# บทที่ 2

# การตรวจเอกสาร

## 2.1 ลักษณะทั่วไปของกะเพรา

### 2.1.1 แหล่งกำเนิดและพัฒนา

กะเพรา (holy basil) เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Labiatae มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Ocimum sanctum* Linn. ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกันกับ โหระพา และแมงลัก เป็นพืชจำพวกพุ่มขนาดเล็ก สูงไม่เกิน 1.20 เมตร ต้นอ่อนและกิ่งอ่อนมีขนปกคลุม กิ่งและแขนงเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีกิ่งก้านมาก ใบรูปไข่ยาวปลายแหลม 2-4 เซนติเมตร ใบมีกลิ่นหอมเพราะมีน้ำมันหอมระเหยจำนวนมาก ดอกตั้งเป็นช่อยาว 5-14 เซนติเมตร บนช่อดอกเรียงเป็นชั้นๆ คล้ายฉัตร ดอกขนาดเล็กสีชมพู อมม่วง ช่อดอกชั้นล่างจะบานก่อนชั้นบน เป็นพืชที่ปลูกกันในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะประเทศไทยและมาเลเซีย

**ภาพที่ 1** กะเพราแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

### 2.1.2 ความสำคัญของกะเพรา

**ก. ความสำคัญทางเศรษฐกิจ** กะเพราเป็นหนึ่งในพืชสมุนไพรที่มีศักยภาพในการส่งออกไปยังต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศในกลุ่มยุโรป เนื่องจากรัฐบาลได้มีนโยบายให้ครัวไทยเป็นครัวโลก ทำให้มีการส่งเสริมให้มีการจำหน่ายและบริโภคอาหารไทยเพิ่มขึ้น

**ข. ความสำคัญทางคุณค่าอาหาร** กะเพราเป็นพืชผักสมุนไพรที่ใช้ใบสดและใบอ่อนในการประกอบอาหาร เพื่อช่วยดับกลิ่นคาวและช่วยให้อาหารมีกลิ่นหอม ผลพลอยได้จากการบริโภคใบกะเพรานอกจากจะเพิ่มรสชาติให้กับอาหารแล้ว ใบกะเพรายังมีสารอาหารมากมาย ได้แก่ เบตา-แคโรทีน ที่มีปริมาณ 7867 ไมโครกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีผลให้กะเพราสามารถช่วยป้องกันโรคมะเร็งได้ (เพ็ญนภา, 2548) นอกจากจะมีเบตา-แคโรทีนในปริมาณที่สูงแล้ว กะเพรายังให้สารอาหารจำพวก คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินเอ บี1 และบี2 (วีณา, 2543) แคลเซียม 15.1 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด วิตามินซี 25 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และใยอาหาร 4.3 กรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (เพ็ญนภา, 2548)

นอกจากนี้ ใบกะเพรายังมีน้ำมันหอมระเหย 0.35 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยสารสำคัญ ได้แก่ camphor, cined, eugenol, limonene, pinene, sabinene, terpineol, ocimol, linalool และกรดอินทรีย์หลายชนิด (เมฆ, 2548) ซึ่งน้ำมันหอมระเหยที่พบในใบกะเพรา มีฤทธิ์ขับลม ลดการบีบตัวของลำไส้ และสาร Eugenol มีฤทธิ์ขับน้ำดี ช่วยย่อยไขมันและลดอาการจุกเสียด (เพ็ญนภา, 2548)

**2.1.3 การจำแนกพันธุ์ของกะเพรา**

กะเพราในประเทศไทยมีอยู่ 2 พันธุ์ คือ กระเพราขาวและกะเพราแดง โดยที่กะเพราขาวมีกิ่งและใบเขียว ส่วนกะเพราแดงมีใบและลำต้นสีแดงหรือม่วงเข้ม (เมฆ, 2548)

**2.2 ความสำคัญของการลดอุณหภูมิ** (พิชญา, 2550)

ผักและผลไม้ เมื่อตัดออกจากต้นยังคงเป็นสิ่งที่มีชีวิตอยู่ และมีกระบวนการทางชีวเคมีเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตต่อไป และผลิตผลจะต้องมีชีวิตต่อไปในสภาพปกติจนถึงมือผู้บริโภค พลังงานที่เซลล์พืชจำเป็นต้องใช้จะได้มาจากสารอาหารที่พืชสะสมไว้ในขณะที่พืชยังติดอยู่กับต้น ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารอาหารให้เป็นพลังงานโดยอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เร่งด้วยเอนไซม์ คือ กระบวนการหายใจ

ผลจากกระบวนการหายใจจะมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งปล่อยออกมาด้วย เรียกว่าความร้อนที่ติดมากับผลิตผล ซึ่งปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ พันธุ์ ระยะความแก่ ระยะการสุก การมีบาดแผล อุณหภูมิ และความเครียดต่างๆ ความร้อนที่ติดมากับผลิตผลนี้จะใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาถึงการจัดการด้านอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลด้วย ผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศหรือสภาพแวดล้อมขณะทำการเก็บเกี่ยว ความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากสิ่งแวดล้อม เมื่อขนย้ายผักมายังโรงคัดบรรจุ และกองรวมกันไว้ ถ้าอากาศผ่านเข้า-ออกหรือถ่ายเทไม่สะดวกจะทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความร้อนที่คายออกมาจากผักและผลไม้ รวมกับความร้อนที่ติดมาจากสิ่งแวดล้อมถูกสะสมในกองผลิตผล ทำให้อุณหภูมิของผักและผลไม้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งไปเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆภายในเซลล์ของผักและผลไม้ให้เกิดเร็วขึ้น มีผลทำให้คุณภาพของผักและผลไม้ลดลง และมีอายุการเก็บรักษาสั้นลงด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ให้ต่ำลง เพื่อไล่ความร้อนจากแปลงปลูกที่ติดมากับผักและผลไม้ออกไปให้เร็วที่สุดและมากที่สุด 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

**อัตราของการลดอุณหภูมิขึ้นอยู่กับ** (จริงแท้, 2544)

1. การนำความร้อน (thermal conductivity) ของผลผลิตและตัวกลาง ถ้ามีการนำความร้อนได้ดี จะทำให้มีการลดอุณหภูมิได้รวดเร็ว

2. ความจุความร้อนของตัวกลาง ถ้ามีค่ามากจะทำให้สามารถนำความร้อนออกไปได้มาก จึงส่งผลให้ลดอุณหภูมิได้เร็ว

3. ความจุความร้อนของผลิตผล ถ้ามีค่ามากจะส่งผลให้การลดอุณหภูมิเกิดขึ้นได้ช้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผลิตผลกับตัวกลาง ถ้ายิ่งมีค่าต่างกันมากจะทำให้การลดอุณหภูมิเกิดขึ้นได้เร็ว และเมื่อความแตกต่างลดลงจะทำให้อัตราการลดอุณหภูมิช้าลงด้วย

5. การสัมผัสระหว่างตัวกลางกับผลิตผล ถ้ามีการสัมผัสกับตัวกลางมาก จะทำให้อุณหภูมิลดลงได้เร็วด้วย

6. การเคลื่อนไหวของตัวกลาง ถ้ามีการเคลื่อนไหวเร็วมากจะทำให้มีการพาความร้อนออกไปได้มากด้วย

**2.3 วิธีการลดอุณหภูมิ (cooling method)**

การลดอุณหภูมิออกจากผลิตผล ควรจะทำทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งอาจจะก่อนหรือหลังการบรรจุลงภาชนะแล้วก็ได้ แต่การลดอุณหภูมิก่อนการบรรจุลงภาชนะนั้นจะใช้เวลาน้อยกว่า เพราะความเย็นสามารถแทรกซึมเข้าไปถึงส่วนกลางของผลิตผลได้ง่าย ซึ่งวิธีการลดอุณหภูมิมีอยู่ด้วยกัน 5 วิธี คือ

**2.3.1 การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง (air cooling)** ได้แก่

**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)

**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)

**2.3.2 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 และเมื่อลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นแล้วต้องให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตผลอยู่ในสภาพอุณหภูมินั้นตลอดเวลา หากผลิตผลได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นจะก่อให้เกิดผลเสียอย่างรุนแรง (พิชญา, 2550)

**2.3.3 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง (contact icing)** เป็นวิธีการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งบดเป็นก้อนเล็กๆ ใส่ผสมรวมไปกับผลิตผล เพื่อทำให้ผลิตผลนั้นเย็นตัวลงโดยตรง เป็นวิธีที่ใช้เฉพาะในกรณีที่ไม่มีเครื่องทำความเย็นซึ่งวิธีนี้ยังไม่มีประสิทธิภาพดีพอ ถ้าจะให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ต้องมีการใช้ร่วมกับน้ำเย็นจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น (นิธิยาและดนัย, 2548)

การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง นิยมใช้กับผักใบ ใช้น้ำแข็งป่นคลุมด้านบนหรือปูเป็นชั้นๆ ระหว่างผลิตผลเพื่อลดความร้อน เมื่อน้ำแข็งละลาย น้ำเย็นจะไหลผ่านผักและผลไม้ (พิชญา, 2550)

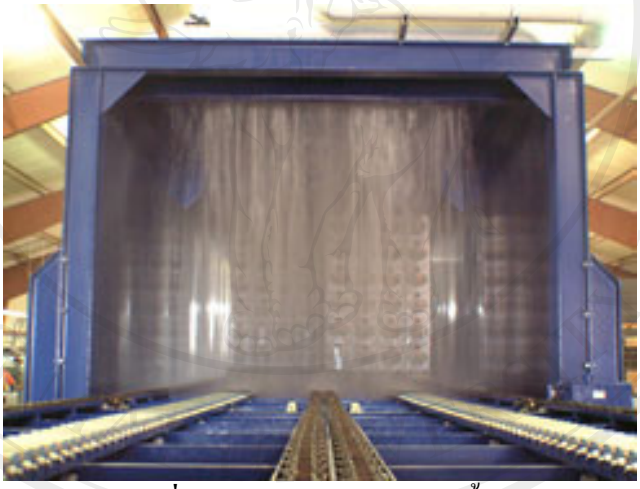
**2.3.4 การลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศ** เป็นวิธีที่กระทำในสภาพที่มีความดันต่ำ โดยจะทำการดูดเอาอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อความดันบรรยากาศลดลงทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปได้ง่าย โดยใช้ความร้อนจากผลิตผลนั้นเอง ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดต่ำลง โดยผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมากจะทำให้มีการคายความร้อนได้ดี (พิชญา, 2550)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ภาพที่ 2** การลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น

แหล่งที่มา http://www.agrifoodasia.com/English/new/news_fac.htm



**ภาพที่ 3** การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็น

แหล่งที่มา http://www.trj-inc.com/hydroCooler.html

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อวิธีการลดอุณหภูมิเฉียบพลัน** (จริงแท้, 2544)

เทคนิคในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันให้แก่ผักนั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธี โดยมีเป้าหมายอย่างเดียวกันคือ การดึงความร้อนที่ติดมาจากสิ่งแวดล้อมออกจากผักทันทีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งวิธีที่ต่างกันก็จะให้ผลได้ดีกับผักแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป โดยในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมนั้นควรพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

**ก. ธรรมชาติของผัก** ประเภทของผักที่แตกต่างกันต้องการการทำความเย็นที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น สตรอเบอรี่และบรอคโคลี่ต้องการอุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็ง ในขณะที่น้ำเต้าและมะเขือเทศอาจจะได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำเกินไป ในทำนองเดียวกันเนื่องจากปัญหาอาจ

เกิดจากความเปียก เช่น ดอกไม้บางอย่างอาจอ่อนแอต่อเชื้อราสีเทา (gray mould) และอาจไม่เหมาะต่อการทำให้เย็นโดยใช้น้ำ

**ข. การใช้บรรจุภัณฑ์** การเลือกวิธีการทำให้เย็นได้รับอิทธิพลอย่างมากจากชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ผลิตผลอาจถูกบรรจุในกล่อง ถัง หรือถุง ที่จะเปลี่ยนและมีผลต่อความต้องการในการทำให้เย็น และมีอิทธิพลต่อเทคโนโลยีการทำความเย็นที่จะช่วยลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว รูปแบบของบรรจุภัณฑ์และวัสดุมีผลต่อการเลือกวิธีการทำให้เย็นและอัตราการทำให้เย็น เช่น บรรจุภัณฑ์ที่มีรูพรุนสามารถทำการลดอุณหภูมิลงได้เร็วและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท

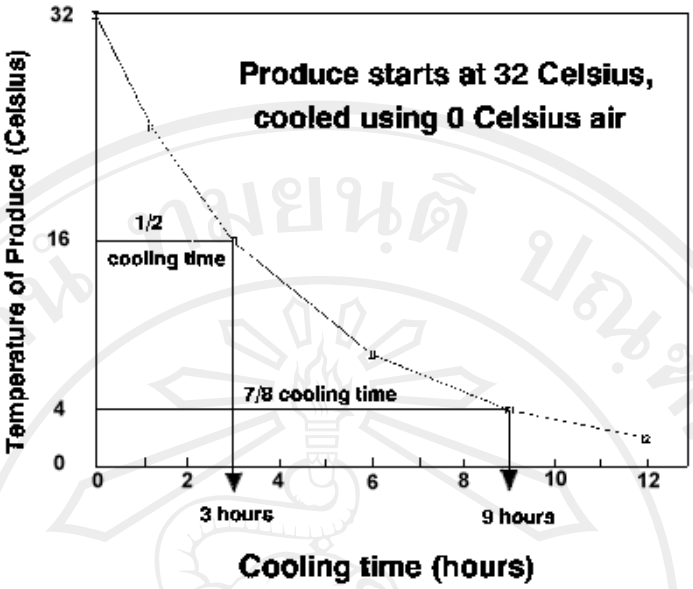
**ค. การไหลของผลิตผล** เทคนิคการทำความเย็นบางอย่างมีความรวดเร็วกว่าวิธีอื่นและมีความแตกต่างในผลิตผลทั้งหมด ถ้าปริมาณของผลิตผลที่ต้องทำให้เย็นต่อฤดูกาลต่อวันหรือต่อชั่วโมงมีปริมาณมาก เทคนิคการทำความเย็นที่รวดเร็วจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถผลิตได้อย่างเพียงพอ ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ในการทำความเย็นและขั้นตอนการบรรจุหรือการจับคู่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ ควรได้รับการพิจารณาเพื่อมิให้เกิดการติดขัดในระหว่างการไหลของผลิตผลในโรงงาน

**ง. ข้อพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์** ต้นทุนการก่อสร้างและการดำเนินงานมีความผันแปรอย่างมากระหว่างวิธีการทำให้เย็นแต่ละวิธี ค่าใช้จ่ายในการเลือกเทคนิคการทำความเย็นต้องมีความสมเหตุสมผล ทำให้ได้ราคาขายที่สูง หรือทำให้ได้ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจอื่นๆ

**2.5 ลักษณะกราฟของการลดอุณหภูมิ**

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพที่ 4** แสดงอัตราการลดอุณหภูมิของผลิตผล

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

**2.6 สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง** (พิชญา, 2550)

พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายกระบวนการลดอุณหภูมิ (cooling parameter)

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

**2.6.2 เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ**

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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 $\theta$ = Dimensionless temperature

T = อุณหภูมิที่เวลาใดๆ (องศาเซลเซียส)

$T_a$ = อุณหภูมิตัวกลาง (องศาเซลเซียส)

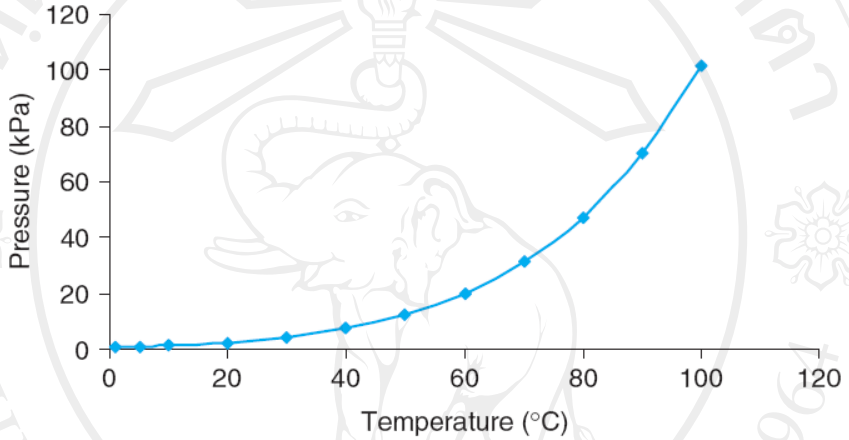
$T_i$ = อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล (องศาเซลเซียส)

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 การลดอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการจะใช้ระยะเวลาที่สั้น (พิชญา, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.7 การลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศ**

หลักการทำงานของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ คือ การระเหยความชื้นออกจากผิวและภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอุณหภูมิ ณ จุดที่น้ำจะเริ่มเดือดและระเหยนั้นจะขึ้นอยู่กับความดันไอรอบๆโดยตรง (ภาพที่ 5) โดยที่ความดัน 1 บรรยากาศ (100 kPa) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เมื่อความดันถูกลดลงมาให้ต่ำกว่า 1 บรรยากาศ น้ำก็จะเริ่มเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส




**ภาพที่ 5** ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวและอุณหภูมิ (Zheng and Sun, 2005)

การลดอุณหภูมิของผลิตผลด้วยระบบสุญญากาศ เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่รวดเร็วและสม่ำเสมอที่สุด ผลิตผลจะเย็นลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับความร้อนโดยวิธีการอื่นๆ นิยมใช้กับผักใบต่างๆ (นิธิยาและดนัย, 2548) ซึ่งกระบวนการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศเป็นเทคนิคที่ช่วยในการระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว (McDonald and Sun, 2000) การลดอุณหภูมิของผลิตผลโดยการใช้ระบบสุญญากาศ อาศัยหลักการการระเหยความชื้นหรือน้ำอย่างรวดเร็วจากผิวหน้าและภายในผลิตผลเพื่อลดอุณหภูมิ เมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอจะต้องใช้พลังงานแฝงซึ่งเป็นพลังงานที่โมเลกุลสะสมเพื่อนำไปใช้ในการต้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และพลังงานแฝงนี้จะส่งผลกระทบโดยตรงกับสถานะของน้ำ เมื่อน้ำได้รับพลังงานแฝงจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ส่งผลให้พลังงานภายในมีมากขึ้น ความร้อนแฝงนี้เกิดการถ่ายเทพลังงานแฝงระหว่างสิ่งแวดล้อมกับระบบให้กันและกัน แล้วจะทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะ (วงกต, 2545) อุณหภูมิของน้ำเริ่มระเหยขึ้นอยู่กับความดันไอน้ำของสิ่งแวดล้อมโดยตรง ในผักประกอบด้วยปริมาณน้ำอิสระ ถ้าผักถูกนำไปไว้ในห้องที่ปิดสนิท และลดความดันภายในห้องลงโดยใช้ปั๊มดูดอากาศออกจนทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างน้ำในผักและสภาพแวดล้อมจะเป็นสาเหตุทำให้น้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระเหยและกลั่นตัวเป็นไอน้ำเพื่อออกไปสู่บรรยากาศแวดล้อม เมื่อผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้องโดยที่ไม่มีการสัมผัสกับตัวกลางอื่น ความต้องการความร้อนแฝงในการระเหยกลายเป็นไอจึงได้มาจากความร้อนที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ ความร้อนที่ได้จากการหายใจ และความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกหรือสิ่งแวดล้อม จึงทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงและเย็นในที่สุด ผลที่ได้คือผักจะมีอุณหภูมิลดต่ำลง มีการระเหยของน้ำกลายเป็นไออย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิสุดท้ายของผักสามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ (Zheng and Sun, 2004)

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

**2.8 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ**

เครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ โดยทั่วไปแล้วมีได้หลายขนาดและรูปร่างขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน ส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน คือประกอบด้วย

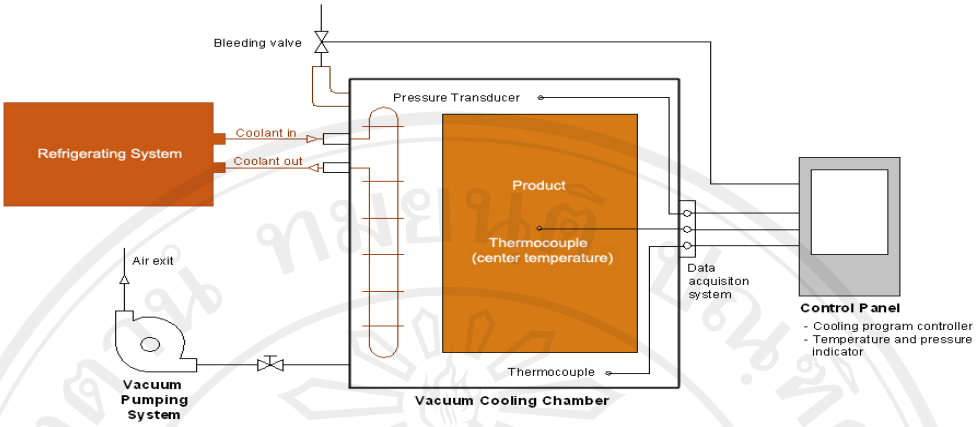
1. ห้องสุญญากาศ (vacuum chamber) จะใช้สำหรับใส่ผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะทำการลดอุณหภูมิ ซึ่งจะถูกปิดสนิทในระหว่างกระบวนการ

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

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

4. ส่วนประกอบอื่นๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพที่ 6** ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

**2.9 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศทั่วไป** (Zheng and Sun, 2004)

1. นำผลิตภัณฑ์วางลงในห้องสุญญากาศ (รูป a)

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

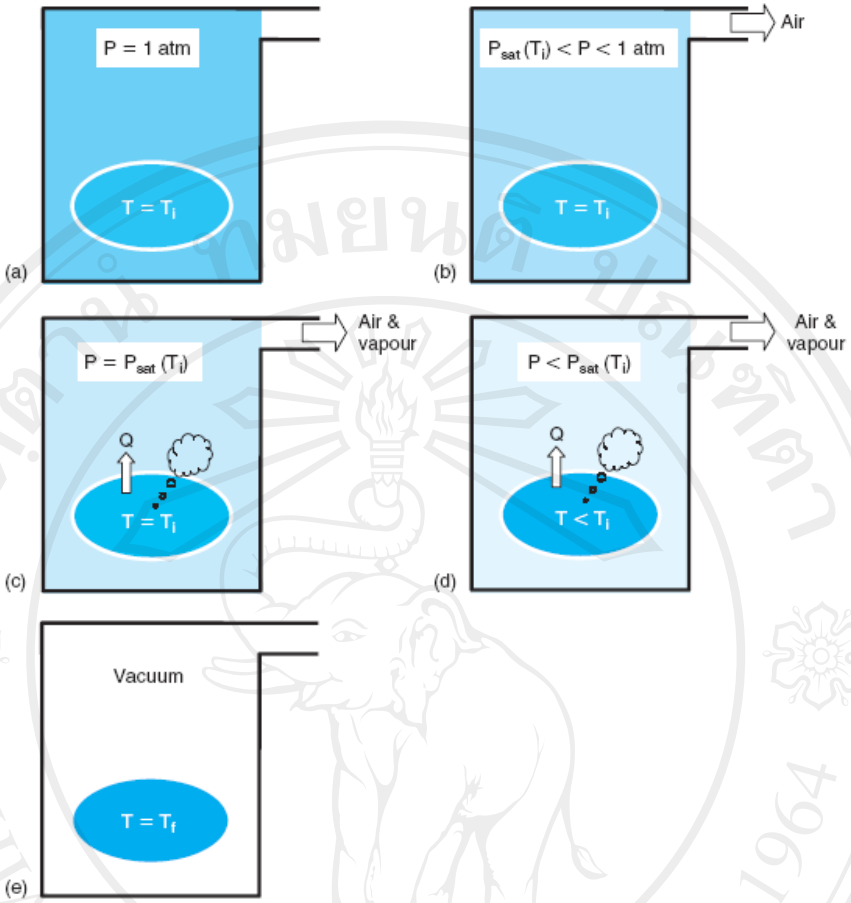
3. เมื่อความดันในห้องสุญญากาศ อยู่ในระดับความดันเริ่มต้นซึ่งเป็นระดับความดันที่มีผลต่ออุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ ที่จุดนี้จะเรียกว่า flash point ของกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ปกติแล้วความดันภายในห้องสุญญากาศ ต้องลดลงถึงจุด flash point ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะในช่วงระยะเวลาก่อนถึงระยะนี้เครื่องปั๊มสุญญากาศจะทำหน้าที่ดูดเอาอากาศออกไปและไม่มี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

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

5. การลดอุณหภูมิจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนครบระยะเวลาที่กำหนดกระบวนการจึงสิ้นสุดลง (รูป e)

6. เมื่อกระบวนการสิ้นสุดลงวาล์วระบายอากาศจะเปิดออก และอากาศจะไหลเข้าสู่ห้องสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์จะถูกนำออกมาจากห้องสุญญากาศ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพที่ 7** หลักการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศทั่วไป (Zheng and Sun, 2005)

**2.10 ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยสุญญากาศ** (McDonald and Sun, 2000)

1. การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ เช่น การใช้อากาศเย็นหรือการแช่ในน้ำเย็น โดยทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากตัวผลิตผลไปยังผิวภายนอก โดยใช้ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว

2. สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้ปริมาณมากต่อครั้ง และใช้ได้กับผลิตผลที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุโดยไม่ต้องคำนึงถึงการหมุนเวียนของอากาศ ชนิดของภาชนะบรรจุ หรือตัวกลางในการลดอุณหภูมิ

3. เนื่องจากเป็นการลดอุณหภูมิที่เกิดจากภายในตัวผลิตผลเอง ทำให้ได้ผลิตผลที่มีลักษณะคงตัว (uniform) หลังจากผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศแล้ว

4. สามารถกำจัดน้ำส่วนเกินที่ติดอยู่บริเวณผิวของผลิตผลที่ไม่ต้องการได้ ทำให้ป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นการลดอุณหภูมิที่ผลิตผลไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้สามารถลดความเสียหายทางกลของผลิตผลได้

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

7. สามารถควบคุมอุณหภูมิของผลิตผลได้อย่างแน่นอน โดยการกำหนดความดันที่เหมาะสม การใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้นทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้

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

**2.11 ปัจจัยที่ผลต่ออัตราการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ** (Zheng and Sun, 2004)

เนื่องจากการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ เป็นวิธีการที่มีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิที่เร็วกว่าการลดอุณหภูมิด้วยวิธีอื่นๆ การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ เมื่อเริ่มมีการระเหยของน้ำที่ผิวหน้า หรือภายในผลิตผลที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน และเกิดการแพร่ของไอน้ำผ่านช่องว่างภายในผลิตผล ไปสู่บริเวณผิวหน้าของผลิตผล ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่มีต่อการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ได้แก่

1. คุณสมบัติความมีรูพรุน และการกระจายของรูพรุนภายในผลิตผล โดยผลิตผลที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนมาก และมีการกระจายของรูพรุนทั่วทั้งผลิตผล จะทำให้มีกระบวนการในการลดอุณหภูมิเร็วขึ้น

2. ลักษณะของภาชนะบรรจุ การบรรจุผลิตผลลงในภาชนะบรรจุมีผลต่ออัตราเร็วในการการลดอุณหภูมิผลิตผลด้วยระบบสุญญากาศ เช่น ผักกาดหอมห่อที่ห่อหุ้มด้วยพลาสติกหรือในภาชนะบรรจุที่เจาะรู จะมีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิที่เร็วกว่าผลิตผลที่บรรจุในกล่องหรือภาชนะที่ไม่มีการระบายอากาศ

3. ประสิทธิภาพของเครื่องปั๊มสุญญากาศ การใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายเร็วขึ้น เช่น การทดสอบเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเพื่อการค้าในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) พบว่า การใช้ปั๊มดูดอากาศที่มีขนาด 630 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ 78 นาที โดยที่สามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อจำนวน 24 พาเลท ได้ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ในขณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่การใช้ปั๊มที่ขนาด 1660 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง โดย 10 นาทีแรกใช้ปั๊มที่มีขนาด 1250 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิทั้งหมด 32 นาที และสามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อจำนวน 52 พาเลท ได้ในระยะเวลาเท่ากัน ซึ่งการมีอัตราการลดอุณหภูมิที่เร็วขึ้นจะเป็นการเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้นได้เช่นกัน

4. อุณหภูมิของเครื่องควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำเร็วขึ้น และทำให้กระบวนการลดอุณหภูมิเร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม การควบแน่นจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดน้ำแข็งเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของเครื่องควบแน่น

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

## 2.12 การนำกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมาใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลทางอุตสาหกรรมเกษตร

มีงานวิจัยที่ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อ บรอคโคลี่ และผักกาดฮ่องเต้ ที่รายงานว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 15-20 และ 20-25 องศาเซลเซียส คือ กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ เท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เท่ากับ 12 และ 20 นาที ตามลำดับ (กฤษติยาและคณะ, 2551) ส่วนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 15-20 และ 20-25 องศาเซลเซียส คือ กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 5.5 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 25 และ 30 นาที ตามลำดับ (ปรัศนีย์, 2551) และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 15-20 และ 20-25 องศาเซลเซียส คือ กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 15 และ 20 นาที ตามลำดับ (วีนิลและคณะ, 2551) และยังมีการศึกษาถึงคุณภาพของผักกาดหอมห่อ บรอคโคลี่ และผักกาดฮ่องเต้ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศโดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมข้างต้น พบว่า ผักทั้ง 3 ชนิด มีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักที่ไม่ผ่านการลด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (ชุดควบคุม) โดยมีอายุการเก็บรักษา 8, 12 และ 10 วัน ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษา 5, 2 และ 5 วัน ตามลำดับ (กฤษติยาและคณะ, 2551; ปรัศนีย์, 2551; วีนิลและคณะ, 2551)

Zhang and Sun (2006) เปรียบเทียบการลดอุณหภูมิหรือการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบรอคโคลี่ และแครอทหั่นชิ้น โดยเปรียบเทียบวิธีที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ การทำให้เย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศ การลดอุณหภูมิแบบเป่าลม (blast cooling) การทำให้เย็นโดยใช้ห้องเย็น และการลดความเย็นแผ่นเรียบ (plate cooling) พบว่า การทำให้เย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการทำให้เย็นโดยการใช้น้ำพ่นลงบนผัก ดังนั้นการลดอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันด้วยระบบสุญญากาศจึงเหมาะสำหรับการลดอุณหภูมิของบรอคโคลี่และแครอทหั่นชิ้น ในขณะที่ Ozturk and Ozturk (2009) เปรียบเทียบการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อ ได้แก่ การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและการลดอุณหภูมิโดยใช้ตู้เย็น พบว่า การลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อด้วยระบบสุญญากาศให้มีอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสเป็นวิธีการลดอุณหภูมิเร็วกว่าการใช้ตู้เย็นในการลดอุณหภูมิ ถึง 13 เท่า และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิมากกว่า Sun and Zheng (2006) ได้ศึกษาการใช้ระบบสุญญากาศในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 1 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าใช้เวลาทั้งหมดน้อยกว่า 30 นาที และเมื่อนำผักกาดหอมห่อไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการวางจำหน่ายผักกาดหอมห่อได้นานถึง 14 วัน ในขณะที่ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่จะมีอายุการวางจำหน่ายเพียง 3-5 วัน นอกจากนี้ การลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อก่อนการเก็บรักษาสามารถที่จะช่วยชะลอการเกิดสีชมพูบริเวณเส้นใบ (pink rib) และความเสียหายต่อใจกลางใบ (heart-leaf injury) ระหว่างการเก็บรักษาได้ (Martínez and Artés, 1999)

มีการนำวิธีการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันด้วยระบบสุญญากาศไปใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น กะหล่ำปลี เนื่องจากกะหล่ำปลีมีโครงสร้างภายในที่ห่อตัวอย่างหนาแน่น อากาศและความชื้นที่อยู่ภายในนั้นถูกดึงออกมาได้ยาก ด้วยสาเหตุนี้ จึงเป็นผลทำให้การลดอุณหภูมิของกะหล่ำปลีนั้นทำได้ยาก ดังนั้นจึงมีการนำการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศหลายระดับ (multi-stage vacuum cooling) มาใช้ในการลดอุณหภูมิของกะหล่ำปลี ซึ่งพบว่าสามารถที่จะลดทั้งอุณหภูมิภายในและภายนอกของกะหล่ำปลีให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันได้ นอกจากนี้ ในระหว่างการคืนความดันสู่ความดันบรรยากาศ การทำให้อากาศภายนอกเย็นตัวลงด้วยเครื่องควบแน่น ก่อนที่จะนำเข้าสู่ห้องลดอุณหภูมิ สามารถที่ช่วยไม่ให้อุณหภูมิของกะหล่ำปลีเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ และกระบวนการคืนความดันสู่ความดันบรรยากาศได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการสามารถลดอุณหภูมิกะหล่ำปลีให้ต่ำลงได้ถึง 4 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังมีผลให้ประหยัดพลังงานในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วย (Cheng and Hsueh, 2007) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการลดอุณหภูมิผลิตผลประเภทลำต้นที่มีพื้นที่ผิวน้อย เช่น หน่อไม้ ด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้ง พบว่า การลดอุณหภูมิหน่อไม้โดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำสามารถที่จะช่วยลดอุณหภูมิหน่อไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวิธีการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ ต่อด้วยการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้งมีผลทำให้หน่อไม้มีคุณภาพดีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ และเมื่อนำหน่อไม้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้ง มาเปรียบเทียบกับหน่อไม้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ การลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็น และการลดอุณหภูมิด้วยน้ำร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็น พบว่า หน่อไม้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้งมีลักษณะปรากฏความคงตัวทางกายภาพ และอายุการเก็บรักษาดีที่สุด อีกทั้งยังมีเชื้อแบคทีเรียเกิดขึ้นน้อยที่สุด (Cheng, 2006)

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศนอกจากจะมีความเหมาะสมในการลดอุณหภูมิผลิตผลประเภทผักใบแล้ว 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 และมีการศึกษาสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมของเห็ดที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ โดยเปรียบเทียบสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกัน 3 สภาวะ คือ การเก็บรักษาในห้องเย็น การเก็บรักษาในห้องลดความดัน (hypobaric room) และการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์แบบสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging ; MAP) พบว่า การเก็บรักษาเห็ดที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศภายใต้บรรจุภัณฑ์แบบสภาพบรรยากาศดัดแปลงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยมีการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ membrane permeability และระดับการเกิดสีน้ำตาลของดอกเห็ดที่น้อยกว่าสภาวะการเก็บรักษาอื่น (Tao *et al*., 2006)

นอกจากนี้ยังมีการนำการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมาใช้ในการลดอุณหภูมิไม้ดอกอีกหลายชนิด เช่น Bronan and Sun (2001) ศึกษาถึงการลดการสูญเสียน้ำหนักของดอกลิลลี่ในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศด้วยการพ่นน้ำในระหว่างกระบวนการ ซึ่งพบว่า การพ่นน้ำในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและเพิ่มอัตรา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทำให้เย็นที่ส่งผลให้ดอกลิลลี่มีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว มีการศึกษาถึงอายุการปักแจกันของดอกลิลลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ร่วมกับการเก็บรักษาในห้องเย็น พบว่าสามารถที่จะยืดอายุการปักแจกันดอกลิลลี่ได้นานขึ้น จากการศึกษาการควบคุมอัตราการระเหยของน้ำ และการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศที่ความดัน 4 ระดับ คือ 8.5, 9.35, 14.4 และ 374 มิลลิบาร์ต่อนาที พบว่า มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักลดจาก 5.4 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 3.7 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 374 และ 8.5 มิลลิบาร์ต่อนาที และเมื่อศึกษาถึงอายุการปักแจกันของดอกลิลลี่ พบว่า การควบคุมอัตราการระเหยของน้ำที่ความดันระดับต่างๆ ไม่มีผลต่ออายุการปักแจกัน และอุณหภูมิสุดท้ายก่อนการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ ทำให้การสูญเสียน้ำลดลง (Brosnan and Sun, 2003) เช่นเดียวกันกับ Sun and Brosnan (1999) ที่ศึกษาอายุการปักแจกันของดอกแดฟโฟดิล และพบว่า การลดอุณหภูมิดอกแดฟโฟดิลด้วยระบบสุญญากาศก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและห้องเย็น สามารถที่จะยืดอายุการปักแจกันของดอกแดฟโฟดิลได้ และการพ่นน้ำในระหว่างกระบวนลดอุณหภูมิ มีผลในการลดการสูญเสียน้ำหนัก โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของดอกแดฟโฟดิล

นอกจากจะมีการศึกษาถึงเทคนิคการทำให้เย็นด้วยระบบสุญญากาศในการช่วยลดอุณหภูมิแล้ว ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับแรงดันภายในเครื่องทำความเย็นที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของผักกาดหอมห่อ 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 *et al*., 2004) นอกจากนี้ 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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ อาศัยพื้นฐานจากการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่มีอยู่เดิม และออกแบบให้มีการประหยัดพลังงานสูงที่สุด

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

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศนอกจากจะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลทางการเกษตรแล้ว ยังสามารถนำมาลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ผ่านการแปรรูปแล้วได้อีกด้วย 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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## 2.13 การเก็บรักษาผลิตผลสดในบรรจุภัณฑ์ที่มีสภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere : EMA)

การบรรจุหีบห่อเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีส่วนสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผล การใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดกระบวนการหายใจ การคายความร้อน การคายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ ของผลิตผลให้เกิดช้าลง (นิธิยาและดนัย, 2548) เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการยืดอายุและรักษาคุณภาพของผลิผลสดนั้นต้องอาศัยคุณสมบัติสำคัญของวัสดุที่ใช้บรรจุผลิตผล ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปของฟิล์มพลาสติก โดยควรมีคุณสมบัติการยอมให้แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน และความชื้นแพร่ผ่านด้วยอัตราที่เหมาะสม สามารถดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เป็นสภาวะสมดุล (กาญจนา, 2548)

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุผลิตผลทางการเกษตรและยา เรียกว่า บรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟ (active packaging) ซึ่งกลไกของบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้เป็นกลไกที่อาศัยหลักการดังกล่าวข้างต้น โดยเป็นวิธีการบรรจุที่บรรจุภัณฑ์และสภาพแวดล้อมมีปฏิสัมพันธ์กัน ทำหน้าที่เป็นภาชนะห่อหุ้มผลิตผล เพิ่มความปลอดภัยหรือปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัส และช่วยยืดอายุรวมทั้งรักษาคุณภาพให้คงเดิมได้นานขึ้น (งามทิพย์, 2550) ความสามารถในการควบคุมคุณสมบัติการยอมให้แก๊สผ่านฟิล์ม รวมทั้งความสามารถในการเลือกให้แก๊สแต่ละชนิดผ่านในอัตราที่แตกต่างกัน (perm-selectivity) นั้นเป็นผลมาจากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ในระดับโมเลกุลหรือระดับนาโน ได้แก่ การควบคุมการกระจายตัวของสารตัวเติม (additives) เพื่อปรับแต่งโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเฟส ซึ่งมีผลกระทบต่อการผ่านของแก๊สในฟิล์มต้นแบบที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านได้สูง และการควบคุมโครงสร้างรูพรุน รัศมีรูพรุน และการเชื่อมต่อกันของรูพรุน ที่มีผลต่อคุณสมบัติการยอมให้แก๊สผ่านฟิล์มและความสามารถในการเลือกให้แก๊สผ่าน (กาญจนา, 2548)

บรรจุภัณฑ์แอคทีฟเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เป็นสภาวะสมดุลได้ และนอกจากนี้ยังอาจมีการผสมสารเคมีบางชนิดลงไปในฟิล์มพลาสติกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อดูดซับกลิ่นหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (งามทิพย์, 2550) ดังที่มีรายงานการเก็บรักษามะเขือเทศพร้อมบริโภคในถุงแอคทีฟช่วยลดการเกิดฝ้าไอน้ำภายในถุงและช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเทศด้วย (Gil *et al*., 2002) Serreno *et al*. (2006) รายงานว่าการเก็บรักษาบรอคโคลี่ภายใต้สภาวะสภาวะสมดุลของภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูง 3 แบบ (macro-perforated; Ma-P, micro-perforated; Mi-P และ non-perforated; No-P) และฟิล์ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) พบว่า บรอคโคลี่มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม (control) ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบกันกับฟิล์มที่ใช้ในการทดลองพบว่า ฟิล์มชนิด Mi-P และ No-P สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของบรอคโคลี่ได้ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ อีกด้วย นอกจากนี้ Dharini and Lise (2006) ทำการเก็บรักษาลิ้นจี่ด้วยบรรจุภัณฑ์ biorientated polypropylene packaging (BOPP) ที่มีเปอร์เซ็นต์การซึมผ่านของแก๊สต่างกัน 3 ชนิด (BOPP-1, BOPP-2 และ BOPP-3) พบว่าที่ฟิล์ม BOPP-3 สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงของสีได้ดีที่สุด โดยที่มีสภาวะแวดล้อมเมื่อถึงสภาวะสมดุลเป็น แก๊สออกซิเจน 17.0 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6.0 เปอร์เซ็นต์

เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chonhenchob *et al*. (2006) ที่ทำการทดลองเก็บรักษาพริกในถุงที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูง (C4, C5 และ C9) พบว่า พริกที่บรรจุในภาชนะ C4 และ C5 ใช้เวลาในการสร้างสภาวะสมดุลสั้นที่สุดโดยมีองค์ประกอบของแก๊สภายในถุงเป็นแก๊สออกซิเจน 12 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 7 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้งพริกที่บรรจุอยู่ในถุงทั้งสองยังมีคุณภาพสูงระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้จากการทดลองของ Chonhenhob and Suparat (2001) ยังพบว่าการบรรจุพริกในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างชนิดกัน (ฟิล์มชนิดโพลีเอทิลีน ; PE และโพลีโพรพิลีน ; PP, กล่องพลาสติกชนิดโพลีสไตรลีน ; PS และโพลีไวนิลคลอไรด์ ; PVC) แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 8 องศาเซลเซียส พบว่าฟิล์มชนิดโพลีโพรพิลีนสามารถเก็บรักษาคุณภาพของพริกได้ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ ในการทดลอง

การทดลองของ Porat *et al*., (2004) พบว่า ส้มที่บรรจุด้วยฟิล์มที่มีชื่อว่า XF และฟิล์มโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 5 สัปดาห์ จากนั้นทำการเก็บรักษาอีก 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับชุดควบคุมพบว่าส้มที่บรรจุด้วยฟิล์ม XF และ LDPE ที่มีรูพรุนขนาดเล็กมีประสิทธิภาพในการลดการเสื่อมสภาพของผิวและอาการสะท้านหนาวต่อส้มได้ดีกว่าฟิล์มทั้งสองที่มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าอย่างเห็นได้ชัด และยังลดการสูญเสียน้ำหนักของส้มได้เป็นอย่างดี หน่อไม้ฝรั่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (MA) โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ชื่อ P-Plus (ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน 14,000 $cc.m^2.day^{-1}$) สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก รักษาคุณภาพภายนอกและชะลอการเกิดโรคได้ดีกว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้บรรจุลงไปในภาชนะ P-Plus (Scifó *et al*., 2005) นอกจากนี้ยังมีข้อมูลการเกี่ยวกับการใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอคทีฟในประเทศไทยเช่นกัน ข้อมูลจาก กรกัญญา (2549) รายงานว่า กล้วยไข่ที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มแอคทีฟชื่อ Freshpac สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 25 วัน ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 92 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ผิวของกล้วยไข่ยังคงมีสีเขียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขิงเมื่อนำมาบรรจุในฟิล์มแอคทีฟ Freshpac จะส่งผลให้ขิงมีผิวเต่งตึงและไม่เหี่ยว และการใช้ฟิล์ม Freahpac บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 30 วัน ในขณะที่มะม่วงเขียวเสวยที่เก็บที่สภาวะเดียวกันกับมะม่วงน้ำดอกไม้สามารถเก็บได้นาน 29-35 วัน สำหรับข้าวโพดฝักอ่อนที่มีอัตราการหายใจสูงมาก เมื่อนำมาเก็บรักษาด้วยฟิล์ม Freshpac โมเดล IQ11 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 20 วัน

เมื่อนำบรรจุภัณฑ์แอคทีฟมาใช้ร่วมกับการดัดแปลงสภาพอากาศ ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ หรือ ตัวดูดซับเอทิลีนจะส่งผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น เช่นรายงานการวิจัยของ Giovanna *et al*. (2009) ในการหาผลการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ *Listeria innocua* ใน mixed salad ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการดัดแปลงสภาวะอากาศ (แก๊สไนโตรเจน 90 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สออกซิเจน 3 เปอร์เซ็นต์) พบว่าเชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการดัดแปลงสภาพอากาศ พบว่าเกิดการเน่าเสียในวันที่ 5 เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 7 วัน จากรายงานการวิจัยที่มีมาก่อนพบว่า การเก็บรักษาภายใต้สภาพสภาวะสมดุลนิยมใช้กับผลิตผลสด เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาได้ดี อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาภายใต้สภาวะสมดุล นั้นต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่ครอบคลุมและถี่ถ้วน อันประกอบด้วยอัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนักบรรจุ ค่าการซึมผ่านของแก๊ส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ชนิดของฟิล์มที่ใช้ พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์ รวมถึงอัตราส่วนต่างๆ ของแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์ (Jacxsens *et al*., 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved