บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ส้มเป็นพืชที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของโลก มีบทบาทอย่างมากต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ และเป็นที่นิยมบริโภคของผู้คนทั่วไป เนื่องจากราคาไม่แพงนัก และมีจำหน่ายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด สามารถหาซื้อมารับประทานได้ง่าย อีกทั้งเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง จึงมีการนำส้มมาใช้เป็นอาหารประจำวันทั้งในรูปการบริโภคผลสดและแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น ซึ่งนอกจากจะให้คุณค่าทางอาหารสูงแล้ว การบริโภคในลักษณะที่รวมทั้งเส้นใยและกากยังเป็นยาระบายอ่อน ๆ ได้ด้วย ดังนั้นพืชตระกูลส้มจึงมีความสำคัญทำให้มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทุกภูมิภาคของโลก ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มพืชตระกูลส้มออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ โดยอ้างตาม Hodson System ได้ดังนี้ (พายัพ, 2542)

1. กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา (Orange group)

เป็นกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียทางแถบธิเบต ไปจนถึงจีนและพม่า แบ่งเป็น 2 พวก คือ

1.1 ส้มที่มีรสหวาน (Sweet orange : *Citrus sinensis*)

เป็นผลไม้สดในประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากจะใช้รับประทานสดแล้วยังแปรรูปเป็นน้ำส้ม ซึ่งถ้านำไปแช่แข็งจะสามารถเก็บรักษาได้นาน ส้มที่มีรสหวานแบ่งออกเป็น 4 ชนิดได้แก่

1.1.1 ออเรนซ์ มีการปลูกกันมากในแถบเมดิเตอรเรเนียน ได้แก่ สเปน อิตาลี และฝรั่งเศส พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้า เช่น Hamlin, Berma, Pineapple และ Shamouti

1.1.2 ชนิดที่เนื้อผลมีกรดน้อย ส้มในกลุ่มนี้จะพบกรดในปริมาณที่น้อย คือ ประมาณ 0.2% เท่านั้น ได้แก่ ส้ม Sukkari ในประเทศอียิปต์ และ de Nice ในประเทศฝรั่งเศส

1.1.3 ชนิดที่มีเนื้อผลสีแดงส้ม ส้มในกลุ่มนี้จะพบ anthocyanin ที่เปลือกและในน้ำคั้น รู้จักกันดีในนาม blood orange ได้แก่ ส้ม Moro, Tarocco และ Sanguinelli เป็นต้น

1.1.4 นาเวล ลักษณะของส้มพวกนี้ปลายผลจะมีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายสะดือ (navel) ที่ตรงแอ่งนี้อาจมีผลเล็ก ๆ เกิดขึ้นซ้อนอยู่อีก นอกจากนี้ยังไม่มีเมล็ด

1.2 ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือรสออกขม (Sour or Bitter orange : *Citrus aurantium*)

มีถิ่นกำเนิดทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จีน และพม่า แพร่กระจายไปทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่นทางตะวันตกของอินเดีย และแถบเมดิเตอเรเนียนจนถึงทวีปยุโรปในตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 16 กลุ่มซาวออเรนซ์นี้จัดเป็นส้มชนิดแรกที่แพร่กระจายเข้าไปในแถบต่าง ๆ ของทวีปยุโรปและอเมริกา เช่น รัฐฟลอริดา

ซาวออเรนซ์และสวีทออเรนซ์มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกันมาก แตกต่างกันเล็กน้อยที่ใบของซาวออเรนซ์จะมีใบสีเข้มกว่า มีก้านใบยาว และ Wing กว้างกว่า ลักษณะผลแบนและสีเข้มกว่า มีเปลือกหนากว่าพวกสวีทออเรนซ์ ลักษณะลำต้นสูงใหญ่มีใบหนามาก และทนต่อสภาพอากาศที่เย็นจัดหรือร้อนจัดได้ดีกว่าส้มพันธุ์อื่น ๆ

2. กลุ่มส้มจีน ส้มเขียวหวาน (Mandarin group : *Citrus reticulata* Blanco)

ส้มเขียวหวานมีชื่อสามัญว่า Mandarin หรือ Tangerine อยู่ในตระกูล Rutaceae จัดเป็นผลไม้กึ่งร้อน มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมในประเทศจีน ปลูกมานานในจีนและญี่ปุ่น ต่อมามีการแพร่กระจายไปยังสหรัฐอเมริกาและยุโรป จนปัจจุบันเป็นผลไม้ที่ปลูกกันทั่วไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน (วัฒนา, 2528) ในประเทศแถบเอเชียและเอเชียอาคเนย์ เช่น ไทย ญี่ปุ่น ไต้หวัน เป็นต้น ลักษณะของส้มพวกนี้คือ เปลือกอ่อน เปลือกล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มแยกหลุดจากกันได้ง่าย ส้มจีนและส้มเขียวหวานมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้คือ ส้มจีน (Mandarin) ผลโตกว่าส้มเขียวหวาน เปลือกค่อนข้างหนากว่าเปลือกขรุขระ เปลือกอ่อนเปราะแกะง่าย ไส้ผลกลวง กลีบแยกออกจากกันได้โดยง่าย สีผลและสีเนื้อเป็นสีส้มเข้ม ต้นทรงสูงชะลูด และใบเล็กกว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีส้มอีกหลายชนิดที่จัดอยู่ในพวกนี้ เช่น ส้มจุก ส้มแก้ว ส้มแป้น ส้มขี้ม้า เป็นต้น (วัฒนา, 2528) ส้มในกลุ่มนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเขตร้อน มีลักษณะผลใกล้เคียงกับกลุ่มออเรนซ์ บางครั้งอาจเรียกแทนเจอรีน มีผู้พยายามแยก แมนดาริน และ แทนเจอรีนโดยใช้ความแตกต่างระหว่างสีของเปลือก เช่น พวกที่มีเปลือกสีส้มหรือสีแดงเรียก แทนเจอรีน พวกที่มีเปลือกสีเหลืองอ่อน ๆ เรียก แมนดารีน ได้แก่ พวกส้มจีน เป็นต้น

ส้มกลุ่ม Mandarin มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย บางพันธุ์มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางอินโดจีน ได้แก่ ส้มคิง และส้มคูเนน โบแมนดาริน พันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ พันธุ์ซัซซูม่า ส้มในกลุ่มแมนดารินแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ดังนี้

2.1 ซัซซูม่า (*Citrus unshiu* Marcovitch) มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น เป็นพวกที่ทนต่อสภาพอากาศเย็นได้ดีที่สุด จึงสามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในเขตอากาศเย็น

2.2 คิงแมนดาริน (*Citrus nobilis* Loureiro) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "King of Siam" มีถิ่นกำเนิดในอินโดจีน พันธุ์ที่สำคัญได้แก่ พันธุ์คิง

2.3 เมดิเตอเรเนียนแมนดาริน (*Citrus deliciosa* Tenore)

2.4 แมนดาริน (*Citrus reticulata* Blanco) ลักษณะโดยทั่วไปของส้มพวกนี้มีดอกและใบขนาดเล็ก ผลขนาดกลาง-ใหญ่ เปลือกบางและล่อนปอกออกได้ง่าย ผลไม่ค่อยฟ่าม ได้แก่ ส้มเขียวหวาน และส้มจีนในบ้านเรา สำหรับพันธุ์ในต่างประเทศที่นิยมปลูกมีพันธุ์คลีเมนไทน์ แดนซี่ พองแกน เป็นต้น

3. กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุ๊ต (Pomelo and Grapefruit Group)

ทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลำต้นและทรงพุ่ม แตกต่างกันตรงที่ส้มโอมีลำต้นใหญ่และแข็งแรงกว่า แต่เกรฟฟรุ๊ตมีทรงพุ่มเล็กกว่า

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

3.1.1 ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว มีทั้งชนิดหวานที่มีเปอร์เซ็นต์กรด 0.08-0.10% และชนิดหวานอมเปรี้ยวที่มีเปอร์เซ็นต์กรด 1.02-1.93% อัตราส่วนของน้ำตาล : กรด เท่ากับ 5.6-17.4 : 1

3.1.2 ชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่น ๆ มีลักษณะคล้ายกับส้มโอธรรมดา ยกเว้นลักษณะสีของเนื้อที่เกิดจากเม็ดคาโรทีนอยด์ ไลโคพีน ซึ่งทำให้เนื้อผลมีสีตั้งแต่ชมพูอ่อนถึงสีแดงเข้ม เป็นที่สะดุดตาผู้บริโภค แหล่งปลูกที่สำคัญในปัจจุบัน ได้แก่ ไทย จีน และอินโดนีเซีย โดยพันธุ์ส้มโอที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศไทยแทบทั้งสิ้น ได้แก่ พันธุ์ขาวพวง ขาวแป้น พันธุ์การค้าของจีน ญี่ปุ่น และไต้หวัน ได้แก่ พันธุ์มาโท

3.2 เกรฟฟรุ๊ต (*Citrus paradisi* Macfadyen) มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินเดียตะวันตก ลักษณะผลคล้ายกับส้มโอมากแต่มีขนาดเล็กกว่า แหล่งปลูกอยู่ที่มลรัฐฟลอริดา อิสราเอล จาไมก้า คิวบา และอาเจนตินา เป็นต้น เกรฟฟรุ๊ตแบ่งได้ 2 พวกคือ

3.2.1 พวกที่มีเนื้อผลสีขาว ได้แก่ พันธุ์มีาช

3.2.2 พวกที่มีเนื้อผลสีอื่น ๆ ได้แก่ พันธุ์ Star Ruby และ Rio Red เป็นต้น

4. กลุ่มมะนาว (Common acid member)

ได้แก่ พวกซิตรอน เลมอน (lemon) และมะนาว (lime)

4.1 เลมอน (*Citrus limmon* L.Burn f.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกของประเทศอินเดีย ประเทศไทยเรียกว่า มะนาวฝรั่ง ปัจจุบันเลมอนมีความสำคัญในตลาดโลกค่อนข้างมาก โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา ผลิตได้ประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมด อิตาลีผลิตได้ร้อยละ 40 และสเปน ผลิตได้ร้อยละ 5

4.2 ไลม์ หรือมะนาวไทย (*Citrus aurantifolia* Swing) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย ตลอดจนประเทศมาเลเซีย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

4.2.1 ไลม์ชนิดผลเปรี้ยว มี 2 พวกคือ

4.2.1.1 ชนิดผลเล็ก ได้แก่ พันธุ์เวสอินเดียไลม์ หรือเม็กซิกันไลม์ เป็นต้น

4.2.1.2 ชนิดผลใหญ่ ได้แก่ พันธุ์ตาฮิติ หรือเปอร์เซียน เป็นต้น

4.2.2 ไลม์ชนิดหวาน (*Citrus limettioides* Tan) มีลักษณะเหมือนมะนาวทั่ว ๆ ไป แต่เนื้อมีรสหวาน มีกรดน้อย พันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ อินเดีย หรือปาเลสไตน์

4.3 ชิตรอน (*Citrus medica* L.) มีถิ่นกำเนิดทางอินเดียตะวันออกเฉียงเหนือ ผลมีเปลือกหนา ถุงน้ำหวานมีจำนวนน้อย รสเปรี้ยวจัด และเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูป เช่น เปลือกแช่อิ่ม ทำขนม

การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผล

ส้มเขียวหวานมีการเจริญเป็นแบบ simple sigmoid curve ผลมีการเพิ่มขนาดและน้ำหนักตลอดเวลาของการเจริญเติบโต Kale and Adsule (1995) ได้แบ่งระยะการเจริญเติบโตของผลส้มออกเป็น 3 ระยะที่สำคัญดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะที่ผลส้มมีการแบ่งเซลล์ (cell division period) โดยพบได้ในเนื้อเยื่อทุกชนิด ยกเว้นบริเวณชั้นนอกสุดของชั้น flavedo และส่วนปลายของถุงน้ำหวาน (juice Sac) ผลจะมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเจริญของส่วนที่เป็นเปลือก (peel) ซึ่งเกิดจากการที่เซลล์แบ่งตัวร่วมกันทำให้เกิดการขยายขนาดบ้างเล็กน้อย ทำให้มีการเพิ่มขนาดของผล ใช้เวลาประมาณหนึ่งเดือนถึงหนึ่งเดือนครึ่ง หลังจากดอกบาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศและพันธุ์

ระยะที่ 2 ระยะที่ผลส้มมีการขยายขนาดของเซลล์ (cell enlargement period) เป็นระยะที่เกิดการพัฒนาของส่วนที่เป็นเนื้อ (pulp) ถุงน้ำหวานจะขยายตัวเต็มแต่ละกลีบของส้ม (locules หรือ segment) อย่างรวดเร็ว และพบว่าปริมาณน้ำส้มและปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มตามไปด้วย ผลส้มจะมีการเพิ่มขนาดซึ่งเป็นผลมาจากการที่เซลล์มีการขยายตัวและเกิดการเปลี่ยนสภาพ เกิดการขยายตัวของชั้น albedo ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาวคล้ายฟองน้ำ เปลือกของผลจะเริ่มเปลี่ยนสีเมื่อผลเริ่มเข้าสู่ระยะแก่

ระยะที่ 3 ระยะผลแก่ (maturation period) สีเหลืองที่เปลือกของผลส้มเริ่มเปลี่ยนไปเป็นสีส้ม ระยะนี้เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบภายในผลคือ ขณะที่เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ปริมาณกรดที่พบในน้ำส้มจะลดลง และที่บริเวณเปลือกมีความหนาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย น้ำหนักลด น้ำหนักแห้ง และขนาดของผลยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ในอัตราที่ลดลง

สัณฐานวิทยาของผลส้ม

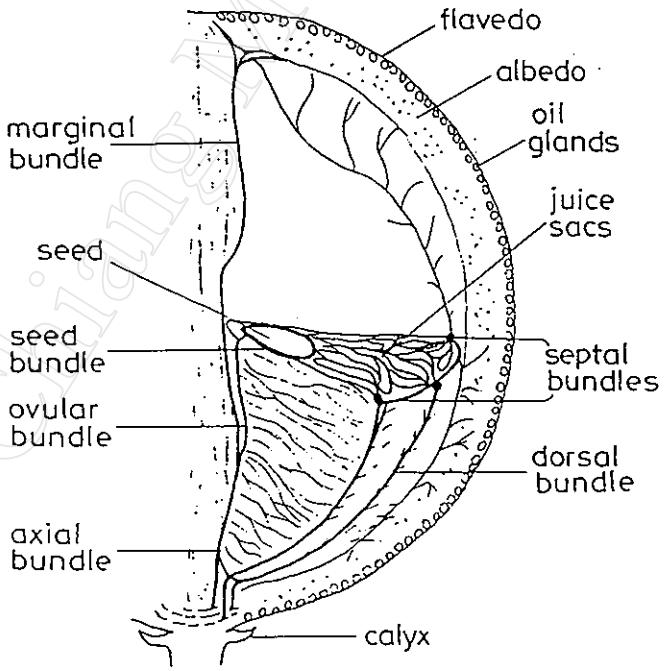
ส้มจัดเป็นผลชนิด hesperidium เจริญมาจาก superior ovary แบ่งตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันได้ 3 ส่วน (Ting and Attaway, 1971)(ภาพ 1)

1. ชั้น epicarp ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสีของเปลือกส้ม หรือที่เรียกว่าชั้น flavedo ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากที่มีคาร์โรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบ โดยจะเป็นตัวแสดงสีต่างๆกันในพืชตระกูลส้ม เช่น ส้มเปรี้ยว แทนเจอรีน เกรฟฟรุ๊ต และมะนาว เป็นต้น ผนังเซลล์ด้านนอกของเซลล์ผิวถูกปกคลุมด้วยคิวติน (cutin) และขี้ผึ้ง (wax) เป็นเครื่องป้องกันการสูญเสียน้ำของผลส้ม

สามารถพบต่อมน้ำมันได้ในชั้น flavedo ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เกาะติดกับผิวของส้ม ภายในประกอบไปด้วยน้ำมันโดยจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแต่ละสายพันธุ์ส้ม

2. ชั้น mesocarp ถัดจากชั้น epicarp คือชั้น mesocarp หรือที่เรียกว่า albedo เป็นชั้นบาง ๆ สีขาว มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ประกอบด้วยสารจำพวกเพคติน และเฮมิเซลลูโลสจำนวนมาก ความหนาบางของชั้น albedoจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่น ในส้มเขียวหวานหรือส้มจำพวกที่ปอกเปลือกง่าย เนื้อเยื่อชั้นนี้จะค่อนข้างบาง แต่ในเกรฟฟรุ๊ตและส้มโอ พบว่าเนื้อเยื่อในชั้นนี้มักจะมีความหนาถึง 1-3 เซนติเมตร ชั้น albedo และ flavedo รวมกันจะเรียกเป็น pericarp ซึ่งโดยทั่วไปจะรู้จักกันว่าเป็นเปลือกส้ม นั่นเอง

3. ส่วนที่รับประทานได้ (edible portions) หรือที่เรียกว่าชั้น endocarp หรือ pulp จะประกอบไปด้วยกลีบส้มจำนวนมาก (carpels or segments) ภายในแต่ละกลีบส้มประกอบด้วยเมล็ดเล็กน้อย และเต็มไปด้วยถุงน้ำส้มจำนวนมากที่เชื่อมติดกับผนังกลีบส้ม โดย vesicle stalk โดยถุงน้ำส้มจะขยายตัวตามการพัฒนาของผลส้ม องค์ประกอบทางเคมีจะถูกสร้างขึ้นในเนื้อเยื่อโดยจะมีความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเนื้อเยื่อ เช่น สาร flavonone glycoside ที่ผลิตในชั้นเนื้อเยื่อ albedo จะมีความเข้มข้นมากกว่าที่พบในถุงน้ำส้มหรือที่พบในชั้น flavedo



ภาพ 1 ส่วนประกอบของผลส้ม

ที่มา : Spiegel and Gold Schmidt, 1993.

อุณหภูมิเป็นปัจจัยแรกที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของผลส้ม ซึ่งจะแตกต่างกันตามแต่ละภูมิประเทศและภูมิอากาศ ซึ่งหากอุณหภูมิเฉลี่ยสูงจะทำให้อัตราการเจริญของผลเป็นไปอย่างรวดเร็ว ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำจะทำให้อัตราการเจริญของผลช้าลง รวี (2540) กล่าวว่าการเจริญเติบโตของผลส้มในช่วงระยะแรกจะค่อนข้างช้า และเร็วขึ้นในเวลาต่อมา อายุของส้มแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์ตั้งแต่ดอกบานถึงเก็บเกี่ยวจะแตกต่างกันค่อนข้างมาก นอกจากนี้ยังมีเรื่องของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย หากปลูกในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ การแก่ของผลจะยืดนานออกไป

ปัจจุบันผลส้มที่ผลิตได้นั้นมีคุณภาพแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ หลายอย่างประกอบกัน เช่น สภาพดินปลูก สภาพภูมิอากาศ ตลอดจนการบำรุงรักษา เป็นต้น หากผู้ผลิตมีความรู้และความเข้าใจในด้านการดูแลรักษา การให้ปุ๋ยและน้ำ การป้องกันกำจัดศัตรูพืชตลอดจนการจัดการต่าง ๆ อย่างถูกวิธี จะทำให้ได้ผลส้มที่มีคุณภาพดีขึ้น (วัฒนา, 2528)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของส้ม ได้แก่ (วัฒนา, 2528)

1. ขนาดของผลส้มที่เก็บเกี่ยวมาอาจมีขนาดแตกต่างกันได้ โดยปัจจัยที่ทำให้ขนาดผลแตกต่างกัน เช่น

ก. การบำรุงต้น ต้นส้มที่ได้รับการดูแลอย่างดี ได้รับน้ำและอาหารเพียงพอในระยะที่เหมาะสม ย่อมให้ผลที่ได้ขนาดตามมาตรฐานหรือขนาดใหญ่

ข. จำนวนผลที่ติดอยู่บนต้น ถ้าจำนวนผลมากหรือส้มติดผลดก จำนวนผลส้มทั้งหมดจะมีขนาดเล็กกว่าปกติและคุณภาพผลด้อยลงเนื่องจากอาหารที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นอาจต้องปลิดผลออกบ้างให้จำนวนผลที่เหลืออยู่พอดีที่ต้นจะสามารถเลี้ยงได้และผลมีคุณภาพดี หรืออาจเลือกใช้วิธีบำรุงต้นให้มากขึ้นโดยไม่ต้องปลิดผลออก

ค. จำนวนใบ จำนวนใบและจำนวนผลมีส่วนสัมพันธ์กัน ถ้ามีใบน้อยเกินไปต้นส้มจะสร้างอาหารมาเลี้ยงผลไม่เพียงพอ ทำให้ผลมีขนาดเล็กกว่าปกติ คุณภาพของผลด้อยลง ยิ่งผลส้มมีขนาดใหญ่ก็ยิ่งต้องการจำนวนใบมากขึ้น

Ketsa (1988) กล่าวว่า เมื่อผลส้มเขียวหวานมีขนาดเพิ่มขึ้นปริมาณ TSS และ TA จะลดลง โดยปริมาณ TA จะลดลงเร็วกว่า TSS ดังนั้นผลขนาดใหญ่จะมีรสหวานกว่าผลขนาดเล็ก การที่ TSS และ TA ลดลงตามขนาดผลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเจือจางของปริมาณน้ำส้มมีมากขึ้น (Ting and Attaway, 1971) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อคุณภาพของส้ม

2. สีของผิวและสีของเนื้อ สังเกตได้ว่าส้มที่วางจำหน่ายนั้นมีสีแตกต่างกันทั้งที่เป็นส้มพันธุ์เดียวกัน เช่น ส้มเขียวหวานที่ปลูกทางภาคเหนือ ผิวผลจะมีสีส้มจัดถึงแดง ส่วนส้มเขียวหวานที่ปลูกในภาคกลาง ผิวผลจะมีสีเขียว เขียวอมเหลือง หรือเหลืองอ่อน การที่สีของผลและสีของเนื้อผลแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ แต่ที่เด่นชัดคือปัจจัยที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศเป็น

สำคัญ ถ้าอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันกับเวลากลางคืนแตกต่างกันมาก สีของผลส้มก็จะยิ่งเข้มขึ้นโดยเฉพาะในตอนที่ผลส้มแก่อุณหภูมิจะเป็นตัวกระตุ้นให้สีเข้มขึ้น เช่น ส้มที่ปลูกทางภาคเหนือจะมีสีเข้มกว่าส้มที่ปลูกในภาคกลาง หรือส้มที่แก่ในช่วงอากาศหนาวจะมีสีเข้มกว่าส้มที่แก่ในช่วงอากาศร้อนทั้งที่เป็นต้นเดียวกันหรือปลูกในที่เดียวกัน (วัฒนา, 2528)

ในผลไม้ตระกูลส้ม สีของเปลือกส้มเป็นผลมาจากรงควัตถุต่างๆ ร่วมกัน ได้แก่ คลอโรฟีลล์ คาร์โรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน โดยในช่วงระยะแรกเซลล์ที่ผลส้มมีระดับของคลอโรฟีลล์มาก ต่อมาเมื่อเข้าสู่ช่วงท้ายของระยะที่ 2 ในการเจริญของผลส้ม คลอโรฟีลล์จะเริ่มสลายตัวไปสีของคาร์โรทีนอยด์นี้จึงปรากฏให้เห็น (Davies and Albrigo, 1994)

3. ปริมาณน้ำตาลและกรดในผล เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ขณะที่ปริมาณกรดจะลดลง (Kimball, 1984) ปริมาณน้ำตาลในผลจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การบำรุงรักษาต้น ถ้าต้นสมบูรณ์แข็งแรงได้รับอาหารและน้ำในอัตราที่พอเหมาะจะมีปริมาณน้ำตาลมาก อายุผลก็เช่นเดียวกัน ถ้าปล่อยให้ส้มอยู่บนต้นนาน ๆ ความหวานหรือปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น และปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างน้ำตาลในผลส้มคือ อุณหภูมิในช่วงที่ผลเริ่มจะแก่ ถ้าอุณหภูมิสูงผลส้มจะสร้างน้ำตาลได้มาก ยิ่งมีช่วงอุณหภูมิสูงติดต่อกันนานจะทำให้ผลส้มมีน้ำตาลมากขึ้นหรือหวานขึ้น ส่วนปริมาณกรดในผลส้มจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น การบำรุงรักษาต้นส้ม อายุของผลส้ม และความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันกับเวลากลางคืน ถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ปริมาณกรดในผลจะยิ่งมาก (วัฒนา, 2528) ผลส้มเขียวหวานอายุ 39 สัปดาห์มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดเท่ากับ 8.0 ผลมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อยผู้ชิมไม่ชอบแต่เมื่อผลมีอายุมากขึ้นอัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลมีรสหวานขึ้น เปรี้ยวน้อยลง ผู้ชิมชอบมากขึ้น มนตรี (2527)

ปริมาณน้ำตาลและกรดในผลส้มเป็นตัวกำหนดรสชาติของผลส้ม ผลส้มที่มีรสดีปริมาณน้ำตาลและกรดต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนระหว่าง 10-12 ถือได้ว่ารสชาติมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ (Baldwin, 1993) ซึ่งทำให้ส้มนั้นเป็นที่ถูกใจผู้บริโภค

4. ความหนาของเปลือก ส้มที่ปลูกในแหล่งต่าง ๆ กันจะมีความหนาของเปลือกไม่เท่ากันทั้งที่เป็นส้มพันธุ์เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแหล่งปลูกต่าง ๆ นั้นแตกต่างกัน ส้มที่ปลูกในที่ซึ่งมีความชื้นในอากาศน้อยหรือความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ส้มจะปรับตัวโดยสร้างเปลือกให้หนาเพื่อป้องกันการคายน้ำจากผล ทำให้เกิดช่องว่างมากระหว่างผิวเปลือกนอกกับเนื้อในเพื่อช่วยรักษาความชื้นไว้ ในทางตรงกันข้ามถ้าปลูกส้มในที่ความชื้นของอากาศสูง เปลือกส้มจะบางเพราะมีการคายน้ำน้อย

การเก็บเกี่ยวผลส้ม

ส้มเป็นผลไม้ชนิด non-climateric คือภายหลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจลงเรื่อยๆ หรือมีอัตราการหายใจต่ำหลังการเก็บเกี่ยว และมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้อยมาก ดังนั้นจึงควรให้ผลส้มสุกก่อนที่จะเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีเหมาะสมสำหรับการบริโภค ส้มเขียวหวานเริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุประมาณ 9.5-10.5 เดือนหลังจากดอกบาน สีผิวเริ่มมีสีเหลือง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ขั้นต่ำ 8.0-8.8 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2542) ผลส้มไม่มีแป้งเหมือนกับกล้วย มะม่วง หรือผลไม้ชนิดอื่นๆ ดังนั้นการเก็บผลส้มก่อนที่ผลจะแก่เต็มที่ (mature green) จะทำให้ได้ผลส้มที่มีคุณภาพผลไม่ดีเท่าที่ควร รสชาติจะจืดไม่หวาน ในผลส้มสุกแก่มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นและมีกรดลดลง ความเข้มข้นของน้ำตาลในผลส้มจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะที่ผลเริ่มแก่เต็มที่ และอัตราการเพิ่มของน้ำตาลจะลดลงในระยะก่อนผลสุก

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ตระกูลส้มที่สำคัญได้แก่

1. การเปลี่ยนสีเปลือก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ตระกูลส้มมักพบว่ามีการเปลี่ยนสีของเปลือกผลเกิดขึ้น โดยสีเขียวจะหายไปแล้วปรากฏสีเหลืองหรือแดงขึ้นมาแทน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์กลายเป็นสารที่ไม่มีสี ซึ่งอาจจะเป็นการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase ดังที่พบว่าเมื่อใช้เอทธิลีนเร่งการสลายสีเขียวของเปลือกส้มจะมีการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ตัวนี้ควบคู่กัน ทำให้เห็นสีเหลืองของรงควัตถุคาร์โรทีนอยด์ ซึ่งมีอยู่แล้วแต่ถูกเขียวข่มอยู่ให้ปรากฏชัดออกมาพร้อมกับการสังเคราะห์คาร์โรทีนอยด์ ขึ้นด้วย (Gross, 1987) Gross (1981) กล่าวว่า ปริมาณคาร์โรทีนอยด์ของเปลือกส้มแทนเจอรีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุกและส้มซึ่งเก็บเกี่ยวขณะที่มีสีเขียวอยู่และเก็บรักษาที่ 20 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณคาร์โรทีนอยด์ ต่ำกว่าผลที่ปล่อยให้สุกบนต้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของคาร์โรทีนอยด์ ระหว่างการสุกสามารถเกิดขึ้นได้กับทั้งผลที่ติดอยู่บนต้นและผลที่เก็บเกี่ยวแล้ว (Eliati *et al.*, 1975) Gross(1987) กล่าวว่า เอทธิลีนเป็นตัวการสำคัญที่เร่งการสลายของคลอโรฟิลล์และ สังเคราะห์คาร์โรทีนอยด์ และการใช้เอธิลีนจะเร่งการเกิดคาร์โรทีนอยด์ ได้เร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ และทำให้สีผิวของผลไม้สม่ำเสมอขึ้น(Young and John, 1972) การขจัดสีเขียวเป็นวิธีการที่นิยมใช้กับส้มมาก เนื่องจากผลส้มเมื่อแก่และสามารถเก็บเกี่ยวได้แล้ว แต่หากสีผิวยังเขียวอยู่มาก ถึงแม้จะมีรสชาติและองค์ประกอบภายในเหมาะสมก็ตามหากแต่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเพราะผู้บริโภคคิดว่าผลยังไม่สุก (Cohen, 1978) ทำให้จำเป็นต้องขจัดสีเขียวออกเพื่อให้ผิวมีสีเหลืองสวยงาม การขจัดสีเขียวในผลไม้ตระกูลส้มเป็นการกำจัดคลอโรฟิลล์ออกจากเปลือก ซึ่งการขจัดสีเขียวนั้นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพภายในของส้ม (Kader, 1985) การขจัดสีเขียวโดยใช้ก๊าซเอทธิลีนขึ้นกับสภาวะอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม ทั้งนี้

อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มข้นของก๊าซเอทธิลีนที่จะใช้จะผันแปรตามพันธุ์ และสภาพของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยว (ดนัย และนิธิยา, 2535) นอกจากนี้ระยะความแก่ของผลจะมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการขจัดสีเขียวด้วย (Vakis, 1975)

2. การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลขณะที่มีการเก็บรักษา (สายชล, 2528) โดยมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก คุณภาพของผล และทำให้รูปร่างเปลี่ยนไป (ดนัย, 2534) โดยทั่วไปถ้าหากมีการสูญเสียน้ำเพียง 5 - 10% ของน้ำหนักจะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง รสชาติไม่ดี (Peleg, 1985) ซึ่งตรงกับคำกล่าวของ Wardowski *et al.,* (1986) ว่าการคายน้ำที่มากกว่า 5% นอกจากจะทำให้ผลเหี่ยวและเสียรูปทรง ยังทำให้เปลือกผลบาง แข็ง ปอกรับประทานยากและวางจำหน่ายไม่ได้ทั้ง ๆ ที่คุณภาพภายในยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ชูชาติ (2537) กล่าวว่า ในผลไม้ตระกูลส้มการสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว Grierson and Wardowski (1978) สรุปว่าในขณะที่ส้มมีการสูญเสียน้ำหนัก5%จะทำให้ผลเหี่ยวและไม่สามารถวางจำหน่ายได้ จากการทดลองของ Sonsrivichai *et al.*(1992) พบว่าส้มเขียวหวานที่เก็บรักษาที่สภาพอุณหภูมิห้อง (28 ± 2^{0}C) มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 8-10% ภายใน 1 สัปดาห์ และปรากฏอาการเหี่ยวให้เห็น การสูญเสียน้ำของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้นของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ (ดนัย, 2534) และปัจจัยภายในของผลิตผลเอง เช่น ลักษณะโครงสร้างของพืช สารเคลือบผิว รูปร่าง โครงสร้างผิวเปลือก และขนาดของผล (สายชล, 2528) สำหรับส้มเขียวหวาน Ketsa (1990) รายงานว่าการสูญเสียน้ำหนักมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร แต่ตรงข้ามกับขนาดของผล นั่นคือการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นกับผลที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือกโดยผลที่มีเปลือกหนาจะมีการสูญเสียน้ำมากกว่าผลที่มีเปลือกบาง เนื่องจากผลที่มีเปลือกหนาจะมีจำนวนปากใบ (stomata) มากกว่า ขณะเดียวกันผลที่มีเปลือกบางมีชั้นของ flavedo ที่หนากว่าทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่า

3. อัตราการหายใจ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเป็นผลของกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเซลล์ ขณะที่มีการเจริญเติบโตภายในเซลล์ของผลไม้ต้องใช้พลังงานสูง ทำให้มีอัตราการหายใจสูง เมื่ออัตราการเจริญลดลงอัตราการหายใจจะค่อยๆลดลง และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อผลไม้เริ่มสุก (ภาพ 2) การหายใจของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานของสารอาหาร คือ คาร์โบไฮเดรตให้ไปอยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ adenosine triphosphate (ATP) เพื่อนำไปใช้

ในกิจกรรมต่างๆ ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นอายุการเก็บรักษารวมทั้งคุณภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ (สายชล, 2528; จริงแท้, 2538; ดนัย, 2540) การหายใจมี 2 แบบ ได้แก่

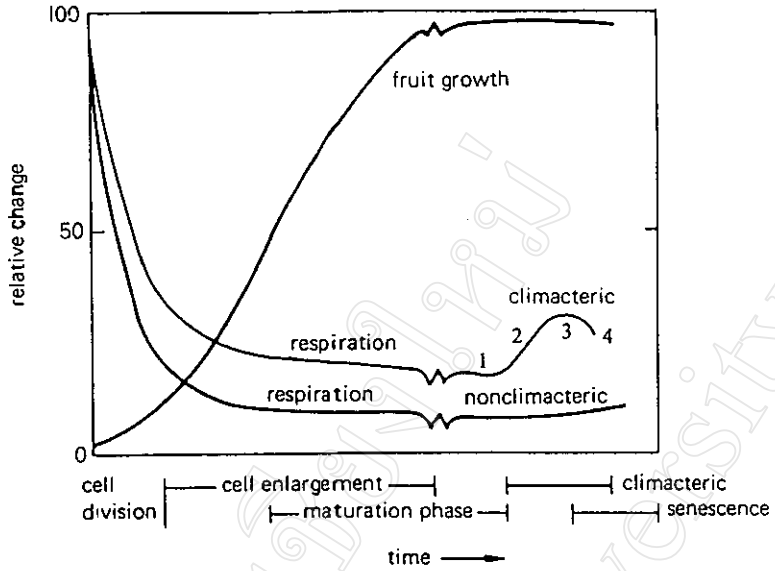
1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นการหายใจที่ต้องอาศัยก๊าซออกซิเจนในการออกซิไดซ์น้ำตาลให้เป็น CO_2, H_2O และพลังงาน ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{พลังงาน}$$

2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนหรือใช้เพียงเล็กน้อย โดยกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis system) ไม่ผ่านเข้าสู่กระบวนการ Krebs cycle แต่ถูกรีดิวซ์ไปเป็นกรดแลกติกในสัตว์ หรืออะซิตัลดีไฮด์ และเอทิลแอลกอฮอล์ในพืชเรียกว่ากระบวนการหมัก (fermentation) การหายใจแบบนี้เกิดได้ในสภาพมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำในระหว่างเก็บรักษา ดังสมการ

$$\text{กรดไพรูวิก} \xrightarrow{} \begin{cases} CO_2 \\ \text{อะเซตัลดีไฮด์} \end{cases} \longrightarrow \text{เอทิลแอลกอฮอล์}$$

ส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทธิลีนต่ำ (ภาพ 2) (Vines *et al.*, 1963) ดังนั้นการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการหายใจ (Phan *et a.*, 1975) และการผลิตเอทธิลีน (Leshem *et al.*, 1986) จึงเกิดขึ้นน้อย



ภาพ 2 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงของการเจริญเติบโตระยะต่างๆ 2 = climacteric rise 3 = climacteric peak 4 = post-climacteric (Salisbury and Ross, 1985)

การใช้สารเคลือบผิวกับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

ผลไม้ในธรรมชาติจะมีสารประเภทไข(waxหรือcutin) เคลือบอยู่บริเวณผิวว่าเรียก คิวติเคิล (cuticle) หรือนวลของผลไม้ปกคลุมเซลล์ผิว ชั้นของคิวติเคิลนี้มีบทบาทสำคัญในการลดการสูญเสียน้ำ และการแลกเปลี่ยนก๊าซบริเวณผิว ชั้นคิวติเคิล หรือนวลที่เคลือบผิวนี้จะหลุดไปเนื่องจากการเก็บเกี่ยว และการขนย้าย หรือการทำความสะอาด ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ทั้งในแง่ความทนทานและความสวยงามของผิวผลไม้ ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ (สุรพงษ์, 2530; อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540) ปกติผิวเปลือกผลไม้ส่วนใหญ่มีคิวติเคิลเคลือบอยู่เป็นชั้นบาง ๆ ซึ่งมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันซ้อนกันเป็นชั้น ๆ จำแนกได้ 3 ชั้นคือ ชั้นนอกสุด เรียกว่า epicuticular wax ประกอบด้วยแวกซ์ที่มีรูปร่างและการเรียงตัวหลายรูปแบบ ชั้นกลางประกอบด้วย cutin suberin และแวกซ์ ชั้นในสุดซึ่งอยู่ติดกับเซลล์ epidermis หรือ periderm ประกอบด้วย cutin suberin น้ำตาลประเภท polysaccharide โปรตีน และแวกซ์ (Goodwin and Mercer, 1983) ทั้งแวกซ์ cutin และ suberin มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ขึ้นกับชนิดและสูตรโครงสร้างของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกัน จึงมีผลให้คุณสมบัติทางเคมีบางอย่างแตกต่างกัน ดังเช่น cutin และ suberin ไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน และไม่ละลายในตัวทำลายไขมัน แต่แวกซ์หลอมเหลวและละลายได้ในตัวทำละลายไขมัน (Pandey, 1982) จึงสามารถแยกแวกซ์ออกจากผิวพืช และเตรียมเป็นสารเคลือบผิวผลไม้ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิด พันธุ์ และอายุของผลไม้ (Kays, 1991) แวกซ์ที่เคลือบผิวผลไม้แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ hard wax และ soft wax

ถ้าชั้นของคิวติเคิล ประกอบด้วย soft wax มากการสูญเสียน้ำจะน้อย (สายชล, 2528) สำหรับผลไม้ตระกูลส้มในระยะที่ผลอ่อนแวกซ์ ที่สร้างส่วนใหญ่จะเป็น soft wax แต่ในระยะผลแก่จะสร้าง hard wax ขึ้นเป็นปริมาณมาก (Ben-Yehoshua, 1987) ทั้ง soft wax และ hard wax มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น hydrocarbons long-chain alcohol และ aldehyde แต่มีคุณสมบัติทางเคมีบางอย่างแตกต่างกัน คือ soft wax ไม่ละลายในกรด oleic ในขณะที่ hard wax ละลายได้ในกรด olenolic (Ben-Yehoshua, 1987) และ Albrigo (1972) กล่าวว่าการสูญเสียน้ำหนักของส้ม Valencia เกิดขึ้นน้อยถ้ามี soft wax อยู่มาก ในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ เช่น การล้างทำความสะอาด การขนส่ง ทำให้แวกซ์ที่มีอยู่โดยธรรมชาติหลุดออกได้ง่ายเป็นผลให้มีการสูญเสียน้ำออกทางคิวติเคิลมากขึ้น ดังนั้นการเคลือบผิวผลไม้ด้วยการเคลือบผิวจึงเป็นการทดแทนแวกซ์ธรรมชาติที่หลุดไปและปิดรอยเปิดตามธรรมชาติรวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ลดการสูญเสียน้ำได้ เป็นที่ทราบดีว่าการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลไม้มีอัตราการคายน้ำและการหายใจสูง จึงได้มีการผลิตสารเคลือบผิวขึ้นมาใช้เคลือบผิวผลไม้แทนไขธรรมชาติที่หลุดไป โดยเฉพาะสารเคลือบผิวชนิดที่บริโภคได้ เนื่องจากค่านิยมของผู้บริโภคในปัจจุบันนิยมความเป็นอยู่ที่ใกล้ชิดธรรมชาติ และตระหนักถึงสารพิษที่เป็นอันตรายทั้งกับสภาพแวดล้อมและสุขภาพ (จริงแท้, 2538)

สารเคลือบผิวที่ใช้กับผลไม้ในปัจจุบันนี้มีด้วยกันหลายชนิดหลายสูตร และมีหลายบริษัทที่ผลิตจำหน่าย แต่ชนิดและสัดส่วนของแวกซ์กับตัวทำละลายที่ใช้เตรียมยังคงเป็นความลับทางการค้า โดยทั่วไปแล้วการเตรียมจะต้องใช้ emulsifier ช่วยให้แวกซ์เจือจางอยู่ในน้ำในรูปของสารแขวนลอยซึ่งเรียกว่า emulsion (Bennett, 1975a and b) แวกซ์ที่ใช้เตรียมอาจจะได้จากแหล่งต่างๆดังนี้คือ (Hampel and Hawley, 1973)

1. **แวกซ์จากพืช (vegetable wax)** โดยแยกได้จากผิวพืช มีหลายชนิดแต่ที่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้คือ

   carnauba เป็นแวกซ์ที่แยกได้จากผิวของ Brazilian palm (*Copernicia cerifera*) มีคุณภาพดีที่สุด มีความแข็งมากที่สุด เป็นเงามันมากที่สุด มีกลิ่นหอมและมีจุดหลอมเหลวสูงที่สุด คือ 84-96 องศาเซลเซียส

   candelilla เป็นแวกซ์ที่แยกได้จากต้นของวัชพืช *Pedilianthus pavonis* มีความแข็งและเป็นมันเงารองมาจาก carnauba เปราะ และมีกลิ่นหอม เมื่อรวมตัวกับกรด oleic จะเกิดผลึกน้อยลงและมีความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น

2. **แวกซ์จากสัตว์ (animal wax)** มีความแตกต่างกันหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้ คือ shellac ได้จากมูลครั่ง มีความเป็นเงามันสูง มีจุดหลอมเหลวที่ 72-80 องศา

เซลเชียส อีกชนิดหนึ่งคือ spermaceti ได้จากปลาวาฬ ส่วน wool wax ได้จากขนแกะ และ bee wax ได้จากผึ้ง

3. แวกซ์จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม **(petroleum wax)** ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม มีแตกต่างกัน 4 ชนิด แต่ชนิดที่ใช้เตรียมสารเคลือบผิวได้บ้างคือ

paraffin wax มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว อ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่น เมื่อรวมกับตัวทำละลายจะเหนียว

microcrystalline wax เป็นผลึกขนาดเล็ก เหนียว และอ่อนนุ่ม มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มี tensile strength และจุดหลอมเหลวสูงกว่า paraffin มีความเป็นเงาน้อย ลื่นมือ สามารถรวมกับ vegetable และ resin ซึ่งมีผลให้จุดหลอมเหลวและความแข็งเพิ่มขึ้น

4. แวกซ์จาก **fossil (mineral wax)** เช่น montan wax แต่ไม่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบผิว เนื่องจากมีสีเข้ม

5. แวกซ์จากการสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมี**(chemical synthetic wax)** เช่น polyethylene wax, polyoxyethylene glycol (carbowax), chlorinated napthalene (Halowax), polyoxyethylene, sorbitol, polyethylene glycols และ ethylene glycol monostearate เป็นต้น

แวกซ์ที่ใช้เตรียมสารเคลือบผิวนอกจากจะต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดี และมีคุณสมบัติอื่นๆ เหมาะสมกับความต้องการของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวแล้ว ยังต้องมีความปลอดภัยต่อการบริโภคสูงด้วย carnauba และ shellac เป็นแวกซ์ที่แยกได้จากผิวพืชและมูลครั่ง จึงเชื่อว่ามีความปลอดภัยสูง และมีคุณสมบัติที่เหมาะสม เพราะสารเคลือบผิวที่มีจำหน่ายเป็นการค้าส่วนใหญ่แล้วมักจะเตรียมจากแวกซ์ทั้ง 2 ชนิดนี้ ซึ่งอาจเตรียมโดยใช้แวกซ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นองค์ประกอบเพียงชนิดเดียว หรืออาจผสมเข้าด้วยกัน หรืออาจผสมกับแวกซ์ชนิดอื่น เช่นผสมกับ resin (Hagenmaier and Shaw, 1992) candellila และ paraffin เป็นต้น (Bennett, 1975 a) ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง เนื่องจาก carnauba มีราคาแพงมากที่สุด รองลงมาคือ shellac และ candellila ส่วน paraffin มีราคาถูกที่สุด

emulsifier หรือ emulsifying agent เป็นสารประกอบทางเคมีที่สามารถทำให้แวกซ์หรือน้ำมันเจือจางอยู่ในน้ำได้ มักเป็นสารเคมีที่มีโมเลกุลใหญ่ มีหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophillic) อยู่ส่วนท้ายของโมเลกุล ซึ่งอาจจะเป็นหมู่ carboxyl , amino หรือ ester เป็นต้น ส่วนใหญ่มักจะเป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มอื่นๆ เช่น dispersing agent และ wetting agent บางชนิด รวมทั้ง detergent แต่ชนิดที่นำมาใช้เตรียมสารเคลือบผิวคือ morpholic fatty acid, triethanolamine, mixed mono diglyceride of fatty acid (Bennett, 1975 b) และ carboxy methyl cellulose (McMurry, 1992) สำหรับ morpholic fatty acid นับว่าเหมาะต่อการใช้เตรียมสารเคลือบผิวผลไม้มาก เพราะ

ความคงตัวสูง (stability) ไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนในขณะเตรียม (Bennett, 1975 b) มีการนำมาใช้เตรียมสารเคลือบผิวที่มีจำหน่ายเป็นการค้าอยู่บ้าง (Hagenmaier and Shaw, 1992)

การเตรียม emulsion สามารถเตรียมได้ 2 วิธีด้วยกันคือ Continental method เป็นวิธีการผสมแวกซ์เข้ากับ emulsifier ให้มีลักษณะคล้ายแป้งเปียกก่อนที่จะละลายด้วยน้ำ และEnglish method เป็นการผสม emulsifier เข้ากับน้ำจำนวนน้อยๆก่อนแล้วจึงเพิ่มแวกซ์หรือน้ำมันและน้ำลงไป (Bennett, 1975 b) สารเคลือบผิวที่เตรียมได้นี้จะต้องมีความคงตัวสูง กล่าวว่าสารละลายจะไม่มีการแยกตัวออกเป็นชั้นๆ ไม่เปลี่ยนสี ไม่มีกลิ่นหืน ให้น้ำซึมผ่านได้น้อยหรือไม่ได้เลย แต่ให้ O_2 และ CO_2 ผ่านเข้าออกได้เหมาะสม แห้งเร็ว เกาะติดผิวได้ดี เป็นมันเงา ราคาถูก และปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Bennett, 1975 b)

การใช้สารเคลือบผิวเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้

1. การใช้สารเคลือบผิวเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

ในการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร เช่น การล้างทำความสะอาด การขนส่ง ทำให้แวกซ์ที่มีอยู่โดยธรรมชาติหลุดออกเป็นผลให้มีการสูญเสียน้ำออกทางคิวติเคิล มากขึ้น ดังนั้นการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวจึงเป็นการทดแทนแวกซ์ธรรมชาติที่หลุดไปและปิดรอยเปิดตามธรรมชาติรวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ลดการสูญเสียน้ำได้ เป็นที่ทราบดีว่าการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลไม้มีอัตราการคายน้ำและการหายใจสูงดังเช่น Irving and Ludi (1969) รายงานว่าผลส้มที่ถูกล้างด้วยน้ำยาซักฟอก (detergent) จะมีอัตราการคายน้ำและการหายใจสูงกว่าผลที่ไม่ได้ล้าง การคายน้ำ(transpiration) เป็นการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อที่มีชีวิต โดยการระเหย (evaporation) (Wills *et al.*, 1981) การคายน้ำของผลิตผลสดพืชสวนหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมเช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และลม เป็นต้น และปัจจัยที่เกี่ยวกับผลิตผลเอง เช่นรูปทรง โครงสร้างผิวเปลือกและขนาดของผล เป็นต้น (สายชล, 2528) การคายน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซของพืชเกิดขึ้นโดยผ่านทางปากใบ เลนติเซล และช่องเปิดอื่นๆ ส่วนทางคิวติเคิล การแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้นได้น้อย (Levitt, 1974) เพราะเซลล์ชั้น epidermis ซึ่งอยู่ใต้คิวติเคิล เรียงตัวกันแน่น มีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อย (Pandey, 1982) ปากใบของผลไม้ในระยะที่ผลแก่เต็มที่จะปิด (Kays, 1991) การสูญเสียน้ำของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจึงเกิดขึ้นทางคิวติเคิล เป็นส่วนใหญ่ (Ben - Yehoshua, 1987) แวกซ์ซึ่งอยู่ชั้นบนสุดของคิวติเคิลสามารถลดการคายน้ำได้ แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี และการเรียงซ้อนกันของแวกซ์ โดยแวกซ์ที่เรียงซ้อนกันไม่สนิทอาจจะมีช่องทางที่น้ำระเหยผ่านออกมาได้ (Ben - Yehoshua, 1987) และผลิตผลเมื่อได้รับการปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ หลังการเก็บเกี่ยวจะมีแวกซ์เหลือติดอยู่กับผิวน้อยมากหรือไม่มีเลย การคายน้ำออกทางคิวติเคิลจะ

มีมากยิ่งขึ้น การเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวเพื่อทดแทนแวกซ์ส่วนที่หลุดออกไป และปิดรอยเปิดตามธรรมชาติและรอยแผลที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ลดการคายน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ ซึ่งอาจจะได้ผลดีมากกว่าผลที่มีแวกซ์ติดอยู่อย่างสมบูรณ์ตามธรรมชาติ (จริงแท้, 2538) ดังเช่นการใช้สารเคลือบผิว citrus shine ความเข้มข้น 60 และ 80% เคลือบผิวผลส้มตราและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเก็บรักษานาน 20 วัน น้ำหนักสดของผลส้มลดลง 11.7 และ 11.2% ตามลำดับ ขณะที่การไม่เคลือบผิวส้มน้ำหนักสดลดลง 17.9% (สุภาพ, 2531) และการเคลือบผิวผลส้มด้วย Shield Brite AP 40 wax แล้วเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิ 21-31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 71-96 % ทำให้ผลส้มมีการสูญเสียน้ำลดลง

2. การใช้สารเคลือบผิวที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

Ben-Yehoshua *et al.*, (1985) พบว่าการเคลือบผิวส้ม Valencia สามารถจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซ CO_2 O_2 และเอทธิลีนได้ถึง 140, 250 และ 100% ตามลำดับ และลดการสูญเสียน้ำได้ 25% โดยปิดปากใบ (stomata) และรอยแตกตามธรรมชาติที่ผิวทำให้จำกัดการซึมผ่านของก๊าซได้ แต่ไม่มีผลต่อการระเหยของไอน้ำมากนัก และการเคลือบผิวผล grapefruit พันธุ์ Marsh และผลส้ม Valencia ทำให้ระดับก๊าซ CO_2 ภายในผลเพิ่มสูงขึ้นและการสูญเสียน้ำหนักลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ไม่เคลือบผิวซึ่งเป็นผลมาจากสารเคลือบผิวไปจำกัดการซึมผ่านของก๊าซCO_2 และไอน้ำโดยไปปิดรูเปิดตามธรรมชาติในชั้น epidermis นั่นเอง (Hagenmaier and Baker, 1993) Ben-Yehoshua (1969) พบว่าการเคลือบผิวผลส้ม Shamouti และผลส้ม Valencia ในระหว่างการเก็บรักษาทำให้การหายใจลดลงขณะเดียวกันระดับ CO_2ภายในสูงขึ้นซึ่งการที่สารเคลือบผิวสามารถจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้ภายในผลมีปริมาณก๊าซ O_2 ต่ำ และ CO_2 สูง จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอทธิลีน โดยการสังเคราะห์เอทธิลีนจะหยุดชะงักในบรรยากาศที่ขาด O_2 เพราะ O_2 จำเป็นในปฏิกิริยาการเปลี่ยน ACC ให้เป็นเอทธิลีน ปกติ O_2 ซึ่งต่ำกว่า 8 เปอร์เซนต์จะส่งผลให้การสังเคราะห์เอทธิลีนลดลง (ดนัย, 2540) นอกจากนี้ความสามารถในการป้องกันการสูญเสียน้ำของสารเคลือบผิวส่งผลให้ไม่เกิดการสร้างเอทธิลีนอันเนื่องจากความเครียดซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำด้วย (Wood, 1990; Paul, 1992 ;) การเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารเคลือบผิวได้เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิดเป็นสิ่งสำคัญ เช่น การเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นต่ำหรือเคลือบผิวบางเกินไปจะลดการคายน้ำ และจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้น้อย ส่วนความเข้มข้นสูงหรือเคลือบหนามากเกินไป นอกจากจะสิ้นเปลืองสารแล้ว ยังจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซมากเกินไปอาจจะทำให้เนื้อเยื่อขาดO_2เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 มีผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติขึ้นกับเนื้อผล(Arthey, 1975) นอกจากนี้ CO_2 ซึ่งได้จากการหายใจอาจจะสะสมอยู่มากถึงขั้นเป็นอันตรายกับเนื้อเยื่อได้ เพราะ CO_2 ที่มีความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ succinic

acid dehydrogenase ทำให้มีกรด succinic สะสมอยู่มากจนอาจเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อได้ (Weichman, 1986) และยังอาจจะมีผลให้ปฏิกิริยาเคมีของการหายใจในวัฏจักรเครบส์ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (Voet and Voet, 1990) การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีความสามารถในการจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซในระดับที่เหมาะสม ทำให้อากาศในผลมี O_2 ต่ำ และ CO_2 สูงสามารถยับยั้งการสร้างและการทำงานของเอทธิลีน ได้เพราะ O_2 มีความจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ 1- aminocyclopropane 1-carboxylic acid synthase ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยน 1- aminocyclopropane 1- carboxylic acidไปเป็นเอทธิลีนและจำเป็นต่อการรวมตัวของเอทธิลีนเข้ากับตัวรับ (receptor) ตรงตำแหน่งที่มีอะตอมของโลหะบางชนิดเพื่อการทำงานของเอทธิลีน(Leshem *et al.*, 1986)

3. การใช้สารเคลือบผิวให้เหมาะสมกับชนิดของผลไม้เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

การใช้สารเคลือบผิวควรเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของผลไม้ เพราะมีผลต่อคุณภาพภายในของผลไม้ เช่น สารเคลือบผิว Semperfresh มีคุณสมบัติในการป้องกันการสูญเสียน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดี แต่แห้งช้ามีส่วนประกอบทางเคมีเป็นพวก sucrose ester ของกรดไขมัน สามารถใช้เคลือบผิวทุเรียนและชะลอการเสื่อมคุณภาพได้ (สิริพันธ์, 2533) แต่ใช้ไม่ได้กับผลส้มเขียวหวานเพราะผิวส้มเป็นมันจึงติด Semperfresh ได้น้อย (สุภาวดี, 2531) Davis and Hofmann (1973) พบว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยแวกซ์ทางการค้า มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าผลที่เคลือบด้วย water wax หรือ polyethylene ขณะที่กลิ่นผิดปกติ และ เอทธานอล เกิดขึ้นเมื่อเคลือบผิวด้วย water wax และแวกซ์ทางการค้า แต่ไม่พบในผลที่เคลือบด้วย polyethylene ธราธร(2528) พบว่า เมื่อเคลือบผลมะนาวด้วย TAL Pro-long ความเข้มข้น 1.2% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10^0C สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักและป้องกันการเหี่ยวของผลได้ แต่จะเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 สัปดาห์ คุณสมบัติของสารเคลือบผิวที่เหมาะสมสำหรับผลไม้ตระกูลส้ม ควรมีความมันเงา จำกัดการสูญเสียน้ำเพื่อลดการเหี่ยวของผล และยอมให้ก๊าซ CO_2 O_2 ซึมผ่านได้อย่างเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นผิดปกติ (Kaplan, 1986 อ้างโดย Hagenmaier and Baker, 1995) แต่พบว่าส่วนใหญ่สารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีคุณสมบัติดังกล่าวไม่ครบถ้วน Hagenmaier and Baker (1995) จึงแก้ปัญหาโดยการเคลือบผิวผลส้มเป็นชั้น ๆ โดยอาศัยคุณสมบัติของสารเคลือบผิวแต่ละชนิดมาสนับสนุน พบว่าชั้นในซึ่งใช้สารเคลือบผิวที่จำกัดการคายน้ำ (moisture-barrier wax) จะลดการสูญเสียน้ำหนัก ส่วนชั้นนอกสารเคลือบผิวพวก polyethylene หรือสารผสมระหว่าง shellac และ resin ester จะให้ความมันเงา (gloss) แต่สารผสมระหว่าง shellac และ resin ester จะจำกัดการแลกเปลี่ยนของก๊าซ O_2 และ CO_2 ขณะที่สารเคลือบผิวพวก polyethylene ไม่มีผล ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของ Hagenmaire and Shaw (1992) ที่ว่าสารเคลือบผิวที่เหมาะสมสำหรับผลไม้ตระกูล

ส้มควรจะยอมให้ก๊าซ CO_2 O_2 และเอทธิลีนซึมผ่านได้มากและจำกัดการระเหยของไอน้ำเพื่อลดการคายน้ำ และไม่เป็นการกีดขวางกระบวนการหายใจเนื่องจากผลส้มมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทธิลีนต่ำ การจำกัดการซึมผ่านของก๊าซไม่สามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลส้มได้มากนัก (Ben-Yehoshua, 1987) ตรงกันข้ามอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติขึ้นได้ จากผลการทดลองของ Cohen *et al.*, (1990) พบว่าการเคลือบผิวผลส้ม Murcott tangerine แม้ว่าจะลดการสูญเสียน้ำหนักได้แต่ทำให้ปริมาณ CO_2 และเอทธานอล ภายในสูงขึ้นเป็นผลให้เกิดกลิ่นผิดปกติตามมา ดังนั้นปรีดา (2536) จึงศึกษาคุณสมบัติของสารเคลือบผิวที่เหมาะสมสำหรับส้มเขียวหวานที่เตรียมจาก carnauba ความเข้มข้น 0-15% และ shellac ความเข้มข้น 0-20% พบว่าสารเคลือบผิวที่เตรียมจาก carnauba สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้ 60% และไม่จำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้ CO_2 และ O_2 ภายในผลไม่แตกต่างจากผลปกติ สำหรับสารเคลือบผิวที่เตรียมจาก shellac สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้เพียง 20% และจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซนอกจากนี้พบว่าสารเคลือบผิวทั้งสองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายใน

การเปลี่ยนสีเปลือกของผลและการสูญเสียน้ำหนัก มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลส้มในเชิงการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าสารเคลือบผิวที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากต่างประเทศ และผลิตขึ้นเพื่อผลิตผลชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ ดังนั้นจำเป็นจะต้องศึกษาและทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าจะสามารถใช้ได้ดีกับผลิตผลในประเทศไทย นอกจากนี้การเลือกชนิดสารเคลือบผิวควรเลือกให้เหมาะสมกับผลิตผลคือสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักและจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ในปริมาณที่เหมาะสมโดยผลิตผลไม่เกิดความเสียหายเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน