บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

สตรอเบอรี่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Fragaria* spp. จัดอยู่ในอันดับ Rosales วงศ์ Rosaceae เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก ซึ่งมีอยู่หลายชนิดเกิดกระจัดกระจายกันอยู่ตามป่าในทวีปต่างๆ ทั่วโลก แต่ชนิดที่เป็นพันธุ์ปลูกที่เป็นที่นิยมกันมีเพียง 2 ชนิด ที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาและลูกผสมที่ได้จากสตรอเบอรี่ 2 ชนิดนี้เท่านั้น บรรพบุรุษของพันธุ์ที่ปลูกกันตามสวนในทุกวันนี้ ถือกำเนิดมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1720 โดยได้จากการผสมข้ามตามธรรมชาติ ระหว่างสตรอเบอรี่ของทวีปอเมริกา 2 ชนิดนั้น ที่นำไปปลูกในประเทศฝรั่งเศส ซึ่งจากจุดนี้ก็ได้มีการผสมพันธุ์ ปรับปรุงพันธุ์ คัดเลือกพันธุ์ และคงลักษณะพันธุ์ที่ดีไว้ โดยการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศด้วยไหล ตั้งแต่ในช่วงแรกๆ ของการปลูกสตรอเบอรี่ในทวีปยุโรปเป็นต้นมาและได้มีการปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ให้มีลักษณะต่างๆ ที่ต้องการ จนในปัจจุบันมีสตรอเบอรี่พันธุ์ปลูกเป็นจำนวนมาก (เกศิณี, 2546 ; ณรงค์ชัย, 2543)

จากการที่สตรอเบอรี่มีการแพร่กระจัดกระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก จึงอาจแบ่งกลุ่มของสตรอเบอรี่ตามจำนวนโครโมโซม ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่ม Diploids (2n=14) กลุ่ม Tetraploids (2n = 28) กลุ่ม Hexaploids (2n = 42) และ กลุ่ม Octaploids (2n = 56) สตรอเบอรี่ชนิดที่ปลูกกันเป็นการค้าในปัจจุบัน แทบทุกพันธุ์จะเป็นชนิด *Fragaria* x *ananassa* Duch. ซึ่งให้ผลที่มีขนาดใหญ่ มีคุณภาพผลและปริมาณผลผลิตดีเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Octaploids (2n = 56) และเป็นลูกผสมของ *Fragaria virginian* × *Fragaria chiloensis* (ชูพงษ์, 2531)

2.1 สายพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกในประเทศไทย

สำหรับพันธุ์สตรอเบอรี่ที่มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทยนั้น ได้มีการนำสตรอเบอรี่พันธุ์ต่างๆ จากต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร ญี่ปุ่น เป็นต้น เข้ามาทดลองปลูก พันธุ์ที่นำเข้ามานั้นได้แก่ พันธุ์ Cambridge Favorite, Empire, Fortune, Fukuba, Gem, Hoka, Midway, Reiko, Sequoia, Tioga และ Victoria พบว่า พันธุ์ที่มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทยมีอยู่ 3 พันธุ์คือ พันธุ์ 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 สามารถปรับตัวได้ดีในพื้นที่สูง และได้ตั้งชื่อพันธุ์ Toyonoka เป็นพันธุ์พระราชทาน 70 และพันธุ์ B5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นพันธุ์พระราชทาน 50 ปัจจุบันพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 16, 20, 50 และ 70 (ณรงค์ชัย, 2542)

2.2 พันธุ์พระราชทาน 72

สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 72 เป็นสายพันธุ์ที่มูลนิธิโครงการหลวงได้นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น มีชื่อว่า Tochiotome โดยทำการปลูกทดสอบครั้งแรกในแปลงทดลองของสถานีวิจัยดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2542 จนได้ผลการทดสอบเป็นที่แน่ใจแล้วว่า สตรอเบอรี่พันธุ์นี้สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดี มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดี มีความทนทานต่อโรคและแมลงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในลักษณะรับประทานผลสด จึงเริ่มทำการส่งเสริมให้แก่เกษตรกรในเขตพื้นที่รับผิดชอบปลูกเป็นการค้าตั้งแต่ฤดูกาลผลิตปี พ.ศ. 2545-2546 เป็นต้นมา

สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 72 มีขนาดผลค่อนข้างใหญ่ถึงใหญ่มาก โดยพบว่าผลมีน้ำหนักเฉลี่ย 14 กรัมต่อผล มีความแข็งหรือความแน่นเนื้อมากกว่าผลของพันธุ์พระราชทาน 70 แต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) น้อยกว่าเล็กน้อย คือ พันธุ์พระราชทาน 70 และ 72 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ยที่ 9.6 และ 9.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่ามีความสมดุลพอดีระหว่างรสเปรี้ยวและรสหวาน จึงทำให้มีรสชาติดีเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค มีกลิ่นหอมเมื่อเริ่มสุกถึงสุกเต็มที่ เนื้อผลภายในมีสีขาว ส่วนผิวผลเมื่อสุกจะมีสีแดงถึงแดงจัด มีความเงามันที่ผิวผล ทำให้เป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคเมื่อได้พบเห็น และยังมีความทนทานมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ที่ใช้ส่งส่งเสริมปลูกอยู่ในปัจจุบัน (ณรงค์ชัย, 2546)

2.3 คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลสตรอเบอรี่

(1) ขนาดผล ผลสตรอเบอรี่ที่มีขนาดโตขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่และสุก ซึ่งการเพิ่มขนาดของผลแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะก่อนเกิดการปฏิสนธิ (fertilization) เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นพืชผสมตัวเองคือเกิดการผสมเกสรก่อนดอกบาน จึงพบว่าการแบ่งเซลล์เกิดเพียงเล็กน้อย ระยะที่ 2 ภายหลังจากการเกิดปฏิสนธิ มีการแบ่งเซลล์ประมาณ 15- 20 เปอร์เซ็นต์ ระยะที่ 3 ระยะภายหลังจากดอกบาน จะเกิดการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนเซลล์ประมาณ 7 วัน ภายหลังจากกลีบดอกร่วง จากนั้นจะเพิ่มปริมาตรของเซลล์มีการขยายขนาดเซลล์ของเนื้อผลประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลเพิ่มขนาดด้านกว้างอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ ส่วนของแกนกลางและเนื้อผลจะหยุดพัฒนา แต่ยังสามารถเพิ่มขนาดผลได้อีกเล็กน้อย เนื่องจากเซลล์ชั้นนอกมีผนังเซลล์ที่บางกว่าแกนกลางผลและสามารถเพิ่มขนาดได้เร็วเป็น 2 เท่าของแกนกลางผล (Avigdori-Avidov, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ความแน่นเนื้อ เมื่อผลมีขนาดโตขึ้นจะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีผนังเซลล์แข็ง แต่มีสตรอเบอรี่บางพันธุ์ที่มีลักษณะเนื้อโปร่ง มีช่องว่างตรงกลางผล จะทำให้เนื้อนิ่มและผลที่มีขนาดใหญ่มักจะมีเนื้อนิ่มกว่าผลสตรอเบอรี่ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมีน้ำในผลมาก ผลสตรอเบอรี่ที่มีอายุมากขึ้นจะมีเนื้อนิ่มมากขึ้น (Puchaski *et al*., 1994) การที่ผลสตรอเบอรี่มีความแน่นเนื้อน้อยหรือมีผลนิ่มจะทำให้ผิวมีความต้านทานต่อความเสียหายทางกลลดลง ชอกช้ำได้ง่าย ดังนั้นผลสตรอเบอรี่ที่ดีต้องมีขนาดใหญ่และเนื้อแน่น (ดนัย, 2538) ความแน่นเนื้อของผลสตรอเบอรี่จะแปรผันตามพันธุ์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ ระยะแก่ ขนาดของผลและปริมาณน้ำในผล ต้นสตรอเบอรี่ที่มีการเจริญเติบโตทางใบมากจะทำให้ผลนิ่มเละ ผลจะนิ่มมากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น (Moore and Sistrunk, 1981)

(3) ไขมัน ผิวนอกของสตรอเบอรี่มีแวกซ์ (wax) เคลือบอยู่ โดยเฉพาะที่ผิวของผลสุกทำให้ผิวมีลักษณะมันวาว ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ลักษณะผิวของสตรอเบอรี่จะผันแปรตามพันธุ์ (ดนัย, 2538)

(4) โปรตีน ไม่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพโดยตรงของผลไม้สุก แต่โปรตีนจะเพิ่มขึ้นขณะที่ผลไม้สุก ในกระบวนการสุกของผลไม้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ใหม่ๆ เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทธิลีน การหายใจ การเปลี่ยนสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาล (สายชล, 2528) ในช่วงระยะการเจริญเติบโตของผลสตรอเบอรี่ระดับโปรตีนจะเพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเพิ่มปริมาตรของเซลล์ 10 เท่า (ดนัย, 2538)

(5) สารสี เมื่อผลสตรอเบอรี่เริ่มแก่สีผิวของผลสตรอเบอรี่จะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีขาว ซึ่งเป็นผลจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างในเซลล์ กระบวนการออกซิเดชั่นและเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) และเมื่อผลเริ่มสุกจะเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือสีชมพูและแดงตามลำดับ นั่นคือหลังการสูญเสียคลอโรฟิลล์แล้วมีการสังเคราะห์สารสีใหม่ คือ แอนโทไซยานิน ซึ่งปืนสารสีม่วงแดงและมักอยู่ตามเซลล์ชั้นนอกของผล ซึ่งทำให้เห็นว่าผลสตรอเบอรี่สุกมีสีแดง และในระยะนี้จะมีปริมาณน้ำตาลมากที่สุดและแสดงกลิ่นเฉพาะของพันธุ์ด้วย ผลสตรอเบอรี่ที่เริ่มเปลี่ยนสีจากระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นสีแดงทั้งผลจะมีขนาดเพิ่มขึ้นประมาณ 25- 27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะผันแปรไปตามพันธุ์ (ดนัย, 2538)

(6) น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากน้ำ มีทั้งที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น น้ำตาลชนิดต่างๆ และพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น โพลีแซกคาร์ไรด์ต่างๆ ผักและผลไม้จะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด ผลไม้ส่วนใหญ่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลไม้สุก ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำตาล คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปของโพลีแซกคาไรด์ ได้แก่ แป้ง ซึ่งเป็นส่วนที่พืชสะสมไว้และมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทินซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ นอกจากนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำตาลซึ่งมีทั้งที่เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไดแซกคาไรด์ คือน้ำตาลซูโครส และโมโนแซกคาไรด์ คือ น้ำตาล กลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งจะอยู่ในส่วนของเหลวในเซลล์ สตรอเบอรี่มีปริมาณกลูโคส 2.6 เปอร์เซ็นต์ ฟรุกโตส 2.3 เปอร์เซ็นต์ ซูโครส 1.3 เปอร์เซ็นต์ (ดนัย, 2540)

(7) กรดอินทรีย์ กรดจะถูกสร้างจากกระบวนการหายใจภายในเซลล์โดยการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ในผักและผลไม้มีคุณสมบัติเป็นกรด เพราะมีกลุ่มคาร์บอกซิลหรือ COOH กรดอินทรีย์เหล่านี้อาจจะละลายอยู่ในรูปที่เป็นอิสระหรือรวมตัวกับสารโมเลกุลอื่นเกิดเป็นเกลือ เอสเตอร์หรือไกลโคไซด์ก็ได้ ผลไม้บางชนิดมีปริมาณกรดอินทรีย์อยู่สูงมากจนเกิดเป็นผลึก เช่น อุ่น มีผลึกของโพแทสเซียมไบทาร์เทรต กรดอินทรีย์ที่อยู่ในผักและผลไม้มีผลต่อรสชาติของผักและผลไม้โดยตรง และยังเป็นแหล่งที่สำคัญของสารเริ่มต้นในกระบวนการหายใจด้วย (ดนัย, 2540)

กรดอินทรีย์มักจะถูกเก็บสะสมอยู่ในแวคคิวโอลในปริมาณมาก และมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติ โดยทั่วไปในขณะที่ผลไม้ยังอ่อนอยู่มีปริมาณกรดสูงทำให้รสชาติไม่อร่อยและไม่เหมาะสมต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรค (จิรา, 2531) ปริมาณกรดอินทรีย์จะลดลงระหว่างที่ผลไม้สุก เพราะถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจหรือถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (สายชล, 2529) กรดที่พบมากในสตรอเบอรี่ คือ กรดมาลิก และกรดซิตริก (Inaba and Nakamura, 1979)

(8) วิตามินซี วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกในผักและผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduce ascorbic acid จะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียรและถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid (DHA) และอาจถูกออกซิไดซ์ไปเป็น 2, 3-deketoglulonic ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี วิตามินซีในผักและผลไม้ส่วนใหญ่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูป reduce ascorbic acid ปริมาณวิตามินซีในรูปต่างๆ นี้ยังขึ้นอยู่กับอายุของผักและผลไม้เมื่อเก็บเกี่ยวด้วย (จริงแท้, 2544)

วิตามินซีเกิดการสูญเสียได้ง่ายที่สุดเมื่อผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวแล้วอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง การเกิดบาดแผล รอยช้ำและการเหี่ยว เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารชนิด strong reducing ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อถูกแสง ก๊าซ และอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง นอกจากนั้นวิตามินซียังอาจสูญเสียได้จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase, cytochrome oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลิตผล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ascorbic acid oxidase จะกระตุ้นปฏิกิริยาโดยตรงระหว่าง ascorbic acid และโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ เอนไซม์เหล่านี้พบมากเมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้สดเกิดการเสียหายเนื่องจากการตัดแต่ง หั่น หรือเกิดรอยช้ำ ในช่วงแรกผลสตรอเบอรี่ที่ตัดขั้วออกแล้วจะสูญเสียวิตามินซีประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ และสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็น 85-95 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 2 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นการเก็บรักษาและการขนส่งสตรอเบอรี่ภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ (นิธิยา, 2539 ; จริงแท้, 2544 ; Mapson, 1970 ; Burton, 1982)

(9) สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) สารประกอบที่ให้กลิ่น ได้แก่ สารประเภทเอสเทอร์ แลกโตน แอลกอฮอล์ กรด อัลดีไฮด์ คีโตน อะซิทิล และไฮโดรคาร์บอน (กนกมณฑล, 2526) สารกลุ่มนี้เป็นสารที่ให้กลิ่นเฉพาะของสตรอเบอรี่สุก เช่น สตรอเบอรี่พันธุ์ Solweta, Puket Beauty, Elista, Bromba, Senga Jurica และ Marton Down ต่างก็มีกลิ่นไม่เหมือนกัน (Jankousky *et al*., 1983) สารเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 2 ชั่วโมง เมื่อมีสภาพความเข้มแสงสูงและอุณหภูมิต่ำเกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ระเหยได้ง่าย ในสตรอเบอรี่สุกพบสารให้กลิ่นคงตัวเพียง 24 ชนิด ที่สำคัญ เช่น 2,5 dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone, linealool, geraniol, β-ionine, β-phenylethanol และ granil acetate (ดนัย, 2538 ; Avidori-Avidov, 1986) ปริมาณสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะความแก่ของผล (Perez *et al*., 1997) สตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวระยะสีแดงจะผลิตสารให้กลิ่นได้มากกว่าสีชมพูขาวและชมพู (Miszczak *et al*., 1995)

2.4 การเก็บเกี่ยว

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่ไม่มีเปลือกห่อหุ้มจึงชอกช้ำเสียหายง่าย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่จึงต้องทำด้วยความระมัดระวังมิให้เกิดความชอกช้ำกับผล การเก็บเกี่ยวในประเทศไทยเป็นการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานมนุษย์ ซึ่งสามารถพิจารณาเลือกเก็บเฉพาะผลที่มีความแก่เหมาะสมได้ แต่ในต่างประเทศ เช่น ประเทสสหรัฐอเมริกามีค่าแรงงานสูงจึงมีการใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่เพื่อนำไปใช้ในการแปรรูป พันธุ์ที่สามารถใช้เครื่องจักรกลเก็บเกี่ยวผลนั้นจะต้องเป็นพันธุ์ที่แก่และสุกพร้อมๆ กัน (ดนัย, 2538)

ควรเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่เมื่อผลแก่จัด เพราะหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คือ อัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวถึงเสื่อมสลาย รสชาติคงที่ ฉะนั้นถ้าเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ที่ยังไม่แก่จัดเต็มที่จะได้ผลที่มีรสชาติที่เหมือนเดิมตลอดไป (จิรา, 2531) ดัชนีที่ใช้ในการตัดสินความแก่ของผลสตรอเบอรี่ คือ สีของผล ถ้าเก็บเกี่ยวในระยะที่ยังไม่แก่จะทำให้ได้คุณภาพของผลไม่ดี (Dana, 1981) แต่ผลสตรอเบอรี่สามารถพัฒนาสีแดงเพิ่มขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่ผลยังไม่แดงทั้งผลจึงสามารถแดงได้พอดีเมื่อถึงตลาดปลายทาง การเก็บเกี่ยวสตรอเบอรี่ที่ผิวสีแดง 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดการช้ำและมีเชื้อราเข้าทำลายระหว่างการขนส่งได้ง่าย ในประเทศออสเตรเลียแนะนำให้เก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่เมื่อผิวมีสีแดงประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ของทั้งผล (ชูพงษ์, 2531) ส่วนในรัฐแคลิฟอร์เนียร์ซึ่งเป็นแหล่งผลิตสตรอเบอรี่ที่สำคัญของโลก กำหนดว่า ผลสตรอเบอรี่ที่มีผิวเป็นสีชมพูหรือสีแดงประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ คือ ผลสตรอเบอรี่ที่แก่พร้อมจะเก็บเกี่ยวได้ (นิธิยาและดนัย, 2533) สำหรับผลสตรอเบอรี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พันธุ์ Tioga นั้นโครงการหลวง กำหนดให้เก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ที่มีสีชมพูหรือแดงอย่างน้อย 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งผล

2.5 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

ผักและผลไม้เมื่อตัดออกจากต้นยังคงเป็นสิ่งที่มีชีวิตและมีกระบวนการทางชีวเคมีเกิดมากมาย ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตต่อไป และผลิตผลจะต้องมีชีวิตอยู่ต่อไปในสภาพปกติจนถึงมือผู้บริโภค พลังงานที่เซลล์พืชจำเป็นต้องใช้จะได้มาจากสารอาหารที่พืชสะสมไว้ในขณะที่ยังติดอยู่กับต้น ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารอาหารให้เป็นพลังงานโดยอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เร่งด้วยเอนไซม์ คือ กระบวนการหายใจ ผลจากกระบวนการหายใจจะมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งปล่อยออกมาด้วย เรียกว่า vital heat ซึ่งปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจะแตกต่างกันไปตามชนิด พันธุ์ ระยะความแก่ ระยะการสุก การมีบาดแผล อุณหภูมิ และความเครียดต่างๆ ค่าความร้อนจาก vital heat นี้จะใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาถึงการจัดการด้านอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลด้วย ความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากแปลงปลูก เรียกว่า field heat เมื่อขนย้ายผักหรือผลไม้มายังโรงคัดบรรจุและกองรวมกันไว้ ถ้าอากาศผ่านเข้าออกหรือถ่ายเทไม่สะดวกจะทำให้ความร้อนที่คายออกมาจากผักหรือผลไม้ รวมกับความร้อนที่ติดมากับผลผลิตจากแปลงถูกสะสมอยู่ภายในกองผลิตผล (จริงแท้, 2544)

การลดอุณหภูมิออกจากผักและผลไม้ควรทำทันทีภายหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งอาจจะก่อนหรือหลังการบรรจุใส่ในภาชนะบรรจุแล้วก็ได้ แต่การลดอุณหภูมิก่อนการบรรจุลงในภาชนะนั้นจะใช้เวลาน้อยกว่า เพราะความเย็นสามารถแทรกซึมเข้าไปถึงส่วนกลางของผลิตผลได้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือ อาจจะมีผลิตผลที่เน่าเสียหรือด้อยคุณภาพปะปนอยู่ด้วย อาจทำให้ต้นทุนของการลดอุณหภูมิสูงขึ้น และจะทำให้ผลิตผลได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นอีกในระหว่างรอการบรรจุใส่ในภาชนะบรรจุ ซึ่งปัจจุบันแก้ไขได้โดยการลดอุณหภูมิ 2 ครั้ง ครั้งแรกลดอุณหภูมิลงถึงประมาณ 10 องศาเซลเซียส แล้วทำการบรรจุ หลังการบรรจุใส่ภาชนะเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการลดอุณหภูมิให้เย็นลงอีกครั้งหนึ่งจนถึงอุณหภูมิตามที่ต้องการ (ดนัยและนิธิยา, 2548)

ประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิ ซึ่งหมายถึง การพิจารณาถึงปริมาณของผลิตผลซึ่งได้รับการลดอุณหภูมิต่อหน่วยเวลา เมื่อคิดเป็นสัดส่วนกับค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้เพื่อการลดอุณหภูมินั้นๆ ค่าใช้จ่ายในการลดอุณหภูมินั้นต้องคิดเป็นค่าลงทุนด้วย เช่น เครื่องมือ สถานที่ อุปกรณ์ ค่าแรงงาน ค่าพลังงาน ค่าดำเนินการ และค่าบำรุงรักษา จึงต้องมีการวางแผนการทำงานอย่างดีเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูง

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการลดอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดอุณหภูมิให้แก่ผลิตผล มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพและระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ คือ

1. อุณหภูมิเริ่มต้นของผักและผลไม้
2. อุณหภูมิของตัวกลางที่ใช้
3. ความสามารถในการพาความร้อนของตัวกลาง
4. ความสามารถในการเข้าถึงระหว่างผลไม้กับตัวกลาง
5. ขนาดและรูปร่างของผลไม้ ซึ่งมีผลต่ออัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรหรือน้ำหนัก
6. ความร้อนจำเพาะ ความสามารถในการนำความร้อน (thermal conductivity) และการถ่ายเทความร้อนระหว่างผลไม้กับตัวกลาง ความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำเสมอ
7. ปริมาตรและความเร็วของตัวกลางที่ไหลผ่านผักหรือผลไม้
8. ขนาดและประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นที่ใช้

(Boyette *et al.,* 2005)

2.7 วิธีการลดอุณหภูมิ

2.7.1 การลดอุณหภูมิด้วยอากาศเย็น (Air Cooling หรือ Room Cooling) เป็นวิธีการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้โดยนำไปไว้ในห้องเย็นธรรมดาที่มีอุณหภูมิต่ำประมาณ 3 องศาเซลเซียส ภายในห้องเย็นควรมีการหมุนเวียนอากาศดี (ประมาณ 200 - 400 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) มีเครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพ มีเพดานห้องต่ำ และถ้าอากาศเย็นถูกปล่อยลงมาจากเพดานห้องจะให้ผลดี การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายน้อย ออกแบบง่าย แต่ต้องใช้พื้นที่มากและวิธีการนี้ลดอุณหภูมิของผลิตผลได้ช้าที่สุด (ภาพที่ 2.1) (Boyette *et al.,* 2005)

2.7.2 การลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็น (Forced - Air Cooling) เป็นการลดอุณหภูมิโดยการดูดหรือเป่าอากาศเย็นเข้าไปในท่อหรืออุโมงค์ (tunnel) ที่มีลักษณะยาวและแคบ ความดันของอากาศทางด้านหน้าและด้านหลังของภาชนะบรรจุจะแตกต่างกัน ทำให้มีอากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างภาชนะบรรจุและแทรกตัวเข้าไปตามรูด้านข้างของกล่องภาชนะบรรจุ ซึ่งจะพาเอาความร้อนออกไปจากผลิตผล อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ประมาณ 0 - 3 องศาเซลเซียส อากาศหมุนเวียนด้วยความเร็วสูง ในระหว่างการลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็นนั้น อัตราการลดอุณหภูมิขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศผ่านผลิตผล ยิ่งอากาศเย็นไหลผ่านเร็วเท่าไรอัตราการลดอุณหภูมิจะเกิดขึ้นเร็วตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องออกแบบห้องลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้ให้มีเครื่องทำความเย็นและพัดลมที่มีกำลังพอเพียง การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้ทำได้สะดวกและสะอาด เมื่อผลิตผลเย็นลงถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วจะต้องลดหรือหยุดการหมุนเวียนของอากาศ เพราะถ้าไม่หยุดหรือลดการหมุนเวียนของอากาศ

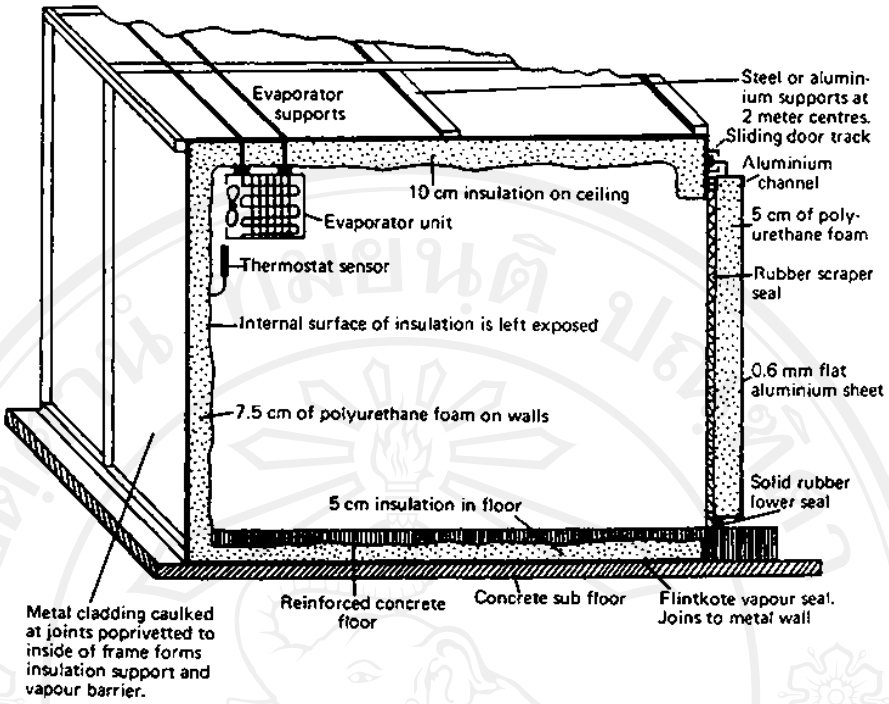
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้ช้าลง จะทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำมากขึ้น โดยปกติการลดอุณหภูมิวิธีนี้จะสูญเสียน้ำหนักประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2.2) (Boyette *et al.,* 2005)

2.7.3 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็น (Hydrocooling) วิธีนี้ลดอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่าวิธีการใช้อากาศเย็นประมาณ 15 เท่า วิธีนี้จะช่วยทำให้ผักมีเนื้อสัมผัสและความสดดีขึ้น สามารถดำเนินการในระดับที่มีผลิตผลจำนวนมากหรือปรับให้เข้ากับจำนวนผลิตผลน้อยๆ ได้ด้วย แต่มีข้อจำกัด คือ ใช้ได้กับผลิตผลที่ทนต่อการเปียกน้ำเท่านั้น และโรคพืชหลายชนิดสามารถพัฒนาได้เมื่อผลิตผลเปียกน้ำ นอกจากนั้นยังเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าวิธีอื่น และอาจจะมีข้อจำกัดกับการใช้ภาชนะบรรจุบางชนิด (ภาพที่ 2.3) การทำ hydrocooling ช่วยลดอุณหภูมิของผลิตผลได้อย่างรวดเร็ว น้ำที่ใช้แช่ควรเติมคลอรีนลงไปด้วยเพื่อทำให้น้ำสะอาดปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ข้อที่ควรระวังในการทำ hydrocooling คือ ต้องควบคุมให้มีการหมุนเวียนของน้ำไหลผ่านผิวของผลิตผลอย่างเพียงพอ และอุณหภูมิของน้ำต้องไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผล น้ำควรมีอุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียส ยกเว้นผลิตผลที่อ่อนแอและเกิดความเสียหายจากน้ำเย็นได้ง่าย ควรเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ใช้ให้สูงขึ้นเล็กน้อย (Boyette *et al.,* 2005)

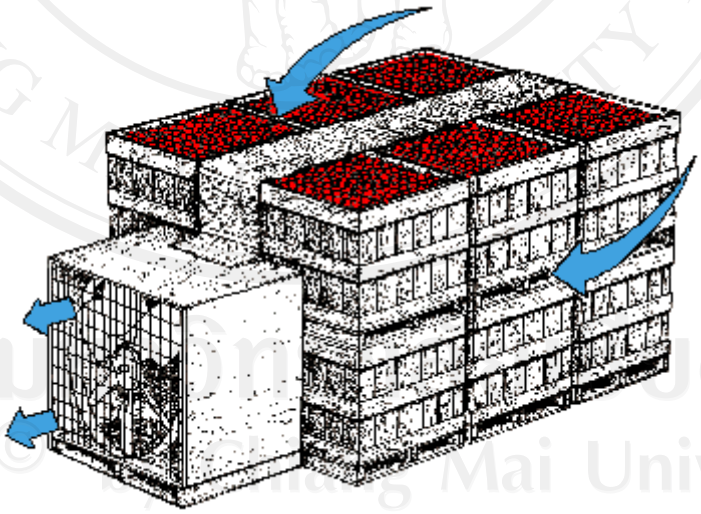
2.7.4 การลดอุณหภูมิด้วยวิธีลดความดัน (Vacuum cooling) การใช้สุญญากาศหรือการลดความดัน เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่รวดเร็วที่สุด นิยมใช้กับผักใบต่างๆ ทำได้โดยการใส่ผลผลิตในภาชนะที่ปิดมิดชิด แล้วดูดอากาศออก โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ จนมีความดันประมาณ 4.5-4.6 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งที่ความดันนี้น้ำจะมีจุดเดือดที่ 0 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำระเหยเป็นไอน้ำออกจากผลิตผลอย่างรวดเร็ว ผลิตผลอาจจะเหี่ยว เนื่องจากสูญเสียน้ำมากถ้าหากใช้เวลานานเกินไป ดังนั้นก่อนนำผลิตผลเข้าลดอุณหภูมิ จะต้องใช้น้ำเย็นฉีดพ่นให้ใบเปียก อัตราการลดลงของอุณหภูมิในผลิตผล ขึ้นอยู่กับอัตราการสูญเสียน้ำของพืช หลังจากลดอุณหภูมิแล้ว จำเป็นต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ และขนส่งโดยรถห้องเย็น (Boyette *et al.,* 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.1 ห้องเย็นที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

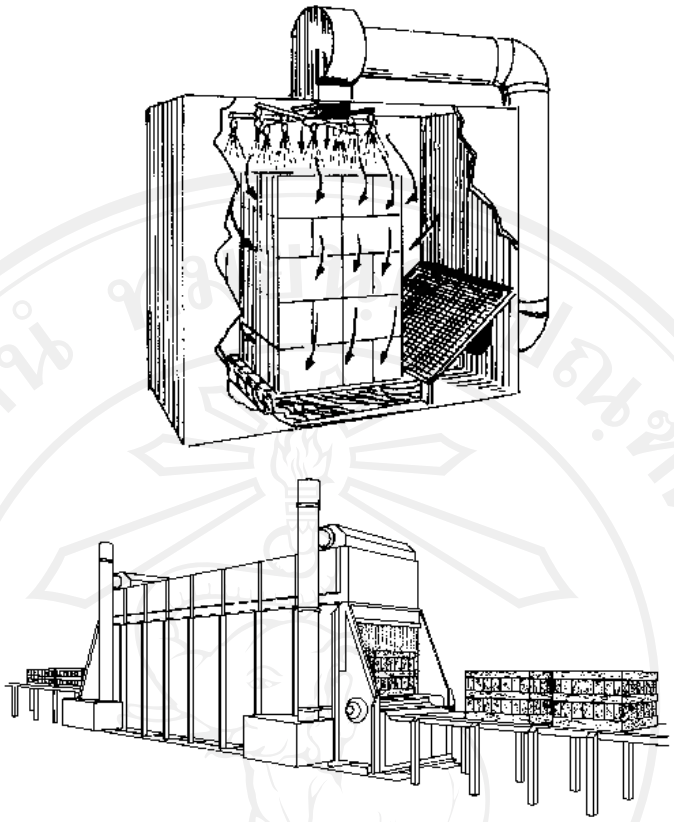
ที่มา : (Boyette *et al.,* 2005)



ภาพที่ 2.2 การลดอุณภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็น

ที่มา : (Boyette *et al.,* 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.3 การลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำเย็น

ที่มา : (Boyette *et al.,* 2005)

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น เนื่องจากมีลักษณะผลนิ่ม ผิวบาง ง่ายต่อการช้ำเสียหายทั้งในขณะที่เก็บเกี่ยวและระหว่างการขนส่ง และยังมีอัตราการหายใจสูงจึงทำให้งอมอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาไว้ที่สภาพอุณหภูมิสูง จึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้นๆ เพียง 5-7 วัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส โดยที่ก่อนการเก็บรักษาควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเสียก่อน (นิธิยาและดนัย, 2533)

ในสหรัฐอเมริกาอุณหภูมิของสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวใหม่ๆ อาจจะสูงถึง 30 องศาเซลเซียส ส่วนในประเทศไทยอุณหภูมิจะยิ่งสูงกว่านี้ ถ้าหากสตรอเบอรี่ถูกวางเอาไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงดังกล่าว ประมาณ 4 ชั่วโมง จะทำให้คุณภาพของผลลดลงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยาและดนัย, 2533)

2.7 การลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดอุณหภูมิของผลิตผลด้วยระบบ forced-air cooling เป็นวิธีการลดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการของความแตกต่างระหว่างความดันด้านนอกและความดันด้านในของภาชนะบรรจุที่เรียงซ้อนกัน เพื่อให้อากาศเย็นไหลผ่านช่องเปิดของภาชนะและสัมผัสกับผลิตผลเพื่อดึงเอาความร้อนออกไป การลดอุณหภูมิวิธีนี้สามารถลดอุณหภูมิได้ในระยะเวลาอันสั้น โดยจะเร็วกว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบห้องเย็นธรรมดา (room air cooling) ถึง 4-10 เท่า เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับความเร็วของลมหรือขนาดของพัดลมดูดอากาศ ชนิดของผลิตผล ขนาดของช่องเปิดของภาชนะบรรจุและความกว้างของแถว (Jennifer, 2006)

วิธีการลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็นสามารถทำได้โดยนำภาชนะที่บรรจุผลิตผลมาจัดเรียงเป็น 2 แถวขนานกันเว้นช่องว่างระหว่างแถว โดยมีพัดลมดูดอากาศอยู่ระหว่างแถวที่ผนังห้องเย็น จัดภาชนะแรกของทั้งสองแถวให้ชิดติดผนังหน้าห้องเย็น พัดลมดูดอากาศจะทำหน้าที่ดูดอากาศออกจากห้องเย็นไปผ่าน coil ทำความเย็น เพื่อลดอุณหภูมิลง แล้วเป่ากลับไปใหม่ทางด้านบนของห้อง ช่องว่างระหว่าง 2 แถวนี้จัดให้มีผ้าพลาสติกหรือผ้าใบคลุมตลอดทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อบังคับให้อากาศผ่านออกจากห้องไปตามช่องเปิดของภาชนะบรรจุผลิตผลทุกภาชนะ ซึ่งการหมุนเวียนอากาศด้วยความเร็วสูง ทำให้อากาศเย็นไหลผ่านและแทรกตัวเข้าไประหว่างภาชนะบรรจุจะทำให้อากาศพาความร้อนออกจากผลิตผลอย่างรวดเร็ว โดยลักษณะการวางของตระกร้าพบว่าตะกร้าที่อยู่แถวบนและในสุดจะต้องได้รับลมที่มีอากาศเย็นมากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งระยะห่างของตะกร้าแต่ละแถวนั้น ควรให้มีระยะห่างกัน 13-19 มิลลิเมตร จะทำให้ระบบลดความร้อนมีประสิทธิภาพดีกว่าการวางตะกร้าชิดกัน เพราะทำให้อากาศไหลผ่านได้อย่างทั่วถึงกัน เมื่อผลิตผลเย็นลงแล้วจะต้องลดหรือหยุดการหมุนเวียนของอากาศเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำของผลิตผลได้ (Nelson, 1978)

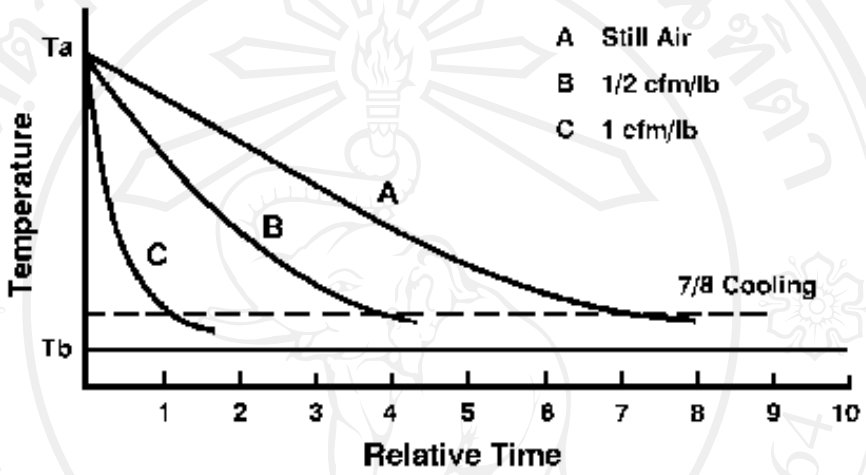
การลดอุณหภูมิด้วยวิธีผ่านอากาศเย็น เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการลดอุณหภูมิของผลสตรอเบอรี่ เนื่องจากกระทำได้รวดเร็วและทำให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ การลดอุณหภูมิของผลสตรอเบอรี่โดยปกติจะใช้เวลา 2-4 ชั่วโมง เพื่อที่จะให้ผลของสตรอเบอรี่มีอุณหภูมิลดลงเหลือ 1 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นและพัดลมด้วย (นิธิยาและดนัย, 2533 ; Jennifer, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 อัตราการลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็น (Forced- Air Cooling)

เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ลง ในช่วงแรกอุณหภูมิของผักและผลไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว ต่างจากในช่วงหลังซึ่งอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง ในการเปรียบเทียบความรวดเร็วในการลดอุณหภูมิด้วยวิธีต่างๆ นั้น สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า half-cooling time (t ½) ซึ่งหมายถึงเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อ

เริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง จากภาพที่ 2.4 จะเห็นว่า หากต้องการให้อุณหภูมิของผลิตผลเย็นเท่ากับอุณหภูมิของตัวกลางแล้ว เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจะยาวนานมาก ดังนั้นการลดอุณหภูมิลงให้ได้ภายในเวลาอันสั้นจำเป็นต้องใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ แต่ต้องไม่ต่ำเกินไปจนเกิดความเสียหายกับผลิตผล (ดนัยและนิธิยา, 2535)



ภาพที่ 2.4 แผนภาพแสดงอัตราการลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็น

ที่มา : (Alvarez and Trytram, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

1. Cooling Parameters

การประมาณค่าเวลาในการลดอุณหภูมิของผลิตผลจากอุณหภูมิปกติจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการหลังจากผ่านการทำความเย็นแล้ว จะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล อุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ (Alvarez and Trytram, 1995)

$$\theta = (T - T_{a)} / (T_i - T_a) \quad (2.1)$$

เมื่อ θ คือ Dimensionless temperature

T คือ อุณหภูมิของผลิตผลที่เวลาใดๆ (องศาเซลเซียส)

T_a คือ อุณหภูมิของตัวกลาง ในที่นี้คืออากาศ (องศาเซลเซียส)

T_i คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล (องศาเซลเซียส)

นำค่า θ ที่คำนวณได้ไปเขียนแผนภาพเทียบกับเวลา ซึ่งรูปแบบของแผนภาพจะอยู่ในรูปของเอกซ์โพเนนเชียลเชิงลบ (negative exponential) ดังสมการต่อไปนี้

$$\theta = je^{(-Ct)} \quad (2.2)$$

เมื่อ θ คือ Dimensionless temperature

j คือ ค่า Lag factor

C คือ ค่า cooling coefficient

t คือ เวลา (นาที)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. Half cooling time (Z)

คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง (Stewart and Couey, 1963) เช่น ค่า half cooling time

ของผลท้อที่อุณหภูมิเริ่มต้น 32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศ 0 องศาเซลเซียส เมื่อลดอุณหภูมิของผลท้อลงเหลือ 16 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 4 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ (Brosnan and Sun, 2000)

$$Z = \ln(0.5) / C \quad (2.3)$$

3. Seven-eight cooling time (S)

คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง 7/8 ของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง (ดนัยและนิธิยา, 2535) สามารถคำนวณได้จากสมการ (Brosnan and Sun, 2000)

$$S = \ln(1/8) / C \quad (2.4)$$

4. Cooling coefficient (C)

คือ ความชันของเส้นกราฟระหว่าง ln กับ t ซึ่งจะแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตผลต่อหนึ่งหน่วยเวลา ค่าของ cooling coefficient จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของผลิตผลและของตัวกลางที่ใช้ลดอุณหภูมิ (Dincer and Genceli, 1994) สามารถคำนวณได้จากสมการ (Brosnan and Sun, 2000)

$$C = \ln \theta / t \quad (2.5)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. Lag factor (j)

คือ อัตราส่วนระหว่าง θ กับ exp (-Ct) ซึ่งค่า lag foctor นี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตผล เช่น รูปร่าง ค่าการนำความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าของผลิตผล

2.10 การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย จึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้นๆ (นิธิยา และดนัย, 2533) ช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.1 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 90-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเก็บรักษานาน 5-7 วัน ผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเสียก่อน (ชูพงษ์, 2531) หลังจากที่เก็บเกี่ยวมาแล้วอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ เช่น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ได้นาน 8 วัน ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียสสามารถเก็บรักษาสตรอเบอรี่ได้เพียง 1 วัน (Shoemaker, 1983) อุณหภูมิจุดเยือกแข็งของผลสตรอเบอรี่อยู่ที่ -0.8 องศาเซลเซียส การสูญเสียที่เกิดระหว่างการเก็บรักษา คือ การสูญเสียสีแดงสด ผลเหี่ยว เน่าและรสชาติเปลี่ยนไป อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ประมาณ 9 เท่า แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่ออายุการวางจำหน่ายของผลสตรอเบอรี่มาก การเก็บรักษาในครัวเรือนควรเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น โดยห่อด้วยพลาสติกและควรบริโภคโดยเร็วไม่ควรเก็บรักษาไว้นานเกินไป (นิธิยาและดนัย, 2533)

2.8 การแปรรูปผลไม้สดพร้อมบริโภค

การแปรรูปผลไม้สดพร้อมบริโภค คือ การนำผลไม้มาทำความสะอาด ปอกเปลือก เอาไส้หรือเมล็ดออก ตัดแต่งหรือหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วบรรจุในภาชนะ เช่น ถาดโฟม ถุงหรือกล่องพลาสติก แล้วนำไปวางจำหน่าย โดยวัตถุประสงค์ของการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภคเพื่อตอบสนองความต้องการที่ผู้บริโภคต้องการความสะดวกสบาย สามารถนำไปบริโภคได้ทันทีและประหยัดเวลาด้วย (Watada *et al.*, 1996) ผลไม้สดพร้อมบริโภคเป็นเนื้อเยื่อพืชที่ยังมีชีวิตอยู่และมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าผลไม้ที่สดที่ไม่ได้ผ่านการตัดแต่ง ซึ่งการแปรรูปโดยการปอกเปลือก หั่นและตัดแต่ง ทำให้เซลล์หรือเนื้อเยื่อของผลไม้ถูกทำลาย ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอย่างรวดเร็วกว่าผลไม้สดที่ไม่ได้ผ่านการแปรรูป เช่น การหายใจ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลทำให้ผลไม้สดพร้อมบริโภคเกิดการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วและยังทำให้สารต่างๆ รั่วไหลออกจากเซลล์ รวมทั้งสารประกอบฟีนอลซึ่งเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้น และจุลินทรีย์มีโอกาสเข้ามาทำลายเนื้อเยื่อพืชได้ (Tien, 2001)

2.9 การใช้สารเคมีในการลดการเกิดสีน้ำตาลและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผักและผลไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้สารเคมีเป็นวิธีการชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่นิยมทำการศึกษากันมาตั้งแต่ในอดีต สารเคมีที่นิยมใช้ คือ สารประกอบซัลไฟต์ซึ่งเป็นสารที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ทั้งที่เร่งด้วยเอนไซม์และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แต่การใช้สารประกอบซัลไฟต์ได้ถูกจำกัดให้ใช้ได้กับอาหารบางประเภทเท่านั้นและในปริมาณที่จำกัดซึ่งกำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (Food and Drug Administration, 1986) เนื่องจากการบริโภคอาหารที่มีสารประกอบซัลไฟต์อาจทำให้ผู้บริโภคบางคนเกิดอาการแพ้ที่รุนแรง ทำให้เกิดอาการหอบหืด (ประสาร, 2538) และได้มีการประกาศห้ามใช้ในผักและผลไม้หลายชนิด ทำให้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารเคมีชนิดอื่นมาทดแทนสารประกอบจำพวกซัลไฟต์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริก เป็นต้น การใช้แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริกกับผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยทั่วไประดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกที่นิยมใช้ คือ 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2-4 เปอร์เซ็นต์ (McEvily *et al.,* 1992)

สารละลายกรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่ช่วยเพิ่มรสเปรี้ยวให้อาหารและป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของผักและผลไม้แปรรูปที่ผ่านการตัดแต่ง เนื่องจากกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหนึ่งในสูตรสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยทำหน้าที่เป็นสารคีเลท (chelating agent) ในการจับกับโลหะทองแดงซึ่งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส มีผลทำให้เอนไซม์นี้ทำงานได้ช้าลง นอกจากนี้กรดซิตริกยังช่วยลดค่า pH ทำให้รงควัตถุแอนโทไซยานินมีความเสถียรเพิ่มขึ้น (ประสาร, 2538) การใช้สารละลายกรดซิตริกในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้มีการศึกษาในผลิตผลหลายชนิด เช่น การแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 โมลาร์ สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 42 วัน โดยมีประสิทธิภาพในการควบการเกิดสีน้ำตาลและมีลักษณะปรากฏดีที่สุด (พรอนันต์, 2545) การใช้กรดซิตริก ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ แช่มะม่วงก่อนนำไปทำการเยือกแข็ง พบว่าช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (ศิวาพร, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved