

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ส้มเขียวหวาน มีชื่อสามัญว่า mandarin หรือ tangerine มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* Blanco. มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน มีการปลูกในประเทศจีนและญี่ปุ่น แพร่กระจายไปยังประเทศในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันปลูกในเขตร้อนและกึ่งร้อนทั่วไป (เกศินี, 2546) ซึ่งมีความชื้นและสภาพอากาศที่เหมาะสม พื้นที่การปลูกส้มของโลกอยู่บริเวณเส้นรุ้งที่ 34 องศาใต้ ถึง 41 องศาเหนือ (Murata, 1997) พืชตระกูลส้มสามารถจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ โดยอ้างตาม Hodson system ได้ดังนี้ (พายัพ, 2542)

1. กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา (Oranges group)

เป็นกลุ่มส้มกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปเอเชียทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดียทางแถบทิเบต ไปจนถึงจีนและพม่า แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

1.1 ส้มที่มีรสหวาน (Sweet orange; *Citrus sinensis*) ส้มกลุ่มนี้นิยมรับประทานสดและแปรรูป เช่น น้ำส้ม ส่วนเปลือกใช้ทำแยมผิวส้ม (marmalade) แบ่งออกได้อีก 4 กลุ่ม คือ

1.1.1 ส้มเนเวล (navel oranges) ลักษณะของผลส้มกลุ่มนี้ปลายผลจะมีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายสะดือ (navel) ที่ตรงแอ่งอาจมีผลเล็กๆ เกิดซ้อนกันอยู่อีก เรียกว่า secondary fruit นอกจากนี้ยังไม่มีเมล็ด รสชาติดี เปลือกไม่ติดเนื้อ ทำให้ปอกง่าย พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ ทอมสัน (Thomson) และวอชิงตันเนเวล (Washington Navel)

1.1.2 ส้มชนิดที่มีเนื้อผลสีแดง (pigmented or blood oranges) ส้มกลุ่มนี้มี anthocyanin ที่เปลือกและในน้ำคั้น พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ โมโร (Moro) ทารอคโค (Tarocco) และแซงควิเนลลิ (Sanguinelli)

1.1.3 ส้มออเรนจ์ (common oranges) ส้มกลุ่มนี้นิยมบริโภคผลสดและแปรรูป เช่น พันธุ์วาเลนเซีย (Valencia) พีรา (Pera) แฮมลิน (Hamlin) และไพแอปเปิล (Pineapple)

1.1.4 ส้มชนิดที่เนื้อไม่มีกรด (acidless or sugar oranges) ส้มกลุ่มนี้มีปริมาณกรดในผลน้อยมากประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เช่น พันธุ์ลิมา (Lima) และไพราลิมา (Piralima)

1.2 ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือออกรสขม (Sour or bitter orange; *Citrus aurantium*) ส้มกลุ่มนี้มีถิ่นกำเนิดทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จีน และพม่า แพร่กระจายไปทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น และแถบเมดิเตอร์เรเนียนจนถึงทวีปยุโรป เป็นส้มที่มีรสเปรี้ยวจัด ขนาดผลโต มีเมล็ดมาก สามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น แยมผิวส้ม น้ำมันหอมระเหย พันธุ์ที่นิยมปลูก เช่น รูบี้บลัด (Ruby Blood) โดเบิลฟิโน (Doblefina)

2. กลุ่มส้มจีนและส้มเขียวหวาน (Mandarin and Tangerine groups)

ส้มเขียวหวานมีชื่อสามัญว่า แมนดาริน หรือส้มจีน (mandarin) หรือ แทนเจอร์น (Tangerine) อยู่ในตระกูล Rutaceae มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน ปลูกกันมานานในประเทศจีน และญี่ปุ่น ต่อมาได้มีการแพร่กระจายไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา และทวีปยุโรป จนปัจจุบันเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่ปลูกกันทั่วไปทั้งในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน (เกสซิ, 2546) พบปลูกมากในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น จีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน และไทย เป็นต้น ลักษณะของส้มพวกนี้คือ เปลือกอ่อนและล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ส้มจีนและส้มเขียวหวานมีลักษณะแตกต่างกันคือ ส้มจีน ผลมีขนาดโตกว่าส้มเขียวหวาน เปลือกอ่อนข้างหนา และขรุขระกว่า เปลือกอ่อนเปราะ แกะง่าย ใ้ผลกลวง กลีบแยกออกจากกันได้ง่าย สีผลและเนื้อเป็นสีส้มเข้ม ส้มในกลุ่มนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเขตร้อน มีลักษณะผลใกล้เคียงกับกลุ่มออเรนจ์ อาจเรียกว่าแทนเจอร์น ชื่อแมนดารินและแทนเจอร์นนั้นอาจใช้แทนกันได้ แต่มีผู้พยายามแยกทั้งสองชื่อออกจากกันโดยใช้ความแตกต่างของสีเปลือก เช่น พวกที่มีเปลือกสีส้มหรือสีแดงเรียกว่าแทนเจอร์น ส่วนพวกที่มีเปลือกสีเหลือง เรียกว่า แมนดาริน ส้มในกลุ่มแมนดารินแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

2.1 ซัชซูมา (Satsuma; *Citrus unshiu* Marcovitch) มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น ลักษณะโดยทั่วไปของผลส้มซัชซูมาคือ ผลขนาดค่อนข้างเล็ก มีรูปร่างแบน ที่ขั้วอาจมีจุกหรือบางครั้งไม่มี ไม่มีเมล็ด ผิวผลเรียบแต่มีต่อมน้ำมันใหญ่หนูนเด่นชัด มีจำนวนกลีบ 10–12 กลีบ สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย แกนผลกลวง และฉ่ำน้ำส้มมีลักษณะสั้น พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ โอวาริ (Owari) ซิลเวอร์ฮิลล์ (Silver hill) และคารา (Kara)

2.2 แมนดาริน (Common mandarins; *Citrus deliciosa* Blanco) ลักษณะโดยทั่วไปของส้มแมนดาริน ผลมีขนาดกลางถึงใหญ่ เปลือกบางและล่อนง่าย ผลไม่ค่อยฟ้าม พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ส้มเขียวหวาน และส้มจีน ส่วนพันธุ์ที่นิยมปลูกในต่างประเทศ ได้แก่ คลิเมนไทน์ (Clementine) และพองแกน (Ponkan) เป็นต้น

2.3 คิงแมนดาริน (King mandarin; *Citrus nobilis* Loureiro) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า King of Siam มีถิ่นกำเนิดในอินโดจีนทางเหนือของประเทศญี่ปุ่นและทางใต้ของมาเลเซียลักษณะโดยทั่วไปผลมีขนาดค่อนข้างใหญ่ถึงใหญ่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับแมนดาริน เปลือกหนา ค่อนข้างขรุขระและติดกับเนื้อบางส่วน พันธุ์ที่สำคัญได้แก่ พันธุ์คิง (King) และพันธุ์เอมเพอร์ (Emperor)

2.4 เมดิเตอร์เรเนียนแมนดาริน (Mediterranean mandarin; *Citrus deliciosa* Tenore) สัมกลุ่มนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ลักษณะที่เด่นชัดคือ ใบยาวเรียวเล็กและมีกลิ่นหอมจากน้ำมัน และจากเปลือกผลสัมมน้ำส้มมีรสหอมอ่อนๆ และเมล็ดค่อนข้างกลม ส่วนของน้ำมันที่สกัดได้จากเปลือกผลและใบใช้ในการผลิตน้ำหอมและเครื่องสำอางค์

3. กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุต (Pomelo and Grapefruit groups)

ส้มทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลำต้นและทรงพุ่มแตกต่างกันที่ลำต้นของส้มโอจะใหญ่กว่า และแข็งแรงกว่า เกรฟฟรุต ซึ่งมีขนาดทรงพุ่มที่เล็กกว่าจึงสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด

3.1 ส้มโอ (*Citrus grandis* L. Osbeck) เป็นส้มที่มีผลขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาพืชตระกูลส้มทั้งหมด มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน ส้มโอแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

3.1.1 ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว มีทั้งชนิดหวานที่มีเปอร์เซ็นต์กรด 0.08-0.10 เปอร์เซ็นต์ และชนิดที่หวานอมเปรี้ยวที่มีเปอร์เซ็นต์กรด 1.02-1.93 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนของน้ำตาล : กรด เท่ากับ 5.6-17.4 เท่า

3.1.2 ชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ มีลักษณะคล้ายกับส้มโอธรรมดา ยกเว้นลักษณะของสีเนื้อที่เกิดจากสารสีแคโรทีนอยด์ และไลโคพิน ซึ่งทำให้เนื้อผลมีสีตั้งแต่ชมพูอ่อนถึงสีแดงเข้ม พันธุ์ส้มโอที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ขาวพวง และขาวแป้น เป็นต้น

3.2 เกรฟฟรุต (*Citrus paradisi* Macfadyen) มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินเดียตะวันตก ลักษณะผลคล้ายส้มโอมากแต่มีขนาดเล็กกว่า ผลกลมแป้น เปลือกบาง และผิวเรียบ เกรฟฟรุตแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

3.2.1 ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว ได้แก่ พันธุ์มาช (Marsh)

3.2.2 ชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ ได้แก่ พันธุ์สตาร์รูบี้ (Star Ruby) และริโอเรด (Rio Red)

เป็นต้น

4 กลุ่มมะนาว (Common acid member group)

แบ่งย่อยออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

4.1 เลมอน หรือมะนาวฝรั่ง (Lemon) (*Citrus limmon* L.Burn f.) ถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ลักษณะทั่วไปผลมีสีเขียวอมเหลือง ผลยาวรี ลักษณะประจำพันธุ์ที่เด่นชัดคือ ส่วนปลายผลนูนสูงขึ้น เรียกว่า นิบเปิด หรือ apical mamilla พันธุ์ที่มีความสำคัญทางการค้าได้แก่ ยูรีก้า (Eureka) และดอร์ซาโป (Dorshapo) เป็นต้น

4.2 ไลม์ หรือมะนาวไทย (Lime) (*Citrus aurantifolia* Swing) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย ตลอดจนประเทศมาเลเซีย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

4.2.1 ชนิดที่มีรสเปรี้ยว มีขนาดผลที่ใหญ่และขนาดผลเล็ก ได้แก่ พันธุ์เวสอินเดียน ไลม์ หรือเม็กซิกันไลม์ (West Indian lime or Mexican lime)

4.2.2 ชนิดที่มีรสหวาน มีลักษณะเหมือนมะนาวทั่วไป แต่เนื้อมีรสหวาน มีกรดน้อย พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์อินเดีย หรือปาเลสไตน์ เป็นต้น

4.3 ซิตรอน (Citron) (*Citrus medica* L.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือ ผลมีเปลือกหนา ถู่น้ำส้ม (juice sac) มีจำนวนน้อย รสเปรี้ยวจัดและมีเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น เปลือกเชื่อม และทำขนม เป็นต้น

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มเขียวหวาน (เกศินี, 2546)

ส้มเขียวหวานเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก ความสูง 2-8 เมตร ทรงพุ่มหนาแน่น ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งอ่อนเขียวและเป็นเหลี่ยม กิ่งแก่สีเขียวเข้ม ไม่มีขน ใบรูปไข่ค่อนข้างยาว รูปรีหรือรูปใบหอก ฐานใบและปลายใบมน มีรอยเว้าที่ปลายใบ ผิวใบด้านบนมีสีเขียวเข้มเป็นมัน ผิวใบด้านล่างสีเขียวปนเหลือง ผลรูปร่างกลมแบน ผิวเปลือกสีเขียว สีเขียวอมเหลือง หรือสีส้มปนเหลือง จนถึงสีแดงปนส้ม ผิวเรียบมีต่อมน้ำมันอยู่ภายในผิวเปลือก เปลือกบาง กลิ่นหอมแรง เปลือกด้านในมีสีเหลืองอ่อน ผลมี 10-15 กลีบ ผนังกลีบบาง เนื้อมีน้ำมาก สีส้ม รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ผลส้มมีการเจริญเติบโตแบบ sigmoid curve ผลมีการเพิ่มขนาดและน้ำหนักตลอดเวลาของการเจริญเติบโต แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ (Kale and Adsule, 1995) ดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะการแบ่งเซลล์ (cell division period) พบได้ในเนื้อเยื่อทุกชนิดยกเว้นบริเวณชั้นนอกสุดของชั้น flavedo และส่วนปลายของถู่น้ำส้ม (juice sac) ขนาดและน้ำหนักของผลมีค่าเพิ่มขึ้นในเวลา 1 ถึง 1.5 เดือนหลังดอกบาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศและพันธุ์

ระยะที่ 2 ระยะการขยายตัวของเซลล์ (cell enlargement period) เป็นระยะที่เกิดการพัฒนาส่วนที่เป็นเนื้อ (pulp) ถู่น้ำส้มจะขยายตัวเต็มแต่ละกลีบของส้ม (locules หรือ segment) อย่าง

รวดเร็ว และพบว่าปริมาณน้ำส้มและปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มตามไปด้วย ผลส้มจะมีการเพิ่มขนาดซึ่งเป็นผลมาจากการที่เซลล์มีการขยายตัวและเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ เกิดการขยายตัวของชั้น albedo ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาวคล้ายฟองน้ำ เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีเมื่อผลเริ่มเข้าสู่ระยะแก่

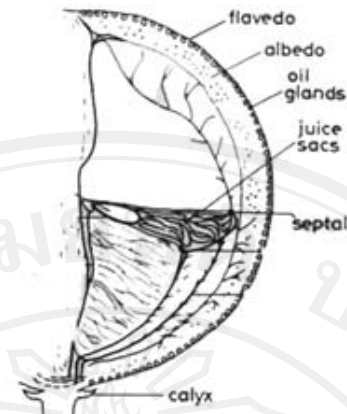
ระยะที่ 3 ระยะผลแก่ (maturation period) ระยะนี้เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในผลคือ เฟอร์เร็นต์ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จะมีค่าลดลง ผลส้มแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 9 ถึง 10 เดือน หรือสังเกตจากสีผิวของส้มจะเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง

ผลส้มจัดเป็นผลแบบ berry ชนิด hesperidium ซึ่งเจริญมาจากส่วนของรังไข่ แบ่งตามลักษณะที่แตกต่างกันได้ 3 ส่วน (Ting and Attaway, 1971) (ภาพ 1)

1. ชั้น exocarp ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกของผลส้ม หรือที่เรียกว่าชั้น ฟลาวิโด (flavedo) ชั้นนอกสุดเป็นชั้นของอีพิเดอมีส (epidermis) ที่มีคิวติเคิล (cuticle) และมีต่อมน้ำมัน (oil gland) ในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ชั้นนี้จะมีคลอโรพลาสต์ (chloroplast) แต่เมื่อผลสุกคลอโรพลาสต์จะเปลี่ยนไปเป็นโครโมพลาสต์ (chromoplast) และมีการสร้างเม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ทำให้ผลมีสีตามลักษณะประจำพันธุ์

2. ชั้น mesocarp เป็นผนังชั้นกลางที่อยู่ถัดจากชั้น exocarp หรือที่เรียกว่า อัลบิโด (albedo) เป็นชั้นบาง ๆ สีขาว เป็นเซลล์พวก spongy parenchyma ประกอบด้วยสารจำพวกเพคติน (pectin) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ความหนาบางของชั้น albedo จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่น ผลส้มเขียวหวานหรือส้มจำพวกที่เปลือกง่าย เนื้อเยื่อชั้นนี้จะค่อนข้างบาง แต่ในเกรฟฟรุตและส้มโอ พบว่าเนื้อเยื่อชั้นนี้มีความหนาถึง 1-3 เซนติเมตร ชั้นของ albedo และ flavedo รวมกันจะเรียกเป็น pericarp หรือเปลือกส้ม

3. ชั้น endocarp เป็นชั้นในสุดของ pericarp คือ carpel membrane ของกลีบส้มนั่นเอง ภายในกลีบส้มจะประกอบด้วยเมล็ดเล็กน้อย และเต็มไปด้วยถุงน้ำส้ม (juice sac) จำนวนมากที่เชื่อมติดกับผนังกลีบส้ม โดยถุงน้ำส้มจะขยายตัวตามการพัฒนาของผลส้ม ถุงน้ำส้มทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำ น้ำตาล และสารต่างๆ สำหรับชั้นของผนัง (septum) ที่กั้นระหว่างกลีบนั้นเกิดจากผนังของกลีบ 2 กลีบที่อยู่ติดกัน



ภาพ 1 ลักษณะ โครงสร้างของผลส้ม

ที่มา : Spiegel-Roy and Goldschmidt (1996)

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของส้มที่สำคัญได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกส้ม

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลส้มยังคงมีการเปลี่ยนสีของเปลือกได้ โดยจะเริ่มจากการสลายตัวของสารสีพวกคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ทำให้สีเขียวหายไป ซึ่งเป็นการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายคลอโรฟิลล์โดยการแยกเอาส่วนที่เป็นหมู่ไฟทอล (phytol) ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ จากนั้นจะเกิดสีเหลืองหรือสีส้มขึ้นมาแทน เนื่องจากคลอโรโรนหรือเพอพูริน (chlororin หรือ purpurin) ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้สีเหลืองของแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ที่มีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไป สีของแคโรทีนอยด์จึงแสดงออกมาได้ พร้อมกับมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ใหม่ขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วยแคโรทีนและแซนโทฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสีที่อยู่ในโครโมพลาสต์ (คณัย, 2540; Gross, 1987) ในการสลายตัวของคลอโรฟิลล์พบว่าการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase) มากขึ้น แต่การที่เอทิลินกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลส้ม นั้น เอนไซม์ออกซิเดสนี้อาจมีความสำคัญต่อการทำลายคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อที่กำลังสุกของผลส้มได้ (คณัย, 2540) ดังนั้น เมื่อมีการใช้เอทิลินเร่งการสลายสีเขียวของเปลือกส้มจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ออกซิเดสเพิ่มขึ้นควบคู่กัน (Gross, 1987) การป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์นั้นทำได้โดยการลดอุณหภูมิของส้มลง เนื่องจากคลอโรฟิลล์จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน การเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ด้วย (จริงแท้, 2549) แต่ถ้าผลิตผลได้รับอุณหภูมิสูงระหว่างการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาจะเร่งให้มีการเปลี่ยนสีผิวได้เร็วขึ้น (Kadam *et al.*, 1995)

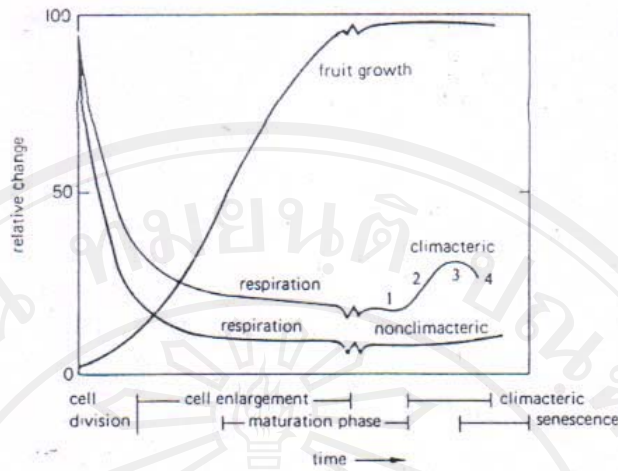
2. การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำออกจากผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสิ่งที่เลี่ยงไม่ได้ เป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของความเสียหายที่เกิดขึ้นขณะที่มีการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำไม่เพียงแต่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักซื้อขาย ยังส่งผลให้ผลสัมเหี่ยวหรือหดตัว ทำให้ลักษณะที่ดึงดูดใจผู้ซื้อลดน้อยลงไปด้วย และอาจทำให้รสชาติของผลผลิตนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย ถึงแม้ว่าผิวของส้มจะมีสารประเภทไขหรือคิวติเคิลที่เคลือบอยู่ตามผิว เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำของพืช แต่ผลผลิตจำเป็นต้องมีช่องเปิดให้น้ำและอากาศผ่านเข้า-ออกได้ คือ ปากใบและเลนติเซล (จริงแท้, 2549) อย่างไรก็ตาม น้ำยังสามารถผ่านเข้า-ออกจากผลไม้ได้ทางคิวติเคิลเช่นกัน ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวปากใบของผลไม้จะปิด และการสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นทางคิวติเคิล (สายชล, 2528; จริงแท้, 2549) โดยทั่วไปแล้วหากมีการสูญเสียน้ำเพียง 5-10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักจะทำให้ผลเหี่ยว เสียรูปทรง ความแน่นเนื้อลดลง เปลือกผลบาง แข็ง และรสชาติไม่ดี (Peleg, 1985; Wardowski *et al.*, 1986) การสูญเสียน้ำของผลส้มขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ โครงสร้างของพืช สารเคลือบผิว รอยบาดแผล อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนที่ของอากาศ นอกจากนี้อัตราของพื้นที่ผิวที่น้ำระเหยออกไปได้มากกว่าผลไม้ที่มีขนาดเล็ก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักผลที่เท่ากันแล้ว ผลไม้ขนาดเล็กจะสูญเสียน้ำได้มากกว่าและเหี่ยวได้เร็วกว่าผลไม้ขนาดใหญ่ (จริงแท้, 2549) เช่นเดียวกับการสูญเสียน้ำหนักของผลส้ม ซึ่งการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นกับผลส้มที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลส้มที่มีขนาดใหญ่ (Ketsa, 1990)

3. การหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่มีความสำคัญมากที่สุดกระบวนการหนึ่ง เป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานที่สะสมไว้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ คือ คาร์โบไฮเดรต โดยการเปลี่ยนให้ไปอยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ adenosine triphosphate (ATP) เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นคุณภาพของการเก็บรักษารวมทั้งผลผลิตภายหลังการเก็บรักษาจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ (दनัย, 2540; จริงแท้, 2549) สัมจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric อัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลงเมื่อมีอายุมากขึ้น และอัตราการหายใจจะไม่เพิ่มขึ้นขณะที่ผลเริ่มสุกภายหลังจากเก็บเกี่ยวอีกทั้งยังมีการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำ ประมาณ 0.02-0.06 ppm (Vines *et al.*, 1963) ส่วนการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการหายใจและการผลิตเอทิลีน (Phan *et al.*, 1975) จึงเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งแตกต่างจากผลไม้ประเภท climacteric ที่จะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับการสุกและลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงเสื่อมสลาย (senescence) (สายชล, 2528)

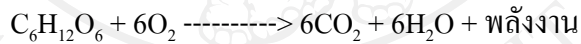
(ภาพ 2)



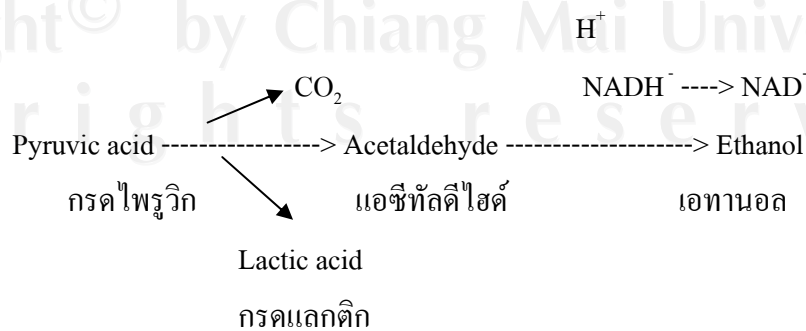
ภาพ 2 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non- climacteric ในช่วงของการเจริญเติบโตระยะต่างๆ 1 = pre-climacteric 2 = climacteric rise 3 = climacteric peak และ 4 = post-climacteric

การหายใจของผลไม้มี 2 แบบ ได้แก่

1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นการหายใจที่ต้องอาศัยแก๊สออกซิเจนในการออกซิไดซ์น้ำตาลให้ให้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ดังสมการ



2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้แก๊สออกซิเจนหรือใช้เพียงเล็กน้อย โดยกรด (pyruvic acid) ที่ได้จากระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) จะไม่ผ่านเข้ากระบวนการ Kreb's cycle แต่จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นกรดแลกติก เช่น ในเซลล์กล้ามเนื้อ หรือเป็นแอซีทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และเอทานอล (ethanol) เรียกว่ากระบวนการหมัก (fermentation) การหายใจแบบนี้เกิดได้ในสภาพมีปริมาณของแก๊สออกซิเจนต่ำในระหว่างการเก็บรักษา ดังสมการ



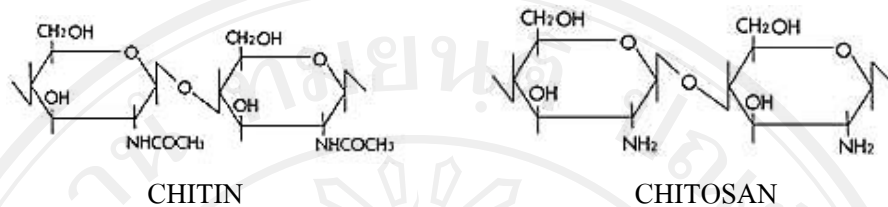
4. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอินทรีย์ และวิตามิน ซึ่งล้วนมีผลต่อรสชาติของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตของผลส้ม นั้น ความหวานหรือน้ำตาลที่ได้มาจากการเคลื่อนย้ายจากปากใบเข้ามาสะสมในผลขณะที่มีการเจริญเติบโต ไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลเหมือนกับผลไม้ประเภท climacteric ผลส้มหลังการเก็บเกี่ยวไม่สามารถนำมาบ่มเพื่อให้หวานได้ แต่ภายหลังการเก็บเกี่ยวอาจมีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการสูญเสียน้ำออกจากผลผลิตผลทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในกรณีนี้ไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้รสชาติของส้มหวานขึ้น แต่เป็นเพราะการลดลงของกรดอินทรีย์มากกว่า (จริงแท้, 2549) ส่วนโปรตีนไม่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพหรือรสชาติของผลไม้ แต่ว่าการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนจะเป็นตัวชี้ถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนาการต่างๆ ส่วนกรดอินทรีย์โดยทั่วไปแล้วปริมาณกรดในผลไม้จะเพิ่มขึ้นสูงสุดระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนาอยู่บนต้น ยกเว้นกล้วยและสับปะรด กรดอินทรีย์ที่พบมากในส้มคือ กรดซิตริกและรองลงมาคือกรดมาลิก ดังนั้นการเกิดรสชาติที่ดีสำหรับผลไม้ส่วนหนึ่งมาจากการลดความเป็นกรดพร้อมกับการเพิ่มปริมาณของน้ำตาล (สายชล, 2528) วิตามินต่างๆ ที่สำคัญที่พบในส้มคือ วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายได้ดีในน้ำจึงดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย และกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกายได้ง่าย วิตามินซีสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน (กฤษฎา, 2545) สารประกอบในน้ำส้มหลังการเก็บเกี่ยวแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จะค่อยๆ ลดลงเนื่องมาจากการลดลงของปริมาณกรดซิตริกในน้ำส้ม ขณะที่กรดลดลงปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถบอกได้ในรูปปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ สามารถเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996)

ไคโตซาน

ไคโตซาน (Chitosan) เป็นอนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ซึ่งเป็น โพลีเมอร์ชีวเคมีในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีรงจากเซลล์ลูโลส (cellulose) Chitin มีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกับเซลล์ลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืช Chitin พบได้ใน สัตว์ที่มีข้อปล้อง (arthropodia) เช่น กุ้ง ปู แมลง หอยเปลือกแข็ง หอยมุก ปลาหมึก ผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางสายพันธุ์ (ภาวิดีและคณะ, 2544) โดยจะรวมอยู่ในสารพวกโพลีแซ็กคาไรด์ ส่วน Chitosan เป็นโพลีเมอร์ของหน่วยย่อย glucosamine ที่ได้จากปฏิกิริยา deacetylation ซึ่งจะแยกหมู่อะซิทิล (acetyl group) ออกจากหมู่เอมีนใน โครงสร้างของไคตินด้วยสารละลายต่างเข้มข้น จะได้เป็น D-glucosamine polymer

ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส (amino group) สูตรโครงสร้างของ Chitin และ Chitosan มีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกัน (ภาพ 3)



ภาพ 3 สูตรโครงสร้างของ chitin เปรียบเทียบกับ chitosan (France-Chitine, 2009)

Chitin มีชื่อทางเคมีว่า poly-β(1→4)-2-deoxy-D-glucosamine เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส ต่างกันที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 2 ของ Chitin เป็น NH₂-CO-CH₃ แทนที่จะเป็นหมู่ OH ซึ่งพบในเซลลูโลส จากสูตรโครงสร้างของ Chitin พบว่า Chitin เป็นสารโมเลกุลยาวที่ไม่มีประจุ (non-electrolytic polymer) ซึ่งทำให้ Chitin มีคุณสมบัติละลายได้ยากในสารละลายต่างๆ ไป ดังนั้นการใช้ประโยชน์จาก Chitin จึงไม่ค่อยแพร่หลาย แต่สามารถดัดแปลง Chitin โดยวิธีการทางเคมีไปเป็น Chitosan เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งาน

Chitosan มีชื่อทางเคมีว่า poly-β(1→4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose ผลิตได้โดยการแยกเอาหมู่อะซิทิล (acetyl group) ออกจาก chitin (deacetylation) โดยทั่วไป 80 เปอร์เซ็นต์ ของหน่วยไคตินทั้งหมดจะถูกดึงหมู่อะซิทิลออก ส่วนอีกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ยังเป็นหมู่อะซิทิลอยู่ เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของ Chitosan จะเห็นได้ว่ามีประจุบวกบนหมู่ NH₂ ได้ ทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิดที่เป็นกรด การใช้ประโยชน์จาก Chitosan จึงมีได้กว้างกว่า Chitin Chitosan ส่วนใหญ่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีค่า pH น้อยกว่า 6.0 (Filar and Wirick, 1978)

สมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของไคโตซาน (ภาวิดีและคณะ, 2544)

1. การละลาย (Solubility)

Chitosan ไม่ละลายในน้ำ ด่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมนำมาใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก

กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกันภายใต้การคนที่มีอุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามบางครั้งอาจมีตะกอนสีขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น

2. น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

Chitosan มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1.0×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต

3. ปริมาณการสูญเสียกลุ่มอะซิทิล (Degree of deacetylation)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็น Chitin หรือ Chitosan เนื่องจาก Chitin และ Chitosan เป็นโพลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ *N*-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงคุณสมบัติเด่นของ Chitin แต่ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation สูงจะแสดงคุณสมบัติเด่นของ Chitosan

4. ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลาย chitosan ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ionic strength ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของโพลิเมอร์จะลดลงเมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโพลิเมอร์จะให้ความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของ Chitosan ในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของ Chitosan ในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

ประโยชน์ของไคโตซานในเชิงวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

Chitosan มีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มใส เหนียว มีความยืดหยุ่น ทนต่อความร้อน และยังสามารถนำมาห่อหุ้มอาหารได้ อีกทั้งยังสามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วย จึงมีผลต่อเมแทบอลิซึมของผลไม้ (ไพร์ตันและคณะ, 2536; Coleman and Manson, 1988)

Chitosan มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยตรง โดยยับยั้งกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชเพื่อให้เกิดภูมิต้านทานเชื้อรา ดังนั้นจึงมีการนำ Chitosan มาเคลือบผิวผลผลิตทางการเกษตรเพื่อชะลอการสุก เช่น สตรอเบอร์รี่ ส้ม แอปเปิ้ล พืช ลิ้นจี่ สาลี่ มะนาว และมะเขือเทศ (Du *et al.*, 1997; El-Ghaouth *et al.*, 1992; Jiang and Li, 2001) เนื่องจากมีความปลอดภัย

และยังยับยั้งเชื้อราบางชนิด มีการใช้ Chitosan ในการเคลือบผิวส้มเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษา โดยใช้ความเข้มข้น 1.6-1.8 เปอร์เซ็นต์ หนาประมาณ 30-35 ไมครอน พบว่าสามารถเก็บส้มได้นานถึง 35-40 วัน โดยที่สีของส้มไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Dien and Binh, 1996) การเคลือบผิวสตรอเบอร์รี่ด้วย Chitosan เข้มข้น 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อโรคได้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ได้ไม่แตกต่างจากสารยับยั้งเชื้อรา Rovral ในช่วงการเก็บรักษา 21 วันแรก หลังจากนั้น Chitosan จะยับยั้งได้ดีกว่าเนื่องจาก ผลสตรอเบอร์รี่จะเกิดการเป็นพิษ (phytotoxicity) เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อรา Rovral ทำให้มีอาการฉ่ำน้ำ (water-soaked areas) และเพิ่มอัตราการเกิดโรค และการที่ Chitosan สามารถยับยั้งการเกิดโรคได้เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งเชื้อรา หรือการเหนี่ยวนำให้เกิดเอนไซม์ (chitinase และ β -1,3-glucanase) มาช่วยผนังเซลล์ของเชื้อราหรือการกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารต่อต้านเชื้อราของผลสตรอเบอร์รี่ (phytoalexin) (El-Ghaouth *et al.*, 1992) พิมพ์ใจ (2548) พบว่าการเคลือบผิวผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 70 ด้วย Chitosan เข้มข้น 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะปรากฏที่ดีที่สุด และมีการเข้าทำลายของเชื้อราน้อยที่สุด และผลสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ความเข้มข้น 3×10^5 สปอร์/มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเข้าทำลายของเชื้อราน้อยกว่าชุดควบคุม

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้หลังการเก็บเกี่ยว

ผลไม้ในธรรมชาติจะมีสารประเภทไขหรือแว็กซ์ ซึ่งเป็นสารที่เคลือบอยู่บนผิวของผลไม้มีบทบาทที่สำคัญในการควบคุมการสูญเสียน้ำ เนื้อเยื่ออพิเดอมิสซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นนอกสุดประกอบด้วย คิวตินและแว็กซ์ ซึ่งแทรกปนกันอยู่เรียกว่า คิวติเคิล แวกซ์ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ การผ่านเข้า-ออกของน้ำและอากาศส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในบริเวณปากใบ และเลนติเซล นอกจากนี้ยังสามารถผ่านเข้า-ออกบริเวณคิวติเคิลได้ด้วย สำหรับผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวปากใบจะปิด การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นทางคิวติเคิล (Ben-Yehoshua, 1987; จริงแท้, 2549) การสูญเสียน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวกันของแว็กซ์ โดยแว็กซ์ที่เรียงตัวกันไม่สนิทอาจจะมีช่องที่ทำให้น้ำระเหยผ่านออกไปได้ (Ben-Yehoshua, 1987) ในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ เช่น การล้างทำความสะอาดและการขนส่งผลิตผล ทำให้แว็กซ์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหลุดออกไปได้ ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ทั้งในแง่ความทนทานและความสวยงามของผิวผลไม้ นอกจากนี้ยังทำให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ ซึ่งจะส่งผลให้สูญเสียน้ำได้ง่าย รวมทั้งมีการแลกเปลี่ยนแก๊สมากขึ้นด้วย (Hagenmaier, 2005; นิธิยาและไพโรจน์, 2547) ผลส้มเขียวหวานที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) มีการสูญเสียน้ำหนัก 8-10

เปอร์เซ็นต์ ภายใน 1 สัปดาห์ และปรากฏอาการเหี่ยวให้เห็นชัดเจน (Somsrivichai *et al.*, 1992) จึงได้มีการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวที่ได้มาจากธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ เพื่อทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติที่หลุดออกไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลไม้ โดยสามารถลดลงได้ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตมีลักษณะผิวสดใสนุ่มเหนียวและลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ซึ่งจะช่วยชะลออัตราการหายใจให้ช้าลง แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผลไม้ นอกจากนี้การเคลือบผิวยังมีประโยชน์ทางอ้อมคือ ทำให้เปลือกของผลไม้มีความมันวาวสวยงามดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ในกรณีที่ต้องใช้สารเคมีชนิดอื่นเพิ่มเติมสารเคลือบผิวเหล่านี้จะช่วยเป็นตัวพาสารเคมีให้ติดอยู่กับผิวของผลไม้ด้วย เช่น การผสมสารเคมีฆ่าเชื้อรากับสีย้อมผิวของผลไม้ หรือการผสมสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างๆ ร่วมกับสารเคลือบผิว (दनัยและนิธิยา, 2548)

สารเคลือบผิวผลไม้ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิดและหลายสูตร แต่ละชนิดมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนผสมเหล่านี้จะเป็นความลับทางการค้า ส่วนใหญ่มักใช้เวกซ์หลายชนิดผสมกันเพื่อดึงเอาคุณสมบัติที่ดีของเวกซ์แต่ละชนิดมารวมกัน และทำให้เหมาะสมกับผลไม้ที่จะเคลือบผิวแต่ละชนิดและสัดส่วนของเวกซ์กับตัวทำละลายที่ใช้เตรียมยังคงเป็นความลับทางการค้า (วรวลัยชู, 2550) โดยทั่วไปสารเคลือบผิวจะมีส่วนผสมที่สำคัญ 3 ส่วน คือ เวกซ์ ตัวทำละลายและสารลดแรงตึงผิว (surfactant) หรืออิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) สารอิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ทำให้ไขมันและน้ำรวมกันอยู่ในรูปของสารแขวนลอยซึ่งเรียกว่า อิมัลชัน (emulsion) ได้ (दनัยและนิธิยา, 2548; Bennett, 1975a and b)

อิมัลชัน หมายถึง การกระจายตัวของของเหลว 2 ชนิด หรือมากกว่า ที่ไม่ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากมีแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวทั้งสองชนิด หากเป็นอิมัลชันปกติหรือแมคโครอิมัลชันจะเป็นสารละลายสีขาวขุ่น และเมื่อตั้งทิ้งไว้ของเหลวจะแยกออกจากกันเป็น 2 ชั้น สำหรับไมโครอิมัลชันจะมีลักษณะตรงข้ามกับแมคโครอิมัลชันคือ จะไม่ปรากฏลักษณะเป็นสีขาวขุ่น สารละลายที่ได้จะมีลักษณะโปร่งแสง (translucent) หรือโปร่งใส (transparent) มีความคงตัวดีและไม่แยกชั้น อนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าแมคโครอิมัลชัน ประมาณ 2,000 อังสตรอม (0.2 ไมโครเมตร, μm) ถึง 100 อังสตรอม (0.01 ไมโครเมตร) ดังนั้นการที่จะเรียกว่าแมคโครอิมัลชันหรือไมโครอิมัลชันจึงขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค เพราะเกิดจากกระบวนการอิมัลซิฟิเคชันเช่นเดียวกัน (Prince, 1977) ไมโครอิมัลชันถูกเตรียมขึ้นครั้งแรกโดย George Radaward ในปี ค.ศ. 1928 เป็นการกระจายตัวของคาร์นูบาเวกซ์ (Carnauba wax) ในน้ำ และเนื่องจากขนาดอนุภาคของไมโครอิมัลชันมีขนาดเล็กมาก จึงจัดไมโครอิมัลชันเป็นนาโนเทคโนโลยีอย่างหนึ่ง

ในระบบของไมโครอิมัลชันของเหลวชนิดหนึ่งจะต้องเป็นน้ำเสมอ แต่แมคโครอิมัลชัน น้ำจะเป็นของเหลวชนิดหนึ่งและอาจไม่มีน้ำก็ได้ สำหรับไมโครอิมัลชันที่ผลิตในทางการค้าประกอบ

ด้วย น้ำมันหรือแวกซ์ น้ำ และสารลดแรงตึงผิวหรืออิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งนิยมใช้กรดไขมัน นอกจากนี้ยังมีสารร่วมลดแรงตึงผิว (co-surfactant) ซึ่งมักเป็นแอลกอฮอล์ และเรียกแอลกอฮอล์ว่าเป็น amphiphile ซึ่งสามารถทำให้เกิดเป็นอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากได้ สารละลายที่ได้จะกระจายตัวเป็นของเหลวโปร่งใสที่แสงผ่านได้ และถ้าปั่นในเครื่องเหวี่ยงนาน 5 นาที ที่ 100x.g จะไม่เกิดการแยกชั้น ในปัจจุบันกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและยาส่วนใหญ่จะเตรียมให้อยู่ในรูปของไมโครอิมัลชัน (Hagenmaier and Baker, 1994; Hagenmaier, 1998) กรดไขมันที่นิยมใช้ในการเตรียมไมโครอิมัลชัน ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดไมริสติก (myristic acid) กรดลอริก (lauric acid) กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) และกรดสเตียริก (stearic acid) (Hagenmaier and Baker, 1994) ส่วนตัวทำละลาย นิยมใช้แอมโมเนีย (ammonia) หรือมอร์โฟลีน (morpholine)

ชนิดของแวกซ์ที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบผิว (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

1. แวกซ์จากพืช (Vegetable wax) สกัดได้จากผิวของพืชมีหลายชนิด แวกซ์ที่นิยมใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้ได้แก่

คาร์นูบา (Carnauba) เป็นแวกซ์ที่สกัดได้จากผิวของใบปาล์มบราซิล (Brazil palm: *Copernicia cerifera*) เป็นแวกซ์ที่คุณภาพดี มีกลิ่นหอม มีจุดหลอมเหลวประมาณ 84-96 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปเคลือบผิวผลไม้พบว่ามีความสามารถในการให้ความมันวาวดี ไม่หลุดลอกง่าย และยังสามารถนำแวกซ์ไปผสมกับสารอื่นๆ ได้อีกด้วย หรือบางครั้งนำส่วนผสมอื่นๆ มาเติมลงในแวกซ์ เช่น การเติมแอสทิลเทตโมโนกลีเซอไรด์ (acetylated monoglycerides) ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่แวกซ์เมื่อนำไปเคลือบผิว นอกจากนี้ยังมีการเติมกรดไขมัน เซลแล็ก (shellac) และซูโครสฟอลิเอสเทอร์ของกรดไขมัน (sucrose fatty acid esters)

แคนเดิลลา (Candelilla) เป็นแวกซ์ที่ได้มาจากพืชในทะเลทรายชื่อ *Euphorbia antisiphilitica* ปลูกมากในประเทศเม็กซิโกตอนเหนือ แวกซ์มีลักษณะเป็นของแข็ง มันวาว สีน้ำตาลอมเหลือง และมีกลิ่นหอม มีจุดหลอมเหลวประมาณ 68-75 องศาเซลเซียส

2. แวกซ์จากสัตว์ (Animal wax) ชนิดที่นิยมใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้ได้แก่ เซลแล็ก (shellac) เป็นสารที่ขับออกมาจากตัวครั่ง (*Laccifer lacca*) หรือมูลครั่ง ผลิตมากในประเทศอินเดียตอนกลาง เซลแล็กจัดเป็นเรซินชนิดหนึ่ง เป็นสารโพลีเมอร์ของสารผสม aliphatic alicyclic hydroxyl acid เช่น aleuritic acid และ shelloic acid มีจุดหลอมเหลวประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และสารละลายที่เป็นค่า เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นการซึมผ่านเข้า-ออกของแก๊ส จึงช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำ ข้อเสียของเซลแล็กคือ เมื่อถูกน้ำจะเป็นสีขาว ข้อดีของเซลแล็กคือ มีความมันวาวสูง

3. **แว็กซ์จากน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum wax)** เป็นของเหลือที่ได้ภายหลังจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เช่น พาราฟิน (paraffin) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว อ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่น และมีความมันวาวน้อย แต่สามารถรวมตัวกับแว็กซ์จากพืชและสัตว์ได้

4. **แว็กซ์จากการสังเคราะห์ (Synthetic wax)** เช่น polyethylene wax, polyethylene glycols, polyoxyethylene glycols (carbowax), polyoxyethylene sorbitol, chlorinated naphthalene (halowax) และ ethylene glycol monostearate เป็นต้น (วารวัญชัย, 2550)

พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (polyethylene wax) เป็นแว็กซ์ที่สังเคราะห์ได้จากเอทิลีนเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ มีจุดหลอมเหลว 100-140 องศาเซลเซียส มีราคาถูก ช่วยควบคุมการสูญเสียน้ำได้ดี มีความมันวาวปานกลาง

ผลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

สารเคลือบผิวมีประโยชน์ในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผล และคุณภาพ กลิ่น รสชาติ ความแน่นเนื้อ และลักษณะปรากฏ (Arvanitoyannis, 1999; Tharanathan, 2003) การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้เช่น การขนส่ง การล้างทำความสะอาดทำให้แว็กซ์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหลุดออกไป ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำ (Hagenmaier, 2005; นิธิยาและไพโรจน์, 2547) เพื่อเป็นการลดการสูญเสียน้ำจึงมีการเคลือบผิวส้มด้วยสารเคลือบผิวที่ได้จากธรรมชาติหรือสารที่สังเคราะห์ขึ้นแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติที่หลุดออกไป เพื่อปิดรอยเปิดตามธรรมชาติและรอยแผลที่เกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียน้ำได้ (दनัยและนิธิยา, 2548) การเคลือบผิวส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งด้วยสารละลาย Chitosan ที่เตรียมได้จากเปลือกกุ้งและแกนปลาหมึก ความเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ส้มโอที่มีการเคลือบผิวด้วย Chitosan มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าส้มโอที่ไม่ได้เคลือบผิว (เบญจมาศและคณะ, 2546) Shellac หรือ Resin คุณสมบัติในการลดการสูญเสียของผลส้มได้ดี การผสม Shellac หรือ Resin ลงในสารเคลือบผิวอื่นสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ดีขึ้น เช่น ส้มพันธุ์ Valencia ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของ polyethylene สูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 32 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อผสม Shellac ลงในสารเคลือบผิว ผลส้มสูญเสียน้ำหนักลดลงเหลือ 29 เปอร์เซ็นต์ เมื่อกำหนดให้ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว สูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (Hagenmaier and Baker, 1995) วงเดือน (2546) ศึกษาผลของสารเคลือบผิวและอุณหภูมิต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยใช้ Carnauba 15%, Shellac 15%, Carnauba 7.5% + Shellac 7.5%, Citrus Shine 60%, Johnson's wax และ ZIVIDAR พบว่า ส้มที่เคลือบด้วย Carnauba 15% และ ZIVIDAR ลดการสูญเสียน้ำได้ดีที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา

ผลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สภายในผลส้ม

การใช้สารเคลือบผิวกับผลส้มทำให้การสูญเสีย น้ำ อัตรากการหายใจและการแลกเปลี่ยนแก๊สลดลง (จริงแท้, 2549) การแลกเปลี่ยนแก๊สที่ลดลงส่งผลให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลลดลง เนื่องจากมีนำไปใช้ในกระบวนการหายใจและมีการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น เนื่องจากแก๊สภายในผลส้มไม่สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สกับสิ่งแวดล้อมได้ ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นหรือกระบวนการหมัก ซึ่งจะมีการสังเคราะห์เอซีทิลดีไฮด์และเอทานอลขึ้นภายในผลส้ม ทำให้ผลส้มเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ การเคลือบผิวส้มด้วย Shellac หรือ Resin และสารเคลือบผิวที่มี Shellac หรือ Resin เป็นส่วนผสม ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวที่ยอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้น้อย ส่งผลให้ผลส้มเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (Hagenmaier and Baker, 1995) ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเป็นสิ่งที่ช่วยบอกถึงคุณภาพด้านรสชาติและมีความสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สภายในผลส้ม (Hagenmaier, 2000) การสังเคราะห์เอทานอลเกิดขึ้นเมื่อแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอต่อกระบวนการหายใจ ปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้นในน้ำส้มคั้นที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลส้มแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน เช่น ผลส้มพันธุ์ Murcott เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติเมื่อมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นมากกว่า 1,900 ppm (Cohen *et al.*, 1990) ในผลส้มแมนดาริน ผลส้มพันธุ์ Valencia และผลเกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Marsh เท่ากับ 1,500 ppm (Hagenmaier, 2002) สุวิทย์และคณะ (2548) พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดจากน้ำส้มคั้นและผิวส้มจากตัวอย่างที่มีการหมักเกิดขึ้นจะเข้าสู่สภาพเน่าเสียถ้ามีปริมาณเอทานอลอยู่ในช่วง 58 – 400 ppm และ 50 – 225 ppm ตามลำดับ และสำหรับส้มที่ยังอยู่ในสภาพดีจะมีปริมาณเอทานอล น้อยกว่า 50 ppm โดยเครื่องวัดปริมาณเอทานอลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคลือบผิวที่จะยอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออก นอกจากยังผลต่อปริมาณแก๊สภายในผลส้มซึ่งมีผลต่อรสชาติของผลส้มเช่นกัน (Hagenmaier, 2000; Hagenmaier, 2005) การเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารเคลือบผิวมีความสำคัญเช่นกัน การเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นที่ต่ำหรือเคลือบผิวที่บางเกินไป จะช่วยลดการสูญเสียน้ำและกำจัดการเปลี่ยนแปลงแก๊สได้น้อย แต่ถ้าหากใช้ความเข้มข้นที่สูงหรือเคลือบผิวหนาเกินไป นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองแล้วยังจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สและการแลกเปลี่ยนของแก๊สมากเกินไป ส่งผลให้ผลิตผลเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติได้ (Arthey, 1975)

ผลของสารเคลือบผิวต่อการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวในผลส้ม

โดยทั่วไปแล้วสารเคลือบผิวจะมีการผสมยาฆ่าเชื้อราหรือเชื้อแบคทีเรีย (นิชยาและไพโรจน์, 2547) เพื่อป้องกันการเข้าทำลายผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่ง Chitosan มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ อีกทั้งยังปลอดภัยต่อผู้บริโภค การเคลือบผิวผลส้มจึงพันธุ์

Huaizhi ด้วยสารละลาย Chitosan สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล (browning) ที่เปลือกและช่วยยับยั้งการเกิดโรคได้เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Zhang and Quantick, 1997) การแช่ผลมะม่วงมหาชนกในน้ำร้อนที่ 52 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และ 55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเคลือบด้วย Chitosan ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเกิดโรคแอนแทรกโนสได้ดีที่สุด (วิทวัส, 2545) และการเคลือบผิวลีนจีพันธุ์ Huaihzi ด้วยสารละลาย Chitosan สามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลีนจีได้ และยังช่วยยับยั้งการเกิดโรคได้ ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Zhang and Quantick, 1997) นอกจากนี้ การเคลือบผิวลำไยด้วยสารละลาย Chitosan มีผลชะลอการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของสีผิว และมีผลต่อการยับยั้งการเน่าเสียของผลลำไยได้ในระหว่างการเก็บรักษา (Jiang and Li, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved