บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

สตรอเบอรี่เป็นไม้ผลล้มลุกขนาดเล็กอายุหลายปี (สังคม, 2532) เป็นไม้กอที่มีระบบรากค่อนข้างตื้น ประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่อยู่ใต้ดินคือราก และ ส่วนที่อยู่เหนือดินคือลำต้น ซึ่งประกอบไปด้วยลำต้นที่แท้จริง ใบ ดอก ผล และไหล พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้าเป็นกลุ่มที่มีจำนวนโครโมโซม 8 ชุด (octoploid ; 2n=8x=56) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Fragaria x ananassa* Duch. จัดอยู่ในตระกูล Rosaceae สกุล *Fragaria* ซึ่งเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างสตรอเบอรี่พันธุ์พื้นเมืองของสหรัฐอเมริกา 2 ชนิด คือ *F. chiloensis* (L.) Duch. กับ *F. virginiana* Duch. (ชูพงษ์, 2531)

พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย

การเลือกพันธุ์สตรอเบอรี่ให้เหมาะสมกับพื้นที่ปลูก เป็นปัจจัยสำคัญของความสำเร็จในการปลูกสตรอเบอรี่ เดิมพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งให้ผลผลิตต่ำ ผลขนาดเล็ก สีผิวด้าน หรือคล้ายสีปูนแห้ง ช้ำง่าย เนื้อผลนิ่ม ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดการพัฒนาการปลูกสตรอเบอรี่ มูลนิธิโครงการหลวงจึงได้มีการนำพันธุ์จากต่างประเทศเข้ามาปลูก เริ่มตั้งแต่ พ.ศ. 2512 จนถึง พ.ศ. 2541 ได้มีการนำสตรอเบอรี่สายพันธุ์ต่างๆ จากต่างประเทศเข้ามาทดลองปลูกมากมาย จากปี พ.ศ.2515 ปรากฏว่าพันธุ์ Cambridge Favorite , Tioga และ Sequoia (รู้จักกันในนามพันธุ์พระราชทานเบอร์ 13 16 และ 20 ตามลำดับ) โดยพันธุ์ Cambridge Favorite และ Sequoia ต้องการอากาศหนาวเย็นนาน เพื่อการพัฒนาตาดอก จึงเหมาะกับอากาศที่อยู่บนที่สูงในระดับความสูงตั้งแต่ 1,300 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลขึ้นไป ส่วนพันธุ์ Tioga เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมกับอากาศค่อนข้างอบอุ่น จึงเหมาะสมกับสภาพพื้นราบทางภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย (ชูพงษ์, 2531 ; สังคม, 2532) ต่อมาในปี พ.ศ. 2529 ได้นำพันธุ์ Nyoho, Toyonoka และ Aiberry จากประเทศญี่ปุ่นเข้ามาทดลองปลูก ผลปรากฏว่าพันธุ์ Nyoho และ Toyonoka สามารถปรับตัวได้ดีบนพื้นที่สูง จนกระทั่งมีการตั้งชื่อพันธุ์ Toyonoka เป็นพันธุ์พระราชทาน 70 (ซึ่งตรงกับปี พ.ศ.2540 ที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ทรงมีพระชนพรรษาครบ 70 พรรษา) และ พันธุ์ B5 เป็นพันธุ์พระราชทาน 50 (ปี พ.ศ. 2539 ซึ่งเป็นปีฉลองศิริราชสมบัติครบ 50 ปี) ปัจจุบันพันธุ์สตรอเบอรี่ที่นับว่าปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 16 20 50 และ 70 นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ Nyoho, Dover และ Selva บ้างในบางพื้นที่ (ณรงค์ชัย, 2542)

พันธุ์พระราชทาน 50

จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์หนัก ออกผลช้ากว่าพันธุ์อื่นที่เป็นพันธุ์เบา ผลขนาดปานกลางถึงใหญ่ เนื้อแข็ง กลิ่นหอม รสออกหวานอมเปรี้ยว หากปลูกในพื้นที่สูงหรือช่วงที่อุณหภูมิต่ำจะมีรสหวานมากขึ้น ต้องการอุณหภูมิต่ำพอควรในการชักนำให้เกิดการสร้างตาดอกในชุดต่าง ๆ สามารถใช้เพื่อการบริโภคสดและส่งโรงงาน (ประสาทพร, 2538) เป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมในสหรัฐอเมริกา นำเข้ามาคัดเลือกพันธุ์ต่อโดยการผสมตัวเองที่หน่วยวิจัยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมูลนิธิโครงการหลวง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 เป็นพันธุ์ที่ชอบอากาศเย็นไม่มากนัก (15-28 °ซ) สามารถปลูกได้ทั่วไปทั้งที่ราบและพื้นที่สูง หากช่วงอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนแตกต่างกันมากจะให้ผลผลิตสูง และผลที่มีคุณภาพดี มีทรงพุ่มปานกลางถึงค่อนข้างแน่น ขนาดทรงพุ่มปานกลางถึงใหญ่ ความกว้าง 40-45 ซม. และมีความสูง 15-20 ซม. จำนวนกอ 3-4 กอต่อต้น ใบประกอบมีขนาดปานกลางถึงใหญ่ ก้านใบด้านล่างและด้านบนมีสีเขียวอ่อน แผ่นใบด้านบนสีเขียวอ่อนถึงเขียวและด้านล่างสีเขียวซีด ผิวใบค่อนข้างเรียบ ใบย่อยที่ปลายยอดขนาดเล็กถึงปานกลาง จำนวนดอก 25-40 ดอกต่อต้น กลีบเลี้ยงสีเขียว กลีบดอกสีขาว ติดผลประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ผลแก่เมื่ออายุประมาณ 25-28 วัน น้ำหนักผล 12-18 กรัมต่อผล ขนาดผลปานกลางถึงใหญ่ รูปร่างผลมีลักษณะกรวยถึงกรวยยาว หรือ ลิ่มถึงลิ่มยาว ความแน่นเนื้อสูง (เนื้อแข็ง) ผิวมีสีแดงถึงแดงเข้ม เนื้อสีแดงถึงแดงเข้ม แกนสีแดงถึงแดงเข้ม แกนแน่นถึงกลวง เมล็ดสีแดง ปริมาณน้ำตาลสูง รสหวานอมเปรี้ยว และ มีกลิ่นหอม จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์หนัก ออกผลช้า ต้านทานต่อโรคแอนแทรกโนสได้บ้าง ต้านทานต่อโรคราแป้งได้ดี (นิรนาม, 2541 ; ประสาทพร และคนัย, 2542)

พันธุ์พระราชทาน 70

เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดปานกลาง (ประสาทพร, 2538) สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 70 เป็นพันธุ์ที่นำเข้าจากญี่ปุ่นมีชื่อว่า Toyonoka มาทดลองปลูกที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 สามารถเจริญเติบโตได้ดีบนที่สูง มีระบบรากที่ใหญ่และแข็งแรงมาก แต่มีรากแขนงน้อย ใบมีลักษณะกลมใหญ่ และสีเขียวเข้ม หลังจากเกิดดอกชุดแรกแล้วมีความต่อเนื่องในการเกิดตาดอกชุดต่อๆมา (ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม) ผลมีขนาดใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ย 11.5-13.0 กรัมต่อผล มีรูปร่างทรงกลม หรือ ทรงกรวย ถึงแม้ปลูกในพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำๆ ก็ให้ผลที่ผิดปกติน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ผิวสีแดงสดใส ค่อนข้างบาง เป็นมัน มีความฉ่ำน้ำ กลิ่นหอมมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยวพอเหมาะ ซึ่งเป็นรสชาติที่ดีมากสำหรับสตรอเบอรี่ รสออกหวาน

หากปลูกในพื้นที่สูง หรือ ช่วงที่อุณหภูมิต่ำ จะมีรสหวานมากขึ้น เหมาะต่อการบริโภคสด ค่อนข้างอ่อนแอต่อไรและเพลี้ยไฟ (นิรนาม, 2541 ; ประสาทพร และดนัย, 2542)

ปัจจุบันทางมูลนิธิโครงการหลวงได้ขยายสตรอเบอรี่สายพันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 โดยวิธีการเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ให้ได้ต้นแม่พันธุ์ปลอดโรคสำหรับใช้ในการผลิตต้นไหล และได้ส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่ของมูลนิธิ ได้ทำการปลูกเก็บเกี่ยวผลผลิตอยู่ในขณะนี้ (นิรนาม, 2541)

โครงสร้างและการพัฒนาของผลสตรอเบอรี่

ผลสตรอเบอรี่ เป็นส่วนของฐานรองดอกที่พัฒนามาเป็นส่วนที่กินได้ ประกอบด้วยแกนกลางผลที่ฉ่ำน้ำ (fleshy pith) ถัดออกไปเป็นวงของ vascular bundles (เป็นกลุ่มท่อลำเลียงน้ำและอาหารจากลำต้นมาสู่แกนกลางผล และส่งไปเลี้ยงเนื้อผลและเมล็ด ขณะเดียวกันก็ช่วยพยุงผลให้มีความแน่นเนื้อ เนื่องจากเป็นเซลล์ที่เหนียวและยาวมากกว่าเซลล์ที่เนื้อผล) ซึ่งแตกแขนงไปหล่อเลี้ยงผลและเชื่อม achene ที่ผิวผลให้ติดอยู่บนฐานรองดอกด้วย fibro-vascular strands ชั้นนอกสุดเป็นผิวชั้นนอก (epidermis) มี achene ติดอยู่ (มีขนเล็กน้อยติดอยู่ที่ผิว achene ซึ่งเป็นส่วนของก้านเกสรตัวเมีย) ผลสตรอเบอรี่เจริญแบบ simple sigmoid curve ซึ่งเป็นการเจริญพัฒนาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และค่อยๆลดลงอย่างช้าๆในช่วงหลังจนกระทั่งผลไม้มีขนาดโตเต็มที่แล้วขนาดของผลจะคงที่หรือเพิ่มขนาดได้เล็กน้อย (ดนัย, 2540) เมื่อไข่ถูกผสม (fertilization) ระยะแรกจะมีการเพิ่มขนาดเซลล์ และช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) พร้อมทั้งมีการแบ่งเซลล์บ้างเล็กน้อย ระยะหลังกลีบดอกร่วง 7 วันมีการแบ่งเซลล์และขยายขนาดเซลล์ เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเป็นการเพิ่มปริมาตรเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยการขยายขนาดของเซลล์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในส่วนของ subcellular และผนังเซลล์ ส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์บริเวณเนื้อผล (cortex) หลังจากระยะดอกบานจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ จะพบการขยายขนาดบริเวณเนื้อผลประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผลแก่แกนกลางผล (pith) และเนื้อผลจะหยุดพัฒนาแต่ยังสามารถขยายขนาดเพิ่มได้บ้างเล็กน้อย (Avigdori-Avidov, 1986) จะเห็นได้ว่าผลสตรอเบอรี่เพิ่มขนาดผลขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์ จากระยะผิวผลมีสีแดงทั้งผล (full red) ถึงระยะสุกเต็มที่ (full ripe)

คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลสตรอเบอรี่

ขนาดผล

ผลสตรอเบอรี่มีขนาดโตขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแก่และสุก ดังตารางที่ 1 โดยการขยายขนาดผลแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกก่อนเกิด fertilization (สตรอเบอรี่เป็นพืชผสมตัวเองคือ เกิดการผสมเกสรก่อนดอกบาน) พบการแบ่งเซลล์เล็กน้อย ระยะที่ 2 หลังจากเกิด fertilization จะแบ่งเซลล์ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ระยะที่ 3 ระยะหลังดอกบาน จะเกิดการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ (cell division and cell expansion) ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนเซลล์ ประมาณ 7 วันหลังกลีบดอกร่วง (petal fall) จากนั้นจะเพิ่มปริมาตรเซลล์ มีการขยายขนาดเซลล์ของเนื้อผล ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลเพิ่มขนาดด้านกว้างอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ ขนาดของผลสตรอเบอรี่มีความแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรงของต้น การแข่งขันของผลบนช่อ (ผลลำดับที่ 1 จะมีขนาดใหญ่กว่าผลลำดับที่ 2 3 และ4 ตามลำดับ) จำนวนของ achene ที่พัฒนาและสามารถผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตที่จำเป็น เช่น auxin มีความสัมพันธ์กับ การขยายขนาดของเซลล์ และ GA_3 มีผลต่อการยืดยาวของผล โดยเฉพาะบริเวณคอหรือไหล่ของผลสตรอเบอรี่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเนื้อเยื่อที่รับและเกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตนั้นๆ และยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกได้แก่ อุณหภูมิต่ำช่วยส่งเสริมการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต มาที่ผลส่งผลให้ขนาดผลใหญ่ ธาตุอาหารพืช และระบบการให้น้ำที่ไม่เพียงพอส่งผลให้ขนาดผลเล็ก นอกจากนี้การให้สารควบคุมการเจริญเติบโตจากภายนอกก็มีผลต่อขนาดผลเช่นกัน (Pantastico, 1975; Avigdori-Avidov, 1986)

ตารางที่ 1 ขนาดของผลสตรอเบอรี่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่างกัน

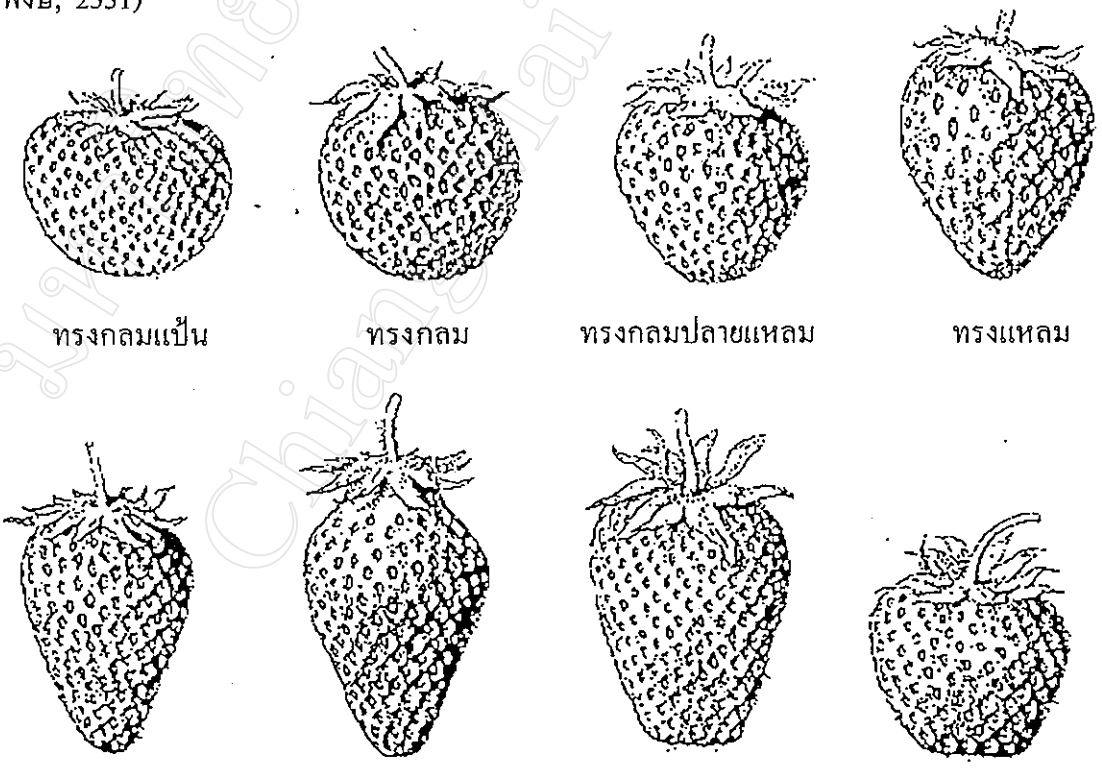
ระยะการเจริญเติบโต	ความยาว(ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)
ถ่ายละอองเกสร	0.93	0.72
กลีบเลี้ยงประสานกัน	1.24	1.04
ผลขยายตัว	1.73	1.43
ผลมีสีขาว	2.34	1.76
ผลเริ่มมีสีแดง	2.68	2.15
ผลมีสีแดงเต็มที่	2.90	2.34
ผลสุกเต็มที่	3.27	2.50

ที่มา: ชูพงษ์ (2531)

รูปร่างผล

รูปร่างของผลโดยทั่วไปดูได้จากรูปร่างของฐานรองดอกภายในช่อผล นอกจากนี้ตำแหน่งของผลในช่อก็ทำให้รูปร่างผลแตกต่างกันด้วย เช่น ผลลำดับที่หนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่มักมีรูปร่างไม่แน่นอน ทรงกว้างและแบนเป็นรูปลิ่มหรือ เป็นแฉกรูปหงอนไก่ (cockcomb) ผลลำดับถัดมามักมีรูปร่างค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้ผลมีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น ผลสตรอเบอรี่ที่ปลูกบริเวณภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกาส่วนมากมีรูปทรงกลม แต่ทางตอนใต้ของแคลิฟอร์เนียพบรูปร่างแบบกรวยยาว (long conic) กับทรงยาวมีคอ (necked) นอกจากปัจจัยข้างต้นแล้ว การเข้าทำลายของโรค แมลง การผสมเกสรที่ไม่สมบูรณ์ ขาดน้ำ หรือ มีความชื้นสูงเกินไปก็ส่งผลต่อการผันแปรของรูปร่างผลสตรอเบอรี่ได้ (ณรงค์ชัย, 2543)

รูปร่างผลสตรอเบอรี่สามารถแบ่งออกได้ 8 แบบ คือ ทรงกลมแป้น (oblate) ทรงกลม (globose) ทรงกลมปลายแหลม (globose conic) ทรงแหลม (conic) ทรงแหลมยาว (long conic) ทรงยาวมีคอ (necked) ทรงลิ่มยาว (long wedge) และ ทรงลิ่มสั้น (short wedge) ดังภาพที่ 1 (ชูพงษ์, 2531)



ภาพที่ 1 รูปร่างของผลสตรอเบอรี่ (ชูพงษ์, 2531)

ความแน่นเนื้อ

เมื่อผลสตรอเบอรี่มีขนาดโตขึ้นจะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (ประสาทพร และดนัย, 2542) เมื่อผลสตรอเบอรี่เริ่มสุกความแน่นเนื้อจะลดลง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ ผนังเซลล์ประกอบด้วย ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall) และผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall) ประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ เรียกว่า microfibril ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช เนื้อที่บริเวณระหว่างเซลล์สองเซลล์เรียกว่า middle lamella จะพบโมเลกุลของเพคตินแทรกอยู่มาก นอกจากนั้นยังแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วย ทำหน้าที่ประสานโมเลกุลต่างๆในผนังเซลล์เข้าด้วยกัน และยังทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงกันด้วย เมื่อผลไม้ดิบเพคตินจะอยู่ในรูปของโปรโตเพคติน (protopectin) ซึ่งละลายน้ำไม่ได้ (insoluble pectin ; ซึ่งมี methyl group อยู่ในโมเลกุลของ polygalacturonic acid มาก และมีแคลเซียม (Ca) ที่รวมกับ protopectin เป็น Ca-pectate ซึ่งไม่สามารถละลายในน้ำได้) (อรรณพ, 2532) ทำให้ผลมีความแน่นเนื้อสูง แต่เมื่อผลไม้สุกแคลเซียมลดลง และโปรโตเพคตินถูกสลายกลายเป็นเพคตินและกรดเพคติค (pectic acid) ซึ่งละลายน้ำได้ (soluble pectin) โดยกระบวนการ depolymerization และ deesterification มีเอนไซม์ polygalacturonase (PG) ย่อยโมเลกุลของ polygalacturonic acid ให้สั้นลงขณะที่ Pectinesterase (PE) ย่อยเอาหมู่เมทธิล (methyl group) ในโมเลกุลของ galacturonic acid ออก และ Pectin methylesterase (PME) จะทำลาย cross-link ของแคลเซียมในส่วนของ middle lamella ทำให้เกิดการแยกตัวของเซลล์ ดังนั้นเซลล์ซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในผลไม้ดิบกลับมาอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวมๆ ในผลไม้สุก เพราะเหตุนี้ผลไม้สุกจึงอ่อนตัว ส่งผลให้มีความแน่นเนื้อของผลลดลง (สายชล, 2528 ; ดนัย, 2540 ;จริงแท้ , 2541)

ในการศึกษาการพัฒนาของสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler ระยะตั้งแต่ติดผล (fruit set) ถึงผลสุกจนกระทั่งหมดอายุ (senescence) พบว่าในช่วงแรกปริมาณ protopectin ลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันพบปริมาณ pectinic acid และ pectic acid เพียงเล็กน้อย จนกระทั่งวันที่ 28 หลังติดผล ปริมาณ protopectin, pectinic acid และ pectic acid จะเพิ่มขึ้น ซึ่งการค่อยๆ ลดลงในช่วงแรกของ protopectin เกิดจาก protopectin ในผนังเซลล์กลายเป็น soluble pectic substance ส่งผลให้ผลนิ่ม (Montero *et al.*, 1996) นอกจากนั้นยังพบอีกว่าในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่ มีปริมาณเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ลดลง แต่ในระหว่างการพัฒนาของผลปริมาณเซลลูโลสมีปริมาณเพิ่มขึ้น (Manning, 1993)

น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสำคัญในผักและผลไม้ที่ให้ทั้งรสชาติ คุณค่าทางอาหาร และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะคาร์โบไฮเดรตอยู่ทั้งในรูปของอาหารสะสม และน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่ให้รสชาติ และยังอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารพวกเพคตินรูปต่างๆ เป็นต้น (จริงแท้ , 2541)

น้ำตาลในผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และ ฟรุกโตส พบสะสมอยู่ในแวคิวโอล (vaculoe) เป็นส่วนใหญ่ น้ำตาลฟรุกโตสจะให้ความหวานมากที่สุด ขณะที่ซูโครสและกลูโคสมีความหวานน้อยลง ตามลำดับ น้ำตาลซูโครสเป็นรูปของน้ำตาลที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายในต้นพืช จากคลอโรพลาสต์ผ่านท่ออาหารไปยังเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมอาหารและที่กำลังเจริญเติบโต แต่มีการเคลื่อนย้ายไปยังผลพบน้อยมาก (สายชล, 2528; จริงแท้, 2541) ซึ่งในผลอ่อนจะนำน้ำตาลไปใช้ในการสังเคราะห์สารพวกเพคติค (pectic substance) และ cell wall material อื่นๆ นอกจากนั้นบางส่วนก็เปลี่ยนไปเก็บรักษาในรูปแป้ง (Whiting, 1970)

ผลไม้ประเภท non-climacteric มักเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่มากที่สุดหรือผลสุก คุณภาพของการบริโภคจึงจะดี เนื่องจากความหวานหรือน้ำตาลได้มาจากการเคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมในผลขณะที่ผลมีการเจริญเติบโตไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลเหมือนกับผลไม้ประเภท climacteric (สายชล, 2528) แต่เมื่อนำมาเก็บรักษาเป็นระยะเวลาหนึ่งพบว่าน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดอันได้แก่ กลูโคส ฟรุกโตส และ ซูโครส จะลดลง อาจเนื่องมาจากถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้น ที่สำคัญในกระบวนการหายใจ (สายชล, 2528; จริงแท้, 2541)

ในผลสตรอเบอรี่ระดับน้ำตาลในผลสามารถบอกถึงความหวาน ดังนั้นผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดีจึงต้องมีปริมาณน้ำตาลสูง (ประสาทพรและคนัย, 2542) ระดับน้ำตาลในผลสตรอเบอรี่จะเริ่มสูงขึ้นเมื่อผลมีสีขาวและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนผลสุกเต็มที่ น้ำตาลที่พบ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส (จริงแท้, 2541) ในสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler พบว่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังวันที่ 21 นับจากเริ่มติดผล เมื่อผลเริ่มสุกปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีปริมาณสูงสุดในวันที่ 28 นับจากเริ่มติดผล หลังจากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลง ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 35 นับจากเริ่มติดผล หลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลง การที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้นนี้ส่งผลให้ผลสตรอเบอรี่มีรสชาติหวานขึ้น (Montero *et al.*, 1996)

กรดอินทรีย์

ผักและผลไม้มีกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ มากมายดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นกรดที่อยู่ในวิถีเครบส์ (Krebes cycle) ของกระบวนการหายใจ กรดอินทรีย์ที่พบมากในผักและผลไม้คือ กรดซิตริค (citric acid) และ กรดมาลิค (malic acid) จะผันแปรขึ้นกับชนิดของผลไม้ ในสตรอเบอรี่กรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุด คือ กรดซิตริค รองลงมา คือ กรดมาลิค (ดนัย, 2540) โมเลกุลของกรดเหล่านี้มีกลุ่มของคาร์บอกซิลิค (carboxylic group) เป็นองค์ประกอบที่ให้คุณสมบัติเป็นกรด (อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540; จริงแท้, 2541) กรดอินทรีย์ที่เหลือจากการทำงานของวัฏจักรเครบส์ และวิถีเมตาโบลิซึมอื่นๆ จะถูกเก็บสะสมอยู่ในแวคิวโอลของเซลล์ (อรรณพ, 2532) มีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกดัชนีความแก่ (maturity index) โดยวัดจากปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (tritratable acidity) หรือ อัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรด (sugar/acid ratio หรือ dry matter/acidity ratio) (Ulrich, 1970; Montero *et al.*, 1996) โดยทั่วไปขณะที่ผลไม้ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่สูงไม่เหมาะสมกับการบริโภค ขณะเดียวกันก็ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อผลไม้สุกรวมถึงภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดภายในผลไม้จะลดลง (จริงแท้, 2541) Montero *et al.* (1996) ทำการศึกษาปริมาณกรด 3 ชนิด คือ กรดซิตริค (citric) , กรดมาลิค (malic) และกรดชิคิมิค (shikimic) ในผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler พบว่าปริมาณกรดซิตริคมีการเพิ่มขึ้นตลอด แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีเพียงเล็กน้อย ส่วนปริมาณกรดมาลิค และกรดชิคิมิค มีการเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งลักษณะการเพิ่มของปริมาณกรดทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน โดยมีการเพิ่มอย่างรวดเร็วหลังจากวันที่ 21 นับจากเริ่มติดผล จนกระทั่งมีปริมาณกรดทั้งสองสูงที่สุดในวันที่ 35 นับจากเริ่มติดผลและหลังจากนั้นปริมาณกรดทั้งสองจะลดลง

วิตามินซี

วิตามินเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์และจัดเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์แต่ต้องการปริมาณเพียงเล็กน้อย (มิลลิกรัมหรือไมโครกรัม) เมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และ น้ำ ซึ่งวิตามินซีก็เป็นวิตามินที่สำคัญชนิดหนึ่ง หากขาดวิตามินซี จะทำให้ร่างกายผิดปกติและเกิดโรค เช่น โรคลักปิดลักเปิด เหงือกหดตัว ฟันคลอน เลือดออกตามไรฟัน หากมีอาการรุนแรงอาจทำให้เลือดไหลไม่หยุด เส้นเลือดฝอยเปราะ บาดแผลหายยาก และโรคโลหิตจาง (อรุณี, 2530) ร่างกายมนุษย์และสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินได้ ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ซึ่งผักและผลไม้สดเป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินซีในอาหาร (ดนัย, 2540) วิตามินซีเป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้ จึงดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและร่างกายไม่สามารถสะสมไว้ได้ หากได้รับมากเกินพอร่างกายจะขับออกทางปัสสาวะ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารให้เพียงพอในแต่ละวัน ซึ่ง

ร่างกายมนุษย์ต้องการวิตามินซีประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อวัน ปริมาณวิตามินซีในผลไม้ต่างๆ จะมีปริมาณที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3 วิตามินซีสร้างขึ้นในช่วงที่พืชมีการสังเคราะห์แสงสูง ซึ่งในช่วงที่ผลยังอ่อนจะมีปริมาณกรดสูง ปริมาณวิตามินซีจะสูงตามไปด้วย และเมื่อผลเริ่มแก่ปริมาณกรดจะลดลงทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงด้วย (วุฒิคุณ, 2530) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Montero *et al.* (1996) ที่ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler ระยะตั้งแต่ติดผลถึงผลสุกจนกระทั่งหมดอายุ พบว่าปริมาณกรดแอสคอบิกเพิ่มขึ้นตลอดตั้งแต่กระบวนการเจริญเติบโตของผล จนกระทั่งผลสตรอเบอรี่สุก

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดส่วนใหญ่ที่พบในผลไม้สุก (milliequivalents/100 กรัมน้ำหนักสด)

กรดที่พบเป็นส่วนใหญ่	ชนิดของผลไม้	ปริมาณกรด	กรดอื่นๆที่พบ
กรดมาลิค	แอปเปิล	3-19	ควินิค พบในเปลือกและผลอ่อน
	กล้วย	4.0	
	เชอรี่	5-9	ซิตริค ควินิค ซิคิมิค
	องุ่น	1.5-2.0	ทาทาริค 1.5-2
	ท้อ	4.0	ซิตริค
	สาลี่	1.0-2.0	ซิตริค
	บ๊วย	6-11	ควินิค พบในผลอ่อน
กรดซิตริค	เลมอน	73	มาลิค(4) ควินิค
	ส้ม	15	มาลิค(3) พบควินิค และออกซาลิคในเปลือก
	ฝรั่ง	10-20	มาลิค
	สับปะรด	6-20	มาลิค (1.5-7)
	ทับทิม	7-30	มาลิค
	สตรอเบอรี่	10-18	มาลิค (1-3) ควินิค (0.1) และ ซัคซินิค (0.1)
กรดทาทาริค	องุ่น	1.5-2.0	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ulrich (1970)

ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณวิตามินซีจะสูญเสียได้ง่าย เนื่องจากวิตามินซีเป็น สารรีดิวซ์ที่รุนแรงมีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อถูกแสง ออกซิเจน และอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นอาจสูญเสียได้จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase , polyphenol oxidase , cytochrome oxidase และ peroxidase โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ascorbic acid oxidase จะทำให้เกิดปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างสารตั้งต้น และโมเลกุลของออกซิเจน ในปฏิกิริยาออกซิเดชั่นซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของกรดแอสคอบิกได้ ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้พบมากเมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้สดที่เกิดการเสียหายเนื่องจาก การตัดแต่ง หั่น หรือ เกิดรอยช้ำ การเก็บรักษาและขนส่งสตรอเบอรี่ภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ จากการศึกษาของ Nunes *et al.* (1995) พบว่าสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler, Oso Grande และ Sweet Charlie ที่ผ่านการลดอุณหภูมิอย่างช้าๆ มีการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอบิกมากขึ้น และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไม่สามารถป้องกันการสูญเสียวิตามินซีได้เสมอไป ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลิตผลที่มีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว (chilling injury) ด้วย เพราะอาการสะท้านหนาวจะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีได้ (Lee and Kader, 2000)

สารสี

สีผิวของสตรอเบอรี่ที่แดงสดใสและมีความมันวาวเป็นสิ่งที่แสดงถึงความแก่และมีคุณภาพและเป็นสิ่งที่ดึงดูดใจผู้บริโภคมาก (Moore and Sistrunk, 1981) ในช่วง 28 วันหลังกลีบดอกร่วงจะพบการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ที่ผล และช่วงระหว่าง 28 ถึง 35 วันหลังกลีบดอกร่วงผลจะเริ่มสังเคราะห์แอนโธไซยานินพร้อมกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ผลสตรอเบอรี่เมื่อสุกเต็มที่จะพบรงควัตถุแอนโธไซยานินบังสีของแคโรทีนอยด์ ดังนั้นจึงสังเกตเห็นเฉพาะสีของแอนโธไซยานินเท่านั้น (Avigdori-Avidov, 1986; Manning, 1993) แอนโธไซยานินอยู่ในกลุ่มสารสีจำพวก flavonoids สามารถละลายน้ำได้ (water soluble) ให้สีแดง ชมพู น้ำเงิน และ ม่วง เป็นสารประกอบจำพวกไกลโคไซด์ (glycoside) สารสีแอนโธไซยานินในผลสตรอเบอรี่จะกระจายทั่วทั้งผลในแวคิวโอของเซลล์ แต่ในผลไม้ส่วนใหญ่จะพบแอนโธไซยานินในเนื้อเยื่อชั้น epidermal และ sub-epidermal เช่น แอปเปิล สาลี่ องุ่น พบแอนโธไซยานินบริเวณผิวผลเป็นส่วนใหญ่ (Gross, 1987) สีของแอนโธไซยานินจะผันแปรไปตามสภาพความเป็นกรดด่างของสารละลายในแวคิวโอที่เปลี่ยนแปลงไป แอนโธไซยานินมีสีแดงในสภาพที่สารละลายเป็นกรด และสีจะจางลงเมื่อความเป็นกรดลดลง ในสภาพสารละลายเป็นกลางหรือด่างแอนโธไซยานินจะมีสีน้ำเงินหรือสีม่วงในตอนแรก และสีจะจางลงไปเรื่อยๆ แอนโธไซยานินมีมากมายหลายชนิด ที่สำคัญมีอยู่ 6

ชนิด คือ เพลาร์โกนิดิน (pelargonidin) ไซยานิดิน (cyanidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) พีโอนิดิน (peonidin) พิทูนิดิน (petunidin) และ มัลวิดิน (malvidin) (ดนัย, 2540) ในสตรอเบอรี่พบ pelargonidin-3-glucoside และ cyanidin-3-glucoside ในอัตราส่วน 20 :1 (Harborne, 1976 ; Burton, 1982 ; Avigdori-Avidov, 1986) น้ำตาลที่พบเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโธไซยานิน คือ กลูโคส ไซโลส อะราบิโนส กาแลคโตส หรือ แรมโบส (rhambose) น้ำตาลในโมเลกุลของแอนโธไซยานินนั้นมีส่วนช่วยให้แอนโธไซยานินสามารถคงตัวและละลายน้ำได้ดี (ดนัย, 2540 ; Gross, 1987)

ตารางที่ 3 ปริมาณวิตามินซีของผลไม้บางชนิด (มก / 100 กรัมน้ำหนักสด)

Commodity	AA (L-ascorbic acid)	DHA (L-dehydroascorbic acid)	Total
Banana (fresh)	15.3	3.3	18.6
Blackberry (fresh)	18.0	3.0	21.0
Blackberry (20% CO_2 , 9 day at 1^{o}C)	16.5	3.0	19.5
Blackcurrent (fresh)	86.0	6.0	92.0
Blackcurrent (20% CO_2 , 20 day at 1^{o}C)	61.0	3.0	64.0
Cantaloupe (fresh)	31.3	3.0	34.3
Grapefruit (fresh)	21.3	2.3	23.6
Kiwifruit (fresh)	59.6	5.3	64.9
Kiwifruit (slices , 6 day at 10^{o}C)	39.4	12.1	51.5
Lemon (fresh)	50.4	23.9	74.3
Mandarin (fresh)	34.0	3.7	37.7
Orange (California)	75.0	8.2	83.2
Orange (Florida)	54.7	8.3	63.0
Persimmon (12% CO_2 , 5 day at 5^{o}C)	122.0	87.0	209.0
Raspberry (fresh)	27.0	2.0	29.0
Raspberry (20% CO_2 + 2% O_2 , 9 day at 1^{o}C)	22.0	5.0	27.0
Strawberry (fresh)	60.0	5.0	65.0
Strawberry (20% CO_2 , 20 day at 1^{o}C)	27.0	34.0	61.0

ที่มา: Lee and Kader (2000)

สารหอมระเหย

เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นตามธรรมชาติของผลไม้จะผลิตออกมามากเมื่อผลสุก (Burton, 1982) เป็นสารประกอบเอสเทอร์ แลคโตน แอลกอฮอล์ กรด อัลดีไฮด์ คีโตน อะซีทัล และไฮโดรคาร์บอน ในสตรอเบอรี่สุกพบเฉพาะสารในกลุ่ม เอสเทอร์ แอลกอฮอล์ และ กรด (Nursten, 1970; Manning, 1993) สารเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 2 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงสูงและอุณหภูมิต่ำเกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ระเหยได้ง่าย ในผลสตรอเบอรี่สุกพบสารให้กลิ่นคงตัวเพียง 24 ชนิดที่สำคัญ คือ 2,5 dimethy-4-methoxy-3(2H)-furanone , linealool , geraniol , β-ionine , β-phenylethanol และ granil acetate (ดนัย, 2538; Avidori-Avidov, 1986) ปริมาณสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะความแก่ของผล (Perez *et al.*, 1997) การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวผลระยะสีชมพู และ แดงที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ในสภาพมีแสง ปรากฏว่าเมื่อเก็บรักษาผลสตรอเบอรีไว้นาน 4 วัน ผลที่เก็บเกี่ยวระยะสีแดงผลิตกลิ่นได้มากกว่าสีชมพูขาวและ ชมพู (Miszczak *et al.*, 1995)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านรสชาติของผลสตรอเบอรี่

รสชาติของผลสตรอเบอรี่ผันแปรตามพันธุ์และส่วนประกอบของกรด น้ำตาล และแทนนิน ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ระยะการสุกของผลสตรอเบอรี่ได้ ระหว่างการสุกระยะที่สีผิวเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีชมพู และ แดง ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันปริมาณกรดและแทนนินก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน จึงทำให้รสเปรี้ยวและฝาดลดลงด้วย (ดนัย, 2538) สตรอเบอรี่จัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric น้ำตาลในผลได้จากการเคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมในผลขณะมีการเจริญเติบโตของผล หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นน้อยมากหรือไม่เพิ่มเลย (กนกมลฑล, 2526; สายชล, 2528) ด้วยเหตุนี้สตรอเบอรี่จึงไม่สามารถเก็บเกี่ยวก่อนแก่หรือก่อนผลเปลี่ยนสีได้ (จริงแท้, 2541) ดังนั้นการเก็บเกี่ยวสตรอเบอรี่ที่ใช้บริโภคสดควรรอให้ผลมีสีชมพูก่อน เพื่อให้ผลสะสมน้ำตาลเป็นการเพิ่มความหวานให้กับผลสตรอเบอรี่ (ประสาทพร, 2538 ; นิธิยาและดนัย, 2533)

เอนไซม์

เอนไซม์ คือ ตัวเร่งที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาที่เกิดในสิ่งมีชีวิต (biocatalyst) ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นได้ถึง $10^8 - 10^{14}$ เท่าของปฏิกิริยาเดิมที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (พัชรา, 2543)

คุณสมบัติของเอนไซม์ (นิตย์, 2542)

1. ส่วนประกอบทางเคมี เอนไซม์ประกอบด้วยโปรตีนเป็นส่วนประกอบหลัก และมีส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนรวมอยู่ด้วย แต่เอนไซม์หลายชนิดก็มีแต่โปรตีนล้วน ๆ โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน ซึ่งชนิดและจำนวนของกรดอะมิโนที่มีในเอนไซม์ และลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโนเหล่านั้น ทำให้เกิดความแตกต่างของเอนไซม์ขึ้น นอกจากส่วนประกอบที่เป็นโปรตีนแล้ว ในเอนไซม์ก็ยังมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนด้วย ส่วนประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนนี้จะพบได้ในปริมาณน้อยมัก เป็นสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ที่เกาะแน่นกับส่วนที่เป็นโปรตีนด้วยพันธะโควาเลนต์ มีชื่อเรียกส่วนประกอบนี้ว่า กลุ่มพรอสทีติก (prosthetic group) ซึ่งเป็นส่วนที่มีความจำเป็นในการเร่งปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) ซึ่งทำหน้าที่ในกระบวนการหายใจ มีฟลาวิน (flavin) เกาะกับโปรตีน และฟลาวินนี่เองที่ทำหน้าที่รับส่งอะตอมของไฮโดรเจนระหว่างที่เร่งปฏิกิริยา เอนไซม์บางชนิดอาจมีไอออนของโลหะเกาะอยู่กับกลุ่มพรอสทีติก เช่น เหล็ก และทองแดงในเอนไซม์ไซโทโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) อย่างไรก็ตามเอนไซม์หลายชนิดที่ไม่มีกลุ่มพรอสทีติก แต่ต้องการสารที่ไม่ใช่โปรตีนมาร่วมในการทำงาน สารเหล่านั้นอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์ ไอออนของโลหะ หรือทั้งสองอย่าง ถ้าเป็นสารประกอบอินทรีย์จะเรียกว่า โคเอนไซม์ (coenzymes) แต่ถ้าเป็นไอออนของโลหะเรียกว่า เมทัลแอกทิเวเตอร์ (metal activators) โดยทั่วไปโคเอนไซม์และเมทัลแอกทิเวเตอร์จะไม่เกาะแน่นกับเอนไซม์เหมือนกลุ่มพรอสทีติก แต่โคเอนไซม์และกลุ่มพรอสทีติกก็ไม่แตกต่างกันมากนัก วิตามินที่พืชสังเคราะห์หลายชนิดอาจเป็นส่วนของโคเอนไซม์หรือเป็นกลุ่มพรอสทีติกของเอนไซม์ก็ได้

2. ความจำเพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยา เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเอนไซม์ คือ เอนไซม์แต่ละชนิดจะเร่งปฏิกิริยาเดียว หรือทำหน้าที่กับตัวทำปฏิกิริยาชนิดเดียว แต่มีบางกรณีที่เอนไซม์ชนิดเดียวสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ 2-3 ปฏิกิริยา ถ้าตัวทำปฏิกิริยาคล้ายกันมากและมีหมู่ที่เข้าทำปฏิกิริยาที่เหมือนกัน ความจำเพาะเจาะจงของเอนไซม์กับตัวทำปฏิกิริยานี้ จะเป็นแบบ " แม่กุญแจกับลูกกุญแจ " ความจำเพาะเจาะจงนี้เกิดจากสายโซ่ของโพลิเปปไทด์ ซึ่งมีการขดและบิดตัวทำให้โมเลกุลมีโครงสร้างเป็น 3 มิติ มีลักษณะค่อนข้างกลม โดยมีช่องเปิดที่เรียกว่า active site รูปร่างของ active site นี่เองที่มีความจำเพาะเจาะจงกับตัวทำปฏิกิริยา คือ ตัวทำปฏิกิริยาจะต้องเชื่อม หรือต่อเข้ากับ active site ของเอนไซม์ได้พอดี เอนไซม์จึงจะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาได้

3. ไอโซไซม์ (isozymes) และไอโซฟอร์มของเอนไซม์ (isoforms of enzymes) ไอโซไซม์หรือไอโซเอนไซม์ เป็นเอนไซม์ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยกรดอะมิโนที่คล้ายคลึงกัน ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวกัน และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน ไอโซเอนไซม์มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากัน แต่ยีน (gene) ที่ควบคุมการสังเคราะห์เอนไซม์เป็นคนละยีนกัน ความแตกต่างจึงมักเกิดจากลำดับ

การเรียงตัวของกรดอะมิโนที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยในกรณีที่เอนไซม์มีพอลิเปปไทด์ชนิดเดียวกัน แต่ถ้ากรณีที่เอนไซม์ประกอบด้วยพอลิเปปไทด์หลายชนิดความแตกต่างจะเกิดจากการมีพอลิเปปไทด์ต่างชนิดกัน ในเซลล์หนึ่ง ๆ อาจมีหลายไอโซไซม์ โดยแต่ละไอโซไซม์ทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นพืชที่มีหลายไอโซไซม์จึงสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี สำหรับไอโซฟอร์มของเอนไซม์นั้น เป็นเอนไซม์ชนิดเดียวกัน ถูกควบคุมโดยยีนเดียวกันและมีลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโนบนพอลิเปปไทด์เหมือนกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นเล็กน้อยภายหลังจากถูกผลิตขึ้นแล้ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลกระทบต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากการเชื่อมต่อกับน้ำตาล (glycosylation) เติมหมู่ฟอสเฟต (phosphorylation) หมู่เมทธิล (methylation) หรือ หมู่อะซิทิล (acetylation) ทำให้เอนไซม์ทำหน้าที่ได้ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ในพืชสัญญาณจากสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดไอโซฟอร์มของเอนไซม์ เช่น แสงที่มักทำให้เอนไซม์รวมตัวกับฟอสเฟต หรือตัดเอาหมู่ฟอสเฟตออก (เกิดเป็น ATP ,ADP หรือ AMP) ทำให้พืชตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่ต่างกันได้ดี (นิตย์, 2542)

เอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส (Polygalacturonase)

เอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส (polygalacturonase) หรือ PG เป็นเอนไซม์ตัวหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุก จัดอยู่ในกลุ่มเอนไซม์เพคติเนสที่ทำหน้าที่ย่อยสลายเพคติน เอนไซม์นี้มีชื่อตามระบบว่า poly α-1,4 galacuronide glyconohydrolase EC 3.2.1.15 ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคไซด์ในสารประกอบเพคติน และมีชื่อสามัญว่า polygalacturonase ซึ่งมีการแบ่งกลุ่มย่อยออกเป็น (ปราณี, 2535) ดังนี้

1.Random mechanism of hydrolysis

1.1 Endo-polymethylgalacturonase จะไฮโดรไลซ์สารตั้งต้นที่เป็นเพคตินได้ดีกว่ากรดเพคติค และมีลักษณะการย่อยแบบไม่เป็นระเบียบ (endo splitting) ในสายโพลิเมอร์

1.2 Endo-polygalacturonase จะไฮโดรไลซ์สารตั้งต้นที่เป็นกรดเพคติคได้ดีกว่าเพคติน และมีลักษณะการย่อยแบบไม่เป็นระเบียบในสายโพลิเมอร์

2.Terminal mechanism of hydrolysis

2.1 Exo- polymethylgalacturonase จะไฮโดรไลซ์สารตั้งต้นที่เป็นเพคตินได้ดีกว่ากรดเพคติค และมีลักษณะการย่อยแบบเป็นระเบียบ (exo splitting) จากปลายสายโพลิเมอร์

2.2 Exo- polygalacturonase (Exo-PG) จะไฮโดรไลซ์สารตั้งต้นที่เป็นกรดเพคติคได้ดีกว่าเพคติน และมีลักษณะการย่อยแบบเป็นระเบียบจากปลายสายโพลิเมอร์

เมื่อผลไม้สุกจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของผนังเซลล์ขึ้น มีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อ ทำให้เนื้อของผลนิ่มลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคติน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์โดยอยู่ในส่วนที่เรียกว่ามิดเดิ้ลลาเมลล่า ทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกัน สารประกอบเพคตินที่อยู่ในผลไม้ดิบจะอยู่ในรูปของโปรโตเพคติน ซึ่งละลายน้ำไม่ได้ เมื่อผลไม้สุกโปรโตเพคตินจะสลายตัวกลายเป็นเพคติน และกรดเพคติค ซึ่งละลายน้ำได้ โดยอาศัยกระบวนการ depolymerization และ desterification โดยมีเอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส (polygalacturonase) และเอนไซม์ pectinesterase ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาการสลายโพลีเมอร์ของโปรโตเพคติน และไฮโดรไลต์เอาหมู่เมทธิลออกจากโมเลกุลของเพคตินได้เป็นกรดเพคติค (ดนัย, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับ Koh and Melton (2001) ที่รายงานว่า ในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Yolo ปริมาณ total cell wall polysaccharides (CWP) ของเนื้อผลจะลดลง โดยที่ CWP ของเนื้อผลจะมีปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำสูงขึ้น

ส่วนประกอบของเพคตินในผนังเซลล์ซึ่งปลดปล่อยออกมาและสามารถละลายน้ำได้ส่วนใหญ่ เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ PG ซึ่งมักพบเสมอว่าจะเข้าสลายเพคตินซึ่งมีกรดกาแลคตูโรนิค (galacturonic) อยู่มากและการสลายนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการนิ่มของผลไม้ เช่น ผลท้อพันธุ์ผลนิ่ม ซึ่งมีทั้ง Endo-PG และ Exo-PG ส่วนในผลท้อพันธุ์ที่เมื่อสุกแล้วยังแข็งจะมีเฉพาะเอนไซม์ Exo-PG เท่านั้น การทำงานของ Exo-PG จะเข้าสลายเพคติน ในส่วนปลายของลูกโซ่ของเพคติน ซึ่งไม่น่าทำให้เพคตินสลายตัวได้หมด ผลจึงแข็งอยู่ ในขณะที่ Endo-PG จะเข้าสลายเพคตินตรงกลางของลูกโซ่ จึงทำให้เพคตินสลายตัวไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ การนิ่มลงของผลไม้ชนิดอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน (ดนัย, 2540)

เอนไซม์ PG ที่พบในมะเขือเทศดิบจะมีปริมาณที่น้อยมาก ปริมาณของเอนไซม์ PG จะสูงขึ้นเมื่อเกิดกระบวนการสุก ในมะเขือเทศกลายพันธุ์พันธุ์ rin (ripening inhibitor) นั้นเป็นมะเขือเทศที่ไม่สุกหรือสุกเพียงแต่มีการเปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยเนื้อของมะเขือเทศพันธุ์ rin นี้จะยังแข็งยู่ พบว่าเกือบไม่มีการสังเคราะห์เอนไซม์ PG เลย แต่ในมะเขือเทศพันธุ์ rin จะมีการอ่อนตัวเล็กน้อย

อาจเกิดจากเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ส่วนมะเขือเทศพันธุ์ Nr (Never ripe) เป็นมะเขือเทศที่กลายพันธุ์ แต่มีการนิ่มของเนื้อมากกว่าพันธุ์ rin พบว่ามีปริมาณ PG มากกว่าในพันธุ์ rin มะเขือเทศพันธุ์ Alc หรือ Alcobaca land race ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เก็บรักษาได้นาน พบว่ามีปริมาณ PG ต่ำกว่ามะเขือเทศปกติ และมีกระบวนการสุกเกิดขึ้นช้ามาก (ดนัย, 2540) Nogata *et al.* (1993) ได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ Exo-PG ในสตรอเบอรี่ พบว่า เอนไซม์ Exo-PG มีกิจกรรมที่ลดลงในระหว่างระยะการพัฒนา และในระยะที่ผลมีขนาดเล็กและสีเขียว (small green) จะมีกิจกรรมที่สูงกว่าระยะอื่นๆ และในช่วงที่ผลสตรอเบอรี่สุกงอม (over-ripe) เอนไซม์ Exo-PG จะมีกิจกรรมที่น้อยกว่า คิดเป็นอัตราส่วน 1 ใน 5 ของกิจกรรมในระยะเริ่มแรก

นอกจากพืชจะสามารถสร้างเอนไซม์ PG ได้แล้ว พวกเชื้อราที่เกี่ยวข้องกับโรคหลังเก็บเกี่ยวก็สามารถที่สร้างเอนโดโพลีกาแลคตูโรเนส (endopolygalacturonase) ได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น *Penicilium, Rhizopus ,Geotrichum ,Sclerotinia* และ *Erwinia carotovora* การสร้างเอนไซม์ PG ของเชื้อต่าง ๆ นี้เพื่อย่อยสลายเพคตินเพื่อให้เซลล์แยกออกจากกัน ทำให้การเข้าออกของสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ผิดปกติ และเชื้อดังกล่าวจะสามารถใช้สารเมตาโบไลท์ในเซลล์เป็นอาหารในการเจริญต่อไป (ดนัย, 2543)