บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

สตรอเบอรี่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Fragaria* spp. จัดอยู่ในอันดับ Rosales วงศ์ Rosaceae เป็นไม้ผลเขตหนาวมีทรงพุ่มขนาดเล็ก ต้นสตรอเบอรี่ประกอบด้วย ราก ยอด ใบ ช่อดอก และผล ซึ่งสามารถผันแปรเปลี่ยนได้อย่างมากและอาจจะมากกว่าพืชอื่นๆ อีกหลายชนิด ด้วยเหตุนี้ ต้นสตรอเบอรี่จึงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้อย่างกว้างขวาง จึงพบว่ามีการปลูกสตรอเบอรี่กันอย่างมากมายในหลายประเทศทั่วโลกตั้งแต่แถบขั้วโลกเหนือถึงเขตร้อนรวมทั้งประเทศที่มีพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันมีพื้นที่การผลิตทั้งหมดในประเทศประมาณ 3,000 ไร่ ค่าเฉลี่ยของผลผลิตรวมทั้งหมดอยู่ที่ 7,500 ตันต่อปี ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตรวมทั้งประเทศถูกขนส่งสู่ตลาดกรุงเทพมหานครเพื่อจำหน่ายเป็นผลสด อีก 40 เปอร์เซ็นต์ส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูปสำหรับใช้ภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศส่วนที่เหลืออีก 20 เปอร์เซ็นต์จำหน่ายเป็นผลสดและแปรรูปในอุตสาหกรรมแบบครัวเรือนให้กับนักท่องเที่ยวภายในท้องถิ่นนั้นๆ (ณรงค์ชัย, 2543)

2.1 สายพันธุ์สตรอเบอรีที่ปลูกในประเทศไทย

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

สำหรับพันธุ์สตรอเบอรีที่มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทยนั้น ได้มีการนำสตรอเบอรีพันธุ์ต่างๆ 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 เป็นพันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พระราชทาน 70 และพันธุ์ B5 เป็นพันธุ์พระราชทาน 50 ปัจจุบันพันธุ์สตรอเบอรีที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 16, 20, 50 และ 70 (ณรงค์ชัย, 2542)

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น เนื่องจากมีลักษณะผลนิ่ม ผิวบาง ง่ายต่อการช้ำเสียหายทั้งในขณะที่เก็บเกี่ยวและระหว่างการขนส่งและยังมีอัตราการหายใจสูงจึงทำให้งอมอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาไว้ในสภาพอุณหภูมิสูง จึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้นๆ เพียง 5-7 วัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส โดยที่ก่อนการเก็บรักษาควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเสียก่อน (ดนัยและนิธิยา, 2533)

2.2 แหล่งที่มาของความร้อนในผักและผลไม้ (จริงแท้, 2544)

ผักและผลไม้เก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ มีการหายใจอยู่ตลอดเวลา ผลของการหายใจนี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้นดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{Heat } 673 \text{ Kcal}$$

ซึ่งหมายความว่าในการหายใจที่ใช้น้ำตาลไป 1 กรัมโมเลกุล (โมล) หรือออกซิเจน 6 กรัมโมเลกุล มีการปลดปล่อย CO_2 ออกมา 6 กรัมโมเลกุล และให้พลังงานความร้อนออกมา 673 Kcal หรือ 2670 BTU ความร้อนจากการหายใจนี้เรียกว่า vital heat หรือ heat of respiration ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดพืชและอุณหภูมิเป็นปัจจัยควบคุมที่สำคัญ ตัวอย่างอัตราการผลิตความร้อนจากการหายใจของผักและผลไม้ต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ค่าปริมาณความร้อนที่ผลิตผลปล่อยออกมานี้ได้จากการคำนวณดังแสดงในกรอบข้างล่างโดยคำนวณจากอัตราการหายใจซึ่งนิยมรายงานในหน่วย mg CO_2/kg.hr และรายงานอัตราการผลิตความร้อนเป็น BTU/ton.day

ความร้อนอีกส่วนหนึ่งที่จะต้องกำจัดออกคือ ความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก หรือเรียกว่า field heat เมื่อผักและผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวมามีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศรอบๆ ในแปลงปลูกมีความร้อนอยู่ในตัวค่อนข้างสูงเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างโดยเฉพาะจากแสงอาทิตย์ ผักและผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ ทำให้ผลิตผลมีความจุความร้อนสูง (heat capacity ของน้ำ = 1 cal/g/C) ผักและผลไม้ส่วนใหญ่มี specific heat ประมาณ 0.9 (specific heat คือสัดส่วนความจุความร้อนของสิ่งใดสิ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับความจุความร้อนของน้ำ) ความร้อนในส่วนนี้เป็นความร้อนส่วนใหญ่ของความร้อนทั้งหมดที่จะต้องเอาออก ถ้าไม่เอาออกจะทำให้ผักและผลไม้มีอุณหภูมิสูงอยู่ ส่งผลให้มีการหายใจสูงอยู่นานและมีการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ มากตามไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากความร้อนจากการหายใจและความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกแล้ว ยังมีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่ได้เป็นของผักและผลไม้โดยตรงแต่ก็ต้องถูกเอาออกไปด้วยพร้อมๆ กันในการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ ได้แก่ ความร้อนที่ติดมากับภาชนะบรรจุ ความร้อนของอากาศรอบๆ ผักและผลไม้ ความร้อนจากดวงไฟในห้องลดอุณหภูมิ ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านฉนวนผนังห้องเข้ามาได้ ฯลฯ ความร้อนจากแหล่งต่างๆ เหล่านี้จะต้องถูกยกขึ้นมาพิจารณาอย่างละเอียด เพื่อให้การทำผักและผลไม้ให้เย็นลงจะเป็นไปอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

2.3 หลักการของการทำให้เย็น

การทำให้เย็น (cooling) คือการดึงเอาความร้อนจากสิ่งใดสิ่งหนึ่งออกไปโดยอาศัยตัวกลางเป็นตัวนำ และ / หรือพาความร้อนออกไป อัตราของการทำให้เย็นจะขึ้นอยู่กับ

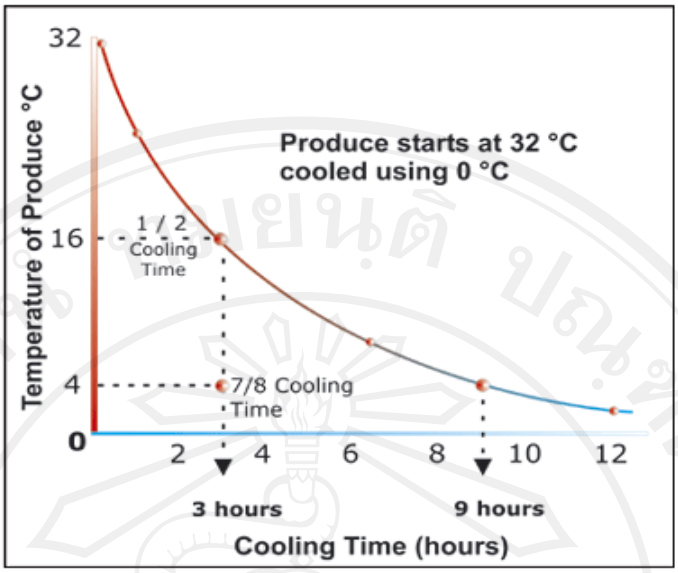
- การนำความร้อน (thermal conductivity) ของผลผลิตและตัวกลาง ถ้านำความร้อนได้ดีอุณหภูมิ ลดลงได้เร็ว
- ความจุความร้อนของตัวกลาง ถ้ามีมากสามารถนำความร้อนออกไปได้มาก ลดอุณหภูมิได้เร็ว
- ความจุความร้อนของผลิตผล ถ้ามีมากการทำให้เย็นจะเกิดได้ช้า
- ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผลิตผลกับตัวกลาง ยิ่งต่างกันมากยิ่งทำให้เย็นได้เร็ว เมื่อความแตกต่างลดลงอัตราการเย็นตัวก็ช้าลงด้วย
- การสัมผัสระหว่างตัวกลาง ถ้าเคลื่อนไหวเร็วมากก็พาความร้อนออกไปได้มาก
- การเคลื่อนไหวของตัวกลาง ถ้าเคลื่อนไหวเร็วมากก็พาความร้อนออกไปได้มาก

2.4 กราฟของการลดอุณหภูมิ

เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ลง ในช่วงแรกอุณหภูมิของผักและผลไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว ต่างจากช่วงหลังซึ่งอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงดังแสดงในภาพที่ 1 (Wills, 1998 ; Koelet, 1992) ค่า half-cooling time ซึ่งหมายถึงเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง

ในภาพที่ 1 ยังเห็นได้ว่า หากอุณหภูมิที่ต้องการทำให้ผลิตผลเย็นลงเท่ากับอุณหภูมิของตัวกลางแล้ว เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจะยาวนานมาก ดังนั้นการลดอุณหภูมิลงให้ได้ภายในเวลาอันสั้นจำเป็นต้องใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ แต่ต้องไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตผลได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1 กราฟแสดงอัตราการลดอุณหภูมิของผลิตผล

ที่มา : (Brancato, 2004)

2.5 สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Temperature Ratio

การประมาณค่าเวลาในการลดความร้อนของผลิตผลจากอุณหภูมิปกติจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการหลังจากผ่านการทำความเย็นแล้วจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลและอุณหภูมิของอากาศและผลิตผลเริ่มต้น ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ (Dincer, 1994)

$$\theta = \frac{T - Ta}{Ti - Ta} \quad (1)$$

เมื่อ θ คือ Dimensionless temperature

T คือ อุณหภูมิใดๆ (^oC)

T_a คือ อุณหภูมิของตัวกลาง ในที่นี้คือ อากาศ (^oC)

T_i คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (^oC)

นำค่า θ ที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟเทียบกับเวลา ซึ่งรูปแบบของกราฟจะอยู่ในรูปของเอกซ์โพเนน-เชียลเชิงลบ (negative exponential) ดังสมการต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\theta = je^{-Ct} \qquad (2)$$

เมื่อ θ คือ Dimensionless temperature

j คือ ค่า lag facter

C คือ ค่า cooling coefficient (1/s)

t คือ เวลา (s)

สามารถแปลงสมการ (2) ให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นได้โดยการประยุกต์ลอการิทึมจะได้สมการดังนี้

$$\ln \theta = \ln j - Ct \qquad (3)$$

จากสมการ (3) สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Y = a_o + a_1 x \qquad (4)$$

2.5.2 ตัวแปรแสดงประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิ (Cooling Parameters)

(a) Half-Cooling Time (Z) คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความร้อนของผลิตผลลงมาได้ครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิของผลิตผล กับอุณหภูมิของตัวกลางที่ให้ความเย็น ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความร้อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผลและอุณหภูมิของสารที่เป็นตัวกลางให้ความเย็น (น้ำหรืออากาศ) (ดนัยและนิธิยา, 2548) ตัวอย่างเช่น ลูกท้อมี half cooling time เป็น 4 ชั่วโมง มีอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 32 ^{o}C และอุณหภูมิของสารตัวกลางที่ให้ความเย็นเป็น 0 ^{o}C (Brosnan and Sun, 2001) หมายความว่าจะต้องใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อลดอุณหภูมิจาก 32 ^{o}C เป็น 16 ^{o}C และต้องใช้เวลาอีก 4 ชั่วโมง เพื่อลดอุณหภูมิลงเป็น 8 ^{o}C และใช้เวลาอีก 4 ชั่วโมง เพื่อลดอุณหภูมิลงเป็น 4 ^{o}C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$Z = \frac{\ln(2j)}{C} \qquad (5)$$

(b) Seven-Eighths Cooling Time (S) คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง 7/8 ของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง (ดนัยและนิธิยา, 2535) ตัวอย่างเช่น ลูกท้อลดอุณหภูมิลงเหลือ 40 ^{o}C ค่า Seven-eighths cooling time เท่ากับ 9 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ (Brosnan and Sun, 2001)

$$S = \frac{\ln(8\,j)}{C} \qquad (6)$$

(c) Cooling Coefficient (C) คือ ความชันของเส้นกราฟระหว่าง lnθ กับ t ซึ่งจะแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตผลต่อหนึ่งหน่วยเวลา ค่าของ cooling coefficient จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของผลิตผล และของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้จากสมการ (Brosnan and Sun, 2001)

$$C = \frac{\ln\theta}{t} \qquad (7)$$

(d) Lag factor (j) คือ อัตราส่วนระหว่าง θ กับ exp (-Ct) ซึ่งค่า lag factor นี้ขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของผลิตผล เช่น รูปร่าง ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity (k)) thermal diffusivity (a) และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าของผลิตผล [(surface heat transfer coefficient (h_c)]

2.6 วิธีการต่าง ๆ ในการทำให้เย็น

2.6.1 การทำให้เย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง (Air Cooling)

วิธีนี้เป็นวิธีที่เห็นกันอยู่ทั่วๆ ไปในชีวิตประจำวันได้แก่ ตู้เย็น สิ่งของที่เก็บในตู้เย็นถูกทำให้เย็นลงโดยการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางคืออากาศ สำหรับการทำให้เย็นโดยตู้เย็นนั้นต่างจากห้องเย็น เพราะในตู้เย็นส่วนใหญ่จะมีการหมุนเวียนของอากาศค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะในช่องเก็บผักผลไม้ด้านล่าง การทำให้เย็นเกิดขึ้นโดยการนำ (conduction) เป็นส่วนใหญ่ แต่ในห้องเย็นจะมีพัดลมเป่าให้อากาศหมุนเวียน ทำให้มีความสามารถในการทำให้เย็นสูงกว่ามาก เนื่องจากการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

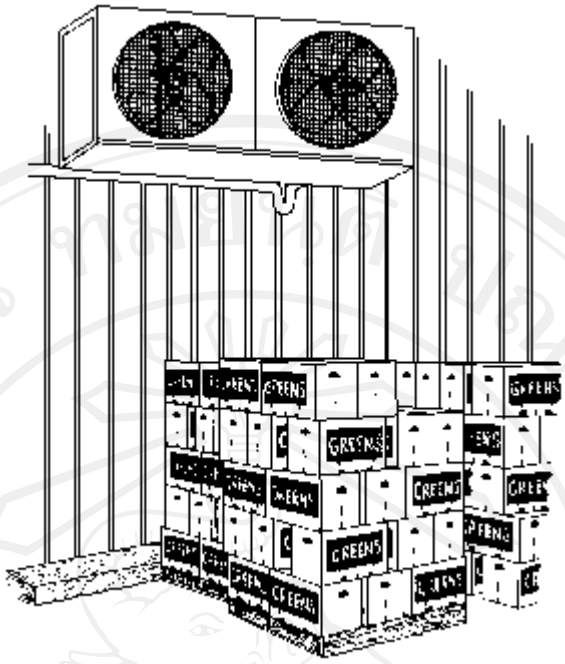
ถ่ายเทความร้อนเกิดได้ทั้งการนำและการพา (conduction และ convection) วิธีการทำให้เย็นโดยใช้ลมนี้แบ่งได้เป็นอีกหลายแบบคือ

(a) การลดอุณหภูมิด้วยอากาศเย็น (Air Cooling หรือ Room Cooling) คือการใช้ห้องเย็นเป็นห้องสำหรับลดอุณหภูมิของผัก และผลไม้โดยตรง โดยไม่ต้องมีกรรมวิธีพิเศษอย่างไรนอกจากนำผักและผลไม้เข้าไปไว้ นิยมใช้กับผลิตผลที่มีความบอบบางและไม่เน่าเสียเร็ว (Anon, 1984 ; Mitchell, 1985) วิธีนี้ความเร็วในการลดอุณหภูมิค่อนข้างต่ำเพราะอากาศเย็นไหลหมุนเวียนรอบๆ ภาชนะบรรจุเท่านั้น การเพิ่มการไหลเวียนของอากาศ (70–130 เมตร/นาที) หรือการปรับช่องที่ลมออกจากเครื่องทำความเย็นให้ตรงกับตำแหน่งของภาชนะบรรจุผักและผลไม้ให้มากที่สุดจะช่วยให้ลดอุณหภูมิได้เร็วขึ้น ในการทำให้เย็นในห้องเย็นนี้ภาชนะบรรจุผลิตผลควรมีช่องระบายอากาศน้อยกว่า 2% จะไม่ได้ประโยชน์มากไปกว่าภาชนะปิด ถ้าช่องระบายมีพื้นที่ถึง 5% จะลดเวลาของการทำให้เย็นลงไป 25% ในขณะที่ความแข็งแรงของภาชนะบรรจุลดลงเพียง 2-3% ดังภาพที่ 2 (Boyette *et al.,* 1994)

การทำให้เย็นโดยอาศัยรถห้องเย็น (refrigerated container) ไม่ว่าจะเป็นรถบรรทุกหรือรถไฟก็เรียกได้ว่าเป็น room cooling หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า transit cooling แต่เป็นวิธีที่ไม่นิยมใช้กันเพราะกำลังในการทำความเย็นของรถห้องเย็นนี้ค่อนข้างต่ำไม่สามารถลดความร้อนโดยเฉพาะ field heat ลงได้ในเวลาอันสั้น รถห้องเย็นนั้นสร้างขึ้นเพื่อรับสินค้าที่ได้มีการทำให้เย็นแล้วเท่านั้น

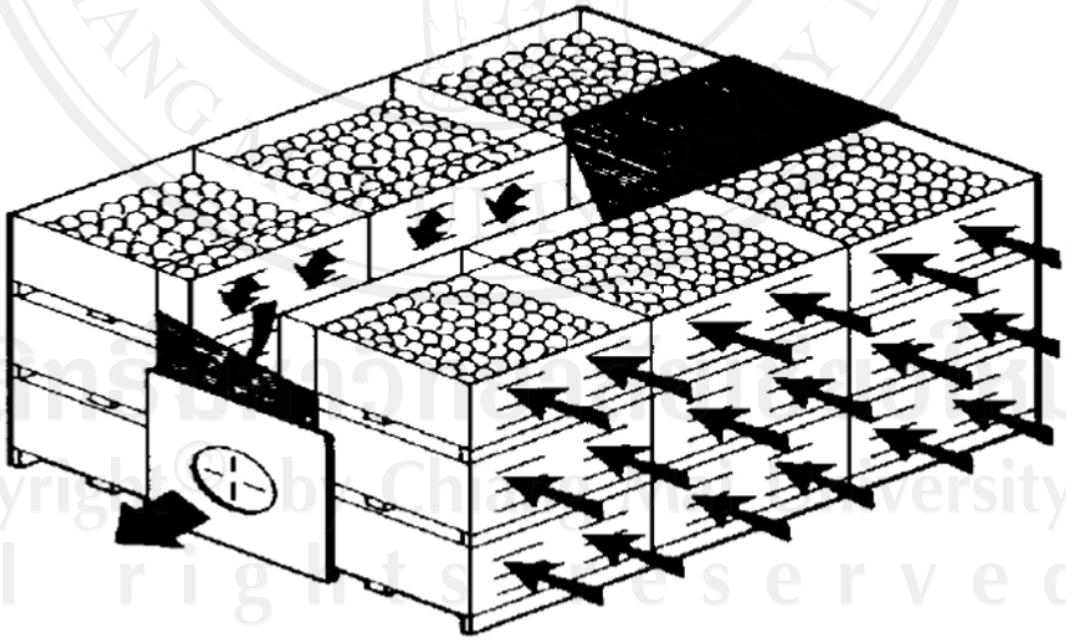
(b) การลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็น (Forced - Air Cooling) การทำให้เย็นด้วยวิธีนี้สร้างขึ้นโดย Guillou เพื่อที่จะสามารถกำจัด field heat ออกไปโดยทันทีหลังจากเก็บเกี่ยวผลิตผลแล้ว (Guillou, 1960) ดังนั้นความสามารถในการทำให้เย็นโดยใช้อากาศจึงต้องขึ้นอยู่กับโอกาสที่อากาศเย็นจะสัมผัสกับผักและผลไม้เพื่อที่จะดึงเอาความร้อนออกไป forced–air cooling เป็นวิธีการที่จัดทำขึ้นเพื่อทำให้ลมผ่านไปยังผักและผลไม้อย่างทั่วถึงกันในเวลาอันสั้น ซึ่งอาจทำได้โดยสร้างห้องสำหรับทำการนี้โดยเฉพาะ หรือดัดแปลงใช้ห้องเย็นธรรมดาก็ได้ โดยทั่วไปผลิตผลที่บรรจุในกล่องเรียบร้อยแล้วจะถูกนำเข้าไปเรียงในห้องเย็นเป็น 2 แถวชิดฝาผนัง เว้นที่ตรงกลางจัดให้มีพัดลมดูดอากาศออก ใช้ผ้าใบปิดช่องว่างระหว่างแถวของผลิตผล เพื่อมิให้อากาศถูกดูดออกจากห้องโดยตรงแต่จะต้องถูกดูดผ่านผักและผลไม้ก่อน วิธีการเช่นนี้สามารถทำให้ผักและผลไม้เย็นลงอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาเพียง 1/4 ถึง 1/10 ของเวลาที่ใช้ในแบบ room cooling (Ryall and Pentzer, 1982) ขึ้นอยู่กับความเร็วของลมและชนิดของผลผลิต วิธีนี้เหมาะสำหรับผลิตผลที่บอบบางใช้น้ำในการทำเย็นไม่ได้ เช่น เห็ด สตรอเบอรี หรือผลิตผลที่จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมคุณภาพลงอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 3 (Michael *et al.*, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2 ห้องเย็นที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

ที่มา : (Boyette *et al*., 1994)



ภาพ 3 การลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็น

ที่มา : (Michael *et al*., 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 การทำให้เย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง (Hydrocooling)

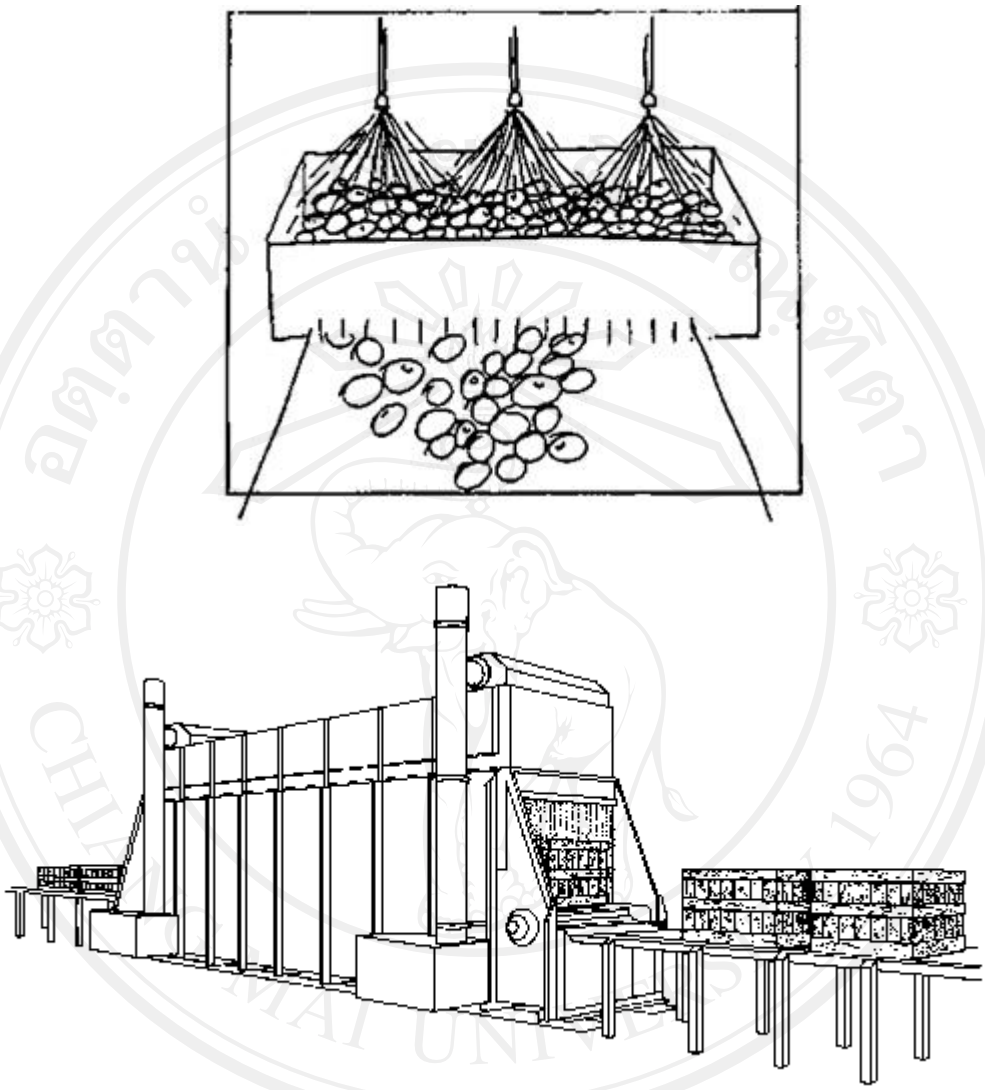
การทำให้เย็นด้วยวิธีนี้ได้มีการใช้มาตั้งแต่ปี 1923 เริ่มแรกโดยการล้าง celery (Showalter and Greirson, 1972) เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนสูงและเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงสามารถใช้เป็นตัวกลางในการทำให้ผลิตผลเย็นลงได้ดีกว่าการใช้อากาศที่กล่าวมาแล้ว ประสิทธิภาพของการทำให้เย็นโดยใช้น้ำก็เช่นเดียวกับอากาศ กล่าวคือขึ้นอยู่กับการสัมผัสระหว่างผลิตผลกับน้ำต้องให้มากที่สุด และน้ำจะต้องเย็นเท่าที่จะเย็นได้โดยไม่ทำให้เกิดผลเสียกับผลิตผล ในทางปฏิบัติทำได้หลายวิธีด้วยกัน อย่างง่ายที่สุดได้แก่ การจุ่มยก หรืออาจทำได้โดยผ่านผลผลิตไปตามสายพานและจัดให้มีน้ำเย็นไหลผ่านลงมาทำความเย็นกับผลิตผล ข้อสำคัญคือการไหลเวียนของน้ำต้องมากพอที่จะสัมผัสกับผลิตผลได้อย่างทั่วถึงและสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำได้ค่อนข้างคงที่ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดผลิตผลที่ใช้ในการทำให้เย็นด้วยวิธีนี้การสัมผัสกันของน้ำและผิวของผลิตผลจะต้องมีความสม่ำเสมอ รูปแบบเดียวกัน (uniform) (Kays, 1991)

สำหรับวิธีการทำน้ำให้เย็นอาจทำได้ทั้งโดยวิธีการใช้น้ำแข็ง หรือใช้เครื่องทำความเย็นให้กับน้ำโดยตรง

2.6.3 การทำให้เย็นโดยใช้น้ำแข็ง (Ice Cooling)

การใช้น้ำแข็งบดเป็นก้อนเล็กๆ เพื่อทำให้ผลิตผลเย็นลงโดยตรง เป็นวิธีที่ใช้กันมานานและยังใช้กันอยู่โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีเครื่องทำความเย็น การใช้น้ำแข็งนี้น่าจะสามารถลดความเย็นลงได้อย่างรวดเร็ว เพราะแต่ละกรัมของน้ำแข็งเมื่อละลายเป็นน้ำสามารถดูดความร้อนออกจากผลิตผลได้ถึง 80 cal แต่ในทางปฏิบัติและประสิทธิภาพในการทำให้ผลิตผลเย็นลงค่อนข้างต่ำ เนื่องจากน้ำแข็งไม่สามารถเข้าสัมผัสกับผลผลิตได้อย่างทั่วถึงเพราะไม่ใช่ของไหล (fluid) นอกจากนั้นเมื่อน้ำแข็งเริ่มละลายไปมักจะเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างผลิตผลกับน้ำแข็งที่ยังเหลืออยู่ ช่องว่างนี้กลายเป็นสิ่งขัดขวางการถ่ายเทความร้อนระหว่างผลิตผลกับน้ำแข็ง ทำให้อุณหภูมิลดลงได้ช้า เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการทำให้เย็นได้โดยการใช้น้ำแข็งร่วมกับน้ำ อาศัยน้ำเป็นตัวพาน้ำแข็งให้ไปสัมผัสกับผลิตผลมากขึ้น (Thompson *et al*., 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4 การลดอุณหภูมิโดยวิธี hydrocooling

ที่มา : (Boyette *et al*., 1994)

2.6.4 การทำให้เย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling)

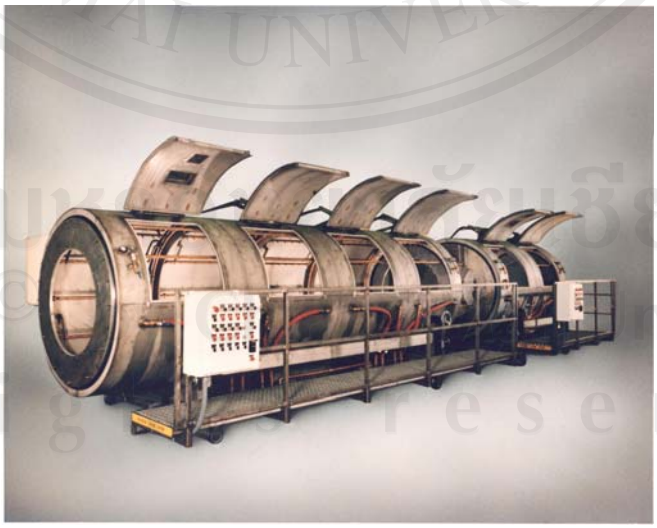
การทำให้เย็นโดยอาศัยการระเหยน้ำนี้เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก เพราะไม่ต้องใช้พลังงานที่มีราคาแพง เหมาะสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา แต่มีข้อจำกัดว่าไม่สามารถลดอุณหภูมิได้มากและเร็วตามความต้องการ วิธีนี้ใช้ได้ผลดีในพื้นที่ที่มีความชื้นต่ำการระเหยน้ำเกิดขึ้นได้มาก ในการปฏิบัติผักและผลไม้จะถูกนำไปไว้ในห้อง ภาชนะ อุโมงค์ หรือถ้ำที่สร้างขึ้น โดยจัดให้มีน้ำไหลผ่านผนังทั้งด้านบนและด้านข้าง เมื่อน้ำระเหยออกไป เกิดการถ่ายเท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความร้อนจากผลิตผลมายังผนังห้องและน้ำ ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลงได้พอสมควรอาจเรียกวิธีการนี้อีกอย่างหนึ่งว่า passive cooling

2.6.5 การทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ (Vacuum Cooling)

การทำให้เย็นด้วยวิธีนี้มิได้ทำในที่ๆ เป็นสุญญากาศตามชื่อ แต่ทำในสภาพที่มีความดันต่ำ โดยการดูดเอาอากาศออกไปจากห้องลดอุณหภูมิซึ่งต้องมีความแข็งแรงมากในสภาพเช่นนี้จุดเดือดของน้ำจะลดต่ำลงใกล้ 0 องศาเซลเซียส ตามความดันบรรยากาศที่ลดลง น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปได้ง่ายโดยใช้ความร้อนจากผลิตผล (Anon, 1998) ทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดต่ำลง ดังนั้นผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น พวกผักรับประทานใบ สามารถคายความร้อนออกไปได้มากด้วยวิธีนี้และอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วส่วนในผลิตผลที่มีลักษณะเป็นผลหรือหัว มีพื้นที่ผิวน้อย เช่น มะเขือเทศ และมันฝรั่ง วิธีนี้ใช้ไม่ได้ผลนัก เพราะพื้นที่ที่จะให้มีการเปลี่ยนสถานะของน้ำไปเป็นไอมีน้อย อย่างไรก็ตามในผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมาก หากมีการสูญเสียน้ำไปมากจะทำให้ผลิตผลเหี่ยวมีคุณภาพต่ำลงจากการศึกษาพบว่า จะมีการสูญเสียน้ำหนัก 0.2% ทุกๆ อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ที่ลดลง จึงต้องมีการพรมผลิตผลด้วยน้ำเย็นก่อนทำการลดความดันบรรยากาศ วิธีนี้สามารถลดการสูญเสียน้ำจากผลิตผลลงได้มาก เพราะการระเหยกลายเป็นไอและพาความร้อนออกไปจะเกิดกับน้ำที่พรมไว้ก่อน ทำให้ผลิตผลมีคุณภาพดีขึ้น อาจเรียกวิธีการลดอุณหภูมิแบบนี้ว่า evaporative cooling ได้เหมือนกัน



ภาพ 5 การลดอุณหภูมิโดยวิธี Vacuum Cooling
ที่มา : (Vacuum cooling tank, 2005 : online)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.6 การทำให้เย็นด้วยวิธีอื่นๆ

นอกจาก 5 วิธีข้างต้นแล้ว ยังมีวิธีลดอุณหภูมิผักและผลไม้อื่นๆ อีก เช่น การใช้ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว และคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง ซึ่งมีความเหมาะสมแล้วแต่กรณีแตกต่างกันไปดังนี้

การใช้ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว และคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (น้ำแข็งแห้ง) วิธีนี้มักใช้กับผลิตผลในตู้สินค้า (container) โดยการพ่นไนโตรเจนเหลวหรือคาร์บอนไดออกไซด์ไปในตู้สินค้า ซึ่งสามารถทำให้อากาศภายในและผลิตผลเย็นลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ต้องให้ไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับอากาศให้อุณหภูมิสูงขึ้นพอสมควรก่อนสัมผัสกับผลิตผล และต้องจัดเรียงผลิตผลภายใน container ให้มีการไหลเวียนของอากาศได้ดีด้วย มิฉะนั้นจะทำให้ผลิตผลเสียหายได้ อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายของการใช้ไนโตรเจนเหลวและคาร์บอนไดออกไซด์เหลวค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับน้ำแข็ง (กก. ละ 10–20 บาท) ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถใช้ได้สะดวก สะอาด และใช้ลด field heat ได้ดี สามารถนำเข้าไปปฏิบัติในแปลงพร้อมกับรถห้องเย็นได้ ลดค่าใช้จ่ายในการที่จะต้องสร้าง cooling unit (คาร์บอนไดออกไซด์เหลวและไนโตรเจนเหลว 1 กก. เมื่อกลายเป็นแก๊สที่ 0 องศาเซลเซียส สามารถดูดความร้อนได้เท่ากับน้ำแข็ง 1.2 กก. ส่วนน้ำแข็งแห้ง 1 กก. กลายเป็นแก๊สที่ 0 องศาเซลเซียส ดูดความร้อนเท่ากับน้ำแข็ง 1.8 กก.) นอกจากนั้นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวหรือแข็งยังมีประโยชน์ในแง่ของการปรับสภาพบรรยากาศของการเก็บรักษาให้มีสภาพเหมาะกับการเก็บรักษามากขึ้นด้วย

2.7 การวางแผนลดความร้อน (ดนัยและนิธิยา, 2548)

ในการวางแผนลดความร้อนของผลิตผลนั้น มีปัจจัยหลายประการที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้การลดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่

1. วิธีการลดความร้อนที่เลือกใช้กับผลิตผล ตัวอย่างเช่น ผลไม้ส่วนใหญ่ใช้วิธี forced air cooling ดีที่สุด หากเป็นรากและลำต้นพืชควรใช้วิธี hydrocooling ส่วนผักใบใช้วิธี vacuum cooling สำหรับผลิตผลบางชนิดอาจเลือกใช้ได้หลายวิธี จึงควรพิจารณาเลือกใช้วิธีที่ประหยัดที่สุด

2. ขนาดและความหนาแน่นของผลิตผล จะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายในผลิตผลออกสู่ภายนอก ผลิตผลที่มีขนาดเล็กจะลดอุณหภูมิได้เร็วกว่าขนาดใหญ่เพราะผลิตผลขนาดใหญ่มีความจุความร้อนมากกว่าขนาดเล็ก

3. อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลที่ต้องการ จะมีผลต่อความยาวของ cooling cycle ที่ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ปริมาณของผลิตผลที่ลดความร้อนต่อหน่วยเวลา จะมีผลต่อขนาดของเครื่องที่ใช้ลดความร้อนและค่าใช้จ่าย ระบบความเย็นและขนาดของเครื่องที่ใช้ลดความร้อนนั้น ควรได้รับการประเมิณจากปริมาณของผลิตผลที่มีมากที่สุดในแต่ละวัน

5. การขยายตัวของกิจการในอนาคต

2.8 ผลของการบรรจุหีบห่อต่อการลดความร้อน

ภาชนะบรรจุสำหรับขนส่งและภาชนะบรรจุอื่นๆ เช่น พลาสติกและกระดาษจะมีผลต่ออัตราการลดความร้อน เพราะจะทำให้อัตราการลดความร้อนลดลง

1. ชนิดของภาชนะบรรจุสำหรับขนส่งที่ใช้ เช่น ภาชนะขนาดใหญ่ (bins) ตะกร้า กล่องกระดาษ และถุงตาข่าย จะมีผลต่ออัตราการลดความร้อนและความสม่ำเสมอ และมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องลดความร้อนที่ใช้ ผู้ปฏิบัติงานด้านนี้ควรจะทราบข้อมูลว่าอัตราการลดความร้อนของผลิตผลในภาชนะบรรจุแต่ละชนิดเป็นอย่างไร

2. วัสดุบรรจุ เช่น กรณีที่เป็นภาชนะบรรจุสำหรับขายปลีก หากมีการกรุพลาสติกหรือวัสดุอื่นไว้ด้านในของภาชนะบรรจุ และเมื่อเพิ่มความแน่นหรือความหนาของวัสดุเหล่านี้ จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการลดความร้อนลดลง ส่วนการมีรูระบายอากาศที่วัสดุบรรจุภัณฑ์จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพของการลดความร้อนดีขึ้น

3. รูระบายอากาศ การวางเรียงซ้อนกันและรูปแบบการวางเรียงภาชนะบรรจุระหว่างการลดความร้อนจะมีผลต่ออัตราเร็วของการลดความร้อนมาก รูระบายอากาศทางด้านข้างที่ติดกันจะต้องวางให้ตรงกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการลดความร้อนและรูระบายอากาศจะต้องออกแบบอย่างดี การวางเรียงซ้อนกันจะต้องช่วยให้การลดความร้อนมีประสิทธิภาพสูง

2.9 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการลดความร้อน

1. อุณหภูมิเริ่มต้นของผักและผลไม้
2. อุณหภูมิของตัวกลางที่ใช้ลดความร้อน
3. ความสามารถในการพาความร้อนของตัวกลาง
4. ความสามารถในการเข้าถึงระหว่างผลไม้กับตัวกลาง
5. ขนาดและรูปร่างของผลไม้ ซึ่งมีผลต่ออัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรหรือน้ำหนัก
6. ความร้อนจำเพาะ ความสามารถในการนำความร้อน (thermal conductivity) และการถ่ายเทความร้อนระหว่างผลไม้กับตัวกลาง ความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำเสมอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. ปริมาตรและความเร็วของตัวกลางที่ไหลผ่านผักหรือผลไม้
8. ขนาดของเครื่องทำความเย็นที่ใช้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ
   - ความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้
   - vital heat ของผักและผลไม้
   - อุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้ายของผักและผลไม้
   - ปริมาณของผักและผลไม้

2.10 การเลือกวิธีการทำให้เย็น

การทำผลผลิตให้เย็นลงสามารถทำได้หลายวิธี แต่จะใช้วิธีใดต่อผลิตผลชนิดหนึ่งนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างคือ

1. ความบอบบางหรือความทนทานต่อการกระทบกระเทือนของผลิตผล เช่น ผลสตรอเบอรีที่มีผิวบางและอ่อนนุ่มย่อมไม่สามารถใช้วิธี hydrocooling ได้ เพราะจะทำให้ผลช้ำเสียหาย และน้ำที่หลงเหลืออยู่บนผิวผลิตผลจะทำให้เกิดราได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

2. ภาชนะสำหรับบรรจุผลิตผลที่จะใช้วิธี forced–air cooling ต้องมีช่องระบายอากาศที่เพียงพอ ส่วนภาชนะบรรจุสำหรับ hydrocooling ต้องเป็นภาชนะที่ทนน้ำได้ ไม่เสียรูปทรงเมื่อถูกน้ำ

3. ความเร็วในการจัดการตลาด เวลาที่ใช้ในการจัดการผลิตผลหลังจากการเก็บเกี่ยวจนถึงมือผู้บริโภคเป็นสิ่งกำหนดวิธีการทำให้เย็นอย่างหนึ่ง เช่น ถ้าใช้เวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงก็สามารถขนส่งผลิตผลถึงมือผู้บริโภคและคุณภาพของผลิตผลยังไม่ทันเปลี่ยนแปลง ก็อาจไม่จำเป็นต้องทำให้เย็นเลย ในทางกลับกันถ้าเวลาในการขนส่งยาวนานและช่วงเวลาก่อนการขนส่งมีน้อยมาก ก็จำเป็นต้องเลือกเอาวิธีที่ใช้เวลาในการทำให้เย็นที่สั้นที่สุด

4. ราคาผลิตผล แน่นอนที่สุดวิธีทำให้เย็นจะดีเพียงใดก็ไม่อาจนำมาใช้ปฏิบัติได้หากทำให้ต้นทุนของผลิตผลสูงขึ้นจนไม่คุ้มกับการลงทุน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.11 คุณภาพของผลสตรอเบอรี่ (นิธิยาและดนัย, 2533)

ผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดีต้องสะอาด เนื้อแน่น และมีกลีบเลี้ยงติดมาด้วย กลีบเลี้ยงมีสีเขียว ไม่แห้ง ผิวควรมีสีแดงสดทั้งผล หรืออย่างน้อยผลมีสีแดง 75 เปอร์เซ็นต์ สตรอเบอรี่ที่มีสีแดงคล้ำแสดงว่าสุกงอมเกินไป ผลสตรอเบอรี่ที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุเดียวกันควรมีสีและขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีรอยแผลช้ำ หรือเชื้อรา

มาตรฐานของผลสตรอเบอรี่ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดว่า เกรด U.S.No.1 จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า ¾ นิ้ว และยอมให้มีผลเล็กขนาดเล็กกว่าปะปนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในประเทศไทยนั้นยังไม่มีมาตรฐานของประเทศ แต่โครงการหลวงได้จัดชั้นมาตรฐานโดยใช้ขนาดของผลเป็นหลัก ดังนี้

ชั้นพิเศษ	เส้นผ่านศูนย์กลางผลมากกว่า	3.75	เซนติเมตร
ชั้น A	เส้นผ่านศูนย์กลางผลมากกว่า	3.75-3.25	เซนติเมตร
ชั้น B	เส้นผ่านศูนย์กลางผลมากกว่า	3.25-2.75	เซนติเมตร
ชั้น C	เส้นผ่านศูนย์กลางผลมากกว่า	2.75-2.50	เซนติเมตร
ชั้น D	เส้นผ่านศูนย์กลางผลมากกว่า	2.50	เซนติเมตร

2.12 การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย จึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะสั้นๆ ประมาณ 5-7 วัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ (ดนัยและนิธิยา, 2548) การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเสียก่อน โดยอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของผลสตรอเบอรีอยู่ที่ -0.8 องศาเซลเซียส (ชูพงษ์, 2531) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี เช่น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาผลสตรอเบอรีได้นาน 8 วัน ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียสสามารถเก็บรักษาสตรอเบอรีได้เพียง 1 วัน (Shoemaker, 1983) อุณหภูมิจุดเยือกแข็งของผลสตรอเบอรีอยู่ที่ -0.8 องศาเซลเซียส การสูญเสียที่เกิดระหว่างการเก็บรักษา คือ การสูญเสียสีแดงสด ผลเหี่ยว เน่าและรสชาติเปลี่ยนไป อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสจะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ประมาณ 9 เท่า แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่ออายุการวางจำหน่ายของผลสตรอเบอรีมาก การเก็บรักษาในครัวเรือนควรเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น โดยห่อด้วยพลาสติกและควรบริโภคโดยเร็วไม่ควรเก็บรักษาไว้นานเกินไป (นิธิยาและดนัย, 2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.13 สตรอเบอรี่พันธุ์ 329

สตรอเบอรี่พันธุ์ 329 (Yael) เป็นสายพันธุ์ที่มาจากต่างประเทศโดยกรมส่งเสริมการเกษตรได้นำมาทดลองปลูกเพื่อหาสายพันธุ์ที่แข็งแรง สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในไทยได้ดี จึงเผยแพร่ให้แก่เกษตรกรในพื้นที่ต่างๆ แต่ถึงจะมีคุณภาพดีเหมาะแก่การปลูกเพื่อนำผลผลิตไปใช้แปรรูปทางอุตสาหกรรม แต่สายพันธุ์ 329 ก็ยังมิใช่สตรอเบอรี่ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ภายในประเทศไทยแท้ๆ ทีมวิจัยจึงจำเป็นต้องคิดค้นผสมและคัดเลือกสตรอเบอรี่รีสายพันธุ์ใหม่เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ตลาดต้องการมาทดแทน และที่สำคัญคือ ต้องปรับตัวเข้ากับสภาพดินฟ้าอากาศของไทยได้มากที่สุด (พัฒนาสตรอเบอรี่ลูกผสม, 2549 : ออนไลน์)

ภาพ 6 สตรอเบอรี่พันธุ์ 329

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved