บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปของมะม่วง

มะม่วงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Mangifera indica* L. จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae จัดเป็นผลไม้ที่อยู่ในเขตร้อน มีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย พม่า และในประเทศแถบตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศไทย พม่า และมาเลเซีย การปลูกมะม่วงมีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยอาหารและยังอุดมไปด้วยวิตามินบี วิตามินซี แคโรทีนอยด์ และแคลเซียม เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ แหล่งเพาะปลูก ระดับความอ่อน-แก่ และระยะการสุกของผลมะม่วง (Kalra *et al*., 1995) คุณค่าทางโภชนาการของผลมะม่วงดิบและมะม่วงสุกแสดงในตารางที่ 2.1

มะม่วงในประเทศไทยสามารถแบ่งตามประโยชน์ที่ใช้ในการบริโภคได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ (ธนาธิป, 2544)

1. *มะม่วงที่บริโภคผลดิบ* เป็นประเภทมะม่วงมันจะมีรสมันเมื่อแก่จัดและรสหวานอมเปรี้ยวเมื่อผลสุก เช่น พันธุ์เขียวเสวย พิมเสนมัน หนองแซง แรด เขียวสะอาด ทองดำ สายฝน แห้ว ฟ้าลั่น มันหมู และมันทองเอก เป็นต้น

2. *มะม่วงที่บริโภคผลสุก* เป็นผลมะม่วงที่ต้องบ่มให้สุกเสียก่อนจึงบริโภคได้อร่อย มะม่วงกลุ่มนี้เมื่อผลดิบจะมีรสเปรี้ยวแต่เมื่อผลสุกแล้วจะมีรสหวาน และบางพันธุ์เวลาสุกอาจมีรสเปรี้ยวหรืออมเปรี้ยว เช่น พันธุ์อกร่อง ทองดำ น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน แก้วลืมรัง ตับเป็ด ตะเพียนทอง พิมเสนแดง โชคอนันต์ และมหาชนก เป็นต้น

3. *มะม่วงที่ใช้แปรรูป* เป็นมะม่วงที่มีคุณภาพในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ดี เช่น เนื้อแน่น มีผลดก ราคาถูก ขนาดผลโตปานกลาง เหมาะสำหรับทำน้ำมะม่วง มะม่วงอบแห้ง มะม่วงกวน มะม่วงแผ่นปรุงรสและมะม่วงแช่อิ่ม เช่น พันธุ์แก้ว สามปี และตลับนาค เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	มะม่วงดิบ	มะม่วงสุก
ความชื้น	81.0	76.7
พลังงาน (แคลลอรี)	74.0	90.0
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	17.6	21.7
ไขมัน (กรัม)	0.2	0.1
โปรตีน (กรัม)	0.5	0.6
ใยอาหาร (กรัม)	1.80	0.7
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	14.0	34.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	2.0	10.0
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	80.0	71.7
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.05	0.05
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.02	0.06
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	198.0	160.0
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	0.2	1.1

(ที่มา: พานิชย์, 2544)

ปัจจุบันมะม่วงเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมบริโภคและรู้จักกันอย่างกว้างขวาง จึงเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของหลายๆประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทย มะม่วงเป็นผลไม้ส่งออกที่มีศักยภาพสูงในตลาดต่างประเทศ สามารถส่งออกได้ทั้งมะม่วงผลดิบ มะม่วงผลสุกและผลิตภัณฑ์มะม่วงแปรรูป มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีพื้นที่ในการเพาะปลูกได้ทั่วทั้งประเทศ ในปีพ.ศ. 2545 มีปริมาณผลผลิตทั้งหมด 1,183,677.41 ตัน การส่งออกมะม่วงไปยังต่างประเทศปีละประมาณ 15 ล้านเหรียญสหรัฐโดยส่งออกในรูปเนื้อมะม่วงสดพร้อมบริโภค (fresh-cut product) มะม่วงแช่เย็น (chilling) มะม่วงแช่เยือกแข็ง (freezing) มะม่วงกระป๋อง น้ำมะม่วง และมะม่วงแปรรูปอื่นๆ เช่น มะม่วงกวน มะม่วงอบแห้งและมะม่วงดอง เป็นต้น (กรมส่งเสริม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การส่งออก, 2546) และในปีพ.ศ. 2547 มีปริมาณผลผลิตรวมทั้งหมดประมาณ 2.8 แสนตัน ซึ่งจะส่งออกมะม่วงในรูปผลไม้สดแช่เย็นประมาณ 8.1 พันตัน มูลค่า 4.4 ล้านเหรียญสหรัฐ ส่งออกในรูปมะม่วงกระป๋อง ประมาณ 9.5 พันตัน มูลค่า 7.5 ล้านเหรียญสหรัฐ และส่งออกในรูปแบบการแปรรูปอื่น ๆ เช่น น้ำมะม่วงคั้น น้ำมะม่วงเข้มข้น ฟรุ๊ตสลัด และมะม่วงอบแห้ง ฯลฯ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) ตลาดส่งออกหลัก คือประเทศมาเลเซีย ญี่ปุ่น สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา และฮ่องกง โดยปริมาณการส่งออกต่อปีคิดเป็น 36.35, 25.21, 13.20, 6.64 และ 4.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มะม่วงพันธุ์ที่ส่งออกในปัจจุบันคือ น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน โชคอนันต์ และมหาชนก ส่วนมะม่วงแก้วยังไม่มีการส่งออกในรูปมะม่วงผลสด แต่จะแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำมะม่วง เป็นต้น (สำนักบริการส่งออก, 2546)

เนื่องจากมะม่วงเป็นผลผลิตทางเกษตรที่ออกตามฤดูกาล และช่วงที่ออกสู่ตลาดพร้อมกันจะมีปริมาณมาก จึงประสบปัญหาสภาวะราคาตกต่ำ มะม่วงล้นตลาด และเกิดการแข่งขันทางด้านการค้าขายสูง จึงมีการนำผลมะม่วงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆอย่างมากมาย เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าทางการค้า ลดผลผลิตส่วนเกิน ยืดอายุการเก็บรักษา และขยายตลาดการส่งออก (กาญจนา, 2543)

2.1.1 มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (*Mangifera indica.* L., cv. Chok-Anan)

มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เป็นมะม่วงพันธุ์ที่กำเนิดมาจากการเพาะเมล็ดมะม่วงพันธุ์สามปี ลักษณะของมะม่วงพันธุ์นี้คือออกดอกติดผลได้ตลอดทั้งปีและสามารถออกดอกในฤดูฝนได้ เมื่อผลดิบจะมีรสเปรี้ยวและเมื่อผลสุกจะมีรสหวาน มีการเจริญเติบโตดี ผลขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 300-400 กรัมต่อผล หรือ 3-4 ผลต่อกิโลกรัม รูปทรงของผลคล้ายรูปไข่ ด้านหัวผลใหญ่ ปลายผลแหลมเล็ก เนื้อแน่นละเอียด (วิจิตร, 2536) ความหนาของเปลือกประมาณ 0.25 เซนติเมตร ซึ่งหนากว่าผลมะม่วงทั่วไป เมื่อผลดิบจะมีสีเขียวอ่อน ผิวเรียบ และเมื่อผลสุกจะมีสีผิวเป็นสีเหลืองทอง มีกลิ่นฉุนหอมคล้ายมะม่วงพันธุ์สามปี ไม่มีเสี้ยน มีปริมาณเนื้อผล 62 เปอร์เซ็นต์ กรดประมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ความหวานประมาณ 16 องศาบริกซ์ เมล็ดบาง ผลสุกสามารถเก็บไว้ได้นาน 5-7 วันที่อุณหภูมิห้องโดยที่เนื้อมะม่วงยังไม่เละ จุดด้อยของมะม่วงพันธุ์นี้ คือรูปร่างไม่แน่นอน (ธวัชชัยและศิวาพร, 2542) และจุดเด่นของมะม่วงพันธุ์นี้คือมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ผลิตนอกฤดูได้ดีและทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่กันดารได้ดี (กาญจนา, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 มะม่วงพันธุ์มหาชนก (*Mangifera indica.* L., cv. Maha-Chanok)

มะม่วงพันธุ์มหาชนกจัดอยู่ในกลุ่มมะม่วงบริโภคผลสุกเป็นมะม่วงพันธุ์ใหม่เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างมะม่วงพันธุ์ “ซันเซท” กับมะม่วงพันธุ์ “หนังกลางวัน” มะม่วงที่ปลูกในเขตภาคเหนือ ออกตามฤดูกาล ติดผลง่าย สามารถเก็บเกี่ยวได้ในช่วงเดือนมิถุนายน-กรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม ลักษณะผลของมะม่วงพันธุ์มหาชนกจะคล้ายมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน คือมีขนาดผลปานกลาง น้ำหนัก 350-500 กรัมต่อผล ผลดิบเปลือกจะสีเขียวอ่อนและจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อถูกแสงแดด รสเปรี้ยวมากและมีกลิ่นยาง เปลือกหนาทนทานต่อการขนส่งและแรงกระแทกเนื้อผิวเรียบและเมื่อผลสุกจะมีสีเหลืองทองส้ม เนื้อละเอียดและแน่น มีเส้นใยน้อย รสหวานอมเปรี้ยวถึงหวานหอม เมื่อสุกจัดจะมีความหวานประมาณ 18 องศาบริกซ์ มีกลิ่นหอมมาก เมื่อสุกงอม เมล็ดผลเล็กและบางมาก มีส่วนที่บริโภคได้สูงถึง 79 เปอร์เซ็นต์ (ธวัชชัยและศิวาพร, 2542) มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 18-23 เปอร์เซ็นต์ ผลสุกมีอายุการวางจำหน่ายได้นานประมาณ 10 วัน สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด (เดช, 2542)

2.1.3 มะม่วงพันธุ์แก้ว (*Mangifera indica.* L., cv. Kaew)

มะม่วงพันธุ์แก้วเป็นมะม่วงพันธุ์ที่นิยมปลูกทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง เป็นสายพันธุ์ที่มีการนำมาแปรรูปกันอย่างกว้างขวาง ลักษณะโดยทั่วไปคือการออกดอกติดผลอย่างสม่ำเสมอ ให้ผลดก ทนทานต่อโรคและแมลงและสภาพแวดล้อมได้ดี ผลมีขนาดเล็กจนถึงปานกลาง น้ำหนักประมาณ 200-300 กรัมต่อผล เปลือกค่อนข้างบาง เมื่อผลดิบมีสีเขียวเข้ม เนื้อสีขาวนวล มีรสเปรี้ยว ผลมีรูปร่างกลมป้อม เมื่อผลสุกผิวจะมีสีเขียวปนเหลือง เนื้อมีสีเหลืองหรือเหลืองส้ม เนื้อละเอียดและเหนียว มีปริมาณเสี้ยนมาก มีรสหวานอมเปรี้ยว ความหวานประมาณ 18.5 เปอร์เซ็นต์ มะม่วงพันธุ์แก้วสามารถจำแนกได้ 3 สายพันธุ์ ตามคุณลักษณะของผลและแหล่งการเพาะปลูก คือ

- *แก้วขาวหรือแก้วทอง* ผลดิบแก่จะมีสีเหลืองอมเขียวหรือสีขาวนวล เมื่อผลสุกเนื้อมีสีอ่อนกว่ามะม่วงแก้วดำ พบมากในภาคกลาง
- *แก้วดำหรือแก้วแดง* ผลดิบมีสีเขียวคล้ำ ส่วนชื่อแก้วแดงเรียกตามลักษณะสีเนื้อเมื่อผลสุกแล้ว เนื้อมีสีแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- *แก้วจุก* มีลักษณะเหมือนพันธุ์แก้วดำและแก้วขาว คือมีสีผลทั้งเขียวคล้ำเหมือนแก้วดำและสีขาวนวลเหมือนแก้วขาว แต่มีขนาดผลค่อนข้างโต และหัวมีจุก (ธวัชชัยและศิวาพร, 2542)

2.1.4 มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Mangifera indica.* L., cv. Namdorkmai)

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็นมะม่วงพันธุ์เบา ออกดอกติดผลทุกปี ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 300 ผลต่อต้น เมื่อต้นอายุ 9-10 ปี ผลมีลักษณะหัวท้ายแหลม กลางผลอ้วน ผลค่อนข้างยาวแบน น้ำหนักของผลประมาณ 280-300 กรัม เปลือกเปราะบาง มีความหนาประมาณ 0.11 เซนติเมตร (ธวัชชัยและศิวาพร, 2542) ความยาวเฉลี่ยของผล 15.25 เซนติเมตร ความหนาของผล 6.59 เซนติเมตร และความกว้างผล 7.27 เซนติเมตร สีผิวผลเมื่อสุกจะมีสีเหลืองนวล สีเหลืองทอง กลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ ลักษณะเนื้อละเอียด และไม่มีเสี้ยน รสหวานเย็น อร่อย นิยมบริโภคผลสด มีกรดประมาณ 0.48 เปอร์เซ็นต์ และความหวานประมาณ 19-20 องศาบริกซ์ (http://www.rakbankerd.com/60_agriculture/commerce/new_board01.html)

2.2 การสุกของผลมะม่วง

มะม่วงจัดเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit คือ เมื่อผลเริ่มสุกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น อัตราการหายใจจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ อายุของผล ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ การหมุนเวียนของอากาศภายในห้องเก็บรักษา และอัตราการผลิตเอทิลีน อัตราการหายใจของผลมะม่วงจะสำคัญมากต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา คือผลมะม่วงที่มีช่วงการสุกรวดเร็วจะเสื่อมเสียง่ายและเก็บรักษาได้ไม่นาน เนื่องจากมีการใช้สารอาหารที่สะสมอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา กายภาพและเคมีของผลมะม่วงจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพและใช้เป็นดัชนีชี้บ่งระยะการสุกได้ (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การบ่มผลไม้ เป็นการเร่งอัตราการสุกของผลไม้ให้เกิดขึ้นเร็ว ในทางการค้าการบ่มผลไม้ทำได้โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ประมาณ 10 กรัมต่อผลไม้ 3-5 กิโลกรัม ซึ่งความชื้นของผลไม้และในอากาศจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์ไบด์ได้เป็นก๊าซอะเซทิลีน ก๊าซนี้มีสมบัติเร่งการสุกของผลไม้ (จริงแท้, 2544) ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้มีกลิ่นติดมากับผลไม้และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

ในระหว่างการสุกของผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา กายภาพและเคมี (ตารางที่ 2.2)โดยจะเกิดขึ้นกับผลไม้ประเภท climacteric fruit เช่น กล้วย มะม่วง ขนุน และทุเรียน เป็นต้น การสุกของผลมะม่วงจะเกิดหลังจากที่ผลแก่จัดเต็มที่ โดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่แก่จัดจากต้นแล้วนำมาบ่มให้สุก จะทำให้ได้ผลมะม่วงสุกที่มีคุณภาพดีเหมาะแก่การบริโภค (จริงแท้, 2544) การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆ ของผลมะม่วงที่เกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนสีเปลือกและสีเนื้อจากสีเขียวหรือเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองเข้มหรือสีส้ม ลักษณะเนื้อสัมผัสจะนิ่มลง ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น และปริมาณกรดลดลง เป็นต้น (Selvaraj and Kumar, 1989)

ตาราง 2.2 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุกของผลมะม่วง

ลักษณะ	การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุกของผลมะม่วง
การหายใจ	เพิ่มขึ้นถึงระดับสูงสุดแล้วลดลง
กลิ่นรส	เพิ่มขึ้น ถ้าสุกมากเกินไปจะลดลง
สีเปลือก	เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง
สีเนื้อ	เปลี่ยนจากสีเขียวหรือสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองเข้มหรือส้ม
แคโรทีนอยด์	เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย
เบต้าแคโรทีน	เพิ่มขึ้น
ความแน่นเนื้อ	ลดลง
ของแข็งทั้งหมด	คงที่
ของแข็งที่ไม่ละลายทั้งหมด	ลดลง
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	เพิ่มขึ้น
ปริมาณกรดทั้งหมด	ลดลง
ความเป็นกรด-ด่าง	เพิ่มขึ้น
ปริมาณสตาร์ช	ลดลง
น้ำตาลทั้งหมด	เพิ่มขึ้น หรือเพิ่มขึ้นสูงสุดแล้วลดลง
น้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส	เพิ่มขึ้น
น้ำตาลซูโครส	เพิ่มขึ้น หรือเพิ่มขึ้นสูงสุดแล้วลดลง
กรดแทนนิก	เพิ่มขึ้นหรือลดลง

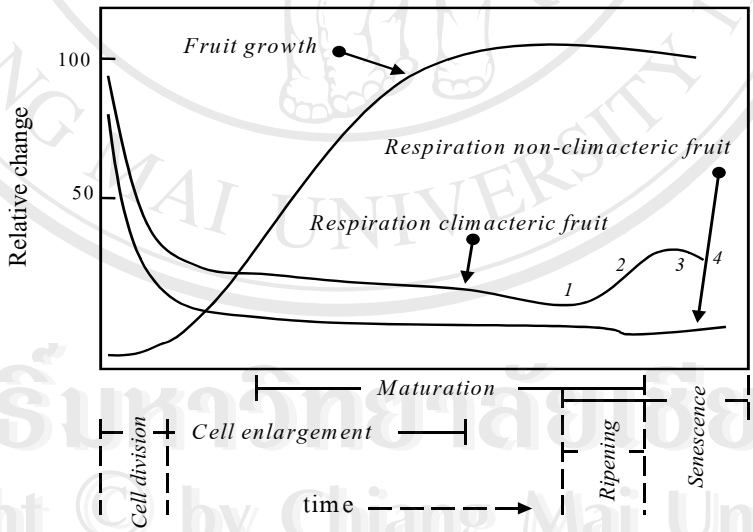
(ที่มา: Jethro *et al*., 1988)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลมะม่วงเมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาการสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งทางชีวเคมี และสรีรวิทยาของผล รวมทั้งคุณภาพของผลมะม่วงภายหลังการสุกเต็มที่แล้ว โดยการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้จะไม่สามารถกลับไปสู่สภาพเดิมได้อีก การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญเหล่านี้ ได้แก่ อัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การอ่อนนิ่มของเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติ เป็นต้น (สมบุญ, 2538)

2.2.1 อัตราการหายใจ

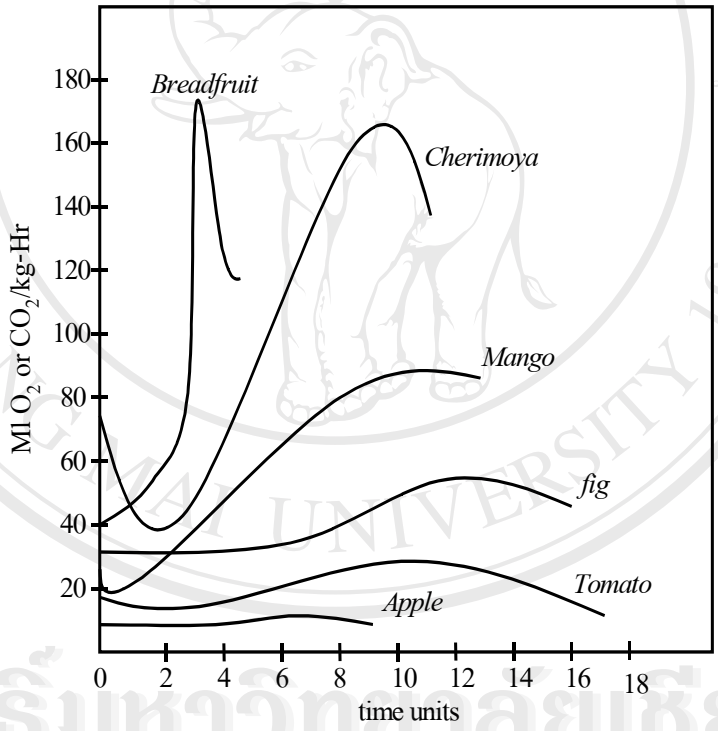
ในระหว่างการสุก จะเห็นได้ว่าผลไม้บางชนิดจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น เรียกว่า respiration climacteric โดยการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ (1) pre-climacteric (2) climacteric rise (3) climacteric peak (4) post-climacteric การเพิ่มขึ้นนี้จะเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนหรือเอนไซม์ชนิดใหม่ๆ ขึ้นมา เพื่อเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการนั้นๆ การหายใจแบบ respiration climacteric มีความสัมพันธ์กับการสุกของผลไม้และการผลิตก๊าซเอทิลีนมาก (จริงแท้, 2538)



รูปที่ 2.1 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงของระยะการเจริญเติบโตในขั้นต่างๆ
(ที่มา: จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราการหายใจของผลมะม่วงในระหว่างการสุก (รูปที่ 2.2) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และชนิดของผลมะม่วง เช่น รายงานผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจของผลมะม่วงพันธุ์ Kent และ Harden พบว่ามีแนวโน้วเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุก (Mitra and Baldwin, 1997) การที่อัตราการหายใจมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการสุกนั้นเนื่องจากในระหว่างการสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่ง จึงทำให้อัตราการหายใจของผลมะม่วงเพิ่มสูงขึ้นจนถึงช่วง climacteric peak ซึ่งจะใช้เวลาน้อยหรือมาก ขึ้นอยู่กับอายุของผลและสภาพแวดล้อมของห้องที่ใช้ในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิและการหมุนเวียนของอากาศ เป็นต้น (ดนัย, 2540)



รูปที่ 2.2 อัตราการหายใจของผลไม้ชนิดต่างๆ ประเภท climacteric
(ที่มา: จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 อัตราการผลิตเอทิลีน

เอทิลีนมีสูตรโมเลกุล C_2H_4 เป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสุก และการเสื่อมสภาพของผลไม้ และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ส่งผลทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยเอทิลีนจะไปเร่งการเสื่อมสลายของสารคลอโรฟิลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ในระหว่างการสุกของผลมะม่วง หรือผลส้ม และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น pectin methylesterase (PME) และ cellulase ทำให้เนื้อสัมผัสของมะม่วงอ่อนนิ่ม รวมทั้งกระตุ้นการเปลี่ยนสตาร์ชให้เป็นน้ำตาล และการลดลงของปริมาณกรดอินทรีย์ ทำให้ผลมะม่วงมีรสชาติดีขึ้น (จริงแท้, 2544)

ผลมะม่วงแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการผลิตเอทิลีนได้แตกต่างกันในระหว่างกระบวนการสุก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและการทำงานของเอทิลีนจะขึ้นอยู่กับชนิดหรือสายพันธุ์ อายุขณะเก็บเกี่ยว อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งหากทำการควบคุมปัจจัยต่างๆเหล่านี้ให้เหมาะสม จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและได้ผลมะม่วงสุกที่มีคุณภาพดี ผลการวิจัยในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่แก่จัด เมื่อนำมาวางไว้ให้ผลสุกที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าในวันที่ 4 ผลมะม่วงผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงที่สุด และการเพิ่มขึ้นของเอทิลีนจะเกิดก่อนการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเอทิลีนจะไปกระตุ้นให้อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Ketsa *et al.,* 1999)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลไม้เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการสุกที่ชัดเจน โดยผลมะม่วงดิบเปลือกเป็นสีเขียว เมื่อผลเริ่มสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือส้มเพิ่มขึ้นตามระยะการสุก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสีเขียว และมีการสร้างสารแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่มีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เปลือกของผลมะม่วงเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือส้ม สารแคโรทีนอยด์ในผลมะม่วงส่วนใหญ่เป็นแคโรทีน (carotene) ทำให้เปลือกของผลมะม่วงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เหลืองอมส้ม และส้ม เป็นต้น สีเปลือกของผลมะม่วงจึงใช้เป็นดัชนีชี้บ่งระยะการสุกได้ (ศิวพร, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงจะแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ เช่น มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก สีเปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้ม ส่วนสีเนื้อจะเปลี่ยนจากสีขาวหรือเขียวซีดไปเป็นสีเหลืองขุ่น เป็นต้น (สายชลและสุนทร, 2535) ในผลมะม่วงพันธุ์ Kent สีเปลือกจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเมื่อผลเข้าสู่กระบวนการสุก และเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อผลสุกเต็มที่แล้ว (วารุณี, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่าในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์ทองดำ มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายและสังเคราะห์สารคลอโรฟิลล์ โดยพบว่าเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลสมีปริมาณลดลงและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารคลอโรฟิลล์ที่ลดลงในระหว่างกระบวนการสุกของผลมะม่วงทั้ง 2 สายพันธุ์ (Ketsa *et al.,* 1999)

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติ

การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรสชาติของผลมะม่วง คือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น แต่กรดอินทรีย์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการ catabolism ซึ่งในขณะผลมะม่วงดิบจะมีสตาร์ชสะสมอยู่ และในระหว่างกระบวนการสุกสตาร์ชจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาล ทำให้ผลมะม่วงมีรสหวาน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อาจลดลง เพราะผลมะม่วงมีการหายใจตลอดเวลาจึงต้องใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานหรือแหล่งสารอาหารเป็นส่วนใหญ่ โดยน้ำตาลที่ใช้ไปในกระบวนการหายใจ คือ น้ำตาลกลูโคส ส่วนปริมาณกรดอินทรีย์ในผลมะม่วงจะลดลงหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งปริมาณกรดอินทรีย์ในผลมะม่วงส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกรดซิตริก การลดลงของปริมาณกรดอินทรีย์ เป็นผลจากกระบวนการหายใจโดยกรดอินทรีย์จะเป็นสับสเทรตของปฏิกิริยาในวงจรเครบส์ (Kreb's cycle) (ศิวพร, 2539) ในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และ Kent ในระหว่างกระบวนการสุกจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นและปริมาณกรดลดลง ทำให้รสชาติของผลมะม่วงเปลี่ยนไป โดยจะทำให้มีรสหวานเพิ่มมากขึ้นในขณะที่รสเปรี้ยวลดลง (สุกันยา, 2539; ดิศร, 2541)

ในระหว่างการสุกของผลมะม่วงจะมีการสังเคราะห์สารให้กลิ่นเกิดขึ้น ซึ่งเป็นสารระเหยและสารอินทรีย์ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น โดยชนิดและปริมาณของสารระเหยที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันตามระยะการสุกของผลมะม่วง เช่น สารระเหยต่างๆ ได้แก่ อัลดีไฮด์ (aldehyde), คีโตน (ketone), แอลกอฮอล์ (alcohol), ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) และกรดอินทรีย์ เป็นต้น เมื่อผลมะม่วงสุกจะมีชนิดและปริมาณของสารระเหยเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.5 การอ่อนนิ่มเนื้อเยื่อ

การอ่อนนิ่มของผลมะม่วงจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสุกทำให้ผลมะม่วงดิบที่มีเนื้อสัมผัสแข็งอ่อนนิ่มลงเมื่อผลมะม่วงสุก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพกทิน (pectin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ โดยสารประกอบเพกทินที่อยู่ในผนังเซลล์ของผลไม้ดิบจะอยู่ในรูปของโปรโตเพกทิน (protopectin) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เมื่อผลมะม่วงสุกสารประกอบเพกทินจะสลายตัวโดยอาศัยกระบวนการ depolymerization และ deesterification ซึ่งมีเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) และ polygalacturonase (PG) เป็นเอนไซม์ช่วยเร่งปฏิกิริยาการสลายพอลีเมอร์ของโปรโตเพกทินและไฮโดรไลซ์เอาหมู่เมทิลออกจากโมเลกุลของสารประกอบเพกทินได้เป็นกรดเพกทิก เป็นต้น (ดนัย, 2540) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังเซลล์ในระหว่างการสุกของผลมะม่วง และทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ที่ยึดเกาะกันแน่นในขณะผลมะม่วงดิบ หลุดแยกออกจากกันเมื่อผลมะม่วงสุก นอกจากนี้บทบาทของเอนไซม์เหล่านี้จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของผลมะม่วงและสภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษาด้วย เช่น ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ มีแอคติวิตีของเอนไซม์ PG และ β-galactosidase เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการสุก แต่เอนไซม์ PME มีแอคติวิตีลดลง และพบว่าปริมาณเพกทินในผลมะม่วงจะขึ้นอยู่กับระยะความอ่อน-แก่และระยะการสุกของผลมะม่วง โดยผลมะม่วงพันธุ์ Chiin Hwang No.1 ที่มีอายุมากจะมีปริมาณเพกทินน้อยกว่าผลที่มีอายุน้อย (Ketsa *et al.,* 1999)

2.2.6 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ

การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีอื่นๆในระหว่างการสุกของผลไม้ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน วิตามิน กรดอะมิโน เอนไซม์ กรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆ และการสังเคราะห์โปรตีน เป็นต้น ปริมาณกรดในผลมะม่วง เช่น กรดซิตริก ขณะสุกจะมีปริมาณลดลง โดยในช่วงผลดิบจะมีปริมาณกรดซิตริกประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อผลสุกปริมาณกรดจะลดลงเหลือประมาณ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลมะม่วงสุกมีรสหวานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (สายชล, 2535) เช่น การทดลองในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้พบว่าเมื่อผลสุกปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลงจาก 1.2 เปอร์เซ็นต์ ในวันแรกและลดลงเป็น 0.34 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 8 ทำให้รสชาติของผลมะม่วงสุกมีรสเปรี้ยวจะลดลงหรือไม่มีรสเปรี้ยวเมื่อสุกงอม (สุกันยา, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.6.1 การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต

สตาร์ชเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในผลไม้ที่สำคัญ โดยจะอยู่ในรูปอาหารสะสม เช่น สตาร์ชและน้ำตาลชนิดต่างๆ เป็นต้น ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมอาหารภายหลังการเก็บเกี่ยวและอาจจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส กลูโคสและฟรักโทส ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บรักษาและระยะความอ่อน-แก่ของผลไม้ เป็นต้น ผลมะม่วงที่เริ่มสุกจะมีรสหวานมากขึ้น เพราะสตาร์ชที่สะสมอยู่ระหว่างการเจริญเติบโตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (จริงแท้, 2544) นอกจากนี้การสลายตัวของสตาร์ชยังมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผลมะม่วงสุกมีรสหวาน แต่ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วง จะขึ้นอยู่กับระยะความแก่เมื่อเก็บเกี่ยวด้วย เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Chiin Hwang No.1 ที่มีอายุ 91, 105 และ 119 วัน หลังดอกบาน เมื่อผลสุกจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นตามอายุของผลที่เพิ่มขึ้น (Ketsa *et al.,* 1999) ซึ่งจะเกิดกับผลไม้ประเภท climacteric ผลไม้ประเภทนี้สามารถเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่แล้วนำมาบ่มให้สุกจะมีรสหวานเพิ่มมากขึ้น ไม่จำเป็นจะต้องเก็บเกี่ยวขณะที่ผลสุกอยู่บนต้น โดยน้ำตาลของผลไม้ส่วนมากจะอยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส เช่น พลับ มะเดื่อ กล้วย และละมุด เป็นต้น แต่มีผลไม้บางชนิดมีน้ำตาลซูโครสมาก เช่น สับปะรด และมะม่วง โดยในเนื้อมะม่วงสุกจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงประมาณ 3 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ และน้ำตาลซูโครส 12 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยาและดนัย, 2533) โดยผลมะม่วงที่อายุน้อยจะมีการสะสมสตาร์ชมากกว่าผลที่มีอายุมาก เพราะจะมีการใช้สตาร์ชบางส่วนเปลี่ยนให้เป็นพลังงานในการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกและเมื่อผลมะม่วงมีการเจริญเติบโตเต็มที่หรือผลสุกแล้วจะมีปริมาณสตาร์ชลดลง (สายชล, 2536)

2.2.6.2 การสังเคราะห์โปรตีน

โปรตีนและกรดอะมิโนอิสระเป็นส่วนประกอบที่พบปริมาณเล็กน้อยในผลมะม่วง การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน เป็นตัวบ่งชี้ถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตและการพัฒนาในระยะต่างๆ ของผลมะม่วง โดยในช่วงระหว่างการเกิด climacteric peak กรดอะมิโนอิสระจะมีปริมาณลดลง ซึ่งเป็นการแสดงว่ามีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น เกี่ยวข้องกับการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่างๆ ในระหว่างการสุกด้วย ซึ่งเอนไซม์จะทำหน้าที่เร่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ เช่น เอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เอนไซม์อะไมเลสที่ไฮโดรไลซ์สตาร์ชให้เป็นน้ำตาล และเอนไซม์ที่ย่อยสลายโมเลกุลของเพกทิน ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลมะม่วงอ่อนนิ่มลง ผลมะม่วงส่วนใหญ่มีเอนไซม์คะตะเลส (catalase) พอลีฟีนอลออกซิเดส และเปอร์ออกซิเดส มากขึ้นในระหว่างกระบวนการสุกและการเก็บรักษา (จริงแท้, 2544)

2.2.6.3 กรดอินทรีย์

เมื่อผลมะม่วงดิบจะมีรสเปรี้ยวเนื่องจากการสะสมของกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ เมื่อผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุกจะมีปริมาณกรดลดลง (สรรพมงคล, 2545) ปริมาณของกรดอินทรีย์จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดระหว่างการเจริญเติบโต กรดอินทรีย์ที่พบมากในผลมะม่วงคือกรดซิตริก และปริมาณกรดอินทรีย์ทั้งหมดจะลดลงในช่วงระหว่างการสุกของผลไม้ การลดลงของกรดจะเกิดขึ้นพร้อมกับการลดลงของสตาร์ช และมีการเพิ่มของน้ำตาลทำให้ผลไม้มีรสหวานเพิ่มขึ้นและรสเปรี้ยวลดลง (จริงแท้, 2544) ซึ่งปริมาณกรดอินทรีย์ที่ลดลงในระหว่างกระบวนการสุกของผลมะม่วงนั้นเกิดจากกรดอินทรีย์บางส่วนจะถูกนำไปใช้เป็นสับสเทรตในกระบวนการหายใจ (Tucker, 1993)

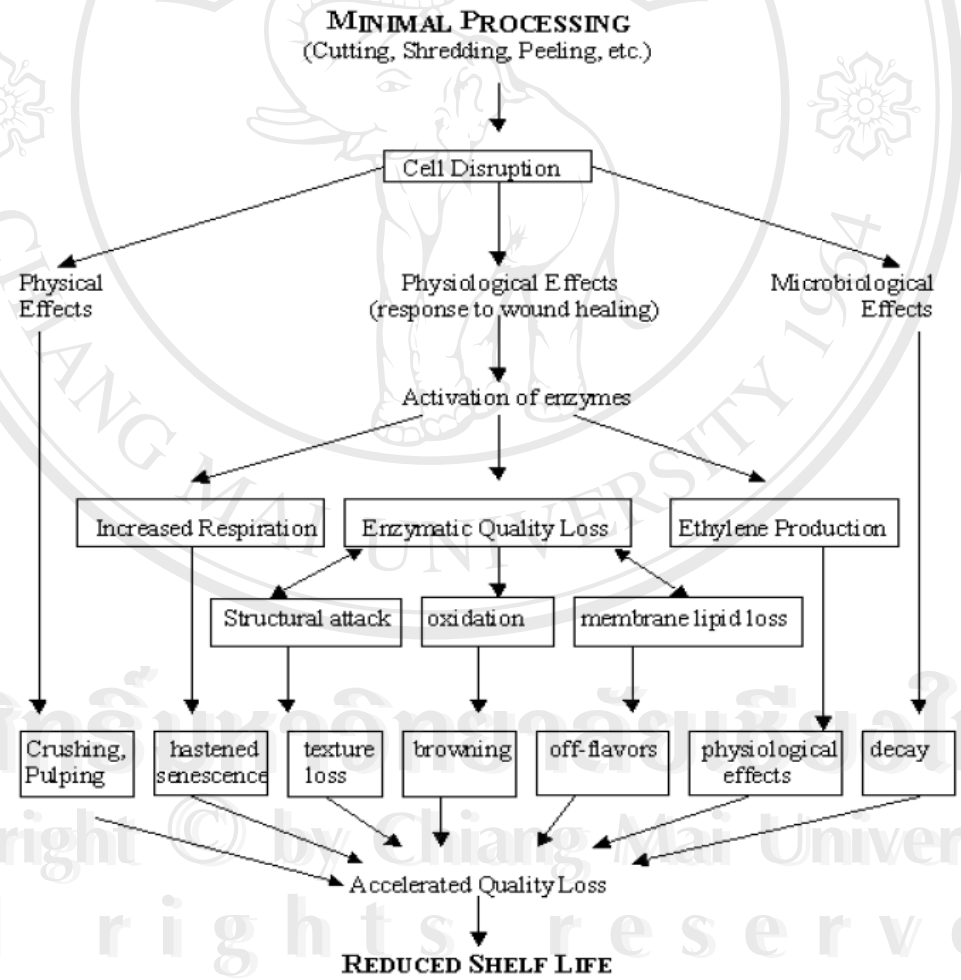
2.3 การแปรรูปผลไม้สดพร้อมบริโภค (fresh-cut product)

การแปรรูปผลไม้สดพร้อมบริโภค คือ การนำผลไม้มาทำความสะอาด ปอกเปลือก เอาไส้หรือเมล็ดออก ตัดแต่ง ซอยหรือหั่นเป็นชิ้นเล็กๆแล้วบรรจุในภาชนะ เช่น ถาดโฟม ถุงหรือกล่องพลาสติก เป็นต้น แล้วนำไปวางจำหน่าย โดยวัตถุประสงค์ของการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภคเพื่อตอบสนองผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกสบาย สามารถนำไปบริโภคได้ทันทีและทำให้ประหยัดเวลาด้วย (Watada *et al*., 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลไม้สดพร้อมบริโภคเป็นเนื้อเยื่อพืชที่ยังมีชีวิตอยู่และมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าผลไม้สดที่ไม่ได้ผ่านการตัดแต่ง ซึ่งการแปรรูปโดยการปอกเปลือก การหั่นและตัดแต่งทำให้เซลล์หรือเนื้อเยื่อของผลไม้ถูกทำลาย ผลไม้สดพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งหรือการหั่นชิ้น ทำให้ผลไม้สดพร้อมบริโภคมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอย่างรวดเร็วมากกว่าผลไม้สดที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป เช่น การหายใจ การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

อื่นๆ เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้ผลไม้สดพร้อมบริโภคเกิดการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว และยังทำให้สารต่างๆ รั่วไหลออกมาจากเซลล์ รวมทั้งสารประกอบฟีนอล ซึ่งเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้น และจุลินทรีย์มีโอกาสเข้ามาทำลายเนื้อเยื่อพืชได้ (Tien, 2001) (รูปที่ 2.3) อย่างไรก็ตาม การจัดขั้นตอนการแปรรูปที่เหมาะสมและถูกสุขลักษณะ สามารถควบคุมให้ผลไม้สดพร้อมบริโภคมีคุณภาพดีได้ นอกจากนี้ผลไม้สดพร้อมบริโภคยังทำให้ผู้บริโภคสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการ ความสดและรสชาติที่ดีของผลไม้สดพร้อมบริโภคไว้ได้ ทำให้ปัจจุบันเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ (Wiley, 1994)



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ (ที่มา: Tien, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

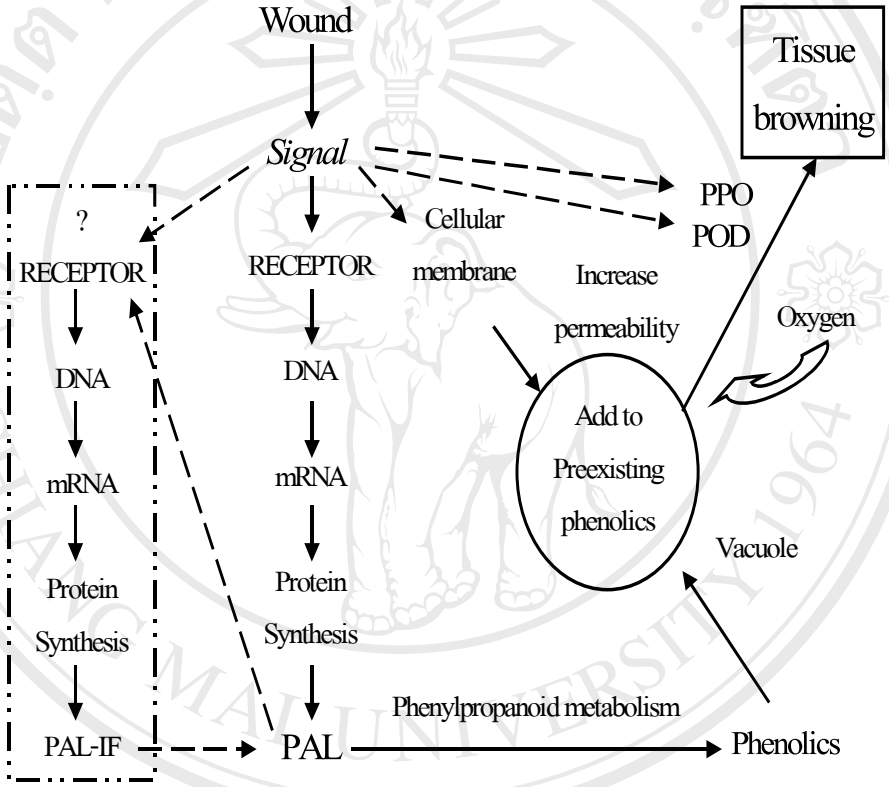
2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ในผักและผลไม้

ในปัจจุบันการวางจำหน่ายผลมะม่วงมีทั้งในลักษณะผลสดและการแปรรูปเป็นเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นพร้อมบริโภค ซึ่งการแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคภายหลังการเก็บเกี่ยวนั้น ประกอบด้วยกระบวนการและขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ การทำความสะอาด ปอกเปลือก ตัดแต่ง หั่นชิ้น และการบรรจุลงในภาชนะบรรจุต่างๆ เช่น ถาดโฟม หรือถุงพลาสติก เป็นต้น โดยวัตถุประสงค์ของการแปรรูปเป็นผลไม้สดพร้อมบริโภค เพื่อตอบสนองผู้บริโภค ที่ต้องการความสะดวกสบาย (Wiley, 1994) แต่การปอกเปลือก ตัดแต่ง และหั่นชิ้นผลไม้สดเป็นการทำลายเนื้อเยื่อทำให้เกิดบาดแผล ซึ่งส่งผลต่ออัตราการหายใจ การสร้างก๊าซเอทิลีน และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ (Son *et al.,* 2001) และการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษาด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รสชาติและสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการอย่างมาก นอกจากนี้ยังทำให้เซลล์ของผลิตผลถูกทำลาย สารต่างๆ ในผลิตผลรั่วไหลออกมา เช่น สารประกอบฟีนอล จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดสีน้ำตาลที่รอยตัด โดยมีเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสเร่งปฏิกิริยา (จริงแท้, 2541) (รูปที่ 2.4)

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลไม้สด เป็นปัญหาที่สำคัญและพบมากมากในโรงงานอุตสาหกรรมการส่งออกและการแปรรูปผลไม้ในปัจจุบัน โดยจะส่งผลเสียต่อคุณภาพ คือทำให้สีของผลไม้เปลี่ยนแปลงไป เช่น เนื้อมะม่วงสุกสดพร้อมบริโภคจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เมื่อผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การปอกเปลือกและการหั่นชิ้น รวมทั้งจะเกิดกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น เนื้อมะม่วงแช่เย็นและแช่เยือกแข็ง ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง และเมื่อปอกเปลือกผลมะม่วงสุกทิ้งไว้ เนื้อมะม่วงสุกจะเปลี่ยนจากสีเหลืองส้ม กลายเป็นสีน้ำตาลแดง เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เอนไซม์สำคัญที่ในเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และพอลีฟีนอลออกซิเดส (จริงแท้, 2544) ในระหว่างกระบวนการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภค เช่น การปอกเปลือก หั่นชิ้นหรือตัดแต่ง จะทำให้เอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด ที่อยู่ภายในเซลล์ของผลมะม่วงสุกสามารถออกมาจับตัวกับสับสเทรตได้อย่างอิสระ และทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อของผลไม้สดพร้อมบริโภคบางชนิดได้ และทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Friedman, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เป็นผลมาจากการที่สารประกอบจำพวกโมโนฟีนอล (monophenol) ในเซลล์พืชทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารสีน้ำตาล โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ เช่น ความเข้มข้นของเอนไซม์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เป็นสับสเทรต พีเอช ออกซิเจน และอุณหภูมิ เป็นต้น (Maetinez and Whitaker, 1995)



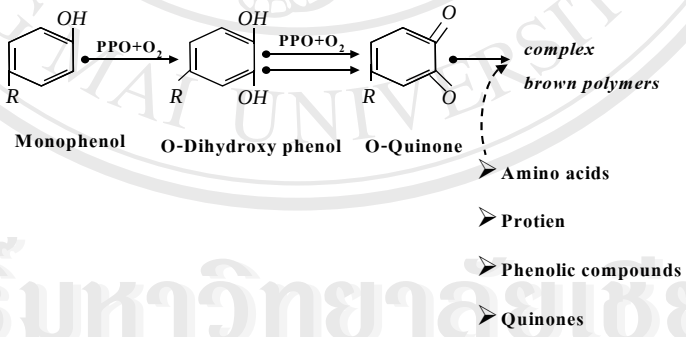
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดบาดแผล (wounding) และกระบวนการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อผักและผลไม้
(ที่มา: Saltveit, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1 เอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO)

เอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส (EC 1.14.18.1) เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่มีชื่อเรียกได้หลายชื่อ เช่น ไทโรซิเนส (tyrosinase) ออโทไดฟีนอลออกซิเดส (*o*-diphenol oxidase) และ

แคทีคอลออกซิเดส (catechol oxidase) เป็นต้น สภาพพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสจะอยู่ในช่วง 4-7 (Severini *et al.,* 2003) ดังนั้นในสภาวะที่มีความเป็นกรดมากหรือมีค่าพีเอชต่ำกว่า 4 สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสได้ (ประสาร, 2538) และการลวกชิ้นมะม่วงในน้ำที่มีอุณหภูมิ 85, 75 และ 65 องศาเซลเซียส นาน 3, 16 และ 25.5 นาที ตามลำดับ สามารถทำลายกิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (Jagtiani *et al*., 1987) เอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส พบมากในผลไม้หลายชนิด หน้าที่ของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสในพืชชั้นสูง เกี่ยวข้องกับกลไกการต่อต้านเชื้อโรคอันเกิดจากจุลินทรีย์และแมลง (Busch, 1999) ที่ทำให้เกิดจุดไหม้ (necrosis) บนเนื้อเยื่อผลไม้ (Paull and Chen, 2000) นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้สดและผลไม้แปรรูปต่างๆ เช่น ผลไม้สดพร้อมบริโภค ผลไม้แช่เย็น และผลไม้แช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโมโนฟีนอลกับออกซิเจน และมีการเติมหมู่ไฮดรอกซิล หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ได้สารออโท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) และถูกออกซิไดส์โดยปฏิกิริยา dehydroxylation เป็นสารออโท- ควิโนน (*o*-quinone) จากนั้นสารออโท-ควิโนนมีการเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาต่อไปกับสารประกอบฟีนอล กรดอะมิโนหรือสารอื่นๆ โดยอาศัยกระบวนการพอลีเมอไรเซชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Maillard reaction) เกิดเป็นสารสีน้ำตาลและมีโครงสร้างซับซ้อน (ประสาร, 2538) (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลโดยมีเอนไซม์ PPO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ที่มา: ประสาร, 2538)

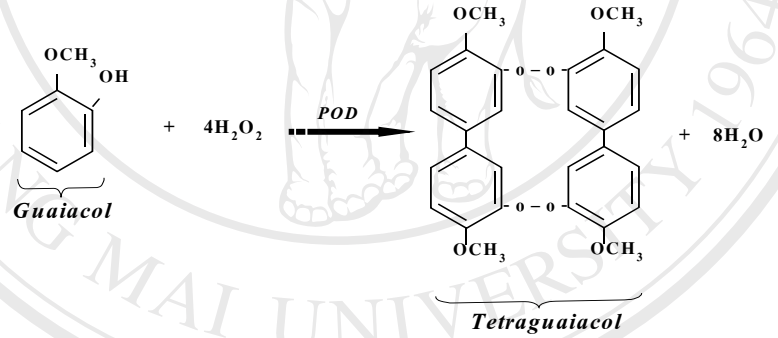
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสจะไม่ค่อยคงตัวต่อความร้อนและสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน นั่นคือประสิทธิภาพของเอนไซม์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและสามารถยับยั้งได้ด้วยกรดเฮไลด์ สารจับโลหะและสารรีดิวซ์ (ประสาร, 2538) เช่น สารจำพวก

ซัลไฟต์ แคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก เป็นต้น (Laurial *et al.,*1998) การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของสารดังกล่าวนั้น สารบางชนิดจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสโดยตรง แต่บางชนิดจะไปทำปฏิกิริยากับสับสเทรตทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลถูกยับยั้งลงได้ (Walker, 1996)

2.4.2 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสหรือออกซิโดรีดักเทส (E.C.1.11.1.7) เป็นเอนไซม์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม oxidoreductase ประกอบด้วย isoenzyme หลายชนิดที่เร่งปฏิกิริยาที่คล้ายคลึงกัน เช่น ในมะเขือเทศมี 13 isoenzyme (Marangoni *et al.,* 1989) และมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล สามารถออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (รูปที่ 2.6)

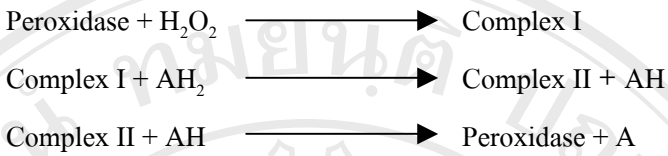


รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยา peroxidatic reaction ที่เร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ POD
(ที่มา: ปราณี, 2535)

เมื่อผลไม้สุกกิจกรรมของเอนไซม์นี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Selvaraj *et al*., 1989) เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของสี (off-color) และรสชาติ (off-flavor) ของผักหรือผลไม้ที่ไม่ผ่านการลวก (Robinson, 2000) และค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ คือ 5.5-7.5 (Lamikanra and Watson , 2001) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่มีความจำเพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและสารประกอบอะโรมาติกที่พบอยู่ในพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่างๆ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีความคงตัวต่อความร้อนจึงนำมาใช้เป็นตัวชี้บ่งการลวกที่เหมาะสม (index of blanching) (Reed, 1975)



รูปที่ 2.6 การเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส
(ที่มา: Buurnett, 1977)

2.5 การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อผลไม้

ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งของการแปรรูปผลไม้สดในปัจจุบัน คือ การเกิดสีน้ำตาลที่ชิ้นเนื้อผลไม้ และยังอาจส่งผลต่อการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติไปด้วย ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ เพื่อรักษาผลไม้สดพร้อมบริโภคให้คงคุณภาพดีและยืดระยะเวลาของการวางจำหน่าย จึงมีการศึกษาวิธียับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

2.5.1 การใช้ความร้อน

การใช้ความร้อนในการทำลายหรือยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาล ทำได้โดยการลวกด้วยไอน้ำหรือน้ำร้อน การให้ความร้อนแก่ผลไม้สดจะเป็นการทำลายเอนไซม์ในผลไม้ เนื่องจากเอนไซม์ คือโปรตีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง เช่น กิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสในเห็ดจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงมากกว่า 45 องศาเซลเซียส และไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสเลย ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (McCord and Kilara, 1983) และเมื่อลวกชิ้นเนื้อมะม่วงสุกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที กิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสถูกยับยั้งลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มเวลาให้นานขึ้นเป็น 5 นาที พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์นี้ถูกยับยั้งลงได้ 90 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลลดลง (Arogba, 2000) แต่ระดับความร้อนที่ใช้ควรเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย เนื่องจากความร้อนอาจทำลายเนื้อเยื่อของผลไม้ ทำให้สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัส สูญเสียน้ำและสารอาหารที่ละลายได้ในน้ำ และการลวกผลไม้ด้วยไอน้ำยังไม่เป็นที่นิยม เพราะจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติและเนื้อสัมผัสนิ่มลง โดยส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลไม้สด จะนิยมใช้สารรีดิวซิงเอเจนต์ (นิธิยา, 2544)

2.5.2 การใช้อุณหภูมิต่ำ

การใช้อุณหภูมิต่ำ มีผลทำให้อัตราความเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์ของผลไม้ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถลดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ จึงช่วยยืดระยะเวลาการเก็บรักษาของผลไม้สดได้ และชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ เช่น การเก็บรักษาเนื้อฝรั่งไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 13 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล และลดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ณภัศศรณ์, 2544) การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์ Langar ในสารละลายกรดซิตริกแล้วนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (Skrede, 1996) เนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานและคุณภาพด้านต่างๆ เช่น ชีวเคมี เคมีและกายภาพ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (Rattanapanone and Watada, 2000) และการลดอุณหภูมิลงจาก 10 องศาเซลเซียส จนเหลือ 0 องศาเซลเซียส สามารถลดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลงได้ครึ่งหนึ่งของปฏิกิริยาทั้งหมด ดังนั้นอุณหภูมิต่ำจึงสามารถช่วยชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดพร้อมบริโภคได้ (Wiley, 1994) แต่การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาพืชบางชนิดอาจทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว ซึ่งทำให้เกิดรอยแผลสีน้ำตาลหรือสีดำที่ผิวหรืออาจเป็นรอยบุ๋มลงไปเนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตาย (จริงแท้, 2541)

2.5.3 การใช้สารเคมี

การใช้สารเคมี เป็นวิธีชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่นิยมทำการศึกษากันมาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน สารเคมีที่นิยมใช้คือ สารประกอบซัลไฟต์ซึ่งเป็นสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ทั้งที่เร่งด้วยเอนไซม์และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แต่การใช้สารประกอบซัลไฟต์ได้ถูกจำกัดให้ใช้ได้กับอาหารบางประเภทเท่านั้น และในปริมาณที่จำกัดซึ่งกำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (Food and Drug Administration, 1986) เนื่องจากการบริโภคอาหารที่มีสารประกอบซัลไฟต์ อาจทำให้ผู้บริโภคบางคนเกิดอาการแพ้ที่รุนแรง ทำให้เกิดอาการหอบหืด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(ประสาร, 2538) และมีการประกาศห้ามใช้ในผักและผลไม้สดหลายชนิด (บุญส่ง, 2543) ทำให้มีการศึกษาค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารเคมีชนิดอื่นมาทดแทนสารจำพวกซัลไฟต์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริก เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งสารเคมีออกได้เป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สารที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acidulants) ทำให้ค่าพีเอชของสารละลายลดต่ำลง จะส่งผลให้เอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส มีกิจกรรมต่ำกว่าที่ optimum พีเอชของเอนไซม์ กิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้จึงลดลงได้ เช่น การลดค่าพีเอชในเนื้อเยื่อของพืชให้ต่ำลงกว่า 4.5 โดยการใช้กรดซิตริก เป็นต้น นอกจากนี้กรดซิตริกยังสามารถจับกับโลหะไอออนได้หลายชนิด เช่น จับกับโลหะทองแดง ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสและเหล็กในโมเลกุลของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสทำให้การทำงานของเอนไซม์ช้าลง และปฏิกิริยาของการเกิดสีน้ำตาลก็ลดลงด้วย (ศิวาพร, 2539)

กลุ่มที่ 2 สารรีดิวซิง (reducing agents) สารกลุ่มนี้มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอม ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง และลดปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลในผลไม้ได้ สารที่นิยมใช้ในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก และกลุ่มที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ซีสเตอีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย (Sapers, 1993)

กลุ่มที่ 3 สารจับโลหะ (chelating agents) จะช่วยทำหน้าที่ในการจับกับโลหะที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส คือทองแดงและเหล็ก ตามลำดับ ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดสลดลงได้ ตัวอย่างของสารที่ใช้ในกลุ่มนี้ เช่น ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) เป็นสารจับโลหะที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย (ศิวาพร, 2539)

กลุ่มที่ 4 complexing agents สารกลุ่มนี้จะมีสมบัติในการรวมตัวกันแล้วก่อให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นกับสารประกอบฟีนอล ได้แก่ cyclodextrin และ β-cyclodextrin จึงทำให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดได้น้อยลง (Billaud *et al.*, 1995)

กลุ่มที่ 5 enzyme inhibitors เป็นสารที่มีสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น 4-hexylresorcinol เป็นต้น มีชื่อทางการค้าว่า EverfreshTm (McEvily *et al*., 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มที่ 6 สารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่นๆ ได้แก่ aromatic carboxylic acids น้ำผึ้ง และแคลเซียมคลอไรด์ (Garcia and Barrett, 2002)

สารเคมีต่างๆที่ได้กล่าวข้างต้นแต่ละกลุ่มจะมีสมบัติและประสิทธิภาพแตกต่างกันไป การเลือกใช้สารเคมีแต่ละชนิดจะต้องเหมาะสมกับชนิดของผักและผลไม้ด้วย ซึ่งในการใช้สารเคมียับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยมากจะมีการใช้ในรูปเดี่ยวหรือใช้สารหลายชนิดร่วมกันเพื่อช่วยเสริมประสิทธิภาพของการทำงานให้ดียิ่งขึ้น เช่น การจุ่มเนื้อแอปเปิลในสารละลายผสมระหว่างแคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกจะสามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ได้ (Ponting *et al.,* 1972)

ในการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภค ส่วนใหญ่จะใช้สารเคมีประเภทซัลไฟต์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและการเน่าเสียได้ดี แต่สารประกอบซัลไฟต์ทำให้ผู้บริโภคบางคนแพ้และเป็นอันตรายได้ เมื่อใช้ในปริมาณมาก ทำให้มีการประกาศห้ามใช้ในผักและผลไม้สดหลายชนิด (บุญส่ง, 2543) จึงได้มีการใช้สารเคมีชนิดอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคแทนสารเคมีจำพวกซัลไฟต์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริก เป็นต้น เพราะแคลเซียมคลอไรด์สามารถจับกับโลหะไอออนได้หลายชนิด จึงช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ เป็นต้น (Conway *et al.,* 1994) ในปัจจุบันนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์สำหรับช่วยป้องกันการเสื่อมเสียทางด้านเนื้อสัมผัสของผลไม้ แต่ได้มีงานวิจัยเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของสารละลายชนิดนี้ คือ มีประสิทธิภาพในการช่วยลดหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ด้วย (Drake and Spayd, 1983)

การใช้แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริกกับผลไม้สดพร้อมบริโภค เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Chen *et al.,* 2000) โดยทั่วไประดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกที่นิยมใช้คือ 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผลไม้สดได้เช่นกัน และระดับความเข้มข้นที่นิยมใช้กัน คือ 2-4 เปอร์เซ็นต์ (McEvily *et al*., 1992) และถ้าลดพีเอชในผลไม้ให้เหลือ 2.5-2.7 จะสามารถป้องกันหรือยับยั้งปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดสได้ (Marshall, 2004) การใช้สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสได้ 30 เปอร์เซ็นต์ (Vamos-Vigyazo, 1995) และการใช้สารละลายกรดซิตริกล้างผลไม้สดพร้อมบริโภค สามารถลดปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์ ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์และช่วยยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1-0.2 เปอร์เซ็นต์ (Ahvenainen, 2000) นอกจากนี้ พบว่าการล้างเห็ด *Agaricus bisporus* ด้วยกรดซิตริก สามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ (McCrod and Kilara, 1983) ผลลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi เมื่อแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0. 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกได้ โดยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสลงได้ 80 – 85 เปอร์เซ็นต์ (Jiang and Fu, 1998) ส่วนการใช้กรดซิตริกพ่นผลไม้ตระกูลส้มและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดค่าพีเอชที่ผิวผลส้ม ลดการเกิดสีน้ำตาลและการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผิวผลส้มได้ (Pao and Petracek, 1996)

การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ และช่วยรักษาความแน่นเนื้อของผลไม้สดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ ได้ เช่น ผลไม้สดพร้อมบริโภค (Pizzocaro *et al.,* 1993) และการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์กับผลแอพริคอตและลูกท้อก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง พบว่าป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดี (ศิวาพร, 2539) และการนำผลมะม่วงพันธุ์ Manila และ Tommy Atkins มาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน แล้วย้ายผลมะม่วงมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลมะม่วงสุก พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วงได้ (Corrales and Lakshminarayana, 1993) และเมื่อนำเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นสดพร้อมบริโภคมาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และบรรจุในภาชนะบรรจุที่ดัดแปลงบรรยากาศ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 5 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในสภาพที่คุณภาพของชิ้นเนื้อมะม่วงยังดีอยู่และลดการเกิดสีน้ำตาลได้ (Trindade *et al.,* 2003) ส่วนผลสตรอเบอรี่ที่จุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดี (Garcia *et al.,* 1996) และพบว่าการนำชิ้นเนื้อสาลี่มาจุ่มในสารละลายกรดซิตริกหรือกรดแอสคอร์บิกไม่มีผลในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ แต่เมื่อนำมาจุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์และนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ จะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ และการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แช่ผลสาลี่หั่นชิ้นและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ พบว่าสามารถป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ได้ (Rosen and Kader, 1989)

การใช้สารละลายกรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ชนิดอื่นๆจะช่วยในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงได้เช่นกัน เช่น การใช้กรดซิตริกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ ซึ่งกรดซิตริกจะทำให้ค่าพีเอชลดลงเหลือ 3 จึงสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในผลไม้ระหว่างการเก็บรักษาได้ (Kim *et al.,* 1993) การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับกรดแอสคอร์บิกจะช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสได้ 90-100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์อย่างเดียวพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสเพิ่มขึ้น (Dorantes-Alvaerz and Chiralt, 2000) นอกจากนี้การนำเนื้อแอปเปิลมาจุ่มในสารละลายผสมระหว่างแคลเซียมคลอไรด์และกรดแอสคอร์บิค พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (King and Bolin, 1989) และเมื่อนำเนื้อแอปเปิลหั่นเป็นชิ้นบางๆ มาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.25-0.50 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับสารเคมีที่ใช้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่นๆ เช่น กรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก จะให้ผลดีต่อสีและความแน่นเนื้อของเนื้อแอปเปิลได้ (Lee and smith, 1995) และการจุ่มหัวพาร์สนิพ (parsnip) ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริก หรือกรดแอสคอร์บิก หรือจุ่มในสารละลายทั้ง 3 ชนิดผสมรวมกัน สามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (Rosen and Kader, 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved