

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

ลำไย

ลำไย (longan) จัดเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์อยู่หลายชื่อคือ *Euphoria longana* Lam. ; *Euphoria longan* Strend. ; *Nephelium longana* Camb. และ *Dimocarpus longan* Lour. (พาวิณ, 2543) ลำไยมีชื่อสามัญเป็นภาษาอังกฤษว่า longan หรือ lungan เป็นภาษาจีนว่า longyen หรือ lingeng แต่ชื่อสามัญที่นิยมเรียกกันมากคือ longan (พิชัย, 2531) ลำไยเป็นผลไม้เขตร้อน และเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงไม่สามารถเก็บเกี่ยวมาบ่มให้สุกเพื่อเพิ่มความหวานให้มากขึ้นเหมือนผลไม้ประเภท climacteric ความหวานของลำไยจึงขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวลำไยในระยะที่เหมาะสม (दनัย, 2535) ลำไยส่วนใหญ่ปลูกในเขตภาคเหนือ ซึ่งเป็นแหล่งผลิต 85 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูก จังหวัดที่ปลูกกันมากคือ ลำพูน เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา น่าน แพร่ ลำปาง และตาก (ลำไย, 2547)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

พาวิณ (2543) และพิชัย (2531) ได้กล่าวถึงลักษณะทางด้านพฤกษศาสตร์ของลำไย ดังนี้

ลำต้น ลำไยมีลำต้นสูงขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ มีความสูงประมาณ 30-40 ฟุต เปลือกของลำต้นขรุขระ และมีสีน้ำตาลหรือสีเทา กิ่งก้านสาขาที่แตกออกจากลำต้น เปราะ มีลำต้นตั้งตรง และการแตกกิ่งก้านสาขาดี จึงทำให้มีทรงพุ่มสวยงาม

ใบ ลักษณะของใบลำไยเป็นใบรวมประกอบด้วยใบย่อยอยู่บนก้านใบร่วมกัน (pinnately compound leaves) เป็นก้านใบรวมยาวประมาณ 20-30 เซนติเมตร ใบย่อยมี 2-5 คู่ ใบย่อยเรียงตัวสลับหรือเกือบตรงกันข้าม ความกว้างของใบย่อย 3-6 เซนติเมตร ยาว 7-15 เซนติเมตร รูปร่างใบเป็นรูปวงรีหรือรูปหอก ใบด้านบนมีสีเขียวเข้มกว่าด้านล่าง ผิวด้านบนเรียบส่วนผิวด้านล่างสาเล็กน้อย ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ใบเป็นคลื่นเล็กน้อย และเห็นเส้นแขนง (vein) แตกออกจากเส้นกลางใบชัดเจน

ดอก ดอกลำไยออกเป็นช่อ (inflorescence) ดอกลำไยมีสีขาวหรือสีขาวออกเหลืองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6-8 มิลลิเมตร ช่อดอกหนึ่งๆ อาจมีดอก 3 ชนิด คือ ดอกตัวผู้ (staminate flower) ดอกตัวเมีย (pistillate flower) และดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) ซึ่งส่วนมากดอกตัวผู้

จะอยู่ทางส่วนล่างของช่อดอก และจะบานก่อนดอกสมบูรณ์เพศ ซึ่งการออกดอกจะเริ่มแทงช่อดอก ราวๆ ปลายเดือนธันวาคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์

ผล ผลค่อนข้างกลมหรือรูปไข่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร หรือมีลักษณะ กลมคล้ายรูปหัวใจ และเมื่อผลแก่เปลือกผลจะไม่แตก (indehiscent pericarp) สีเปลือกมีทั้งสีเหลือง ไปจนถึงสีน้ำตาลอ่อน และมีผิวเรียบแล้วแต่พันธุ์ (Jiang *et al.*, 2002)

เนื้อ (aril) มีสีขาวคล้ายวุ้น มีกลิ่นหอม รสหวาน แตกต่างกันไปตามพันธุ์ ลักษณะเนื้อผิวมีความแน่นเนื้อมากกว่าลิ้นจี่ และมีน้ำน้อยกว่า เนื้อจะเจริญล้อมรอบเมล็ดเกิดจากเนื้อเยื่อที่บริเวณฐานของเมล็ด

เมล็ด ลำไยเป็นผลไม้ที่มีเมล็ดเดี่ยว เมล็ดของลำไยกลมมีสีดำมันหรือสีน้ำตาล เมล็ดโตสม่ำเสมอ ด้านบนของเมล็ดมีบริเวณเป็นวงกลมสีขาว ซึ่งทำให้มีลักษณะเหมือนตาของมังกร จึงได้ชื่อว่า “dragon’s eye”

พันธุ์ของลำไย

แบ่งพันธุ์ลำไยที่พบในปัจจุบันได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการเจริญเติบโต ลักษณะของผล เนื้อ เมล็ด และรสชาติ (พาวัน, 2543; พิชัย, 2531 และฐานความรู้ด้านพืช กรมวิชาการเกษตร, 2548) คือ

1. **ลำไยเครือหรือลำไยเถา** มีลำต้นเลื้อยคล้ายเถาวัลย์ ทรงพุ่ม ต้นคล้ายต้นเฟื่องฟ้า ใบขนาดเล็ก และสั้น ผลเล็ก ผิวผลสีชมพูปนน้ำตาล เมล็ดโต เนื้อบาง มีกลิ่นคล้ายกำมะถัน ปลูกไว้ประดับมากกว่าใช้รับประทาน
2. **ลำไยต้น** แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ
 - 2.1 **ลำไยพื้นเมืองหรือลำไยกระดุก** ให้ผลดก ผลมีขนาดเล็ก รูปร่างของผลค่อนข้างกลม ผิวสีน้ำตาล เปลือกหนา เนื้อบางสีขาวใส เมล็ดโต เปลือกลำต้นขรุขระมาก มักพบตามป่าของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ปัจจุบันไม่นิยมปลูกเนื่องจากผลมีขนาดเล็ก
 - 2.2 **ลำไยกะโหลก** เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก เพราะผลใหญ่ เนื้อหนา และมีรสหวาน มีด้วยกันหลายพันธุ์ พันธุ์ลำไยกะโหลกที่ปลูกในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์คอ พันธุ์เหหัว พันธุ์ชมพู พันธุ์เบี้ยวเขียว โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดคือ พันธุ์คอ

พันธุ์ต่อหรืออีดอ

เป็นลำไยพันธุ์เบา คือ ออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น คือ ออกดอกราวเดือนธันวาคม ผลแก่เก็บได้ราวปลายเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนกรกฎาคม ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด เพราะเก็บเกี่ยวได้ก่อน ทำให้ได้ราคาดี ตลาดต่างประเทศนิยมสามารถจำหน่ายทั้งผลสดและแปรรูปทำลำไย

กระป๋องและลำไยอบแห้ง เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดีโดยเฉพาะในดินอุดมสมบูรณ์และน้ำเพียงพอ ฝนแล้งทนน้ำได้ดีปานกลาง ยอดอ่อนมีทั้งยอดสีเขียวและสีแดง ลำต้นแข็งแรง เปลือกผลหนา ออกดอกติดผลค่อนข้างสม่ำเสมอ ผลของลำไยพันธุ์นี้มีลักษณะเป็นทรงผลกลมแป้น เบี้ยวกบ่าข้างเดียว ผิวสีน้ำตาล เนื้อค่อนข้างเหนียวสีขาวขุ่น มีรสหอมหวาน ไม่เฝะ มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดขนาดใหญ่มั่ปานกลาง รูปร่างแบนเล็กน้อย

ความสำคัญและการเก็บเกี่ยวลำไย

ลำไยจัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจผลผลิตของลำไยสามารถส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศได้ทั้งลักษณะลำไยสด ลำไยแช่แข็ง ลำไยกระป๋องและลำไยอบแห้ง จากความต้องการของตลาดที่มีอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ซึ่งได้เพิ่มการผลิตลำไยและเพิ่มมูลค่าการส่งออกเป็นจำนวนมาก (ตาราง 1 และ 2) อีกทั้งลำไยยังมีคุณค่าทางโภชนาการ จัดว่าเป็นไม้ผลที่ให้พลังงานสูง ลำไยมีสารอาหารมากมายไม่ว่าจะเป็นน้ำตาลกลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส และวิตามินชนิดต่างๆ เช่น วิตามินซี วิตามินบี 1 และบี 2 (พาวัน, 2543) (ตาราง 3)

ตาราง 1 รายงานภาวะสินค้า ลำไย (ดัดแปลงจากสำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร กรมการค้าภายใน, 2548)

ปริมาณการผลิต (ตัน)	ปี 2546	ปี 2547	ปี 2548(ประมาณการ)
1. ผลผลิตของโลก	1,500,000	1,700,000	2,000,000
2. ผลผลิตของประเทศไทย	396,700	634,400	700,000
2.1 บริโภคสดภายในประเทศ	60,400	101,800	137,000
2.2 แปรรูป	253,600	416,400	315,000
- ลำไยอบแห้ง*	231,000	397,500	285,000
- ลำไยกระป๋อง	22,500	18,900	30,000
2.3 ส่งออก	82,700	116,200	248,000
* ปี2548 เป็นการแปรรูปลำไยอบแห้งทั้งผลและเนื้อสีทอง			

ที่มา : <http://www.dit.go.th>

ตาราง 2 มูลค่าการส่งออกกล้วยของประเทศไทย (สถิติการค้า กระทรวงพาณิชย์, 2548)

รายการ	มูลค่า : ล้านบาท				
	2545	2546	2547	2547 (ม.ค.-ก.ย.)	2548 (ม.ค.-ก.ย.)
1. จีน	99.3	226.0	804.0	621.2	840.9
2. อินโดนีเซีย	506.1	539.6	707.9	626.6	514.5
3.ฮ่องกง	947.7	535.4	323.4	235.7	274.1
4. แคนาดา	87.1	73.3	70.3	65.1	55.3
5. สิงคโปร์	56.2	45.5	42.5	37.6	34.1
6. สหราชอาณาจักร	11.1	23.2	16.3	11.7	19.7
7. ฟิลิปปินส์	13.0	13.6	20.8	20.5	18.5
8. มาเลเซีย	65.1	60.2	42.0	39.4	17.1
9. เนเธอร์แลนด์	10.0	20.3	108.7	102.8	12.2
10. ฝรั่งเศส	6.6	6.2	8.1	6.6	10.2
รวม 10 รายการ	1,802.1	1,543.3	2,143.8	1,767.0	1,796.6
อื่นๆ	138.6	111.9	22.3	16.4	23.1
มูลค่ารวม	1,940.7	1,655.2	2,166.0	1,783.5	1,819.6

ที่มา : <http://www.ops.moc.go.th>

ตาราง 3 คุณค่าทางอาหารของลำไย (พาวิน, 2543)

	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยแห้ง
ความชื้น (%)	81.10	17.80
ไขมัน (%)	0.11	0.40
เส้นใย (%)	0.28	1.60
โปรตีน (%)	0.97	4.60
คาร์โบไฮเดรต (%)	16.98	72.70
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	5.70	27.70
เหล็ก (มิลลิกรัม/100กรัม)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100กรัม)	35.30	159.50
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100กรัม)	69.20	137.80
โซเดียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	4.450
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	2,012.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	3.03
วิตามินบี (มิลลิกรัม/100กรัม)	-	0.375

การเก็บเกี่ยวลำไย

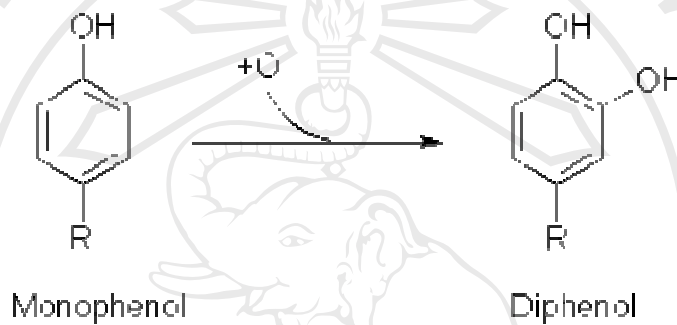
ลำไยจะใช้เวลาดังแต่ดอกบานจนกระทั่งผลแก่ประมาณ 5 เดือน มีการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวลำไยพันธุ์คอไข่เวลาดังแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่ใช้เวลาประมาณ 21 สัปดาห์ เกษตรกรมักอาศัยความชำนาญในการดูว่าลำไยแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว โดยสังเกตจากขนาดของผลที่โต เปลือกด้านนอกเรียบและเนียน เปลือกด้านในมีเส้นคล้ายร่างแห เมล็ดมีสีดำ เนื้อมีรสหวาน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 16-22 °Brix (พาวัน, 2543) ขนาดของผลลำไยพันธุ์คอควรจะหนักประมาณ 13-14 กรัม (दनัย, 2535) การเก็บผลลำไยมักจะใช้บันไดพาไปบนต้น เพื่อหักข้อผลนำมาใส่ถุงที่ผู้เก็บนำขึ้นไปด้วย และระวังไม่ให้ผลเกิดบาดแผล (ลำไย, 2547) หลังจากนั้นนำข้อผลลำไยที่เก็บได้มาตกแต่งใบและก้านที่ไม่มีผลออก แต่ละข้อให้มีก้านยาวประมาณ 5 นิ้ว คัดขนาดผลและบรรจุลงในภาชนะ เช่น ตะกร้าพลาสติก หรือกล่องกระดาษ ในการเก็บเกี่ยวลำไยจะเก็บเกี่ยวครั้งเดียวให้หมดทั้งต้นหรือไม่เกิน 2 ครั้ง (พฤกษศาสตร์ของลำไย, 2547)

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของลำไย

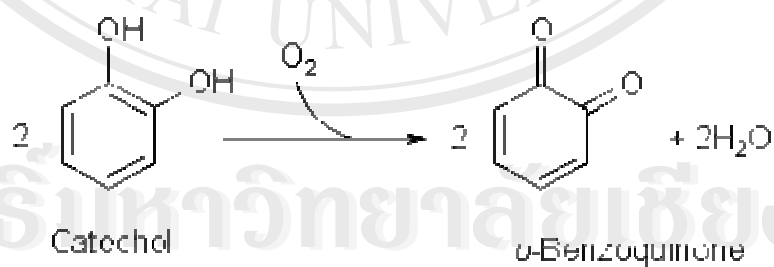
1. การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย

การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลเป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งมีผลโดยตรงกับการส่งออกลำไย เนื่องจากผลลำไยที่เปลือกมีสีน้ำตาลไม่เป็นที่ต้องการของตลาด การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย สามารถพบได้ภายใน 1 วันหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลลำไยสดจะมีเปลือกเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำทั่วทั้งผล ผลที่โตเต็มที่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำเร็วกว่าผลที่ยังไม่โตเต็มที่ ถึงแม้ว่าการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลจะไม่มีผลกับรสชาติของลำไยก็ตาม (Menzel and Waite, 2005) การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลจะเกี่ยวข้องกับการสูญเสีย การเสื่อมสภาพของผล อาการสะท้านหนาว หรือถูกทำลายโดยโรคและแมลง ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก โดยมีเอนไซม์เร่งปฏิกิริยา คือ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase : PPO) (Jiang, 1999 ; Jiang *et al.*, 2002) ซึ่งเอนไซม์ PPO เริ่มจาก ปฏิกิริยา hydroxylation ของ monophenol เพื่อเปลี่ยนเป็นสาร *o*-diphenols (ภาพ 1) และปฏิกิริยา oxidation ของ diphenol เปลี่ยนเป็นสาร quinones (ภาพ 2) ทั้ง 2 ปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนเป็น co-substrate (Marshall *et al.*, 2000) และเอนไซม์ PPO มีทองแดงเป็นโคแฟกเตอร์ ซึ่งจะอยู่ร่วมกับโมเลกุลของเอนไซม์ สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกได้ (Whitaker, 1995) และสาร quinones ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาต่อไปกับสารประกอบฟีนอล กรดอะมิโนและสารอื่นๆ จนเป็นสารมีสีที่มีโครงสร้างซับซ้อน (ภาพ 3) (Grotheer *et al.*, 2005)

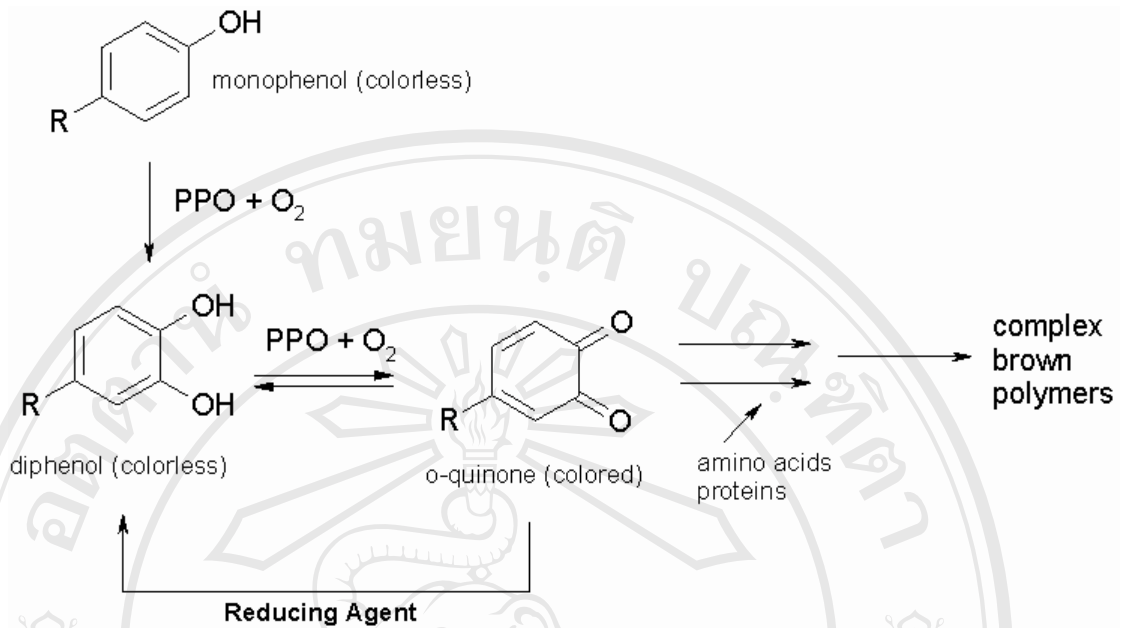
Jiang (1999) ได้ศึกษาเอนไซม์ PPO ที่พบในเปลือกลำไย พบว่า เอนไซม์ PPO สามารถทำงานได้ดีที่ pH 4.0-7.0 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารประกอบตั้งต้น และวิธีที่สกัด อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของ PPO คือ 35 องศาเซลเซียส โดยสารตั้งต้นที่เหมาะสมที่เอนไซม์ PPO เข้ามาจับเพื่อทำปฏิกิริยาที่เปลือกของลำไย ได้แก่ 4-methylcatechol และ catechol



ภาพ 1 ปฏิกิริยา hydroxylation ของ monophenol เปลี่ยนเป็นสาร *o*-diphenols (Marshall *et al.*, 2000)



ภาพ 2 ปฏิกิริยา oxidation ของ diphenol เปลี่ยนเป็นสาร quinones (Marshall *et al.*, 2000)



ภาพ 3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Grotheer *et al.*, 2005 ดัดแปลงจาก Walker, 1977)

2. การเน่าเสียของลำไยหลังการเก็บเกี่ยว

दनัย (2537) และ พาวิน (2543) ได้กล่าวถึงสาเหตุของการเน่าเสีย ดังนี้

1. กระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) เป็นกระบวนการชีวเคมี เมื่อมีการเก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีกระบวนการเมแทบอลิซึมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถลดอัตราการเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมให้อยู่ในระดับต่ำได้ โดยการใช้อุณหภูมิต่ำระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งกระบวนการเมแทบอลิซึมที่สำคัญและมีผลต่อคุณภาพและความเสียหาย คือ

1.1 การหายใจ (respiration) อัตราการหายใจมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอายุการวางขาย

หรืออายุการเก็บรักษา ซึ่งลำไยมีอัตราการหายใจอยู่ในระดับปานกลาง คือ ประมาณ 30-44 มิลลิลิตร CO_2 /กิโลกรัม/ชั่วโมง

1.2 การสังเคราะห์เอทิลีน (ethylene biosynthesis) เป็นฮอร์โมนพืชที่สามารถสังเคราะห์

ได้มากน้อยตามชนิดของผลไม้ต่างๆ เอทิลีนที่สังเคราะห์ออกมาจะเป็นตัวเร่งกระบวนการสุกของผลไม้ ลำไยมีอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน อยู่ในระดับต่ำ คือ น้อยกว่า 0.1 ไมโครลิตร C_2H_4 /กิโลกรัม/ชั่วโมง

1.3 การคายน้ำ (transpiration) การคายน้ำมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพที่เด่นชัดมาก

โดยทั่วไปแล้วผลไม้จะมีน้ำอยู่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าสภาพบรรยากาศมาก

การคายน้ำจึงเกิดขึ้นตลอดเวลาที่เก็บเกี่ยวผลไม้ การคายน้ำจะทำให้ลักษณะของเนื้อผลไม้เปลี่ยนไป ผลไม้ที่เสียน้ำมากๆ จะเหี่ยวและขาดความกรอบ

2. ลักษณะที่ผิดปกติทางสรีรวิทยา (physiological disorders) จะแสดงอาการผิดปกติเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่สำคัญต่อผลไม้เขตร้อนคืออาการสะท้านหนาว (chilling injury) ซึ่งจะเกิดกับผลไม้เมืองร้อนที่เก็บรักษาหรือขนส่งในสภาพอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งอาการที่เกิดขึ้นจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลผลิตโดยทั่วไปแล้วการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวต้องพยายามให้ผลไม้อยู่ในสภาพอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ผลไม้สามารถทนได้ ลำไยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษา คือ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 % สามารถเก็บรักษาลำไยได้นาน 40-45 วัน
3. อาการชอกช้ำ (bruising) การชอกช้ำและการเกิดแผล จะทำให้การหายใจ การคายน้ำ และการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายผลไม้ได้ง่าย
4. การเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว (postharvest diseases) เชื้อจุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายผลไม้ให้เน่าเสียก่อนถึงมือผู้บริโภคได้ โดยเฉพาะในเขตร้อน เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญได้ดีมากทำให้เกิดความสูญเสียอย่างมาก ซึ่งอาจจะเข้าทำลายตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยวหรือหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งลำไยเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลสูง จึงเป็นผลทำให้โอกาสที่เชื้อราหลายชนิดเข้าทำลายได้ง่าย โดยที่อาจเจริญแฝงอยู่ตั้งแต่ระยะที่เป็นดอก หรือผลอ่อน หรืออาจเข้าทำลายในระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งอาจเกิดจากรอยแผลที่เกิดจากการขนส่ง ทำให้มีโอกาสให้เชื้อเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น เชื้อสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวมีหลายชนิด เช่น *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium* และ *Lasiodiplodia* (จริยา, 2542) ซึ่งลักษณะอาการเน่าเสียที่พบ คือผลลำไยมีรอยแผล รอยช้ำ รอยแตก ทำให้ผลลำไยเน่า น้ำน้ำ เปลือกลำไยมีสีน้ำตาลคล้ำ มีของเหลวไหลออกมาเป็นผลไม้มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว มีเส้นใยของเชื้อราขึ้นปกคลุม ขั้วผลเน่าเป็นสีน้ำตาล (ธิดา, 2535) (ภาพ 4)



ภาพ 4 แสดงลักษณะอาการเน่าเสียของผลลำไยที่พบหลังการเก็บเกี่ยว

การป้องกันความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยว

1. การใช้สารเคมี

การใช้สารเคมีที่สามารถชะลอหรือยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย ปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้กันมากคือ การรมควันด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide : SO_2) ซึ่งสามารถควบคุมการเน่าเสียของผลลำไย และมีคุณสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกผล และยังสารที่มีคุณสมบัติในการฟอกสี (รัตน, 2535) ซึ่งมีผลในการยับยั้งการเกิดสาร quinones และการทำงานของเอนไซม์ PPO ทำให้เปลือกผลลำไยมีสีเหลืองสว่าง (Menzel and Waite, 2005) โดยจากการศึกษาการรมควันลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่า การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนเก็บรักษาลำไยพันธุ์คอและเบ๊วเขียวในอัตรา 200–300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อราและป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลได้ (ชิง ชิง และคณะ, 2531) แต่เนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ และเนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีฤทธิ์เป็นกรดสามารถกัดกร่อน เมื่อตกค้างอยู่ในอาหารและถูกบริโภคเข้าไปในปริมาณที่มากเกินไปจะไปลดประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และไขมันในร่างกาย (รัตน, 2535) นอกจากนี้จิราภรณ์และธีรพร (2546) พบว่า ลำไยส่งออกจำนวน 81 ตัวอย่าง มีการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในเปลือกร้อยละ 55.6 ซึ่งเป็นปริมาณที่เกิดกำหนดมาตรฐาน คือมากกว่า 350 ส่วนต่อล้าน โดยพบว่ามีตัวอย่างที่มีการตกค้างในเนื้อคิดเป็นร้อยละ 25.9 และลำไยที่บริโภคในประเทศ พบการตกค้างในเปลือกร้อยละ 25 และทุกตัวอย่างมีปริมาณมากกว่า 350 ส่วนต่อล้าน ส่วนในเนื้อลำไยมีการตกค้างคิดเป็นร้อยละ 10

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตกค้างสูงเกินกว่าที่ประเทศนำเข้ากำหนด จึงได้กำหนดปริมาณที่อนุญาตให้ใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในประเทศต่างๆ ดังตาราง 4

ตาราง 4 ปริมาณสูงสุดของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างที่ยอมให้ตรวจพบ
(ดัดแปลงจาก ชิง ชิง และคณะ, 2531)

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

* เป็นข้อกำหนดที่พบได้ในส่วนของเปลือกผลไม้ สำหรับเนื้อผลไม้ต้องเป็น 0

จากอันตรายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จึงได้หาวิธีที่สามารถทดแทนการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยที่มีคุณสมบัติคล้ายกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สามารถชะลอหรือยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยได้ และเป็นวิธีที่ปลอดภัย การใช้สารละลายกรดชนิดต่างๆ เป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการชะลอหรือยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และ กรดออกซาลิก ซึ่งประสิทธิภาพอาจแตกต่างกันไป

กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

กรดแอสคอร์บิกจัดเป็นกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่ง พบได้ในผักผลไม้หลายชนิด เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม ฝรั่ง องุ่น สตรอเบอร์รี่ มะเขือเทศ กะหล่ำปลี บร็อคเคอรี่ และผักขม กรดแอสคอร์บิกเป็นกรดที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ที่ตัดแบ่งชิ้น เช่น แอปเปิล และผลท้อ โดยการขูดลงในสารละลายหรืออาจปรับใช้ร่วมกับกรดอินทรีย์อื่นๆ เช่น กรดซิตริก (Saper and Ziolkowski, 1987) ซึ่งการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ PPO กรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งได้ โดยมีคุณสมบัติเป็น reducing agent ซึ่งทำการรีดิวซ์สาร quinones ให้กลับไปเป็นสาร diphenol (Walker, 1997 ; Marshall *et al.*, 2000) โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช และความเข้มข้นของกรดที่ใช้ ดังการศึกษาของ พรอนันต์ (2545) ได้ศึกษาวิธีการรักษาเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์สงฮวย พบว่าการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลได้นาน 28 วัน และแอกติวิตีของเอนไซม์ PPO อยู่ในระดับต่ำและค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ อุไรวรรณ (2543) ศึกษาในผลลิ้นจี่พันธุ์ก่อน พบว่าผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ เป็นเวลา 30 นาที สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ได้ และมีอายุการเก็บรักษานาน 28 วัน เช่นเดียวกับ Son *et al.* (2001) ศึกษาการเกิดสีน้ำตาลบนชิ้นเนื้อแอปเปิลพันธุ์ Liberty โดยการแช่ชิ้นเนื้อผลแอปเปิลลงในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 3 นาที พบว่า มีการเกิดสีน้ำตาลที่ต่ำมาก ซึ่งกรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็น reducing agent จะไปลดการเกิดสาร quinones ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ และการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 1.8 mM ร่วมกับซีสเตอีนและกรดซึนนามิก สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ในน้ำแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious (Ozoglu and Bayindirli, 2002) และ Saper *et al.* (1990) ศึกษาการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิล และแอปเปิลที่ตัดแบ่งชิ้น พบว่า การใช้ ascorbic acid-2-phosphate (AAP) และ ascorbic acid-triphosphate (AATP) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของชิ้นเนื้อผลแอปเปิลได้ แต่ไม่ได้ผลในน้ำคั้นแอปเปิล และการใช้

ascorbic 6-fatty acid esters สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลได้ และการใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับ acidic polyphosphate สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีทั้งในน้ำคั้นและผิวของชิ้นเนื้อผลแอปเปิ้ล นอกจากนี้การศึกษาในผลสับปะรดที่ตัดแบ่งชิ้น โดยแช่ในสารละลายกรดไอโซแอสคอร์บิก กรดแอสคอร์บิก และอะซิติลซีสเตอิน เป็นเวลา 2 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า สารทั้ง 3 ชนิด สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล และการเน่าเสียของผลที่ตัดแบ่งชิ้นได้ (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2003) ส่วน Guerrero-Beltran *et al.* (2004) ศึกษาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ในเนื้อผลมะม่วงสุก พบว่า กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 300 mg/kg ที่ pH 3.5 สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ถึง 95.5 เปอร์เซ็นต์

กรดซิตริก (citric acid)

กรดซิตริกเป็นกรดที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งทำให้รสเปรี้ยวและยังสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ โดยกรดซิตริกทำหน้าที่เป็น acidulant จะลด pH ให้ต่ำกว่าปกติมาก ทำให้มีผลกับโครงสร้างของเอนไซม์ทำให้เสียสภาพไป และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ซึ่งเหมือนกับ chelating agent โดยไปจับกับทองแดงบริเวณ active site ของเอนไซม์ (Marshall *et al.*, 2000) โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช และความเข้มข้นของกรดที่ใช้ ดังการศึกษาของ Jiang and Fu (1998) เกี่ยวกับการยับยั้งเอนไซม์ PPO และควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของผลลิ้นจี่ โดยใช้กลูตาไทโอน และกรดซิตริก พบว่าการใช้กลูตาไทโอนความเข้มข้น 10 mmol/L และกรดซิตริกความเข้มข้น 100 mmol/L สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ถึง 80-85 เปอร์เซ็นต์ และได้ศึกษาการใช้กรดซิตริกเพื่อรักษาคุณภาพของ Chinese water chestnut ที่ตัดแบ่งชิ้น โดยแช่ในสารละลายกรดซิตริก 1 นาที แล้วปิดด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.1 M สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO และยืดอายุการเก็บรักษาได้ (Jiang *et al.*, 2004)

กรดออกซาลิก (oxalic acid)

กรดออกซาลิกเป็นกรดที่พบได้ในพืชชนิดต่างๆ เช่น แครอท มะเขือเทศ กระเทียม ถั่ว และมันฝรั่ง เป็นต้น โดยกรดออกซาลิกอยู่ในกลุ่มของ carboxylic acids ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็น chelating agent และทำให้ pH ลดลงมากจะไปจับกับทองแดงตรง active site จึงทำให้ลดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ (Son *et al.*, 2001 ; Yuruk *et al.*, 2004) โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช และความเข้มข้นของกรดที่ใช้ ดังการศึกษาของ Son *et al.* (2001) ศึกษาสาร

ต่อต้านการเกิดสีน้ำตาลในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลบนชิ้นเนื้อแอปเปิลพันธุ์ Liberty โดยการแช่ชิ้นเนื้อผลแอปเปิลลงในสารละลายกรดความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 3 นาที พบว่า ในกลุ่ม carboxylic acids กรดออกซาลิกยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับ Yuruk *et al.* (2004) พบว่า การแช่กรดออกซาลิกที่ความเข้มข้น 60 mM นาน 60 นาทีสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุดในกล้วยที่ตัดแบ่งชิ้น และที่ความเข้มข้น 5 mM สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุดในแอปเปิลที่ตัดแบ่งชิ้น ส่วนการศึกษาการเกิดสีน้ำตาลในผลลิ้นจี่หลังการเก็บเกี่ยว พบว่า การแช่ในสารละลายกรดออกซาลิกที่ความเข้มข้น 2 และ 4 mM นาน 10 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเปลือกผลลิ้นจี่ได้ และยังลดการทำงานของเอนไซม์ peroxidase ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Zheng and Tain, 2006)

2. การใช้ก๊าซโอโซน (Ozone : O₃)

โอโซนเป็นก๊าซที่ประกอบด้วยออกซิเจนจับตัวกัน 3 อะตอม มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 มีจุดเดือดที่ -111.9 ± 0.3 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ -192.7 ± 0.4 องศาเซลเซียส โดยคุณสมบัติของโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงมาก แต่โอโซนจะสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโอโซนมีเสถียรภาพต่ำ จึงสลายเป็นออกซิเจนได้ง่าย นอกจากนี้โอโซนยังสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในน้ำและในอากาศ ซึ่งมีผลทำลายได้เร็วกว่าคลอรีน 3,125 เท่า และไม่มีการตกค้าง (Guzel-Seydim *et al.*, 2004) ปัจจุบันมีการปรับใช้โอโซนในกระบวนการอาหาร และทางเกษตรกรรม อีกทั้งยังยอมรับว่าโอโซนเป็นสารที่ใช้ได้อย่างปลอดภัยกับอาหาร (generally recognized as safe : GRAS) มีการใช้ในประเทศญี่ปุ่น ฝรั่งเศส และออสเตรเลีย เป็นต้น ซึ่งใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อในน้ำ และใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมมานาน หน่วยที่แสดงความเข้มข้นของโอโซนในอากาศและในน้ำเป็นหน่วยของ ppm (ส่วนต่อล้าน) (Graham, 1997) จากประโยชน์ของโอโซน จึงได้ให้ความสนใจในการใช้โอโซนกับวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อปรับใช้โอโซนสำหรับควบคุมการเน่าเสีย และทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่พบได้ในผลผลิตทางการเกษตร (Suslow, 2004)

หลักการผลิตโอโซน

จิรวัดน์ และคณะ (2547) ได้กล่าวถึงการผลิตโอโซนในอุตสาหกรรมมี 2 วิธี คือ

1. Ultraviolet method : เป็นการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตหรือ UV ความยาวคลื่น 185 nm ไปยังออกซิเจน โมเลกุลของออกซิเจนจะรับพลังงานจากแสง UV และเปลี่ยนไปเป็นโอโซน ดังสมการ



2. Corona electric discharge method : เป็นวิธีที่ผลิตโอโซนที่ความเข้มข้นสูงถึง 6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยอาศัยการฉายลำแสงอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง (6-7 eV) ลงบนออกซิเจน ทำให้โมเลกุลออกซิเจนแตกออกเป็น 2 อะตอมออกซิเจน จากนั้นแต่ละอะตอมออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนอีกทีหนึ่ง ทำให้เกิดโมเลกุลของโอโซน ดังสมการ



กลไกของโอโซนในการทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง กลไกที่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยตรงกับผนังเซลล์ และ เยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารประกอบภายในเซลล์ (cell lysis) และปฏิกิริยาของอนุมูลตัวกลางที่ถูกทำลายด้วยโอโซน การถูกทำลายของส่วนประกอบของ nucleic acid (purines และ pyrimidines) ทำให้ carbon-nitrogen bonds แตกหักเสียหาย นำไปสู่กระบวนการ depolymerization (Scott and Leshner, 1963) และการทำลายสปอร์ของแบคทีเรีย Khadre and Yousef (2001) พบว่า การทำลายสปอร์ของแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* โดยใช้โอโซน แสดงการถูกทำลายของเยื่อหุ้มสปอร์ชั้นนอก อีกทั้งโอโซนยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ เช่น *Bacillus cereus* และ *Pseudomonas aeruginosa* เป็นต้น (Guzel-Seydim *et al.*, 2004)

จากประโยชน์ของโอโซน จึงมีการให้ความสนใจในการปรับใช้โอโซนกับวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อควบคุมการเน่าเสีย และทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง และมีความปลอดภัยในการบริโภค โดยประสิทธิภาพในการควบคุมการเน่าเสียจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช และความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ ดังการศึกษาของ ลีศิริยา (2545) ศึกษาผลของโอโซนต่ออายุการเก็บรักษาลำไยพันธุ์ดอ โดยนำผลลำไยแช่ในน้ำเย็นที่ 0 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ผลของลำไยที่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าผลที่ไม่ได้รมก๊าซโอโซน 6-9 วัน และผลที่

ผ่านการรมนาน 30 นาที ยังมีเซลล์ผิวเปลือกที่มีสภาพสมบูรณ์ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และ อรุโณทัย (2546) ศึกษาผลของไอโซนต่ออายุการเก็บรักษาผลลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิ โดยแช่ผลลิ้นจี่ใน น้ำไอโซนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ผล ลิ้นจี่ที่ผ่านการรมด้วยไอโซนนาน 45 และ 60 นาที มีอายุการเก็บรักษานาน 28 วัน และผลลิ้นจี่มี การเน่าเสียน้อยกว่าชุดควบคุม เช่นเดียวกับการศึกษาผลของก๊าซไอโซนและอุณหภูมิในการเก็บ รักษาแครอท โดยให้ก๊าซไอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ทุกวันๆละ 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 28 วัน พบว่า ที่ความเข้มข้น 60 ไมโครลิตรต่อลิตร สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และแครอทที่มีสีสว่างกว่าแครอทที่ไม่ได้ผ่านก๊าซไอโซน (Liew and Prange, 1994) ส่วนการศึกษา ในผลแบล็กเบอร์รี่โดยการรมด้วยก๊าซไอโซนในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถลดการเน่าเสียของผลได้ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยลดการเจริญเติบโตของ เชื้อราที่พบคือ *Botrytis cinerea* โดยที่สีผิวของผลมีสีที่สว่างขึ้น และที่ความเข้มข้น 0.3 ppm เมื่อ เก็บรักษาได้ 12 วัน ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพก่อนส่งไปสู่ตลาดได้ (Barth *et al.*, 1995) นอกจากนี้ จากการศึกษาผลของก๊าซไอโซนต่อการเน่าเสียของผลองุ่น (*Vitis vinifera* L.) หลังการเก็บเกี่ยว พบว่า การใช้ก๊าซไอโซนในอัตรา 8 มิลลิกรัมต่อนาที่ นาน 20 นาที ทำให้จำนวน colony forming units (CFU) ของเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรียที่ผิวของผลองุ่นลดลง ทำให้เพิ่มอายุการเก็บรักษาของ ผลองุ่นและลดการเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อ *Rhizopus stolonifer* ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับก๊าซซัลเฟอร์ได ออกไซด์ที่สามารถควบคุมการเน่าเสียได้ (Sarig *et al.*, 1996) ส่วนในแตงกวาพบว่า สามารถควบคุม เชื้อราแปง โดยลดการงอกของสปอร์ *Sphaerotheca fuliginea* (Khan *et al.*, 1999) และสามารถ ควบคุมเชื้อรา *Monilinia fruticola*, *Botrytis cinerera*, *Mucor piriformis* และ *Penicillium expansum* บนผิวของท้อพันธุ์ Elegant Lady เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และยังสามารถยับยั้งเชื้อราสีเทาที่เกิดกับผลองุ่นพันธุ์ Thompsom Seedless ได้หลังจากเก็บรักษานาน 7 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Palou *et al.*, 2002) เช่นเดียวกับการใช้ไอโซนในการควบคุมการงอกของสปอร์เชื้อ *Penicillium digitatum* และ *P. italicum* ในผลส้มโดยรมด้วยไอโซน 0.72 ppm เป็นเวลา 14 วัน แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12.8 องศาเซลเซียส ในภาชนะบรรจุต่างๆ กัน พบว่าไอโซนจะมีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อทั้งสองเมื่อใช้ ภาชนะบรรจุแบบตะกร้าพลาสติก ซึ่งเป็นภาชนะที่ก๊าซสามารถผ่านทะลุได้ดี (Palou *et al.*, 2003) ส่วน Kell *et al.* (2001) ศึกษาผลของไอโซนในการเก็บรักษาข้าวโพด พบว่า เมื่อให้ก๊าซไอโซนที่ ความเข้มข้น 50 ppm นาน 3 วัน สามารถลดการสูญเสียข้าวโพดที่เกิดจากแมลงปีกแข็งได้ถึง 92-100 เปอร์เซ็นต์ และยังสามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อรา *Aspergillus parasiticus* ได้ถึง 62 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถทำงานเหมาะสมกับงานทางด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ศึกษาผิวภายนอกของสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชและสัตว์ สามารถเห็นรายละเอียดผิวภายนอกของตัวอย่างด้วยการถ่ายภาพสูงมาก 10-300,000 เท่า ในการเตรียมตัวอย่างทางด้านชีวภาพทำได้โดย นำชิ้นตัวอย่างวางใน glutaraldehyde ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ประมาณ ½-1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมา dehydrate ด้วย แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์, 70 เปอร์เซ็นต์ และ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยนำตัวอย่างแช่ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้นละ 3 ครั้งๆ ละ 10 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ในอะซิโตนที่ความเข้มข้นเปอร์เซ็นต์ 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปทำ critical point drying ทันที หลังจากนั้นทำ mounting และ coating ด้วยทอง แล้วนำไปดูด้วยกล้อง SEM จึงสามารถเห็นรายละเอียดของผิวภายนอกของตัวอย่างได้ ซึ่งมีการใช้ SEM ในการศึกษาของพืชหลายชนิดเช่น การศึกษาของ White (1986) ศึกษาสัณฐานวิทยาของรังไข่และ fruit hair ของผลกีวี โดยใช้ SEM พบการกระจายของ fruit hair ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ และไม่พบ stomata บนรังไข่ ส่วนการศึกษาในผลท้อพบว่าเมื่อมีการสูญเสียน้ำจะชักนำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำให้มีความสูงขึ้นแต่น้ำหนักของผลลดลง โดยการศึกษาจาก SEM แสดงให้เห็นถึงการชักนำให้มีความหนาแน่นของ trichomes ของผลท้อเพิ่มขึ้น (Crisosto *et al.* ,1994) ส่วนการศึกษาของ Juan *et al.* (2000) โดยใช้ SEM และ light microscope สามารถบอกคุณลักษณะและโครงสร้างในระดับ order และ genera ของผลและเมล็ดของพืชในวงศ์ Scrophulariaceae