บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้จัดอยู่ในตระกูล Rosaceae สกุล Fragaria สตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นการค้ามีจำนวนโครโมโซมแบบ hexaploid หรือ octoploid และเป็นกลุ่ม *Fragaria x ananassa* Duch. เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่าง *F. chiloensis* กับ *F. virginiana* (Burton, 1982 ; Moneslise, 1986 ; Salunkhe and Densai, 1986) สตรอเบอรี่เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดเล็ก มีลักษณะการเจริญโดยการแตกกอ ดอกมีสีขาว ออกดอกเป็นช่อแบบ compound cymes ดอกมี 3 ชนิด คือ ดอกเพศผู้ ดอกสมบูรณ์เพศ และดอกเพศเมีย ผลเป็นแบบผลกลุ่มประกอบด้วยผลย่อยแบบ achene ผิวสีแดงเป็นมัน เมื่อผลสุกจะมีกลิ่นหอม (สังคม, 2532 ; ประสาทพรและคนัย, ม.ป.พ. ; Monelise, 1986)

สายพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกในประเทศไทย

เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2512 จนถึง พ.ศ. 2541 ได้มีการนำสตรอเบอรี่สายพันธุ์ต่างๆ จากต่างประเทศเข้ามาทดลองปลูกมากมาย เช่นในพ.ศ. 2515 มีพันธุ์ Cambridge Favorite, Tioga และ Sequoia (รู้จักกันในนามพันธุ์พระราชทานเบอร์ 13 16 และ20 ตามลำดับ) ต่อมาในปี พ.ศ. 2529 ได้นำพันธุ์ Nyoho, Toyonoka และ Aiberry จากประเทศญี่ปุ่นเข้ามาทดลองปลูก ผลปรากฏว่าพันธุ์ Nyoho และ Toyonoka สามารถปรับตัวได้ดีบนพื้นที่สูง และได้ตั้งชื่อพันธุ์ Toyonoka เป็นพันธุ์พระราชทาน 70 (ซึ่งตรงกับปี พ.ศ. 2540 ที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯทรงมีพระชนม์พรรษาครบ 70 พรรษา) และพันธุ์ B5 เป็นพันธุ์พระราชทาน 50 (ปี พ.ศ. 2539 ซึ่งเป็นปีฉลองศิริราชสมบัติครบ 50 ปี) ปัจจุบันพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 16 20 50 และ 70 นอกจากนี้ยังมีการปลูกพันธุ์ Nyoho, Dover และ Selva บ้างในบางพื้นที่ (ณรงค์ชัย, 2542)

พันธุ์พระราชทาน 50

เป็นพันธุ์ B5 ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา และนำเข้ามาคัดเลือกพันธุ์ต่อโดยการผสมตัวเองที่หน่วยวิจัยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมูลนิธิโครงการหลวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 เป็นพันธุ์ที่ชอบอากาศเย็นไม่มากนัก (15-28 องศาเซลเซียส) สามารถปลูกได้ทั่วไปทั้งพื้นที่ราบและ

พื้นที่สูง หากช่วงอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนแตกต่างกันมาก จะให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี มีทรงพุ่มปานกลางถึงค่อนข้างแน่นและขนาดทรงพุ่มปานกลางถึงใหญ่ ความกว้างประมาณ 40-45 ซม. และมีความสูง 15-20 ซม. จำนวนต้น 3-4 ต้นต่อกอ ใบประกอบมีขนาดปานกลางถึงใหญ่ ก้านใบด้านล่างและด้านบนมีสีเขียวอ่อน แผ่นใบด้านบนสีเขียวอ่อนถึงเขียวและด้านล่างสีเขียวซีด ผิวใบค่อนข้างเรียบ ใบย่อยที่ปลายยอดมีขนาดเล็กถึงปานกลาง จำนวนดอก 25-40 ดอกต่อต้น กลีบเลี้ยงสีเขียว กลีบดอกสีขาว ติดผลประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ผลแก่เมื่ออายุ 25-28 วัน น้ำหนักผล 12-18 กรัมต่อผล ขนาดผลปานกลางถึงใหญ่ รูปร่างผลทรงกรวยถึงกรวยยาวหรือทรงลิ่มถึงลิ่มยาว ความแน่นเนื้อสูง (เนื้อแข็ง) ผิวสีแดงถึงแดงเข้ม เนื้อสีแดงถึงแดงเข้ม แกนสีแดงถึงแดงเข้ม แกนแน่นถึงกลวง เมล็ดสีแดง ปริมาณน้ำตาลสูง รสหวานอมเปรี้ยว และมีกลิ่นหอม จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์หนัก ออกผลช้า ต้านทานต่อโรคแอนแทรกโนสได้บ้าง ต้านทานต่อโรคราแป้งได้ดี (นิรนาม, 2541 ; ประสาทพรและดนัย, ม.ป.พ.)

พันธุ์พระราชทาน 70

สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 70 นำเข้าจากญี่ปุ่นมีชื่อว่า Toyonoka มาทดลองปลูกที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529) สามารถเจริญเติบโตได้ดีบนที่สูง มีระบบรากที่ใหญ่และแข็งแรงมาก แต่มีรากแขนงน้อย ใบมีลักษณะกลมใหญ่ และสีเขียวเข้มภายหลังจากเกิดดอกชุดแรกแล้วมีความต่อเนื่องในการเกิดตาดอกชุดต่อๆมา ผลมีขนาดใหญ่น้ำหนักเฉลี่ย 11.5-13.0 กรัมต่อผล มีรูปร่างเป็นทรงกลมหรือทรงกรวย ถึงแม้ปลูกในพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำๆ ก็ให้ผลที่ผิดปกติน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ผลมีสีแดงสดใส ผิวค่อนข้างบาง เป็นมัน มีความฉ่ำน้ำ กลิ่นหอมมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยวพอเหมาะ ซึ่งเป็นรสชาติที่ดีมากสำหรับสตรอเบอรี่ หากปลูกในพื้นที่สูง หรือช่วงที่อุณหภูมิต่ำจะมีรสหวานมากขึ้น เหมาะต่อการบริโภคสด ค่อนข้างอ่อนแอต่อไรและเพลี้ยไฟ (นิรนาม, 2541; ประสาทพรและดนัย, ม.ป.พ.)

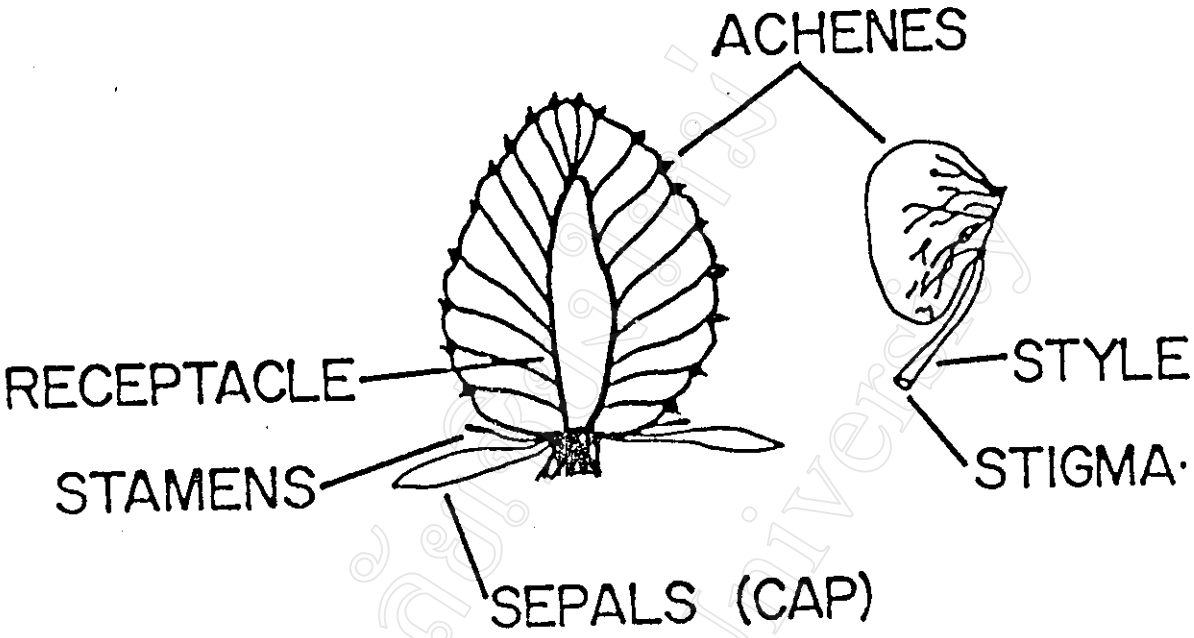
ปัจจุบันทางมูลนิธิโครงการหลวงได้ขยายสตรอเบอรี่สายพันธุ์พระราชทาน 50 และ70 โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อให้ได้ต้นแม่พันธุ์ที่ปลอดโรคสำหรับใช้ในการผลิตต้นไหล และได้ส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่ของมูลนิธิฯ ได้ปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตอยู่ในปัจจุบันนี้ (นิรนาม, 2541)

โครงสร้างและการพัฒนาของผลสตรอเบอรี่

สตรอเบอรี่จัดเป็นผลแบบกลุ่ม (aggregate fruit) ซึ่งแต่ละผลเกิดจากดอก 1 ดอก ที่เกสรตัวเมียประกอบด้วยรังไข่หลายอันรวมอยู่บนฐานรองดอกเดียวกัน ผลย่อยของผลกลุ่มเป็นแบบ

achene แต่ละ achene มีเมล็ดเพียงเมล็ดเดียว (single seed) อยู่ที่ผิวนอกของผลกลุ่ม (เกศิณี, 2528 ; ดนัยและนิธิยา, 2535) ผลสตรอเบอรี่คือ ฐานรองดอกที่พัฒนามาเป็นส่วนที่บริโภคได้ เป็น meristematic tissue ซึ่งมีช่องว่างระหว่างเซลล์มาก ประกอบด้วยแกนกลางผลที่ฉ่ำน้ำ (fleshy pith) ถัดออกไปเป็นวงของ vascular bundles ซึ่งเป็นกลุ่มท่อลำเลียงน้ำและอาหารจากลำต้นมาสู่แกนกลางผล และส่งไปเลี้ยงเนื้อผลและเมล็ด ขณะเดียวกันก็ช่วยพยุงผลให้มีความแน่นเนื้อ เนื่องจากเป็นเซลล์ที่เหนียวและยาวมากกว่าเซลล์ที่เนื้อผล ซึ่งแตกแขนงไปหล่อเลี้ยงผลและเชื่อม achene ที่ผิวผลให้ติดอยู่บนฐานรองดอกด้วย fibro vascular strands ชั้นนอกสุดเป็นผิวชั้นนอกมี achene ติดอยู่ ซึ่งมีขนจำนวนเล็กน้อยติดอยู่ที่ผิว achene ซึ่งเป็นส่วนของก้านเกสรตัวเมีย ดังภาพที่ 1 (Childres, 1981 ; Monelise, 1986) ผลสตรอเบอรี่มีการเจริญเติบโตแบบ simple sigmoid curve ซึ่งเป็นการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงหลัง จนกระทั่งผลไม้มีขนาดโตเต็มที่แล้วขนาดของผลจะคงที่หรือเพิ่มขนาดได้อีกเล็กน้อย (ดนัย, 2540)

เมื่อรังไข่ของดอกสตรอเบอรี่ถูกผสม ในระยะแรกจะมีการเพิ่มขนาดเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) พร้อมทั้งมีการแบ่งเซลล์บ้างเล็กน้อย (Childers, 1981) ภายหลังจากกลีบดอกร่วงแล้ว 7 วัน จะมีการแบ่งเซลล์และขยายขนาดเซลล์ (cell division and cell expansion) เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ (cell proliferation) และเพิ่มขนาดของผลอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะเป็นการเพิ่มปริมาตรเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยเกิดการขยายขนาดของเซลล์ (cell enlargement) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในส่วนของ subcellular และผนังเซลล์ (Manning, 1993) การเจริญเติบโตส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์บริเวณเนื้อผล ภายหลังจากระยะดอกบาน จนกระทั่งผลแก่เต็มที่ จะพบการขยายขนาดของเนื้อผล ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผลแก่แกนกลางผล (pith) และเนื้อผลจะหยุดพัฒนา แต่ยังสามารถขยายขนาดเพิ่มได้บ้างเล็กน้อย (Avigdori-Avidov, 1986) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลสตรอเบอรี่เพิ่มขนาดผลขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์จากระยะสีผิวมีสีแดงทั้งผล (full red) ถึงระยะสุกเต็มที่ (full ripe) (Childers, 1981) เมื่อผลสตรอเบอรี่มีความแก่ทางสรีรวิทยาระหว่างอยู่บนต้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆของผล เช่น มีน้ำหนักผล เปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ กรดแอสคอร์บิก และเพคตินที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น และกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ลดลงตามความแก่ของผลที่แก่ขึ้น (Kotecha and Madhavi, 1995) สามารถสังเกตได้จากผลสตรอเบอรี่ที่มีการพัฒนาสีตามพันธุ์ ความหวาน กลิ่นหอม และความนุ่ม-เนื้อ (เนื้อสัมผัสนุ่ม) ซึ่งเป็นตัวชี้บ่งว่าผลไม้นั้นสุกเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม และจะเข้าสู่ระยะการเสื่อมสภาพของผล (senescence) ในที่สุด (Burton, 1982)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของผลสตรอเบอรี่ (Childers, 1981)

ลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลสตรอเบอรี่

1. ขนาดผล ผลสตรอเบอรี่มีขนาดโตขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่และสุก (ตารางที่ 1) ซึ่งการเพิ่มขนาดผลแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกก่อนเกิดปฏิสนธิ (fertilization) เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นพืชผสมตัวเอง คือเกิดการผสมเกสรก่อนดอกบาน จึงพบว่าการแบ่งเซลล์เล็กน้อย ระยะที่ 2 ภายหลังจากเกิดปฏิสนธิ จะมีการแบ่งเซลล์ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ระยะที่ 3 ระยะภายหลังจากดอกบาน จะเกิดการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนของเซลล์ประมาณ 7 วันภายหลังจากที่กลีบดอกร่วง จากนั้นจะเพิ่มปริมาตรเซลล์ (cell volume) มีการขยายขนาดเซลล์ของเนื้อผลประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลเพิ่มขนาดด้านกว้าง (width) อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ ส่วนของแกนกลางและเนื้อผลจะหยุดพัฒนา แต่ยังสามารถเพิ่มขนาดของผลได้อีกเล็กน้อย เนื่องจากเซลล์ชั้นเปลือกนอกจะมีผนังเซลล์ที่บางกว่าแกนกลางผลและสามารถเพิ่มขนาดได้เร็วเป็น 2 เท่าของแกนกลางผล (Avigdori-Avidov, 1986) ผลสตรอเบอรี่จะมีขนาดผลเพิ่มจากระยะผลมีสีขาวถึงระยะสุกเต็มที่เป็น 143 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มขนาดจากผลที่มีสีแดงทั้งผลจนกระทั่งสุกเต็มที่ได้ 14 เปอร์เซ็นต์ (Childers, 1981) ขนาดของผลสตรอเบอรี่มีความแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรง

ของต้น การแข่งขันของผลบนช่อ (ผลลำดับที่ 1 จะมีขนาดใหญ่กว่าผลลำดับที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ) จำนวนของผลย่อยแบบ achene ที่พัฒนาและสามารถผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตที่จำเป็น เช่น ออกซิน (auxin) มีความสัมพันธ์กับการขยายขนาดของเซลล์ และ GA_3 มีผลต่อการยืดยาวของผล โดยเฉพาะบริเวณคอหรือไหล่ (neck) ของผลสตรอเบอรี่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเนื้อเยื่อที่ได้รับสาร และการเกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตนั้นๆ พบว่าเมื่อผลขยายตัวเต็มที่จะมีจำนวน achenes ประมาณ 6 achenes /ซม^2 (Green, 1971) และยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก ได้แก่ อุณหภูมิต่ำจะช่วยส่งเสริมการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตมาที่ผลมากขึ้น จึงทำให้ผลสตรอเบอรี่มีขนาดใหญ่ขึ้น หากธาตุอาหารพืชและระบบการให้น้ำที่ไม่เพียงพอจะทำให้ผลสตรอเบอรี่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้การให้สารควบคุมการเจริญเติบโตจากภายนอกก็มีผลต่อขนาดผลเช่นกัน (Moor *et al.*, 1970 ; Pantastico, 1975 ; Avigdori-Avidov, 1986)

ตารางที่ 1 ขนาดของผลสตรอเบอรี่ในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโต

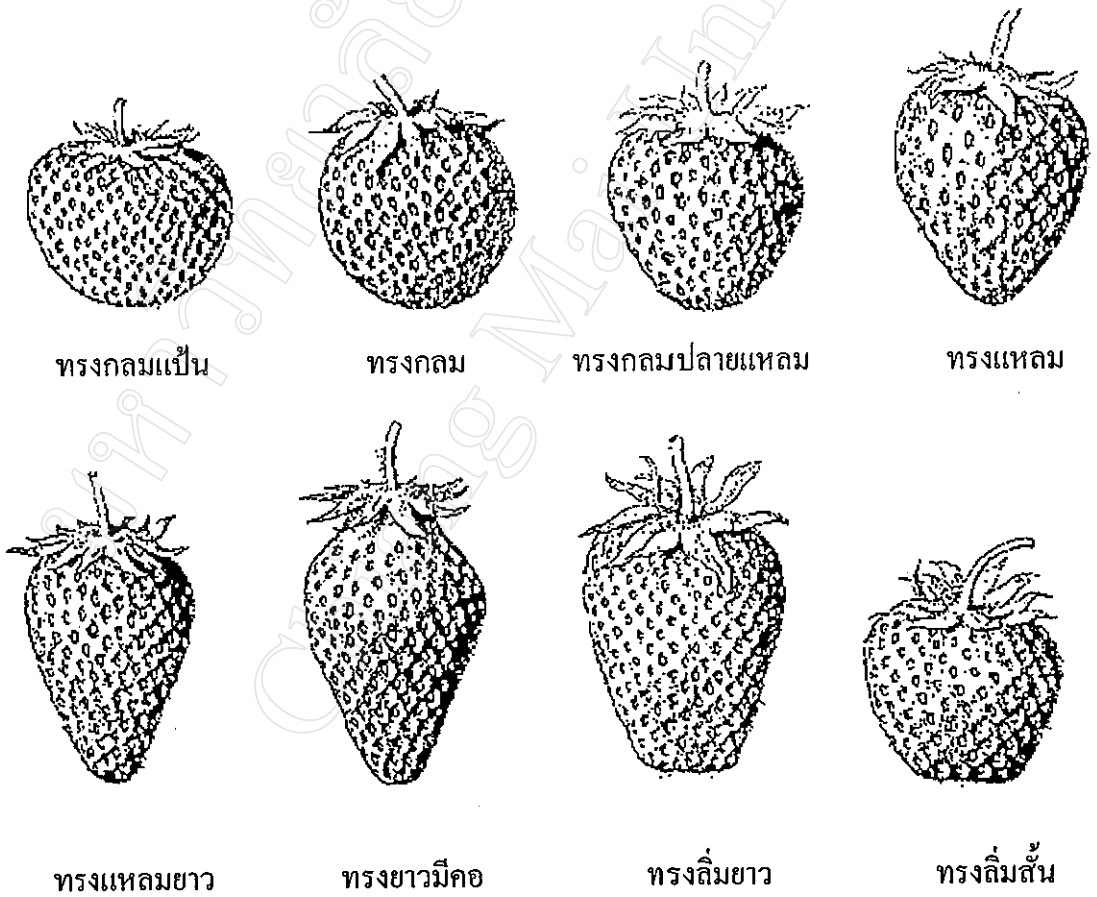
ระยะการเจริญเติบโต	ความยาว (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)
ถ่ายละอองเกสร	0.93	0.72
กลีบเลี้ยงประสานกัน	1.24	1.04
ผลขยายตัว	1.73	1.43
ผลมีสีขาว	2.34	1.76
ผลเริ่มมีสีแดง	2.68	2.15
ผลมีสีแดงเต็มที่	2.90	2.34
ผลสุกเต็มที่	3.27	2.50

ที่มา: ชูพงษ์ (2531)

2. รูปร่างผล รูปร่างผลสตรอเบอรี่สามารถสังเกตได้จากรูปร่างของฐานรองดอก รูปร่างของผลจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผลในช่อ ผลลำดับที่หนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่ มักจะมีรูปร่างผันแปรไม่แน่นอน ส่วนใหญ่จะมีรูปร่างเป็นทรงกว้างและแบนเป็นรูปลิ่ม หรือเป็นแฉกรูปหงอนไก่ (cockcomb) ผลลำดับถัดมามักมีรูปร่างค่อนข้างคงที่ สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง มีผลกระทบทำให้ผลสตรอเบอรี่มีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น สตรอเบอรี่ที่ปลูกบริเวณภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกาผลส่วนมากมีรูปทรงกลม แต่ที่ปลูกในตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนียผลสตรอเบอรี่จะมีรูปร่าง

แบบกรวยยาว (long conic) กับทรงยาวมีคอ (necked) สตรอเบอรี่สายพันธุ์ Marshall มักมีปลายผลหลายรูปแบบ (multipletipped shapes) เมื่ออุณหภูมิต่ำ (ชูพงษ์, 2531 ; Monelise, 1986) สำหรับสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 16 มักมีรูปร่างไม่แน่นอน มีทั้งทรงกลมแบน ทรงกรวย และทรงกลมส่วนพันธุ์พระราชทาน 20 (Sequoia) ผลมีลักษณะเป็นรูปไข่และมีปลายผลป้าน (วิจิตร, 2526) นอกจากปัจจัยข้างต้นแล้ว การเข้าทำลายของโรค แมลง การผสมเกสรที่ไม่สมบูรณ์ ขาดน้ำ หรือมีความชื้นสูงเกินไปก็ส่งผลทำให้เกิดความผันแปรของรูปร่างผลสตรอเบอรี่ได้

รูปร่างผลสตรอเบอรี่สามารถแบ่งออกได้ 8 แบบ คือ ทรงกลมแป้น (oblate) ทรงกลม (globose) ทรงกลมปลายแหลม (globose conic) ทรงแหลม (conic) ทรงแหลมยาว (long conic) ทรงยาวมีคอ (necked) ทรงลิ่มยาว (long wedge) และทรงลิ่มสั้น (short wedge) ดังภาพที่ 2 (ชูพงษ์, 2531)



ภาพที่ 2 รูปร่างของผลสตรอเบอรี่ (ชูพงษ์, 2531)

3. ความแน่นเนื้อ เมื่อผลสตรอเบอรี่มีขนาดโตขึ้นจะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (ประสาทพร และดนัย, ม.ป.พ.) ผลสตรอเบอรี่เป็นส่วนของฐานรองดอก ที่พัฒนาเป็นส่วนที่บริโภคได้ ประกอบด้วยบริเวณเนื้อผลและแกนกลางผลที่ฉ่ำน้ำ ซึ่งบริเวณนี้เป็นกลุ่มของท่อน้ำและท่ออาหาร (vascular bundles) ซึ่งลำเลียงน้ำและอาหารจากลำต้นมาสู่แกนกลางผลและส่งไปเลี้ยงเนื้อผลและเมล็ด ซึ่งกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารนี้เป็นเซลล์ที่เหนียวและยาวมากกว่าเซลล์เนื้อผล ทำหน้าที่ช่วยพยุงผลให้มีความแน่นเนื้อ (Avigdori-Avidov, 1986) เมื่อผลสตรอเบอรี่เริ่มสุกความแน่นเนื้อจะลดลง เป็นผลเนื่องมาจากเกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ ผนังเซลล์ประกอบด้วย ผนังเซลล์ปฐมภูมิ(primary cell wall) และผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall) มีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่มประมาณ 40 คู่เรียกว่า microfibril ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช เนื้อที่บริเวณระหว่างเซลล์สองเซลล์ เรียกว่า middle lamella จะมีโมเลกุลของเพคตินแทรกอยู่มาก นอกจากนั้นเพคตินยังแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วย ทำหน้าที่ประสานโมเลกุลต่างๆในผนังเซลล์เข้าด้วยกัน และยังทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงด้วย เมื่อผลไม้ดิบเพคตินจะอยู่ในรูปของโปรโตเพคติน ซึ่งไม่ละลายน้ำ (insoluble protopectin) เนื่องจากมีหมู่เมทธิลอยู่บนโมเลกุลของกรดโพลีกาแลคตูโรนิก (polygalacturonic acid) มาก และมีแคลเซียม (Ca) ที่รวมกับโปรโตเพคตินเป็นเกลือแคลเซียมเพคเตต (Ca-pectate) ซึ่งไม่สามารถละลายในน้ำได้ (อรรณพ, 2532) ทำให้ผลมีความแน่นเนื้อสูง แต่เมื่อผลไม้สุกปริมาณแคลเซียมจะลดลง และโมเลกุลของโปรโตเพคตินถูกสลายกลายเป็นเพคตินและกรดเพคติก (pectic acid) ซึ่งละลายน้ำได้ (soluble pectin) โดยกระบวนการ depolymerization และ deesterification มีเอนไซม์polygalacturonase (PG) ย่อยสลายโมเลกุลของกรดโพลีกาแลคตูโรนิกให้สั้นลง ขณะที่เอนไซม์ pectinesterase (PE) จะตัดหมู่เมทิลบนโมเลกุลของ galacturonic acid ออกไป และเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) จะทำลาย cross-link ของแคลเซียมในส่วนของ middle lamella ทำให้เกิดการแยกตัวของเซลล์ ดังนั้นเซลล์ซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในผลไม้ดิบจะอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวมๆในผลไม้สุก ด้วยเหตุนี้ผลไม้สุกจึงมีลักษณะเนื้ออ่อนนุ่ม ส่งผลให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลง (อรวินท์ และประชา, 2522 ; สายชล, 2528 ; ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541)

Montero *et al.* (1996) ได้ศึกษาการพัฒนาของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler 6 ระยะ คือ ระยะตั้งแต่ติดผล (fruit set) ถึงผลสุกจนกระทั่งผลเสื่อมสลาย ปรากฏว่าเมื่อเริ่มติดผลจนกระทั่งถึงวันที่ 21 ของการพัฒนา ผลสตรอเบอรี่มีปริมาณโปรโตเพคตินลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันพบกรดเพคตินิก (pectinic acid) และกรดเพคติกเพียงเล็กน้อย จนกระทั่งวันที่ 28 ภายหลังการติดผลจะมีปริมาณกรดเพคตินิกและกรดเพคติกเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงเห็น

ได้ว่าการค่อยๆ ลดลงของโปรโตเพตติน ในผนังเซลล์เป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำ (soluble pectic substance) ส่งผลให้ผลนิ่ม (สูญเสียความแน่นเนื้อ) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเพคตินที่ละลายน้ำอาจเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์โพลียูโรไนด์ (polyuronide) ซึ่งความแข็งแรงของโครงสร้างของผนังเซลล์พิจารณาจากปฏิสัมพันธ์ร่วม (interaction) ระหว่างโพลียูโรไนด์กับโพลีเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตในผลสตรอเบอรี่ ที่ระยะผลมีสีเขียวถึงระยะผลสุก มีปริมาณโพลียูโรไนด์ทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นจาก 30 เปอร์เซ็นต์เป็น 65 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังพบว่าในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่ มีปริมาณเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ลดลง 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ในระหว่างการพัฒนาของผลสตรอเบอรี่มีปริมาณเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า (Manning, 1993) การให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผสมกับก๊าซอื่น ในสัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน 70 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 1 และ 20 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่ากลุ่มที่ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความแน่นเนื้อสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทั้งสองอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับ Smith and Skog (1992) ได้เก็บรักษาสตรอเบอรี่ 21 พันธุ์จาก 25 พันธุ์ ในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ นาน 42 ชั่วโมง มีความแน่นเนื้อสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยรักษาความแน่นเนื้อของผลสตรอเบอรี่แล้ว ยังช่วยพัฒนารสชาติของผลสตรอเบอรี่ได้ (Larsen and Watkins, 1995)

4. โปรตีน โปรตีนไม่มีบทบาทในการพัฒนาคุณภาพของผลไม้สุกโดยตรง ทั้งนี้เพราะปริมาณโปรตีนมีอยู่เพียงเล็กน้อย ผักส่วนใหญ่จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ พืชหัวมีประมาณ 2-15 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดเคี้ยวมัน (nut) ชนิดต่างๆ มีโปรตีนอยู่สูงประมาณ 8-20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ผลไม้มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2541) สอดคล้องกับ Green (1971) พบว่าในสตรอเบอรี่มีโปรตีนเพียง 0.23 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดอะมิโน 0.82 มิลลิสมมูล/100 กรัม ในทำนองเดียวกัน Salunkhe and Desai (1984) ก็พบว่าในสตรอเบอรี่มีโปรตีน 0.7 กรัม ต่อ100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้ ปริมาณโปรตีนจะเพิ่มขึ้นขณะที่ผลไม้สุก เนื่องจากในกระบวนการสุกของผลไม้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ชนิดใหม่ๆ เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ก๊าซเอทธิลีน การหายใจ การเปลี่ยนสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อและการสลายสตาร์ชไปเป็นน้ำตาล เป็นต้น (สายชล, 2528) คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในผักและผลไม้ค่อนข้างต่ำ ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสตรอเบอรี่แสดงดังตารางที่ 2 อย่างไรก็ตาม ปริมาณกรดอะมิโนในผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างคงที่ เมื่อผลไม้อยู่ในระยะ climacteric จะมีปริมาณกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) น้อยลง แสดงให้เห็นว่ามีการสร้าง

โปรตีนขึ้นในระยะดังกล่าว ในทางตรงกันข้ามเมื่อถึงระยะเสื่อมสลาย (senescence) จะมีปริมาณกรดอะมิโนอิสระมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของโปรตีนที่มีอยู่เดิม และอาจกล่าวได้ว่าโปรตีนในผักและผลไม้ เป็นโปรตีนสำหรับการทำงาน หรือเพื่อเกิดการเปลี่ยแปลงต่างๆ (functional protein) ในกระบวนการสุกซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ PG, PE และ PME ซึ่งพบมากเมื่อผลไม้เริ่มสุก (สายชล, 2528 ; อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540 ; Manning, 1993) สอดคล้องกับ Tucker (1993) รายงานว่าในผลสตรอเบอรี่ดิบไม่พบเอนไซม์ PG และเซลลูเลสจะเริ่มพบเมื่อผลเริ่มสุก (onset of ripening) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการสุก ในขณะที่ธัญพืชและเมล็ดเคี้ยวมันเป็นโปรตีนสะสม (storage protein) สำหรับใช้ในการเจริญเติบโตของเมล็ดในอนาคต (ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541)

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดอะมิโนในสตรอเบอรี่

ชนิดของกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (มิลลิกรัม/100 มล.) ของเนื้อสตรอเบอรี่ปั่น
Aspartic acid	2.8
Asparagine	59.4
Glutamic acid	7.7
Glutamine	14.5
Serene	2.0
Glycine	-
Threonine	2.0
α-Alanine	12.10
Valine	2.0
Leucine/isoleucine	2.0
Cysteic acid	2.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Green (1971)

5. น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสำคัญในผักและผลไม้ที่ให้ทั้งรสชาติ คุณค่าทางอาหาร และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะคาร์โบไฮเดรตอยู่ที่ทั้งในรูปของอาหารสะสม (เช่น สตาร์ช) และน้ำตาลชนิดต่างๆที่ให้

รสชาติ และยังที่อยู่ในรูปของโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารประกอบเพคตินรูปต่างๆ เป็นต้น (จริงแท้, 2541)

น้ำตาลในผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งสะสมอยู่ในแวคิวโอล (vacuole) เป็นส่วนใหญ่ น้ำตาลฟรุกโตสจะให้ความหวานมากที่สุด ขณะที่น้ำตาลซูโครสและกลูโคสมีความหวานน้อยลงตามลำดับ น้ำตาลซูโครสเป็นรูปของน้ำตาลที่มีการเคลื่อนย้ายในต้นพืช จากคลอโรพลาสต์ผ่านท่ออาหารไปยังเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมอาหารและที่กำลังเจริญเติบโต (สายชล, 2528 ; จริงแท้, 2541) ซึ่งในผลอ่อนจะนำน้ำตาลไปใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบเพคตินและองค์ประกอบของผนังเซลล์อื่นๆ นอกจากนั้นบางส่วนของน้ำตาลก็เปลี่ยนไปเก็บรักษาไว้ในรูปสตาร์ช (Whiting, 1970) Forney and Breen (1986) รายงานว่าไม่พบน้ำตาลซูโครสในผลสตรอเบอรี่ระยะช่วงแรกของการติดผลจนกระทั่งผลพัฒนาได้ 10 วันหลังจากดอกบานจึงเริ่มพบน้ำตาลซูโครส ระยะแรกของการพัฒนาผลจะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อผลสตรอเบอรี่เริ่มสุกแดงปริมาณน้ำตาลซูโครสจะคงที่และลดลงเล็กน้อย ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส (รวมเข้าด้วยกันเป็นน้ำตาลรีดิวซิง) มีปริมาณใกล้เคียงกัน และมากกว่าน้ำตาลซูโครส (น้ำตาลซูโครส) ซึ่งสอดคล้องกับ จริงแท้ (2541) และ Whiting (1970) ได้รายงานว่าพบน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ในปริมาณ 2.59 2.32 และ1.30 เปอร์เซ็นต์ต่อส่วนที่บริโภคได้ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะผันแปรไปตามฤดูกาล แต่อัตราส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรุกโตส (glucose : fructose ratio) และเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดคิดเป็นสัดส่วนต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะผันแปรน้อยมาก ซึ่งขึ้นกับสภาพพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ สายพันธุ์ และฤดูกาล (Manning, 1993)

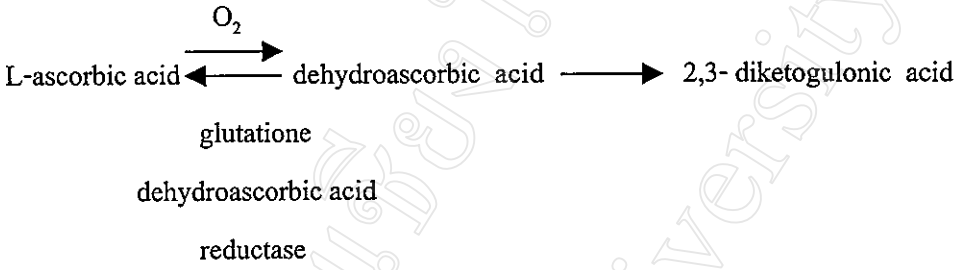
ผลไม้ประเภท non-climacteric มักเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่มากที่สุดหรือผลสุก จึงจะมีคุณภาพเหมาะแก่การบริโภคที่ดี เนื่องจากความหวานหรือน้ำตาลได้เคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมอยู่ในผลมากขึ้นขณะที่ผลมีการเจริญเติบโต ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนสตาร์ชไปเป็นน้ำตาลเหมือนกับผลไม้ประเภท climacteric (สายชล, 2528) แต่เมื่อนำมาเก็บรักษาเป็นระยะเวลาหนึ่งพบว่าน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสจะลดลง อาจเนื่องมาจากถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการหายใจ (สายชล, 2528 ; จริงแท้, 2541 ; Burton, 1982 ; Duffus and Duffus, 1984 ; Tucker, 1993)

6. กรดอินทรีย์ ผักและผลไม้มีกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆมากมาย ซึ่งเป็นกรดที่อยู่ในวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ กรดอินทรีย์ที่พบมากในผักและผลไม้ คือ กรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) ซึ่งจะผันแปรตามชนิดของผลไม้ ในสตรอเบอรี่กรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุดคือกรดซิตริก รองลงมาคือกรดมาลิก ดังตารางที่ 3 (ดนัย, 2540 ; Green,

1971 ; Burton, 1982 ; Avigdori-Avidov, 1986 ; Kotecha and Madhavi, 1995) ในผลสตรอเบอรี่สุก กรดอินทรีย์ที่พบ คือ กรดซิตริก กรดมาลิก กรดซัคซินิก และกรดควินิกในปริมาณ 10-18, 1-3, 0.1 และ 0.1 มิลลิสมมูลต่อ100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (Ulrich, 1970) โมเลกุลของกรดเหล่านี้มีหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) เป็นองค์ประกอบที่ให้คุณสมบัติเป็นกรด (อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541 ; Ulrich, 1970) กรดอินทรีย์ที่เหลือจากการทำงานของวัฏจักรเครบส์ และวิถีเมตาโบลิซึมอื่นๆ จะถูกเก็บสะสมอยู่ในแวคิวโอลของเซลล์ (อรรณพ, 2532) และมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้ชี้บ่งดัชนีความแก่ (maturity index) โดยวัดจากปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้ (Titratable acidity) หรืออัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรด (sugar/acid ratio) หรือ dry matter/acidity ratio (Ulrich, 1970 ; Montero *et al.*, 1996) และยังเป็นสารเริ่มต้นที่สำคัญในกระบวนการหายใจ (ดนัย, 2540 ; Tucker, 1993) โดยทั่วไปขณะที่ผลไม้ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดสูงไม่เหมาะสมกับการบริโภค ขณะเดียวกันก็ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเมื่อผลไม้สุกรวมถึงภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดภายในผลไม้จะลดลง (อรรณพ, 2532 ; จริงแท้, 2541)

7. วิตามินซี ผักและผลไม้สดเป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินซีในอาหาร (ดนัย, 2540) ซึ่งวิตามินเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ และจัดเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ แต่ต้องการปริมาณเพียงเล็กน้อย (มิลลิกรัมหรือไมโครกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำ หากร่างกายขาดวิตามินซีจะทำให้เกิดความผิดปกติและเกิดโรคได้ เช่น โรคลักปิดลักเปิด (scurvy) เหงือกหดตัว ฟันคลอน หากมีอาการรุนแรงอาจทำให้เลือดไหลไม่หยุด เส้นเลือดฝอยเปราะ บาดแผลหายช้า และเป็นโรคโลหิตจางในที่สุด (อรุณี, 2530) ร่างกายมนุษย์และสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินได้ ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ซึ่งโดยแท้จริงแล้ววิตามินไม่ใช่สารให้พลังงานแต่เป็นสารจำเป็นในกระบวนการเมตาโบลิซึมของสารอาหารต่างๆ เช่น กรดแอสคอร์บิกจำเป็นต่อสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจน นอกจากนั้นวิตามินบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) ช่วยทำให้กระบวนการทางชีวเคมีในเมตาโบลิซึมของอาหารเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (อรุณี, 2530 ; Burton, 1982 ; Kays, 1991) วิตามินซีเป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้ จึงดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและร่างกายไม่สามารถสะสมไว้ได้ หากได้รับมากเกินพอร่างกายจะขับออกทางปัสสาวะ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารให้เพียงพอในแต่ละวัน ซึ่งร่างกายมนุษย์ต้องการวิตามินซีประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อวัน ผลไม้ต่างชนิดและต่างสายพันธุ์กันจะมีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกัน เช่น แอปเปิล (2-10) กล้วย (10-30) ฝรั่ง (300) มะนาว (25) ส้ม (50) สาลี่ (4) สับปะรด (25) ทับทิม (6) มะเขือเทศ (25) และสตรอเบอรี่ (60) มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้ (Mapson, 1970)

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกที่พบในผลไม้มี 2 รูป คือ L-ascorbic acid หรือ reduced ascorbic acid และ dehydroascorbic acid (DHA) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ L-ascorbic acid ซึ่ง dehydroascorbic acid นี้อยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียรและสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นกรดแอส-คอร์บิกได้ แต่ยังมีคุณสมบัติของวิตามินซีอยู่และ dehydroascorbic acid อาจถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น 2,3 -diketogulonic acid ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี ดังสมการ (Mapson, 1970)



ภายหลังการเก็บเกี่ยว ผลิตผลจะสูญเสียปริมาณวิตามินซีได้ง่าย เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารชนิด strong reducing ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อถูกแสง ก๊าซออกซิเจนและอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง นอกจากนั้นวิตามินซียังอาจสูญเสียได้จากกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase, cytochrome oxidase และ peroxidase โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ascorbic acid oxidase จะกระตุ้นปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างสารตั้งต้นและโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้พบมากเมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้สด เกิดการเสียหายเนื่องจากการตัดแต่ง หั่น หรือเกิดรอยช้ำ ดังนั้นการเก็บรักษา และการขนส่งสตรอเบอรี่ภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำ จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ (นิธิยา, 2539 ; จริงแท้, 2541; Mapson, 1970 ; Burton, 1982) ผลิตผลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส สูญเสียวิตามินซีมากกว่าที่ 0 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลจะทำให้สูญเสียกรดแอสคอร์บิกมากขึ้น ดังนั้นการให้ความชื้นระหว่างการเก็บรักษานอกจากจะช่วยรักษาความสดของผลิตผลแล้ว ยังสามารถชะลอการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกได้ด้วย สำหรับองค์ประกอบของบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผลนั้น ก๊าซออกซิเจนจะเร่งการสูญเสียเสียกรดแอสคอร์บิกให้เร็วขึ้น (สายชล, 2528) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังสมการข้างต้นสอดคล้องกับ Agar *et al.* (1996) ที่ได้ทดลองเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Elvira และแบลค-เบอรี่พันธุ์ Thornfree ที่อุณหภูมิ 0-1 องศาเซลเซียส โดยมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์สำหรับสตรอเบอรี่ และ 30 เปอร์เซ็นต์สำหรับแบลคเบอรี่ และก๊าซออกซิเจน 1-3 เปอร์เซ็นต์หรือ

มากกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษานาน 20 วัน พบการสูญเสียของวิตามินซี โดยการเปลี่ยนจากกรดแอสคอร์บิกไปเป็น dehydroascorbic acid หรืออาจเปลี่ยนเป็น 2,3 - diketogulonic acid

8. รงควัตถุ เป็นสารให้สีในพืช (Harborne, 1976) สำหรับผลสตรอเบอรี่สีผิวที่แดงสดใสและมีความมันวาว เป็นสิ่งที่แสดงถึงความแก่และคุณภาพที่ดีของผลสตรอเบอรี่ และยังเป็นสิ่งที่ดึงดูดความสนใจผู้ทดสอบชิมมาก (Moore and Sistrunk, 1981) ในช่วงประมาณ 28 วันภายหลังกลีบดอกร่วงจะพบการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ที่ผล และช่วงระหว่าง 28 ถึง 35 วันภายหลังกลีบดอกร่วงจะเริ่มสังเคราะห์แอนโธไซยานินพร้อมกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ สีผิวของผลสตรอเบอรี่เมื่อสุกเต็มที่จะมีรงควัตถุแอนโธไซยานินบังสีของแคโรทีนอยด์ ดังนั้นจึงสังเกตเห็นเฉพาะสีของแอนโธไซยานินเท่านั้น (Avigdori-Avidov, 1986 ; Manning, 1993) แอนโธ-ไซยานินจัดอยู่ในกลุ่มของรงควัตถุจำพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกไกลโคไซด์ (glycoside) และละลายได้ดีในน้ำ ให้สีแดง ชมพู น้ำเงิน และม่วง มีสูตรโครงสร้างพื้นฐานดังภาพที่ 3 ก การสังเคราะห์แอนโธไซยานินเริ่มต้นจากการรวมตัวกันของ malonyl-CoA 3 โมเลกุลกับ cinnamyl-CoA (ภาพที่ 3 ข) รงควัตถุแอนโธไซยานินกระจายไปทั่วทั้งผลในแวคิว-โอลของเซลล์ผลสตรอเบอรี่ แต่ในผลไม้ส่วนใหญ่จะพบสะสมในเนื้อเยื่อชั้น epidermal และ sub-epidermal เช่น แอปเปิล สาลี่ และองุ่น จะพบแอนโธไซยานินบริเวณชั้นนอกของผิวผลเป็นส่วนใหญ่ (Gross, 1987) สีของแอนโธไซยานินจะผันแปรไปตามสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในแวคิวโอลที่เปลี่ยนแปลงไป (มีพีเอชอยู่ระหว่าง 3.0-5.0) แอนโธไซยานินมีสีแดงในสภาพที่สารละลายเป็นกรด และสีจะจางลงเมื่อความเป็นกรดลดลง ในสภาพสารละลายที่เป็นกลางหรือด่างแอนโธไซยานินจะมีสีน้ำเงินหรือสีม่วงในตอนแรก และสีจะจางลงไปเรื่อยๆ ดังจะเห็นได้จากการเปลี่ยนสีของ cyanidin-3-glucoside ซึ่งเกิดปฏิกิริยาร่วมกับ aluminium salts เปลี่ยนจากสีแดงไปเป็นม่วงอมน้ำเงินที่พีเอช 3.0-3.5 (ดนัย, 2540 ; Van Buren, 1970; Harborne, 1976 ; Mazza and Miniati, 1993) แอนโธไซยานินมี flavan nucleus เป็นโครงสร้างพื้นฐานดังภาพที่ 3 ก ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) คือ วงแหวน A วงแหวน B และวงแหวน C โดยเฉพาะที่วงแหวน B จะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหรือหมู่เมทธอกซิล ($-OCH_3$) มาเกาะ ซึ่งจะทำให้เกิดแอนโธไซยานินที่หลากหลายชนิดและที่สำคัญมีอยู่ 6 ชนิด คือ เพลาร์โกนิดิน (pelargonidin) ไซยานิดิน (cyanidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) พีโอนิดิน (peonidin) พิทูนิดิน (petunidin) และมัลวิดิน (malvidin) ดังภาพที่ 3 ก และ 3 ข (ดนัย, 2540 ; Gross, 1987 ; Mazza and Miniati, 1993 ; Tucker, 1993) ในสตรอเบอรี่มี pelargonidin-3-glucoside และ cyanidin-3-glucoside ในอัตราส่วน 20 : 1 (Harborne, 1976 ; Burton, 1982; Avigdori-Avidov, 1986) น้ำตาลที่พบเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโธไซยานิน คือน้ำตาลกลูโคส ไซโลส

อะราบิโนส กาแลคโตส หรือแรมโบส (rhambose) น้ำตาลในโมเลกุลของแอนโธไซยานินนั้นมีส่วนช่วยให้แอนโธไซยานินสามารถคงตัวและละลายน้ำได้ดี (ดนัย, 2540 ; Harborne, 1976 ; Gross, 1987 ; Mazza and Miniati, 1993) ปริมาณแอนโธไซยานินในผลสตรอเบอรี่จะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิด พันธุ์ และระยะการสุก (Mazza and Miniati, 1993) สอดคล้องกับ ทองใหม่ (2541) รายงานว่าปริมาณแอนโธไซยานินของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Dover, Nyoho, Sequoia และ Tioga เพิ่มขึ้นเมื่อระยะผลแก่ขึ้น คือ ระยะที่ผลมีสีชมพูขาว ชมพู และแดง เช่น สตรอเบอรี่พันธุ์ Nyoho มีปริมาณแอนโธไซยานินเท่ากับ 2.24, 16.26 และ 32.75 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักสด ในระยะชมพูขาว ชมพู และแดง ตามลำดับ นอกจากนี้ผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Tioga, Sequoia, Dover และ Nyoho เมื่อเก็บเกี่ยวระยะที่ผลสีแดงมีปริมาณแอนโธไซยานินเท่ากับ 49.46, 48.75, 40.66 และ 32.75 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานิน

8.1. แสง การสังเคราะห์แอนโธไซยานินในพืชขึ้นกับหลายปัจจัย โดยเฉพาะแสงจะช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL activity) โดยเอนไซม์ PAL นี้เป็น rate limiting ของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แอนโธไซยานินและฟลาโวนอยด์อื่นๆ (Harborne, 1976 ; Gross, 1987 ; Mazza and Miniati, 1993) การใช้แสงกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์จะมีประสิทธิภาพเพียง 12 ชั่วโมงภายหลังจากการให้แสงเท่านั้น หลังจากนั้นประสิทธิภาพแสงต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในการสังเคราะห์ฟลาโวนอยด์จะลดลง (Wong, 976) นอกจากเอนไซม์แล้วตัวรับพลังงานแสง (photoreceptor) คือ Phytochrome (P_{fr}) ซึ่งจะรับพลังงานแสงจากแหล่ง R-FR radiation ส่วนตัวรับพลังงานแสงคือ Cryptochrome จะรับแสงจากแหล่ง UV หรือแสงสีน้ำเงิน ซึ่งตัวรับพลังงานแสงนี้จะทำงานร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆภายในเซลล์ แล้วเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน (Mancinelli, 1985) Saks *et al.* (1990) รายงานว่าการใช้ artificial light กับผลแอปเปิลพันธุ์ Anna ภายหลังการเก็บเกี่ยว มีผลทำให้การสร้างรงควัตถุสีแดงของแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้น Dong *et al.* (1995) ทดลองใช้แสง UV 310 ที่ความเข้มแสง 150 $\mu W.m^{-2}$ เปรียบเทียบกับการให้แสงฟลูออเรสเซนต์ชนิดสีขาว (white light fluorescent) ที่ความเข้มแสง 400 $\mu W.m^{-2}.s^{-1}$ อย่างต่อเนื่องกับแอปเปิลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในที่มืด พบว่าแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นตัวกระตุ้นการสังเคราะห์แอนโธไซยานินใน flavonoid pathway ส่วนแสงอัลตราไวโอเลตจะช่วยเพิ่มการรวมตัวและการสะสมของแอนโธไซยานิน นอกจากนี้การให้แสงที่มีความเข้มแสงสูงในระยะเวลาสั้นเพียง 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิต่ำก็เพียงพอต่อการ

ชักนำการพัฒนากลิ่นและการสังเคราะห์แอนโธไซยานินในสตรอเบอรี่ได้ (Avigdori-Avidov, 1986) ในทำนองเดียวกัน Saks *et al.* (1996) ยังพบอีกว่าการให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดสีขาวที่ความเข้มแสง 14.5 และ 17.5 $W.m^{-2}$ แก่ผลสตรอเบอรี่ระยะไหล่มีสีขาว (white shoulder) ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ติดต่อกันนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ในที่มืดจะช่วยเพิ่มการพัฒนาสีทั้งภายในและภายนอกผล และ Miszczak *et al.* (1995) ทดลองให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (75%) ร่วมกับหลอดอินแคนเดสเซนท์ (incandescent) (25%) ที่ความเข้มแสง 200 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ อย่างต่อเนื่องกับสตรอเบอรี่ระยะสีขาว ชมพูและแดง ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % พบว่าระยะสีชมพูมีอัตราการพัฒนาสีดีที่สุด แต่ถ้าให้แสงที่อุณหภูมิสูง (20 องศาเซลเซียส) จะเพิ่มการสูญเสียน้ำหนัก พบอาการเหี่ยวของกลีบเลี้ยง และคุณภาพของผลสตรอเบอรี่ ไม่เป็นที่ต้องการของผู้ทดสอบชิม

8.2. อุณหภูมิ อุณหภูมิต่ำจะส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโธไซยานินในผลไม้ส่วนใหญ่ก่อนเก็บเกี่ยว ซึ่งได้รับการยืนยันจากผลการทดลองในแอปเปิล พบว่าที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสจะกระตุ้นทั้งการสังเคราะห์แอนโธไซยานินและเพิ่มกิจกรรมของเอนโซม์ PAL นอกจากนั้นยังช่วยลดกิจกรรมของจิบเบอเรลลินส่งผลให้สร้างรงควัตถุได้มากขึ้น (Gross, 1987) ผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวระยะสีผิวมีสีเขียวปนขาวถึงเริ่มเปลี่ยนสีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งผลที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสได้ภายใน 48 ชั่วโมง ถ้าอุณหภูมิลดลงเหลือ 19 องศาเซลเซียส จะสุกให้สีแดงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 4 วัน (ดนัย, 2538) สอดคล้องกับ Miszczak *et al.* (1995) รายงานผลการศึกษากับสตรอเบอรี่พันธุ์ Kent ที่เก็บเกี่ยวในระยะสีชมพูขาว ชมพูและแดง แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 หรือ 20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ผลปรากฏว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนสีของผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวในระยะสีชมพู และสีแดง หากเก็บรักษาสตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส) จะทำให้สูญเสียรงควัตถุเพลาร์โกนิดินในสตรอเบอรี่ได้ อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงทำให้เอนไซม์เสื่อมสภาพ (Harborne, 1976)

8.3. องค์ประกอบภายในของผลิตผล การปรากฏสีของแอนโธไซยานินยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลในต้นพืช เพราะน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโธไซยานิน ดังนั้นถ้าพืชมีการสังเคราะห์แสงสูง ปริมาณน้ำตาลจะสูงตามไปด้วย ส่งผลให้สร้างแอนโธไซยานินได้มากขึ้นด้วย (อัญชุลี, 2539 ; Gross, 1987 ; Whiting, 1970) โดยเฉพาะในผลไม้ประเภท non-climacteric น้ำตาลในผลได้จากการเคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมในผลขณะที่มีการเจริญและพัฒนาของผล (สายชล, 2528) ปริมาณกรดที่ลดลงเมื่อผลแก่และเริ่มสุกส่งผลให้พีเอชของ cell sap เพิ่มขึ้น ทำให้สีของผลไม้เปลี่ยนไป (จริงแท้, 2541) ปกติใน cell sap จะมีพีเอช

ระหว่าง 3.0 ถึง 5.0 ในสภาพเป็นกรดแอนโธไซยานินจะมีสีค่อนข้างแดง และหากอยู่ในสภาพที่เป็นด่างจะแสดงสีน้ำเงิน การที่มีโลหะพวกอะลูมิเนียม เหล็ก และทองแดง มารวมอยู่กับแอนโธไซยานินจะทำให้เกิดเป็นสีน้ำเงิน (Harborne, 1976) อายุของผลก็มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานินในระยะการพัฒนาของเนื้อเยื่อ ในผลเชอรี่เปรี้ยวจะพบการสังเคราะห์แอนโธไซยานินเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระยะแก่จนถึงระยะสุกเพิ่มจาก 2 เป็น 43.6 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม น้ำหนักสด ในขณะที่ราสเบอรี่สายพันธุ์ Mecker มีปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดเพิ่มขึ้น 4 เท่าในผลสุก (Gross, 1987) ในสตรอเบอรี่จะเริ่มสังเคราะห์แอนโธไซยายินในวันที่ 28 เรื่อยไปจนถึงวันที่ 35 ภายหลังกลีบดอกร่วง ซึ่งเป็นช่วงที่ผลสตรอเบอรี่แก่เต็มที่จนถึงระยะสุก (Avigdori-Avidov, 1986) ซึ่งปริมาณแอนโธไซยานินจะแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ Dover, Nyoho, Sequoia และ Tioga มีปริมาณแอนโธไซยานินที่ระยะสีแดงทั้งผลเท่ากับ 40.66, 32.75, 48.75 และ 49.46 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ทองใหม่, 2541)

9. สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นตามธรรมชาติของผลไม้และจะผลิตออกมามากขึ้นเมื่อผลสุก (Burton, 1982) สารให้กลิ่นเป็นสารประกอบเอสเทอร์ แลคโตน แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ อัลดีไฮด์ คีโตน และไฮโดรคาร์บอน ในผลสตรอเบอรี่สุกพบเฉพาะสารในกลุ่มเอสเทอร์ แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ (Nursten, 1970; Manning, 1993) สารเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 2 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงสูงและอุณหภูมิต่ำ เกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ระเหยได้ง่าย 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) ผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวระยะสีแดงจะผลิตสารให้กลิ่นได้มากกว่าสีชมพูขาวและชมพู (Miszczak *et al.*, 1995)

10. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านรสชาติของผลสตรอเบอรี่ รสชาติของผลสตรอเบอรี่จะผันแปรตามพันธุ์และส่วนประกอบของกรดอินทรีย์ น้ำตาล และแทนนิน ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ระยะการสุกของผลสตรอเบอรี่ได้ ในระยะที่สีผิวเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีชมพูและแดง ผลสตรอเบอรี่มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันปริมาณกรดและแทนนินก็ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงมีผลทำให้รสเปรี้ยวและฝาดลดลงด้วย (ดนัย, 2538) สตรอเบอรี่จัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric น้ำตาลในผลได้จากการเคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมในผลขณะมีการเจริญเติบโตของผล ภายหลังการเก็บเกี่ยวมาแล้วปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นน้อยมากหรือไม่เพิ่มเลย (กนกมลฑล, 2526 ; สายชล, 2528) ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถเก็บเกี่ยวสตรอเบอรี่ก่อนแก่หรือก่อน

ผลเปลี่ยนสีได้ (จริงแท้, 2541) ควรรอให้สตรอเบอรี่ที่ใช้บริโภคสดมีผลสีชมพูก่อน เพื่อให้ผลสะสมน้ำตาล เป็นการเพิ่มความหวานให้กับผลสตรอเบอรี่ (ประสาทพร, 2538) ผลสตรอเบอรี่ควรเก็บเกี่ยวในระยะที่มีสีแดงอย่างน้อย 61 เปอร์เซ็นต์แต่ไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยาและดนัย, 2533) สอดคล้องกับที่ Sobczyiewicz (1967) ได้ศึกษาผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Senga, Sengana และ Talisman ที่เก็บเกี่ยวระยะสีขาวอมเขียว หรือเปลี่ยนเป็นสีแดง 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 21 และ 25 องศาเซลเซียส ปรากฏว่ารสชาติของผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวระยะความแก่ของผลที่มีสีแดง 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์มีรสชาติดีเท่ากับผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวเมื่อปล่อยให้ผลสุกกับต้น

คุณภาพของผลสตรอเบอรี่

ผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดีต้องสะอาด ไม่มีรอยแผล ช้ำ หรือมีเชื้อรา สีผิวแดงสดใส ไม่ซีด เป็นมันวาว เนื้อแน่น มีกลีบเลี้ยงสีเขียวสดติดมาด้วย ผลขนาดใหญ่และมีความสม่ำเสมอเพื่อสะดวกในการคัดคุณภาพ การบรรจุ และขนส่ง เมื่อถึงปลายทางผลสตรอเบอรี่ยังอยู่ในสภาพสด และมีอายุวางขายได้นาน (นิธิยาและดนัย, 2533 ; Sistrunk and Morris, 1981)

การหายใจ

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผักผลไม้และผลิตผลทางการเกษตรทุกชนิดยังคงมีชีวิตอยู่ ต้องการพลังงานจำนวนหนึ่ง เพื่อใช้ในการสังเคราะห์สารต่างๆที่จำเป็นสำหรับเมตาโบลิซึมของเซลล์ จึงมีการหายใจเพื่อให้ได้พลังงานออกมา ซึ่งการหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงเป็นตัวเร่ง และใช้ก๊าซออกซิเจนมาออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (organic material) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานจำนวนหนึ่งออกมา (กนกมณฑล, 2526 ; อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541) ในรูปความร้อน (vital heat) แต่ส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานเคมีที่เก็บไว้ในเซลล์ในรูปโมเลกุลของ adenosine triphosphate (ATP) เมื่อถูกไฮโดรไลซ์จะให้พลังงานซึ่งใช้ในกระบวนการต่างๆ ตลอดจนใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตหลังการเก็บเกี่ยว (สายชล, 252 ; ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541 ; Lloyd and Pentzer, 1974 ; Bonte-Friedheim, 1989)

ในผลิตผลสดที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะไม่ได้รับน้ำ คาร์โบไฮเดรต หรือสารอินทรีย์อื่นๆ จากต้นแม่ การเกิดกระบวนการหายใจก็เกิดอย่างต่อเนื่องไม่สามารถหยุดได้ ด้วยเหตุนี้การหายใจของผลิตผลสดจึงต้องใช้สตาร์ช น้ำตาล หรือสารอินทรีย์ที่เก็บไว้ในผลิตผลนั้นแทน ซึ่งการสลาย

สารประกอบอินทรีย์ หรืออาหารสะสมที่มีอยู่ในผลิตผลนี้ จะทำให้เกิดการเร่งการเสื่อมสภาพ เนื่องจากอาหารที่สะสมอยู่มีน้อยลง ส่งผลให้คุณค่าทางอาหารคุณภาพด้านรสชาติโดยเฉพาะความหวานลดลง นอกจากนั้นยังเกิดการสูญเสียน้ำหนัก และจะหยุดหายใจเมื่ออาหารสะสมหมด (กนกมณฑล, 2526 ; อรรณพ, 2532 ; Bonte-Friedheim, 1989 ; Kader, 1992) การวัดอัตราการหายใจจึงเป็นการวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการหายใจหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายออกมาเป็นหน่วยปริมาตร (มิลลิลิตร) ต่อหน่วยน้ำหนักผลไม้ต่อหน่วยเวลา ดังนั้นอัตราการหายใจจึงเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารอาหารในเมตาโบลิซึมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์หรือเนื้อเยื่อของผลิตผล และสามารถบอกถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตผล ซึ่งผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงมักจะเก็บรักษาได้ไม่นาน ในทางตรงกันข้ามผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำก็จะเก็บรักษาได้นาน สตรอเบอรี่จัดเป็นผลไม้ที่มีการหายใจแบบ non-climacteric คือ ขณะที่ผลยังอ่อนและมีการแบ่งเซลล์มากจะมีอัตราการหายใจสูง แล้วหลังจากนั้นอัตราการหายใจจะค่อยๆลดลงตามอายุที่มากขึ้น (สายชล, 2528 ; ดนัย, 2540) เมื่อผลแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) และเข้าสู่ระยะผลสุกเต็มที่ถึงระยะงอม จะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นอีกครั้งชั่วระยะเวลาสั้นๆ ต่อจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเสื่อมสภาพ และหมดอายุไปในที่สุด (Phan *et al.*, 1975)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจ

ปัจจัยภายใน

1. ช่วงการเจริญเติบโตในระยะเก็บเกี่ยว ผักและผลไม้ภายหลังการตัดออกจากต้น จะมีการหายใจสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับชนิด และระยะความแก่อ่อนของผลิตผลนั้น โดยทั่วไปผลไม้ที่ยังอ่อนจะมีอัตราการหายใจต่อหน่วยน้ำหนักสูง เมื่อเข้าสู่ระยะแก่อัตราการหายใจจะลดลง ในผลไม้ประเภท non-climacteric ภายหลังจากเก็บเกี่ยวจากต้นแล้ว อัตราการหายใจจะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งเนื้อเยื่อเสื่อมสภาพ อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่จะเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จากระยะที่ผลไม่แก่ จนถึงระยะที่ผลแก่ (สายชล, 2528 ; ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541 ; Bonte-Friedheim, 1989)

2. ส่วนประกอบและโครงสร้างของผลิตผล โครงสร้างและส่วนต่างๆ ของพืชที่แตกต่างกัน มีส่วนทำให้มีอัตราการหายใจแตกต่างกัน เนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยเซลล์เจริญหรือเนื้อเยื่ออ่อน เช่น ยอด หน่อ ดอก และผลอ่อน จะมีอัตราการหายใจสูง ส่วนที่เป็นหัวสะสมอาหารมักมีอัตราการหายใจต่ำ ผลไม้ที่มีสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ เช่น ไข หรือ คิวติน เคลือบอยู่อย่างเป็นระเบียบมักมีอัตราการหายใจต่ำ เนื่องจากสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ

พวกนี้จะจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ระหว่างเนื้อเยื่อของผลิตผลกับบรรยากาศภายนอก ผลไม้ที่มีขนาดเล็กจะมีสัดส่วนของเนื้อเยื่อที่สัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น ทำให้ก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้อย่างพอเหมาะกับความต้องการ ส่งผลให้มีอัตราการหายใจสูง (สายชล, 2528 ; อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540 ; ธวัชชัย, 2541 ; Kays, 1991)

3. สภาวะเครียด การเกิดความเครียดในผลิตผล เช่น เนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของผลไม้ได้รับการกระแทก ชอกช้ำ หรือเกิดบาดแผล จะทำให้เนื้อเยื่อพืชอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะราและแบคทีเรีย พืชบางชนิดจะมีกลไกการต่อสู้กับการรุกรานของจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น เกิดการตายของเซลล์อย่างรวดเร็ว เพื่อกักกันการเจริญของเส้นใยและจำกัดจำนวนของเซลล์พืชที่ถูกทำลายให้น้อยลง นอกจากนั้นยังมีการสร้างสาร phytoalexins เพื่อควบคุมการรุกรานของจุลินทรีย์ให้น้อยลง ด้วยเหตุนี้เซลล์พืชจึงต้องการพลังงานจากการหายใจ เพื่อผลิตสารต่างๆ ส่งผลให้อัตราการหายใจในเนื้อเยื่อของผลิตผลเพิ่มขึ้น (อรรณพ, 2532 ; จริงแท้, 2541 ; Kays, 1991)

4. ปัจจัยก่อนเก็บเกี่ยว อัตราการหายใจของผลิตผลแตกต่างกันในแต่ละแหล่งปลูกหรือระหว่างปีการเพาะปลูก ทำให้สันนิษฐานได้ว่าสภาพภูมิอากาศในระหว่างการเจริญเติบโตหรือสภาพการดูแลบำรุงรักษา จะส่งผลต่ออัตราการหายใจตลอดจนคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ เช่น มีรายงานว่าแอปเปิลที่ปลูกในสภาพที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำจะให้ ผลแอปเปิลที่มีอัตราการหายใจสูงกว่าผลแอปเปิลที่ได้จากสภาพปลูกที่มีแคลเซียมอย่างเพียงพอ นอกจากนั้นสตรอเบอรี่ที่มีปริมาณของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อสูง ก็มีอัตราการหายใจสูงเช่นกัน (สายชล, 2528 ; อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540 ; ธวัชชัย, 2541)

ปัจจัยภายนอก

1. อุณหภูมิ อัตราการหายใจของสิ่งมีชีวิตจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดเร็วขึ้นประมาณ 2 เท่า การเปรียบเทียบอัตราของปฏิกิริยาทางเคมี มักแสดงออกมาเป็นค่า Q_{10} ซึ่งค่า Q_{10} นี้ใช้ในการอ้างถึงอัตราการหายใจ อัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตนั้นจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิหนึ่งเท่านั้น ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเรียกว่า physiological temperature ค่า Q_{10} จะผันแปรตามอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีก (สูงมากกว่า 40 องศาเซลเซียส) อัตราการหายใจจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดที่การหายใจหยุด เรียกว่า thermal death point เนื่องจากว่าโปรตีนหรือเอนไซม์ต่างๆ ที่จำเป็นในกระบวนการหายใจเสื่อมสภาพ

อย่างไรก็ตาม การลดอัตราการหายใจอาจแสดงถึงการที่ก๊าซออกซิเจน ไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้อย่างเพียงพอ มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในเซลล์จนกระทั่งถึงจุดที่ยับยั้งการหายใจ หรืออาหารสะสมที่ใช้สำหรับการหายใจไม่เพียงพอ ดังนั้นการจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยว ได้มีการลดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษา เพื่อให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจและกระบวนการเมตาโบลิซึมเกิดขึ้นช้าลง โดยทั่วไปนิยมเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ในผลิตผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนหรือกึ่งร้อน อัตราการหายใจอาจจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 10-12 องศาเซลเซียส ลักษณะเช่นนี้เป็นอาการผิดปกติที่อุณหภูมิต่ำ เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) (สายชล, 2528 ; ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541 ; Bonte-Fridheim, 1989 ; Kays, 1991)

2. เอทธิลีน ผลไม้ทุกชนิดเมื่อเริ่มกระบวนการสุกจะสังเคราะห์ก๊าซเอทธิลีนและปล่อยออกมา ผลไม้ประเภท climacteric ส่วนใหญ่จะปล่อยก๊าซเอทธิลีนออกมามากกว่าประเภท non-climacteric การให้ก๊าซเอทธิลีนจากภายนอกแก่ผลไม้ประเภท non-climacteric จะเร่งอัตราการหายใจให้สูงขึ้นทันทีหลังจากที่ได้รับเอทธิลีน ยิ่งมีเอทธิลีนความเข้มข้นสูงขึ้นอัตราการหายใจยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย และคงอยู่ในระดับนี้ถ้ายังมีเอทธิลีนอยู่ เมื่อไม่มีเอทธิลีนแล้วอัตราการหายใจจะลดลงมาใกล้เคียงกับการหายใจในระดับเดิม (สายชล, 2528 ; อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541 ; Bonte-Fridheim, 1989 ; Kays, 1991)

3. ส่วนประกอบของก๊าซในบรรยากาศ

3.1 ปริมาณก๊าซออกซิเจน โดยปกติแล้วก๊าซออกซิเจนมีอยู่ในบรรยากาศประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากเกินพอสำหรับการหายใจ การเพิ่มก๊าซออกซิเจนจะมีผลต่ออัตราการหายใจน้อยมาก หากลดปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศลงจากปกติจนเหลือประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ อัตราการหายใจจะลดลง เนื่องจากระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนหรือ กระบวนการ oxidative phosphorylation เป็นกระบวนการที่มีระบบ cytochrome a/a_3 ซึ่งต้องส่งอิเล็กตรอนไปให้ก๊าซออกซิเจน ดังนั้นก๊าซออกซิเจนที่ความเข้มข้นต่ำ 2-3 เปอร์เซ็นต์ อาจไม่เพียงพอต่อกระบวนการนี้ จึงส่งผลให้มีอัตราหายใจลดลง ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดสำหรับผลไม้ทั่วไปในห้องเก็บรักษา ที่ทำให้ไม่เกิดความผิดปกติของผลิตผล คือ ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ (ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541 ; Bonte-Fridheim, 1989)

3.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปกติมีอยู่เพียง 0.03 เปอร์เซ็นต์ แต่ภายในผลิตผลอาจมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ อัตราการผ่านเข้าออกของก๊าซ และส่วนประกอบของบรรยากาศภายนอก เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปยับยั้งปฏิกิริยา decarboxylation ต่างๆในกระบวนการหายใจ

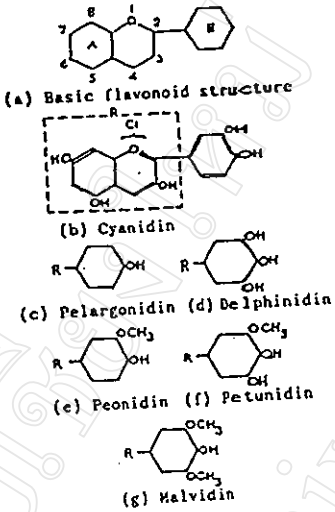
ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ succinic dehydrogenase ในวัฏจักรเครบส์ ทำให้กระบวนการหายใจดำเนินต่อไปไม่ได้ แต่ความต้องการพลังงาน (ATP) ยังคงมีอยู่จะไปกระตุ้นไกลโคไลซิสให้เกิดเร็วขึ้น ส่วน NAD^+ ที่ถูกใช้ไปในไกลโคไลซิสจะถูกนำกลับมาได้โดยการรีดิวซ์กรดไพรูวิก ไปเป็นแอลกอฮอล์ (สายชล, 2528 ; ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2541 ; ธวัชชัย, 2541 ; Kays, 1991) สอดคล้องกับ Bonte-Friedheim (1989) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 1-5 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้ผลิตผลมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ สูญเสียความสามารถในการสุกและเกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาอื่นๆ ส่วนผลสตรอเบอรี่สามารถทนต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ (Bonte-Friedheim, 1989)

ตารางที่ 3 ปริมาณกรดอินทรีย์ที่พบในผลไม้สุก (มิลลิสมมูลต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)

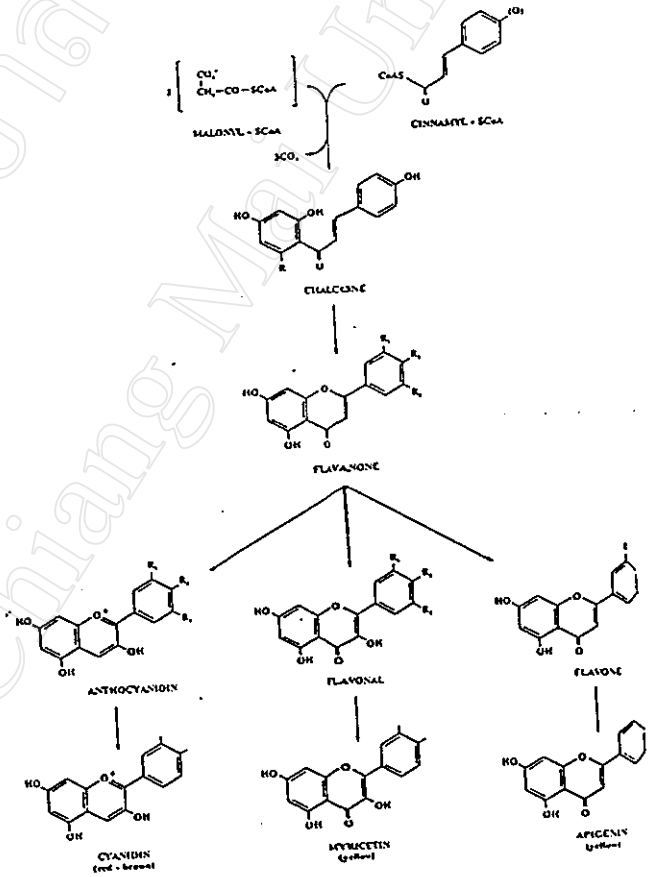
กรดอินทรีย์	ชนิดของผลไม้	ปริมาณกรด	กรดชนิดอื่นๆที่พบ
กรดมาลิก	แอปเปิล	3-19	ควินิก พบในเปลือกและผลอ่อน
	กล้วย	4.0	
	เชอรี่	5-9	ซิตริก ควินิก ซิคิมิก
	องุ่น	1.5-2.0	ทาร์ทาริก 1.5-2
	ท้อ	4.0	ซิตริก
	สาลี่	1.0-2.0	ซิตริก
	บ๊วย	6-11	ควินิก พบในผลอ่อน
กรดซิตริก	เลมอน	73	มาลิก (4) ควินิก
	ส้ม	15	มาลิก (3) พบควินิก และออกซาลิกในเปลือก
	ฝรั่ง	10-20	มาลิก
	สับปะรด	6-20	มาลิก (1.5-7)
	ทับทิม	7-30	มาลิก
	สตรอเบอรี่	10-18	มาลิก (1-3) ควินิก (0.1) และ ซัคซินิก (0.1)
กรดทาร์ทาริก	องุ่น	1.5-2.0	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ulrich (1970)

ก.



ข.



ภาพที่ 3 แอนโธไซยานิน

ก. ชนิดและโครงสร้างของแอนโธไซยานิน (ดนัย, 2540)

ข. การสังเคราะห์แอนโธไซยานิน (Kays, 1991)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University