บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะม่วงสามารถจัดจำแนกในทางอนุกรมวิธานไว้ตามลำดับต่าง ๆ ดังนี้

Class	Dicotyledonae
Sub-class	Arachichlamydae
Order	Sapindales
Family	Anacardiaceae
Genus	*Mangifera*
Species	*Mangifera indica* Linn.

มะม่วงเป็นไม้ผลยืนต้นไม่ผลัดใบ ลำต้นขนาดกลางถึงใหญ่ สูงประมาณ 10-40 เมตร ใบเป็นรูปหอก (simple lanccolate) ใบหนา ผิวใบด้านบนเรียบเป็นมัน สีเขียวเข้ม ด้านล่างไม่เป็นมัน สีอ่อนกว่าด้านบน ใบอ่อนมีสีม่วงอ่อนถึงม่วงเข้ม ออกดอกเป็นช่อใหญ่ ดอกย่อยมีขนาดเล็ก แต่ละช่อประกอบด้วยดอกสมบูรณ์เพศและดอกเพศผู้ ออกดอกในช่วงเดือน ธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ ติดผลระหว่างเดือนมกราคมถึงมีนาคม และผลแก่ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม (วิจิตร, 2529 ; Mukherjee, 1997)

มะม่วงเป็นผลไม้เมืองร้อนที่ทนแล้งได้ปานกลาง (เกศิณี, 2530) ต้องการสภาพอากาศที่มีความชุ่มชื้นและแห้งแล้งสลับกันไป มะม่วงเจริญได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 24-27 ^{o}ซ สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพดินปลูกในช่วงกว้าง ทั้งในดินร่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์ ไปจนถึงดินเลวที่มีแต่ทรายดินลูกรัง หินตามเนินเขา และดินชั้นเลวอื่น ๆ แต่ดินปลูกมะม่วงที่ให้ผลดีที่สุดควรเป็นดินร่วน มีหน้าดินลึก ประเทศไทยมีสภาพภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศเหมาะสำหรับปลูกมะม่วงอย่างมาก (วิจิตร, 2529; สถาบันวิจัยพืชสวน, 2532)

พันธุ์มะม่วงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มสำคัญ คือ มะม่วงกลุ่มอินเดีย (Indian type) และ กลุ่มอินโดจีน (Indochinese type)

1. มะม่วงกลุ่มอินเดีย (Indian type) มีถิ่นกำเนิดทางตอนเหนือของประเทศอินเดียและปากีสถาน ปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา (รัฐฟลอริดา) และเม็กซิโก เมล็ดของมะม่วงกลุ่มนี้เมื่อเพาะจะให้ต้นกล้าเพียง 1 ต้น ต่อเมล็ด และต้นกล้านั้นจะกลายพันธุ์ไม่ตรงต้นแม่เพราะเป็นลูกผสม มักมีสีสันสะดุดตา เช่น แดง ม่วง ส้ม ผลค่อนข้างกลม รสชาติอมเปรี้ยว และมีกลิ่นแรง

2. กลุ่มอินโดจีน (Indochinese type) มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร เมื่อนำมาเพาะเมล็ดจะให้ต้นกล้ามากกว่า 1 ต้นต่อเมล็ด ต้นกล้าที่ได้ส่วนมากจะตรง

ต่อพันธุ์เดิม เพราะเกิดจากเซลล์ร่างกายของต้นแม่เป็นส่วนใหญ่ ผลมีสีเขียวหรือเหลือง รสหวานและมีกลิ่นไม่แรง (วิจิตร, 2533)

มะม่วงพันธุ์มหาชนก (มนตรี, 2542; รวี และ เปรมปรี, 2542)

มะม่วงพันธุ์มหาชนก เป็นมะม่วงที่เกิดจากการผสมกันระหว่าง มะม่วงพันธุ์ซันเซท (Sunset) ซึ่งเป็นกลุ่มสายพันธุ์อินเดีย (Indian type) และพันธุ์หนังกลางวัน ซึ่งเป็นกลุ่มสายพันธุ์อินโดจีน (Indochinese type) ลักษณะประจำพันธุ์มีดังนี้

1. ใบ มีขนาดใหญ่ หนา ใบอ่อนมีสีแดง ปลายใบแหลม ใบแก่มีสีเขียวเข้มแต่ไม่ดำ
2. ลำต้นและกิ่ง ต้นแข็งแรง พุ่มใหญ่ กิ่งอวบใหญ่ ข้อนูน
3. ดอก ออกตามฤดูกาลและตอบสนองต่อการใช้สารพาโคลบิวทราโซล เพื่อบังคับการออกดอก ก้านช่อมีสีแดง ช่อดอกใหญ่ มีดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) สูง
4. ผล ทรงผลยาวคล้ายมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน แต่สั้นกว่า ปลายผลงอนเล็กน้อย ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 350-500 กรัม
5. เปลือก ผลอ่อนมีผิวเปลือกสีเขียวอ่อน เปลือกหนา เนียนเรียบ ผิวเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อถูกแสงแดด เมื่อผลแก่สุก จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมเขียว เหลืองส้ม เหลืองเข้ม ส้ม ส้มจัดปนสีแดง ตามลำดับ
6. เนื้อ เมื่อดิบมีสีขาว-เขียว เมื่อสุกมีสีเหลืองทอง เนื้อละเอียดและแน่น มีเยื่อใยน้อย
7. เมล็ด มีขนาดเล็กและแบนมาก ทำให้มีเนื้อที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (recovery percentage) สูงถึง 79 เปอร์เซ็นต์
8. รสชาติ เมื่อดิบมีรสเปรี้ยวมากและมีกลิ่นยาง ผลห่ามมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อย แต่เมื่อสุกมีรสหวานอมเปรี้ยว ไม่หวานจัด มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ได้ประมาณ 18 องศาบริกซ์
9. กลิ่น เมื่อเริ่มสุกจะมีกลิ่นหอม จนกระทั่งหอมฉุนเมื่อสุกงอม

ลักษณะมะม่วงคุณภาพดี (มนู, 2540)

มะม่วงที่จัดว่ามีคุณภาพตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค คือ

1. ลักษณะที่ปรากฏภายนอก

1.1 รูปร่างตรงตามพันธุ์ดี อ้วนกลมไม่ผอมบางหรือรูปทรงไม่บิดเบี้ยว สั้นหรือยาวผิดปกติ

1.2 สีผิวสม่ำเสมอมีนวล ไม่มีลักษณะของผลด่างหรือลาย สำหรับมะม่วงสุกจะมีสีเหลืองสม่ำเสมอทั้งผล ยกเว้นมะม่วงพันธุ์ต่างประเทศ หรือพันธุ์ลูกผสมจากต่างประเทศซึ่งอาจจะมีสีแดงหรือสีส้ม

1.3 ผิวปราศจากร่องรอยการทำลายของโรคและแมลง

1.4 ตำหนิบนผิวต่าง ๆ เช่น ผิวแตก ผิวเป็นจุดเปรอะเปื้อนน้ำยาง แดดเผา รอยขีดข่วนจากการเสียดสี รอยยุบบนผิว

1.5 ไม่บอบช้ำ ซึ่งเกิดจากการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง

1.6 ขนาดผลมีขนาดโตสม่ำเสมอ

2. คุณภาพเนื้อภายใน

2.1 มีความแก่จัดตามที่ตลาดต้องการ ถ้าเป็นมะม่วงสำหรับใช้รับประทานผลดิบประเภทมะม่วงมันจะมีความหวานมัน เนื้อสีเหลืองอ่อนและกรอบ สำหรับมะม่วงรับประทานสุกจะต้องแก่จัด เมื่อบ่มสุกแล้วผลไม่เหี่ยว ความหวานสูง ไม่เปรี้ยว ยกเว้นมะม่วงดิบที่ใช้รับประทานผลอ่อนกับน้ำปลาหวาน หรือใช้ปรุงอาหารในลักษณะยำร่วมกับอาหารชนิดต่าง ๆ

2.2 เมื่อสุกแล้วไม่แสดงลักษณะการทำลายของโรคและแมลงชนิดต่าง ๆ เช่น จุดดำเนื่องจากโรคแอนแทรคโนส โรคขั้วผลเน่า ผลเน่าจากแบคทีเรีย รวมทั้งผลเน่าจากการทำลายของหนอนแมลงวันทอง ซึ่งติดมากับผลมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว

2.3 เนื้อต้องมีสีเข้ม ไม่ซีดจาง โดยทั่วไปมะม่วงทุกพันธุ์ ผลอ่อนจะมีสีขาวซีดและเมื่อแก่จัดจะมีสีเหลืองเข้มขึ้น โดยผลสุกที่แก่จัดจะมีสีเหลืองถึงส้ม

2.4 ความแน่นเนื้อมะม่วงสำหรับใช้รับประทานดิบจะต้องกรอบ ไม่เหนียวหรือแข็งกระด้าง สำหรับมะม่วงสุกต้องไม่เละ อ่อนนุ่มพอเหมาะสม่ำเสมอทั้งผล ตามลักษณะประจำพันธุ์

2.5 รสชาติดีตรงตามลักษณะพันธุ์ ถ้าเป็นมะม่วงมันจะมีรสหวานมันกรอบ แต่ถ้าเป็นมะม่วงสุกต้องมีรสหวานมาก สม่ำเสมอทั้งผล ยกเว้นมะม่วงพันธุ์ต่างประเทศหรือพันธุ์ลูกผสมจากต่างประเทศซึ่งอาจจะมีรสเปรี้ยวปนเล็กน้อย

2.6 มีเนื้อสำหรับใช้รับประทานมากและเส้นใยน้อย

3. ไม่มีสารพิษตกค้างบนผลมะม่วง

3.1 สารเคมีในเนื้อผลมะม่วง

3.2 สารเคมีบริเวณผิวเปลือกของผลมะม่วง

4. ควรเป็นมะม่วงที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว

5. ควรเป็นมะม่วงที่ผ่านการคัดขนาด ผลจะมีความสม่ำเสมอกัน

6. ควรมีการควบคุมโรครา และหนอนแมลงวันผลไม้ ด้วยวิธีการที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

โรคแอนแทรคโนส (Anthracnose) ในมะม่วง

การเกิดโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงมีสาเหตุมาจากเชื้อราที่สำคัญ คือ *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. เป็นโรคที่ทำความเสียหายให้กับผลมะม่วงมาก โดยเฉพาะในเขตที่มี

ความชื้นสูง ความเสียหายจะรุนแรงขึ้น เชื้อจะเข้าทำลายผลผลิตตั้งแต่อยู่ในแปลง โดยเข้าตามช่องเปิดตามธรรมชาติ เช่น เลนติเซล (lenticel) จากนั้นเชื้อแอนแทรคโนสจะพักตัวในช่องว่างระหว่างเซลล์ จนกระทั่งผลมะม่วงถูกเก็บเกี่ยวและเริ่มสุกหรืออยู่ในสภาพที่อ่อนแอ เชื้อจึงมีการเจริญและพัฒนา อาการของโรคแอนแทรคโนสในผลมะม่วงปรากฏให้เห็นเด่นชัดเมื่อผลมะม่วงเริ่มสุก อาการเริ่มแรกจะเกิดแผลเป็นจุดสีดำเล็ก ๆ บริเวณกลางผลและก้นผล จุดดำจะขยายขนาดโตขึ้นเมื่อผลมะม่วงสุกเต็มที่ บริเวณกลางแผลพบกลุ่มสปอร์เป็นเมือกสีส้มหรือสีชมพูมากมาย จุดดำจะกระจายหนาแน่นบริเวณไหล่ผลและเมื่อผลสุกงอมมากจุดจะขยายขนาดโตขึ้น ทำให้แผลสีดำยุบตัว (นิพนธ์, 2542)

การศึกษาการเข้าทำลายแบบแฝง (latent infection) ของเชื้อ *C. gloeosporioides* Penz.ในเนื้อเยื่อของผลมะม่วงโดยวิธี tissue transplanting พบว่าเชื้อรามีการเจริญในบริเวณผิวเปลือกลึกลงไป 1 – 2 มิลลิเมตร และในเนื้อเยื่อที่ลึกกว่า 2 มิลลิเมตร ไม่พบการเจริญของเชื้อแอนแทรคโนส (อังสุมา, 2530)

ผลมะม่วงที่มีบาดแผลจะอ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนสมากกว่าปกติ โดยผลที่เริ่มสุกและมีบาดแผล สามารถเห็นอาการเริ่มแรกด้วยตาเปล่าภายใน 12 ชั่วโมง และผลที่ยังเป็นสีเขียวแต่มีรอยแผล สามารถเห็นอาการเริ่มแรกด้วยตาเปล่าภายใน 24 ชั่วโมง หลังปลูกเชื้อ ในผลที่เริ่มสุกและไม่มีบาดแผลจะเห็นอาการภายใน 48 ชั่วโมง ส่วนผลที่ยังเขียวจะเห็นอาการภายใน 72 – 96 ชั่วโมง สปอร์ของเชื้อจะงอกตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกบนผิวผลและเริ่มเข้าไปในผลมะม่วงที่ผิวเริ่มเปลี่ยนสีภายใน 24 ชั่วโมง และภายใน 48 ชั่วโมงบนผิวผลมะม่วงที่ยังมีสีเขียวอยู่ (Quimio, T.H. and Quimio, A.J., 1974)

การควบคุมโรคแอนแทรคโนสในมะม่วง

การควบคุมโรคแอนแทรคโนสต้องทำทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยว เพราะการดูแลรักษาก่อนการเก็บเกี่ยวที่ดีจะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง แข็งแรงและปริมาณเชื้อโรคที่ติดมากับผลมีน้อย ส่วนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อลดปริมาณและควบคุมเชื้อโรคแอนแทรคโนส มีหลายวิธี ได้แก่ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การดัดแปลงบรรยากาศ การเก็บรักษาภายใต้สภาพความดันต่ำ การฉายรังสี การใช้สารเคมี การใช้น้ำร้อน การควบคุมโดยชีววิธี เป็นต้น ในการวิจัยครั้งนี้จะควบคุมโรคแอนแทรคโนสด้วยน้ำร้อน (hot water treatment) โดยแช่ผลในน้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและปลอดภัย

การใช้น้ำร้อนกับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

ผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคสามารถเข้าทำลายผลิตผล การใช้น้ำร้อนกับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจะช่วยลดการเกิดโรคหลังการ

เก็บเกี่ยว ทำให้มีอายุการเก็บรักษานานกว่าปกติ ผักและผลไม้สามารถทนต่ออุณหภูมิของน้ำร้อนในช่วง 50-60 °ซ เป็นเวลา 10 นาทีโดยไม่เกิดการเสียหาย แต่ควรศึกษาถึงความทนทานต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการแช่น้ำร้อนในผลไม้แต่ละชนิด เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายเนื่องจากความร้อน (heat damage) ที่อาจเกิดขึ้นได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะทำลายคุณภาพผลไม้ ได้แก่ ความแน่นเนื้อลดลง เปลือกมีสีน้ำตาล เนื้อมีสีคล้ำ รสชาติผิดปกติ ผลเน่าเสียเร็วขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกไม่เป็นไปตามปกติ เป็นต้น (Lurie,1998)

ส้มแมนดารินพันธุ์ fortune ที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °ซ, 52 °ซ, 54 °ซ, 56 °ซ และ 58 °ซ นาน 3 นาที ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 °ซ 30 วัน จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 °ซ 3 วัน มีอาการสะท้านหนาวและอัตราการเน่าเสียลดลง ผลส้มที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °ซ, 52 °ซ และ 54 °ซ มีลักษณะปรากฏที่สังเกตได้และคุณภาพภายในที่แตกต่างจากผลที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน (ชุดควบคุม) น้อยมาก แต่ผลส้มที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 56 °ซ และ58 °ซ จะมีผลสีน้ำตาลคล้ำ (rind browning) ซึ่งเป็นความเสียหายเนื่องจากความร้อน คุณภาพภายในและรสชาติด้อยลงมาก (Schirra and Hallemin, 1997) การศึกษาผลของน้ำร้อนในมะนาวไทยพันธุ์แป้น โดยนำผลมะนาวแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °ซ นาน 5 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °ซ ผลมะนาวจะมีอายุการเก็บรักษานาน 60 วัน ในขณะที่ผลมะนาวที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 49 °ซ นาน 5 นาที มีอายุการเก็บรักษาเพียง 40 วัน ส่วนผลมะนาวที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °ซ นาน 10 นาที ผลมะนาวจะมีสีคล้ำผิดปกติ (สุทัศน์เทียม, 2544)

ในประเทศไทย พบว่าการแช่ผลมะม่วงพันธุ์หนังกลางวันในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 °ซ นาน 15 นาที และอุณหภูมิ 55 °ซ นาน 5 นาที ช่วยลดการเกิดโรคได้ ส่วนมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เมื่อแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °ซ นาน 5 นาที จะช่วยลดการเกิดโรคได้ดีที่สุด (วัลลภา, 2528) และจากสรุปโครงการอารักขาพืชเร่งรัดของกรมวิชาการเกษตร (2543) ได้ให้ข้อแนะนำว่าการแช่ผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวในน้ำร้อนอุณหภูมิ 52 – 53 °ซ นาน 10 นาที หรือ 55 °ซ นาน 5 นาที จะช่วยลดการเกิดโรคของผลมะม่วงได้

การแช่ผลมะม่วงในน้ำร้อนที่ผสมสารเคมีกำจัดเชื้อรา (funcicide) บางชนิด สามารถลดการเน่าเสียของมะม่วงจากโรคได้ดี ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย รายงานว่าการแช่ผลมะม่วงพันธุ์หนังกลางวันหลังการเก็บเกี่ยวในน้ำที่มีอุณหภูมิ 52 °ซ ผสมสารละลายเบนโนมิล 0.05 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที สามารถลดความเสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรคโนสได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุชีพ, 2533) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์หนังกลางวันนำมาแช่สารละลายเบนโนมิล 1000 ppm ร่วมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 500 ppm ที่อุณหภูมิ 52°ซ นาน 5 นาทีสามารถป้องกันโรคหลังเก็บเกี่ยวของมะม่วงทั้งสองพันธุ์ได้ดี (ประจวบ, 2531) เมื่อนำมะม่วงพันธุ์ Kesar แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 52°ซ นาน 10 นาทีร่วมกับการใช้สาร Bavistin 0.1 เปอร์เซ็นต์ จะลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *C. gloeosporioides* และ *Diplodia natalensis* ได้ (Waskar *et al.*, 2000)

ปัจจุบันการส่งออกมะม่วงจึงยังนิยมแช่ผลมะม่วงในน้ำร้อนร่วมกับการใช้สารเคมี แต่ข้อเสียของการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดเชื้อราอาจพบปัญหาในเรื่องการต้านทานของเชื้อราต่อสารเคมีที่ใช้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวของเชื้อสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลานได้ ทำให้ต้องเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ใช้ซึ่งมีผลอันตรายต่อผู้บริโภคโดยตรง และผลจากการใช้สารเคมีสังเคราะห์ยังกระทบต่อสภาวะแวดล้อมอีกด้วย

การใช้สารเคลือบผิวกับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

เปลือกผลไม้ทำหน้าที่ปกคลุมและป้องกันอันตรายให้กับส่วนที่อยู่ภายใน โดยมีส่วนของชั้นคิวติเคิล (cuticle) เคลือบอยู่บาง ๆ องค์ประกอบหลักของชั้นคิวติเคิลนี้คือ สารประเภทไข (wax) และสารคิวติน (cutin) สามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ ชั้นคิวติเคิลหรือนวลของผลไม้นี้มักหลุดออกง่าย ระหว่างการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ เช่น การทำความสะอาด การคัดเกรด เป็นต้น ทำให้เกิดความเสียหายทั้งในแง่ความทนทานต่อการเก็บรักษาและผลไม้เสื่อมสภาพเร็วขึ้น ดังนั้นการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวจึงเป็นการทดแทนสารประเภทไขจากธรรมชาติที่หลุดไป ช่วยปิดรอยเปิดตามธรรมชาติและรอยแผลที่เกิดหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ลดการสูญเสียน้ำได้ (สายชล, 2528) การเคลือบผิวจึงเป็นวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้วิธีหนึ่งและจัดเป็นการเก็บรักษาผลิตผลแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (Johnson *et al.*, 1997) เนื่องจากการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ปริมาณออกซิเจนภายในผลลดลงเพราะใช้ในการหายใจ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นไปขัดขวางการทำงานของเอธิลีนที่สะสมภายใน (Hulme, 1997 ; Johnson *et al.*, 1997) ความเข้มข้นของสารเคลือบผิวมีผลต่อผลิตผลคือ หากนำสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไปเคลือบผลิตผล จะลดการแลกเปลี่ยนก๊าซและการสูญเสียน้ำได้น้อย ในทางกลับกัน หากสารเคลือบผิวนั้นมีความเข้มข้นสูงเกินไป ปริมาณออกซิเจนในผลมีปริมาณต่ำอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลจะสุกผิดปกติและเกิดกลิ่นหมัก (จริงแท้, 2542)

ธรรมภรณ์ (2534) พบว่า การเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วย Sta Fresh 30 เปอร์เซ็นต์ Sta Fresh 40 เปอร์เซ็นต์ Citrus Shine 40 เปอร์เซ็นต์ และ Citrus Shine 60 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีการสูญเสียน้ำหนักลดลงและสุกช้ากว่าผลที่ไม่เคลือบผิว ผลมะม่วงที่เคลือบด้วย Sta Fresh 30 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บรักษา 12 วัน นานกว่าผลมะม่วงที่ไม่เคลือบผิวที่มีอายุการเก็บรักษานาน10 วัน ส่วนผลที่เคลือบผิวด้วย Sta Fresh 40 เปอร์เซ็นต์ Citrus Shine 40 เปอร์เซ็นต์ และ Citrus Shine 60 เปอร์เซ็นต์ เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ การเคลือบผิวมะม่วงเขียวเสวยด้วย Samper Fresh 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาที่ 13-15^{o}ซ 75-81 %RH พบว่าผลที่เคลือบผิวมีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลมะม่วงที่ไม่เคลือบผิว และผลที่เคลือบผิวด้วย Samper Fresh 2 เปอร์เซ็นต์ ช่วยชะลอการสุกได้นานกว่ากรรมวิธีอื่น 1 สัปดาห์ แต่จะเกิดกลิ่นหมัก ส่วนผลที่

เคลือบผิวด้วย Samper Fresh 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27-32°ซ, 75-78 %RH) เกิดกลิ่นหมักในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา (นิตยา, 2531) ผลส้มเขียวหวานที่ผ่านการขจัดสีเขียวด้วยสารเอธิฟอน 600 ppm แล้วนำมาเคลือบผิวด้วย Sta Fresh 310 75 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°ซ ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจและเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคได้ดี (วิกันดา, 2541)

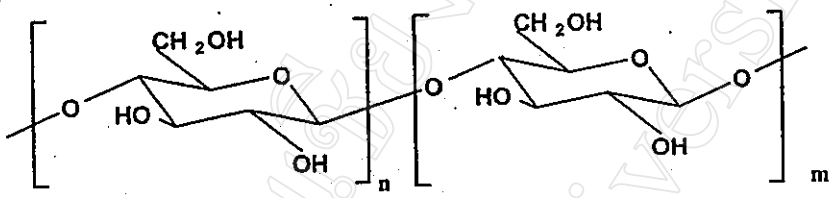
การศึกษาผลของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ต่อคุณภาพหลังเก็บเกี่ยวของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย พบว่าผลลิ้นจี่ที่เคลือบผิวด้วยน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำมันปาล์ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28-32°ซ) มีอายุการเก็บรักษานาน 6.7 วัน การสูญเสียน้ำหนัก 12.13 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลลิ้นจี่ที่ไม่เคลือบผิว เก็บรักษานาน 3.5 วัน และสูญเสียน้ำหนัก 17.82 เปอร์เซ็นต์ (ชินพันธ์, 2539) การเคลือบผิวผลกล้วยไข่ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ พบว่าผลกล้วยไข่ที่เคลือบผิวด้วยแป้งข้าวเหนียว 5 เปอร์เซ็นต์ แซนแธนกัม 0.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วลิสง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-25 °ซ มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าและชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้ดีกว่ากล้วยไข่ที่ไม่เคลือบผิว (ชลิต, 2540) ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่เคลือบด้วย Nature Seal 2020 (NS) ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นโพลีแซคคาไรด์ และTropical Fruit Coating 213 (TFC) ที่มีองค์ประกอบหลักเป็น carnauba wax ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ทั้งสองชนิด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °ซ 99 %RH นาน 4 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาที่ 20 °ซ 56 %RH สามารถลดการเน่าเสียและทำให้ผลมีสภาพดัดแปลงบรรยากาศเกิดขึ้น แต่ผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วย NS มีการแลกเปลี่ยนก๊าซน้อยกว่าและสุกช้ากว่าผลที่เคลือบผิวด้วย TFC (Baldwin, 1999)

ไคโตซาน (chitosan)

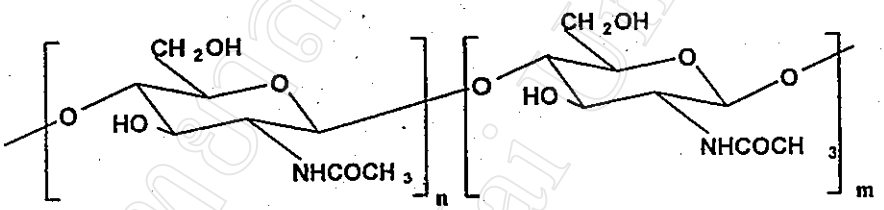
ไคโตซานเป็นอนุพันธุ์ชนิดหนึ่งของไคติน (chitin) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาถอดหมู่อะซิติล (deacetylation) ของไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น (รัตนา, 2544) ไคตินและไคโตซานเป็นสารประกอบในธรรมชาติที่พบเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์ทะเลจำพวกกุ้ง ปูและแกนหมึก นอกจากนี้ยังพบในเปลือกแข็งของแมลง ผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางสายพันธุ์ (ปิ่วย, 2544; ภาวดีและคณะ, 2544) ซึ่งมนุษย์สัมผัสและบริโภคสารเหล่านี้อยู่ตลอดเวลา จึงเป็นข้อยืนยันว่าสารนี้มีความปลอดภัยและไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ (รัฐ, 2543; Ornum, 1992)

ไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส ต่างกันที่หน่วยย่อย (monomer) คือ หน่วยย่อยของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคตินและไคโตซาน คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ หมู่ฟังก์ชันที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส (pyranose ring) ของเซลลูโลสเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ส่วนไคตินมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่อะเซตาไมด์ (acetamide group) และไคโตซานมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่อะมิโน (amino group) ดังแสดงในภาพที่ 1(ก-ค) โครงสร้างพอลิเมอร์ของไคติน

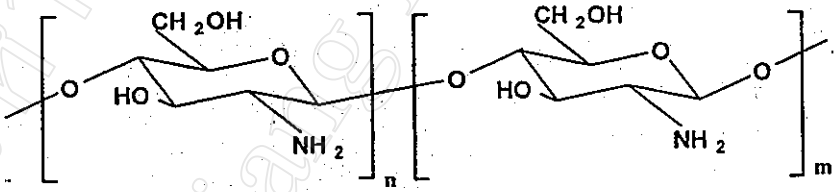
และไคโตซานจะอยู่ผสมกันเป็นโคพอลิเมอร์ (copolymer) ระหว่าง N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ดังแสดงในภาพที่ 1(ง) ในกรณีที่พอลิเมอร์ประกอบด้วย N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า D-glucosamine หรือ degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงคุณสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้ามี D-glucosamine มากกว่า N-acetyl-D-glucosamine หรือ degree of deacetylation สูง จะแสดงคุณสมบัติเด่นของไคโตซาน (รัตนา, 2544 ; สุวบุญ และ คณะ, 2544)



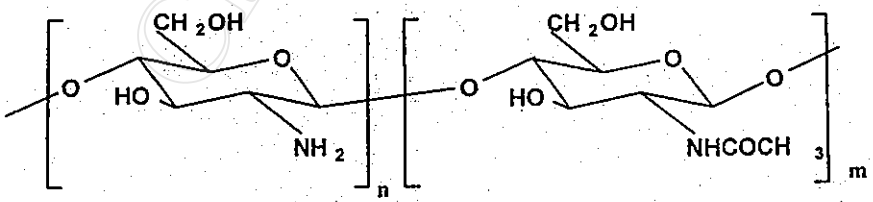
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 1 โครงสร้างเซลลูโลส (ก), ไคติน (ข), ไคโตซาน (ค) และไคติน-ไคโตซานโคพอลิเมอร์ (ง) (สุวบุญ และคณะ; 2544)

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน (ภาวดี และ คณะ, 2544)

การละลาย (solubility)

ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ด่างและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก กรดไนตริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้ภายใต้การคนที่อุณหภูมิปานกลาง ซึ่งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายไคโตซานมีความเหนียว ใส มีพฤติกรรมแบบนอน-นิวโตเนียน (non-newtonian) ในสารละลาย

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต

การถอดหมู่อะซิติล (degree of deacetylation)

เนื่องจากโครงสร้างของไคตินและไคโตซานเป็นแบบโคพอลิเมอร์ จึงมีการกำหนดค่าดัชนีแสดงระดับของการถอดหมู่อะซิติล (degree of deacetylation) ซึ่งบอกจำนวน D-glucosamine ในสายพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน หากสัดส่วนของ D-glucosamine มากกว่า N-acetyl-D-glucosamine จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น pH และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายจะมีความหนืดที่ต่างกัน เช่น เมื่อสารละลายมี pH ลดลง ค่าความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะลดลง

ความสามารถในการตกตะกอน (coagulation ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (flocculant and coagulating agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อมและพอลิเมอร์อื่นๆ ความสามารถในการจับกับโปรตีนแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ส่วนไคโตซานที่มี degree of deacetylation สูงสามารถจับกับไอออนของโลหะหนักได้ดี

การเสื่อมสลาย (degradation)

เมื่อเกิดการเสื่อมสลายของไคโตซานจะได้สายโมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) คือ chitooligosaccharides และหน่วยย่อย (monomer) คือ D-glucosamine ซึ่งการสลายสภาพเกิดขึ้นได้โดยการใช้กรด-ด่างทำปฏิกิริยาทางเคมี การเสื่อมสลายโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียง การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์ เช่น เอนไซม์ chitinase เอนไซม์ chitosanase เอนไซม์ lysozyme และการเสื่อมสลายโดยความร้อน

ไคโตซานเสื่อมสลายที่อุณหภูมิสูง การเสื่อมสลายโดยความร้อนต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 280 – 330 องศาเซลเซียส (สุวบุญและคณะ, 2544)

ประโยชน์ของไคโตซาน

เนื่องจากคุณสมบัติการละลายของไคโตซาน ที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายกรดเจือจางซึ่งสะดวกต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ต่างจากไคตินที่มีข้อจำกัดทางการละลายด้วยตัวทำละลายต่างๆ รวมถึงคุณสมบัติที่สำคัญของไคโตซาน คือ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม ใส ยืดหยุ่นและเหนียว สามารถบริโภคได้และทนต่ออุณหภูมิสูง (อุดมชัย, 2535) ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไคโตซานจึงมีเป็นจำนวนมากเละก่อให้เกิดประโยชน์หลายด้าน ได้แก่ วัสดุทางการแพทย์ การบำบัดน้ำเสีย อาหารสัตว์ เส้นใยสังเคราะห์ อาหารเสริม เครื่องสำอาง การเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช สารเร่งการเจริญเติบโต ปุ๋ยและการเก็บรักษาผลิตผลหลังเก็บเกี่ยว

ประโยชน์ของไคโตซานทางวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวคือ การเคลือบผิวผลไม้เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและมีผลยับยั้งการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อนำไคโตซานความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ มาเคลือบผิวมะนาวที่ผ่านการล้างน้ำผสมสารฆ่าเชื้อรา สามารถชะลอการเปลี่ยนสีผิวของผลมะนาว โดยมะนาวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 1^{o}ซ) ความชื้นสัมพัทธ์ 82±5 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 11 ± 1^{o}ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85±5 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาได้นาน 24 และ 56 วัน ตามลำดับ (ไพรัตน์และคณะ, 2536) สุทัศน์เทียม (2544) ได้ใช้ไคโตซานเคลือบผิวมะนาวที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.5 % w/v อุณหภูมิ 55 ^{o}ซ เป็นเวลา 5 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25^{o}ซ และ 13 ^{o}ซ สามารถเก็บรักษาได้นาน 19 วันและ 70 วัน ตามลำดับ ส่วนผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยไคโตซานมีอายุการเก็บรักษาเพียง 17 และ 50 วัน ตามลำดับ

การเคลือบผิวผลสตรอเบอรี่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 ^{o}ซ พบว่า ช่วง 21 วันแรกของการเก็บรักษา สามารถยับยั้งการเกิดโรคได้เทียบเท่ากับสารยับยั้งเชื้อรา Rovral หลังจากนั้นไคโตซานจะยับยั้งการเกิดโรคได้ดีกว่า เพราะหลังจาก 21 วัน ผลสตรอเบอรี่จะเกิดอาการเป็นพิษ (phytotoxicity) เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อรา Rovral ทำให้มีอาการฉ่ำน้ำ (water-soaked areas) และเพิ่มอัตราการเกิดโรค ส่วนผลที่เคลือบผิว

ด้วยไคโตซานสามารถยับยั้งการเกิดโรคได้ เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติการเป็นสารยับยั้งเชื้อรา หรือการเหนี่ยวนำให้เกิดเอนไซม์ chitinase และ β-1,3-glucanase ย่อยผนังเซลล์เชื้อราหรือการกระตุ้นให้ผลสตรอเบอรี่สร้างสารต่อต้านเชื้อรา (phytoalexin) สาเหตุใดสาเหตุหนึ่งหรือ 3 สาเหตุร่วมกัน การปลูกเชื้อ *Botrytis cineria* และ *Rhizopus stolonifer* บนผลสตรอเบอรี่ แล้วนำมาเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ช่วยลดการเกิดโรคจากเชื้อทั้ง 2 ชนิด และกลไกการเกิดโรคจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารยับยั้งเชื้อรามากกว่าความสามารถในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ (El Ghaouth *et al*., 1991, 1992) การนำไคโตซานความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ มาเคลือบผิวลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล (browning) ที่เปลือกและยับยั้งการเกิดโรคเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 ^{o}ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ (Zhang and Quantick, 1997)

Jiang and Li (2001) เคลือบผิวผลลำไยด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2^{o}ซ 90 %RH พบว่าไคโตซานทุกความเข้มข้นทำให้อัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนัก และการเน่าเสียลดลง ชะลอการเพิ่มขึ้นของ polyphenol oxidase (PPO) activity และไม่สร้างความเสียหายแก่ผลลำไย การเคลือบผิวผลส้มด้วยไคโตซาน 1.8 เปอร์เซ็นต์ ให้มีความหนา 30-35 ไมครอน ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 40 วัน (Dien and Binh, 1996) เมื่อเปรียบเทียบผลของการเคลือบผิวผลสาเก (bread fruit) ด้วยสารเคลือบผิวที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ ไคโตซาน 1.5 เปอร์เซ็นต์ Samperfresh F 1.5 เปอร์เซ็นต์ Nutri-Save 3 เปอร์เซ็นต์ และ Sta Fresh MP พบว่า สารเคลือบผิวทุกชนิด ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงสภาพก๊าซ O_2 และก๊าซ CO_2 ของผล โดยก๊าซ O_2 ต่ำลงและก๊าซ CO_2 สูงขึ้น ชะลอการสุกโดยการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อและรสชาติเป็นปกติ (Worrell *et al*., 2002)

การเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และเขียวเสวยด้วยไคโตซาน ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะม่วงทั้งสองพันธุ์ได้ แต่การเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25^{o}ซ เป็นเวลา 2 วัน ทำให้ผลมะม่วงเกิดการสุกผิดปกติและมีกลิ่นหมัก ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม (วิเชียร, 2541)