บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

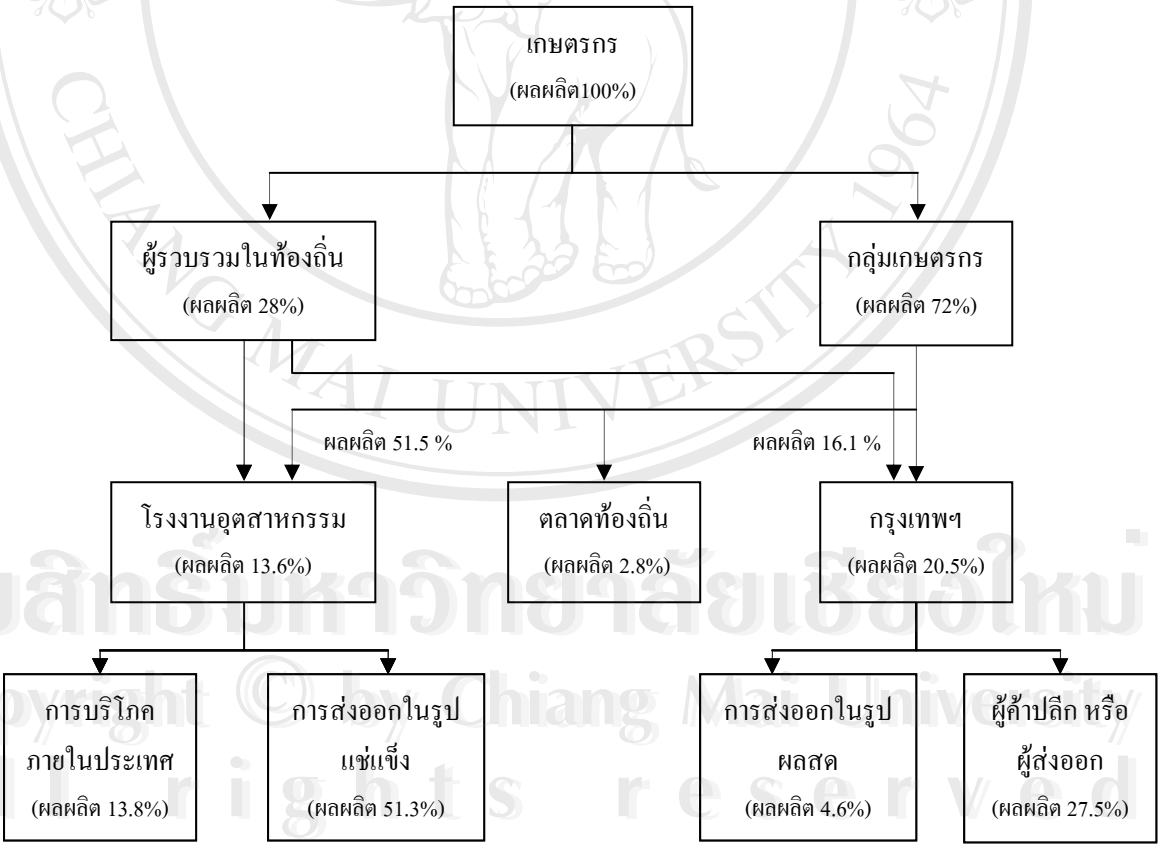
สตรอเบอรีเป็นไม้ผลขนาดเล็กอายุหลายปี ลำต้นมีลักษณะเป็นกอที่มีระบบรากค่อนข้างตื้น ประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่อยู่ใต้ดินคือราก และส่วนที่อยู่เหนือดินคือลำต้น ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนลำต้นที่แท้จริงได้แก่ ใบ ดอก ผล และไหล พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้าเป็นกลุ่มที่มีจำนวนโครโมโซม 8 ชุด (octoploid; 2n = 8x = 56) จัดอยู่ในตระกูล Rosaceae สกุล Fragaria มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Fragaria x ananassa* Duch. ซึ่งเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างสตรอเบอรีพันธุ์พื้นเมืองของสหรัฐอเมริกา 2 ชนิดคือ F. *chiloensis* กับ F. *virginiana* มีลักษณะการเจริญโดยการแตกกอ ดอกสีขาวออกดอกเป็นช่อแบบ compound cymes ผลเป็นแบบผลกลุ่ม (aggregate fruit) ซึ่งแต่ละผลเกิดจากดอก 1 ดอก ที่เกสรตัวเมียประกอบด้วยรังไข่หลายอันรวมอยู่บนฐานรองดอกเดียวกัน ผลย่อยเป็นแบบ achene แต่ละ achene มีเมล็ดเพียงเมล็ดเดียวอยู่ที่ผิวของผลกลุ่ม ผิวมีสีแดงเป็นมัน เมื่อผลสุกมีกลิ่นหอม (Monelise, 1986)

สถานภาพการผลิตและการตลาดสตรอเบอรีของประเทศไทย

สตรอเบอรีเป็นไม้ผลที่มีการปลูกมากทางภาคเหนือและภาคตะออกเฉียงเหนือเป็นบางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากสตรอเบอรีเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศหนาวเย็น ในอดีตสตรอเบอรีเป็นพืชที่นำมาส่งเสริมให้กับชาวเขาปลูกเพื่อเป็นพืชทดแทนการปลูกฝิ่น และแก้ปัญหาการทำไร่เลื่อนลอยบนพื้นที่สูง ปัจจุบันสตรอเบอรีได้กลายเป็นพืชที่ปลูกเพื่อการค้า โดยมีแหล่งผลิตสำคัญอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย ผลผลิตประมาณร้อยละ 80 ถูกนำไปแปรรูปเพื่อจำหน่ายในตลาดภายในและภายนอกประเทศ ส่วนอีกร้อยละ 20 เป็นการผลิตเพื่อป้อนตลาดบริโภคสด โดยผลผลิตจะออกสู่ตลาดตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ซึ่งผลิตผลในช่วงต้นฤดูจะมีขนาดผลโต แต่มีปริมาณผลผลิตต่ำ ทำให้ราคาที่เกษตรกรจำหน่ายในช่วงนี้ค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 200-250 บาทต่อกิโลกรัม ผลผลิตส่วนหนึ่งถูกจำหน่ายให้กับนักท่องเที่ยว และโรงงานแปรรูปสตรอเบอรีที่ถูกแปรรูปแล้วประมาณครึ่งหนึ่งจะถูกส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ เนื่องจากสตรอเบอรีเป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องเร่งการขนส่งผลผลิตเข้าสู่ตลาดให้ได้เร็วที่สุด สำหรับช่องทางการตลาดนั้นประกอบด้วย 2 ช่องทาง คือ การจำหน่ายผ่านกลุ่มเกษตรกร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในท้องถิ่นซึ่งเป็นช่องทางหลัก ผลผลิตมากถึงร้องละ72 ที่เข้าสู่ตลาดด้วยระบบนี้ และการจำหน่ายผ่านผู้รวบรวบในท้องถิ่น โดยผลผลิตร้อยละ 65 ถูกป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรม เพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ สตรอเบอรีเข้มข้น น้ำสตรอเบอรี สตรอเบอรีอบแห้ง สตรอเบอรีแช่แข็ง และแยมสตรอเบอรี ผลผลิตส่วนใหญ่ถูกจำหน่ายไปยังประเทศญี่ปุ่น ยุโรป สเปน และออสเตรเลีย สำหรับส่วนที่เหลือเป็นการจำหน่ายภายในประเทศ ผลผลิตอีกส่วนหนึ่งซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 32 ของผลผลิตเกือบทั้งหมดจะเป็นการส่งต่อไปให้กับผู้ค้าปลีกและค้าส่ง เพื่อจำหน่ายเป็นผลสด โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 1 สำหรับประเทศไทยตลาดสตรอเบอรีจะมีบทบาทมากในช่วงต้นฤดูกาลการเก็บเกี่ยว หรือในช่วงระหว่างเดือนธันวาคมถึงมกราคม ซึ่งราคาสตรอเบอรีในช่วงนี้จะสูง และเกษตรกรนิยมที่จะจำหน่ายสตรอเบอรีให้กับตลาดผลสด เมื่อผลผลิตทยอยเข้าสู่ตลาดมากขึ้นในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ จะส่งผลให้ราคาสตรอเบอรีค่อยๆลดลง (วัชริน และสัมฤทธิ์, 2545)



ภาพที่ 1 ช่องทางตลาดของสตรอเบอรีในประเทศไทย (วัชริน และสัมฤทธิ์, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สตรอเบอรีพันธุ์พระราชทาน 72

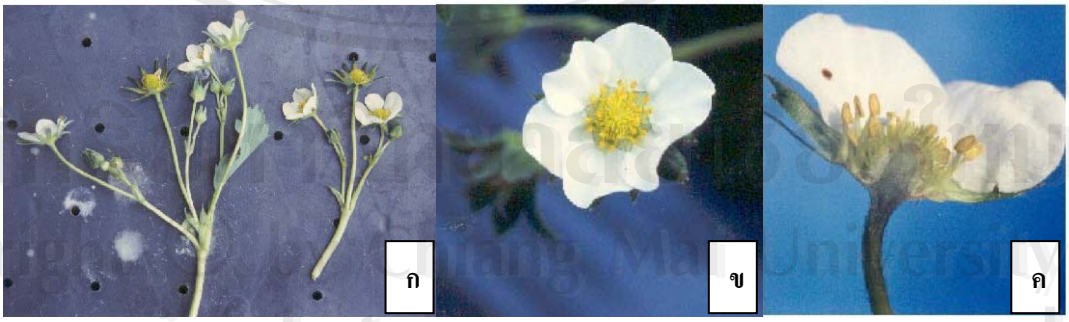
สตรอเบอรีพันธุ์พระราชทาน 72 เป็นสายพันธุ์ใหม่ที่มูลนิธิโครงการหลวงได้นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่นมีชื่อว่า Tochiotome ดังภาพที่ 2 โดยทำการปลูกทดสอบครั้งแรกในแปลงทดลองของสถานีวิจัยดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2542 ผลการทดสอบเป็นที่แน่ใจแล้วว่าสตรอเบอรีพันธุ์นี้สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดี มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี มีความทนทานต่อโรคและแมลง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในลักษณะรับประทานผลสด จึงเริ่มทำการส่งเสริมให้แก่เกษตรกรในเขตพื้นที่รับผิดชอบปลูกเป็นการค้าตั้งแต่ฤดูกาลผลิตปี พ.ศ. 2545 - 2546 เป็นต้นมา สตรอเบอรีพันธุ์พระราชทาน 72 มีขนาดผลค่อนข้างใหญ่ โดยพบว่าผลมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 14 กรัม และมีความแน่นเนื้อมากกว่าผลของพันธุ์พระราชทาน 70 แต่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้น้อยกว่าเล็กน้อย โดยพันธุ์พระราชทาน 70 และ72 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ย 9.6 และ 9.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่ามีความสมดุลพอดีระหว่างรสเปรี้ยวและรสหวาน จึงทำให้มีรสชาติดีเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค มีกลิ่นหอมเมื่อเริ่มสุกถึงสุกเต็มที่ เนื้อผลมีสีขาว ส่วนผิวผลเมื่อสุกเต็มที่จะมีสีแดงถึงแดงจัด มีความเงามันที่ผิวผล ทำให้เป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคเมื่อได้พบเห็น และยังมีความทนทานต่อการขนส่งมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ที่ใช้ส่งเสริมปลูกอยู่ในปัจจุบัน (ณรงค์ชัย, 2546)

ภาพที่ 2 ลักษณะของต้น (ก) และลักษณะของผล (ข) สตรอเบอรีพันธุ์พระราชทาน 72

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างและพัฒนาการของผลสตรอเบอรี

ผลสตรอเบอรีจัดเป็นผลแบบกลุ่ม (aggregate fruit) ซึ่งแต่ละผลเกิดจากดอก 1 ดอกที่เกสรตัวเมียประกอบด้วยรังไข่หลายอันรวมอยู่บนฐานรองดอกเดียวกัน ดังภาพที่ 3 ผลสตรอเบอรีเป็นส่วนของฐานรองดอกที่พัฒนามาเป็นส่วนที่รับประทานได้ ประกอบด้วยแกนกลางผลที่ฉ่ำน้ำ (fleshy pith) ถัดออกไปเป็นวงของ vascular bundles (เป็นกลุ่มท่อลำเลียงน้ำและอาหารจากลำต้นมาสู่แกนกลางผล และส่งไปเลี้ยงเนื้อเยื่อผลและเมล็ด ขณะเดียวกันก็ช่วยพยุงผลให้มีความแน่นเนื้อเนื่องจากเป็นเซลล์ที่ยาวและเหนียวมากกว่าเซลล์ที่เนื้อผล) ซึ่งแตกแขนงไปหล่อเลี้ยงผลและเชื่อม achene ที่ผิวผลให้ติดอยู่ (มีขนเล็กน้อยติดอยู่ที่ผิว achene ซึ่งเป็นส่วนของก้านเกสรตัวเมีย) ผลสตรอเบอรีเจริญแบบ simple sigmoid curve ซึ่งเป็นการเจริญพัฒนาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงหลัง จนกระทั่งผลไม้มีขนาดโตเต็มที่แล้วขนาดของผลจะคงที่หรือเพิ่มขนาดได้เล็กน้อย (ดนัย, 2540) เมื่อไข่ถูกผสม (fertilization) ระยะแรกมีการเพิ่มขนาดเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) พร้อมทั้งมีการแบ่งเซลล์บ้างเล็กน้อยระยะหลังกลีบดอกร่วง 7 วัน มีการแบ่งเซลล์และขยายขนาดเซลล์ เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเป็นการเพิ่มปริมาตรเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยการขยายขนาดของเซลล์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขนาดของ subcellular และผนังเซลล์ส่วนใหญ่เป็นเซลล์บริเวณเนื้อผล (cortex) หลังจากระยะดอกบานจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ พบการขยายขนาดบริเวณเนื้อผลประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผลแก่แกนผลกลาง (pith) และเนื้อผลหยุดพัฒนาแต่ยังสามารถขยายขนาดได้บ้างเล็กน้อย (Avigdori-Avidov, 1986) ผลสตรอเบอรีสามารถเพิ่มขนาดผลขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์ จากระยะผิวผลมีสีแดงทั้งผล (full red) ถึงระยะสุกเต็มที่ (full ripe)



ภาพที่ 3 ลักษณะของช่อดอก(ก) ส่วนประกอบของดอก(ข) และภาพที่ตัดขวางของดอกสตรอเบอรี(ค) (ณรงค์ชัย, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลสตรอเบอรี

1. ขนาดผล

ผลสตรอเบอรีมีขนาดโตขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแก่และสุก ดังตารางที่ 1 โดยการขยายขนาดผลแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกก่อนเกิด fertilization (สตรอเบอรีเป็นพืชผสมตัวเองคือ เกิดการผสมเกสรก่อนดอกบาน) พบการแบ่งเซลล์เล็กน้อย ระยะที่ 2 หลังจากเกิด fertilization มีการแบ่งเซลล์ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ และระยะที่ 3 ระยะหลังดอกบาน มีการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ (cell division and cell expansion) ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนเซลล์ ประมาณ 7 วันหลังกลีบดอกร่วง (petal fall) จากนั้นเพิ่มปริมาณเซลล์ มีการขยายขนาดเซลล์ของเนื้อผล ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลเพิ่มขนาดด้านกว้างอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ (ภาพที่ 4) ขนาดของผลสตรอเบอรีมีความแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรงของต้น การแข่งขันของผลบนช่อ (ผลลำดับที่ 1 จะมีขนาดใหญ่กว่าผลลำดับที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ) จำนวนของ achene ที่พัฒนาและสามารถผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตที่จำเป็น เช่น auxins มีความสัมพันธ์กับการขยายขนาดของเซลล์ และGA_3 มีผลต่อการยืดยาวของผล โดยเฉพาะบริเวณคอหรือไหล่ของผลสตรอเบอรี นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเนื้อเยื่อที่รับและเกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตนั้นๆ และยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก ได้แก่ อุณหภูมิต่ำช่วยส่งเสริมการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตมาที่ผลส่งผลให้ขนาดผลใหญ่ ธาตุอาหารพืชและระบบการให้น้ำที่ไม่เพียงพอส่งผลให้ขนาดผลเล็ก นอกจากนี้การให้สารควบคุมการเจริญเติบโตจากภายนอกก็มีผลต่อขนาดผลเช่นกัน (Avigdori-Avidov, 1986)

ภาพที่ 4 การพัฒนาของผลสตรอเบอรีตั้งแต่ได้รับการผสมเกสร (ณรงค์ชัย, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 ขนาดของผลสตรอเบอรีในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่างกัน (ชูพงษ์, 2531)

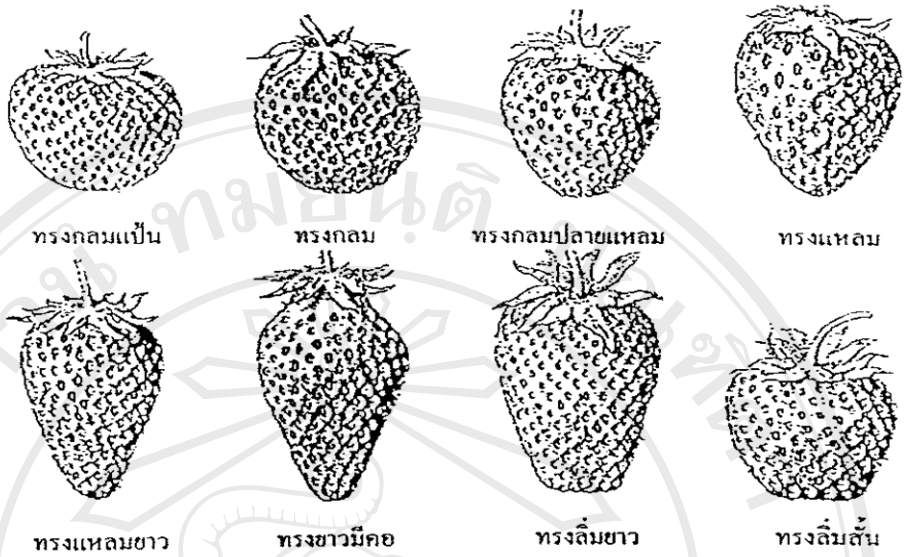
ระยะการเจริญเติบโต	ความยาว(ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง(ซม.)
ถ่ายละอองเกสร	0.93	0.72
กลีบเลี้ยงประสานกัน	1.24	1.04
ผลขยายตัว	1.73	1.43
ผลมีสีขาว	2.34	1.76
ผลเริ่มมีสีแดง	2.68	2.15
ผลมีสีแดงเต็มที่	2.90	2.34
ผลสุกเต็มที่	3.27	2.50

2. รูปร่างผล

รูปร่างของผลโดยทั่วไปดูได้จากรูปร่างของฐานรองดอกภายในช่อผล นอกจากนี้ตำแหน่งของผลในช่อก็ทำให้รูปร่างของผลแตกต่างกันด้วย เช่น ผลลำดับที่หนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่มักมีรูปร่างไม่แน่นอน ทรงกว้างและแบนเป็นรูปลิ่มหรือเป็นแฉกรูปหงอนไก่ (cockcomb) ผลลำดับถัดมามักมีรูปร่างค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้ผลมีรูปร่างแตกต่างกันเช่น ผลสตรอเบอรีที่ปลูกบริเวณภาคตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนมากมีรูปทรงกลม แต่ทางตอนใต้ของแคลิฟอร์เนีย พบรูปร่างแบบกรวยยาว (long conic) กับทรงยาวมีคอ (necked) นอกจากปัจจัยข้างต้นแล้ว การเข้าทำลายของโรค แมลง การผสมเกสรที่ไม่สมบูรณ์ ขาดน้ำ หรือมีความชื้นสูงเกินไป ก็ส่งผลต่อการผันแปรของรูปร่างผลสตรอเบอรีได้ (ณรงค์ชัย, 2543)

รูปร่างผลสตรอเบอรีสามารถแบ่งออกได้ 8 แบบ ได้แก่ ทรงกลมแป้น (oblate) ทรงกลม (globose) ทรงกลมปลายแหลม (globose conic) ทรงแหลม (conic) ทรงแหลมยาว (long conic) ทรงยาวมีคอ (necked) ทรงลิ่มยาว (long wedge) และทรงลิ่มสั้น (short wedge) ดังภาพที่ 5 (ชูพงษ์, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 รูปร่างของผลสตรอเบอรีแบบต่าง ๆ (Darrow, 1966 และชูพงษ์, 2531)

3. ความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญภายในอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ นอกจากนั้นเป็นตัวกำหนดความถี่ในการเก็บเกี่ยว ระยะทางในการขนส่ง และช่วงเวลาที่เก็บรักษาไว้ได้ ดังนั้นความพยายามในการควบคุมหรือชะลออัตราการอ่อนนุ่มของผลไม้ น่าจะเป็นประโยชน์ในทางการค้าเป็นอย่างมาก ซึ่งมากกว่าการชะลอกระบวนการสุกทั้งหมดด้วยการยับยั้งเอทธิลีน ทั้งนี้เพราะถึงแม้ว่าการชะลอกระบวนการสุกจะยืดเวลาในการเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการเก็บรักษาได้ แต่เมื่อผลไม้ถูกบ่มให้สุกอายุการวางจำหน่ายก็จะสั้นเหมือนเดิม การชะลอการอ่อนนุ่มเพียงอย่างเดียว ทำให้การเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เกิดขึ้นได้ตามปกติ เช่น การสะสมน้ำตาล กรดอินทรีย์ และสารระเหย ส่งผลให้ผลไม้มีคุณภาพดีและมีอายุการวางจำหน่ายได้นาน สำหรับผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งไม่สามารถสังเคราะห์เอทธิลีน การชะลอการอ่อนนุ่มจะช่วยได้มากกว่า เพราะไม่สามารถใช้ประโยชน์จากการยับยั้งการสร้างการเอทธิลีนในผลไม้ประเภทนี้ได้ (จริงแท้, 2549)

ความแน่นเนื้อของผลสตรอเบอรีผันแปรตามพันธุ์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ ระยะความแก่ ขนาดของผล และปริมาณน้ำในผล เช่น ต้นสตรอเบอรีที่มีการเจริญเติบโตทางใบมากจะทำให้ผลนิ่มเละ ผลจะนิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Moore and Sisturnk, 1981) และในการปลูกสตรอเบอรีพันธุ์ Tioga ที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,400 เมตร พบว่า ผลสตรอเบอรีมีความแน่นเนื้อมากกว่าผลที่ปลูกใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย (Kosiyachinda *et al.*, 1984) นอกจากนี้ผลสตรอเบอรีที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น แต่เมื่อผลเริ่มสุกความแน่นเนื้อก็จะลดลง (ประสาทพร และดนัย, 2542) ผลสตรอเบอรีบางพันธุ์มีลักษณะเนื้อโปร่ง มีช่องว่างตรงกลางผลทำให้เนื้อนิ่ม ผลที่มีขนาดใหญ่มักมีเนื้อนิ่มกว่าผลที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมีน้ำในผลมาก และเมื่อผลสตรอเบอรีที่มีอายุหรือระยะการสุกมากขึ้นจะมีความแน่นเนื้อลดลง (Puchalski *et al.*, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของภักดี (2545) ที่รายงานว่า ผลสตรอเบอรีพันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 มีความแน่นเนื้อลดลงหลังจากที่ผลมีอายุได้ 25 วัน หลังดอกบานเต็มที่จนถึงระยะผลสุกงอม เมื่อผลสตรอเบอรีเริ่มสุกความแน่นเนื้อลดลง เป็นผลเนื่องมาจากเกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ โดยทั่วไปองค์ประกอบของผนังเซลล์ประกอบด้วย เพคติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลสอีกเล็กน้อย โดยที่ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเซลลูโลสเกาะกันเป็นคู่ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ เรียกว่า ไมโครไฟบริล (micro fibril) ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช เนื้อที่บริเวณระหว่างเซลล์สองเซลล์เรียกว่า middle lamella จะพบโมเลกุลของเพคตินแทรกอยู่มาก นอกจากนั้นยังแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วย โดยทำหน้าที่ประสานโมเลกุลต่างๆในผนังเซลล์เข้าด้วยกัน และยังทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงด้วย เมื่อผลไม้ดิบเพคตินอยู่ในรูปของโปรโตเพคติน (protopectin) ซึ่งละลายน้ำไม่ได้ (insoluble protopectin) และมีแคลเซียม (Ca) ที่รวมกับโปรโตเพคตินเป็นแคลเซียมเพกเทต (Ca-pectate) ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้ผลไม้มีความแน่นเนื้อสูง แต่เมื่อผลไม้สุกแคลเซียมลดลง และโปรโตเพคตินถูกย่อยสลายกลายเป็นเพคตินและกรดเพคติก (pectic acid) ซึ่งละลายน้ำได้โดยกระบวนการ depolymerization และ deesterification มีเอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนส (polygalacturonase; PG) ย่อยโมเลกุลของ polygalacturonic acid ให้สั้นลง ในขณะที่เอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (pectinesterase; PE) ย่อยเอาหมู่เมทธิล (methyl group) ในโมเลกุลของกรดกาแล็กทูโรนิก (galacturonic acid) ออกไป และเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอเรส (pectin methylesterase ; PME) ทำลาย cross-link ของแคลเซียมในส่วนของ middle lamella ทำให้เกิดการแยกตัวของเซลล์ ดังนั้นเซลล์ซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในผลไม้ดิบกลับมาอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวมๆในผลไม้สุก เพราะเหตุนี้ผลไม้สุกจึงอ่อนตัวส่งผลให้ความแน่นเนื้อของผลลดลง (ดนัย, 2540; จริงแท้, 2544)

ในการศึกษาการพัฒนาของสตรอเบอรีพันธุ์ Chandler ระยะตั้งแต่ติดผล (fruit set) ถึงผลสุกจนกระทั่งหมดอายุ (senescence) พบว่าช่วงแรกปริมาณ protopectin ลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันก็พบปริมาณ pectinic acid และ pectic acid เพิ่มขึ้น ซึ่งการค่อยๆ ลดลงในช่วงแรก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของ protopectin เกิดจากการที่ protopectin ในผนังเซลล์กลายเป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำ (soluble pectin substance) มากขึ้น ส่งผลให้ผลสตรอเบอรีอ่อนนิ่มลง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรีมีปริมาณเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ลดลง (Manning, 1993)

4. น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสำคัญในผักและผลไม้ที่ให้ทั้งรสชาติ คุณค่าทางอาหาร และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะคาร์โบไฮเดรตอยู่ทั้งในรูปของอาหารสะสมและน้ำตาลชนิดต่างๆที่ให้รสชาติ และยังอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารพวกเพคตินรูปต่างๆ เป็นต้น (จริงแท้, 2544)

น้ำตาลในผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส พบสะสมอยู่ในแวคิวโอล (Vacuole) เป็นส่วนใหญ่ น้ำตาลฟรุกโตสให้ความหวานมากที่สุด ขณะที่ซูโครสและกลูโคสมีความหวานน้อยลง ตามลำดับ น้ำตาลซูโครสเป็นรูปของน้ำตาลที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายในพืชจากคลอโรพลาสต์ผ่านท่ออาหารไปยังเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมอาหารและที่กำลังเจริญเติบโต แต่มีการเคลื่อนย้ายไปยังผลน้อยมาก ซึ่งในผลอ่อนนำน้ำตาลไปใช้ในการสังเคราะห์สารจำพวกเพคติค (pectic substance) ผนังเซลล์ และสารประกอบอื่นๆ นอกจากนั้นบางส่วนก็เปลี่ยนไปเก็บรักษาในรูปแป้ง (จริงแท้, 2544; Whiting, 1970)

ผลไม้ประเภท non-climacteric มักเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่หรือผลสุก คุณภาพของการบริโภคจึงจะดี เนื่องจากความหวานหรือน้ำตาลได้จากการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากกระบวนการสังเคราะห์แสงในรูปของซูโครสเข้าไปในผลแล้วอาศัยเอนไซม์ acid invertase เปลี่ยนซูโครสไปอยู่ในรูปของกลูโคสและฟรุกโตสก่อน เมื่อถึงระยะบริบูรณ์กิจกรรมของเอนไซม์ acid invertase ลดลงในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose phosphate synthase (SPS) เป็นเอนไซม์หลักที่เปลี่ยน hexose phosphate ไปเป็นซูโครสเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทำให้ผลที่บริบูรณ์หรือแก่แล้วมีซูโครสสูง ในผลไม้ตระกูลส้มซึ่งไม่มีการสะสมแป้งในระหว่างการเจริญเติบโตนั้น ภายหลังการเก็บเกี่ยวมีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะการสูญเสียน้ำออกจากผลทำให้ความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในกรณีนี้ไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้รสชาติของส้มหวานขึ้น แต่เป็นเพราะการลดลงของกรดอินทรีย์มากกว่า ในระหว่างการสุกปริมาณน้ำตาลในผลไม้อาจลดลง โดยเฉพาะผลไม้ที่ไม่มีการสะสมแป้งแต่สะสมคาร์โบไฮเดรตในรูปน้ำตาล ซึ่งปริมาณน้ำตาลที่ลดลงถูกนำไปใช้ในการหายใจ (จริงแท้, 2544; 2549) Goren *et al*., (2000) ได้ทดลองแช่เซลล์ของเนื้อส้มในสารละลายซูโครสหรือฟรุกโตสที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

^{14}C เป็นองค์ประกอบพบว่า ^{14}C นี้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกรดไพรูวิก กรดซิตริก และCO_2 จึงยืนยันว่ามีการใช้น้ำตาลไปในกระบวนการหายใจ

ระดับน้ำตาลในผลสตรอเบอรีสามารถบอกถึงความหวาน นั้นคือผลสตรอเบอรีที่มีคุณภาพดีจึงต้องมีปริมาณน้ำตาลสูง (ประสาทพร และดนัย, 2542) ระดับน้ำตาลในผลสตรอเบอรีเริ่มสูงขึ้นเมื่อผลมีสีขาวและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนผลสุกเต็มที่ น้ำตาลที่พบได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส (จริงแท้, 2544) ในสตรอเบอรีพันธุ์ Chandler พบว่า มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังวันที่ 21 หลังติดผล เมื่อผลเริ่มสุกปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ มีปริมาณสูงสุดในวันที่ 28 หลังติดผล จากนั้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ลดลง ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 35 หลังติดผล จากนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลง การที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้นนี้ส่งผลให้ผลสตรอเบอรีมีรสชาติหวานขึ้น (Montero *et al,.* 1996)

5. กรดอินทรีย์

ผักและผลไม้มีกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆมากมาย ซึ่งเป็นกรดที่อยู่ในวิถีเครบส์ (Krebe's cycle) ของกระบวนการหายใจ กรดอินทรีย์ที่พบมากในผักและผลไม้คือ กรดซิตริค (citric acid) และกรดมาลิค (malic acid) ผันแปรขึ้นกับชนิดของผลไม้ ในผลสตรอเบอรีกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุด คือ กรดซิตริค รองลงมาคือ กรดมาลิค (ดนัย, 2540) โมเลกุลของกรดเหล่านี้มีกลุ่มของคาร์บอกซิลิค (carboxylic group) เป็นองค์ประกอบที่ให้คุณสมบัติเป็นกรด (ดนัย, 2540; จริงแท้, 2544)

กรดอินทรีย์ที่เหลือจากการทำงานของวัฏจักรเครบส์ และวิถีเมตาโบลิซึมอื่นๆ ถูกเก็บสะสมอยู่ในแวคิวโอลของเซลล์ มีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกดัชนีความแก่ (maturity index) โดยวัดจากปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (tritratable acidity) หรือ อัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรด (sugar/acid ratio หรือ dry matter/acidity ratio) (Ulrich, 1970; Montero *et al.,* 1996) โดยทั่วไปขณะที่ผลไม้ยังอ่อนมีปริมาณกรดอยู่สูงไม่เหมาะสมกับการบริโภค ขณะเดียวกันก็ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อผลไม้สุกรวมถึงภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดภายในผลไม้ลดลง (จริงแท้, 2544) Montero *et al.* (1996) ทำการศึกษาปริมาณกรดสามชนิด คือ กรดซิตริค (citric), กรดมาลิค (malic) และกรดชิคิมิค (shikimic) ในผลสตรอเบอรีพันธุ์ Chandler พบว่าปริมาณกรดซิตริคมีการเพิ่มขึ้นตลอด แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีเพียงเล็กน้อย ส่วนปริมาณกรดมาลิคและกรดชิคิมิค มีการเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งลักษณะการเพิ่มของปริมาณกรดทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยมีการเพิ่มอย่างรวดเร็ว หลังจากวันที่ 21 หลังติดผล จนกระทั่งมีปริมาณกรดทั้งสองสูงที่สุดในวันที่ 35 หลังติดผล จากนั้นปริมาณกรดทั้งสองลดลง

6. วิตามินซี

วิตามินเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์และจัดเป็นอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ แต่ร่างกายต้องการปริมาณเพียงเล็กน้อย (มิลลิกรัมหรือไมโครกรัม) เมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำ ซึ่งวิตามินซีเป็นวิตามินที่สำคัญชนิดหนึ่ง หากขาดวิตามินซีจะทำให้ร่างกายผิดปกติและเกิดโรค เช่น โรคลักปิดลักเปิด เหงือกหดตัว ฟันคลอน หากมีอาการรุนแรงอาจทำให้เลือดไหลไม่หยุด เส้นเลือดฝอยเปราะ บาดแผลหายยาก และโรคโลหิตจาง (อรุณี, 2530) ร่างกายมนุษย์และสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้ ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ซึ่งผักและผลไม้สดเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของวิตามินซี (ดนัย, 2540) วิตามินซีเป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้ จึงดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและร่างกายไม่สามารถสะสมไว้ได้ หากได้รับมากเกินพอร่างกายขับออกทางปัสสาวะ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารให้เพียงพอในแต่ละวัน ซึ่งร่างกายมนุษย์ต้องการวิตามินซีประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อวัน ปริมาณวิตามินซีในผลไม้ต่างๆ มีปริมาณที่แตกต่างกัน วิตามินซีสร้างขึ้นในช่วงที่พืชมีการสังเคราะห์แสงสูง ซึ่งในช่วงที่ผลยังอ่อนมีปริมาณกรดสูง ปริมาณวิตามินซีจะสูงตามไปด้วย (วุฒิคุณ, 2530)

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกที่พบในผลไม้มี 2 รูป คือ L-ascorbic หรือ reduced ascorbic acid และ dehydroascorbic acid (DHA) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ L-ascorbic acid โดย DHA นี้อยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียรและสามารถเปลี่ยนกลับเป็นกรดแอสคอร์บิกได้ และมีสมบัติเหมือนวิตามินซี นอกจากนั้น DHA อาจถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น 2,3-diketogulunic acid ซึ่งไม่มีสมบัติของวิตามินซี (Mapson, 1970) จากการศึกษาเจริญเติบโตของสตรอเบอรีพันธุ์ Chandler ระยะตั้งแต่ติดผลถึงผลสุกจนกระทั่งหมดอายุพบว่า ปริมาณกรดแอสคอบิกเพิ่มขึ้นตลอดตั้งแต่ขบวนการเจริญเติบโตของผลจนกระทั่งผลสตรอเบอรีสุก (Montero *et al*.,1996) ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณวิตามินซีสูญเสียได้ง่าย เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารรีดิวซ์ที่รุนแรงมีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อถูกแสง ออกซิเจน และอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำเกินไป นอกจากนั้นสูญเสียได้จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase, cytochrome oxidase และ peroxidase โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ascorbic acid oxidase ทำให้เกิดปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างสารตั้งต้นและโมเลกุลของออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของกรดแอสคอบิคได้ เอนไซม์เหล่านี้พบมากเมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้ที่เกิดการเสียหาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

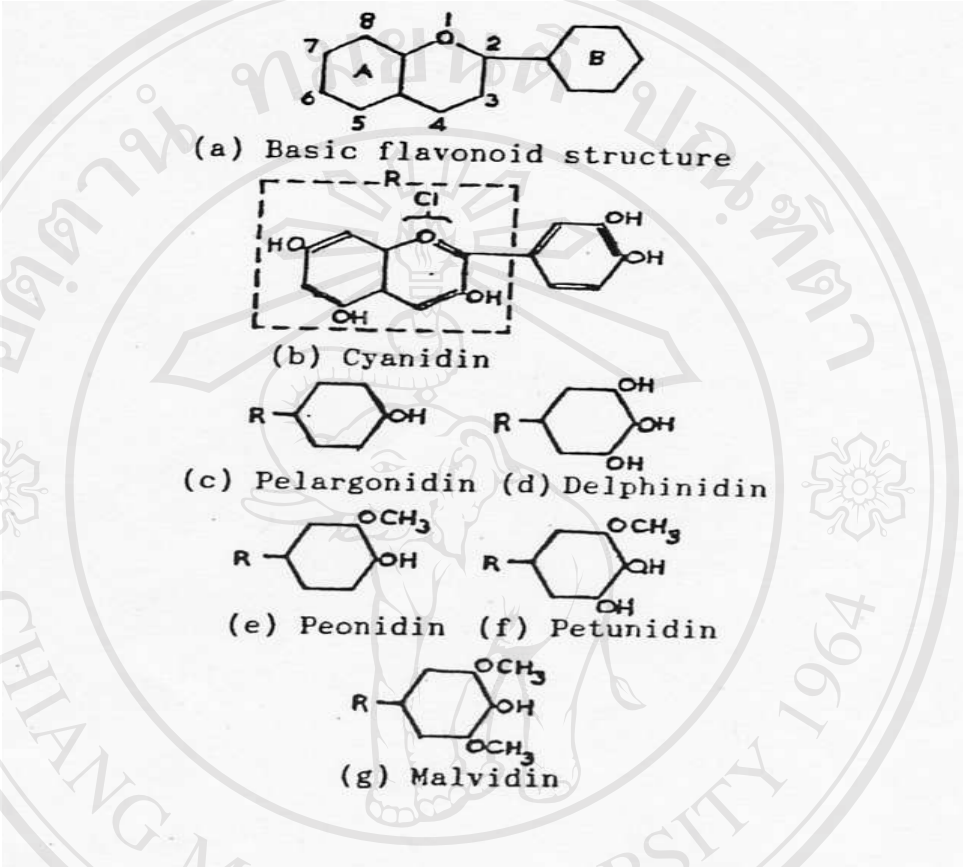
เนื่องจากการตัดแต่ง หั่น หรือเกิดรอยช้ำ ดังนั้นการเก็บรักษา และขนส่งสตรอเบอรีภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำ สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ (ดนัย, 2540; จริงแท้, 2544) จากการศึกษาของ Nunes *et al*. (1995) พบว่า สตรอเบอรีพันธุ์ Chandler, Oso Grande และ Sweet Charlie ที่ผ่านการลดอุณหภูมิอย่างช้าๆ มีการสูญเสียปริมาณกรดแอสคอบิคมากขึ้น และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไม่สามารถป้องกันการสูญเสียวิตามินซีได้เสมอไป ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลิตผลที่มีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว (chilling injury) ด้วยเพราะอาการสะท้านหนาวทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีได้ (Lee and Kader, 2000)

7. รงควัตถุ

สีผิวของผลสตรอเบอรีที่แดงสดใส และมีความมันวาวเป็นสิ่งที่แสดงถึงความแก่และคุณภาพที่ดีของผลสตรอเบอรี และยังเป็นสิ่งที่ดึงดูดใจผู้บริโภคมาก (Moore and Sistrunk, 1981) ในช่วง 28 วันหลังกลีบดอกร่วงจะพบการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ที่ผล และช่วงระหว่าง 28 ถึง 35 วันหลังกลีบดอกร่วง ผลจะเริ่มสังเคราะห์แอนโทไซยานินพร้อมกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เมื่อผลสตรอเบอรีสุกเต็มที่พบแอนโทไซยานินซึ่งบดบังสีของแคโรทีนอยด์ ดังนั้นจึงสังเกตเห็นเฉพาะสีของแอนโทไซยานินเท่านั้น (Avigdori-Avidov, 1986 : Manning, 1993) สีของแอนโทไซยานินจัดอยู่ในกลุ่มสารสีจำพวก flavonoids สามารถละลายน้ำได้ (water soluble) ทำให้เกิดสีในช่วงสีแดง ชมพู น้ำเงิน และม่วง ซึ่งเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) สารสีแอนโทไซยานินในผลสตรอเบอรีกระจายทั่วในแวคิวโอของเซลล์ แต่ในผลไม้ส่วนใหญ่พบแอนโทไซยานินบริเวณผิวผลในเนื้อเยื่อชั้น epidermal และ sub-epidermal เช่น แอปเปิล สาลี่ องุ่น (Gross, 1987) สีของแอนโทไซยานินผันแปรไปตามสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในแวคิวโอที่เปลี่ยนแปลงไป แอนโทไซยานินมีสีแดงในสภาพสารละลายเป็นกรด และสีจางลงเมื่อความเป็นกรดลดลง แต่ในสภาพที่สารละลายเป็นกลางหรือด่างแอนโทไซยานินมีสีน้ำเงินหรือสีม่วงในตอนแรก และสีจะจางลงไปเรื่อยๆ แอนโทไซยานินมีมากมายหลายชนิดที่สำคัญมีอยู่ 6 ชนิด ดังภาพที่ 6 คือ เพลาร์โกนิดิน (pelargonidin) ไซยานิดิน (cyanidin) เดฟินิดิน (delphinidin) พีโอนิดิน (peonidin) พิทูนิดิน (petunidin) และ มัลวิดิน (malvidin) (ดนัย, 2540) ในสตรอเบอรีพบ pelargonidin-3-glucoside และ cyaniding-3-glucoside ในอัตราส่วน 20:1 (Harborne, 1976; Burton, 1982; Avigdori-Avidov, 1986) น้ำตาลที่พบเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน คือ กลูโคส ไซโลส อะราบิโนส กาแลคโตส หรือ แรมโบส (rhambose) น้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินนั้นมีส่วนช่วยให้แอนโทไซยานินสามารถคงตัวและละลายน้ำได้ดี (ดนัย, 2540; Gross, 1987)



ภาพที่ 6 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแอนโทไซยานินบางชนิด (ดนัย, 2540)

การสลายตัวของแอนโทไซยานิน

การสลายตัวของแอนโทไซยานินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินใน แวคิวโอ และเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างในแวคิวโอ ปริมาณน้ำตาลในเซลล์ อายุของพืช แสง อุณหภูมิ ระดับฮอร์โมนภายใน และฮอร์โมนหรือสารเคมีที่ให้จากภายนอก เป็นต้น (อัญชุลี, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและการสลายตัวของแอนโทไซยานิน

ปัจจัยภายนอก

1. แสง มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) โดยที่เอนไซม์ชนิดนี้กระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์พืชอีกด้วย (อัญชุลี, 2539)

2. อุณหภูมิ ผลสตรอเบอรีที่มีสีเขียวปนขาวถึงเริ่มเปลี่ยนสีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จะเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งผลที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ภายใน 48 ชั่วโมง ถ้าอุณหภูมิลดลงเหลือ 19 องศาเซลเซียส จะสุกให้มีสีแดงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 4 วัน (ดนัย, 2538) Miszczak *et al.* (1995) รายงานการศึกษาผลสตรอเบอรีพันธุ์ Kent ที่เก็บเกี่ยวในระยะสีผิวชมพูขาว ชมพู และแดง แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 หรือ 20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ปรากฏว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนสีของผลที่เก็บเกี่ยวในระยะชมพูและสีแดง

3. ดินและปุ๋ย ความชื้นในดินจะกระตุ้นการสร้างแอนโทไซยานินและการให้ธาตุไนโตรเจนมากเกินไปทำให้สีของผลซีดลง (ชูพงษ์, 2531)

ปัจจัยภายใน

การปรากฏสีขึ้นอยู่กับปริมาณรงควัตถุในต้นพืช น้ำตาลเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน ดังนั้นถ้ามีการสังเคราะห์แสงสูงปริมาณน้ำตาลจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสร้างแอนโทไซยานินมากขึ้นด้วย นอกจากนี้แล้วสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดมีผลต่อการเรียงตัวของกรดอะมิโนที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยในกรณีที่เอนไซม์มีพอลิเปปไทด์ชนิดเดียวกัน แต่ถ้ากรณีที่เอนไซม์ประกอบด้วยพอลิเปปไทด์หลายชนิด ความแตกต่างเกิดจากการมีพอลิเปปไทด์ต่างชนิดกัน ในเซลล์หนึ่งๆ อาจมีหลายไอโซไซม์ โดยแต่ละไอโซไซม์ทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นพืชที่มีหลายไอโอไซม์จึงสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี สำหรับไอโซฟอร์มของเอนไซม์นั้น เป็นเอนไซม์ชนิดเดียวกัน ถูกควบคุมโดยยีนเดียวกันและมีลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโนบนพอลิเปปไทด์เหมือนกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นเล็กน้อยภายหลังจากถูกผลิตขึ้นแล้ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลกระทบต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากการเชื่อมต่อกับน้ำตาล (glycosylation) เติมหมู่ฟอสเฟต (phosphorylation) หมู่เมทธิล (methylation) หรือหมู่อะซิทิล (acetylation) ทำให้เอนไซม์ทำหน้าที่ได้ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน (นิตย์, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

8. สารหอมระเหย

เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นตามธรรมชาติของผลไม้จะผลิตออกมาเมื่อผลสุก (Burton, 1982) เป็นสารประกอบแอสเทอร์ แลคโตน แอลกอฮอล์ กรด อัลดีไฮด์ คีโตน อะซีทัล และไฮโดรคาร์บอน ในผลสตรอเบอรีสุกพบเฉพาะสารในกลุ่ม เอสเทอร์ แอลกอฮอล์ และกรด (Nursten, 1970; Manning, 1993) สารระเหยเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 2 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงสูงและอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ระเหยได้ง่าย ในผลสตรอเบอรีสุก พบสารให้กลิ่นคงตัวเพียง 24 ชนิด สารหอมระเหยที่สำคัญคือ 2, 5 dimethy-4-methoxy-3(2H)-furanone, linealool, geraniol, ß-phenylethanol และ granil acelate (ดนัย, 2538; Avigdori-Avidov, 1986) ปริมาณสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับพันธุ์ และระยะความแก่ของผล (Perez *et al.,* 1997) การเก็บรักษาผลสตรอเบอรีที่เก็บเกี่ยวผลระยะสีชมพูและแดงที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ในสภาพที่มีแสง พบว่า เมื่อเก็บรักษาผลสตรอเบอรีไว้นาน 4 วัน ผลที่เก็บเกี่ยวระยะสีแดงผลิตกลิ่นได้มากกว่าสีชมพูขาว และชมพู (Miszczak *et al.,* 1995)

9. อัตราการหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงเป็นตัวเร่ง และใช้แก๊สออกซิเจนมาออกซิไดส์สารอินทรีย์เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน เพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ตลอดจนใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่จำเป็นในการดำรงชีวิต (ดนัย, 2540; จริงแท้, 2544) การวัดอัตราการหายใจจึงเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงอัตราเร่งของปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอาหารในเมตาโบลิซึมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์หรือเนื้อเยื่อของผลิตผล และสามารถบอกถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ ซึ่งผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงมักจะเก็บรักษาได้ไม่นาน สตรอเบอรีจัดเป็นผลไม้ที่มีการหายใจแบบ non-climacteric คือ ขณะที่ผลยังอ่อนและมีการแบ่งเซลล์มากจะมีอัตราการหายใจสูง แล้วหลังจากนั้นอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลงตามอายุที่มากขึ้น (สายชล, 2528; ดนัย, 2540)

อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรีจากระยะผลอ่อนจนถึงระยะผลแก่หรือสุก และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรีเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (Shoemaker, 1983) จากการศึกษาของ ดนัย (2548) พบว่า ผลสตรอเบอรีมีการผลิตเอทธิลีนตั้งแต่ระยะผลสีเขียว โดยมีผลต่อการขยายขนาดของเซลล์ในส่วนฐานรองดอกและมีความสำคัญในการเจริญเติบโตของผล แต่ไม่มีผลต่อการสุกของสตรอเบอรี Massantini *et al.* (1995) รายงานว่าหลังจากลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น (forced air cooling) ที่ 0 องศาเซลเซียส ผลสตรอเบอรี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พันธุ์ Pajaro มีอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทธิลีนลดลง ดนัย (2538) รายงานว่า การเก็บรักษาผลสตรอเบอรีในระยะสีขาวไว้ในบรรยากาศผสมกับอะซิทัลดีไฮด์ ทำให้อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรีเพิ่มขึ้นเพราะผลอ่อนของสตรอเบอรีมีเอทธิลีนสูง

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจ

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจมีหลายประการ ดนัย (2540) ได้กล่าวถึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ อัตราการหายใจของสิ่งมีชีวิตเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เรียกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) หลังจากจุดนี้ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีก อัตราการหายใจจะลดลงอย่างรวดเร็ว

2. เอทธิลีน ผลไม้ทุกชนิดเมื่อเกิดการสุกจะสังเคราะห์แก๊สเอทธิลีนออกมา ผลไม้พวก climacteric ส่วนใหญ่ปลดปล่อยแก๊สเอทธิลีนมากกว่าพวก non-climacteric คือทำให้เร่งอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น ยิ่งเพิ่มปริมาณของเอทธิลีนให้มากขึ้น อัตราการหายใจยิ่งสูงขึ้น

3. ส่วนประกอบของแก๊สในบรรยากาศ

3.1 ปริมาณของแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศลดลงจากปกติจนถึงประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ อัตราการหายใจจะลดลง เพราะระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเป็นกระบวนการที่มีระบบ cytochome a/a_3 ซึ่งต้องส่งอิเล็กตรอนไปให้ออกซิเจน ออกซิเจนในปริมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ จะไม่เพียงพอต่อกระบวนการนี้จึงส่งผลให้การหายใจลดลง

3.2 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปในสภาพบรรยากาศที่เก็บรักษาผลิตผล อาจก่อให้เกิดการสะสมเอทธานอลได้ การเพิ่มแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้มากขึ้น ทำให้อัตราการหายใจลดลง

4. ภาวะความเครียด การเกิดความเครียดในผลิตผล เช่น จุลินทรีย์เข้าทำลาย การเกิดบาดแผลต่างๆ ส่งผลให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น

5. ช่วงการเจริญเติบโตในระยะที่เก็บเกี่ยว อัตราการหายใจของผลิตผลขึ้นอยู่กับระยะความอ่อนแก่ของผลิตผลนั้นด้วย ผลไม้ระยะอ่อนมีอัตราการหายใจสูง เมื่อเข้าสู่ระยะแก่อัตราการหายใจลดลง การลดลงของการหายใจช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับชนิดพืช เช่น ผลไม้พวก non-climacteric นั้น อัตราการหายใจจะลดลงไปเรื่อยๆ จนเนื้อเยื่อเสื่อมสภาพ

6. ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยว อัตราการหายใจของผลิตผลจากแต่ละแหล่งหรือแต่ละฤดูกาลจะแตกต่างกันออกไป อาจเนื่องมาจากสภาพดินฟ้าอากาศ ตลอดจนเขตกรรมต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บเกี่ยว

สตรอเบอรีเป็นผลไม้ที่ไม่มีเปลือกจึงชอกช้ำเสียหายได้ง่าย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรีจึงต้องทำด้วยความระมัดระวังมิให้เกิดความชอกช้ำกับผล การเก็บเกี่ยวในประเทศไทยเป็นการเก็บเกี่ยวโดยแรงงานมนุษย์ ซึ่งสามารถพิจารณาเลือกเก็บเฉพาะผลที่มีความแก่เหมาะสมได้ แต่ในต่างประเทศ เช่น ในสหรัฐอเมริกามีค่าแรงงานสูง จึงใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี และใช้เครื่องจักรกลในการแปรรูป พันธุ์ที่สามารถใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวต้องเป็นพันธุ์ที่แก่และสุกพร้อมๆ กัน (ดนัย, 2538)

ผลสตรอเบอรีควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่จัด เพราะหลังเก็บเกี่ยวมาแล้วผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงเสื่อมสลาย ทำให้ผลสตรอเบอรีมีรสชาติคงที่ ฉะนั้นถ้าเก็บเกี่ยวขณะที่ผลยังไม่แก่จัดเต็มที่ รสของชาติผลสตรอเบอรีก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง (จิรา, 2537) แต่สตรอเบอรีสามารถมีสีแดงเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นสตรอเบอรีที่เก็บเกี่ยวในขณะที่ผลยังไม่แดงทั้งผล จึงสามารถเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งผลได้พอดีเมื่อถึงปลายทาง ถ้าเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรีที่มีผิวสีแดง 100 % จะทำให้เกิดการช้ำ และมีเชื้อราเข้าทำลายระหว่างการขนส่งได้ง่าย ในประเทศออสเตรเลียแนะนำให้เก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี เมื่อผลมีสีแดงประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ของทั้งผล (ชูพงษ์, 2531) หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วควรลดอุณหภูมิลงเพื่อทำให้ผลมีคุณภาพดี (Shoemaker, 1983)

ดัชนีที่ใช้ในการตัดสินความแก่คือ สีของผล ถ้าเก็บเกี่ยวในระยะที่ไม่แก่จะทำให้ได้คุณภาพของผลไม่ดี (Dana, 1981) ผลการศึกษาในสหรัฐอเมริการายงานว่า ควรเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรีเมื่อผลมีสีแดงประมาณ 50-75 เปอร์เซ็นต์ของทั้งผล ส่วนในรัฐแคลิฟอร์เนียซึ่งเป็นแหล่งผลิตสตรอเบอรีที่สำคัญของสหรัฐอเมริกากำหนดว่า สตรอเบอรีที่มีสีผิวเป็นสีชมพูหรือแดงประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ของทั้งผล คือ ผลสตรอเบอรีที่แก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ (นิธิยาและดนัย, 2533)

คุณภาพของผลสตรอเบอรี

ผลสตรอเบอรีที่มีคุณภาพดีต้องสะอาด มีสีสด เนื้อแน่น และมีกลีบเลี้ยงติดมาด้วย กลีบเลี้ยงมีสีเขียวไม่แห้ง ควรมีผลสีแดงทั้งผล หรืออย่างน้อยมีสีแดง 75 เปอร์เซ็นต์ของทั้งผล สตรอเบอรีที่มีสีแดงคล้ำแสดงว่าสุกงอมเกินไป ผลสตรอเบอรีที่อยู่ในภาชนะบรรจุเดียวกัน ควรมีสีและขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีรอยแผล ช้ำหรือเชื้อรา (นิธิยาและดนัย, 2533) มาตรฐานของผลสตรอเบอรีที่ใช้ในสหรัฐอเมริกานั้น กำหนดว่าเกรด U.S. No.1 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 1.9 เซนติเมตร และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ยอมให้มีผลเล็กกว่านี้ปะปนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในประเทศไทยนั้นยังไม่มีมาตรฐานของประเทศ แต่มูลนิธิโครงการหลวงได้จัดมาตรฐานโดยใช้ขนาดของผลเป็นหลัก ดังนี้

ชั้นพิเศษ (Extra)	เส้นผ่าศูนย์กลางผลมากกว่า	3.75	เซนติเมตร
ชั้น A	เส้นผ่าศูนย์กลางผลระหว่าง	3.75-3.50	เซนติเมตร
ชั้น B	เส้นผ่าศูนย์กลางผลระหว่าง	3.25-2.80	เซนติเมตร
ชั้น C	เส้นผ่าศูนย์กลางผลระหว่าง	2.80-2.50	เซนติเมตร
ชั้น D	เส้นผ่าศูนย์กลางผลต่ำกว่า	2.50	เซนติเมตร

และกำหนดค่าควรเก็บเกี่ยวผลที่มีสีแดงประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ผลไม่มีแผลเนื่องจากช้ำหรือเป็นโรค แมลงทำลาย และผลมีรูปร่างปกติ (สราวุธ, 2548)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านรสชาติของสตรอเบอรี

ผลไม้ที่กำลังสุกจะมีรสชาติเปลี่ยนไป รสชาติที่เกี่ยวข้องนี้คือ รสหวาน รสเปรี้ยว รสฝาด รสหวาน เกิดจากน้ำตาลซึ่งอาจเปลี่ยนมาจากแป้งที่สะสมไว้ในผลที่แก่ ถูกย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กๆ และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ เป็นต้น แต่ผลสตรอเบอรีความหวานไม่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวจากต้น หรือเก็บเกี่ยวในระยะผลยังดิบแล้วมาทำให้สุกภายหลัง ผลไม้ดิบบางชนิดมีรสเปรี้ยว แต่เมื่อสุกกลับมีรสหวานขึ้นเช่น ผลแอปเปิล ทั้งนี้เนื่องมาจาก

1. พันธุกรรม ผลิตผลที่มีลักษณะพันธุ์แตกต่างกัน จะมีปริมาณส่วนประกอบทางเคมีที่ต่างกันด้วย
2. สภาพแวดล้อมก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น ดินฟ้าอากาศ สภาพที่ดิน ความชื้นในดินและในอากาศ ธาตุอาหาร การตัดแต่งกิ่ง และแสง จะมีผลต่อส่วนประกอบทางเคมี
3. ระยะเก็บเกี่ยว ระยะการเจริญเติบโตของผลิตผลในช่วงที่เก็บเกี่ยว
4. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น วิธีการจัดอุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น

รสชาติของผลสตรอเบอรีผันแปรตามพันธุ์และส่วนประกอบของกรด น้ำตาล และแทนนิน ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ระยะการสุกของผลสตรอเบอรีได้ ระหว่างการสุกระยะที่สีผิวเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีชมพู และแดง ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันปริมาณกรดและแทนนินก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน จึงทำให้รสเปรี้ยวและฝาดลงด้วย (ดนัย, 2538) สตรอเบอรีจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric น้ำตาลเป็นผลที่ได้จากการเคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมในผลขณะมีการเจริญเติบโตของผล หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นน้อยมากหรือไม่เพิ่มขึ้นเลย ด้วยเหตุนี้สตรอเบอรีจึงไม่สามารถเก็บเกี่ยวก่อนแก่หรือก่อนผลเปลี่ยนสีได้ (จริงแท้, 2544) ดังนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บเกี่ยวสตรอเบอรีที่ใช้บริโภคสด ควรรอให้ผลมีสีชมพูก่อน เพื่อให้ผลสะสมน้ำตาลเป็นการเพิ่มความหวานให้กับผลสตรอเบอรี (ประสาทพร, 2538; นิธิยาและดนัย, 2533)

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อคุณภาพของผลสตรอเบอรี

1. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อการแก่ของผล ถ้าอุณหภูมิสูงทำให้ผลแก่เร็ว แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำทำให้ผลแก่ช้าลง อุณหภูมิกลางวันค่อนข้างอบอุ่นและอุณหภูมิกลางคืนเย็นเหมาะกับผล ขณะติดอยู่บนต้น (กนกมณฑล, 2526)

2. ความชื้นสัมพัทธ์ เกี่ยวข้องกับการคายน้ำของพืช ในขณะที่บรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงทำให้ผิวของพืชเต่ง โดยเฉพาะเวลาเช้าตรู่บรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก หากเก็บเกี่ยวผลตอนเช้าผิวอาจเกิดความเสียหายง่าย ควรเก็บเกี่ยวในตอนสายหรือตอนบ่าย เพราะได้ผลที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีการสะสมน้ำตาลมากและมีสีสวย (จิรา, 2539)

3. การให้น้ำและปุ๋ย การให้น้ำมากทำให้มีน้ำหนักผลมาก มีผลเสียทำให้ผลนิ่ม อายุผลสั้น เกิดการช้ำได้ง่ายไม่เป็นที่ต้องการของตลาด และนอกจากนี้ยังทำให้ผลสีซีด การให้ปุ๋ยไนโตรเจนจำนวนมากก็เป็นผลเสียต่อคุณภาพที่ของผล คือ ทำให้เนื้อผลนิ่ม ฉ่ำน้ำไม่ทนทานต่อการขนส่ง (Moore and Sistruck, 1981; ชูพงษ์, 2531)

การสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี

ความเสียหายของผลสตรอเบอรีมักเกิดจากสาเหตุหลายประการ นิธิยาและดนัย (2533) กล่าวถึงสาเหตุของความเสียหายไว้ดังนี้

1. การชอกช้ำ ผลสตรอเบอรีอ่อนแอต่อการชอกช้ำ เพราะมีผิวบางและเนื้อนิ่มซึ่งส่งผลให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถแพร่ขยายไปยังผลข้างเคียงด้วย การชอกช้ำมักเป็นผลมาจากการเก็บเกี่ยวที่ไม่ระมัดระวัง ทำการบรรจุหีบห่อแน่นหรือหลวมเกินไป การขนส่งและการเคลื่อนย้ายไม่ระมัดระวัง

2. การเหี่ยวของผล เกิดจากการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้ทั้งผลและกลีบเลี้ยงเหี่ยวแห้งไปในที่สุด อาการเช่นนี้มีผลต่อลักษณะปรากฏของผล

3. การสุกงอม เนื่องจากผลสตรอเบอรีเป็นผลไม้ที่มีกระบวนการเมตาโบลิซึมสูงจึงมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วจากสุกเป็นงอม ซึ่งเป็นระยะเสื่อมสลาย (senescence)

สาเหตุความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญอีกประการหนึ่งของผลสตรอเบอรีคือ การเข้าทำลายของของโรค ในระหว่างช่วงผลสุกขณะก่อนการเก็บเกี่ยว และแสดงอาการเมื่อผลแก่จัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเฉพาะโรคราสีเทา (gray mold rot) เป็นโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Botrytis cinerea Pres.* ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดโรคผลเน่าในช่วงฤดูกาลผลิตและช่วงหลังการเก็บเกี่ยวสตรอเบอรี โดยเชื้อรานี้ทำให้เกิดรอยสีเทาบริเวณผิวของผลในช่วงที่มีความชื้นสูง ความชื้นจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการระบาดของโรค ความชื้นที่มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ อย่างไรก็ตามในสภาพดังกล่าวนี้ต้องใช้เวลาประมาณ 28 ชั่วโมง สำหรับการพัฒนาของเชื้อนี้ (Mass, 1992)

การเก็บรักษา

สตรอเบอรีเป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย จึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 5-7 วัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยาและดนัย, 2533) ชูพงษ์ (2531) กล่าวว่า ช่วงของอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการเก็บผลสตรอเบอรีควรอยู่ระหว่าง 0.5 - 1.1 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 85-90 เปอร์เซ็นต์ ผลสตรอเบอรีเก็บรักษาไว้ได้นาน 4 วัน ที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส มีสภาพดีกว่าผลที่เก็บไว้นาน 2 วัน ที่อุณหภูมิ 21.1 องศาเซลเซียส คือ มีการสูญเสียน้ำหนักผลและมีการเน่าของผลน้อยกว่า และมีลักษณะดีกว่า การเก็บรักษาผลสตรอเบอรีควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเสียก่อน อุณหภูมิจุดเยือกแข็งของผลสตรอเบอรีอยู่ที่ - 0.8 องศาเซลเซียส การสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา คือ การสูญเสียความสดของสีแดงผลเหี่ยว เน่า และรสชาติเปลี่ยนไป อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ประมาณ 9 เท่า แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่ออายุการวางขายของผลสตรอเบอรีมาก การเก็บรักษาในครัวเรือนควรเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น โดยห่อด้วยพลาสติกและควรบริโภคโดยเร็ว ไม่ควรเก็บรักษาไว้นานเกินไป (นิธิยาและดนัย, 2533) หลังจากที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี เช่นการเก็บรักษาสตรอเบอรีได้นาน 8 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แต่เก็บรักษาได้เพียง 1 วัน ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส (Shoemaker, 1983)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ความดันบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผล

การใช้ความดันต่ำในการเก็บรักษาผลิตผลหรือไฮโปบาริค (hypobaric) ช่วยลดการสะสมของสารระเหยได้ การลดความดันของออกซิเจน ให้ผลกระทบเช่นเดียวกันกับการใช้ออกซิเจนในปริมาณต่ำ และการใช้ความดันต่ำนี้สามารถเก็บรักษาผลิตผลไว้ได้ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการควบคุมบรรยากาศ แต่การลดความดันต้องอยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย ถ้าความดันต่ำเกินไปอาจทำให้ผลิตผลเสียหายเพราะเกิดการช้ำ แตก หรือเกิดเสียหาย เพราะออกซิเจนต่ำเกินไป แต่ถ้าความดันลดลงมาไม่พอเพียงจะทำให้ประโยชน์จากการใช้ความดันต่ำมีไม่เต็มที่ (จริงแท้, 2537) ในการเก็บรักษาดังกล่าวช่วยชะลอการสุกแก่ของผลไม้ประเภท climacteric บางชนิด ได้แก่ อะโวกาโด กล้วย มะเขือเทศ และมะม่วง (Spalding and Reeder, 1975)

Romanazzi *et al.*(a). (2001) ; Romanazzi *et al.*(b). (2003) รายงานว่า sweet cherries ที่ได้รับความดันบรรยากาศที่ 0.50 $kg.cm^{-2}$ นาน 4 ชม. เกิดโรคราสีเทา โรคจุดสีน้ำตาล และโรคผลเน่าน้อยที่สุด ขณะที่ได้รับความดันบรรยากาศนาน 1 ชม. ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมเช่นเดียวกันในผลสตรอเบอรีสามารถลดอัตราการเกิดโรคราสีเทาและโรคผลเน่าที่เกิดจากเชื้อ Rhizopus *sp.* ได้ดีที่สุด เมื่อให้ความดันบรรยากาศที่ 0.25 และ 0.50 $kg.cm^{-2}$ ตามลำดับ และในองุ่นรับประทานสดได้รับความดันบรรยากาศที่ 0.25 $kg.cm^{-2}$ เป็นเวลา 24 ชม. ลดอัตราการเกิดโรคราสีเทาได้ และในปีต่อมาได้ทดลองใช้ chitosan 1 % 7 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยวผล sweet cherries ร่วมกับการเก็บรักษาผลในสภาพความดันบรรยากาศ 0.50 $kg.cm^{-2}$ ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผลดีที่สุด และยังพบว่าการให้สภาพบรรยากาศต่ำหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผล sweet cherries มีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่าการให้ chitosan เพียงอย่างเดียว ในขณะเดียวกัน Kajiura (1975) พบว่าผลท้อพันธุ์ Okubo ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ควบคุมสภาพบรรยากาศ (3% CO_2+ 3% O_2 และ 0% CO_2+3% O_2) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ และให้ความดันบรรยากาศต่ำที่ 0.14 และ 0.86 $kg.cm^{-2}$ จากนั้นจึงนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (เพื่อให้เกิดการสุก) พบว่า ผลท้อที่เก็บรักษาที่มีความดันบรรยากาศ 0.14 $kg.cm^{-2}$ มีอัตราการสุกช้ากว่าผล ที่เก็บรักษาที่ความดันบรรยากาศปกติ แต่ไม่มีผลต่อการเกิด browning และผิวผลผิดปกติ Streif and Bangerth (1976) ทดลองเก็บผลมะเขือเทศในสภาพความดันบรรยากาศต่ำ โดยปล่อยแก๊สออกซิเจนและเอทธิลีนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า การเก็บรักษาในสภาพที่มีความดันของแก๊สออกซิเจนต่ำ ทำให้ปริมาณเอทธิลีนน้อยลงและทำให้กระบวนการสุกเกิดช้าลง นอกจากนี้ Li and Zhang (2006) ได้ศึกษาผลของการเก็บรักษาในสภาพ hypobaric ต่อลักษณะทางชีวภาพของหน่อไม้ฝรั่งเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในห้องเย็นและที่อุณหภูมิห้อง พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษาภายใต้สภาพ hypobaric สามารถชะลออัตราการหายใจ รักษาปริมาณคลอโรฟิลล์, วิตามินซี, ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้ให้ผลที่ชัดเจนในการปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัส, ชะลอการเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยว และยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 50 วัน ในขณะที่หน่อไม้ฝรั่งที่เก็บรักษาในห้องเย็นและที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บรักษาเพียง 25 และ 6 วัน ตามลำดับ จากการศึกษาการให้ความดันบรรยากาศสูง (hyperbaric) ที่ 2 $kg.cm^{-2}$ โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียวแก่เห็ดฟางนาน 0 (control), 30, 60 และ 90 นาที พบว่า ดอกเห็ดฟางที่ได้รับความดันสูงนาน 90 นาที เกิดสีคล้ำช้าที่สุด มีความแน่นเนื้อและอายุการเก็บรักษามากที่สุด (ณัฐพงษ์, 2546)

ผลการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการเก็บรักษาผลิตผล

การเก็บรักษาพืชผักผลไม้ โดยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับที่สูงกว่าที่มีในธรรมชาติหรือมีออกซิเจนน้อยกว่าอากาศปกติ อาจทำให้พืชผักผลไม้บางประเภทมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นกว่าทีเก็บรักษาในอากาศธรรมดา การสุกในห้องเก็บรักษาอาจยืดออกไปอีกนาน และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ถูกระงับ (กนกมณฑล, 2526) Harvey and Harris (1973) ทดลองเก็บรักษาผลสตรอเบอรี โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 30 % นาน 5 วัน เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นย้ายไปเก็บในบรรยากาศปกติตลอด ซึ่งเกิดผลเน่าถึง 64.4 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการทดลองของ Wang (1977) รายงานว่า การใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับความเข้นข้น 30 เปอร์เซ็นต์ กับพริกหวานเป็นเวลา 6 วันหลังเก็บเกี่ยว แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการสุก การอ่อนนุ่มของผล และการผลิตเอทธิลีนช้าลง สารสีแดงและคลอโรฟิลล์มีการเปลี่ยนแปลงช้าลงเช่นกัน Ceponis and Cappellini (1985) รายงานว่า การลดการเน่าเสียของบลูเบอรี โดยการเก็บผลบลูเบอรีไว้ในสภาพที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นย้ายไปเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติที่ 21 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถยับยั้งการเน่าเสียของบลูเบอรีได้ นอกจากนั้น Ke *et al.* (1990) ยังพบว่า การใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ในการรักษาคุณภาพของผลสาลี่ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถรักษาความสดของผลสาลี่ได้นานเกินกว่า 10 วัน ซึ่งในสภาพปกติเก็บรักษาได้เพียง 4-6 วัน เท่านั้น Prusky *et al.* (1985) รายงานว่า การเพิ่มระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 9 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลอะโวกาโดเกิดอาการโรคแอนแทรกโนสช้าลง Wells and Uoda (1970) ได้ทดลองพบว่าการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ 4, 8, 16 และ 32 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

งอกของสปอร์ของเชื้อรา *Rhizopus stolonifer*, *Botrytis cinerea* และ *Cladosporium herbarum* โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 16 เปอร์เซ็นต์ ลดการงอกของสปอร์เชื้อราได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับเชื้อ *Alternaria tenuis* และ *Fusarium roseum* การงอกของสปอร์ถูกชะลอเมื่อได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 12.8 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การพัฒนาของเชื้อโรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลแอปเปิลหลายชนิดเกิดขึ้นช้ากว่าปกติมาก Couey and Wells (1970) รายงานว่า แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นสูง 10 -20 เปอร์เซ็นต์ จากสภาพบรรยากาศ เมื่อใช้เก็บรักษาผลสตรอเบอรีพบว่า ช่วยลดการสูญเสียจากเชื้อ *Botrytis cinerea* และ *Rhizopus stolonjfer* โดยที่ผลผลิตยังมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคภายหลังการเก็บเกี่ยว ในการทดลองของ Splading and Reeder (1975) รายงานว่าการเก็บรักษาผลอะโวกาโดภายใต้สภาพที่ควบคุมบรรยากาศโดยใช้ออกซิเจน 2 เปอร์เซ็นต์ กับคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันการพัฒนาของโรคแอนแทรกโนสได้นาน 3 – 4 สัปดาห์ นอกจากนี้ Somock (1981) รายงานว่า การเพิ่มระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น ช่วยชะลอการสุก หรือเพิ่มความต้านทานของผลผลิตต่อโรคหลังการเก็บเกี่ยวในอากาศปกติ และมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Botrytis cinerea* และ *Monilia fructicola* ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวของสตรอเบอรีและเชอรีที่สำคัญ จะเห็นได้ว่าการใช้สภาพควบคุมบรรยากาศหรือการเพิ่มระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการชะลอการเน่าเสียระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 2)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 ผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการเก็บรักษาผลิตผลสดบางชนิด

ชนิดของพืช	ระดับ CO_2 ในสภาพอากาศปกติ	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
1. เกรฟฟรุตท์	CO_2 20 - 40 % เก็บรักษาที่ 21 ^{0}C นาน 3-7 วัน และนำไปเก็บรักษาที่ 4.5 ^{0}C นาน 8 -12 สัปดาห์	ลดอาการ stem-end rind breakdown	Hatton and Cubbedge, 1977
2. มะม่วง พันธุ์น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน ทองดำและแรด	CO_2 5 -10 % เก็บรักษาที่ 12 –13 ^{0}C	ยืดอายุการเก็บรักษา ชะลอการสุก ลดการเน่าเสียจากโรคแอนแทรกโนส และขั้วผลเน่า	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2531
3. เชอรี่พันธุ์			
Bing cherries	CO_2 10-20 % เก็บรักษาที่ 0 ^{0}C	ลดการเน่าเสียจาก B. *cinerea*, M. *fructicola*	Sommer, 1982
Sweet cherries	CO_2 12-20 % เก็บรักษาที่ 0 ^{0}C	ชะลอการเกิดโรคราสีเทา	
4.แอปเปิลพันธุ์			
Golden delicious	CO_2 20 % เก็บรักษาที่ -1 ^{0}C นาน 10 วัน และนำไปเก็บไว้ที่ CO_2 1 % กับ O_2 2.5 %	ชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อ และปริมาณกรด	Couey and Olsen, 1975
McIntosh	CO_2 10 % เก็บรักษาที่ 20 ^{0}C นาน 2 หรือ 6 วัน และเก็บที่สภาพอากาศปกติที่ 0 ^{0}C นาน 30- 90 วัน	ลดการผลิตเอทธิลีน และชะลอการสุก	Looney, 1975
5. มะเขือเทศ	CO_2 10-20 % เก็บรักษาที่ 20^{0}C นาน 4 วัน แล้วเก็บรักษาที่ 20 ^{0}C นาน 8วัน	ชะลอการสุก ยืดอายุการเก็บรักษา ชะลอการเปลี่ยนสี และลดการเน่าเสียของผล	Buescher, 1979

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved