บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง (*Citrus reticulate* Blanco cv. Sai Nam Peung) เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Rutaceae ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มส้มเขียวหวาน มีชื่อสามัญว่า แมนดาริน (mandarin) หรือแทนเจอรีน (tangerine) เป็นผลไม้ในกลุ่มของไม้ผลกึ่งร้อน (subtropical fruit) ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคกันทั่วไปทั้งในรูปของผลสดและน้ำส้มคั้น ซึ่งเป็นแหล่งคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ วิตามินซีและแคโรทีน (จุฑามาศ, 2547) ส้มเขียวหวานเป็นพันธุ์ส้มที่มีการปลูกมากที่สุดในประเทศ มีพื้นที่การผลิตนับล้านไร่ในทั่วทุกภาคของประเทศ และมีแนวโน้มของการเพิ่มพื้นที่การผลิตออกไปอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่จะผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ แต่มีผลส้มบางส่วนสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศปีละหลายสิบล้านบาท (สถาบันเทคโนโลยีพืชสวน, 2550)

2.1 การจัดแบ่งกลุ่มพืชตระกูลส้ม

พืชตระกูลส้มสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ โดยอ้างอิงตาม Hodson System ได้ดังนี้ (พายัพ, 2542; Kimball, 1999)

2.1.1 กลุ่มออเรนจ์ (oranges) หมายถึงกลุ่มส้มเกลี้ยง เป็นส้มกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียทางแถบทิเบตไปจนถึงจีน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

1. ส้มสวีทออเรนจ์ (Sweet oranges : *Citrus sinensis*) นิยมใช้รับประทานสดและแปรรูปเป็นน้ำส้ม แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

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

- ส้มนาเวล (navel oranges) ลักษณะของผลส้มกลุ่มนี้ปลายผลจะมีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายสะดือ (navel) ที่ตรงแอ่งอาจมีผลเล็กๆ เกิดซ้อนกันอยู่อีก เรียกว่า secondary fruit นอกจากนี้ยังไม่มีเมล็ด รสชาติดี เปลือกไม่ติดเนื้อ ทำให้ปอกง่าย พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ ทอมสัน (Thomson) และวอชิงตันนาเวล (Washington Navel)

- ส้มชนิดที่เนื้อผลมีกรดน้อย ผลส้มกลุ่มนี้มีปริมาณกรดในผลน้อยมากประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เช่น พันธุ์ลิมา (Lima) และไพราลิมา (Piralima)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ส้มชนิดที่มีเนื้อผลสีแดง (pigmented or blood oranges) ผลส้มกลุ่มนี้มี anthocyanin ที่เปลือกและในน้ำคั้น พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ โมโร (Moro) ทารอคโค (Tarocco) และแซง-กวิเนลลิ(Sanguinelli)

2. ส้มรสเปรี้ยวหรือรสขม (sour or bitter oranges; *Citrus aurantium*) มีถิ่นกำเนิดทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จีน และพม่า แพร่กระจายไปทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น และแถบเมดิเตอเรเนียนถึงทวีปยุโรป เป็นผลส้มที่นิยมใช้ทำต้นตอ ทนต่อโรคทรีสเตซ่าไวรัส (Tristeza virus) มีรสขม พันธุ์ซีวิลลาโน เป็นพันธุ์ที่ใช้แปรรูปทำแยมผิวส้ม

2.1.2 กลุ่มแมนดาริน (Mandarins; *Citrus reticulate* Blanco) เป็นกลุ่มส้มเปลือกล่อน ส้มกลุ่มนี้คาดว่ามีถิ่นกำหนดทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียทางแคว้นอัสสัม มีการปลูกกันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศของโลก ผลส้มกลุ่มนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเขตร้อน มีลักษณะผลใกล้เคียงกับกลุ่มออเรนจ์ อาจเรียกว่า แทนเจอรีน ชื่อแมนดารินและแทนเจอ-รีนนั้นอาจใช้แทนกันได้ แต่มีผู้พยายามแยกทั้งสองชื่อออกจากกันโดยใช้ความแตกต่างของสีเปลือก เช่น พวกที่มีเปลือกสีส้มหรือสีแดงเรียกว่า แทนเจอรีน ส่วนพวกที่มีเปลือกสีเหลือง เรียกว่า แมน-ดาริน ส้มในกลุ่มแมนดารินแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

1. ซัซซูมา (Satsuma; Citrus unshiu Marcovith) มีถิ่นกำหนดในประเทศญี่ปุ่น ลักษณะของผลส้มซัซซูมาคือ มีผลขนาดค่อนข้างเล็ก มีรูปร่างแบน ที่ขั้วอาจมีจุกหรือบางครั้งไม่มีผลไม่มีเมล็ด ผิวผลเรียบ แต่มีต่อมน้ำมันใหญ่นูนเด่นชัด มีจำนวนกลีบ 10-12 กลีบ และสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย แกนผลกลวง และถุงน้ำส้มมีลักษณะสั้น พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ โอวาริ (Owari) ซิลเวอร์ฮิล (Silver hill) และคารา (Kara)

2. แมนดาริน (common mandarins; *Citrus deliciosa* Blanco) ลักษณะผลมีขนาดกลางถึงใหญ่ เปลือกบางและล่อนง่าย พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ส้มเขียวหวานและส้มจีน ส่วนพันธุ์ที่นิยมปลูกในต่างประเทศ ได้แก่ คลีเมนไทม์ (Clementine) และพองแกน (Ponkan)

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

4. เมดิเตอร์เรเนียนแมนดาริน (Mediterranean mandarin; *Citrus deliciosa* Tenore) ส้มกลุ่มนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ลักษณะที่เด่นชัดคือ ใบยาวเรียวเล็กและมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กลิ่นหอมจากน้ำมันและจากเปลือกผลส้ม น้ำส้มมีรสหวานอ่อนๆ และเมล็ดค่อนข้างกลม ส่วนของน้ำมันที่สกัดได้จากเปลือกผลและใบส้มใช้ในการผลิตน้ำหอมและเครื่องสุขภัณฑ์

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

2.1.3 กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุ๊ต (Pomelo and Grapefruit) ทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางพฤกศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลำต้นและทรงพุ่ม แตกต่างกันตรงที่ส้มโอมีลำต้นใหญ่และแข็งแรงกว่า แต่เกรฟฟรุ๊ตมีทรงพุ่มเล็กกว่า

1. ส้มโอ (*Citrus grandis* L. Osbeck) เป็นส้มที่มีขนาดผลที่ใหญ่ที่สุดในบรรดาพืชตระกูลส้มทั้งหมดที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน ส้มโอแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

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

- ชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ มีลักษณะคล้ายกับส้มโอธรรมดา ยกเว้นลักษณะสีของเนื้อที่เกิดจากเม็ดแคโรทีนอยด์ ไลโคพีน ซึ่งทำให้เนื้อผลมีสีตั้งแต่ชมพูอ่อนถึงสีแดงเข้ม พันธุ์ส้มโอที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ขาวพวง และขาวแป้น เป็นต้น

2. เกรฟฟรุ๊ต (*Citrus paradisi* Macfadyen) มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินเดียตะวันตก ลักษณะผลคล้ายกับส้มโอมากแต่มีขนาดเล็กกว่า แหล่งปลูกอยู่ที่รัฐฟลอริดา อิสราเอล จาไมก้า คิวบา และอาเจนตินา เกรฟฟรุ๊ตแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว ได้แก่ พันธุ์มาร์ช (Marsh) และชนิดที่เนื้อผลสีแดง ได้แก่ พันธุ์สตาร์รูบี้ (Star Ruby) และริโอเรด (Rio Red)

2.1.4 กลุ่มมะนาว (Common acid member) แบ่งย่อยออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. เลมอน (lemon) (*Citrus limmon* L.Burn f.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกของประเทศอินเดีย ประเทศไทยเรียกว่า มะนาวฝรั่ง ลักษณะผลมีสีเขียวอมเหลือง ผลยาวเรียว ลักษณะที่เด่นชัดเจนคือ ส่วนปลายผลนูนสูงขึ้น เรียกว่า นิบเปิ้ล ได้แก่ พันธุ์ยูรีกา (Eureka) และดอร์ชาโป (Dorshapo)

2. ไลม์ (lime) (*Citrus aurantifolia* Swing) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่มีรสเปรี้ยว ได้แก่ พันธุ์เวสอินเดียนไลม์ หรือเม็กซิกันไลม์ และชนิดที่มีรสหวาน มีลักษณะเหมือนมะนาวทั่วๆ ไป แต่เนื้อมีรสหวาน มีกรดน้อย พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์อินเดีย หรือปาเลสไตน์

3. ซิตรอน (citron) (*Citrus medica* L.) ผลมีเปลือกหนา ถุงน้ำมีจำนวนน้อยมีรสเปรี้ยวจัด และเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูป เช่น เปลือกแช่อิ่ม และทำขนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

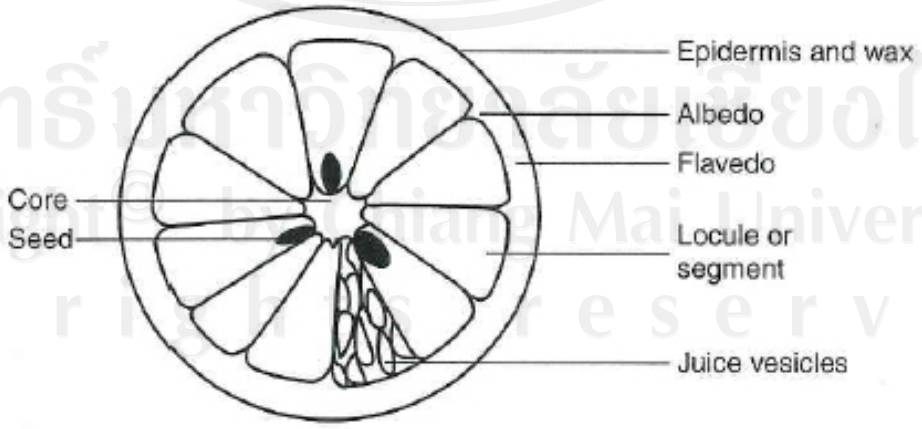
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลส้ม

ผลส้มจัดเป็นผลแบบ berry ชนิด hesperidium ซึ่งเจริญขึ้นมาจากส่วนของรังไข่โดยตรง มีจำนวนประมาณ 10 กลีบl (carpe) อาจมากกว่าหรือน้อยกว่ากันเล็กน้อย เชื่อมติดกันเป็นวงกลม ล้อมอยู่รอบแกนกลาง (central axis) การพัฒนาของผนังรังไข่ (ovary wall) ภายหลังการติดผล จนกระทั่งโตเต็มที่ ส่วนของผนังรังไข่จะเปลี่ยนไปเป็น เพอริคาร์บ (pericarp) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ชั้น (Ting and Attaway, 1971) คือ (ภาพ 2.1)

1. เอกโซคาร์บ (exocarp) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกของผลส้มเรียกว่า ฟลาวิโด (flavedo) ชั้นนอกสุดเป็นชั้นของอีพิเดอมิส (epidermis) ที่มีคิวติเคิล (cuticle) และมีต่อมน้ำมัน (oil gland) ในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ชั้นนี้จะมีคลอโรพลาสต์ แต่เมื่อผลสุกคลอโรพลาสต์จะเปลี่ยนไปเป็น โครโมพลาสต์ และมีการสร้างเม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ทำให้ผลมีสีตามลักษณะประจำพันธุ์

2. มีโซคาร์บ (mesocarp) เป็นผนังชั้นกลางที่อยู่ถัดจากชั้นเอกโซคาร์บ เรียกว่า แอลบิโด (albedo) เป็นเซลล์พวก spongy parenchyma มีสีขาว ชั้นนี้อาจบางมาก เช่น ผลส้มเขียวหวาน และเพิ่มความหนามากขึ้น เช่น ผลส้มเกลี้ยง จนหนามาก เช่น ผลส้มโอและซิตรอน ชั้นนี้อาจติดกับชั้นของฟลาวิโด หรือติดกับส่วนเนื้อใน

3. เอนโซคาร์บ (endocarp) จัดเป็นชั้นในสุดของเพอริคาร์บ คือ carpel membrane ของกลีบผลนั้นเอง เซลล์ผนังด้านในของชั้นนี้เมื่อมีการพัฒนาของผล ส่วนนี้จะมีการแบ่งเซลล์และขยายตัวออกกลายเป็นถุงน้ำส้ม (juice sac) ทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำ น้ำตาล และสารต่างๆ สำหรับชั้นของผนัง ที่กั้นระหว่างกลีบ(septum) เกิดจากผนังของกลีบ 2 กลีบที่อยู่ติดกัน



ภาพ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของผลส้ม

ที่มา : Ladaniya (2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 พันธุ์ส้มที่ปลูกในประเทศไทย

การปลูกส้มเขียวหวานในประเทศไทยมีการปลูกทั้งสภาพไร่ โดยปลูกในจังหวัดเพชรบูรณ์ เชียงใหม่ แพร่ น่าน เชียงราย เป็นต้น และปลูกในสภาพสวนโดยการยกร่องส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง เช่น จังหวัดปทุมธานี สระบุรี นครนายก เป็นต้น พันธุ์ส้มเขียวหวานที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย ได้แก่

1. ส้มแหลมทอง หรือแสงทอง เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกกันดั้งเดิมในเขตจังหวัดราชบุรี ลักษณะลำต้นใหญ่ ทรงพุ่มใหญ่ ติดผลค่อนข้างยาก ให้ผลผลิตปานกลาง ขนาดผลปานกลาง แต่มีรสชาติดี มีรสหวานจัด แม้ผลส้มยังไม่ถึงอายุการเก็บเกี่ยวก็ไม่มีรสเปรี้ยว ปัจจุบันปลูกกันน้อย เพราะผลดกสู้ส้มเขียวหวานธรรมดาไม่ได้ (จุฑามาศ, 2547; เปรมปรี, 2544)

2. ส้มบางมด เป็นพันธุ์ส้มเขียวหวานที่ปลูกกันมาในเขตบางมด บางขุนเทียน ชนิดพันธุ์ผิวเรียบเปลือกบาง เรียกว่าส้มบางล่าง แหล่งปลูกเดิมคือบางมด ชนิดที่เปลือกค่อนข้างหนา ผลใหญ่ มีจุกนูนเล็กน้อย เรียกว่าส้มบางบน มีรสหวานปานกลาง ไม่หวานมาก เดิมปลูกกันมากบริเวณบางขุนนนท์ บางกรวย บางกอกน้อย ปัจจุบันปลูกกันมากแถวรังสิต นครปฐม และดำเนินสะดวก

สามารถกล่าวได้ว่าพันธุ์ส้มเขียวหวานที่นิยมปลูกทั่วไปในเมืองไทยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์บางมด ให้ผลขนาดปานกลางจนถึงขนาดโตทรงผลค่อนข้างกลมแป้นเล็กน้อย ก้นผลราบหรือเว้าเล็กน้อย ผิวเปลือกมีต่อมน้ำมันถี่เต็มผิว ลักษณะของเปลือกบาง ล่อน ปอกง่าย ผิวเรียบ มีสีเขียวอมเหลือง หรือเหลืองเข้มเมื่อปลูกภาคเหนือ เนื้อผลสีส้ม ชานนิ่ม ผนังกลีบบาง รกน้อย ตัวกุ้งมีขนาดสั้น ฉ่ำน้ำ รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย (จุฑามาศ, 2547; เปรมปรี, 2544)

3. ส้มฟรีมองต์ (Fremont) เป็นพันธุ์ลูกผสมของส้มคลีเมนไทน์และพันธุ์พองแกน เกิดในรัฐฟอลริดา แต่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์ในรัฐแคลิฟอร์เนีย มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยเมื่อประมาณ 20 ปี มาแล้ว โดยปลูกกันมากในเขตภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ แพร่ ตราด และน่าน ขนาดผลใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน เปลือกค่อนข้างหนาและเหนียว ปอกยาก ผิวเปลือกขรุขระและเป็นสีส้มเข้มกว่า เนื้อค่อนข้างแน่น รสชาติหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอม (จุฑามาศ, 2547; เปรมปรี, 2544)

4. ส้มโชกุน เป็นพันธุ์ที่ปลูกจากเมล็ดทางภาคใต้ของประเทศไทย อาจจะรู้จักกันในนามของส้มสายน้ำผึ้ง หรือส้มเพชรยะลา ลักษณะผลใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่มีสะดือเป็นเอกลักษณ์พิเศษ เนื้อแน่น ชานนิ่ม ให้น้ำส้มปริมาณมาก รสชาติหวานแหลมอมเปรี้ยวเล็กน้อย ผลเมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มยกเว้นส้มที่ปลูกในเขตภาคใต้จะมีสีผิวออกเขียวมาก เปลือกล่อน และมีกลิ่นหอมคล้ายส้มจีนหรือส้มพองแกน (จุฑามาศ, 2547; เปรมปรี, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ตระกูลส้ม

2.4.1 การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลส้มระหว่างการเก็บรักษา (สายชล, 2528) เพราะการสูญเสียน้ำหนัก ทำให้ผลส้มเหี่ยว และมีรูปร่างเปลี่ยนไป (ดนัย, 2534 ; จริงแท้, 2541) โดยทั่วไปถ้าผลส้มสูญเสียน้ำเพียง 5-10% จะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง รสชาติไม่ดี (Peleg, 1985) เปลือกผลแห้งและแข็ง ทำให้ปอกเปลือกยาก (Wardowski *et. al*., 1986) สารประเภทไขที่เคลือบผิวของผลไม้หรือคิวติเคิล (cuticle) ตามธรรมชาติมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการสูญเสียน้ำของผลไม้ โดยผิวของผลไม้มีบางส่วนเปิดให้น้ำและอากาศผ่าน-เข้าออกได้ คือ ปากใบ และเลนติเซล อย่างไรก็ตาม น้ำยังสามารถซึมผ่านเข้า-ออก ทางคิวติเคิลได้เช่นกัน ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยวปากใบของผลไม้จะปิด การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นที่คิวติเคิล (จริงแท้, 2541)

ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำของผลส้มหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่

1. ขนาดผล ผลไม้ที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวที่ระเหยน้ำออกไปได้มากกว่าผลไม้ที่มีขนาดเล็ก แต่เมื่อเปรียบเทียบต่อน้ำหนักที่เท่ากันแล้ว ผลไม้ขนาดเล็กจะสูญเสียน้ำมากกว่า และเหี่ยวได้เร็วกว่าผลไม้ขนาดใหญ่ (จริงแท้, 2541) เช่นเดียวกับการสูญเสียน้ำของส้มกลุ่มแทนเจอรีน ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นกับผลส้มที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลส้มที่มีขนาดใหญ่ (Ketsa, 1990)

2. ความหนาของเปลือก ผลส้มที่มีเปลือกหนาจะสูญเสียน้ำมากกว่าผลส้มที่มีเปลือกบาง เนื่องจากผลส้มที่มีเปลือกหนาจะมีจำนวนปากใบมาก ในขณะเดียวกันผลส้มที่มีเปลือกบางจะมีชั้นของฟลาวิโด ที่หนากว่าทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่า (จริงแท้, 2541)

3. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ผลส้มมีการสูญเสียน้ำตลอดเวลาขึ้นอยู่กับบรรยากาศภายนอกว่ามีความชื้นสัมพัทธ์มากน้อยเพียงไร ในกรณีที่บรรยากาศรอบๆ มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้ผลส้มมีการสูญเสียน้ำน้อยลง

4. อุณหภูมิ มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการสูญเสียน้ำ การสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายนอกเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลน้ำมากขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากสถานะของเหลวไปอยู่ในสถานะแก๊สจึงมีมากขึ้น ความดันไอน้ำภายในผลสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่ความดันไอน้ำรอบๆ ไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างผลส้มกับภายนอกจึงเพิ่มสูงขึ้น โอกาสที่ไอน้ำจะออกจากผลสู่ภายนอกจึงมีมากขึ้น การเก็บรักษาผลส้มควรควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำและสม่ำเสมอ เพราะหาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิไม่คงที่ผลส้มจะสูญเสียน้ำมาก และทำให้สภาพในที่เก็บรักษาชื้นแฉะซึ่งมีผลต่อการเน่าเสียของผลส้ม (จริงแท้, 2541) โดยการเก็บรักษาผลส้มเขียวหวานในสภาพที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บรักษาผลส้มได้มากกว่า 1 เดือน (Tongdee, 1988)

5. การเกิดบาดแผล สามารถกระตุ้นการสูญเสียน้ำของผลส้มให้มากขึ้นได้ ถ้ารอยบาดแผลลึกมากจนทำลายชั้นของผิวที่ทำหน้าที่ป้องกัน ทำให้เนื้อเยื่อสัมผัสกับอากาศโดยตรง จะทำให้ผลส้มมีการสูญเสียน้ำมากขึ้น

2.4.2 การหายใจ

การหายใจเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ ขณะที่ผลไม้มีการเจริญเติบโตภายในเซลล์ของผลไม้ต้องใช้พลังงานสูง ส่งผลทำให้มีอัตราการหายใจสูง เมื่ออัตราการเจริญเติบโตช้าลงอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลง และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อผลไม้เริ่มสุก การหายใจของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เพื่อผลิตพลังงานโดยใช้สารอาหารคือ คาร์โบไฮเดรต เปลี่ยนให้ไปอยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ adenosine triphosphate (ATP) เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นอายุการเก็บรักษารวมทั้งคุณภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว จึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ (จริงแท้, 2541) การหายใจมี 2 แบบ ได้แก่

1. การหายใจแบบที่ใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต ซึ่งสารอาหารถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานสำหรับใช้ในการดำรงชีวิต กระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สารอาหารถูกออกซิไดซ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สออกซิเจนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาได้เป็นน้ำและพลังงานออกมา ดังสมการ

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

เนื่องจากพืชสะสมคาร์โบไฮเดรตไว้ในรูปของสตาร์ช ซึ่งจะถูกสลายให้เป็นน้ำตาลกลูโคสโดยอาศัยเอนไซม์อะไมเลส (amylase) และมอลเทส (maltase) พืชบางชนิดยังสะสมคาร์โบไฮเดรตไว้ในรูปของน้ำตาลซูโครส ซึ่งเซลล์ของพืชสามารถเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ผ่านวิถีและวงจรเมแทบอลิซึมต่างๆ (ดนัย, 2540) ได้แก่

Glycolysis เป็นการเปลี่ยนโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสให้เป็นกรดไพรูวิก ซึ่งเกิดขึ้นในไซโทพลาสซึมของเซลล์ โดยที่น้ำตาลกลูโคสจะถูกออกซิไดซ์เป็นสารต่างๆ จนในที่สุดเกิดเป็นกรดไพรูวิก วิถี glycolysis เป็นขั้นตอนของการหายใจที่ยังไม่ใช้แก๊สออกซิเจน ผลที่ได้รับจากวิถี

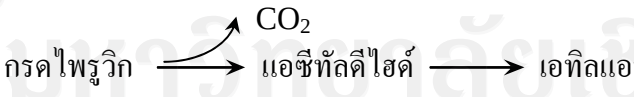
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

glycolysis คือ พลังงานในรูปของ ATP และ Nicotinamide adenine diucletide (NADH) ซึ่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียจะได้เป็น ATP

Krebs cycle หรือ Tricarboxylic acid cycle (TCA cycle) ปฏิกิริยาใน Krebs cycle เกิดขึ้นในไมโทครอนเดรียของเซลล์เช่นเดียวกัน เป็นการเปลี่ยนกรดไพรูวิกให้เป็น acetyl CoA เพื่อรวมตัวกับกรดออกซาโลแอซีติกที่อยู่ใน Krebs cycle ได้เป็นกรดซิตริก จากนั้นกรดซิตริกจะถูกออกซิไดซ์และเอาหมู่คาร์บอกซิลออกไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และกลับมาเป็นกรดออกซาโลแอซีติกอีกครั้ง เพื่อพร้อมรับ acetyl CoA โมเลกุลใหม่ต่อไป แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปลดปล่อยออกมา และมี NADH และ $FADH_2$ (Flavin adinine dinucleotide) เกิดขึ้น ซึ่งจะเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

ระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron Transport System, ETS) NADH และ $FADH_2$ ที่เกิดขึ้นใน glycolysis และ Krebs cycle จะถูกส่งต่อเข้าไปใน ETS ในเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรีย ก่อให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าของโปรตอนขึ้น ความต่างศักย์นี้จะถูกใช้ในการสร้าง ATP ขึ้นมา และ ATP สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ได้ทันที และเป็นขั้นตอนการหายใจที่ต้องใช้แก๊สออกซิเจน โดยแก๊สออกซิเจนจะถูกใช้ในไปในการรับอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนได้เป็นน้ำออกมาในขั้นตอนสุดท้าย

2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้แก๊สออกซิเจนหรือใช้เพียงเล็กน้อย โดยกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ที่ได้จาก glycolysis จะไม่ผ่านเข้าสู่ Krebs cycle แต่ถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอซีทัลดีไฮด์ และเอทิลแอลกอฮอล์ในพืช เรียกว่ากระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งเป็นการหายใจแบบที่เกิดขึ้นในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ในระหว่างการเก็บรักษา ดังสมการ



ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่อบรรยากาศขาดออกซิเจน ซึ่งจะทำให้การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก NADH และ $FADH_2$ เข้าสู่ ETS เกิดขึ้นไม่ได้ เพราะการหายใจของสิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนในขั้นสุดท้ายเพื่อรับเอาอิเล็กตรอน ในขณะเดียวกันการสร้าง ATP อาจไม่เกิดขึ้น การหายใจทั้งกระบวนการถูกยับยั้งเพราะ NAD^+ ถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูป NADH ทั้งหมด ดังนั้นผลไม้ที่อยู่ภายใต้สภาพบรรยากาศที่ขาดออกซิเจน จึงจำเป็นต้องหาทางออกทางอื่นเพื่อให้ได้พลังงานออกมาใช้ ในขณะเดียวกันจะต้องหมุนเวียนให้ NADH กลับมาเป็น NAD^+ ทั้งนี้ทำได้โดยการใช้กระบวนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หมักเปลี่ยนกรดไพรูวิกเป็นแอซีทัลดีไฮด์และเอทานอล ในปฏิกิริยานี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาพร้อมกับ NAD^+ แอซีทัลดีไฮด์และเอทานอลที่เกิดขึ้นจะสะสมเป็นปริมาณมากขึ้นและเป็นพิษต่อผลไม้ได้ รวมทั้งจะทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผู้บริโภคไม่พึงประสงค์ด้วย

ส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ที่มีอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนต่ำ (สุจิตรา, 2547; Vines *et. al*., 1963) ดังนั้นการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการหายใจ และการผลิตเอทิลีนจึงเกิดขึ้นน้อย (Phan *et. al*., 1975)

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการหายใจของผลิตผล

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผลิตผลมีอยู่ 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ส่วนประกอบของบรรยากาศ และความเครียดทางกายภาพ (จริงแท้, 2541; สุจิตรา, 2547) ปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญต่อการเก็บรักษาผลิตผลเป็นอย่างมาก เพราะเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมให้เหมาะสมกับผลิตผล

1. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะกระตุ้นให้อัตราเร็วของเมแทบอลิซึมของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวสูงขึ้นด้วย ส่งผลทำให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น อายุการเก็บรักษาสั้นลง การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของปฏิกิริยาเนื่องจากอุณหภูมินี้เรียกว่า Q_{10} ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราของปฏิกิริยาหนึ่งที่อุณหภูมิหนึ่ง หารด้วยอัตราเร็วของปฏิกิริยานั้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอยู่ 10 องศาเซลเซียส [อัตราที่ (T_1 +10) /อัตราที่ T_1] โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจจะเร็วขึ้นประมาณ 2-2.5 เท่า ในช่วงของอุณหภูมิ 5-25 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิสูงกว่านั้นเช่นที่ 30-35 องศาเซลเซียส แม้ว่าอัตราการหายใจจะเพิ่มสูงขึ้น แต่จะเพิ่มไม่สูงมากนักจึงมีค่า Q_{10} ต่ำลง

2. ส่วนประกอบของบรรยากาศ การเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดอายุการวางจำหน่ายของผลิตผลได้ สภาพของบรรยากาศมีส่วนช่วยกำหนดอายุการวางจำหน่ายของผลิตผล เพราะส่วนประกอบของบรรยากาศ เช่น ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่ออัตราการหายใจ เนื่องจากผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ ยังมีการหายใจใช้แก๊สออกซิเจน และคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ตลอดเวลา หากแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจจะทำให้เกิดการขาดออกซิเจน และมีการสังเคราะห์แอซีทัลดีไฮด์และเอทานอล ทำให้ผลิตผลมีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ

3. ความเสียหายทางกายภาพ เนื้อเยื่อพืชเมื่อการเกิดบาดแผล หรือถูกกระทบกระเทือนจะมีผลกระทบต่ออัตราการหายใจ และการเสื่อมสภาพของผลิตผล ดังนั้นการปฏิบัติหลังการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บเกี่ยวจึงจำเป็นต้องปฏิบัติด้วยความระมัดระวัง เพื่อลดความเสียหายและรักษาคุณภาพที่ดีของผลิตผลให้นานที่สุด

2.4.3 กรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ในผลไม้สะสมไว้ในแวคิวโอลของเซลล์ กรดที่พบมากคือ กรดซิตริก และกรดมาลิก กรดอินทรีย์มีความสำคัญในการใช้เป็นอินเทอมิเดียตในขั้นตอนต่างๆ ของ Krebs cycle และเป็นต้นกำเนิดของโมเลกุลอื่นๆ เช่น กรดแอมิโนหลายชนิด และมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดกลิ่นและรสชาติของผลไม้ โดยทั่วไปในขณะที่ผลไม้ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่สูง ทำให้มีรสเปรี้ยว และภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดจะลดลง เป็นเพราะกรดถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ หรือกรดถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารสะสม หรือใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่างๆ ดังนั้นการเกิดรสชาติที่ดีของผลไม้ส่วนหนึ่งมาจากการลดลงของปริมาณกรด (Ulrich, 1970; ไพศาล, 2550) สำหรับผลส้มกรดซิตริกจะมีปริมาณลดลงเมื่อผลแก่ ซึ่งปริมาณกรดซิตริกจะลดลงประมาณ 2 ใน 3 ของผลอ่อน (ศรายุทธ์ และพิชญา, 2545) ปริมาณกรดอินทรีย์ของผลไม้ตระกูลส้มแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2

2.4.4 น้ำตาล

ผลส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเกิดขึ้นน้อย ในผลส้มน้ำตาลอาจจะเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ แต่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลส้มอย่างเด่นชัด ในทางตรงข้ามเปอร์เซ็นต์ของของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดด้วย refractometer อาจเพิ่มขึ้นในผลส้ม เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ซึ่งอาจจะมีสาเหตุจากการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น (จริงแท้, 2541) เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ปริมาณกรดลดลง ผลส้มเขียวหวานอายุ 39 สัปดาห์ มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดเท่ากับ 8.0 ผลส้มมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อยผู้ทดสอบไม่ชอบ แต่เมื่อผลส้มมีอายุมากขึ้นอัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลมีรสหวานขึ้น เปรี้ยวน้อยลง ผู้ทดสอบชอบมากขึ้น (มนตรี, 2547) เมื่อผลส้มเขียวหวานมีขนาดเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้จะลดลง โดยปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้จะลดลงเร็วกว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นผลส้มขนาดเล็กจะมีรสหวานกว่าผลส้มขนาดใหญ่ การที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเจือจางของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลส้มมีมากขึ้น (Ting and Attaway, 1971)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 กรดอินทรีย์ในน้ำคั้นและเปลือกของผลไม้ตระกูลส้ม

	Juice (g/100 ml)		Peel (meq/g dry wt)			
Variety	Malic	Citric	Malic	Citric	Oxalic	Malonic
Orange						
Washington navel I	0.06	0.56	0.02	0.01	0.11	0.02
Washington navel II	0.20	0.93	0.02	0.01	0.10	0.03
Valencia	0.16	0.98	0.02	Trace	0.13	0.03
Tangerine						
Dancy I	0.18	1.22	0.06	0.02	0.15	0.01
Dancy II	0.21	0.86	0.09	0.02	0.20	0.02
Grapefruit						
Marsh (Calif.)	0.06	1.79	0.03	0.01	0.06	0.02
Arizona	0.04	2.10	0.10	0.03	0.12	0.02
Texas (pink)	0.06	1.19	0.08	0.01	0.08	0.02
Lemon						
Eureka I	0.17	4.0	0.04	0.04	0.15	0.03
Eureka II	0.26	4.38	0.02	0.03	0.12	0.04
Lime						
Palestine sweet[a]	0.20	0.08	0.04	Trace	0.05	0.05

[a]The pH of this varity was 5.7, considerably higher than orther varieties.

ที่มา : Kale and Adsule (1995)

ตาราง 2.2 คุณค่าทางโภชนาการใน 100 กรัมของผลไม้ตระกูลส้ม

	Sweet Orange	Grapefruit	Tangerine	Lemon	Lime
Water (%)	87	91	85	89	88
Calories (%)	46	32	53	29	30
Protein (%)	0.7	0.6	0.8	1.1	0.7
Fat (%)	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2
Carbohydrates (%)	11.5	8.1	13.3	9.3	10.5
Crude Fiber (%)	2.4	1.1	1.8	2.8	2.8
	% of U.S. RDA (2,000-calorie diet)				
Vitamin A	4	18	14	<1	1
Thiamin, B1	7	2	4	3	2
Riboflavin, B2	2	1	2	1	1
Niacin	2	1	2	<1	1
Vitamin C	75	57	44	88	48
Calcium	4	1	4	3	3
Phosphorus	2	1	3	2	3
Iron	<1	<1	<1	3	3
Sodium	0	0	<1	<1	<1
Potassium	5	4	5	4	3

ที่มา : Rieger (2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.5 วิตามิน

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซสมีสมบัติในการละลายน้ำได้จึงสามารถดูดซึม และกระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายได้ง่าย พบมากที่ต่อมอะดรีนาลและต่อมพิทูอิทารี วิตามินซีพบมากในผักและผลไม้สด (นิธิยา, 2551) วิตามินซีในผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduced ascorbic acid ซึ่งอาจถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียร และถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid (DHA) ซึ่งอาจถูก oxidized ต่อไปเป็น 2,3 deketogulonic acid ซึ่งไม่มีสมบัติของวิตามินซี วิตามินซีในผลไม้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ reduced ascorbic acid ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2541) การสูญเสียวิตามินซีอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลไม้ และอาจเกิดจากการออกซิเดชัน ซึ่งไม่ใช้เอนไซม์ แต่มีโลหะหนัก เช่น ทองแดง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม กรดซิตริก และกรดมาลิกจะยับยั้งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ เพราะมีสมบัติเป็น chelate คือจับไอออนของโลหะเอาไว้ได้ นอกจากนี้การสูญเสียน้ำออกจากผลส้มทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีมากขึ้น ดังนั้นควรเก็บรักษาผลส้มไว้ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม นอกจะช่วยรักษาความสดไว้แล้วยังช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ด้วย (สายชล, 2528; จริงแท้, 2541) ปริมาณวิตามินซีในน้ำคั้นของผลส้มกลุ่มออเรนจ์มีอยู่ประมาณ 40-70 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร น้ำส้มคั้น และในผลส้มแทนเจอรีน มีอยู่ประมาณ 20-50 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร น้ำส้มคั้น (Sinclair, 1984)

2.4.6 กรดแอมิโน

กรดแอมิโนอิสระเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ในของแข็งที่ละลายน้ำ มีบทบาทต่อค่าพีเอชภายในเซลล์ร่วมกับกรดอินทรีย์ต่างๆ และเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนในผลส้ม ปริมารกรดแอมิโนในน้ำคั้นเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านปริมาณและชนิดตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผลส้ม ผลส้มพันธุ์ Unshiu ในประเทศญี่ปุ่น และผลส้มสววีทออเรนจ์ แมนดาริน และเลมอนในประเทศอิตาลี มีปริมาณของกรดแอมิโนโพรลีน อยู่ในระดับสูงเมื่อผลเข้าสู่ระยะแก่ แต่ไม่พบในผลมะนาว (Ketsa, 1988)

2.5 สารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวเป็นสารเคมีที่ได้มีการพัฒนาและใช้ประโยชน์มาช้านานแล้ว โดยนำมาใช้เคลือบผิวของผลไม้ เช่น ส้ม แอปเปิ้ล พริกหวาน มะเขือ และมะเขือเทศ เพื่อชะลอการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผล สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลลงได้ 30-50 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(กรกัญญาและอทิพัฒน์, 2551; จริงแท้, 2549; ดนัยและนิธิยา, 2548) ดังนั้นจึงใช้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลไม้เป็นตัวชี้วัดสมบัติที่ดีของสารเคลือบผิว และยังมีผลต่อการแลกเปลี่ยนการเข้า-ออกของแก๊สด้วย (นิธิยา, 2547)

ผักและผลไม้หลายชนิดมีสารประกอบประเภทลิพิดเคลือบอยู่ที่ผิวตามธรรมชาติ ในระหว่างกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด ทำให้สารเคลือบผิวบางส่วนอาจหายไป ส่งผลให้ผลิตผลสูญเสียน้ำ มีการแลกเปลี่ยนแก๊สได้มากขึ้น มีผลทำให้อายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นจึงมีการเคลือบผิวผลไม้บางชนิดด้วยสารเคลือบผิวที่ได้มาจากธรรมชาติหรือสารเคลือบผิวที่ได้จากการสังเคราะห์ เพื่อทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติของผลไม้ ช่วยลดการสูญเสียน้ำ และชะลอการแลกเปลี่ยนแก๊สให้น้อยลง ทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ทั้งทางด้านลักษณะปรากฏ ความมันวาว ผลไม่เหี่ยว การใช้สารเคลือบผิวยังมีประโยชน์ทางอ้อม คือทำให้สารเคมีติดกับผิวของผลไม้ เช่น สารฆ่าเชื้อรา และสารต้านจุลินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งสามารถผสมรวมกับสารเคลือบผิวได้ นอกจากนี้ยังอาจใช้ร่วมกับการกักกันโรค (quarantine treatment) เพื่อปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น (Baldwin, 1993)

บทบาทสำคัญของสารเคลือบผิว คือการลดการสูญเสียน้ำ และลดการแลกเปลี่ยนแก๊สเข้า-ออก เพื่อให้มีอัตราการหายใจช้าลง ส่วนข้อเสียของสารเคลือบผิว คือทำให้ผลไม้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ โดยทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจลดลง เมื่อออกซิเจนถูกนำไปใช้ในการหายใจจนหมด ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลิตผลก็เพิ่มสูงขึ้น เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และมีการสังเคราะห์แอซีทัลดีไฮด์และเอทานอลเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ (สุวิทย์และคณะ, 2549; จริงแท้, 2549; ดนัยและนิธิยา, 2548; Mukhopadhyay, 2004; Hagenmaier and Shaw) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการบ่งชี้คุณภาพของผลส้ม โดยส้มเมื่อเกิดการเสื่อมคุณภาพจะมีปริมาณเอทานอลมากกว่า 50 ppm (ผ่องศรีและคณะ, 2550)

การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของแก๊สขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือสารเคลือบผิวจะไปปิดรูตามธรรมชาติที่ผิวของผลไม้ได้มากน้อยเพียงใด สำหรับผลไม้ที่ยังไม่ได้เคลือบผิวจะมีรูเปิดตามธรรมชาติที่เลนติเซลล์ (lenticel) สโตมาตา (stomata) และรอยขั้วผล (stem scar) ซึ่งเป็นช่องทางหลักที่เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊ส การลดการแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้นเมื่อสารเคลือบผิวไปเพิ่มเป็นตัวกั้น (barrier) ทำให้แก๊สซึมออกได้ยากขึ้น โดยความหนาของสารเคลือบผิวไม่ใช่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณอากาศที่เข้าไปในผลไม้ทั้งหมด แต่ชนิดของสารเคลือบผิวเป็นปัจจัยสำคัญ ตัวอย่างเช่น การใช้สารเคลือบผิวที่เป็นเรซิน เปรียบเทียบกับแวกซ์ไมโครอิมัลชัน เมื่อนำไปเคลือบผิวที่ความหนาเท่ากัน พบว่าสารเคลือบผิวที่เป็นเรซินลดปริมาณอากาศลง 92-98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไมโครอิมัลชันลดปริมาณอากาศลง 78-83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อทำให้อยู่ในรูปของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อิมัลชัน เมื่อสารเคลือบผิวแห้งโครงสร้างของสารเคลือบผิวจะมีรูเล็กๆ เกิดขึ้น เนื่องจากอนุภาคหยดน้ำในอิมัลชันระเหยหายไปเมื่อผิวแห้ง จึงเป็นช่องทางให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้บ้าง แสดงให้เห็นว่าชนิดของสารเคลือบผิวมีความสำคัญมากกว่าความหนาของสารเคลือบผิว แต่หลักการนี้ไม่ใช้กับการซึมผ่านเข้า-ออกของไอน้ำ เพราะการผ่านเข้า-ออกของไอน้ำจะขึ้นอยู่กับความหนาของสารเคลือบผิวและชนิดของสารเคลือบผิว (Hagenmaier and Baker, 1993)

2.6 ชนิดของสารเคลือบผิว

ปัจจุบันมีการพัฒนาสูตรของสารเคลือบผิวออกมาจำหน่ายทางการค้ามากมาย สารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีส่วนผสมแตกต่างกันออกไป ซึ่งมักเป็นความลับของผู้ผลิต ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารหลายชนิดผสมกัน เพื่อนำเอาสมบัติที่ดีของสารแต่ละชนิดมารวมกัน โดยทั่วๆไปสารเคลือบผิวมีส่วนผสมที่สำคัญ 3 ส่วน คือส่วนที่เป็นสารเคลือบผิวโดยตรงซึ่งมักเป็น ไขมัน ตัวทำละลาย และสารอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ ซึ่งทำให้ไขมันและน้ำผสมรวมกันได้อย่างถาวร (ดนัยและนิธิยา, 2548)

1. สารเคลือบผิวที่ได้จากพืช เช่น คาร์นูบาแวกซ์ เป็นสารเคลือบผิวที่ได้จากผิวใบของปาล์ม (Brazil palm) เป็นแวกซ์ที่มีคุณภาพดี และมักใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิว ส่วนใหญ่มีราคาถูก แต่ให้ความมันวาวต่ำ ไม่หลุดลอกออกง่าย จึงนำมาใช้แทนเชลแล็กในการเคลือบผิวผลิตผลบางชนิดเพื่อการส่งออก ส่วนสารเคลือบผิวที่ได้จากพืชชนิดอื่นๆ มักเป็นไขมันจากพืช เช่น น้ำมันพืชชนิดต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาสูตรต่างๆ เป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้

2. สารเคลือบผิวที่ได้จากสัตว์ เช่น เชลแล็ก ซึ่งได้จากมูลครั่ง มีความมันวาวสูงมาก มักพบเป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวทุกชนิด แต่มีข้อเสีย คือ จะหลุดลอกออกได้เมื่อผลิตผลออกมาจากห้องเย็นแล้วเกิดหยดน้ำที่ผิวของผลิตผล เชลแล็กใช้เป็นสารเคลือบผิวผลิตผลส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นได้ และได้รับความนิยมสูงมากถึงแม้จะเป็นสารเคลือบผิวที่มีราคาแพงก็ตาม เนื่องจากเคลือบผิวได้ง่ายและแห้งเร็ว

3. สารเคลือบผิวจากปิโตเลียม (petroleum wax) เป็นของเหลือที่ได้ภายหลังจากการกลั่นน้ำมันปิโตเลียม เช่น พาราฟินแวกซ์ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว อ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่น สามารถรวมกับสารเคลือบผิวจากพืชและสัตว์ได้

4. สารเคลือบผิวที่เป็นแวกซ์สังเคราะห์ (synthetic wax) เช่น พอลิเอทิลีนสังเคราะห์ได้จากเอทิลีน มีราคาถูก ช่วยควบคุมการสูญเสียน้ำได้ดี มีความมันวาวปานกลาง

นอกจากนั้นยังสามารถแบ่งสารเคลือบผิวตามสมบัติของการละลายได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. สารเคลือบผิวที่ละลายได้ในน้ำ สารเคลือบผิวประเภทนี้จะแห้งช้า และต้องใช้ความร้อนช่วยในการทำให้ผิวแห้ง มิฉะนั้นสารเคลือบผิวจะไหลมารวมกันอยู่ที่ด้านล่างของผลิตผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. สารเคลือบผิวที่ละลายได้ในน้ำมัน สารเคลือบผิวประเภทนี้ต้องมีสารอิมัลซิไฟอิง-เอเจนต์รวมอยู่ด้วยกัน มิฉะนั้นไขมันจะไม่รวมตัวกับน้ำ ปัจจุบันนิยมใช้สารเคลือบผิวชนิดที่ละลายน้ำมากกว่าชนิดที่เป็นอิมัลชัน

2.7 สารเคลือบผิวสำหรับผลส้ม

เนื่องจากผลส้มที่เก็บเกี่ยวมาจากต้นมีเปลือกสกปรกและขุ่นมัว กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวจึงต้องนำไปล้างน้ำ มีแปรงช่วยขัดเอาคราบสกปรกออก และมีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยทำความสะอาดให้ง่ายขึ้น ส่งผลทำให้ความมันวาวตามธรรมชาติหายไป และทำให้เกิดรอยแผลเล็กๆ ที่ผิวส้ม ทำให้ส้มมีการสูญเสียน้ำ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (นิธิยา, 2547) จึงต้องมีการเคลือบผิวผลส้ม เพื่อลดการสูญเสียน้ำ และลดการแลกเปลี่ยนแก๊สเข้า-ออก ทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น และมีลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคต้องการ

ในอดีตสารเคลือบผิวสำหรับผลส้มเป็นพวกสารละลายเรซิน ซึ่งมีส่วนผสมหลัก คือ เชลแล็ก เคลือบผิวผลส้มเพื่อให้ผิวสดใสและมีความมันวาว แต่เชลแล็กเปลี่ยนเป็นสีขาวเมื่อผิวผลส้มสัมผัสกับความชื้นสูง หรือสัมผัสกับน้ำ (Hagenmaier, 1998a) ต่อมาได้มีการพัฒนาสารเคลือบผิวเป็นอิมัลชันของคาร์นูบาแวกซ์ หรือ พอลิเอทิลีนแวกซ์ขึ้นมาใช้ แต่ปัจจุบันได้เลิกใช้แล้ว เนื่องจากต้นทุนสูงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัยของผู้บริโภค

การเคลือบผิวผลส้มด้วยพอลิเอทิลีนแวกซ์ ปิโตรเลียมแวกซ์ คาร์นูบาแวกซ์ แคนเดลิลลา-แวกซ์ ที่ถูกอิมัลซิไฟด์ด้วยกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก หรือปาล์มิติก ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดี มีระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มน้อยกว่า และมีแก๊สออกซิเจนมากกว่าการเคลือบผิวด้วยเชลแล็กหรือเรซิน ส่วนคาร์นูบาแวกซ์ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าเชลแล็กและพอลิ-เอทิลีน และการสูญเสียน้ำหนักของ,ส้มที่เคลือบผิวด้วยออกซิไดซ์พอลิเอทิลีน หรือคาร์นูบาแวกซ์ยังขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณกรดไขมันที่ใช้เป็นส่วนผสมในสูตรด้วย (Hagenmaier and Baker, 1994)

แคนเดลิลลาแวกซ์มีความสามารถยอมให้ไอน้ำผ่านเข้า-ออกได้ ประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ของคาร์นูบาแวกซ์ และประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของขี้ผึ้ง ผลส้มที่เคลือบด้วยแคนเดลิลลาแวกซ์และแวกซ์ ชนิดอื่นๆ มีข้อดี คือยอมให้แก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านเข้า-ออกได้ดีกว่าเชลแล็กหรือวูดโรซิน ทำให้ภายในผลส้มมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยและมีแก๊สออกซิเจนมาก ส่งผลให้ไม่เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ เนื่องจากขาดแก๊สออกซิเจนหรือเกิดภาวะหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Hagenmaier and Shaw, 2002)

คุณภาพอื่นๆ ของผลส้มที่ควรคำนึงถึงภายหลังการเคลือบผิว เช่น รสชาติ ซึ่งมีผลกระทบมาจากอัตราการหายใจ เพราะผลส้มภายหลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ ยังมีการหายใจใช้แก๊ส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกซิเจน และคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ตลอดเวลา หากแก๊สเหล่านี้ไม่สามารถซึมผ่านเข้า-ออกได้เหมือนปกติ จะทำให้มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มากเกินไป และมีแก๊สออกซิเจนอยู่ภายในผลส้มไม่เพียงพอสำหรับการหายใจ จะทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจน และมีการสังเคราะห์แอซีทัลดีไฮด์และเอทานอลขึ้นภายในผลส้ม ส่งผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (Porat *et. al*., 2005; Shi *et. al*., 2005; Petracek *et. al*., 1999) ผลส้มที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลน้อย ยังชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้ผิวของผลส้มยังคงมีสีเขียว มีกลิ่นและรสชาติด้อยลง (Baldwin, 1993) และทำให้เกิดรอยบุ๋ม (pitting) คือเปลือกของผลส้มมีความผิดปกติ ซึ่งมักจะเกิดกับผลส้มที่ใช้สารเคลือบผิวที่เป็นเรซินมากกว่าแวกซ์ หากผลส้มสูญเสียน้ำ 5-7 เปอร์เซ็นต์ ผิวจะเริ่มเหี่ยว นิ่ม และอาจเกิด stem-end rind breakdown ดังนั้นการเลือกใช้สารเคลือบผิวสำหรับผลส้ม จึงต้องพิจารณาส่วนผสมหลักที่ใช้ว่าเป็นชนิดเรซิน หรือแวกซ์อิมัลชัน และหากในแวกซ์อิมัลชันมีการผสมเรซินลงไปด้วย ควรมีเรซินผสมอยู่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ (Hagenmaier, 1998b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved