บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปของมะม่วง

มะม่วงเป็นพืชใบเลี้ยงคู่จัดอยู่ในตระกูล *Anacardiaceae* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. มะม่วงเป็นไม้ผลยืนต้น ลำต้นตรง สูง 5–12 เมตร ใบหนา ผิวใบด้านบนเรียบเป็นมัน มีสีเขียวเข้ม ด้านล่างไม่เป็นมัน สีอ่อนกว่าด้านบน ใบอ่อนมีสีม่วงอ่อนถึงม่วงเข้ม ออกดอกเป็นช่อห้อยที่ปลายกิ่งเป็นช่อใหญ่ ดอกย่อยมีขนาดเล็ก ลักษณะเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีสีขาว ดอกขนาดเล็กๆ มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ผลมะม่วงเป็นชนิดผลเดี่ยว ขนาดกว้าง 5-6 เซนติเมตร ยาว 8–10 เซนติเมตร เมื่อผลแก่มีสีเขียว เมื่อผลสุกมีสีเหลือง ผิวเรียบเป็นมัน รสหวาน และรสหวานอมเปรี้ยว ขนาดของผลและรสชาติผันแปรตามสายพันธุ์ เมล็ดมีลักษณะแบนรี สีน้ำตาลเปลือกหุ้มเมล็ดค่อนข้างหนาและเหนียว ผิวขรุขระ เนื้อในเมล็ดสีขาว ลักษณะของผลเมล็ด และขนาดรูปร่างลักษณะต่างๆ ขึ้นอยู่กับแต่ละพันธุ์ ส่วนการขยายพันธุ์ใช้วิธีการเพาะเมล็ด การตอนกิ่ง และการติดตา (http://www.nstrc.rit.ac.th/site_herb/page_Mamuang.htm)

ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงทั้งหมดประมาณ 2 ล้านไร่ แต่เดิมเกษตรกรขยายพันธุ์มะม่วงโดยการเพาะเมล็ดจึงก่อให้เกิดความหลากหลายของสายพันธุ์ มีการกระจายของสายพันธุ์ที่แตกต่างไปจากต้นแม่ พันธุ์มะม่วงที่สำรวจพบในประเทศไทยมีประมาณ 151 สายพันธุ์ บางสายพันธุ์มีลักษณะคล้ายกัน บางสายพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกัน และอาจมีชื่อเรียกหลายชื่อแตกต่างกันตามสภาพภูมิประเทศที่เป็นแหล่งปลูก (ศิวพร, 2539)

มะม่วงในประเทศไทยสามารถจำแนกชนิดตามการนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ (วิจิตร, 2536)

1. มะม่วงบริโภคผลดิบหรือมะม่วงดิบ ผลมะม่วงในช่วงดิบส่วนเนื้อจะมีรสมัน หวานอมเปรี้ยวเมื่อแก่จัด แต่ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์มะม่วงที่พบในประเทศไทยเท่านั้น จึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก และไม่เป็นที่นิยมของชาวต่างชาติด้วย พันธุ์ของมะม่วงกลุ่มนี้ได้แก่ เขียวเสวย แรด ศาลายา และฟ้าลั่น เป็นต้น
2. มะม่วงบริโภคผลสุก ผลมะม่วงส่วนใหญ่ในช่วงที่ยังไม่สุกจะมีรสเปรี้ยว แต่เมื่อผลสุกจะรสหวานหอม บางพันธุ์เมื่อผลสุกมีรสหวานอมเปรี้ยว ซึ่งเป็นผลมะม่วงที่มีศักยภาพใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ พันธุ์มะม่วงกลุ่มนี้ได้แก่ น้ำดอกไม้ แก้ว โชคอนันต์ ทองคำ และอกร่อง เป็นต้น

3. มะม่วงสำหรับแปรรูป เป็นผลมะม่วงที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดด้วยกัน เช่น น้ำมะม่วง ไวน์มะม่วง แยมมะม่วง และมะม่วงกวน เป็นต้น พันธุ์มะม่วงที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นมะม่วงกลุ่มที่บริโภคผลสุก เช่น อกร่อง และแก้ว เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อผลมะม่วงสุกแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อผลมะม่วงสุก 100 กรัม (Morton J, 1987)

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี่) (กิโลกรัม)	62.1-63.7
ความชื้น (%)	78.9-82.8
โปรตีน (%)	0.36-0.40
ไขมัน (%)	0.30-0.53
คาร์โบไฮเดรต (%)	16.20-17.18
เส้นใย (%)	0.85-1.06
เถ้า (%)	0.34-0.52
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	6.1-12.8
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	5.5-17.9
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.20-0.63
วิตามิน (แคโรทีน) (มิลลิกรัม)	0.135-1.872
ไทอะมิน (มิลลิกรัม)	0.020-0.073
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.025-0.068
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.025-0.707
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม)	7.8-172.0
ทริฟโตเฟน (มิลลิกรัม)	3-6
เมไทโอนีน (มิลลิกรัม)	4
ไลซีน (มิลลิกรัม)	32-37

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์

มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์มีลักษณะทรงพุ่ม ต้นขนาดปานกลาง ลักษณะเปลือกลำต้นจะเรียบ รูปร่างของใบป้อมกลางใบ (elliptical) ปลายใบขอบเรียว ฐานใบแหลม ขอบใบเป็นคลื่น (undulate) ทรงผลรูปไข่กลับ (obviate) รูปหน้าตัดทรงผลตามขวางป้อมรี ความลึกของฐานผลตื้น มีจุกทรงตรงไหล่ด้านท้องผลกลมกว้าง ไม่มีร่องฐานผล มีรอยเว้าด้านท้องผล ไม่มีนอไหล่ขวาของทรงผล และไม่มีจะงอย (beak) (http://www.disc.go.th/mango/detail.php?p_id = 47)

มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์จะออกดอกมาก ติดผลปานกลาง ผลผลิตต่อต้นเมื่ออายุ 10 ปี ประมาณ 400 ผล อายุการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงประมาณ 110–120 วัน ทั้งในฤดูกาลและนอกฤดูกาล ค่าเฉลี่ยความยาวผล 11.12 เซนติเมตร ความกว้างผล 6.25 เซนติเมตร ความหนาผล 5.39 เซนติเมตร น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 209 กรัม ความหนาเปลือก 0.01 เซนติเมตร สีเปลือกผลดิบ YGG 144 A สีเนื้อผลดิบ YO 22 A กลิ่นของเนื้อมีกลิ่นอ่อน ความหนาเนื้อ 2.95 เซนติเมตร ปริมาณเส้นใยในเนื้อปานกลาง ปริมาณน้ำในเนื้อมีมาก ผลดิบมีรสชาติเปรี้ยว สีเปลือกผลสุก YO 21 C ผลสุกมีรสชาติหวาน ความหวานเนื้อ 20 องศาบริกซ์ ความกว้างของเมล็ด 3.35 เซนติเมตร ความยาวของเมล็ด 8.94 เซนติเมตร ความหนาของเมล็ด 1.93 เซนติเมตร น้ำหนักของเมล็ด 29 กรัม (http://www.disc.doa.go.th/mango/detail.php?p_id=47) มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และสามารถผลิตนอกฤดูได้ดี (กาญจนา, 2543) อายุการเก็บเกี่ยวผลอยู่ระหว่าง 110–120 วัน นับจากวันดอกบานเต็มที่ สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศ (ศิวพร, 2539)

2.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงเพื่อการส่งออก (http://www.doa.go.th/mango/)

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ ในการส่งออกผลมะม่วงไปต่างประเทศนั้นจำเป็นต้องมีการคัดขนาดและคุณภาพให้ได้มาตรฐานตามความต้องการของผู้บริโภคด้วย ความสุกแก่ของผลมะม่วงมีความสำคัญมากต่อคุณภาพ อายุการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ พันธุ์มะม่วงที่สำคัญเพื่อการส่งออกในปัจจุบันคือ พันธุ์น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ แรด และหนังกลางวัน เป็นต้น โดยเฉพาะมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ซึ่งมีการส่งออกมากที่สุด อาจเนื่องมาจากรสชาติดีเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ ประเทศญี่ปุ่นได้อนุญาตให้นำเข้าผลมะม่วงสดได้โดยผ่านกระบวนการอบไอน้ำ (vapour heat treatment) และมีอายุการเก็บเกี่ยว ประมาณ 112 วัน ซึ่งมีลักษณะตามดัชนีการเน่าและสุก ตามระยะต่างๆ ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะแก่จัดสีเขียว

เนื้อผลแน่นและแข็ง ผิวมีสีเขียวอ่อน ผลที่แก่จัดจะมีสารพวกขี้ผึ้ง เรียกว่า นวล ปกคลุมอยู่ทั่วทั้งผลมะม่วง เพื่อให้ผลมะม่วงมีคุณภาพดี เก็บเกี่ยวผลมะม่วงเมื่อเริ่มปรากฏสีเหลืองบริเวณไหล่ ผลมะม่วงส่วนใหญ่มีผิวที่ค่อนข้างบอบบาง ดังนั้นการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง จึงควรระมัดระวังอย่างยิ่งที่จะไม่ให้เกิดรอยแผล การเปื้อนของยาง และความเสียหายที่เกิดจากการกระทบกระแทกมากจนเกินไป

ระยะเริ่มเปลี่ยนสี

เนื้อผลมะม่วงเริ่มอ่อนตัวเมื่อใช้นิ้วกดจะรู้สึกว่ามีการยุบตัวลง สีผิวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพียงเล็กน้อย

ระยะสุกหนึ่งในสี่

ผิวมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง สีเขียวที่เป็นสีพื้นเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน เนื้อผลนิ่มและเริ่มอ่อนแอต่อความเสียหายที่เกิดจากแรงกดและแรงสั่นสะเทือน เป็นระยะที่พร้อมจะขนส่งเพื่อการจำหน่าย

ระยะสุกหนึ่งในสอง

ผิวประมาณครึ่งหนึ่งหรือมากกว่าครึ่งเล็กน้อยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยมีสีพื้นเป็นสีเขียวอ่อนอมสีเหลือง เนื้อของผลมะม่วงจะนิ่ม เป็นระยะที่เกือบจะบริโภคได้

ระยะสุกสามในสี่

ผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเกือบทั่วทั้งผลมะม่วง แต่ยังมีสีเขียวเหลืออยู่ ผิวนิ่มเมื่อวางตามแนวนอน ผิวจะแบนตามภาชนะที่รองรับ เนื่องจากมีน้ำหนักของผลมะม่วงกดทับอยู่ เมื่อผลมะม่วงเริ่มมีกลิ่นหอมเล็กน้อยแสดงว่าเข้าระยะที่บริโภคได้

ระยะสุกเต็มที่

ผิวสีเหลืองปนส้ม หากบริโภคในระยะนี้จะได้รสชาติดีที่สุด กรณีที่ต้องการกำจัดแมลงวันผลไม้โดยเฉพาะจะใช้วิธีอบผลมะม่วงด้วยไอน้ำ (vapour heat treatment) จนกระทั่งเนื้อส่วนที่ติดเมล็ดมีอุณหภูมิ 46.5 องศาเซลเซียส ควบคุมนาน 10 นาที ปล่อยให้เย็นแล้วค่อยบรรจุหีบห่อ ซึ่งกรรมวิธีนี้ไม่มีผลต่อระยะการแก่และสุกของผลมะม่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 ระยะการแก่และสุกของผลมะม่วง

มะม่วงจัดเป็นผลไม้ที่มีกระบวนการสุก ซึ่งในระหว่างกระบวนการสุกมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และทางสรีรวิทยา รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงหลังจากเจริญเต็มที่แล้ว โดยการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ได้แก่ อัตราการ

หายใจ อัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน สี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส (สมบุญ, 2538) มะม่วงจึงเป็นผลไม้ที่ไม่นิยมปล่อยให้สุกบนต้น เนื่องจากปัญหาทางเศรษฐกิจ และมะม่วงที่สุกบนต้นจะมีรสชาติ กลิ่น และคุณภาพต่ำกว่าผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวขณะแก่จัดแล้วบ่มให้สุกในภายหลัง นอกจากนั้น การเก็บเกี่ยวผลมะม่วงขณะผลสุกหรือผลเริ่มสุก จะช้ำและเสียหายได้ง่าย และมีอายุการเก็บรักษาสั้นด้วย ผลมะม่วงที่แก่จัดจะใช้เวลาประมาณ 1–2 สัปดาห์ จะเริ่มสุกและบริโภคได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการบ่มผลมะม่วงให้สุกประมาณ 30$\pm$5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85% อย่างไรก็ตาม ผลมะม่วงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส จะสุกไม่เหมือนปกติ และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ได้ (นิธิยาและดนัย, 2533)

2.5 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางกายภาพระหว่างการสุกของผลมะม่วง

ระหว่างที่ผลมะม่วงสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในผลมะม่วง การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญต่างๆ มีดังนี้

2.5.1 สี การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลมะม่วงในระหว่างการสุกที่เห็นได้ชัดเจน โดยผลมะม่วงที่อยู่ในระดับแก่จัดเมื่อเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองรวมทั้งสีเนื้อด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์และอาจมีการสร้างแคโรทีนอยด์ซึ่งมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เปลือกของผลมะม่วงเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลือง (ศิวพร, 2539) ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อผลมะม่วงเข้าสู่ระยะการสุกสีเปลือกของผลมะม่วงจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองเข้ม ส่วนสีเนื้อของผลมะม่วงจะเปลี่ยนจากสีขาวไปเป็นสีเหลืองขุ่น (สายชลและสุนทร, 2535)

2.5.2 ความแน่นเนื้อ การอ่อนนิ่มของผลมะม่วงในระหว่างการสุกอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุ 2 ประการ คือ มีการสูญเสียน้ำออกจากผลมะม่วงผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ทำผลมะม่วงเกิดอาการเหี่ยวและอ่อนนิ่ม โดยพบว่า เมื่อผลมะม่วงเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่า 5-10% ผลมะม่วงจะเกิดอาการเหี่ยวทำให้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงลดลง (ทวี, 2533) ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการอ่อนนิ่มคือ การเสื่อมสภาพของผนังเซลล์จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น cellulase, glucosidase, mannosidase, α-D-galactosidase, β-D-galactosidase และ xylase ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ในระหว่างการสุกของผลมะม่วง โดยมีผลทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในขณะผลมะม่วงดิบหลุดแยกออกจากกันเมื่อผลมะม่วงสุก โดยเอนไซม์ที่สำคัญที่มักพบในผลไม้ทั่วไปที่ทำให้เกิดการอ่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นิ่มมี 2 ชนิดคือ เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส และเอนไซม์โพลีกาแลกทูโรเนส โดยเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของผนังเซลล์โดยเฉพาะสารประกอบเพกทิน (pectin compounds) ซึ่งเปลี่ยนรูปจากโพรโตเพกทิน (protopectin) ซึ่งไม่ละลายน้ำไปอยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ในระหว่างการสุกของผลมะม่วง (Brett and Waldron, 1990)

2.6 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีระหว่างการสุกของผลมะม่วง (นิธิยาและดนัย, 2533)

ระหว่างที่ผลมะม่วงสุกจะมีเมแทบอลิซึมต่างๆ เกิดขึ้นหลายอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตและกรดอินทรีย์ให้เป็นน้ำตาล ทำให้ได้อัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดที่เหมาะสม มีการเปลี่ยนแปลงสีผิว มีกลิ่นหอม เนื้อนิ่มและรสหวานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมีในผลมะม่วง การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญมีดังนี้

2.6.1 คาร์โบไฮเดรต ในระหว่างการสุกของผลมะม่วงจะมีการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลอย่างรวดเร็วทำให้มีการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ร่วมด้วย ในผลมะม่วงดิบที่แก่จัดจะมีปริมาณของแข็งสูงโดยเฉพาะผลมะม่วงที่มีปริมาณกรดต่ำ เมื่อผลมะม่วงสุก สตาร์ชจะสลายตัวกลายเป็นน้ำตาลทำให้ผลมะม่วงสุกมีรสหวาน ในผลมะม่วงดิบน้ำตาลส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลรีดิวซิงคือ กลูโคส และฟรุกโทส แต่ในผลมะม่วงสุกจะมีน้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นน้ำตาลนอนรีดิวซิง และยังพบว่ามีน้ำตาลอะราบิโนสด้วย ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงในผลมะม่วงสุกมีประมาณ 3–4% และมีน้ำตาลซูโครสประมาณ 12%

2.6.2 กรดอินทรีย์ ปริมาณกรดทั้งหมดในผลมะม่วงจะอยู่ในรูปของกรดซิตริกหรือกรดมาลิก สำหรับในผลมะม่วงดิบมีปริมาณกรดทั้งหมดประมาณ 4–5% และลดลงเหลือ 0.5–1.0% ในผลมะม่วงสุก การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของกรดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์

2.6.3. โปรตีนและกรดอะมิโน มะม่วงส่วนใหญ่มีโปรตีนประมาณ 0.5-1.0% นอกจากนั้นมีพวกกรดอะมิโนอิสระ เช่น กรดกลูตามิก กรดแอสปาติก อะลานีน ไกลซีน ซีรีน ในระหว่างการสุกของผลมะม่วง ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ก็ตาม แต่ไม่พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของโปรตีน

2.6.4 รงควัตถุ ผลไม้ส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนสี จากสีเขียวเป็นสีอื่นๆ ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ให้ทราบว่าผลไม้ชนิดนั้นสุก การปรากฏของสีที่ถูกต้องเมื่อผลไม้สุกนั้น เป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้บริโภค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จะตัดสินใจซื้อผลไม้ชนิดนั้นๆ สำหรับผลมะม่วงขณะสุกสีเขียวของคลอโรฟีลล์ที่เปลือกจะหายไป และมีสีเหลืองเกิดขึ้น สีเหลืองที่ผิวของผลมะม่วงคือ รงควัตถุแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีทั้งแอลฟ่า และเบต้า-แคโรทีน

2.6.5 สารประกอบแทนนิน ในผลมะม่วงดิบพันธุ์ฟลอริด้า มีแทนนิน ประมาณ 31–76 มิลลิกรัม และในผลมะม่วงสุกมีประมาณ 31–75 มิลลิกรัม ในเปลือกมีประมาณ 105 มิลลิกรัม และในเนื้อผลมะม่วงมีประมาณ 160 มิลลิกรัม

2.6.6 สารประกอบเพกทิน ผลมะม่วงดิบมีความแน่นเนื้อมากกว่าผลมะม่วงสุก เพราะว่าระหว่างกระบวนการสุก จะมีเอนไซม์มาย่อยสลายสารประกอบเพกทิน เช่น เอนไซม์เพกทินเมทิล-เอสเทอเรส และโพลีกาแลกทูโรเนสในมะม่วงดิบมีกิจกรรมต่ำมาก และเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลมะม่วงเริ่มสุก ซึ่งมีผลทำให้ความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วในระหว่างกระบวนการสุก

2.7 **การเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยา** (นิธิยาและดนัย, 2533)

ผลมะม่วงส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวในระยะแก่จัด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว จึงเกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกและการเสื่อมสลาย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวยังมีผลต่อการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวด้วย กระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงจะมีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพของผลมะม่วง ดังนั้นบางกรณีอาจจะต้องควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วยกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังนี้

2.7.1 **การคายน้ำ**

ผลมะม่วงจะสูญเสียน้ำผ่านทางปากใบ รูเปิดธรรมชาติที่ผิว (lenticel) และรูเปิดธรรมชาติอื่นๆ กระบวนการคายน้ำเกิดขึ้นได้เพราะมีแรงขับเคลื่อน (driving force) จากความแตกต่างของความดันไอระหว่างภายในผลมะม่วงกับสภาพแวดล้อมภายนอก เนื่องจากความดันไอของน้ำจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การสูญเสียน้ำมากๆ จะทำให้เกิดลักษณะเหี่ยว และอาจทำให้ผลมะม่วงสุกผิดปกติไม่สม่ำเสมอ เมื่อสุกแล้วสีไม่สวย และรสชาติไม่ดีด้วย เป็นต้น

2.7.2 **การหายใจ**

มะม่วงเป็นผลไม้ชนิดบ่มสุก (climacteric fruit) เมื่อผลมะม่วงเริ่มสุกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น หรือมี climacteric peak เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 อัตราการหายใจสูงสุดจะเกิดขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวประมาณ 2–5 วัน ขณะที่ผลมะม่วงเริ่มจะเปลี่ยนสีและสุกเต็มที่หลังจาก 9 วัน ซึ่งในช่วงนี้อัตราการหายใจจะลดลง รูปแบบของอัตราการหายใจ ระหว่างการสุกของผลไม้ชนิดบ่มสุก แบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ระยะ pre-climacteric peak ใช้เวลาประมาณ 3 วัน หลังเก็บเกี่ยว ผลมะม่วงยังมีลักษณะเขียว เนื้อแข็ง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมายังมีอัตราที่ต่ำ

2. climacteric rise ระยะเวลายืดออกไปประมาณ 6 วัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาเริ่มเพิ่มขึ้น ผลมะม่วงยังเขียว และเนื้อแข็ง

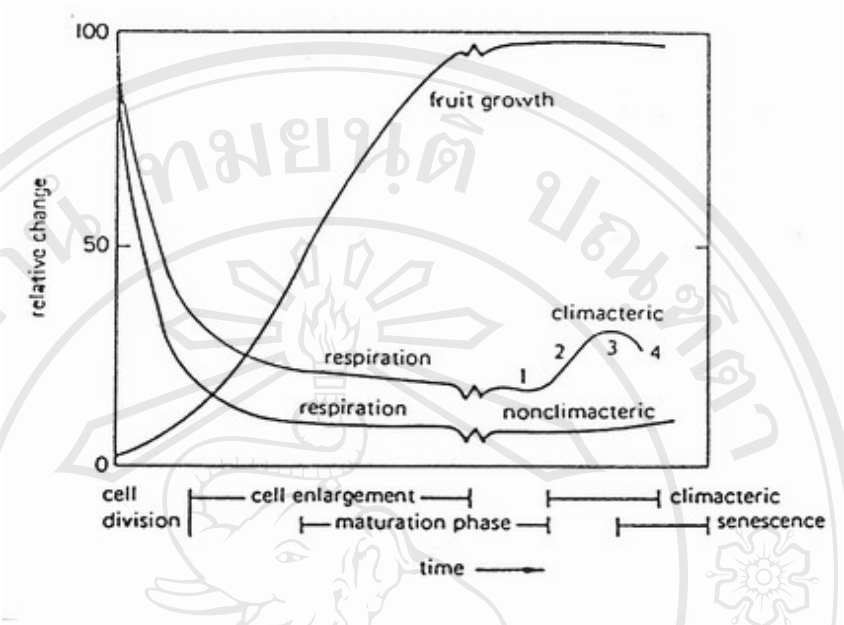
3. climacteric peak เกิดขึ้นระหว่างวันที่ 6–10 ภายหลังการเก็บเกี่ยว มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ปล่อยออกมาสูงสุด ผลมะม่วงเริ่มมีการเปลี่ยนสี (break color) เริ่มอ่อนตัว และมีกลิ่นหอม

4. post–climacteric peak คือ ระยะช่วง 10–14 วัน ภายหลังการเก็บเกี่ยว ระยะนี้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจะเริ่มลดลง ผลมะม่วงเปลี่ยนสี และมีกลิ่นหอม เนื้ออ่อนนุ่ม และอยู่ในสภาพสุกเหมาะสำหรับการบริโภค หลังจากนั้น ผลมะม่วงจะเข้าสู่ระยะเสื่อมสลาย พร้อมที่จะเกิดการเน่าเสียโดยอาศัยจุลินทรีย์ต่างๆ ทำให้เกิดการสลายตัวของเนื้อเยื่อ และการตายของเซลล์ภายในเนื้อมะม่วง

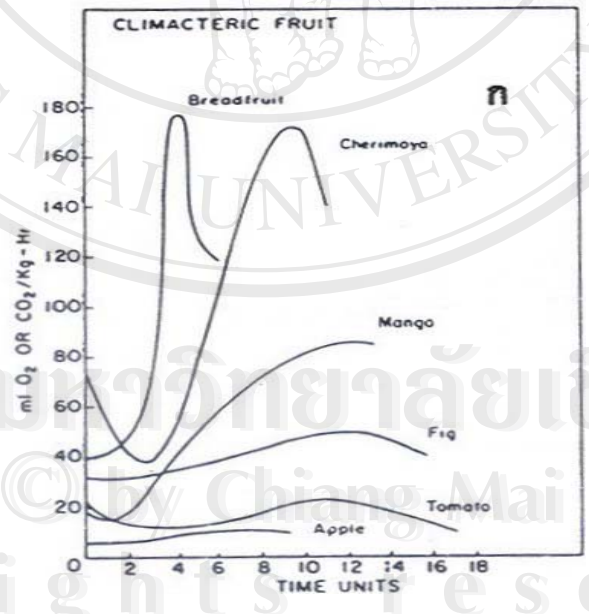
ดังนั้นผลไม้ประเภท climacteric จึงสามารถเก็บเกี่ยวผลในระยะแก่จัดจึงนำมาบ่มให้สุกได้ในภายหลัง เช่นเดียวกับ มะม่วง มะเขือเทศ ละมุด กล้วย และทุเรียน เป็นต้น (จริงแท้, 2544) ในบางกรณี ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยานี้ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์กับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เช่น เมื่อจะเก็บเกี่ยวผลมะม่วงพันธุ์มหาชนก ผลมะม่วงควรมีอัตราการหายใจต่ำกว่าหรือเท่ากับ 85.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/ชั่วโมง (สรรพมงคล, 2545)

ส่วนผลไม้ประเภท non-climacteric คือ ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกพร้อมบริโภค ขณะที่ผลแก่จัดอัตราการหายใจจะลดต่ำลง และหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วระหว่างกระบวนการสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นน้อยมาก อัตราการหายใจจะค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงระยะเสื่อมสลาย รสชาติจะคงที่ อายุการเก็บรักษาจะผันแปรตามชนิดของผลไม้ ถ้าหากเก็บเกี่ยวผลในระยะที่ยังไม่แก่จัดเต็มที่จะทำให้ได้ผลที่มีรสชาติเหมือนเดิมตลอด ดังนั้นจึงต้องเก็บเกี่ยวผลไม้ประเภทนี้ตอนที่ผลสุกพร้อมบริโภค เช่น ส้ม สับปะรด มะนาว เงาะ ลำไย ลิ้นจี่ และแตงกวา เป็นต้น (Kays, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงของการเจริญเติบโตระยะต่างๆ (จริงแท้, 2544)



รูปที่ 2.2 อัตราการหายใจของผลไม้ชนิดต่างๆ ของประเภท climacteric (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.3 การสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน

เอทิลีนเป็น fruit–ripening hormone หน้าที่และกลไกการทำงานของเอทิลีน ในการทำให้ผลไม้สุก เกิดจากมีการสะสมของเอทิลีนภายในผลไม้เพิ่มสูงขึ้นจนมากพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการหายใจ และกระบวนการสุกอื่นๆ ได้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของการสร้างเอทิลีนไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นก่อนการเพิ่มขึ้นของการหายใจ (จริงแท้, 2544) แต่ในผลมะม่วงจะสังเคราะห์ เอทิลีนเพิ่มขึ้นหลังจากที่อัตราการหายใจถึงจุดสูงสุด (climacteric peak) และมะม่วงที่แก่ไม่จัดจะสังเคราะห์เอทิลีนได้มากกว่ามะม่วงที่แก่จัด (นิธิยาและดนัย, 2533)

2.8 การเก็บรักษามะม่วง

2.8.1 การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ (low temperature storage)

การยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงโดยใช้อุณหภูมิต่ำ จะทำให้อัตราการหายใจลดลง กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ของผลมะม่วงลดลง มีอัตราการสุกช้าลง มีผลทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลมะม่วงจะเก็บรักษาได้นานหรือไม่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ระยะความแก่ วิธีการเก็บรักษาที่ใช้ วิธีการบรรจุ วัสดุที่ใช้ในการบรรจุและระยะเวลาที่เก็บรักษา อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลมะม่วงประมาณ 12.7 องศาเซลเซียส (55 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งจะเก็บได้นาน 2–3 สัปดาห์ หากเก็บไว้นานจะเกิด softening ระหว่างการเก็บรักษา และที่อุณหภูมิใดจะเหมาะสมยังขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะความแก่ด้วย (นิธิยาและดนัย, 2533)

เจือจันทร์ (2541) ได้ศึกษาการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 8 องศา-เซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 20 และ 10 วัน ตามลำดับ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ทำให้ผลมะม่วงไม่สุกซึ่งเป็นผลจากเกิดอาการสะท้านหนาว และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และทางเคมีของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ได้แก่ ความแน่นเนื้อ สีเปลือกและสีเนื้อ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และอัตราการหายใจ มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เกิดการสุกตามปกติ มีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อลดลง สีเปลือกและสีเนื้อเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลง และมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณ total nonstructural carbohydrate และอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างจากผลปกติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รัชดาพร (2546) ได้รายงานว่า ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เคลือบผิวโดยการจุ่มในสารละลาย Stafresh ความเข้มข้น 5%, 10% และ 15% เป็นเวลา 5 นาที หรือจุ่มในซูโครสเอสเทอร์ของกรดไขมัน (sucrose fatty acid ester) ที่ระดับความเข้มข้น 0.5%, 1.0% และ 1.5% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% ผลการทดลองพบว่า การเคลือบผิวด้วย Stafresh สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว 5 วัน และสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและสีเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณก๊าซภายในผลมะม่วง อย่างไรก็ตาม ไม่พบผลของความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารเคลือบผิว แต่การเคลือบผิวด้วย Stafresh 5% สามารถรักษาคุณภาพของผลมะม่วงได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นอื่น การเคลือบผิวด้วยซูโครสเอสเทอร์ของกรดไขมัน สามารถรักษาคุณภาพของผลมะม่วงได้ โดยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณก๊าซภายในผลิตผลได้ แต่ไม่มีผลต่อปัจจัยอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ทั้งนี้การใช้ซูโครสเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่ความเข้มข้นสูงสามารถชะลอการสุก คงคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาได้

สุกันยา (2539) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิสูงต่อผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยให้ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ได้รับอุณหภูมิ 34 และ 38 องศาเซลเซียส (ความชื้น-สัมพัทธ์ 65% และ 60% ตามลำดับ) นาน 3, 4 และ 5 วัน และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 10 (ความชื้นสัมพัทธ์ 98% และ 96% ตามลำดับ) นาน 3 สัปดาห์ แล้วนำมาวางให้สุกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ 75%) พบว่า ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวที่ผิวของผลมะม่วง ขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศา-เซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวที่เนื้อผลติด endocarp และอาการสะท้านหนาวเกิดรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และวางไว้ให้สุกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลมะม่วงที่ได้รับอุณหภูมิสูงสุกเร็วกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้รับอุณหภูมิสูงทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการเก็บรักษา

2.8.2 การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere storage; CA- storage)

การเก็บรักษาผลมะม่วงโดยการควบคุมบรรยากาศ หรือการควบคุมบรรยากาศร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำ ที่มีผลทำให้อัตราการหายใจ เมแทบอลิซึม และการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีนลดลง และลด sensitivity ของผลมะม่วงต่อ ethylene action ด้วย การเก็บรักษาผลมะม่วงด้วยการควบคุมบรรยากาศ โดยทั่วไปมักมีการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้นและลดปริมาณก๊าซออกซิเจนให้น้อยลง และใช้ควบคู่กับการลดอุณหภูมิ (นิธิยาและดนัย, 2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณวุฒิ (2540) ได้ศึกษาผลของการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยและพันธุ์น้ำดอกไม้ในสภาพควบคุมบรรยากาศ โดยนำผลมะม่วงมาผ่านการแช่ในสารละลายเบนโนมิล ความเข้มข้น 1000 ส่วนต่อล้านส่วน อุณหภูมิ 52–55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้พลาสติกขนาด 100 ลิตร ที่มีการปรับสภาพบรรยากาศให้แตกต่างกัน จำนวน 7 ตู้ ซึ่งมีปริมาณของก๊าซดังนี้ ตู้ที่ 1 O_2 3-5% และ CO_2 3-5%, ตู้ที่ 2 O_2 3-5% และ CO_2 7-9%, ตู้ที่ 3 O_2 3-5% และ CO_2 11-13%, ตู้ที่ 4 O_2 7-9% เป็นอากาศปกติ และ CO_2 3-5%, ตู้ที่ 5 O_2 7-9% และ CO_2 7-9%, ตู้ที่ 6 O_2 7-9% และ CO_2 11-13% สำหรับตู้ที่ 7 ใช้เป็นชุดควบคุม และเก็บรักษาตู้ทั้งหมดในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75% เป็นระยะเวลานาน 24 และ 30 วัน สำหรับผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์เขียวเสวย ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า สามารถเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยในบรรยากาศที่มี O_2 3-5% และ CO_2 3-5% ได้นาน 24 วัน โดยมีค่าความแน่นเนื้อ และคะแนนการยอมรับด้านรสชาติอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ สามารถเก็บรักษาในบรรยากาศที่มี O_2 3-5% และ CO_2 3-5% ได้นาน 24 วัน โดยมีคุณภาพใกล้เคียงกัน และผลมะม่วงสุกเป็นปกติในสภาพอุณหภูมิห้อง (25–31 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65% ภายในระยะเวลา 4 วัน และมีคุณภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่ใช้สภาพบรรยากาศแบบอื่น

2.8.3 การเก็บรักษาโดยการเคลือบผิว

เปลือกผลไม้จะทำหน้าที่ปกคลุม และป้องกันอันตรายให้กับส่วนที่อยู่ภายใน การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และทางกายภาพที่สำคัญของผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวมักขึ้นอยู่กับสมบัติของผิวหรือเปลือก ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ เช่น การแลกเปลี่ยนก๊าซ การสูญเสียความชื้น การเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัส เซลล์ชั้นนอกสุดของเปลือกคือ อีพิเดอร์มิส (epidermis) ผนังด้านนอกของเซลล์เหล่านี้มีสารประเภทไข (wax) เคลือบอยู่มากเรียกชั้นนี้ว่า คิวติเคิล (cuticle) หรือนวลของผลไม้ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นสารประเภทไข (สุรพงษ์, 2530)

นวลของผลไม้หลุดออกได้ง่ายขณะเก็บเกี่ยวหรือทำความสะอาด ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ ทั้งในแง่ความทนทานต่อสภาพการเก็บรักษาและความสวยงามขณะวางจำหน่าย การเสื่อมคุณภาพจะเร็วกว่าปกติ ดังนั้นการเคลือบผิวจึงเป็นการทดแทนนวลธรรมชาติให้กับผลไม้ ทำให้สูญเสียน้ำและมีการแลกเปลี่ยนก๊าซลดน้อยลง และชะลอการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสุกของผลไม้ (จริงแท้, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสุกของผลไม้นั้นประกอบด้วย อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซ-คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน (Pantastico *et al.,* 1975) รวมทั้งเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนกระตุ้นกระบวนการสุก ทำให้ผลไม้มีการหายใจ และสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกเพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2538)

2.9 **สารเคลือบผิวที่บริโภคได้**

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้มีการพัฒนาและใช้ประโยชน์มาช้านานแล้ว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชและสัตว์ เช่น ธัญพืช น้ำมันพืช โปรตีน และสารสกัดจากสาหร่ายทะเล เป็นต้น การใช้สารเหล่านี้เคลือบผิวผักและผลไม้อาจใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้เพียงชนิดเดียว หรือหลายชนิดผสมรวมกัน โดยมีการพัฒนาส่วนผสมให้เหมาะต่อผลิตผลแต่ละชนิดและให้สะดวกในการเคลือบผิว (ดนัยและนิธิยา, 2543) การใช้สารเคลือบผิวควรเลือกชนิดและระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิด นอกจากนี้แล้วค่านิยมของผู้บริโภคปัจจุบันโดยเฉพาะประเทศที่พัฒนาแล้วจะหันมานิยมความเป็นอยู่ที่ใกล้ชิดธรรมชาติมากขึ้น (จริงแท้, 2538)

ชนิดของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ (ดนัยและนิธิยา, 2543)

1. แป้ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธัญพืช เช่น แป้งข้าวจ้าวและข้าวโพด นอกจากนั้นยังได้จากรากและลำต้นใต้ดินของพืชบางชนิด เช่น มันฝรั่ง แห้ว และมัน-สำปะหลัง เป็นต้น
2. น้ำมันพืช เป็นน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดพืช เช่น ถั่วเหลือง ฝ้าย ปาล์ม งา ถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น
3. โปรตีน เช่น เจลาติน ซึ่งตามปกติละลายได้ในน้ำร้อน และมีสภาพเป็นเจลใส ยืดหยุ่นได้ดี
4. สารสกัดจากสาหร่ายทะเล เช่น อะการ์ ซึ่งละลายได้ดีในน้ำร้อน เมื่อใช้เคลือบผิวผักและผลไม้ จะมีลักษณะเป็นแผ่นใสหุ้มอยู่ด้านนอก
5. สารที่ได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม ซึ่งละลายได้ในน้ำเย็น และมีความข้นหนืดมาก
6. พอลิแซกคาไรด์อื่นๆ ที่ได้จากพืช เช่น สตาร์ช เซลลูโลส เพคทิน และกัม
7. สารสกัดจากสัตว์ เช่น ไคโตซาน ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่พบในสัตว์ เช่น เปลือกกุ้งและกระดองปู เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อดีของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ (ดนัยและนิธิยา, 2543)

1. มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับแวกซ์ หรือแผ่นพลาสติกที่ห่อผักและผลไม้ชนิดต่างๆ
2. สามารถล้างออกได้ หรือบริโภคได้เลย ทำให้ปริมาณขยะลดลง
3. สารเคลือบผิวที่บริโภคได้บางชนิดทำให้ผิวของผักและผลไม้ดูสวยงามและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค
4. สารเคลือบผิวบางชนิดช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ให้แก่ผู้บริโภคได้โดยเฉพาะสารเคลือบผิวในกลุ่มโปรตีน
5. สารเคลือบผิวที่บริโภคได้บางชนิดเป็นของเหลือใช้ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ไคโตซานที่สกัดได้จากเปลือกกุ้ง เป็นต้น
6. สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ในกลุ่มไขมันมีสมบัติในการชะลอการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลิตผลจึงช่วยลดการสูญเสียน้ำ
7. สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช เซลลูโลส เพกทิน อะการ์ และกัม สามารถช่วยชะลออัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ

2.10 การใช้สารเคลือบผิวกับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

การเคลือบผิวเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ จัดเป็นการเก็บรักษาผลิตผลแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ เพราะการเคลือบผิวเป็นการจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในผลิตผลทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการหายใจมีมาก และมีผลไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีน (Hulme, 1971)

ดนัยและนิธิยา (2543) ได้รายงานการเคลือบผิวผลกล้วยไข่ดิบด้วยอิมัลชันที่บริโภคได้ คือ อิมัลชันของเนยจืดต่อน้ำอัตราส่วนตั้งแต่ 10 : 1 ถึง 10 : 10 (1 : 1) และอิมัลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินต่ออัตราส่วนน้ำ 10–50% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30$\pm$2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 80$\pm$2% ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า อิมัลชันของเนยจืดต่อน้ำทุกอัตราส่วน และอิมัลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินทุกสูตรสามารถชะลอการสุกของผลกล้วยไข่ได้นานขึ้น 3–5 วัน ซึ่งจะผันแปรตามระยะความแก่ของผลกล้วยไข่ด้วย และเมื่อนำอิมัลชันของเนยจืดต่อน้ำอัตราส่วน 2 : 1 และ 4 : 1 และอิมัลชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อน้ำอัตราส่วน 3 : 2 และ 2 : 3 มาทดลองเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกพบว่าสามารถชะลอการสุก การเปลี่ยนแปลงสีผิว ยืดอายุการวางจำหน่าย และปรับปรุงคุณภาพของผลมะม่วงสุกได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้สารเคลือบผิว Stafresh 360 ความเข้มข้น 30% สามารถชะลอการสุกและการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้ดีที่สุด ผลมะม่วงสามารถสุกได้ตามปกติที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เกิดกลิ่นหมักหรือรสชาติที่ผิดปกติ ทั้งการเก็บที่รักษาอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 12.5 องศาเซลเซียส หากเพิ่มความเข้มข้นเป็น 40% จะเกิดกลิ่นหมัก และมีรสชาติผิดปกติทั้ง 2 อุณหภูมิ (ธรรมภรณ์, 2534)

ชลิต (2540) ได้ศึกษาผลของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ และอุณหภูมิต่อคุณภาพผลกล้วยไข่หลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้สารละลายแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเขียว ความเข้มข้น 1, 3 และ 5% ส่วนสารละลายแซนแทนกัม ผงวุ้น ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 1.5% นอกจากนี้ยังเคลือบผิวผลกล้วยไข่ด้วยน้ำมันถั่วลิสง น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันถั่วเหลือง เปรียบเทียบกับผลกล้วยไข่ที่ไม่ได้เคลือบผิว ผลการทดลองพบว่า ผลกล้วยไข่ที่เคลือบผิวด้วยแป้งข้าวเหนียว 5% แซนแทนกัม 0.5% น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วลิสง มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่า และสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้ดีกว่าผลกล้วยไข่ที่ไม่ได้เคลือบผิว

การเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์หนังกลางวันด้วย Stafresh 360 ความเข้มข้น 50% และ 100% กับ Stafresh 560 ความเข้มข้น 25% และ 50% ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ไม่สามารถชะลอการสุกได้ แต่สามารถยืดอายุการวางจำหน่าย ซึ่งพิจารณาจากการสูญเสียน้ำหนัก หรือปัญหาด้านการเกิดโรค โดยพบว่ากลุ่มที่เคลือบผิวด้วย Stafresh 560 ความเข้มข้น 50% จะชะลอการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ดีที่สุดคือ ยืดอายุการวางจำหน่ายได้ 11 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เคลือบผิว ในขณะที่กลุ่มที่เคลือบผิวด้วย Stafresh 360 ความเข้มข้น 100% ยืดอายุการจำหน่ายได้ 5 วัน กลุ่มที่เคลือบผิวด้วย Stafresh 360 ความเข้มข้น 50% และ Stafresh 560 ความเข้มข้น 25% ยืดอายุการจำหน่ายได้ 2 วัน ในขณะที่กลุ่มไม่เคลือบผิวมีอายุการวางจำหน่าย 15 วัน (พนารัตน์, 2533)

Carrillo Lopez and Valdez (1998) รายงานว่า ผลมะม่วงพันธุ์ Haden และ Keitt มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 2–3 อาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 10–13 องศาเซลเซียส และเมื่อเคลือบผิวผลมะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ ด้วยสารเคลือบผิว Semperfresh และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส โดยผลมะม่วงพันธุ์ Keitt จะจุ่มลงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ก่อนที่จะทำการเคลือบผิวด้วย Semperfresh ที่ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 0.8, 1.6 และ 2.4% และในระหว่างการสุกได้นำผลมะม่วงมาวิเคราะห์คุณภาพ ส่วนผลมะม่วงพันธุ์ Haden ได้เคลือบผิวด้วย Semperfresh ที่ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 0.8, 1.6 และ 2.4% ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ความแน่นเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงสีผิว มีค่ามากกว่าผลมะม่วงจุ่มในน้ำร้อน ส่วนการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และพีเอช จะมีค่าต่ำกว่าผลมะม่วงที่จุ่มในน้ำร้อน ส่วนผลมะม่วงพันธุ์ Keitt ที่เคลือบผิวด้วย Semperfresh ความเข้มข้น 0.7, 1.4 และ 2.1% พบว่า การเคลือบผิวไม่มีผลกระทบต่อสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพ

การเคลือบผิวผลมะนาวด้วยไขสามารถลดอัตราการคายน้ำของผลมะนาว และการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ได้ เมื่อผสมสารป้องกันและกำจัดโรคพืชกับสารละลายไข และไขบางชนิดยังทำให้ผิวของผลมะนาวมีสีสดใสเป็นมัน การเคลือบผิวมะนาวด้วยแท๊กซ์ (Tag) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาได้นาน 18 วัน ส่วนการเคลือบผิวด้วยไข Stafresh 360 ความเข้มข้น 50-70% ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส สมารถเก็บรักษาผลมะนาวได้นาน 21 วัน โดยที่ผลมะนาวมีสีเหลืองปนเขียวและเหี่ยวเล็กน้อย (สุกัญญา, 2546)

งานวิจัยเกี่ยวกับการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศที่เป็นที่ต้องการคือ การหาสิ่งที่ไม่ใช่สารเคมีเพื่อใช้ในการควบคุมโรค หรือสารธรรมชาติซึ่งให้ผลต่อการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลง (Kader and Zagory, 1988) ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้เคลือบผิวผลิตผลพืชสวนจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่ได้รับความนิยมมากขึ้น

2.11 ไคโตซาน (chitosan)

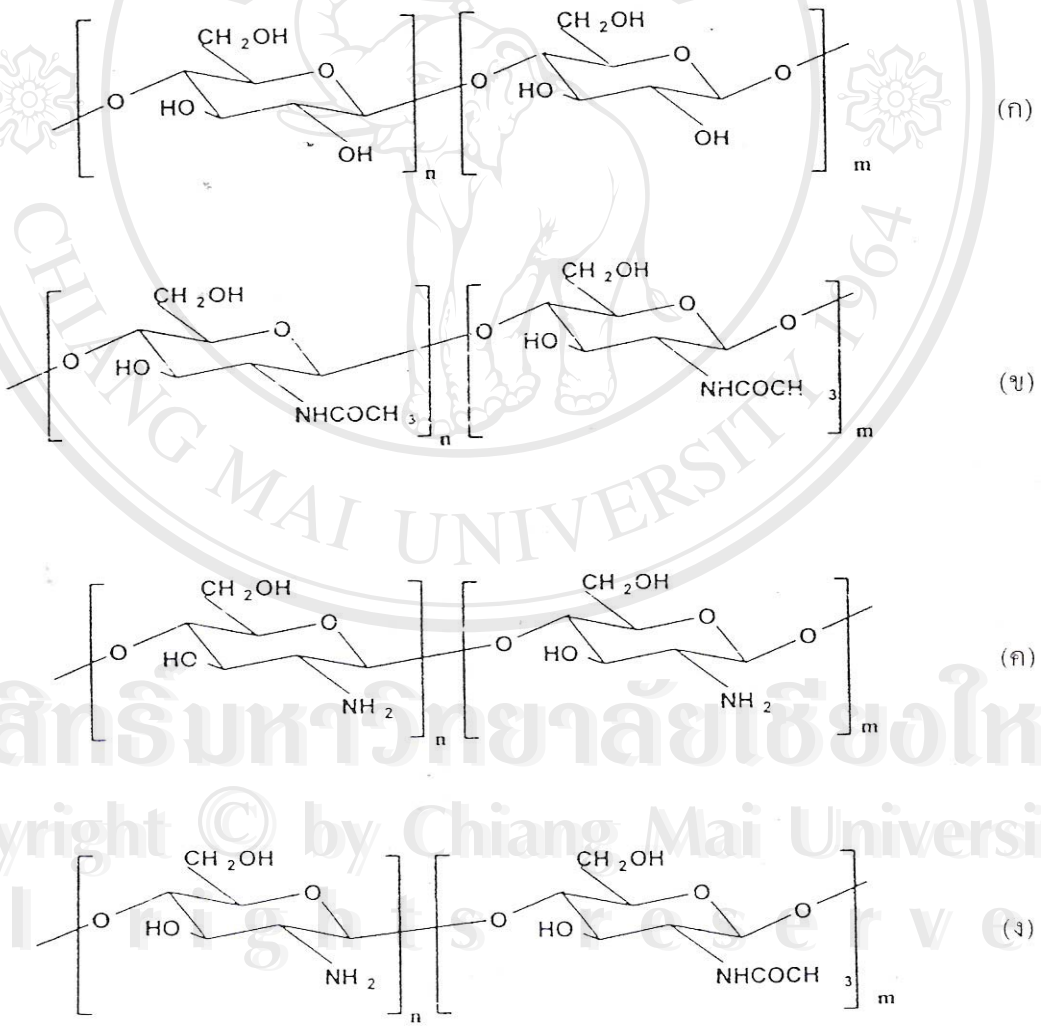
ไคโตซานเป็นพอลิแซกคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และเป็นอนุพันธ์ชนิดหนึ่งของไคติน (chitin) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาดึงหมู่อะซีติล (deacetylation) ของไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น (รัตนา, 2544) ไคตินและไคโตซานเป็นสารประกอบในธรรมชาติที่พบเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์ทะเลจำพวก กุ้ง ปู และแกนหมึก นอกจากนี้ยังพบในเปลือกของแมลง ผนังเซลล์ของเห็ดรา และสาหร่ายบางสายพันธุ์ (ป๋วย, 2544) ซึ่งมนุษย์สัมผัสและบริโภคสารนี้อยู่ตลอดเวลา จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารนี้มีความปลอดภัย และไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค (Ornum, 1992)

ไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส ต่างกันที่หน่วยย่อยของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคตินและไคโตซานคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ หมู่ฟังก์ชันที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส (pyranose ring) ของเซลลูโลสเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ส่วนไคตินมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่อะซีตาไมด์ (acetamide group) ไคโตซานมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่อะมิโน (amino group) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก-ค) โครงสร้างพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซานจะอยู่ผสมกันเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โค-พอลิเมอร์ (copolymer) ระหว่าง N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ง) ในกรณีที่พอลิเมอร์ประกอบด้วย N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า D-glucosamine หรือถ้ามี degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงคุณสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้ามี D-glucosamine มากกว่า N-acetyl-D-glucosamine หรือ degree of deacetylation สูงจะแสดงคุณสมบัติเด่นของไคโตซาน ทำให้ไคโตซานประกอบด้วยหมู่อะมิโนจำนวนมาก (รัตนา, 2544)

รูปที่ 2.3 โครงสร้างเซลลูโลส (ก), ไคติน (ข), ไคโตซาน (ค), และไคติน-ไคโตซานพอลิเมอร์ (ง) (สุวบุญและคณะ, 2544)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.12 ประโยชน์ของไคโตซาน

เนื่องจากไคโตซาน มีสมบัติที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายกรดเจือจางจึงสะดวกต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งแตกต่างจากไคตินที่มีข้อจำกัดในการละลายด้วยตัวทำละลายต่างๆ รวมถึงสมบัติที่สำคัญของไคโตซานคือ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม ใส ยืดหยุ่น และเหนียว สามารถบริโภคได้ และทนต่ออุณหภูมิสูง (อุดมชัย, 2535) ดังนั้นในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไคโตซานจึงมีเป็นจำนวนมากและก่อให้เกิดประโยชน์หลายด้าน ได้แก่ วัสดุทางการแพทย์ การบำบัดน้ำเสีย อาหารสัตว์ เส้นใยสังเคราะห์ อาหารเสริม เครื่องสำอาง การเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช สารเร่งการเจริญเติบโต ปุ๋ย และการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

ประโยชน์ของไคโตซานทางด้านวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การเคลือบผิวผลไม้เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และมีผลยับยั้งการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวเช่น การใช้ไคโตซานเคลือบผิวผลมะนาวที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5% (w/v) อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 13 องศา-เซลเซียส สามารถเก็บรักษาผลมะนาวได้นาน 19 วัน และ 70 วัน ตามลำดับ ส่วนผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยไคโตซานมีอายุการเก็บรักษาเพียง 17 และ 50 วัน ตามลำดับ (สุทัศน์เทียม, 2544)

การเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ และพันธุ์เขียวเสวยด้วยไคโตซาน ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50, 0.75 และ 1% (w/v) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ 95$\pm$5%) และ 25 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ 90$\pm$3%) พบว่า ไคโตซานความเข้มข้นตั้งแต่ 0.50% ขึ้นไป ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ได้ อย่างไรก็ตาม ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เคลือบด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 0.75% และ 1% เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ผลมะม่วงมีการสุกที่ผิดปกติ โดยผิวยังคงมีสีเขียว แต่เนื้อภายในมีสีเหลืองซีด นิ่ม และมีกลิ่นหมัก ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม ส่วนผลมะม่วงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวเล็กน้อย (วิเชียร, 2541)

การเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 0.25, 0.50, 0.75 และ 1% (w/v) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 29$\pm$2 องศาเซลเซียส) พบว่า ผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 0.50, 0.75, และ 1% สูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวและผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 0.25% เมื่อผลมะม่วงเริ่มสุกในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 0.75 และ 1% มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกที่ผิดปกติ ทำให้มีอายุการวางจำหน่าย 5 วัน ในขณะที่ผลมะม่วงที่ไม่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เคลือบผิวและที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 0.25 และ 0.50% มีอายุการวางจำหน่าย 9 วัน (วิทวัส, 2542)

ผลลำไยที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 0.5, 1, และ 2% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% พบว่าไคโตซานทุกความเข้มข้นทำให้อัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนัก และการเน่าเสียลดลง ชะลอการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) และไม่สร้างความเสียหายให้แก่ผลลำไย (Jiang and Li, 2001)

ผลแอปเปิลพันธุ์ Jonagold ที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 1% หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-70% เป็นเวลา 3 อาทิตย์ พบว่า ผลแอปเปิลที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน สามารถชะลอการสุก อัตราการหายใจ การแน่นเนื้อ และไม่มีกลิ่นผิดปกติเกิดขึ้น (Gemma and Du, 2003)

2.13 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

เป็นไฮโดรคอลลอยด์กึ่งอนุพันธ์สังเคราะห์ ของสารประกอบได้มาจากธรรมชาติ เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล ได้เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสอีเทอร์ โดยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์เซลลูโลสอีเทอร์ที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส อาจเรียกว่า เซลลูโลสกัม (cellulose gum) หรือใช้ชื่อย่อว่า CMC เป็นพอลิเมอร์ชนิดประจุลบที่ละลายได้ในน้ำ เนื่องจากการเตรียม CMC ทำได้โดยใช้เซลลูโลสบริสุทธ์มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เส้นใยเซลลูโลสพองตัวออกได้เป็นสารละลายเซลลูโลสในด่าง แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตตได้เป็นโซเดียมคาร์บอกซีเมทิล-เซลลูโลส ดังสมการ

$$\text{R-OH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{R-ONa} + H_2O$$

$$\text{R-ONa} + \text{Cl-CH}_2\text{-COONa} \longrightarrow \text{R-O-CH}_2\text{-COONa} + \text{NaCl}$$

โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่ดังกล่าวจะทำให้ได้ CMC หลายชนิด ซึ่งสมบัติของ CMC แต่ละชนิดจะผันแปรไปตามปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความสม่ำเสมอของการแทนที่ (uniformity of substitution), degree of substitution (DS) และ degree of polymerization

(DP) นอกจากนี้ สมบัติของ CMC แต่ละชนิดยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ความสามารถในการดูดน้ำ และความหนืดของสารละลายอีกด้วย

Degree of substitution เป็นจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลบนโมเลกุลของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose) ซึ่งถูกแทนที่ด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล โดยทางทฤษฎีโมเลกุลของแอนไฮโดร-กลูโคส มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ ดังนั้นควรจะมี DS เป็น 3 แต่ในทางปฏิบัติปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงๆ จะได้ DS น้อยกว่า 3 คือ มี DS อยู่ในช่วง 0.4-1.2 เท่านั้น CMC ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จะมี DS ประมาณ 0.9 ทำให้ CMC ละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ถ้า DS เท่ากับ 0.3 หรือต่ำกว่าจะละลายได้ในด่างแต่ไม่ละลายในน้ำ และจะเริ่มละลายในน้ำเมื่อมี DS ตั้งแต่ 0.45 ขึ้นไป (นิธิยา, 2545)

2.14 ประโยชน์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

การใช้ประโยชน์ของ CMC ในทางอุตสาหกรรมอาหารจะใช้เติมลงในอาหารเพื่อให้มีพลังงานต่ำ (low calorie food) โดยทำหน้าที่เป็น bulking agent นอกจากนี้ โซเดียมคาร์บอกซีเมทิล-เซลลูโลส ยังสามารถนำมาทำเป็นฟิล์มใส และมีความแข็งแรงโดยไม่มีผลกระทบจากน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์

ประโยชน์ของ CMC ทางวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวคือ การเคลือบผิวผลไม้เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และมีผลยับยั้งการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว เช่น โรคที่เกิดจากเชื้อรา เป็นต้น

การใช้สารมอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin), CMC, โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) และซอร์บิแทนเอสเทอร์ (sorbitan esters) เคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์ Manila แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85$\pm$5% พบว่า ผลมะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวจะสามารถลดการเกิดโรคแอนแทรกโนสได้ประมาณ 70% เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะม่วงที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิว (Diaz-sobac, 2000)

เมื่อเคลือบผิวผลกล้วยพันธุ์ Musa และผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso ด้วยแวกซ์ซอล (waxol) ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวทางการค้า ประกอบด้วย พอลิแซกคาไรด์จำพวก สตาร์ชดัดแปร เซลลูโลส และไคโตซาน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27$\pm$2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65% พบว่า ผลกล้วยและผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยพอลิแซกคาไรด์ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ การสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ และความแน่นเนื้อได้มากกว่าผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิว (Kittur, 2001)

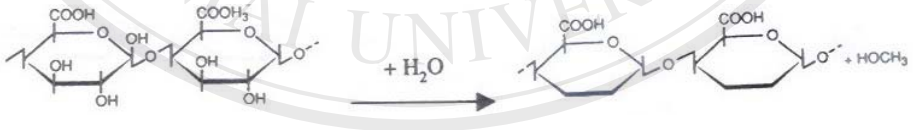
การเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์ Kent, Tommy Atkins และ Early Gold ด้วยคาร์นูบาแวกซ์ (carnauba wax), เชลแล็ก (shellac), เซอีน (zein) และอนุพันธ์ของเซลลูโลส แล้วเก็บรักษาที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ 19-22 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 56-60% และที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% พบว่า ผลมะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยเซลแล็ก เซอีน และอนุพันธ์ของเซลลูโลส สามารถลดอัตราการหายใจ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อได้ ส่วนผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยคาร์นูบาแวกซ์ สามารถชะลอความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Hoa, 2001)

2.15 เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส

เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส (EC 3.1.1.11) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะเอส-เทอร์เพื่อกำจัดหมู่เมทิลออกจากโมเลกุลของเพกทิน ได้เป็นกรดเพกติก หรือกรดโพลีกาแลกทูโรนิก และเมทานอล โดยปฏิกิริยาจะเป็นการแยกหมู่เมทิลออกจากสารประกอบเพกทินที่ตำแหน่งคาร์-บอกซิลที่ถูกเติมเมทิล ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนั้นจึงไม่มีการสลายพันธะไกลโคซิดิก แต่เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส ยังคงจัดอยู่ในกลุ่มของเอนไซม์ไฮโดรเลสที่เร่งการย่อยสลายพันธะเอส-เทอร์อยู่ (ลลิดา, 2546) จึงทำให้มีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น เพกทินเอสเทอเรส เพกเทส เพกทิน-เมทอกซีเลส เพกทินดีเมทอกซีเลส และเพกโทไลเอส การไฮโดรไลซีสเพกทินเป็นกรดเพกทิกในภาวะที่มีแคลเซียมไอออน จะทำให้เพิ่มความแข็งของเนื้อสัมผัส เนื่องจากเกิดพันธะเชื่อมระหว่างแคลเซียมไอออนกับหมู่คาร์บอกซิลของกรดเพกติก (นิธิยา, 2545)



เพกทิน เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส กรดเพกติก เมทานอล

รูปที่ 2.4 การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

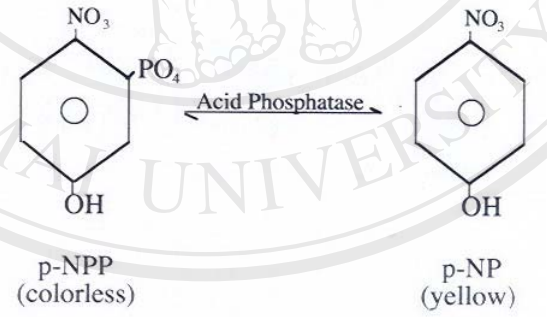
เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส เป็นเอนไซม์ที่พบมากในพืชที่มีปริมาณเพกทินสูง เช่น ผลไม้ในตระกูลแอปเปิล ส้ม และฝรั่ง และมีรายงานการวิจัยทางสรีรวิทยาของพืชว่าเอนไซม์ชนิดนี้มีความสำคัญต่อการสุกงอมของผลไม้ที่มีเพกทินเป็นส่วนประกอบ (Micheli, 2001) ส่วนงานวิจัยด้านการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมจะมีการมุ่งเน้นเพื่อนำเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรสมา

ปรับเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเลเทตเพกทิน (methylated pectin) ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีเพกทินเป็นส่วนผสมอยู่ เช่น เครื่องดื่ม อาหารเสริม และยาบางชนิด (Kashyap *et al*., 2001)

2.16 เอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส

เอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส (E.C.3.1.3.2) เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์พันธะฟอสเฟตเอสเทอร์ภายใต้สภาวะพีเอชที่ต่ำกว่า 6 (optimum pH) และอุณหภูมิเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส (optimum temperature) เอนไซม์ชนิดนี้พบอย่างกว้างขวางในสารคัดหลั่ง และเนื้อเยื่อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม พบในพืช และจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในพืช จะพบเอนไซม์ชนิดนี้อยู่ในหลายๆ ส่วน เช่น ราก ท่อลำเลียง เมล็ด ใบ และผล เป็นต้น โดยมีหน้าที่สำคัญ คือ ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและมีพัฒนาการ (Carmen, 1998) และมีรายงานว่าเอนไซม์ชนิดนี้มีความสำคัญต่อการสุกและรสหวานของผลไม้ (Kyung Young Yoon, 2004)

ในการวัดกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส จะวัดหาปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกไฮโดรไลซ์ออกมาจากสับเตรท โดยใช้ไนโตรฟีนิลฟอสฟเฟต (p-NPP) เป็นสับเตรท เมื่อถูกไฮโดร-ไลซ์ด้วยเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส จะได้ไนโตรฟีนอล (p-NP) และ inorganic phosphate (Pi) ออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส

ทั้งไนโตรฟีนิลฟอสเฟต และไนโตรฟีนอล จะไม่ปรากฏสีเกิดขึ้นที่พีเอชเป็นกรด แต่เมื่อเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 นอร์มัล หลังจากบ่ม (incubate) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ปฏิกิริยาจะหยุด เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของพีเอช (pH > 8) และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร (Kyung Young Yoon, 2004)

2.17 การวัดปริมาณโปรตีนโดยวิธี Bradford

หลักการ

วิธี Bradford เป็นวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่นิยมใช้กันมากวิธีหนึ่ง เพราะมีข้อดีคือ รวดเร็ว ง่าย ราคาไม่แพง และไม่ sensitive ต่อสารเคมี และมีความจำเพาะเจาะจงกกับโปรตีน โดยอาศัยสมบัติในการจับกับ dye ของโปรตีน (dye binding capacity) คือ Coomassie Brilliant Blue G-250 (CBBG) ภายใต้สภาวะความเป็นกรด-เบสของการทดลอง ทำให้สีเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน และค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีย้อมเปลี่ยนจากความยาวคลื่นที่ 465 นาโนเมตร ไปเป็นความยาวคลื่นที่ 595 นาโนเมตร ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโปรตีน โดยเพปไทด์จะต้องมี basic หรือ aromatic amino acid 9 residue หรือมากกว่าในการทำให้เกิดสี โดยสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นจะเกิดจาก Coomassie Brilliant Blue G-250 ไปจับกับโปรตีนในตำแหน่งกรดอะมิโนที่เป็น ทริฟโตเฟน ไทโรซีน และฟีนีลอะลานีน เป็นต้น มีข้อควรระวังสำหรับการวัดด้วยวิธีนี้ คือ โปรตีนที่จับกับสีย้อมอาจจับกับ quart cuvette ในการทดลองจึงควรใช้ cuvette ที่ทำด้วยพลาสติกหรือแก้ว (Bradford, 1976)

การวัดปริมาณโปรตีน จะทำกราฟมาตรฐานโปรตีนโดยใช้สารละลาย BSA (Bovine serum albumin) และ dye ที่จับกับโปรตีนคือ Coomassie Brilliant Blue G-250 (CBBG) นอกจากนี้ยังเติมสารละลาย polyvinylpyrrolidone (PVP) ความเข้มข้น 1% ซึ่งเป็นสารละลายที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์ลงไปด้วย และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ส่วนการวัดปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง จะเติมสารละลายเอนไซม์ที่สกัดได้ลงไปแทนสารละลาย BSA และเติมสารละลาย PVP ความเข้มข้น 1% เช่นเดียวกันเนื่องจาก กรดอะมิโนที่มีหมู่อะโรมาติก ซึ่งมีวงแหวนเบนซีน (benzene ring) มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ดังนั้น PVP ความเข้มข้น 1% จึงช่วยป้องกันเอนไซม์ไม่ให้ถูกยับยั้งและรบกวนจากสารประกอบพวกนี้ (Awad,1980) ทำให้สามารถวัดค่าความยาวคลื่นของตัวอย่างได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved