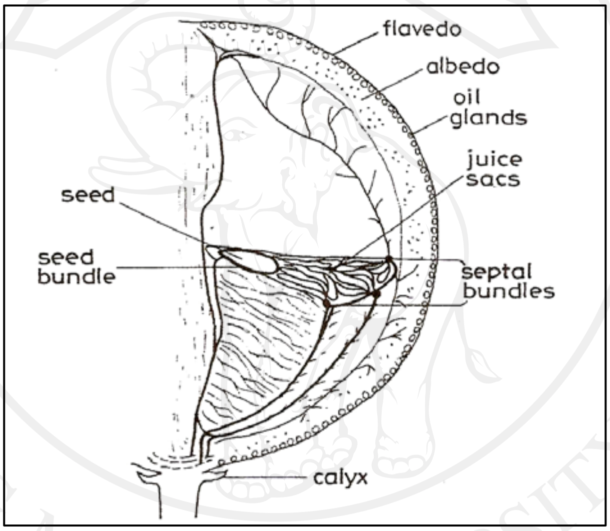
บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลส้ม

ผลส้มเป็นผลไม้ชนิดผลเดี่ยว เปลือกมีลักษณะคล้ายหนัง การจำแนกทางพฤกษศาสตร์จึงจัดให้ผลส้มเป็นผลไม้พวกเฮสเพอริเดียม (hesperidium) ที่เจริญมาจากรังไข่รังเดียว ภายหลังการเจริญเติบโตเต็มที่ ผนังรังไข่จะเจริญเป็นส่วนเนื้อของผลหรือเพอริคาร์พ (pericarp) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชั้นด้วยกัน (ภาพ 2.1) คือ (Ting and Attaway, 1971)



ภาพ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของผลส้ม

ที่มา: Spiegel-Roy and Goldschmidt (1996)

1) ชั้นนอก เป็นส่วนของเปลือกผลส้ม เรียกว่า ฟลาวีโด (flavedo) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่ออีพิเดอร์มิส (epidermis) ที่มีคิวติเคิล (cuticle) ทำหน้าที่เป็นสารเคลือบผิวธรรมชาติป้องกันเนื้อเยื่อภายในจากการสูญเสียน้ำ นอกจากนั้นยังมีต่อมน้ำมัน (oil gland) และสารสีเป็นองค์ประกอบอยู่ในชั้นนี้ด้วย ซึ่งเมื่อผลส้มยังอ่อนจะปรากฏสีเขียวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และเมื่อผลสุกแก่จะปรากฏสีเหลืองส้มของแคโรทีนอยด์ (carotenoids)

2) ชั้นกลาง เป็นส่วนของเนื้อเยื่อสีขาว เรียกว่า แอลบีโด (albedo) อยู่ถัดจากชั้นของเปลือกผลส้ม ประกอบด้วยเนื้อเยื่อพาเรนไคมา (parenchyma) ที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(spongy) มีสีขาว ซึ่งความหนาของชั้นนี้จะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ของพืชตระกูลส้ม เช่น ผลส้มโอ มีชั้นของแอลบีโดหนามาก ส่วนผลส้มเขียวหวานชั้นนี้บาง เป็นต้น

3) ชั้นใน เป็นส่วนเนื้อผลที่บริโภคได้ เรียกว่า พัลพ์ (pulp) มีลักษณะเป็นกลีบหรือคาร์เพล (carpel) และมีผนังกั้น (septal) ระหว่างกลีบซึ่งเกิดจากผนังของกลีบ 2 กลีบที่อยู่ติดกัน ภายในกลีบประกอบไปด้วยถุงน้ำส้มเล็กๆ (juice sacs) จำนวนมาก ถุงน้ำส้มแต่ละถุงมีผนังบางๆห่อหุ้มไว้อีกชั้นหนึ่ง ในน้ำส้มประกอบไปด้วย น้ำ น้ำตาล กรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดซิตริก กรดแอมิโน วิตามินซี สารประกอบฟีนอล และสารอนินทรีย์อื่นๆ

2.2 การจัดจำแนกกลุ่มพืชตระกูลส้ม

พืชตระกูลส้มสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่ม ตามหลักพืชสวน ดังนี้

2.2.1 กลุ่มออเรนจ์ (orange) หรือกลุ่มส้มเกลี้ยง เป็นกลุ่มส้มหลักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดของโลก แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ส้มสวีทออเรนจ์ (Sweet Orange; *Citrus sinensis*) เป็นกลุ่มส้มที่มีรสหวาน และปลูกมากที่สุดในโลก นิยมบริโภคผลสดและแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น ส้มสวีทออเรนจ์แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย (Kimball, 1999) ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง คือ ส้มธรรมดา (common orange) หรือเรียกอีกอย่างว่า white orange หรือ Blond orange เป็นส้มที่ปลูกมากถึง 2 ใน 3 ของส้มสวีทออเรนจ์ พันธุ์ที่นิยมปลูก คือ พันธุ์วาเลนเซีย (Valencia) กลุ่มที่สอง คือ ส้มนาเวล (Navel orange) ลักษณะของผลส้มกลุ่มนี้ที่ปลายขั้วผลมีลักษณะคล้ายสะดือ (navel) เนื้อมีรสชาติดี กลิ่นหอม มีเมล็ดน้อย นิยมบริโภคผลสด กลุ่มที่สาม คือ ส้มชนิดที่มีเนื้อผลสีแดงหรือสีเข้ม (pigmented or blood orange) ผลส้มกลุ่มนี้จะมีสีแดงที่เปลือก เนื้อ และในน้ำคั้น ซึ่งเกิดจากการสร้างสารสีของแอนโทไซยานิน (anthocyanin pigment) มีรสชาติเฉพาะตัว กลิ่นหอม และปลูกได้ดีในแถบเมดิเตอเรเนียนเท่านั้น (Castle and Gmitter, 1999) กลุ่มที่สี่ คือ ส้มชนิดที่เนื้อผลไม่มีกรด (acidless or sugar orange) ผลส้มกลุ่มนี้มีปริมาณกรดน้อยมากหรือไม่มีปริมาณกรดเลย เช่น ส้มตราหรือส้มเช้งที่ปลูกในประเทศไทย (จุฑามาศ, 2547)

2) ส้มซาวออเรนจ์ (sour or bitter Orange; *Citrus aurantium*) เป็นกลุ่มส้มที่มีรสเปรี้ยว หรืออาจมีรสขม แบ่งได้เป็น 4 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มส้มขมธรรมดา (common bitter orange) หรือซาวออเรนจ์ ส้มกลุ่มนี้นิยมใช้ทำเป็นต้นตอ และแปรรูปเป็นแยมผิวส้ม กลุ่มที่สอง ส้มที่มีรสขมหวาน (bitter sweet orange) นิยมนำมาเป็นไม้ประดับและผลิตน้ำมันหอมระเหย กลุ่มที่สาม เป็นกลุ่มผลส้มที่มีลักษณะคล้ายผลส้มในกลุ่มซาวออเรจน์และพวกที่มีรสขม (variant bitter orange) นิยมนำมาทำเป็นน้ำหอม และกลุ่มที่สี่ ส้มพันธุ์ลูกผสม เป็นต้น (Kimball, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 กลุ่มแมนดาริน (mandarins; *Citrus reticulata* Blanco) หรือแทนจีรีน (tangerine) เรียกโดยทั่วไปว่า กลุ่มส้มเปลือกล่อน เนื่องจากมีเปลือกบาง ลักษณะของเปลือกจะเกาะติดกับเนื้อผลแบบหลวมๆ จึงปอกออกได้ง่าย แกนกลางกลวง เนื้อผลมีสีเข้ม และมีรสชาติอร่อย ถือเป็นส้มกลุ่มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในแถบเอเชียและปลูกกันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศของโลก ส้มแมนดารินแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มส้มคอมมอนแมนดาริน (common mandarin; *Citrus reticulata* Blanco) เช่น ส้มเขียวหวาน และส้มโชกุนหรือส้มสายน้ำผึ้งที่ปลูกในประเทศไทย (จุฑามาศ, 2547) กลุ่มส้มซัทซูมาแมนดาริน (Satsuma mandarins; *Citrus unshiu* Marcovitch) ที่ปลูกในประเทศญี่ปุ่น กลุ่มส้มเมดิเตอเรเนียนแมนดาริน (Mediterranean mandarin; *Citrus deliciosa* Tenore) และกลุ่มส้มคิงแมนดาริน (King mandarins; *Citrus nobillis* Loureiro) หรืออีกชื่อหนึ่งเรียกว่า King of Siam (Kimball, 1999)

2.2.3 กลุ่มส้มโอและเกรพฟรุต (pomelo and grapefruit)

แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

1) ส้มโอ (pomelo; *Citrus grandis* L. Osbeck) เป็นกลุ่มส้มที่มีผลขนาดใหญ่ที่สุดในกลุ่มผลไม้ตระกูลส้ม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว และชนิดที่มีเนื้อสีอื่น (Kimball, 1999)

2) เกรฟฟรุ๊ต (grapefruit; *Citrus parsdisi* Macfadyen) ลักษณะผลคล้ายกับส้มโอ แต่มีขนาดเล็กกว่า แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาวและชนิดที่มีเนื้อสีชมพูหรือสีแดง ซึ่งเกิดจากการสร้างสารสีแคโรทีนอยด์และไลโคพีน (Kimball, 1999)

2.2.4 กลุ่มมะนาว (common acid member)

แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

1) เลมอน (lemon; *Citrus limmon* L.Burn f.) มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น ในประเทศสเปน เรียก ลิมอน (limon) ในประเทศฝรั่งเศส เรียก ซิตรอน (citron) หรือในประเทศไทย เรียก มะนาวฝรั่ง เป็นต้น ลักษณะผลมะนาวเลมอนมีสีเหลืองอมเขียว ผลเรียวยาว ลักษณะเด่นประจำพันธุ์ คือ ปลายผลมีลักษณะนูน การเก็บเกี่ยวจะใช้เปอร์เซ็นต์น้ำในผลเป็นหลัก คือ ต้องมีน้ำไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของผลโดยปริมาตร (จุฑามาศ, 2547) มะนาวเลมอนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีรสเปรี้ยว (acid lemon) และชนิดที่มีรสหวาน (sweet lemon) (Kimball, 1999)

2) ไลม์ (lime) มะนาวกลุ่มนี้มีลักษณะผลคล้ายกลุ่มมะนาวเลมอน แต่มีสีผลเขียวและสีสดกว่ามะนาวเลมอน แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดที่มีรสเปรี้ยวผลเล็ก (*Citrus aurantifolia*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Swing) เช่น มะนาวพันธุ์แป้นที่ปลูกในประเทศไทย (จุฑามาศ, 2547) ชนิดที่มีรสเปรี้ยวผลใหญ่ (*Citrus latifolia* Tan) พันธุ์ที่สำคัญได้แก่ พันธุ์ตาฮิติ (Tahiti) และพันธุ์แบรส์ (Bearss) และชนิดที่มีรสหวาน (*Citrus limettoides* Tan) ลักษณะเหมือนมะนาวทั่วไปแต่เนื้อมีรสหวาน ปลูกมากในประเทศอินเดีย (Kimball, 1999)

2.3 พันธุ์ส้มที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย

กลุ่มส้มแมนดาริน หรือแทนเจอริน เป็นกลุ่มส้มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและนิยมปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 4 สายพันธุ์ ได้แก่

2.3.1 ส้มเขียวหวานพันธุ์แหลมทอง ส้มพันธุ์แหลมทองเป็นส้มที่มีลักษณะลำต้นใหญ่ ให้ผลผลิตค่อนข้างยาก ผลมีขนาดปานกลาง เนื้อผลมีรสหวานจัด อดีตนิยมปลูกมากในเขตจังหวัดราชบุรีแต่ปัจจุบันไม่นิยมปลูกเนื่องจากปัญหาด้านผลผลิต (จุฑามาศ, 2547)

2.3.2 ส้มเขียวหวานพันธุ์บางมด ส้มพันธุ์บางมดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่หนึ่งเป็นผลส้มที่มีเปลือกบางเรียบ เรียกอีกชื่อว่า ส้มบางล่าง เป็นส้มที่มีลักษณะผลขนาดปานกลาง ทรงค่อนข้างกลมถึงแป้นเล็กน้อย ก้นผลราบหรืออาจมีเว้า ผิวสีเหลืองเข้มหรือเขียวอมเหลือง เปลือกบาง เนื้อผลสีส้ม ฉ่ำน้ำ รสชาติหวานอมเปรี้ยว ในอดีตปลูกกันมากในเขตบางมด บางขุนเทียน จังหวัดนนทบุรี ต่อมาได้ขยายไปหลายพื้นที่ในเขตภาคกลาง ชนิดที่สองเป็นผลส้มชนิดที่มีเปลือกค่อนข้างหนา เรียกอีกชื่อว่า ส้มบางบน ผลมีขนาดใหญ่ ทรงผลค่อนข้างกลม มีจุกนูนเล็กน้อย เปลือกหนา ผิวมีสีเขียวหรือเขียวอมเหลือง รสชาติหวานปานกลาง เดิมนิยมปลูกในเขตบางขุนนนท์ และบางกรวย จังหวัดนนทบุรี ต่อมาได้แพร่กระจายไปปลูกในจังหวัดปทุมธานี และนครปฐม (จุฑามาศ, 2547)

2.3.3 ส้มฟรีมองต์ ส้มพันธุ์ฟรีมองต์ เป็นส้มสายพันธุ์ลูกผสมระหว่างพันธุ์คลีเมนไทน์และพันธุ์พองแกน ที่ปลูกในรัฐฟลอริดา ต่อมาได้นำไปพัฒนาสายพันธุ์ที่รัฐแคลิฟอร์เนียประเทศสหรัฐอเมริกา และเมื่อปี พ.ศ. 2527 ได้นำเข้ามาปลูกในประเทศไทย ลักษณะผลส้มมีขนาดใกล้เคียงกับผลส้มเขียวหวาน เปลือกค่อนข้างหนาและเหนียว ผิวผลขรุขระ เนื้อผลแน่น รสชาติหวานอมเปรี้ยวและมีกลิ่นหอม (จุฑามาศ, 2547)

2.3.4 ส้มสายน้ำผึ้ง หรือ ส้มโชกุน หรือ ส้มเพชรยะลา เป็นสายพันธุ์ที่นำมาจากประเทศจีน ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง จัดอยู่ในกลุ่มส้มเขียวหวาน มีลักษณะทรงต้นและขนาดต้นใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่ลักษณะที่แตกต่างกัน คือ ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีทรงพุ่มหนา มีลักษณะของกิ่งและใบตั้งขึ้น ส่วนส้มเขียวหวาน มีลักษณะของกิ่งและใบห้อยลง ใบของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีขนาดเล็กและมีสีเขียวเข้ม ก้นผลจะมีสะดือเป็นเอกลักษณ์ ขนาดผลและสีผิวใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีเนื้อผลแน่น เมื่อแก่จัดผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม ยกเว้นส้มสายพันธุ์น้ำผึ้งที่ปลูกในเขตภาคใต้ของประเทศไทยจะมีเปลือกเป็นสีเขียวมากกว่าสีเหลือง เปลือกล่อน รสชาติหวานอมเปรี้ยวและมีกลิ่นหอม (จุฑามาศ, 2547)

2.4 การเปลี่ยนแปลงของผลส้มภายหลังการเก็บเกี่ยว

2.4.1 การหายใจ ผลิตผลทางการเกษตรทุกชนิดภายหลังการเก็บเกี่ยวยังเป็นสิ่งมีชีวิต ต้องการพลังงานจำนวนหนึ่งสำหรับใช้ในการสังเคราะห์สารอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อเมแทบอลิ-ซึมของเซลล์ จึงมีการหายใจเพื่อให้ได้ก๊าซออกซิเจนนำไปออกซิไดซ์สารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ภายในเซลล์ให้เป็นพลังงาน เพื่อให้กระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ดำเนินต่อไป และทำให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ (ดนัย, 2540)

การหายใจแบ่งออกเป็น 2 แบบ

1) การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิตซึ่งสารอาหาร คือ น้ำตาลกลูโคสเป็นซับสเตรต (substrate) จะถูกออกซิไดซ์ให้เกิดเป็นพลังงานสำหรับใช้ในการดำรงชีพ กระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่สารอาหารภายในเซลล์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังสมการ ดังนี้ (จริงแท้, 2544)

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

ขั้นตอนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนเริ่มจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตที่พืชสะสมไว้ในรูปสตาร์ช (starch) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสที่มีโมเลกุลขนาดเล็กก่อนนำไปเปลี่ยนให้เป็นพลังงาน โดยอาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำตาลที่ได้จะถูกนำเข้าสู่วิถีไกลโคไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการที่น้ำตาลจะถูกเมแทบอไลซ์เป็นสารต่างๆ จนในที่สุดได้เป็นกรดไพรูวิก วิถีไกลโคไลซิสจะเกิดขึ้นในไซโทพลาสซึมของเซลล์และเป็นขั้นตอนการหายใจที่ยังไม่ต้องการใช้ออกซิเจน จากนั้น กรดไพรูวิกจะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ในวงจรเครบส์ (Krebs cycle) ซึ่งจะเกิดขึ้นในไมโทคอนเดรียของเซลล์ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการหายใจที่ต้องใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยา (ดนัย, 2540)

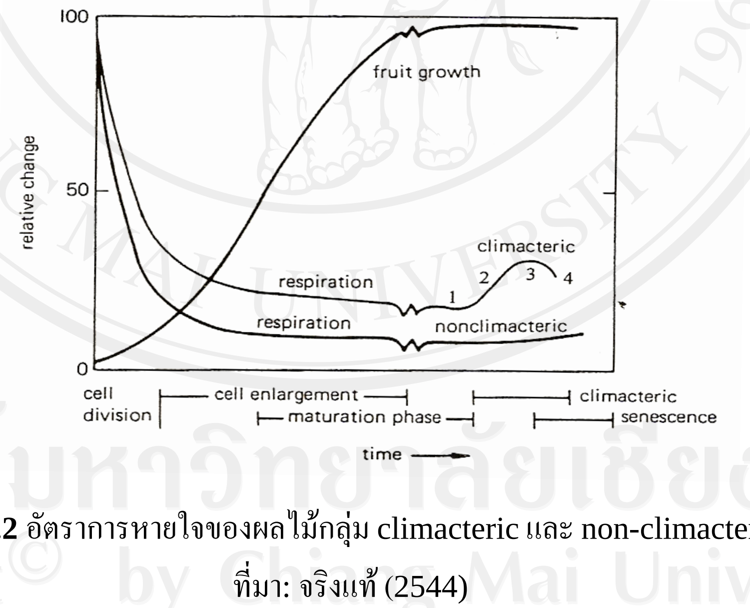
2) การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) หรือเรียกอีกอย่างว่า การหมัก (fermentation) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเป็นการสลายน้ำตาลกลูโคสผ่านวิถีไกลโคไลซิสเช่นเดียวกัน แต่กรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนต่อเป็นกรด-แล็กทิกหรือสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น แอซีแทลดีไฮด์ และเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนจะให้พลังงานน้อยกว่าการหายใจแบบใช้ก๊าซออกซิเจน (ดนัย, 2540)

ผลไม้มีการหายใจแบบใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นหลัก ผลไม้ขณะกำลังเติบโตจะมีอัตราการหายใจจะสูงมาก และอัตราการหายใจจะค่อยๆลดลงเมื่อเข้าสู่ความบริบูรณ์ทางสรีรวิทยา ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ยังคงมีการหายใจอยู่ และจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอีกในช่วงที่มีการสุกเกิดขึ้น เรียก อัตราการหายใจช่วงนี้ว่า climacteric ซึ่งผลไม้ที่มีลักษณะการหายใจแบบนี้จัดเป็นผลไม้กลุ่ม climacteric fruit เช่น กล้วย มะม่วง มะเขือเทศ เป็นต้น ส่วนผลไม้บางชนิดที่อัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ระหว่างการสุกและตลอดเวลาภายหลังการเก็บเกี่ยว จัดเป็นผลไม้กลุ่ม non-climacteric fruit (ภาพ 2.2) เช่น มะนาว ส้มโอ และส้ม เป็นต้น (จริงแท้, 2544)

อุณหภูมิแวดล้อมมีผลโดยตรงต่ออัตราการหายใจของผลไม้ ที่อุณหภูมิสูงจะกระตุ้นให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจทำกิจกรรมมากขึ้น ทำให้อัตราการหายใจของผลไม้สูงขึ้น และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเซลล์ของผลไม้เกิดเร็วขึ้นด้วย ส่งผลให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพเร็ว และมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ในขณะที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้อัตราการหายใจของผลไม้ลดลง และชะลอการเสื่อมสภาพของผลไม้ได้ (จริงแท้, 2544)



ภาพ 2.2 อัตราการหายใจของผลไม้กลุ่ม climacteric และ non-climacteric

ที่มา: จริงแท้ (2544)

2.4.2 การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำของผลส้มภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำส่งผลทำให้ผลส้มเหี่ยว สูญเสียน้ำหนัก รูปทรงเปลี่ยนแปลงไปจนอาจขายไม่ได้ราคา และมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอันไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พึ่งประสงค์ของผลส้มด้วย โดยทั่วไปที่ผิวของผลไม้จะมีช่องเปิดทางธรรมชาติ เช่น ปากใบ (stomata) และเลนติเซล (lenticel) ที่ยอมให้น้ำและอากาศผ่านเข้าออกได้ และมีสารประเภทไขที่เคลือบอยู่ตามผิวของผลไม้หรือคิวติเคิล (cuticle) จะเป็นกลไกทางธรรมชาติที่ช่วยควบคุมการสูญเสียน้ำของผลไม้ สารเคลือบผิวที่มีโครงสร้างเรียงตัวกันเป็นระเบียบจะมีคุณสมบัติในการต้านทานการผ่านเข้าออกของน้ำและอากาศได้ดีกว่าสารเคลือบผิวที่มีโครงสร้างเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ อย่างไรก็ตาม สารเคลือบผิวจะยอมให้มีการผ่านเข้าออกของน้ำและอากาศได้เช่นกัน (จริงแท้, 2544)

ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลส้ม

1) ขนาดของผล ผลไม้ที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสำหรับระเหยน้ำได้มากกว่าผลไม้ที่มีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบต่อน้ำหนักที่เท่ากัน ดังนั้น ผลส้มที่มีขนาดเล็กจะสูญเสียน้ำได้มากกว่าผลส้มที่มีขนาดใหญ่ (จริงแท้, 2544)

2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อากาศจะมีไอน้ำอยู่น้อย ผลส้มจะสูญเสียน้ำมากเนื่องจากเนื่องจากความดันไอน้ำภายในเซลล์ของผลส้มสูงกว่าความดันไอน้ำในบรรยากาศ ไอน้ำจึงเคลื่อนที่จากแหล่งที่มีความชื้นสูงภายในเนื้อเยื่อของผลส้มไปยังอากาศภายนอกที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า ในขณะที่บรรยากาศที่มีความชื้นสูง ความดันไอน้ำในเซลล์ของผลส้มและอากาศภายนอกแตกต่างกันน้อย การสูญเสียน้ำของผลส้มจึงเกิดขึ้นน้อยด้วย (จริงแท้, 2544)

3) อุณหภูมิ มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการสูญเสียน้ำ ผลส้มจะสูญเสียน้ำมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของน้ำจะมีมากขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดจากสถานะของเหลวไปอยู่ในสถานะก๊าซจึงมีมากขึ้นด้วย ความดันไอน้ำภายในผลส้มจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่โมเลกุลของน้ำในอากาศรอบๆ ผลส้มมีอยู่เท่าเดิมและไม่ถูกจำกัดปริมาตรเหมือนในผลส้ม ความดันไอน้ำในอากาศรอบๆ จึงไม่ได้สูงตามอุณหภูมิไปด้วย ที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงโอกาสที่น้ำภายในผลส้มจะเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศภายนอกจึงมีมากขึ้น ดังนั้น การเก็บรักษาผลส้มควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำและควบคุมอุณหภูมิให้มีความสม่ำเสมอ เพราะหากอุณหภูมิภายในห้องเก็บรักษาขึ้นลงอยู่เสมอแล้ว ผลส้มจะสูญเสียน้ำออกไปเมื่ออุณหภูมิสูงจนอากาศรอบๆ อิ่มตัวด้วยไอน้ำ เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามภาชนะบรรจุหรือผนังห้องเก็บรักษา ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นซ้ำใหม่ได้อีกตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้ผลส้มสูญเสียน้ำมาก และสภาพห้องเก็บรักษาชื้นแฉะเป็นปัจจัยทำให้ผลส้มเน่าเสียได้ง่ายขึ้น (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) การเกิดบาดแผล รอยแผลสามารถกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียน้ำของผลส้มได้ เนื่องจากบาดแผลจะทำลายผิวชั้นนอกซึ่งทำหน้าที่กีดขวางการเข้าออกของน้ำ ทำให้น้ำภายในเซลล์ของผลส้มผ่านออกทางบาดแผลได้ง่ายและสะดวกกว่าช่องทางอื่นๆ ดังนั้น ผลส้มจึงสูญเสียน้ำได้มาก (จริงแท้, 2544)

2.4.3 การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลส้ม

ภายหลังการเก็บเกี่ยวสีของเปลือกผลส้มสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้ โดยสีเขียวจะค่อยๆ หายไปแล้วปรากฏสีเหลืองหรือสีส้มขึ้นมาแทน การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเนื่องมาจากการสลายตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นคลอโรริน(chlororin) หรือเพอพูริน (purpurin) ซึ่งเป็นสารไม่มีสี ทำให้สีเหลืองส้มของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งมีอยู่แล้ว แต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ปรากฏขึ้นมาแทน พร้อมกับมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ใหม่ขึ้นมาด้วย คือ แคโรทีน และแซนโทฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสีที่อยู่ในโครโมพลาสต์ (จริงแท้, 2544) ที่อุณหภูมิสูง การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์จะเกิดได้น้อยลง และการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์จะถูกยับยั้งด้วยความมืด ในขณะที่เอทิลีนช่วยเร่งให้เกิดการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในผลส้มได้ (ดนัย, 2540)

2.4.4 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลส้ม

1) น้ำตาล

น้ำตาลเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ส่วนใหญ่ที่พบในผลส้ม น้ำตาลที่พบมากมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรักโทส (Kale and Adsule, 1995) ภายหลังการเก็บเกี่ยวการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลในผลส้มเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากผลส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric มีอัตราการหายใจต่ำ การเมแทบอไลต์น้ำตาลไปเป็นพลังงานจึงเกิดขึ้นน้อยด้วย น้ำตาลในผลส้มอาจเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพของผลส้มอย่างเด่นชัด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สามารถวัดได้ด้วยเครื่องรีแฟรกโทมิเตอร์ (refractometer) ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณกรดอินทรีย์และน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ อาจเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาผลส้ม ซึ่งอาจเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาทำให้ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลส้มสูงขึ้น (จริงแท้, 2544)

2) กรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ถูกสร้างขึ้นระหว่างกระบวนการหายใจภายในเซลล์ของผลไม้โดยการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตในวงจรเครบส์ (Krebs's cycle) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นอินเทอร์มีเดียตในขั้นตอนต่างๆ และเป็นสารเริ่มต้นของสารชนิดอื่นๆ เช่น กรดแอมิโนหลายชนิด นอกจากนั้นยังมีผลต่อรสชาติของผลไม้ด้วย โดยทั่วไปในขณะที่ผลส้มยังอ่อนจะมีปริมาณกรด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อินทรีย์สูง ทำให้มีรสเปรี้ยวมากไม่เหมาะกับการบริโภค การที่ผลส้มมีสภาพความเป็นกรดสูงจะทำให้มีค่าพีเอชต่ำ ทำให้ช่วยยังยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ เมื่อเข้าสู่ระยะผลแก่และสุก ปริมาณกรดอินทรีย์ภายในผลส้มจะลดลง เนื่องจากกรดถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาล หรือใช้เป็นสารเริ่มต้นของปฏิกิริยาต่างๆ การลดลงของปริมาณกรดอินทรีย์จึงทำให้รสชาติของผลไม้ดีขึ้น (ดนัย, 2540; จริงแท้, 2544) กรดอินทรีย์ที่มีมากในผลส้ม คือ กรดซิตริก และมีปริมาณค่อนข้างคงที่เมื่อผลแก่และสุก อาจเพราะผลส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งการเปลี่ยนแปลงภายในผลส้มจะเกิดขึ้นน้อยหรือเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (จริงแท้, 2544)

3) วิตามิน

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic) ในผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduced ascorbic acid ซึ่งอาจถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียร และถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ deketogulonic acid (DHA) และอาจถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น 2, 3-deketogulonic acid ซึ่งไม่มีสมบัติของวิตามินซีได้ วิตามินซีในผลไม้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ reduced ascorbic acid ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2544) วิตามินซีละลายน้ำได้ดีจึงถูกดูดซึมและแพร่กระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อในร่างกายได้ง่าย (นิธิยา, 2549) ผลส้มเป็นแหล่งของวิตามินซีที่สำคัญชนิดหนึ่ง (Spiegel-Roy and Goldschmidt 1996)

การสูญเสียวิตามินซีเกิดได้จากการทำงานของเอนไซม์ ascorbic acid oxidase ที่มีอยู่ในเซลล์ของผลไม้ และอาจเกิดจากการออกซิเดชันที่ไม่ได้เร่งด้วยเอนไซม์ แต่จะมีโลหะหนัก เช่น ทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนได้ อย่างไรก็ตาม กรดซิตริกและกรดมาลิกจะยับยั้งการสลายตัวของวิตามินซี เนื่องจากมีสมบัติเป็นสารคีเลติง (chelating agent) สามารถจับไอออนของโลหะได้ (จริงแท้, 2544) ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียวิตามินซีได้ เช่น อุณหภูมิสูงจะเร่งการทำงานของเอนไซม์ในการออกซิไดซ์วิตามินซีให้กลายเป็นสารอื่น ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงเร็วขึ้น (Kale and Adsule, 1995) นอกจากนั้น การสูญเสียน้ำจะทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 โรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ตระกูลส้ม

โรคหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญมากอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งการเกิดโรคอาจมีสาเหตุมาจากการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรค (pathogen) ตั้งแต่ยังเป็นดอก เป็นผลอ่อน หรือเป็นต้นอ่อนโดยยังไม่แสดงอาการของโรค หรืออาจเข้าทำลายในระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การจัดจำหน่าย หรือเข้าทางรอย-แผล รอยช้ำ หรือเข้าทางแผลที่เกิดจากการทำลายของแมลง เป็นต้น โรคของผลไม้ตระกูลส้มเกิด

จากการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุของโรคได้หลายชนิด ซึ่งการเข้าทำลายจะสามารถทำให้ผลส้มแสดงอาการของโรคได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย ปัจจัยที่หนึ่ง คือ ปริมาณของเชื้อก่อโรค ต้องมีมากและมีความรุนแรงพอที่จะทำให้เกิดโรคได้ ปัจจัยที่สอง คือ ผลส้ม หรือพืชอาศัย (host plant) ต้องมีความอ่อนแอ ปัจจัยที่สาม คือ สภาพแวดล้อมต้องเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อโรค และเมื่อเชื้อสาเหตุของโรคสามารถเจริญได้จะแสดงอาการของโรคออกมาให้เห็นแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของเชื้อโรคและลักษณะการเข้าทำลาย ตัวอย่างโรคที่เกิดกับผลส้มภายหลังการเก็บเกี่ยวมี ดังนี้ (ดนัย, 2549)

2.5.1 โรคเน่าราสีเขียว (Green mold) เชื้อสาเหตุของโรค คือ *Penicillium digitatum* การเข้าทำลายจะเกิดกับผลส้มที่มีบาดแผลเท่านั้น และสามารถแพร่ระบาดจากผลหนึ่งไปสู่อีกผลหนึ่งได้ด้วยการสัมผัสกันระหว่างผลปกติกับผลที่เป็นโรค โดยอาการเริ่มต้นจะเกิดจุดฉ่ำน้ำที่เปลือก แผลขยายขนาดออกไปเป็นวงกว้าง เนื้อเยื่อนิ่ม เมื่อกดด้วยนิ้วจะทะลุถึงส่วนที่เป็นเนื้อได้ง่าย หลังจากนั้นเชื้อราจะสร้างเส้นใยสีขาวที่ส่วนของเปลือกและขยายตัวไปพร้อมๆกับการนิ่มของผล แล้วจึงค่อยๆ สร้างกลุ่มสปอร์สีเขียวมะกอกขึ้นตรงกลางแผลในภายหลัง เส้นใยสีขาวมีลักษณะติดอยู่กับเปลือก ส่วนสปอร์สีเขียวมะกอกจะอยู่บนผิวและปลิวได้ง่าย

2.5.2 โรคเน่าราสีน้ำเงิน (Blue mold) เชื้อสาเหตุของโรค คือ *Penicillium italicum* การเข้าทำลายจะเกิดกับผลที่มีบาดแผลและแพร่ระบาดด้วยการสัมผัสระหว่างผลปกติกับผลที่เป็นโรค แต่การแพร่กระจายของโรคจะรวดเร็วกว่าโรคเน่าราสีเขียว โดยอาการเริ่มแรกจะเกิดจุดฉ่ำน้ำ ช่วงนี้เชื้อราจะพัฒนาช้ากว่าโรคเน่าราสีเขียว ต่อมาแผลจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและเนื้อเยื่อนิ่มลง เชื้อราสร้างเส้นใยสีขาวและสปอร์สีฟ้าขึ้น สปอร์สีฟ้าสามารถขยายตัวได้รวดเร็วจนปกคลุมพื้นที่ที่มีเส้นใยสีขาวอยู่ เส้นใยสีขาวมีลีกษณะคล้ายแป้ง

2.5.3 โรคเน่าสีน้ำตาล (Brown rot) เชื้อสาเหตุของโรค คือ *Phytophthora citrophthora* ลักษณะอาการของโรคเริ่มแรกจะเกิดที่เปลือก เปลือกส้มจะเป็นจุดสีน้ำตาล มีลักษณะแผลกลม แผลจะขยายขนาดขึ้นจนเต็มผล สีของแผลจะเข้มขึ้นและแข็ง เนื้อเยื่อบริเวณแผลยุบตัวลงเล็กน้อยและมีกลิ่นเน่า สามารถแพร่ระบาดได้ด้วยการสัมผัสระหว่างผลส้มปกติกับผลส้มที่เป็นโรค ถ้าเกิดอาการตั้งแต่บนต้นผลส้มจะร่วง ในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงจะเห็นเส้นใยสีขาวปรากฏอยู่ที่บริเวณแผล ผลส้มที่แสดงอาการเป็นผลที่อยู่ใกล้กับพื้นดิน ได้รับเชื้อเพราะการกระเด็นของน้ำฝนที่ชะลงบนดิน เชื้อราชนิดนี้เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

2.5.4 โรคเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizopus* (Rhizopus rot) เชื้อสาเหตุของโรค คือ *Rhizopus* spp. เชื้อราจะทำลายเนื้อเยื่อของผล เนื้อเยื่อส่วนที่ถูกทำลายจะนิ่ม มีน้ำไหลออกมา มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มของเส้นใยสีเทาและสปอร์สีดำปรากฏขึ้นที่แผลเห็นได้ชัดเจน เชื้อจะเข้าทำลายกับผลส้มที่มีบาดแผล เช่นเดียวกับโรคเน่าที่เกิดจากราสีเขียวและโรคเน่าที่เกิดจากราสีฟ้า

2.5.5 โรคเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Alternaria* เชื้อสาเหตุของโรค คือ *Alternaria alternate* และ *Alternaria citri* ลักษณะอาการของโรคมักจะเกิดภายในผลส้มก่อนที่จะแสดงอาการให้เห็นภายนอก จึงสังเกตได้ยาก เชื้อราบางพันธุ์อาจเจริญอยู่ที่บริเวณไส้ของผลส้มแล้วจึงขยายมาสู่เปลือก หากเกิดกับผลมะนาวเนื้อผลมะนาวจะมีสีน้ำตาลปนเทา นิ่มและเป็นเมือก ส่วนในผลส้มเขียวหวาน บริเวณที่เชื้อเข้าทำลายมีสีดำ ผลส้มมีรสชาติผิดปกติแม้การเข้าทำลายจะเกิดไม่รุนแรง

2.5.6 โรคแอนแทรกโนส (Anthracnose) เชื้อสาเหตุของโรค คือ *Colletotrichum gloeosporioides* ลักษณะอาการของโรคถ้าไม่รุนแรงจะเห็นเป็นจุดสีน้ำตาลที่ผิวของผลส้ม กรณีที่มีอาการรุนแรงแผลจะขยายขนาดมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นและแผลบุ๋มลงไป ในสภาพที่มีความชื้นสูง เชื้อราจะสร้างกลุ่มของสปอร์สีชมพูขึ้น ต่อมากลุ่มสปอร์จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เชื้อรามักแพร่ระบาดโดยน้ำฝนที่ตกลงมากระทบกับสปอร์ที่อยู่ตามกิ่งหรือใบที่เป็นโรคแล้วไหลไปตามน้ำ ปกติต้นส้มที่แข็งแรงจะต้านทานต่อเชื้อรา แต่ถ้าอ่อนแอจะเป็นโรคนี้ได้ง่ายและการระบาดจะมากับผลส้ม ผลที่ผ่านการขจัดสีเขียวมักอ่อนแอต่อโรคนี้ เพราะแก๊สเอทิลีนกระตุ้นให้เชื้อราเจริญผ่านเปลือกของผลส้มที่ไม่มีแผลได้

2.5.7 โรคเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium* เชื้อสาเหตุของโรค คือ *Fusarium* sp. ลักษณะอาการของโรคจะเกิดแผลสีน้ำตาลเข้ม แผลบุ๋มลงไป อาจนิ่มและมีของเหลวไหลออกมาที่ตรงกลางแผล ภายใต้สภาพที่มีความชื้นสูง เชื้อราจะสร้างกลุ่มของเส้นใยสีขาวหรือสีชมพูที่แผล ภายในเนื้อเยื่ออาจมีสีน้ำตาลปนแดง เชื้อราชนิดนี้อยู่ในดินและสปอร์อาจถูกพัดพามาพร้อมฝุ่นละอองจากดิน แล้วเข้าทำลายผิวผลส้มบริเวณที่มีแผลหรืออ่อนแอ เชื้อนี้มักเข้าทำลายทางปลายผลส้ม โดยเฉพาะผลส้มพันธุ์ที่มีปลายผลแยกจากกันหรือบุ๋มเข้าไป

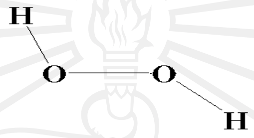
2.5.8 โรคขั้วผลเน่า (Stem-end rot) เชื้อสาเหตุของโรค คือ *Dothiorella gregaria*, *Phomopsis citri* และ *Botryodiplodia theobromae* ลักษณะอาการของโรค คือ เนื้อเยื่อรอบๆ ขั้วผลจะนิ่มลง เปลือกรอบๆ เริ่มเป็นสีน้ำตาล เนื้อที่อยู่ใต้ผิวบริเวณนั้นมีสีเข้ม ในกรณีที่เกิดจาก *Botryodiplodia* อาจจะพัฒนาสู่ไส้ของผลส้มเร็วมาก อาการของโรคจะปรากฏขึ้นที่ด้านปลายผลและขยายออกไปตามเนื้อเยื่อภายในของผลส้ม กรณีอาการที่เกิดจาก *Dothiorella* จะคล้ายกัน ส่วนกรณีของ *Phomopsis* เนื้อเยื่อที่เน่ามักจะหดตัวทำให้เกิดบริเวณชัดเจนระหว่างเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายและเนื้อเยื่อปกติ การเข้าทำลายอาจผ่านมาทางแผลที่บริเวณใดของผลส้มก็ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โรคขั้วเน่าจะรุนแรงในเขตที่มีฝนตกชุกและอาการจะรุนแรงในผลส้มที่เกิดจากต้นส้มที่ไม่แข็งแรง

2.6 การควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้สารเคมีที่มีความปลอดภัย

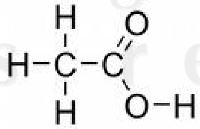
2.6.1 ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide)



ภาพ 2.3 สูตรโครงสร้างของ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
ที่มา: U.S. Geological Survey (2008)

H_2O_2 เป็นสารเคมีที่ไม่มีพิษตกค้างเหลืออยู่ เนื่องจากเมื่อสลายตัวจะให้ออกซิเจนและน้ำ มีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.3 H_2O_2 จัดเป็นสารที่ปลอดภัย (GRAS) ซึ่งกำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (USFDA) (CFSAN/offices of Food Additive Safe, 2006) การรมผลองุ่นด้วยไอของ H_2O_2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 0.27 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดการงอกของเชื้อรา *B. cinerea* บนผลองุ่นได้และไม่มีผลต่อคุณภาพของผลองุ่น (Eris *et al*., 1994; Rij and Forney, 1995) ในทางตรงกันข้าม H_2O_2 ไม่สามารถควบคุมเชื้อ *R. oryzae* สาเหตุของโรคใบจุดในใบยาสูบ (Andreas, 2006) และไม่สามารถควบคุมเชื้อ *P. digitatum* สาเหตุโรคเน่าราสีเขียวบนผลมะนาวได้ (Smilanick *et al*., 1995)

2.6.2 กรดแอซีติก (acetic acid)



ภาพ 2.4 สูตรโครงสร้างของ กรดแอซีติก (CH_3COOH)
ที่มา: Helmenstine (2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

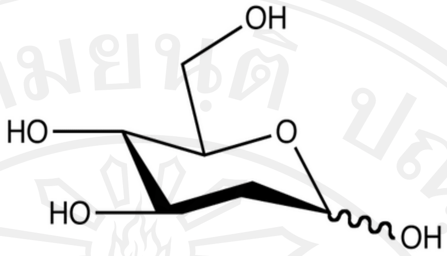
กรดแอซีติก หรือเรียกอีกอย่างว่า กรดเอทาโนอิก (ethanoic acid) มีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.4 กรดแอซีติกมีลักษณะเป็นของเหลว หรือผลึกใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว และเป็นส่วนประกอบหลักของกรดน้ำส้มสายชู กรดแอซีติกจัดเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นสารถนอมอาหารไม่ให้เสียหายเนื่องจากจุลินทรีย์ กรดแอซีติกสามารถควบคุมโรคเน่าหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลได้ด้วย การรมไอระเหยของกรดแอซีติกที่ความเข้มข้น 2.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อ *B. cinerea* และ *P. expansum* ที่เข้าทำลายผลไม้พวกแอปเปิล และควบคุม *P. italicum* และ *P. digitatum* ที่เข้าทำลายผลไม้ตระกูลส้มได้ การรมไอระเหยของกรดแอซีติกยังช่วยควบคุมเชื้อ *M. fructicola* และ *R. stolonifer* ที่เข้าทำลายผลไม้เมล็ดแข็งและผลไม้พวกเชอรีหลายชนิดด้วย ซึ่งการรมด้วยกรดฟอร์มิกและกรดโพรพิโอนิกให้ผลเหมือนกับการรมด้วยกรดแอซีติกในการควบคุมเชื้อกลุ่มนี้ (Sholberg, 1998; Sholberg and Gaunce, 1995, 1996; Sholberg *et al*., 2001)ในกรณีการรมผลองุ่นด้วยไอระเหยของกรดแอซีติกความเข้มข้น 0.27 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถใช้ทดแทนการรมองุ่นด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้เพราะไม่ก่อให้เกิดการตกค้างของสารซัลไฟต์บนผิวของผลองุ่น และยังช่วยควบคุมการเน่าเสียของผลองุ่นจากเชื้อ *Botrytis* และ *Penicillium* ได้ด้วย (ดนัย, 2549)

2.6.3 ไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนต (bicarbonate and carbonate)

ไบคาร์บอเนตและเกลือคาร์บอเนตเป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารเพื่อควบคุมค่าพีเอช รสชาติ เนื้อสัมผัส และควบคุมการเน่าเสีย ไบคาร์บอเนตและเกลือคาร์บอเนตมีฤทธิ์ในการควบคุมแบคทีเรียและยีสต์ในอาหาร สารเคมีในกลุ่มนี้เป็นสารเคมีที่มีความปลอดภัย (GRAS) จึงนิยมนำมาใช้กับผลิตผลเพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Barkai-Golan, 2001) ไบคาร์บอเนตและเกลือคาร์บอเนตที่นำมาใช้สำหรับควบคุมโรคภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผล เช่น การใช้โซเดียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต แอมโมเนียมคาร์บอเนต และ โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต เพื่อควบคุมโรคเน่าราสีเขียวที่มีสาเหตุจากเชื้อ *P. digitatum* ในผลไม้ตระกูลส้ม เป็นต้น (Smilanick *et al*., 1999) ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารยับยั้งการเจริญของเชื้อรา สปอร์ที่ผ่านการจุ่มในสารละลายไบคาร์บอเนตและเกลือคาร์บอเนตเมื่อนำไปทำให้งอกในอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose broth (PDB) จะสามารถงอกได้ตามปกติ ซึ่งการออกฤทธิ์ของสารไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตพบว่า ประจุลบจะทำหน้าที่เป็นตัวทำให้การเจริญของจุลินทรีย์หยุดลง ในขณะที่ประจุบวกมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ดนัย, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

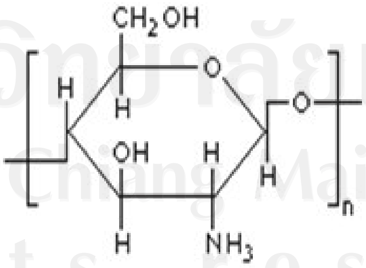
2.6.4 Sugar analog



ภาพ 2.5 สูตรโครงสร้างของ 2-deoxy-D-glucose
ที่มา: Toronto Research Chemical Inc. (2010)

Sugar analog เป็นสารรบกวนการเจริญของเชื้อราและยีสต์ได้ เช่น 2-deoxy-D-glucose ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.5 เมื่อใช้ Sugar analogs เป็นแหล่งคาร์บอนเชิงเดี่ยวจะรบกวนการเจริญของเชื้อราและยีสต์ เนื่องจากจะเข้ารบกวนการทำงานของเอนไซม์ที่สร้างผนังเซลล์ทำให้การสร้างผนังเซลล์ของเชื้อราและยีสต์เกิดได้ไม่สมบูรณ์ การใช้ 2-deoxy-D-glucose สามารถลดการเน่าเสียของผลแอปเปิลที่มีสาเหตุจากเชื้อ *B. cinerea* และ *P. expansum* ได้ และสามารถควบคุมเชื้อ *M. fructicola* ที่เข้าทำลายผลท้อได้ด้วย (El-Ghaouth *et al*., 1995, 1997)

2.6.5 ไคโทซาน (Chitosan)



ภาพ 2.6 สูตรโครงสร้างของ ไคโทซาน
ที่มา: Shahbazi *et al*. (2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไคโทซานเป็นสารประเภทพอลิเมอร์ที่เกิดจากการเอาหมู่ acetyl ออกจากโมเลกุลของไคทินซึ่งสกัดได้จากเปลือกของกุ้ง และปู มีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.6 ไคโทซานสามารถใช้เป็นสารเคลือบผิวผักและผลไม้ได้ โดยจะช่วยชะลอการสุกและลดการเน่าเสียของผลิตผลด้วย (ดนัย, 2549; Jianming *et al*., 1988) การเคลือบผลแอปเปิลด้วยไคโทซาน ความเข้มข้น 1.2 เปอร์เซ็นต์ ช่วยลดการเน่าเสียของผลแอปเปิลที่มีสาเหตุจากเชื้อ *B. cinerea* และช่วยลดอัตราการหายใจ ลดการเกิดก๊าซเอทิลีน ยืดอายุการเก็บรักษา และคงคุณภาพของผลแอปเปิลได้ นอกจากนั้น ไคโทซานยังสามารถใช้ควบคุมการเจริญของเชื้อ *F. oxysporum, R. stolonifer, C. gloeosporioides* และ *P. digitatum* ได้ โดยไคโทซานจะเข้าไปรบกวนการสร้างผนัง-เซลล์และสปอร์ของเชื้อรา ทำให้เซลล์เหล่านี้เกิดได้ไม่สมบูรณ์ (Bautista-Banos *et al*., 2006)

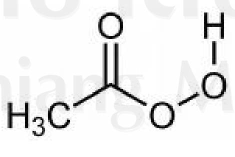
2.6.6 น้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากพืช

น้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากพืชหลายชนิดมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อหรือชะงักการเจริญของจุลินทรีย์ได้ เช่น สารสกัดจากข่าสามารถควบคุมเชื้อแอนแทรกโนสของผลมะม่วง (ดนัย, 2549) น้ำมันหอมระเหยจากต้นไทม์ และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้สามารถควบคุมเชื้อ *A. niger* บนหอมหัวใหญ่ได้ เป็นต้น (Abd-Alla *et al*., 2006)

2.7 ชนิดของสารเคมีควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยว

2.7.1 กรดเพอร์ออกซีแอซีติก (Peroxyacetic acid, PAA)

กรดเพอร์ออกซีแอซีติก มีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.7 กรดเพอร์ออกซีแอซีติก ได้จากการผสมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์กับกรดแอซีติก มีลักษณะเป็นของเหลวใสและมีกลิ่นฉุน สารละลาย



ภาพ 2.7 สูตรโครงสร้างของกรดเพอร์ออกซีแอซีติก ($C_2H_4O_3$)
ที่มา: Chemicalland21 (2010a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดเพอร์ออกซีแอซีติกเป็นสารฆ่าจุลินทรีย์ที่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์รุนแรง สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกจะเข้าไปรบกวนการทำงานของเซลล์เมมเบรนโดยออกซิไดซ์หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ภายนอกเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรีย ยีสต์และรา เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนขึ้นเป็นผลให้เซลล์เสื่อมสภาพหรือตายในที่สุด สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกสามารถใช้ได้ที่ช่วงอุณหภูมิและค่าพีเอชที่กว้าง อีกทั้งเป็นมิตรกับสภาพแวดล้อมด้วย (OMRI, 2000; Ritenour, 2001) สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกสามารถใช้ควบคุมการเน่าเสียของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ เช่น การใช้สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกความเข้มข้น 125 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดการเน่าเสียของผลไม้เมล็ดแข็งจากเชื้อ *M. laxa* และ *R. stolonifer* ได้ตามลำดับ (Mari *et al.*, 1999, 2004) สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกยังสามารถช่วยยืดอายุของผักผลไม้ตัดแต่งโดยการลดอัตราการหลายใจของผลิตผลลงด้วย เช่น ช่วยลดอัตราการหายใจของกะหล่ำตัดแต่งเมื่อใช้ทีความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดอัตราการหายใจของแครอทตัดแต่งเมื่อใช้ที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น (Vandekinderen *et al.*, 2008) นอกจากนั้นสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติก ยังสามารถใช้ทำความสะอาดพื้นผิวอุปกรณ์ เครื่องมือในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารได้ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดปริมาณการใช้สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซีติกสำหรับทำความสะอาดพื้นผิวสัมผัสอาหารได้ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (CFSAN/offices of Food Additive Safe, 2006)

2.7.2 กรดเพอร์ออกซีซิตริก (Peroxycitric acid, PCA)

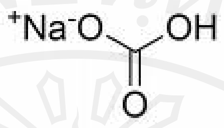
กรดเพอร์ออกซีซิตริก มีชื่อทางการค้าว่า เพอร์ซิแซน (percisan) ได้จากการผสมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์กับกรดซิตริก มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีฤทธิ์ในการออกซิไดซ์รุนแรงเช่นเดียวกับกรดเพอร์ออกซีแอซีติก แต่มีกลิ่นฉุนน้อยกว่า สารละลายกรดเพอร์ออกซีซิตริกสามารถใช้ทำความสะอาดพื้นผิว อุปกรณ์เครื่องมือในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและใช้สำหรับฆ่าจุลินทรีย์ได้ (AEBGroup, 2008) เนื่องจากสารละลายกรดเพอร์ออกซีซิตริกเป็นสารฆ่าจุลินทรีย์ชนิดใหม่ ปัจจุบันจึงยังไม่พบงานวิจัยที่มีการนำสารละลายกรดเพอร์ออกซีซิตริกไปใช้ในการควบคุมการเน่าเสียของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว

2.7.3 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, SBC)

โซเดียมไบคาร์บอเนต หรือ ผงฟู (baking soda) เป็นสารประเภทสารเติมแต่งอาหารที่มีความปลอดภัย มีลักษณะเป็นผลึกแข็งสีขาว ส่วนใหญ่พบในรูปของผงละเอียด มีฤทธิ์เป็นด่าง ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

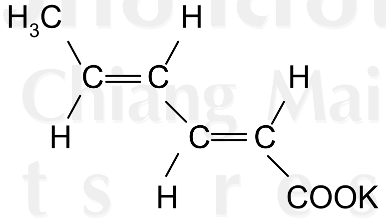
อุตสาหกรรมอาหารใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อควบคุมค่าพีเอช รสชาติ และเนื้อสัมผัสของอาหาร (CFSAN/offices of Food Additive Safe, 2006)



ภาพ 2.8 สูตรโครงสร้างของโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)
ที่มา: Wikimedia commons (2009)

โซเดียมไบคาร์บอเนตมีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.8 โซเดียมไบคาร์บอเนตสามารถควบคุมโรคเน่าภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลทางการเกษตร การใช้สารละลายโซเดียมไบ-คาร์บอเนตความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ลดการเกิดโรคเน่าราสีเขียวจากเชื้อ *P. digitatum* ในผลส้ม (Smilanicket *et al*., 1999; Palou *et al*., 2002) และควบคุมเชื้อ *B. cinerea* และ *P. expansum* ที่เข้าทำลายผลแอปเปิล (Droby *et al*., 2003) นอกจากนั้น สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตยังสามารถใช้ร่วมกับแวกซ์เคลือบผิวผลิตผลได้ด้วย การผสมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแวกซ์ ช่วยลดการเน่าเสียของผลแตง-เมลอนจากเชื้อ *R. stolonifer, A. alternate* และ *Fusarium spp.* ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลแตงเมลอน (Aharoni *et al*., 1997)

2.7.4 โพแทสเซียมซอร์เบต (Potassium sorbate, KS)



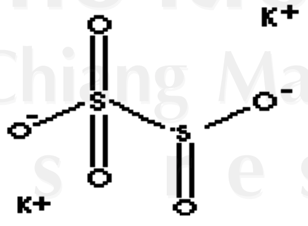
ภาพ 2.9 สูตรโครงสร้างของโพแทสเซียมซอร์เบต ($C_6H_7KO_2$)
ที่มา: ศิวาพร (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียมซอร์เบต มีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.9 โพแทสเซียมซอร์เบตเป็นเกลือของกรดซอร์บิก มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้กรดซอร์บิกกลับคืนมา โพแทสเซียมซอร์เบตจัดเป็นสารที่มีความปลอดภัย นิยมใช้ป้องกันการเน่าเสียในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถควบคุมการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์ และราได้ (Venture Newsletter, 1998) ในทางการเกษตร สารละลายโพแทสเซียมซอร์เบตความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ช่วยลดการเน่าเสียจากเชื้อ *Geotrichum citric-aurantii* บนผลมะนาวได้ (Smilanick *et al*., 2008) การเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลายสารละลายโพแทสเซียมซอร์เบตสามารถทำได้ด้วยการใช้ร่วมกับสารอื่น เช่น การใช้โพแทสเซียมซอร์เบตความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับเอทานอลความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ลดการเน่าเสียจากเชื้อ *B. cinerea* ที่เข้าทำลายผลองุ่นได้ดีกว่าการใช้สารละลายโพแทสเซียมซอร์เบตเพียงอย่างเดียว (Karabulut *et al*., 2005) การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายทำให้ประสิทธภาพในการควบคุมเชื้อก่อโรคเพิ่มขึ้นเช่นกัน สารละลายโพแทสเซียมซอร์เบตความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมโรคเน่าจากเชื้อ *P. digitatum* และ *P. italicum* ที่เข้าทำลายผลส้มได้ (Montesinos-Herrero *et al*., 2009)

2.7.5 โพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ (Potassium metabisulfite, KMS)

โพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ มีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.10 โพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์เป็นวัตถุกันเสีย สามารถควบคุมการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์ และราในอุตสาหกรรมอาหาร ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ประเภทผักและผลไม้แห้ง เครื่องดื่มต่างๆ รวมทั้งไวน์และน้ำหวาน (ศิวาพร, 2546) นอกจากนั้นสารละลายโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ยังสามารถควบคุมการเจริญของเชื้อ *A.parasiticus* ที่เข้าทำลายเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และควบคุมเชื้อ *C. gloeosporioides*, *G. microchlamdosporum* และ *B. theobromae* ที่เข้าทำลายผลเงาะได้ (กนกรัตน์และคณะ, 2542; Sivakumar *et al*., 2001)



ภาพ 2.10 สูตรโครงสร้างของโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ ($K_2O_5S_2$)

ที่มา: Chemicalland21 (2010b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสารละลายโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ จัดเป็นสารที่ปลอดภัย แต่เมื่อละลายน้ำจะได้กรดซัลฟูรัส ในการนำมาใช้จึงต้องคำนึงถึงปริมาณสารตกค้างประเภทซัลไฟต์บนผิวผลิตผลด้วย

2.8 รา (Fungus)

รา เป็นสิ่งที่มีชีวิตเซลล์เดียว มีลักษณะเป็นเส้นสาย (filament) ซึ่งเมื่ออยู่รวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า ไมซีเลียม (mycelium) ผนังเส้นใยของเชื้อราประกอบด้วยสารไคทิน (chitin) และเซลลูโลส (cellulose) ราสามารถสร้างสปอร์เพื่อใช้ในการสืบพันธุ์ ซึ่งมีทั้งแบบอาศัยเพศ (sexual) และไม่อาศัยเพศ (asexual) รามีนิวเคลียส แต่ไม่มีคลอโรฟิลล์ จึงไม่สามารถสังเคราะห์แสงหรือสร้างน้ำตาล หรืออาหารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบได้เอง ต้องอาศัยแหล่งอาหารจากเซลล์ของสิ่งที่มีชีวิตชนิดอื่นโดยการเป็นพาราไซต์ (parasite) หรืออาศัยแหล่งอาหารจากอินทรียวัตถุต่างๆ ที่ตายแล้วโดยการเป็นผู้ย่อยสลายเอง (saprobe) หรือราบางชนิดอาจเป็นได้ทั้งพาราไซต์ และผู้ย่อยสลายเอง (วิจัย, 2551)

2.9 เพนิซิลเลียม (*Penicillium*)

เพนิซิลเลียม เป็นราใน family eurotiaceae มีการสืบพันธุ์ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศจะมีการสร้างแอสโคสปอร์ที่พัฒนามาจากการผสมกันของ antheridium ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว (เพศผู้) และ ascogonium ที่มีรูปร่างยาว ตัวอย่างราที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ คือ *P. vermiculatum* (ภาพ 2.11) ส่วนการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจะมีการสร้าง conidia โดยเส้นใยของราจะแตกก้านชูสปอร์ หรือ conidiophore เมื่อเจริญเต็มที่ส่วนปลายของ conidiophore จะแตกแขนงเป็น metula และ phialide เรียกอีกอย่างว่า sterigmata และเกิด conidia ที่มีลักษณะกลมรีต่อกันเป็นลูกโซ่อยู่บนปลาย phialide โดยมี disjunctor เป็นเยื่อบางๆ เชื่อมต่อ conidia อีกทีหนึ่ง ซึ่งจากแขนงต่ำสุดของก้าน conidiophore ที่เป็นแกนกลางไปจนถึงปลาย phialide รวมเรียกว่า penicillus (ภาพ 2.12) ซึ่งแตกต่างกันและแบ่งได้เป็น 3 พวก คือ (วิจัย, 2551)

1) Monoverticillata ราในกลุ่มนี้ ก้านชูสปอร์ หรือ conidiophore จะมี phialide เกิดเป็นกลุ่มอยู่ที่ปลาย ไม่มี metula หรือแขนงอื่นใด เรียกว่า simple ตัวอย่างราในกลุ่มนี้ เช่น *P. freguentans* (ภาพ 2.13)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) Asymmetrica ราในกลุ่มนี้ penicillus จะแตกแขนง 1 หรือ 2 ครั้งในระดับต่ำจาก phialide ลงมา แขนงที่แตกมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ หรือแตกออกข้างเดียว ตัวอย่างราในกลุ่มนี้ เช่น *P. digitatum* และ *P. roqueforti* (ภาพ 2.13)

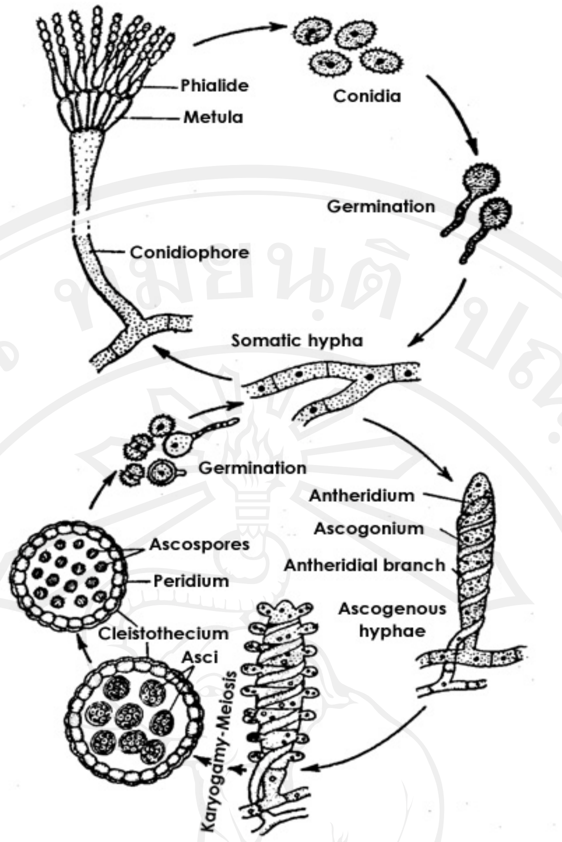
3) Birerticillata-Symmetrica (Lanceolata) ราในกลุ่มนี้จะสร้าง penicillus ที่เป็น birerticillata และ symmetrica ประกอบด้วยกลุ่มของ metula และ phialide โดยรูปร่างของ phialide ส่วนปลายจะค่อยๆ เรียวยาวเล็กลงเป็นรูปเข็ม (lanceolate or acerose) ตัวอย่างราในกลุ่มนี้ เช่น *P. vermiculatum* และ *P. herquei* (ภาพ 2.13)

2.9.1 *Penicillium digitatum*

P. digitatum เป็นราในกลุ่ม asymmetrica มีก้านชูสปอร์ หรือ conidiophore ยาวประมาณ 70-150 ไมโครเมตร มีขนาดเล็ก ผนังบางและเรียบ เมื่อโตเต็มที่จะแตกกิ่งก้าน 2-3 กิ่ง phialide มีลักษณะเป็นรูปขวด สปอร์มีลักษณะค่อนข้างรี ผนังเรียบและต่อกันเป็นโซ่มีขนาด 6-8 ไมโครเมตร สปอร์มีสีเขียวอมเหลืองหรือสีเขียวมะกอก (Pitt and Hocking, 1997)

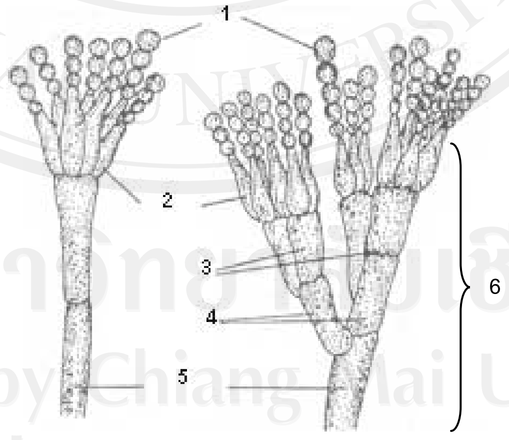
P. digitatum เป็น parasite อาศัยแหล่งอาหารจากเซลล์ของพืช เป็นสาเหตุของโรคเน่าราสีเขียว ซึ่งจะเกิดกับผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยเชื้อ *P. digitatum* จะเข้าทำลายผลิตผลที่มีบาดแผลเท่านั้น (Timmer *et al*., 2003) เชื้อ *P. digitatum* ยังสามารถเข้าทำลายทางแผลที่มีขนาดเล็กมากได้ เช่น บริเวณต่อมน้ำมันใต้ผิวที่ถูกทำลาย มีรอยช้ำ เป็นต้น (ดนัย, 2549) เชื้อ *P. digitatum* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 22-27 องศาเซลเซียส จะเจริญช้ามากที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส (Hall and Scott, 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.11 ชีพจักรการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศของรา *Penicillium*

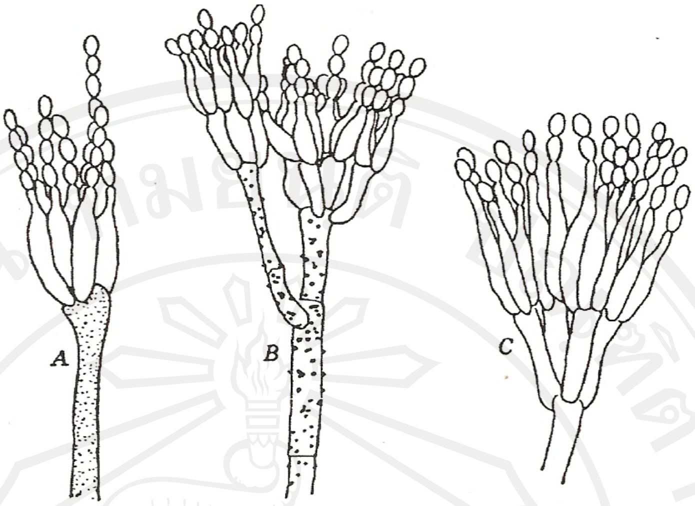
ที่มา: FAO (2010)



ภาพ 2.12 ลักษณะ (1) conidia, (2) phialide or sterigmata, (3) metula, (4) branches, (5) conidiophore และ (6) penicillus

ที่มา: Studentsguide (2010)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.13 ลักษณะ penicillus ของรา *Penicillium*: (A) Monoverticillata type, (B) Asymmetrica type และ (C) Birerticillata-symmetrica

ที่มา: วิจัย (2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved