บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

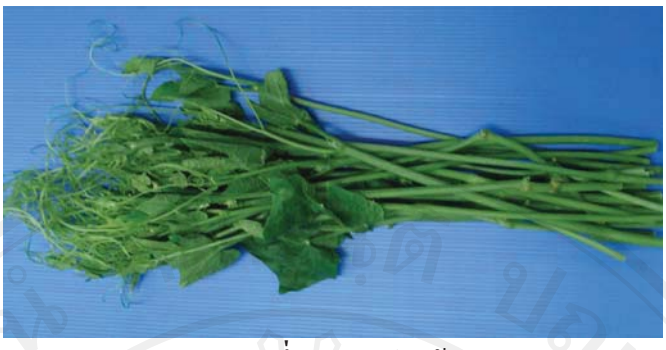
2.1 การเกษตรอินทรีย์

เกษตรอินทรีย์ (organic farming) เป็นระบบเกษตรทางเลือกที่ใช้พื้นฐานของหลักการทางนิเวศวิทยามาประยุกต์กับการทำการเกษตร โดยมีจุดประสงค์หลักในการทำการเกษตรแบบยั่งยืน ให้ผลผลิตที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ช่วยอนุรักษ์และฟื้นฟูสภาพแวดล้อม โดยใช้หลักการสร้างความหลากหลายทางชีวภาพ ก่อให้เกิดการผลิตที่เน้นการผสมผสานเกื้อกูลซึ่งกันและกันโดยหมุนเวียนการใช้ทรัพยากรในไร่นาให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น การใช้เศษพืชเป็นอาหารสัตว์ ใช้มูลสัตว์และวัตถุดิบอินทรีย์อื่นเป็นสารบำรุงดิน โดยไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืชและเวชภัณฑ์สำหรับสัตว์เพื่อการผลิตในฟาร์ม รวมถึงการไม่ปลูกพืชหรือเลี้ยงสัตว์ที่มีการตัดต่อทางพันธุกรรม (GMO) ที่ยังไม่มีข้อพิสูจน์ว่าจะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภค ในประเทศไทยมีองค์กรเดียวที่ได้รับการรับรองให้เป็นผู้ตรวจสอบรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ที่ผลิตในประเทศไทย คือ สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (สุดใจ, 2545)

2.2 ลักษณะทั่วไปของซาโยเต้

ฟักแม้ว หรือ ซาโยเต้ (Chayote) หรือ มะเขือเครือ (*Sechium edule* Sm.) เป็นพืชรับประทานได้ อยู่ในสกุล *Sechium* วงศ์ Cucurbitaceae ใกล้เคียงกับแตงกวา แตงโม ซาโยเต้เป็นไม้เถาเลื้อย สามารถเจริญเติบโตข้ามปีได้ มีลักษณะคล้ายเป็นพืชที่อยู่ในกลุ่มของพืชตระกูลแตง แต่มีลักษณะหลายอย่างที่ไม่เหมือนพืชตระกูลแตงที่พบเห็นโดยทั่วไป ลักษณะลำต้น ใบ ยอด และมือจับ คล้ายแตงกวาผสมกับฟักเขียว มีระบบรากสะสมขนาดใหญ่ ลำต้นเป็นเหลี่ยม เจริญเป็นเถา ยาว 15-30 ฟุต มีเถาแขนง 3-5 เถา มือเกาะเจริญที่ข้อ ขอบใบลักษณะเป็นเหลี่ยม 3-5 เหลี่ยม ยาว 8-15 เซนติเมตร ดอกสีขาวปนเขียว ผลของซาโยเต้เป็นประเภทผลเดี่ยว (simple fruit) เหมือนกับมะม่วง มะปราง ซึ่งเป็นข้อแตกต่างของพืชตระกูลแตงที่เราพบเห็นโดยทั่วไป ผลทรงกลมยาวสีเขียวอ่อน รูปร่างคล้ายลูกแพร์ มีขนาดความยาว 7-20 เซนติเมตร กว้าง 5-15 เซนติเมตร น้ำหนักผล 200-400 กรัม เนื้อมีรสหวาน รสชาติคล้ายมันฝรั่งปนแตงกวา (ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่1 ยอดซาโยเต้

2.3 การเสื่อมเสียของผักและผลไม้

ผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ จึงมีการหายใจ การคายน้ำ และกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ต่างๆ ที่นำไปสู่การแก่ (maturation) การสุก (ripening) และความเสื่อมเสีย (senescence) ตามลำดับซึ่งหากกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นในอัตราที่สูงจะทำให้ผักและผลไม้สดเน่าเสียเร็ว ดังนั้นการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดจึงต้องพยายามลดกระบวนการและเมแทบอลิซึมต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้โดยการทำให้เย็นร่วมกับการควบคุมสภาพบรรยากาศ (งามทิพย์, 2550)

2.4 ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง

ผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศหรือสภาพแวดล้อมขณะที่ทำการเก็บเกี่ยว ความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากแปลงปลูกเรียกว่า field heat นอกจากนี้ตัวของผลิตผลเองก็สามารถสร้างความร้อนได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ เช่น กระบวนการหายใจ ทำให้เกิดความร้อนที่เรียกว่า vital heat ซึ่งความร้อนดังกล่าวจะทำให้ผลิตผลมีคุณภาพลดลงและอายุการเก็บรักษาสั้นลงอีกด้วย ดังนั้นการลดอุณหภูมิผลิตผลให้ต่ำลงเพื่อไล่ความร้อนดังกล่าวจะช่วยให้ผลิตผลชะลอการหายใจและกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆช้าลง (นิธิยาและดนัย, 2548) นอกจากนี้ในการลดอัตราการหายใจสามารถทำได้โดยการบรรจุผลิตผลภายใต้บรรยากาศของก๊าซ โดยก๊าซดังกล่าวอาจเป็นก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิด และอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ นั้นจะแตกต่างไปจากอัตราส่วนที่พบในบรรยากาศปกติ (งามทิพย์, 2550) ซึ่งนอกจากอัตราการหายใจจะลดลงแล้ว ยังลดกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ให้ช้าลง ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้นานขึ้น ดังนั้นประโยชน์ร่วมกันของการลดอุณหภูมิและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงมีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1 ลดกระบวนการหายใจ ซึ่งเป็นกระบวนการจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอาหารที่สะสมในเซลล์พืช ได้แก่ สตาร์ช แป้ง น้ำตาล และกรดอินทรีย์ เป็นต้น เพื่อสร้างพลังงาน โดยที่พลังงานส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในเซลล์พืช อีกส่วนหนึ่งจะถูกปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อน หากผลิตผลมีการหายใจมาก สารอาหารที่สะสมจะหมดไปอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อคุณภาพการเก็บรักษาผักและผลไม้สด การหายใจทำให้พืชสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 3-5

2.4.2 ลดการสูญเสียน้ำ ผลิตผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงและมีการหายใจสูงจะมีอัตราการคายน้ำสูงและจะสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วมาก ส่งผลให้น้ำหนักของผลิตผลลดลง เหี่ยวเฉา ความกรอบลดลง คุณภาพของเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสลดลง การสูญเสียน้ำหนักจากการคายน้ำนี้ เมื่อมีค่าประมาณร้อยละ 3-10 ของน้ำหนัก จะทำให้คุณภาพของผักและผลไม้สดไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.4.3 ชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในสภาวะอุณหภูมิต่ำและบรรจุอยู่ภายใต้บรรยากาศดัดแปลงจะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมของเชื้อจุลินทรีย์ลดต่ำลง โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่ชอบอากาศ ทำให้ช่วยชะลอหรือป้องกันการเสื่อมเสียของผักและผลไม้สดจากสาเหตุดังกล่าวได้

2.4.4 ลดอัตราการสังเคราะห์เอทิลีน เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่พืชสังเคราะห์ขึ้นเพื่อควบคุมการเจริญเติบโต การสุก และการเน่าเสีย การสังเคราะห์และความไวต่อเอทิลีนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยในที่อุณหภูมิสูงอัตราการสังเคราะห์เอทิลีนจะเกิดขึ้นมาก (นิธิยาและดนัย,2548) และยังขึ้นกับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน โดยการสังเคราะห์เอทิลีนของพืชจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลง (งามทิพย์,2550)

2.5 การลดอุณหภูมิเฉียบพลันแบบต่างๆ

วิธีการลดอุณหภูมิที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายวิธีได้แก่

2.5.1 การลดอุณหภูมิด้วยอากาศเย็น (Air-cooling หรือ Room cooling) เป็นการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้โดยนำไปไว้ในห้องเย็นธรรมดาที่มีอุณหภูมิต่ำ อากาศเย็นจะช่วยลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ให้ต่ำลงได้ ทั้งนี้อุณหภูมิของอากาศไม่ควรต่ำเกินไปเพราะจะทำให้ผักและผลไม้เกิดอาการสะท้านหนาวได้ การลดความร้อนโดยวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายน้อย ออกแบบง่าย แต่ลดอุณหภูมิของผลิตผลได้ช้าที่สุด วิธีนี้นิยมใช้กับผักและผลไม้ที่มีเปลือกบางหรือช้ำได้ง่าย เช่น องุ่น มะเขือเทศ และพวกเบอรี่ต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 การลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็น (Force-Air cooling) เป็นการลดอุณหภูมิโดยการดูดหรือเป่าอากาศเย็นเข้าไปในท่อหรืออุโมงค์ (tunnel) ที่มีลักษณะยาวและแคบ ความดันของอากาศทางด้านหน้าและด้านหลังของภาชนะบรรจุจะแตกต่างกัน อากาศจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างภาชนะบรรจุและแทรกเข้าไปตามรูด้านข้างของภาชนะบรรจุ ซึ่งจะพาเอาความร้อนออกไปจากผลิตผล ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดต่ำลง อัตราการลดอุณหภูมิของวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศผ่านผลิตผล ยิ่งอากาศไหลผ่านเร็วเท่าไหร่อัตราการลดอุณหภูมิก็จะเกิดขึ้นเร็วตามไปด้วย วิธีนี้นิยมใช้กับผลไม้ขนาดเล็กต่างๆ เช่น พวกเบอรี่ แตง รวมถึงดอกไม้ แต่มีข้อจำกัดคือ ใช้เวลานานกว่าการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำและสุญญากาศ และอาจทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากเกินไปสำหรับผลิตผลบางชนิดรวมถึงต้องออกแบบภาชนะบรรจุให้ถูกต้อง เพื่อที่อากาศเย็นสามารถผ่านผลิตผลแต่ละหน่วยได้และอุณหภูมิของอากาศเย็นต้องคงที่ในระดับที่ต้องการ

2.5.3 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็น (Hydro cooling) วิธีนี้ลดอุณหภูมิได้เร็วกว่าวิธีใช้อากาศเย็นประมาณ 15 เท่า วิธีนี้จะช่วยให้ผลิตผลมีเนื้อสัมผัสและความสด (freshness) ดีขึ้น สามารถดำเนินการในระดับที่มีผลิตผลจำนวนมากหรือปรับให้เข้ากับจำนวนผลิตผลน้อยๆได้ด้วย แต่มีข้อจำกัดคือ ใช้ได้กับผลิตผลที่ทนต่อการเปียกน้ำเท่านั้น อีกทั้งยังสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าวิธีอื่น และอาจมีข้อจำกัดกับการใช้ภาชนะบรรจุบางชนิด การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การปล่อยให้น้ำเย็นไหลผ่านผลิตผลที่เคลื่อนที่มาตามสายพานหรือรางเลื่อน การฉีดพ่นน้ำเย็นลงบนผลิตผล และการจุ่มผลิตผลลงในน้ำเย็นหรือถังน้ำแช่น้ำแข็ง น้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิควรเติมคลอรีนลงไปด้วยเพื่อทำให้น้ำสะอาดปราศจากจุลินทรีย์ต่างๆ และต้องควบคุมการหมุนเวียนของน้ำให้ไหลผ่านผลิตผลอย่างเพียงพอและอุณหภูมิของน้ำไม่ควรต่ำเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผล โดยปกติอุณหภูมิน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่จะเข้าใกล้ 0 องศาเซลเซียส

2.5.4 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง (Contact Icing) เป็นการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งบดวางทับให้สัมผัสกับผลิตผลโดยตรง วิธีนี้นิยมใช้กับการขนส่งโดยรถบรรทุกที่ไม่มีห้องเย็น อย่างไรก็ตามต้องระวังเรื่องการเกิดอาการสะท้านหนาวต่อผลิตผล การใช้น้ำแข็งเป็นวิธีที่ใช้มานานและได้ผลดีแต่ในระดับการค้าใหญ่ๆ ยังให้ผลที่ไม่ดีพอ เพราะน้ำแข็งละลายได้เร็วและเสียค่าแรงงานสูง

2.5.5 การลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศ (Vacuum cooling) เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่รวดเร็วที่สุด นิยมใช้กับผักใบต่างๆ โดยเฉพาะกับผักกาดหอมห่อ วิธีนี้ผลิตผลจะถูกนำไปใส่ในห้องหรือถังที่ปิดมิดชิดไม่ให้อากาศเข้าออก จากนั้นทำการดูดอากาศออกเพื่อลดความดันให้ต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงความดันประมาณ 4.58 มิลลิเมตรปรอท น้ำจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจะทำให้น้ำกลายเป็นไอภายในเวลา 3-4 นาที การลดอุณหภูมิวิธีนี้จะทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำระเหยออกจากผลิตผลมากเป็น 200 เท่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ผลิตผลจะเย็นลงอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ การลดอุณหภูมิโดยวิธีการนี้ผลิตผลจะสูญเสียน้ำประมาณร้อยละ 1 ต่ออุณหภูมิที่ลดลงทุกๆ 6 องศาเซลเซียส การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้สะอาด รวดเร็ว แต่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและผู้ปฏิบัติต้องมีความชำนาญ

ภาพที่ 2 การลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็น

ที่มา http://www.trj-inc.com/forcedAirCool.html

ภาพที่ 3 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็น

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การวางแผนการลดความร้อน (ปรัศนีย์, 2551)

ในการวางแผนการลดความร้อนของผลิตผลนั้นมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้การลดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

2.6.1 วิธีการลดความร้อนที่เลือกใช้กับผลิตผล ตัวอย่างเช่น ผลไม้ส่วนใหญ่ใช้วิธี forced air cooling ดีที่สุด หากเป็นรากและลำต้นพืชควรใช้วิธี hydrocooling ส่วนผักใบใช้วิธี vacuum cooling สำหรับผลิตผลบางชนิดสามารถเลือกใช้ได้หลายวิธี จึงควรเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมที่สุด

2.6.2 ขนาดและความแน่นของผลิตผล จะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายในผลิตผลออกมาสู่ภายนอก ผลิตผลที่มีขนาดเล็กจะลดอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่าขนาดใหญ่เนื่องจากผลิตผลขนาดใหญ่มีความจุความร้อนมากกว่าขนาดเล็ก

2.6.3 อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลที่ต้องการ จะมีผลต่อความยาวของ cooling cycle ที่ใช้

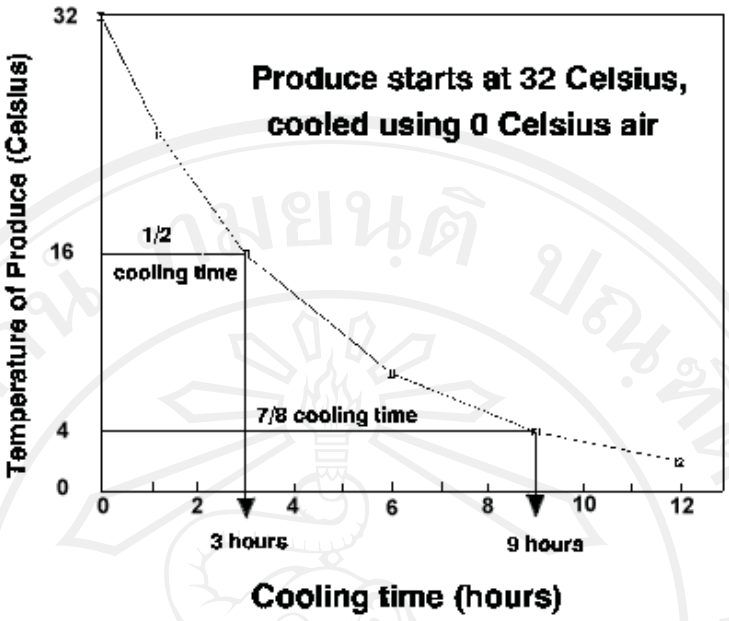
2.6.4 ปริมาณของผลิตผลที่ลดความร้อนต่อหน่วยเวลา จะมีผลต่อขนาดของเครื่องที่ใช้ลดความร้อน ซึ่งควรจะประเมินจากปริมาณของผลิตผลที่มีมากที่สุดในแต่ละวัน

2.6.5 การขยายตัวของกิจการในอนาคต

2.7 ลักษณะกราฟของการลดอุณหภูมิ (cooling curve)

เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผักลง ในช่วงแรกอุณหภูมิของผักจะลดลงอย่างรวดเร็ว ต่างจากในช่วงหลังซึ่งอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง ในการเปรียบเทียบความรวดเร็วในการลดความร้อนด้วยวิธีต่างๆ นั้น สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า half-cooling time ($t_{1/2}$) ซึ่งหมายถึง เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผักลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผักเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง จากกราฟจะเห็นว่า หากต้องการให้อุณหภูมิของผักเย็นลงเท่ากับอุณหภูมิของตัวกลางแล้ว เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจะยาวนานมาก ดังนั้นการลดอุณหภูมิให้ได้ภายในเวลาอันสั้นจำเป็นต้องใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ แต่ต้องไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตผล (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

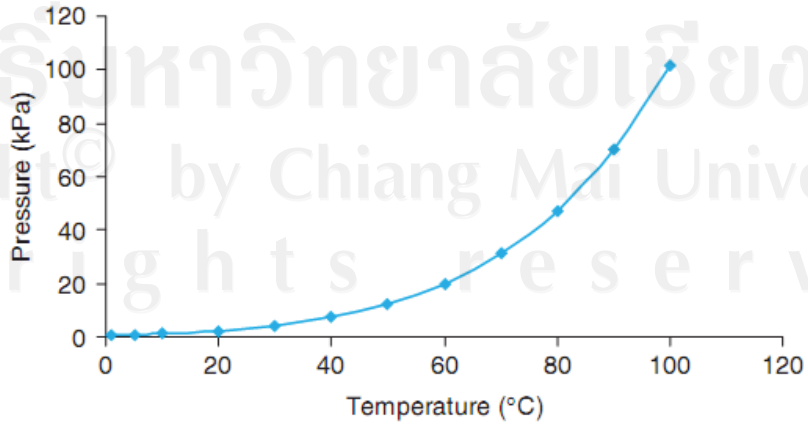


ภาพที่ 4 กราฟอัตราการลดอุณหภูมิของผลิตผล

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

2.8 หลักการทำงานของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

เนื่องจากอุณหภูมิที่น้ำเริ่มเกิดการระเหยแปรผันตรงกับความดันไอน้ำของสิ่งแวดล้อมโดยที่ความดัน 1 บรรยากาศ (100 kPa) น้ำจะเริ่มระเหยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อความดันถูกลดลงมาให้ต่ำกว่า 1 บรรยากาศ น้ำจะเริ่มระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 5 (ปรัศนีย์, 2551)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว (McDonald, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการทำงานของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นการทำให้ความชื้นที่เป็นส่วนประกอบภายในผลิตภัณฑ์ระเหยออกจากบริเวณผิวหน้าและภายในผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าปกติ เมื่อผลิตผลอยู่ในสภาวะความดันต่ำจนทำให้มีความดันไอน้ำอิ่มตัวของบรรยากาศ (saturation pressure) เท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ น้ำในผลิตภัณฑ์จะเริ่มเกิดการระเหยซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่า “flash point” เมื่อน้ำในผลิตภัณฑ์เริ่มระเหย จึงต้องการพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอหรือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of evaporation) ซึ่งพลังงานนี้จะอยู่ในรูปของความร้อนที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะเป็นความร้อนที่ได้จากการหายใจ และความร้อนที่ติดมากับแปลงปลูกหรือสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเมื่อมีการนำความร้อนจากทั้งสองแหล่งนี้ไปใช้ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิลดลง (ปรัศนีย์, 2551) การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ความชื้นในอาหารที่ประกอบด้วยน้ำอิสระถูกทำให้ระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ สำหรับผักและผลไม้สามารถนำการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศไปใช้ได้กับผลิตผลที่มีผิวสัมผัสและมีปริมาณน้ำในผลิตผลมากเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากแปลงปลูก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว (McDonald and Sun, 2000) ผลิตผลที่มีพื้นผิวมาก เช่น ผักที่บริโภคใบสามารถคายความร้อนออกไปได้มากด้วยวิธีนี้และลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ส่วนในผลิตผลที่มีลักษณะเป็นผลหรือเป็นหัวที่มีพื้นผิวน้อย เช่น มะเขือเทศและมันฝรั่ง วิธีนี้จะใช้ไม่ได้ผลนัก เนื่องจากพื้นที่ที่จะให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำไปเป็นไอมีน้อย อย่างไรก็ตาม ในผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมากหากมีการสูญเสียน้ำไปมากจะทำให้ผลิตผลเหี่ยวและมีคุณภาพลดลง ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักอาจสูงถึงร้อยละ 0.2 ทุกๆอุณหภูมิที่ลดลง 1 องศาเซลเซียส จึงต้องมีการพรมน้ำผลิตผลด้วยน้ำเย็นก่อนทำการลดความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถทำให้ลดการสูญเสียน้ำจากผลิตผลลงได้มาก เพราะการระเหยกลายเป็นไอและการพาความร้อนออกไปจะเกิดกับน้ำที่พรมผลิตผลไว้ก่อน ทำให้ผลิตผลมีคุณภาพดีขึ้น (จริงแท้, 2544)

2.9 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (ปรัศนีย์, 2551)

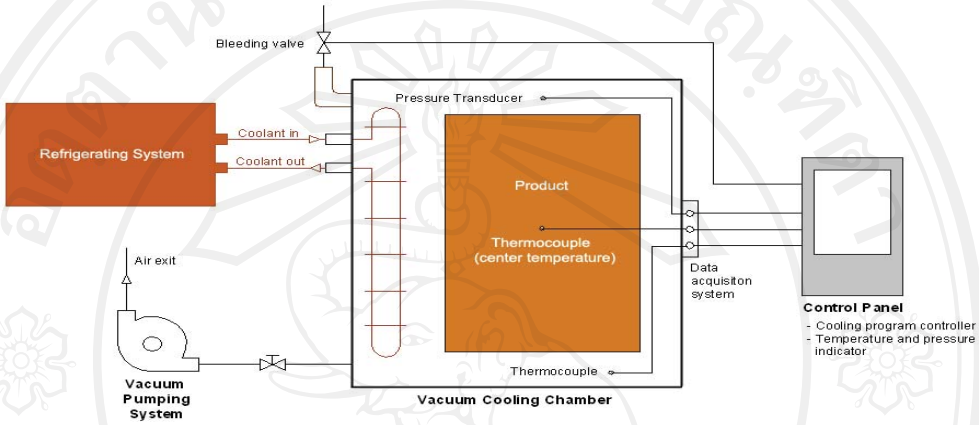
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีความแตกต่างกันทั้งขนาดและรูปร่าง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน แต่โดยทั่วไปมีส่วนประกอบพื้นฐานเหมือนกัน ซึ่งประกอบด้วย

2.9.1 vacuum chamber เป็นส่วนที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดอุณหภูมิ ซึ่งจำเป็นต้องมีลักษณะปิดสนิทตลอดทั้งกระบวนการ เพื่อให้ภายใน chamber สามารถรักษาลักษณะสุญญากาศไว้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9.2 vacuum pump เป็นส่วนที่ใช้ในการดูดอากาศภายใน vacuum chamber ออกเพื่อทำให้ภายใน chamber มีลักษณะเป็นสุญญากาศ ซึ่งนิยมใช้ oil-seal rotary pump

2.9.3 vapour condenser เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบแน่นไอน้ำที่ระเหยออกมาจากผลิตภัณฑ์ให้กลับไปเป็นน้ำโดยจะทำการติดตั้งไว้ใน vacuum chamber นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ อีกซึ่งแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

2.10 ขั้นตอนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (ปรัศนีย์, 2551)

โดยทั่วไป กระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

2.10.1 นำผลิตภัณฑ์ใส่เข้าไปใน vacuum chamber แล้วปิดประตู

2.10.2 เปิด vacuum pump ดูดอากาศภายใน vacuum chamber ออกให้มีความดันบรรยากาศต่ำกว่าปกติจนถึงจุดที่เริ่มมีการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ (flash point) ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 7-10 นาที ขึ้นอยู่กับขนาดของ vacuum chamber และประสิทธิภาพของ vacuum pump

2.10.3 เมื่อมีไอน้ำใน vacuum chamber มากขึ้น จะถูกกำจัดโดย vapour condenser โดยทำให้น้ำเกิดการควบแน่นและระบายออกทางท่อน้ำทิ้ง

2.10.4 ดำเนินการลดอุณหภูมิไปจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนด แต่ไม่ควรลดความดันให้ต่ำกว่า 5-6 มิลลิบาร์ เพราะอาจส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเป็นการเพิ่มการทำงานของ vacuum pump มากเกินไป

2.10.5 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดความดัน จะทำการเปิดวาล์วระบายอากาศ (ventilation valve) ให้อากาศภายนอกกลับเข้าไปใน vacuum chamber เพื่อให้ภายในมีบรรยากาศกลับสู่สภาวะปกติ

2.10.6 เปิดประตูและนำผลิตภัณฑ์ออกมาแล้วนำไปเก็บรักษาตามอุณหภูมิที่กำหนด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.11 ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยสุญญากาศ (McDonal and Sun, 2000)

2.11.1 การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องที่ใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ เช่น การใช้อากาศเย็นหรือการแช่น้ำเย็น โดยทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากตัวผลิตผลไปยังผิวนอกโดยใช้ความร้อนแฝงในการเป็นไอทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว

2.11.2 สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้ปริมาณมากต่อครั้งและใช้ได้กับผลิตผลที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุ โดยไม่ต้องคำนึงถึงการหมุนเวียนของอากาศ ชนิดของภาชนะบรรจุ หรือตัวกลางในการลดอุณหภูมิ

2.11.3 เนื่องจากเป็นการลดอุณหภูมิที่เกิดจากภายในตัวผลิตผลเองทำให้ผลิตผลมีความสม่ำเสมอหลังจากผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศแล้ว

2.11.4 สามารถกำจัดน้ำส่วนเกินที่ติดอยู่บริเวณผิวของผลิตผลที่ไม่ต้องการได้ ทำให้ป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้

2.11.5 การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศเป็นการลดอุณหภูมิที่ผลิตผลไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้สามารถลดความเสียหายทางกลของผลิตผลได้

2.11.6 การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเร็วกว่าวิธีอื่นๆ โดยสามารถลดอุณหภูมิได้ 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผล เช่น chilling injury หรือ surface freezing ที่พบในการลดอุณหภูมิวิธีอื่นๆ โดยใช้อัตราเร็วในการลดอุณหภูมิที่เร็วเกินไป

2.11.7 สามารถควบคุมอุณหภูมิของผลิตผลได้อย่างแน่นอนโดยการกำหนดความดันที่เหมาะสม การใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้นทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้

2.11.8 การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศอาจมีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่าวิธีอื่นๆ แต่ในการดำเนินงานแต่ละครั้งพบว่ามีต้นทุนและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ (Sun and Zheng, 2006)

2.12 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ (Zheng and Sun, 2004)

เนื่องจากการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นวิธีที่มีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเร็วกว่าวิธีอื่นๆ โดยมีหลักการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นใน 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกเมื่อเริ่มมีการระเหยของน้ำบริเวณผิวหน้าหรือภายในผลิตผลที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน หลังจากนั้นจะเกิดการแพร่ของไอน้ำผ่านช่องว่างในผลิตผลไปสู่บริเวณผิวหน้าของผลิตผล ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.12.1 คุณสมบัติการมีรูพรุน และการกระจายของรูพรุนในผลิตผล โดยผลิตผลที่โครงสร้างมีรูพรุนมาก และมีการกระจายของรูพรุนทั่วทั้งผลิตผลจะทำให้มีกระบวนการในการลดอุณหภูมิเร็วขึ้น

2.12.2 ลักษณะของภาชนะบรรจุ การบรรจุผลิตผลในภาชนะบรรจุมีผลต่ออัตราเร็วในการลดอุณหภูมิของผลิตผลโดยใช้ระบบสุญญากาศ ยกตัวอย่างเช่น ผักกาดหอมที่ห่อหุ้มด้วยพลาสติกหรือบรรจุในภาชนะที่เจาะรู จะมีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเร็วกว่าผลิตผลที่บรรจุในกล่องหรือภาชนะที่ไม่มีการระบายอากาศ

2.12.3 ประสิทธิภาพของ vacuum pump การใช้ปั๊มดูดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายเร็วขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การทดสอบเครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเพื่อการค้าในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดชนิด PVC เมื่อปั๊มดูดอากาศที่มีขนาด 630 m^3/h ใช้เวลาในการลดอุณหภูมินาน 78 นาที และสามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อปริมาณ 24 พาเลทได้ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง แต่เมื่อใช้ปั๊มที่มีขนาด 1660 m^3/h โดย 10 นาทีแรกใช้ปั๊มที่มีขนาด 1250 m^3/h จะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิทั้งหมด 32 นาที และสามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อได้ถึง 52 พาเลท ได้ในระยะเวลาเท่ากัน ซึ่งจะมีอัตราการลดอุณหภูมิที่เร็วขึ้นจะเป็นการเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้นเช่นกัน

2.12.4 อุณหภูมิของ condenser โดย condenser ที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำเร็วขึ้นและทำให้กระบวนการลดอุณหภูมิเร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม การควบแน่นจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากจะเกิดน้ำแข็งเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของ condenser

2.12.5 อุณหภูมิภายในผลิตผล คุณสมบัติการมีรูพรุนและการกระจายของรูพรุนในผลิตผลมีผลต่อการกระจายของอุณหภูมิในผลิตผลในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยผลิตผลที่มีโครงสร้างรูพรุนที่เหมือนกันและมีการกระจายเท่ากันทั่วทั้งผลิตผล จะมีการกระจายของอุณหภูมิในผลิตผลที่มีรูปแบบเดียวกัน ในขณะที่ผลิตผลที่มีการกระจายของรูพรุนไม่เท่ากัน จะทำให้บริเวณที่มีรูพรุนมากมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณที่มีรูพรุนน้อยหรือไม่มีเลย และผลิตผลที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง จะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิมากกว่าผลิตผลที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.13 การนำกระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมาใช้ในการลดอุณหภูมิผักและผลไม้

Zheng and Sun (2004) ได้ศึกษาการใช้ระบบสุญญากาศในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 1 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าใช้เวลาทั้งหมดน้อยกว่า 30 นาที และเมื่อนำผักกาดหอมห่อไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการวางจำหน่าย

ผักกาดหอมห่อได้นานถึง 14 วัน ในขณะที่ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่จะมีอายุการวางจำหน่ายเพียง 3-5 วัน ในงานวิจัยเพื่อทำการเปรียบเทียบการลดอุณหภูมิหรือการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบรอคโคลี่ และแครอทที่หั่นเป็นชิ้น โดยเปรียบเทียบวิธีที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ การทำให้เย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศ การลดอุณหภูมิแบบเป่าลม (blast cooling) การทำให้เย็นโดยใช้ห้องเย็น (cold room) และการทำความเย็นโดยใช้แผ่นเรียบ (plate cooling) พบว่า การทำให้เย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการทำให้เย็นโดยการใช้น้ำพ่นลงบนผัก ดังนั้นการลดอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันด้วยระบบสุญญากาศจึงเหมาะสำหรับการลดอุณหภูมิของบรอคโคลี่และแครอทหั่นชิ้น (Zhang and Sun, 2006) การใช้ระบบสุญญากาศในการลดอุณหภูมิจะทำให้ผลิตผลมีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 1.5-4.7 หรือประมาณร้อยละ 1 ต่ออุณหภูมิที่ลดลง 12.2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันที่ลดลงใน vacuum chamber ที่มีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อภายหลังจากการลดอุณหภูมิและในระหว่างการเก็บรักษาซึ่งลดอุณหภูมิโดยใช้ความดันที่แตกต่างกัน 3 ระดับ และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 16 วัน ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 พบว่า อัตราการลดความดันไม่มีผลต่อคุณภาพโดยรวมของผักกาดหอมห่อ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 2.9 และมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ แสดงว่า การลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อโดยใช้ระบบสุญญากาศสามารถออกแบบให้มีการลดความดันอย่างช้าๆได้โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตผล (He *et al*., 2004) และการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศยังมีผลในการช่วยลดอาการผิดปกติต่างๆ ที่เกิดกับผักกาดหอมห่อได้แก่ pink rib และ heart-leaf injury ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้ (Maetínes and Artés, 1999) นอกจากนี้ Brosnan and Sun (2003) ศึกษาถึงอายุการปักแจกันของดอกลิลลี่ ขณะที่ทำการลดอุณหภูมิลงเฉียบพลันที่ระดับอัตราการระเหยแตกต่างกัน 4 ระดับความดัน คือ 8.5, 9.35, 14.4 และ 374 มิลลิบาร์ต่อนาที พบว่า มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักลดจากร้อยละ 5.4 เหลือร้อยละ 3.7 ที่ความดัน 374 และ 8.5 มิลลิบาร์ต่อนาที เมื่อศึกษาถึงอายุการปักแจกันของดอกลิลลี่ พบว่า การควบคุมอัตราการระเหยของน้ำที่ความดันระดับต่างๆ ไม่มีผลต่ออายุการปักแจกัน และอุณหภูมิสุดท้ายก่อนการทำให้เย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศ ทำให้การสูญเสียน้ำลดลง ส่วนในงานวิจัยของ Sun and Zheng (2006) พบว่าเห็ดมีการสูญเสียน้ำหนักถึงร้อยละ 3.6 เมื่อลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการเป่าลมเย็น (air blast chilling) ที่มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 2 จากการศึกษาการควบคุมอัตราการระเหยของน้ำ และการสูญเสียน้ำหนัก ในงานวิจัยของ Cheng and Hsueh (2006) ได้มีการนำวิธีการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศไปใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตผลที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น กะหล่ำปลี เนื่องจากกะหล่ำปลีมีโครงสร้างภายในที่ห่อตัวอย่างหนาแน่น อากาศและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นที่อยู่ภายในนั้นยากที่จะถูกดึงออกมา ด้วยสาเหตุนี้ จึงส่งผลให้การลดอุณหภูมิของกะหล่ำปลีนั้นทำได้ยาก ดังนั้นการนำการลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศหลายระดับ (multi-stage vacuum cooling) สามารถที่จะลดทั้งอุณหภูมิภายในและภายนอกของกะหล่ำปลีให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันได้ โดยมีอุณหภูมิต่ำลงได้ถึง 4 องศาเซลเซียส และมีผลให้ประหยัดพลังงานในกระบวนการ vacuum cooling ด้วย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดฮ่องเต้ ที่รายงานว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 15-20 และ 20-25 องศาเซลเซียส คือ กำหนด final pressure เท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และ holding time เท่ากับ 15 และ 20 นาที ตามลำดับ และยังมีการศึกษาถึงคุณภาพของผักกาดฮ่องเต้ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศโดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมข้างต้น พบว่า ผักกาดฮ่องเต้ มีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (ชุดควบคุม) โดยมีอายุการเก็บรักษา 10 วัน ในขณะที่ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษา 5 วัน (วีนิลและคณะ, 2551) นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศกับผลิตผลที่เป็นรากหรือลำต้นใต้ดิน เช่น หน่อไม้ โดยมีการทดลองศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำ (hydrocooling) และการทำให้แห้งโดยใช้สุญญากาศ (vacuum drying) กับหน่อไม้ จากการทดลองดังกล่าวพบว่า การใช้ลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับ hydrocooling สามารถลดอุณหภูมิหน่อไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน อีกทั้งหน่อไม้ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยใช้สุญญากาศมีปริมาณน้ำที่ผิวและกาบหน่อไม้ลดลงซึ่งเป็นผลดีต่อการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยที่ยังคงความสดและรักษาคุณภาพของหน่อไม้ได้ในการขนส่งหน่อไม้ทางเรือเป็นระยะทางไกล (Cheng and Hsueh, 2006) ในผลิตผลจำพวกผลไม้ เช่น สตรอเบอรี่ สามารถลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศได้โดยช่วยลดกระบวนการเสื่อมสลายระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งได้ ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า สตรอเบอรี่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางผล 18-22 มิลลิเมตร สามารถลดอุณหภูมิจาก 20.4 ถึง 3 องศาเซลเซียสได้ภายในระยะเวลา 30 นาที และปราศจากผลเสียต่อคุณภาพและมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 2.3 ซึ่งสามารถชดเชยการสูญเสียน้ำหนักของการลดอุณหภูมิแบบเดิมที่นิยมใช้ ที่ผลิตผลส่วนใหญ่สูญเสียน้ำหนักจากการเคลื่อนย้ายระหว่างที่ทำการลดอุณหภูมิ (Wang and Sun, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.14 บรรจุภัณฑ์แอกทีฟ (active packaging)

การบรรจุแบบแอกทีฟ หมายถึง วิธีการบรรจุที่ภาชนะบรรจุ ผลิตภัณฑ์ และสิ่งแวดล้อมมีปฏิสัมพันธ์กัน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เพิ่มความปลอดภัย หรือปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พร้อมกับการถนอมรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย (งามทิพย์, 2550)

เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการยืดอายุและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สดนั้นต้องอาศัยคุณสมบัติสำคัญของวัสดุที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปของฟิล์มพลาสติก โดยฟิล์มควรมีสมบัติการยอมให้ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเอทิลีน และความชื้นแพร่ผ่านด้วยอัตราที่เหมาะสม โดยสามารถดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้เป็นสภาวะสมดุล ซึ่งกลไกของบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้เป็นหลักการหนึ่งในกลุ่มเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ (active packaging technology) ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีการรักษาความสมดุลและการถนอมอาหารแห่งศตวรรษที่ 21 ภาวะบรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์แบบสมดุลนี้จะส่งผลต่อการชะลอการหายใจ การคายน้ำ และลดการเสื่อมสภาพซึ่งทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสดได้ 2-5 เท่า ความสามารถในการควบคุมคุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านฟิล์ม รวมทั้งความสามารถในการเลือกให้ก๊าซผ่านด้วยอัตราที่แตกต่างกัน (perm-selectivity) นั้นเป็นผลมาจากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ในระดับโมเลกุลหรือระดับนาโน ได้แก่ การควบคุมการกระจายตัวของสารตัวเติม (additives) เพื่อปรับแต่งโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเฟสซึ่งมีผลกระทบต่อการผ่านของก๊าซในฟิล์มต้นแบบที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านได้สูงและการควบคุมโครงสร้างรูพรุน รัศมีรูพรุน และการเชื่อมต่อกันของรูพรุน (pore tortuosity) ที่มีผลต่อคุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านฟิล์ม และความสามารถในการเลือกให้ก๊าซผ่าน (กาญจนา, 2548)

2.15 การบรรจุอาหารภายใต้บรรยากาศของก๊าซ (Gas Packaging)

การบรรจุอาหารภายใต้บรรยากาศของก๊าซ หมายถึง การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศของก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิด และอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ นั้นจะแตกต่างไปจากอัตราส่วนที่พบในบรรยากาศปกติ โดยมีการจำแนกกระบวนการบรรจุออกเป็น 4 ประเภทดังต่อไปนี้

2.15.1 Control Atmosphere Packaging (CAP) เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ที่แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติและอัตราส่วนนี้จะคงที่ตลอดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.15.2 Modified Atmosphere Packaging (MAP) เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติและอัตราส่วนนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลา โดยขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อัตราส่วนของก๊าซแรกเริ่ม วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ และสภาวะการเก็บของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

2.15.3 Gas-Flush Packaging เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศของก๊าซหนึ่งๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจน โดยการฉีดก๊าซนั้นๆ เข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะ วิธีนี้นิยมใช้สำหรับไล่ก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อภาชนะบรรจุเช่น อาหารแห้ง น้ำผลไม้ เป็นต้น

2.15.4 Vacuum Packaging เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยการเอาอากาศภายในภาชนะบรรจุและ/หรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไปรวมทั้งไม่มีการฉีดก๊าซใดๆ เข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกภาชนะ สังเกตได้จากการหดหรือรัดตัวของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว (flexible form) หรือการยุบตัวของภาชนะกึ่งคงรูป (semi-rigid form)

2.16 ก๊าซที่นิยมใช้ในการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

ก๊าซที่นิยมนำมาใช้กันมากที่สุดในการบรรจุอาหารภายใต้บรรยากาศของก๊าซคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) โดยก๊าซทั้ง 3 ชนิดมีสมบัติดังต่อไปนี้

2.16.1 ก๊าซออกซิเจน ในอากาศปกติมีปริมาณก๊าซออกซิเจนร้อยละ 20.9 คุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซที่มีผลต่อการบรรจุอาหารคือ

- สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบต่างๆในอาหาร เช่น ไขมัน วิตามิน เป็นต้น อาหารที่มีไขมันสูงหรือสูญเสียวิตามินได้ง่ายควรบรรจุให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน

- จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียที่ชอบอากาศ เช่น *Pseudomonas, Micrococcus* เป็นต้น และเชื้อราเกือบทุกชนิด

- จำเป็นสำหรับการหายใจของพืช ผักและผลไม้สดแม้จะเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วก็ตามยังคงมีการหายใจตลอดเวลาจนกว่าเซลล์จะตาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีก๊าซออกซิเจนเพียงพอระหว่างการเก็บรักษาผักและผลไม้สด

- จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการฟักไข่ของหนอนและแมลงต่างๆที่ปนเปื้อนมากับอาหาร พบมากในอาหารประเภทข้าวสาร ผักและผลไม้แห้ง เมล็ดธัญพืช เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาออกซิจิเนชันของไมโอโกลบิน เพื่อให้เนื้อมีสีแดงของออกซิไมโอโกลบิน

- สามารถทำปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ในอาหาร ทำให้คุณภาพด้านสีของอาหารลดลง

2.16.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศปกติจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงร้อยละ 0.03 คุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซชนิดนี้คือ

- ชะลออัตราการหายใจของพืช โดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจของพืชจะลดลง ทำให้อายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้สดเพิ่มขึ้น แต่มีข้อควรระวังคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผักและผลไม้ได้

- ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ชอบอากาศและเชื้อราทั่วไป ซึ่งไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากๆได้

- สามารถละลายได้ดีในน้ำและไขมัน โดยการละลายนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง

2.16.3 ก๊าซไนโตรเจน ในอากาศทั่วไปจะมีก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 79 คุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซนี้คือ

- เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี จึงมักใช้แทนที่ก๊าซออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาก๊าซออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร

- ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส จึงสามารถใช้ได้กับอาหารทุกชนิด

- ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก

2.17 พลาสติก

พลาสติก หมายถึง วัสดุประเภทพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำให้ไหล (flow) และหล่อขึ้นรูป (mould) ได้ โดยใช้ความร้อนหรือความดันทั้งสองอย่างร่วมกัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่าการขึ้นรูปแก้วและโลหะมาก พอลิเมอร์บางประเภท เช่น เซลลูโลส ไม่จัดเป็นพลาสติกเนื่องจากไม่สามารถหล่อขึ้นรูปด้วยความร้อนหรือความดัน หรือทั้งสองอย่างร่วมกันได้ (งามทิพย์, 2550)

2.17.1 ประเภทของพลาสติก (งามทิพย์, 2550)

พลาสติกที่ใช้ในการบรรจุแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

- เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) หมายถึง พลาสติกซึ่งอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน และกลับคืนเป็นสภาพเดิมได้เมื่อเย็นลง จึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากความร้อนไม่ได้ทำให้โครงสร้างของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พลาสติกชนิดนี้เช่น PE, PP, PS, PVC, PVA และ EVOH เป็นต้น เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรมการบรรจุ

- เทอร์โมเซต (Thermoset) หมายถึง พลาสติกซึ่งเมื่อขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนและความดันแล้วจะไม่อ่อนตัวลงอีก จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากความร้อนทำให้โครงสร้างของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างพลาสติกชนิดนี้ เช่น Phenol formaldehyde, Melamine formaldehyde, Epoxy และ Polyurethane เป็นต้น ส่วนมากใช้เป็นแลกเกอร์เคลือบกระป๋อง(can lacquer) ฝาขวด (closure) วัสดุกันกระแทก (cushioning) กาว และเครื่องใช้ในครัว

2.17.2 ข้อดีของพลาสติก

พลาสติกสังเคราะห์นับว่าเป็นวัสดุบรรจุใหม่เมื่อเทียบกับแก้ว กระดาษ และโลหะ พลาสติกมีบทบาทสำคัญมากในอุตสาหกรรมการบรรจุ ปริมาณการผลิตและการใช้งานของพลาสติกเพิ่มสูงมากขึ้นทุกปี เนื่องจากพลาสติกมีข้อดีหลายประการดังนี้

- มีสมบัติหลากหลายและสามารถปรับปรุงสมบัติให้สอดคล้องกับการใช้งานได้ง่าย
- การขึ้นรูปทำได้หลายวิธี สะดวกรวดเร็ว และได้รูปร่างตามต้องการ
- ความแข็งแรงสูงเพียงพอกับการใช้งานและน้ำหนักน้อย
- เทคโนโลยีด้านการผลิตพลาสติกก้าวหน้ารวดเร็วมาก ทำให้มีพลาสติกชนิดใหม่ๆ ที่มีสมบัติดีขึ้นและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้มากขึ้น
- สามารถใช้งานร่วมกับวัสดุชนิดอื่นๆได้ง่าย ช่วยประหยัดวัตถุดิบและลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งสามารถผลิตวัสดุให้มีสมบัติตามต้องการแบบ tailor-made ได้ง่าย
- ราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุบรรจุชนิดอื่นๆ

2.18 พลาสติกที่นิยมใช้ในการบรรจุอาหาร

พลาสติกที่นิยมใช้ในการบรรจุอาหารส่วนใหญ่เป็นพลาสติกจำพวก thermoplastics

2.18.1 โพลีเอทิลีน (Polyethylene หรือ PE) (งามทิพย์, 2550)

PE เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมการบรรจุ เนื่องจากมีราคาต่ำและมีสมบัติทางการบรรจุที่ดีหลายประการ การผลิต PE จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์ สามารถควบคุมให้มีโครงสร้างแบบกิ่ง (branched chain) หรือเชิงเส้น (linear chain) ได้ และสามารถผลิตได้ทั้งโฮโมพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

PE ที่มีโครงสร้างเชิงเส้นจะเป็นโครงสร้างผลึก (crystalline structure) มากกว่าPEที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง ซึ่งส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น จุดหลอมเหลว (melting point) สูงขึ้น ความแข็งแรงเชิงกลส่วนใหญ่สูงขึ้น และการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำดีขึ้น PE

PE มีความเฉื่อยต่อสารเคมีค่อนข้างสูงและมีความเป็นขั้วต่ำ (non polar) ทำให้ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ง่าย ป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ต่ำ และการพิมพ์บน PE ทำได้ยากนอกจากจะมีการปรับสภาพผิวก่อน

จุดอ่อนตัว (softening point) ของ PE มีค่าระหว่าง 80-130 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ง่ายโดยเฉพาะ PE ที่มีความหนาแน่นต่ำๆ

Tg (glass transition temperature) ของ PE มีค่าต่ำ (ประมาณ -120 องศาเซลเซียส) ทำให้มีความยืดหยุ่นสูงที่อุณหภูมิห้อง และทนทานการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำๆได้ดี เช่น การบรรจุอาหารแช่แข็ง

ชนิดของฟิล์มพลาสติก PE สามารถแบ่งตามความหนาแน่นได้ดังนี้

- Linear low-density polyethylene (LLDPE)
  มีความหนาแน่น 0.910-0.939 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- Low-density polyethylene (LDPE)
  มีความหนาแน่น 0.910-0.939 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- High-density polyethylene (HDPE)
  มีความหนาแน่น 0.941-0.959 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าความหนาแน่นนี้จะมีผลโดยตรงต่อสมบัติของ PE ที่สำคัญคือ เมื่อความหนาแน่นของ PE เพิ่มขึ้นจะทำให้ความใสลดลง ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความทนทานต่อความร้อนสูงขึ้น และการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเพิ่มขึ้นด้วย (งามทิพย์, 2550)

2.18.1.1 <u>สมบัติของฟิล์มพลาสติกเอทิลีนชนิดต่างๆมีดังนี้</u>

- โดยทั่วไปฟิล์มพลาสติกเอทิลีนโปร่งแสง และเมื่อมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะมีความใสลดลง
- นิ่มและยืดหยุ่น
- มีความเหนียวสูง
- มีความทนทานต่อสารเคมีจำพวกกรดและด่างได้ดี แต่ถ้าเป็นตัวทำละลายฟิล์ม LDPE จะทนได้ปานกลาง ในขณะที่ฟิล์ม HDPE จะทนทานได้สูงกว่า
- ดูดซึมน้ำได้ต่ำมาก
- ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำ (ฟิล์ม HDPE จะป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีกว่า)
- ป้องกันการซึมผ่านของไขมันหรือน้ำมันได้ต่ำ (ฟิล์ม HDPE จะป้องกันการซึมผ่านของไขมันหรือน้ำมันได้ดีกว่า)
- ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี (ยกเว้นฟิล์ม HDPE) ฟิล์ม LDPE สามารถปิดผนึกได้ที่อุณหภูมิ 122-155 องศาเซลเซียส
- ใช้ได้เหมาะสมกับอุณหภูมิตั้งแต่ -40 องศาเซลเซียสถึง 80 องศาเซลเซียส (ยกเว้นฟิล์ม HDPE สามารถใช้ได้ถึง 120 องศาเซลเซียส)
- มีความคงรูปต่ำ (ฟิล์ม HDPE จะคงรูปได้ดีกว่า)
- มีความปลอดภัยสามารถใช้กับอาหารและยาได้ (Martino, 1994)

2.18.1.2 <u>การใช้งานฟิล์มพลาสติก LDPE และ LLDPE</u>

- ผลิตเป็นถุงสำหรับอาหารประเภทผักและผลไม้สด เนื้อสัตว์ ขนมปัง ลูกกวาด อาหารแช่แข็ง และอาหารแห้ง
- ผลิตเป็นถุงหิ้วเพื่อการขายปลีก
- ผลิตเป็นถุงสำหรับบรรจุสินค้าหนัก เช่น ผลิตผลทางการเกษตร ข้าวสาร ปุ๋ย และชิ้นส่วนเครื่องจักร
- ผลิตเป็นถุงชั้นในของถุงกระดาษหรือกระสอบพลาสติกซึ่งใช้บรรจุอาหารสัตว์ ปุ๋ย
- ผลิตเป็นถุงบรรจุสินค้าอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น เสื้อผ้าสำเร็จรูป สิ่งทอ และกระดาษชำระ
- ผลิตเป็นฟิล์มชนิดหด (shrink film) และฟิล์มชนิดยืด (stretch film) ที่ต้องการความเหนียวสูง เช่น ใช้รัดสินค้าที่วางเรียงบนแท่นรองรับสินค้า (pallet)
- ใช้ร่วมกับวัสดุชนิดอื่น เช่น พลาสติกต่างชนิดกัน กระดาษ อลูมิเนียม ในลักษณะของการประกบ การรีดร่วม หรือการเคลือบ เพื่อเสริมสมบัติให้เหมาะกับการใช้ประโยชน์ เช่น กระดาษ/AI/LLDPE ใช้ผลิตเป็นถุงบรรจุอาหารแห้ง ขนมขบเคี้ยวต่างๆ PET/LLDPE และ PET/LDPE ใช้ผลิตเป็นถุงบรรจุอาหารแช่แข็งที่ต้องการบรรจุด้วยระบบสุญญากาศ เป็นต้น โดยที่ LDPE หรือ LLDPE จะทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสานช่วยในการปิดผลึก ป้องกันไอน้ำ และเพิ่มความเหนียว (ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.18.1.3 การใช้งานฟิล์มพลาสติก HDPE

- ผลิตเป็นถุงอาหารว่าง ขนมขบเคี้ยว และทำเป็นถุงชั้นในของกล่องกระดาษแข็งเพื่อการขายปลีก
- ผลิตเป็นถุงหิ้วเพื่อการขายปลีกในซุปเปอร์มาเก็ตและห้างสรรพสินค้า
- ผลิตเป็นด้ายแถบ (tape yarn) เพื่อใช้ในการสานเป็นกระสอบพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารสัตว์และปุ๋ย
- ใช้ร่วมกับวัสดุชิดอื่น เช่น พลาสติกต่างชนิดกัน อลูมิเนียม ในลักษณะของการประกบหรือการรีดร่วม เพื่อเสริมสมบัติในการใช้งานให้เหมาะสม เช่น PA/HDPE หรือ CPP/AI/HDPE ใช้ทำถุงบรรจุอาหาร ที่ต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (retort pouch) (ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, 2538)

2.18.2 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene หรือ PP)

ฟิล์มพลาสติกโพลีโพรพิลีนผลิตโดยกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชันของโพรพิลีนโมโนเมอร์ที่ความดัน 5-40 บรรยากาศที่อุณหภูมิ 50-0 องศาเซลเซียส โดยมีคะตะลิสต์และตัวทำละลายคาร์บอนอีกเล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 1) โพลีโพรพิลีนที่ได้เป็นโฮโมโพลีเมอร์ และมีโครงสร้างเป็นผลึกประมาณร้อยละ 65-70 มีความหนาแน่นประมาณ 0.900-0.905 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

โพลีโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างอยู่ในกลุ่มของโพลีโอเลฟิน (polyolefin) เช่นเดียวกับโพลีเอทิลีน ดังนั้นสมบัติและการใช้งานของฟิล์มพลาสติกโพลีโพรพิลีนจึงใกล้เคียงกับโพลีเอทธิลีน ในกระบวนการผลิตฟิล์มโดยวิธีเป่า นิยมทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวกันทั้ง 2 ทิศทาง คือ ทั้งในอนวขนานและแนวขวาง จึงเรียกฟิล์มนี้ว่า biaxil orientation polypropylene (BOPP) หรือ orientation polypropylene (OPP) ส่วนฟิล์มโพลีโพรพิลีนที่ผลิตโดยกรรมวิธีการหล่อเรียกว่าโพลีโพรพิลีนชนิดหล่อ (cast polypropylene, CPP) (Capshew, 1997)

2.18.2.1 สมบัติของฟิล์มพลาสติกโพลีโพรพิลีนมีดังนี้

- โปร่งใส ผิวหน้าเป็นมันวาว ฝุ่นไม่เกาะติดง่าย
- มีความเหนียว
- มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดี ไม่ว่าจะเป็นกรด ด่างหรือตัวทำละลาย
- ดูดซึมน้ำได้ต่ำมาก
- ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี (ฟิล์ม OPP จะดีกว่าฟิล์ม CPP)
- ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำ (ฟิล์ม OPP จะดีกว่าฟิล์ม CPP)
- ป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันหรือไอน้ำได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ฟิล์ม CPP จะปิดผนึกด้วยความร้อนได้ที่อุณหภูมิ 135-150 องศาเซลเซียส ส่วนฟิล์ม OPP จะปิดผนึกด้วยความร้อนไม่ได้เพราะจะเกิดการหดตัวของฟิล์ม
- ทนทานต่อความร้อนสูง สามารถใช้งานในอุณหภูมิสูงถึง 120 องศาเซลเซียส
- ฟิล์ม CPP ไม่ทนทานต่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเพราะจะกรอบ แต่ฟิล์ม OPP สามารถใช้ได้กับอุณหภูมิต่ำถึง -40 องศาเซลเซียส
- มีความต้านทานการขีดข่วนสูง
- มีความคงรูป
- มีความปลอดภัย สามารถใช้ได้กับอาหารและยาได้

(Briston, 1986; Athalye, 1992)

2.18.2.2 <u>การใช้งานของฟิล์มพลาสติกโพลีโพรพิลีนมีดังนี้</u>

- ผลิตเป็นถุงบรรจุอาหารสำเร็จรูป เช่น ขนมปัง ลูกกวาด และอาหารแห้งต่างๆ
- ผลิตเป็นถุงบรรจุเสื้อผ้าสำเร็จรูป สิ่งทอ เครื่องเขียน และของขวัญต่างๆ ซึ่งมีการใช้ทดแทนกระดาษแก้ว (เซลโลเฟน) เพิ่มขึ้น
- ทำเป็นกระดาษแถบเพื่อใช้ผลิตเป็นกระสอบพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารสัตว์และปุ๋ย
- ฟิล์ม OPP ที่มีความหนาประมาณ 30-60 ไมครอน ใช้ทำเป็นแถบกาวพลาสติก
- ฟิล์ม OPP ที่มีความหนาประมาณ 100 ไมครอน ใช้ทำเป็นสายรัด (strapping)
- ใช้ร่วมกับวัสดุอื่น เช่น พลาสติกต่างชนิดกัน กระดาษ อลูมิเนียม ในลักษณะของการประกบ การรีดร่วม หรือการเคลือบ เพื่อเสริมสมบัติในการใช้งานให้เหมาะสม เช่น OPP/CPP และ OPP/CPP/LDPE ใช้บรรจุอาหารแห้ง PA/CPP, PET/CPP, PET/AI/CPP ใช้ทำถุงบรรจุอาหารที่ต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, 2538)

2.19 การนำบรรจุภัณฑ์แอกทีฟไปใช้กับผักและผลไม้

วิธีการหนึ่งที่สามารถลดอัตราการหายใจและเมแทบอลิซึมต่างๆของผักและผลไม้สดได้ คือ การเก็บรักษาผลิตผลสดในบรรจุภัณฑ์ที่มีสภาพบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) ซึ่งเป็นการปรับสัดส่วนของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ โดยปริมาณของก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์จะลดลง ในขณะเดียวกันปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างพอเหมาะ เมื่อปริมาณของก๊าซออกซิเจนลดลง อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนจึงเกิดน้อยลง (นิธิยาและคนัย, 2548) เนื่องจากขั้นตอนในการสร้างเอทิลีนต้องมีก๊าซออกซิเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้ามาเกี่ยวข้อง (Baldwin, 1994 : Krochta *et al*., 1994) และการทำงานของเอทิลีนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (งามทิพย์, 2538) ซึ่งสอดคล้องกันกับรายงานของ Kader (1986) ที่กล่าวว่า อัตราการสังเคราะห์เอทิลีนของพืชจะลดลงเมื่อปริมาณก๊าซออกซิเจนมีน้อยกว่าร้อยละ 8 และอัตราการสังเคราะห์ดังกล่าวจะมีค่าลดลงถึงร้อยละ 50 เมื่อมีปริมาณก๊าซออกซิเจนอยู่เพียงร้อยละ 2.5 บรรจุภัณฑ์แอกทีฟเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้เป็นสภาวะสมดุลได้ และนอกจากนี้ยังอาจมีการผสมสารเคมีบางชนิดลงไปในฟิล์มพลาสติกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อดูดซับกลิ่นหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (งามทิพย์, 2550) ดังที่มีรายงานการเก็บรักษามะเขือเทศพร้อมบริโภคในถุงแอกทีฟช่วยลดการเกิดฝ้าไอน้ำภายในถุงและช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเทศด้วย (Gil *et al*., 2002) การสร้างสภาวะ EMA ของบรรจุภัณฑ์แอกทีฟเกิดจากช่องว่างระหว่างเฟสและลักษณะของรูพรุนซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านฟิล์ม และความสามารถในการเลือกให้ก๊าซผ่าน ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตผลที่ทำการเก็บรักษา (กาญจนา, 2548) ในงานวิจัยของ Serreno *et al*. (2006) พบว่า การเก็บรักษาบร็อคโคลี่ภายใต้สภาวะ EMA ของภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของก๊าซสูง 3 แบบ (macro-perforated: Ma-P, micro-perforated: Mi-P และ non-perforated: No-P) และฟิล์มพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) พบว่า บร็อคโคลี่มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม (control) ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบกันกับฟิล์มที่ใช้ในการทดลองพบว่า ฟิล์มชนิด Mi-P และ No-P สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของบร็อคโคลี่ได้ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆอีกด้วย อีกทั้งการทดลองของ Dharini และ Lise (2006) ที่ทำการเก็บรักษาลิ้นจี่ด้วยบรรจุภัณฑ์ biorientated polypropylene packaging (BOPP) ที่มีร้อยละการซึมผ่านของก๊าซที่ต่างกัน 3 ชนิด (BOPP-1, BOPP-2 และ BOPP-3) พบว่าที่ฟิล์ม BOPP-3 สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงของสีได้ดีที่สุด โดยที่มีสภาวะแวดล้อมเมื่อถึง EMA พบว่ามีปริมาณก๊าซออกซิเจนร้อยละ 17.0 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 6.0 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chonhenchob *et al*. (2006) ที่ทำการทดลองเก็บรักษาพริกในถุงที่มีการซึมผ่านของก๊าซสูง (ชนิดของถุงC4, C5 และC9) พบว่าพริกที่บรรจุในถุง C4 และ C5 ใช้เวลาในการสร้าง EMA สั้นที่สุดโดยมีองค์ประกอบของก๊าซภายในถุงเป็นก๊าซออกซิเจนร้อยละ12 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 2 และออกซิเจนร้อยละ 7 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 3 ตามลำดับ อีกทั้งพริกที่บรรจุอยู่ในถุงทั้งสองยังมีคุณภาพสูงระหว่างการเก็บรักษานอกจากนี้จากการทดลองของ Chonhenehob และ Suparat (2001) ยังพบว่าการบรรจุพริกในภาชนะบรรจุที่ต่างชนิดกัน (ฟิล์มชนิดโพลีเอทิลีน: PE และโพลีโพรพิลีน: PP กล่องพลาสติกชนิดโพลีสไตรลีน: PS และโพลีไวนิลคลอไรด์: PVC) แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 8 องศาเซลเซียส พบว่าฟิล์มชนิด PP สามารถเก็บรักษาคุณภาพของพริกได้ดีกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟิล์มชนิดอื่นๆในการทดลอง นอกจากนี้ในการทดลองของ Porat *et al*., (2004) พบว่า ส้มที่บรรจุด้วยฟิล์มที่มีชื่อว่า XF และฟิล์ม PE ที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 5 สัปดาห์ จากนั้นทำการเก็บรักษาอีก 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับชุดควบคุม พบว่าส้มที่บรรจุด้วยฟิล์ม XF และ LDPE ที่มีรูพรุนขนาดเล็กมีประสิทธิภาพในการลดการเสื่อมสภาพของผิวและอาการสะท้านหนาวต่อส้มได้ดีกว่าฟิล์มทั้งสองที่มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าอย่างเห็นได้ชัด และยังลดการสูญเสียน้ำหนักของส้มได้เป็นอย่างดี หน่อไม้ฝรั่งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (MA) โดยใช้ภาชนะบรรจุที่ชื่อ P-Plus (ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 14,000 $cc.m^2.day^{-1}$) สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก รักษาคุณภาพภายนอกและชะลอการเกิดโรคได้ดีกว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้บรรจุลงไปในภาชนะ P-Plus (Villanueva *et al*., 2005) นอกจากนี้ยังมีข้อมูลการเกี่ยวกับการใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอกทีฟในประเทศไทยเช่นกัน ข้อมูลจาก กรกัญญา (2549) รายงานว่า กล้วยไข่ที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มแอกทีฟชื่อ Freshpac สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 25 วัน ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 92 โดยที่ผิวของกล้วยไข่ยังคงมีสีเขียว ขิงเมื่อนำมาบรรจุในฟิล์มแอกทีฟ Freshpac จะส่งผลให้ขิงมีผิวเต่งตึงและไม่เหี่ยว การใช้ฟิล์ม Freahpac บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารเก็บได้นาน 30 วัน มะม่วงเขียวเสวยเก็บที่สภาวะเดียวกันกับมะม่วงน้ำดอกไม้สามารถเก็บได้นาน 29-35 วัน สำหรับข้าวโพดฝักอ่อนที่มีอัตราการหายใจสูงมาก เมื่อนำมาเก็บรักษาด้วยฟิล์ม Freshpac โมเดล IQ11 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 20 วัน บรรจุภัณฑ์แอกทีฟหากนำมาใช้ร่วมกับการดัดแปลงสภาพอากาศผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หรือ ตัวดูดซับเอทิลีนจะส่งผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น ดังรายงานการวิจัยของ Giovanna *et al*. (2009) ในการหาผลการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ *Listeria innocua* ใน mixed salad ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการดัดแปลงสภาวะอากาศ (ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 90, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 6 และก๊าซออกซิเจนร้อยละ 3) พบว่า เชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการดัดแปลงสภาพอากาศ พบว่า เกิดการเน่าเสียในวันที่ 5 เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 7 วัน จากรายงานการวิจัยที่มีมาก่อนพบว่า การเก็บรักษาภายใต้สภาพ EMA นิยมใช้กับผลิตผลสด เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาได้ดี อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาภายใต้สภาวะ EMA นั้นต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยต่างๆที่ครอบคลุมและถี่ถ้วน อันประกอบด้วยอัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนักบรรจุ ค่าการซึมผ่านของก๊าซ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ชนิดของฟิล์มที่ใช้ พื้นที่ผิวของภาชนะบรรจุ รวมถึงอัตราส่วนต่างๆของก๊าซภายในภาชนะบรรจุ (Jacxsens *et al*., 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved