บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปของผักชีไทย

2.1.1 แหล่งกำเนิดและการพัฒนา

ผักชีไทยเป็นผักที่อยู่ในวงศ์ Apiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coriandrum sativum* Linn. ผักชีไทยมีชื่อเรียกหลายชนิดแตกต่างกันไปตามภูมิประเทศ เช่น ภาคเหนือเรียกผักชีว่า ผักหอมป้อมและผักหอมผอม ภาคอีสานเรียกว่า ผักหอมน้อย และที่นครพนมเรียกว่า ผักหอม ผักชีไทยเป็นไม้ล้มลุกอายุสั้น มีลำต้นตั้งตรง ภายในกลวง มีกิ่งก้านเล็ก ไม่มีขน รากแก้วสั้น ลำต้นมีสีเขียว แต่ถ้าแก่จะมีสีเขียวอมน้ำตาล สูงประมาณ 0.3 เมตร สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียว ดินร่วน ร่วนปนทราย แต่จะชอบดินร่วน มีการระบายน้ำดีสามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ปลูกได้ตลอดปี ช่วงที่เหมาะสมที่สุด คือ ฤดูหนาว ใบ ลักษณะการออกใบเรียงคล้ายขนนก ส่วนมากที่ปลายต้นใบจะเป็นเส้นฝอย มีสีเขียวสด ดอก ออกเป็นช่อง ตรงส่วนยอดดอกมีขนาดเล็กมีอยู่ 5 กลีบ สีขาวหรือสีชมพูอ่อนๆ ผล เป็นรูปทรงกลมโตประมาณ 3 - 5 มิลลิเมตร สีน้ำตาล ตรงปลายผลแยกออกเป็น 2 แฉก ตามผิวจะมีเส้นคลื่นอยู่ 10 เส้น ผักชีไทยเป็นพืชที่มีคุณสมบัติทางยา โดยลำต้นสามารถใช้เป็นยาละลายเสมหะ แก้หิดหรือผื่น ขับเหงื่อ ขับลม ท้องอืดท้องเฟ้อ เมล็ดของผักชีไทยสามารถช่วยรักษาโรคหัดโดยนำเมล็ดมาต้มน้ำอาบ

ผักชีสดมีอัตราการหายใจอยู่ในระดับสูงปานกลาง (CO_2 ที่ 15-20 $\mu l.g^{-1}.h^{-1}$) และมีอัตราการผลิตเอธิลีนต่ำ (< 0.2 $nl.g^{-1}.h^{-1}$) ที่ 5 องศาเซลเซียส (Julio, L. and C. Marita., 1997)

2.1.2 คุณค่าทางอาหาร

ผักชีไทยมีคุณค่าทางสารอาหารดังนี้ ใบผักชีไทยสดประกอบไปด้วยความชื้น 87.9 เปอร์เซ็นต์, โปรตีน 3.3 เปอร์เซ็นต์, ไขมัน 0.6 เปอร์เซ็นต์, คาร์โบไฮเดรต 6.5 เปอร์เซ็นต์และแร่ธาตุ 1.7 เปอร์เซ็นต์ (Peter, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 1 ผักชีไทย

2.2 การลดอุณหภูมิ

2.2.1 ความสำคัญของการลดอุณหภูมิ

ผักและผลไม้เมื่อตัดออกจากต้นยังคงเป็นสิ่งมีชีวิตอยู่ มีกระบวนการหายใจโดยพลังงานที่เซลล์พืชจำเป็นต้องใช้จะได้มาจากสารอาหารที่พืชสะสมไว้ในขณะที่ยังติดอยู่กับต้น ผลจากกระบวนการหายใจจะมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งปล่อยออกมาด้วย เรียกว่า vital heat ซึ่งปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผัก ผลไม้ พันธุ์ ระยะความแก่ ระยะการสุก การมีบาดแผล อุณหภูมิ และความเครียดต่างๆ ผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศหรือสภาพแวดล้อมขณะที่ทำการเก็บเกี่ยว ความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากแปลงปลูก เรียกว่า field heat

เมื่อขนย้ายผักหรือผลไม้มายังโรงคัดบรรจุและกองรวมกันไว้ ถ้าอากาศถ่ายเทไม่สะดวกจะทำให้ความร้อนที่คายออกมาจากผลิตผล (vital heat) รวมกับ field heat ถูกสะสมอยู่ภายในกองผลิตผล ทำให้อุณหภูมิของผักและผลไม้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะไปเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ของผักและผลไม้ให้เกิดเร็วขึ้น ทำให้คุณภาพของผักและผลไม้ลดลงและมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลงด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ให้ต่ำลง เพื่อให้มีกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ เกิดขึ้นช้าลง การลดอุณหภูมิของผักควรจะทำทันทีภายหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งอาจจะก่อนหรือหลังจากบรรจุในภาชนะบรรจุแล้วก็ได้ (นิธิยาและดนัย, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิ (พิชญา, 2550)

การลดอุณหภูมิที่เหมาะสมมีประโยชน์หลายประการ คือ

1. ลดกระบวนการหายใจและกระบวนการสุกของผลไม้ เนื่องจากการหายใจเป็นการใช้อาหารสะสมในรูปของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน หรือกรดอินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน ถ้าผลิตผลหายใจมากอาหารสะสมจะหมดไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตผลมีอายุการวางจำหน่ายสั้นลง นอกจากนั้นกระบวนการสุก ก็เป็นขั้นตอนแรกของการเสื่อมสภาพ เมื่อผลไม้สุกอายุการใช้งานก็จะสั้นลงเช่นกัน

2. ลดการสูญเสียน้ำ การสูญเสียน้ำของผลิตผลก่อให้เกิดความเสียหายในด้านเศรษฐกิจและคุณภาพ เช่น ทำให้น้ำหนักโดยรวมลดลง เพราะผลิตผลประกอบด้วยน้ำโดยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ การเสียน้ำเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้น้ำหนักผลิตผลลดลง เกษตรกรจึงได้ค่าตอบแทนลดลงตามไปด้วย นอกจากนั้นในแง่คุณภาพ การสูญเสียน้ำจะทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตผลเสียไป เช่น ไม่กรอบและนิ่ม เป็นต้น ถ้าเป็นผักใบจะแสดงอาการเหี่ยว นอกจากนั้น คุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามินซี จะลดลงไปด้วยเมื่อผักสูญเสียน้ำ

3. ชะลอหรือชะงักการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในสภาพอุณหภูมิต่ำเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ช้าลง และเมื่ออุณหภูมิต่ำเกินไปเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดจะตายไป ดังนั้นการลดอุณหภูมิจะช่วยให้โรคเกิดช้าลงหรือไม่เกิดเลย

4. ลดอัตราการสังเคราะห์เอทิลีน เอทิลีนมีบทบาทอย่างมากต่อกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เพราะมีผลเสียต่อคุณภาพของผลิตผล เพราะเอทิลีนกระตุ้นกระบวนการเสื่อมสลาย เช่น ผักเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง นอกจากนี้เอทิลีนยังทำให้ดอกไม้โดยเฉพาะคาร์เนชั่นไม่บาน

2.2.3 ผลกระทบของการลดอุณหภูมิ

อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง สามารถทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำถือว่าเป็นการผิดปกติสรีรวิทยาอย่างหนึ่ง ผลิตผลอาจเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งได้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว พืชที่มักเกิดอันตรายได้ง่ายส่วนใหญ่มักเป็นพืชเขตร้อนหรือกึ่งร้อน (สายชล, 2528) ซึ่งความเสียหายของผลิตผลที่แสดงอาการผิดปกติเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งเรียกว่าอาการสะท้านหนาว (chilling injury) โดยมีปัจจัยที่สำคัญอยู่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความรุนแรงของอันตรายที่เกิดขึ้นกับพืช คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่สัมผัสอุณหภูมิต่ำ และชนิดของพืช การสะท้านหนาวไม่ใช่การวายของพืช เพราะไม่ได้ถูกกำหนดให้เกิดขึ้นด้วยตัวพืชเอง แต่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่พืชหรือเนื้อเยื่อแต่ละชนิดจะทนได้เท่านั้น (จริงแท้, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.4 วิธีการลดอุณหภูมิ

วิธีการลดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายวิธีได้แก่ การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็น, น้ำเย็น, น้ำแข็ง, การลดความดัน และอื่น ๆ โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

1. การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็น

เป็นวิธีการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้โดยใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 3 องศาเซลเซียส อากาศเย็นจะช่วยลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ให้ต่ำลงได้ อุณหภูมิของอากาศไม่ควรต่ำเกินไป เพราะจะทำให้ผักและผลไม้เกิดอาการสะท้านหนาวได้ (นิธิยาและดนัย, 2548) ซึ่งการลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1.1. การลดอุณหภูมิในสภาพห้องเย็น (room cooling) คือ การใช้ห้องเย็นเป็นห้องสำหรับลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ลงโดยตรง ซึ่งไม่ต้องมีกรรมวิธีใดๆ ช่วยในการลดอุณหภูมิ วิธีนี้มีความเร็วในการลดอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากอากาศภายในห้องเย็นมีการไหลหมุนเวียนน้อย อากาศจะผ่านภายในภาชนะบรรจุน้อยมาก การลดอุณหภูมิเกิดได้ช้าและไม่สม่ำเสมอ ผลิตผลจะถูกทำให้เย็นลงโดยการนำความร้อนออกไปอย่างช้าๆ ผ่านภาชนะบรรจุ ผลิตผลที่เสียง่ายอาจจะเสื่อมสภาพไปก่อนในระหว่างกระบวนการนี้

เมื่อผักและผลไม้ได้รับการลดอุณหภูมิในสภาพห้องเย็น ผลิตผลที่อยู่ติดกับด้านข้างของภาชนะจะเย็นลงอย่างช้าๆ อากาศที่อุ่นและร้อนจากผลิตผลตรงกลางนี้ถูกพา (convection) จากภายในภาชนะบรรจุมากระทบกับด้านข้างภาชนะบรรจุรวมทั้งผลิตผลที่เย็น อาจจะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (moisture condensation) เกาะอยู่ที่ภาชนะบรรจุหรือผลิตผลได้ ซึ่งภาชนะบรรจุเป็นกระดาษจะขาดความแข็งแรงและยังกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อรา (พิชญา, 2550)

ภายในห้องเย็นควรมีการหมุนเวียนอากาศดี (ประมาณ 200-400 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) มีเครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพ มีเพดานห้องต่ำ และถ้าอากาศเย็นถูกปล่อยจากเพดานห้องจะให้ผลดีมาก การลดอุณหภูมิในสภาพห้องเย็นนี้ในระยะหลังได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยปรับปรุงลักษณะห้องให้มีท่อลมสั้นๆ ทำให้อากาศเย็นสามารถแทรกเข้าไปข้างในผลิตผลได้เร็วขึ้น (นิธิยาและดนัย, 2548)

1.2 การลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น (forced-air cooling) เป็นการพัฒนามาจากห้องเย็น ซึ่งมีความแตกต่างจากห้องเย็นที่การไหลของลม เพื่อทำให้ลมผ่านไปยังผักและผลไม้อย่างทั่วถึงกันในระยะเวลาอันสั้น เป็นการลดอุณหภูมิโดยการเป่าอากาศเย็นอุณหภูมิประมาณ 0-3 องศาเซลเซียส และทำการหมุนเวียนอากาศด้วยความเร็วสูง โดยทั่วไปผลิตผลที่บรรจุลงในกล่องเรียบร้อยแล้วจะถูกนำเข้าไปเรียงในห้องเย็นเป็น 2 แถวชิดฝาผนัง เว้นที่ตรงกลางจัดให้มีอากาศถูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดูดออกจากห้องโดยตรงแต่จะต้องถูกดูดผ่านผักและผลไม้ก่อน ซึ่งการหมุนเวียนอากาศด้วยความเร็วสูง ทำให้อากาศเย็นไหลผ่านและแทรกตัวเข้าไประหว่างภาชนะบรรจุจะทำให้อากาศพาความร้อนออกจากผักและผลไม้ได้อย่างรวดเร็ว โดยลักษณะการวางของตะกร้า พบว่า ตะกร้าที่อยู่บนและในสุดจะต้องได้รับลมที่มีอากาศเย็นมากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งระยะห่างของตะกร้าแต่ละแถวควรให้มีระยะห่างประมาณ 13 หรือ 19 มิลลิเมตร จะทำให้ระบบการลดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพดีกว่าการวางตะกร้าชิดกันเพราะทำให้อากาศไหลผ่านได้อย่างทั่วถึงกัน เมื่อผักและผลไม้เย็นลงแล้วจะต้องลดหรือหยุดการหมุนเวียนของอากาศ เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้ (นิธิยาและดนัย, 2548)

ในระหว่างการลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็นนั้น อากาศจะเคลื่อนที่จากผลิตผลที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังผลิตผลที่มีอุณหภูมิสูงเสมอ จึงไม่เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำภายใต้สภาพนี้ และอัตราการลดอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับอัตราการผ่านของอากาศ ยิ่งอากาศไหลเวียนมากยิ่งลดอุณหภูมิได้เร็วตามไปด้วย ระบบทำความเย็นที่พอเพียงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้ลดอุณหภูมิได้ตามเวลาที่ต้องการ และต้องมีพัดลมใช้สำหรับดึงอากาศผ่านผลิตผล ปริมาณที่อากาศผ่านนั้นแสดงเป็นลิตรต่อวินาทีต่อกิโลกรัมผลิตผล (litre/second/kilogram) ซึ่งจะใกล้เคียงต่อลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อปอนด์ (cubic feet/minute/pound) (พิชญา, 2550)

2. การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็น (hydrocooling) เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันเพราะให้ประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนที่สูงและเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงมีการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการลดอุณหภูมิ ซึ่งมีความรวดเร็ว ใช้ได้ดีกับผักและผลไม้หลายชนิด การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ปล่อยให้น้ำเย็นไหลผ่านผักและผลไม้ซึ่งเคลื่อนที่มาตามสายพาน การพ่นน้ำเย็นลงบนผักและผลไม้ การจุ่มผักและผลไม้ลงในน้ำเย็น หรือถังน้ำแช่น้ำแข็ง น้ำที่ใช้ควรมีอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส และเติมคลอรีนหรือสารระงับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อช่วยในการทำความสะอาดเบื้องต้นด้วย (นิธิยาและดนัย, 2548)

ผลิตผลหลายชนิดสามารถลดอุณหภูมิได้โดยวิธีนี้ เช่น ข้าวโพดหวาน แตงหอม และท้อ ซึ่งตามปกติถ้าใช้วิธีการลดอุณหภูมิโดยอากาศเย็นจะใช้เวลานาน วิธีนี้ไม่ทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำ นอกจากนั้นผลิตผลที่แสดงอาการเหี่ยวอาจจะสดขึ้นมาได้อีกครั้งหลังลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำเย็น ระบบการลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้ คือ น้ำเย็นเคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผลิตผลที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะถูกนำกลับไปทำให้เย็นลง เครื่องทำความเย็นบางระบบอาจใช้น้ำแข็งผสมในน้ำก็ได้ ข้อควรคำนึง คือ ผลิตผลที่จะลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำนั้นต้องทนต่อการเปียกน้ำ ผลิตผลที่ไม่ทนต่อการเปียกน้ำจะเกิดการเน่าเสียตามมา และเมื่อลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นแล้วต้องให้ผลิตผลอยู่ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาพอุณหภูมินั้นตลอดเวลา หากผลิตผลได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นจะก่อให้เกิดผลเสียอย่างรุนแรง (พิชญา, 2550)

3. การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง (icing) เป็นวิธีการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งบดเป็นก้อนเล็กๆ ใส่ผสมรวมไปกับผลิตผล เรียกว่า contact icing หรืออาจใช้น้ำแข็งทุบเป็นก้อนเล็กๆ บรรจุใส่ถุงพลาสติกแล้ววางทับ เรียกว่า package icing หรืออาจใช้น้ำแข็งวางไว้เฉพาะด้านบนของภาชนะบรรจุ เรียกว่า top icing เพื่อทำให้ผลิตผลนั้นเย็นตัวลงโดยตรง เป็นวิธีที่ใช้เฉพาะในกรณีที่ไม่มีเครื่องทำความเย็นซึ่งวิธีนี้ยังไม่มีประสิทธิภาพดีพอ ถ้าจะให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ต้องมีการใช้ร่วมกับน้ำเย็นจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น (นิธิยาและดนัย, 2548)

การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง นิยมใช้กับผักใบ ใช้น้ำแข็งป่นคลุมด้านบนหรือปูเป็นชั้นๆ ระหว่างผลิตผลเพื่อลดความร้อน เมื่อน้ำแข็งละลาย น้ำเย็นจะไหลผ่านผักและผลไม้ (พิชญา, 2550)

4. การลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศ เป็นวิธีที่กระทำในสภาพที่มีความดันต่ำ โดยจะทำการดูดเอาอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อความดันบรรยากาศลดลงทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปได้ง่าย โดยใช้ความร้อนจากผลิตผลนั้นเอง ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดต่ำลง โดยผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมากจะทำให้มีการคายความร้อนได้ดี (พิชญา, 2550)

5. การลดอุณหภูมิด้วยวิธีอื่นๆ นอกจากวิธีที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ยังมีวิธีอื่นๆ อีก เช่น การใช้ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว และคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง วิธีเหล่านี้จะใช้กับผลิตผลในตู้สินค้า (container) โดยการพ่นไนโตรเจนเหลวหรือคาร์บอนไดออกไซด์ไปในตู้สินค้า ซึ่งสามารถทำให้อากาศภายในและผลิตผลเย็นลงอย่างรวดเร็ว แต่จะต้องมีการจัดวางผลิตผลให้มีความเหมาะสมต่อการไหลเวียนของอากาศด้วย (นิธิยา และดนัย, 2548)

2.2.5 สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง (พิชญา, 2550)

พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายกระบวนการลดอุณหภูมิ (cooling parameter)

1. 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)

2. เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

1. Half cooling time (Z) คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง เช่นค่า half

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

cooling time ของลูกท้อ ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศ 0 องศาเซลเซียส ลดอุณหภูมิลูกท้อลงเหลือ 16 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 4 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ Z = Half cooling time

2. Seven-Eight cooling time (S) คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง 7/8 ของความแตกต่างของอุณหภูมิของผลิตผลเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง เช่น ลูกท้อลดอุณหภูมิลงเหลือ 4 องศาเซลเซียส ค่า seven-eight cooling time เท่ากับ 9 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$S = (\ln (8j))/C$$

เมื่อ S = Seven-Eight cooling time (s)

j = lag factor

C = cooling coefficient

3. Cooling coefficient (C) คือ ความชันของกราฟระหว่าง ln กับ t ซึ่งจะแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตผลต่อหนึ่งหน่วยเวลา ค่าของ cooling coefficient จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของผลิตผล และของตัวกลางที่ใช้ลดอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ C = cooling coefficient (1/s)

และ $\theta = (T - T_a)/(T_i - T_a)$

เมื่อ θ = Dimensionless temperature

T = อุณหภูมิที่เวลาใดๆ (องศาเซลเซียส)

T_a = อุณหภูมิตัวกลาง (องศาเซลเซียส)

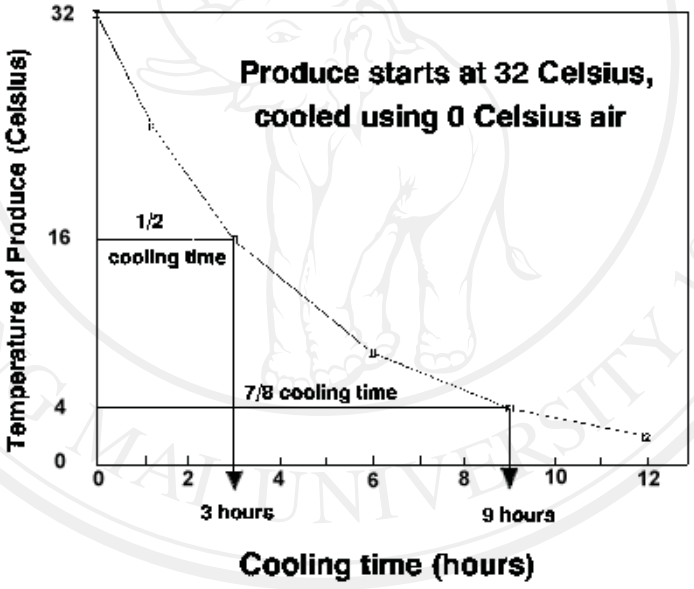
T_i = อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล (องศาเซลเซียส)

ค่า cooling parameters ของการลดอุณหภูมิมีความหมายดังนี้ ค่า lag factor ของการลดอุณหภูมิของผลิตผลมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าผลิตผลมีความต้านทานการนำความร้อนภายในผลิตผล (internal resistance) และการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นทั้งแบบการนำและการพาความร้อน และค่า lag factor ของผลิตผลมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลิตผลมีความต้านทานภายในน้อยมาก ทำให้สามารถลดอุณหภูมิของผักได้อย่างรวดเร็ว สำหรับค่า cooling coefficients เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการลดอุณหภูมิของผลิตผล ในกรณีที่มีค่าสูง หมายถึง การลดอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ จะใช้ระยะเวลาที่สั้น (พิชญา, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.6 ลักษณะกราฟของการลดอุณหภูมิ

เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผักลง ในช่วงแรกอุณหภูมิของผักจะลดลงอย่างรวดเร็ว ต่างจากในช่วงหลังซึ่งอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง ในการเปรียบเทียบความรวดเร็วในการลดอุณหภูมิด้วยวิธีต่างๆ นั้น สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า half-cooling time (t ½) ซึ่งหมายถึง เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผักลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผักเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง จากกราฟจะเห็นว่า หากต้องการให้อุณหภูมิของผักเย็นลงเท่ากับอุณหภูมิของตัวกลางแล้ว เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจะยาวนานมาก ดังนั้นการลดอุณหภูมิลงให้ได้ภายในเวลาอันสั้น จำเป็นต้องใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ แต่ต้องไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายกับผัก (จริงแท้, 2544)



ภาพที่ 2 แสดงอัตราการลดอุณหภูมิของผลิตผล
แหล่งที่มา http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/98-031.htm

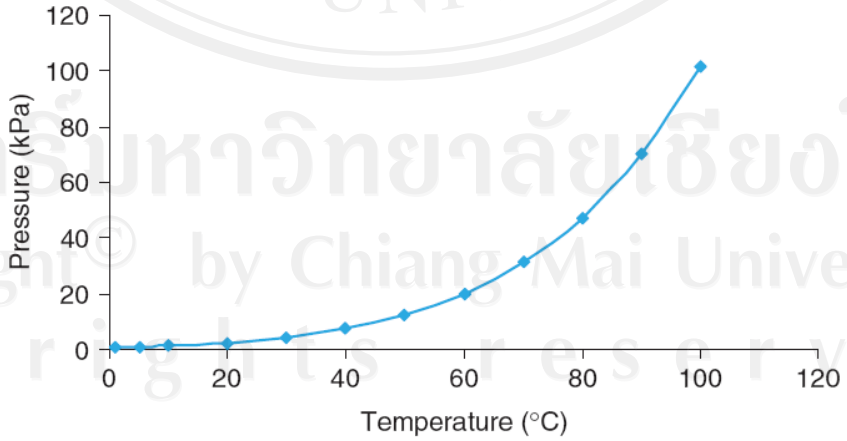
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.7 การลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศ

การลดอุณหภูมิของผลิตผลด้วยระบบสุญญากาศ เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่รวดเร็วและสม่ำเสมอที่สุด ผลิตผลจะเย็นลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับความร้อนโดยวิธีการอื่นๆ นิยมใช้กับผักใบต่างๆ (นิธิยาและดนัย, 2548) ซึ่งกระบวนการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศเป็นเทคนิคที่ช่วยในการระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว (McDonald and Sun, 2000) โดยหลักการทำงานของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ คือ การระเหยความชื้นออกจากผิวและภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอุณหภูมิ ณ จุดที่น้ำจะ

เริ่มเดือดและระเหยนั้นจะขึ้นอยู่กับความดันไอรอบๆโดยตรง (ภาพที่ 3) โดยที่ความดัน 1 บรรยากาศ (100 kPa) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เมื่อความดันถูกลดลงมาให้ต่ำกว่า 1 บรรยากาศ น้ำก็จะเริ่มเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

การลดอุณหภูมิของผลิตผลโดยการใช้ระบบสุญญากาศ อาศัยหลักการการระเหยความชื้นหรือน้ำอย่างรวดเร็วจากผิวหน้าและภายในผลิตผลเพื่อลดอุณหภูมิ เมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอจะต้องใช้พลังงานแฝงซึ่งเป็นพลังงานที่โมเลกุลสะสมเพื่อนำไปใช้ในการต้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และพลังงานแฝงนี้จะส่งผลกระทบโดยตรงกับสถานะของน้ำ เมื่อน้ำได้รับพลังงานแฝงจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ส่งผลให้พลังงานภายในมีมากขึ้น ความร้อนแฝงนี้เกิดการถ่ายเทพลังงานแฝงระหว่างสิ่งแวดล้อมกับระบบให้กันและกัน แล้วจะทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะ (วงกต, 2545) อุณหภูมิของน้ำเริ่มระเหยขึ้นอยู่กับความดันไอน้ำของสิ่งแวดล้อมโดยตรง ในผักประกอบด้วยปริมาณน้ำอิสระ ถ้าผักถูกนำไปไว้ในห้องที่ปิดสนิท และลดความดันภายในห้องลงโดยใช้ปั๊มดูดอากาศออก จนทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างน้ำในผักและสภาพแวดล้อมจะเป็นสาเหตุทำให้น้ำระเหยและกลั่นตัวเป็นไอน้ำเพื่อออกไปสู่บรรยากาศแวดล้อม เมื่อผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้องโดยที่ไม่มีการสัมผัสกับตัวกลางอื่น ความต้องการความร้อนแฝงในการระเหยกลายเป็นไอจึงได้มาจากความร้อนที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ ความร้อนที่ได้จากการหายใจ และความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกหรือสิ่งแวดล้อม จึงทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงและเย็นในที่สุด ผลที่ได้คือผักจะมีอุณหภูมิลดต่ำลง มีการระเหยของน้ำกลายเป็นไออย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิสุดท้ายของผักสามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ (Zheng and Sun, 2004)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวและอุณหภูมิ (Zheng and Sun, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดอุณหภูมิของผลิตผลโดยการใช้ระบบสุญญากาศ นิยมใช้กับผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น ผักที่บริโภคใบ เพราะมีพื้นที่ในการคายความร้อนออกไปมาก จึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว ส่วนผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวน้อย ได้แก่ ผลิตผลที่มีลักษณะเป็นผลหรือหัว เช่น มะเขือเทศ มันฝรั่ง และแตงกวา ไม่เหมาะที่จะนำมาลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ เนื่องจากมีพื้นที่ที่จะใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอมีน้อย ในระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ผักใบจะสูญเสียน้ำ 1.5-4.7 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ต่ออุณหภูมิที่ลดลง 12.2 องศาเซลเซียส วิธีนี้จะทำให้น้ำระเหยออกจากผักอย่างรวดเร็ว ผักบางชนิดอาจจะเหี่ยวเนื่องจากสูญเสียน้ำมากถ้าหากใช้เวลานานเกินไป ดังนั้นก่อนนำผักเข้าลดอุณหภูมิจะต้องใช้น้ำเย็นฉีดพ่นให้ใบเปียก หลังจากลดอุณหภูมิจำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและขนส่งโดยใช้รถห้องเย็น

2.2.8 ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ (McDonald and Sun, 2000)

1. การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ

2. สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้ปริมาณมากต่อครั้ง และใช้ได้กับผลิตผลที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุโดยไม่ต้องคำนึงถึงการหมุนเวียนของอากาศ ชนิดของภาชนะบรรจุ หรือตัวกลางในการลดอุณหภูมิ

3. เป็นการลดอุณหภูมิที่เกิดจากภายในตัวผลิตผลเอง ทำให้ได้ผลิตผลที่มีลักษณะคงตัว (uniform) หลังจากผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศแล้ว

4. สามารถกำจัดน้ำส่วนเกินที่ติดอยู่บริเวณผิวของผลิตผลที่ไม่ต้องการได้ ทำให้ป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้

5. การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นการลดอุณหภูมิที่ผลิตผลไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้ความเสียหายทางกลของผลิตผลลดลงได้

6. การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเร็วกว่าวิธีอื่นๆ โดยสามารถลดอุณหภูมิได้ 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับผลิตผล เช่น อาการสะท้านหนาว หรือ การแข็งตัวบริเวณผิวของผลิตผล (surface freezing) ที่พบในการลดอุณหภูมิวิธีอื่นๆ โดยใช้อัตราเร็วในการลดอุณหภูมิที่เร็วเกินไป

7. สามารถควบคุมอุณหภูมิของผลิตผลได้อย่างแน่นอน โดยการกำหนดความดันที่เหมาะสม การใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้นทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

8. การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศอาจมีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่าการลดอุณหภูมิโดยวิธีอื่นๆ แต่ในการดำเนินงานแต่ละครั้งพบว่ามีต้นทุนและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ (Zheng and Sun, 2004)

2.2.9 ปัจจัยที่ผลต่ออัตราการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (Zheng and Sun, 2004)

ปัจจัยสำคัญที่มีต่อการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ได้แก่

1. คุณสมบัติความมีรูพรุน และการกระจายของรูพรุนภายในผลิตผล โดยผลิตผลที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนมาก และมีการกระจายของรูพรุนทั่วทั้งผลิตผล จะทำให้มีกระบวนการในการลดอุณหภูมิเร็วขึ้น

2. ลักษณะของภาชนะบรรจุ การบรรจุผลิตผลลงในภาชนะบรรจุมีผลต่ออัตราเร็วในการการลดอุณหภูมิผลิตผลด้วยระบบสุญญากาศ เช่น ผักกาดหอมห่อที่ห่อหุ้มด้วยพลาสติกหรือในภาชนะบรรจุที่เจาะรู จะมีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิที่เร็วกว่าผลิตผลที่บรรจุในกล่องหรือภาชนะที่ไม่มีการระบายอากาศ

3. ประสิทธิภาพของเครื่องปั๊มสุญญากาศ การใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายเร็วขึ้น

4. อุณหภูมิของเครื่องควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำเร็วขึ้น และทำให้กระบวนการลดอุณหภูมิเร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม การควบแน่นจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดน้ำแข็งเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของเครื่องควบแน่น

5. อุณหภูมิภายในผลิตผล คุณสมบัติการมีรูพรุน และการกระจายของรูพรุนภายในผลิตผลมีผลต่อการกระจายของอุณหภูมิในผลิตผลในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ โดยผลิตผลที่มีโครงสร้างรูพรุนที่เหมือนกัน และมีการกระจายเท่ากันทั่วทั้งผลิตผล จะมีการกระจายของอุณหภูมิภายในผลิตผลที่มีรูปแบบเดียวกัน ในขณะที่ผลิตผลที่มีการกระจายของรูพรุนไม่เท่ากัน จะทำให้บริเวณที่มีรูพรุนมากมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณที่มีรูพรุนน้อยหรือไม่มีเลย และผลิตผลที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง จะใช้เวลาในการลดอุณหภูมินานกว่าผลิตผลที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.10 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

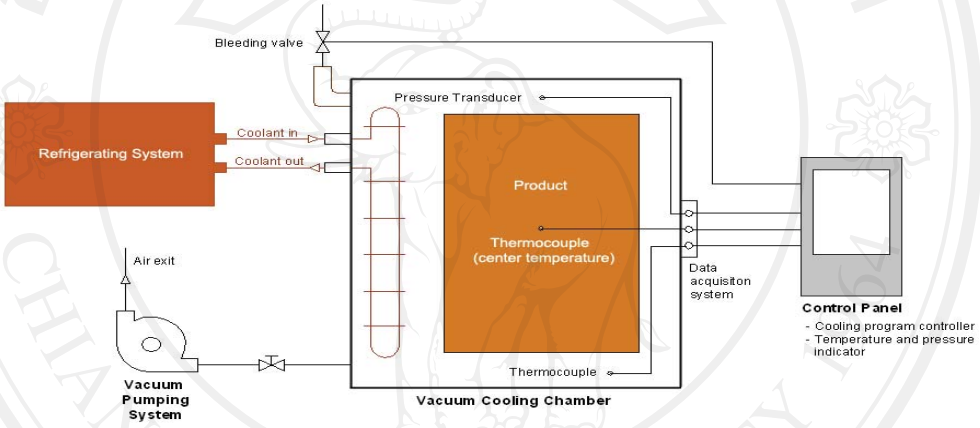
เครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ โดยทั่วไปแล้วมีได้หลายขนาดและรูปร่างขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน ส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน คือประกอบด้วย

1. ห้องสุญญากาศ (vacuum chamber) จะใช้สำหรับใส่ผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะทำการลดอุณหภูมิ ซึ่งจะถูกปิดสนิทในระหว่างกระบวนการ

2. เครื่องปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) เป็นตัวที่ทำให้เกิดสุญญากาศมีหลายชนิด แต่ชนิดที่ใช้กันทั่วไปคือ oil-sealed rotary pump

3. เครื่องควบแน่นไอน้ำ (vapour condenser) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิจะมีไอน้ำเกิดขึ้นจำนวนมาก จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องควบแน่นไอน้ำ ไว้ภายในห้องสุญญากาศ เพื่อทำการควบแน่นไอน้ำให้กลับไปเป็นน้ำ แล้วปล่อยออกสู่ท่อระบาย

4. ส่วนประกอบอื่นๆ



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

2.2.11 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ (Zheng and Sun, 2004)

ขั้นตอนการทำงานดังแสดงในภาพที่ 5 มีดังนี้

1. นำผลิตภัณฑ์วางลงในห้องสุญญากาศ (รูป a)

2. เปิดสวิตซ์เครื่องปั๊มสุญญากาศ รอให้ความดันลดลงจนถึงระดับความดันที่มีผลต่ออุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 7-10 นาที ขึ้นอยู่กับขนาดของห้องสุญญากาศและประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศ (รูป b)

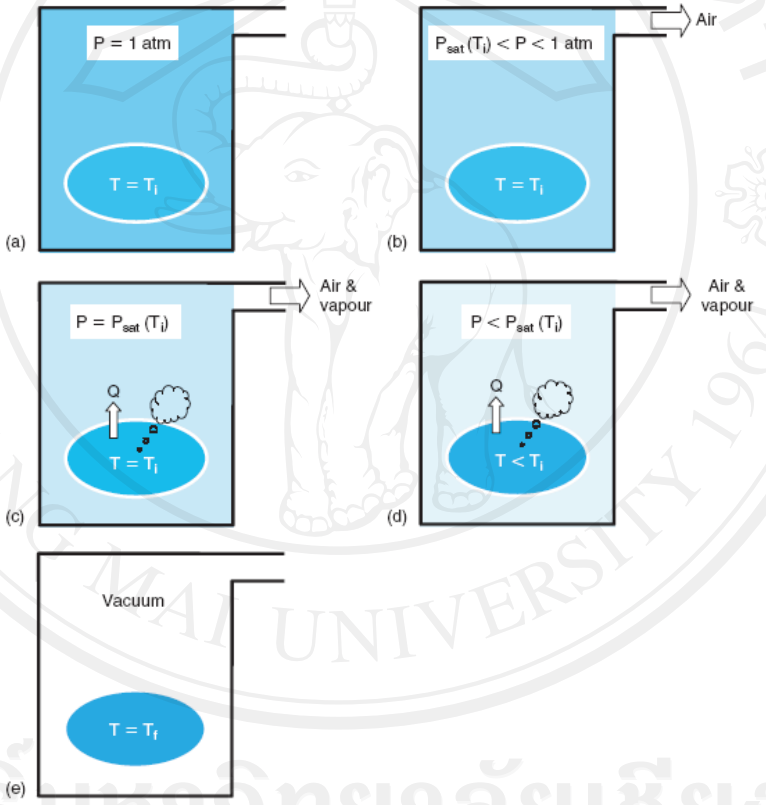
3. เมื่อความดันในห้องสุญญากาศ อยู่ในระดับความดันเริ่มต้นซึ่งเป็นระดับความดันที่มีผลต่ออุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ ที่จุดนี้จะเรียกว่า flash point ของกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ปกติแล้วความดันภายในห้องสุญญากาศ ต้องลดลงถึงจุด flash point ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะในช่วงระยะเวลาก่อนถึงระยะนี้เครื่องปั๊มสุญญากาศจะทำหน้าที่ดูดเอาอากาศออกไปและไม่มีการทำให้เย็น (รูป c)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4. เมื่อถึงจุด flash point น้ำจะเริ่มเดือดและมีการระเหย และไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกกำจัดโดยเครื่องควบแน่นไอน้ำที่มีการติดตั้งไว้ภายในห้องสุญญากาศ เพื่อทำการควบแน่นไอน้ำให้กลับไปเป็นน้ำ แล้วปล่อยออกสู่ท่อระบาย (รูป d)

5. การลดอุณหภูมิจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนครบระยะเวลาที่กำหนดกระบวนการจึงสิ้นสุดลง (รูป e)

6. เมื่อกระบวนการสิ้นสุดลงวาล์วระบายอากาศจะเปิดออก และอากาศจะไหลเข้าสู่ห้องสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์จะถูกนำออกมาจากห้องสุญญากาศ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม



ภาพที่ 5 หลักการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศทั่วไป (Zheng and Sun, 2005)

2.2.12 การนำกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมาใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลทางอุตสาหกรรมเกษตร

Zhang and Sun (2006) เปรียบเทียบการลดอุณหภูมิหรือการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบรอคโคลี่ และแครอทหั่นชิ้น โดยเปรียบเทียบวิธีที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ การทำให้เย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศ การลดอุณหภูมิแบบเป่าลม (blast cooling) การทำให้เย็นโดยใช้ห้องเย็น และการลดความเย็นแผ่นเรียบ (plate cooling) พบว่า การทำให้เย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นวิธีที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการทำให้เย็นโดยการใช้น้ำพ่นลงบนผัก ดังนั้นการลดอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันด้วยระบบสุญญากาศจึงเหมาะสำหรับการลดอุณหภูมิของบรอคโคลี่และแครอทหั่นชิ้น Sun and Zheng (2006) ได้ศึกษาการใช้ระบบสุญญากาศในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 1 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าใช้เวลาทั้งหมดน้อยกว่า 30 นาที และเมื่อนำผักกาดหอมห่อไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการวางจำหน่ายผักกาดหอมห่อได้นานถึง 14 วัน ในขณะที่ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่จะมีอายุการวางจำหน่ายเพียง 3-5 วัน ในขณะที่ Ozturk and Ozturk (2009) เปรียบเทียบการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการลดอุณหภูมิโดยใช้ตู้เย็น พบว่า การลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อด้วยระบบสุญญากาศให้มีอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสเป็นวิธีการลดอุณหภูมิเร็วกว่าการใช้ตู้เย็นในการลดอุณหภูมิ ถึง 13 เท่า และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิมากกว่า นอกจากนี้ การลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อก่อนการเก็บรักษาสามารถที่จะช่วยชะลอการเกิดสีชมพูบริเวณเส้นใบ (pink rib) และความเสียหายต่อใจกลางใบ (heart-leaf injury) ระหว่างการเก็บรักษาได้ (Martínez and Artés, 1999)

Cheng and Hsueh (2007) ได้นำวิธีการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันด้วยระบบสุญญากาศไปใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น กะหล่ำปลี จึงมีการนำการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศหลายระดับ (multi-stage vacuum cooling) มาใช้ในการลดอุณหภูมิเนื่องจากกะหล่ำปลีมีโครงสร้างภายในที่ห่อตัวอย่างหนาแน่น อากาศและความชื้นที่อยู่ภายในนั้นถูกดึงออกมาได้ยาก ด้วยสาเหตุนี้ จึงเป็นผลทำให้การลดอุณหภูมิของกะหล่ำปลีนั้นทำได้ยาก พบว่าสามารถที่จะลดทั้งอุณหภูมิภายในและภายนอกของกะหล่ำปลีให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันได้ นอกจากนี้ ในระหว่างการคืนความดันสู่ความดันบรรยากาศ การทำให้อากาศภายนอกเย็นตัวลงด้วยเครื่องควบแน่น ก่อนที่จะนำเข้าสู่ห้องลดอุณหภูมิ สามารถที่ช่วยไม่ให้อุณหภูมิของกะหล่ำปลีเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ และกระบวนการคืนความดันสู่ความดันบรรยากาศได้ โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการสามารถลดอุณหภูมิกะหล่ำปลีให้ต่ำลงได้ถึง 4 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังมีผลให้ประหยัดพลังงานในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วย นอกจากนี้ Cheng (2006) ยังได้ทำการศึกษาการลดอุณหภูมิผลิตผลประเภทลำต้นที่มีพื้นที่ผิวน้อย เช่น หน่อไม้ ด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้ง พบว่า การลดอุณหภูมิหน่อไม้โดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำสามารถที่จะช่วยลดอุณหภูมิหน่อไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวิธีการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ ต่อด้วยการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้งมีผลทำให้หน่อไม้มีคุณภาพดีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ และเมื่อนำหน่อไม้ที่ผ่านการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้ง มาเปรียบเทียบกับหน่อไม้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ การลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็น และการลดอุณหภูมิด้วยน้ำร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็น พบว่า หน่อไม้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้งมีลักษณะปรากฏความคงตัวทางกายภาพ และอายุการเก็บรักษาดีที่สุด อีกทั้งยังมีเชื้อแบคทีเรียเกิดขึ้นน้อยที่สุด

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศนอกจากจะมีความเหมาะสมในการลดอุณหภูมิผลิตผลประเภทผักใบแล้ว ยังมีการนำการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมาใช้ในการลดอุณหภูมิไม้ดอกอีกหลายชนิด เช่น Brosnan and Sun (2001a) ศึกษาถึงการลดการสูญเสียน้ำหนักของดอกลิลลี่ในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศด้วยการพ่นน้ำในระหว่างกระบวนการ ซึ่งพบว่า การพ่นน้ำในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและเพิ่มอัตราการทำให้เย็นที่ส่งผลให้ดอกลิลลี่มีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว Brosnan and Sun (2003) ได้ศึกษาถึงอายุการปักแจกันของดอกลิลลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ร่วมกับการเก็บรักษาในห้องเย็น พบว่า สามารถที่จะยืดอายุการปักแจกันดอกลิลลี่ได้นานขึ้น จากการศึกษาการควบคุมอัตราการระเหยของน้ำ และการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศที่ความดัน 4 ระดับ คือ 8.5, 9.35, 14.4 และ 374 มิลลิบาร์ต่อนาที พบว่า มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักลดจาก 5.4 เปอร์เซ็นต์เหลือ 3.7 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 374 และ 8.5 มิลลิบาร์ต่อนาที และเมื่อศึกษาถึงอายุการปักแจกันของดอกลิลลี่ พบว่า การควบคุมอัตราการระเหยของน้ำที่ความดันระดับต่างๆ ไม่มีผลต่ออายุการ ปักแจกัน และอุณหภูมิสุดท้ายก่อนการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ ทำให้การสูญเสียน้ำลดลง เช่นเดียวกันกับ Sun and Brosnan (1999) ที่ศึกษาอายุการปักแจกันของดอกแดฟโฟดิล และพบว่า การลดอุณหภูมิดอกแดฟโฟดิลด้วยระบบสุญญากาศก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและห้องเย็น สามารถที่จะยืดอายุการปักแจกันของดอกแดฟโฟดิลได้ และการพ่นน้ำในระหว่างกระบวนลดอุณหภูมิ มีผลในการลดการสูญเสียน้ำหนัก โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของดอกแดฟโฟดิล

Tao *et al*. (2007) ยังได้ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศที่มีต่อกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของเห็ด พบว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีผลทำให้กิจกรรมของ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) peroxidase (POD) และ polyphenoloxidase (PPO) มีปริมาณลดลง แต่มีผลทำให้ระดับของ malondialdehyde (MDA) และ superoxide anion generation มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมของเห็ดที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ โดยเปรียบเทียบสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกัน 3 สภาวะ คือ การเก็บรักษาในห้องเย็น การเก็บรักษาในห้องลดความดัน (hypobaric room) และการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในบรรจุภัณฑ์แบบสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging ; MAP) พบว่า การเก็บรักษาเห็ดที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศภายใต้บรรจุภัณฑ์แบบสภาพบรรยากาศดัดแปลงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยมีการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ membrane permeability และระดับการเกิดสีน้ำตาลของดอกเห็ดที่น้อยกว่าสภาวะการเก็บรักษาอื่น (Tao *et al*., 2006) การใช้ระบบสุญญากาศในการลดอุณหภูมิจะทำให้ผลิตผลมีการสูญเสียน้ำหนัก 1.5-4.7 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ต่ออุณหภูมิที่ลดลง 12.2 องศาเซลเซียส (Zheng and Sun, 2005) Sun and Zheng (2006) พบว่าเห็ดมีการสูญเสียน้ำหนักถึง 3.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการลดอุณหภูมิด้วยวิธีเป่าลมเย็น ที่มีการสูญเสียน้ำหนัก 2 เปอร์เซ็นต์

He *et al*. (2004) ได้ศึกษาถึงเทคนิคการทำให้เย็นด้วยระบบสุญญากาศในการช่วยลดอุณหภูมิแล้ว ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับแรงดันภายในเครื่องทำความเย็นที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผักกาดหอมห่อ ซึ่งพบว่า ที่ระดับความดันต่างๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพันธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ นอกจากนี้ ยังทำการลดแรงดันลงเรื่อยๆ เพื่อที่จะศึกษา ค่าความแน่นเนื้อ กรดแอสคอร์บิก ตัวเร่งปฏิกิริยา และยังได้ศึกษาถึงโครงสร้างของผักกาดหอมห่อที่ส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า การลดแรงดันลงเรื่อยๆ นั้นทำให้ค่า ที่ต้องการวัดต่างๆ นั้นมีค่าสูงขึ้น ทำให้อายุการวางจำหน่ายและคุณภาพของผักกาดหอมห่อดีมากขึ้น แต่โครงสร้างที่ส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

He and Li (2008) ได้ออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อ ได้แก่ ระดับความดันสุญญากาศ อุณหภูมิและการสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมห่อ เมื่อทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 18 องศาเซลเซียส ให้เหลือ 1 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 32 นาที และเมื่อนำผลที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง พบว่า อุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการและการทดลองมีความแตกต่างกันประมาณ 1 องศาเซลเซียส ในขณะที่มีความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักอยู่ที่ 0.59 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้อาศัยพื้นฐานจากการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่มีอยู่เดิม และออกแบบให้มีการประหยัดพลังงานสูงที่สุด

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศนอกจากจะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลทางการเกษตรแล้ว ยังสามารถนำมาลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ผ่านการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แปรรูปแล้วได้อีกด้วย Jin (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื้อหมูปรุงสุกภายในห้องลดอุณหภูมิระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและอัตราการระเหยของไอน้ำ ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง คือ (1) เป็นช่วงที่อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงจาก 15.80 เป็น 10.70 องศาเซลเซียส (2) เป็นช่วงที่อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10.70 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุด คือ 19.20 องศาเซลเซียส (3) เป็นช่วงที่อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงจากค่าที่สูงที่สุดเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด คือ 6.10 องศาเซลเซียส (4) เป็นช่วงที่อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6.10 องศาเซลเซียส เป็นค่าอุณหภูมิสุดท้ายของห้องลดอุณหภูมิ คือ 13.10 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณความชื้นของเนื้อหมูปรุงสุกมีค่าลดลงจาก 71 เปอร์เซ็นต์ เป็น 60.69 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อหมูปรุงสุกมีการสูญเสียน้ำหนักระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 10.31 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการระเหยของไอน้ำระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่อัตราการระเหยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและลดลง ซึ่งอัตราการระเหยของไอน้ำที่เพิ่มขึ้นและลดลงนี้ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 4 นาที

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและคุณภาพหลังการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของ บรอคโคลี่ ผักกาดหอมห่อและผักกาดฮ่องเต้ โดยทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศพบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 15-20 และ 20-25 องศาเซลเซียส คือ กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 5.5 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 25 และ 30 นาที ตามลำดับโดยมีอายุการเก็บรักษานาน 8 วัน ในขณะที่ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษานาน 5 วัน (ปรัศนีย์, 2551) กฤษติยาและคณะ (2551) พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 15-20 และ 20-25 องศาเซลเซียส คือ กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ เท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เท่ากับ 12 และ 20 นาที ตามลำดับทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานาน 12 วันโดยชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 2 วันส่วนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 15-20 และ 20-25 องศาเซลเซียส คือ กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 15 และ 20 นาที ตามลำดับมีอายุการเก็บรักษานาน 10 วันในขณะที่ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษานาน 5 วัน(วีนิลและคณะ, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

2.3.1 ความสำคัญของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

นอกจากอุณหภูมิที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเก็บรักษาผลิตผลแล้ว การบรรจุหีบห่อเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีส่วนสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผล การใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดกระบวนการหายใจ การคายความร้อน การคายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ ของผลิตผลให้เกิดช้าลง (นิธิยาและดนัย, 2548) ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุผลิตผลทางการเกษตรและยา เรียกว่า บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ โดยเป็นวิธีการบรรจุโดยที่ภาชนะบรรจุและสภาพแวดล้อมมีปฏิสัมพันธ์กัน ทำหน้าที่เป็นภาชนะห่อหุ้มผลิตผล เพิ่มความปลอดภัยหรือปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัส และช่วยยืดอายุและรักษาคุณภาพให้คงเดิมได้นานขึ้น (งามทิพย์, 2550) บรรจุภัณฑ์แอคทีฟได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยการสกัดกั้นการแพร่ของแก๊สต่างๆให้ผ่านเข้าออกบรรจุภัณฑ์ตามความต้องการ เพื่อให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตผลแต่ละชนิดให้มีคุณภาพคงเดิมอยู่ได้นาน นอกจากนั้นยังอาจมีการผสมสารเคมีบางชนิดลงไปในพลาสติกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยดูดกลิ่นหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์) เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการยืดอายุและรักษาคุณภาพของผลิผลสดนั้นต้องอาศัยคุณสมบัติสำคัญของวัสดุที่ใช้บรรจุผลิตผล ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปของฟิล์มพลาสติก โดยควรมีคุณสมบัติการยอมให้แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน และความชื้นแพร่ผ่านด้วยอัตราที่เหมาะสม สามารถดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เป็นสภาวะสมดุล โดยความสามารถในการควบคุมคุณสมบัติการยอมให้แก๊สผ่านฟิล์ม รวมทั้งความสามารถในการเลือกให้แก๊สแต่ละชนิดผ่านในอัตราที่แตกต่างกัน (perm-selectivity) นั้นเป็นผลมาจากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ในระดับโมเลกุลหรือระดับนาโน ได้แก่ การควบคุมการกระจายตัวของสารตัวเติม (additives) เพื่อปรับแต่งโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเฟส ซึ่งมีผลกระทบต่อการผ่านของแก๊สในฟิล์มต้นแบบที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านได้สูง และการควบคุมโครงสร้างรูพรุน รัศมีรูพรุน และการเชื่อมต่อกันของรูพรุน ที่มีผลต่อคุณสมบัติการยอมให้แก๊สผ่านฟิล์มและความสามารถในการเลือกให้แก๊สผ่าน (กาญจนา, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศดัดแปลง

การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศดัดแปลงควรต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของผลิตผล ผลิตผลต่างชนิดกันจะมีอัตราการหายใจและกระบวนการต่างๆ แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจน การสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการสร้าง

ก๊าซเอทิลีนไม่เท่ากัน ส่งผลต่อสภาพบรรยากาศรอบๆ ผลิตผลภายในภาชนะบรรจุ นอกจากนั้น คุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซชนิดต่างๆ ภายในผลิตผลผ่านเข้าออกทางผิวหรือเปลือกไปสู่อากาศ ย่อมส่งผลถึงความเข้มข้นของก๊าซภายในผลิตผลเองด้วย (Biale, 1960)

2. วัยและความบริบูรณ์ของผลิตผล ผลิตผลที่มีวัยต่างกันอัตราการหายใจ การสร้างเอทิลีน และกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ แตกต่างกัน ผลิตผลที่ยังอ่อนอยู่มักมีอัตราต่างๆ ดังกล่าวต่ำกว่าผลไม้ที่กำลังสุก ส่งผลให้บรรยากาศในภาชนะบรรจุที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาแตกต่างกันทั้งๆ ที่การบรรจุและการเก็บรักษาเหมือนกัน (Biale, 1960)

3. อุณหภูมิในการเก็บรักษา อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ สูงขึ้นส่งผลต่อการใช้และการผลิตก๊าซต่างๆ ของผลิตผล (Smock, 1970)

4. ปริมาณของผลิตผลในภาชนะบรรจุ ในปริมาตรที่เท่ากัน การบรรจุผลิตผลจำนวนมากกว่าทำให้ผลิตผลใช้ก๊าซออกซิเจนมากกว่าและเกิดการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าในกระบวนการหายใจ (Biale, 1964)

5. คุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกของภาชนะบรรจุ (gas transmission rate) ภาชนะบรรจุที่ยอมให้ก๊าซต่างๆ ผ่านเข้าออกได้มากส่งผลให้องค์ประกอบของก๊าซภายในภาชนะบรรจุใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติมากกว่าภาชนะบรรจุที่ยอมให้ก๊าซต่างๆ ผ่านได้น้อย (Marston, 1995)

2.3.3 ข้อดีของการใช้บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผล

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงนอกจากจะมีประโยชน์ในด้านการชะลอการเกิดกระบวนการต่างๆ ทางชีวเคมีของผลิตผลแล้ว ยังมีข้อดีอื่นๆ ดังต่อไปนี้

1. ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลิตผลที่มีความบริบูรณ์มากขึ้น ผลิตผลที่มีความบริบูรณ์มากมักเก็บรักษาได้ไม่นานแต่มีรสชาติและคุณภาพในการบริโภคดีกว่าผลิตผลที่มีความบริบูรณ์น้อย การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลไว้ได้นานขึ้น ดังนั้นเกษตรกรจึงสามารถเก็บเกี่ยวผลิตผลที่มีความบริบูรณ์มากได้ (Eskin *et al*., 1971)

2. ลดความว่องไว (sensitivity) ของผลิตผลที่มีต่อเอทิลีน ทำให้การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่กระตุ้นโดยเอทิลีนเกิดขึ้นช้าลง ทั้งนี้เพราะคาร์บอนไดออกไซด์มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเอทิลีน สามารถไปจับที่บริเวณเร่งปฏิกิริยาของเอทิลีนได้ (Yang, 1980)

3. ลดการเกิดออกซิเดชัน การเกิดออกซิเดชันเกิดจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์สามารถลดการเกิดออกซิเดชันของผลิตผลที่มีไขมันมากได้ (Kader *et al*., 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เช่น อาการสะท้านหนาว เพราะเมื่อเกิดการบาดเจ็บระยะแรก องค์ประกอบต่างๆ จะแพร่ออกมาโดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลซึ่งสามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติสีน้ำตาลขึ้น (Nguyen *et al*., 2003)

5. ลดการเจริญของจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศที่มีการลดปริมาณออกซิเจนสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนได้ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เจริญบนผักและผลไม้ (EI-Goorani and Sommer, 1981)

6. เพิ่มคุณภาพของผลิตผล ผลิตผลบางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างหลังการเก็บเกี่ยว เช่น หน่อไม้ฝรั่งจะมีปริมาณเส้นใยสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษา สภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถชะลอการสร้างเส้นใยของหน่อไม้ฝรั่งได้ (Hardenburg, 1971)

2.3.4 ข้อเสียของการใช้บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผล

- การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้สภาพบรรยากาศควบคุมที่ได้รับการทดสอบแล้วมักปลอดภัยต่อผลิตผล สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลิตผลในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่ไม่ได้ควบคุมองค์ประกอบต่างๆ ของก๊าซให้เหมาะสม อาจทำให้ผลิตผลเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากก๊าซแต่ละชนิดมีความเข้มข้นสูงหรือต่ำเกินไป

- อาการผิดปกติของผลิตผลเมื่อเก็บรักษาไว้ภายใต้บรรยากาศดัดแปลงมีหลายรูปแบบด้วยกัน ลักษณะที่พบมากได้แก่ ผิวของผลิตผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ายถูกน้ำร้อนลวก มีรสชาติและกลิ่นผิดปกติ และสำหรับผลไม้มักมีกระบวนการสุกผิดปกติหรือไม่สุก

- ผลิตผลแต่ละชนิดสามารถทนต่อสภาพบรรยากาศดัดแปลงได้แตกต่างกัน สาเหตุของความแตกต่างยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่สันนิษฐานว่าเนื่องจากคุณสมบัติของผิวผลิตผลที่ยอมให้การถ่ายเทก๊าซต่างๆ ที่แตกต่างกันไปและความหนาแน่นของเนื้อผลิตผล ผลิตผลที่มีความหนาแน่นสูง การถ่ายเทอากาศเกิดขึ้นได้ยาก ทำให้ออกซิเจนภายในผลิตผลต่ำเกินไปหรือคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่ในผลิตผลมากเกินไป จึงทำให้เกิดอาการผิดปกติขึ้น (นิธิยาและดนัย, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.5 การนำบรรจุภัณฑ์แอคทีฟมาใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลทางอุตสาหกรรมเกษตร

การเก็บรักษามะเขือเทศพร้อมบริโภคในถุงแอคทีฟช่วยลดการเกิดฝ้าไอน้ำภายในถุงและช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเทศด้วย (Gill *et al*., 2002) การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere : EMA) ภายในถุงบรรจุผลิตผลสด เป็นอีกกรรมวิธีหนึ่งที่สามารถปรับสัดส่วนของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุต่ำลงและมีการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเนื่องจากการหายใจของผลิตผล และลดการแลกเปลี่ยนแก๊สกับภายนอก เมื่อออกซิเจนลดต่ำลง การหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนจึงเกิดขึ้นน้อยลง เนื่องจากในขั้นตอนการสร้างเอทิลีนจำเป็นต้องมีออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้อง (Baldwin, 1994) ดังที่มีรายงานว่า ผักคะน้าที่บรรจุถุงพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านแก๊สสูงสามารถสร้าง EMA ได้โดยมีองค์ประกอบของแก๊สเป็นออกซิเจนร้อยละ 11.5 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3.5 ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 24-36 วัน ที่อุณหภูมิ 5-7 องศาเซลเซียส โดยแทบไม่สูญเสียน้ำหนักเลย สอดคล้องกับการศึกษาของ Serrano *et al*. (2006) ที่รายงานว่า การเก็บรักษา บรอคโคลี่ภายใต้สภาพ EMA โดยใช้ภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูง (macro-perforated : Ma-P, micro-perforated : Mi-P, non-perforated : No-P) และฟิล์มชนิดพอลิพรอพิลีนมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุมที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ฟิล์มชนิด Mi-P และ No-P ยังสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ดีกว่าฟิล์มอื่นๆอีกด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของชนิตและคณะ (2550) ที่พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูง (ค่าการซึมผ่านของออกซิเจน 12,000 $cc.m^{-2}.day^{-1}$) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและชะลออัตราการหายใจได้ การศึกษาของ Chonhenchob *et al*. (2006a) ทดลองเก็บรักษาพริกในถุงที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูง (C4, C5 และ C9) พบว่า พริกที่บรรจุในภาชนะ C4 และ C5 ใช้เวลาในการสร้าง EMA สั้นที่สุด โดยมีองค์ประกอบของแก๊สออกซิเจนเป็นร้อยละ 12 คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2 และออกซิเจนร้อยละ 7 คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3 ตามลำดับ และมีคุณภาพการยอมรับสูงระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ดีพริกที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน (ฟิล์มชนิด PE และ PP, กล่องพลาสติกชนิด PS และ PVC) แล้วเก็บรักษาที่ 4 และ 8 องศาเซลเซียส พบว่าฟิล์มชนิด PP สามารถรักษาคุณภาพได้ดีกว่าชุดอื่น ๆ (Chonhenchob and Surapat, 2001) หน่อไม้ฝรั่งที่เก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศโดยภาชนะบรรจุ P-Plus (ค่าการซึมผ่านของออกซิเจน 14,000 $cc.m^{-2}.day^{-1}$) สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก รักษาคุณภาพภายนอก และชะลอการเกิดโรคได้ดีกว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้บรรจุลงในภาชนะบรรจุ P-Plus (Villanueva *et al*., 2005) นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Chonhenchob *et al*. (2006b) ที่พบว่า ผลไม้เขตร้อนตัดแต่งพร้อมบริโภค (มะม่วง สับปะรด และแตงเทศ) ที่เก็บรักษาใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาพ EMA สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ดีโดยใช้ฟิล์มประเภท PET จากรายงานการวิจัยที่มีมาก่อนพบว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพ EMA นิยมใช้กับผลิตผลสดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาได้ดี อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาภายใต้สภาพ EMA นั้นต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างครอบคลุมและถี่ถ้วน อันประกอบด้วยอัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนักบรรจุ ค่าการซึมผ่านของแก๊ส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ชนิดของฟิล์ม พื้นที่ผิวของภาชนะบรรจุ รวมถึงอัตราส่วนของแก๊สต่างๆภายในภาชนะบรรจุ (Jacxsens *et al*., 2000)

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงในระบบปิด จะเกิดมาจากการหายใจของตัวผลิตผลเอง และการแลกเปลี่ยนก๊าซผ่านแผ่นฟิล์มพลาสติก สามารถอธิบายได้โดยอาศัยกฎของ Fick (Fick's law) ซึ่งในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับในงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการซึมผ่านแก๊สในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดยจะพิจารณาเฉพาะก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น (Renault)แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของภาชนะบรรจุส่วนใหญ่จะทำการศึกษาที่ระดับอุณหภูมิคงที่ Exama et al. ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อฟิล์มหลายชนิด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านแก๊สของฟิล์มพลาสติกและอุณหภูมิ (เคลวิน) สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Arrhenius

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved