บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ลำไยจัดเป็นพืชในตระกูล Sapindaceae จำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด (species) ขึ้นอยู่กับลักษณะของลำต้น ผล เมล็ด และการใช้ประโยชน์ คือ ลำไยต้น *Euphoria longana* Lam. หรือ *Euphoria longan* Steud. หรือ *Nephelium longana* Cambress. หรือ *Dimocarpus longan* Lour.(เกศิณี, 2546) และอีกสายพันธุ์หนึ่งคือ ลำไยเถา *Euphoria scandens* Winit. Kerr. ใช้เป็นไม้ประดับ โดยตัดเป็นไม้พุ่มเตี้ย หรือปลูกเป็นไม้กันลม (Subhadrabandhu, 1990)

ถิ่นกำเนิดและการแพร่กระจาย

ลำไยมีถิ่นกำเนิดอยู่ทางประเทศจีนตอนใต้ ปลูกกันมากในมณฑลฟุเกี่ยน (Fukein) กวางตุ้ง (Guang Dong) กวางสี (Guangxi) ไต้หวัน (Taiwan) และเสฉวน (Szechuen) ได้แพร่กระจายเข้าสู่ประเทศอินเดีย พม่า ฟิลิปปินส์ ยุโรป สหรัฐอเมริกา (มลรัฐฮาวายและฟลอริดา) คิวบา หมู่เกาะอินเดียตะวันตก และเกาะมาดากัสกา (พาวิน, 2543) สำหรับประเทศไทยสันนิษฐานว่ามีการนำเข้าจากประเทศจีนตอนใต้แล้วได้นำมาปลูกในกรุงเทพฯ และเชียงใหม่ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2545) แหล่งปลูกลำไยที่สำคัญในประเทศไทยอยู่ในเขตภาคเหนือตอนบน ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย ลำปาง แพร่ น่าน และพะเยา นอกจากนี้ยังมีในปลูกในภาคตะวันออก เช่นอำเภอสอยดาว และอำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ภาคกลาง เช่น จังหวัดสมุทรสาคร สมุทรสงคราม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเลย หนองคาย นครพนม ภาคใต้ เช่น จังหวัดพัทลุง สงขลา และนครศรีธรรมราช (พาวินและคณะ, 2547)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลำไย

จำนวนโครโมโซม จำนวนโครโมโซมของลำไย 2n=30

ลำต้น ลำไยมีลำต้นสูงขนาดปานกลางจนถึงใหญ่ ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด จะมีลำต้นตั้งตรง มีความสูงประมาณ 30-40 ฟุต แต่ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่งมักแตกกิ่งก้าน สาขาใกล้ ๆ กับพื้น เปลือกลำต้นขรุขระมีสีน้ำตาลหรือสีเทา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบ ลักษณะของใบลำไยเป็นใบรวม ประกอบด้วยใบย่อยอยู่บนก้านใบร่วมกัน (pinnately compound leaves) มีปลายใบเป็นคู่ มีใบย่อย 2-5 คู่ เรียงตัวสลับหรือเกือบตรงข้าม ใบย่อยมีความกว้าง 3-6 เซนติเมตร ยาว 7-15 เซนติเมตร รูปร่างใบเป็นรูปรีหรือรูปหอก ส่วนปลายใบและฐานใบค่อนข้างป้าน ใบด้านบนมีสีเขียวเข้มกว่าด้านล่าง ผิวด้านบนเรียบ ส่วนผิวด้านล่างสากเล็กน้อย ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ใบเป็นคลื่นเล็กน้อย และเห็นเส้นแขนง (vein) แตกออกจากเส้นกลางใบชัดเจน และมีจำนวนมาก (พาวิน, 2543)

ดอก ออกเป็นช่อ ตามปลายกิ่งด้านนอกของทรงพุ่ม (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2545) ความยาวของช่อดอกประมาณ 15-30 เซนติเมตร ช่อดอกขนาดกลางมีดอกย่อยประมาณ 3,000 ดอก ดอกลำไยมีสีขาวหรือขาวอมเหลือง ขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6-8 มิลลิเมตร ช่อดอกหนึ่งๆ อาจมีดอก 3 ชนิด (polygamo-monoecious) คือดอกตัวผู้ (staminate flower) ดอกตัวเมีย (pistillate flower) และดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) (พาวินและคณะ, 2547)

ผล มีลักษณะทรงกลมหรือทรงเบี้ยว เปลือกมีสีน้ำตาลอมเหลืองหรือน้ำตาลอมเขียว ผลแก่เปลือกมีสีเหลืองหรือน้ำตาลอมแดง ผิวเปลือกเมื่อยังไม่แก่เต็มที่มีลักษณะขรุขระเล็กน้อย เมื่อแก่จัดเปลือกมีผิวค่อนข้างเรียบ (เกศิณี, 2546)

เนื้อ เกิดจากส่วนที่เจริญขึ้นมาจากก้านไข่อ่อน (funiculus) อยู่ระหว่างเปลือกกับเมล็ด และผิวหุ้มเนื้อผลส่วนนอกเจริญมาจาก outer integument ซึ่งเนื้อเยื่อส่วนนี้เป็นเนื้อเยื่อฟองน้ำ

เมล็ด มีลักษณะกลมจนถึงแบน เมื่อยังไม่แก่มีสีขาวแล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีดำมัน ส่วนของเมล็ดที่ติดกับขั้ว มีวงกลมสีขาวๆ บนเมล็ด (placenta) มีลักษณะคล้ายตามังกร (dragon's eye) จุกสีขาวมีขนาดเล็กหรือใหญ่ต่างกันไปตามพันธุ์ (พาวิน, 2543)

พันธุ์ลำไย

พันธุ์ลำไยที่พบในปัจจุบันแบ่งได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการเจริญเติบโต ลักษณะของผลเนื้อเมล็ด และรสชาติ (พาวิน, 2543 ; กลุ่มเกษตรสัญจร, 2545) ดังนี้

1. ลำไยเครือหรือลำไย มีลำต้นเลื้อยคล้ายเถาวัลย์ ทรงพุ่มคล้ายต้นเฟื่องฟ้า ลำต้นไม่มีแก่น ใบขนาดเล็กและสั้น ผลเล็ก ผิวผลสีชมพูปนน้ำตาล เนื้อผลบางมีกลิ่นคล้ายกำมะถัน เมล็ดขนาดใหญ่ นิยมปลูกเป็นไม้ประดับหรือปลูกเป็นไม้กันลมมากกว่าที่จะนำมาใช้รับประทานผล

2. ลำไยต้น

ลำไยต้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 ลำไยพื้นเมืองหรือลำไยกระดูก ออกดอกประมาณเดือนธันวาคมถึงมกราคม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณกลางเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม ให้ผลดก ผลมีขนาดเล็ก ขนาดของผลเฉลี่ยกว้าง 1.8 เซนติเมตร หนา 1.6 เซนติเมตร สูง 1.7 เซนติเมตร รูปร่างของผลค่อนข้างกลม ผิวสีน้ำตาล เปลือกหนา เนื้อบางสีขาวใส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 19% เมล็ดขนาดใหญ่ เปลือกลำต้นขรุขระมาก ต้นตั้งตรงสูงประมาณ 20-30 เมตร ใบขนาดเล็กกว่าลำไยกะโหลก มักพบตามป่าของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย มีอายุยืนมาก ปัจจุบันไม่นิยมปลูก เนื่องจากผลมีขนาดเล็ก

2.2 ลำไยกะโหลก เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากเพราะผลใหญ่ เนื้อหนา และมีรสหวาน มีอยู่ด้วยกันหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะพิเศษแตกต่างกัน พันธุ์กะโหลกที่ส่งเสริมให้ปลูกในประเทศไทยมี 4 พันธุ์ (กรมวิชาการเกษตร, 2545) ได้แก่

2.2.1 พันธุ์ดอหรืออีดอ เป็นลำไยพันธุ์เบา ออกดอกและเก็บเกี่ยวผลก่อนลำไยพันธุ์อื่น (นพดลและคณะ, 2543) โดยออกดอกในเดือนธันวาคม และผลแก่ปลายเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม (เกศิณี, 2546) เกษตรกรนิยมปลูกมากเพราะเก็บเกี่ยวได้ก่อน ทำให้ได้ราคาดีตลาดต่างประเทศนิยมบริโภค สามารถจำหน่ายได้ทั้งผลสดและแปรรูปทำลำไยกระป๋องและลำไยอบแห้ง เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดีโดยเฉพาะในดินอุดมสมบูรณ์และมีน้ำพอเพียง ทนแล้งและทนน้ำได้ดีปานกลาง (พิทยาและพาวิน, 2545) ออกดอกติดผลง่าย แต่การติดผลไม่สม่ำเสมอ ผลขนาดปานกลางถึงค่อนข้างใหญ่ ทรงผลกลมแป้นและเบี้ยวเล็กน้อย ขนาดผลเฉลี่ย กว้าง 2.7 เซนติเมตร หนา 2.4 เซนติเมตร สูง 2.7 เซนติเมตร (พาวิน, 2543) ผิวเปลือกสีน้ำตาล กระหยาบและสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบถึงขรุขระ เปลือกเหนียวและแข็ง เนื้อสีขาวขุ่น ค่อนข้างเหนียว หนาปานกลางถึงหนามาก มีกลิ่นหอมเล็กน้อย รสหวาน (เกศิณี, 2546) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 20% เมล็ดขนาดปานกลาง กลมและแบนด้านข้าง (พาวิน, 2543; กลุ่มเกษตรสัญจร, 2545)

2.2.2 พันธุ์ชมพูหรือสีชมพู เป็นลำไยพันธุ์กลาง ออกดอกปลายเดือนธันวาคมถึงต้นเดือนมกราคม ผลแก่กลางเดือนกรกฎาคมถึงต้นสิงหาคม (เกศิณี, 2546; กรมวิชาการเกษตร, 2545) ลำต้นสูงโปร่ง กิ่งเปราะหักง่าย การเจริญเติบโตดี ไม่ทนแล้ง เกิดดอกติดผลง่ายปานกลาง การติดผลไม่สม่ำเสมอ ช่อผลยาว ผลขนาดใหญ่ ทรงผลค่อนข้างกลมและเบี้ยวเล็กน้อย (พิทยาและพาวิน, 2545) ขนาดผลเฉลี่ยกว้าง 2.9 เซนติเมตร หนา 2.6 เซนติเมตร และสูง 2.7 เซนติเมตร (พาวิน, 2543) ผิวเปลือกสีน้ำตาลปนเขียว กระละเอียดถึงหยาบ สีน้ำตาล ผิวเรียบถึงขรุขระ เหนียวและแข็ง หนาปานกลางถึงหนา เนื้อสีขาวปนชมพู เหนียวถึงกรอบ หนาปานกลางถึงหนามาก เนื้อล่อน รสหวาน (เกศิณี, 2546) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 21-22% เมล็ดค่อนข้างเล็ก รูปร่างกลมและแบนด้านข้าง (พาวิน, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3 พันธุ์แห้วหรืออีแห้ว เป็นลำไยพันธุ์หนัก ออกดอกปลายเดือนมกราคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ ผลแก่กลางเดือนสิงหาคม (เกศิณี, 2546) ลำต้นไม่ค่อยแข็งแรง เปลือกลำต้นสีน้ำตาลปนแดงเขียว กิ่งเปราะง่าย เจริญเติบโตได้ดีมาก ทนแล้งได้ดี เกิดดอกและติดผลค่อนข้างยาก คืออาจให้ผลปีเว้นปี ผลกลมและเบี้ยว ขนาดผลเฉลี่ย กว้าง 2.8 เซนติเมตร หนา 2.6 เซนติเมตร และสูง 2.6 เซนติเมตร (พาวิน, 2543) ผิวเปลือกสีน้ำตาลอ่อน กระละเอียดถึงหยาบ สีเขียว ผิวขรุขระ แข็ง หนาปานกลางถึงหนา เนื้อสีขาวครีม กรอบ บางถึงหนามาก รสหวาน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 16.6-25.2% (เกศิณี, 2546) เมล็ดค่อนข้างเล็ก (พาวินและคณะ, 2547)

2.2.4 พันธุ์เบี้ยวเขียวหรืออีเบี้ยวเขียว เป็นลำไยพันธุ์หนัก ออกดอกปลายเดือนมกราคม ผลแก่กลางเดือนสิงหาคมถึงต้นเดือนกันยายน (เกศิณี, 2546) เก็บเกี่ยวได้ช้ากว่าพันธุ์อื่นเจริญเติบโตได้ดี ทนแล้งได้ดี แต่อ่อนแอต่อโรคพุ่มไม้กวาด ออกดอกยาก ผลมีขนาดใหญ่ทรงผลกลมแบนและเบี้ยวมาก ขนาดผลเฉลี่ย กว้าง 3.0 เซนติเมตร หนา 2.6 เซนติเมตร สูง 2.8 เซนติเมตร ผิวเปลือกสีเขียวปนน้ำตาล กระละเอียดถึงหยาบ สีเขียว ผิวเรียบถึงขรุขระ เหนียวและแข็ง บางมากถึงหนามาก เนื้อสีขาวขุ่น กรอบ หนา รสหวาน (เกศิณี, 2546) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 22% เมล็ดค่อนข้างเล็ก (พาวิน, 2543)

ความสำคัญของลำไย

1. ความสำคัญทางเศรษฐกิจ ลำไยจัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของภาคเหนือโดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ผลผลิตลำไยสามารถส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศทั้งผลสด อบแห้ง แช่แข็ง และลำไยกระป๋อง ซึ่งทำรายได้ให้แก่ประเทศปีละหลายพันล้านบาท (ตารางที่ 1)

2. คุณค่าทางโภชนาการ ลำไยจัดว่าเป็นผลไม้ที่ให้พลังงานแก่ผู้บริโภคสูง เนื้อลำไยสดและแห้งให้คุณค่าทางอาหารต่างๆ รวมทั้งแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 2 และลำไยยังใช้เป็นส่วนผสมของตำรับยาจีน ซึ่งมีสรรพคุณ คือ บำรุงหัวใจ บำรุงม้าม บำรุงเลือด นอนไม่หลับ หลงลืม และบำรุงสุขภาพ เป็นต้น (จุฑามาศและนุชนาถ, 2548)

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลลำไย อาจพิจารณาจากการนับระยะเวลาตั้งแต่ดอกเริ่มบานจนถึงระยะผลแก่ ใช้เวลาประมาณ 5-5 1/2 เดือน ดังตารางที่ 3 ทั้งนี้ขึ้นกับความผันแปรของฤดูกาล พื้นที่ปลูก และพันธุ์ (พาวิน, 2543; จริงแท้, 2546; Tongdee, 1997) นอกจากนี้สามารถสังเกตจากลักษณะทางกายภาพของผลลำไย คือ ผิวเปลือกด้านนอกเรียบ เปลือกด้านในมีลักษณะเป็นเส้นคล้ายร่างแห

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมล็ดสีดำ เนื้อมีรสหวาน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 16-21°บริกซ์ (พาวิน, 2543) มีรายงานการศึกษาถึงส่วนประกอบต่างๆ ของผลลำไยในระยะเก็บเกี่ยว ดังตารางที่ 4 (Paull and Chan, 1987)

ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกลำไย

ปริมาณ : ตัน

มูลค่า : ล้านบาท

ปี	ลำไยสดและแช่แข็ง		ลำไยแห้ง		ลำไยกระป๋อง		รวม	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2543	102,927	2,160.55	55,904	2,414.87	11,715	476.32	170,546	5,052
2544	102,903	1,974.96	26,838	1,309.96	8,971	367.16	138,712	3,652
2545	114,403	1,986.82	29,916	1,326.12	11,507	412.70	155,826	3,726
2546	82,731	1,718.29	59,157	2,511.63	13,542	495.70	155,430	4,726
2547	116,188	2,193.23	71,563	1,541.06	11,320	403.30	199,071	4,138
2548	134,433	2,198.03	94,773	2,350.84	12,669	443.44	241,875	4,992

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของ กรมศุลกากร (2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของเนื้อลำไยสดและแห้ง

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
ค่าพลังงานความร้อน (กิโลแคลอลี่/100 กรัม)	72.79	311.80
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	5.70	27.7
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)	-	2,012.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	3.03
วิตามินบี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.37

ที่มา : พาวิน (2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้บางชนิด

ชนิดพืช	ดัชนีการเก็บเกี่ยว	
	ระยะเวลา	ดัชนีอื่นๆ
มังคุด	70-80 วัน หลังติดผล	เริ่มเปลี่ยนสี
ลองกอง, ลางสาด	6 เดือน หลังดอกบาน	สีเขียวบนผลหมดไปมากกว่า 80%, นวลหายไป
ละมุด	6-7 เดือน หลังดอกบาน	ขี้ไคลน้อย ผิวเริ่มเปลี่ยนสี style หลุด
ลิ้นจี่ "โอเฮียะ", "กิมเจ็ง"	65-75 วัน หลังดอกบาน	หนามแหลมน้อยลง ร่องหนามแยก
ลิ้นจี่ "โฮงฮวย"	55-65 วัน หลังดอกบาน	หนามแหลมน้อยลง ร่องหนามแยก
ลำไย	5 เดือน หลังออกดอก	ผิวคล้ำ เรียบ
ส้มเขียวหวาน	9.5-10.5 เดือน หลังดอกบาน	เริ่มมีสีเหลือง ของแข็งที่ละลายน้ำได้ 8.0-8.8%
ส้มตรา	7.5-8.5 เดือน หลังดอกบาน	เริ่มมีสีเหลือง ของแข็งที่ละลายน้ำได้ 9.5-10.0%
ส้มโอ "ขาวแป้น", "ขาวน้ำผึ้ง"	7-7.5 เดือน	ตุ่มน้ำมันห่าง เริ่มเปลี่ยนสี เล็บขูดมีกลิ่นน้อย
ส้มโอ "ทองดี"	8 เดือน	ตุ่มน้ำมันห่าง เริ่มเปลี่ยนสี เล็บขูดมีกลิ่นน้อย
สตรอเบอรี	27-30 วัน หลังดอกบาน	สีแดง 60-80%
สับปะรด "ปัตตาเวีย"	6 เดือน จากให้สาร 110 วัน จากดอกบาน	เริ่มมีสีเหลือง ตาเปิด 2-3 ตา ของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า 16%

ที่มา : ดัดแปลงจาก จริงแท้ (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมีของผลลำไยในระยะเก็บเกี่ยว

ส่วนประกอบทางเคมี	ปีที่ศึกษา	
	1983	1984
เนื้อผล (%น้ำหนักแห้ง)	19.80±0.20	16.50±0.70
เปลือกผล (%น้ำหนักแห้ง)	35.70±0.60	35.60±0.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%)	20.10±0.10	18.30±0.20
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)	184.00±7.00	154.00±11.00
ซูโครส (มิลลิกรัม/กรัม)	72.00±15.00	29.00±3.00
กลูโคส (มิลลิกรัม/กรัม)	22.00±17.00	17.00±1.00
ฟรุคโตส (มิลลิกรัม/กรัม)	28.00±17.0	23.00±1.00
ปริมาณกรดที่ไตรเตรตได้ (มิลลิสมมูล/กรัม)	2.30±0.10	2.10±0.10
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.20±0.10	6.40±0.10
กรดซิตริก (มิลลิสมมูล/กรัม)	0.13±0.01	0.12±0.01
กรดมาลิค (มิลลิสมมูล/กรัม)	0.89±0.16	0.35±0.07
กรดซัคซินิค (มิลลิสมมูล/กรัม)	1.85±0.19	1.15±0.11
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิสมมูล/กรัม)	2.00±0.20	1.40±0.20
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิสมมูล/กรัม)	0.80±0.10	0.50±0.10

ที่มา : Pull and Chen (1987)

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวระหว่างการเก็บรักษาผลลำไย

1. การสูญเสียน้ำหนักสด

ผลิตผลสดต่างๆ ต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจเป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานที่สะสมไว้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไปใช้ในการดำรงชีวิตและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำออกมา ดังนั้นการหายใจจึงเป็นการดึงเอาสารอาหารที่สะสมออกไปจากผลิตผลตลอดเวลา ในขณะเดียวกันปริมาณความชื้นในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีการสูญเสียออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา การสูญเสียน้ำของผลิตผลจึงทำให้น้ำหนักของผลิตผลลดลงด้วย (จริงแท้, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การเน่าเสีย

ลำไยนับได้ว่าเป็นผลิตผลที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นมาก ความเสียหายที่พบและมีผลกระทบสร้างความเสียหายต่อผลิตผลอย่างมากได้แก่ ปัญหาเรื่องโรคจากเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ประกอบกับเนื้อลำไยมีปริมาณน้ำตาลสูง จึงถูกทำลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกิดการเน่าเสียอันเนื่องมาจากการเจริญของเชื้อราบนผิว

3. การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลำไย

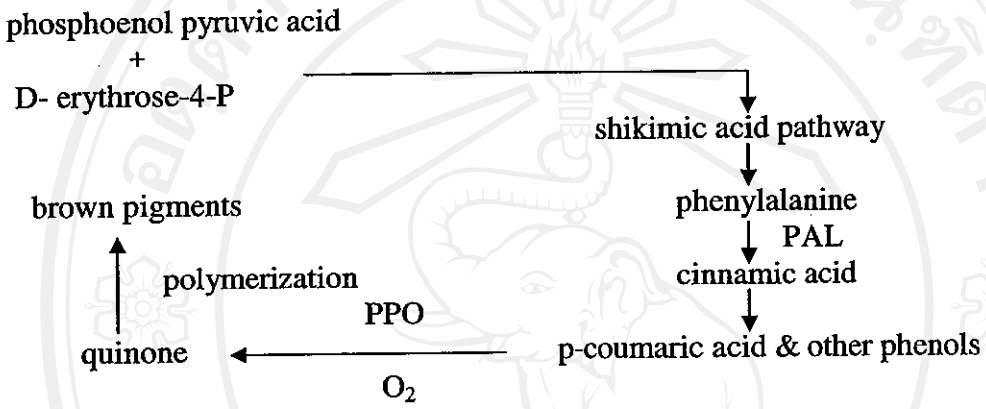
การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลเป็นปัญหาสำคัญซึ่งทำให้คุณภาพภายนอกของผลและราคาลดต่ำลง ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ แม้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงเฉพาะภายนอก และไม่มีผลโดยตรงต่อรสชาติก็ตาม ผลลำไยมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วหลังจากทำการเก็บเกี่ยวเพียงไม่กี่วัน (Xu *et al.*, 1998; Wu *et al.*, 1999) เนื่องจากการสูญเสียน้ำ ความเครียดเนื่องจากได้รับความร้อน การเสื่อมสภาพ การเกิดอาการสะท้านหนาว และการทำลายโดยโรคและแมลง (Jiang *et al.*, 2002) ในสภาพอุณหภูมิห้องมีการสลายตัวของโครงสร้างเซลล์อย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้เซลล์สูญเสียความสามารถในการกั้นเอนไซม์ เช่น เอนไซม์ และ สารตั้งต้นจึงเกิดการทำงานของเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) ซึ่งเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็นควิโนน (quinone) แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ขึ้นและมีสีน้ำตาล (จริงแท้, 2546; Jiang, 1999; Liu, 1999; Tian *et al.*, 2002) การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เปลือกของผลลำไยเริ่มที่ชั้นของ mesocarp cell ตามด้วย endocarp และหลังจากนั้นจะแพร่กระจายไปทั่ว pericarp surface โดยเฉพาะที่ pericarp และชั้นนอกของ mesocarp (Jiang *et al.*, 2002)

3.1 สารประกอบฟีนอล

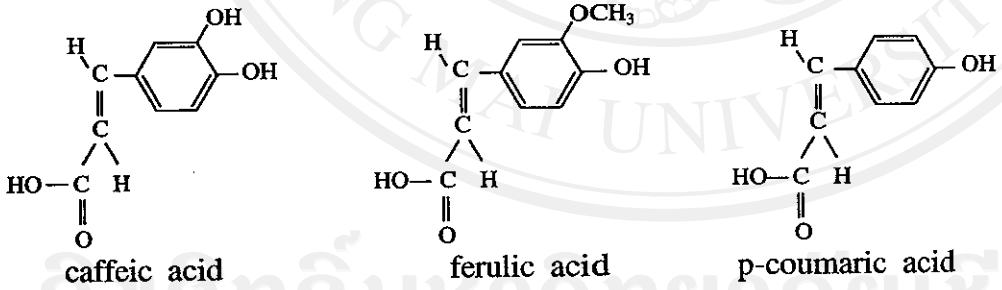
สารประกอบฟีนอล เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด มีขั้นตอนการสังเคราะห์ โดยผ่าน Shikimic acid pathway จากการรวมตัวของโมเลกุล phosphoenol pyruvate จากกระบวนการ glycolysis ร่วมกับ erythrose-4-phosphate จาก Calvin cycle หรือ pentose phosphate pathway ซึ่งนำไปสู่การสังเคราะห์กรดอะมิโนที่สำคัญ ได้แก่ ฟีนิลอะลานิน ไทโรซิน และทริพโตรเฟน โดยมีฟีนิลอะลานิน เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลอื่นๆ และมีเอนไซม์ฟีนิลอะลานินแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonialyase; PAL) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก โดยดึงเอาหมู่อะมิโนออกจากฟีนิลอะลานินเพื่อสร้างเป็นกรดซัคซินามิก (ภาพที่ 1) (จริงแท้, 2546) สารประกอบฟีนอลมีหลายชนิด เช่น แคตีคอล, กรดคลอโรจินิค, กรด

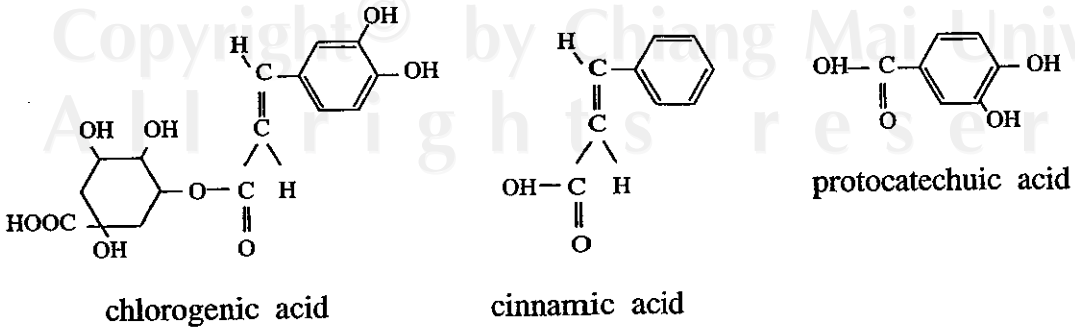
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คาเฟอิค, 3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานิน, ไทโรซีน และเอสเตอร์ของกรดซินนามิค (นิธิยา, 2543) (ภาพที่ 2) โดยชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอล แตกต่างกันไปตามชนิด (Robards *et al.*, 1999) และส่วนประกอบต่างๆ ของพืช (Pratt and Hudson, 1990) สำหรับสารตั้งต้นที่จำเพาะเจาะจงต่อเอนไซม์ PPO ที่ทำปฏิกิริยาที่เปลือกของลำไยพันธุ์ Shixia คือ pyrogallol, catechol และ 4-methycatechol (Jiang, 1999)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2546)



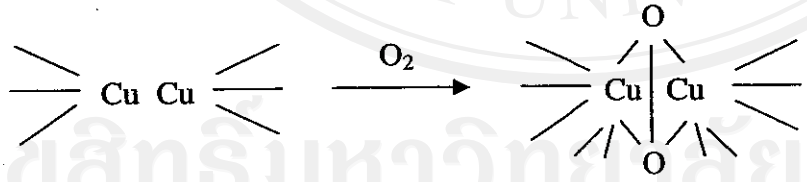


ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลชนิดต่างๆ (จริงแท้, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase : PPO)

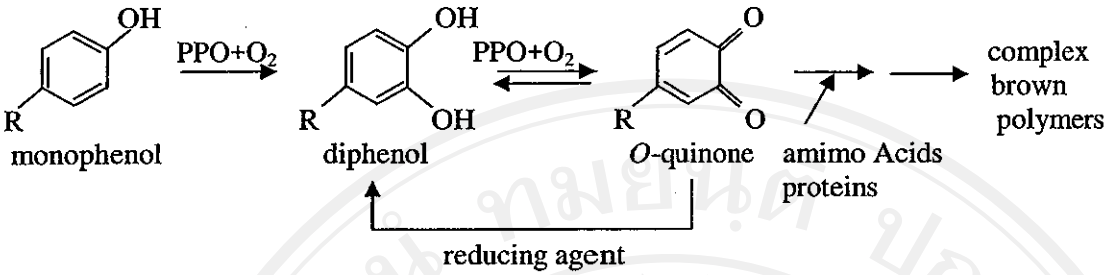
เอนไซม์ PPO มีชื่อสามัญเรียกทั่วไปหลายชื่อ เช่น cresolase, catecholase, phenolase และ tyrosinase (Methew and Parpia, 1971; Mayer and Harel, 1979) เป็นโปรตีนชนิด metalloprotein คือมีทองแดงเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล สามารถพบได้ในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ (Whitaker and Lee, 1995) หน้าที่ของเอนไซม์ PPO ในพืชชั้นสูงมีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับกลไกการต่อต้านเชื้อโรคที่เกิดจากจุลินทรีย์และแมลง (Busch, 1999) การเกิดจุดไหม้บนเนื้อเยื่อผลไม้ (Paull and Chan, 2000) โดยปกติเอนไซม์ PPO อยู่ในรูป deoxy form ซึ่งเมื่อเปลี่ยนรูปเป็น oxy form (ภาพที่ 3) จึงสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลได้ (Whitaker, 1995) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO คือ ปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอล (monophenol) ที่อยู่ในพืชเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และมีเอนไซม์ PPO ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ได้เป็นสารออโท-ไดฟีนอล (*0*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อให้เป็น ออโท-ควิโนน (*0*-quinones) จากนั้นสารออโท-ควิโนนจะเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบฟีนอล กรดอะมิโน และสารประกอบอื่นๆ โดยกระบวนการโพลีเมอไรเซชัน (polymerlyzation) ได้เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีสีน้ำตาลขึ้น (ภาพที่ 4) (Lyengar and McEvily, 1992) ซึ่ง Jiang (1999) สกัดแยกเอนไซม์ในเปลือกลำไยพันธุ์ Shixia พบว่าเอนไซม์ PPO สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ในช่วงพีเอช 4-7 โดยมีพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.5 และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 35 องศาเซลเซียส



Deoxy form Oxy form

ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาการเปลี่ยน deoxy form เป็น oxy form ของเอนไซม์ PPO (Whitaker, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO (Lyengar and McEvily, 1992)

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีความสัมพันธ์กับการเกิดความเสียหายทางกายภาพของผลไม้ โดยอาจเกิดขึ้นจากการชักนำของอาการสะท้านหนาว (chilling injuly) การได้รับอุณหภูมิสูงเกินไป การสูญเสียความชื้น การเสื่อมสภาพของผลไม้ การเข้าทำลายของโรคและแมลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างของเซลล์ได้รับความเสียหาย เป็นผลให้เอนไซม์ที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์และช่องว่างภายในเซลล์ไหลมาพบกับ substrate เป็นผลให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น (Underhill, 1992)

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเกิดสีน้ำตาล และมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอล ในระหว่างการเก็บรักษากล้วยไข่และกล้วยหอมที่อุณหภูมิ 6 และ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85% เป็นเวลา 15 วัน พบว่า กล้วยทั้งสองสายพันธุ์มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ลดต่ำลง (Nguyen *et al.*, 2003) เช่นเดียวกับ Jiang *et al.* (2004) ศึกษาความสัมพันธ์ของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ต่อการเกิดสีน้ำตาล และสารประกอบฟีนอลในเปลือกผลลิ้นจี่ พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงขึ้น สัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลที่เพิ่มขึ้น และปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ลดลง

4. โปรตีน

ผลไม้มีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 1% คุณค่าทางอาหารค่อนข้างสูง เช่นเดียวกับผลิตผลชนิดอื่นเพราะมีกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ ได้แก่ leucine, isoleucine, valine, lysine, methionine, tryptophan, phenylalanine, tyrosin และ theonine กรดอะมิโนเหล่านี้มนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เองต้องอาศัยจากพืชและสัตว์ (จริงแท้, 2548)

โปรตีนไม่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพโดยตรงของผลไม้ แต่โปรตีนจะเพิ่มขึ้นขณะที่ผลไม้สุก ในกระบวนการสุกของผลไม้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ใหม่ ๆ เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอทิลีน การหายใจ การเปลี่ยนสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาล (สายชล, 2528) เมื่อถึงระยะชราภาพ (senescence) เกิดการสลายตัวของโปรตีนที่มีอยู่เดิม ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าโปรตีนในผลไม้เป็นโปรตีนสำหรับการทำงานหรือเพื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง (จริงแท้, 2546)

การป้องกันความเสียหายภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลลำไย

1. การใช้อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถชะลอกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ให้ต่ำลง โดยสภาพอุณหภูมิต่ำมีผลลดกิจกรรมของเอนไซม์และลดปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ส่งผลให้การเกิดสีน้ำตาล และการสูญเสียน้ำของเปลือกผลลดลง รวมทั้งยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น ซึ่งอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสม (optimum low-temperature) ยังมีผลในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และลดอัตราการหายใจของผลลำไยได้ด้วย (Lin *et al.*, 2001) แต่ถ้าเก็บรักษาภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและทำให้ผิวเปลือกนอกแห้งได้ (Jiang *et al.*, 2002)

สำหรับการเก็บรักษาผลลำไยนั้นมักเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% สามารถเก็บรักษาได้นาน 5-6 สัปดาห์ (จริงแท้, 2546) สถาบันอาหาร (2541) รายงานว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลลำไยระหว่างการเก็บรักษาและขนส่งคืออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม หากที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส เก็บรักษาได้นาน 30-45 วัน และที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส เก็บรักษาได้นาน 20-30 วัน นอกจากนี้ Kader (2001) รายงานว่า ลำไยมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-4 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ด้วย แม้การเก็บรักษาผลลำไยในสภาพอุณหภูมิต่ำสามารถลดกระบวนการต่างๆ ภายในผลได้ แต่มีข้อจำกัดในการควบคุมอุณหภูมิ คือ ถ้าระดับอุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้เกิดอันตรายจากความเย็นได้ โดยเกิดอาการสะท้านหนาว ทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหาย ดนัยและคณะ (2543) เก็บรักษาผลลำไยพันธุ์ดอ พันธุ์สีชมพู และพันธุ์เบี้ยวเขียว ไว้ที่อุณหภูมิ 1, 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน พบว่า ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ผลลำไยทุกพันธุ์จะมีสีเปลือกด้านในเข้มขึ้น และมีการรั่วไหลของสารอิเลคโตรไลท์ที่เปลือกมากขึ้น เช่นเดียวกับ พูนศักดิ์ (2544) รายงานว่า เก็บรักษาลำไยพันธุ์ดอไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ผลลำไยมีการสูญเสียน้ำหนักเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บรักษา พันธุ์ ความแก่ และปริมาณธาตุอาหารภายในผล (ดนัย, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

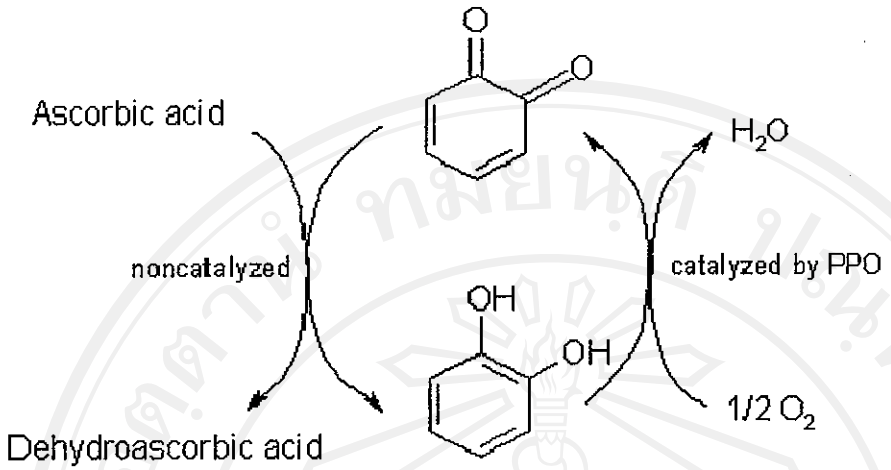
2. การใช้สารเคมี

การใช้สารเคมีเป็นวิธีการชะลอหรือยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีอีกวิธีหนึ่ง โดยเฉพาะการใช้สารละลายกรดชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และกรดออกซาลิค เป็นต้น กรดแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลได้แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของกรดแต่ละชนิด โดยเฉพาะค่าการแตกตัวของกรดเมื่อละลายน้ำ (*Ka*) หากค่า *Ka* สูง แสดงว่ามีการแตกตัวของกรดเมื่อละลายน้ำสูงและมีผลลด pH ในสารละลายให้ต่ำลงหรือมีความเป็นกรดมาก จากความสามารถในการลด pH ของสารละลายกรดแต่ละชนิดที่มีผลต่อการลดการทำงานของเอนไซม์ PPO และ peroxidase (POD) ให้ต่ำลงได้ โดยพบว่าเมื่อ pH ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 4.2 ทำให้แอคติวิตีของเอนไซม์ PPO ถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ในผลลิ้นจี่พันธุ์ Muaritus (Jiang *et al.*, 1997)

2.1 กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีพบได้ในผักและผลไม้สดหลายชนิด เช่น พริกหวาน ผักคะน้า ฝรั่ง มะละกอสุก ส้ม เป็นต้น (นิธิยา, 2539) มีค่าการแตกตัวของกรดเมื่อละลายน้ำ (*Ka*) เท่ากับ 6.7×10^{-5} กรดแอสคอร์บิกเป็นกรดอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์ PPO และ POD โดยกรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติที่เป็นสาร reducing agent ทำการรีดิวซ์สาร *o*-quinone ให้เปลี่ยนกลับเป็นสาร diphenol ก่อนเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสีน้ำตาล (Walker, 1997) (ภาพที่ 5) โดยกรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดซ์กลายเป็น monohydroascorbic acid แต่ monohydroascorbic acid ไม่เสถียรจึงถูกเปลี่ยนไปเป็น dehydroascorbic acid (DHA) ซึ่งเสถียรกว่าและ DHA สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นกรดแอสคอร์บิกได้ กรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากการเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ PPO โดยทำหน้าที่เป็น chelating agent ซึ่งจะรวมตัวกับไอออนโลหะของเอนไซม์ PPO คือ ทองแดงที่บริเวณเร่งและเกิดการรีดิวซ์ cupric ion (Cu^{2+}) ของเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็น cuprous ion (Cu^{+}) ซึ่งเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยตรง (Marshall *et al.*, 2000) นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกยังทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเจน (antioxidant) โดยถ่ายเทไฮโดรเจนอะตอมจากโมเลกุลของกรดแอสคอร์บิกให้กับออกซิเจน ทำให้ออกซิเจนไม่สามารถเปลี่ยนรูปของเอนไซม์ POD ให้อยู่ในรูปสถานะพร้อมเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 ปฏิกิริยาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยกรดแอสคอร์บิก (Marshall *et al*, 2000)

ได้มีการนำกรดแอสคอร์บิกมาใช้ลดการเกิดสีน้ำตาลกับผลิตผล รุ่งทิวา (2548) รายงานว่า การจุ่มผลลำไยในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% เปลือกนอกของผลลำไยมีสีจางสุดใน 2 วันแรกของการเก็บรักษา นอกจากนี้ Pongsakul *et al.* (2006) รายงานว่า ผลลำไยที่สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1, 2.5, 5 และ 10 mM สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ 27, 44, 54 และ 100% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และ พรอนันต์ (2547) ศึกษาในผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย พบว่า การแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% นาน 15 นาที สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลได้นาน 24 วัน เช่นเดียวกับ Son *et al.* (2001) พบว่าเมื่อแช่แอปเปิลตัดแบ่งชิ้นพันธุ์ Liberty ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% นาน 3 นาที มีการเกิดสีน้ำตาลต่ำมาก และในผลสาลี่พันธุ์ Barlett ที่แช่สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% นาน 5 นาที พบว่า สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดี โดยเกิดสีน้ำตาลขึ้นเพียง 8% ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน (Gorny *et al.*, 2002) และ Soliva *et al.* (2001) ทดลองจุ่มผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 200 สตล. พบว่ามีการเกิดสีน้ำตาลขึ้นเพียงเล็กน้อยภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน โดยมีความสว่างลดลง 13% จากค่าเริ่มต้น และกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลง 0.4%

การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยกรดแอสคอร์บิก หากใช้ความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่ที่ไม่เหมาะสมกับชนิดและพันธุ์ของผลิตผล อาจเป็นการเร่งให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพลงอย่างรวดเร็วและไม่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นได้ ดังการศึกษาในผลลำไยพันธุ์ดอที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 5 และ 10% นาน 5 นาที แล้วหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน พบว่า ผลลำไยมีระดับคะแนนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (Whangchai *et al.*, 2006) นอกจากนี้ อินทิราและคณะ (2545) รายงานว่า ผลลองกองที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.5 และ 1% พบว่าเปลือกผลมีการเกิดสีน้ำตาลขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับ ผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2.5, 5 และ 10% มีการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลมากกว่าชุดควบคุม (กัญญารัตน์, 2548) และ Guerrero-Beltran *et al.* (2005) รายงานว่า ผลมะม่วงที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 200, 500 และ 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สารละลายกรดแอสคอร์บิกทุกความเข้มข้นทำให้ผิวมะม่วงคล้ำขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา และกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

3. การใช้สารเคลือบผิว

ผลิตผลในธรรมชาติมีสารคล้ายขี้ผึ้งเคลือบอยู่ที่ผิวเรียกว่า คิวติเคิลชั้นของคิวติเคิลนี้มีบทบาทสำคัญในการลดการสูญเสียน้ำ และการแลกเปลี่ยนก๊าซบริเวณผิวของผลิตผล ในระหว่างกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด สารเคลือบผิวบางส่วนอาจหายไป ส่งผลให้ผลิตผลสูญเสียน้ำและมีการแลกเปลี่ยนก๊าซได้มากขึ้นด้วย (นิธิยาและไพโรจน์, 2547) ทำให้เกิดความเสียหายของผลิตผลทั้งในแง่ของความทนทานและความสวยงาม ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ (ดนัย, 2540) ดังนั้นจึงได้มีการผลิตสารเคลือบผิวขึ้นมาใช้เพื่อทดแทนไขธรรมชาติที่หลุดไป โดยเฉพาะสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ เนื่องจากผู้บริโภคตระหนักถึงสารพิษที่เป็นอันตรายทั้งกับสภาพแวดล้อมและสุขภาพ (จริงแท้, 2546)

การเคลือบผิวผลิตผลด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ เพื่อทดแทนสารเคลือบผิวธรรมชาติที่หายไปมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ ลดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผล และจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สภายในผล (จริงแท้, 2546) การควบคุมให้มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงและออกซิเจนต่ำ ส่งผลต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคหลังการเก็บเกี่ยวทั้งการยับยั้งโดยตรงและเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อโรค (สายชล, 2528) และอาจมีผลลดอาการเปลือกสีน้ำตาลของผลลำไยได้ เนื่องจากออกซิเจนภายในผลต่ำทำให้การทำงานของเอนไซม์ PPO ถูกยับยั้ง นอกจากนี้การเคลือบผิวยังช่วยทำให้ผลิตผลมีลักษณะปรากฏที่ดี ผิวสดไม่เหี่ยว และมีความมันวาว (gloss) ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค และ การใช้สารเคลือบผิวยังมีประโยชน์ทางอ้อม คือ สามารถผสมสารอื่นลงไปกับสารเคลือบผิว เช่น การผสมสารฆ่าเชื้อรา สารต้านจุลินทรีย์ สารต้านออกซิเดชัน สารสีหรือสารย้อมผิว สารให้กลิ่น สารเติมแต่งอาหารอื่นๆ หรือสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สารเคลือบผิวเหล่านี้จะช่วยเป็นตัวพาสารเคมีให้ติดอยู่กับผิวของผลิตผล (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้การใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ ช่วยลดการสูญเสียน้ำ

ชนิดของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชและสัตว์ เช่น ธัญพืช น้ำมันพืช โปรตีน และสารสกัดจากสาหร่ายทะเล เป็นต้น ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่บริโภคได้มีดังนี้

ก. แป้ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธัญพืช เช่น แป้งข้าวจ้าวและข้าวโพด นอกจากนั้นยังได้จากรากและลำต้นใต้ดินของพืชบางชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลังและมันฝรั่ง

ข. น้ำมันพืช เป็นน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดพืช เช่น ถั่วเหลือง ฝ้าย ปาล์ม งา ถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน

ค. โปรตีน เช่น เจลาติน ซึ่งละลายได้ดีในน้ำร้อน และมีสภาพเป็นเจลใส ยืดหยุ่นได้ดี

ง. สารสกัดจากสาหร่ายทะเล เช่น วุ้น ซึ่งละลายได้ดีในน้ำร้อน เมื่อใช้เคลือบผิวผักและผลไม้ จะมีลักษณะเป็นแผ่นใสหุ้มอยู่ด้านนอก

จ. สารที่ได้จากการหมักของจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม ซึ่งละลายได้ดีในน้ำเย็น และมีความข้นหนืดมาก

ฉ. พอลิแซกคาไรด์อื่นๆ ที่ได้จากพืช เช่น สตาร์ช เซลลูโลส เพกติน และกัม

ช. สารสกัดจากสัตว์ เช่น ไคโตซาน จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ที่พบในเปลือกกุ้งและกระดองปู

เจลาติน

เจลาติน (gelatin) เป็นโปรตีนที่ได้จากการไฮโดรไลด์คอลลาเจน(collagen) ซึ่งคอลลาเจนนี้เป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ รวมไปถึง กระดูก เอ็น พังผืด กล้ามเนื้อ และหนังปลา เป็นต้น (Ledward, 2000) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด (สุคนธา, 2545) คือ

ก. เจลาตินชนิดแห้ง มีลักษณะเป็น แผ่น ชิ้น เกล็ด หรือผงสีเหลืองอ่อน

ข. เจลาตินชนิดเหลว มีลักษณะเหลวข้น ไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อน

1. กระบวนการผลิตเจลาติน

กระบวนการผลิตเจลาตินขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย แต่มีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ การแยกส่วนประกอบที่ไม่ใช่คอลาเจน เช่น ไขมัน และแร่ธาตุต่างๆ ออกจากวัตถุดิบที่เป็นคอลาเจนทั้งหมด

1.2 การเปลี่ยนคอลาเจนเป็นเจลาติน

1.3 การทำให้เจลาตินบริสุทธิ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการผลิตเจลาตินมีขั้นตอน ดังภาพที่ 6 โดยวัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ กระดูก (ossein), หนังหมู, (pig skin), หนังวัว (cow hine), หนังปลา (fish skin), และในประเทศจีนจะใช้หนังลา (donkey)

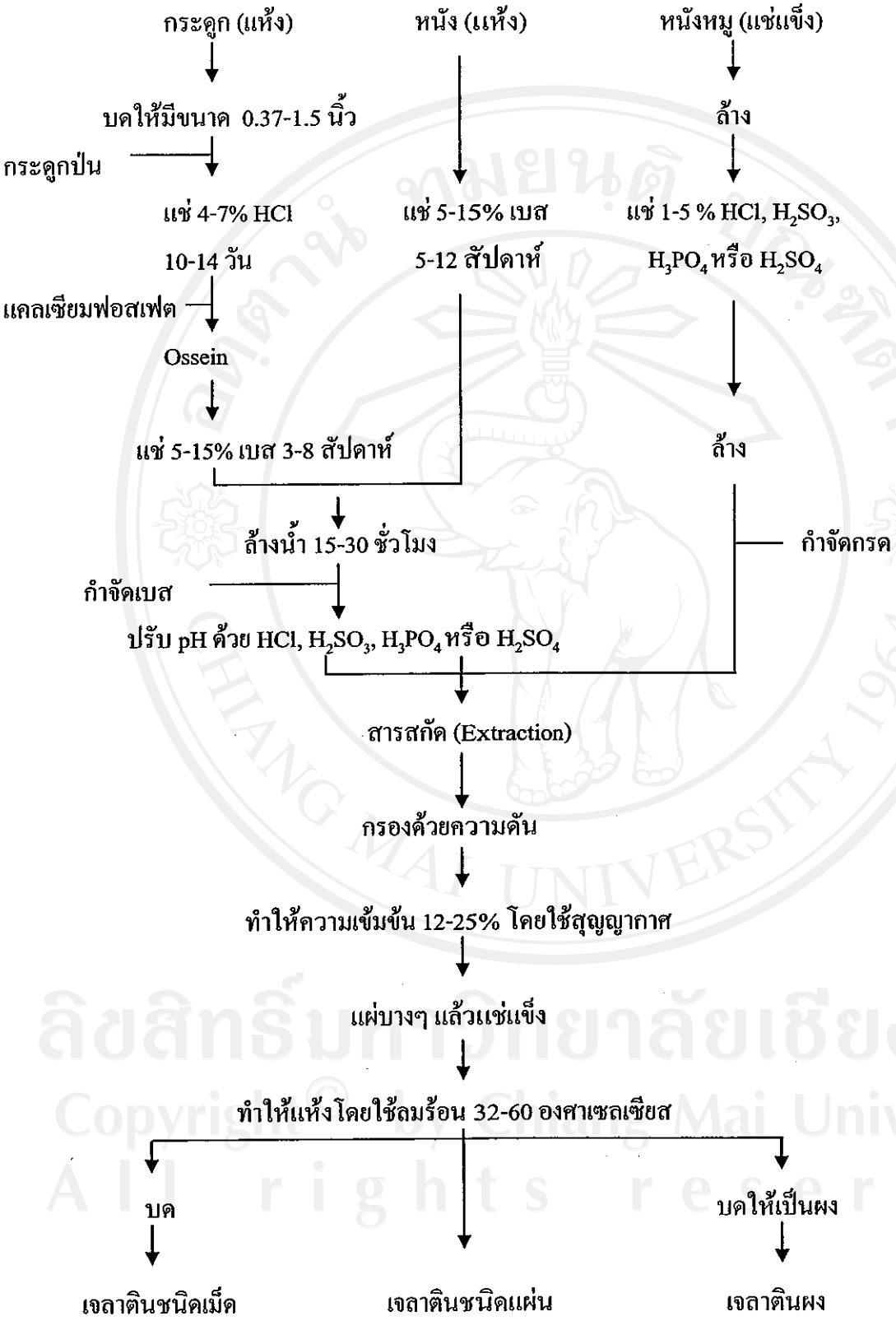
2. โครงสร้างทางเคมีของเจลาติน

โมเลกุลของเจลาตินประกอบ ด้วยสายโซ่ยาวของกรดอะมิโนที่เชื่อมกันด้วยพันธะเพบไทด์ขนาดโมเลกุลผันแปรตั้งแต่ที่เป็นพอลิเมอร์สายเดี่ยวมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 50,000 ไปจนถึงพอลิเมอร์หลายสายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1,000,000 (Ledward, 2000) functional group ของเจลาตินมีทั้งที่เป็นกรดและเป็นด่าง (Johnson and Peterson, 1974) กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเจลาตินส่วนใหญ่ ได้แก่ ไกลซีน, โพรลีน และไฮดรอกซีโพรลีน (ตารางที่ 5) และมักจัดเรียงตัวตามลำดับ คือ ไกลซีน-X-Y ซึ่ง X และ Y จะเป็นโพรลีน และไฮดรอกซีโพรลีนตามลำดับ (Poppe, 1997) การจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของเจลาตินแสดงดังภาพที่ 7

3. สมบัติการละลายของเจลาติน

เมื่อนำเจลาตินมาแช่ในน้ำเย็น เจลาตินจะดูดน้ำและพองตัวได้ 5-10 เท่า เมื่อนำไปให้ความร้อนอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส เจลาตินจะละลายหมดภายในเวลา 30 นาที (อัจฉรา, 2549) ได้เป็นสารละลายเจลาติน ถ้าปล่อยให้สารละลายเจลาตินที่ร้อนนี้เย็นตัวลงจะเกิดเป็นเจล เจลาตินไม่ละลายในแอลกอฮอล์ และสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการละลาย ได้แก่ อุณหภูมิ, ความเข้มข้น และขนาดอนุภาคเจลาติน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 6 กระบวนการผลิตเจลาติน (สุดนธา, 2545)

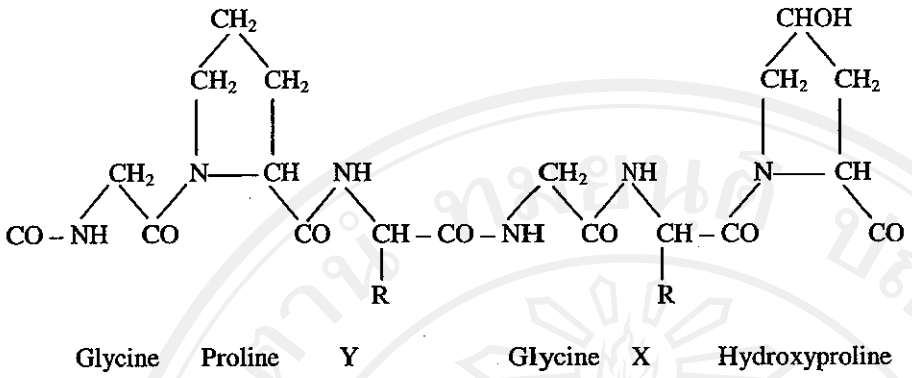
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 กรดอะมิโนที่พบในเจลาติน 100 กรัม

กรดอะมิโน	ปริมาณ (กรัม)
ไกลซีน	26-31
อะลานีน	8-11
วาลีน	2.6-3.4
ลูซีน	3-3.5
ไอโซลูซีน	1.4-2
ฟีนิลอะลานีน	2-3
ซีรีน	2.9-4.2
ทรีโอนีน	2.2-2.4
ไทโรซีน	0.2-1
โพรลีน	15-18
ไฮดรอกซีโพรลีน	13-15
เมไทโอนีน	0.7-1
ไลซีน	4-5
อาร์จินีน	8-9
ฮิสติดีน	0.7-1
กรดแอสปาร์ติก	6-7
กรดกลูตามิก	11-12
ไฮดรอกซีไลซีน	0.8-1.2

แหล่งที่มา : Poppe (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 7 โครงสร้างของเจลาติน (Poppe, 1997)

วุ้น

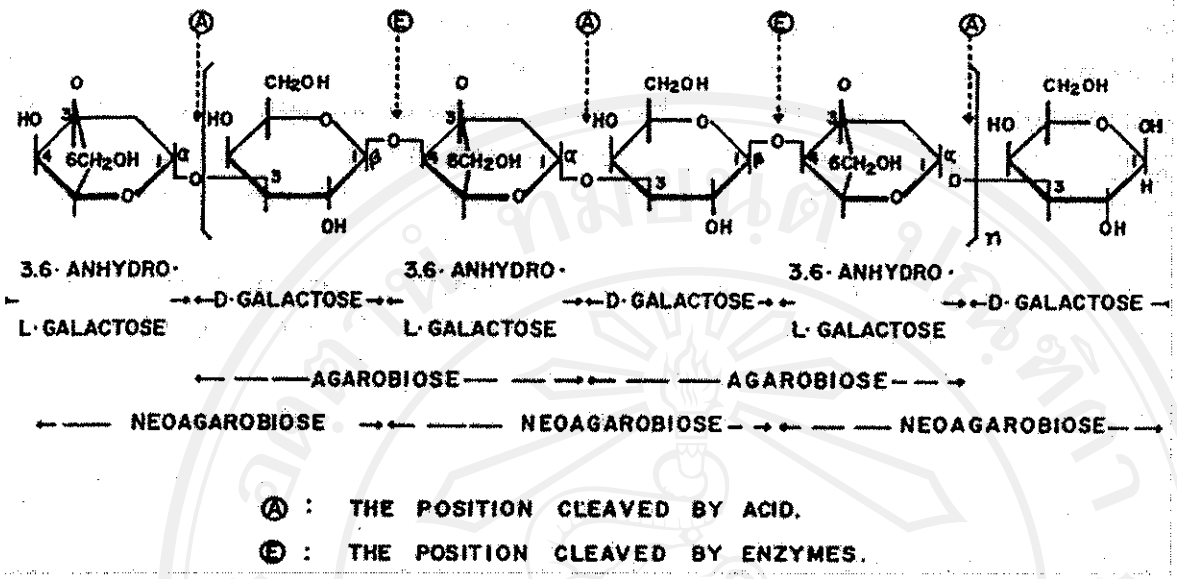
วุ้น (agar) เป็น colloidal polygalactoside สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิด คือ

1. อะกาโรส (agarose) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่มีประจุ มีอยู่ในวุ้นประมาณ 70% ของปริมาณวุ้นทั้งหมด โครงสร้างปฐมภูมิของอะกาโรสประกอบด้วย β-D-galactose และ 3,6-anhydro-α-L-galactose มาต่อสลับกันเป็นสายยาวโดยพันธะ β (1→4) ระหว่างกาแลกโตสกับแอนไฮโดรกาแลกโตส และพันธะ α (1→4) ระหว่างแอนไฮโดรกาแลกโตสกับกาแลกโตส ดังภาพที่ 8

2. อะกาโรเพกติน (agaropectin) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีประจุ มีอยู่ในวุ้นประมาณ 30% ของปริมาณวุ้นทั้งหมด ซึ่งมีโครงสร้างหลักเหมือนอะกาโรส แต่บางโมเลกุลของ 3,6-anhydro- α-L-galactose ถูกเติมหมู่ซัลเฟต (sulfate group) หรือหมู่ไพรูเวท (pyruvate group) และบางโมเลกุลของ D-galactose ถูกแทนที่ด้วย D-glucuronic acid หรือ 4,6-0-(1-carboxy- ethylidene) -D-galactopyranose ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อะกาโรเพคตินเป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ

วุ้นละลายได้ดีในน้ำร้อนที่มากกว่า 90 องศาเซลเซียส ใช้น้ำในการละลายค่อนข้างมาก ประมาณ 30-50 เท่าโดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของวุ้นเพียง 0.04% ก็สามารถเกิดเจลที่คงตัวได้ (อัจฉรา, 2549) เจลของวุ้นจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างสายสั้น (short texture) มีความคงรูป ไม่ยืดหยุ่น สามารถทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ (Smewing, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 8 โครงสร้างของอะกาโรส (Armisen, 1997)

การใช้สารเคลือบผิวสามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุของผลิตผลดังการศึกษาผลลำไย พบว่า การเคลือบผิวผลลำไยด้วยสารละลาย sodium carboxyl methyl cellulose หรือ คาราจีแนน ความเข้มข้น 1% สามารถลดการสูญเสียน้ำได้ (ปิยจิตรา, 2545) นอกจากนี้ ศิรประภา (2548) ได้ทดลองเคลือบผิวลำไยด้วย Sta-fresh 310 ความเข้มข้น 5%, Sunfresh ความเข้มข้น 5% และสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.5% แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ผลลำไยที่ผ่านการเคลือบผิวมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลลำไยที่ไม่ได้เคลือบผิวไม่ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และผลลำไยที่เคลือบผิวด้วย Sunfresh ความเข้มข้น 5% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด Jiang and Li (2001) ได้ศึกษาการเคลือบผิวลำไยด้วยใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% พบว่า สามารถลดอัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนักของผล ชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และยับยั้งการเน่าเสียของผลระหว่างการเก็บรักษา ส่วน วันเพ็ญ (2545) พบว่าผลลำไยที่เคลือบผิวด้วยน้ำมันปาล์มความเข้มข้น 15%, น้ำมันถั่วเหลืองความเข้มข้น 10%, สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2%, แป้งมันความเข้มข้น 5%, แป้งข้าวเจ้าความเข้มข้น 1%, Sta-fresh ความเข้มข้น 5% และแป้งท้าวยายม่อมความเข้มข้น 1% พบว่า สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม แต่สีเปลือกของผลลำไยยังคงเป็นสีน้ำตาลตลอดช่วงการเก็บรักษา นอกจากนี้ ภรัตและคณะ (2549) รายงานว่า การเคลือบทุเรียนด้วยสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 1% และสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.5% แล้วเก็บรักษาที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น 5% และใน 3 วันแรกของการเก็บรักษามีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุมน้ำหนัก ส่วน Zhang and Quantick (1997) ได้เคลือบผิวลิ้นจี่ด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.0-2.0% หลังจากจุ่มในสาร thiabendazole (TBZ) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% พบว่าสามารถชะลอการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือก ชะลอการสร้างเอนไซม์ PPO และ POD และลดการสูญเสียน้ำหนักสดของผล และ รักษา (2545) รายงานว่าการใช้สารละลายวุ้นว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 30% สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 10 องศาเซลเซียส ออกไปได้นาน 28 และ 77 วัน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมซึ่งมีอายุการเก็บรักษาเพียง 20 และ 42 วัน ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคลือบผิวร่วมกับสารละลายกรดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผล ดังการศึกษาใน แอปเปิลที่ผ่านการตัดเป็นชิ้นๆ มาแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก กรดออกซาลิก และสารละลายผสม นาน 2 นาที จากนั้นเคลือบด้วย caragenan และ whey protein concentrate (WPC) พบว่าสารละลายผสมสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดี แต่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ส่วนแอปเปิลที่เคลือบด้วย caragenan และ WPC มีอัตราการหายใจลดลง 10 และ 20% ตามลำดับ การใช้ WPC ร่วมกับสารละลายผสมกรดแอสคอร์บิกกับกรดออกซาลิกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและชักนำให้มีการหายใจลดลงมาก (Lee *et al.* 2002) และ Perez-Gago *et al.* (2006) รายงานว่า แอปเปิลหั่นชิ้นแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.5 และ 1% แล้วเคลือบผิวด้วย whey protein concentrate (WPC) และ beeswax (BW) พบว่า การแช่ชิ้นแอปเปิลในสารสารละลายกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการเคลือบผิวสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลบนชิ้นแอปเปิลได้มากกว่าการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved