บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 การเสื่อมเสียของผักและผลไม้

ผักและผลไม้หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วจะเหี่ยวลง สุกเร็วขึ้น นิ่มเละ และเน่าไปในที่สุด สิ่งเหล่านี้เป็นการเสื่อมเสียคุณภาพของผักและผลไม้โดยมี สาเหตุที่สำคัญเกิดจาก

1. ธรรมชาติทางสรีรวิทยาของผักและผลไม้ ผักและผลไม้หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่จึง มีการเปลี่ยนแปลงของเมแทบอลิซึมต่างๆเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา เช่นมีกระบวนการหายใจและการคายน้ำเกิดขึ้น สาเหตุเหล่านี้อาจชะลอได้ด้วยการทำให้เย็น

2. สิ่งแวดล้อม ตั้งแต่สภาพการเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การบรรจุ การเก็บรักษาในช่วงสั้นๆก่อนการจำหน่าย ความสกปรก เชื้อจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด และอื่นๆ ซึ่งมักจะช่วยเร่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงให้เร็วขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

2.2 ความจำเป็นในการลดอุณหภูมิ

ผัก ผลไม้ และดอกไม้เมื่อถูกตัดมาจากต้นแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ และมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศหรือสภาพแวดล้อมขณะนั้น ความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก เรียกว่า field heat นอกจากนั้น ผลิตผลยังสามารถสร้างความร้อนได้เองจากกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น กระบวนการหายใจทำให้เกิดความร้อนที่เรียกว่า vital heat ความร้อนทั้งสองชนิดนี้ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะกลับไปเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในผัก ผลไม้ และดอกไม้เร็วยิ่งขึ้นอีก ทำให้คุณภาพของผัก ผลไม้ และดอกไม้ลดลง การลดอุณหภูมิจะช่วยรักษาคุณภาพของของผลิตผลไว้ได้ โดยการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมมีประโยชน์หลายประการคือ

1. ลดกระบวนการหายใจ และกระบวนการสุกของผลไม้ เนื่องจากการหายใจเป็นการใช้อาหารสะสมในรูปของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน หรือกรดอินทรีย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน ถ้าผลิตผลมีการหายใจมาก อาหารสะสมจะหมดไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตผลมีอายุการวางจำหน่ายสั้นลง นอกจากนั้นกระบวนการสุกก็เป็นขั้นตอนแรกของการเสื่อมสภาพ เมื่อผลไม้สุกอายุการใช้งานจะสั้นลงเช่นกัน

2. ลดการสูญเสียน้ำ การสูญเสียน้ำของผลิตผลก่อให้เกิดความเสียหายในด้านเศรษฐกิจและคุณภาพ เช่นทำให้น้ำหนักโดยรวมลดลง เพราะผลิตผลประกอบด้วยน้ำเฉลี่ย 80 เปอร์เซ็นต์ การเสียน้ำเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้น้ำหนักของผลิตผลลดลง เกษตรกรจึงได้ค่าตอบแทนลดลงไปด้วย นอกจากนั้น ในแง่คุณภาพ การสูญเสียน้ำ ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตผลเสียไป เช่นไม่กรอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และนิ่ม เป็นต้น ถ้าเป็นผักใบจะแสดงอาการเหี่ยว นอกจากนั้นคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามินซีจะลดลงไปด้วยเมื่อผักสูญเสียน้ำ

3. ชะลอหรือชะงักการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในสภาพอุณหภูมิต่ำ เชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ช้าลง และเมื่ออุณหภูมิต่ำเกินไปเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดจะตายไป ดังนั้นการลดอุณหภูมิจะช่วยทำให้เกิดโรคช้าลง หรือไม่เกิดเลย

4. ลดอัตราการสังเคราะห์เอทิลีน เอทิลีนมีบทบาทอย่างมากต่อกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว และมีผลเสียต่อคุณภาพของผลิตผล เพราะเอทิลีนกระตุ้นกระบวนการเสื่อมสลาย เช่น ผักเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลือง ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง (กองพัฒนาเกษตรที่สูง, 2545)

2.3 วิธีการลดอุณหภูมิเฉียบพลันแบบต่างๆ

วิธีการลดอุณหภูมิเฉียบพลันสามารถปฏิบัติได้หลายวิธีได้แก่

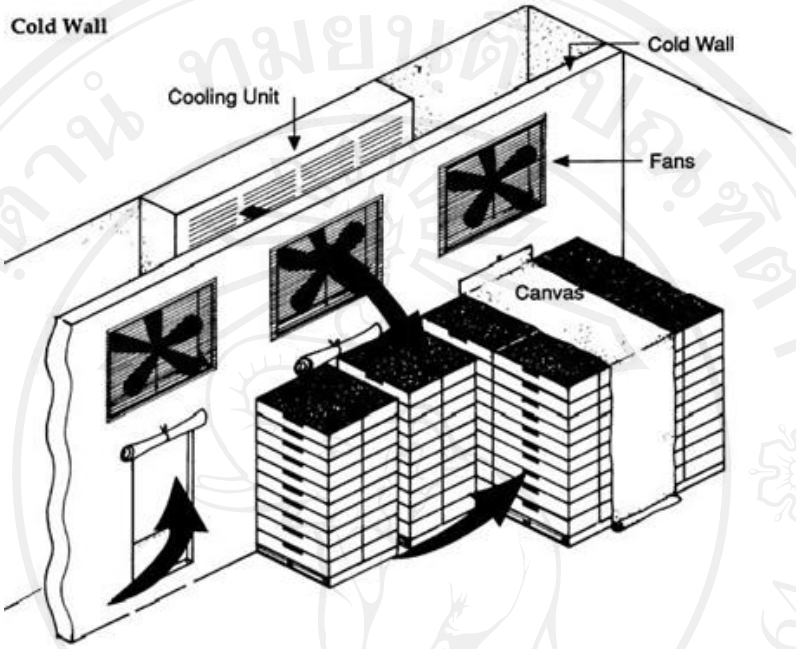
2.3.1 การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง

(1) การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็น (Room Cooling) คือการใช้ห้องเย็นเป็นห้องสำหรับลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ ซึ่งไม่ต้องมีกรรมวิธีใดๆช่วยในการลดความร้อนวิธีนี้ความเร็วในการลดความร้อนค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากอากาศภายในห้องเย็นมีการไหลหมุนเวียนน้อย

(2) การลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น (Forced-Air Tunnel Cooling) เป็นการพัฒนามาจากการลดอุณหภูมิแบบห้องเย็น ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ลักษณะการไหลของอากาศ เพื่อทำให้อากาศเย็นผ่านไปยังผักและผลไม้อย่างทั่วถึงกันในระยะเวลาอันสั้น เป็นการลดอุณหภูมิโดยการเป่าอากาศเย็นอุณหภูมิประมาณ 0-3 องศาเซลเซียส และทำการหมุนเวียนอากาศด้วยความเร็วสูง โดยทั่วไปผลิตผลที่บรรจุในกล่องหรือตะกร้าเรียบร้อยแล้วจะถูกนำเข้าไปเรียงในห้องเย็นเป็น 2 แถวชิดติดฝาผนัง เว้นที่ตรงกลางจัดให้มีพัดลมดูดอากาศออก แล้วใช้ผ้าใบปิดช่องว่างระหว่างแถวของผลิตผล เพื่อป้องกันมิให้อากาศถูกดูดออกจากห้องโดยตรง แต่จะต้องไหลผ่านผลิตผลที่วางเรียงอยู่เสียก่อน ซึ่งการหมุนเวียนอากาศด้วยความเร็วสูง ทำให้อากาศเย็นไหลผ่านและแทรกตัวเข้าไประหว่างภาชนะบรรจุและผลิตผลที่อยู่ภายใน ทำให้อากาศเย็นสามารถพาความร้อนออกจากผลิตผลได้อย่างรวดเร็ว โดยลักษณะการวางของตะกร้าพบว่า ตะกร้าที่อยู่ด้านบนและด้านในสุดจะได้รับลมที่มีอากาศเย็นมากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งระยะห่างของตะกร้าแต่ละแถว ควรให้มีระยะห่างประมาณ 13 หรือ 19 มิลลิเมตร จะทำให้ระบบการลดความร้อนมีประสิทธิภาพดีกว่าการวางตะกร้าชิดกัน เพราะจะเป็นการทำให้อากาศสามารถไหลผ่านได้อย่างทั่วถึงกัน เมื่อผักและผลไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เย็นลงแล้ว จะต้องลดหรือหยุดการหมุนเวียนของอากาศเย็น เพราะว่าหากปล่อยให้มีการไหลเวียนต่อไปจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้มาก



ภาพที่ 1 ตำแหน่งติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ผนังและทิศทางการไหลของอากาศในห้อง forced-air cooling
ที่มา: Kitinoja and Kader (2003)

2.3.2 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง (Hydro-Cooling) เป็นวิธีการลดความร้อนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะว่าให้ประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนสูงและเป็นสารที่นำความร้อนได้ดี จึงมีการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการลดความร้อน ซึ่งมีความเร็ว ใช้ได้ดีกับผักและผลไม้หลายชนิด การทำ hydro-cooling สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปล่อยน้ำเย็นไหลผ่านผักและผลไม้ซึ่งเคลื่อนมาตามสายพาน การสเปรย์น้ำเย็นลงบนผักและผลไม้ การจุ่มผักและผลไม้ลงในน้ำเย็น หรือถังแช่น้ำแข็ง น้ำที่ใช้ควรมีอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส และเติมคลอรีนหรือสารระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อเป็นการช่วยในการทำความสะอาดเบื้องต้นด้วย

2.3.3 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง (Contact Icing) เป็นวิธีการลดความร้อน โดยการใช้น้ำแข็งบดเป็นก้อนเล็กๆ ใส่ผสมไปกับผลิตผล เพื่อทำให้ผลิตผลนั้นเย็นลงโดยตรง เป็นวิธีที่ใช้เฉพาะกรณีที่ไม่มีเครื่องทำความเย็น ซึ่งวิธีนี้ประสิทธิภาพยังไม่ดีพอ ถ้าต้องการให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ต้องมีการใช้ร่วมกับน้ำเย็นเพราะว่าจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.4 การลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศ (Vacuum Cooling) เป็นวิธีที่กระทำในสภาพที่มีความดันต่ำ โดยจะทำการดูดเอาอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อความดันบรรยากาศลดลงจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปได้ง่าย โดยการเปลี่ยนสถานะนี้จะใช้พลังงานความร้อนที่มีอยู่ภายในผลิตผลนั้นเอง ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดต่ำลง โดยผลิตผลใดที่มีพื้นที่ผิวมาก จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนออกไปได้มากตามไปด้วย ปริมาตรของน้ำที่ระเหยออกตามผลิตผลด้วยวิธีนี้จะมากเป็น 200 เท่าของการสูญเสียโดยวิธีอื่น แต่จะทำให้ผลิตผลจะเย็นลงอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ การลดความร้อนโดยวิธีนี้ผลิตผลจะสูญเสียน้ำประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ต่ออุณหภูมิที่ลดลง 6 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง (นิธิยาและดนัย, 2548)

2.3.5 การลดความร้อนด้วยวิธีอื่นๆ นอกจากวิธีที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ยังมีวิธีอื่นๆที่ใช้ในการลดความร้อนของผักและผลไม้อีก เช่น การใช้ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว และคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง วิธีการเหล่านี้จะใช้กับผลิตผลในตู้สินค้า (container) โดยการพ่นไนโตรเจนเหลวหรือคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในตู้สินค้า ซึ่งสามารถทำให้อากาศภายในและผลิตผลเย็นลงได้อย่างรวดเร็ว แต่จะต้องมีการจัดวางผลิตผลให้มีความเหมาะสมต่อการไหลเวียนของอากาศด้วย เทคนิคในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันให้แก่ผักนั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธี โดยมีเป้าหมายอย่างเดียวกันคือ การดึงความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกออกจากผักทันทีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งวิธีที่ต่างกันก็จะให้ผลได้ดีกับผักแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป ในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมนั้นควรพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

(1) ธรรมชาติของผลิตผล ประเภทของผลิตผลที่แตกต่างกัน ต้องการการทำความเย็นที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น สตรอเบอร์รี่และบรอคโคลี่ ต้องการอุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็งในขณะที่น้ำเต้า และมะเขือเทศอาจจะได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำเกินไป ในทำนองเดียวกัน เนื่องจากปัญหาอาจเกิดจากความเปียกของผัก เช่น ดอกไม้บางอย่างอาจอ่อนแอต่อเชื้อราสีเทา (gray mould) และอาจไม่เหมาะต่อการทำให้เย็นโดยใช้น้ำ (จริงแท้, 2544)

(2) การใช้บรรจุภัณฑ์ การเลือกวิธีการทำให้เย็นได้รับอิทธิพลอย่างมากจากชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ผลิตผลอาจถูกบรรจุในกล่อง ถังหรือถุง ที่จะเปลี่ยนและมีผลต่อความต้องการในการทำให้เย็น และมีอิทธิพลต่อเทคโนโลยีการทำความเย็นที่จะช่วยลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว รูปแบบของบรรจุภัณฑ์และวัสดุมีผลต่อการเลือกวิธีการทำให้เย็นและอัตราการทำให้เย็น เช่น บรรจุภัณฑ์ที่มีรูพรุน สามารถทำการลดอุณหภูมิลงได้เร็วและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท

(3) การไหลของผลิตผล เทคนิคการทำความเย็นบางอย่างมีความรวดเร็วกว่าวิธีอื่น และมีความแตกต่างในผลิตผลทั้งหมด ถ้าปริมาณของผลผลิตที่ต้องทำให้เย็นต่อฤดูกาล ต่อวัน หรือต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชั่วโมงมีปริมาณมาก เทคนิคการทำความเย็นที่รวดเร็วจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถผลิตได้อย่างเพียงพอ ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ในการทำความเย็น และขั้นตอนการบรรจุหรือการจับคู่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ควรได้รับการพิจารณาเพื่อมิให้เกิดการติดขัดในระหว่างการไหลของผลิตผลในโรงงาน

(4) ข้อพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนการก่อสร้างและการดำเนินงานมีความผันแปรอย่างมาก ระหว่างวิธีการทำให้เย็นแต่ละวิธี ค่าใช้จ่ายในการเลือกเทคนิคการทำความเย็นต้องมีความสมเหตุสมผล ทำให้เกิดได้ราคาขายที่สูง หรือทำให้ได้ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจอื่นๆ ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของแต่ละวิธี

2.4 การวางแผนลดความร้อน

ในการวางแผนลดความร้อนของผลิตผลนั้น มีปัจจัยหลายประการที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้การลดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

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

2.4.2 ขนาดและความแน่นของผลิตผล จะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายในผลิตผลออกมาสู่ภายนอก ผลิตผลที่มีขนาดเล็กจะลดอุณภูมิได้อย่างรวดเร็วกว่าขนาดใหญ่เพราะผลิตผลขนาดใหญ่มีความจุความร้อนมากกว่าขนาดเล็ก

2.4.3 อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลที่ต้องการ จะมีผลต่อความยาวของ cooling cycle ที่ใช้

2.4.4 ปริมาณของผลิตผลที่ลดความร้อนต่อหน่วยเวลา จะมีผลต่อขนาดของเครื่องที่ใช้ลดความร้อนนั้น ควรได้รับการประเมินจากปริมาณของผลิตผลที่มีมากที่สุดในแต่ละวัน

2.4.5 การขยายตัวของกิจการในอนาคต

2.5 ผลของการบรรจุหีบห่อต่อการลดความร้อน

ภาชนะบรรจุสำหรับการขนส่งและภาชนะบรรจุอื่นๆ เช่น พลาสติกและกระดาษจะมีผลต่ออัตราการลดความร้อน เพราะจะทำให้อัตราการลดความร้อนลดลง

2.4.1 ชนิดของภาชนะบรรจุสำหรับขนส่งที่ใช้ เช่น ภาชนะขนาดใหญ่ (bins) ตะกร้า กล่องกระดาษ และถุงตาข่าย จะมีผลต่ออัตราการลดความร้อนและความสม่ำเสมอ และมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องลดความร้อนที่ใช้

2.4.2 วัสดุบรรจุ เช่น กรณีที่เป็นภาชนะบรรจุสำหรับขายปลีก หากมีการกรุพลาสติกหรือวัสดุอื่นไว้ด้านในของภาชนะบรรจุ และเมื่อเพิ่มความแน่นหรือความหนาของวัสดุเหล่านี้ จะมีผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้ประสิทธิภาพของการลดความร้อนลดลง ส่วนการมีรูระบายอากาศที่วัสดุบรรจุภัณฑ์จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพของการลดความร้อนดีขึ้น

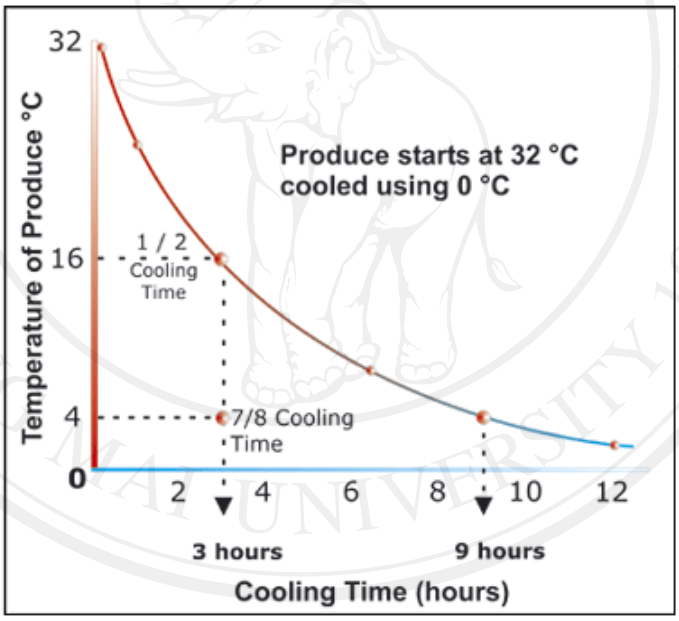
2.4.3 รูระบายอากาศ การวางเรียงซ้อนกันและรูปแบบการวางเรียงภาชนะบรรจุระหว่างการลดความร้อนจะมีผลต่ออัตราเร็วในการลดความร้อนมาก รูระบายอากาศทางด้านข้างที่ติดกันจะต้องวางให้ตรงกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการลดความร้อนและรูระบายอากาศจะต้องออกแบบอย่างดี การวางเรียงซ้อนกันจะต้องช่วยให้การลดความร้อนมีประสิทธิภาพสูง (นิธิยาและดนัย, 2548)

ปัจจุบันการลดอุณหภูมิในทางการค้าสำหรับผลิตผลจำพวกผักใบจะนิยมใช้การเก็บไว้ในห้องลดอุณหภูมิ (room cooling) การทำความเย็นด้วยวิธีนี้จะนำเอาภาชนะที่บรรจุผักไปเก็บไว้ในห้องลดอุณหภูมิ ทำให้ความเย็นไม่ได้ไหลเข้าไปสัมผัสกับผักได้โดยตรง แต่ผักจะคายความร้อนออกมาด้วยการนำความร้อนออกต่อๆ กันไปสู่ผนังภาชนะ เพื่อทำให้อุณหภูมิของผักลดลงเท่ากับอุณหภูมิเก็บรักษา ถ้าอุณหภูมิห้องต่ำมากๆ ทำให้ความเย็นไม่สม่ำเสมอ จึงไม่เหมาะสมกับผักที่เน่าเสียได้ง่าย ถ้าต้องการให้ระยะเวลาในการทำความเย็นสั้นลงจะต้องใช้กำลังของเครื่องทำความเย็นที่สูงมาก เครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่จะมีราคาที่แพงและสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าในการทำงานมาก และอีกประการหนึ่งเมื่อเก็บรักษาผักไว้ในห้องลดอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดแข็งตัวของน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิของห้องเป็น -20 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลิตผลเกิดการแข็งตัว ซึ่งไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ที่จะเก็บในรูปของผลิตผลสด ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำๆ จึงต้องผ่านขั้นตอนของการลดอุณหภูมิลงมาให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการเก็บรักษาเสียก่อน แล้วจึงนำผลิตผลมาเก็บไว้ในห้องเย็น ทำให้ประหยัดมากกว่าเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาโดยไม่ผ่านขั้นตอนของการลดอุณหภูมิ การเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ผลิตผลที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ชะลอการสุก ลดการสูญเสียน้ำ และชะลอการเสื่อม ซึ่งมีผลต่อการรักษาคุณภาพของผลิตผลให้สูงอยู่ แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่จะเก็บรักษาผลิตผลนี้ต้องไม่ลดลงมาต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเสียหายด้วยความเย็นต่อผลิตผล (chilling injury) อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลนี้จะขึ้นอยู่กับชนิด และพันธุ์ของผลิตผล ดังนั้นถ้าลดอุณหภูมิของผลิตผลลงแต่ไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเสียหาย และเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมินี้ จะทำให้รักษาคุณภาพของผลิตผลให้อยู่ในระดับสูงและเก็บไว้ได้นาน (เด่น, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 ลักษณะกราฟของการลดอุณหภูมิ

เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผักลง ในช่วงแรกอุณหภูมิของผักจะลดลงอย่างรวดเร็ว ต่างจากในช่วงหลังซึ่งอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง ในการเปรียบเทียบความรวดเร็วในการลดความร้อนด้วยวิธีต่างๆ นั้น สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า half-cooling time (t ½) ซึ่งหมายถึง เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผักลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผักเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง จากกราฟจะเห็นว่า หากต้องการให้อุณหภูมิของผักเย็นลงเท่ากับอุณหภูมิของตัวกลางแล้ว เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจะยาวนานมาก ดังนั้นการลดอุณหภูมิลงให้ได้ภายในเวลาอันสั้นจำเป็นต้องใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ แต่ต้องไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตผล (จริงแท้, 2544)



ภาพที่ 2 ลักษณะของ Cooling Curve

ที่มา: Brancato (2004)

2.7 สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรแสดงประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิ (cooling parameters)

2.7.1 Half cooling time (Z) คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง เช่น ค่า half cooling time ของผลิตผลที่อุณหภูมิเริ่มต้น 32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศ 0 องศา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลเซียส ลดอุณหภูมิผลิตผลลงเหลือ 16 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 4 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Z = (In(2j))/C \quad (1)$$

เมื่อ Z = Half cooling time (s)

2.7.2 Seven-eight cooling time (S) คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง 7/8 ของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง เช่น ผลิตผลลดอุณหภูมิลงเหลือ 4 องศาเซลเซียส ค่า seven-eights cooling time เท่ากับ 11 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$S = (In(8j))/C \quad (2)$$

เมื่อ S = Seven-eights cooling time (s)

2.7.3 Cooling coefficient (C) คือ ความชันของเส้นกราฟระหว่าง In(θ) กับ t ซึ่งจะแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลต่อหนึ่งหน่วยเวลา ค่าของ cooling coefficient จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของผลิตผลและของตัวกลางที่ใช้ลดอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C = (In(\theta)/t \quad (3)$$

เมื่อ C = Cooling coefficient (1/s)

และ $\theta = (T - T_a)/(T_i - T_a)$ (4)

เมื่อ θ = Dimensionless temperature

T = อุณหภูมิที่เวลาใดๆ (°C)

T_a = อุณหภูมิตัวกลาง (°C)

T_i = อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล (°C)

2.7.4 Lag factor (J) คือ อัตราส่วนระหว่าง θ กับ exp (-Ct) ซึ่งค่า lag factor นี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตผล เช่น รูปร่าง ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity; k) thermal diffusivity (a) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าของผลิตผล (surface heat transfer coefficient; h_c)

ค่า cooling parameters ของการลดอุณหภูมิมีความหมายดังนี้ ค่า lag factor ของการลดอุณหภูมิผลิตผลมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าผลิตผลมีความต้านทานการนำความร้อนภายในผลิตผล (internal resistance) และการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นทั้งแบบการนำและการพาความร้อน และค่า lag factor ของผลิตผลมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลิตผลมีความต้านทานภายในน้อยมาก ทำให้สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้อย่างรวดเร็ว สำหรับค่า cooling coefficeients เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการลดอุณหภูมิของผลิตผล ในกรณีที่มีค่าสูง หมายถึงการลดอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการจะใช้ระยะเวลาที่สั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับค่า half cooling time หมายถึงเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง สำหรับค่า seven-eight cooling time (S) คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง 7/8 ของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง (ภักดีและชนิตา, 2548)

2.8 ลักษณะทั่วไปของบรอคโคลี่

2.8.1 แหล่งกำเนิดและการพัฒนา

บรอคโคลี่ (Broccoli) เป็นผลิตผลที่อยู่ในตระกูล Brassicaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Brassica oleracea* var. *italica* ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกับ กะหล่ำปลี, คะน้า, ผัดกาดขาวปลี และเทอร์นิพ มีแหล่งกำเนิดอยู่แถวแถบตะวันออกของเมดิเตอร์เรเนียน ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจทางตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย และอเมริกาเหนือในศตวรรษที่ 19 (Tsang and Furutani, 2002)

2.8.2 ความสำคัญของบรอคโคลี่

(1) ความสำคัญทางเศรษฐกิจ บรอคโคลี่ได้ถูกนำมาปลูกในประเทศไทยประมาณ 30 ปี แต่คนไทยไม่นิยมบริโภคเนื่องจากมีสีเขียว โดยจะนิยมบริโภคกะหล่ำดอกมากกว่า แต่ปัจจุบันผลิตผลชนิดนี้กลับมีความสำคัญมากขึ้น เพราะมีการสั่งซื้อมาจากตลาดต่างประเทศ ทั้งจำหน่ายสดและอุตสาหกรรมแช่แข็ง นอกจากนี้คนไทยเริ่มนิยมบริโภคบรอคโคลี่มากขึ้น จึงทำให้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากขึ้น

(2) ความสำคัญทางคุณค่าอาหาร ส่วนประกอบของดอกบรอคโคลี่ประกอบด้วยดอกอ่อน (flower bud) สีเขียวขนาดเล็กจำนวนมากรวมกันเป็นกระจุก มีลักษณะหลวม ไม่อัดตัวกันแน่นเป็นก้อนเหมือนกะหล่ำดอก ดอกแรกหรือดอกประธานอาจมีขนาดใหญ่ 10-15 เซนติเมตรหรือมากกว่า การใช้ประโยชน์จากดอกบรอคโคลี่นิยมนำไปประกอบอาหารประเภทผัด และก้านดอกนิยมนำไปทำแกงส้ม (ไฉน, 2542)

บรอคโคลี่ประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการมากมายที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยขนาดรับประทาน 91 กรัม จะให้พลังงาน 31 แคโรลี และให้สารอาหารต่างๆได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม โซเดียม เหล็ก และวิตามิน A และ C นอกจากนั้นบรอคโคลี่ยังประกอบไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการอื่นๆอีก เช่น วิตามิน B1, B2, B3, B6 แมกนีเซียม โพแทสเซียม และสังกะสี เป็นต้น งานวิจัยของสถาบัน National Cancer Institute แสดงให้เห็นว่าบรอคโคลี่ หรือพืชที่อยู่ในตระกูล Cruciferous มีส่วนประกอบสำคัญในการป้องกันมะเร็งบางชนิดได้ เช่น beta carotene, vitamin C, calcium, fiber และ phytochemical, indoles และ aromatic isothiocynates ซึ่งมีการตอบสนองต่อเอนไซม์ที่ช่วยในการล้างพิษในร่างกาย และยังช่วยป้องกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเกิดโรคร้ายแรงต่างๆ เช่น มะเร็ง, เบาหวาน, โรคหัวใจ และโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น นอกจากนั้น บรอคโคลี่ยังช่วยลดปริมาณคอเรสเตอรอลในเลือดได้ โดยนักวิจัยของสถาบัน U.S. Department of Agriculture's Regional พบว่า บรอคโคลี่มีส่วนประกอบของ pectin fiber หรือที่เรียกว่า calcium pectate ซึ่งสามารถลดปริมาณการปล่อยคอเรสเตอรอลจากตับสู่กระแสเลือดได้ โดยให้ผลดีเท่ากับยาที่ใช้ลดปริมาณคอเรสเตอรอลหลายๆชนิด (Tsang and Furutani, 2002)

2.8.3 การจำแนกพันธุ์บรอคโคลี่

บรอคโคลี่สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม โดยใช้สีของดอก (sprout) เป็นเกณฑ์ได้ดังนี้

1. กลุ่มดอกสีม่วง (purple sprout) ได้แก่ พันธุ์ Christmas Purple Sprout
2. กลุ่มดอกสีขาว (white sprout) ได้แก่ พันธุ์ Early White Sprout
3. กลุ่มดอกสีเขียว (green sprout) ได้แก่ พันธุ์ Green Comet

พันธุ์ที่เหมาะสมการปลูกในประเทศไทย ต้องเป็นพันธุ์เบา เพราะต้องการอุณหภูมิต่ำน้อยกว่าพันธุ์หนัก ซึ่งพันธุ์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยได้แก่

1. พันธุ์ Di Cico อายุ 60 วันหลังย้ายปลูก เป็นพันธุ์ปลูกได้ผลดีในประเทศไทย
2. พันธุ์ Morakot อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก เป็นพันธุ์ลูกผสม (F1)
3. พันธุ์ Negro อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก เป็นพันธุ์ลูกผสม (F1)
4. พันธุ์ Toro อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก เป็นพันธุ์ลูกผสม (F1)
5. พันธุ์ Top Green อายุ 55 วันหลังย้ายปลูก
6. พันธุ์ ตราช้าง เบอร์ 12 อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก
7. พันธุ์ ตราช้าง เบอร์ 30 อายุ 49 วันหลังย้ายปลูก
8. พันธุ์ โคย่า อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก

2.8.4 การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวบรอคโคลี่

การเก็บเกี่ยวบรอคโคลี่ควรเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าหรือเย็น โดยเลือกเก็บเฉพาะดอกที่ได้ระยะพอดี คือเก็บในขณะที่กลุ่มดอกยังเกาะตัวกันแน่น และต้องเก็บก่อนที่ดอกย่อยจะบานแย้มกลีบสีเหลืองออกมาให้เห็น ผลผลิตบรอคโคลี่ที่ตลาดจำหน่ายต้องการมาก คือต้องเป็นดอกที่มีขนาดใหญ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-15 เซนติเมตร ก้านดอกยาวประมาณ 15 เซนติเมตร

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวบรอคโคลี่ โดยเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วนำมาเตรียมเพื่อส่งตลาดดังนี้

(1) การล้าง โดยทั่วไปการทำความสะอาดดอกบรอคโคลี่ไม่จำเป็นต้องล้างน้ำ ส่วนใหญ่ใช้เช็ดด้วยผ้าสะอาด หรือใช้แปรงปัด อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเก็บเกี่ยวบรอคโคลี่ในขณะที่มีอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูง ไม่ว่าจะเป็นเวลาเช้าหรือเย็นก็ตาม จำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิภายในดอกด้วยการจุ่มดอกลงในน้ำ หรือฉีดพ่นด้วยน้ำสะอาด จึงถือว่าเป็นการทำความสะอาดดอกไปในขณะเดียวกัน

(2) การตัดแต่ง เนื่องจากก้านดอกของบรอคโคลี่มีคุณค่าทางอาหารสูง และมีความสดสามารถนำไปประกอบอาหารได้ด้วย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวต้องตัดให้มีก้านดอกติดมาด้วย เสร็จแล้วใช้มีดที่คมตัดก้านใบที่ติดกับก้านดอกออกให้ชิดกับก้านดอก แต่เหลือก้านใบที่ติดอยู่กับดอกให้เหลือไว้เพื่อป้องกันดอกถูกกระทบกระเทือนแต่ให้ตัดใบและก้านใบออกให้เหลือพอดีกับระดับดอก

(3) การคัดเกรด ขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาด โดยส่วนมากเกรดเอ เป็นดอกที่ได้จากดอกประธาน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 เซนติเมตร รูปทรงของดอกดี สมบูรณ์ ตรงตามพันธุ์ทั้งทางด้านสีดอกและขนาด ลักษณะดอกอัดกันแน่น ดอกย่อยยังไม่บาน และปราศจากโรคและแมลง

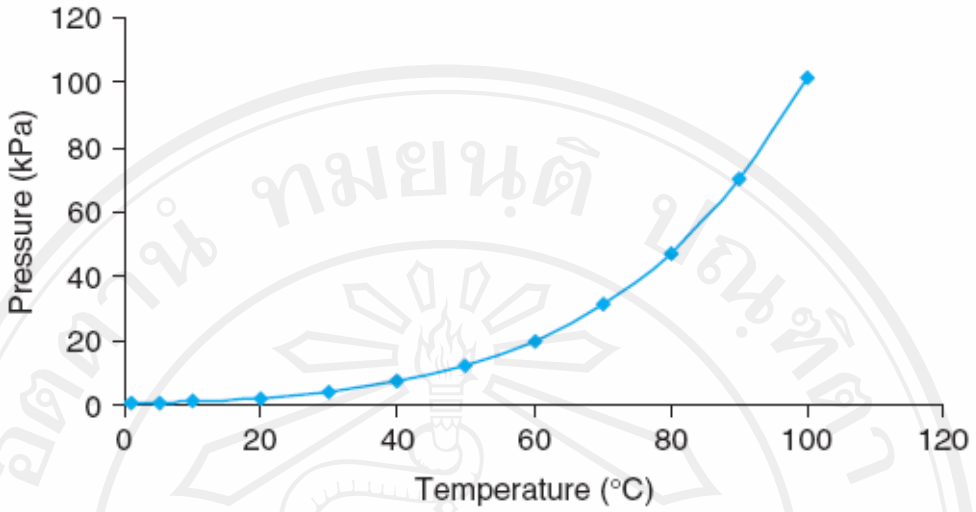
(4) การบรรจุ และการเก็บรักษา เมื่อบรรจุบรอคโคลี่เรียบร้อยแล้วให้นำส่งตลาดทันที แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องเก็บไว้ก่อนให้เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพันธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ เก็บไว้ได้นาน 10-14 วัน (ไฉน, 2542)

บรอคโคลี่ เป็นผลิตผลที่มียอดขายสูงของมูลนิธิโครงการหลวงและเป็นที่ต้องการของตลาดจำนวนมาก โดยมีปริมาณการจำหน่ายในปีพ.ศ. 2549 รวมทั้งหมด 113.49 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,568,445.10 บาท แต่ก็เป็นผลิตผลที่มีการเสื่อมเสียคุณภาพอย่างรวดเร็ว จากการบานและการเกิดสีเหลืองของดอกบรอคโคลี่ ทำให้คุณภาพไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและอายุการวางจำหน่ายสั้นลง เนื่องจากบรอคโคลี่เป็นผลิตผลที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและยังมีสารต้านอนุมูลอิสระอีกหลายชนิดดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการรักษาคุณค่าทางอาหารเหล่านั้นไว้ให้ได้มากที่สุดซึ่งการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศ ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติได้

2.9 หลักการทำงานของการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ

เนื่องจากอุณหภูมิที่น้ำเริ่มเกิดการระเหยแปรผันตรงกับความดันไอน้ำของสิ่งแวดล้อม โดยที่ความดัน 1 บรรยากาศ (100 kPa) น้ำจะเริ่มระเหยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อความดันถูกลดลงมาให้ต่ำกว่า 1 บรรยากาศ น้ำจะเริ่มระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวและอุณหภูมิ
ที่มา: Zheng and Sun (2004)

หลักการทำงานของการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศเป็น การทำให้ความชื้นที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในผลิตภัณฑ์ระเหยออกจากบริเวณผิวหน้า และภายในผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าปกติ เมื่อผลิตผลอยู่ในสภาวะความดันต่ำจนมีความดันไอน้ำอิ่มตัวของบรรยากาศ (saturation pressure) เท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ น้ำในผลิตภัณฑ์จะเริ่มเกิดการระเหย ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่า “flash point” เมื่อน้ำในผลิตภัณฑ์เริ่มระเหย จึงต้องการพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอหรือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of evaporation) ซึ่งพลังงานนี้จะอยู่ในรูปของความร้อนที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะเป็นความร้อนที่ได้จากการหายใจ (vital heat) และความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกหรือสิ่งแวดล้อม (field heat) ดังนั้นเมื่อมีการนำความร้อนจากทั้งสองแหล่งนี้ไปใช้ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิลดลง การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ความชื้นในอาหารที่ประกอบด้วยน้ำอิสระ ถูกทำให้เย็นโดยการระเหยความชื้นภายใต้สภาวะสุญญากาศ สำหรับผักและผลไม้ สามารถนำ การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศ ไปใช้ได้กับผลิตผลที่มีผิวสัมผัสและมีปริมาณน้ำในผลิตผลมากเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากแปลงปลูก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว (McDonald and Sun, 2000) ผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น ผักที่บริโภคใบสามารถคายความร้อนออกไปได้มากด้วยวิธีนี้และอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนในผลิตผลที่มีลักษณะเป็นผลหรือหัว มีพื้นที่ผิวน้อย เช่น มะเขือเทศ และมันฝรั่ง วิธีนี้ใช้ไม่ได้ผลนัก เพราะพื้นที่ที่จะให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นไอมีน้อย อย่างไรก็ตาม ในผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมาก หากมีการสูญเสียน้ำไปมากจะทำให้ผลิตผลเหี่ยวและมีคุณภาพลดลง ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักอาจสูงถึง 0.2 เปอร์เซ็นต์ ทุกๆ อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสที่ลดลง จึงต้องมีการพรมผลิตผลด้วยน้ำเย็นก่อนทำการลดความดันบรรยากาศ ซึ่งทำให้สามารถลดการสูญเสียน้ำจากผลิตผลลงได้มาก เพราะการระเหยกลายเป็นไอและพาความร้อนออกไปจะเกิดกับน้ำที่พรมไว้ก่อน ทำให้ผลิตผลมีคุณภาพดีขึ้น (จริงแท้, 2544) การลดอุณหภูมิโดยการระเหยของน้ำที่ความดันต่ำ ผลิตผลที่นำมาลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้ควรมีใบที่ซ้อนกันเป็นชั้นหนา น้ำหรืออากาศไม่สามารถไหลเวียนผ่านเข้าไปได้ การลดความดันลงอย่างมากทำให้น้ำสามารถเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากผิวของผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้ทำให้อุณหภูมิทุกส่วนของใบที่เป็นกาบใบลดลงอย่างสม่ำเสมอ และไม่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ โดยส่วนมากนิยมใช้ในประเทศที่เจริญแล้ว เช่น ประเทศอิสราเอล โดยสามารถลดอุณหภูมิในกะหล่ำปลีที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ให้ลดลงเหลือ 4 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 45 นาทีเท่านั้น (สมโภชน์, 2543)

2.10 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีความแตกต่างกันทั้งขนาดและรูปร่าง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน แต่โดยทั่วไปมีส่วนประกอบพื้นฐานเหมือนกัน ซึ่งประกอบด้วย

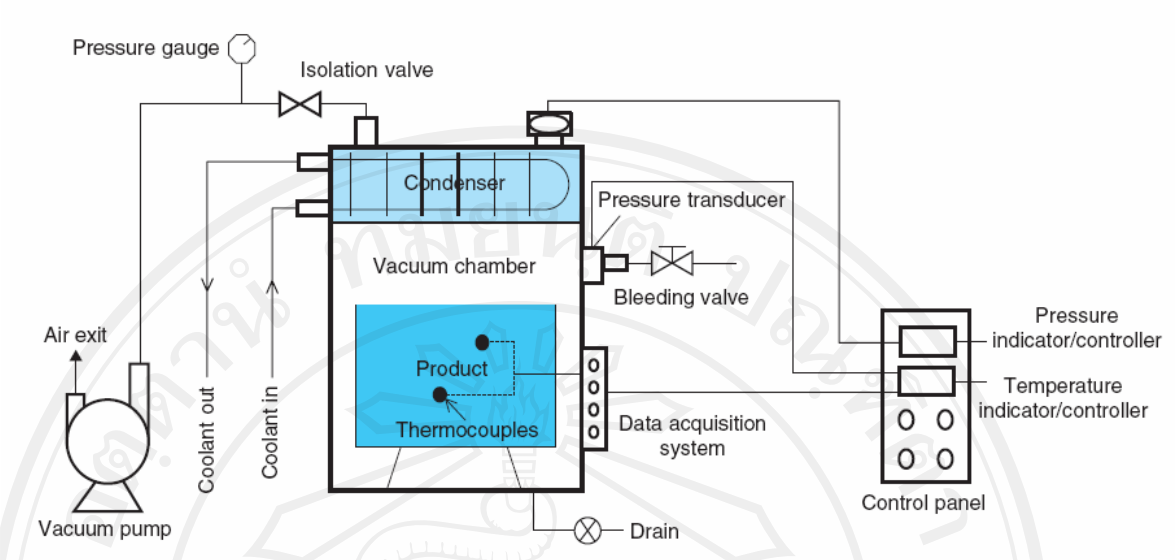
1. Vacuum Chamber เป็นส่วนที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดอุณหภูมิ ซึ่งจำเป็นต้องมีลักษณะปิดสนิทตลอดกระบวนการ เพื่อให้ภายใน chamber สามารถรักษาลักษณะสุญญากาศไว้ได้

2. Vacuum Pump เป็นส่วนที่ใช้ในการดูดอากาศภายใน vacuum chamber ออกเพื่อทำให้ภายใน chamber มีลักษณะเป็นสุญญากาศ ซึ่งนิยมใช้ oil-sealed rotary pump

3. Vapour Condenser เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบแน่นไอน้ำที่ระเหยออกมาจากผลิตภัณฑ์ให้กลับไปเป็นน้ำโดยจะทำการติดตั้งไว้ใน vacuum chamber

นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยส่วนประกอบอื่นๆ อีกซึ่งแสดงใน ภาพที่ 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบต่างๆของระบบ vacuum cooling

ที่มา: Zheng and Sun (2004)

2.11 ขั้นตอนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ

โดยทั่วไป กระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ มีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

1. นำผลิตภัณฑ์ใส่เข้าไปใน vacuum chamber และปิดประตู

2. เปิด vacuum pump ดูดอากาศภายใน vacuum chamber ออกให้มีความดันบรรยากาศต่ำกว่าปกติจนถึงจุดที่เริ่มมีการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ (flash point) ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 7-10 นาทีขึ้นอยู่กับขนาดของ vacuum chamber และ ประสิทธิภาพของ vacuum pump

3. เมื่อมีไอน้ำใน vacuum chamber มากขึ้น จะถูกกำจัดโดย vapour condenser โดยทำให้น้ำเกิดการควบแน่น และระบายออกทางท่อระบายน้ำทิ้ง

4. ดำเนินการลดอุณหภูมิไปจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนด แต่ไม่ควรลดความดันให้ต่ำกว่า 5-6 มิลลิบาร์ เพราะอาจส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเป็นการเพิ่มการทำงานของ vacuum pump มากเกินไป

5. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดความดัน จะทำการเปิดวาล์วระบายอากาศ (ventilation valve) ให้อากาศภายนอกกลับเข้าไปใน vacuum chamber เพื่อให้ภายในมีบรรยากาศกลับสู่สภาวะปกติ

6. เปิดประตูและนำผลิตภัณฑ์ออกมาแล้วนำไปเก็บรักษาตามอุณหภูมิที่กำหนด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.12 ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยสุญญากาศ (McDonald and Sun,2000)

(1) การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศ เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ เช่น การใช้อากาศเย็น หรือการแช่ในน้ำเย็น โดยทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากตัวผลิตผลไปยังผิวภายนอกโดยใช้ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว

(2) สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้ปริมาณมากต่อครั้ง และใช้ได้กับผลิตผลที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุ โดยไม่ต้องคำนึงถึงการหมุนเวียนของอากาศ ชนิดของภาชนะบรรจุ หรือตัวกลางในการลดอุณหภูมิ

(3) เนื่องจากเป็นการลดอุณหภูมิที่เกิดจากภายในตัวผลิตผลเองทำให้ได้ผลิตผลที่มีรูปลักษณะเดียวกัน (uniform) หลังจากผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศแล้ว

(4) สามารถกำจัดน้ำส่วนเกินที่ติดอยู่บริเวณผิวของผลิตผลที่ไม่ต้องการได้ ทำให้ป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้

(5) การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศ เป็นการลดอุณหภูมิที่ผลิตผลไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้สามารถลดความเสียหายทางกลของผลิตผลได้

(6) การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเร็วกว่าวิธีอื่นๆ โดยสามารถลดอุณหภูมิได้ 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับผลิตผล เช่น chilling injury หรือ surface freezing ที่พบในการลดอุณหภูมิวิธีอื่นๆโดยใช้อัตราเร็วในการลดอุณหภูมิที่เร็วเกินไป

(7) สามารถควบคุมอุณหภูมิของผลิตผลได้อย่างแน่นอนโดยการกำหนดความดันที่เหมาะสม การใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้นทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้

(8) การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศอาจมีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่าการลดอุณหภูมิโดยวิธีอื่นๆ แต่ในการดำเนินงานแต่ละครั้งพบว่ามีต้นทุนและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ (Sun and Zheng, 2006)

2.13 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Zheng and Sun, 2004)

เนื่องจากการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นวิธีการที่มีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเร็วกว่าวิธีอื่นๆโดยมีหลักการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกเมื่อเริ่มมีการระเหยของน้ำบริเวณผิวหน้า หรือภายในผลิตผลที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน หลังจากนั้นจะเกิดการแพร่ของไอน้ำผ่านช่องว่างในผลิตผล ไปสู่บริเวณผิวหน้าของผลิตผล ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.13.1. คุณสมบัติความมีรูพรุน และการกระจายของรูพรุนในผลิตผล โดยผลิตผลที่โครงสร้างที่มีรูพรุนมาก และมีการกระจายของรูพรุนทั่วทั้งผลิตผลจะทำให้มีกระบวนการในการลดอุณหภูมิเร็วขึ้น

2.13.2. ลักษณะของภาชนะบรรจุ การบรรจุผลิตผลลงในภาชนะบรรจุมีผลต่ออัตราเร็วในการลดอุณหภูมิของผลิตผลโดยใช้ระบบสุญญากาศ ยกตัวอย่างเช่น ผักกาดหอมห่อที่หอหุ้มด้วยพลาสติกหรือบรรจุในภาชนะบรรจุที่เจาะรู จะมีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเร็วกว่าผลิตผลที่บรรจุในกล่องหรือภาชนะที่ไม่มีการระบายอากาศ

2.13.3. ประสิทธิภาพของ vacuum pump การใช้ปั๊มดูดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายเร็วขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การทดสอบเครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศเพื่อการค้าในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดชนิด PVC เมื่อใช้ปั๊มดูดอากาศที่มีขนาด 630 m^3/h ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ 78 นาที และสามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อปริมาณ 24 พาเลทได้ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง แต่เมื่อใช้ปั๊มที่มีขนาด 1660 m^3/h โดย 10 นาทีแรกใช้ปั๊มที่มีขนาด 1250 m^3/h จะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิทั้งหมด 32 นาที และสามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อได้ถึง 52 พาเลทได้ในระยะเวลาเท่ากัน ซึ่งการมีอัตราการลดอุณหภูมิที่เร็วขึ้นจะเป็นการเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้นเช่นกัน

2.13.4. อุณหภูมิของ condenser โดย condenser ที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำเร็วขึ้น และทำให้กระบวนการลดอุณหภูมิเร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม การควบแน่นจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากจะเกิดน้ำแข็งเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของ condenser

2.13.5. อุณหภูมิภายในผลิตผล คุณสมบัติการมีรูพรุน และการกระจายของรูพรุนในผลิตผลมีผลต่อการกระจายของอุณหภูมิในผลิตผลในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยผลิตผลที่มีโครงสร้างรูพรุนที่เหมือนกัน และมีการกระจายเท่ากันทั่วทั้งผลิตผล จะมีการกระจายของอุณหภูมิในผลิตผลที่มีรูปแบบเดียวกัน ในขณะที่ผลิตผลที่มีการกระจายของรูพรุนไม่เท่ากัน จะทำให้บริเวณที่มีรูพรุนมากมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณที่มีรูพรุนน้อยหรือไม่มีเลย และผลิตผลที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง จะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิมากกว่าผลิตผลที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ

2.14 การนำกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมาใช้ในการลดอุณหภูมิผักและผลไม้

การลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยใช้สุญญากาศ ถูกนำมาดัดแปลงใช้ในทางการค้าในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อ (Iceberg lettuce) ในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศในทวีปยุโรปอีกหลายประเทศ เพื่อกำจัด field heat ออกอย่างรวดเร็วและยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยนำ Iceberg lettuce ห่อด้วยพลาสติกฟิล์ม PVC หรือ บรรจุในถุงพลาสติกพอลิโพรพิลีน เจาะรู แล้วนำไปลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ จาก 25 – 1 องศาเซลเซียสภายในระยะเวลาน้อยกว่า 30 นาที แล้วนำไปเก็บรักษา พบว่า ที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาได้ 3-5 วัน และเก็บรักษาในห้องเย็น 1 องศาเซลเซียส ได้นาน 14 วัน (Sun and Zheng , 2006) นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันที่ลดลงใน vacuum chamber ที่มีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อภายหลังจากการลดอุณหภูมิและในระหว่างการเก็บรักษา โดยลดอุณหภูมิโดยใช้ความดันที่แตกต่างกัน 3 ระดับ และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 16 วันที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราการลดความดันไม่มีผลต่อคุณภาพโดยรวมของผักกาดหอมห่อ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย 2.9 เปอร์เซ็นต์ และมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ แสดงว่าการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อโดยใช้ระบบสุญญากาศสามารถออกแบบให้มีการลดความดันอย่างช้าๆได้ โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตผล (He *et al.*, 2004) และการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศยังมีผลในการช่วยลดอาการผิดปกติต่างๆ ได้แก่ pink rib และ heart-leaf injury ที่เกิดขึ้นในระหว่างที่เก็บรักษาได้ (Martínes and Artés, 1999) โดยทั่วไปนิยมใช้ vacuum cooling ในการลดอุณหภูมิผักใบ และให้ผลดีกว่าการลดอุณหภูมิผักที่มีลักษณะเป็นพืชหัว อย่างไรก็ตาม เมื่อนำ vacuum cooling ไปใช้ในการลดอุณหภูมิกะหล่ำปลี พบว่าให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากกะหล่ำปลีมีโครงสร้างใบที่ห่อกันแน่นและซับซ้อน ทำให้ไม่สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างทั่วถึง และอุณหภูมิบริเวณผิวและภายในผลิตผลไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงมีการทดลองเพื่อศึกษาการใช้ multi-stage vacuum cooling ในการลดอุณหภูมิกะหล่ำปลี โดยกำหนดช่วงของการลดความดันจนถึงความดันสุดท้ายที่กำหนด เพื่อทำให้กะหล่ำปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วมีอุณหภูมิเท่ากันทั้งบริเวณผิวและภายในผลิตผล และเป็นการลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในขณะเดียวกัน ทำการทดลองโดยทำให้อากาศภายนอกมีอุณหภูมิลดลงโดยผ่านอากาศไปยัง condenser ก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ vacuum chamber ในขั้นตอนสุดท้ายของการลดอุณหภูมิ เพื่อแก้ปัญหาอุณหภูมิของผลิตผลที่สูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิจากอากาศภายนอกสูงกว่าใน vacuum chamber พบว่าการลดอุณหภูมิกะหล่ำปลีโดยใช้ multi-stage vacuum pressure สามารถลดอุณหภูมิทั้งภายใน และภายนอกกะหล่ำปลีได้ โดยทำให้มีอุณหภูมิทั้งสองบริเวณใกล้เคียงกัน และเป็นการช่วยประหยัดพลังงาน และการลดอุณหภูมิอากาศภายนอกด้วย condenser ก่อนเข้าสู่ vacuum chamber ช่วยแก้ปัญหาอุณหภูมิของผลิตผลที่สูงขึ้นในช่วงสุดท้ายของการทดลองได้ (Cheng and Hsueh, 2006)

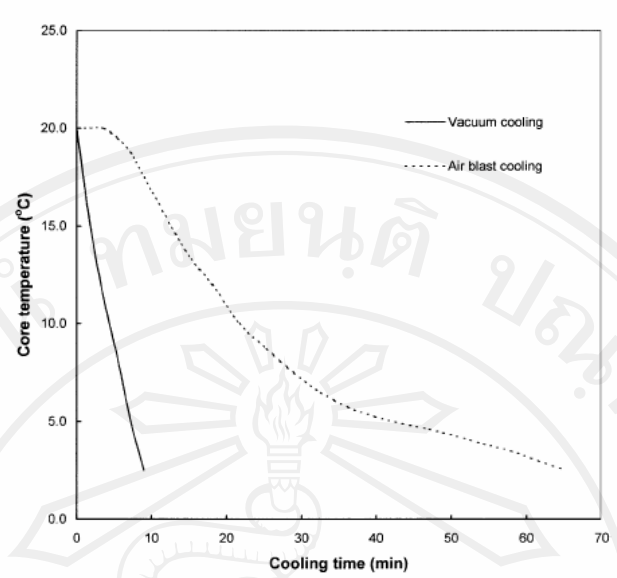
นอกจากนั้นได้มีการศึกษาการใช้กระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศกับอาหารพร้อมบริโภค (ready meal) ซึ่งคุณภาพของอาหารจะต้องมีความสดใหม่ปลอดภัยต่อการบริโภค มีประโยชน์ และมีคุณภาพดี ทำให้กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งผักที่เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนประกอบใน ready meal ที่พบมากคือ บรอคโคลี่ และแครอท โดยบรอคโคลี่พบในรูปของดอกขนาดเล็ก และแครอทพบในรูปของ carrot slice และ baby carrot กระบวนการสำคัญในการผลิตผลิต ready-meal คือ อาหารที่ผ่านความร้อนต้องถูกลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาเร็วที่สุด เพื่อลดอัตราการเหลือรอดของแบคทีเรีย หรือสปอร์ของแบคทีเรียที่จะกลับมาเจริญ และในขั้นตอนการลดอุณหภูมิที่มี cooling time สั้นก็แสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการ air blast cooling หรือ cold room cooling และเมื่อไม่นานมานี้ก็ได้มีการนำ vacuum cooling มาใช้กับ chill hot food ซึ่งการลดอุณหภูมิวิธีต่างๆ ก็ล้วนแล้วแต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือ เพื่อยืดอายุการวางจำหน่าย และรักษาคุณค่าทางโภชนาการระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ cooling efficiencies ของการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ และแครอท ระหว่าง vacuum cooling และการใช้วิธีแบบดั้งเดิม (air blast cooling, cold room cooling และ plate cooling) และศึกษาคุณภาพของผักทั้ง 2 ชนิดหลังจากผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีต่างๆ พบว่า การลดอุณหภูมิบรอคโคลี่และแครอทโดยวิธี vacuum cooling มีcooling time สั้นกว่าการลดอุณหภูมิวิธีอื่นๆและมีคุณภาพหลังจากการลดอุณหภูมิไม่แตกต่างจากวิธีอื่นๆ และการใช้ water-spraying สามารถช่วยลดปัญหาการสูญเสียน้ำหนักได้ และไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของบรอคโคลี่และแครอท แต่เพื่อหลีกเลี่ยงผลเสียต่อคุณภาพของอาหาร และ cooling load ผู้ประกอบการควรคำนึงถึงความสะอาดและปริมาณน้ำที่นำมาใช้ในกระบวนการ (Zhang and Sun, 2006)

การลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการลดอุณหภูมิแบบต่างๆ ได้แก่ การเก็บรักษาในห้องเย็น การใช้ลมเย็น และการใช้น้ำเย็น หรือการใช้น้ำแข็ง ซึ่งมีปัญหาเรื่องระยะเวลาในการลดอุณหภูมิที่ใช้ระยะเวลานานเกินไป เนื่องจากตัวกลางมีการนำความร้อนต่ำทำให้ไปจำกัดอัตราการถ่ายเทความร้อนของบรอคโคลี่ และบางครั้งก็เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากน้ำ หรือน้ำแข็ง จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศสามารถลดอุณหภูมิบริเวณใจกลางบรอคโคลี่จาก 20 องศาเซลเซียส ถึง 2.5 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 9 นาที เปรียบเทียบกับการลดอุณหภูมิโดยใช้ air blast cooler ที่ใช้ระยะเวลา 65 นาที (Wang and Sun, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ (cooling time) และอุณหภูมิที่ลดลงของใจกลางบรอคโคลี
ที่มา: Wang and Sun (2001)

การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีการนำไปดัดแปลงใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลจำพวกเห็ด ซึ่งโดยทั่วไปจะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 3-4 วันที่อุณหภูมิห้อง และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาโดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และใช้วิธีการขนส่งที่มีการควบคุมอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามวิธีการต่างๆที่ใช้ก็ยังให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดอุณหภูมิเห็ด เนื่องจากเห็ดมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำถึง 90 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งมีโครงสร้างที่มีรูพรุนมากจึงเหมาะสำหรับการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (McDonald and Sun, 2000) ดังนั้นจึงมีงานทดลองลดอุณหภูมิ white mushroom ที่ทำการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ และสภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกันต่อการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความสามารถในการส่งผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ และระดับการเกิดสีน้ำตาลของ white mushroom โดยเก็บรักษาเห็ดที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (ZY 0.1 vacuum cooler) ให้มีอุณหภูมิสุดท้าย 5 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเก็บรักษา 3 สภาวะได้แก่ 1. เก็บรักษาในห้องเย็น (cold room) 2.เก็บรักษาในสภาพที่มีการควบคุมความดัน (hypobaric room) 3. เก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (MAP) ผลการทดลองพบว่าการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดและพบว่ามีคุณภาพด้านต่างๆของ white mushroom ระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Tao *et al.*, 2006) โดยเห็ดที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้ระบบสุญญากาศ และเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (5 ± 1เปอร์เซ็นต์ O_2 ร่วมกับ 3 ± 1เปอร์เซ็นต์ CO_2) มีระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในห้องเย็นและเห็ดที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่มีการเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว โดยในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศมีกิจกรรมของ enzymatic antioxidant เพิ่มขึ้น และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีผลต่อ lipid oxidation (มีผลต่อระดับ malondialdehyde) มีผลต่อการเกิด superoxide anion และมีผลต่อระบบ antioxidant enzymes ในเห็ด ดังนั้นการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศจึงมีผลดีต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเห็ด ทั้งที่เก็บรักษาในห้องเย็นและในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (Tao *et al*, 2007)

นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศกับผลิตผลที่เป็นรากหรือลำต้นใต้ดิน ยกตัวอย่างเช่น หน่อไม้ ซึ่งเป็นผลิตผลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงในไต้หวัน โดยมีการทดลองที่ทำการศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ร่วมกับการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำ (hydrocooling) และการทำให้แห้งโดยใช้สุญญากาศ (vacuum drying) กับหน่อไม้ จากผลการทดลองพบว่า การใช้ multi-stage vacuum pressure ร่วมกับ hydrocooling สามารถลดอุณหภูมิหน่อไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยประหยัดพลังงาน หน่อไม้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิพบว่าสามารถลดปริมาณน้ำที่ผิว และกาบของหน่อไม้ได้ทำให้เป็นผลดีต่อการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยที่ยังมีความสด และรักษาคุณภาพของหน่อไม้ได้ เป็นผลให้มีความเป็นไปได้ในการขนส่งหน่อไม้ไปขายยังประเทศเพื่อนบ้านโดยขนส่งทางเรือ และทำให้ผลิตภัณฑ์ไต้หวันเป็นที่รู้จักในระดับสากลมากขึ้น (Cheng, 2006) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ vacuum cooling กับผลิตผลชนิดอื่นๆอีก ได้แก่ บรอคโคลี่ ปวยเล้ง ผักกาดขาวปลี มะเขือม่วง แตงกวา แครอท พริกหวาน เทอร์นิพ สตรอเบอรี่ แบลคเคอเรนท์ และ เมลอน โดยผลิตผลที่เป็นผักใบจะมี cooling rate มากกว่าพืชหัว และมักจะมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (Sun and Zheng , 2006) ในผลิตผลจำพวกผลไม้ ยกตัวอย่างเช่น สตรอเบอรี่ สามารถลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศได้โดยช่วยลดกระบวนการเสื่อมสลายระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งได้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า สตรอเบอรี่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล 18-22 มิลลิเมตร สามารถลดอุณหภูมิจาก 20.4 ถึง 3 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 30 นาที และปราศจากผลเสียต่อคุณภาพและมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 2.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถชดเชยจากการสูญเสียน้ำหนักของการลดอุณหภูมิแบบเดิมที่นิยมใช้ ที่ส่วนใหญ่มีการสูญเสียน้ำหนักจากการเคลื่อนย้ายผลิตผลระหว่างการลดอุณหภูมิ (Wang and Sun, 2001)

ดังนั้นสามารถนำเทคโนโลยีการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศไปใช้กับผลิตผลทางการเกษตรได้อย่างหลากหลายเพื่อจุดประสงค์หลักอย่างเดียวกันคือ เพื่อเป็นการกำจัดความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก และเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น นอกจากนั้นยังได้ประโยชน์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างอื่นอีกด้วยยกตัวอย่างเช่น ลดระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ ลดปริมาณการใช้พลังงาน รวมถึงสามารถรักษาคุณภาพของผลิตผลให้มีความเสียหายน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้กับผลิตผลทางการเกษตรแต่ละชนิดก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อเสียของการใช้กระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศต่อผลิตผลทางการเกษตร

ชนิดผลิตผล	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ผักและผลไม้ (fruits and vegetables)	- มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น - สามารถลดอุณหภูมิได้เร็วใน - ผลิตผลที่มีการกระจายของอุณหภูมิอย่างทั่วถึง - มีต้นทุนในการปฏิบัติงานต่ำ - สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ	- ส่วนใหญ่ใช้ได้ดีกับผักใบ - มีการสูญเสียความชื้นเนื่องจากการลดอุณหภูมิ ทำให้มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก - มีต้นทุนในการผลที่ค่อนข้างสูง
2. ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภค (ready meal)	- เหมาะสำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภค และสามารถใช้ได้อย่างแพร่หลาย - ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถควบคุมได้โดยการพ่นน้ำลงบนผลิตภัณฑ์ในระหว่างการลดอุณหภูมิ	- ระบบสุญญากาศที่มีประสิทธิภาพสูงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กผ่านเข้าไปในปั๊มดูดอากาศก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบการทำงาน - ระบบที่มีประสิทธิภาพต่ำจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิมากขึ้น - ควรมีการตรวจสอบความปลอดภัยของระบบ เนื่องจากในระหว่างที่มีการดำเนินงาน ระบบมีช่วงของการใช้ความดันที่สูงและต่ำ อาจมีผลต่อการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดผลิตผล	ข้อดี	ข้อเสีย
3. ผลิตผลจำพวกเห็ด (mushrooms)	- อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น 24 ชั่วโมง - สามารถลดอุณหภูมิให้ผลิตผลมีลักษณะเหมือนกันทั้งหมด - ไม่มีความเสียหายทางกลที่เกิดจากกระบวนการลดอุณหภูมิ	- มีการสูญเสียความชื้นมากขึ้นเมื่อผลิตผลมีพื้นที่ผิวมากขึ้น - เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเห็ดและทำให้มีคุณภาพต่ำลง

ที่มา: McDonald and Sun (2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved