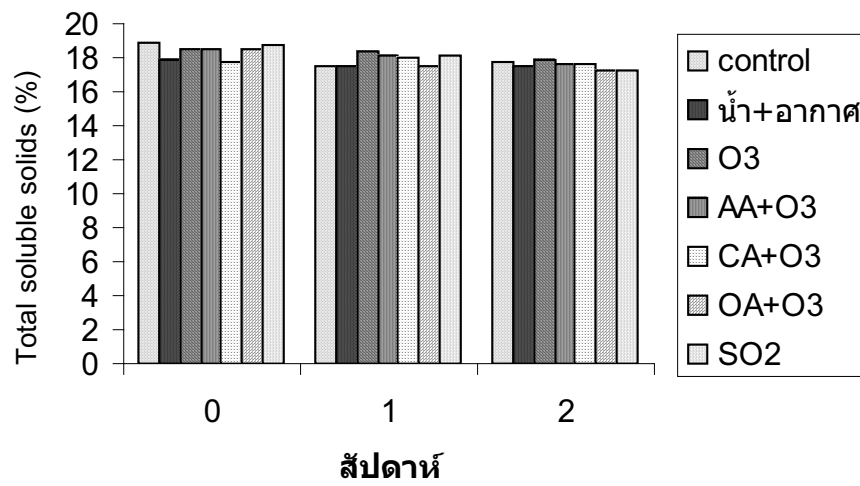
การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส(PPO) ในเปลือกผลลำไย หลังจากแช่กรดอินทรีย์แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที มีแอกติวิตีของเอนไซม์ PPO ต่ำกว่าชุดควบคุม โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีแอกติวิตีของเอนไซม์ PPO ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.0832 unit/mg protein เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แอกติวิตีของเอนไซม์ PPO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ในชุดที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที ยังคงมีค่าต่ำกว่าชุดอื่นๆ และชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังคงมีแอกติวิตีของเอนไซม์ PPO ต่ำที่สุด (ภาพ 40)

8.ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกผล

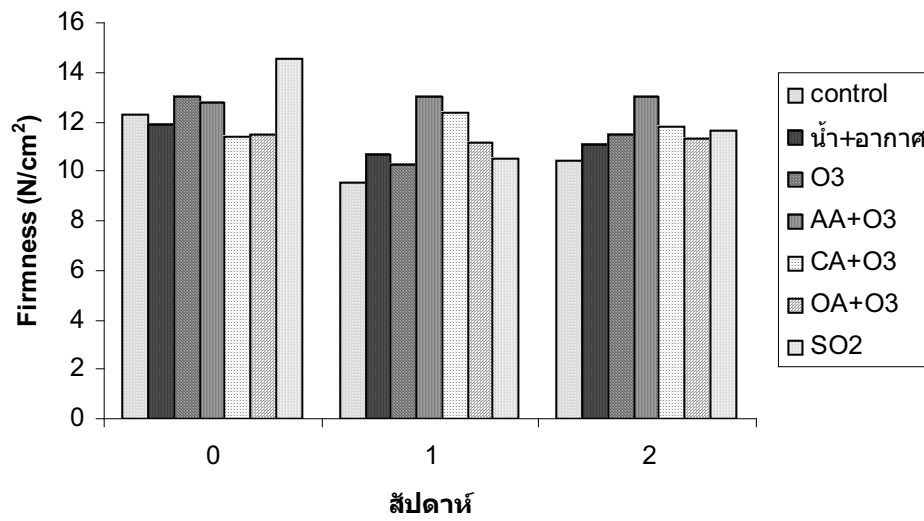
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชุดที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซน ชุดที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิกแล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที และชุดที่ผ่านการแช่กรดซิตริกแล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำกว่าชุดที่ผ่านการแช่กรดออกซาลิกแล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที และชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง และในชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา (ภาพ 41)



ภาพ 35 การเปลี่ยนแปลงความสว่างของเปลือกผลลำไยที่แช่สารละลายกรดรวมกับการรมโอโซน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C



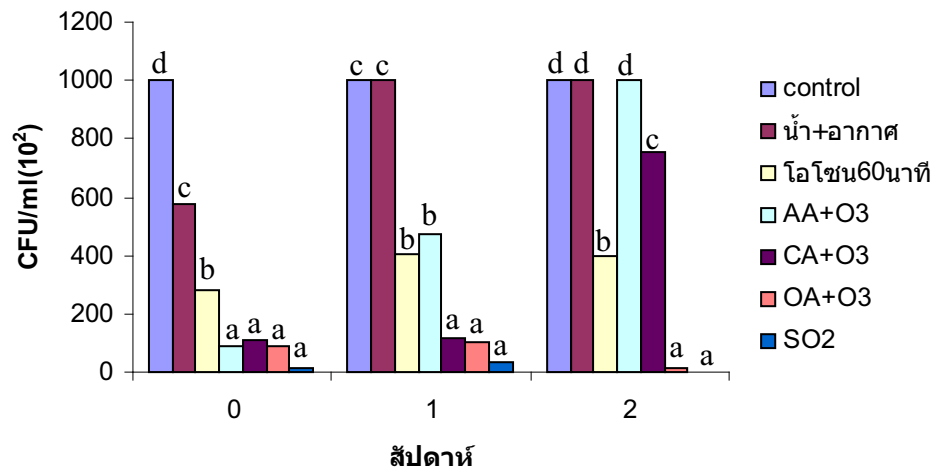
ภาพ 36 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดร่วมกับโอโซนในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C



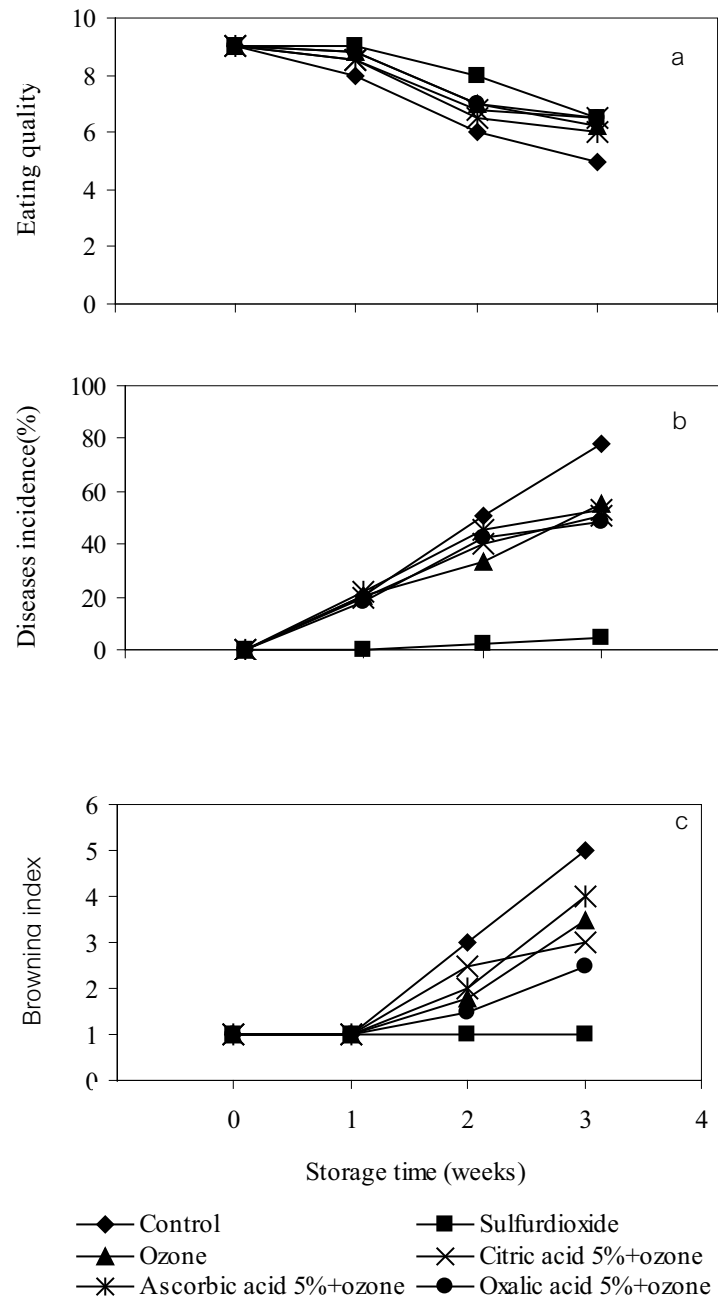
ภาพ 37 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์บางชนิดร่วมกับโอโซนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ

ตาราง 9 ความแน่นเนื้อและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลลำไยหลังจากเก็บ รักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

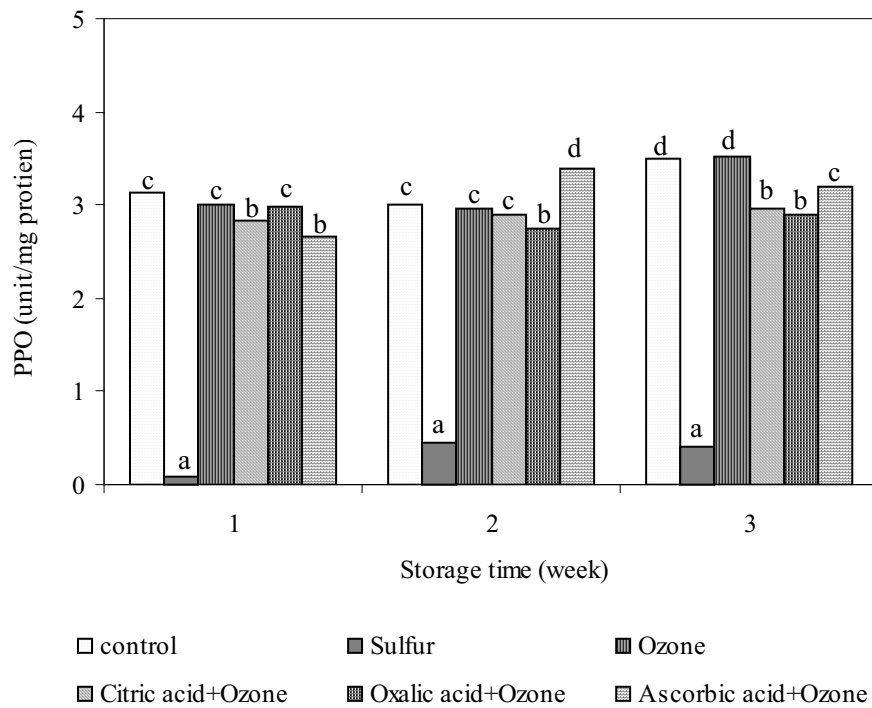
treatment	Firmness(N/cm ²)	%TSS
control	11.4	21.31
citric 5%+O3	10.05	20.15
ascorbic 5%+O3	12.25	20.2
oxalic 5 %+O3	15.2	19.65
SO ₂	10.78	20.3
	ns	ns



ภาพ 38 ผลของสารละลายกรดรวมกับการรมโอโซนต่อจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์บนผิวผล
ลำไยหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C

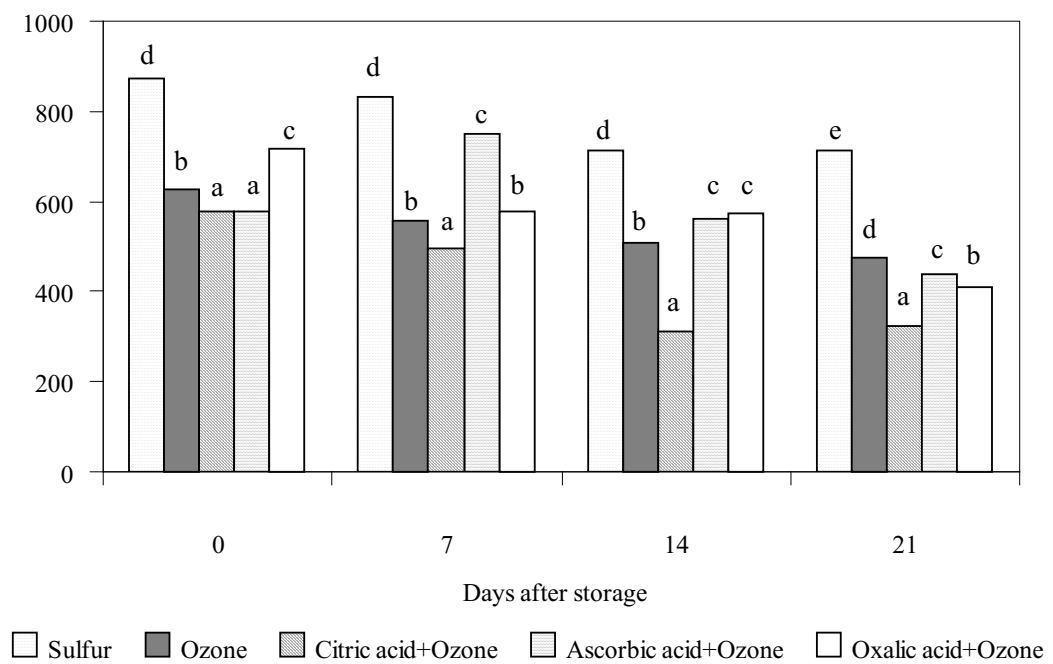


ภาพ 39 ผลของการใช้โอโซนร่วมกับสารละลายกรดต่อคุณภาพการบริโภค(a), การเกิดโรค(b) และเกณฑ์การเกิดสีน้ำตาล(c) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ นาน 3 สัปดาห์



ภาพ 40 การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในเปลือกผลลำไยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C นาน 3 สัปดาห์ (Columns with different letters indicated significantly differences by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$))

mg/100g fresh weight



ภาพ 41 ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์
บางชนิดร่วมกับโอโซนหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์

**Control****Ascorbic 5%+ O₃****Citric 5%+ O₃****Oxalic 5%+ O₃**

ภาพ 42 ผลของกรดอินทรีย์บางชนิดร่วมกับโอโซนต่อลักษณะของผลลำไยหลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

อภิปรายผลการวิจัย

1. ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรมโอโซนต่อการเติบโตของเส้นใยและการงอกของสปอร์เชื้อราสาเหตุโรคหลังเก็บเกี่ยวของผลลำไย

การรมเส้นใยของเชื้อ *Lasiodiplodia* sp. ด้วยโอโซน พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราในชุดการทดลองที่ที่รมสารที่เวลา 30 และ 60 นาที ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยเชื้อราเพิ่มขึ้นช้ากว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รมด้วยโอโซน เนื่องจากโอโซนเข้าทำลายผนังเซลล์ของเส้นใยและยับยั้งการสร้างเส้นใยของเชื้อรา การที่เชื้อราถูกยับยั้งการสร้างเส้นใยแต่เชื้อรายังสามารถเพิ่มขนาดของโคโลนี โดยการสร้างเส้นใยที่ปลายเมือกและเจริญขณะที่รมโอโซน และเมื่อหยุดการรมโอโซน เส้นใยที่ปลายเมือกจะเติบโตเป็นเส้นใยที่สมบูรณ์ (สิริริยา, 2545) นอกจากนี้เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 120 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกับชุดที่ไม่ได้รมโอโซน เพราะเชื้อรามีการสร้างเส้นใยคล้ายเมือกได้นานในขณะที่รมโอโซน

ส่วนการรมโอโซนสปอร์ของ *Cladosporium* sp. พบว่าการรมที่ 60 และ 120 นาที มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยไม่พบโคโลนี *Cladosporium* sp. เลย เพราะการรมด้วยโอโซนเป็นเวลานานสามารถเข้าทำลายสปอร์ของเชื้อราทำให้สปอร์ไม่สามารถงอกได้ เช่นเดียวกับการทดลองของ Khan *et al.* (1999) พบว่า conidia ของ *Sphaerotheca fuliginea* หลังจากรมด้วยโอโซนมีขนาดเล็กลง และการงอกของสปอร์ถูกยับยั้งที่ความเข้มข้น 100 ppb. น่าจะเป็นสาเหตุมาจากการเกิด plasmolysis ทำให้เซลล์เปลี่ยนรูปร่างไป เช่นเดียวกับ Mudd *et al.*, (1969) รายงานว่าโอโซนมีผลต่อการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย โดยการเกิดปฏิกิริยา peroxidation ของสาร phospholipid และ Ishizaki *et al.*, (1987) พบว่าโอโซนมีการซึมผ่านผนังเซลล์ แล้วทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ใน cytoplasm ทำให้แบคทีเรียมีการแบ่งเซลล์ลดลง ซึ่งจากการทดลองนี้คาดว่า การรมโอโซนแก่เชื้อ *Lasiodiplodia* sp. และ *Cladosporium* sp. พบว่ายิ่งใช้เวลามากขึ้นทำให้สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้มากขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Hungsauanich (1999) พบว่ายิ่งใช้ความเข้มข้นมากทำให้สามารถควบคุมจำนวนประชากรของเชื้อรา, แบคทีเรีย และไวรัสได้ดี โดยเฉพาะสปอร์ของเชื้อราที่มีการทนทานต่อการทำลายของโอโซนมากกว่าแบคทีเรีย และไวรัส 10-15 เท่า ซึ่งอาจเนื่องจากคุณสมบัติในการป้องกันโปรโตพลาสมภายในเซลล์โดยเยื่อหุ้มสปอร์ (spore coat) ซึ่งโปรโตพลาสมเป็นส่วนที่จะถูก oxidation ได้ง่ายโดยโอโซน แต่สปอร์ของเชื้อรามี cortex ที่หนา, เยื่อหุ้มเซลล์หลายชั้น และมีส่วนของอับสปอร์ (exosporangium) ทำให้ทนทานต่อการเข้าทำลายของโอโซน

นอกจากนี้จากการศึกษาได้กล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยเชื้อราพบว่า โอโซนทำให้เกิดความผิดปกติของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. และ *Cladosporium* sp. โดยการนำกล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบส่องดูเส้นใยเชื้อ *Lasiodiplodia* sp. และ *Cladosporium* sp. ที่ผ่านการรมก๊าซ

โอโซนเป็นเวลา 120 นาทีขึ้นไป พบว่าเส้นใยของเชื้อราทั้งสองเกิดความผิดปกติ เช่น เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดปุ่มปมที่บริเวณผิวของเซลล์ อาจเป็นเพราะคุณสมบัติของโอโซนที่สามารถเข้าทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ โดยสามารถเข้าทำลายชั้นโปรตีนในชั้นไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้โปรตีนจับตัวเป็นก้อน ภายในไซโตพลาสซึมของจุลินทรีย์ได้ จึงน่าจะเป็นผลให้ เส้นใยของเชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (สิริพร, 2543) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ishizaki *et al.* (1987) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของโอโซนที่มีต่อเชื้อ *Escherichia coli* ซึ่งพบว่าโอโซนจะมีการซึมผ่านผนังเซลล์ แล้วทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ภายในไซโตพลาสซึม และทำการเปลี่ยน plasmid DNA ที่มีลักษณะเป็นวงกลมปิดให้เป็นวงกลมเปิด มีผลทำให้แบคทีเรียมีการแบ่งเซลล์ลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ ศศิธิดา (2541) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนในการฆ่าเชื้อที่ปนเปื้อนในพืชสมุนไพร 4 ชนิด คือ กระเทียม ทับทิม กระเจี๊ยบ และชา พบว่า กระเทียม ชา กระเจี๊ยบ และทับทิมมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จากมากไปน้อยตามลำดับ เมื่อทดสอบการใช้โอโซนในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในสมุนไพรดังกล่าวโดยวิธีนับเซลล์ที่มีชีวิต ปรากฏว่า กระเทียมที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยโอโซนแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บได้นาน 6 เดือน และพืชสมุนไพรอื่นเก็บได้นาน 1 ปี นอกจากนี้โอโซนไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อและจากการทดสอบความไวของสปอร์ต่อโอโซน โดยทดสอบกับสปอร์ของ *Bacillus cereus* ATCC 11778 พบว่าสปอร์ของเชื้อนี้ลดลง เมื่อใช้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 200 มก./ชม. เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามโอโซนมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูงมาก และเป็นอันตรายต่อมนุษย์ หากได้รับความเข้มข้นเกินกว่า 4 สดล (Suslow, 1997) และ Palou *et al.*, 2002 ได้ทำการศึกษาในผลท้อ พบว่า การใช้โอโซนความเข้มข้น 0.3 ppm สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยและสปอร์ของ *Mondinia fruticola*, *Botrytis cinerea*, *Mucor piriformis*, *Penicillium expansum*

2. ศึกษาผลของโอโซนต่อการควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังเก็บเกี่ยว

จากการนำลำไยมาทดลองรมด้วยโอโซนความเข้มข้น 200 ppm ในเวลา 15, 30, 60, และ 120 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มาตรวจปริมาณจุลินทรีย์หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน หลังจากการรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าการรมด้วยโอโซนทุกระยะเวลาสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่าชุดที่ไม่ได้รม โดยการรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 60 และ 120 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งคุณสมบัติในการควบคุมการเน่าเสีย เนื่องจากเป็นคุณสมบัติของโอโซนในการเป็นตัวออกซิไดซ์เข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Hunt and Marinas, 1999) และอีกลักษณะคือ อนุมูลตัวกลางอิสระ (free radical-mediated) เป็นตัวเข้าทำลาย การเข้าทำลายของโอโซนมีผลต่อเซลล์เมมเบรน ไซโตพลาสซึม โปรตีน และชั้นของไขมันในเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนในเซลล์จับตัวกันเป็นก้อน เซลล์แตก และเมื่อนำมาทดสอบความแน่นเนื้อ พบว่าในช่วงแรกของการ

เก็บรักษาความแน่นเนื้อของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานขึ้นทุกชุดการทดลองมีค่าความแน่นเนื้อลดลงเนื่องจากการเสื่อมสภาพของ middle lamella ซึ่งมี pectin เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ(คณัย, 2540) โดยการทำงานของเอนไซม์ และพบว่าชุดที่รมโอโซนมีแนวโน้มทำให้ค่าความแน่นเนื้อของลำไยลดลงมากกว่าชุดที่ไม่ได้รมโอโซน อาจเนื่องจากเชื้อราที่เข้าทำลายผลสามารถปล่อยเอนไซม์เพื่อย่อยและสลายเนื้อผลได้ มีรายงานว่าเชื้อรา *Fusarium oxysporium*, *Aspergillus niger*, *Botrytis cineria*, *Rhizopus rolfisii* สามารถสร้างเอนไซม์ polygalacturonase ได้ (Horton and Keen , 1966)

ส่วนการวัดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ พบว่าโอโซนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ เนื่องจากตามธรรมชาติลำไยเป็นผลไม้ที่บ่มไม่สุก(non-climacteric) เมื่อทำการเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วลำไยจะมีการหายใจลดลงมาก และจะหยุดการสร้างน้ำตาล แต่พบว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นบางชุดการทดลองมีความหวานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสลายของกรด หรือน่าจะเกิดจากการสูญเสียน้ำภายในผล ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น

และการสังเกตสีเปลือกด้านนอก พบว่าการรมโอโซนเป็นเวลา 30, 60, 120 นาที สามารถชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกนอกได้เมื่อเก็บรักษาเพียง 6 วัน เป็นเพราะโอโซนได้เข้าไปฟอกสีเปลือกด้านนอกให้มีสีอ่อนลง และคงสภาพของสีผิวเปลือกนอกของลำไยได้ในระยะหนึ่ง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Liew และ Prange (1994) ที่ได้ศึกษาผลของโอโซน ที่ความเข้มข้น 0, 7.5, 15, 30 หรือ 60 $\mu\text{l/l}$ ทุกวันๆละ 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 28 วัน พบว่า แครอทที่ผ่านการรมด้วยโอโซนมีสีสว่างกว่าที่ไม่ได้รม การฟอกสีของโอโซน (ชมภูศักดิ์ และเทพนม, 2540) นำเป็นผลจากโอโซนเข้าไปทำลายเอนไซม์ PPO ทำให้การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกช้าลงแต่หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นการเปลี่ยนสีเปลือกไม่แตกต่างกัน เนื่องจากรงควัตถุส่วนใหญ่ภายในพืช มีโครงสร้างที่ไม่ค่อยเสถียร ทำให้โครงสร้างและสีเปลี่ยนแปลงได้ง่าย (จริ่งแท้ , 2541) เช่นเดียวกับการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ถ้าความเข้มข้นสูงสามารถฟอกสีให้จางลงเป็นระยะเวลานาน แต่ถ้าความเข้มข้นต่ำเกินไปสีของรงควัตถุอาจกลับคืนได้

จากการสังเกตสีเปลือกด้านใน การใช้โอโซนในระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกในได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกจะสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกด้านใน แต่ถ้ารมโอโซนในระยะเวลาสั้นเกินไปอาจจะมีผลให้เปลือกชั้นนอกของผลลำไยได้รับความเสียหายและจุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายถึงภายในของผลได้ ทำให้ไม่สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลในเปลือกชั้นในได้

จากผลการทดลองพบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการรมโอโซนคือ 60 นาที โดยพบว่ามีการชะลอการเกิดโรคเน่าที่น้อยที่สุด เนื่องจากสาเหตุต่างๆ ที่โอโซนมีผลต่อการทำลายเชื้อราและผิวเปลือกของลำไย ถ้าหากร่มโอโซนในเวลา 15 หรือ 30 นาที อาจเป็นเวลาที่น้อยเกินไปที่จะสามารถทำลายเชื้อราที่อยู่บริเวณผิวเปลือกผลลำไยได้หมด เนื่องจากโครงสร้างเปลือกลำไยเมื่อถูกทำลายได้

กล้องจุลทรรศน์ พบว่าชั้น cuticle ที่ผิวเปลือกด้านนอกมีลักษณะบางและซ้อนทับกัน ไปมาและส่วนมากเป็นเซลล์แบบ stone cell และมีช่องว่างระหว่างเซลล์ parenchyma ใหญ่ (Jiang *et al.*, 2002) ทำให้เชื้อราสามารถแทรกเส้นใยเข้าไป และเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าหากใช้เวลาในการรวมโอโซนมากเกินไปจะทำให้เปลือกผลลำไยเกิดความเสียหายขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ สิริริยา (2545) รายงานว่า การใช้โอโซนที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้ผิวเปลือกของลำไยแตกยุ่ย จึงทำให้ความต้านทานต่อโรคลดลง ทำให้เชื้อราสามารถเข้าทำลายได้มากขึ้น จึงควรใช้เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการรวมโอโซนเพื่อชะลอการเกิดโรคของผลลำไย

3.การศึกษาผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อของเปลือกผลลำไยภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อของเปลือกผลลำไยภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) หลังจากได้รับโอโซนพบว่า เปลือกผลที่ไม่ได้รมด้วยโอโซนมีลักษณะของโครงสร้างที่สมบูรณ์ ประกอบด้วยชั้นของเนื้อเยื่อต่างๆ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Jiang *et al.* (2002) พบว่าลักษณะผิวเปลือกลำไยประกอบด้วยชั้นต่างๆ คือ ชั้นของ epicarp มี cuticle ต่อเชื่อมกัน และเป็น epidermis ที่เรียงตัวเดี่ยวๆ ชั้นเดียว (uniseriate epidermis) มี subepidermis เป็นเนื้อเยื่อ sclerenchyma ส่วนชั้น middle mesocarp เป็นเนื้อเยื่อ parenchyma เป็นส่วนใหญ่ และเนื้อเยื่อชั้น inner endocarp มีลักษณะของเซลล์ที่เล็ก และมีผนังเซลล์บาง โดยการศึกษาครั้งนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงของเปลือกผลลำไยหลังจากได้รับโอโซนเป็นเวลา 60 นาที ลักษณะของเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยยังมีโครงสร้างเช่นเดียวกับชุดควบคุม แต่พบลักษณะของ epidermal hairs ที่มีการแตกหักบางส่วน ส่วนเปลือกผลที่รมด้วยโอโซนเป็นระยะเวลา 120 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลานานเกินไป พบว่า ผิวเปลือกมีรอยแตกของส่วน cuticle เสียหายกระจายทั่วไป ทำให้เซลล์มีความอ่อนแอเนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นตัวออกซิไดซ์ของก๊าซโอโซน (ชมพุดักดีและเทพนม, 2540) อาจทำให้ cuticle ถูกออกซิไดซ์และได้รับความเสียหาย จึงทำให้เชื้อโรคต่างๆ เข้าทำลายได้ง่าย เช่นเดียวกับการทดลองของ สิริริยา (2545) รายงานว่า เปลือกผลลำไยที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนเป็นเวลานานเกินไป จะทำให้เซลล์มีความอ่อนแอ ผิวเปลือกจึงมีรอยแตกเสียหาย

4. การศึกษาผลของกรดอินทรีย์บางชนิดต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย

จากการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกโดยการวัดค่าความสว่าง (L*-Value) พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า L* ของชุดควบคุมมีค่าลดลง และผลลำไยที่ผ่านการแช่กรดทั้ง 3 ชนิด ค่า L* ในแต่ละความเข้มข้นมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยในชุดของกรดซิตริกความเข้มข้น 10 % ซึ่งผลลำไยที่ผ่านการแช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่า L* เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

คือ 55.69 และ 57.50 ตามลำดับ ซึ่งกรดออกซาลิกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีคุณสมบัติเป็น chelating agent ดังในการศึกษาของ Yang *et al.* (2000) และ Son *et al.* (2000) พบว่า กรดออกซาลิกเข้าจับกับทองแดงซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ PPO มีผลทำให้ complex ระหว่างเอนไซม์กับโคแฟกเตอร์ถูกเปลี่ยนแปลง เอนไซม์ทำงานไม่ได้หรือทำงานช้าลง ดังการศึกษาของ Son *et al.* (2001) พบว่าการแช่เนื้อผลไม้แอปเปิ้ลพันธุ์ Liberty ในสารละลายกรดออกซาลิก 1.0 % เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดชนิดอื่นๆในกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน อีกทั้งกรดออกซาลิกยังมีคุณสมบัติเป็น acidulant ที่ดี (Faria, 1964) โดยเป็นสารละลายกรดที่มีค่า pH ต่ำกว่ากรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก จึงมีผลทำให้สารละลายภายในเซลล์หรือเนื้อเยื่อเปลือกต่ำลง ซึ่งมีผลยับยั้งเอนไซม์ PPO และ POD เนื่องจากเอนไซม์ PPO และ POD มีค่า pH ที่เหมาะสมประมาณ 7.0 และ 5.2 ตามลำดับ จึงสามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดี (Jiang *et al.*, 1997; Martinez *et al.*, 2001) ส่วนการแช่ผลลำไยในสารละลายกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกสามารถที่จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้รองจากกรดออกซาลิก ซึ่งกรดซิตริกเป็นกรดที่อยู่ในกลุ่มคาร์บอกซิลิกเช่นเดียวกับกรดออกซาลิก (Son *et al.*, 2001) ดังการศึกษาของ Jiang and Fu (1998) พบว่าเมื่อใช้กรดซิตริกความเข้มข้น 100 mM กับผลลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi ให้ผลการควบคุมสีน้ำตาลได้ดี และในพืชชนิดอื่น เช่น ถั่ว พบว่ากรดซิตริกสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ดี เมื่อใช้ความเข้มข้น 0.1 M โดยสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่า 3 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Onigbinde and Ojeabulu, 1999) ส่วนกรดแอสคอร์บิกนั้นสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติเป็น reducing agent โดยทำการรีดิวซ์สาร *o*-quinone ให้เปลี่ยนกลับไปเป็นสาร diphenols ก่อนทำปฏิกิริยาไปเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (Walker, 1997) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรดออกซาลิกพบว่าประสิทธิภาพน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากค่าการแตกตัวของกรดแอสคอร์บิกเมื่อละลายน้ำมีค่าต่ำ จึงแสดงความเป็นกรดต่ำ ทำให้สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่ำด้วย อย่างไรก็ตามในการศึกษาของ พรอนันต์ (2545) โดยศึกษาในผลลิ้นจี่พันธุ์สงขลวย พบว่ากรดแอสคอร์บิก 1 % สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลได้ นอกจากนี้ในการศึกษาของผลไม้อะโวคาโดพันธุ์ Fuerte และ Lerman พบว่ามีการเกิดสีน้ำตาลลดลงเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1.0 mM (Kahn, 1977) และในผลไม้แอปเปิ้ลพันธุ์ Liberty กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1 % สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid ; TSS) ของเนื้อผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่เนื้อผลมีการนำน้ำตาลไปใช้ในกระบวนการหายใจในขณะที่เกิดการเสื่อมสภาพของผล (Nagar, 1994) หรืออาจเกิดจากการที่แช่ผลลำไยสามารถซึมเข้าไปถึงเนื้อผลได้

นอกจากนี้ความแน่นเนื้อของผลลำไยที่เก็บรักษาไว้มีแนวโน้มลดลง เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเนื้อผล โดยมีการเปลี่ยนสภาพของ middle lamella ซึ่งมี pectin เป็นองค์ประกอบสำคัญทำให้ความแน่นเนื้อมีค่าลดลง(दनัย, 2540)

และจากการสังเกตเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลลำไยหลังจากแช่กรดอินทรีย์แล้วทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า เริ่มปรากฏเชื้อราในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาโดยจะเริ่มปรากฏเชื้อราบริเวณหัวของผลหลังจากนั้นจะลามไปทั่วทั้งผล อาจเนื่องจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายบริเวณหัวผลได้ง่าย ซึ่งชุดที่ผ่านการแช่กรดซิตริกความเข้มข้น 10 % มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ส่วนและชุดที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิกและกรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 และ 10 % มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคมากกว่าชุดควบคุม อาจเป็นเพราะข้อผิดพลาดในการสังเกตอาการเกิดโรค โดยใช้สายตาเฉพาะลักษณะภายนอกผล ซึ่งสังเกตได้ยากมาก ซึ่งควรมีการตรวจสอบ

การประเมินคุณภาพด้านการบริโภค พบว่า หลังจากแช่กรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ยังคงมีคุณภาพด้านการบริโภคที่ยอมรับอยู่ คือพอใจในรสชาติ กลิ่น และลักษณะของเนื้อผล ซึ่งไม่แตกต่างในทุกชุดการทดลอง ยกเว้นสีเปลือกซึ่งมีลักษณะสีสว่างกว่าชุดควบคุม และเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น คุณภาพด้านการบริโภคมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งกรดทั้ง 3 ชนิดอาจมีผลชะลอการสลายตัวของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลิ่นให้ต่ำลง และความหวานของเนื้อผลที่ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการหายใจซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส(दनัย, 2534 ; จริญแท้, 2544)

5.การศึกษาผลของโอโซนร่วมกับกรดอินทรีย์บางชนิดต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไย

จากคุณสมบัติที่ดีของโอโซนในการควบคุมโรค และกรดอินทรีย์ที่สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล จึงได้มีการศึกษาผลร่วมของ 2 ปัจจัย เพื่อหาแนวทางทดแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกโดยการวัดค่าความสว่าง (L^* -Value) เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่า L^* มีแนวโน้มลดลง และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งชุดที่ผ่านการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่า L^* มากที่สุด รองลงมาคือชุดที่ผ่านการแช่กรดออกซาลิกที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วรวมด้วยก๊าซโอโซนนาน 60 นาที ค่า L^* มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 55.23 เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (49.43) ซึ่งการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปลดการทำงานของการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยจะไปจับกับทองแดงทำให้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาไม่ได้ หรือไปรวมกับสารคิวโนน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการเร่งปฏิกิริยาได้สารประกอบที่ไม่มีสี (Son *et al.*, 2001) สอดคล้องกับการศึกษาของ Underhill *et al.* (1992) ได้ศึกษาอิทธิพลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ พบว่าการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 1.2 % นาน 10 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของ

เอนไซม์ PPO และฟอกสีเปลือกให้จางลงด้วย ส่วนกรดออกซาลิกมีคุณสมบัติเป็น chelating agent พบว่า กรดออกซาลิกเข้าจับกับทองแดงซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ PPO มีผลทำให้ complex ระหว่างเอนไซม์กับโคแฟกเตอร์ถูกเปลี่ยนแปลง เอนไซม์ทำงานไม่ได้หรือทำงานช้าลง (Yang *et al.*, 2000 และ Son *et al.*, 2000) อีกทั้งกรดออกซาลิกยังมีคุณสมบัติเป็น acidulant ที่ดี (Faria, 1964) โดยเป็นสารละลายกรดที่มีค่า pH ต่ำกว่ากรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก จึงทำให้เอนไซม์ PPO ทำงานไม่ได้ทำให้สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าชุดควบคุม ดังการศึกษาของ ฉัตรนภา (2547) ซึ่งศึกษาในเนื้อผลฝรั่งพันธุ์กลมสาเล่ที่ตัดแบ่งชิ้น พบว่ากรดออกซาลิกที่ความเข้มข้น 1 % สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด นอกจากนี้กรดออกซาลิกยังมีคุณสมบัติเป็น antioxidant ที่ดีสามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ให้เกิดขึ้นมีผลทำให้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ (Kayashima and Katayama, 2002) ดังการศึกษาในผลแอปเปิ้ลและสาเล่ของจีน พบว่า กรดออกซาลิกสามารถช่วยลดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี เมื่อใช้ระดับความเข้มข้น 0.019 และ 0.017 กรัม/ลิตร ตามลำดับ (Yang *et al.*, 2000) และจากการศึกษารั้งนี้ พบว่า ผลลำไยหลังจากแช่กรดซิตริกมีความสว่างของเปลือกผลมากกว่ากรดแอสคอร์บิก (ภาพ 41) เนื่องจากกรดซิตริกเป็นกรดที่อยู่ในกลุ่มคาร์บอกซิลิกเช่นเดียวกับกรดออกซาลิก (Son *et al.*, 2001) จึงมีการรักษาความสว่างของเปลือกผลมากกว่ากรดแอสคอร์บิก ดังการศึกษาของ สนธยา (2546) พบว่ากรดซิตริกความเข้มข้น 1.5 % สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีในฝรั่งพันธุ์กลมสาเล่ หลังจากแช่กรดแล้วนำผลลำไยมารวมด้วยก๊าซโอโซน พบว่า ค่า L ยังคงมีค่าที่สูงกว่าชุดควบคุมแสดงว่าการใช้โอโซนในการรวมเพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่ได้มีผลต่อการลดค่า L ของเปลือกผล

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid ; TSS) ของเนื้อผลลำไยที่แช่กรดอินทรีย์แล้วรวมด้วยก๊าซโอโซน พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื้อผลมีการนำน้ำตาลไปใช้ในกระบวนการหายใจในขณะที่เกิดการเสื่อมสภาพของผล (Nagar, 1994) ซึ่งโดยทั่วไปการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการหายใจ ซึ่งอาศัยน้ำตาลเป็นสารตั้งต้นหลัก จึงมีการนำสารตั้งต้นไปใช้ลดลง (Paull and Chen, 1987) ทำให้ปริมาณ TSS ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ความแน่นเนื้อของผลลำไยที่เก็บรักษาไว้มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำจะไปลดการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งการสลายองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ ได้แก่ PG, PME, cellulase และ pectinesterase (PE) เป็นต้น ทำให้ผลนิ่มลง (จริงแท้, 2544) ทำให้ความแน่นเนื้อของผลลำไยลดลงเพียงเล็กน้อย

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์บนผิวเปลือกผลลำไยโดยการทำ Total plate count จากการตรวจวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทันทีที่มีการแช่กรดอินทรีย์ต่างๆ ตามด้วยการรวมด้วยโอโซน รวมทั้งการรวมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่า ทุกชุดการทดลอง สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม โดยชุดที่มีการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และชุดที่แช่กรดซิตริกมีค่าน้อยที่สุดคือ โดยชุดควบคุมมีการตรวจนับพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด เช่นเดียวกับการทดลองของ Spotts and Cervantes(1992) พบว่าการรมด้วยโอโซนเป็นเวลา 1-5 นาทีสามารถยับยั้งการเกิดสปอร์ของ *Botrytis cinerea* , *Mucor pusillum* และ *Penicillium expansum* และชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีการตรวจนับพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุด รองลงมาคือชุดที่แช่กรดออกซาลิกและกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ชุดการทดลองที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ชุดที่แช่ด้วยกรดซิตริก, ออกซาลิก และชุดที่มีการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ยังคงมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ชุดการทดลองที่แช่ด้วยกรดซิตริกมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการเข้าทำลายซ้ำของเชื้อ ขณะที่เก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น และประสิทธิภาพของโอโซนในการควบคุมเชื้อขึ้นอยู่กับความสามารถในการแทรกซึมผ่านเข้าไปที่ผิวเปลือกของผล ถ้าใช่ได้ทั่วถึงหรือไม่ ในขณะที่การแช่ด้วยกรดออกซาลิกตามด้วยการรมโอโซนสามารถควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้นาน 2 สัปดาห์ โดยมาปริมาณจุลินทรีย์น้อยมาก เป็นเพราะผลของโอโซนในการควบคุมการเจริญเติบโตของเส้นใยและสปอร์ของเชื้อรา และความเป็นกรดของกรดออกซาลิกที่มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรดชนิดอื่นๆ ในขณะที่การรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่สามารถตรวจพบการปนเปื้อนเลย เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำจะอยู่ในรูปของกรดซัลฟูรัส ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารรีดิวซ์ซึ่งที่แรงทำให้สามารถควบคุมโรคเน่าหลังการเก็บเกี่ยวของผลลำไยได้ดี

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C พบว่า ในช่วงการเก็บรักษา 2 สัปดาห์แรกไม่พบความแตกต่างระหว่างชุดควบคุมและชุดที่แช่กรดอินทรีย์ร่วมกับโอโซน เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีผลลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ให้ต่ำลง ทำให้เปลือกผลลดการเข้าทำลายของโรค ดังการศึกษาในผลอะโวคาโดพันธุ์ Hass พบว่า การเก็บรักษาผลที่อุณหภูมิ 6-8 °C มีการเกิดโรคลดลงต่ำกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C (Woolf *et al.*, 2003) แต่ในสัปดาห์ที่ 3 เริ่มปรากฏเชื้อราในทุกชุดการทดลองที่แช่ด้วยกรดอินทรีย์ทุกชนิดก่อนได้รับโอโซน ในขณะที่การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่ต่ำตลอดอายุการเก็บรักษา ส่วนชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคมากที่สุด ซึ่งพบเช่นเดียวกับการศึกษาของ Palou *et al.* (2001) เมื่อให้โอโซนความเข้มข้น 1.0 ± 0.05 ppm ในตู้ container ส่งออกส้มที่มีอุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณของเชื้อราเขียวและเชื้อราเทาไม่ได้ลดลงเลย โดยที่การเกิดโรคและการเน่าเสียเกิดขึ้นประมาณ 1 สัปดาห์และการติดเชื้อพัฒนาไปอย่างช้าๆภายใต้การให้โอโซน

จากการประเมินคุณภาพด้านการบริโภค พบว่า หลังจากแช่กรดอินทรีย์ทุกชนิดแล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาทีแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C มีคุณภาพด้านการบริโภคที่ยังยอมรับอยู่ คือพอใจในรสชาติ กลิ่น ลักษณะของเนื้อผล ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และ 2 สัปดาห์

ว่าอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ ทำให้การสลายตัวของกลี้นเกิดอย่างช้าๆ ดังการศึกษาในผลมะเขือเทศพันธุ์ Sunbean พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C มีผลต่อองค์ประกอบหลักของกลี้น โดยมีค่าลดลงภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน (McDonald *et al.*, 1999) และอุณหภูมิต่ำช่วยลดอัตราการหายใจให้ต่ำลงและมีผลโดยตรงกับสับสเตรทของการหายใจ ได้แก่ น้ำตาล ทำให้เกิดการสลายตัวอย่างช้าๆ (จริงแท้, 2544) จึงทำให้มีรสชาติที่ยังยอมรับได้ และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็น 3 สัปดาห์ คุณภาพด้านการบริโภคมีแนวโน้มลดลงโดยชุดควบคุมมีการลดลงมากที่สุด และเริ่มปรากฏเชื้อรา ซึ่งไม่สามารถยอมรับจากผู้บริโภคได้

การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยจากการศึกษาการเปลี่ยนสีของเปลือกด้านนอกโดยให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาล พบว่า ในสัปดาห์แรกทุกชุดการทดลองไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นสัปดาห์ที่ 2 ชุดควบคุมมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลสูงสุด รองลงมาคือผลลำไยที่แช่ด้วยกรดซิตริกตามด้วยการรมโอโซน แต่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ตลอดเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ซึ่งกรดซิตริกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยการจับกับโลหะทองแดง ซึ่งเป็น prosthetic group ของเอนไซม์ PPO ส่งผลให้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังการศึกษาของ Yang *et al.* (2000) พบว่า การใช้กรดซิตริกความเข้มข้น 3.20 g/l ในผลส้มของจีนสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลได้ ในขณะที่การแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกตามด้วยการรมด้วยโอโซน และการรมด้วยโอโซนอย่างเดียวมีการเปลี่ยนแปลงของเปลือกเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 สัปดาห์ เช่นเดียวกับชุดควบคุม เนื่องมาจากค่าการแตกตัวของกรดแอสคอร์บิกเมื่อละลายน้ำมีค่าต่ำ จึงแสดงความเป็นกรดต่ำ ทำให้สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่ำด้วย (Walker, 1997) ส่วนการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการแช่ด้วยกรดออกซาลิกมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกน้อยในสัปดาห์ที่ 3 เพราะมีคุณสมบัติเป็น chelating agent ทำให้เอนไซม์ทำงานไม่ได้หรือทำงานช้าลง (Yang *et al.*, 2000 และ Son *et al.*, 2000)

การเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในเปลือกผลลำไย หลังจากแช่กรดอินทรีย์แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที มีแอคติวิตีของเอนไซม์ PPO ต่ำกว่าชุดควบคุม โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีแอคติวิตีของเอนไซม์ PPO ต่ำที่สุด เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แอคติวิตีของเอนไซม์ PPO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ในชุดที่แช่กรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 % แล้วรมก๊าซโอโซน 60 นาที ยังคงมีค่าต่ำกว่าชุดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากกรดออกซาลิกไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยทำหน้าที่เป็น chelating agent ที่มีประสิทธิภาพสูงในการรวมตัวเป็น complex กับไอออนของโลหะทองแดง ซึ่งเป็น prosthetic group ของเอนไซม์ PPO โดยการรีดิวซ์ Cu^{2+} ของเอนไซม์ PPO ให้เปลี่ยนเป็น Cu^+ จึงทำให้เอนไซม์ไม่สามารถรวมตัวกับสับสเตรทได้ ส่งผลให้แอคติวิตีของเอนไซม์ลดลง (Son *et al.*, 2000; Kayashima and Katayama, 2002) ดังการศึกษาในน้ำแอปเปิ้ลและสาลี่ของจีน ซึ่งพบว่ากรดออกซาลิกช่วยลดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ PPO โดยการลด oxalic acid / Cu^{2+} complex

ให้เปลี่ยนเป็น Cu^+ มากขึ้น (Yang *et al.*, 2000) นอกจากนี้กรดออกซาลิกยังมีคุณสมบัติเป็น acidulant ที่ดีในการลด pH ของสารละลายในเนื้อเยื่อให้ต่ำลงมากซึ่งทำให้มีความเป็นกรดสูงซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างและการทำงานของเอนไซม์โดยเปลี่ยนแปลงประจุบนหมู่อะมิโนของเอนไซม์ที่มีการเติมไฮโดรเจนไอออนให้กับหมู่ carboxyl ของเอนไซม์ อาจทำให้เอนไซม์ทำงานได้ไม่ดีในสภาพนี้หรือเสียสภาพตามธรรมชาติไป ซึ่งมีผลยับยั้งในการเกิดสีน้ำตาลลดลง (Faria, 1964) นอกจากนี้กรดออกซาลิกยังมีคุณสมบัติเป็น antioxidant ที่ดีด้วย (Kayashima and Katayama, 2002) และชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังคงมีเอนไซม์ PPO ต่ำที่สุด ซึ่งการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปลดการทำงานของการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยจะไปจับกับทองแดงทำให้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาไม่ได้ หรือไปรวมกับสารควิโนน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการเร่งปฏิกิริยาได้สารประกอบที่ไม่มีสี (Son *et al.*, 2001)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชุดที่ผ่านการรมด้วยก๊าซไอโซน ชุดที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิกแล้วรมก๊าซไอโซน 60 นาที และชุดที่ผ่านการแช่กรดซิตริกแล้วรมก๊าซไอโซน 60 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำกว่าชุดที่ผ่านการแช่กรดออกซาลิกแล้วรมก๊าซไอโซน 60 นาที และชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิกแล้วรมก๊าซไอโซน 60 นาที และชุดที่ผ่านการแช่กรดซิตริกแล้วรมก๊าซไอโซน 60 นาที มีการทำงานของเอนไซม์อยู่เมื่อเทียบกับกรดออกซาลิกและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้เอนไซม์สามารถจับกับสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นสับสเตรทและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ ทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณที่ต่ำ เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง และในชุดที่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา

เอกสารอ้างอิง

- กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2544. ตลาดส่งออกลำไยในปัจจุบันและอนาคต. กรมเศรษฐกิจพาณิชย์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2542. มาตรฐานลำไยของประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ศูนย์ผลักดันสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออก กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 15 หน้า.
- กนกมณฑล ศรศรีวิชัย. 2526. การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว : เทคโนโลยีและสรีรวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กรรณพด แก้วสอน. 2545. ผลของสารประกอบเกลือร่วมกับสารเคลือบผิวในการควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กัลยา วิถี. 2540. ผลของสารประกอบคาร์บอนेटและไบคาร์บอนेटต่อคุณภาพและการควบคุมเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. และ *Pestalotiopsis* sp. บนผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว. สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จริยา วิสิทธิ์พานิช. 2542. โรคและแมลงศัตรูลำไย. หจก.ชนบรรณการพิมพ์ เชียงใหม่ 102 หน้า.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 396 หน้า.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- จิรวัดน์ กันต์เกรียงวงศ์ ประเวศ ดุษฎีเมศวร์ พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ วรพจน์ สุนทรสุข นิตยา เกตุแก้ว และ แสงเงิน ไกรสิงห์. 2545. การศึกษาความเป็นไปได้ในการลด/กำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ตกค้างในลำไยด้วยวิธีการใช้ระบบโอโซนและความดันสูญญากาศ. เอกสารประกอบการสัมมนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติครั้งที่ 1. โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง เชียงใหม่ ระหว่าง 22-23 สิงหาคม 2545. หน้า 36.
- ฉัตรนภา นวเศรษฐวงศ์. 2547. ผลของกรดออกซาลิกต่อการเกิดสีน้ำตาล เอกติวิตีของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและฟีนอลออกซิเดสในเนื้อผลฝรั่งที่ตัดแบ่งชิ้น. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ฉันทวรรณ ดันประสงค์ สุรางค์ สุธิราช และ วารุณี ธนะแพสย์. 2545. เอกสารประกอบการสัมมนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติครั้งที่ 1. โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง เชียงใหม่ ระหว่าง 22-23 สิงหาคม 2545. หน้า 140.
- ชิง ชิง ทองดี. 2520. การศึกษาพฤติกรรมของผลลำไยระหว่างการเก็บรักษา. กสิกร 50(2) : 95-97.

- ชิง ชิง ทองดี อนวัช สุวรรณกุล และสดศรี อิ่มเอิบสุข. 2531. การรมควันลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในการควบคุมโรคเน่า.เอกสารประกอบการสัมมนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการพลังงาน. หน้า 82-87.
- ชมภูศักดิ์ พูลเกษ และเทพนม เมืองแมน. 2540. การใช้โอโซนทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม. สำนักพิมพ์เดือนตุลา, กรุงเทพฯ. 136 หน้า.
- ชนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2544. อิทธิพลของโอโซนต่อการเก็บรักษาลำไย. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชนะชัย พันธุ์เกษมสุข และอรุณทิพย์ ชาววา. 2545. ผลของโอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ออายุการเก็บรักษาผลลำไยพันธุ์จักรพรรดิ. เอกสารประกอบการสัมมนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติครั้งที่ 1. โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง เชียงใหม่ ระหว่าง 22-23 สิงหาคม 2545. หน้า 188.
- ธิดา ไชยวงศ์ศรี. 2535. โรคของลำไยพันธุ์ดอกล่อนและหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- दनัย บุญยเกียรติ. 2534. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- दनัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนานนท์. 2542. สารเคลือบผิวผักและผลไม้ที่บริโภคได้. สารระไม่ผล. 4(5) : 13-14.
- ดาวเรือง ศรีกอก. 2530. ดัชนีการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาผลลำไยพันธุ์ดอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2539. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. 2538. การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน. วารสารอาหาร. 25 (3) : 160-169.
- ปราณี อานเปื้อง. 2535. เอนไซม์ทางอาหาร ตอนที่ 1. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พาวัน มะโนชัย. 2543. ลำไย. พิมพ์ครั้งที่ 2. สาขาไม้ผล ภาควิชากีฏวิทยา คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สิรินาถการพิมพ์ เชียงใหม่. 115 หน้า.
- พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ ดุษฎี ณ ลำปาง และ ราไพพรรณ อภิชาติพงศ์ชัย. 2542. ลำไย: ไม้ผลเพื่อเศรษฐกิจสำคัญเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 137 หน้า.

- พรอนันต์ บุญก่อน. 2547. อิทธิพลของกรรมวิธีรักษาสีเปลือกต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลลีนี่ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รัชนี ตันตะพานิชกุล. 2535. เคมีอาหาร. มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพมหานคร.
- วรณรัชช์ ราชินวล. 2539. การควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยวด้วยสารอะซิโตนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 114 หน้า.
- ศศิธิดา หังสวณิช. 2541. ประสิทธิภาพของโอโซนในการฆ่าเชื้อที่ปนเปื้อนในพืชสมุนไพร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเภสัชศาสตร์ชีวภาพ คณะเภสัชศาสตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัยมหิดล. 81 หน้า.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2536. ควรศึกษาวิจัยอะไรกับลำไย รายงานสัมมนาเชิงวิชาการ ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ. เชียงใหม่ หน้า 40-43.
- สถาบันอาหาร. 2541. การรมควันผลลำไยสดด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้ได้คุณภาพเพื่อการส่งออก. คู่มือการรมควัน-อบแห้งลำไย พร้อมกรรมวิธีการผลิตและแบบแปลน. สถาบันอาหาร. กรุงเทพฯ. 70 หน้า.
- ลลิตริยา เรืองยุทธการณ. 2545. ผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาลำไย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สิริพร สธนเสาวภาคย์. 2543. โอโซนกับความปลอดภัยในอาหาร.วารสารอาหาร. 30(2) : 79-86.
- เสน่ห์ ชุมแสน. 2530. การสำรวจและแยกเชื้อราจากผลลำไยที่เป็นโรคหลังการเก็บเกี่ยว ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุภัก มหัทธนพรพร. 2542. ประสิทธิภาพของการสกัดจากเปลือกและเมล็ดในผลลำไยต่อการต้านเชื้อโรคหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักงานสนับสนุนกองทุนวิจัย. 2542. ไม่ผลเศรษฐกิจที่สำคัญเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม. สำนักงานสนับสนุนกองทุนวิจัย. โรงพิมพ์มิ่งเมือง อ.เมือง จ. เชียงใหม่. 137 หน้า.
- สนธยา นุ่มท้วม. 2546. ผลของความเข้มข้นและเวลาการแช่ในกรดซิตริกและโซเดียมคลอไรด์ต่อการเกิดสีน้ำตาลและแอคติวิตีของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเนื้อผลฝรั่งที่ตัดแบ่งชิ้น. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- อรรณพ วราอัศวปติ ดาวเรือง ศรีกอก และสมโภชน์ โกมลมณี. 2543. ผลของอุณหภูมิที่เก็บรักษาต่อคุณภาพของลำไย. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 634-635.
- อุไรวรรณ เทิดบารมี. 2543. การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของผลลิ้นจี่หลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้กรดซิตริกและแอสคอร์บิก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Ayranci, E. and Tunc, S. 2003. A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. Food Chem. 2003 : 423-431.
- Coseteng M. Y. and Lee, C. Y. 1987. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. J. Food Sci. 52(4) : 985-959.
- Duangmal, K. and Apenten, R. K. O. 1999. A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). Food Chem. 64 : 351-359.
- Faria, T. E. 1964. ETA in foods. Food Technol., 18 : 50-58.
- Gil, M. I., Gorny, J. R. And Kader, A. A. 1998. Responses of Fuji apple slices to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. HortScience 33(2) : 305-309.
- Gonzalez – Aguilar, G. A., S. Ruiz-Cruza, R. Cruz-Valenzuelaa, A. Rodriguez- Flelixa and C. Y. Wangb. 2003 Physiological and quality changes of fresh – cut pineapple treated with antibrowning agents. Lebensm. – Wiss.u.-Technol. 45 : 321-329.
- Graham. D. M. 1997. Use of ozone for food processing. Food Technol. 51(6) : 72-75.
- Harel, E., Mayer, A. M. and Sham, Y. 1964. Catechol oxidases from apple, their properties, subcellular location and inhibition. Plant Physiology 17:921-930.
- Harel, E. and Mayer, A. M. 1971. Partial purification and properties of catechol oxidases in grapes. Phytochemistry 10:17-22.
- Horton, J.C. and Keen, N.T. 1966. Sugar repression of endopolygalacturonase and cellulase synthesis during pathogenesis by *Pyrenochaeta terrestris* and resistance mechanism in onion pink rot. Phytopathology 56:908-916.
- Hunt, N. K. and Marinas, B. J. 1999. Inactivation of *Escherichia coli* with ozone: chemical and inactivation kinetics. Water Res. 33 (11): 2633-2641.

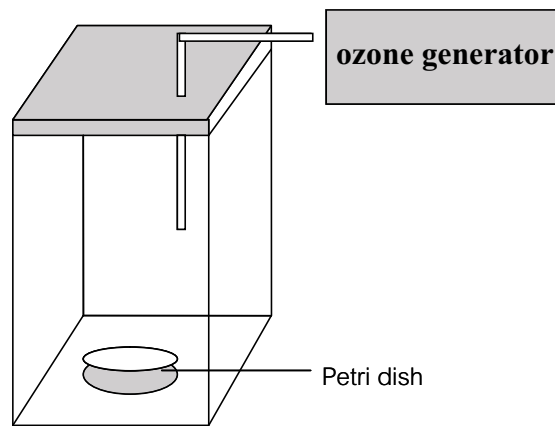
- Hungsavanich, S. 1999. Disinfection effect of ozone on microbial contamination in botanicals. Master Thesis, Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.
- Ishizaki, K., Sawadaishi, D., Miura, K. and Shinriki, N. 1987. Effect of ozone on plasmid DNA of *Escherichia coli in situ*. Water Res. 21(7):823-828.
- Jiang, Y. and Fu, J. 1998. Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid. Food Chem. 62 : 49-52.
- Jiang, Y. M., Giora, Z. And Yoram, F. 1997. Partial purification and some properties of polyphenol oxidase extracted from litchi fruit pericarp. Postharvest Biol. Technol., 10 : 221-228.
- Jiang, Y. M. and Li, Y. B. 2003. Effects of low-temperature acclimation on browning of litchi fruit in relation to shelf life. J. HortSci. And Biotechnol. 78 : 437-440.
- Jiang, Y., Zhang, Z., Joyce, D.C and Ketsa, S. 2002. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus logan* Lour.). Postharvest Biol. Technol. 26:241-252.
- Kayashima, T. and Katayama, T. 2002. Oxalic acid is available as a natural antioxidant in some systems. Biochem Biophysical Acta. 1573 : 1-3.
- Khan, V. 1997. Some Biochemical Properties of Polyphenoloxidase from Two Avocado Varieties Differing in Their browning Rates. Div. of Food Technol, Agricultural Research Organization 42 : 38-43.
- Khan, M.R. and Khan, M.W.1999. Effect of intermittent ozone exposure on powdery mildew of cucumber. Environ. Exp. Bot. 42 :163-171.
- Kayashima, T. and Katayama, T. 2002 Oxalicacid is available as a natural antioxidant in some systems. Biochimica et Biophysica Acta, 1573 : 1-3.
- King, A. D. and Bolin, H. R. 1989. Physiological and micobiological storage of stability of minimally processed fruits and vegetables. Food Technol, 43 : 132-139.
- Langdon, T. T. 1987. Preventing of browning in fresh prepared potatoes without the use of sulfating agents. Food Technology. 41:64-67.
- Liew, C.L. and Prange, R.K. 1994. Effect of ozone and storage temperature on post harvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.).J.Amer.Soc.Hort.Sci.119(3):563-567.
- Lin, S. X., Jiang, Y. M., Li, Y. B., Zhang, D. L. and Chen, F. 1994. Effect of GA₃ on colour of plum fruit after harvest. Acta Hort. Sin. 21:320-322.

- Lozano, J. E., Drudis-Biscarri, R. And Ibara-Ribas, A. 1994. Enzymatic browning in apple pulps. *J. Food Sci.* 59(3) : 564-567.
- Martinez, G. A., Civello, P. M., Chaves, A. R. And Añón, M. C. 2001. Characterization of peroxidase-mediated chlorophyll bleaching in strawberry fruit. *Phytochemistry* 58 : 379-387.
- Matsumura, M., Migo, V. P., Balobalo, D. H., Young, K. and Albaladejo, J. D. 1998. Preservation of water quality in shrimp pond by ozone. *In* Flegel T.W. (ed) *Advances in shrimp biotechnology*. National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, Bangkok.
- McDonald, R. E., McCollum, T. G. and Baldwin, E. A. 1999. Temperature of water heat treatments influence tomato fruit quality following low-temperature storage. *Postharvest Biol. Technol.* 16 : 147-155.
- Mudd, J.B., Leavitt, R., Ongum, A. and McManus, T. 1969. Reaction of ozone with amino acids and proteins. *Atmos Environ.* 3:669-682.
- Nagar, P. K. 1994. Physiological and biochemical studies during fruit ripening in litchi (*Litchi chinensis*. Sonn.) *Postharvest Biol. Technol.* 4 : 225-234.
- Nishimaru, M., Fukuda, C., Murata, M. and Homma, S. 2003. Properties of Japanese pear polyphenoloxidase. *J. of Food Sci. Agric.* 83 : 1156-1162.
- Onigbinde, A. O. and Ojeabulu, P. 1999. Some chemical potions for the control of cook and the associated browning in boiled cowpea (*V. unguiculata*). *Food Chem.*, 67 : 353-356.
- Ozoglu, H. and Bayindirli, A. 2002. Inhibition of enzymatic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. *Food Cont.* 13 : 213-221.
- Palou, L., Smilanick, J. L., Crisosto, C. H., Manson, M. 2001. Effect of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit. *Plant Disease.* 85 : 632-638.
- Palou, L., Crisosto, C.H., Smilanick, J.L., Adaskaveg, J.E. and Zoffoli, J.P. 2002. Effect of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 24:39-48.
- Palou, L., Smilanick, J.L., Crisosto, C.H., Mansour, M. and Plaza, P. 2003. Ozone gas penetration and control of the sporulation of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* within commercial packages of oranges during cold storage. *Crop protection* 22:1131-1134.
- Paull, R. E., and Chen, N. J. 1987. Change in longan and rambutan during postharvest storage. *Hortsci.* 22, 1303-1304.

- Pe'rez, A.G., Sanz, C., Ri'os J.J., Oli'as, R. and Oli'as, J.M. 1999. Effect of ozone treatment on postharvest strawberry quality. *J.Agr.Food Chem.* 47(5): 1652-1656.
- Pre'stamo, G. and Manzano, P. 1993. Peroxidase of selected fruit and vegetables and the possible use of ascorbic acid as an antioxidant. *HortScience.* 28(1) : 48-50.
- Restaino,L, Frampton, E.W, Hemphill, J.B and Palnikar, P. 1995. Efficacy of ozonated water against various food-related microorganism. *Appl. Environ Microbiol.* 61:3471-3475.
- Saper, G. M. and Ziolkowski, M. 1987. A research note : comparision of erythobic and ascorbic acid as inhibitors of enzymatic browning in apple. *J. Food Sci.* 59(3) : 1732-1747.
- Saper, G. M., Garzarella, L. And Pikkizola, V. 1990. Application of browning inhibitors to cut apple and potato by vacuum and pressure infiltration. *J. Food Sci.* 56 : 416-418.
- Sarig, P., Zahavi, T., Zutkhi, V., Yannai, S., Lisker N. and BenArie, R. 1996. Ozone for control of postharvest decay of table grape caused by *Rhizopus stolonifer*. *Physiol. and Mol.Pant Pathology* 8:403-415.
- Smirnoff, N. 1996. The function and matabilism of ascorbic acid in plant. *Ann. Bot.* 78 : 661-669.
- Son, S. M., Moon, K. D. and Lee, C. Y. 2000. Kinetic study of oxalic acid inhibition on enzymatic browning. *Food Chem.* 73: 23-30.
- Son, S. M., Moon, K. D. and Lee, C. Y. 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chem.* 73 : 23-30.
- Spott, R. A. Cervantes, L. A. 1992. Effect of ozonated on postharvest pathogens of pear in laboratory and packinghouse tests. *Plant Disease* 7 : 256-259.
- Subhadrabanhu, S. 1990. Lychee and longan cultivation in Thailand. *Rumthai Publ. Bangkok.* 44p.
- Tan, X. J., and Li, Y. B. 1984. The partial purification and properties of polyphenol oxidase from the pericarp of litchi (*Litchi chinensis*). *Acta Phytophysiol. Sin.* 10:339-345.
- Tongdee. S. C. 1993. Sulfer dioxide fumigation in postharvest handling of fresh longan and lychee for export. *Postharvest handling of tropical fruits.* 19-23 July 1993, Chiangmai, Thailand. *ACIAR Proceeding* 50 : 186-195.
- Underhill, S. J. R. and Critchley, C. 1992. Physiological, biochemical and anatomical changes in lychee (*Lichi chinesis*. Sonn.) pericarp during storage. *Horticulture Postharvest Group,Department if Botany, The University of Queensland.* 68 : 327-335.
- Vela, G. Leon, D. M., Garcia, H. S. and Dela Cruz, J. 2003. Polyphenoloxidase activity during ripening and chilling stress in 'Manila' mangoes. *J. HortSci. Biotechnol.* 78 : 104-107.

- Walker, J. R. L. 1997. Enzymatic browning in foods : its chemistry and control. Food Technol. 12 : 19.
- Whangchai, N. 2001. Development of ozonation for water quality improvement in intensive shrimp cultivation. Ph.D Thesis. University of Tsukuba, Japan.
- Woolf, A. B., Cox, K. A., White, A. and ferguson, I. B. 2003. Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. Postharvest Biol. Technol. 28 :113-122.
- Yang, W., Tu, A., Dai, Y. And Chen, H. 2000. Saparation and determination of di- and tricarboxylic acods in fruits by capillary zone electrophoresis with amperometric detection. Analytica Chemica Acta. 415 : 75-81.
- Zhang, D. and Quantick, P. C. 1997. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. Postharvest Biol. Technol. 12 : 195-202.

ภาคผนวก

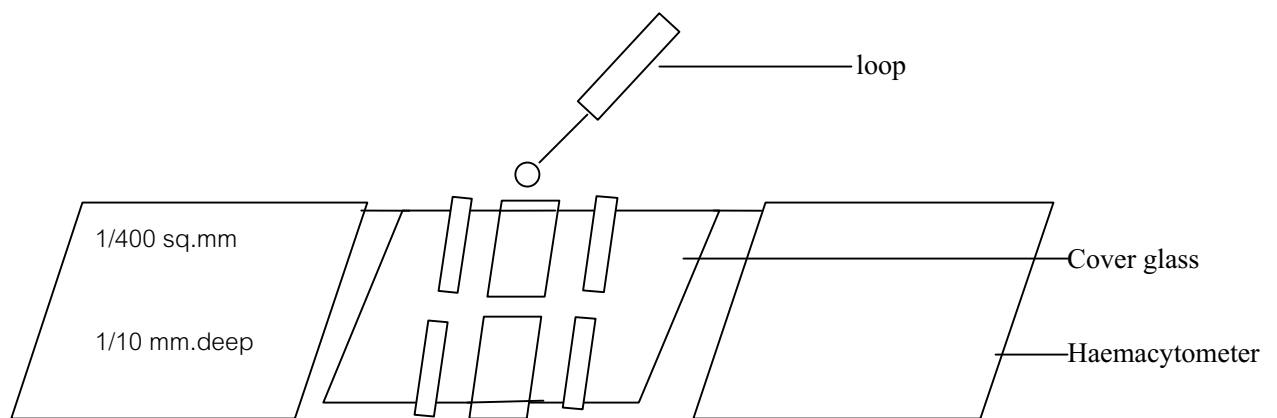


ภาพภาคผนวก 1 แสดงการรมเชื้อด้วยโอโซนใน fumigation chamber

การเตรียม cell suspension ของเชื้อราและ spore suspension ของแบคทีเรีย

การคำนวณสปอร์ของเชื้อราโดยการตรวจนับด้วย Haemocytometer (กัญญา, 2539 และ ศิริลักษณ์, 2542)

การใช้ Haemocytometer ในการนับจำนวนสปอร์จาก spore suspension เพื่อจะได้ปรับให้ได้ความเข้มข้นตามกำหนด Haemocytometer มีลักษณะคล้ายสไลด์แต่หนากว่า ตรงกลางมีร่องเป็นรูปตัว H ทำให้บริเวณที่ขีดเป็น scale ไว้ใช้ในการนับ 2 บริเวณใกล้ๆ บริเวณ scale จะมีแนวยาวใช้พอง cover glass ให้สูงกว่า scale



ภาคผนวก 2 รูปการใช้งาน Haemocytometer

วิธีใช้ปิด cover glass ให้คลุม scale ทั้งสอง จากนั้นใช้ loop จุ่มลงใน spore suspension ที่เขย่าจนเข้ากันดีแล้ว และ loop ตรงบริเวณขอบสไลด์ทั้งสองด้าน spore suspension จะซึมเข้าไปจนเต็มบริเวณ scale ทั้งสอง อย่าใช้ dropper ในการย้าย spore suspension มาใส่เพราะจะได้ spore suspension มากเกินไป และไหลล้นลงในช่องข้าง scale ซึ่งจะพาเอาสปอร์ไปด้วยทำให้สปอร์ที่นับได้ไม่ตรงตามความเป็นจริง เมื่อใส่ spore suspension แล้วทิ้งไว้ประมาณ 1-2 นาที เพื่อให้สปอร์นอนก้นก่อนจึงนับจำนวน

ปริมาตรใน 25 ช่องใหญ่(400ช่องเล็ก) = 0.1 มิลลิเมตร³

สมมติค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ใน 1 ช่องใหญ่ = X เซลล์

สมมติค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ใน 1 ช่องเล็ก = Y เซลล์ (X=16Y)

ใน 0.1 มิลลิเมตร³ มีจำนวนเซลล์ทั้งหมด X x 25 หรือ Y x 16 x 25 เซลล์

ใน 1 มิลลิเมตร มีจำนวนเซลล์ทั้งหมด $X \times 25 \times 10$ หรือ $Y \times 16 \times 25 \times 10$ เซลล์

ใน 1 มิลลิเมตร มีจำนวนเซลล์ทั้งหมด $X \times 25 \times 10 \times 10^3$ เซลล์

หรือ $Y \times 16 \times 25 \times 10 \times 10^3$ เซลล์

$= 25X \times 10^4$ หรือ $4Y \times 10^6$ เซลล์

เพราะฉะนั้น 1 มิลลิเมตร มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $25X \times 10^4$ เซลล์

การเพาะเลี้ยงเชื้อราบนสไลด์

1. วางแท่งแก้วรูปตัววี สไลด์ และแผ่นแก้วปิดสไลด์ในจากอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อเปล่า
อบฆ่าเชื้อที่ 150 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. ใช้มีดจุ่มแอลกอฮอล์แล้วลนไฟเพื่อฆ่าเชื้อ รอให้เย็นสักครู่จึงตัดอาหาร Czapek's
solution agar ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้างประมาณ 3 มม. วางบนสไลด์ที่อบฆ่าเชื้อแล้ว
3. ใช้เข็มเขี่ยเชื้อเขี่ยเชื้อจาก stock culture แต่ละด้านข้างของชิ้นวุ้นทั้ง 4 ด้าน วางแผ่น
แก้วปิดสไลด์บนชิ้นวุ้นแล้วใช้สำลีชุบน้ำกลั่นที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้วลงในจานอาหารเพื่อให้ความชื้น
4. บ่มเชื้อจนเห็นเส้นใยฟูขึ้นมา
5. เปิดแผ่นแก้วปิดสไลด์ออก เขี่ยชิ้นวุ้นทิ้ง แล้วนำแผ่นแก้วปิดสไลด์และสไลด์มา
ย้อมด้วย Lactophenol cotton blue ในกรณีที่มีมองเห็นเส้นใยและสปอร์ไม่ชัดเจน ถ้าต้องการดูสีที่แท้
จริงของสปอร์ให้ใช้น้ำกลั่นแทน

การเตรียมสีย้อม

1. Lactophenol

Lactic acid	100	มิลลิลิตร
Phenol	100	กรัม
Glycerol	200	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	100	มิลลิลิตร

ละลาย Phenol ในน้ำโดยมาต้องให้ความร้อน จากนั้นเติม lactic acid และ glycerol ลงไป คนให้ละลาย

2. Lactophenol cotton blue

Cotton blue	0.02	กรัม
Lactic acid	10	มิลลิลิตร
Phenol	10	กรัม
Glycerol	10	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	100	มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน