บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่ทุกคนรู้จักดี และเป็นที่นิยมบริโภคของผู้คนทั่วไป เนื่องจากราคาไม่แพงนัก และมีจำหน่ายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด สามารถหาซื้อมารับประทานได้ง่าย อีกทั้งเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ดังแสดงในตาราง 2 นิยมบริโภคกันทั้งในรูปผลสดหลังอาหารแต่ละมื้อในยามว่าง หรือในรูปของน้ำส้มคั้น ซึ่งนอกจากจะให้คุณค่าทางอาหารสูงแล้วการบริโภคในลักษณะที่รวมทั้งเส้นใยและกากก็จะเป็นยาระบายอ่อนๆได้เป็นอย่างดี

ตาราง 2 องค์ประกอบทางอาหารของผลส้มเขียวหวานต่อ 100 กรัมส่วนที่บริโภคได้

องค์ประกอบ	ปริมาณ
พลังงานอาหาร	44 แคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	9.9 กรัม
โปรตีน	0.6 กรัม
ไขมัน	0.2 กรัม
น้ำ	88.7 กรัม
เส้นใย	0.2 กรัม
แคลเซียม	31 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.8 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	18 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	4000 หน่วยสากล
วิตามินบี 1	0.04 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.05 มิลลิกรัม
วิตามินซี	18 มิลลิกรัม

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย (2535)

ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata* Blanco) จัดอยู่ในตระกูล **Rutaceae** อยู่ในกลุ่ม Common mandarin (พายับ, 2542) รายงานการจัดแบ่งพืชตระกูลส้มตามหลักทางพืชสวนอ้างตาม Hodson' system โดยแบ่งพืชตระกูลส้มออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. กลุ่มออเรนจ์ เป็นกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียทางแถบธิเบตไปจนถึงจีนและพม่า แบ่งเป็น 2 พวก

1.1 สวีทออเรนจ์ (*Citrus sinensis*) นับเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมโดยเฉพาะเป็นผลไม้สดในประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากจะใช้รับประทานสดแล้วยังแปรรูปเป็นน้ำส้มซึ่งถ้านำไปแช่แข็งจะสามารถเก็บได้นาน สวีทออเรนจ์แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

1.1.1 ออเรนจ์ มีการปลูกกันมากในแถบเมดิเตอเรเนียน ได้แก่ สเปน อิตาลี และฝรั่งเศส พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้า เช่น เบอร์มา แฮมลิน พายแอปเปิล และซามูติ

1.1.2 ชนิดที่เนื้อผลมีกรดน้อย ส้มในกลุ่มนี้จะพบกรดในปริมาณที่น้อย คือ ประมาณ 0.2 % เท่านั้น ได้แก่ ส้มซัคคาริในประเทศอียิปต์ และส้มดีนีซในประเทศฝรั่งเศส

1.1.3 ชนิดที่มีเนื้อผลสีแดงส้ม ส้มในกลุ่มนี้จะพบแอนโธไซยานินที่เปลือก และในน้ำคั้น รู้จักกันดีในนาม blood orange ได้แก่ ส้มโมโร และ ส้มทาร็อคโค เป็นต้น

1.1.4 นาเวล ลักษณะของส้มพวกนี้ ปลายผลจะมีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายสะดือ (navel) ที่ตรงแอ่งนี้อาจมีผลเล็ก ๆ เกิดขึ้นซ้อนอยู่อีก นอกจากนี้ยังไม่มีเมล็ด

1.2 กลุ่มซาวออเรนจ์ (*C. aurantium*) มีถิ่นกำเนิดทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จีน และพม่า แพร่กระจายไปทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น ทางตะวันตกของอินเดีย และแถบเมดิเตอเรเนียนจนถึงทวีปยุโรป ในตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 16 กลุ่มซาวออเรนจ์นี้จัดเป็นส้มชนิดแรกที่แพร่กระจายเข้าไปในแถบต่างๆ ของ
ทวีปยุโรปและอเมริกา เช่น รัฐฟลอริดา

ซาวออเรนจ์ และสวีทออเรนจ์ มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกันมากแตกต่างกันเล็กน้อยที่ใบของซาวออเรนจ์จะมีใบสีเข้มกว่า มีก้านใบยาว และปีก (wing) กว้างกว่า ลักษณะผลแบนและสีเข้มกว่า มีเปลือกหนากว่าพวกสวีทออเรนจ์ ลักษณะลำต้นสูงใหญ่ มีใบหนามาก และทนต่อสภาพอากาศที่เย็นจัดหรือร้อนจัดได้ดีกว่าส้มพันธุ์อื่นๆ

ซาวออเรนจ์แบ่งได้ 5 ชนิด ได้แก่

1.2.1 กลุ่มซาวออเรนจ์

1.2.2 พวกที่มีรสขม

1.2.3 พวกที่มีรสชาติต่างจากพวกที่สอง

1.2.4 ไมเทิลลีฟ

1.2.5 เบอกามอ๊ต

2. กลุ่มส้มจีน ส้มเขียวหวาน (Mandarin group) ส้มพวกนี้นิยมปลูกกันมากในประเทศแถบเอเชียและเอเชียอาคเนย์ เช่น ไทย ญี่ปุ่น ไต้หวัน เป็นต้น ลักษณะของส้มพวกนี้คือ เปลือกอ่อน เปลือกล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มแยกหลุดจากกันได้ง่าย ส้มจีนและส้มเขียวหวานมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้คือ ส้มจีน(mandarin) ผลโตกว่าส้มเขียวหวาน เปลือกค่อนข้างหนากว่า เปลือกขรุขระ เปลือกอ่อนเปราะแกะง่าย ไส้ผลกลวง กลีบแยกออกจากกันได้โดยง่าย สีผลและสีเนื้อเป็นสีส้มเข้ม ต้นทรงสูงชะลูด และใบเล็กกว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย ให้ผลไม่ค่อยดกเท่าในประเทศไทยนอกจากส้มเขียวหวานที่รู้จักกันดีอยู่แล้วยังมีส้มอีกหลายชนิดที่จัดอยู่ในพวกนี้ เช่น ส้มจุก ส้มแก้ว ส้มแป้น ส้มขี้ม้า เป็นต้น (วัฒนา, 2528) ส้มในกลุ่มนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเขตร้อน มีลักษณะผลใกล้เคียงกับกลุ่มออเรนจ์ บางครั้งอาจเรียกแทนเจอรีน มีผู้พยายามแยกแมนดารินและแทนเจอรีน โดยใช้ความแตกต่างระหว่างสีของเปลือก เช่น พวกที่มีเปลือกสีส้ม หรือสีแดงเรียกแทนเจอรีน พวกที่มีเปลือกสีเหลืองอ่อน ๆ เรียกแมนดาริน ได้แก่พวกส้มจีน เป็นต้น

ส้มกลุ่มแมนดารินมีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย บางพันธุ์มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางอินโดจีนได้แก่ ส้มคิง และส้มดูเนน โบแมนดาริน พันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ พันธุ์ซัซซูม่า ส้มในกลุ่มแมนดารินแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ดังนี้

2.1 ซัซซูม่า (*Citrus unshiu* Marcovitch) มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่นเป็นพวกที่ทนต่อสภาพอากาศเย็นได้ดีที่สุด จึงสามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในเขตอากาศเย็น

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

2.3 เมดิเตอเรเนียนแมนดาริน (*Citrus deliciosa* Tenore)

2.4 แมนดาริน (*Citrus reticulata* Blanco) ลักษณะโดยทั่วไปของส้มพวกนี้มีดอก และใบขนาดเล็ก ผลขนาดกลาง–ใหญ่ เปลือกบางและล่อนปอกออกได้ง่าย ผลไม่ค่อยฟ่ามได้แก่ ส้มเขียวหวาน และส้มจีนในบ้านเรา สำหรับพันธุ์ในต่างประเทศที่นิยมปลูกมีพันธุ์ คลีเมนไทน์ แดนซี่ พองแกน เป็นต้น

3. กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุ๊ต (Pomelo and grapefruit group) ทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลำต้นและทรงพุ่ม แตกต่างกันตรงที่ส้มโอมีลำต้นใหญ่และแข็งแรงกว่า แต่เกรฟฟรุ๊ตมีทรงพุ่มเล็กกว่า

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

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

3.1.2 ชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่น ๆ มีลักษณะคล้ายกับส้มโอธรรมดา ยกเว้นลักษณะสีของเนื้อที่เกิดจากเม็ดคาโรทีนอยด์ ไลโคฟีน ซึ่งทำให้เนื้อผลมีสีตั้งแต่ชมพูอ่อนถึงสีแดงเข้มเป็นที่สะดุดตาผู้บริโภค แหล่งปลูกที่สำคัญในปัจจุบัน ได้แก่ ไทย จีน และอินโดนีเซีย โดยพันธุ์ส้มโอที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากประทศไทยแทบทั้งสิ้น ได้แก่ พันธุ์ขาวพวง ขาวแป้น พันธุ์การค้าของจีน ญี่ปุ่น และไต้หวัน ได้แก่ พันธุ์มาโท

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

3.2.1 พวกที่มีเนื้อผลสีขาว ได้แก่ พันธุ์ม๊าซ

3.2.2 พวกที่มีเนื้อผลสีอื่น ๆ ได้แก่ พันธุ์สตาร์รูบี และ พันธุ์ริโอเรด เป็นต้น

4. กลุ่มที่ผลมีรสเปรี้ยว (Common acid member) ได้แก่ ซิตรอน เลมอน และ ไลม์หรือมะนาวไทย

4.1 เลมอน (*Citrus limon* L. Burn f.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกของประเทศอินเดีย ประเทศไทยเรียกว่า มะนาวฝรั่ง ปัจจุบันเลมอนมีความสำคัญในตลาดโลกค่อนข้างมาก โดยเฉพาประเทศสหรัฐอเมริกา ผลิตได้ประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมด อิตาลี ผลิตได้ร้อยละ 40 และสเปน ผลิตได้ร้อยละ 5

4.2 ไลม์ หรือมะนาวไทย (*Citrus aurantifolia* Swing) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย ตลอดจนถึงประเทศมาเลเซีย แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

4.2.1 ไลม์ชนิดผลเปรี้ยว มี 2 พวก คือ

4.2.1.1 ชนิดผลเล็ก ได้แก่ พันธุ์วสอินเดียไลม์ หรือ เม็กซิกันไลม์ เป็นต้น

4.2.1.2 ชนิดผลใหญ่ ได้แก่ พันธุ์ตาฮิติ หรือ เปอร์เซียน เป็นต้น

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

4.3 ซิตรอน (*Citrus medica* L.) มีถิ่นกำเนิดทางอินเดียตะวันออกเฉียงเหนือ ผลมีเปลือกหนา ถุงน้ำส้มมีจำนวนน้อย รสเปรี้ยวจัดและเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูป เช่น เปลือกแช่อิ่ม ทำขนม ที่สำคัญคือใช้ตรวจด้วยโรคไวรัสบางชนิดได้ อาทิเช่น พันธุ์อีทร็อง (Etrong)

การเจริญเติบโตของผลส้ม

ส้มเขียวหวานมีการเจริญเป็นแบบ simple sigmoid curve ผลมีการเพิ่มขนาด และน้ำหนักตลอดเวลาของการเจริญเติบโต Kale and Adsule (1995) ได้แบ่งระยะการเจริญเติบโตของผลส้มออกเป็น 3 ระยะที่สำคัญ ดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะที่ผลส้มมีการแบ่งเซลล์ (Cell division period) โดยจะพบได้ในเนื้อเยื่อทุกชนิด ยกเว้นบริเวณชั้นนอกสุดของชั้น flavedo และส่วนปลายของถุงน้ำหวาน (juice sac) ผลจะมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเจริญของส่วนที่เป็นเปลือก (peel) ซึ่งเกิดจากการที่เซลล์มีการแบ่งตัวร่วมกับเซลล์เกิดการขยายขนาดบ้างเล็กน้อย ทำให้มีการเพิ่มขนาดของผล

ระยะที่ 2 ระยะที่ผลส้มมีการขยายขนาดของเซลล์ (Cell enlargement period) เป็นระยะที่เกิดการพัฒนาของส่วนที่เป็นเนื้อ (pulp) ถุงน้ำหวานจะขยายตัวเต็มแต่ละกลีบของส้ม (locules หรือ segment) อย่างรวดเร็ว และพบว่าปริมาณน้ำส้มและปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มตามไปด้วย ผลส้มจะมีการเพิ่มขนาด ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เซลล์มีการขยายตัวและเกิดการเปลี่ยนสภาพ เกิดการขยายตัวของชั้น albedo ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาวคล้ายฟองน้ำ เปลือกของผลจะเริ่มเปลี่ยนสีเมื่อผลเริ่มเข้าสู่ระยะแก่

ระยะที่ 3 ระยะผลแก่ (Maturation period) สีเหลืองที่เปลือกของผลส้มเริ่มเปลี่ยนไปเป็นสีส้ม ปริมาณกรดที่พบในน้ำส้มจะลดลง และที่บริเวณเปลือกจะมีความหนาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และขนาดของผลยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ในอัตราที่ลดลง

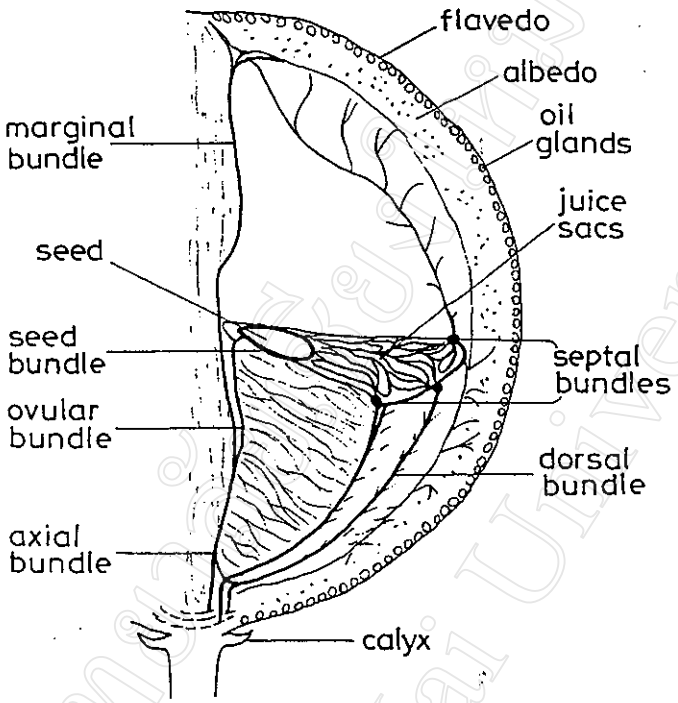
สัณฐานวิทยาของผลส้ม

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

1. ชั้นเปลือกนอก (exocarp) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสีของเปลือกส้ม หรือที่เรียกว่าชั้น flavedo ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากที่มีคาร์โรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบ โดยจะเป็นตัวให้สีแสดงออกต่าง ๆ กันในพืชตระกูลส้ม เช่น ส้มเปรี้ยว แทนเจอรีน เกรฟฟรุ๊ต และ มะนาว เป็นต้น บนผนังเซลล์ด้านนอกของเซลล์ผิว ถูกปกคลุมด้วยคิวติน (cutin) และขี้ผึ้ง (wax) เป็นเครื่องป้องกันการสูญเสียน้ำของผลส้ม ต่อมน้ำมันสามารถพบได้ในชั้น flavedo เป็นโครงสร้างที่เกาะติดกับผิวของส้ม ภายในประกอบไปด้วย essential oil โดยจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแต่ละสายพันธุ์ส้ม

2. เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) ถัดจากชั้น exocarp คือชั้น mesocarp หรือที่เรียกว่า albedo เป็นชั้นบาง ๆ สีขาว มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ประกอบด้วยสารจำพวกเพคติน และเฮมิเซลลูโลสจำนวนมาก ความหนาบางของชั้น albedo จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่น ในส้มเขียวหวาน หรือส้มจำพวกที่ปอกเปลือกง่ายเนื้อเยื่อชั้นนี้จะค่อนข้างบาง แต่ในเกรฟฟรุ๊ต และส้มโอ พบว่าเนื้อเยื่อในชั้นนี้มักจะมีความหนาถึง 1-3 เซนติเมตร ชั้น albedo และ flavedo รวมกันจะเรียกเป็น pericarp ซึ่งโดยทั่วไปจะรู้จักกันว่าเป็นเปลือกส้ม (rind หรือ peel) นั่นเอง

3. เปลือกชั้นใน (endocarp) หรือ pulp จะประกอบไปด้วยกลีบส้มจำนวนมาก (carpels or segments) ภายในกลีบส้มแต่ละกลีบประกอบด้วยเมล็ดเล็กน้อย และเต็มไปด้วยถุงน้ำส้มจำนวนมาก ที่เชื่อมติดกับผนังกลีบส้มโดย vesicle stalk โดยถุงน้ำส้มจะขยายตัวตามการพัฒนาของผลส้ม องค์ประกอบทางเคมีจะถูกสร้างขึ้นในเนื้อเยื่อโดยจะมีความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเนื้อเยื่อ เช่นสาร flavonone glycoside ที่ผลิตในชั้นเนื้อเยื่อ albedo จะมีความเข้มข้นมากกว่าที่พบในถุงน้ำส้มหรือที่พบในชั้น flavedo และองค์ประกอบที่ทำให้มีรสขมจะพบมากที่เมล็ดและเนื้อเยื่อของถุงน้ำส้ม



ภาพ 1 ภาพตัดตามขวางแสดงส่วนประกอบของผลส้ม

ที่มา : Spiegel-Roy and Goldschmidt (1996)

ลักษณะประจำพันธุ์ของส้มเขียวหวาน

ส้มเขียวหวานจัดเป็นไม้ผลกึ่งเมืองร้อน ไม่ชอบอากาศที่หนาวจัดเกินไป และสามารถปลูกได้ในดินทุกชนิด ลักษณะทั่วไปของส้มเขียวหวาน เป็นส้มเปลือกล่อน ติดผลตลอดปี แต่ออกมากช่วงเดือนกันยายน-กุมภาพันธ์ ต้นเป็นพุ่มสูง 2-8 เมตร แน่นทึบ กิ่งที่แตกใหม่สีเขียวและเนื้อไม้อ่อน ต้นไม่มีหนาม เปลือกต้นเมื่อมีอายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ใบแยกเป็น 2 ส่วนคือ แผ่นใบและก้านใบ เป็นใบเดี่ยว รูปไข่ค่อนข้างยาว ผิวหลังใบสีเขียวเข้มออกดำเป็นมัน ใต้ใบมีสีตองอ่อน ขอบใบเรียบ และมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่เต็มทั้งใบ ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีขาวและมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป ทรงผลกลมแป้น ไม่มีจุก ส่วนสูงจะสั้นกว่าส่วนกว้าง วัดได้กว้าง 7.5 ซม. สูง 5.9 ซม. ผลที่มีขนาดใหญ่สูงประมาณ 6.5 ซม. ด้านก้นผลเรียบถึงเว้าเล็กน้อย ด้านขั้วผลมน เปลือกอ่อนบาง วัดได้หนา 0.2-0.3 ซม. ล่อน ปอกง่าย ผิวเปลือกเรียบมีต่อมน้ำมันขนาดเล็กทั่วผล ผลแก่จัดผิวสีเขียวถึงเขียวอมเหลือง หรือเหลืองอมส้มจนถึงแดงอมส้ม

เมื่อเจริญเติบโตในที่มีอากาศเย็น เช่น ทางภาคเหนือ สีผิวสม่ำเสมอ กลีบแยกออกจากกันได้ง่าย จำนวน 10-12 กลีบ ผนังกลีบบาง มีรกน้อย กุ้งหรือเนื้อที่เกาะกันเป็นกลีบ สั้น มีลักษณะนิ่มและฉ่ำน้ำ เนื้อสีส้ม มีกลิ่นหอมแรง รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ 12-13 องศาบริกซ์ เมล็ดมีขนาดเล็ก รูปไข่หัวกลับ ยาว 9 มม. กว้าง 6 มม. หนา 5 มม. และมีน้อยแต่ก็อาจพบจนถึง 12 เมล็ด/ผล เดิมมีชื่อเสียงที่ อ.บางมด ปัจจุบันย้ายไปที่ "ทุ่งหลวงรังสิต" (รวมพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ ปทุมธานี นครนายก และ สระบุรี) นอกจากนั้นก็มีที่ จ.น่าน (ส้มสีทอง) จ.แพร่ และ จ.เชียงใหม่ เป็นพันธุ์ที่ตลาดผู้บริโภครู้จักกว้างขวางมากที่สุดพันธุ์หนึ่ง (ธวัชชัย และ ศิวาพร, 2542)

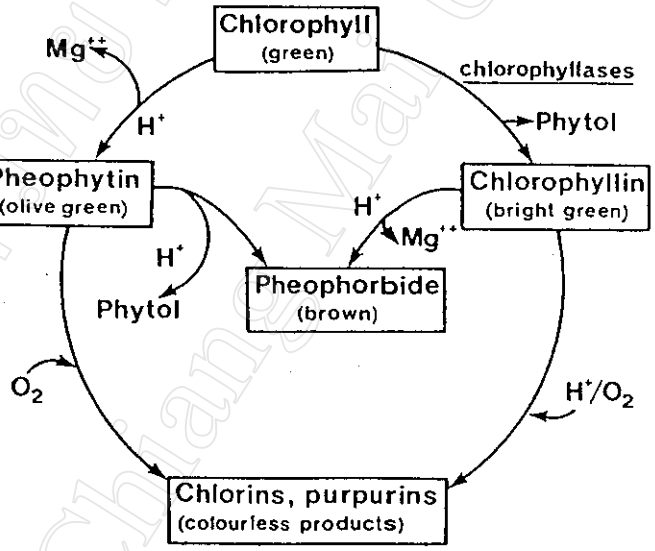
คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลส้มเขียวหวาน

คุณภาพและองค์ประกอบของผลส้มจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สายพันธุ์ สภาพดินปลูก สภาพภูมิอากาศ สภาพการเจริญเติบโต ต้นตอ และการปฏิบัติดูแลรักษา ส้มเหมือนกับผลไม้อื่นทั่วไป คือ มีน้ำเป็นหลัก รวมกับองค์ประกอบอื่น ๆ อีก 400 ชนิด ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ กรดอะมีโน กรดแอสคอบิค แร่ธาตุอาหาร ฟาโวนอยด์ คาร์โรทีนอยด์ สารระเหย ไขมัน ผลส้มมีปริมาณโปรตีนและไขมันไม่อิ่มตัวน้อยมาก ถ้านำ juice vasicles มาวิเคราะห์พบว่ามีโปรตีนน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกรัมผลสด นอกจากนี้ผลส้มยังเป็นแหล่งเพคตินและเส้นใยจำพวกเซลลูโลส (Davies and Albrigo, 1994) ภายหลังการเก็บเกี่ยวคุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลส้มจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ถ้ามีการจัดการที่ดีสามารถยืดระยะเวลาการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นได้ (Kale and Adsule, 1995)

1. สีของเปลือกและเนื้อผล ในผลไม้ตระกูลส้ม สีของเปลือกส้มเป็นผลมาจากรงควัตถุ ต่าง ๆ ร่วมกัน ได้แก่ คลอโรฟิลล์ คาร์โรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน โดยในช่วงระยะแรกเซลล์ที่ผลส้มมีระดับของรงควัตถุคลอโรฟิลล์มาก ต่อมาเมื่อเข้าสู่ช่วงท้ายของระยะที่ 2 ในการเจริญของผลส้ม คลอโรฟิลล์จะเริ่มสลายตัวไปสีของคาร์โรทีนอยด์นี้จึงปรากฏให้เห็น (Davies and Albrigo, 1994)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียว เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช กระจายตัวอยู่ในอวัยวะภายในเซลล์ชื่อว่า คลอโรพลาสต์ (ดนัย, 2540) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วยส่วนหัวที่มีอะตอมของแมกนีเซียมล้อมรอบด้วยวงแหวนของคาร์บอนและไนโตรเจน (prophyrin ring) และส่วนหางที่เป็นโซ่ยาว (long chain) ของไฮโดรคาร์บอน เรียกว่า phytol โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้นและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา แต่ในระหว่างการชราภาพ (senescene) เกิดการสลายตัวมากกว่าจึงทำให้คลอโรฟิลล์หมดไปในที่สุด (จริงแท้, 2542)

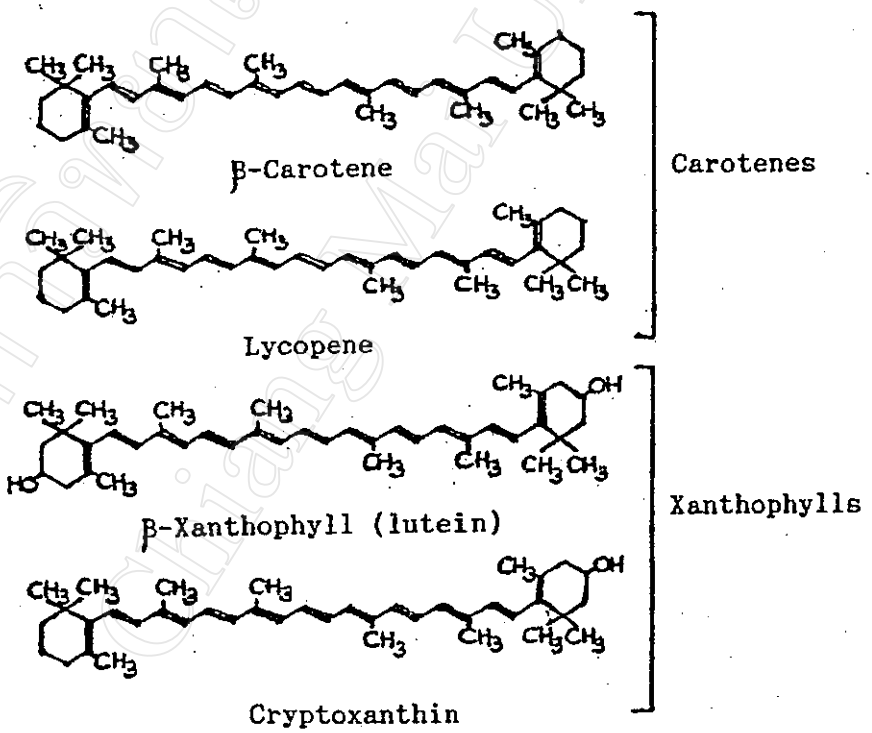
กลไกของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์นี้ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อาจเกิดจาก (1) สภาพที่เป็นกรด ทำให้อะตอมของแมกนีเซียมหลุดออกไปจากส่วนหัวของโมเลกุล ได้สาร pheophytin ซึ่งยังคงมีสีเขียวอยู่ (2) การทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase ซึ่งจะแยกส่วนหัวและส่วนหางของโมเลกุลออกจากกันแต่ผลที่ได้ยังคงมีสีเขียวอยู่ สีของคลอโรฟิลล์จะหมดไปก็ต่อเมื่อ (3) double bond ในวงแหวน porphyrin ถูกทำลายลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยการออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน (จริงแท้, 2542) ดังแสดงในภาพ 2



ภาพ 2 การเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์รูปแบบต่าง ๆ

ที่มา : Wills *et al.* (1981) อ้างโดย จริงแท้ (2542)

คาร์โรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ส้ม และแดง โครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว ตัวอย่างเช่น คาโรทีน (carotene) ไลโคพีน (lycopene) แซนโธฟิลล์ (xanthophyll) และคริพโตแซนธิน (cryptoxanthin) เป็นต้น สูตรโครงสร้างของรงควัตถุดังกล่าวแสดงในภาพ 3 ในส้มจะเป็นคาร์โรทีนอยด์ที่มีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลด้วย คือ คริพโตแซนธิน และ β-citraurin (ดนัย, 2540; Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996) คาโรทีนจัดว่าเป็น provitamin A ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกายคนและสัตว์ ส่วนไลโคพีน และแซนโธฟิลล์ นั้นไม่มีคุณสมบัติดังกล่าว (จริงแท้, 2542) ในน้ำคั้นของส้มออเร้นจ์ และส้มเขียวหวานสีที่ปรากฏเกิดจากรงควัตถุแคโรทีน และ แซนโธฟิลล์ (Kale and Adsule, 1995)



ภาพ 3 โครงสร้างโมเลกุลของรงควัตถุต่าง ๆ

ที่มา : Wroltad (1982) อ้างโดย ดนัย (2540)

จะสังเกตได้ว่าส้มที่วางขายในท้องตลาดนั้นมีสีแตกต่างกันออกไป ทั้งที่เป็นส้มพันธุ์เดียวกัน เช่น ส้มเขียวหวานที่ปลูกทางภาคเหนือ สีจะส้มจัด แดงจัด ส่วนส้มเขียวหวานที่ปลูกในภาคกลาง สีจะออกเขียว เขียวอมเหลือง หรือสีเหลืองอ่อน การที่สีของผลและสีของเนื้อผลแตกต่างกันไปนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกัน แต่ที่เห็นเด่นชัดในบ้านเราคือ ปัจจัยที่เกิดจากสภาพดินฟ้าอากาศซึ่งที่สำคัญที่สุด คืออุณหภูมิ หรือความร้อน ความหนาวเย็นของอากาศ ถ้าอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันกับกลางคืนแตกต่างกันมาก สีของผลส้มก็จะยิ่งเข้มขึ้น โดยเฉพาะในตอนที่ผลส้มแก่ อุณหภูมิจะเป็นตัวกระตุ้นให้สีเข้มขึ้น ตัวอย่างเช่น ส้มที่ปลูกทางภาคเหนือจะมีสีเข้มกว่าส้มที่ปลูกในภาคกลาง ดังกล่าวแล้ว หรือส้มที่แก่ในช่วงอุณหภูมิต่ำ จะมีสีเข้มกว่าส้มที่แก่ในช่วงอุณหภูมิสูง ทั้งที่เป็นต้นเดียวกันหรือปลูกในที่เดียวกันเป็นต้น (วัฒนา, 2528) แตกต่างกับส้มที่ปลูกในเขตหนาวที่สีของผลส้มมีการพัฒนาได้มากกว่า โดยเฉพาะส้มแมนดาริน (Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996) ถ้าอุณหภูมิในดิน และในอากาศลดลงต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส คลอโรฟิลล์จะเกิดการสลายตัว เนื่องจากคลอโรพลาสต์จะเปลี่ยนไปเป็นโครโมพลาสต์ ดังแสดงในภาพ 4 ฮอร์โมนพืช ได้แก่ ไซโตไคนิน และออกซิน จะลดอัตราการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ ในทางตรงกันข้าม เอทธิลีนจะเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ให้เกิดเร็วขึ้น (Davies and Albrigo, 1994)

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกเช่น จำนวนเมล็ดในผล จากการศึกษาพบว่า ส้มบนต้นเดียวกัน จะมีจำนวนเมล็ดต่างๆ กัน ผลส้มที่มีจำนวนเมล็ดน้อย จะมีสีเข้มกว่าผลที่มีจำนวนเมล็ดมาก ส่วนต้นตอก็มีส่วนทำให้สีของผลส้มแตกต่างกันออกไปเช่นกัน (วัฒนา, 2528)

สีของผลส้มสามารถเปลี่ยนกลับจากสีเหลือง สีส้ม ไปเป็นสีเขียวได้ เรียกว่า รีกรีนนิ่ง (regreening) เช่น ที่พบในส้มวาเลนเซีย เป็นต้น เกิดจากการที่โครโมพลาสต์สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นคลอโรพลาสต์ได้ ดังแสดงในภาพ 4 (Davies and Albrigo, 1994; Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996)

ปัจจัยการเกิดรีกรีนนิ่งได้แก่

1. ส้มสายพันธุ์หนัก หรือมีการเก็บเกี่ยวช้า ปล่อยให้ผลส้มค้างอยู่บนต้นนานกว่าระยะเก็บเกี่ยวตามปกติ

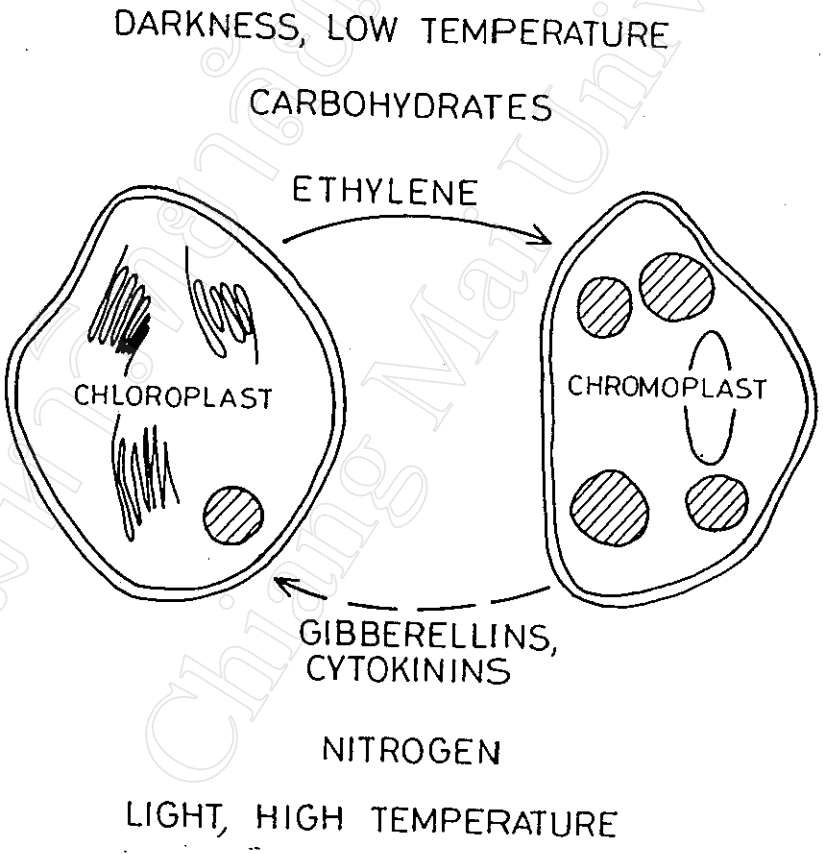
2. มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูง การสังเคราะห์คาร์โรทีนอยด์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส

3. ความชื้นในดินเพียงพอที่จะทำให้เกิดการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

4. แสง แสงเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์คาร์โรทีนอยด์และแอนโธไซยานิน ผลส้มที่อยู่ในร่มไม่โดนแสง จะมีสีผลเขียวกว่าผลส้มที่โดนแสง ในความมืดผลส้มจะชะงักการสังเคราะห์คาร์โรทีนอยด์ (ดนัย, 2540)

5. ธาตุไนโตรเจน ต้นส้มที่ได้รับธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้สีผิวที่ผลส้มพัฒนาได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะเกิดช้าลง

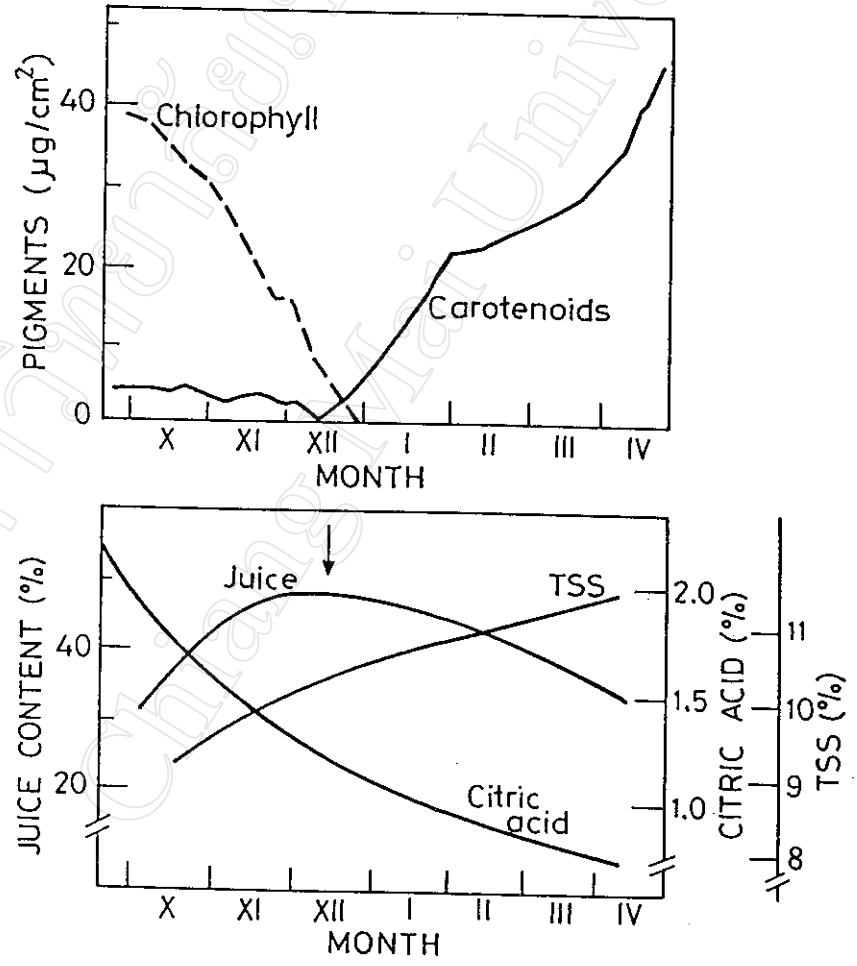
6. ฮอร์โมนพืช การให้ฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน และไซโตไคนินแก่ส้มจะช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์



ภาพ 4 การเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาของคลอโรพลาสต์และโครโมพลาสต์ในเปลือกส้ม

ที่มา : Spiegel-Roy and Goldschmidt (1996)

2. น้ำตาล รสหวานของผลส้มจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลซูโครส ซึ่งจะมีค่าต่างกันตั้งแต่ 1 เปอร์เซ็นต์ ในมะนาว จนถึง 9 เปอร์เซ็นต์ ในส้มบางสายพันธุ์ ปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ การแก่สมบูรณ์ของผลส้ม โดยเฉพาะในส้มที่มีรสหวาน เมื่อผลส้มเริ่มแก่ จะมีการสร้างน้ำตาลในผลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังแสดงในภาพ 5 ส้มที่แก่สมบูรณ์จะพบน้ำตาลรีดิวซ์ซิ่ง (น้ำตาลกลูโคส, น้ำตาลฟรุคโตส) และน้ำตาลนันรีดิวซ์ซิ่ง (น้ำตาลซูโครส) ในปริมาณที่เท่ากัน ดังแสดงในตาราง 3 แต่ในมะนาวไทยจะพบน้ำตาลรีดิวซ์ซิ่งมากกว่า (Kale and Adsule, 1995) น้ำตาลฟรุคโตสจะให้ความหวานมากที่สุดในขณะที่น้ำตาลซูโครสและกลูโคสจะมีความหวานน้อยลงตามลำดับ (จริงแท้, 2542)



ภาพ 5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโต

ที่มา : Spiegel-Roy and Goldschmidt (1996)

นอกจากความแก่ของผลส้มแล้ว ปริมาณน้ำตาลในผลจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีกได้แก่ การบำรุงรักษาต้น ถ้าต้นสมบูรณ์แข็งแรง ได้รับอาหารและน้ำในอัตราที่พอเหมาะก็จะมีปริมาณน้ำตาลมาก อายุผลก็เช่นเดียวกันถ้าปล่อยให้อยู่บนต้นส้มนาน ๆ ความหวานหรือปริมาณน้ำตาลก็จะเพิ่มขึ้น และปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างน้ำตาลในผลส้ม คืออุณหภูมิของอากาศในช่วงที่ผลเริ่มจะแก่ ถ้ามีอุณหภูมิสูงติดต่อกันนาน ๆ ก็จะยิ่งทำให้ผลส้มมีน้ำตาลมากขึ้น หรือหวานขึ้น (Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996)

น้ำตาลทั้ง 3 ชนิดนี้อาจเปลี่ยนรูปกันได้ด้วยเอนไซม์หลายชนิดเช่น invertase ซึ่งจะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนซูโครส เป็นกลูโครส และฟรุคโตส เช่น ในน้ำส้มเมื่อผ่านการพาสเจอไรซ์ และบรรจุกระป๋องพบว่าจะเกิด inversion ของน้ำตาลซูโครสขึ้นในช่วงการเก็บรักษา (Kale and Adsule, 1995)

ภายหลังการเก็บรักษา ปริมาณน้ำตาลในผลไม้ตระกูลส้ม อาจจะเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ แต่ผลต่อคุณภาพของผลส้มนั้นไม่เด่นชัด ในทางตรงข้ามปริมาณน้ำตาลที่วัดได้โดยประมาณด้วย refractometer (เป็น °Brix หรือ % soluble solid) อาจเพิ่มขึ้นในส้ม เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำไประหว่างการเก็บรักษาทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในส้มโอ ไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้ส้มโอมีรสชาติดีขึ้นเมื่อทิ้งไว้ให้ลืมต้น (จริงแท้, 2542)

ตาราง 3 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ในผลไม้บางชนิด

ชนิดของผลไม้	ปริมาณน้ำตาล (% ของส่วนที่รับประทานได้)		
	กลูโคส	ฟรุคโตส	ซูโครส
กล้วยหอม	5.82	3.78	6.58
องุ่น	8.12	8.01	0.00
ส้ม	2.36	2.38	4.70
สัปปะรด	2.32	1.42	7.89
ทับทิม	5.46	6.14	0.00
สตรอเบอรรี่	2.59	2.32	1.30
มะเขือเทศ	1.63	1.17	0.00

ที่มา : จริงแท้ (2542)

3. กรดอินทรีย์ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้คุณภาพของน้ำส้ม และยังสามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว โดยดูจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TSS : TA ratio) (Davies and Albrigo, 1994)

กรดอินทรีย์มักจะถูกเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลในปริมาณมาก และมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ โดยทั่วไปในขณะที่ผลไม้ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดสูง ทำให้ไม่เหมาะกับการรับประทานของผู้บริโภค และในขณะเดียวกันก็อาจไม่เหมาะสมต่อการเข้าทำลายของโรคด้วย เพราะสภาพที่มีกรดสูงทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อผลส้มสุกปริมาณกรดจะลดต่ำลงทำให้เหมาะสมต่อการบริโภค (จริงแท้, 2542)

กรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในน้ำส้ม คือ กรดซิตริกโดยพบ 70 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ของกรดอินทรีย์ทั้งหมด รองลงมาได้แก่ กรดมาลิก กรดออกซาลิก (ซึ่งเป็นกรดที่พบมากที่สุดในเปลือกส้ม) ส่วนกรดอินทรีย์อื่นๆ ที่พบในปริมาณเล็กน้อยได้แก่ กรดควินนิคกรดตาตาลิค และ กรดแลคติค เป็นต้น (ตาราง 4) แต่ใน sweet lime กรดที่พบส่วนใหญ่คือ กรดมาลิค (Davies and Albrigo,1994)

ปริมาณกรดที่พบในผลส้ม จะมีมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วย เช่น สายพันธุ์ ต้นตอ การบำรุงรักษาต้นส้ม อายุของผลส้ม กรดอินทรีย์จะมีปริมาณลดลงเองตามธรรมชาติเมื่อผลส้มแก่ขึ้นดังแสดงในภาพ 6 และอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณกรดในผลก็คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันกับเวลากลางคืน ถ้าอุณหภูมิในตอนกลางวันและกลางคืนแตกต่างกันมาก ปริมาณกรดในผลจะยิ่งมาก (Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996)

อัตราการลดลงของกรดจะสัมพันธ์กันกับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูกาลนั้น ๆ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ผลส้มมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น ทำให้กรดที่สะสมในแวคิวโอลมีปริมาณลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้กระบวนการทางเมตาโบลิซึมเกิดรวดเร็วขึ้น สัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ จะเพิ่มขึ้นในช่วงระยะการเจริญเติบโต ทำให้ผลส้มมีรสชาตินำรับประทานยิ่งขึ้น (Davies and Albrigo, 1994)

ภายหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณกรดในผลส้มเขียวหวานจะลดลง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยปริมาณกรดจะมีการสูญเสียมากยิ่งขึ้นร่วมกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้น (Ting and Attaway, 1971)

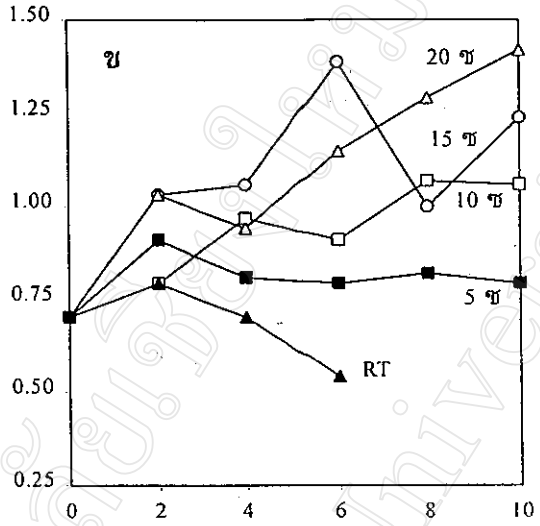
ตาราง 4 ปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำคั้นและในเปลือกของผลส้ม

พันธุ์	น้ำคั้น (ก. / 100 มล.)		เปลือก (มล. / กรัมสด)			
	มาลิก	ซิตริก	มาลิก	ซิตริก	ออกซาลิค	มาโลนิค
ออเรนจ์						
วอชิงตันนาเวล I	0.06	0.56	0.02	0.01	0.11	0.02
วอชิงตันนาเวล II	0.20	0.93	0.02	0.01	0.10	0.03
วาเลนเซีย	0.16	0.98	0.02	Trace	0.13	0.03
แทงเจอรีน						
แดนซี I	0.18	1.22	0.06	0.02	0.15	0.01
แดนซี II	0.21	0.86	0.09	0.02	0.20	0.02
เกรฟฟรุ๊ต						
ม๊าซ	0.06	1.79	0.03	0.01	0.06	0.02
อริโซนา	0.04	2.10	0.10	0.03	0.12	0.02
เทกซัส	0.06	1.19	0.08	0.01	0.08	0.02
มะนาวเทศ						
ยูโรเซีย I	0.17	4.0	0.04	0.04	0.15	0.03
ยูโรเซีย II	0.26	4.38	0.02	0.03	0.12	0.04
มะนาวไทย						
ปาเลสไตน์	0.20	0.08	0.04	Trace	0.05	0.05

ที่มา : Kale and Adsule (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดในผลส้มบางพันธุ์อาจเพิ่มขึ้นได้ เช่นในกรณีที่เก็บรักษาผลส้มโอไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 10 ถึง 15 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพ 6 (จริงแท้, 2542)



ภาพ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดในส้มโอภายหลังการเก็บเกี่ยว
ที่มา : จริงแท้ (2542)

4. วิตามินซี วิตามินหลัก ๆ ที่สำคัญ ที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม คือ วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิค นอกจากนี้ยังพบวิตามินอื่น ๆ อีกได้แก่ provitamin A วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง ไบโอติน กรดโฟลิค ไนอะซิน และ inositol (ตาราง 5) (Kale and Adsule, 1995)

ตาราง 5 ปริมาณวิตามินเอ บี และซี ในผลไม้บางชนิด

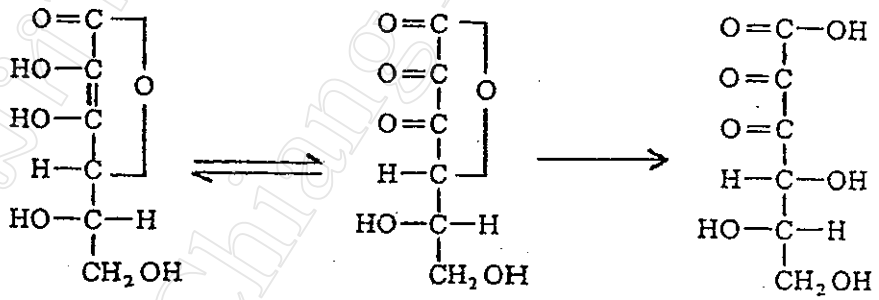
ชนิดผลไม้	วิตามินเอ	วิตามินบี (มก/100 กรัม)			วิตามินซี
	(I.U.)	วิตามินบีหนึ่ง	วิตามินบีสอง	วิตามินบีหก	(มก/100กรัม)
กล้วยหอม	190	0.35	0.06	-	10
ฝรั่ง	280	0.05	0.05	-	242
มะม่วง	4800	0.05	0.05	-	35
ส้มเขียวหวาน	420	0.06	0.02	-	31

ที่มา : ดัดแปลงจาก จริงแท้ (2542)

วิตามินเอส่วนใหญ่อยู่ในรูปของคาโรทีน ซึ่งจัดเป็นสารสีอย่างหนึ่ง มีคุณสมบัติค่อนข้างเสถียร ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักภายหลังการเก็บเกี่ยว แต่ปริมาณคาโรทีนในผลิตผลขึ้นอยู่กับอายุในการเก็บเกี่ยวด้วย คาโรทีนอาจสูญเสียได้มากหากมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลในปริมาณที่สูง

วิตามินบีชนิดต่าง ๆ เช่น วิตามินบีหนึ่ง บีสอง ทำหน้าที่เป็น coenzyme ในปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญหลายอย่างในสัตว์และพืช ปริมาณวิตามินบีไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล (จริงแท้, 2542)

วิตามินซี หรือ กรดแอสคอร์บิค เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายได้ดีในน้ำจึงดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย และกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ร่างกายต้องการวิตามินซีประมาณวันละ 50 มิลลิกรัม วิตามินซีเป็นสารที่รีดิวซ์สารอื่นได้ มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน วิตามินซีที่อยู่ในรูป L-ascorbic acid มีคุณค่าทางชีวภาพถ้าเป็น D-ascorbic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพหรือไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย L-ascorbic acid เมื่อถูกออกซิไดซ์จะเปลี่ยนเป็น dehydro-L-ascorbic acid ปฏิกิริยานี้เปลี่ยนกลับไปมาได้ แต่ถ้า dehydro-L-ascorbic acid ถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น diketo-L-gulonic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ ดังแสดงในภาพ 7 (นิธิยา, 2543)



ภาพ 7 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิค
ที่มา : นิธิยา (2543)

ในผลส้มจะพบกรดแอสคอร์บิคที่เปลือกมากกว่าในน้ำคั้น ปริมาณกรดแอสคอร์บิคในผลส้มจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สายพันธุ์ ความแก่ของผลส้ม เป็นต้น ปริมาณกรดแอสคอร์บิคจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อผลส้มเริ่มมีอายุมากขึ้น กระทั่งผลแก่ จนสามารถเก็บเกี่ยวได้จะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคประมาณ 0.3 ถึง 0.6 มก/มล

ภายหลังการเก็บเกี่ยว ปริมาณกรดแอสคอร์บิคในผลส้มไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้น อัตราการสูญเสียกรดจะเพิ่มมากขึ้น Ting and Attaway (1971) รายงานว่าหลังจากการเก็บรักษาส้มออเร้นจ์ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-6 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เพื่อจำลองสภาพการวางขายในตลาด พบว่ามีการสูญเสียวิตามินซีน้อยมากเมื่อเทียบกับเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิสูง ในส้มเขียวหวานแม้จะมีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน แต่ก็จะมีการสูญเสียกรดแอสคอร์บิคอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ของการเก็บรักษา และพบการสูญเสียเพิ่มมากขึ้นถ้าเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิสูง

5. ฟลาโวนอยด์ เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืช มีสีเหลือง มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายแอนโธไซยานิน และเป็นสารประกอบประเภทกลัยโคไซด์เช่นเดียวกัน (นิธิยา, 2543) โครงสร้างกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม(ภาพ 8 ก) ประกอบด้วยฟลาวาโนน (flavanone) ฟลาวาโนนกลัยโคซัยด์ (flavanone glycoside) เมทอกซีเลทฟลาวาโนน (methoxylate flavanone) และฟลาโวน (flavone) (Kale and Adsule, 1995) นอกจากนี้ยังพบ ฟลาโวนอยด์อื่น ๆ ที่โครงสร้างคล้ายคลึงกับแอนโธไซยานินที่พบในผักและผลไม้ คือ แอนโธแซนธิน (anthoxanthin) โดยชนิดของแอนโธแซนซินที่พบมากคือ ฟลาโวนอยด์เคอร์ซิติน (flavonol quercetin) ซึ่งมีสีเหลือง ซึ่งพบได้ในแอปเปิล ส้ม องุ่น ข้าวโพด ผักโขม หอมหัวใหญ่ และหน่อไม้ฝรั่ง

สารประกอบฟลาโวนอยด์หลัก ๆ ที่พบในผลไม้ตระกูลส้มได้แก่ เฮสเพอริดิน (hesperidin) นารินจิน (naringin) และแทนเจอรีทิน (tangeretin) (ภาพ 8 ข ค และ ง ตามลำดับ) โดยเฮสเพอริดินจะพบมากในส้มเกลี้ยง ส้มแมนดาริน และมะนาวฝรั่ง ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ส่วนนารินจินพบมากในเกรฟฟรุ๊ต ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง (ดนัย, 2540) และ แทนเจอริทีนพบมากในส้มเขียวหวาน (นิธิยา, 2543)

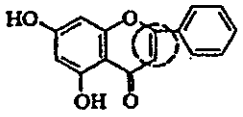
6. ลิโมนิน ลิโมนินเป็นอนุพันธุ์ของไตรเทอพีน (Triterpene) เป็นสารที่ให้รสขมในน้ำคั้น โดยจะพบได้ในผลไม้ตระกูลส้มทุกสายพันธุ์ แต่จะเด่นชัดเพียงไม่กี่สายพันธุ์เท่านั้น ลิโมนินถูกค้นพบครั้งแรกในส้มนาเวลช่วงปีคริสตศักราช 1930 (Davies and Albrigo, 1994) ลิโมนินจะพบมากที่บริเวณเปลือกด้านในหรือที่เรียกว่าชั้น albedo นอกจากนี้ยังพบที่เมล็ด และเยื่อชั้นนอกของเนื้อ

กุ้งในปริมาณที่เล็กน้อย เพราะฉะนั้นการปอกเปลือกและการคั้นน้ำควรระมัดระวังมิให้สารลิโมนินปนเปื้อน เพราะจะทำให้เนื้อและน้ำส้มคั้นมีรสขม (Kale and Adsule, 1995) ปริมาณสารลิโมนินในส้มแต่ละสายพันธุ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น (1) การเลือกใช้ต้นตอ ถ้าใช้ rough lemon เป็นต้นตอ จะพบลิโมนินน้อยกว่าการใช้ต้นตอชนิดอื่น (2) การเก็บเกี่ยว ถ้าปล่อยให้ผลส้มค้างอยู่บนต้นนานจะพบสารลิโมนินในปริมาณที่น้อยกว่าผลส้ม ที่มีการเก็บเกี่ยวเร็ว (Davies and Albrigo, 1994)

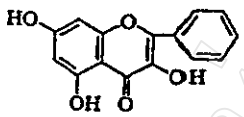
7. เพคติน (Pectins) เป็นองค์ประกอบหลักภายในผนังเซลล์ของผลสด พบมากในส่วน middle lamella โดยทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกัน เพคตินที่พบในผลส้มเป็นโพลิเมอร์ของ galacturonic acidได้แก่ โมเลกุลของ galactose โดยเฉพาะที่เปลือกของผลส้มอาจจะพบ 20-40 % ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตเพคตินที่มีคุณภาพสูงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิต jelling agent เป็นต้น

เปลือกเป็นแหล่งเพคตินพบ 20-40 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง ในเนื้อเยื่อของส่วนที่รับประทานได้จะพบเพคตินในรูปที่ละลายน้ำได้ หรือที่เรียกว่า โปรโตเพคติน

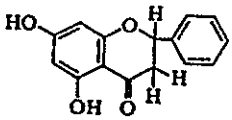
ในอุตสาหกรรมการแปรรูป เพคตินมีความสำคัญมากเนื่องจากเพคตินมีคุณสมบัติเป็นตัว cloud stabilizer (Kale and Adsule, 1995)



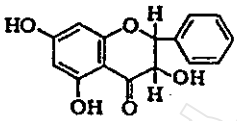
ฟลาโวน



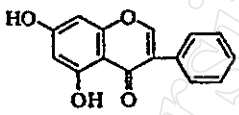
ฟลาโวนอล



ฟลาวาโนน

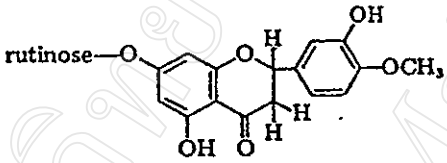


ฟลาวาโนนอล



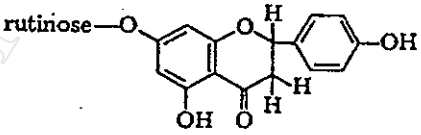
ไอโซฟลาโวน

ก



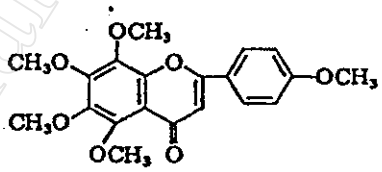
Hesperidin (citrus fruits)
a flavanone

ข



Naringin (citrus peels, e.g., grapefruit)
a flavanone

ค



Tangeretin (tangerines)
a flavanone

ง

ภาพ 8 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของฟลาโวนอยด์แต่ละชนิด

ที่มา : นิธิยา (2543)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

8. น้ำมันเปลือกส้ม (Peel Oil) ในการคั้นน้ำส้มอาจจะทำให้น้ำมันที่เปลือกส้มถูกคั้นติดออกมาด้วย น้ำมันส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของ d-limonene น้ำมันดังกล่าวแม้ว่าจะมีปริมาณน้อยแต่สามารถเพิ่มกลิ่นและรสชาติให้แก่น้ำส้มได้ (Kale and Adsule, 1995)

9. สารระเหย (Volatile Constituents) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผลไม้ตระกูลส้ม เพราะเป็นส่วนประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกลิ่น และ รสชาติของส้ม สารระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น ส่วนใหญ่มีโมเลกุลขนาดเล็ก น้ำหนักโมเลกุลประมาณไม่เกิน 250 และมักมีปริมาณน้อยกว่า 100 ppm เท่านั้น ปริมาณและชนิดของสารระเหยในแต่ละระยะการเจริญเติบโตจะมีอยู่ไม่เหมือนกัน มีทั้งที่เป็น aldehyde, ketone, lactone และกรด ฯลฯ โดยปกติเมื่อผลไม้สุกจะมีทั้งปริมาณและชนิดของสารระเหยมากขึ้น แต่ตัวสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะของผลไม้นั้นมีเพียงไม่กี่ชนิด (ตาราง 6) สารระเหยจะพบมากที่น้ำมันเปลือกส้มในชั้น flavedo และในเยื่อที่หุ้มตัวกุ้ง โดยปริมาณสารในกลุ่ม aldehyde และ ketone จะมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติแก่ผลไม้ตระกูลส้ม (Ting and Attaway, 1971)

ผลิตผลที่เก็บรักษาไว้ที่สภาพควบคุมบรรยากาศ จะสร้างสารระเหยได้น้อยกว่าแม้จะนำออกจากสภาพนั้นแล้วก็ตาม การเก็บรักษาในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำยังทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ เนื่องจากมีการสะสมของอะซีตัลดีไฮด์และเอทธานอลภายในเนื้อผลไม้ (Kale and Adsule, 1995)

ตาราง 6 องค์ประกอบของสารระเหยที่พบในน้ำส้มคั้น

ชนิดขององค์ประกอบ	จำนวนขององค์ประกอบที่พบ	ตัวอย่าง
Alcohols	54	Linalool
		α- Terpineol
		Citronellol
		Methanol
		Ethanol
Aldehydes	41	Acetaldehyde
		Hexanal
		Citronellal
		Geranial
		Neral
Ketones	16	Carvone
		Acetone
Esters	39	Ethyl butyrate
		Methyl butyrate
		Ethy acetate
		Linaly acetate
Hydrocarbons	51	α-Pinene
		Terpinolene
		Valencene
		Limonene
Acids	10	Acetic
		Butyric
Other	12	Ethyl butyl ether
		Linalool oxides

ที่มา : Kale and Adsule (1995)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ดัชนีการเก็บเกี่ยวของส้มแต่ละพันธุ์อาจแตกต่างกัน เช่น ส้มพันธุ์วาเลนเซีย ต้องมีสีผิวเปลี่ยนอย่างน้อยประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ส้มบางพันธุ์ใช้อัตราส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรด และหาปริมาณของน้ำผลไม้ต่อน้ำหนักผล ซึ่งปริมาณจะผันแปรไปตามชนิดและพันธุ์ของส้ม (ดนัย และนิธิยา, 2535) สำหรับส้มเขียวหวานเริ่มเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุประมาณ 9.5 – 10.5 เดือนหลังจากดอกบาน สีผิวเริ่มมีสีเหลือง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ขั้นต่ำ 8.0 - 8.8 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2542)

ในประเทศอินเดีย ส้มแมนดารินจะเก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้ม น้ำส้มมีความเป็นกรด 0.4 เปอร์เซ็นต์ มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 12-14 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (ดนัย และนิธิยา, 2535) มาตรฐานดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศฟิลิปปินส์ แสดงไว้ในตาราง 7

ตาราง 7 มาตรฐานดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มบางพันธุ์ในประเทศฟิลิปปินส์

ชื่อพันธุ์	สีที่เปลี่ยน %	ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ขั้นต่ำ %	ปริมาณกรดที่มีอยู่ขั้นต่ำ %	อัตราส่วนของของแข็งต่อกรด	ปริมาณน้ำส้มขั้นต่ำ โดยน้ำหนัก
วาเลนเซีย	25	8.5	0.5	10 : 1	50
ส้มโอ	50	9.0	0.6	10 : 1	50
ส้มพองแกน	50	8.5	0.5	10 : 1	50
แมนดาริน	ไม่กำหนด	7.5	0.7	7 : 1	50

ที่มา : ดนัย และนิธิยา (2535)

โรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ตระกูลส้ม

โรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ตระกูลส้มมีหลายชนิด เช่น โรคขั้วผลเน่า (stem-end rot) โรคแอนแทรคโนส โรคเน่าสีน้ำตาล โรคเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Alternaria* โรคเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizopus* โรคเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* โรคเน่าราสีน้ำเงิน(blue mold) มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Penicillium italicum* และโรคเน่าราสีเขียว (green mold)ที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา*Penicillium digitatum* ซึ่งเป็นโรคหลังเก็บเกี่ยวที่สำคัญทางเศรษฐกิจของพืชตระกูลส้มทั่วโลก (Smilanick *et al.*, 1995)

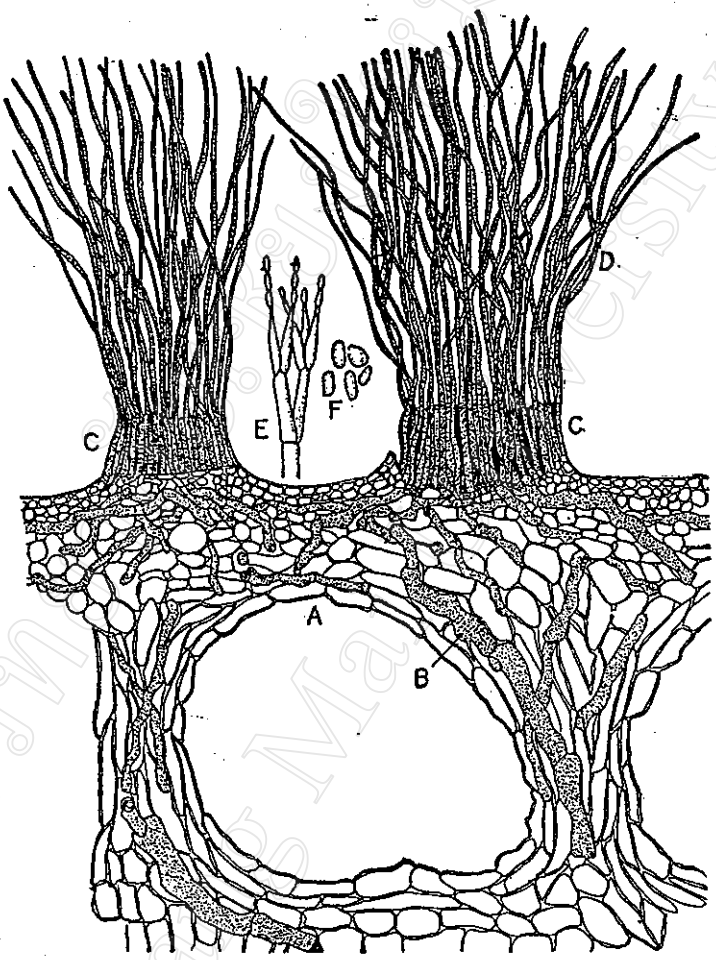
โรคเน่าราสีเขียวของผลส้ม

เชื้อสาเหตุ *Penicillium digitatum* Sacc. รูปร่างลักษณะของเชื้อสาเหตุ ลักษณะของโคโลนีบนอาหาร sugar gelatin, potato agar และ bean agar จะมีสีเขียวมะกอก รูปร่างไม่แน่นอน เส้นใยแตกเป็นกิ่งก้าน 2 – 3 กิ่ง และเส้นใยเจริญยกตัวขึ้นมาเหนืออาหาร สปอร์ (conidia) และก้านชูสปอร์ (conidiophore) มีลักษณะสั้น ในบางครั้งพบโคโลนีที่มีสีน้ำตาลหรือสีดำด้วย ก้านชูสปอร์เจริญมาจากส่วนฐานประมาณ 30 – 100 X 4 – 5 ไมโครเมตร สายของสปอร์มักจะพันกันยาวประมาณ 160 ไมโครเมตร มีสปอร์ 13 – 16 อัน ซึ่งมีรูปทรงกระบอก หรือทรงกลมขนาด 4 – 7 X 6 – 10 ไมโครเมตร ขนาดและรูปร่าง conidia แต่ละสายจะมีลักษณะที่คล้ายกัน (ภาพ 9)

ลักษณะอาการของโรคเน่าราสีเขียว เชื้อราสาเหตุ *Penicillium sp.* เป็นปาราสิตอย่างอ่อน สามารถเข้าทำลายผลิตผลทางบาดแผลเท่านั้น อาการจะเริ่มที่เปลือกของผลส้ม โดยเกิดเป็นจุดฉ่ำน้ำที่เปลือก เนื้อเยื่อจะนิ่ม แผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร แผลจะค่อย ๆ ขยายออกไปเป็นวงกว้าง เมื่อกดด้วยนิ้วจะทะลุถึงส่วนที่เป็นเนื้อได้ ต่อมาลักษณะอาการนิ่มนี้จะเกิดทั่วทั้งผล บริเวณที่เป็นจุดฉ่ำน้ำจะมีเส้นใยสีขาวเจริญปกคลุม เส้นใยจะมีลักษณะย่น หรือเกิดการขมวดตัวของเส้นใย และมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะสร้างกลุ่มของสปอร์สีเขียวมะกอกขึ้นมาตรงบริเวณกลางแผล สปอร์สีเขียวมะกอกดังกล่าวจะฟุ้งกระจายได้ง่าย

ดนัย (2540) กล่าวถึงลักษณะอาการของแผลที่เด่นชัดและค่อนข้างเฉพาะตัวของโรคเน่าราสีเขียว เอาไว้ดังนี้

- เส้นใยสีขาวจะเกิดขึ้นก่อนและขยายตัวไปพร้อม ๆ กับการนิ่มของผล แล้วจึงมีกลุ่มของสปอร์สีเขียวมะกอกขึ้นภายหลัง
- ส่วนของเส้นใยสีขาว จะมีลักษณะที่ติดอยู่กับเปลือก แต่สปอร์สีเขียวจะอยู่บนผิวและปลิวได้ง่าย



ภาพ 9 เชื้อรา *Penicillium digitatum* Sacc. ที่เข้าทำลายบริเวณผิวส้ม

A คือ ต่อมน้ำมัน B คือ เส้นใยของเชื้อรา

C คือ ลักษณะของแผลที่เป็นตุ่ม D คือ ก้านชูสปอร์

E คือ สปอร์ที่เกิดบริเวณปลายเส้นใย F คือ สปอร์

ที่มา : Fawcett, 1936.

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเข้าทำลายของเชื้อรา *Penicillium* ประสบความสำเร็จได้แก่ จำนวนสปอร์ของเชื้อรา และความลึกของบาดแผล บาดแผลที่ลึกถึงแค่ชั้น flavedo หรือบริเวณส่วนนอกสุดของเปลือก เป็นส่วนที่มีสีส้ม เหลือง ของชั้นเปลือกหุ้มผลพบว่ามีอัตราการเข้าทำลายต่ำ เนื่องจากบาดแผลที่ผลส้มจะมีการพัฒนาในการต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อรา เป็นผลมาจากการเกิด lignification และบาดแผลแห้ง แต่บาดแผลที่ลึก 2-3 มิลลิเมตร ซึ่งลึกจนถึงชั้น albedo หรือบริเวณส่วนสีขาวลักษณะคล้ายฟองน้ำของชั้น เปลือกหุ้มผล พบว่ามีอัตราการเข้าทำลายที่สูง (Eckert and Brown, 1992)

การควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้สารเคมี

โรคหลังเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ สามารถลดความรุนแรงลงโดยวิธีการเพิ่มความต้านทานให้กับผักและผลไม้ เช่น เก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำ เก็บรักษาในสภาพออกซิเจนต่ำ และการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตเพื่อชะลอกระบวนการเสื่อมสภาพของผลิตผล อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวอาจจะไม่พอเพียงต่อการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องเก็บรักษาผลิตผลไว้เป็นระยะเวลานานๆ หรือในระหว่างการขนส่งผลิตผลไปยังตลาดต่างประเทศ กรณีข้างต้นจะเห็นได้ชัดกับผลิตผลเมืองร้อน ซึ่งจะแสดงอาการผิดปกติเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำใกล้กับจุดเยือกแข็ง เช่น กล้วยมันเทศ มะนาว และมะละกอ เป็นต้น การใช้สารเคมีบางชนิดควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวจะส่งผลให้ผลิตผลบางชนิดมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นในสภาพที่เหมาะสมได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้จะไม่มีผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของผลิตผล อย่างไรก็ตามสารเคมีจะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อผลิตผลมีคุณภาพดี และเก็บรักษาหรือขนส่งในสภาพที่เหมาะสม ซึ่งสภาพดังกล่าวจะทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เกิดได้ช้าลง

การเลือกใช้สารเคมีฆ่าเชื้อราเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันกำจัดโรคหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับความอ่อนแอของเชื้อราต่อสารเคมี ความสามารถของสารเคมีในการผ่านเนื้อเยื่อของผลิตผลไปสู่บริเวณที่เชื้อราเข้าทำลาย และความทนต่อสารเคมีของผลผลิตทั้งในแง่การเกิดพิษต่อผลิตผล และผลกระทบที่อาจเกิดกับรสชาติของผลิตผล (ดนัย, 2543)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีสารเคมีให้เลือกใช้จำนวนมาก แต่การพัฒนาสารใหม่ๆ มีน้อยมาก ทั้งนี้เพราะตลาดสารเคมีที่ใช้กับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างเล็ก นอกจากนี้ในปัจจุบันสาธารณชนยังห่วงกังวลถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้สารเคมีใหม่ ๆ มากกว่าประโยชน์ที่จะได้รับ อีกทั้งกฎระเบียบต่าง ๆ เน้นความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมาก เช่น การกำหนดปริมาณสารตกค้าง งานวิจัยปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปในการใช้วิธีการที่ไม่ใช้สารเคมี นอกจากนั้นเชื้อ

จุลินทรีย์ยังมีความสามารถในการพัฒนาตัวเองให้ต้านทานต่อสารเคมีด้วย ทำให้การพัฒนาสารเคมีใหม่ ๆ มีน้อยมาก(จริงแท้, 2542)

ลักษณะการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้สารเคมี

สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทตามลักษณะการควบคุม สารบางอย่างอาจเป็นได้หลายประเภทเพราะมีฤทธิ์ต่อเชื้อจุลินทรีย์อย่างกว้างขวาง (จริงแท้, 2542)

1. Sanitation หมายถึงประเภทที่ใช้เพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ทั้งที่เป็นเส้นใย ส่วนขยายพันธุ์ หรือส่วนเจริญอื่น ๆ ที่ติดมากับผิวของผลิตผล ได้แก่ คลอรีน ซึ่งจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกรด hypochlorous ในน้ำ มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ เช่น formaldehyde และ isopropyl alcohol ใช้สำหรับกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจัดการผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว เช่น ภาชนะบรรจุ สายพาน และห้องเย็น นอกจากนี้ยังมีสารที่อยู่ในรูปของแก๊ส ได้แก่ SO_2 ใช้ในองุ่น ethylene oxide ใช้ในผลไม้แห้ง และ O_3 ใช้ในห้องเก็บรักษา

2. Protection หมายถึงประเภทที่ใช้เพื่อยับยั้งการงอกของสปอร์หรือยับยั้งการเจริญของเส้นใยที่มีอยู่บนผลิตผล ได้แก่ SOPP (Sodium orthophenylphenate) ใช้ควบคุมเชื้อ *Geotrichu* ในมะเขือเทศและส้ม potassium sorbate ใช้ควบคุม *Rhizopus*, *Penicillium*และ *Aspergillus* 2,6 dichloro-4-nitroaniline (DCNA) ใช้ควบคุม *Rhizopus*

3. Suppression หมายถึงประเภทที่ใช้เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เข้าแฝงตัวอยู่ในผลิตผลแล้วตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยว สารเคมีหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในข้อ (2) ก็มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แบบนี้ได้ เช่น DCNA ใช้ควบคุม *Botrytis* ในมะเขือเทศ การใช้สารเคมีประเภทนี้เป็นสารเคมีให้ได้ผลอาจต้องใช้มาตรการอื่นประกอบ เช่น การใช้ความร้อนและตัวทำละลายแอลกอฮอล์ช่วยให้สารเข้าไปในผลิตผลได้มากขึ้น

4. Therapy หมายถึงประเภทที่ใช้เพื่อฆ่าทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่แฝงตัวอยู่ในผลิตผล สารเคมีที่มีคุณสมบัติแบบนี้มีน้อยชนิด มีใช้กันมากในการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืช เช่น กรด acetic-propionic ในผลไม้แห้งใช้ ethylene oxide และ propylene oxide ในองุ่นใช้ SO_2 การใช้ความร้อนและรังสีในการควบคุมโรคก็จัดว่าเป็นการควบคุมโรคประเภทนี้เช่นกัน

ดนัย (2543) กล่าวถึงสารเคมีที่นิยมใช้ควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของส้ม โดยละเอียดดังนี้

1. ออโธ-ฟีนิลฟีนอล (Ortho-phenylphenol) เป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มใหญ่มาก เพราะจะเป็นพิษต่อเชื้อรา แบคทีเรีย และตัวผลิตผลเองด้วย สารประกอบฟีนอลที่ไม่แตกตัวจะฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ และเป็นพิษต่อผลิตผล เมื่อใช้ในอัตราความเข้มข้น 200-400 มก/ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสารละลายและระยะเวลาที่ใช้ แต่สารประกอบออโธฟีนิลฟีเนตซึ่งมีประจุบวกจะไม่เป็นพิษต่อพืชและสารละลายโซเดียมออโธฟีนิลฟีเนต หรือ SOPP นับเป็นสารเคมีที่ปลอดภัยต่อการใช้กับผัก และผลไม้

ประโยชน์ของการใช้สารเคมีโซเดียมออโธ-ฟีนิลฟีเนต มีสองประการ คือ สปอร์ของเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งอยู่ที่ผิวของผลิตผลหรือในน้ำที่ใช้ล้างผลไม้จะถูกฆ่าหมด และสารออโธ-ฟีนิลฟีนอลซึ่งตกค้างอยู่บริเวณแผลจะป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่บริเวณแผลในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาได้ วิธีการใช้ทำได้หลายวิธี เช่น แช่ผลไม้ลงในสารละลาย SOPP นาน 1-3 นาที หรือให้ SOPP ไหลผ่านผลไม้ และใช้ฟองของ SOPP ทาให้ทั่วผลิตผลด้วยแปรงนาน 15 นาที ในทุกกรณีผลิตผลจะถูกล้างด้วยน้ำ ฟองของ SOPP 0.5 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับโซเดียมลอรีลซัลเฟต (Sodium Lauryl Sulfate)0.3 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันโรคและการกระทบกระเทือนเมื่อใส่ผลิตผลลงในภาชนะ

2. ไบฟีนีล (Biphynyl) เป็นสารเคมีซึ่งใช้ผสมลงไปกับภาชนะบรรจุผลไม้พวกส้ม สารไบฟีนีลจะระเหยกลายเป็นไออยู่ในกล่องป้องกันการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Penicillium digitatum* และ *P.italicum* ในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา ไบฟีนีลก่อให้เกิดปัญหา 3 ประการ ซึ่งเป็นข้อจำกัดการใช้กับผลิตผลหลังเก็บเกี่ยว คือผลิตผลที่ได้รับสารไบฟีนีลจะมีกลิ่นของสารเคมีชนิดนี้เป็นระยะเวลาหนึ่ง สารเคมีไบฟีนีลจึงใช้ได้เฉพาะกับผลไม้ตระกูลส้มเพราะจะเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นน้อยมาก แต่กับผลิตผลชนิดอื่นยังไม่มีการนำสารเคมีชนิดนี้ไปใช้ พิษตกค้างของไบฟีนีลบนผลิตผลอาจจะเกิน 70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่ตลาดญี่ปุ่นและยุโรปไม่ยอมรับ ปัญหานี้จะเกิดมากกับผลิตผลซึ่งดูดซับสารชนิดนี้ไว้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลิตผลไม่ได้รับการขนส่งด้วยอุณหภูมิต่ำเพียงพอ และประการสุดท้ายคือ *Penicillium* บางสายพันธุ์ต้านทานต่อสารเคมีไบฟีนีล และยังทำให้เกิด Cross-resistant ต่อออโธ-ฟีนิลฟีนอลในโรงคัดบรรจุส้มด้วย

3. บิวทีลามีน (Butylamine) เป็นสารเคมีที่ใช้กับผลิตผลหลังเก็บเกี่ยวโดยใช้การรมหรือในรูปสารละลายของเกลือบิวทีลามีน การใช้สารเคมีชนิดนี้รมผลไม้ตระกูลส้มจะช่วยควบคุมเชื้อรา *Penicillium* ได้ บริเวณแผลของผลิตผลเมื่อได้รับไอของแอมมีน (amine) จะทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นมีสภาพเป็นด่างและมีผลในการระงับการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งเกิดจากพิษตกค้างของบิวทีลมีน

ที่เป็นกลาง บิวทีลแอมโมเนียมที่มีประจุบวก (Sec-butylammonium cation) เป็นสารเคมีที่ระงับการเจริญของเชื้อราหลายชนิด ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา มีการใช้บิวทีลามีนเข้มข้น 11 เปอร์เซ็นต์ โดยอยู่ในสภาพของเกลือฟอสเฟตหรือคลอไรด์ ซึ่งมีความเป็นกรดเป็นด่าง 9 ในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา *Penicillium* กับผลไม้ตระกูลส้ม โดยใช้ในขณะกำจัดสีเขียว และระหว่างการเก็บรักษา

4. เบนซิมิดาโซล (Benzimidazole) สารเคมีฆ่าเชื้อราในกลุ่มนี้คือ ไธอะเบนดาโซล บีโนมล คาร์เบนดาซิม และไธโอฟาเนต-เมทธิล สารเคมีฆ่าเชื้อรากลุ่มนี้ยังมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันการเข้าทำลายทางแผลของเชื้อราหลายชนิด ในระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่อัตราความเข้มข้นสูงของไธอะเบนดาโซล (ประมาณ 4-6 กรัม/ลิตร) และบีโนมีล (2-3 กรัม/ลิตร) สามารถป้องกันการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Penicillium* และเชื้อราชนิดอื่น ๆ บนผิวของผลไม้ที่เป็นโรคได้ ดังนั้นจึงทำให้เบนซิมิดาโซลสามารถใช้ทดแทนไบฟีนีลได้ และใช้ควบคุมโรคของผลไมตระกูลส้มได้ดี แต่ในปัจจุบันมีรายงานว่า เชื้อรา *Penicillium* สามารถต้านทานสารเคมีในกลุ่มนี้ได้แล้ว

5. อิมาซาลิล (Imazalil) อิมาซาลิลสามารถใช้ในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวโดยการสลับกับสารเคมีในกลุ่มไธอะเบนดาโซลและบีโนมีลได้ อิมาซาลิลมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา *P. digitatum* และ *P. italicum* ในผลไม้ตระกูลส้ม รวมถึงสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้านทานต่อไธอะเบนดาโซล บีโนมีล SOPP และ sec-butylamine อิมาซาลิล ใช้เพื่อป้องกันโรครวมทั้งระงับการสร้างสปอร์ของเชื้อรา ซึ่งอย่างน้อยที่สุดมีผลเท่าหรือดีกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับบีโนมีล วิธีการใช้อาจจะแช่ ฉีดพ่น และ drench การฉีดพ่นจะได้ผลดีเมื่อฉีดพ่นเหนือลูกกลิ้งที่เป็นแปรง

ปัจจุบันการใช้สารเคมีเพื่อควบคุมโรคเน่าราสีเขียวหลังการเก็บเกี่ยวของส้มมีปัญหามากขึ้น เช่น ปัญหาการดื้อยาของเชื้อรา *Penicillium.* ต่อไบฟีนีล SOPP เบนโนมิล และอิมมาซาลิล เป็นต้น รวมทั้งเรื่องของความปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง ซึ่งเมื่อผลจากข้อตกลงขององค์การการค้าโลก (World Trade Organization; WTO) เริ่มใช้แล้วนั้น สิ่งที่อาจจะเป็นปัญหาคือเรื่องของความปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง ดังนั้นหากประเทศไทยซึ่งรวมทั้งชาวสวนส้มได้เริ่มเตรียมมาตรการในสิ่งเหล่านี้ตั้งแต่บัดนี้ จะสามารถช่วยลดปัญหาหรือพร้อมที่จะแก้ไขได้ง่ายขึ้นในอนาคต

แนวทางในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของส้มในปัจจุบันมีหลายแนวทาง ได้แก่ การควบคุมโรคโดยชีววิธี หมายถึงการใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ (antagonist) ควบคุมเชื้อสาเหตุโรค เช่น การใช้เชื้อ *Candida saitoana* เชื้อ *Debareomyces hanseneii* และเชื้อ *Pseudomonas syrinage*

strains ESC-11 เป็น antagonist ควบคุมเชื้อรา *Penicillium digitatum* สาเหตุโรคเน่าราสีเขียวของส้ม หรือการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของส้มโดยใช้สารที่ไม่มีพิษตกค้าง หรือมีก็มีน้อยมากเป็นที่ยอมรับได้ เช่น อะซีตัลดีไฮด์ และ เอทธานอล ซึ่งเป็นสารที่พืชสามารถสังเคราะห์ขึ้นเองตามธรรมชาติ ดังแสดงไว้ในตาราง 6 (Smilanick *et al.*, 1995)

สารอะซีตัลดีไฮด์

อะซีตัลดีไฮด์เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มอัลดีไฮด์ มีหมู่คาร์บอนิล (- COH) อยู่ปลายสุด มีทางสูตรเคมี CH_3COH ชื่อสามัญคือ Acetaldehyde

คุณสมบัติบางประการของอะซีตัลดีไฮด์

อะซีตัลดีไฮด์มีมวลโมเลกุล 44.05 มีสภาพเป็นก๊าซหรือสารเหลว ไม่มีสี จุดเดือดที่ 20 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะที่ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.80 มีคุณสมบัติในการติดไฟได้ดี เป็นไอรวมกับอากาศได้ มีความสามารถในการละลายน้ำ แอลกอฮอล์ และน้ำมันระเหย (William and Brown, 1998)

เอทธานอล (Ethanol)

เป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีสูตรทางเคมี $CH_3 CH_2 OH$

คุณสมบัติบางประการของเอทธานอล

เป็นสารละลายที่ไม่มีสี มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 46 มีจุดเดือดที่ 78 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติในการติดไฟได้ดี สามารถละลายน้ำและสารอินทรีย์อื่น ๆ ได้ดี (William and Brown, 1998)

ในธรรมชาติพบสารอะซีตัลดีไฮด์ และเอทธานอล ในผลไม้ที่เริ่มเข้ากระบวนการสุก มีความสำคัญต่อการพัฒนาคุณภาพด้านรสชาติของผลไม้ที่แสดงออกระหว่างการสุก ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้ได้ (ดนัย, 2543)

ผลของสารอะซีตัลดีไฮด์ และเอทธานอล ต่อคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

การใช้อะซีตัลดีไฮด์จะมีผลต่อกระบวนการสุกของผลไม้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจ มีรายงานว่าไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์ช่วยกระตุ้นกระบวนการสุกของสาลี่และมะเดื่อ โดยพบว่าอัตราการหายใจและปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกรดมาลิคจะลดลง Pez *et al.* (1982) ศึกษาการเพิ่มคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้อะซีตัลดีไฮด์และเอทธานอล อธิบายว่าการใช้ไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์จะช่วยเพิ่มคุณภาพ ทั้งรสชาติและกลิ่นของบลูเบอรี่ มะเขือเทศ และสาลี่ ซึ่งรวมถึงเพิ่มปริมาณน้ำตาลในผลิตผลดังกล่าว

Hewage *et al.* (1995) อ้างโดยวรุณรักษ์ (2540) รายงานผลที่เกิดจากการใช้อะซีตัลดีไฮด์ 1 หรือ 4 มิลลิลิตร (มล) ต่อผลกล้วย 1 กิโลกรัม (กก) ในภาชนะปิดสนิทขนาดบรรจุ 3 ลิตร ช่วยรักษาความแน่นเนื้อ ป้องกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณกรดที่สามารถไตเตรทได้ (TA) และเมื่อใช้อะซีตัลดีไฮด์ 86 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ก๊าซไนโตรเจน 97 เปอร์เซ็นต์ กับผลท้อ และ ผลเนคทารีน (nectarines) นาน 24 ชั่วโมง ทันทีหลังการเก็บเกี่ยว สามารถชะลอการอ่อนตัวของผลไม้ได้ดีกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าผลท้อ และเนคทารีน มีสารประกอบเพคตินในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (protopectin) สูงกว่า รวมทั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีกาแลคตูโรเนส (poltgalacturonase) เพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ทั้งยังกระตุ้นให้เกิดกลิ่นในผลไม้สุกได้ชัดเจน

Morris *et al.* (1979) รายงานว่าผลสตรอเบอรี่ที่ได้รับสารอะซีตัลดีไฮด์ในรูปของสารระเหยที่ระดับความเข้มข้น 1500–1600 ไมโครลิตรต่อลิตร เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้เกิดสารระเหยของแอลกอฮอล์ เอทิลอะซีเตต และ เอทิลบิวเรต ในน้ำคั้น ซึ่งส่งผลให้กลิ่นและรสชาติดีขึ้น ขณะที่ความเข้มข้น 3000 – 6000 ไมโครลิตรต่อลิตร เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่น การใช้ไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์ร่วมกับวิธีแช่ลงในสารอะซีตัลดีไฮด์ สามารถลดการสูญเสียสีแดงของสตรอเบอรี่และช่วยรักษาสีในช่วงการเก็บรักษา ป้องกันการเกิดจุดสีน้ำตาล (browning) และลดการสูญเสียของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

Pesis and Frenkel (1989) ศึกษาผลของการใช้ไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์ต่อคุณภาพของผลองุ่น (*Vitis vinifera* L.) พันธุ์ Perlette และ Sultanina ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 13 % ถึง 14 %) และมีความเป็นกรดสูง โดยการใช้ไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.2 % ถึง 0.9 % เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำคั้นขององุ่นมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น มีความเป็นกรดลดลงและยังช่วยเพิ่มรสชาติขององุ่นได้

การใช้สารอะซีตัลดีไฮด์ และเอทธานอล ควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยว

Aharoni and Stadelbacher (1973) ศึกษาความเป็นพิษของไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์ต่อเชื้อจุลินทรีย์สาเหตุของโรคหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ พบว่าไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.25 % ถึง 20.0% เป็นระยะเวลา 0.50 ถึง 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง สามารถควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหกชนิดที่นำมาทดลองได้ โดยอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอะซีตัลดีไฮด์และระยะเวลาที่ใช้ในการรมสาร ดังแสดงไว้ในตาราง 8

Stadelbacher and Prasad (1974) รายงานว่าสามารถควบคุมการเน่าเสียของผลแอปเปิลจากเชื้อรา *Penicillium expansum* โดยการรมด้วยไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ (v/v) เป็นระยะเวลา 180 นาที ความเข้มข้น 1 % เป็นเวลา 120 นาที ที่ความเข้มข้น 2 % เป็นเวลา 60 นาที และที่ความเข้มข้น 3 % เป็นเวลา 30 นาที ทุกวิธีการไม่ทำให้ผลแอปเปิลเกิดบาดแผลที่ผิว ไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ เมื่อนำไอระเหยของอะซีตัลดีไฮด์มาควบคุมโรคเน่าของสตรอเบอรี่ที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Botrytis cinerea* หรือจากเชื้อรา *Rhizopus stolonifer* พบว่าให้ผลการควบคุมโรคได้ดีเช่นกัน โดยการรมสารที่ความเข้มข้น 1% (v/v) เป็นระยะเวลา 60 นาที และที่ความเข้มข้น 4% เป็นระยะเวลา 20 นาที พบว่าให้ประสิทธิภาพในการควบคุมโรคได้ดีที่สุด รวมถึงสามารถฆ่าสปอร์ของเชื้อราทั้งสองชนิดได้ดี และไม่ทำให้ผลสตรอเบอรี่เสียหายเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

วรุณรักษ์ (2540) ศึกษาการใช้อะซีตัลดีไฮด์ควบคุมโรคเน่าเสียของผลลำไยพันธุ์ดอและพันธุ์เบี้ยวเขียว โดยใช้สารอะซีตัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 100 % ที่ปริมาตรต่าง ๆ กัน คือ 10 และ 20 มิลลิลิตร วางลงในกล่องปิดสนิทที่บรรจุผลลำไยพันธุ์ดอ ปริมาตร 800 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 15 , 30 นาที 1 3 5 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่าการใช้สารอะซีตัลดีไฮด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 9 ชั่วโมง มีผลควบคุมโรคจากเชื้อราของผลลำไยพันธุ์ดอ และพบว่าลำไยในกลุ่มที่ได้รับสารเป็นเวลานาน 5 9 และ 12 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ สารอะซีตัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันคือ 20 40 80 และ 100 % โดยใช้สารอะซีตัลดีไฮด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในกล่องปิดสนิทที่บรรจุลำไยพันธุ์ดอขนาด 8000 มิลลิลิตร ในระยะเวลา 4 8 และ 12 ชั่วโมง พบว่าที่ความเข้มข้น 40% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้ มีผลในการฆ่าเส้นใยของเชื้อรา *Lasiodilodia* sp., *Fusarium* sp., *Pestalotiopsis* sp. และ *Curvularia* sp. บนอาหาร PDA และสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *Fusarium* sp., *Pestalotiopsis* sp. และ *Curvularia* sp. บนสไลด์ หลังการบ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ตาราง 8 ผลของความเข้มข้นของอะซีตัลดีไฮด์และระยะเวลาที่รม ต่ออัตราการตายของเชื้อจุลินทรีย์

% Aa	ระยะเวลาที่ใช้รมสาร (นาที)	% การตาย					
		Botrytis cinerea	*Penicillium expansum*	*Rhizopus stolonifer*	*Monilinia fructicola*	*Erwinia carotovora*	*Pseudomons fluorescens*
0.25	60	0	0	0	17	100	0
0.25	90	0	0	0	100	100	100
0.50	60	50	0	0	17	100	34
0.50	90	50	0	0	100	100	100
0.50	120	-	100	17	-	-	-
0.75	60	100	0	0	17	100	100
0.75	90	100	0	100	100	100	100
0.75	120	-	100	-	-	-	-
1.00	60	100	0	0	17	100	100
2.00	30	100	17	50	100	100	100
4.00	5	0	0	0	0	0	0
4.00	20	0	17	0	100	100	100
6.00	5	83	100	0	100	100	0
6.00	20	100	-	100	-	-	-
8.00	5	100	100	0	100	100	100
10.00	10	100	100	100	100	100	100
15.00	5	100	100	100	100	100	100
20.00	0.50	100	100	100	100	100	100
Control	-	0	0	0	0	0	0

ที่มา : Aharoni and Stadelbacher (1973)

ตาราง 8 ผลของความเข้มข้นของอะซีตัลดีไฮด์และระยะเวลาที่รม ต่ออัตราการตายของเชื้อจุลินทรีย์

% Aa	ระยะเวลาที่ใช้รมสาร (นาที)	% การตาย					
		Botrytis cinerea	*Penicillium expansum*	*Rhizopus stolonifer*	*Monilinia fructicola*	*Erwinia carotovora*	*Pseudomons fluorescens*
0.25	60	0	0	0	17	100	0
0.25	90	0	0	0	100	100	100
0.50	60	50	0	0	17	100	34
0.50	90	50	0	0	100	100	100
0.50	120	-	100	17	-	-	-
0.75	60	100	0	0	17	100	100
0.75	90	100	0	100	100	100	100
0.75	120	-	100	-	-	-	-
1.00	60	100	0	0	17	100	100
2.00	30	100	17	50	100	100	100
4.00	5	0	0	0	0	0	0
4.00	20	0	17	0	100	100	100
6.00	5	83	100	0	100	100	0
6.00	20	100	-	100	-	-	-
8.00	5	100	100	0	100	100	100
10.00	10	100	100	100	100	100	100
15.00	5	100	100	100	100	100	100
20.00	0.50	100	100	100	100	100	100
Control	-	0	0	0	0	0	0

ที่มา : Aharoni and Stadelbacher (1973)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุพันธุ์พืช

1.1 ผลส้มเขียวหวาน มาตรฐานเบอร์ 0 มาจากแหล่งปลูกในจังหวัดแพร่

1.2 นำตัวอย่างผลส้มเขียวหวาน ที่มีอาการของโรคราสีเขียวปรากฏบนผล มาแยกเชื้อราสาเหตุโรคออกมาให้เป็นเชื้อบริสุทธิ์โดยวิธี tissue transplanting เมื่อได้เชื้อราสาเหตุแล้วจึงเก็บไว้ศึกษาตามหัวข้อต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต้องปลูกเชื้อต่อไป

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องวัดสี (Chroma meter) ของบริษัท Minolta ตัวเครื่อง CR-300 หัววัด CR-310 และใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 ซึ่งวัดสีออกมาเป็น L* a* และ b* โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ

โดยค่า L* = The lightness factor (value)

a*, b* = The chromaticity coordinates (hue, chroma)

C* = Chroma ($C^* = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$)

h° = Hue angle (h° = arctangent b*/a*)

เมื่อ L* มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายถึงวัตถุมีสีคล้ำ หากค่า L* เข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีความสว่าง

a* มีค่าเป็นบวก หมายถึงวัตถุมีสีแดง หากมีค่าเป็นลบ หมายถึงวัตถุมีสีเขียว

b* มีค่าเป็นบวก หมายถึงวัตถุมีสีเหลือง หากมีค่าเป็นลบ หมายถึงวัตถุมีสีน้ำเงิน

ทั้ง a* และ b* หากมีค่าเป็นศูนย์ หมายถึงวัตถุมีสีเทา

C* มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายถึงวัตถุมีสีซีดจาง (เทา) หากมีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึงวัตถุมีสีเข้ม

h° มีค่าเข้าใกล้มุม 90 องศา หมายถึงสีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง (+b) หากมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว (-a)

2.2 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand Refractometer) ของบริษัท ATAGO รุ่น N1 อ่านค่าตั้งแต่ 0-32 องศาบริกซ์ (Brix)

2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบทศนิยม 2 ตำแหน่งของบริษัท Sartorius รุ่น BA 3100P และแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง ของบริษัท Mettler Toledo รุ่น AB 54

2.4 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่างของบริษัท Hanna รุ่น HI 6021

2.5 เครื่องปั่นแยกน้ำแยกกาก ของบริษัท Moulinex รุ่น 753

2.6 Water bath

2.7 ตู้เขี่ยเชื้อ

2.8 พลาสติกโพลีเอทธิลีน และ พลาสติกโพลีเอทธิลีนที่มีความหนาแน่นสูง

2.9 กระดาษกรอง Whatman No.1

2.10 เครื่องแก้ว

- บีกเกอร์
- หลอดทดลอง
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- Volumetric flask
- แท่งแก้วคน
- ปิเปต
- บิวเรท
- จานเลี้ยงเชื้อ (Petridish)
- เข็มเขี่ยเชื้อ
- ช้อนตักสาร
- กรวยกรอง
- ขวดปิดสนิท (sealed vial)

2.11 เครื่อง Headspace Sampler ของบริษัท Hewlett Packard รุ่น HP 7694 E

2.12 เครื่อง Gas Chromatography (GC) ของบริษัท Hewlett Packard รุ่น HP-6890 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Detector : Flame ionization detector (FID)
- Column : FFAP ขนาด ยาว 25 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 320 ไมครอน ความหนาของฟิล์ม 0.52 ไมครอน
- Carrier gas : ก๊าซฮีเลียม โดยมี ก๊าซไนโตรเจน เป็น make up flow
- อุณหภูมิ column : 40 °ซ เป็นเวลา 6 นาที จากนั้นทุก ๆ 1 นาที เพิ่มทีละ 1 °ซ จนถึง 180 °ซ ใช้เวลา 15.33 นาที

3. สารเคมีและการเตรียมสารเคมี

3.1 สารเคมีที่ใช้หาปริมาณกรดที่ไตเตรตได้

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide , Merck) เตรียมความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มล

3.2 สารเคมีที่ใช้หาปริมาณวิตามินซี

- กรดออกซาลิก (Oxalic acid, Merck) เตรียมกรดออกซาลิกเข้มข้น 0.4 % โดยชั่งกรดออกซาลิกมา 4 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มล.

- 2 , 6 – ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล (2 , 6 – dichlorophenol – indophenol , Merck) เข้มข้น 0.04% เตรียมโดยชั่ง 2,6 ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล 0.04 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มล. แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำ

- กรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน (Ascorbic acid , Merck) ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.001 กรัม ละลายในกรดออกซาลิกเข้มข้น 0.4% ปริมาตร 40 มล แล้วนำไปไตเตรตกับ 2 , 6 – ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล เข้มข้น 0.04% จนถึงยุติ แล้วบันทึกปริมาตร 2 , 6 – ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ไปเพื่อเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาปริมาณวิตามินซี

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมโรคเน่าราสีเขียว

- โซเดียมออโธฟีนิลฟีเนต (SOPP)
- เบนเลท (Benlate OD)
- ไบฟีนิล (Biphenyl)
- อะซีตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde)
- เอทธานอล (Ethanol)

4. สถานที่ทำการทดลอง

4.1 ห้องปฏิบัติการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

4.2 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การทดลองที่ 1 วิธีการควบคุมโรคโดยใช้เอทธานอล และอะซีตัลดีไฮด์

ควบคุมโรคเน่าราสีเขียวหลังการเก็บเกี่ยวของผลส้มเขียวหวาน โดยใช้เอทธานอล และอะซีตัลดีไฮด์ เปรียบเทียบกับการควบคุมโรคโดยใช้สารเคมี

วางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

ตอนที่ 1 การควบคุมโรคโดยวิธีการแช่ผลส้มเขียวหวาน ลงในสารเคมี ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วินาที รวมมี 14 กรรมวิธี คือ

กรรมวิธีที่ 1 แช่เอทธานอล ความเข้มข้น 10 %
กรรมวิธีที่ 2 แช่เอทธานอล ความเข้มข้น 20 %
กรรมวิธีที่ 3 แช่เอทธานอล ความเข้มข้น 40 %
กรรมวิธีที่ 4 แช่อะซีตัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 0.5 %
กรรมวิธีที่ 5 แช่อะซีตัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 1.0 %
กรรมวิธีที่ 6 แช่อะซีตัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 1.5 %
กรรมวิธีที่ 7 แช่โซเดียมออโซฟีนิลฟีเนต ความเข้มข้น 0.5 %
กรรมวิธีที่ 8 แช่โซเดียมออโซฟีนิลฟีเนต ความเข้มข้น 1.0 %
กรรมวิธีที่ 9 แช่โซเดียมออโซฟีนิลฟีเนต ความเข้มข้น 2.0 %
กรรมวิธีที่ 10 แช่เบนเลท ความเข้มข้น 0.01 % แล้วล้างด้วยน้ำ 2 ครั้ง
กรรมวิธีที่ 11 แช่เบนเลท ความเข้มข้น 0.05 % แล้วล้างด้วยน้ำ 2 ครั้ง
กรรมวิธีที่ 12 แช่เบนเลท ความเข้มข้น 0.1 % แล้วล้างด้วยน้ำ 2 ครั้ง
กรรมวิธีที่ 13 ชุดควบคุม ปลูกเชื้อ แต่ไม่ควบคุมโรค
กรรมวิธีที่ 14 ชุดควบคุม ไม่ปลูกเชื้อ ไม่ควบคุมโรค

ตอนที่ 2 การควบคุมโรคโดยวิธีการรมด้วยไอระเหยของสาร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน รวมมี 11 กรรมวิธี คือ

กรรมวิธีที่ 1 รมไอระเหยเอทธานอล ที่ความเข้มข้น 0.01 % ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 2 รมไอระเหยเอทธานอล ที่ความเข้มข้น 0.05 % ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 3 รมไอระเหยเอทธานอล ที่ความเข้มข้น 0.10 % ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 4 รมไอระเหยอะซีตัลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้น 0.01% ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 5 รมไอระเหยอะซีตัลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้น 0.03% ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 6 รมไอระเหยอะซีตัลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้น 0.05% ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 7 รมไอระเหยไบฟีนิล ที่ความเข้มข้น 0.5 % ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 8 รมไอระเหยไบฟีนิล ที่ความเข้มข้น 1.0 % ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 9 รมไอระเหยไบฟีนิล ที่ความเข้มข้น 1.5 % ปริมาตร/ปริมาตร
กรรมวิธีที่ 10 ชุดควบคุม ปลูกเชื้อ แต่ไม่ควบคุมโรค
กรรมวิธีที่ 11 ชุดควบคุม ไม่ปลูกเชื้อ และไม่ควบคุมโรค

วิธีการทดลอง

1. เตรียมส้มเขียวหวาน ชั้นมาตรฐาน 0 มาจากแหล่งปลูกในจังหวัดแพร่ นำมาล้างน้ำสะอาด 2 ครั้ง จนสะอาด แล้วผึ่งให้แห้ง นำส้มเขียวหวานไปแช่ในแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 วินาที เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวของผลส้ม จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง คัดเลือกผลส้มให้ได้ลักษณะผลที่เหมือนกันอีกครั้ง

2. เตรียมสปอร์เชื้อรา *Penicillium* sp. ที่แขวนลอยในน้ำ (spore suspension) ความเข้มข้นของสปอร์ เท่ากับ 1×10^{6} สปอร์/มล

3. นำผลส้มเขียวหวานในข้อ 1 มาปลูกถ่ายเชื้อโดยใช้เข็มเขี่ยจุ่มลงในสารละลายสปอร์ของเชื้อรา *Penicillium* sp. ที่แขวนลอยในน้ำ แทงผลส้มลึก ประมาณ 2 – 3 มม จำนวน 4 จุด ให้มีระยะห่างเท่า ๆ กันรอบผลส้ม แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. นำผลส้มในข้อ 3 แบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกนำไปผ่านตามกรรมวิธีการควบคุมโรคโดยวิธีการแช่สาร และชุดที่สองนำไปผ่านตามกรรมวิธีการควบคุมโรคโดยวิธีการรมสาร ในกล่องกระดาษลูกฟูก ที่มีขนาดกว้าง 25 ซม ยาว 46 ซม สูง 9 ซม โดยแต่ละกรรมวิธีมี 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วยผลส้ม 4 ผล