บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

สตรอเบอรี่เป็นไม้ผลล้มลุกอายุหลายปี ลำต้นมีลักษณะเป็นกอที่มีระบบรากค่อนข้างตื้น จัดอยู่ในตระกูล Rosaceae สกุล *Fragaria* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Fragaria x ananassa* Duch. ซึ่งเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างสตรอเบอรี่พันธุ์พื้นเมืองของสหรัฐอเมริกา 2 ชนิด คือ *F. chiloensis* กับ *F. virginiana* (Burton, 1982; Monelise, 1986; Salunkhe and Desai, 1986) พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่มีจำนวนโครโมโซม 8 ชุด (octoploid; 2n = 8x = 56) มีลักษณะการเจริญโดยการแตกกอ ดอกสีขาว ออกดอกเป็นช่อแบบ compound cymes ผลเป็นแบบผลกลุ่ม ประกอบด้วยผลย่อยแบบ achene ผิวสีแดงเป็นมัน เมื่อผลสุกจะมีกลิ่นหอม (สังคม, 2532; ประสาทพรและคนัย, ม.ป.พ.; Monelise, 1986)

สายพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกในประเทศไทย

วัตถุประสงค์หลักในการปลูกสตรอเบอรี่ในประเทศไทย คือ การบริโภคภายในประเทศทั้งบริโภคสดและแปรรูป โดยมีบางส่วนที่ส่งเป็นสินค้าออก แต่ยังมีปริมาณไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น ประเทศที่เป็นคู่ค้าสำคัญคือ สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น (กองพัฒนาเกษตรที่สูง, 2543; สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2545)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และมูลนิธิโครงการหลวงได้นำพันธุ์สตรอเบอรี่จากต่างประเทศเข้ามาปลูกเพื่อคัดเลือกพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพของประเทศไทย เพื่อวิจัยและพัฒนาให้เป็นพืชทดแทนการปลูกฝิ่นของชาวเขาในภาคเหนือ โดยเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2512 จนถึง พ.ศ. 2541 ได้มีการนำสตรอเบอรี่สายพันธุ์ต่างๆ จากต่างประเทศเข้ามาทดลองปลูกมากมาย เช่น ใน พ.ศ. 2515 มีพันธุ์ Cambridge Favorite, Tioga และ Sequoia (รู้จักกันในนามพันธุ์พระราชทาน 13, 16 และ 20 ตามลำดับ) ต่อมาในปี พ.ศ. 2529 ได้นำพันธุ์ Nyoho, Toyonoka และ Aiberry จากประเทศญี่ปุ่นเข้ามาทดลองปลูก ปรากฏว่าพันธุ์ Nyoho และ Toyonoka สามารถปรับตัวได้ดีบนพื้นที่สูง และได้ตั้งชื่อพันธุ์ Toyonoka เป็นพันธุ์พระราชทาน 70 และพันธุ์ B5 เป็นพันธุ์พระราชทาน 50 ปัจจุบันพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 16, 20, 50 และ 70 นอกจากนี้ยังมีการปลูกพันธุ์ Nyoho, Dover และ Selva บ้างในบางพื้นที่ (ณรงค์ชัย, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พันธุ์พระราชทาน 72

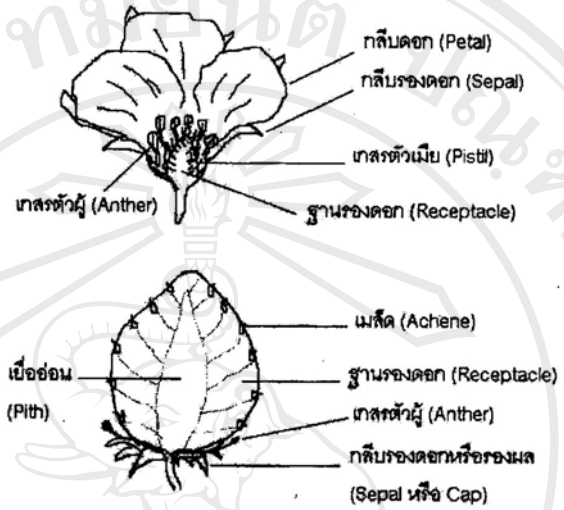
สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 72 เป็นสายพันธุ์ใหม่ที่มูลนิธิโครงการหลวงได้นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่นมีชื่อว่า Tochiotome โดยทำการปลูกทดสอบครั้งแรกในแปลงทดลองของสถานีวิจัยดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2542 จนได้ผลการทดสอบเป็นที่แน่ใจแล้วว่า สตรอเบอรี่พันธุ์นี้สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดี มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดี มีความทนทานต่อโรคและแมลง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในลักษณะรับประทานผลสด จึงเริ่มทำการส่งเสริมให้แก่เกษตรกรในเขตพื้นที่รับผิดชอบปลูกเป็นการค้าตั้งแต่ฤดูกาลผลิตปี พ.ศ. 2545-2546 เป็นต้นมา สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 72 มีขนาดผลค่อนข้างใหญ่ถึงใหญ่มาก โดยพบว่าผลมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 14 กรัมต่อผล มีความแข็งหรือความแน่นเนื้อมากกว่าผลของพันธุ์พระราชทาน 70 แต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) น้อยกว่าเล็กน้อย คือ พันธุ์พระราชทาน 70 และ 72 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ยที่ 9.6 และ 9.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่ามีความสมดุลพอดีระหว่างรสเปรี้ยวและรสหวาน จึงทำให้มีรสชาติดีเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค มีกลิ่นหอมเมื่อเริ่มสุกถึงสุกเต็มที่ เนื้อผลภายในมีสีขาว ส่วนผิวผลเมื่อสุกเต็มที่จะมีสีแดงถึงแดงจัด มีความเป็นเงามันที่ผิวผล ทำให้เป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคเมื่อได้พบเห็น และยังมีความทนทานต่อการขนส่งมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ที่ใช้ส่งเสริมปลูกอยู่ในปัจจุบัน (ณรงค์ชัย, 2546)

โครงสร้างและการพัฒนาของผลสตรอเบอรี่

ผลสตรอเบอรี่จัดเป็นผลแบบกลุ่ม (aggregate fruit) ซึ่งแต่ละผลเกิดจากดอก 1 ดอก ที่เกสรตัวเมียประกอบด้วยรังไข่หลายอันรวมอยู่บนฐานรองดอกเดียวกัน ผลย่อยของผลกลุ่มเป็นแบบ achene แต่ละ achene มีเมล็ดเพียงเมล็ดเดียว (single seed) อยู่ที่ผิวนอกของผลกลุ่ม (เกศิณี, 2528; ดนัยและนิธิยา, 2548) ผลสตรอเบอรี่เป็นส่วนของฐานรองดอกที่พัฒนามาเป็นส่วนที่บริโภคได้ เป็น meristematic tissue ซึ่งมีช่องว่างระหว่างเซลล์มาก ประกอบด้วยแกนกลางผลที่ฉ่ำน้ำ (fleshy pith) ถัดออกไปจะเป็นวงของ vascular bundles ซึ่งเป็นกลุ่มท่อลำเลียงน้ำและอาหารจากลำต้นมาสู่แกนกลางผล และส่งไปเลี้ยงเนื้อผลและเมล็ด ขณะเดียวกันก็ช่วยพยุงผลให้มีความแน่นเนื้อ เนื่องจากเป็นเซลล์ที่เหนียวและยาวมากกว่าเซลล์ที่เนื้อผล ชั้นนอกสุดเป็นผิวชั้นนอกมี achene ติดอยู่ ซึ่งมีขนจำนวนเล็กน้อยติดอยู่ที่ผิว achene ดังภาพที่ 1 (Childers, 1981; Monelise, 1986) ดอกแรกของช่อดอกเป็นผลลำดับแรกของช่อ ซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุด มีเมล็ดมากที่สุด และสุกก่อนผลอื่น และดอกถัดไปของช่อเจริญเป็นผลลำดับที่สอง ผลลำดับที่สาม และผลอันดับที่สี่ ซึ่งผลจะมีขนาดเล็กลงตามลำดับ การผสมเกสรของดอกเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อขนาดของผลสตรอเบอรี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ดอกอันดับแรกมีโอกาสที่จะเจริญเติบโตเป็นผลที่สมบูรณ์ และพบว่าดอกสุดท้ายของช่อดอกอาจมีโอกาสพัฒนาเป็นผลที่ไม่สมบูรณ์ (ชูพงษ์, 2531) ตำแหน่งของผลในช่อจะมีผลต่อความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีด้วย (Osman and Dood, 1994)



ภาพที่ 1 โครงสร้างโดยทั่วไปของดอกและส่วนประกอบต่างๆ ของผลสตรอเบอรี่ (กองพัฒนาเกษตรที่สูง, 2543)

ผลสตรอเบอรี่มีการเจริญเติบโตแบบ simple sigmoid curve เมื่อรังไข่ของดอกสตรอเบอรี่ถูกผสม กลีบดอกจะร่วงโรย ส่วนของฐานรองดอกจะพัฒนาและเจริญเป็นผล ซึ่งภายหลังจากกลีบดอกร่วงแล้ว 7 วัน จะมีการแบ่งเซลล์และขยายขนาดเซลล์ (cell division and cell expansion) เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ (cell proliferation) และเพิ่มขนาดของผลอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะเป็นการเพิ่มปริมาตรเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยเกิดการขยายขนาดของเซลล์ (cell enlargement) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในส่วนของ subcellular และผนังเซลล์ (Childers, 1981; Manning, 1993) การเจริญเติบโตส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์บริเวณเนื้อผล ภายหลังจากระยะดอกบานจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ จะพบการขยายขนาดของเนื้อเยื่อผลประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผลแก่แกนกลางผล (pith) และเนื้อผล (cortex) จะหยุดพัฒนา แต่ยังสามารถขยายขนาดเพิ่มได้บ้างเล็กน้อย (Avigdori-Avidov, 1986) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลสตรอเบอรี่เพิ่มขนาดผลขึ้นอีก 14 เปอร์เซ็นต์ จากระยะสีผิวมีสีแดงทั้งผลถึงระยะสุกเต็มที่ (Childers, 1981)

เมล็ดสตรอเบอรี่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของฐานรองดอกมาก ถ้าแกะเอาเมล็ดออกจากผลสตรอเบอรี่ในช่วงที่ผลมีอายุก่อน 3 สัปดาห์ จะทำให้การเจริญเติบโตของผลบริเวณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนนั้นหยุดชะงัก เนื่องจากขาดฮอร์โมนออกซิน (auxin) ซึ่งถูกสร้างขึ้นที่เมล็ดและมีหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของผล (ดนัย, 2538) และเมื่อผลสตรอเบอรี่มีความแก่ทางสรีรวิทยาระหว่างอยู่บนต้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น มีน้ำหนักผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วิตามินซี และเพกทินที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น และกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) จะลดลงตามความแก่ของผลที่แก่ขึ้น (Kotecha and Madhavi, 1995)

การเก็บเกี่ยว

เนื่องจากผลสตรอเบอรี่จัดเป็น non climacteric fruit ดังนั้นระยะที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวคือเมื่อผลสุกเป็นสีแดง เพราะหลังการเก็บเกี่ยวแล้วผลสตรอเบอรี่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คือ อัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงเสื่อมสภาพ รสชาติคงที่ ฉะนั้นหากเก็บเกี่ยวผลที่ยังสุกไม่เต็มที่ จะได้ผลที่มีรสเหมือนเดิมตลอดไป (จิรา, 2537) แต่ผลสตรอเบอรี่สามารถมีสีแดงเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่ผลยังไม่แดงทั้งผล จึงสามารถแดงพอดีเมื่อถึงตลาดปลายทางได้ การเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ที่มีผิวสีแดง 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดการช้ำเละและมีเชื้อราเข้าทำลายระหว่างการขนส่งได้ง่าย และหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วควรลดอุณหภูมิของผลให้ต่ำลงทันที ซึ่งจะทำให้ผลสตรอเบอรี่มีคุณภาพดี (ชูพงษ์, 2531; Shoemaker, 1983)

ดัชนีที่ใช้ในการตัดสินระยะการสุกที่เหมาะสม คือ สีของผล ถ้าเก็บเกี่ยวในระยะการสุกไม่เหมาะสมจะทำให้ได้คุณภาพของผลไม่ดี (Dana, 1981) ผลการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริการายงานว่า ควรเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่เมื่อมีสีแดงประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในรัฐแคลิฟอร์เนียซึ่งเป็นแหล่งผลิตสตรอเบอรี่ที่สำคัญของสหรัฐอเมริกา กำหนดว่าสตรอเบอรี่ที่มีสีผิวเป็นสีชมพูหรือแดงประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ คือผลสตรอเบอรี่ที่มีระยะการสุกเหมาะสมที่จะเก็บเกี่ยวได้ (ดนัยและนิธิยา, 2548)

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่ไม่มีเปลือกจึงชอกช้ำเสียหายได้ง่าย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่จึงต้องกระทำด้วยความระมัดระวังมิให้เกิดความชอกช้ำกับผลได้ การเก็บเกี่ยวในประเทศไทยเป็นการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานมนุษย์ ซึ่งสามารถพิจารณาเลือกเก็บเฉพาะผลที่มีระยะความสุกเหมาะสมได้ แต่ในต่างประเทศ เช่น ในสหรัฐอเมริกามีค่าแรงงานสูง จึงมีการใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่และใช้เครื่องจักรกลในการแปรรูป ซึ่งพันธุ์ที่สามารถใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวจะต้องเป็นพันธุ์ที่แก่และสุกพร้อมๆ กัน (ดนัย, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลสตรอเบอรี่

1. ขนาดผล ผลสตรอเบอรี่มีขนาดโตขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่และสุก (ตารางที่ 1) ซึ่งการเพิ่มขนาดผลแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกก่อนเกิดการผสมเกสร (fertilization) เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นพืชผสมตัวเอง คือ เกิดการผสมเกสรก่อนดอกบาน พบว่ามีการแบ่งเซลล์เล็กน้อย ระยะที่ 2 ภายหลังจากเกิดการผสมเกสรแล้วจะมีการแบ่งเซลล์ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ และระยะที่ 3 ระยะภายหลังจากดอกบานจะเกิดการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนของเซลล์ประมาณ 7 วันภายหลังจากที่กลีบดอกร่วง จากนั้นจะเพิ่มปริมาตรเซลล์ มีการขยายขนาดเซลล์ของเนื้อผลประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลเพิ่มขนาดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ ส่วนของแกนกลางและเนื้อผลจะหยุดพัฒนา แต่ยังสามารถเพิ่มขนาดของผลได้อีกเล็กน้อย เนื่องจากเซลล์ชั้นเปลือกนอกจะมีผนังเซลล์ที่บางกว่าแกนกลางผลและสามารถเพิ่มขนาดได้รวดเร็วเป็น 2 เท่าของแกนกลางผล (Avigdori-Avidov, 1986) ผลสตรอเบอรี่จะมีขนาดผลเพิ่มจากระยะผลมีสีขาวถึงระยะสุกเต็มที่เป็น 143 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มขนาดจากผลที่มีสีแดงทั้งผลจนกระทั่งสุกเต็มที่ได้ 14 เปอร์เซ็นต์ (Childers, 1981) ผลการศึกษาขนาดของผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 พบว่าจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 10 จนถึงวันที่ 31 หลังดอกบานเต็มที่ และหลังจากนั้นขนาดของผลจะคงที่ (ภักดี, 2545) ขนาดของผลสตรอเบอรี่มีความแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรงของต้น การแข่งขันของผลบนช่อ (ผลลำดับที่ 1 จะมีขนาดใหญ่กว่าผลลำดับที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ) จำนวนของผลย่อยแบบ achene ที่พัฒนาและสามารถผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตที่จำเป็น เช่น ออกซิน มีความสัมพันธ์กับการขยายขนาดของเซลล์ และจิบเบอเรลลิน (GA_3) มีผลต่อการยืดยาวของผล โดยเฉพาะบริเวณคอหรือไหล่ (neck) ผลสตรอเบอรี่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเนื้อเยื่อที่ได้รับสารและเกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตนั้นๆ และเมื่อผลขยายตัวเต็มที่จะมีจำนวน achenes ประมาณ 6 achenes /ตารางเซนติเมตร (Green, 1971) นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับขนาดของผลอีก ได้แก่ อุณหภูมิต่ำจะช่วยส่งเสริมการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตมาที่ผลมากขึ้น จึงทำให้ผลสตรอเบอรี่มีขนาดใหญ่ขึ้น หากธาตุอาหารพืชและระบบการให้น้ำไม่เพียงพอจะทำให้ผลสตรอเบอรี่มีขนาดเล็ก และการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตจากภายนอกก็มีอิทธิพลต่อขนาดผลเช่นเดียวกัน (Avigdori-Avidov, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 ขนาดของผลสตรอเบอรี่ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

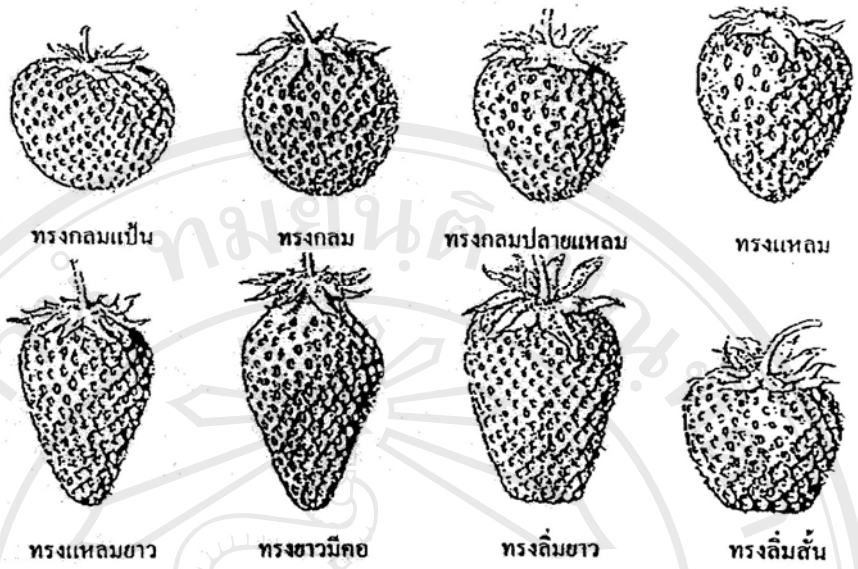
ระยะการเจริญเติบโต	ความยาว (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)
ถ่ายละอองเกสร	0.93	0.72
กลีบเลี้ยงประสานกัน	1.24	1.04
ผลขยายตัว	1.73	1.43
ผลมีสีขาว	2.34	1.76
ผลเริ่มมีสีแดง	2.68	2.15
ผลมีสีแดงเต็มที่	2.90	2.34
ผลสุกเต็มที่	3.27	2.50

ที่มา: ชูพงษ์ (2531)

2. รูปร่างผล ผลสตรอเบอรี่มีรูปร่างหลายแบบแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และตำแหน่งของผลในช่อ โดยผลลำดับที่หนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่ มักมีรูปร่างผันแปรไม่แน่นอน ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นทรงกว้างและแบนเป็นรูปลิ่มหรือเป็นแฉกรูปหงอนไก่ ผลลำดับถัดมามักมีรูปร่างค่อนข้างคงที่ แต่มีขนาดเล็กกว่าผลลำดับที่หนึ่ง สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงมีผลกระทบทำให้ผลสตรอเบอรี่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน เช่น สตรอเบอรี่ที่ปลูกบริเวณภาคตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนมากผลมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม แต่ที่ปลูกในตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนียผลมีรูปร่างแบบกรวยยาวกับทรงยาวมีคอ สตรอเบอรี่สายพันธุ์ Marshall มักมีรูปร่างผลหลายรูปแบบเมื่ออุณหภูมิต่ำ (ชูพงษ์, 2531; Daubeny, 1981; Monelise, 1986) สำหรับผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 16 มักมีรูปร่างไม่แน่นอน มีทั้งทรงกลมแบน ทรงกรวย และทรงกลม ส่วนพันธุ์พระราชทาน 20 ผลมีลักษณะเป็นรูปไข่และมีปลายผลป้าน ในขณะที่ผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 มีรูปร่าง 6 แบบ คือ ทรงกลมปลายแหลม ทรงกรวย ทรงกรวยยาว ทรงกรวยยาวมีคอ ทรงลิ่มยาว และทรงลิ่มสั้น โดยพันธุ์พระราชทาน 50 มีรูปร่างแบบทรงกรวยยาวมีคอมากที่สุด ส่วนพันธุ์พระราชทาน 70 พบรูปร่างแบบทรงกรวยมากที่สุด (ภักดี, 2545) นอกจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแล้ว การเข้าทำลายของโรค แมลง การผสมเกสรที่ไม่สมบูรณ์ ขาดน้ำ หรือมีความชื้นสูงเกินไปสามารถทำให้เกิดความผันแปรของรูปร่างผลสตรอเบอรี่ได้ (ณรงค์ชัย, 2543)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 รูปร่างของผลสตรอเบอรี่แบบต่างๆ (ชูพงษ์, 2531)

3. ความแน่นเนื้อ เมื่อผลสตรอเบอรี่มีขนาดโตขึ้นจะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีผนังเซลล์แข็งแรง (ประสาทพรและดนัย, ม.ป.พ.) ผลสตรอเบอรี่บางพันธุ์มีลักษณะเนื้อโปร่ง มีช่องว่างตรงกลางผล ทำให้เนื้อนิ่ม ผลสตรอเบอรี่ที่มีขนาดใหญ่มักจะมีเนื้อนิ่มกว่าผลที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมีน้ำในผลมาก และเมื่อผลสตรอเบอรี่ที่มีอายุหรือระยะการสุกมากขึ้นจะมีความแน่นเนื้อลดลง (Puchalshi *et al*., 1994) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของภักดี (2545) ที่รายงานว่า ผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 50 และ70 มีความแน่นเนื้อลดลงหลังจากที่ผลมีอายุ 25 วันหลังดอกบานเต็มที่จนถึงผลสุกงอม เมื่อผลสตรอเบอรี่เริ่มสุกความแน่นเนื้อจะลดลง เป็นผลเนื่องมาจากเกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ โดยทั่วไปองค์ประกอบของผนังเซลล์ประกอบด้วยเพกทิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลสอีกเล็กน้อย โดยที่ผนังเซลล์มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่มประมาณ 40 คู่ เรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril) ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช พื้นที่บริเวณระหว่างเซลล์สองเซลล์ เรียกว่า มิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) จะมีโมเลกุลของเพกทินแทรกอยู่มาก นอกจากนั้นเพกทินยังแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วย ทำหน้าที่ประสานโมเลกุลต่าง ๆในผนังเซลล์เข้าด้วยกัน และยังทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงด้วย (ภาพที่ 3) เมื่อผลไม้ดิบเพกทินจะอยู่ในรูปของโพรโทเพกทิน ซึ่งไม่ละลายน้ำ (insoluble protopectin) เนื่องจากมีหมู่เมทิลอยู่บนโมเลกุลของกรดพอลิกาแล็กทูโรนิก (polygalacturonic acid) มาก อัตราส่วนของโพรโทเพกทินและเพกทินใช้เป็นตัวชี้บ่งระยะความแก่

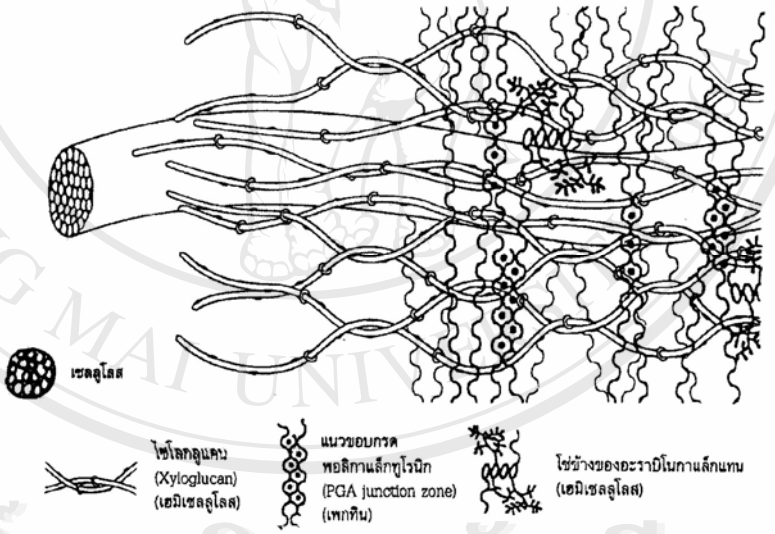
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของผลสตรอเบอรี่ได้ และยังใช้บอกความนิ่มและการสลายตัวของผนังเซลล์ได้ด้วย นอกจากนี้ยังมีแคลเซียม (Ca) ที่รวมกับโพรโทเพกทินเป็นเกลือแคลเซียมเพกเทต (Ca-pectate) ซึ่งไม่สามารถละลายในน้ำได้ ทำให้ผลมีความแน่นเนื้อสูง (สายชล, 2528; อรรณพ, 2532) แต่เมื่อผลไม้สุก ปริมาณแคลเซียมจะลดลง และโมเลกุลของโพรโทเพกทินถูกสลายกลายเป็นเพกทินและกรดเพกทิก (pectic acid) ซึ่งละลายน้ำได้โดยกระบวนการ depolymerization และ deesterification มีเอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนส (polygalacturonase; PG) ย่อยโมเลกุลของกรดพอลิกาแล็กทูโรนิกให้สั้นลง ขณะที่เอนไซม์เพกทินเอสเทอเรส (pectinesterase; PE) จะตัดหมู่เมทิลบนโมเลกุลของกรดกาแล็กทูโรนิกออกไป และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส (pectin methylesterase; PME) จะทำลาย cross-link ของแคลเซียมในส่วนของมิดเดิลลาเมลลา ทำให้เกิดการแยกตัวของเซลล์ ดังนั้นเซลล์ซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในผลไม้ดิบจะอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวมๆในผลไม้สุก นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของผนังเซลล์ในแง่ของสารประกอบเพกทินแล้ว การเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลสยังมีความสัมพันธ์กับการอ่อนตัวลงของผลไม้ระหว่างการสุก ในระหว่างการสุกของผลไม้บางชนิดปริมาณโมโนเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่จะเกิดการละลายของส่วนประกอบในเฮมิเซลลูโลส กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) จะเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกของผลไม้บางชนิด แต่ crytalline cellulose ต้านทานการสลายของเอนไซม์กลูคาเนส (glucanase) แม้ว่าจะสามารถสลายตัวโดยเซลลูเลสร่วมไปกับเอนไซม์ชนิดอื่นก็ตาม เอนไซม์กลูคาเนสอื่นๆ ที่อาจจะเกี่ยวกับการสลายตัวของผนังเซลล์ อาจจะปลดปล่อยน้ำตาลโมเลกุลเล็กออกมาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเข้าสลายของพอลิกาแล็กทูโรเนสต่อไป ด้วยเหตุนี้ผลไม้สุกจึงมีลักษณะเนื้ออ่อนนุ่ม ส่งผลให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลง ผิวมีความต้านทานต่อการเสียหายทางกลลดลง ชอกช้ำได้ง่าย ผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดีต้องมีขนาดผลใหญ่และเนื้อแน่น (สายชล, 2528; ดนัย, 2540; จริงแท้, 2544)

ความแน่นเนื้อของผลสตรอเบอรี่ผันแปรตามพันธุ์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ ระยะความแก่ ขนาดของผล และปริมาณน้ำในผล เช่น ต้นสตรอเบอรี่ที่มีการเจริญเติบโตทางใบมากจะทำให้ผลนิ่มเละ ผลจะนิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Moore and Sistrunk, 1981) ในการปลูกสตรอเบอรี่พันธุ์ Tioga ที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลมาก ผลสตรอเบอรี่มีความแน่นเนื้อมากกว่าผลสตรอเบอรี่ที่ปลูกที่อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย (Kosiyachinda *et al*., 1984) Spayd and Morris (1981) พบว่าผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Cardinal และ A-5344 ที่เก็บเกี่ยวในระยะผลสีเขียวมีปริมาณเซลลูโลสและโพรโทเพกทินสูง และปริมาณเพกทินที่ละลายในน้ำต่ำ และในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่ปริมาณเพกทินที่ไม่ละลายน้ำหรือโพรโทเพกทินจะลดลง ทำให้ผลนิ่ม ชอกช้ำและเชื้อราเข้าทำลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ง่าย จึงเน่าเสียได้อย่างรวดเร็ว ผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler ระหว่างการพัฒนาของผลมีโพรโทเพกทินเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และพบกรดเพกทินิกและกรดเพกทิกเพียงเล็กน้อยจนกระทั่งถึงวันที่ 28 ภายหลังการติดผล ต่อจากนั้นผลสตรอเบอรี่จะมีกรดเพกทินิกและกรดเพกทิกเพิ่มขึ้น และพบ โพรโทเพกทินเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโพรโทเพกทินในผนังเซลล์ถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเพกทินที่ละลายน้ำ (soluble pectic substance) มากขึ้น ส่งผลให้ผลนิ่ม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเพกทินที่ละลายน้ำอาจเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์พอลิยูโรไนด์ (polyuronide) ความแข็งแรงของโครงสร้างของผนังเซลล์ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ร่วม (interaction) ระหว่างพอลิยูโรไนด์กับพอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตในผลสตรอเบอรี่ ระหว่างระยะผลมีสีเขียวถึงระยะผลสุกปริมาณพอลิยูโรไนด์ทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลสตรอเบอรี่เพิ่มขึ้นจาก 30 เปอร์เซ็นต์ เป็น 65 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังพบว่าในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่มีปริมาณเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ลดลง 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ในระหว่างการพัฒนาของผลสตรอเบอรี่มีปริมาณเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า (Manning, 1993; Montero *et al*., 1996)



ภาพที่ 3 ความเกี่ยวโยงของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในเนื้อเยื่อผลไม้ (ปราณี, 2547)

4. โปรตีน โปรตีนไม่มีบทบาทในการพัฒนาคุณภาพของผลไม้สุกโดยตรง ทั้งนี้เพราะผลไม้มีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2544) สอดคล้องกับ Green (1971) ที่พบว่า ในผลสตรอเบอรี่มีโปรตีนเพียง 0.23 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดแอมิโน 0.82 มิลลิกรัมสมมูล/100 กรัม และ Salunkhe and Desai (1986) รายงานว่า ในผลสตรอเบอรี่มีโปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

0.7 กรัม/100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้ ปริมาณโปรตีนจะเพิ่มขึ้นขณะที่ผลไม้สุก เนื่องจากในกระบวนการสุกของผลไม้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ชนิดใหม่ๆ เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แก๊สเอทธิลีน การหายใจ การเปลี่ยนสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ และการสลายสตาร์ชไปเป็นน้ำตาล เป็นต้น ในระยะ climacteric ผลไม้จะมีปริมาณกรดแอมิโนอิสระ (free amino acid) น้อยลง แสดงว่ามีการสร้างโปรตีนเพิ่มขึ้นในระยะดังกล่าว แต่เมื่อถึงระยะเสื่อมสลาย (senescence) จะมีปริมาณกรดแอมิโนอิสระมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของโปรตีนที่มีอยู่เดิม โปรตีนในผลไม้เป็นโปรตีนสำหรับการทำงานหรือเพื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ (functional protein) ในกระบวนการสุก ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ พอลิกาแล็กทูโรเนส เพกทินเอสเทอเรส และเพกทินเมทิลเอสเทอเรส (ดนัย, 2540; สายชล, 2528; Manning, 1993) Tucker (1993) รายงานว่า ในผลสตรอเบอรี่ดิบไม่พบเอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนสและเซลลูเลส แต่จะเริ่มพบเมื่อผลเริ่มสุกและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการสุก ในขณะที่ธัญพืชและเมล็ดเคี้ยวมันเป็นโปรตีนสะสม (storage protein) สำหรับใช้ในการเจริญเติบโตของเมล็ดในอนาคต (จริงแท้, 2544; ดนัย, 2540) ชนิดและปริมาณของกรดแอมิโนในผลสตรอเบอรี่แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดแอมิโนในผลสตรอเบอรี่

ชนิดของกรดแอมิโน	ปริมาณกรดแอมิโน (มิลลิกรัม/100 กรัม) ของเนื้อสตรอเบอรี่ปั่น
กรดแอสพาร์ติก (aspartic acid)	2.8
แอสพาราจีน (asparagine)	59.4
กรดกลูตามิก (glutamic acid)	7.7
กลูตามีน (glutamine)	14.5
ซีรีน (serine)	2.0
ไกลซีน (glycine)	-
ทรีโอนีน (threonine)	2.0
แอลฟา-อะลานีน (α-alanine)	12.10
วาลีน (valine)	2.0
ลูซีน/ไอโซลูซีน (leucine/isoleucine)	2.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Green,1971

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. ลิพิด ผิวนอกของผลสตรอเบอรี่มีแวกซ์ (wax) ซึ่งเป็นลิพิดชนิดหนึ่งเคลือบอยู่โดยเฉพาะที่ผิวของผลสตรอเบอรี่สุก ทำให้ผิวมีลักษณะเป็นมันวาว ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ลักษณะผิวของผลสตรอเบอรี่จะผันแปรตามพันธุ์ (ดนัย, 2538)

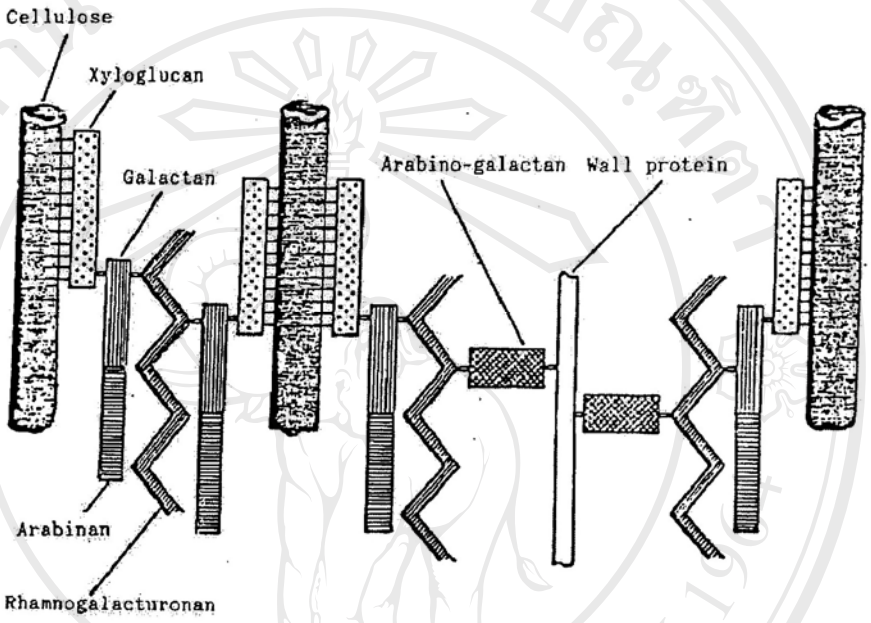
6. น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต ผลไม้ส่วนใหญ่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลไม้สุก คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสำคัญในผักและผลไม้ที่ให้ทั้งรสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะคาร์โบไฮเดรตมีอยู่ทั้งในรูปของอาหารสะสม (เช่น สตาร์ช) และน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่ให้รสชาติ และในรูปของโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารประกอบเพกทินรูปต่างๆ เป็นต้น (จริงแท้, 2544)

น้ำตาลในผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรักโทส ซึ่งสะสมอยู่ในแวคิวโอล (vacuole) เป็นส่วนใหญ่ ในผลสตรอเบอรี่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส 2.6 เปอร์เซ็นต์ ฟรักโทส 2.3 เปอร์เซ็นต์ และซูโครส 1.3 เปอร์เซ็นต์ต่อส่วนที่บริโภคได้ ซึ่งระดับน้ำตาลในผลสตรอเบอรี่จะเริ่มสูงขึ้นเมื่อผลมีสีขาวและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนผลสุกเต็มที่ (จริงแท้, 2544; ดนัย, 2538) โดยน้ำตาลฟรักโทสจะให้ความหวานมากที่สุด ขณะที่น้ำตาลซูโครสและกลูโคสมีความหวานน้อยลงตามลำดับ น้ำตาลซูโครสเป็นรูปของน้ำตาลที่มีการเคลื่อนย้ายในต้นพืชจากคลอโรพลาสต์ผ่านท่ออาหารไปยังเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมอาหารและเซลล์ที่กำลังเจริญเติบโต (สายชล, 2528; จริงแท้, 2544) ซึ่งในผลอ่อนจะนำน้ำตาลไปใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบเพกทินและสารประกอบอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ดังในภาพที่ 4 นอกจากนั้นน้ำตาลบางส่วนอาจเปลี่ยนไปเก็บรักษาไว้ในรูปของสตาร์ช (Whiting, 1970) ในผลสตรอเบอรี่ระดับน้ำตาลสามารถชี้บ่งถึงรสหวาน ผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดีจึงต้องมีปริมาณน้ำตาลสูง (ประสาทพรและดนัย, ม.ป.พ)

ในสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังวันที่ 21 นับจากเริ่มติดผล เมื่อผลเริ่มสุกปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีปริมาณสูงสุดในวันที่ 28 นับจากเริ่มติดผล หลังจากนั้นของแข็งที่ละลายน้ำได้จะลดลง ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 35 นับจากเริ่มติดผล หลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลง การที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้นนี้ส่งผลให้ผลสตรอเบอรี่มีรสหวานมากขึ้น (Montero *et al*., 1996) Forney and Breen (1986) รายงานว่า ไม่พบน้ำตาลซูโครสในผลสตรอเบอรี่ระยะช่วงแรกของการติดผล จนกระทั่งผลพัฒนาได้ 10 วันหลังจากดอกบานจึงพบน้ำตาลซูโครสและในช่วงของการพัฒนาผลสตรอเบอรี่จะมีน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อผลเริ่มสุกแดงปริมาณน้ำตาลซูโครสจะคงที่และลดลงเล็กน้อย ส่วนน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มีปริมาณใกล้เคียงกันและมากกว่าน้ำตาลซูโครส ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะผันแปรไปตามฤดูกาล แต่อัตราส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อฟรักโทส (glucose : fructose ratio) และเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดคิดเป็นสัดส่วนต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะผันแปรน้อยมาก ซึ่งขึ้นกับสภาพพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ สายพันธุ์ และฤดูกาล (Manning, 1993)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ (Hobson, 1981)

7. กรดอินทรีย์ ผักและผลไม้มีกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ มากมาย ซึ่งเป็นกรดที่อยู่ในวัฏจักรเคร็บส์ (Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ กรดอินทรีย์เหล่านี้อาจจะละลายน้ำอยู่ในรูปที่เป็นอิสระหรือรวมตัวกับสารโมเลกุลอื่นเกิดเป็นเกลือเอสเทอร์หรือไกลโคไซด์ กรดอินทรีย์ที่อยู่ในผักและผลไม้มีผลต่อรสชาติของผักและผลไม้โดยตรง และยังเป็นแหล่งที่สำคัญของสารเริ่มต้นในกระบวนการหายใจด้วย กรดอินทรีย์ที่พบมากในผักและผลไม้ คือ กรดซิตริกและกรดมาลิก ซึ่งจะผันแปรตามชนิดของผลไม้ ในผลสตรอเบอรี่กรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุด คือ กรดซิตริก รองลงมา คือ กรดมาลิก (ดนัย, 2540; Burton, 1982; Avigdori-Avidov, 1986; Kotecha and Madhavi, 1995) Ulrich (1970) ได้รายงานว่า ในผลสตรอเบอรี่สุกมีปริมาณกรดซิตริก กรดมาลิก กรดซักซินิก และกรดควินิกประมาณ 10-18, 1-3, 0.1 และ 0.1 มิลลิกรัมสมมูลต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ กรดอินทรีย์ที่เหลือจากการทำงานในวัฏจักรเคร็บส์และวิถีเมแทบอลิซึมอื่นๆ จะถูกเก็บสะสมอยู่ในแวคิวโอลของเซลล์ และมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ และใช้ชี้บ่งดัชนีความแก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(maturitry index) ของผลไม้ชนิดอื่นๆ โดยวัดจากปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) หรืออัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรด (sugar/acid ratio) หรือ dry matter/acidity ratio (อรรณพ, 2532; Montero *et al*., 1996; Ulrich, 1970) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนกระทั่งวันที่ 19 หลังดอกบานเต็มที่ หลังจากนั้นปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของพันธุ์พระราชทาน 50 จะลดลง ส่วนของพันธุ์พระราชทาน 70 จะคงที่ (ภักดี, 2545) โดยทั่วไปขณะที่ผลไม้ยังอ่อนมีปริมาณกรดสูงไม่เหมาะสมกับการบริโภค ขณะเดียวกันก็ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเมื่อผลไม้สุกรวมถึงภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดภายในผลไม้จะลดลง เพราะถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ หรือถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (อรรณพ, 2532; จริงแท้, 2544) Montero *et al*. (1996) ศึกษาปริมาณกรด 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดชิคิมิก (shikimic) ในผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler พบว่า ปริมาณกรดซิตริกเพิ่มขึ้นตลอด แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีเพียงเล็กน้อย ส่วนปริมาณกรดมาลิกและชิคิมิกมีการเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งลักษณะการเพิ่มของปริมาณกรดทั้งสองชนิดมีลักษณะคล้ายกัน โดยมีการเพิ่มอย่างรวดเร็วหลังจากวันที่ 21 นับจากเริ่มติดผล จนกระทั่งมีปริมาณกรดทั้งสองสูงสุดในวันที่ 35 นับจากเริ่มติดผล และหลังจากนั้นปริมาณกรดทั้งสองจะลดลง

8. วิตามินซี ผลไม้ต่างชนิดและต่างสายพันธุ์กันจะมีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกัน (Mapson, 1970) การสร้างวิตามินซีในเนื้อเยื่อพืชจะใช้น้ำตาลเฮกโซส (hexose หรือ D-glucose) หรือ D-galactose เป็นสารตั้งต้น ในช่วงอายุที่พืชมีการสังเคราะห์แสงสูงจะมีการสร้างวิตามินซีมาก วิตามินซีจะสูญเสียออกจากเนื้อเยื่อได้ในสภาพที่เป็นกลางหรือด่าง ดังนั้นในช่วงอายุที่ผลยังอ่อนมีปริมาณกรดสูงทำให้ปริมาณวิตามินซีสูงตามไปด้วย และเมื่อผลเริ่มแก่ปริมาณกรดจะลดลงทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงด้วย (วุฒิคุณ, 2530) Montero *et al*. (1996) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler ตั้งแต่ระยะเริ่มติดผลจนกระทั่งถึงผลสุก พบว่าปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นตลอดระยะการเจริญเติบโตจนกระทั่งผลสตรอเบอรี่สุก

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกที่พบในผลไม้มี 2 รูป คือ L-ascorbic acid หรือ reduced ascorbic acid และ dehydroascorbic acid (DHA) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ L-ascorbic acid ซึ่ง dehydroascorbic acid นี้อยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียรและสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นกรดแอสคอร์บิกได้ และมีสมบัติเหมือนวิตามินซี นอกจากนั้น dehydroascorbic acid อาจถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น 2,3 –diketogulonic acid ซึ่งไม่มีสมบัติของวิตามินซี (Mapson, 1970)

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลจะสูญเสียปริมาณวิตามินซีได้ง่าย เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารที่มีสมบัติเป็นรีดิวซ์ชนิดแรง (strong reducing) ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อถูกแสง แก๊สออกซิเจน และอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง นอกจากนั้นวิตามินซียังอาจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สูญเสียได้จากกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase, cytochrome oxidase และ peroxidase โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ascorbic acid oxidase จะกระตุ้นปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างสารตั้งต้นและโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้พบมากเมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้สดเกิดการเสียหายเนื่องจากตัดแต่งหรือเกิดรอยช้ำ วิตามินซียังอาจสลายตัวจากกระบวนการออกซิเดชันซึ่งไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จะมีโลหะหนัก เช่น ทองแดงเป็นตัวเร่ง ซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของวิตามินซีได้ ในช่วงแรกผลสตรอเบอรี่ที่ตัดขั้วออกแล้วจะสูญเสียวิตามินซีประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ และจะสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็น 85-95 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 2 วัน ผลสตรอเบอรี่ที่สุกแดงเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเด็ดออกจากต้นและปล่อยให้สุกเองจะมีวิตามินซีเพิ่มขึ้น แต่จะมีปริมาณน้อยกว่าผลสตรอเบอรี่ที่ปล่อยให้สุกแดงกับต้น ปริมาณวิตามินซีจะลดลงเมื่อต้นได้รับน้ำมากขึ้น ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารต่างๆ ในผลสตรอเบอรี่ลดลง (ชูพงษ์, 2531) การเก็บรักษาและการขนส่งสตรอเบอรี่ภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ (นิธิยา, 2539; จริงแท้, 2544; Burton, 1982) ผลิตผลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส สูญเสียวิตามินซีมากกว่าที่ 0 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิต่ำไม่สามารถป้องกันการสูญเสียวิตามินซีได้เสมอไป การเก็บรักษามันเทศไว้นาน 10 วัน ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี 75 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 7.5 องศาเซลเซียสจะสูญเสียวิตามินซี 90 เปอร์เซ็นต์ (สายชล, 2529) นอกจากนี้การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลจะทำให้สูญเสียวิตามินซีมากขึ้น ดังนั้นการให้ความชื้นระหว่างการเก็บรักษา นอกจากจะช่วยรักษาความสดของผลิตผลแล้ว ยังสามารถชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ (ดนัย, 2540) สำหรับองค์ประกอบของบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผลนั้น แก๊สออกซิเจนจะเร่งการสูญเสียวิตามินซีให้เร็วขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (สายชล, 2528) Agar *et al.* (1996) ได้ทดลองเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Elvira และแบลคเบอรี่พันธุ์ Thornfree ที่อุณหภูมิ 0-1 องศาเซลเซียส โดยมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์สำหรับผลสตรอเบอรี่ และ 30 เปอร์เซ็นต์สำหรับผลแบลคเบอรี่ และแก๊สออกซิเจน 1-3 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษานาน 20 วัน พบว่ามีการสูญเสียวิตามินซี โดยการเปลี่ยนจากกรดแอสคอร์บิกไปเป็น dehydroascorbic acid หรืออาจเปลี่ยนเป็น 2,3–diketogulonic acid

9. สารสี เป็นสารให้สีในผลไม้ สำหรับผลสตรอเบอรี่สีผิวที่แดงสดใสและมีความมันวาวเป็นสิ่งที่แสดงถึงระยะการสุกและคุณภาพที่ดีของผลสตรอเบอรี่ และยังเป็นสิ่งที่ดึงดูดความสนใจผู้บริโภคมาก (Moore and Sistrunk, 1981) ในช่วงประมาณ 28 วันภายหลังกลีบดอกร่วง พบว่ามีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ที่ผล และช่วงระหว่าง 28-35 วันภายหลังกลีบดอกร่วง จะเริ่มมีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินพร้อมกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ สีผิว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

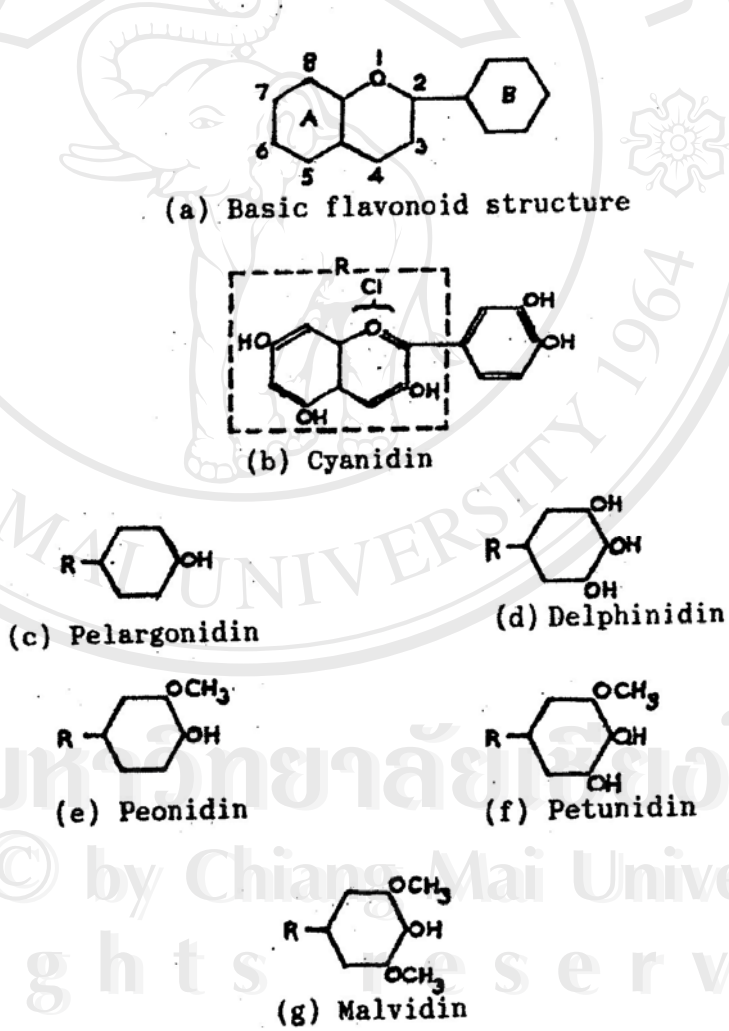
ของผลสตรอเบอรี่เมื่อสุกเต็มที่จะมีสารสีแอนโทไซยานินสังเคราะห์ขึ้นมาปรากฏเด่นกว่าสีของแคโรทีนอยด์ ดังนั้นจึงสังเกตเห็นเฉพาะสีของแอนโทไซยานินเท่านั้น (Avigdori-Avidov, 1986; Manning, 1993) แอนโทไซยานินจัดอยู่ในกลุ่มของสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกไกลโคไซด์และละลายได้ดีในน้ำ ให้สีแดง ชมพู น้ำเงิน และม่วง มีสูตรโครงสร้างพื้นฐานดังภาพที่ 5 เมื่อผลสตรอเบอรี่เริ่มแก่สีผิวจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีขาว ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันและเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) และเมื่อผลเริ่มสุกจะเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือสีชมพูและสีแดงตามลำดับ นั่นคือมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์และมีการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารสีม่วงหรือแดงและมักอยู่ตามเซลล์ชั้นนอกของผล เมื่อผลสตรอเบอรี่มีอายุมากขึ้นจะสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น ทำให้ผลสตรอเบอรี่สุกมีสีแดง และในระยะนี้จะมีปริมาณน้ำตาลมากที่สุดและแสดงกลิ่นเฉพาะของพันธุ์ด้วย (ดนัย, 2538) แอนโทไซยานินของผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 มีปริมาณคงที่จนถึงวันที่ 28 ภายหลังดอกบานเต็มที่ หลังจากนั้นปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ภักดี, 2545)

การสังเคราะห์แอนโทไซยานินเริ่มต้นจากการรวมตัวกันของ malonyl-CoA 3 โมเลกุลกับ cinnamyl-CoA สารสีแอนโทไซยานินกระจายไปทั่วทั้งผลในแวคิวโอลของเซลล์ผลสตรอเบอรี่ แต่ในผลไม้ชนิดอื่นจะพบสะสมในเนื้อเยื่อชั้น epidermal และ sub-epidermal เช่น แอปเปิล สาลี่ และองุ่น จะพบแอนโทไซยานินบริเวณชั้นนอกของผิวผลเป็นส่วนใหญ่ (Gross, 1987) สีของแอนโทไซยานินจะผันแปรไปตามสภาพพีเอชของสารละลายในแวคิวโอลที่เปลี่ยนแปลงไป แอนโทไซยานินมีสีแดงในสภาพที่สารละลายเป็นกรด และสีจะจางลงเมื่อความเป็นกรดลดลง ในสภาพสารละลายที่เป็นกลางหรือด่างแอนโทไซยานินจะมีสีน้ำเงินหรือสีม่วงในตอนแรกและสีจะจางลงไปเรื่อยๆ ดังจะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงของ cyanidin-3-glucoside ซึ่งเกิดปฏิกิริยาร่วมกับ aluminium salts เปลี่ยนจากสีแดงไปเป็นม่วงอมน้ำเงินที่พีเอช (pH) 3.0-3.5 (ดนัย, 2540; Harborne, 1976) แอนโทไซยานินมี flavan nucleus เป็นโครงสร้างพื้นฐาน ประกอบด้วยวงแหวนแอโรมาติก (aromatic ring) คือ วงแหวน A และ B โดยเฉพาะที่วงแหวน B จะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และ/หรือหมู่เมทอกซิล (-OCH_3) มาเกาะ ซึ่งจะทำให้เกิดแอนโทไซยานินที่หลากหลายชนิด และชนิดที่สำคัญมี 6 ชนิด คือ เพลาร์โกนิดิน (pelargonidin) ไซยานิดิน (cyanidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) พีโอนิดิน (peonidin) พิทูนิดิน (petunidin) และมัลวิดิน (malvidin) ดังภาพที่ 5 (ดนัย, 2540; Gross, 1987) ซึ่งในผลสตรอเบอรี่มี pelargonindin-3-glucoside และ cyanidin-3-glucoside ในอัตราส่วน 20:1 (Harborne, 1976; Burton, 1982; Avigdori-Avidov, 1986) น้ำตาลที่พบเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน คือ กลูโคส ไซโลส แอราบิโนส กาแล็กโทส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือแรมโบส น้ำตาลในโมเลกุลของแอนโทไซยานินนั้นมีส่วนช่วยให้แอนโทไซยานินสามารถคงตัวและละลายน้ำได้ดี (ดนัย, 2540; Harborne, 1976; Gross, 1987) ปริมาณแอนโทไซยานินในผลสตรอเบอรี่จะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิด พันธุ์ และระยะการสุก ตัวอย่างเช่น ปริมาณแอนโทไซยานินของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Dover, Nyoho, Sequoia และ Tioga เพิ่มขึ้นเมื่อระยะที่ผลมีสีชมพูขาว ชมพู และแดง และในแต่ละพันธุ์มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่เท่ากัน (ทองใหม่, 2541)

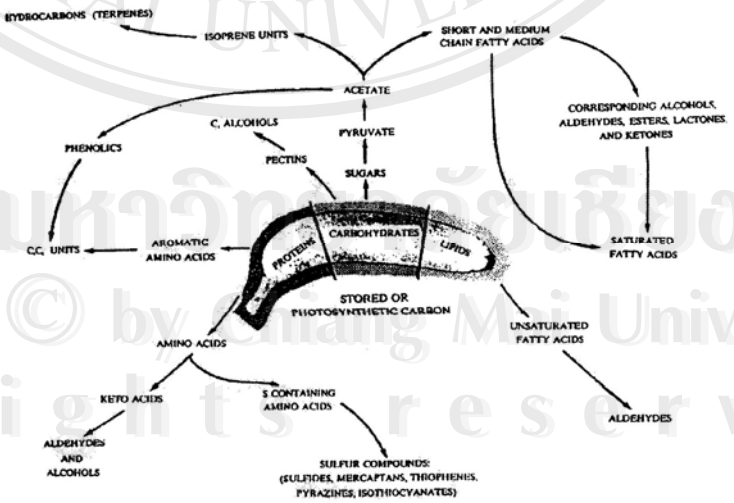
การสลายตัวของแอนโทไซยานินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินในแวคิวโอล และเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชในแวคิวโอล ปริมาณน้ำตาลในเซลล์ อายุพืช แสง อุณหภูมิ ระดับฮอร์โมนภายใน และฮอร์โมนหรือสารเคมีที่ให้จากภายนอก (อัญชุลี, 2539)



ภาพที่ 5 สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานินบางชนิด (Wrolstad, 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

10. สารประกอบแอโรมาติก (aromatic compounds) เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นตามธรรมชาติของผลไม้ และจะผลิตออกมามากขึ้นเมื่อผลสุก ซึ่งมีกลิ่นแตกต่างกันมากมาย เป็นลักษณะเฉพาะของผลไม้ชนิดนั้นๆ สารให้กลิ่นเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์ของผลไม้ (ภาพที่ 6) สารให้กลิ่นเป็นสารที่ระเหยได้จึงมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ไม่เกิน 250 ดาลตัน และมักมีปริมาณต่ำกว่า 100 ส่วนต่อล้านส่วน โดยอาจอยู่ในรูปของสารประกอบเอสเทอร์ แล็กโตน แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ อัลดีไฮด์ คีโตน และไฮโดรคาร์บอน ในผลสตรอเบอรี่สุกพบเฉพาะสารในกลุ่มเอสเทอร์ แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ (ยงยุทธ, 2539; Manning, 1993) สารเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 2 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงสูงและอุณหภูมิต่ำ เกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ระเหยได้ง่าย ในผลสตรอเบอรี่สุกเมื่อนำมาบดให้เนื้อละเอียดจะเกิดกลิ่นหอมมากขึ้นจากสารประกอบชนิดต่างๆ ประมาณ 150 ชนิด และกลิ่นจะจางไปอย่างรวดเร็ว และพบสารให้กลิ่นที่คงตัวเพียง 24 ชนิด ที่สำคัญ คือ 2,5 dimethy-4-methoxy-3(2H)-furanone, linealool, geraniol, β-ionine, β-phenylethanol และ granil acetate (ดนัย, 2538; Avigdori-Avidov, 1986) สารประกอบ furaneol, mesifurane และ furaneol glycoside เป็นสารให้กลิ่นซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Oso Grande, Chandler, Tudla และ I-101 โดยปริมาณสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะความแก่ของผล (Perez *et al*., 1997) ผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวระยะสีชมพูและแดง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ในสภาพที่มีแสง นาน 4 วัน ปรากฏว่า ผลที่เก็บเกี่ยวระยะสีแดงผลิตกลิ่นได้มากกว่าระยะสีชมพูขาวและชมพู (Miszczak *et al*., 1995)



ภาพที่ 6 แผนภูมิการสังเคราะห์สารประกอบแอโรมาติกของผลไม้ (Kays, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงเป็นตัวเร่ง และใช้แก๊สออกซิเจนมาออกซิไดส์สารอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน เพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ตลอดจนใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต (ดนัย, 2540; จริงแท้, 2544)

ผลิตผลสดที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะไม่ได้รับน้ำ คาร์โบไฮเดรต หรือสารอินทรีย์อื่นๆ จากต้นแม่ แต่ยังมีกระบวนการหายใจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่สามารถหยุดได้ ด้วยเหตุนี้การหายใจของผลิตผลสดจึงต้องใช้สตาร์ช น้ำตาล หรือสารอินทรีย์ที่เก็บสะสมไว้ในผลิตผลนั้นแทน ซึ่งการสลายสารประกอบอินทรีย์หรือสารอาหารสะสมที่มีอยู่ในผลิตผลนี้ จะเร่งการเสื่อมสภาพเนื่องจากอาหารที่สะสมอยู่ลดน้อยลง ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพด้านรสชาติโดยเฉพาะความหวานลดลง นอกจากนั้นยังเกิดการสูญเสียน้ำหนัก และจะหยุดหายใจเมื่ออาหารสะสมหมด (อรรณพ, 2532; Kader, 1992) การวัดอัตราการหายใจจึงเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอาหารในเมแทบอลิซึมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์หรือเนื้อเยื่อของผลิตผล และสามารถบอกถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ ซึ่งผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงมักจะเก็บรักษาได้ไม่นาน ในทางตรงกันข้ามผลิตผลที่อัตราการหายใจต่ำจะเก็บรักษาได้นาน สตรอเบอรี่จัดเป็นผลไม้ที่มีการหายใจแบบ non-climacteric คือขณะที่ผลยังอ่อนและมีการแบ่งเซลล์มากจะมีอัตราการหายใจสูง แล้วหลังจากนั้นอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลงตามอายุที่มากขึ้น (สายชล, 2528; ดนัย, 2540)

อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิ 26.6 องศาเซลเซียสสูงมากเป็น 13 เท่าของที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (Shoemaker, 1983) หลังจากลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น (forced air cooling) ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Pajaro มีอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทธิลีนลดลง (Massantini *et al.,* 1995) การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่สีขาวไว้ในบรรยากาศผสมกับแอซิทัลดีไฮด์จะทำให้อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่เพิ่มขึ้น หากเก็บรักษาไว้ในบรรยากาศปกติหรืออากาศผสมกับเอทธิลีนจะไม่มีผลต่ออัตราการหายใจ (ดนัย, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษา

การเก็บรักษาผักและผลไม้มีวัตถุประสงค์เพื่อจะเก็บรักษาผลิตผลให้อยู่ในสภาพปกติได้นานที่สุด สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย จึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะสั้นๆ ประมาณ 5-7 วัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ (ดนัยและนิธิยา, 2548) ช่วงของอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.1 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 85-90 เปอร์เซ็นต์ ผลสตรอเบอรี่เก็บรักษาไว้นาน 4 วัน ที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส มีสภาพดีกว่าผลที่เก็บรักษาไว้นาน 2 วัน ที่อุณหภูมิ 21.1 องศาเซลเซียส คือ มีการสูญเสียน้ำหนักผลและการเน่าของผลน้อยกว่า และมีลักษณะปรากฏดีกว่า การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเสียก่อน โดยอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของผลสตรอเบอรี่อยู่ที่ -0.8 องศาเซลเซียส (ชูพงษ์, 2531) การสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ คือ การสูญเสียความสดของสีแดง ผลเหี่ยว เน่า และรสชาติเปลี่ยนไป อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สูงกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสประมาณ 9 เท่า แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่ออายุการวางขายของผลสตรอเบอรี่มาก การเก็บรักษาในครัวเรือนควรเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น โดยการห่อด้วยพลาสติกและควรบริโภคโดยเร็ว ไม่ควรเก็บรักษาไว้นานเกินไป (ดนัยและนิธิยา, 2548)

ผลสตรอเบอรี่เก็บเกี่ยวมาแล้วอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษา ผลสตรอเบอรี่สามารถเก็บรักษาได้นาน 8 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แต่เก็บรักษาได้เพียง 1 วันเท่านั้น ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำช่วยลดการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ชะลออัตราการหายใจและการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ให้ช้าลง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีส่วนในการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ต่างๆในปฏิกิริยาเคมีให้ทำงานได้ช้าลง (ดนัยและนิธิยา, 2548; สายชล, 2528; Shoemaker, 1983) Zauberman and Jobin-Décor (1995) พบว่า อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้ผลอะโวคาโดที่เก็บรักษาเกิดการเสื่อมสภาพช้าลง และในระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ PME, PG และ cellulose ให้ช้าลงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์เพกทิเนส (Pectinases)

เอนไซม์เป็นกลุ่มของโปรตีนที่ทำหน้าที่พิเศษแตกต่างจากโปรตีนทั่วไป คือ มีความสามารถเร่งปฏิกิริยาที่เกิดในสิ่งมีชีวิต ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นได้ถึง 10^{8}-10^{14} เท่าของปฏิกิริยาเดิมที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง และมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเร่งสังเคราะห์หลายล้านเท่าด้วยปริมาณเอนไซม์เพียงระดับไมโครโมลาร์ เอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารที่ทำปฏิกิริยาหรือซับสเตรต (substrate) และสามารถเร่งปฏิกิริยาโดยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาลง (พัชรา,2543; ปราณี, 2547)

เพกทิเนสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบประเภทเพกทินและอนุพันธ์ของพอลิเมอร์ของ α-1,4-D-galacturonopyranose units ซึ่งได้แก่ โพรโทเพกทิน เพกทิน กรดเพกทิก และกรดเพกทินิก เอนไซม์เพกทิเนสแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

1) เพกทินเอสเทอเรส (Pectinesterase) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการแยกหมู่เมทิลออกจากสารประกอบเพกทิน ซึ่งไม่ย่อยสลายพันธะไกลโคไซด์และยังคงจัดอยู่ในกลุ่มย่อยของเอนไซม์ไฮโดรเลส (hydrolase) ที่ย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ ผลผลิตจากปฏิกิริยาได้กรดเพกทิก กรดเพกทินิก และเมทานอล

2) พอลิกาแล็กทูโรเนส (Polygalacturonases) ทำหน้าที่ไฮโดรไลส์พันธะไกลโคไซด์ในโมเลกุลของสารประกอบเพกทิน

3) เพกเทตไลเอส (Pectate lyases) เป็นเพกทิเนสที่อยู่ในกลุ่มเอนไซม์ไลเอส (lyase) ที่ย่อยสลายพันธะไกลโคไซด์ในโมเลกุลของเพกทินหรือกรดเพกทิก แล้วได้สารพอลิเมอร์สายสั้นที่สายหนึ่งมีปลายรีดิวซ์ และอีกสายพอลิเมอร์มีพันธะคู่ มี Ca^{+2} เป็นตัวกระตุ้น และพบทั่วไปในจุลินทรีย์ ไม่พบในพืชชั้นสูงเหมือนเพกทิเนสชนิดอื่น

สารประกอบเพกทินพบทั่วไปในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงและชั้นระหว่างเซลล์ของพืช ซึ่งจะช่วยเพิ่มลักษณะคงตัวของเนื้อสัมผัส (texture) ของผักและผลไม้ โดยในผลไม้ดิบจะพบอยู่ในรูปของโพรโทเพกทินที่ไม่ละลายน้ำ และเมื่อผลไม้เริ่มสุกจนสุกงอมโพรโทเพกทินจะเกิดการย่อยสลายกลายเป็นเพกทิน กรดเพกทิก และกรดเพกทินิกที่ละลายน้ำได้ด้วยเอนไซม์ในกลุ่มของโพรโทเพกทิเนส (protopectinase) ทำให้เนื้อสัมผัสของผลไม้นิ่มลง (ปราณี, 2547) การที่ผลสตรอเบอรี่มีเนื้อสัมผัสนิ่มลงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางกลของเนื้อเยื่อพื้นฐานในผนังเซลล์ มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผนังเซลล์ (cell wall polysaccharides) ซึ่งได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทิน โดยเฉพาะเพกทินจะถูกสลายโดย endogenous pectin degrading enzyme คือ พอลิกาแล็กทูโรเนส และเพกทินเมทิลเอสเทอเรส ทำให้เกิดความอ่อนนุ่มของผลในระหว่างที่มีการสุก (Fischer and Bennett, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Koh and Melton (2002) พบว่าในระหว่างการสุกและนิ่มลงของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Yolo มีปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผนังเซลล์รวม (total cell wall polysaccharides) เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งคาดว่าเกิดจากเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรสและเซลลูเลส ที่มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในช่วงดังกล่าว (Manning, 1993) นอกจากนั้นการสลายตัวของผนังเซลล์ในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่ยังเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์บีตา-ไซโลซิเดส (β-xylosidase) (Martinaz *et al*., 2004) บีตา-กาแล็กโทซิเดส (β-galactosidase) (Trainotti *et al*., 2001) เอกแพนซิน (expansin) (Harrison *et al*., 2001) และเพกเทตไลเอสด้วย (pectate lyase) (Benitez-Burraco *et al*., 2003) Brummell *et al*. (1994) รายงานว่า การนิ่มของผลไม้ เช่น มะเขือเทศ อะโวคาโด และสตรอเบอรี่เกิดขึ้นพร้อมกับกิจกรรมของเอนไซม์เอนโด-บีตา-1,4-กลูคาเนส (Endo-β-1,4-glucanase) ที่เพิ่มสูงขึ้น ผลสตรอเบอรี่มีความแตกต่างจากผลไม้ชนิดอื่น เนื่องจากในระหว่างที่มีการสุกและการสลายตัวของเพกทิน เอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนสมีกิจกรรมต่ำมาก (Nogata *et al*., 1993) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของภักดี (2545) ที่พบว่า เอนไซม์เอกซ์โซ-พอลิกาแล็กทูโรเนส (Exo-polygalacturonase) ในผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 มีกิจกรรมลดลงหลังจากดอกบานเต็มที่ 16 และ 13 วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเกิด pectin depolymerization เป็นเพียงกระบวนการหนึ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่เท่านั้น (Huber, 1984)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ (ดนัย, 2544; นิตย์, 2541)

1. ความเข้มข้นของเอนไซม์และสารเริ่มต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับจำนวนการชนกันของโมเลกุลของเอนไซม์และสารเริ่มต้น เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นไปเป็นสองเท่าด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ต่อไปเรื่อย ๆ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มช้าลงและคงที่ในที่สุด เพราะสารเริ่มต้นเริ่มหมดไป ทำให้เป็นตัวจำกัดในการเกิดปฏิกิริยาได้ อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับการชนกันของโมเลกุล ซึ่งจะชนกันมากขึ้นเมื่อมีปริมาณเอนไซม์หรือสารเริ่มต้นมากขึ้น

2. พีเอช (pH) พีเอชของสารละลายจะมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในหลายๆ ด้าน ตามปกติเอนไซม์แต่ละชนิดมีระดับพีเอชที่เหมาะสมในการทำงาน ซึ่งระดับพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6-8 การทำงานของเอนไซม์ลดลงเมื่อพีเอชสูงหรือต่ำมากกว่าระดับที่เหมาะสม เนื่องจากเอนไซม์เสื่อมสภาพได้และมีผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาด้วย

3. อุณหภูมิ โดยทั่วไปปฏิกิริยาที่ถูกเร่งโดยเอนไซม์จะเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 0 เป็น 35 หรือ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นด้วย เอนไซม์ต่างชนิดกันจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานแตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าระดับที่เหมาะสม อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้าลง เพราะเอนไซม์เสื่อมสภาพ เอนไซม์ของพืชส่วนใหญ่เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 35 หรือ 40 องศาเซลเซียส

4. ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น สามารถวัดได้จากอัตราการหายไปของสารเริ่มต้น หรือการปรากฏขึ้นของผลิตภัณฑ์ หรือทำทั้ง 2 วิธีพร้อมกัน อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป เพราะอาจเกิดการเสื่อมสภาพของเอนไซม์ นอกจากนั้นยังเกิดเพราะมีการลดลงของสารเริ่มต้นและได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์มากขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง อาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (reversibility) โมเลกุลของผลิตภัณฑ์จะรวมกับเอนไซม์แทนสารเริ่มต้นทำให้ปฏิกิริยาถูกจำกัด

5. สารระงับการทำงานของเอนไซม์ มีสารหลายชนิดที่สามารถระงับการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ สารเหล่านี้อาจจะเป็นสารอนินทรีย์ เช่น โลหะหนักต่าง ๆหรืออาจจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น สารประกอบฟีนอลหรือโปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved