บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

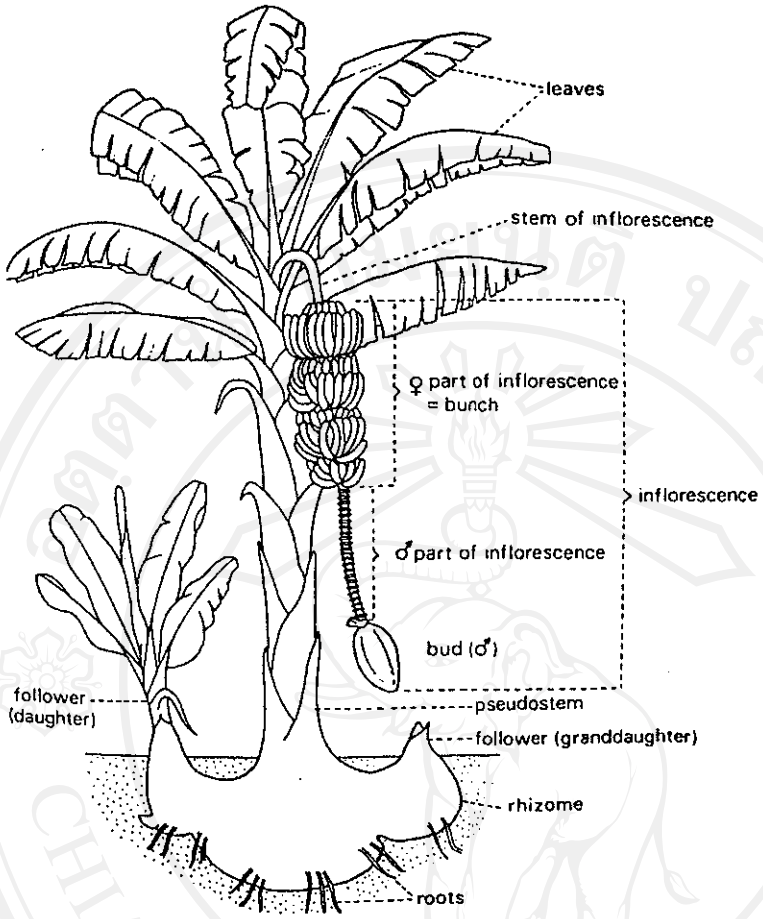
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ทางเหนือของอินเดีย พม่า เขมร ไทย ลาว จีนตอนใต้ แถบหมู่เกาะอินโดนีเซีย เกาะบอเนียว ของฟิลิปปินส์ และไต้หวัน (เบญจมาศ, 2545) และนอกจากนี้กล้วยยังเป็นผลไม้ที่คาดว่าเป็นที่รู้จักและปลูกกันมานานกว่า 4,000 ปีแล้ว และเป็นผลไม้ชนิดแรกที่มนุษย์ปลูกเพื่อใช้เป็นอาหาร ผลของกล้วยที่มนุษย์นำมารับประทานเกิดขึ้นจากการกลายพันธุ์ของกล้วยป่าซึ่งมีรสหวาน เป็นเหตุให้มนุษย์นำมาปลูกไว้ใกล้ๆ บ้าน และต่อมาได้มีการคัดเลือกและปรับปรุงให้ได้พันธุ์ที่ดีขึ้นเรื่อยๆ โดยการใช้หน่อในการขยายพันธุ์สืบต่อกันมา (สมศักดิ์, 2541) สำหรับประเทศไทยถือว่ากล้วยเป็นพืชที่เก่าแก่และถูกนำมาใช้ประโยชน์กันมาตั้งแต่โบราณ ดังจะเห็นได้จากการนำส่วนต่างๆ ของกล้วยมาใช้ประโยชน์ เช่น ใช้ส่วนใบห่อของกินหรือทำงานฝีมือ นำลำต้นมาใช้ในพิธีต่างๆ นำผลมารับประทานหรือทำเป็นอาหาร เป็นต้น

กล้วยมีลำต้นที่แท้จริงเป็นหัวอยู่ใต้ดิน (corm) ที่เรียกว่าไรโซม (rhizome) ไรโซมมีการเจริญคล้ายซิมโปเดียล (sympodial like) ซึ่งเป็นลักษณะโดยทั่วไปของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีลำต้นแบบไรโซม ในกล้วยเกือบทุกชนิดมีการเจริญของหน่อ (sucker) ขนานกับพื้นดินและแทงขึ้นสู่อากาศ (ภาพที่ 2.1) หัวหรือลำต้นแท้ของกล้วยจะมีตา (bud) เจริญอยู่ด้านข้าง ตานี้จะอยู่ระหว่างกึ่งกลางของฐานใบและมีฐานกาบใบหุ้มอยู่ ดังนั้นจึงมองไม่ค่อยเห็นในช่วงแรกของการเจริญ ตาเหล่านี้จะเกิดรอบๆ ต้น เมื่อมีการเจริญเติบโตจะมีการแทงหน่อตั้งขึ้นและมีการเจริญอย่างรวดเร็ว (เบญจมาศ, 2545)

สำหรับผลกล้วยเป็นผลแบบมีเนื้อหลายเมล็ด (berry) มีรูปร่างกลมยาว ทรงกระบอก มีความยาวตั้งแต่ต่ำกว่า 10 เซนติเมตร จนกระทั่งยาวกว่า 30 เซนติเมตร ผลมีรูปร่างตรงหรือโค้ง ถ้าตัดตามขวางของผลที่เจริญเต็มที่จะพบว่าบางพันธุ์กลม บางพันธุ์มีเหลี่ยม แล้วแต่ชนิดพันธุ์ แต่กล้วยที่นิยมนำมาบริโภคส่วนใหญ่จะมีเหลี่ยมของผลลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ (maturity) จึงถูกนำมาใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvesting index) (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.1 ลักษณะต้นและการแตกกอของกล้วย (Susan, 1971)

2.1.1 การจำแนกชนิดของกล้วย

กล้วยจัดอยู่ใน Family Musaceae, Order Scitamineae พืชในวงศ์ Musaceae แบ่งได้เป็น 2 สกุล ตามลักษณะการแตกกอ คือ กล้วยสกุลโทน (Genus *Ensete*) ได้แก่ กล้วยที่ไม่มีการแตกกอ เจริญเติบโตเป็นต้นเดี่ยวๆ มีอายุประมาณ 2 ปี หรือมากกว่า เมื่อให้ผลแล้วลำต้นก็จะตายไปไม่มีการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดอย่างเช่นกล้วยผาและกล้วยนวล ซึ่งผลใช้รับประทานไม่ได้ แต่บางชนิดจะใช้ทำเป็นแป้งได้ ไม่ค่อยมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ส่วนอีกสกุลหนึ่ง คือ สกุลกล้วยที่มีการแตกกอ (Genus *Musa*) ซึ่งกล้วยในสกุลนี้จะมีการแตกหน่อหรือแตกกอออกไปเรื่อยๆ มีปลูกกันทั่วๆ ไปในปัจจุบัน ผลสามารถนำมาใช้เป็นอาหารและรับประทานได้ (สมศักดิ์, 2541; อมรรัตน์, 2542)

Simmonds (1966) กล่าวว่า กล้วยในสกุล *Musa* แบ่งออกได้เป็น 5 section คือ Australimusa, Callimusa, Eumusa, Rhodochlamys และ Ingentimusa กล้วยที่รับประทานได้จัดอยู่ใน section Eumusa ซึ่งเกิดจากกล้วยป่า 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Musa acuminata* และ *Musa balbisiana*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และมีถิ่นกำเนิดในแถบ Indo-Malayan ซึ่งต่อมาทำให้เกิดกล้วยที่กินได้เกิดขึ้นมาหลายพันธุ์ ดังนั้น ในการจำแนกชนิดของกล้วยจะอาศัยการบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์กับกล้วยทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว โดยอ้างอิงจากงานของ Simmonds and Shepherd (1955) ที่อาศัยลักษณะภายนอก 15 ลักษณะในการจำแนก ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นลักษณะที่กล้วยป่าทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ถ้าหากกล้วยที่นำมาจำแนกมีลักษณะเหมือน *M. acuminata* ถือว่าได้ยีนมาจากกล้วยป่าชนิด *M. acuminata* ให้คะแนนเป็น 1 คะแนน มีจีโนม (genome) เป็น A ซึ่งมาจากคำว่า *acuminata* และถ้าหากกล้วยที่นำมาจำแนกมีลักษณะเหมือน *M. balbisiana* ถือว่าได้ยีนมาจากกล้วยป่าชนิด *M. balbisiana* ให้คะแนนเป็น 5 คะแนน มีจีโนมเป็น B ซึ่งมาจากคำว่า *balbisiana* แต่ถ้าลักษณะของกล้วยที่นำมาจำแนกอยู่ระหว่าง 2 species นี้ ให้คะแนนเป็น 2, 3 หรือ 4 คะแนน แล้วแต่ว่าลักษณะนั้นๆ มีแนวโน้มว่าจะไปทางใด (เบญจมาศ, 2545) แต่วิธีการให้คะแนนดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยากและต้องอาศัยความชำนาญในการจำแนก จึงมีการใช้วิธีการนับจำนวนโครโมโซมร่วมกับการศึกษาลักษณะภายนอกด้วย

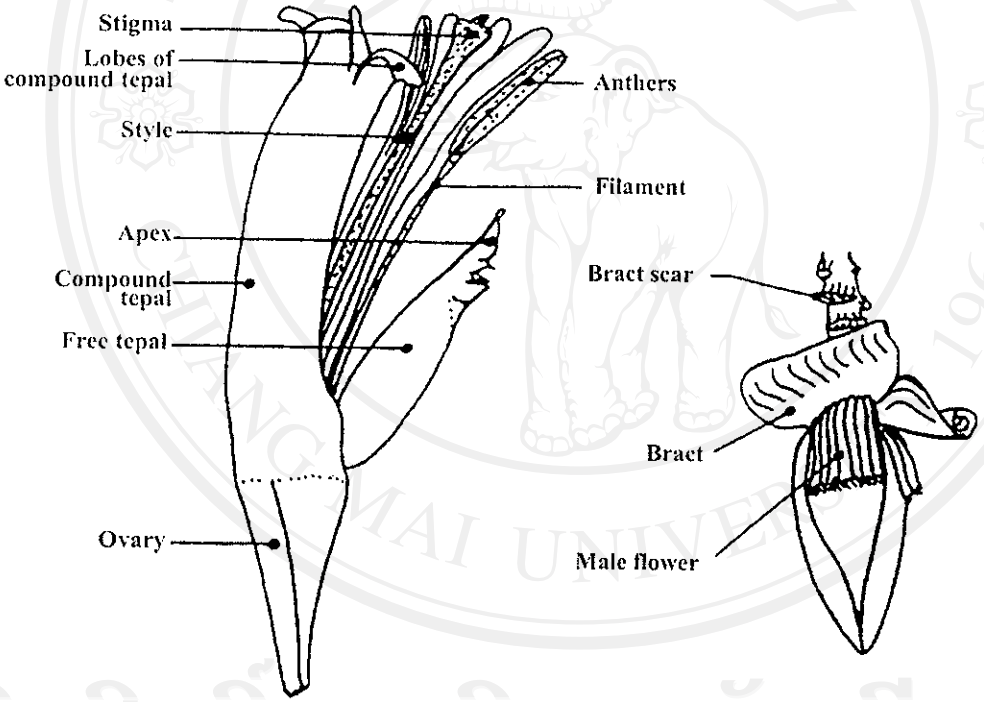
กล้วยใน Eumusa series สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่ม โดยดูจากจำนวนชุดของโครโมโซมและจีโนมเป็นสำคัญได้เป็น AA, AAA, AB, AAB, ABB, ABBB, BB และ BBB สำหรับกล้วยหอมทองจัดอยู่ในกลุ่ม AAA ซึ่งกล้วยในกลุ่มนี้แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยอีก 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มย่อย 'Gros Michel' เช่น กล้วยหอมทอง กล้วยหอมทองใต้หวัน และกล้วยหอมทองไฮเกต กลุ่มย่อย 'Cavendish' เช่น กล้วยหอมเขียว กล้วยหอมเขียวค่อม แกรนด์เนน ไจแอนท์คาเวนดิช วิลเลียมส์ และโฮชูชู และกลุ่มย่อย 'Red' or 'Green Red' เช่น กล้วยนาก กล้วยกุ้ง และกล้วยกุ้งเขียว เป็นต้น ดังนั้น กล้วยหอมทองจึงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์เป็น *Musa* (AAA group, Gros Michel) 'Kluai Hom Thong' ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากกลุ่มย่อยอื่นๆ คือ มีผลเรียว ความยาวประมาณ 5 เท่าของความกว้างของผลหรือมากกว่า ผลโค้งงอ ปลายผลคล้ายจุกขวด ตามลำต้นด้านในสีเขียวหรือชมพูอ่อน ผลมีสีเหลืองสดใสเมื่อสุก และไม่ต้านทานต่อโรคตายพราย (Panama disease หรือ Fusarium wilt) (เบญจมาศ, 2545)

ลักษณะทั่วไปของกล้วยหอมทองมีลำต้นเทียมสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นภายนอกมีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านล่างสีแดงชีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลใหญ่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุกเห็นชัดเปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจุกจะเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีส้มอ่อนๆ กลิ่นหอมและรสหวาน (เบญจมาศ, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 การพัฒนาและการเจริญของผลกล้วย

ผลกล้วยเจริญพัฒนามาจากส่วนของรังไข่ที่อยู่ใต้ส่วนของดอก (inferior ovary) (วิจิตร, 2530) ภายในช่อดอกหรือปลีกล้วยซึ่งประกอบด้วยดอก 3 ชนิด คือ ดอกตัวเมีย ดอกกระเทย และดอกตัวผู้ ดอกกล้วยแต่ละชั้นจะหุ้มด้วยใบประดับ (bract) เป็นชั้นๆ สลับกันไป ใบประดับมีสีเขียวอมม่วงหรือสีม่วง ภายในใบประดับแต่ละชั้นจะมีดอกเดี่ยวๆ ของกล้วย (individual flower) เรียงกันเป็นแถวคล้ายนิ้วมือ ซ้อนสลับกัน 2 ชั้น ใบประดับจะเปิดและม้วนออกครั้งละหนึ่งกาบหรือมากกว่าเผยให้เห็นดอกตัวเมีย เมื่อดอกบานเต็มที่ใบประดับจะหลุดออก เหลือแต่ดอกตัวเมียซึ่งจะเจริญเติบโตเป็นผลกล้วยต่อไป (นิธิยา และ ดนัย, 2533) (ภาพที่ 2.2)



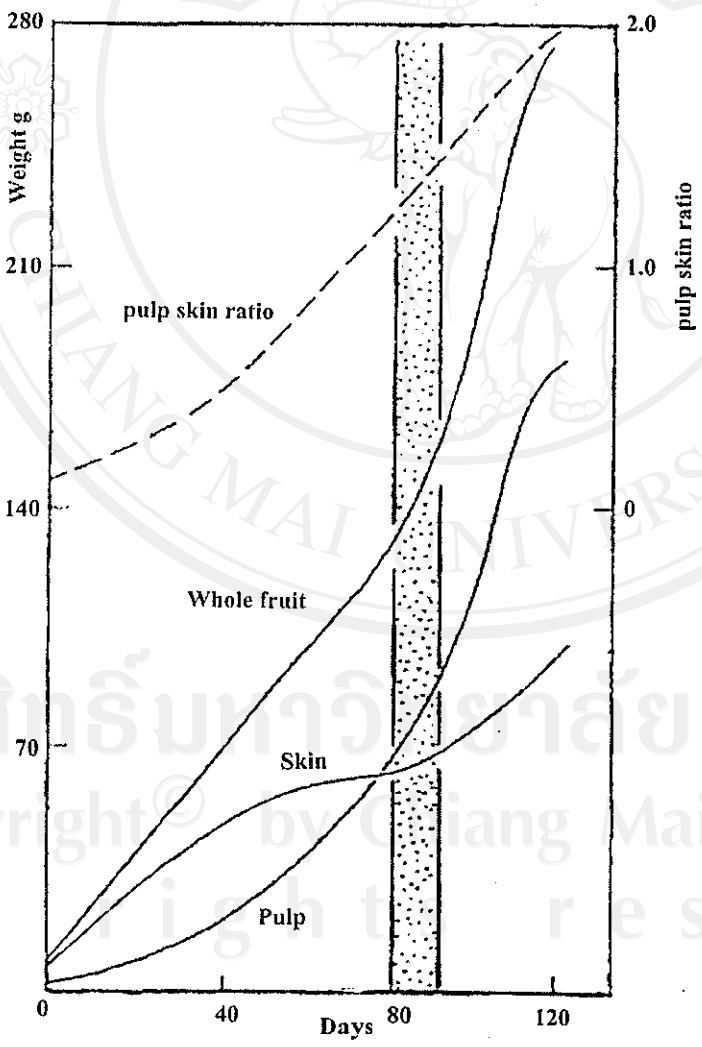
ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของปลี ดอกตัวผู้ และดอกย่อยของกล้วย (เบญจมาศ, 2545)

หลังจากใบประดับที่คลุมดอกตัวเมียแต่ละชั้นหล่นหมดแล้ว ดอกตัวเมียก็จะกลายเป็นผลกล้วยหวีสุดท้าย ต่อจากดอกตัวเมียจะเป็น pendent fruit ซึ่งเกิดจากดอกกระเทย และจะเจริญเติบโตไปเป็นผลกล้วยเล็กๆ เรียกว่ากล้วยตีนเต่า ส่วนดอกที่เหลือถัดลงมาจะเป็นดอกตัวผู้ซึ่งไม่ติดเป็นผลกล้วย มีแต่ปลีที่เจริญต่อไปเรื่อยๆ และดอกตัวผู้ก็ร่วงต่อไปเรื่อยๆ ทำให้ก้านของปลียาวออกไปถ้าไม่ตัดก็จะยาวมาก ทำให้ลำต้นต้องส่งอาหารไปเลี้ยงปลีที่ไม่เป็นผลกล้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเปล่าประโยชน์ จึงนิยมตัดปลีกล้วยออกโดยเร็วเมื่อหวีสุดท้ายที่เป็นผลกล้วยหมด ทำให้ผลกล้วยเจริญเติบโตได้ดีกว่าที่จะปล่อยให้ปลีติดอยู่ ผลกล้วยในแต่ละหวีรวมกันทั้งหมดเรียกว่า "เครือ"

ผลกล้วยขณะเจริญเติบโต ผลจะถ่างออกจากกัน และปลายกระดกขึ้น รูปร่างของผลกล้วยมีลักษณะยาวและกลมหรือบางทีก็เป็นเหลี่ยม ขนาดของผลกล้วยขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์และสิ่งแวดล้อม ผลกล้วยโดยมากยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร บางพันธุ์อาจยาวถึง 30-40 เซนติเมตร ผลกล้วยจะเจริญเติบโตเป็นผลแก่ใช้เวลาประมาณ 90-150 วัน อัตราการเจริญของผลกล้วยวัดจากน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงส่วนต่างๆ ของผลกล้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (นิธิยาและดนัย, 2533)



ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างการแก่และการสุกของกล้วย (Hall, 1964)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ดัชนีการเก็บเกี่ยวกล้วย

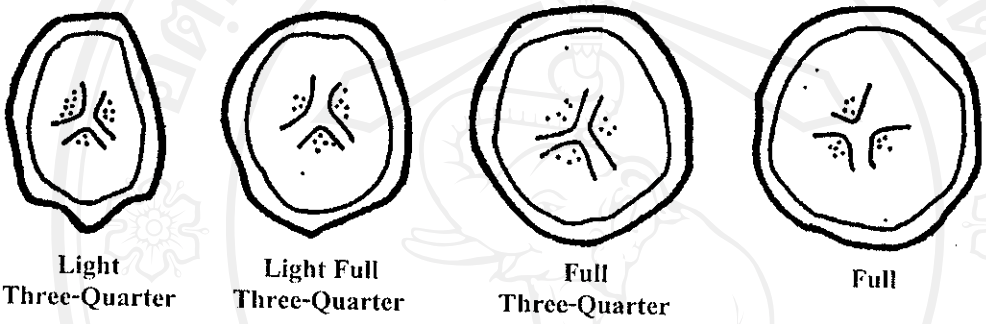
กล้วยเป็นผลไม้ที่มีสีสวยงามถ้าหากมีการปฏิบัติที่ดี แต่เป็นผลไม้ที่เสียง่ายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ซึ่งถ้าหากปล่อยให้กล้วยสุกบนต้นหรือเก็บมาทิ้งให้สุกจะมีกลิ่นที่ค่อนข้างแรง เนื้อในก็จะเริ่มเละ เปลือกและขั้วจะอ่อนและหลุดง่าย ดังนั้นถ้าหากกล้วยได้รับการดูแลหรือการปฏิบัติทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวที่ดีจะทำให้คุณภาพของกล้วยดีเป็นที่ต้องการของตลาด

ปกติอายุของกล้วยตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยว ใช้เวลา 3-4 เดือน แล้วแต่ชนิดของกล้วย กล้วยที่แก่เต็มที่ผลจะยืดยาวประมาณ 15-20 เซนติเมตร บางชนิดก็มีการโค้งงอ บางชนิดเหยียดตรง เมื่อผ่าตามขวางของผลดูจะเห็นว่าผลค่อนข้างกลม ไม่มีเหลี่ยม การเก็บเกี่ยวกล้วยมักจะเก็บเมื่อผลยังดิบมีสีเขียวอยู่และให้ไปสุกที่ตลาดปลายทาง ถ้าปล่อยทิ้งไว้บนต้นจนสุกผลมักจะแตก (เบญจมาศ, 2545) ซึ่งโดยทั่วๆ ไปแล้วในทางปฏิบัติ การเก็บเกี่ยวกล้วยมักนิยมพิจารณาขนาดของเหลี่ยมกล้วยเป็นสำคัญ เนื่องจากความแก่ของผลกล้วยจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับมุมของเหลี่ยมผล (สมศักดิ์, 2541) (ภาพที่ 2.4) แต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณาจากตลาดที่จะนำกล้วยไปจำหน่าย ซึ่งตลาดแต่ละที่ก็จะมีมาตรฐานแตกต่างกัน เช่น ถ้านำกล้วยไปจำหน่ายในตลาดที่อยู่ในจังหวัดเดียวกันหรือจังหวัดใกล้เคียง การตัดกล้วยอาจตัดได้เมื่อผลแก่เต็มที่คือผลกล้วยดูไม่มีเหลี่ยมเมื่อผ่าตามขวางจะมีรูปร่างกลม หรือที่เรียกว่า full แต่ถ้าส่งไปจำหน่ายที่ต่างจังหวัดจะต้องดูระยะเวลาในการเดินทาง การตัดกล้วยก็ต้องตัดให้อ่อนกว่านั้น แต่ถ้าหากส่งไปจำหน่ายต่างประเทศผลกล้วยก็ต้องอ่อนกว่าที่จำหน่ายภายในประเทศ เพราะการนำไปจำหน่ายต่างประเทศต้องใช้เวลาในการขนส่งนาน ผลที่มีอายุน้อยจะมีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่าผลแก่ ถึงแม้ผลที่อ่อนกว่าจะมีคุณภาพด้อยกว่าผลที่แก่เมื่อบ่มให้สุกก็ตาม สำหรับตลาดที่อยู่ห่างไกล เช่น ญี่ปุ่น ฮ่องกง (ขนส่งทางเรือ) จะเก็บเกี่ยวเมื่อกล้วยแก่ประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหลี่ยมกล้วยเริ่มเรียบแล้ว และกล้วยจะสุกภายใน 3 สัปดาห์ ส่วนตลาดที่อยู่ใกล้เข้ามา เช่น สิงคโปร์ และตลาดภายในประเทศ จะเก็บเกี่ยวเมื่อกล้วยแก่ประมาณ 85-90 เปอร์เซ็นต์ และกล้วยจะสุกภายใน 1-2 สัปดาห์ และสำหรับตลาดท้องถิ่น จะเก็บเกี่ยวเมื่อกล้วยแก่มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่จะไม่รอให้สุกคาต้น เพราะนอกจากผลจะแตกแล้วยังมีปัญหาเรื่องแมลงวันทองซึ่งจะทำให้ผลผลิตกล้วยลดลง และกล้วยที่เก็บในระยะนี้จะสุกอย่างรวดเร็วในเวลาไม่ถึงสัปดาห์ (สังคม, 2524)

แก้วกาญจน์ (2539) ทำการศึกษาคุณภาพผลภายหลังการบ่มของกล้วยหอมทองที่มีอายุ (ความแก่) ของผลหลายระดับดังนี้ คือ 55, 60, 65, 70, 75, 80 และ 85 วันหลังจากตัดปลี โดยหลังเก็บเกี่ยวนำผลกล้วยมาบ่มด้วยถ่านก๊าซในอัตราส่วน 2 กรัม/กล้วยหอมทอง 1 กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายในตู้บ่มที่อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 40°ซ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 87.7 เปอร์เซ็นต์ ผลปรากฏว่า ผลกล้วยอายุตั้งแต่ 75 วันขึ้นไปเกิดการสุกบนต้นแล้วทั้งหมด ดังนั้นผลกล้วยที่นำมาทดลองจึงมีเพียงผลกล้วยที่มีอายุ 55-70 วัน โดยเมื่อบ่มจนถึงระยะรับประทานได้ผลกล้วยในการทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เฉลี่ยประมาณ 26°Brix ความแน่นเนื้อไม่แตกต่างทางสถิติ คุณภาพในการรับประทานสด และใช้เป็นวัตถุดิบในการทำฟรุ๊ตสลัดไม่แตกต่างกัน ผลกล้วยอายุ 55 วัน มีเปอร์เซ็นต์สภาพการคืนตัว (recovery) ก่อนและหลังการบ่มน้อยที่สุด คือ 47.3 และ 58.4 เปอร์เซ็นต์ และใช้ระยะเวลาการบ่มนานที่สุด คือ 4 วัน



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของกล้วยตามระยะความแก่ (ดัดแปลงจาก ดนัย และนิธิยา, 2535)

2.3 การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว

กล้วยเป็นผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะในระหว่างการสุกค่อนข้างชัดเจน ส่งผลทำให้คุณภาพของกล้วยภายหลังการเก็บเกี่ยวลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆ สามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มได้ ดังนี้

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏของกล้วยโดยตรงซึ่งมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นปัจจัยแรกที่ผู้บริโภคนำมาใช้เพื่อพิจารณาว่าจะซื้อผลิตผลนั้นหรือไม่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยมีดังนี้

2.3.1.1 การสูญเสียน้ำ

ในเซลล์ของผักและผลไม้มีปริมาณน้ำสูงมาก โดยในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 80-95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหาย มีการสูญเสียน้ำหนัก และมีรูปร่างเปลี่ยนไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งโดยทั่วๆ ไปถ้าผักและผลไม้ที่มีการสูญเสียน้ำไปเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผักและผลไม้เหี่ยว คุณภาพลดลงและอาจขายไม่ได้ราคา ถ้าผักและผลไม้อยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงหรือมีลมพัดจะยิ่งเร่งให้เกิดการเหี่ยวได้เร็วขึ้นภายในไม่กี่ชั่วโมง (ดนัย, 2540 ; Wills *et al.*, 1998)

การสูญเสียน้ำของผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วเป็นกระบวนการที่น้ำเคลื่อนที่แบบแพร่กระจายจากตัวผลิตผลออกสู่อากาศข้างนอก เพราะในสภาพปกติความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมักมีไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และมีความดันไอต่ำ ส่วนผักและผลไม้สดนั้นถือได้ว่ามีความชื้นเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และมีความดันไอในระดับอิ่มตัว ดังนั้นจึงเกิดความแตกต่างของความดันไอ (vapor pressure deficit) ระหว่างภายในผลิตผลและบรรยากาศภายนอก (จริงแท้, 2544) ซึ่งความแตกต่างของความดันไอระหว่างเนื้อเยื่อของผลิตผลและอากาศสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$VPD = SVP - VP_{air}$$

VPD	คือ	ความแตกต่างของความดันไอ (vapor pressure deficit)
SVP	คือ	ความดันไอที่อิ่มตัวของอากาศ ณ อุณหภูมิของเนื้อเยื่อ
VP_{air}	คือ	ความดันไอในอากาศภายนอกที่อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์นั้นๆ

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวถ้าหากความแตกต่างของความดันไอระหว่างภายในเนื้อเยื่อผลิตผลและบรรยากาศภายนอกมีมากจะทำให้น้ำภายในผลิตผลแพร่ไปยังบรรยากาศภายนอกเป็นจำนวนมาก และจะแพร่ไปจนกระทั่งเกิดสภาวะสมดุล คือ เมื่อจำนวนของน้ำในรูปของไอน้ำเคลื่อนที่เข้าและออกในปริมาณที่เท่ากัน ส่งผลทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหาย ดังนั้นวิธีการเก็บรักษาผักและผลไม้เพื่อไม่ให้มีการสูญเสียน้ำมากจนเกินไปจึงจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการเก็บรักษาในสภาวะที่ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอสูง (ดนัย, 2540) นั่นคือการเก็บรักษาในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นสัมพัทธ์สูง (ตารางที่ 2.1) จะช่วยลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นกับผักและผลไม้ได้ ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Qiubo *et al.* (1997) ที่กล่าวว่า ผักส่วนมากโดยเฉพาะผักกินใบควรเก็บไว้ที่ 0°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95-100 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยลดการสูญเสียน้ำจากผลิตผลได้ แต่ถ้าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น 2°ซ จะทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง โดยจากรายงานยังกล่าวอีกว่าการเก็บรักษาบรอคโคลี่ (*Brassica oleracea* var. *italica*) ไว้ที่อุณหภูมิ 0°ซ โดยทั่วไปจะมีอายุการเก็บรักษา 10-14 วัน แต่ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 3°ซ จะมีอายุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

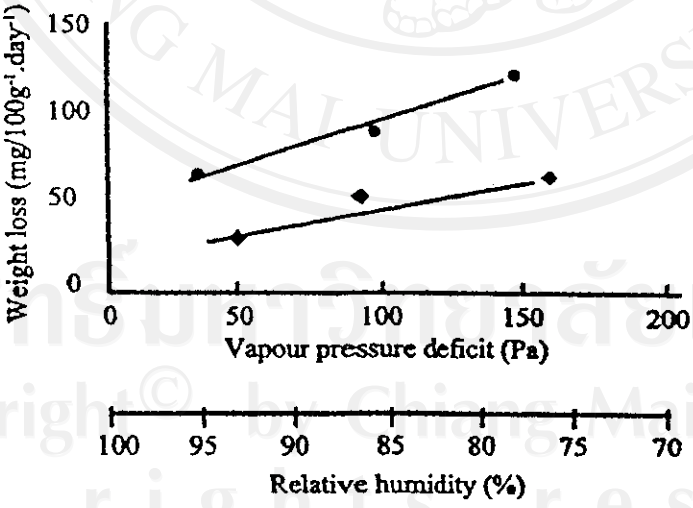
การเก็บรักษา 7 วัน และจากการศึกษาของ Lara and Vendrell (1998) ที่ทำการเก็บรักษาผลแอปเปิลพันธุ์ Granny Smith ที่อุณหภูมิ 1 และ 20°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลแอปเปิลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20°ซ มีอายุการเก็บรักษา 3 เดือน ซึ่งที่ระยะเวลาดังกล่าวผลแอปเปิลที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 1 และ 20°ซ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ 1.15 และ 4.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับการทดลองของ ดวงใจ (2549) ที่ศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่ออายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์มหาชนก ซึ่งทำการศึกษาโดยการเคลือบผิวมะม่วงด้วยสารเคลือบผิวบางชนิดแล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 และ 25°ซ พบว่า ไม่ว่าจะเคลือบผิวมะม่วงด้วยสารเคลือบผิวชนิดใดก็ตามหรือแม้แต่มะม่วงที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°ซ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่ามะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°ซ โดยมะม่วงที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวและมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิ 13°ซ ที่อายุการเก็บรักษา 14 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 4.01 และ 3.75 ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 25°ซ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 10.04 และ 9.56 ตามลำดับ นอกจากนี้ Wills *et al.* (1998) ยังรายงานว่า การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์จะช่วยลดความแตกต่างของความดันไอระหว่างผลิตผลกับอากาศ และจะช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลได้ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 2.5 เช่นเดียวกับการศึกษาในผลทุเรียนที่เก็บรักษาไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน คือ 65 และ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์ ผลทุเรียนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2.6a) ส่งผลให้เปลือกผลหดตัวแล้วดึงให้ผลทุเรียนแยกจากกันทำให้ผลทุเรียนเกิดการแตกมากขึ้น (ภาพที่ 2.6b) (Sriyook *et al.*, 1994) จากรายงานการศึกษาต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมานั้น จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลมาก ดังนั้นในการเก็บรักษาผลิตผลต่างๆ ควรคำนึงถึงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมของผลิตผลชนิดนั้นๆ เป็นสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่อความดันไอและความแตกต่างของความดันไอที่ barometric pressure

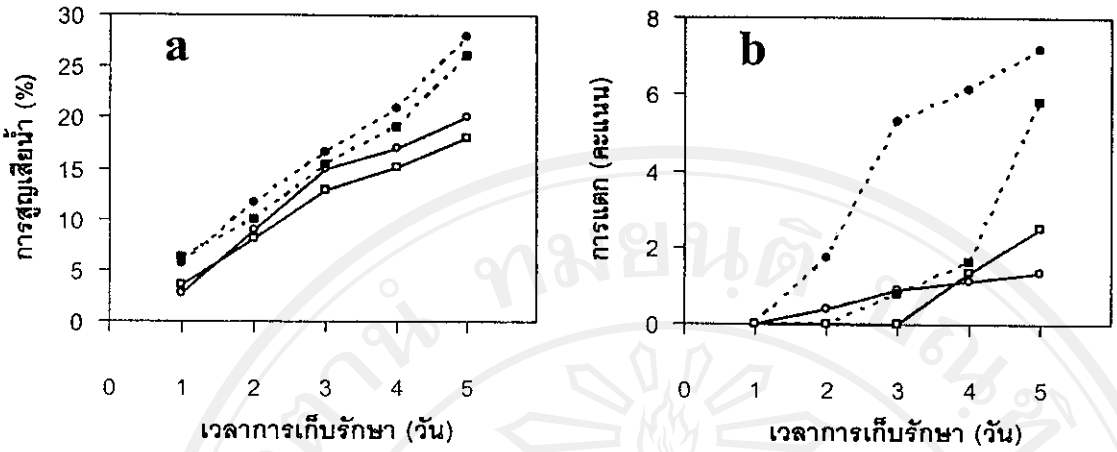
อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	ความดันไอ (มม. ของปรอท)	ความแตกต่างของความดันไอ (มม. ของปรอท)
0 °ซ		
100%R.H.	4.58	0
90%R.H.	4.12	0.46
70%R.H.	3.21	1.37
50%R.H.	2.29	2.29
2.2°ซ		
100%R.H.	5.37	0
90%R.H.	4.83	0.54
70%R.H.	3.76	1.61
50%R.H.	2.68	2.69

ที่มา : จิรา (2534)



ภาพที่ 2.5 ผลของความแตกต่างของความดันไอต่อการสูญเสียน้ำของแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious (กราฟเส้นบน) และพันธุ์ Jonathan (กราฟเส้นล่าง) (Wills *et al.*, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.6 การสูญเสียน้ำ (a) และคะแนนการแตก (b) ของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองผลอ่อน (○,●) และผลบริบูรณ์ (□,■) เมื่อเก็บรักษาภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 65% (เส้นประ) และ 95% (เส้นทึบ) (Sriyook *et al.*, 1994)

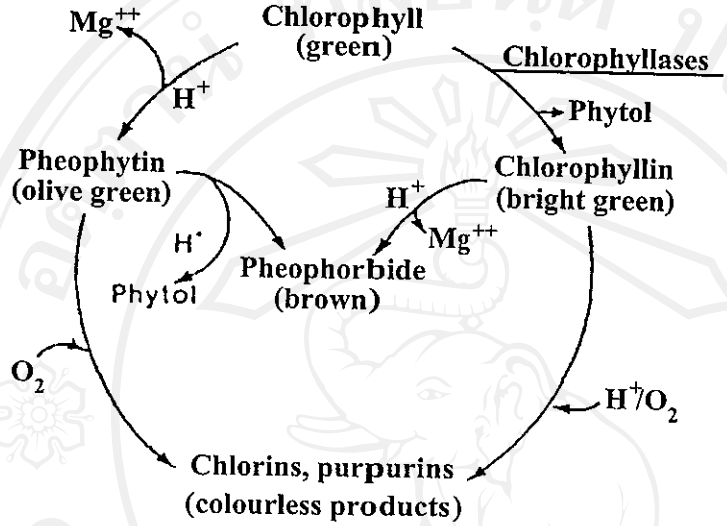
2.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงสี

สีของผักและผลไม้เป็นสิ่งสำคัญที่จะดึงดูดใจผู้บริโภคให้เลือกหาและเป็นปัจจัยแรกที่ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อผลิตผลอย่างใดอย่างหนึ่ง เพราะเป็นสิ่งบ่งบอกถึงชีวิต ถ้าพืชหรือผลิตผลสิ้นสุดชีวิตลง สีเหล่านี้ก็หายไป (จริงแท้, 2549) นอกจากนี้สีของผักและผลไม้ที่เปลี่ยนแปลงไป ยังเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงระดับคุณภาพและอายุของผลิตผลที่เปลี่ยนไปด้วย

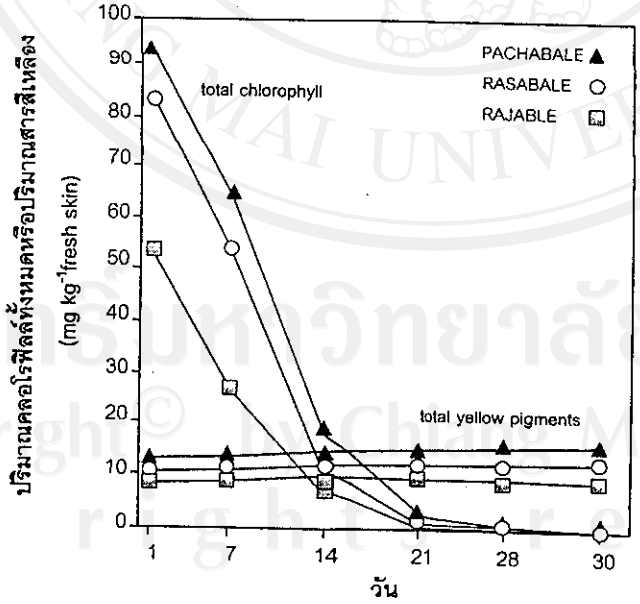
การเปลี่ยนสีของผลไม้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกที่เห็นได้ชัดเจน ในผลไม้ส่วนใหญ่มักมีการเปลี่ยนสีจากสีเขียวซึ่งจะค่อยๆ หายไป และปรากฏเป็นสีอื่นขึ้นมาแทนที่ การเปลี่ยนแปลงสีต่างๆ ของผลิตผลนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสี (pigment) หรือสารสีต่างๆ ที่มีอยู่ภายในเซลล์ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พวกที่ละลายในน้ำ พบในแวคคิวโอล (vacuole) ได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) อีกพวกจะละลายได้ในไขมัน พบในพลาสติด (plastid) มีหลายชนิดด้วยกันคือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) สารสีเหลือง แคโรทีน (carotene) สารสีแดงไลโคปีน (lycopene) สารสีเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้สีของผลิตผลเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของสารสีเหล่านี้ (จิรา, 2534) สำหรับการสูญเสียสีเขียวของผลไม้จะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งตามปกติจะเกิดร่วมกับการเกิดรงควัตถุชนิดอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์และแอนไซยานิน โดยในเนื้อเยื่อสีเขียวทั่วๆ ไปจะมีแคโรทีนอยด์ปะปนอยู่ แต่สีของแคโรทีนอยด์จะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไป สีของแคโรทีนอยด์จึงแสดงออกมาโดยปริมาณไม่ได้เพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เช่น ในกรณีของกล้วยหอมและส้ม (ดนัย, 2540 ; จิรา, 2534) ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 2.8 นอกจากนี้ ดนัย (2540) ยังรายงานว่า คลอโรฟิลล์จะหายไปในช่วงระยะแรกของการสุก โดยในผลกล้วยพบว่าการหายไปของคลอโรฟิลล์จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการสลายตัวของคลอโรพลาสต์ ทำให้ ผลกล้วยเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเมื่อเข้าสู่ระยะการสุก



ภาพที่ 2.7 วิถีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Wills *et al.*, 1998)



ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ระหว่างการสุกของกล้วยหอม (Salunkhe and Desai, 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กล้วยที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยวนั้น ส่วนใหญ่ปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงแต่รงควัตถุชนิดอื่นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ความแก่ และพันธุ์ เช่น กล้วยบางพันธุ์จะยังคงมีสีเขียวอยู่ถึงแม้ว่าจะสุกแล้ว อย่างไรก็ดีการเก็บรักษากล้วยไว้ที่อุณหภูมิ 20°ซ จะเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้ผลกล้วยมีสีเหลืองเร็วขึ้น (ดนัยและนิธิยา, 2535) จากการศึกษาของ Bower *et al.* (2003) ที่เก็บรักษาสาลี่พันธุ์ Bartlett ไว้ที่อุณหภูมิ -1 และ 2°ซ เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ผลสาลี่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -1°ซ ยังคงเป็นสีเขียวอยู่ ในขณะที่ผลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2°ซ จะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองตั้งแต่ในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อนำผลสาลี่ออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 20°ซ ปรากฏว่าผลสาลี่ที่ก่อนหน้านี้เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -1°ซ จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผลภายในระยะเวลาเพียงแค่ 4 วัน ส่วนผลสาลี่ที่ก่อนหน้านี้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°ซ จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผลและมีค่า hue angle ต่ำกว่า 100 ในวันเดียวกันกับวันที่นำออกมาจากห้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°ซ

นอกจากปัจจัยทางด้านอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลแล้ว เอทิลีนยังส่งผลทำให้ผลิตผลเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองได้ เนื่องจากเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีความสัมพันธ์กับการสุกของผลไม้ โดยจากการศึกษาของ Thomas *et al.* (1983) ได้รายงานไว้ว่าในกล้วยหอมเขียวค่อมเมื่อผลเริ่มแก่จะมีปริมาณของคลอโรฟิลล์ลดลง ทั้งนี้จากการลดลงของคลอโรฟิลล์ในช่วงดังกล่าวมีสาเหตุเนื่องมาจากเอทิลีนซึ่งสะสมภายในผลนั้น มีผลในการกระตุ้นการสร้างหรือสะสมแคโรทีนอยด์ และการทำงานของเอมไซม์คลอโรฟิลเลส (Steward and Wheaton, 1972 ; Young and John, 1972) จากรายงานของ Saltveit (1999) กล่าวว่า เมื่อนำผลส้มที่เก็บเกี่ยวก่อนฤดูกาลซึ่งเปลือกยังเขียวอยู่มาให้เอทิลีน จะเร่งให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายเร็วขึ้นและปรากฏสีเหลืองหรือสีส้มขึ้นมาแทน เช่นเดียวกับผลกล้วยที่ได้รับเอทิลีนจะทำให้คลอโรฟิลล์ภายในเปลือกเกิดการสลายตัวและเปลี่ยนสีไปเป็นสีเหลือง ดังนั้นถ้าหากทำการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้จะสามารถป้องกันหรือชะลอการเปลี่ยนสีของผลิตผลได้เช่นเดียวกัน ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Pelayo *et al.* (2003) ที่ใช้ 1-methlycyclopropene (1-MCP) เพื่อยับยั้งการทำงานของเอทิลีนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กับกล้วย เป็นระยะเวลา 6 และ 24 ชั่วโมง พบว่าสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยได้ ซึ่งระดับความเข้มข้นของ 1-MCP ที่ใช้จะมีอิทธิพลต่อการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนมากกว่าระยะเวลาที่ให้ สังเกตได้จากการลดลงของค่า hue angle ที่แสดงถึงการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองจะมีค่าลดลงน้อยกว่าชุดควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาของ Sisler *et al.* (1996) ที่รายงานว่า การให้ 1-MCP 0.5 นาโนลิตร/ลิตร กับผลกล้วยเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จะทำให้ผลกล้วยไม่แสดงอาการตอบสนองใดๆ ต่อเอทิลีนเป็นระยะเวลา 12 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

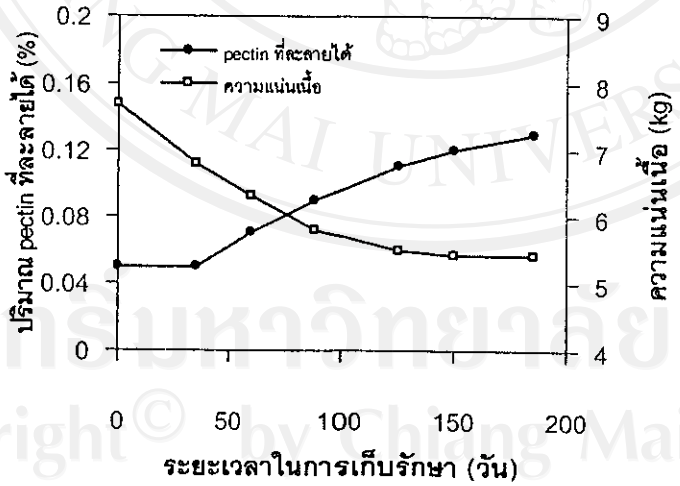
อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงสีของผักและผลไม้นั้นอาจมีสาเหตุเกิดจากปัจจัยอื่นๆ ที่นอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาได้เช่นเดียวกัน โดยจากรายงานของ Biale and Young (1947) กล่าวว่า ออกซิเจนที่ระดับความเข้มข้นสูงสามารถกระตุ้นให้มะนาว (lemon) เปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองได้ ซึ่งการให้ออกซิเจนที่ระดับ 99.2 กิโลปาสคาล จะชักนำให้สีของเปลือกถูกทำลายอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์ Hamlin ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนในระดับความเข้มข้นสูง (50 กิโลปาสคาล) จะกระตุ้นให้อัตราการหายไปของสีเขียว (degreening) เพิ่มขึ้น (Jahn *et al.*, 1969) และจากรายงานของ Li *et al.* (1973) กล่าวว่า มะเขือเทศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12-13°ซ จะถูกกระตุ้นให้สุกเร็วยิ่งขึ้นหากเก็บไว้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 40-50 กิโลปาสคาล และถ้าเก็บรักษามะเขือเทศพันธุ์ *rin* ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 60 หรือ 100 กิโลปาสคาล ซึ่งมีเอทิลีนอยู่ด้วย 10 ไมโครลิตร/ลิตร จะกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์ไลโคปีนมากยิ่งขึ้น (Frenkel and Garrison, 1976) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Buescher and Doherty (1978) ที่พบว่า บรรยากาศที่มีออกซิเจน 100 กิโลปาสคาล จะทำให้การพัฒนาสีของมะเขือเทศพันธุ์ *nor* ที่เก็บรักษาในที่มืดเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ดีการเก็บรักษาผลิตผลไว้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูงไม่ได้ทำให้ผลิตผลเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น แต่ยังมีผลิตผลบางชนิดที่ให้ผลในทางตรงกันข้าม ดังเช่นการเก็บรักษาผลเชอร์รี่และแอปริคอทในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 100 กิโลปาสคาล ที่อุณหภูมิ 18°ซ ส่งผลทำให้ผลิตผลเกิดการสุกน้อยมาก (เมื่อใช้การเปลี่ยนแปลงสีเป็นดัชนีชี้วัดการสุก) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตผลที่เก็บไว้ในบรรยากาศปกติที่ระยะเวลา 10 วัน (Craypool and Allen, 1948) เช่นเดียวกับการเก็บรักษาลูกพลัมพันธุ์ Wickson ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 100 กิโลปาสคาล จะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีให้สัมพันธ์กับการสุกของผลได้ (Craypool and Allen, 1951)

2.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลประเภทผักกินผลและผลไม้เมื่อเจริญเติบโตจนถึงขั้นบริบูรณ์ (mature) หรือเข้าสู่ระยะการสุก คือการอ่อนนุ่มของผล โดยเฉพาะในผลไม้ประเภท climacteric เช่น กล้วย และมะม่วง จะเกิดการอ่อนนุ่มลงอย่างเห็นได้ชัดเจน (จริงแท้, 2549 ; จิรา, 2534) ซึ่งเกิดจากการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ (จิรา, 2534) โดยปัจจัยหนึ่งที่ถูกกำหนดขึ้นเมื่อผลิตผลเข้าสู่ระยะการสุก คือการเปลี่ยนแปลงรูปของอาหารสะสมภายในผลิตผล เช่น ผลไม้ที่สะสมอาหารในรูปของแป้งภายในเซลล์ เมื่อผลไม้สุกแป้งจะถูกเปลี่ยนจากโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่และละลายน้ำได้น้อยไปเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็กลงและละลายน้ำได้ดี ส่งผลให้ผลไม้อ่อนนุ่มลงได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนังเซลล์ของพืชประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต 90-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้แก่ผนังเซลล์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเพกติน (pectin) คาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ประเภทนี้จะทำหน้าที่ประสานกันเพื่อให้ความแข็งแรงแก่เซลล์พืช หากโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกย่อยสลายลง จะทำให้ความแข็งแรงของเซลล์พืชลดน้อยลงและเป็นสาเหตุของการอ่อนนุ่มของผลไม้ ซึ่งสิ่งที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดและเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดการอ่อนนุ่มของผลไม้ ได้แก่ การเปลี่ยนรูปของเพกติน (จริงแท้, 2549 ; Huber, 1983) (ภาพที่ 2.9) ซึ่งแต่เดิมอยู่ในรูปของโปรโตเพกติน เปลี่ยนแปลงจากโมเลกุล (protopectin) ที่ไม่ละลายน้ำ (มี methyl group อยู่บนโมเลกุลของ polygalacturonic acid มาก) เป็นรูปที่ละลายน้ำได้ การเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลเพกตินนี้เนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิด คือ polygalacturonase (PG) และ pectin esterase (PE) สำหรับเอนไซม์ PG จะย่อยโมเลกุลของ polygalacturonic acid ให้สั้นลง ในขณะที่ PE จะย่อยเอากลุ่มเมทิลบนโมเลกุลของ galacturonic acid ออก PG จะไม่สามารถย่อยเพกตินได้ในตำแหน่งของ galacturonic acid ที่มีกลุ่มเมทิลอยู่ได้ จึงมีผู้เสนอว่าเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้ต้องทำงานร่วมกัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในผลไม้หลายชนิดมักพบว่าการทำงานของ PE มีอยู่ตลอดเวลาตั้งแต่ผลไม้ยังไม่สุก ในขณะที่ PG จะปรากฏขึ้นเมื่อผลไม้เริ่มสุกเท่านั้น (จริงแท้, 2544 ; 2549)



ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพกตินระหว่างการอ่อนนุ่มของผลแอปเปิลระหว่างการเก็บรักษา (Knee, 1973)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสจะสัมพันธ์กับการสุกของผลไม้ ดังนั้นปัจจัยใดๆ ก็ตามที่ส่งผลต่อกระบวนการสุกของผลไม้ก็น่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้เช่นเดียวกัน ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการสุกและการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลไม้อย่างเห็นได้ชัดเจนคือเอทิลีน ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Lohani *et al.* (2004) ที่ทำการทดลองโดยให้เอทิลีน 100 ไมโครลิตร/ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 22°ซ กับกล้วยพันธุ์ Robusta Harichhal (*Musa acuminata* ; dwarf cavendish, AAA group) และเก็บรักษาต่อเป็นระยะเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิเท่าเดิม เปรียบเทียบกับกล้วยที่ให้เอทิลีนในปริมาณและระยะเวลาที่เท่ากัน ร่วมกับการให้ 1-MCP 1 ไมโครลิตร/ลิตร ณ สภาวะเดียวกัน พบว่า ความแน่นเนื้อ (firmness) ของผลที่ให้เอทิลีนเพียงอย่างเดียวจะลดลงจากเดิมมากกว่า 11 เท่า (จาก 12.7 ลดลงเหลือ 1.02) ภายในระยะเวลา 2 วัน โดยการลดลงอย่างรวดเร็วของความแน่นเนื้อนี้จะสัมพันธ์กันกับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของการสังเคราะห์เอทิลีนในวันที่ 2 (Pathank *et ai.*, 2003) และการหายใจแบบ climacteric ซึ่งน่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาดังกล่าว แต่สำหรับผลกล้วยที่ให้ 1-MCP พบว่า ความแน่นเนื้อจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก 1-MCP จะไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีนก่อนที่กล้วยจะได้รับ ส่งผลให้การอ่อนนุ่มของผลกล้วยหยุดชะงักลงหรือค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ (Pelayo *et al.*, 2003) สำหรับผลไม้บางชนิดที่อ่อนแอต่อเอทิลีนสูงอย่างเช่นผลกีวี พบว่า หากได้รับเอทิลีนที่ความเข้มข้นเพียงแค่ 30 ppb ก็เป็นสาเหตุให้ผลเกิดการอ่อนนุ่มจนไม่เป็นที่ยอมรับได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา (Saltveit *et al.*, 1999) ดังนั้นความเข้มข้นของเอทิลีนจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลไม้ ซึ่งสำหรับผลไม้บางชนิดอาจจะยังไม่เห็นผลในทันที แต่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสอย่างเห็นได้ชัดเจนในการเก็บรักษาในระยะยาว เช่น จากรายงานของ Stow *et al.* (2000) กล่าวว่าผลแอปเปิลที่เก็บรักษาระหว่างปี 1990-1991 ในสภาวะที่มีเอทิลีนในระดับสูงและต่ำจะมีความแน่นเนื้อลดลงเพียงเล็กน้อยและใกล้เคียงกันในช่วงแรกของการเก็บรักษาและจะเริ่มมีความแตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษา โดยแอปเปิลที่เก็บในสภาวะที่มีเอทิลีนสูงจะมีความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แอปเปิลที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีเอทิลีนต่ำจะมีความแน่นเนื้อค่อนข้างคงที่จนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 18 หลังจากนั้นจึงจะเริ่มลดลง

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

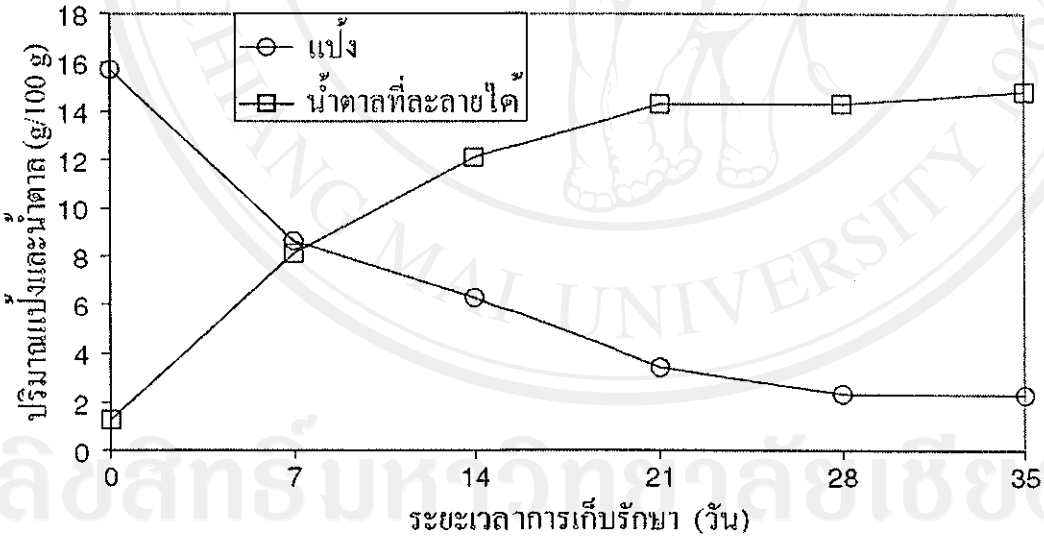
ผลไม้แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันซึ่งจะแปรผันไปตามปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาแล้วมักจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผลไม้นี้จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางด้านรสชาติ และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลไม้ชนิดนั้นๆ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้สามารถทดสอบได้จากการวัดคุณสมบัติดังต่อไปนี้

2.3.2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารสะสม เพื่อเปลี่ยนไปเป็นพลังงานที่จะนำไปใช้ในการดำรงชีวิต สำหรับผลไม้บางชนิดที่สะสมอาหารในรูปของแป้ง (starch) เช่น กล้วย มะม่วง และทุเรียน เมื่อสุกจะเปลี่ยนแป้งที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดที่เล็กลงและสามารถละลายได้มากขึ้น (ภาพที่ 2.10) ทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผลไม้มีรสหวานน่ารับประทาน (จริงแท้, 2549 ; จิรา, 2533) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ในกล้วยพันธุ์ Embun ภายหลังการออกปลี 14 สัปดาห์ จะมีการสะสมแป้งสูงสุด และจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการลดลงของปริมาณแป้งจะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Abdullah *et al.*, 1985)

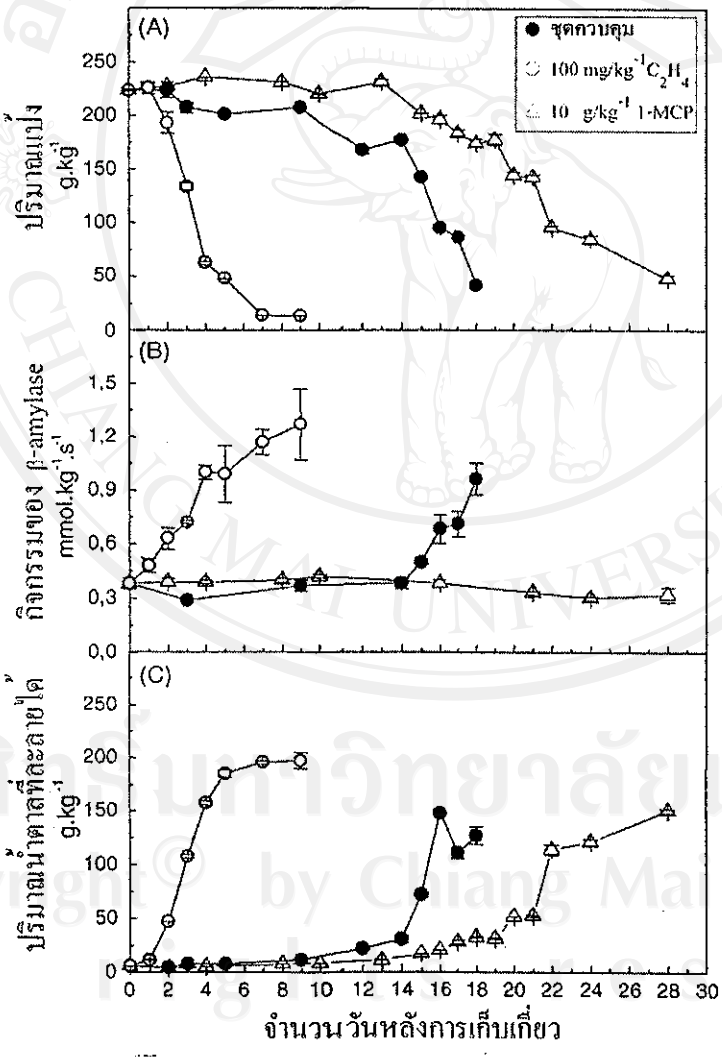


ภาพที่ 2.10 ปริมาณแป้งและน้ำตาลที่ละลายได้ของกล้วยพันธุ์ Prata ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 16±1°ซ และความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (Adão and Glória , 2005)

การเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลของพืชหรือผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เชื่อว่ามีเอนไซม์หลักที่เข้ามาเกี่ยวข้องอยู่ 3 ชนิด คือ α-amylase, β-amylase และ starch phosphorylase ซึ่ง α-amylase ย่อยแป้งได้ เดกซ์ตริน oligosaccharide มอลโตส และกลูโคส ส่วน β-amylase

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ starch phosphorylase ย่อยได้มอลโตส และ glucose-1-phosphate ตามลำดับ (จริงแท้, 2549) ดังตัวอย่างการศึกษาในผลกล้วยพันธุ์ Nanicão (ภาพที่ 2.11) ซึ่งจะเห็นได้ว่ากิจกรรมของเอนไซม์ β-amylase ของกล้วยที่เก็บรักษาในชุดควบคุมและกล้วยที่ได้รับเอทิลีน 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพิ่มสูงขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ปริมาณแป้งจะลดต่ำลงและปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้น โดยกล้วยที่ได้รับเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นเร็วกว่ากล้วยที่เก็บรักษาในชุดควบคุม ส่วนกล้วยที่ได้รับ 1-Methylcyclopropene (1-MCP) 10 ไมโครกรัม/กิโลกรัม จะเกิดการเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด เนื่องจากไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กล้วยเข้าสู่ระยะการสุกได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง (A) กิจกรรมของเอนไซม์ β-amylase (B) และปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ (C) ในกล้วยพันธุ์ Nanicão (João *et al.*, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ผลไม้ส่วนใหญ่เมื่อยังอ่อนอยู่มีปริมาณกรดอินทรีย์ค่อนข้างสูง เช่น กรดซิตริก และกรดมาลิก กรดอินทรีย์เหล่านี้เป็นสารตัวกลางที่สำคัญในวัฏจักร Krebs ของกระบวนการหายใจ ผลไม้ต่างชนิดมีกรดที่สำคัญต่างชนิดกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 นอกจากนี้สภาวะที่มีกรดสูงยังช่วยให้ผลไม้ไม่เหมาะแก่การเข้าทำลายของเชื้อโรค แต่หลังจากผลไม้เริ่มสุกปริมาณกรดมักลดลง เช่น มะม่วงพันธุ์ทองดำมีปริมาณกรดซิตริกลดลงจาก 1.45 เป็น 0.52 เมื่อผลสุก แต่ในผลไม้บางชนิดปริมาณกรดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลสุก เช่น กล้วยมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจาก 4.4 เป็น 10.9 meq $100g^{-1}$ (จริงแท้, 2549)

กรดในผลกล้วยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกรดมาลิก (Loesecke, 1950) โดยผลกล้วยจะมีการสะสมปริมาณกรดเพิ่มขึ้นตามอายุผล และจะเพิ่มจนถึงระดับสูงสุดขณะผลสุก (Wyman and Palmer, 1963 ; Simmonds, 1966) จากนั้นจะลดลงระหว่างช่วงเวลาของการสุก โดยการลดลงของกรดเกิดขึ้นพร้อมกับการลดลงของแป้งและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีรสหวานขึ้น (สายชล, 2528) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ryugo (1988) ที่กล่าวว่าขณะที่ผลมีการหายใจสูงสุดจะมีการใช้กรดมาลิกและซิตริกมากขึ้น

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและชนิดของกรดอินทรีย์ในผลไม้บางชนิด

ชนิดผลไม้	กรดที่สำคัญ	ปริมาณกรด (meq $100g^{-1}$)*
กล้วย	มาลิก	4
องุ่น	ทาร์ทาริก / มาลิก	2
ส้ม	ซิตริก	15
ท้อ	มาลิก / ซิตริก	4
สตรอเบอรี	ซิตริก / มาลิก	10-18
มะเขือเทศ	ซิตริก / มาลิก	7-9
มะม่วง	ซักซินิก (succinic)	5-48
แอปเปิล	มาลิก	3-19

* ข้อมูลในแต่ละรายงานแตกต่างกันค่อนข้างมาก เพราะเป็นข้อมูลจากต่างพันธุ์ ต่างท้องที่ และอายุเก็บเกี่ยว ตัวเลขปริมาณจึงเป็นประมาณการหยาบๆ เท่านั้น

ที่มา : Ulrich (1970) และ Seymour *et al.* (1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

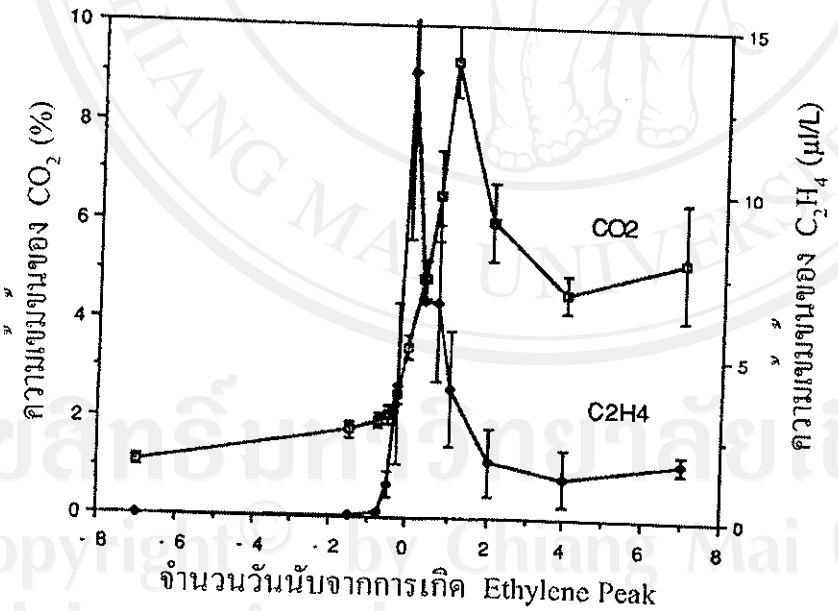
2.4 บทบาทของเอทิลีน

เอทิลีนเป็นสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย จัดเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) มีสูตรโมเลกุลเป็น C_2H_4 ติดไฟและเกิดระเบิดได้ในช่วงความเข้มข้น 3.2-32 เปอร์เซ็นต์ พืชและจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถผลิตก๊าซเอทิลีนได้ (จริงแท้, 2544) นอกจากนั้นเอทิลีนยังพบได้ทั่วไปจากการเผาไหม้ต่างๆ รวมทั้งการเผาผลาญเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ด้วย ก๊าซเอทิลีนสามารถถูกสังเคราะห์ขึ้นมาได้จากเนื้อเยื่อของพืช และจัดเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นก๊าซ ทำให้สามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่าย ส่งผลให้มีอิทธิพลค่อนข้างกว้างขวางต่อการพัฒนาของพืช จึงได้ชื่อว่า ripening hormone หรือ ripening gas (ทิพวรรณ, 2544) และเป็นที่ทราบกันดีในปัจจุบันว่าเอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่มีบทบาทสำคัญต่อพืช โดยเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโต การพัฒนา การแก่ การสุก ตลอดจนการเสื่อมสภาพ ซึ่งก๊าซเอทิลีนนี้มีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับพืชได้ในปริมาณที่น้อยมาก และในการออกฤทธิ์ของเอทิลีนในเนื้อเยื่อพืชยังเกิดลักษณะการเสริมกัน (synergism) หรือเกิดการขัดกัน (antagonism) กับฮอร์โมนพืชชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย (ดนัย, 2540) บทบาทหลักของเอทิลีนต่อผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว คือ การกระตุ้นให้ผลไม้เกิดการสุก สำหรับปริมาณหรือความเข้มข้นของเอทิลีนที่จะกระตุ้นให้ผลไม้เกิดการสุกได้นั้นจะแตกต่างกันไปตามอายุของผลไม้ โดยผลไม้ที่อ่อนอยู่จะมีระดับความไวที่จะตอบสนองต่อเอทิลีนน้อยกว่าผลไม้ที่มีความบริบูรณ์มากขึ้น (จริงแท้, 2549) และนอกจากนี้เอทิลีนยังสามารถกระตุ้นให้เนื้อเยื่อทุกชนิดมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้นได้ โดยจากการศึกษาพบว่าในระยะที่ผลไม้แก่จัดนั้นจะมีการสร้างก๊าซเอทิลีนภายในพืชในอัตราที่ต่ำมาก และจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดียวกับอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2.12) ซึ่งเป็นระยะที่เกิดกระบวนการต่างๆ เช่น การเปลี่ยนสีผิว การนิ่มของเนื้อเยื่อผลไม้ การสังเคราะห์น้ำตาล ฯลฯ

ปริมาณการผลิตเอทิลีนในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ นั้นแตกต่างกันออกไป สามารถจัดเป็นกลุ่มได้ 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (จริงแท้, 2544) สำหรับกล้วยจัดเป็นผลไม้ที่อยู่ในกลุ่มที่ผลิตเอทิลีนปานกลาง ณ ที่อุณหภูมิ 20°ซ กล้วยจะมีอัตราการผลิตเอทิลีนประมาณ 0.3-10 $\mu l\ C_2H_4/kg \cdot hr^{-1}$ (Kader, 2004) นอกจากนั้นกล้วยยังเป็นผลไม้ที่มีความอ่อนแอ (sensitive) ต่อเอทิลีนสูง ดังนั้นจึงส่งผลให้กล้วยสุกอย่างรวดเร็วทำให้อายุการเก็บรักษาสั้น จากรายงานของ Saltveit (1999) กล่าวว่า กล้วยที่ถูกเก็บมาในระยะที่อ่อนและเปลือกยังเป็นสีเขียวอยู่นั้น หากได้รับเอทิลีนจะถูกกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีเหลือง เนื้อเยื่อจะอ่อนนุ่มลงเนื่องจากการสลายตัวของเพกตินส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส และนอกจากนั้น Scriven *et* al. (1989) ยังรายงานว่า การให้ก๊าซเอทิลีนกับผลกล้วยส่งผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าผลกล้วยที่ไม่ได้รับเอทิลีน และจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า ในกล้วยที่มีจีโนมแบบ triploids เช่น กล้วยในกลุ่มย่อย Cavendish ใน AAA group (Hicks, 1934; Semple and Thompson, 1988) และกล้วยที่มีจีโนมแบบ tetraploids (Marriott, 1980) เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกและได้รับเอทิลีน จะทำให้เปลือกเกิดการเสื่อมสภาพ (senescence) โดยเกิดเป็นจุดขึ้น และผลจะหลุดร่วงออกจากหวี ซึ่งการหลุดร่วงของผลจะสัมพันธ์กับการอ่อนตัวของขั้วผล แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับพันธุ์ด้วย เช่น กล้วยพันธุ์ Valery อ่อนแอต่อการหลุดของขั้วผลน้อยกว่าพันธุ์ Gros Michel ทั้งที่มีจีโนมแบบ triploids เหมือนกัน สอดคล้องกับในงานวิจัยของ Paull (1996) ที่ศึกษาการหลุดร่วงของผลกล้วยพันธุ์ Dwarf Brazilian พบว่า การหลุดร่วงของผลกล้วยจะเกิดขึ้นหลังจากเกิดการหายใจแบบ climacteric และการผลิตเอทิลีนสูงสุด ซึ่งสัมพันธ์กับการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นในครั้งที่สอง แสดงให้เห็นว่าเอทิลีนมีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลกล้วยทั้งในแง่คุณสมบัติทางกายภาพและทางชีวเคมี ส่งผลต่อทั้งรสชาติและลักษณะปรากฏของกล้วย ดังนั้นเอทิลีนจึงเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นกับผลิตผลกล้วย การยับยั้งการสังเคราะห์หรือการทำงานของเอทิลีนจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการรักษาคุณภาพของผลิตผลกล้วยก่อนส่งถึงมือผู้บริโภค



ภาพที่ 2.12 ความเข้มข้นของเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลกล้วย ก่อนและหลังการเกิด ethylene peak เป็นระยะเวลา 7 วัน (Beaudry *et al.*, 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 กลุ่มของผักและผลไม้ที่ผลิตเอทิลีนในอัตราส่วนต่างๆ กัน

กลุ่ม	อัตราการผลิต C_2H_4 ที่ 20°ซ ($\mu l\ C_2H_4/kg.\ hr.$)	ชนิดพืช
ต่ำมาก	0.01-0.1	ส้มต่างๆ องุ่น สตรอเบอรี เชอรี ทับทิม ดอกไม้ ผักรับประทานใบเมืองหนาว ผักรับประทานรากมันฝรั่ง
ต่ำ	0.1-1.0	แตงกวา กระเจี๊ยบเขียว พริกยักษ์ พลับ สับปะรด เงาะ กระเทียม ข้าวโพดฝักอ่อน ถั่วฝักยาว หน่อไม้ฝรั่ง ผักกาดขาวปลี มะเขือยาว หอมหัวใหญ่ ผักบุ้งจีน เห็ด ผักคะน้า
ปานกลาง	1.0-10.0	กล้วยหอม แตงเทศ มะม่วง มะเขือเทศ ทุเรียน มังคุด น้อยหน่า
สูง	10.0-100.0	แอปเปิล อะโวกาโด แคนตาลูป กีวี มะละกอ พลับ สาลี่ฝรั่ง
สูงมาก	> 100	เสาวรส ละมุด

ที่มา : จริงแท้ (2544)

2.5 สารดูดกลืนเอทิลีน

การใช้สารดูดกลืนเอทิลีนเป็นวิธีการหนึ่งในการกำจัดก๊าซเอทิลีนที่นิยมใช้ในทางการค้า ในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา เพื่อชะลอการสุกของผลไม้ก่อนการวางจำหน่าย ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษาอิทธิพลของสารดูดกลืนเอทิลีนต่อการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพของผักและผลไม้เป็นจำนวนมาก และได้พบว่าสารดูดกลืนเอทิลีนมีผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ได้ ดังการทดลองของ สุกาญดา (2545) ที่พบว่าปริมาณสารดูดกลืนเอทิลีนและอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกระเจี๊ยบเขียว โดยมีปริมาณสารดูดกลืนเอทิลีนเป็นปัจจัยสำคัญ ส่วนอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกระเจี๊ยบเขียวเป็นลำดับรองลงมา โดยพบว่ากระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาโดยใช้สารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด และกระเจี๊ยบเขียวที่เก็บรักษาโดยใช้สารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด ส่วนอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน

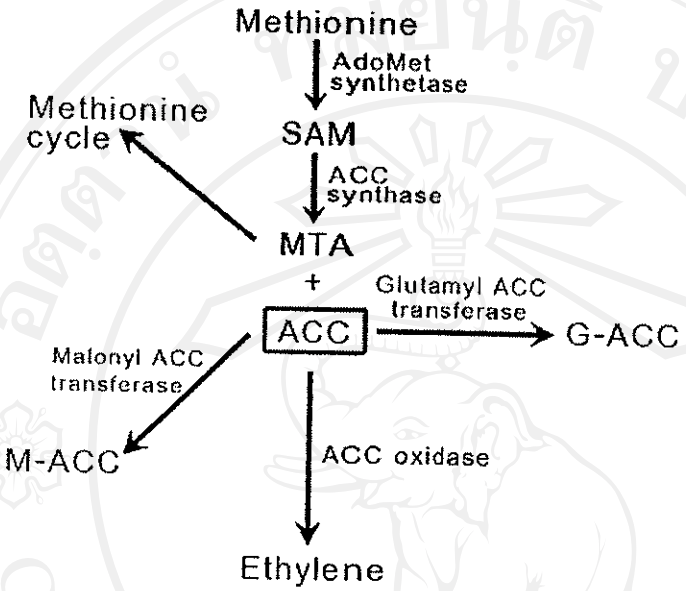
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และคาร์บอนไดออกไซด์ทุกระดับจะมีผลทำให้กระเจี๊ยบเขียวสูญเสียน้ำหนักสดไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ บุณรา (2545) ซึ่งพบว่ากล้วยหอมทองที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนร่วมกับการใช้สารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกล้วยหอมทอง และสารดูดความชื้นในปริมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกล้วยหอมทอง มีอายุการเก็บรักษามากที่สุด คือมากกว่า 86 วัน โดยมีลักษณะทั้งภายในและภายนอกรวมทั้งคุณภาพในการรับประทานเป็นที่ยอมรับได้ ส่วนวิธีการที่ไม่ใช้สารดูดกลืนเอทิลีนและสารดูดความชื้นจะมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าวิธีการอื่นๆ ทั้งนี้เพราะว่าสารดูดกลืนเอทิลีนช่วยลดปริมาณก๊าซเอทิลีนที่สะสมอยู่ภายในถุงทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น และสารดูดความชื้นช่วยทำให้น้ำที่สัมผัสกับผิวกล้วยน้อยลง อาการเน่าและเกิดเชื้อโรคจึงน้อยลง มีผลทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น ส่วนการศึกษาของ อรอุมา (2546) พบว่า ผลมะนาวที่เก็บรักษาในถุงที่บรรจุสารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดของมะนาว ร่วมกับอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 3 PSI และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 PSI มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 95.66 วัน โดยมีลักษณะภายนอกและคุณภาพในการรับประทานเป็นที่ยอมรับ เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ ทิพวรรณ (2544) ที่พบว่าผลกล้วยหอมทองที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 64 วันหลังปลีเปิด ที่เก็บรักษาโดยใช้สารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดของกล้วยหอมทอง ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน 0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 88.33 วัน โดยที่มีคุณภาพภายในและภายนอกผล รวมทั้งคุณภาพการรับประทานอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และในการศึกษาของ จันทนา (2544) ยังพบว่าผลกล้วยไข่ที่เก็บรักษาโดยไม่ใช้สารดูดกลืนเอทิลีนจะมีเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้สารดูดกลืนเอทิลีน เนื่องจากก๊าซเอทิลีนที่สะสมอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ทำให้ผลกล้วยไข่เกิดการสุก และผลกล้วยไข่ที่เก็บรักษาโดยไม่มีสารดูดกลืนเอทิลีนและมีสารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดของกล้วยไข่ จะมีปริมาณก๊าซเอทิลีนมากที่สุด แตกต่างจากผลกล้วยไข่ที่ใช้สารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดของกล้วยไข่ ซึ่งภายหลังจากนำมาบ่มที่อุณหภูมิห้องแล้ว ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะใกล้เคียงกับผลกล้วยไข่ที่บ่มสุกก่อนการเก็บรักษา จากการศึกษาต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่า สารดูดกลืนเอทิลีนมีความสำคัญและจำเป็นต่อการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผล ทำให้ในปัจจุบันได้มีการผลิตสารดูดกลืนเอทิลีนออกมาจำหน่ายและใช้ในทางการค้าเป็นจำนวนมาก ซึ่งได้มีการนำเอาวัสดุต่างๆ มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตสารดูดกลืนเอทิลีนหลายชนิด โดยส่วนผสมหลักที่นำมาใช้กันมากที่สุดในทางการค้า คือ โพแทสเซียมเปอร์-แมงกาเนตหรือด่างทับทิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน

พืชสามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้จาก methionine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่พืชสังเคราะห์ได้เองจากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ภายในเซลล์ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ในการสังเคราะห์ดังนี้



ภาพที่ 2.13 ขั้นตอนต่างๆ ในการสังเคราะห์เอทิลีน (Reid and Wu, 1989)

Methionine เป็นสารเริ่มต้น (precursor) ตัวแรกที่ถูกเปลี่ยนเป็น SAM โดยเอนไซม์ S-adenosylmethionine transferase จากนั้น SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น ACC โดยเอนไซม์ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid syntase (ACC syntase) ซึ่งพบว่าเป็น rate limiting enzyme ของกระบวนการสังเคราะห์ของเอทิลีน ในเนื้อเยื่อพืชหลายชนิด เช่น ราก ลำต้น ใบ ช่อดอก และผล ส่วนเอนไซม์ที่กระตุ้นการเปลี่ยนจาก ACC ให้เป็นเอทิลีน คือเอนไซม์ ACC oxidase หรือ ethylene forming enzyme (EFE) ซึ่งมีอยู่มากในเนื้อเยื่อพืชโดยทั่วไป ปัจจุบันเอนไซม์นี้สามารถแยกออกมาจากเซลล์ได้ และคาดว่าอาจเชื่อมติดอยู่กับเมมเบรน (membrane bound enzyme) ACC อาจถูกเปลี่ยนไปเป็น malonyl ACC (MACC) ซึ่งค่อนข้างเสถียร แต่ในบางกรณี EFE อาจเป็น rate of limiting enzyme ด้วย (Tucker, 1993) สำหรับแหล่งที่เอทิลีนถูกผลิตขึ้นนั้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดแต่เป็นไปได้ว่าการสังเคราะห์เอทิลีนอาจเกิดขึ้นที่บริเวณ plasma membrane (สายชล, 2528)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 กลไกการทำงานของเอทิลีน

เอทิลีนทั้งที่พืชผลิตขึ้นและได้รับจากบรรยากาศภายนอก มีผลต่อการแสดงออกของพืช โดยมีกลไกการทำงานดังนี้ ขั้นตอนแรกของการตอบสนองต่อเอทิลีนคือการเข้าจับกันของเอทิลีนกับตัวรับ (receptor) ที่มีความจำเพาะเจาะจง (specific receptor) ในเนื้อเยื่อเป้าหมาย (Taiz and Zeiger, 1991) ซึ่งการจับกันนี้จะไปกระตุ้นปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับติดต่อกันไป ส่งผลให้เกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาขึ้น Burg and Burg (1967) พบว่าตัวรับของเอทิลีนจะทำงานผ่านหมู่โลหะและทำให้เกิดความสามารถในการตอบสนองต่อเอทิลีนภายในพืชขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าสารประกอบ เช่น เอทิลีน โพรพิลีน บิวเทน และไวนิลเมทิลเอสเทอร์ มีการจับกับอนุภาคเงิน (silver ion) ในลำดับเดียวกัน และมีรายงานวิจัยเป็นจำนวนมากรายงานว่าเอทิลีนสามารถทำปฏิกิริยากับตัวรับ ซึ่งประกอบด้วยสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) (Beyer, 1976 ; Burg and Burg, 1965) การจับของเอทิลีนได้มีการศึกษาโดยใช้วิธี isolated cell-free system จากใบเลี้ยง (cotyledon) ของถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*) โดยการใช้ ^{14}C ซึ่งเป็นสารกำมันตรังสีที่ใช้ในการ label กับเอทิลีนไว้ จากการตรวจสอบพบว่าเอทิลีนเกี่ยวข้องกับ golgi bodies และ endoplasmic reticulum (Bengoches *et al.*, 1980) การจับกันนี้ถูกยับยั้งได้โดยความร้อนและ proteolytic enzyme ซึ่งมีรายงานว่าตัวรับของเอทิลีนเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่จับตัวอยู่กับเมมเบรน (inner membrane protein)

จากหลักฐานทางเคมีพบว่าตัวรับเอทิลีนคือ โปรตีนที่ประกอบด้วยทองแดง ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีน การทำงานของเอทิลีนอาจต่อกับโปรตีนดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น oxidation product ขึ้น เช่น เอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) หรือเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) (Taiz and Zeiger, 1991) อย่างไรก็ตามยังไม่มีหลักฐานปรากฏแน่ชัด

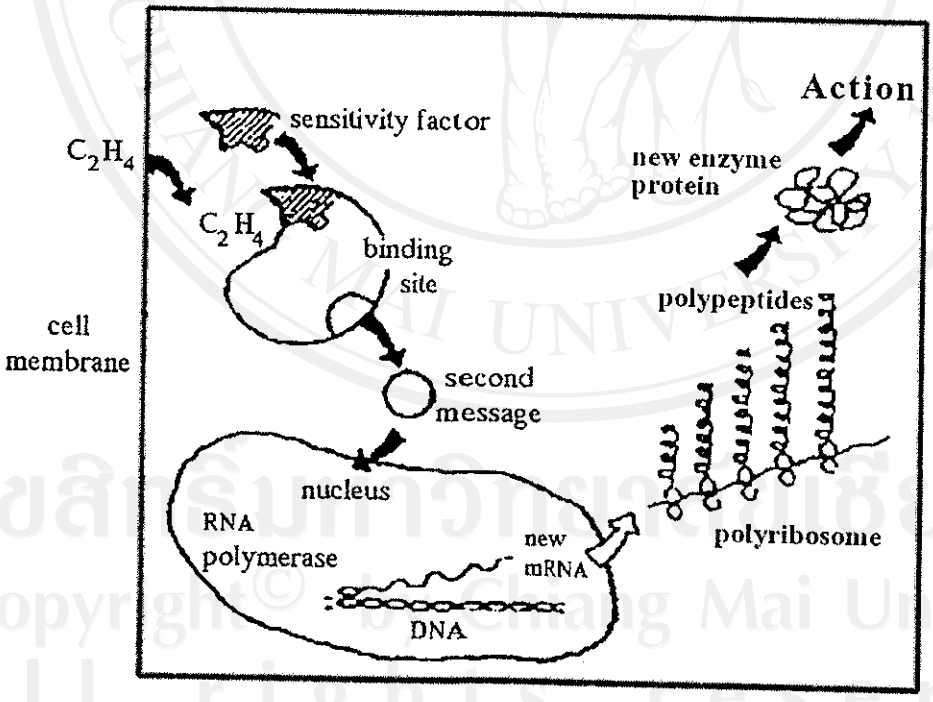
การสุกของผลไม้เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อนซึ่งถูกควบคุมโดยเอทิลีน การสุกประกอบด้วยขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมที่ต่อเนื่องกันเป็นลำดับ และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัส การเกิดกลิ่น และเมแทบอลิซึมอื่นๆ ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพ (senescence) ของผลไม้ โดยพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา (morphology) และการแสดงออกของยีน (gene expression) ที่ถูกกระตุ้นโดยกระบวนการสุก (Kende, 1993) ดังตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ในระหว่างที่ผลไม้สุก เช่น อะโวกาโดและมะเขือเทศ (Christofferson *et al.*, 1984) พบว่าเอทิลีนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสะสมของ mRNA ของทั้ง cellulose และ polygalacturonase ซึ่งแสดงว่าเอทิลีนมีความเกี่ยวข้องกับการ transcription ของยีนที่ทำให้เกิดการสร้างเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Christofferson *et al.*, 1984) เพื่อหลีกเลี่ยงหรือชะลอการเสื่อมสภาพที่อาจเกิดขึ้นกับพืชภายหลังการเก็บเกี่ยว ในทางวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีความพยายามที่จะยับยั้งเอทิลีน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของพืช ซึ่งหนึ่งในวิธีการเหล่านั้นคือการใช้สารเคมีในการยับยั้งเอทิลีน

2.5.3 การตอบสนองต่อเอทิลีนของพืช

การตอบสนองต่อเอทิลีนของพืชมีกลไกดังภาพที่ 2.14 สมมุติฐานการทำงานของเอทิลีนเริ่มจากการที่พืชได้รับเอทิลีนแล้ว sensitivity factor ซึ่งเป็นกรดไขมัน (fatty acid) สายสั้นๆ เริ่มทำงานโดยไปจับกับ membrane-base binding site ช่วยให้ binding site ทำงานได้ จากนั้นโมเลกุลของเอทิลีนจับกับ binding site ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อย second message คือ ligand แล้วส่งไปยังนิวเคลียส เพื่อเข้าจับกับปลาย 5' ของสาย DNA ทำให้เกิดการสังเคราะห์ mRNA ขึ้นมา จากนั้น mRNA จะถูกแปรรหัสไปเป็น peptide ซึ่งจะต่อกันเป็นสายยาวได้ polypeptide ซึ่งเป็นโปรตีนโมเลกุลใหม่ ส่วนใหญ่จะเป็นเอนไซม์ที่เร่งการเสื่อมสภาพของพืช (Kader, 1985 ; Reid and Wu, 1989)



ภาพที่ 2.14 สมมุติฐานการทำงานของเอทิลีน (Reid and Wu, 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4 การยับยั้งเอทิลีน

การใช้สารเคมีในการยับยั้งเอทิลีนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก.) สารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน (ethylene biosynthesis inhibitors)

สารเคมีที่นิยมใช้ในการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน เช่น AOA (aminoxy acetic acid) และ AVG (L-2-amino-4(2-aminoethoxy)-trans-3-butenoic acid) ซึ่งการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ของเอทิลีนโดยใช้ AVG และ AOA พบว่ามีการทดลองเฉพาะบางพืชเท่านั้น เช่น การพ่น AVG ก่อนการเก็บเกี่ยวแอปเปิลจะสามารถชะลอการสุกได้ การยับยั้งการสุกของสาลี่ และยืดอายุการปักแจกันของดอกไม้บางชนิด เป็นต้น การยับยั้งดังกล่าวเป็นการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนในช่วงที่ SAM เปลี่ยนไปเป็น ACC หรือการใช้โคบอลท์ (Co^{2+}) ไปยับยั้งการสังเคราะห์ในช่วงก่อนที่ ACC จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทิลีน (Abeles *et al.*, 1992) จากภาพที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าการยับยั้งการสร้างเอทิลีนดังกล่าว สามารถป้องกันได้เพียงการผลิตเอทิลีนที่เกิดจากภายในพืชเท่านั้น แต่ไม่มีผลในการยับยั้งเอทิลีนที่ได้รับจากภายนอก ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายในตลาด

ข.) สารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน (ethylene action inhibitor)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานในระดับ receptor ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดย Sisler and Yang (1984) พบว่าสารพวก cyclic olefin บางชนิด เช่น 2, 5-norbornadiene ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ แต่ต้องให้อย่างต่อเนื่องจึงจะมีประสิทธิภาพดี และพบว่าความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนสัมพันธ์กับความสามารถในการจับกับ Ag^{+} และการมีวงแหวนเป็นองค์ประกอบของสารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เช่น cis-butene และ cyclopropenes (Sisler and Yang, 1984) และสารประกอบพวก heterocyclic สามารถแสดงคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ Sisler and Serek (1997) พบว่าสารประเภท cyclopropene บางตัว สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และอีกหลายชนิดไม่สามารถยับยั้งการทำงานได้

นอกจากวิธีการใช้สารเคมีในการกำจัดเอทิลีนแล้วปัจจุบันยังมีวิธีการอื่นที่นิยมใช้ในทางการค้าเพื่อกำจัดเอทิลีนให้กับผลิตผลในระหว่างการเก็บรักษา การขนส่ง และการวางจำหน่าย เพื่อชะลอการสุกและรักษาคุณภาพของผลิตผลให้คงความสดและมีคุณภาพดี จนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค โดยวิธีการต่างๆ ดังกล่าวนั้นเป็นวิธีการที่ใช้กำจัดก๊าซเอทิลีนออกจากบรรยากาศที่ใช้ในการเก็บรักษา ดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.5 วิธีการกำจัดเอทิลีนออกจากบรรยากาศ

เนื่องจากการใช้สารเคมีดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยากและต้องใช้เวลาในการให้สารกับผลิตผล จึงไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในทางการค้าที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วในการปฏิบัติงาน และนอกจากนี้วิธีการใช้สารเคมีกับพืชโดยตรงยังเสี่ยงต่อการที่ผู้บริโภคจะได้รับสารเคมีที่ตกค้างมากับผลิตผล ดังนั้นในทางการค้าจึงมีวิธีการบางอย่างที่ใช้กำจัดเอทิลีนออกจากบรรยากาศที่เก็บรักษาผลิตผล เช่น (ดนัย, 2540)

ก.) การใช้ activated charcoal เคลือบด้วยโบรมีน (brominated activated charcoal scrubber)

เมื่อมีเอทิลีนเกิดขึ้นในบรรยากาศจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโบรมีนและเอทิลีนเกิดเป็น dibromoethane ซึ่งจะถูกดูดกลืนโดย activated charcoal

เนื่องจากถ่านเป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดีจึงเปียกชื้นง่าย ซึ่งความชื้นที่ถ่านดูดกลืนไว้นี้ จำเป็นต่อการทำงานของ scrubber แต่โบรมีนมักจะรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นกรด hydrobromic และร่วมไปกับโบรมีนอิสระ อาจจะซึมออกมาในบรรยากาศที่เก็บรักษาได้และจะเป็นพิษต่อผลิตผล

$$CH_2=CH_2 + Br_2 \longrightarrow Br\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}Br$$

ข.) Ultraviolet light scrubber

เมื่อแสง ultraviolet ผ่านเข้าไปในบรรยากาศจะเกิดก๊าซโอโซนขึ้น ซึ่งโอโซนนั้นเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง และจะออกซิไดซ์เอทิลีนได้เป็นกรดฟอร์มิกหรือฟอร์มัลดีไฮด์

$$CH_2=CH_2 + O_3 \xrightarrow{H_2O} 2HCHO$$

แต่โอโซนเป็นก๊าซที่เป็นพิษต่อพืช ดังนั้นต้องกำจัดให้หมดไปจากบรรยากาศและควรให้เกิดก๊าซโอโซนในปริมาณที่น้อยที่สุด

ค.) Potassium Permanganate scrubber

วิธีนี้จะต้องใช้สารพา (carrier) ที่เป็นสารเฉื่อยโดยมีด่างทับทิมเกาะอยู่ข้างนอก วัสดุที่สามารถนำมาใช้เป็นสารพาได้ เช่น vermiculite, alumina, silica gel และ diatomaceous earth เป็นต้น สารพานี้ต้องเป็นสารเฉื่อยเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับด่างทับทิม นอกจากนั้นสารพาต้องมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พื้นที่ผิวมาก เช่น มีรูพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้ดูดกลืนเอทิลีนได้มากขึ้น เอทิลีนจะถูกออกซิไดซ์เป็น ethylene glycol โดยอาศัยความชื้นจากผลิตผล

2.5.6 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือด่างทับทิมมีคุณสมบัติเป็น oxidizing agent ที่รุนแรง (Bioconservacion, 2004) สามารถออกซิไดซ์สารต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง และส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของสารดูดกลืนเอทิลีนที่ใช้ในทางการค้า (Bame, 2004) โดยจะทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดซ์ก๊าซเอทิลีน ทำให้เกิดแมงกานีสไดออกไซด์ซึ่งมีสีน้ำตาล รวมทั้งเอทิลีนไกลคอลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วย ($3C_2H_4 + 2KMnO_4 \xrightarrow{4H_2O} 3C_2H_6O_2 + 2MnO_2 + 2KOH$) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารดูดกลืนเอทิลีนที่ทำมาจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีประสิทธิภาพต่อการยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพของผักและผลไม้ในด้านต่างๆ เป็นจำนวนมาก ดังการศึกษาของ อรทัย (2544) ที่พบว่าการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในถุงที่บรรจุสารดูดกลืนเอทิลีนที่ผลิตจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน มีผลทำให้มะม่วงมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นกว่าปกติ และจากการประเมินคุณภาพการรับประทาน พบว่าเมื่อนำมะม่วงที่เก็บรักษาในถุงที่บรรจุสารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดของมะม่วง ร่วมกับก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ เป็นระยะเวลา 15 วัน ไปบ่มจะมีคะแนนการยอมรับคุณภาพในการรับประทานสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เกษกานต์ (2545) ซึ่งพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บรักษาโดยไม่ใช้สารดูดกลืนเอทิลีนที่ทำมาจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยที่สุด แตกต่างจากข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บรักษาร่วมกับสารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณต่างๆ ซึ่งเป็นเพราะว่าข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บรักษาโดยไม่ใช้สารดูดกลืนเอทิลีนจะมีก๊าซเอทิลีนสะสมอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์สูง ทำให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นจึงนำเอาสารอาหารที่สะสมไว้ไปใช้ในกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในฝักลดลง และนอกจากนี้ยังพบว่าอายุการเก็บรักษาของข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บรักษาโดยใช้สารดูดกลืนเอทิลีนในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสดของข้าวโพดฝักอ่อน ร่วมกับก๊าซออกซิเจนในอัตราการไหล 5 PSI และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราการไหล 10 PSI จะมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 41.66 วัน โดยมีลักษณะภายนอกร่วมกับคุณภาพการรับประทานเป็นที่ยอมรับ ส่วนการศึกษาของ อภิรัตน์ (2544) พบว่าผลน้อยหน่าที่เก็บรักษาในถุงบรรจุสารดูดกลืนเอทิลีนที่ทำมาจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะมีความแน่นเนื้อมากกว่าผลน้อยหน่าที่เก็บรักษาในถุงที่ไม่บรรจุสารดูดกลืนเอทิลีน เนื่องจากก๊าซเอทิลีนสามารถกระตุ้นการสุกของผลน้อยหน่าโดยกระตุ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด เช่น amylase, polygalacturonase, phenylalanine ammonialyase, chlorophyllase เป็นต้น ดังนั้นเมื่อมีการใช้สารดูดกลืนเอทิลีนจึงทำให้กระบวนการสุกรวมถึงกระบวนการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อถูกยับยั้ง แล้วยังช่วยชะลอการลดลงของเปอร์เซ็นต์กรดของผลน้อยหน่าได้อีกด้วย และยังพบว่าสารดูดกลืนเอทิลีนดังกล่าวสามารถช่วยชะลอการสุกของผลน้อยหน่าได้ ซึ่งจะสัมพันธ์ต่อความต้านทานโรคของผลน้อยหน่า จึงทำให้ผลน้อยหน่าที่เก็บรักษาในถุงโพลีเอทิลีนและโพลีโพรพิลีนที่บรรจุสารดูดกลืนเอทิลีนเกิดความเสียหายของผลน้อยกว่าที่เก็บรักษาในถุงที่ไม่มีสารดูดกลืนเอทิลีน นอกจากนี้ สุภารัตน์ (2544) ยังรายงานว่าหน่อไม้ฝรั่งที่เก็บรักษาในถุงที่บรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และก๊าซออกซิเจน 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของอากาศภายในบรรจุภัณฑ์โดยไม่ใช้สารดูดกลืนเอทิลีนที่ผลิตจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จะมีปริมาณเส้นใยสูงที่สุดคือ 2.23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวิธีการอื่น การศึกษาของ Brackmann and Saquet (1999) เกี่ยวกับการเก็บรักษาผลแอปเปิลพันธุ์ Gala ในห้องที่มีการควบคุมสภาพบรรยากาศ (CA storage) และห้องที่มีการควบคุมสภาพบรรยากาศอย่างรวดเร็ว (rapid CA storage) ร่วมกับสารดูดกลืนเอทิลีนซึ่งทำมาจากสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต พบว่าหลังจากเก็บรักษาผลแอปเปิลไว้ในห้องที่มีการควบคุมสภาพบรรยากาศอย่างรวดเร็ว และใช้สารดูดกลืนเอทิลีนจะมีความแน่นเนื้อมากกว่าห้องที่ไม่ใช้สารดูดกลืนเอทิลีน สภาพบรรยากาศที่มีเอทิลีนต่ำจะทำให้ผลแอปเปิลกรอบ ฉ่ำน้ำ และมีสีเขียวกว่า นอกจากนี้ยังมีลักษณะปรากฏและรสชาติที่ดีกว่าด้วย ส่วนผลแอปเปิลที่เก็บรักษาในห้องควบคุมสภาพบรรยากาศ จะมีความแน่นเนื้อต่ำมากและเกิดการเน่าเสียสูงมาก ส่วนการศึกษาของ Hofman *et al.* (1995) ที่ศึกษาโดยใช้สารดูดกลืนเอทิลีนที่มีชื่อทางการค้าว่า 'Purafil' ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นส่วนผสมหลัก (Purafil, 2004) พบว่าถ้าเพิ่มปริมาณสารดูดกลืนเอทิลีนจะทำให้ความเข้มข้นของเอทิลีนสูงสุดที่วัดได้ในภาชนะบรรจุจะลดลงอย่างสม่ำเสมอ และจำนวนวันจากวันที่เก็บเกี่ยวถึงวันที่มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างที่เก็บไว้ในภาชนะเดียวกันเพิ่มขึ้นจาก 8.1 วัน เป็น 11.1 วันโดยเฉลี่ย นอกจากนี้ Ayoub *et al.* (2004) ยังได้รายงานว่าสารดูดกลืนเอทิลีนที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดจะประกอบไปด้วยสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตอยู่ในช่วง 2.5-5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ และจากการทดสอบวัดค่าความเป็นรูพรุน พื้นที่ผิวสัมผัส และขนาดของอนุภาค (particle size) พบว่าทั้งหมดนี้มีความสัมพันธ์กับความสามารถและประสิทธิภาพในการดูดกลืนของสารดูดกลืนเอทิลีนทั้งสิ้น จากที่ได้กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนก๊าซเอทิลีนได้เป็นอย่างดี สามารถรักษาคุณภาพและชะลอการสุกของผลไม้ได้ แต่เนื่องจากเราไม่สามารถใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในรูปผลึกโดยตรงได้ เพราะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไม่สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซเอทิลีนได้สะดวก (ช. ณิฏฐ์ศิริ, 2545) จึงต้องหาวัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวพา (carrier) ซึ่งดินสอพองก็เป็นวัสดุหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมาะสม หาได้ง่ายในประเทศ และราคาไม่แพง

2.5.7 ดินสอพอง

ดินสอพองมีอีกชื่อหนึ่งว่า "ดินมาร์ล (marl)" (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2547) เป็นวัสดุที่ประกอบไปด้วยดินเหนียวและแคลเซียมคาร์บอเนต (Newton BBS, 2004) ซึ่งมีคุณสมบัติเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาเคมี (Texas Building and Procurement commission, 2003) อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่สามารถดูดกลืนสารอื่นไว้ที่ผิวได้ (Oshun Supply, 2004) และนอกจากนี้ดินสอพองยังเป็นวัสดุที่มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย โดยในจังหวัดลพบุรีได้ทำการผลิตเพื่อการค้าเป็นจำนวนมากและจำหน่ายในราคาส่งตันละ 1,000 บาท (หนังสือพิมพ์ข่าวสด, 2547) โดยจากการศึกษาจากเอกสารต่างๆ ยังไม่พบว่ามีการนำเอาดินสอพองมาใช้ในการผลิตเป็นสารดูดกลืนเอทิลีนมาก่อน ซึ่งจากคุณสมบัติดังที่ได้กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าดินสอพองน่าจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นวัสดุตัวพาสำหรับผลิตสารดูดกลืนเอทิลีนได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved