บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ลำไย (longan) มีชื่อวิทยาศาสตร์หลายชื่อ คือ *Euphoria longana* Lam., *Euphoria longan* Strend., *Nephelium longan* Camb. และ *Dimocarpus longan* Lour. จัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Sapindaceae มีจำนวนโครโมโซม 2n=30 (พาวิน, 2543) โดยทั่วไปสามารถจำแนกลำไยออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. ลำไยป่า ลักษณะลำต้นใหญ่ ผลมีขนาดเล็กมาก ขั้วผลบางนิยมใช้เป็นต้นตอ

2. ลำไยพื้นเมือง หรือลำไยกระดูก ลักษณะลำต้นใหญ่ เปลือกลำต้นขรุขระมาก ต้นสูงตรงประมาณ 20–30 เมตร ใบมีขนาดเล็กกว่าลำไยกะโหลก ผลผลิตสูง รูปร่างผลค่อนข้างกลม ผิวเปลือกสีน้ำตาลเปลือกหนา ขั้วผลบาง เนื้อบางสีขาวใส เมล็ดโตและมีความหวานน้อย ประมาณ 13.75% จัดเป็นพวกที่มีคุณภาพต่ำ โดยจะออกดอกประมาณเดือนธันวาคมถึงต้นตุลาคมและเก็บผลได้ประมาณกลางเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม พบตามป่าจังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายมีอายุยืนมาก ปัจจุบันไม่นิยมปลูกเนื่องจากผลมีขนาดเล็ก (นพดล และคณะ, 2543 ; วิรัตน์, 2543)

3. ลำไยปลูกหรือลำไยกะโหลก นิยมปลูกกันมาก ลักษณะลำต้นขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ ขนาดผลใหญ่ ขั้วผลหนา มีความหวานมากประมาณ 19.00–23.50% จัดเป็นพวกที่มีคุณภาพสูง เมล็ดเล็ก รับประทานสดหรือแปรรูป (พงษ์ศักดิ์และคณะ, 2542) มีอยู่หลายพันธุ์แต่ละพันธุ์มีคุณลักษณะพิเศษแตกต่างกัน ได้แก่ พันธุ์ดอหรืออีดอ พันธุ์ชมพูหรือสีชมพู พันธุ์แห้วและพันธุ์เบี้ยวเขียว เป็นต้น

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลำไย

ลำต้น สูงขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดมีลำต้นตั้งตรง มีความสูงประมาณ 30–40 ฟุต แต่ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่งมักจะแตกกิ่งก้านสาขาใกล้ๆ กับพื้นดิน ทรงพุ่มต้นสวยงาม มีการแตกกิ่งก้านดี เนื้อไม้เปราะทำให้กิ่งหักง่ายกว่ากิ่งของต้นลิ้นจี่ เปลือกของลำต้นมีลักษณะขรุขระและมีสีน้ำตาลหรือเทา

ใบ ลักษณะของใบลำไยเป็นใบรวมประกอบด้วยใบย่อยอยู่บนก้านใบร่วมกัน (pinnately compound leaves) มีปลายใบเป็นคู่ มีใบย่อย 2–5 คู่ ความยาวใบ 20–30 เซนติเมตร ใบย่อยเรียงตัวสลับหรือเกือบตรงข้าม ความกว้างของใบย่อย 3–6 เซนติเมตร ยาว 7–15 เซนติเมตร รูปร่างใบ-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นรูปรี หรือรูปหอก ส่วนปลายใบและฐานใบค่อนข้างป้าน ใบด้านบนมีสีเขียวเข้มกว่าด้านล่าง ผิวใบด้านบนเรียบ ส่วนผิวใบด้านล่างสากเล็กน้อย ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ใบเป็นคลื่นเล็กน้อยและเห็นเส้นใบแขนง (vein) แตกออกจากเส้นกลางใบชัดเจนและมีจำนวนมาก

ช่อดอก ส่วนมากจะเกิดจากตาที่ปลายยอด (terminal bud) บางครั้งอาจเกิดจากตาข้างของกิ่ง โดยทั่วไปความยาวของช่อดอกมีค่าประมาณ 15–60 เซนติเมตร โดยช่อดอกขนาดกลางจะมีดอกย่อยประมาณ 3,000 ดอกต่อช่อ

ดอก มีสีขาวหรือสีขาวออกเหลือง มีขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6–8 มิลลิเมตร ช่อดอกหนึ่งๆ อาจมีดอก 3 ชนิด (polygamo-monoecious) คือ ดอกตัวผู้ (staminate flower) ดอกตัวเมีย (pistillate flower) และดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower)

ผล ทรงกลม หรือทรงเบี้ยว ลำไยพันธุ์กะโหลกจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลประมาณ 2.5 เซนติเมตร ผลแก่จัดจะมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอมแดง ผิวเปลือกเรียบหรือเกือบเรียบ มีตุ่มแบนๆ ปกคลุมที่ผิวเปลือกด้านนอก เปลือกบาง และเนื้อหนา ส่วนของเนื้อ (aril) เกิดจากส่วนที่เจริญขึ้นมาจากก้านออวุล (funiculus) ซึ่งเนื้อเยื่อส่วนนี้มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ และเป็นผิวหุ้มเมล็ดส่วนนอก (outer integument) เนื้อเยื่อนี้เป็นเนื้อเยื่อพาเรนไคม่า ซึ่งจะเจริญล้อมรอบเมล็ดและอยู่ระหว่างเปลือกกับเมล็ดมีสีขาวคล้ายวุ้น สีขาวขุ่นหรือสีชมพูเรื่อๆ แตกต่างกันไปตามพันธุ์ โดยพบว่าองค์ประกอบหลักของเนื้อลำไย ประกอบด้วย กลูโคส 26.91% ซูโครส 0.22% กรดทาทาริก 1.26% สารประกอบไนโตรเจน 6.31% โปรตีน 5.6% ไขมัน 0.5% และธาตุอาหารอื่นๆ เช่น Ca , Fe, P, Na, K และวิตามิน (กรมวิชาการเกษตร, 2549) จากการศึกษาคุณค่าทางอาหารของผลลำไย พบว่าส่วนประกอบที่มีอยู่ในเนื้อลำไยสดและลำไยแห้ง ต่างก็มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด ดังตาราง 1

เมล็ด มีลักษณะกลมจนถึงกลมแบน เมื่อยังไม่แก่มีสีขาวแล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีดำมัน ส่วนของเมล็ดที่ติดกับขั้วผลมีวงกลมสีขาวๆ บนเมล็ด (placenta) มีลักษณะคล้ายตามังกร (dragon's eye) จุดสีขาวจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ต่างกันไปตามพันธุ์ (พาวิน, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 1 คุณค่าทางอาหารของลำไย

ส่วนประกอบ	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยแห้ง
ความชื้น (%)	81.10	17.80
ไขมัน (%)	0.11	0.40
เส้นใย (%)	0.28	1.60
โปรตีน (%)	0.97	4.60
เถ้า (%)	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต (%)	16.98	72.70
พลังงานความร้อน (กิโลแคลลอรี่/100 กรัม)	72.79	311.80
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	5.70	27.70
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	35.30	159.50
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	69.20	137.80
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	4.50
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	2,010.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	3.03
กรดแพนโธนิค (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.57
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.375

ที่มา : สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่ (2542) อ้างโดย พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2542)

ลักษณะประจำพันธุ์ของลำไยพันธุ์ดอ

ลำไยพันธุ์ดอหรืออีดอ เป็นลำไยพันธุ์เบา ซึ่งจะออกดอกและเก็บผลผลิตได้ก่อนพันธุ์อื่นๆ ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด เพราะเก็บเกี่ยวได้ก่อนจึงทำให้ได้ราคาดีและยังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ ซึ่งสามารถจำหน่ายได้ทั้งผลสดและแปรรูปเป็นลำไยกระป๋องและลำไยอบแห้ง นอกจากนี้ยังเป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตดีโดยเฉพาะในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ และมีน้ำพอเพียง สามารถทนแล้งและทนน้ำได้ดีปานกลาง (พาวิน, 2543) การดูแลรักษาง่าย ทนทานต่อโรค ให้ผลสม่ำเสมอ ผลผลิตที่ได้รับมีคุณภาพดี คือ เนื้อหนาและกรอบ มีรสหวาน กลิ่นหอม และเมล็ดเล็ก (วิรัตน์, 2543) ขนาดช่อผลกว้าง 25 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร สีผลอ่อนน้ำตาลอมเขียว รูปร่างกลมแป้น ขนาดค่อนข้างใหญ่ ทรงผลกลมแป้น มีบ่าของผลข้างเดียว ผิวสีน้ำตาล มีกระหรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาห่าง สีน้ำตาลเข้ม เนื้อค่อนข้างเหนียวสีขาวขุ่น ปริมาณน้ำตาล 20% เมล็ดขนาดใหญ่ปานกลาง รูปร่างแบนเล็กน้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

ลำไยพันธุ์ดอ สามารถแบ่งตามสียอดอ่อนได้ 2 ชนิด คือ (พาวิน, 2543)

1. อีดอยอดแดง เจริญเติบโตเร็วมาก ลำต้นแข็งแรงไม่ฉีกหักง่าย เปลือกลำต้นสีน้ำตาลปนแดง ใบอ่อนมีสีแดง ปัจจุบันไม่นิยมปลูก เนื่องจากออกดอก ติดผลไม่ดี และเมื่อเริ่มแก่ถ้าเก็บไม่ทันผลจะร่วงเสียหายมาก

2. อีดอยอดเขียว ลักษณะต้นคล้ายอีดอยอดแดง ใบอ่อนเป็นสีเขียว ออกดอกติดผลง่ายแต่อาจไม่สม่ำเสมอ

นอกจากนี้ ลำไยพันธุ์ดอยังแบ่งตามลักษณะของก้านช่อผลได้ 2 ชนิด คือ (พงษ์ศักดิ์และคณะ, 2542)

1. อีดอก้านอ่อน มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอกเป็นช่อขนาดใหญ่ ติดผลจำนวนมาก ก้านผลอ่อน เปลือกผลบาง ผลมีขนาดปานกลาง เนื้อหวานหอม ปริมาณน้ำตาล 19–20% เมล็ดมีขนาดปานกลาง ช่วงออกดอกในเดือนธันวาคม ถึง มกราคม ระยะผลแก่ช่วงต้นเดือนกรกฎาคม

2. อีดอก้านแข็ง มีจำนวนใบย่อย 4 คู่ ดอกเป็นช่อขนาดสั้น ผลจะออกเป็นกระจุก ก้านผลแข็ง เปลือกผลหนา ขนาดของผลไม่สม่ำเสมอ มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ในช่อเดียวกัน เนื้อผลแห้ง กรอบ หวาน เนื้อร่อน ปริมาณน้ำตาล 19–20% เมล็ดมีขนาดปานกลางถึงใหญ่ ช่วงออกดอกในเดือนธันวาคม ถึง มกราคม ระยะผลแก่ช่วงต้นเดือนกรกฎาคม

สาเหตุความเสียหายของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว

1. โรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลลำไย

สาเหตุของโรค ได้แก่ เชื้อราหลายชนิด เช่น *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*, *Collectotrichum*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Mucor*, *Nigrospora*, *Penicillium*, *Pestalotiopsis*, *Paecilomyces*, *Phomopsis*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia* และยีสต์

ลักษณะอาการ ผลลำไยมีรอยแผล รอยช้ำ รอยแตก ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง ทำให้ผลลำไยเน่า ฉ่ำน้ำ เปลือกลำไยมีสีน้ำตาลคล้ำ มีของเหลวไหลออกมาเปื้อนผล มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว มีเส้นใยของเชื้อราขึ้นปกคลุม ขั้วผลเน่าเป็นสีน้ำตาล เนื้อลำไยสีขาวขุ่น (นพดลและคณะ, 2543) แต่ส่วนของผิวเปลือก อาจยังไม่แสดงลักษณะอาการของโรคอย่างชัดเจน (พาวิน, 2543)

สาเหตุการเกิดโรคบนผลลำไย เนื่องจากผลลำไยมีปริมาณน้ำตาลสูงมาก ดังตาราง 2 ซึ่งน้ำตาลดังกล่าวเป็นอาหารชั้นเยี่ยมให้กับเชื้อโรคต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ทำให้ผลลำไยสดมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นเพียง 2-3 วันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2 ส่วนประกอบของผลลำไยในระยะเก็บเกี่ยวผล

ส่วนประกอบ	ปีที่ศึกษา	
	2526	2527
เนื้อผล (%dry weight)	19.80 ± 0.20	16.50 ± 0.70
เปลือกผล (%dry weight)	35.70 ± 0.60	35.60 ± 0.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (%)	20.10 ± 0.10	18.30 ± 0.20
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ($mg.g^{-1}$)	184.00 ± 7.00	154.00 ± 11.00
ซูโครส ($mg.g^{-1}$)	72.00 ± 15.00	29.00 ± 3.00
กลูโครส ($mg.g^{-1}$)	22.00 ± 17.00	17.00 ± 1.00
ฟรุคโตส ($mg.g^{-1}$)	28.00 ± 17.00	23.00 ± 1.00
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ($meq.g^{-1}$)	2.30 ± 0.10	2.10 ± 0.10
ความเป็นกรดด่าง (pH)	6.20 ± 0.10	6.40 ± 0.10
กรดซิตริก ($meq.g^{-1}$)	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.01
กรดมาลิก ($meq.g^{-1}$)	0.89 ± 0.16	0.35 ± 0.07
กรดซัคซินิก ($meq.g^{-1}$)	1.85 ± 0.19	1.15 ± 0.11
กรดแอสคอร์บิก ($mg.g^{-1}$)	2.00 ± 0.20	1.40 ± 0.20
ปริมาณของฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)	0.80 ± 0.10	0.50 ± 0.10

ที่มา : Paull and Chen (1987) อ้างโดย นพดลและคณะ (2543)

2. การเกิดสีน้ำตาลบนผลไม้

Jiang *et al.* (2002) ได้รายงานการเกิดสีน้ำตาลบนผลไม้ว่ามีสาเหตุมาจาก การแห้งของเซลล์ ความเครียดจากความร้อน การชราภาพ การเกิด chilling injury ความตึงเครียดใน pericarp และโรคและแมลงรบกวน เป็นต้น ซึ่งสาเหตุทั้งหมดทำให้เกิดสีน้ำตาลบนผลไม้โดยจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอลิกโดยเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO)

2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลบนผลไม้

2.1.1 การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (non-enzymatic reaction) การเกิดสีน้ำตาลในผลไม้เกิดจากการออกซิเดชันของวิตามินซี เมื่อผลไม้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้สารสีน้ำตาลเกิดขึ้น (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2547) โดยการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (non-enzymatic reaction) จะพบในกระบวนการแปรรูปอาหารโดยความร้อน หรือ กระบวนการอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งปฏิกิริยาที่ไม่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์เกี่ยวข้อง ได้แก่ Maillard reaction, caramelizationและascorbic acid oxidation เป็นต้น (Garcia and Barrett, 2001)

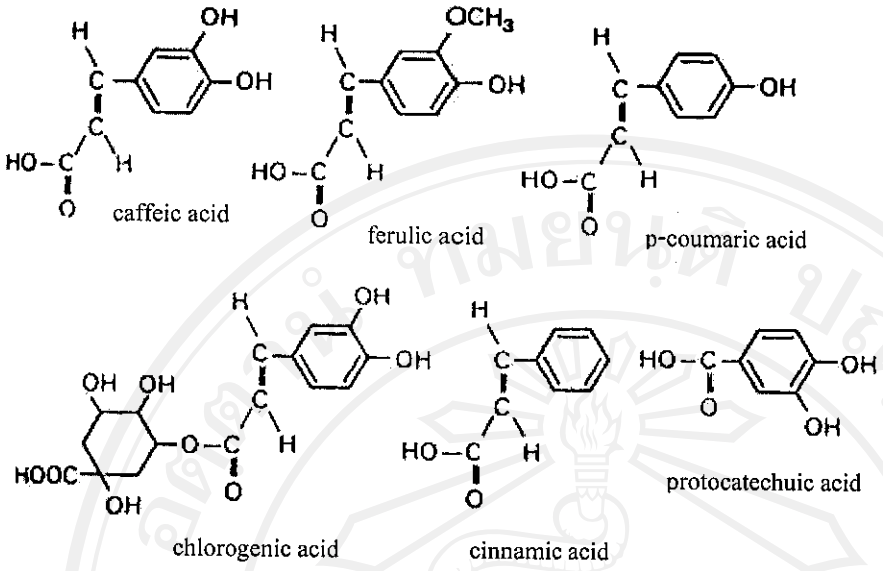
2.1.2 การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (enzymatic reaction) การเกิดสีน้ำตาล (enzymatic browning) ในผักและผลไม้บางชนิดมีเอนไซม์พวก phenolase, polyphenolase และ PPO เอนไซม์เหล่านี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิก เช่น catechol และ caffeic acid ที่มีอยู่ในผักและผลไม้นั้นเมื่อผ่านการปอกเปลือก ฝาน ผ่า ให้มีการสัมผัสกับออกซิเจนได้สารที่มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น เอนไซม์และสารฟีนอลเหล่านี้พบได้ในผลไม้ เช่น กล้วย แอปเปิล มะขามและกระท้อน หรือในผัก เช่น มะเขือและมันฝรั่ง (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2547)

การเกิดสีน้ำตาลบนผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป หรือ กระบวนการอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่มักเกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (enzymatic reaction) และเอนไซม์ที่พบในปฏิกิริยา คือ เอนไซม์ PPO ซึ่งมีผลทำให้เร่งการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลทำให้เกิดสีน้ำตาลบนผลไม้ โดยเอนไซม์ PPO พบมากบริเวณ epicarp และ upper mesocarp ของเปลือกผล (Underhill and Critchley, 1994)

Pan (1994) สังเกตว่าการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลำไยจะเกิดได้ทั่วของชั้น pericarp โดยชั้นผิวที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลก่อนเป็นชั้นแรกคือ mesocarp จากนั้นตามมาด้วยชั้น endocarp โดย Jiang *et al.*(2002) ได้รายงานว่า คิวติเคิลที่ปกคลุมส่วน pericarp มีความหนาน้อยมาก เนื้อเยื่อของเปลือกลำไยจะมีชั้นของคอร์กที่ไม่มีการพัฒนาเป็น stone cell ทำให้เซลล์สูญเสียความสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาและเปิดโอกาสให้เอนไซม์ PPO สัมผัสกับ substrate ได้

2.2 สารประกอบฟีนอล ได้แก่ สารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีหมู่เคมีอื่นๆ เข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่างๆ (ภาพ 1) ตัวอย่างเช่น cinnamic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, p-coumaric และ ferulic acid เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

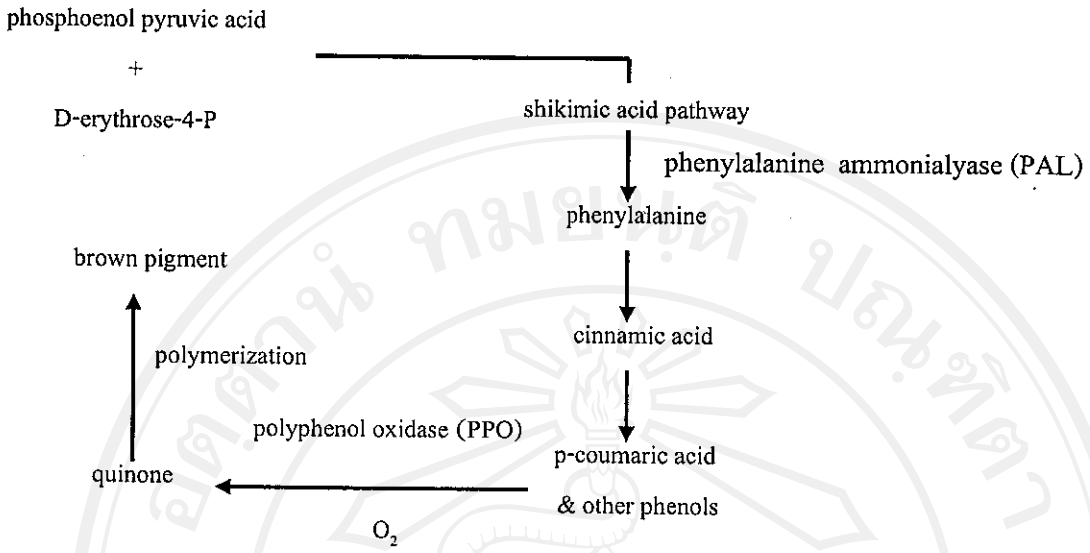


ภาพ 1 สูตรโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลต่างๆ (จริงแท้, 2544)

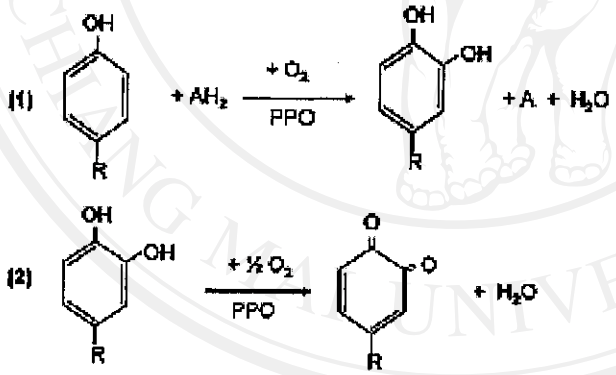
นอกจากนั้น tryrosine และ phenylalanine นับว่าเป็นสารประกอบฟีนอลอื่น ซึ่งได้จากการรวมตัวกันของโมเลกุล phosphoenol pyruvate จาก glycolysis และ erythrose-4-phosphate จาก Calvin cycle หรือจาก pentose phosphate pathway แต่มักจะจัดอยู่ในกลุ่มของกรดอะมิโน phenylalanine เองก็เป็นโมเลกุลต้นแบบ (precursor) ของสารประกอบฟีนอลอื่นๆ โดยการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonialyase (PAL) ดึงเอากลุ่มอะมิโนออกจาก phenylalanine ได้เป็น cinnamic acid

สีน้ำตาลที่พบอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ PPO ซึ่งจะไปเร่งการเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็น quinone แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น(ภาพ 2) และมีสีน้ำตาล ปริมาณของเอนไซม์ PPO ในผลไม้มักมีมากเมื่อผลยังเล็กอยู่และจะลดน้อยลงเมื่อผลเจริญเติบโตขึ้นจนผลแก่บริบูรณ์และสุก (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2544)



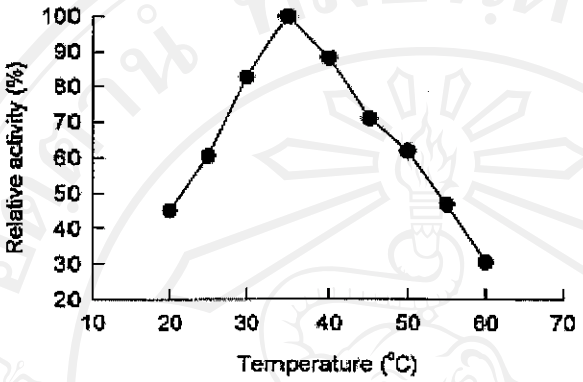
ภาพ 3 ขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาลซึ่งมีเอนไซม์ PPO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

(1) ปฏิกิริยา hydroxylation เริ่มต้นจาก monophenols ไปเป็น *ortho*-diphenols และ

(2) ปฏิกิริยา oxidation เริ่มต้นจาก *o*-diphenols ไปเป็น *ortho*-quinones (Garcia and Barrett, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับในผลลำไย พบว่าเอนไซม์ PPO ในเปลือกมีการทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 4–7 และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ PPO คือ 35 องศาเซลเซียส (ภาพ 4) โดยที่สับสเตรทของเอนไซม์ PPO ที่เข้ามาจับเพื่อทำปฏิกิริยาด้วยที่เปลือกลำไย ได้แก่ 4-methylcatechol และ catechol (Jiang, 1999)



ภาพ 4 อุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิดเอนไซม์ PPO ในลำไย (Jiang, 1999)

การจัดการผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว

ลำไยเป็นผลประเภท non-climacterric อัตราการหายใจปานกลางที่ 25 องศาเซลเซียส (30-45มิลลิลิตร/กิโลกรัม.ชั่วโมง) และอัตราการผลิตก๊าซเอทีลีน 0.1 ไมโครลิตร/กิโลกรัม.ชั่วโมง อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) จะเก็บรักษาได้ประมาณ 2-3 วัน ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกวิธี เพื่อให้ได้ลำไยที่มีคุณภาพดีจนถึงมือผู้บริโภค (วิรัตน์, 2543) โดยวิธีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของผลลำไย เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในขณะขนส่งและวางจำหน่าย มีดังนี้

1. การบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere storage, MA) หรือควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere storage, CA) ซึ่งมีจุดประสงค์ในการสร้าง ideal gas ในภาชนะบรรจุ (Garcia and Barrett, 2001) ดังการทดลองของ Zhang and Quantick (1997) ได้เก็บลำไยในถุง polyethylene (หนา 0.03 มิลลิเมตร) ในระบบดัดแปลงบรรยากาศที่ความเข้มข้นออกซิเจนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน เก็บรักษานาน 7 วัน ในอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และ 35 วัน ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บในสภาพดัดแปลงบรรยากาศที่มีออกซิเจน ความเข้มข้น 1% ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้น 5% และออกซิเจน ความเข้มข้น 3% ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้น 5% ในอุณหภูมิห้องมีการยืดการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นาน 2 วัน และ 1 วัน ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการเกิดสีน้ำตาลได้นาน 7 วัน และ 5 วัน ตามลำดับ โดยสภาพดัดแปลงบรรยากาศ จะช่วยยับยั้งการหายใจของผลไม้ และยับยั้งปฏิกิริยา PPO ได้บางส่วน และพบว่าการเก็บรักษาในสภาพที่มีออกซิเจน ความเข้มข้น 1% ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้น 5% ทำให้รสชาติของผลไม้มีความผิดปกติเล็กน้อย เช่นเดียวกับการเก็บรักษาลิ้นจี่ซึ่งใช้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีออกซิเจน 3–5% และคาร์บอนไดออกไซด์ 3–5% ทำให้การเกิดสีน้ำตาลที่ผิว อันเนื่องมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่กระตุ้นโดยเอนไซม์ PPO มีค่าลดลงและอัตราการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกลดลงเช่นกัน แต่ถ้าระดับออกซิเจนต่ำกว่า 1% และ/หรือคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 15% จะชักนำให้เกิดรสชาติผิดปกติ (Kader, 2002) ดังนั้นการใช้สภาพดัดแปลงบรรยากาศ หรือสภาพควบคุมบรรยากาศ ควรระวังการใช้ออกซิเจนในระดับต่ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับสูง เพราะอาจมีผลต่อรสชาติ กลิ่น และเร่งการเน่า ซึ่งมีผลมาจากการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Garcia and Barrett, 2001)

2. การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟต์รู้จักใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในการทำไวน์ ต่อมามีการนำมาใช้กับเครื่องดื่มต่างๆ พวกน้ำหวาน ผักแห้ง และผลไม้แห้ง เป็นต้น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟต์เมื่อละลายน้ำจะได้กรดซัลฟิวรัสซึ่งมีประสิทธิภาพในการช่วยทำลายหรือชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ (ศิวาพร, 2546) ปัจจุบันมีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กันอย่างแพร่หลายในการเก็บรักษาองุ่นในหลายประเทศ (วิรัตน์, 2543) แต่ปัญหาสำคัญ คือ หากใช้ในปริมาณที่สูงเกินจะไปลดประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและไขมันของร่างกาย ด้วยเหตุนี้จึงมีการกำหนดปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ในผักและผลไม้แห้ง คือ ไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมอาหาร และอาจใช้ร่วมกับวัตถุกันเสียชนิดอื่น (จิราภรณ์, 2545) บทบาทของซัลไฟต์ คือ ป้องกันการเกิด enzymatic browning และ non-enzymatic browning ควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ตัวฟอกสีเปลือก ตัวยับยั้งและลดการทำงานของออกซิเจน (Pongsakul *et al.*, 2004) โดยการรมลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ช่วยในการถนอมผลผลิตให้เก็บรักษานานถึง 50 วัน และช่วยป้องกันโรคจากเชื้อราที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ผู้ส่งออกสามารถขนส่งผลผลิตได้โดยทางเรือเป็นการลดต้นทุนการขนส่ง และช่วยยืดอายุการวางจำหน่าย (วิรัตน์, 2543) ซึ่งปริมาณของผงกำมะถันที่ใช้และระยะเวลาที่ใช้รมผลลำไยสดที่แนะนำไว้ ในตาราง 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3 ปริมาณของลำไย ปริมาณของผงกำมะถันที่ใช้และระยะเวลาที่ใช้รมลำไยสด

ปริมาณลำไยสด (กิโลกรัม)	ปริมาณกำมะถันผง (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ในการรม (นาที)
350	3.0	10
1,500	13.5	20
2,500	24.0	35
3,800	36.0	45
5,000	47.0	35

ที่มา : สถาบันอาหาร (2541) อ้างโดย พาวิน และคณะ (2548)

เกลือซัลไฟต์ที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมไบซัลไฟต์และโซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์ เป็นต้น สารประกอบกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารหลายด้าน คือ การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลทั้งจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning) และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning) เป็นสารฟอกสีในแป้งและผลิตภัณฑ์ผลไม้ เป็นสารป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่ก่อการเสื่อมเสียในอาหาร ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และยีสต์ แต่ประสิทธิภาพจะต่างกันไปขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) พบว่า เมื่อระดับ pH ลดลงจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสารประกอบนี้ยิ่งสูงขึ้น ทั้งนี้เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือเกลือต่างๆ ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดกรดซัลฟิวรัสและแตกตัวให้ไอออนต่างๆ ดังสมการ

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$$

$$2H_2SO_3 \longrightarrow H^+ + HSO_3^- \text{ หรือ } 2H^+ + SO_3^{-2}$$

ชนิดและปริมาณของไอออนที่เกิดจะขึ้นอยู่กับระดับ pH โดยที่ระดับ pH สูงกว่า 7 ขึ้นไป การแตกตัวจะมีแต่ซัลไฟต์ไอออน (SO_3^{-2}) และระดับ pH ต่ำกว่า 2 ลงมาจะพบเพียงกรดซัลฟิวรัสที่ไม่แตกตัวและไบซัลไฟต์ไอออน (ตาราง 4) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี โดยกรดที่ไม่แตกตัวสามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เข้ารบกวนการทำงานของเซลล์ดังกล่าวได้ (ศิวาพร, 2546) ดังนั้นในการเตรียมสารละลายเกลือซัลไฟต์จึงมักเติมสารละลายกรดลงไปในน้ำที่ใช้ในการทำละลายเกลือซัลไฟต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH ต่อสัดส่วนการแตกตัวของกรดซัลฟิวรัส ไบซัลไฟต์ไอออน และซัลไฟต์ไอออน

ค่า pH	%กรดซัลฟิวรัสที่ไม่แตกตัว	%ไบซัลไฟต์ไอออน	%ซัลไฟต์ไอออน
1.5	64.35	35.65	0
2.0	37.03	62.97	0
2.5	15.72	84.28	0.002
3.0	5.56	94.43	0.006
3.5	1.83	98.15	0.019
4.0	0.59	99.35	0.063
4.5	0.19	99.61	0.20
5.0	0.058	99.31	0.63
5.5	0.018	98.05	1.93
6.0	0.006	94.15	5.84
6.5	0.0015	83.55	16.45
7.0	0.0002	61.30	38.70
7.5	0	33.70	66.30

ที่มา : กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ (2535)

ตัวอย่างการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) ซึ่งเป็นผลึกร่วนหรือผงสีขาว มีน้ำหนักโมเลกุล 190.1 ซึ่งแตกตัวให้โมเลกุลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 57.7% มีรายงานในการทดลองของพรวิสาข์ (2544) ที่ได้ทำการทดลองแช่ผลลำไยพันธุ์ดอในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่มีอุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 27±2 องศาเซลเซียส พบว่าผลลำไยที่แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ความเข้มข้น 7.5% ที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยช้ากว่า และมีอายุการเก็บรักษานานกว่ากรรมวิธีอื่น คือ 14 วันโดยไม่พบสารซัลไฟต์ตกค้างในเนื้อลำไย เช่นเดียวกับการทดลองของ ประภาวดี (2548) ได้ศึกษาผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 500, 1,000 และ 1,500 ppm จุ่มนาน 1 นาที โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 1 วัน พบว่าไม่มีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลลำไย แต่มีผลในการชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกนอกของผลลำไยได้เล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การรมผลไม้ด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจพบปัญหาจากการตกค้างของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกและเนื้อผล ดังนั้น สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2544) จึงมีข้อกำหนดและอนุญาตให้ลำไยมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อลำไยได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ดงการรมผลลำไยสดโดยใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในปริมาณที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาด้านการส่งออกและส่งผลกระทบถึงราคา (กรมวิชาการเกษตร, 2549) ดังนั้นจึงมีข้อกำหนดของปริมาณสูงสุดของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อนุญาตให้มีได้ในผลไม้สดของประเทศต่างๆ แสดงดังตาราง 5

ตาราง 5 ปริมาณสูงสุดของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ประเทศต่างๆ ยอมให้มีตกค้างในผลไม้

ประเทศ	ปริมาณสูงสุดของสารตกค้างที่ยอมให้ตรวจพบ (ppm)
สิงคโปร์	0 (ในเนื้อผลลำไย)
ฮ่องกง	350
มาเลเซีย	0
แคนาดา	0
เนเธอร์แลนด์	100 (จากต้นทางไม่เกิน 300)
สหราชอาณาจักร	0 (อนุญาตให้ตรวจพบในองุ่นสดได้ไม่เกิน 15)
ฝรั่งเศส	30 (ในลิ้นจี่)
สหรัฐอเมริกา	10 (ในองุ่นสด)

ที่มา : อนวัช (2540) อ้างโดย วิรัตน์ (2543)

3. การใช้กรดอินทรีย์ กรดอินทรีย์ชนิดกรดอ่อนที่พบในอาหาร (ตาราง 6) และในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต กรดเหล่านี้มีคุณสมบัติ คือ ค่า pH อยู่ที่ช่วง 0–7 มีรสเปรี้ยว กัดกร่อนผิวหนัง เสื้อผ้า และโลหะบางชนิดได้ ทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนตหรือไฮโดรเจนคาร์บอเนตได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (นิธิยา, 2539) สามารถรีดิวซ์ quinone ไม่ให้เกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นได้ (จริงแท้, 2544) ป้องกันการเกิดสารสีน้ำตาลในผลไม้ที่ปอกเปลือกหรือหั่นแล้ว (ธิติรัตน์, 2545) ซึ่ง pH มีผลต่อปฏิกิริยาที่ผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล PPO จะเกิดขึ้นเมื่อผักผลไม้อยู่ในสภาพ pH ที่เป็นกลาง ถึงเป็นกรดอ่อนๆ (pH 6.0-6.5) (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2546) โดยการเลือกใช้กรดอินทรีย์ควรใช้กรดอินทรีย์ที่มีระดับความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 2 เนื่องจากสามารถเพิ่มสารประกอบที่ยับยั้ง PPO และยังป้องกันการสร้างเมลานินได้ (Whitaker and Lee, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

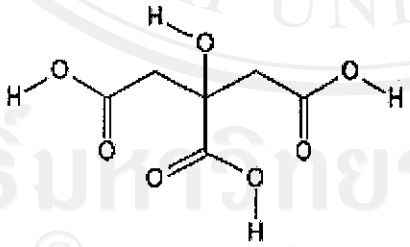
ตาราง 6 กรดอินทรีย์บางชนิดที่พบในอาหาร ผักและผลไม้

ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์และสูตรเคมี	อาหารที่พบมาก
กรดแอซิติก	ethanoic acid (CH_3COOH)	น้ำส้มสายชู
กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี)	ascorbic acid ($C_6H_{12}O_6$)	ผักและผลไม้สดทุกชนิด
กรดเบนโซอิก	C_6H_5COOH	สารกับบูด นิยมใช้กับน้ำผลไม้
กรดซิตริก	hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylic acid	ผลไม้ตระกูลส้ม
กรดแลคติก	2-hydroxypropanoic acid	นมเปรี้ยว โยเกิร์ต อาหารหมักดอง
กรดมาลิก	2-hydroxybutanedioic acid	แอปเปิล เชอรี่
กรดออกซาลิก	ethanedioic acid	ผักโขม
กรดทาทาริก	2,3-dihydroxybutanedioic acid	องุ่น มะขาม และเป็นส่วนผสมของ baking powder

ที่มา : Gaman&Sherrington (1990) อ้างโดย นิธิยา (2539)

ตัวอย่างของกรดอินทรีย์ที่ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ที่สำคัญ ได้แก่

กรดซิตริก (citric acid) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า 2-hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylic acid สูตรโครงสร้าง $C_6H_8O_7$ (ภาพ 5) ลักษณะของกรดซิตริกเป็นผลึกคริสตัลสีขาว มีน้ำหนักโมเลกุล 192.13 กรัม/โมล pK_a มีค่าเท่ากับ 3.15 (Wikipedia, 2006)



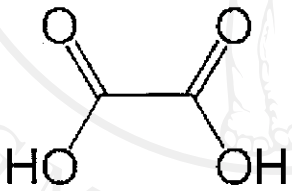
ภาพ 5 สูตรโครงสร้างกรดซิตริก (Wikipedia, 2006)

กรดซิตริก เป็นกรดผลไม้ ซึ่งมีอยู่มากในผลไม้จำพวกส้มและมะนาว ใช้ในการฟอกสีและยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังการทดลองของกิตติพงษ์ (2544) ได้จุ่มผลลำไยในกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 1, 3 และ 5% นาน 5 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่ากรดซิตริก ความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้มข้น 5% ให้ผลในการช่วยฟอกสีผิวที่เปลือกของลำไยดีที่สุดใกล้เคียงกับการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Pongsakul *et al.* (2004) ซึ่งทำการฟอกสีเปลือกผลลำไยแห้งโดยวิธีต่างๆ พบว่าการใช้สารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.3% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์การเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งการใช้กรดซิตริกอาจใช้ร่วมกับความร้อนเพื่อช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดังการทดลองของ ปัญชลี (2548) ได้ทำการทดลองจุ่มผลลำไยในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส และนำมาจุ่มในกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 5% พบว่าผลลำไยที่จุ่มน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแล้วนำมาจุ่มในกรดซิตริก 5% แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของสีผิวเปลือกน้อยที่สุด และกรดซิตริกยังมีประสิทธิภาพมากในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียสโดยสามารถยับยั้งได้ 36% หลังจากเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ (Kwak and Lim, 2005)

กรดออกซาลิก (oxalic acid) มีชื่อวิทยาศาตร์ว่า ethanedioic acid สูตรทางเคมี $C_2H_2O_4$ (ภาพ 6) ลักษณะของกรดออกซาลิกเป็นคริสตัลสีขาว มีน้ำหนักโมเลกุล 90.03 กรัม/โมล (anhydrous, $C_2H_2O_4$) และ 126.07 กรัม/โมล (dehydrate, $C_2H_2O_4.2H_2O$) pK_a มีค่าเท่ากับ 1.27 (anhydrous) และ 4.27 (dehydrate) (Wikipedia, 2006)



ภาพ 6 สูตรโครงสร้างกรดออกซาลิก (Wikipedia, 2006)

กรดออกซาลิกสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ดีมาก โดยกรดออกซาลิกจะแข่งขันกับ catechol-PPO ทำให้เอนไซม์ทำงานไม่สมบูรณ์ (Son *et al.*, 2000) การใช้กรดออกซาลิกในกล้วยและแอปเปิลตัดชิ้นที่ความเข้มข้น 60 และ 5 mM ตามลำดับมีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยกรดจะทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อของผลไม้ที่ถูกตัดซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยายับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (Yoruk *et al.*, 2004a) ซึ่งหากใช้กรดอินทรีย์ชนิดอื่นร่วมด้วยก็อาจมีการใช้กรดออกซาลิกลดลง ดังเช่นในแอปเปิลตัดชิ้นพบว่าหากใช้กรดออกซาลิกชนิดเดียวจะใช้ความเข้มข้น 5 mM แต่เมื่อใช้ร่วมกับกรดแอซิตริกความเข้มข้น 0.5% จะใช้กรดออกซาลิกลดลงเหลือเพียง 1.5 mM ซึ่งยังให้ผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Yoruk *et al.*, 2004b) เช่นเดียวกับการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ในน้ำผลไม้พบว่า มีประสิทธิภาพมาก หากมีการใช้ร่วมกับกรดแอซิติก จะเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิด สีน้ำตาลมากขึ้น (Yoruk *et al.*, 2005)

สารเคมีอื่นที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ ได้แก่การทดลองของ Judith and George (2000) ที่ควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและการนิ่มในผลสาลี่หั่นชิ้น ซึ่งแช่ในสารละลายผสมดังนี้ hexylresorcinol, iso-ascorbic acid, N-acetylcysteine และ potassium sorbate นาน 30 วินาที พบว่าสารละลายที่ใช้แช่มีผลป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของสาลี่พันธุ์ Anjou และ พันธุ์ Bartlett ได้มากกว่า 1 สัปดาห์ในสภาพอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 40 องศาฟาเรนไฮต์ (4.4 องศาเซลเซียส) เช่นเดียวกับรายงานของ Abdulla (1999) ที่พบว่าในการทำสลัดจะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้โดยการแช่แอปเปิลหั่นชิ้นในน้ำมะนาว สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้เพราะว่าน้ำคั้นจากผลไม้ตระกูลส้ม เช่น lemon, grapefruit, lime และorange จะประกอบด้วยวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก ซึ่งช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันบนผิวเนื้อของผลไม้ได้จึงสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้

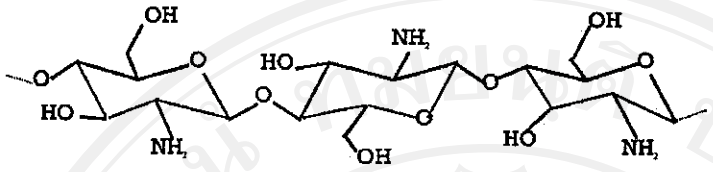
สารเคมีบางชนิดสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีแต่จะมีผลต่อการเร่งการเกิด สีน้ำตาลบนเปลือกลำไย ดังการทดลองของ วิชชาและคณะ (2546) ได้ใช้สารเคมีและกรรมวิธีต่างๆ ดังนี้ แช่ผลลำไยในสาร NaOCl, แอลกอฮอล์, H_2O_2, mustard oil, $Na_2S_2O_5$, กรดแอซิติก, กรดซิตริก, กรดแอสคอร์บิก, กรดฟอร์มิก, กรดมาลิกและการจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าการใช้กรดฟอร์มิกความเข้มข้น 5 % ให้ผลในการยับยั้บการเกิดเชื้อราบนผลลำไยได้ดีที่สุด แต่ทำให้สีผิวของผลลำไยคล้ำกว่ากรรมวิธีอื่น เช่นเดียวกับการทดลองของ วรุณรักษ์ (2539) โดยใช้สารอะเซทัลดีไฮด์ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร รมผลลำไยเป็นเวลาต่างๆ พบว่า สารอะเซทัลดีไฮด์ที่ใช้มีผลในการควบคุมโรคจากเชื้อราของผลลำไยพันธุ์ดอและพันธุ์เบี้ยวเขียว แต่สารอะเซทัลดีไฮด์ที่ใช้มีผลต่อคุณภาพของผลลำไย คือ ทำให้สีเปลือกด้านในเข้มขึ้น และเนื้อผลมีสีเหลืองเข้มขึ้น และมีกลิ่นของสารตกค้างในเนื้อลำไย

4. การใช้สารเคลือบผิว ควรใช้สารที่รับประทานได้เพื่อความปลอดภัยในการเคลือบผิวผักผลไม้ สารเคลือบผิวจะช่วยชะลอการหายใจ ลดการระเหยของน้ำ ชะลอการเปลี่ยนสี รวมทั้งยังทำให้ผิวและเนื้อผลไม้แข็งแรงอยู่ตัวขึ้น (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2546) ตัวอย่างของสารเคลือบผิวที่มีการใช้กันมาก ได้แก่

ไคโตซาน (chitosan) มีชื่อทางเคมีว่า poly[β-(1→4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิทิลของไคตินออกด้วยด่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต (ศูนย์วัสดุชีวภาพไคติน-ไคโตซาน, 2549) ไคโตซาน พบมากในเปลือกนอกของสัตว์พวก กุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา (ลาวัลย์, 2549)



ภาพ 7 สูตรโครงสร้างไคโตซาน (ศูนย์วัสดุชีวภาพไคติน-ไคโตซาน, 2549)

ไคโตซานเป็นวัสดุชีวภาพที่มีความหลากหลายและมีสมบัติที่โดดเด่น อาทิ มีความเป็นประจุบวกสูง สามารถทำเป็นแผ่นฟิล์ม มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่มีพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (ศูนย์วัสดุชีวภาพไคติน-ไคโตซาน, 2549) ละลายได้ในกรดอินทรีย์เจือจาง การจับกับไอออนของโลหะได้ดี และการมีฤทธิ์ทางชีวภาพ (ปิยะบุตร, 2549)

ประโยชน์ของไคโตซาน สามารถก่อตัวเป็นฟิล์มบาง ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร ป้องกันแมลงกัดกิน (ป๋วย, 2549) ไคโตซานป้องกันโรคที่เกิดจากจุลินทรีย์ และเชื้อราบางชนิด (กมลศิริ, 2546) โดยไปยับยั้งการผลิตสารพิษ (toxin) และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งแผ่นฟิล์มไคโตซานเป็นแผ่นฟิล์มที่สามารถบริโภคได้ (edible film) จึงมีความปลอดภัยมากกว่าพลาสติกฟิล์ม (ภาวดี, 2540)

ตัวอย่างการใช้ไคโตซานในการเคลือบผลไม้ เช่น การทดลองของ Jiang and Li (2000) ใช้ ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% เคลือบผิวลำไย จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าลำไยที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 2% มีอัตราการหายใจ และการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น และเมื่อเก็บรักษานาน 30 วัน พบว่าสีเปลือกมีความสว่าง 95% และยังไม่พบการเน่าเสีย เช่นเดียวกับการทดลองของ เสาวคนธ์ (2544) ได้ทดลองใช้สารอิมัลชันและไคโตซานเคลือบผิวผลสาลี่แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) พบว่าการใช้ไคโตซาน 1% เคลือบผิวผลสาลี่มีผลในการชะลอการสุกและการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้นาน 12.7 วัน

เชลแลค (shellac) เป็นสารเคลือบที่ได้จากธรรมชาติ โดยทั่วไปที่พบมี 3 รูปแบบ คือ ครั่งดิบ (sticklac) ครั่งเม็ด (seedlac) และ เชลแลค (shellac) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยไม่เป็นพิษ มีสีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีเหลืองสว่าง อ่อนตัวที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ละลายตัวได้ในแอลคาไลน์หรือแอลกอฮอล์ และทนทานต่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Temuss Products, 2006) เชล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แลคเป็นครั่งที่นำมาจากครั่งดิบและครั่งเม็ด บรรจุในถุงผ้าให้ความร้อน และบิดถุงผ้าให้แน่นเข้าเรื่อยๆ เนื้อครั่งจะค่อยๆ ซึมออกจากถุงผ้าใช้มีดหรือวัสดุปาดเนื้อครั่งที่ซึมออกมาใส่บนภาชนะที่อังด้วยความร้อนจากไอน้ำ จะช่วยให้เนื้อครั่งนั้นมีความอ่อนตัว หลังจากนั้นนำเนื้อครั่งที่ได้มาทำการยืดเป็นแผ่นบางๆ ในขณะที่ครั่งยังร้อนอยู่แล้วปล่อยให้เย็น จึงหักออกเป็นชิ้นเล็กๆ เรียกว่า เชลแลค (ครั่งดิบประมาณ 100 กิโลกรัม หรือครั่งเม็ดประมาณ 85 กิโลกรัม ใช้ทำเชลแลคได้ 65 กิโลกรัม) (อุดมและนิพนธ์, 2534) ซึ่งปัจจุบันสามารถนำเชลแลคมาใช้ประโยชน์เคลือบผิวผลไม้ได้ เช่น ผลส้มที่ใช้เชลแลคผสมออกซิไดซ์เอทีลีนทำให้ผิวส้มมัน ลดการระเหยและลดการหายใจของผลไม้ และเชลแลคผสมคาร์นูบา ซึ่งนิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นสามารถยืดอายุคุณภาพผลไม้ได้นาน นิยมใช้กับแอปเปิล สาลี่ พลับ และมะเขือเทศ ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้ทั้งเปลือกโดยไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย (คอลัมน์รู้ไปโม้ด, 2549)

ตัวอย่างการใช้เชลแลคกับงานวิจัยการเคลือบผิวผลไม้ โดย Bai *et al.* (2002) ได้นำผลแอปเปิลที่เก็บเกี่ยวมาเคลือบด้วยสารเคลือบผิว ดังนี้ polythylene, candelilla, carnauba-shellac และ shellac พบว่าแอปเปิลพันธุ์ Delicious ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยเชลแลคมีความเงางามมาก ปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงและมีการสูญเสียความสดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น เมื่อเก็บรักษานาน 5 เดือน

5. อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา การเก็บผลไม้ในอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อยจะยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้ให้นานขึ้น (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2546) เช่นเดียวกับการเก็บรักษาผลลำไยไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้กระบวนการทางชีวเคมีและสรีรวิทยาของพืชลดลง ช่วยชะลออัตราการหายใจและชะลอการสร้างเอทีลีน (ดนัยและคณะ, 2546) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมเก็บรักษาผลลำไยในระยะยาว คือ 2–5 องศาเซลเซียส ซึ่งหากเก็บไว้ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง 90–95% จะเก็บได้นาน 30–45 วัน ในขณะที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5–10 องศาเซลเซียสจะเก็บได้นานเพียง 20–30 วัน โดยคุณภาพของลำไยสดยังเป็นที่ยอมรับในท้องตลาด (นพดลและคณะ, 2543) การลดความชื้นในการเก็บรักษา สามารถลดการเน่าเสียโดยเชื้อโรคต่างๆได้ แต่เปลือกผลลำไยจะกลายเป็นสีน้ำตาลแห้งเปราะและแตกง่าย (น้อม, 2542) เมื่อเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส มีผลทำให้เกิดรสชาติผิดปกติเล็กน้อยหลังจากเก็บรักษา 1 สัปดาห์ โดยเปลือกลำไยจะเป็นสีน้ำตาลดำเมื่อเก็บที่ 0 องศาเซลเซียส แสดงว่าเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) (Ketsa and Paull, 2000) เช่นเดียวกับการทดลองของ ดนัยและคณะ (2543) ที่ทดลองนำผลลำไยแต่ละพันธุ์ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ 1, 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน พบว่า ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ผลลำไยทุกพันธุ์แสดงอาการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สะท้านหนาวโดยเปลือกด้านในมีสีเข้มขึ้น และมีการรั่วไหลของสารอิเลคโตรไลต์ที่เปลือกมากขึ้น สีเปลือกด้านในที่เปลี่ยนไปและการรั่วไหลของสารอิเลคโตรไลต์ที่เปลือกเป็นดัชนีที่สามารถบอกถึงการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ โดยการเกิดสีน้ำตาลนั้นเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์ PPO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ดนัยและคณะ, 2546) การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO สามารถทำได้โดยการใช้ความร้อนก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนอาจทำลายคุณภาพของอาหารทั้งเนื้อสัมผัส และรสชาติ รวมทั้งทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นหากจะใช้ความร้อนเพื่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ก็ควรใช้ในระดับที่ไม่มีผลต่อการกระบวนการหายใจของผลไม้ เช่น การจุ่มผลลงในน้ำร้อน เป็นต้น (Garcia and Barrett, 2001) สำหรับผลลำไย พบว่าการใช้ความร้อนก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้น ดังการทดลองของ วัชรี (2547) พบว่าการจุ่มผลลำไยในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีผลทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 และ 5 องศาเซลเซียส เนื่องจากเซลล์บางส่วนถูกทำลายเป็นผลให้เกิดการรั่วไหลของสารอิเลคโตรไลต์เพิ่มขึ้น ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนานๆ (ดนัยและคณะ ,2546) โดยอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้เยื่อหุ้ม (membrane) ของออร์แกเนลล์ต่างๆ ในเซลล์เกิดความเสียหายเนื่องจากองค์ประกอบของฟอสฟอลิปิด (phospholipids) ของเยื่อหุ้มมีการเปลี่ยนสภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystaline) มาเป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มผิดปกติส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของสารต่างๆ รวมทั้งสับสเตรทและเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลจึงเป็นโอกาสให้สับสเตรทและเอนไซม์ PPO เข้าทำปฏิกิริยากัน ทำให้เกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลเพิ่มสูงขึ้น (จริงแท้, 2544; Stewart *et al.*, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved