

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 การจัดแบ่งกลุ่มพืชตระกูลส้ม

พืชตระกูลส้มสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ โดยอ้างตาม Hodson System ได้ดังนี้ (Kimball, 1999)

2.1.1 กลุ่มออเรนจ์ (oranges) หมายถึงกลุ่มส้มเกลี้ยง เป็นผลส้มกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปเอเชีย ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย ทางแถบทิเบต ไปจนถึงจีน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

a. ส้มสวีทออเรนจ์ (sweet oranges; *Citrus sinensis*) นิยมบริโภคผลสดและแปรรูปเป็นน้ำส้ม แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

ก. ส้มนาวาล (navel oranges) ลักษณะของผลส้มกลุ่มนี้ปลายผลจะมีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายสะดือ (navel) ที่ตรงแอ่งอาจมีผลเล็กๆ เกิดซ้อนกันอยู่อีก เรียกว่า secondary fruit นอกจากนี้ยังไม่มีเมล็ด รสชาติดี เปลือกไม่ติดเนื้อ ทำให้ปอกง่าย พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ ทอมสัน (Thomson) และวอชิงตันนาวาล (Washington Navel)

ข. ส้มชนิดที่มีเนื้อผลสีแดง (pigmented or blood oranges) ผลส้มกลุ่มนี้มี anthocyanin ที่เปลือกและในน้ำคั้น พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ โมโร (Moro) ทารอคโค (Tarocco) และแซงควินลลิ (Sanguinelli)

ค. ส้มออเรนจ์ (common oranges) นิยมบริโภคผลสดและแปรรูป เช่น พันธุ์วาเลนเซีย (Valencia) พีรา (Pera) แฮมลิน (Hamlin) และไพแอปเปิล (Pineapple)

ง. ส้มชนิดที่เนื้อไม่มีกรด (acidless or sugar oranges) ผลส้มกลุ่มนี้มีปริมาณกรดในผลน้อยมากประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เช่น พันธุ์ลิมา (Lima) และไพราลิมา (Piralima)

b. ส้มชาวออเรนจ์ (sour or bitter oranges; *Citrus aurantium*) มีถิ่นกำเนิดทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จีน และพม่า แพร่กระจายไปทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น และแถบเมดิเตอร์เรเนียนถึงทวีปยุโรป เป็นผลส้มที่นิยมใช้ทำต้นตอ ทนต่อโรคทริสเตซ่าไวรัส (Tristeza virus) มีรสขม พันธุ์ซีวิลลาโน (Sevillano) เป็นพันธุ์ที่ใช้แปรรูปทำแยมผิวส้ม ดอกของชาวออเรนจ์มีน้ำมันใช้ทำน้ำหอม พันธุ์ลูกผสม เช่น พันธุ์เบอกาม็อต (Bergamot) ปลูกเพื่อสกัดน้ำมันทำน้ำหอม นอกจากนี้ยังมีบางพันธุ์ที่ปลูกเป็นไม้ประดับ เช่น ไชน็อตโต (Chinotto)

2.1.2 กลุ่มแมนดาริน (**mandarins; *Citrus reticulata* Blanco**) เรียกกันทั่วไปว่า กลุ่มส้มเปลือกอ่อน ส้มกลุ่มนี้คาดว่ามิถุนกันกำเนิดทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียทางแคว้นอัสสัม มีการปลูกกันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศของโลก ผลส้มกลุ่มนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเขตร้อน มีลักษณะผลใกล้เคียงกับกลุ่มออเรนจ์ อาจเรียกว่า แทนเจอร์น (tangerine) ชื่อแมนดารินและแทนเจอร์นนั้นอาจใช้แทนกันได้ แต่มีผู้พยายามแยกทั้งสองชื่อออกจากกันโดยใช้ความแตกต่างของสีเปลือก เช่น พวกที่มีเปลือกสีส้มหรือสีแดงเรียกว่า แทนเจอร์น ส่วนพวกที่มีเปลือกสีเหลือง เรียกว่า แมนดาริน ส้มในกลุ่มแมนดารินแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

a. ซัชซูมา (satsuma; *Citrus unshiu* Marcovitch) มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น ลักษณะของผลส้มซัชซูมาคือ มีผลขนาดค่อนข้างเล็ก มีรูปร่างแบน ที่ขั้วอาจมีจุกหรือบางครั้งไม่มีผลไม่มีเมล็ด ผิวผลเรียบแต่มีต่อมน้ำมันใหญ่หนาแน่น มีจำนวนกลีบ 10–12 กลีบ และสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย แกนผลกลวง และถุงน้ำส้มมีลักษณะสั้น พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ โอวาริ (Owari) ซิลเวอร์ฮิล (Silver hill) และคารา (Kara)

b. แมนดาริน (common mandarins; *Citrus deliciosa* Blanco) ลักษณะผลมีขนาดกลางถึงใหญ่ เปลือกบางและอ่อนง่าย พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ส้มเขียวหวาน และส้มจิน ส่วนพันธุ์ที่นิยมปลูกในต่างประเทศ ได้แก่ คลิเมนไทม์ (Clementine) และพองแกน (Ponkan)

c. คิงแมนดาริน (King mandarin; *Citrus nobilis* Loureiro) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า King of Siam มีถิ่นกำเนิดในอินโดจีน ทางเหนือของประเทศญี่ปุ่น และทางใต้ของมาเลเซีย ลักษณะผลมีขนาดค่อนข้างใหญ่ถึงใหญ่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับแมนดาริน เปลือกผลค่อนข้างขรุขระและติดกับเนื้อบางส่วน พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์คิง (King)

d. เมดิเตอร์เรเนียนแมนดาริน (Mediterranean mandarin; *Citrus deliciosa* Tenore) ส้มกลุ่มนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ลักษณะที่เด่นชัดคือ ใบยาวเรียวเล็กและมีกลิ่นหอมจากน้ำมันและจากเปลือกผลส้ม น้ำส้มมีรสหอมอ่อนๆ และเมล็ดค่อนข้างกลม ส่วนของน้ำมันที่สกัดได้จากเปลือกผลและใบใช้ในการผลิตน้ำหอมและเครื่องสำอางค์

e. กลุ่มแมนดารินชนิดผลเล็ก (small-fruited mandarins; *Citrus madurensis*) ส้มกลุ่มนี้จะมีผลขนาดเล็กและเปลือกผลบาง

2.1.3 กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุต (Pomelo and Grapefruit)

a. ส้มโอ (*Citrus grandis* L. Osbeck) เป็นส้มที่มีผลขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาพืชตระกูลส้มทั้งหมด มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน ส้มโอแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาวและชนิดมีเนื้อผลสีอื่นๆ สีของเนื้อผลเกิดจากแคโรทีนอยด์และไลโคพีน ซึ่งทำให้เนื้อผลมีสีตั้งแต่

ชมพูอ่อนถึงสีแดงเข้ม พันธุ์ส้มโอที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ขาวพวง และขาวแป้น เป็นต้น

b. เกรฟฟรุ๊ต (*Citrus paradisi* Macfadyen) ผลคล้ายส้มโอมากแต่มีขนาดเล็กกว่า เกรฟฟรุ๊ต แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว ได้แก่ พันธุ์มาซ (Marsh) และชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ ได้แก่ พันธุ์สตาร์รูบี้ (Star Ruby) และริโอเรด (Rio Red) เป็นต้น

2.1.4 กลุ่มมะนาว (Common acid member)

แบ่งย่อยออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

a. เลมอน (lemon) (*Citrus limmon* L. Burn f.) คนไทยเรียกว่า มะนาวฝรั่ง ลักษณะผล มีสีเขียวอมเหลือง ผลยาวรียาว ลักษณะประจำพันธุ์ที่เด่นชัดคือ ส่วนปลายผลนูนสูงขึ้น เรียกว่า นิบเปิ้ล หรือ apical mamilla พันธุ์ที่มีความสำคัญทางการค้าได้แก่ ยูริก้า (Eureka) และดอร์ซาโป (Dorshapo) เป็นต้น

b. ไลม์ (lime) (*Citrus aurantifolia* Swing) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีรสเปรี้ยว ได้แก่ พันธุ์เวสอินเดียนไลม์ หรือเม็กซิกันไลม์ (West Indian lime or Mexican lime) และชนิดที่มีรสหวาน มีลักษณะเหมือนมะนาวต่างๆ ไป แต่เนื้อมีรสหวาน มีกรดน้อย พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์อินเดียนหรือปาลาสไตน์ เป็นต้น

c. ซิตรอน (citron) (*Citrus medica* L.) มีรสเปรี้ยวจัด และมีเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูป เช่น เปลือกแฉ่ำ และทำขนม

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลส้ม

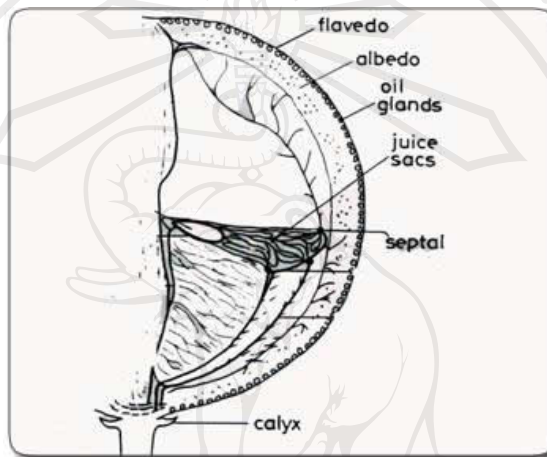
ผลส้มจัดเป็นผลแบบ berry ชนิด hesperidium ซึ่งเจริญขึ้นมาจากส่วนของรังไข่โดยตรง มีจำนวนประมาณ 10 carpel (กลีบ) อาจมากกว่าหรือน้อยกว่ากันเล็กน้อย เชื่อมติดกันเป็นวงกลม ล้อมอยู่รอบแกนกลาง (central axis) การพัฒนาของผนังรังไข่ (ovary wall) ภายหลังการติดผล จนกระทั่งโตเต็มที่ ส่วนของผนังรังไข่จะเปลี่ยนไปเป็น pericarp ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ชั้น คือ (Ting and Attaway, 1971)

1) exocarp ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกของผลส้มเรียกว่า ฟลาวิโด (flavedo) ชั้นนอกสุดเป็นชั้นของอพิเดอมีส (epidermis) ที่มีคิวติเคิล (cuticle) และมีต่อมน้ำมัน (oil gland) ในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ชั้นนี้จะมียูโรพลาสต์ แต่เมื่อผลสุกยูโรพลาสต์จะเปลี่ยนไปเป็น โครโมพลาสต์ และมีการสร้างเม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ทำให้ผลมีสีตามลักษณะประจำพันธุ์

2) mesocarp เป็นผนังชั้นกลางที่อยู่ถัดจากชั้น exocarp เรียกว่า อัลบิโด (albedo) เป็น เซลล์พวก spongy parenchyma มีสีขาว ชั้นนี้อาจบางมาก เช่น ผลส้มเขียวหวาน และเพิ่มความ

หนามากขึ้น เช่น ผลส้มเกลี้ยง จนหนามาก เช่น ผลส้มโอและซิตรอน ชั้นนี้อาจติดกับชั้นของฟลาวิโด หรือติดกับส่วนเนื้อใน

3) endocarp จัดเป็นชั้นในสุดของ pericarp คือ carpel membrane ของกลีบผลนั่นเอง เซลล์ผนังด้านในของชั้นนี้เมื่อมีการพัฒนาของผล ส่วนนี้จะมีการแบ่งเซลล์และขยายตัวออก กลายเป็นถุงน้ำส้ม (juice sac) ทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำ น้ำตาล และสารต่างๆ สำหรับชั้นของผนัง (septum) ที่กั้นระหว่างกลีบนั้นเกิดจากผนังของกลีบ 2 กลีบที่อยู่ติดกัน



ภาพ 2.1 ลักษณะ โครงสร้างของผลส้ม

ที่มา : Spiegel-Roy and Goldschmidt (1996)

2.3 พันธุ์ส้มที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย (เปรมปรี, 2544)

2.3.1 ส้มเขียวหวานชนิดเปลือกค่อนข้างหนา หรือเรียกว่า ส้มบางมด ผลมีขนาดใหญ่ รูปร่างผลมีจุดนูนเล็กน้อย มีรสหวานปานกลาง ไม่หวานแหลมนัก เดิมปลูกกันมากบริเวณตำบลบางมด เขตบางขุนเทียน ต่อมาได้กระจายออกไป เช่น พื้นที่จังหวัดปทุมธานี สระบุรี และนครนายก โดยเฉพาะในจังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นเขตที่มีชลประทานสมบูรณ์ที่สุด นอกจากนี้ยังแพร่ไปปลูกในแหล่งอื่นๆ เช่น จังหวัดน่าน แพร่ จันทบุรี ตราด นครสวรรค์ และเชียงใหม่ เป็นต้น

2.3.2 ส้มเขียวหวานพันธุ์แหลมทอง เป็นส้มที่มีลำต้นใหญ่ ผลผลิตปานกลาง ขนาดผลปานกลาง แต่มีรสชาติดี แม้ผลส้มยังไม่ถึงอายุเก็บเกี่ยวผลส้มก็ไม่มีรสเปรี้ยวมาก ในอดีตมีการปลูกกันมากบริเวณ ท่าขนุน วัดเพลง จังหวัดราชบุรี แต่ปัจจุบันปลูกกันน้อยมาก

2.3.3 ส้มฟริมองต์ ส้มพันธุ์ฟริมองต์ (Fremont) เป็นพันธุ์ลูกผสมของส้มคลิเมนไทน์ จัดอยู่ในกลุ่มส้มแมนดาริน นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยประมาณ 20 ปี มาแล้ว โดยปลูกกันมากในภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ แพร่ ตราด และน่าน

2.3.4 ส้มสายน้ำผึ้ง หรือ ส้มโชกุน หรือ เพชรยะลา เป็นส้มที่มีแหล่งกำเนิดในจังหวัดยะลา และได้ชื่อว่า ส้มโชกุน เพราะผลส้มนี้มีคุณภาพและรสชาติดีกว่าส้มเขียวหวานมากในหลายๆ ด้าน ต่อมาได้ชื่อใหม่ว่า ส้มเพชรยะลา เพื่อเป็นเกียรติแก่จังหวัดยะลาแหล่งกำเนิด

ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มส้มเขียวหวาน มีลักษณะรูปร่างทรงต้นเหมือนส้มเขียวหวานมาก ส่วนลักษณะที่แตกต่างไปจากส้มเขียวหวานคือ มีทรงพุ่มแน่นและชะลูดกว่า ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งลักษณะของกิ่งและใบจะตั้งขึ้น ส่วนส้มเขียวหวานกิ่งและใบจะห้อยลงมา ใบของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจะมีสีเขียวเข้มกว่าส้มเขียวหวาน แต่ขนาดใบเล็กกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ใบยังมีกลิ่นหอม ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีขนาดปานกลาง สีของผลเหมือนกับส้มเขียวหวาน เมื่อแก่จัดผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม ปอกเปลือกง่ายและล่อน นอกจากนี้เปลือกยังมีกลิ่นหอม และมีน้ำหนักผลดีกว่าส้มเขียวหวานเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่มีขนาดเดียวกัน

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางสรีรวิทยา และทางเคมีของผลไม้ตระกูลส้มหลังการเก็บเกี่ยว

2.4.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ก. การเปลี่ยนสีของเปลือกส้ม

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลส้มยังมีการเปลี่ยนสีของเปลือกเกิดขึ้นได้ โดยสีเขียวจะค่อยๆ หายไป แล้วปรากฏสีเหลืองหรือสีส้มขึ้นมาแทน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารสีพวกคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นคลอโรรินหรือเพอพูริน (chlororin or purpurin) ซึ่งเป็นสารไม่มีสี ทำให้สีเหลืองของแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ซึ่งมีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ปรากฏชัดขึ้น พร้อมกับมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ใหม่ขึ้นมา ประกอบด้วยแคโรทีนและแซนโทฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสีที่อยู่ในโครโมพลาสต์ (दन्य, 2540; Gross, 1987) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดจากการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายคลอโรฟิลล์โดยการแยกเอาส่วนที่เป็นหมู่ไฟทอล (phytol) ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และในการสลายตัวของคลอโรฟิลล์พบว่ามีการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase) มากขึ้น แต่การที่เอทิลีนกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลส้มนั้น เอนไซม์ออกซิเดสนี้อาจมีความสำคัญต่อการทำลายคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อที่กำลังสุกของผลส้มได้ (दन्य, 2540) ดังนั้นเมื่อใช้เอทิลีนเร่งการสลายสีเขียวของเปลือกส้มจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ออกซิเดสเพิ่มขึ้นควบคู่กัน (Gross, 1987) ปริมาณแคโรทีนอยด์ของเปลือกผลส้มแทนเจอร์นจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก ผลส้มซึ่งเก็บเกี่ยวในขณะที่เปลือกมีสีเขียวและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าผลส้มที่ปล่อยให้สุกบนต้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ระหว่างการสุกสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งผลส้มที่ติดอยู่บนต้นและผลส้มที่เก็บเกี่ยวแล้ว (Gross, 1981)

อุณหภูมิมีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในเปลือกของผลส้ม โดยผลส้มพันธุ์ Shamouti เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Cohen, 1978b) นอกจากนี้ความมืดก็สามารถชะลอการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ของผลส้มได้เช่นกัน (คณัย, 2540) สารเคลือบผิวมีผลต่อการเปลี่ยนสีของเปลือกผลส้ม ตัวอย่างเช่น ผลส้มพันธุ์ Hamlin และ Dancy ที่เคลือบผิว มีการพัฒนาสารสีแคโรทีนอยด์เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (Jahn, 1976) สอดคล้องกับการเคลือบผิวผลเกรฟฟรุ้ตพันธุ์ Marsh ที่ชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกได้ (Vakis, 1976) จึงเป็นข้อยืนยันได้ว่าผลส้มที่เคลือบผิวมีการสลายสีเขียวช้าลง (Fuchs and Cohen, 1969; Jahn, 1976) การที่สารเคลือบผิวสามารถจำกัดการผ่านเข้า-ออกของแก๊สได้ ทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มลดลงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นนั้นจะชะลอกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้ (Subramanyam *et. al.*, 1975)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่ช่วยเร่งการสลายคลอโรฟิลล์และสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ การใช้เอทิลีนจะช่วยเร่งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้เร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ และทำให้สีเปลือกของผลไม้สุกเร็วขึ้น (Gross, 1987) การขจัดสีเขียวจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้มากกับผลส้มที่เก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกยังมีสีเขียวอยู่มาก ถึงแม้ผลส้มจะมีรสชาติและส่วนประกอบทางเคมีที่เหมาะสม แต่ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพราะผู้บริโภคคิดว่าผลส้มยังไม่สุก (Cohen, 1978a) ทำให้จำเป็นต้องขจัดสีเขียวออกเพื่อให้เปลือกมีสีเหลืองสวยงาม การขจัดสีเขียวที่เปลือกผลส้มเป็นการกำจัดคลอโรฟิลล์ออกจากเปลือก ซึ่งการขจัดสีเขียวนั้นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพภายในของผลส้ม (Kader, 1985) การขจัดสีเขียวโดยใช้แก๊สเอทิลีนขึ้นอยู่กับสถานะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม ทั้งนี้ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนที่ใช้จะผันแปรตามพันธุ์และสภาพของผลส้มขณะเก็บเกี่ยว (คณัยและนิธิยา, 2546) นอกจากนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการขจัดสีเขียวเช่นกัน (Vakis, 1975)

ข. การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของความเสียหายที่เกิดขึ้นขณะที่เก็บรักษา ซึ่งนอกจากจะทำให้น้ำหนักหายไปแล้ว ยังทำให้ผลส้มเหี่ยวหรือหดตัวจนอาจขายไม่ได้ราคา และอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ได้ (จิ่งแท้, 2541) สารประเภทไขที่เคลือบอยู่ตามผิวของผลไม้หรือคิวติเคิล (cuticle) มีบทบาทตามธรรมชาติที่สำคัญในการควบคุมการสูญเสียน้ำของพืช โดยผิวของผลไม้มีบางส่วนเปิดให้น้ำและอากาศผ่านเข้า-ออกได้คือ ปากใบ (stomata) และ lenticel อย่างไรก็ตาม น้ำยังสามารถผ่านเข้า-ออกจากผลไม้ได้ทาง

คิวติเคิลเช่นกัน ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวปากใบของผลไม้จะปิด การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นทางคิวติเคิล (สายชล, 2528; จริงแท้, 2541)

ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำของผลส้มหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่

a. ขนาดของผล ผลไม้ที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวที่น้ำระเหยออกไปได้มากกว่าผลไม้ที่มีขนาดเล็ก แต่เมื่อเปรียบเทียบต่อน้ำหนักผลที่เท่ากันแล้ว ผลไม้ขนาดเล็กจะสูญเสียน้ำได้มากกว่าและเหี่ยวได้เร็วกว่าผลไม้ขนาดใหญ่ (จริงแท้, 2541) เช่นเดียวกับการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มกลุ่มแทนเจอร์น ซึ่งการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นกับผลส้มที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลส้มที่มีขนาดใหญ่ (Ketsa, 1990)

b. ความหนาของเปลือก ผลส้มที่มีเปลือกหนาจะสูญเสียน้ำมากกว่าผลส้มที่มีเปลือกบาง เนื่องจากผลส้มที่มีเปลือกหนาจะมีจำนวนปากใบมากกว่า ในขณะที่เดียวกันผลส้มที่มีเปลือกบางจะมีชั้นของ flavedo ที่หนากว่าทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่า (จริงแท้, 2541)

c. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ผลส้มมีการสูญเสียน้ำตลอดเวลาขึ้นอยู่กับบรรยากาศภายนอกจะมีความชื้นสัมพัทธ์มากน้อยเพียงไร ในกรณีที่บรรยากาศรอบๆ มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้ผลส้มมีการสูญเสียน้ำน้อยลง (จริงแท้, 2541)

d. อุณหภูมิ มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการสูญเสียน้ำ การสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายนอกเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในที่อุณหภูมิสูงจะมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลน้ำมากขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากสถานะของเหลวไปอยู่ในสถานะแก๊สจึงมีมากขึ้น ความดันไอน้ำภายในผลส้มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่ความดันไอน้ำอากาศรอบๆ ไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างผลส้มกับภายนอกจึงเพิ่มสูงขึ้น โอกาสที่ไอน้ำจะออกจากผลส้มสู่ภายนอกจึงมีมากขึ้น การเก็บรักษาผลส้มควรควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำและสม่ำเสมอ เพราะหากอุณหภูมิไม่คงที่ผลส้มจะสูญเสียน้ำมาก และทำให้สภาพในที่เก็บรักษาขึ้นและซึ่งมีผลต่อการเน่าเสียของผลส้ม (สายชล, 2528; จริงแท้, 2541)

e. การเกิดบาดแผล สามารถกระตุ้นการสูญเสียน้ำของผลส้มให้มากขึ้นได้ ถ้ารอยบาดแผลลึกมากจนทำลายชั้นของผิวที่ทำหน้าที่ป้องกัน ทำให้เนื้อเยื่อสัมผัสกับอากาศโดยตรง จะทำให้ผลส้มมีการสูญเสียน้ำมากขึ้น (จริงแท้, 2541)

ดังนั้นการเก็บรักษาผลส้มให้มีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด ทำได้โดยการควบคุมให้มีความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างผลส้มกับบรรยากาศภายนอกให้น้อยที่สุด โดยเริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยวจะต้องระวังไม่ให้เกิดบาดแผล แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว และเก็บรักษาในสภาพที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้การเคลือบผิวผลส้มภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจะช่วยลดการ

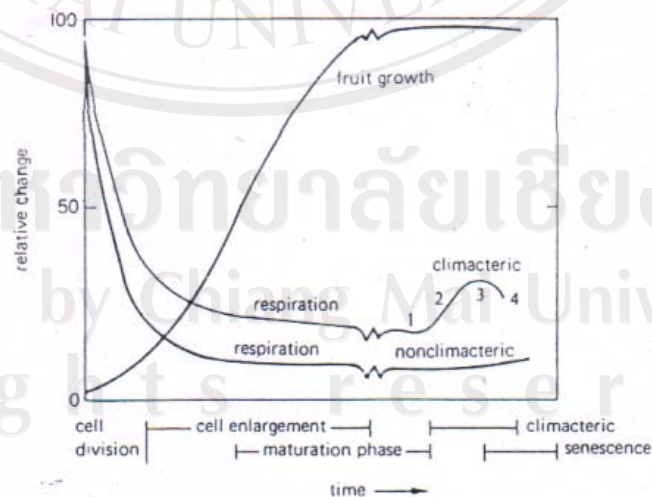
สูญเสียน้ำได้มากและผลส้มมีผิวสวยงาม โดยความมึนวาวภายหลังการเคลือบผิวสามารถดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคได้ (จริงแท้, 2541)

การสูญเสียน้ำหนักมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลส้ม ทำให้รูปร่างเปลี่ยนไป โดยทั่วไปหากผลส้มสูญเสียน้ำหนักประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลส้มเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง และรสชาติไม่ดี (Peleg, 1985) ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่สูญเสียน้ำหนักมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลส้มเหี่ยวและเสียรูปทรง เปลือกบาง แข็ง ปอกยาก และวางจำหน่ายไม่ได้ทั้งๆ ที่คุณภาพภายในยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (Grierson and Wardowski, 1978; Wardowski *et al.*, 1986) ผลส้มเขียวหวานที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) สูญเสียน้ำหนัก 8-10 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 1 สัปดาห์ และปรากฏอาการเหี่ยวให้เห็นชัดเจน (Sonsrivichai *et al.*, 1992)

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

การหายใจ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเป็นผลของกระบวนการเมแทบอลิซึมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ขณะที่มีการเจริญเติบโต ซึ่งผลไม้อาจต้องใช้พลังงานสูง จึงมีกระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดขึ้นมากมาย ทำให้มีอัตราการหายใจสูง เมื่ออัตราการเจริญเติบโตลดลง อัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลง ผลไม้ประเภท non-climacteric อัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลงเมื่อผลไม้มียุ่มาขึ้น และไม่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นขณะที่ผลเริ่มสุกภายหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งแตกต่างจากผลไม้ประเภท climacteric ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นพร้อมๆ กับการสุก และจะลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงเสื่อมสลาย (senescence) (สายชล, 2528) (ภาพ 2.2)



ภาพ 2.2 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงของการเจริญเติบโตระยะต่างๆ 1=pre-climacteric 2=climacteric rise 3=climacteric peak และ 4=post-climacteric

การหายใจของสิ่งมีชีวิตเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่อาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่ง และใช้แก๊สออกซิเจนในการออกซิไดส์น้ำตาลให้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมีพลังงานจำนวนหนึ่งเกิดขึ้น (คณัย, 2540; จริงแท้, 2541) พลังงานที่เกิดขึ้นจากการหายใจอยู่ในรูปของพลังงานเคมีคือ adenosine triphosphate (ATP) พืชที่อยู่บนดินจะสามารถสร้างอาหารขึ้นมาทดแทนส่วนที่ถูกใช้ไปในการหายใจ ซึ่งได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว ยังคงเป็นสิ่งที่มีความมีชีวิตก็จะจบสิ้นลง อัตราการหายใจจึงเป็นสิ่งที่แสดงถึงอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้คือผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น และผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวนาน ดังนั้นอายุการเก็บรักษาของผลไม้ รวมทั้งคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ (จริงแท้, 2541)

การหายใจของสิ่งมีชีวิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

a. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต ซึ่งสารอาหารถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานสำหรับการดำรงชีพ กระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่สารอาหารถูกออกซิไดส์ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สออกซิเจนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาได้เป็นน้ำออกมา ดังจะเห็นได้จากสมการการหายใจที่ใช้น้ำตาลกลูโคสเป็น substrate (จริงแท้, 2541)

การออกซิเดชันของน้ำตาลกลูโคสที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ สรุปได้เป็นสมการดังนี้



เนื่องจากพืชสะสมคาร์โบไฮเดรตไว้ในรูปของสตาร์ช ซึ่งจะถูกลายให้เป็นน้ำตาลกลูโคสโดยเอนไซม์อะไมเลส (amylase) และมอลเทส (maltase) พืชบางชนิดยังสะสมคาร์โบไฮเดรตไว้ในรูปของน้ำตาลซูโครส เซลล์ของพืชเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งจะถูกลูกออกซิไดส์ผ่านวิถีและวงจรเมแทบอลิซึมต่างๆ ได้แก่ (คณัย, 2540)

Glycolysis เป็นการเปลี่ยนโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสให้เป็นกรดไพรูวิก ซึ่งเกิดขึ้นในไซโตพลาสซึมของเซลล์ โดยที่น้ำตาลกลูโคสจะถูกออกซิไดส์เป็นสารต่างๆ จนในที่สุดเกิดเป็นกรดไพรูวิก วิถี glycolysis เป็นขั้นตอนของการหายใจที่ยังไม่ใช้แก๊สออกซิเจน ผลที่ได้รับจากวิถี glycolysis คือ พลังงานในรูปของ ATP และ NADH ซึ่งจะเปลี่ยนเป็น ATP ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียต่อไป (คณัย, 2540; จริงแท้, 2541)

Krebs cycle หรือ **Tricarboxylic acid cycle (TCA cycle)** ปฏิกริยาใน Krebs cycle เกิดขึ้นในไมโทคอนเดรียของเซลล์ เป็นการเปลี่ยนกรดไพรูวิกให้เป็น acetyl CoA เพื่อรวมตัวกับกรดออกซาโลแอซิดที่อยู่ใน Krebs cycle ได้เป็นกรดซิตริก จากนั้นกรดซิตริกจะถูกออกซิไดส์และเอาหมู่คาร์บอกซิลออกไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และกลับมาเป็นกรดออกซาโลแอซิดอีกครั้ง เพื่อพร้อมรับ acetyl CoA โมเลกุลใหม่ต่อไป ใน cycle แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปลดปล่อยออกมา และมี NADH และ FADH₂ เกิดขึ้น

Electron Transport System (ETS) NADH และ FADH₂ จะถูกส่งต่อเข้าไปใน ETS ในเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรีย ก่อให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าของโปรตอนขึ้น ความต่างศักย์นี้จะถูกใช้ในการสร้าง ATP ขึ้นมา และ ATP สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ได้ทันที และเป็นขั้นตอนการหายใจที่ต้องใช้แก๊สออกซิเจน โดยแก๊สออกซิเจนจะถูกใช้ไปในการรับอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนได้เป็นน้ำออกมาในขั้นตอนสุดท้าย

b. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) การหายใจแบบนี้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การหมัก (fermentation) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้แก๊สออกซิเจน ปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเป็นการสลายน้ำตาลกลูโคสผ่านวิถี glycolysis เช่นเดียวกัน แต่กรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนต่อเป็นกรดแลคติก หรือสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น แอซีทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และเอทานอล (ethanol) เป็นต้น ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นเมื่อบรรยากาศขาดแก๊สออกซิเจน ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทอิเล็กตรอนจาก NADH และ FADH₂ เข้าสู่ ETS เกิดขึ้นไม่ได้ เพราะการหายใจของสิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนในขั้นสุดท้ายเพื่อรับเอาอิเล็กตรอน ในขณะที่เดียวกันการสร้าง ATP ก็ไม่อาจเกิดขึ้นได้ การหายใจทั้งกระบวนการถูกยับยั้งเพราะ NAD⁺ ถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูป NADH ทั้งหมด ดังนั้นผลไม้ออกซิเจนที่สภาพบรรยากาศที่ขาดออกซิเจน จึงจำเป็นต้องหาทางออกทางอื่นเพื่อให้ได้พลังงาน (ATP) มาใช้ ในขณะเดียวกันก็ต้องหมุนเวียนให้ NADH กลับมาเป็น NAD⁺ ทั้งนี้ทำได้โดยการนำกระบวนการหมักเปลี่ยนกรดไพรูวิกเป็นแอซีทัลดีไฮด์และเอทานอล ในปฏิกริยานี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาพร้อมกับ NAD⁺ แอซีทัลดีไฮด์และเอทานอลที่เกิดขึ้นจะสะสมเป็นปริมาณมากขึ้นและเป็นพิษต่อผลไม้ออกซิเจน รวมทั้งจะทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผู้บริโภคไม่พึงประสงค์ด้วย (จริงแท้, 2541) การหมักที่เกิดขึ้นนอกจากจะสังเกตได้จากกลิ่นของแอลกอฮอล์ที่สะสมเพิ่มขึ้นแล้ว ยังสามารถวัดอัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศลดต่ำลงมาก (จริงแท้, 2541; นิธิยา, 2547)



การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้พลังงานน้อยกว่าการหายใจแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งโดยปกติผลไม้มากชนิดจะมีการหายใจแบบใช้ออกซิเจน แต่ในการเก็บรักษาบางสภาวะที่มีการลดปริมาณแก๊สออกซิเจนให้ต่ำกว่าปกติ จะทำให้แก๊สออกซิเจนในบรรยากาศมีไม่เพียงพอที่จะรักษาระดับของการหายใจแบบใช้ออกซิเจนได้ จึงทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือใช้ออกซิเจนในปริมาณจำกัดได้ (คณัย, 2540; จริงแท้, 2541)

นอกจากนี้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงมากขึ้นยังไปยับยั้งการหายใจของผลไม้ได้เช่นกัน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยับยั้งปฏิกิริยา decarboxylation ในกระบวนการเมแทบอลิซึม แต่เท่าที่ได้มีการศึกษากันมาพบว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ succinic dehydrogenase ใน Krebs cycle ทำให้กระบวนการหายใจปกติดำเนินต่อไปไม่ได้ ความต้องการพลังงาน (ATP) ที่ยังคงมีอยู่จะไปกระตุ้น วิถี glycolysis ให้เกิดเร็วขึ้น ส่วน NAD^+ ที่ถูกใช้ไปใน glycolysis จะถูกนำกลับมาได้โดยการออกซิไดส์กรดไพรูวิกให้เป็นแอสिटัลดีไฮด์และเอทานอลในกระบวนการหมัก เช่นเดียวกับกรณีที่มีแก๊สออกซิเจนในปริมาณต่ำ (จริงแท้, 2541)

อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมจะมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการหายใจของผลไม้ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจมีกิจกรรมมากขึ้น (สายชล, 2528) โดยไปเร่งปฏิกิริยาทางเคมีให้เกิดเร็วขึ้น ทำให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ ภายในผลไม้จึงเกิดเร็วขึ้นด้วย ทำให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นลงในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิต่ำจะทำให้อัตราการหายใจลดลง และชะลอการเสื่อมสลายของผลไม้ได้อีกด้วย (คณัย, 2540; จริงแท้, 2541)

ส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำ (ภาพ 2.2) (Vines *et. al.*, 1986) การเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการหายใจและการผลิตเอทิลีน (Phan *et. al.*, 1975) จึงเกิดขึ้นน้อย

2.4.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ก. กรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ในผลไม้สะสมไว้ในแวคิวโอลของเซลล์ กรดที่พบมากคือ กรดซิตริก และกรดมาลิก กรดอินทรีย์มีความสำคัญในการใช้เป็นอินเทอมีเดียตในขั้นตอนต่างๆ ของ Krebs cycle และเป็นต้นกำเนิดของโมเลกุลอื่นๆ เช่น กรดแอมิโนหลายชนิด และมีบทบาทอย่างสำคัญต่อการเกิดกลิ่นและรสชาติของผลไม้ โดยทั่วไปในขณะที่ผลไม้ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่สูง ทำให้มีรสเปรี้ยว และภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดจะลดลง เป็นเพราะกรดถูกนำไปใช้ในกระบวนการ

หายใจ หรือกรดถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารสะสม หรือใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่างๆ ดังนั้นการเกิดรสชาติที่ดีของผลไม้ส่วนหนึ่งมาจากการลดลงของปริมาณกรด (สายชล, 2528; คณัย, 2540; จริงแท้, 2541; Ulrich, 1970) สำหรับผลส้มกรดซิตริกจะมีปริมาณลดลงเมื่อผลสุก ซึ่งปริมาณกรดซิตริกจะลดลงประมาณ 2 ใน 3 ของผลส้มอ่อน (ศราวุทธิ์ และพิชญา, 2545) แต่สำหรับผลมะนาว และผลเลมอน ปริมาณกรดซิตริกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในผลอ่อนที่กำลังเจริญเติบโต และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อผลสุก ซึ่งอาจมีกรดซิตริกสูงถึง 5-6 เปอร์เซ็นต์เมื่อผลแก่ (Ketsa, 1988) น้ำคั้นของผลมะนาวมีค่าพีเอชประมาณ 2 น้ำคั้นของผลส้มพันธุ์ Valencia และ Washington Navel มีค่าพีเอชประมาณ 2.9-3.9 ในขณะที่น้ำคั้นของผลไม้อื่นๆ มีค่าพีเอชประมาณ 5 (Ulrich, 1970) ปริมาณกรดอินทรีย์ของผลไม้ตระกูลส้มดังแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2

ข. น้ำตาล

ผลส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเกิดขึ้นน้อย ในผลส้มน้ำตาลอาจจะเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ แต่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลส้มอย่างเด่นชัด ในทางตรงข้ามปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้ด้วย refractometer อาจเพิ่มขึ้นในผลส้ม เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ซึ่งอาจจะมีสาเหตุจากการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น (จริงแท้, 2541) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำคั้นของผลส้มทั่วไปมีอยู่ประมาณ 8.5-10.5 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในผลมะนาว และเลมอน ซึ่งมีกรดซิตริกเป็นส่วนใหญ่ เมื่อผลส้มอยู่ในระยะแก่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Ketsa, 1988)

ทั้งปริมาณน้ำตาลและกรดในผลส้มเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดรสชาติของผลส้ม ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่มีรสชาติดี ปริมาณน้ำตาลและกรดต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลและกรดควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10-12 จึงจะถือได้ว่ารสชาติมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ (Baldwin, 1993) เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ปริมาณกรดจะลดลง ผลส้มเขียวหวานอายุ 39 สัปดาห์ มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดเท่ากับ 8.0 ผลส้มมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อยผู้ชิมไม่ชอบ แต่เมื่อผลส้มมีอายุมากขึ้นอัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลมีรสหวานขึ้นเปรี้ยวน้อยลง ผู้ชิมชอบมากขึ้น (มนตรี, 2527) เมื่อผลส้มเขียวหวานมีขนาดเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้จะลดลง โดยปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้จะลดลงเร็วกว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นผลส้มขนาดเล็กจะมีรสหวานกว่าผลส้มขนาดใหญ่ การที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเจือจางของปริมาณน้ำส้มมีมากขึ้น (Ting and Attaway, 1971) ปริมาณน้ำตาลของผลไม้ตระกูลส้มดังแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2

ตาราง 2.1 สารประกอบชนิดต่างๆ (compounds) ในเปลือกและน้ำคั้นของผลไม้ตระกูลส้ม

Class of compounds	Major chemical constituents	Range of concentrations (mg g ⁻¹ fresh wt. or ml juice)
Soluble sugars	fructose, glucose, sucrose	67.4-83.4 (orange peel)
		87.8-110.6 (orange juice)
Vitamin C	ascorbic acid	32.1-58.6 (lemon peel)
		11.2-25.7 (lemon juice)
Pectin	polygalacturonic acid	1.30-2.20 (orange peel)
		0.40-0.60 (orange juice)
Organic acids	malic acid, malonic acid (peel), citric acid (juice)	1.60-2.30 (lemon peel)
		0.50-0.80 (lemon juice)
Flavonoids, flavanone, glucosides	hesperidin (orange, mandarin, lemon) naringin (grapefruit, pummelo)	4.0-8.2 (orange peel)
		0.5-0.6 (orange juice)
Carotenoids	violaxanthine, luteo-xanthines (orange) phytofluene, β-carotene, cryptoxanthine (lemon)	2.7-6.2 (lemon peel)
		0.3-0.8 (lemon juice)
Anthocyanins	cyanidin-3 glucoside	3.1-4.9 (orange peel)
		1.4-2.2 (orange juice)
Essential oils	d-limonene	2.4-3.6 (lemon peel)
		5.8-6.2 (lemon juice)
Limonoid teriterpene derivatives	limonin	5.0-15.0 (orange peel)
		0.20-0.22 (orange juice)
		1.5-2.0 (lemon peel)
		0.2-0.4 (lemon juice)
		0.050-0.120 (orange peel)
		0.006-0.015 (orange juice)
		0.0014-0.0021 (lemon peel)
		0.0006-0.0011 (lemon juice)
		(blood orange)
		4.3-9.0 (orange peel)
		5.9-7.7 (lemon peel)
		0.0086-0.0192 (orange juice)

ที่มา : Spiegel-Roy and Goldschmidt (1996)

ตาราง 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของผลไม้ตระกูลส้ม

ผลไม้ ตระกูลส้ม	ปริมาณสารอาหารชนิดต่างๆ									Vitamins		
	Protein	Fat	Acids	Cellulose	Ca	P	K	Fe	Carotene ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	A	B ₁	C
	(g 100 g ⁻¹)				(mg 100 g ⁻¹)					IU)	(mg g ⁻¹)	
Grapefruit	0.6	0.1	9.4	0	9	12	180	0.1	19	11	0.04	38
Iyo tangor	0.9	0.1	10.9	0.2	17	18	190	0.2	12	0	0.06	35
Hassaku	0.8	0.1	10.9	0.3	13	17	180	0.1	6	0	0.06	40
Kabosu	0.4	0.1	7.6	0	7	8	140	0.1	0	0	0.02	42
Lemon	0.4	0.2	7.6	0	7	9	100	0.1	0	0	0.04	45
Lime	0.4	0.1	8.7	0.1	13	13	130	0.2	0	0	0.03	38
Natsudaidai	0.8	0.3	8.8	0.2	16	18	180	0.1	0	0	0.06	40
Navel	0.9	0.1	11.6	0.2	15	17	190	0.1	18	10	0.07	60
Pomelo	0.7	0.1	10.5	0.2	13	19	180	0.1	6	0	0.03	45
Ponkan	0.9	0.1	10.2	0.2	16	16	160	0.1	110	60	0.08	40
Satsuma Mandarin	0.8	0.1	10.9	0.3	22	17	150	0.1	120	65	0.1	35
Sudachi	0.5	0.1	6.1	0.1	16	11	140	0.2	0	0	0.03	40
Tangelo	1	0.1	11.3	0.4	24	18	200	0.2	90	50	0.01	39
Valencia	0.9	0.1	9	0.1	20	20	190	0.1	75	42	0.1	40
Yuzu	0.5	0.1	7.5	0.1	20	11	210	0.1	0	0	0.05	40

ที่มา : Kagawa (1983)

ค. วิตามิน

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซสมิสมบัติในการละลายน้ำได้จึงสามารถดูดซึมและกระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายได้ง่าย วิตามินซีในผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduced ascorbic acid ซึ่งอาจถูกออกซิไดส์ไปอยู่ในรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียร และถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid (DHA) ซึ่งอาจถูก oxidised ต่อไปเป็น 2, 3 deketogulonic acid ซึ่งไม่มีสมบัติของวิตามินซี วิตามินซีในผลไม้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ reduced ascorbic acid ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2541) วิตามินซีเป็นวิตามินที่มีมากที่สุดในผลส้ม ซึ่งจะลดลงเรื่อยๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยสภาพแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษามีอิทธิพลอย่างมากต่อการสลายตัวของวิตามินซี กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียวิตามินซีจะเพิ่มขึ้น (สรายุทธ์ และพิชญ, 2545) เพราะอุณหภูมิสูงมีผลในการเร่งกระบวนการออกซิไดส์วิตามินซีให้กลายเป็นสารอื่น และเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างรวดเร็ว (สายชล, 2528)

การสูญเสียวิตามินซีอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลไม้ และอาจเกิดจากการออกซิเดชันซึ่งไม่ใช่เอนไซม์ แต่จะมีโลหะหนัก เช่น ทองแดง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม กรดซิตริกและกรดมาลิกจะยับยั้งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ เพราะมีสมบัติเป็น chelate คือจับไอออนของโลหะเอาไว้ได้ นอกจากนี้การสูญเสียน้ำออกจากผลส้มทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีมากขึ้น ดังนั้นควรเก็บรักษาผลส้มไว้ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม นอกจากจะช่วยรักษาความสดไว้แล้ว ยังช่วยรักษาคูณค่าทางโภชนาการไว้ด้วย (สายชล, 2528; จริงแท้, 2541; Sinclair, 1984) ปริมาณวิตามินซีในน้ำคั้นของผลส้มกลุ่มออเรนจ์มีอยู่ประมาณ 40-70 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร น้ำส้มคั้น และในผลส้มแทนเจอร์มีอยู่ประมาณ 20-50 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร น้ำส้มคั้น (Sinclair, 1984) ปริมาณวิตามินซีของผลไม้ตระกูลส้มดังแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2

ง. กรดแอมิโน

กรดแอมิโนอิสระเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ในของแข็งที่ละลายน้ำ มีบทบาทต่อค่าพีเอชในเซลล์ร่วมกับกรดอินทรีย์ต่างๆ และเป็นองค์ประกอบของโปรตีนในผลส้ม ปริมาณกรดแอมิโนในน้ำคั้นเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านปริมาณและชนิดตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผลส้ม ผลส้มพันธุ์ Unshiu ในประเทศญี่ปุ่น และผลส้มสวีทออเรนจ์ แมนดาริน และเลมอนในประเทศอิตาลี มีปริมาณของกรดแอมิโนโพรลีน อยู่ในระดับสูงเมื่อผลเข้าสู่ระยะแก่ แต่ไม่พบในผลมะนาว (Ketsa, 1988) สำหรับโปรตีนไม่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพหรือรสชาติของผลไม้ แต่

การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนจะเป็นตัวชี้ถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตและการพัฒนาในระยะต่างๆ (สายชล, 2528)

2.5 สารเคลือบผิวผลไม้ตามธรรมชาติ

สารประเภทไขหรือแว็กซ์ (wax) ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวของผลไม้ตามธรรมชาติมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการสูญเสียน้ำจากพืช เนื้อเยื่ออพิเคอมีสซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นนอกสุดประกอบด้วยคิวตินและแว็กซ์อยู่แทรกปนกันเรียกว่า คิวติเคิล โดยมีแว็กซ์อยู่เป็นจำนวนมากทางด้านนอก ส่วนด้านในที่ติดกับผนังเซลล์มีคิวตินเป็นองค์ประกอบมากกว่าแว็กซ์ คิวตินทำหน้าที่ป้องกันพืชจากศัตรูต่างๆ เพราะมักมีสารประกอบฟีนอลแทรกอยู่ ส่วนแว็กซ์ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ การผ่านเข้า-ออกของน้ำและอากาศส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในบริเวณปากใบ และ lenticel นอกจากนี้ยังสามารถผ่านเข้า-ออกบริเวณคิวติเคิลได้ด้วย สำหรับผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวปากใบจะปิด การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นทางคิวติเคิล (จิ่งแท้, 2541) คิวติเคิลในพืชแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โดยมีลักษณะซ้อนกันเป็นชั้นๆ แบ่งได้ 3 ชั้น คือ ชั้นนอกสุด เรียกว่า epicuticular wax ประกอบด้วยแว็กซ์ที่มีรูปร่างและการเรียงตัวหลายรูปแบบ ชั้นกลางประกอบด้วยคิวตินและซูเบอร์ิน ส่วนชั้นในประกอบด้วยน้ำตาล โปรตีน และแว็กซ์ (Goodwin and Mercer, 1983) ทั้งแว็กซ์ คิวติน และซูเบอร์ินมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถป้องกันการซึมผ่านเข้า-ออกของน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและสูตรโครงสร้างของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ที่ทำให้สมบัติทางเคมีบางชนิดแตกต่างกัน เช่น คิวตินและซูเบอร์ินไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน และไม่ละลายในตัวทำละลายไขมัน แต่แว็กซ์หลอมเหลวและละลายได้ในตัวทำละลายไขมัน (Pandey, 1982) จึงสามารถแยกแว็กซ์ออกจากผิวของพืชและเตรียมเป็นสารเคลือบผิวผลไม้ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับ ชนิด พันธุ์ และอายุของพืช (Kays, 1991)

แว็กซ์ที่เคลือบผิวผลไม้ตามธรรมชาติแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แว็กซ์ชนิดแข็ง (hard wax) และแว็กซ์ชนิดอ่อน (soft wax) ถ้าชั้นของคิวติเคิลประกอบด้วยแว็กซ์ชนิดอ่อนมาก การสูญเสียน้ำจะน้อย (สายชล, 2528) สอดคล้องกับรายงานของ Albrigo (1972) ที่รายงานว่า การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มพันธุ์ Valencia จะเกิดขึ้นน้อย ถ้ามีแว็กซ์ชนิดอ่อนอยู่มาก สำหรับผลไม้ตระกูลส้มในระยะผลอ่อนแว็กซ์ที่สร้างส่วนใหญ่จะเป็นแว็กซ์ชนิดอ่อน เมื่อผลแก่ขึ้นจะสร้างแว็กซ์ชนิดแข็งขึ้นเป็นปริมาณมาก ทั้งแว็กซ์ชนิดแข็งและแว็กซ์ชนิดอ่อนมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกันคือ เอสเทอร์ที่มาจากแอลกอฮอล์และกรดไขมันที่มีลักษณะเป็นสารประกอบ

ไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว แต่มีสมบัติทางเคมีบางอย่างแตกต่างกันคือ แวกซ์ชนิดแข็งละลายได้ในกรดโอเลอิกในขณะที่แวกซ์ชนิดอ่อนไม่ละลาย (Ben-Yehoshua, 1987)

2.6 สารเคลือบผิวผลไม้สังเคราะห์

ในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ เช่น การล้างทำความสะอาดและการขนส่ง ทำให้แวกซ์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหลุดออกไป ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ทั้งในแง่ความทนทานและความสวยงามของผิวผลไม้ นอกจากนี้ยังทำให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ (สุรพงษ์, 2530) โดยจะส่งผลให้สูญเสียน้ำได้ง่าย รวมทั้งมีการแลกเปลี่ยนแก๊สมากขึ้นด้วย ดังนั้นในกระบวนการจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้บางชนิด จึงมีการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวที่ได้มาจากธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ เพื่อทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลไม้ โดยสามารถลดลงได้ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตมีลักษณะผิวสดใสนุ่มเหนียว และลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ซึ่งจะช่วยชะลออัตราการหายใจให้ช้าลง แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผลไม้ นอกจากนี้การเคลือบผิวยังมีประโยชน์ทางอ้อมคือ ทำให้เปลือกของผลไม้มีความมันวาวสวยงามดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ในกรณีที่ต้องใช้สารเคมีชนิดอื่นเพิ่มเติม สารเคลือบผิวเหล่านี้จะช่วยเป็นตัวพาสารเคมีให้ติดอยู่กับผิวของผลไม้ด้วย เช่น การผสมสารเคมีฆ่าเชื้อรากับสีข้อมผิวของผลไม้ หรือการผสมสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างๆ ร่วมกับสารเคลือบผิว (คณัยและนิธิยา, 2548)

สารเคลือบผิวที่ใช้กับผลไม้ในปัจจุบันนี้มีด้วยกันหลายชนิดและหลายสูตร แต่ละชนิดมีส่วนผสมแตกต่างกัน ซึ่งส่วนผสมเหล่านี้จะเป็นความลับทางการค้า ส่วนใหญ่มักเป็นสารเคลือบผิวที่ใช้แวกซ์หลายชนิดผสมกัน เพื่อดึงเอาสมบัติที่ดีของแวกซ์แต่ละชนิดมารวมกัน และทำให้เหมาะสมกับผลไม้ที่จะเคลือบผิวแต่ละชนิด และสัดส่วนของแวกซ์กับตัวทำละลายที่ใช้เตรียมยังคงเป็นความลับทางการค้า โดยทั่วไปสารเคลือบผิวจะมีส่วนผสมที่สำคัญ 3 ส่วน คือ แวกซ์ ตัวทำละลาย และสารลดแรงตึงผิว (surfactant) หรืออิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) นอกจากนี้อาจมีสารเคมีป้องกันโรคพืชผสมอยู่ด้วย อิมัลซิไฟเออร์สามารถช่วยให้แวกซ์เจือจางอยู่ในน้ำในรูปของสารแขวนลอยซึ่งเรียกว่า อิมัลชัน (emulsion) ได้ (Bennett, 1975a and b)

แวกซ์เป็นลิพิดชนิดหนึ่งที่เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง แวกซ์ที่พบในธรรมชาติเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์หลายๆ ชนิดผสมกัน นอกจากนี้ ยังมีพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลดีไฮด์ และแอลกอฮอล์ (Kolattukudy, 1976) สารเคลือบผิวที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถลดการสูญเสียน้ำของผลไม้ได้ดี (Gassner *et. al.*, 1969) เนื่องจากการที่โมเลกุลของน้ำ

ระเหยผ่านแผ่นฟิล์มของสารเคลือบผิวออกมาได้ต้องผ่านโมเลกุลของส่วนประกอบที่มีขั้ว (polar) ถ้าแว็กซ์มีสารประกอบเอสเทอร์และไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวอยู่มาก แผ่นฟิล์มของสารเคลือบผิวจะมีความเป็นขั้วน้อย ทำให้น้ำซึมผ่านได้น้อย จึงสามารถลดการสูญเสียน้ำของผลไม้ได้ดี (Bonting and Pont, 1981) นอกจากนี้ยังพบว่าสารเคลือบผิวที่มีโครงสร้างการเรียงตัวซ้อนกันอย่างมีระเบียบจะทำให้มีสมบัติในการต้านทานการผ่านของน้ำได้ดีกว่าสารเคลือบผิวที่หนากว่าแต่มีโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ (สายชล, 2528) และการเรียงซ้อนกันไม่สนิทในโครงสร้างอาจทำให้มีช่องทางที่น้ำระเหยผ่านออกมาได้ (Ben-Yehoshua, 1985)

ชนิดของแว็กซ์ที่ใช้เตรียมสารเคลือบผิว

สำหรับแว็กซ์ที่ใช้เตรียมสารเคลือบผิวมีหลายชนิดและได้มาจากแหล่งต่างๆ กัน ดังนี้ (Hampel and Hawley, 1973)

a. แวกซ์จากพืช (vegetable wax) สกัดจากผิวของพืชมีหลายชนิด แวกซ์ที่นิยมใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้ ได้แก่

แคนเดิลลลาวอกซ์ (candelilla wax) ได้มาจากพืชในทะเลทรายชื่อ *Euphorbia antisiphilitica* ซึ่งปลูกมากในเม็กซิโกตอนเหนือ แวกซ์มีลักษณะเป็นของแข็งมันวาว สีน้ำตาลอมเหลือง (yellowish-brown) และมีกลิ่นหอม มีจุดหลอมเหลวประมาณ 68-75 องศาเซลเซียส โครงสร้างของสารเกาะตัวกันไม่แน่นนัก จัดเป็นแว็กซ์ชนิดอ่อน (Kolattukudy, 1976) Wolfmeier *et. al.*, 1996 ได้รายงานสารประกอบต่างๆ ในแคนเดิลลลาวอกซ์ ดังนี้

- hydrocarbons (saturated straight-chain) 42 เปอร์เซ็นต์ (w/w)
- wax resin และ sitosteroyl esters 39 เปอร์เซ็นต์ (w/w)
- lactones 6 เปอร์เซ็นต์ (w/w)
- free wax และ resin acids 8 เปอร์เซ็นต์ (w/w)
- free wax และ resin alcohols (terpene alcohols) 5 เปอร์เซ็นต์ (w/w)
- saponifiable components 23-29 เปอร์เซ็นต์ (w/w)
- unsaponifiable components 71-77 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

สารเคลือบผิวที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถลดการสูญเสียน้ำของผลไม้ได้ดี (Gassner *et. al.*, 1969) ซึ่งแกนเดลิลาแว็กซ์ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว (C₂₉ ถึง C₃₃) มากถึง 40-60 เปอร์เซ็นต์ เอสเทอร์ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์โซ่ยาว (C₂₈ ถึง C₃₄) ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และสารประเภทเรซินประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ (SCOGS, 1981) ทำให้ในส่วนของประกอบของแว็กซ์มีส่วนที่ชอบไขมัน (lipophilic) อยู่มาก ซึ่งเมื่อนำไปเคลือบผิวสารเหล่านี้จะกลายเป็นชั้นไขมัน (lipid layer) บนผิวผลไม้ (Kolattukudy, 1976) แกนเดลิลาแว็กซ์จึงสามารถลดการสูญเสียน้ำได้ดี (Paredes-Lopez *et. al.*, 1974)

คาร์นูบาร์แว็กซ์ (carnauba wax) เป็นแว็กซ์ที่สกัดได้จากผิวของใบปาล์มบราซิล (Brazil palm: *Copernicia cerifera*) มีกลิ่นหอม มีจุดหลอมเหลวประมาณ 84-96 องศาเซลเซียส โครงสร้างของสารเกาะตัวกันอย่างแน่นหนา จัดเป็นแว็กซ์ชนิดแข็ง (Kolattukudy, 1976) เมื่อนำไปเคลือบผิวผลไม้พบว่ามีความสามารถในการให้ความมันวาวดี ไม่หลุดออกได้ง่าย แต่ลดการสูญเสียน้ำได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแกนเดลิลาแว็กซ์ เนื่องจากในส่วนของประกอบของแว็กซ์มีส่วนที่ชอบไขมันอยู่น้อย โดยมีไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงชนิดอิ่มตัวน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และสารประเภทเรซินน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (Wolfmeier *et. al.*, 1996) จึงนิยมนำส่วนผสมชนิดอื่นๆ มาเติมลงในแว็กซ์ เช่น การเติมเอซีทิลเทต โมโนกลีเซอไรด์ (acetylated monoglycerides) ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่แว็กซ์เมื่อนำไปเคลือบผิว นอกจากนี้ยังมีการเติมกรดไขมัน เซลแล็ก (shellac) และซูโครสพอลิเอสเทอร์ของกรดไขมัน (sucrose fatty acid esters) (นิธิยา, 2547)

b. แว็กซ์จากสัตว์ (animal wax) ชนิดที่นิยมใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้ ได้แก่ เซลแล็ก ซึ่งเป็นสารที่ขับออกมาจากตัวครั่ง (*Laccifer lacca*) หรือมูลครั่ง อีกชนิดหนึ่งคือ spermaceti ได้จากปลาวาฬ ส่วน wool wax ได้จากขนแกะ และ bee wax ได้จากผึ้ง

เซลแล็กจัดเป็นเรซินชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของสารผสม aliphatic alicyclic hydroxyl acid เช่น aleuritic acid และ shelloic acid มีจุดหลอมเหลวประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และสารละลายที่มีสมบัติเป็นด่าง มักพบเป็นส่วนประกอบของสารเคลือบผิวแทบทุกชนิด เนื่องจากมีสมบัติเป็นตัวกั้นการผ่านเข้า-ออกของแก๊สและไอน้ำได้ดี เมื่อนำไปผสมสารเคลือบผิวชนิดอื่นๆ จะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ข้อเสียของเซลแล็กคือ เมื่อถูกน้ำจะเปลี่ยนเป็นสีขาว และจำกัดการผ่านเข้า-ออกของแก๊สมากเกินไปจนทำให้แก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจ (Greener and Fennema, 1994; Bai *et. al.*, 2002) โดยเฉพาะเมื่อนำไปเคลือบผิวผลส้ม จะจำกัดการผ่านเข้า-ออกของแก๊สจนทำให้เกิดภาวะ

ขาดออกซิเจน ซึ่งจะมีการสังเคราะห์แอสีทิลไฮโดรและเอทานอลขึ้น ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (นิธิยา, 2547)

c. **แว็กซ์จากน้ำมันปิโตรเลียม (petroleum wax)** เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม มีหลายชนิดแตกต่างกัน ชนิดที่นำมาใช้เตรียมสารเคลือบผิว ได้แก่

พาราฟิน (paraffin) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวอ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่น เมื่อละลายอยู่ในตัวทำละลายจะมีลักษณะเหนียว

microcrystalline wax เป็นแว็กซ์จากน้ำมันปิโตรเลียมอีกชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็ก เหนียว และอ่อนนุ่ม มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มี tensile strength และจุดหลอมเหลวสูงกว่าพาราฟินมีความมันวาวน้อย ลื่นมือสามารถรวมตัวกับแว็กซ์จากพืชและ resin มีผลทำให้จุดหลอมเหลวและความแข็งสูงขึ้น

d. **แว็กซ์จากฟอสซิล (mineral wax)** เช่น montan wax แต่ไม่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของสารเคลือบผิวเนื่องจากมีสีเข้ม

e. **แว็กซ์จากการสังเคราะห์ (synthetic wax)** ได้แก่ polyethylene wax, polyoxyethylene glycols (carbowax), chlorinated naphthalene (halowax), polyoxyethylene sorbitol, polyethylene glycols, และ ethylene glycol monostearate เป็นต้น

พอลิเอทิลีนแว็กซ์สังเคราะห์ได้จากเอทิลีนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบและจากการแยกแก๊สธรรมชาติ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการรวมตัวกันของโมโนเมอร์เอทิลีน (ethylene หรือ ethane) ที่มีโมเลกุล C_2H_4 หรือ $CH_2=CH_2$ ต่อกันเป็นโซ่ยาวแบบแขนง (branching) (Kahovec and Hatada, 2002) มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 100-140 องศาเซลเซียส จึงเตรียมให้เป็นสารละลายไมโครอิมัลชันได้ยาก เมื่อนำไปเคลือบผิวผลสัมฤทธิ์จะให้ความมันวาวสูง มีโครงสร้างสารเกาะตัวกันอย่างแน่นหนา จัดเป็นแว็กซ์ชนิดแข็ง ทำให้ลดการสูญเสียน้ำได้น้อย และยึดเกาะกับผิวของเปลือกผลสัมฤทธิ์ไม่ดี จึงมักเกิดรอยแตกร้าวของสารเคลือบผิวขึ้นภายหลัง (Hagenmaier, 1998a)

2.7 สารเคลือบผิวไมโครอิมัลชัน

อิมัลชัน หมายถึง การกระจายตัวของของเหลว 2 ชนิด หรือมากกว่าที่ไม่ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากมีแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวทั้งสองชนิด หากเป็นอิมัลชันปกติหรือแมกโครอิมัลชันจะเป็นสารละลายสีขาวขุ่น และเมื่อตั้งทิ้งไว้ของเหลวจะแยกออกจากกันเป็น 2 ชั้น สำหรับไมโครอิมัลชันจะมีลักษณะตรงข้ามกับแมกโครอิมัลชันคือ จะไม่ปรากฏลักษณะเป็นสีขาวขุ่น สารละลายที่ได้จะมีลักษณะโปร่งแสง (translucent) หรือโปร่งใส (transparent) มีความคงตัวดีและไม่แยกชั้น อนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าแมกโครอิมัลชัน ประมาณ 2000

อังสตรอม (0.2 ไมโครเมตร, μm) ถึง 100 อังสตรอม (0.01 ไมโครเมตร) ดังนั้นการที่จะเรียกว่า แมคโครอิมัลชันหรือไมโครอิมัลชันจึงขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค เพราะเกิดจากกระบวนการ อิมัลซิฟิเคชันเช่นเดียวกัน (Prince, 1977)

ไมโครอิมัลชันเตรียมขึ้นครั้งแรกโดย George Radaward ในปี ค.ศ. 1928 เป็นการกระจายตัวของคาร์บูบาร์แวคซ์ในน้ำ และเนื่องจากขนาดอนุภาคของไมโครอิมัลชันจะเล็กมาก จึงจัดไมโครอิมัลชันเป็นนาโนเทคโนโลยีอย่างหนึ่ง ในระบบของไมโครอิมัลชันของเหลวชนิดหนึ่ง จะต้องเป็นน้ำเสมอ แต่แมคโครอิมัลชันน้ำจะเป็นของเหลวชนิดหนึ่งและอาจไม่มีน้ำก็ได้ สำหรับไมโครอิมัลชันที่ผลิตในทางการค้าจะประกอบด้วย น้ำมันหรือแวคซ์ น้ำ และสารลดแรงตึงผิวหรืออิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งนิยมใช้กรดไขมัน นอกจากนี้ยังมีสารร่วมลดแรงตึงผิว (co-surfactant) ซึ่งมักเป็นแอลกอฮอล์ และเรียกแอลกอฮอล์ว่าเป็น amphiphile ซึ่งสามารถทำให้เกิดเป็นอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากๆ ได้ สารละลายที่ได้จะกระจายตัวเป็นของเหลวโปร่งใสที่แสงผ่านได้ และถ้าปั่นในเครื่องเหวี่ยงนาน 5 นาที ที่ 100xg จะไม่เกิดการแยกชั้น ในปัจจุบันกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและยาส่วนใหญ่จะเตรียมให้อยู่ในรูปของไมโครอิมัลชัน (Hagenmaier and Baker, 1994a; Hagenmaier, 1998a)

การทำสารเคลือบผิวให้อยู่ในรูปสารละลายไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นการกระจายตัวของแวคซ์ในน้ำ เมื่อสารเคลือบผิวแห้งโครงสร้างของสารเคลือบผิวจะมีรูเล็กๆ เกิดขึ้น เนื่องจากอนุภาคหยดน้ำในอิมัลชันระเหยหายไป จึงเป็นช่องทางให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้บ้าง ในการเตรียมสารเคลือบผิวแวคซ์ไมโครอิมัลชันประกอบด้วย แวคซ์ กรดไขมัน แอมโมเนีย (amoniaia) หรือมอร์โฟลีน (morpholine) และน้ำ สำหรับแวคซ์ที่นิยมนำมาทำสารเคลือบผิวผลส้ม ได้แก่ พอลิเอทิลีนแวคซ์ คาร์บูบาร์แวคซ์ และแคนเดลิลาแวคซ์ (Hagenmaier and Baker, 1994a; Hagenmaier, 1998a)

แวคซ์เป็นลิพิดชนิดหนึ่ง ที่เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถถูกไฮโดรไลสได้ในสารละลายต่าง ดังนั้นเมื่อแวคซ์ผสมกับแอมโมเนียหรือมอร์โฟลีน ซึ่งมีสมบัติเป็นด่างจะทำปฏิกิริยาซาโปนิฟิเคชัน (saponification) ได้สารที่มีโมเลกุลเหมือนสบู่ (soap) คือ มีปลายข้างหนึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอีกปลายเป็นหมู่คาร์บอกซิล ทำให้สามารถรวมตัวกับน้ำได้ โดยมีกรดไขมันเป็นสารลดแรงตึงผิวหรืออิมัลซิไฟเออร์ (Hagenmaier, 2004) ที่ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างผิวของน้ำกับของเหลวอินทรีย์ที่ไม่รวมกับน้ำ (นิธิยา, 2549) นอกจากนี้ ความร้อนและความเร็วที่ใช้ในระหว่างผสมจะเป็นเทคนิคสำคัญที่ทำให้ได้สารเคลือบผิวที่มีลักษณะเป็นไมโครอิมัลชัน (Hagenmaier, 1998a) กรดไขมันที่นิยมใช้ในการเตรียมสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชัน ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid: $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และกรดไมริสติก (myristic acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$)

กรดลอริก (lauric acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) กรดปาล์มติก (palmitic acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$) และกรดสเตียริก (stearic acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$) (Hagenmaier and Baker, 1994a) หากกรดไขมันที่ใช้มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ยาวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียให้กับสารเคลือบผิวได้ดีกว่าโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นโซ่สั้น และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียได้ดีกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Javis *et al.*, 1962)

2.8 ผลของการใช้สารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงของผลสัมหลังการเก็บเกี่ยว

2.8.1 ผลของสารเคลือบผิวต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลส้ม

ในกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การล้างทำความสะอาด การขนส่ง อาจจะทำให้สารเคลือบผิวตามธรรมชาติของผลไม้บางส่วนหายไป ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกทางกิวติเคิลมากขึ้น (คณัย, 2540) ผลส้มพันธุ์ Valencia สูญเสียน้ำหนักมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลส้มเหี่ยวและเสียรูปทรง นอกจากนี้ยังทำให้เปลือกผลส้มบาง แข็ง ปอกยาก และวางจำหน่ายไม่ได้ทั้งๆ ที่คุณภาพภายในผลส้มยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (Grierson and Wardowski, 1978; Wardowski *et al.*, 1986) ผลส้มเขียวหวานที่เก็บรักษาไว้ที่สภาพอุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) สูญเสียน้ำหนัก 8-10 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 1 สัปดาห์ และปรากฏการเหี่ยวให้เห็นชัดเจน (Sonsrivichai *et al.*, 1992) ดังนั้นจึงมีการใช้สารเคลือบผิวที่ได้จากธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์เคลือบผิวผลส้มทดแทน เพื่อปิดรอยเปิดตามธรรมชาติรวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว และลดการสูญเสียน้ำของผลส้ม แต่จะลดได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารเคลือบผิวชนิดนั้นๆ ค้วย (คณัยและนิธิยา, 2548; Kolattukudy, 2003)

ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของแคนเดลิลาแว็กซ์ หรือพอลิเอทิลีนแว็กซ์ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของแคนเดลิลาแว็กซ์สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนแว็กซ์ โดยผลส้มสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 25 และ 47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวสูญเสียน้ำหนัก 100 เปอร์เซ็นต์ (Hagenmaier and Baker, 1994a) และผลส้มพันธุ์ Valencia ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนผสมกับแคนเดลิลาแว็กซ์ และสารเคลือบผิวทางการค้า HIGLOSS ที่มีเซลแล็กเป็นส่วนผสมหลัก เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.25 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ ต่อวันตามลำดับ (Hagenmaier, 2000)

การที่มีแก๊สผสมอยู่ในสารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักผลส้ม โดยสามารถอธิบายได้จากสมบัติของแก๊สดังนี้ พอลิเอทิลีนแก๊สเป็นแก๊สที่มีจุดหลอมเหลวสูง ประมาณ 100-140 องศาเซลเซียส จึงเตรียมให้เป็นสารละลายไมโครอิมัลชันได้ยาก เมื่อนำไปเคลือบผิวผลส้มจะให้ความมันวาวสูง แต่การมีโครงสร้างสารเกาะตัวกันอย่างแน่นหนา ที่เรียกว่า แก๊สชนิดแข็ง ทำให้ลดการสูญเสียน้ำได้น้อย และยึดเกาะกับผิวของเปลือกผลส้มได้ดี จึงมักเกิดรอยแตกร้าวของสารเคลือบผิวขึ้นภายหลัง (Hagenmaier, 1998a) แคนเดิลลาแก๊สเป็นแก๊สที่มีจุดหลอมเหลวประมาณ 68-75 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว ประมาณ 40-60 เพอร์เซ็นต์ เอสเทอร์ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์โซ่ยาวประมาณ 40 เพอร์เซ็นต์ และเรซินประมาณ 1 เพอร์เซ็นต์ (SCOGS, 1981; Wolfmeier *et al.*, 1996) ทำให้ในส่วนประกอบของแก๊สมีส่วนที่ชอบไขมันอยู่มาก เมื่อนำไปเคลือบผิวสารเหล่านี้จะกลายเป็นชั้นไขมันบนผิวผลส้ม แคนเดิลลาแก๊สจึงสามารถลดการสูญเสียน้ำของผลส้มได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนแก๊ส นอกจากนี้การมีโครงสร้างของสารเกาะตัวกันไม่แน่นนัก ซึ่งจัดเป็นแก๊ส ชนิดอ่อน (Kolattukudy, 2003) ทำให้แคนเดิลลาแก๊สสามารถลดการสูญเสียน้ำและยึดเกาะกับผิวของเปลือกผลส้มได้ดี แม้จะให้ความมันวาวได้ไม่ดีเท่ากับพอลิเอทิลีนแก๊ส (Paredes-Lopez *et al.*, 1974) การนำแคนเดิลลาแก๊สมาผสมกับพอลิเอทิลีนแก๊สสามารถช่วยลดอุณหภูมิระหว่างผสมให้เป็นอิมัลชันลงได้ ทำให้เตรียมสารละลายไมโครอิมัลชันง่ายขึ้น ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและเพิ่มการยึดเกาะระหว่างสารเคลือบผิวกับเปลือกผลส้มได้ดียิ่งขึ้น โดยไม่ทำให้ความมันวาวลดลง (Hagenmaier, 1998a) คาร์นูบาร์แก๊สมีสมบัติในการให้ความมันวาวดีไม่หลุดออกได้ง่าย มีโครงสร้างสารเกาะตัวกันอย่างแน่นหนา จัดเป็นแก๊สชนิดแข็ง จึงลดการสูญเสียน้ำได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแคนเดิลลาแก๊ส เนื่องจากในส่วนประกอบของคาร์นูบาร์แก๊สมีส่วนที่ชอบน้ำอยู่น้อย โดยมีไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงชนิดอิ่มตัวน้อยกว่า 1 เพอร์เซ็นต์ และเรซินน้อยกว่า 5 เพอร์เซ็นต์ (Wolfmeier *et al.*, 1996)

เซลลูล์กและเรซินมีสมบัติในการลดการสูญเสียน้ำของผลส้มได้ดี การผสมเซลลูล์กหรือเรซินลงในสารเคลือบผิวสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแก๊ส สูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 32 เพอร์เซ็นต์ แต่เมื่อผสมเซลลูล์กลงในสารเคลือบผิว ผลส้มสูญเสียน้ำหนักลดลงเหลือ 29 เพอร์เซ็นต์ เมื่อกำหนดให้ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 100 เพอร์เซ็นต์ (Hagenmaier and Baker, 1995) และผลเกรฟฟรุตพันธุ์ Marsh ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวเซลลูล์กผสมกับเรซิน และสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแก๊ส แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน สารเคลือบผิวเซลลูล์กผสมกับเรซินช่วยลดการ

สูญเสียน้ำหนักของผลเกรฟฟรุตได้ดีกว่าสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์ โดยผลเกรฟฟรุตสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.30 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์/วัน/100 มิลลิกรัม ตามลำดับ (Hagenmaier and Baker, 1994b)

2.8.2 ผลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สภายในผลส้ม

ผลส้มภายหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตอยู่ ยังมีการหายใจใช้แก๊สออกซิเจนและคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ตลอดเวลา (นิธิยา, 2547) การใช้สารเคลือบผิวกับผลส้มสามารถทดแทนคิวติเคิลที่เค็มมืออยู่ ช่วยปิดช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติ และรอยแผลจากการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลส้มมีการสูญเสีย น้ำ อัตรการหายใจ และการแลกเปลี่ยนแก๊สน้อยลง (จริงแท้, 2541) การเคลือบผิวมีผลโดยตรงต่อการลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างภายในผลส้มกับสิ่งแวดล้อม ทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจและมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมมากขึ้น ถ้าภายในผลมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มากเกินไป และมีแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจ จะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือการหมัก ซึ่งจะมีการสังเคราะห์แอซีทัลดีไฮด์และเอทานอลขึ้นภายในผลส้ม สารเหล่านี้จะทำให้ผลส้มเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ การหมักที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากจะสังเกตจากกลิ่นของแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นแล้ว ยังสังเกตได้จากอัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มลดต่ำลงมาก (จริงแท้, 2541; Cohen, *et. al.*, 1990; Hagenmaier, 2000)

การที่ผลส้มมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสามารถยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลินได้ (दनัย, 2540; จริงแท้, 2541) การเคลือบผิวส้ม Valencia สารเคลือบผิวจะไปปกคลุมเลนติเซลและรอยแตกตามธรรมชาติที่ผิว ทำให้การผ่านเข้า-ออกของแก๊สถูกจำกัด โดยสารเคลือบผิวสามารถจำกัดการผ่านเข้า-ออกของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 140 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สออกซิเจนได้ 250 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลินได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และทำให้การสูญเสีย น้ำลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ (Ben-Yehoshua *et. al.*, 1985) การที่สารเคลือบผิวสามารถจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สทำให้ภายในผลมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง และสามารถยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลินได้นั้น เนื่องจากออกซิเจนจำเป็นต้องใช้ในปฏิกิริยาการเปลี่ยน ACC ให้เป็นเอทิลิน ปริมาณของแก๊สออกซิเจนที่ต่ำจะทำให้การสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลินลดลงหรือหยุดชะงัก ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อาจเพิ่มหรือลดการสังเคราะห์เอทิลินก็ได้ขึ้นอยู่กับ ชนิดพืช อุณหภูมิ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และระยะเวลาที่ผลไม่อยู่

ในสภาพที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง อย่างไรก็ตาม แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะขัดขวางการทำงานของเอทิลีน โดยแย่งเอทิลีนในการจับกับตัวรับ (receptor) (दनัย, 2540; จริงแท้, 2541)

การที่สารเคลือบผิวแต่ละชนิดจะมีสมบัติในการป้องกันการสูญเสียน้ำและความชื้นการผ่านเข้า-ออกของแก๊สได้ไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของสารเคลือบผิวและความเข้มข้นให้เหมาะสมกับผลไม้ด้วย การใช้สารเคลือบผิวความเข้มข้นที่ต่ำเกินไปหรือบางเกินไปจะลดการสูญเสียน้ำได้น้อย หากใช้ความเข้มข้นที่สูงเกินไปหรือหนาไป นอกจากจะสิ้นเปลืองแล้ว ยังทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนผ่านเข้า-ออกได้น้อยลง จนเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (จริงแท้, 2541; Arthey, 1975) ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมด้วยเทคนิคไมโครอิมัลชัน ทำให้ภายในผลส้มมีปริมาณแก๊สออกซิเจนสูงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ (Hagenmaier 2000; 2005) เนื่องจากสารเคลือบผิวที่อยู่ในรูปสารละลายไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นการกระจายตัวของแก๊สในน้ำ เมื่อนำมาเคลือบผิวผลส้ม โครงสร้างของสารเคลือบผิวจะมีรูเล็กๆ เกิดขึ้น เนื่องจากอนุภาคหยดน้ำในอิมัลชันระเหยหายไปเมื่อผิวแห้ง จึงเป็นช่องทางให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้ (Prince, 1977; Hagenmaier and Baker, 1994a; Hagenmaier, 1998a) เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวผลส้มด้วยเซลลูล์กหรือเรซินที่ลักษณะฟิล์มของสารเคลือบผิวจะปกคลุมทั่วบริเวณเปลือกผลส้มทำให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้น้อยมาก (Hagenmaier and Baker, 1995) ตัวอย่างเช่น ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์มีปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลใกล้เคียงกับผลที่ไม่ได้เคลือบผิว แต่ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวเซลลูล์กหรือเรซิน มีปริมาณแก๊สออกซิเจนลดลงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น (Hagenmaier and Goodner, 2002)

นอกจากลักษณะการปกคลุมบนเปลือกผลส้มแล้วชนิดของแก๊สรวมถึงส่วนผสมอื่นๆ ที่อยู่ในสารเคลือบผิวก็มีผลต่อปริมาณแก๊สภายในผลส้มเช่นกัน (Hagenmaier, 2000; 2005) การยอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้ของสารเคลือบผิวสามารถวัดได้ด้วยค่า permeability (permeability value) ซึ่งค่านี้ชี้บ่งอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างภายในผลส้มกับสิ่งแวดล้อม (Hagenmaier and Baker, 1993) สารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์เมื่อนำมาเคลือบผิวผลส้มจะมีสมบัติในการยอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้ดี เนื่องจากมีค่า permeability สูง ทำให้ภายในผลส้มมีปริมาณแก๊สออกซิเจนสูงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของแคนเดลิลาแวกซ์ที่ยอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้น้อยกว่า และมีค่า permeability ต่ำกว่าพอลิเอทิลีนแวกซ์ ทำให้ภายในผลส้มมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง ตัวอย่างเช่น ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนหรือแคนเดลิลาแวกซ์ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 7 วัน มีค่า CO_2 permeability เท่ากับ 0.24 และ $0.12 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลเท่ากับ 9.0 และ 6.1 KPa และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 6.6 และ 8.5 KPa ตามลำดับ (Hagenmaier, 2005)

การผสมแคนเดลิลาแวกซ์ลงในสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์ ทำให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันที่มีพอลิเอทิลีนแวกซ์ในส่วนผสมเพียงอย่างเดียว แต่ปริมาณแก๊สภายในผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทั้ง 2 ชนิด แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และสามารถรักษาคุณภาพด้านรสชาติของผลส้มได้ใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่น ผลส้มแมนดารินที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์หรือพอลิเอทิลีนผสมกับแคนเดลิลาแวกซ์ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน มีค่า O_2 permeability เท่ากับ 100 และ $54 \times 10^{-16} \text{ mol m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลเท่ากับ 7.0 และ 10.4 KPa และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 5.7 และ 6.0 KPa ตามลำดับ (Hagenmaier, 2002)

การเคลือบผิวผลส้มด้วยเซลลูล์กหรือเรซิน และสารเคลือบผิวที่มีเซลลูล์กหรือเรซินเป็นส่วนผสม ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวที่ยอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้น้อย จึงมักก่อให้เกิดภาวะขาดแก๊สออกซิเจนและสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้ม ทำให้ผลส้มเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (Hagenmaier and Baker, 1995) ตัวอย่างเช่น ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์ และสารเคลือบผิวทางการค้า 590HS (เซลลูล์กและเรซิน) มีค่า CO_2 permeability เท่ากับ 0.24 และ $0.11 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลเท่ากับ 9.0 และ 0.2 KPa และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 6.6 และ 22.0 KPa ตามลำดับ (Hagenmaier, 2005) และผลส้มพันธุ์ Valencia ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนผสมกับแคนเดลิลาแวกซ์ และสารเคลือบผิวทางการค้า HIGLOSS (เซลลูล์กและเรซิน) แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9-16 วัน มีค่า O_2 permeability เท่ากับ 1.7×10^{-5} และ $0.07 \times 10^{-5} \text{ mol m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลเท่ากับ 8-11 และ 0.7-0.9 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 5-7 และ 17-22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Hagenmaier, 2000)

2.8.3 ผลของสารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านรสชาติผลส้ม

ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยบอกถึงคุณภาพด้านรสชาติและมีความสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สภายในผลส้ม (Hagenmaier, 2000) การสังเคราะห์เอทานอลเกิดขึ้นเมื่อแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอต่อกระบวนการหายใจ ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือ

การหมัก ซึ่งจะมีการสังเคราะห์แอซีทิลดีไฮด์และเอทานอลขึ้นภายในผลส้ม เมื่อสะสมเป็นปริมาณมากขึ้น ทำให้ผลส้มเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (จริงแท้, 2541; Cohen, *et. al.*, 1990; Hagenmaier, 2000) นอกจากนี้การที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงมากจะไปยับยั้งการหายใจของผลส้มได้เช่นกัน เนื่องจากการมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ succinic dehydrogenase ใน Krebs cycle ทำให้กระบวนการหายใจปกติดำเนินต่อไปไม่ได้ จึงเข้าสู่กระบวนการหมัก (เช่นเดียวกับกรณีที่มีแก๊สออกซิเจนในปริมาณต่ำ) (จริงแท้, 2541)

ปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้นในน้ำส้มคั้นที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลส้มแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน เช่น ผลส้มพันธุ์ Murcott เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติเมื่อมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นมากกว่า 1,900 ppm (Cohen *et. al.*, 1990) ในผลส้มพันธุ์ Valencia มากกว่า 1,500-2,000 ppm (Admad and Khan, 1987; Kader, 1985) ในผลส้มแมนดาริน ผลส้มพันธุ์ Valencia และผลเกรฟฟรุ้ตพันธุ์ Marsh เท่ากับ 1,500 ppm (Hagenmaier 2002) การที่สารเคลือบผิวแต่ละชนิดยอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้ไม่เท่ากัน นอกจากจะมีผลต่อปริมาณแก๊สภายในผลส้มยังมีผลต่อรสชาติของผลส้มเช่นกัน (Hagenmaier, 2000; Hagenmaier, 2005) เมื่อนำผลส้มพันธุ์ Murcott มาเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีค่า O_2 permeability สูงจะมีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นต่ำ ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์มีค่า O_2 permeability เท่ากับ 19,600 (ml mil/m²day atm) และมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเท่ากับ 770 ppm ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Sta-Fresh-4201 มีค่า O_2 permeability เท่ากับ 52,000 (ml mil/m²day atm) และมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเท่ากับ 870 ppm ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Canauba-Gold และ Britex-559 มีค่า O_2 permeability เท่ากับ 6,100 และ 4,500 (ml mil/m²day atm) และมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเท่ากับ 1,160 และ 1,200 ppm ตามลำดับ ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Pac-Rite425 และ Sta-Fresh410 มีค่า O_2 permeability เท่ากับ 600 และ 700 (ml mil/m²dayatm) และมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเท่ากับ 2,010 และ 1,650 ppm ตามลำดับ (Hagenmaier 2001)

การผสมแคนเดลิลาแวกซ์ลงในสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์ทำให้ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันที่มีพอลิเอทิลีนแวกซ์ในส่วนผสมเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น ผลส้มแมนดารินที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์ หรือพอลิเอทิลีนผสมกับแคนเดลิลาแวกซ์ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน มีปริมาณแก๊ส

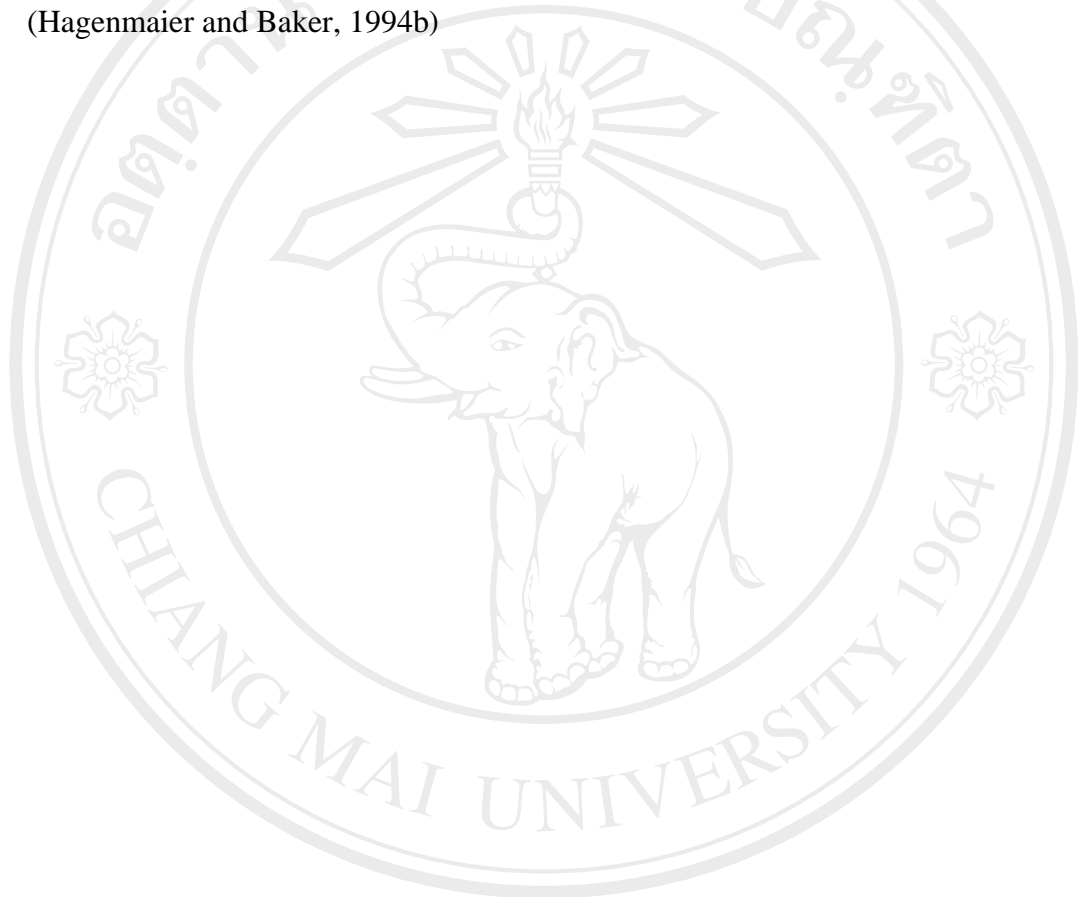
ออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลใกล้เคียงกัน จึงมีผลต่อการสังเคราะห์เอทานอลในน้ำส้มคั้นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเท่ากับ 434 และ 769 ppm และได้คะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติไม่แตกต่างกัน คือ 9.2 และ 8.9 คะแนนตามลำดับ จึงสามารถรักษาคุณภาพของผลส้มได้ดีเท่ากัน (Hagenmaier, 2002)

การเคลือบผิวผลส้มด้วยเซลลูล์กหรือเรซิน และสารเคลือบผิวที่มีเซลลูล์กหรือเรซินเป็นส่วนผสม ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวที่ขอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้น้อย จึงมักก่อให้เกิดภาวะขาดแก๊สออกซิเจนภายในผลส้ม ส่งผลให้ผลส้มเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (Hagenmaier and Baker, 1995) ตัวอย่างเช่น ผลส้มแมนดารินที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่ใช้ในทางการค้า 590HS (เซลลูล์กและเรซิน) มีปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นสูงมากและคะแนนด้านรสชาติต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์ หรือพอลิเอทิลีนผสมกับแคนเดลิลาแวกซ์ (Hagenmaier, 2002)

2.8.4 ผลของสารเคลือบผิวต่อความมั่นใจความปลอดภัยของผลส้ม

การใช้สารเคลือบผิวที่ได้จากธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์เคลือบผิวผลส้ม เพื่อปิดรอยเปิดตามธรรมชาติรวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ ช่วยลดการสูญเสียของผลส้ม ทำให้ผลผลิตมีลักษณะผิวสดใสนุ่มเหนียว และลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส นอกจากนี้การเคลือบผิวยังมีประโยชน์ต่อผลส้มทางอ้อมคือ ทำให้เปลือกมีความมั่นใจว่าผลส้มมีความสวยงามช่วยดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค (คณัยและนิธิยา, 2548; Kolattukudy, 1976) ความมั่นใจเป็นสิ่งหนึ่งที่ช่วยบ่งบอกคุณภาพของสารเคลือบผิวและลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งจะเกิดขึ้นในสารเคลือบผิวทุกชนิดและทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษา แต่มีระยะเวลาที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารเคลือบผิว (Hagenmaier, 2000) การสูญเสียน้ำนอกจากจะทำให้น้ำหนักที่จะขายได้หายไปแล้วยังทำให้รูปร่างลักษณะของผลส้มเปลี่ยนไปในทางที่เลวลงคือผลส้มเริ่มแสดงอาการเหี่ยว (จริงแท้, 2541) และการเหี่ยวของผลส้มยังทำให้ความมั่นใจของสารเคลือบผิวบนเปลือกลดลง ดังนั้น สารเคลือบผิวที่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ดี จะสามารถรักษาความมั่นใจบนเปลือกของผลส้มไว้ได้นานเช่นกัน (Hagenmaier, 2000) เปลือกของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีเซลลูล์กหรือเรซินเป็นส่วนผสมจะมีความมั่นใจมากในช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่ความมั่นใจนั้นจะลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น (Hagenmaier and Baker, 1994a) สารเคลือบผิวเซลลูล์กหรือเรซินสามารถให้ความมั่นใจแก่เปลือกของผลส้มได้มากกว่าสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์ แต่สารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันของพอลิเอทิลีนแวกซ์สามารถรักษาความมั่นใจได้นานกว่า ตัวอย่างเช่น การเคลือบผิวผลส้มพันธุ์

Valencia แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เมื่อนำมาวัดความมันวาวเปลือกของผลส้มด้วยเครื่อง gloss meter มีหน่วยเป็น Gloss Unit: (G.U.) พบว่าเปลือกของผลส้มที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชันพอลิเอทิลีนแวกซ์มีความมันวาวลดลง 0.9-1.1 G.U. เปลือกของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวเซลลูลอสกับเรซินมีความมันวาวลดลง 1.8-2.0 G.U. และเปลือกของผลที่ไม่ได้เคลือบผิวมีความมันวาวลดลง 1.8-2.1 G.U. (Hagenmaier and Baker, 1994b)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved