

บทที่ 3

การถนอมอาหารโดยการแช่เย็น (Food Preservation by Chilling)

วัตถุประสงค์

หลังจากที่อ่านบทนี้แล้ว นักศึกษาควรทราบและเข้าใจในสิ่งต่อไปนี้

- ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ปฏิกริยาเคมี ชีวเคมี และเอนไซม์
- วิธีการและเครื่องมือที่ใช้แช่เย็นอาหารในระดับอุตสาหกรรม
- สภาวะภายในห้องแช่เย็น
- การเพิ่มประสิทธิภาพของการแช่เย็น
- ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับอาหารแช่เย็น

3.1 บทนำ

การถนอมอาหารโดยใช้ความเย็นเป็นวิธีที่รู้จักกันมานานแล้ว มนุษย์ได้คิดประดิษฐ์เครื่องแช่เย็นอาหาร และผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นการค้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2408 มีการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องทำความเย็นเรื่อยมา จนทำให้กิจการอาหารแช่เย็นเจริญถึงขั้นอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2423

เทคโนโลยีการแช่เย็นเดิมใช้ในการเก็บรักษาและขนส่งสินค้าเกษตรที่เสื่อมเสียง่ายไปจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกล โดยอาหารยังคงคุณภาพก่อนถึงมือผู้บริโภค แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีการแช่เย็นได้รับการพัฒนาจนเจริญก้าวหน้า อีกทั้งวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์ในสังคมเมืองที่เร่งรีบ ทำให้พฤติกรรมผู้บริโภคเปลี่ยนแปลง ผู้บริโภคต้องการอาหารที่สด สะอาด ปลอดภัย และให้ความสะดวกสบาย ดังนั้นในระหว่างปี พ.ศ. 2523 - 2533 เทคโนโลยีการแช่เย็นเข้ามามีบทบาทในการกำหนดชนิดและรูปแบบของอาหาร เพื่อสนองตอบความต้องการของมนุษย์ ซึ่งเป็นไปในทิศทางของอาหารที่เพิ่มมูลค่า ให้ความสะดวก ปลอดภัย และเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภค มีผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็น

ชนิดใหม่ๆ ออกสู่ตลาด ส่วนใหญ่จะเป็นอาหารแช่เย็นในรูปอาหารพร้อมปรุง (Ready-to-cook) และอาหารพร้อมบริโภค (Ready-to-eat) มีสัดส่วนยอดขายสูงถึงกว่าร้อยละ 30 ของอาหารพร้อมปรุงและพร้อมบริโภครูปแบบอื่นๆ เนื่องจากผู้บริโภคเห็นว่าอาหารประเภทนี้มีความสะดวกในการบริโภคและมีความสดใหม่กว่าอาหารพร้อมปรุงและพร้อมบริโภครูปแบบอื่นๆ (ฝ่ายวิจัยและบริการข้อมูล สถาบันอาหาร, 2553) เพียงนำไปอุ่นด้วยไมโครเวฟก็สามารถบริโภคได้ทันที ลดเวลาที่เสียไปในการเตรียมและการประกอบอาหาร

3.2 การแช่เย็นกับการยืดอายุการเก็บรักษา

การแช่เย็นเป็นกระบวนการเก็บรักษาอาหารระยะสั้นๆ ที่อุณหภูมิตำหนือจุดเยือกแข็งของอาหาร แต่ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส (59 องศาฟาเรนไฮต์) โดยที่อุณหภูมินั้นไม่ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นในอาหาร สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร (FST) ของสหราชอาณาจักรอังกฤษ (UK) ให้คำจำกัดความของอาหารแช่เย็นไว้ดังนี้ "อาหารที่เสื่อมเสียง่ายเก็บโดยควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่า - 1 องศาเซลเซียส และต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยยังคงมีคุณภาพที่ดี"

การแช่เย็นเป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่อรักษาความสด คุณภาพ และอายุการเก็บรักษาอาหารซึ่งเกิดจากอุณหภูมิต่ำช่วยลดการเจริญของจุลินทรีย์ ลดกิจกรรมทางเมแทบอลิซึม (Metabolic activity) และลดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาทางเคมีและเอนไซม์ ดังนี้

1. ผลของอุณหภูมิต่ำต่อการเจริญของจุลินทรีย์

เป็นที่ทราบกันดีว่าอุณหภูมิต่ำมีผลต่ออัตราเร็วในการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทำให้ช่วงพักตัว (lag phase) ของจุลินทรีย์ยาวนานขึ้น และลดอัตราการเจริญในช่วงทวีคูณ (log phase) ให้ช้าลง

โดยปกติจุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญแตกต่างกัน ถ้าอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ระยะพักตัว (lag phase) สั้น จุลินทรีย์จะเจริญได้อย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงการเจริญจะค่อยๆ ลดลง และเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่จะเจริญได้ จุลินทรีย์จะหยุดการเจริญ แต่ยังคงมีชีวิตอยู่โดยมีเมแทบอลิซึมต่ำ

ตัวอย่างเช่น จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic microorganism) เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 10 - 37 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงในช่วง 3.3 - 10 องศาเซลเซียส จะเจริญได้ช้าลง และจะหยุดการเจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3.3 องศาเซลเซียส

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่จะเจริญได้ จุลินทรีย์ก็จะเริ่มเจริญ และมีเมแทบอลิซึมเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมอัตราการเจริญลดลงจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่สูงกว่าอุณหภูมิเหมาะสมเพียงไม่กี่องศาเซลเซียส การบาดเจ็บของเซลล์เริ่มเกิดขึ้น ที่อุณหภูมิสูงจะไปมีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์บางตัวและทำให้เซลล์เกิดความเสียหาย จุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่สามารถซ่อมแซมและเจริญต่อไปได้อีกเมื่ออุณหภูมิลดลง

จุลินทรีย์แบ่งตามช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญได้เป็น 4 กลุ่ม ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้ กลุ่มเทอร์โมไฟล์ต้องการอุณหภูมิสูงในการเจริญ ดังนั้นจึงมีความสำคัญน้อยมากในอาหารแช่เย็น

กลุ่มมีโซไฟล์เจริญได้ที่อุณหภูมิ 10 – 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30 – 40 องศาเซลเซียส สำหรับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า ก็สามารถเจริญได้แต่ช้า จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบมากในอาหารจะเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มมีโซไฟล์ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ และจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นดัชนีชี้สุขภาพของอาหารก็จัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย จุลินทรีย์กลุ่มมีโซไฟล์ไม่สามารถเจริญในอาหารที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียสและมีการควบคุมอย่างดี แต่ถ้ามีการแปรปรวนของอุณหภูมิเกิดขึ้นจุลินทรีย์เหล่านี้ก็สามารถเจริญได้

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิในการเจริญของจุลินทรีย์

ชนิดจุลินทรีย์	อุณหภูมิต่ำสุด (^o ซ)	อุณหภูมิที่เหมาะสม (^o ซ)	อุณหภูมิสูงสุด (^o ซ)
เทอร์โมไฟล์	40	55 – 65	> 80
มีโซไฟล์	10	30 – 40	45
ไซโครโทรฟ	< 0 – 5	20 – 30	35
ไซโครไฟล์	< 0 – 5	12 – 15	20

ที่มา : Walker & Stringer (1990)

สำหรับจุลินทรีย์ในกลุ่มไซโครไฟล์และไซโครโทรฟนั้น มีความใกล้เคียงกันมากทำให้เกิดความสับสน Eddy (1960) ให้นิยามไว้ดังนี้ จุลินทรีย์กลุ่มไซโครไฟล์ คือ จุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 15 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า และอุณหภูมิสูงสุดที่ยังสามารถเจริญได้ คือ 20 องศาเซลเซียส ส่วนไซโครโทรฟเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมและอุณหภูมิสูงสุดที่ยังสามารถเจริญได้สูงกว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มไซโครไฟล์

การเสื่อมเสียของอาหารแช่เย็นที่มีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มไซโคไฟล์จริง ๆ นั้นมีน้อยมาก ส่วนใหญ่จะเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มไซโครโทรฟแทบทั้งสิ้น ในทางจุลชีววิทยานั้นไม่มีจุลินทรีย์กลุ่มไซโคไฟล์ที่แท้จริง พบเพียงจุลินทรีย์ในปลาทะเลน้ำลึกบางชนิดเท่านั้น จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของอาหารแช่เย็นส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปแท่ง ไม่สร้างสปอร์ แต่อาจจะมีแบคทีเรียแกรมบวก รูปแท่ง และสร้างสปอร์อยู่บ้าง รวมทั้งแบคทีเรียในกลุ่มแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย ยีสต์ และราบางชนิด ดังตารางที่ 3.2

สำหรับยีสต์และราก็จัดอยู่ในกลุ่มไซโครโทรฟ มีความสำคัญและเจริญในอาหารที่แบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ เช่น ในอาหารที่เป็นกรดหรืออาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือและ/หรือน้ำตาลสูง

ในอาหารที่เตรียมเสร็จใหม่ ๆ จะมีจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดที่มีโอกาสปนเปื้อนเข้ามา และในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น มีไซโคไฟล์ไม่สามารถเจริญและอาจมีจำนวนลดลง ส่วนไซโครโทรฟิกจะเจริญและเพิ่มจำนวนต่อไปเรื่อยๆ จนในที่สุดจะเป็นจุลินทรีย์ที่มีมากที่สุด และเป็นสาเหตุให้อาหารที่เก็บในตู้เย็นเกิดการเน่าเสีย ลักษณะของการเน่าเสียจะแตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่

น้ำนมที่รีดมาใหม่ ๆ มีไซโครโทรฟน้อย ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิอุ่น ๆ แล็กติกแอซิดแบคทีเรียจะเจริญอย่างรวดเร็ว และเป็นสาเหตุทำให้น้ำนมเสีย มีรสเปรี้ยว แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นแล็กติกแอซิดแบคทีเรียไม่สามารถเจริญ ช่วยยืดเวลาการเน่าเสียออกไป ส่วนจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในน้ำนมที่เก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นก็จะเป็นพวกไซโครโทรฟ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น *Pseudomonas sp.* ผลิตเอนไซม์และเป็นสาเหตุทำให้น้ำนมเน่าเสีย

เนื้อแดงและเนื้อสัตว์ปีกสดจะมีจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ที่สามารถทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้แก่ แบคทีเรียพวก *Pseudomonas sp.* *Achromobacter sp.* *Flavobacterium sp.* *Alcaligenes sp.* *Micrococcus sp.* *Lactobacillus sp.* และ *Aerobacter sp.* เชื้อราพวก *Mucor sp.* *Penicillium sp.* *Aspergillus sp.* และ *Cladosporium sp.* แต่การเสื่อมเสียจะเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดใดนั้นขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น สารอาหาร a_w pH ปริมาณออกซิเจน ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในการเก็บรักษา ดังนี้

ถ้าเก็บเนื้อสัตว์ที่อุณหภูมิอุ่น ๆ ประมาณ 15 องศาเซลเซียส *Coliform sp.* และ *Micrococcus sp.* จะเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์เหล่านี้จะมีอยู่ในระดับต่ำ และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะพบแบคทีเรียแกรมลบ รูปแท่ง พวก *Pseudomonas sp.* *Acinetobacter sp.* และ *Moraxella sp.* เป็นจำนวนมาก และมีบทบาทในการเน่าเสียของเนื้อสัตว์

ตารางที่ 3.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของอาหารแช่เย็น

ชนิดจุลินทรีย์	อุณหภูมิต่ำสุด (^o ซ)	ชนิดอาหาร
แบคทีเรียแกรมลบ รูปแท่ง	- 3 - 0	อาหารสด
<i>Acinetobacter</i> <i>Achromobacter</i>		เนื้อสัตว์
<i>Aeromonas</i>		สัตว์ปีก
<i>Alcaligenes</i>		ปลา
<i>Alteromonas</i> <i>Flavobacterium</i>		ผลิตภัณฑ์ นม
<i>Moraxella</i>		
<i>Pseudomonas</i>		
<i>Vibrio</i>		
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	- 2 - 8	อาหารหลากชนิด
<i>Citrobacter</i>		
<i>Escherichia</i>		
<i>Enterobacter</i>		
<i>Klebsiella</i>		
<i>Proteus</i>		
<i>Serratia</i>		
แบคทีเรียแกรมบวก สร้างสปอร์	0 - 5	อาหารหลากชนิด
<i>Bacillus</i>		
<i>Clostridium</i>		
แล็กติกแอซิดแบคทีเรีย	0 - 5	อาหารหลากชนิด
<i>Lactobacillus</i>		
<i>Streptococcus</i>		
<i>Leuconostoc</i>		
<i>Pediococcus</i>		

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ชนิดจุลินทรีย์	อุณหภูมิต่ำสุด (0 ซ)	ชนิดอาหาร
แบคทีเรียอื่น ๆ	หลากหลาย	เนื้อสัตว์
<i>Arthrobacter</i> <i>Corynebacterium</i> <i>Kurthia</i> <i>Micrococcus</i>		
ยีสต์	< 0	อาหารทุกชนิด
<i>Candida</i> <i>Debaryomyces</i> <i>Hansenula</i> <i>Kluveromyces</i> <i>Rhodotorula</i> <i>Saccharomyces</i> <i>Torula</i> <i>Zygosaccharomyces</i>		
รา	< 0	อาหารทุกชนิด
<i>Aspergillus</i> <i>Cladosporium</i> <i>Geotrichum</i> <i>Mucor</i> <i>Penicillium</i> <i>Rhizopus</i> <i>Thamnidium</i>		

ที่มา : Walker (1992)

การบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ หรือ ในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซเฉื่อย จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา โดยไซโครไฟล์ส่วนใหญ่ที่พบในผลิตภัณฑ์จากสัตว์ประเภทหมู ปลา และไก่ รวมทั้ง *Pseudomonas* sp. เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต แต่ในสภาวะดังกล่าวผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อาจเสื่อมเสียได้โดยแบคทีเรียชนิดที่เรียกว่าแบคทีเรียซึ่งผลิตกรดทำให้อาหารมีรสเปรี้ยวถ้าอุณหภูมิในการเก็บสูง

การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์และ curing salt ลงไปในเนื้อหมู เพื่อผลิตเบคอน สามารถป้องกันการเจริญของ *Pseudomonas* sp. ได้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน แต่ *Micrococcus* sp. และ *Vibrio* sp. สามารถเจริญและผลิตเมือกที่ผิวหน้า ถ้าเป็นเบคอนที่มี a_w ต่ำ และมีผิวหน้าที่แห้ง แบคทีเรียทั้งสองชนิดไม่สามารถเจริญได้ แต่เชื้อราเจริญได้

ในผลิตภัณฑ์นมหมักที่มี pH ต่ำ เช่น โยเกิร์ตและเนยแข็ง แบคทีเรียไม่สามารถเจริญ แต่เชื้อราและยีสต์เจริญได้ จึงเป็นจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าการแช่เย็นจะช่วยชะลอหรือป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่เจริญและไม่ผลิตสารพิษที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แต่ยังคงมีจุลินทรีย์บางชนิดในกลุ่มนี้ที่สามารถเจริญและผลิตสารพิษได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 3.3 และสามารถจัดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถเจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ได้แก่ *Salmonella* sp, *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญได้ เท่ากับ 5.1 7.1 และ 7.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเก็บรักษาอาหารภายใต้สภาวะการแช่เย็นที่มีประสิทธิภาพจะสามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์ยังคงมีชีวิตและสามารถเจริญได้อีก ถ้าอุณหภูมิแปรปรวนเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตอาหารต้องมีความระมัดระวังและควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาอาหารให้คงที่ เนื่องจากมีรายงานพบการเกิดโรคจากการบริโภคอาหารแช่เย็น โดยมีจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นสาเหตุ (Walker & Betts, 2000)

กลุ่มที่ 2 เป็นจุลินทรีย์พวกไซโครโทรฟิค สายพันธุ์ที่สร้างสปอร์ ได้แก่ *Bacillus cereus* และ *Cl. botulinum* type E เจริญได้อย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส อาหารที่บรรจุแบบสุญญากาศผ่านกระบวนการให้ความร้อนและเก็บแบบแช่เย็น แม้ว่าความร้อนจะทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งสองและจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆที่มีอยู่ในอาหาร แต่ไม่เพียงพอที่จะทำลายสปอร์ ดังนั้นจุลินทรีย์สามารถเจริญและผลิตสารพิษที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าในสภาวะที่ไม่มีอากาศอย่างรวดเร็วโดยไม่มีสิ่งใดมาขัดขวาง มีรายงานพบ *Cl. botulinum* type E เจริญและผลิตสารพิษในสตูดเนื้อหลังเก็บที่อุณหภูมิ 3.3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน ดังนั้นการลดความเสี่ยงจากโบทูลินัมในผลิตภัณฑ์เหล่านี้โดยใช้เวลาและอุณหภูมิที่ให้ความร้อนให้เหมาะสม ควบคุมอุณหภูมิในการแช่เย็น เปลี่ยนสูตรผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้โดยปรับ pH เกลือ และ a_w ของอาหารให้ไม่เหมาะสมกับการเจริญ (Walker & Betts, 2000)

กลุ่มที่ 3 เป็นจุลินทรีย์พวกไซโครโทรฟิกร์ที่ทำให้เกิดโรคล้วนๆ ได้แก่ *Listeria monocytogenes* *Yersinia enterocolitica* และ *Aeromonas hydrophila* เป็นต้น จุลินทรีย์กลุ่มนี้ต้องให้ความสนใจเพราะสามารถเจริญและเพิ่มจำนวนได้แม้ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิที่ต่ำถึง 0 องศาเซลเซียส การป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ควรใช้ร่วมกับวิธีการอื่น

การถนอมอาหารโดยการแช่เย็นเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถหยุดการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคบางชนิดได้ ถนอมอาหารโดยการแช่เย็นจึงไม่สามารถเป็นหลักประกันได้ว่า อาหารจะปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค แต่อย่างไรก็ตามการเก็บโดยการแช่เย็นก็ยังจัดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการจำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ต้องมีการควบคุมที่เหมาะสม และใช้กลไกในการถนอมรักษาวิธีอื่น ๆ ร่วมด้วย

ตารางที่ 3.3 อุณหภูมิต่ำสุดที่จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคเจริญ

ชนิดของจุลินทรีย์	อุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญ (°ซ)
<i>Cl. botulinum</i> Type A	10.0
<i>Cl. botulinum</i> Type B	10.0
<i>Cl. botulinum</i> Type E	3.3
<i>Cl. botulinum</i> Type F	4.0
<i>Cl. perfringens</i>	15 – 20
<i>Staphylococcus aureus</i>	6.7 – 10
<i>Salmonella</i> sp.	4 – 6.7
<i>Campylobacter</i> spp.	25 – 36
<i>Bacillus cereus</i>	4 – 15
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	5
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.1 – 1
<i>Yersinia enterocolitica</i>	– 1.3 – 1
<i>Aeromonas hydrophila</i>	– 0.1 – 1.2
<i>Escherichia coli</i>	3 – 7.1
<i>Aerobacter aerogenes</i>	0

ที่มา :ดัดแปลงจาก Walker & Stringer (1990) และ Frazier & Westhoff (1988)

2. ผลของอุณหภูมิต่อกิจกรรมทางเมแทบอลิซึม

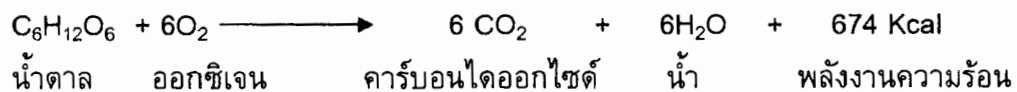
ผักและผลไม้

ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตและมีการหายใจ ถ้านำไปแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็ง กลไกการหายใจและการสุกจะเปลี่ยนแปลงไป

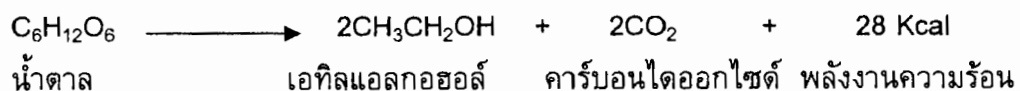
การหายใจ

เป็นกระบวนการทางชีวเคมีเปลี่ยนอาหารที่สะสมไว้ไปเป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อรักษาโครงสร้างและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับชีวิตเอาไว้ การหายใจโดยทั่วไปเป็นแบบใช้ออกซิเจน โดยใช้คาร์โบไฮเดรตและกรดอินทรีย์ในสภาวะที่มีอากาศ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ความร้อน สารระเหยประเภทอินทรีย์สาร และพลังงาน ความร้อน แต่ถ้าเป็นการหายใจที่ไม่ปกติ มีออกซิเจนในปริมาณจำกัด จะได้คาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลแอลกอฮอล์ ดังสมการต่อไปนี้

การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration)



การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration)



การหายใจเกิดขึ้นได้ทั้งสองแบบ ในทั้งสองกรณีจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และพลังงาน พลังงานที่ได้ส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปพลังงานความร้อน เรียก ความร้อนในการหายใจ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นพลังงานเคมีในรูป ATP ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาชีวิตไว้

การหายใจมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้เพราะการหายใจทำให้สูญเสียอาหารสำรอง สูญเสียน้ำหนัก รสหวาน และเกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอันตรายต่อผักและผลไม้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอัตราการเสื่อมเสียของผักและผลไม้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการหายใจ นอกจากนี้ความร้อนจากการหายใจยัง

เป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ เกิดเร็วขึ้น ถ้าสามารถลดอัตราการหายใจจะช่วยลดการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้การเสื่อมคุณภาพเกิดช้าลง (senescence) อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

การลดอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดอัตราการหายใจและปฏิกิริยาอื่นๆ ของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว อัตราเร็วในการหายใจจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ตามกฎของแวนท์ ฮอฟฟ์ (Van't hoff) ดังนี้ อัตราเร็วในการหายใจจะเพิ่มขึ้นเท่าตัว ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส หรือในทางกลับกัน อัตราเร็วในการหายใจจะลดลงครึ่งหนึ่ง ถ้าอุณหภูมิลดลง 10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำการหายใจยิ่งน้อย แต่อย่างไรก็ตามควรจะควบคุมให้มีอัตราการหายใจต่ำที่สุด เพียงเพื่อรักษากระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตและภูมิป้องกันการทำลายจากจุลินทรีย์และเป็นการหายใจแบบใช้ออกซิเจน เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากเอทิลีนที่เกิดขึ้นในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูง เช่น หน่อไม้ฝรั่ง บร็อคโคลี่ ถั่ว ข้าวโพดหวาน และเห็ด จะเสื่อมเสียได้ง่าย สูญเสียคุณค่าทางอาหาร อายุการเก็บรักษาสั้น ตัวอย่างเช่น ข้าวโพดหวานและถั่วลันเตา (green pea) เป็นพืชประเภทไคลแมกเทอริก (Climacteric) มีอัตราการหายใจสูง ปริมาณซูโครสที่มีอยู่จะสูญเสียไป 1/2 และ 1/3 ของปริมาณซูโครสเริ่มต้นตามลำดับ ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ความหวานลดลง แต่ถ้านำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ การหายใจจะลดลง อัตราการสูญเสียความหวานจะลดลง (Ciobanu et al, 1976) ขณะที่ส่วนของพืชที่ใช้เป็นอาหารและมีอัตราการหายใจต่ำ เช่น ราก หน่อ และลำต้นใต้ดิน สามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานานๆ พืชเมล็ดแห้งมีอัตราการหายใจที่ต่ำมาก และปริมาณน้ำตาลลดลงน้อยมากในระหว่างการเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนต่ำเป็นเวลาหลายๆ ปี

การสุก

ผักและผลไม้มีอัตราการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ ไคลแมกเทอริก (Climacteric) และนอนไคลแมกเทอริก (Non-climacteric) พวกไคลแมกเทอริกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว พร้อมทั้งมีการผลิตเอทิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนเร่งการสุก ดังนั้นการหายใจจะมีความสัมพันธ์กับการสุกหรืออาจกล่าวได้ว่าการสุกถูกควบคุมโดยอุณหภูมิ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทำให้การสุกช้าลง เช่น แอปเปิ้ลเก็บที่ 17 องศาเซลเซียส จะสุกภายใน 18 วัน ถั่วลันเตาอุณหภูมิถึง 2.9 องศาเซลเซียส จะสุกภายใน 140 วัน แต่ในผลไม้บางชนิดถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส การสุกจะหยุด การชะลอการสุกจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ผักและผลไม้ที่สุกจะมีอายุการวางจำหน่ายสั้น เมื่อผลไม้เข้าสู่ช่วงสุกเต็มที่แล้ว จะไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้อีก เพราะสูญเสียภูมิป้องกันการเข้าทำลายจากจุลินทรีย์

ดังนั้นการเก็บรักษาผลไม้ที่เป็นพวกโคลแมกเทอร์ริก วิธีที่ดีที่สุดคือ ให้อยู่ในช่วงก่อนโคลแมกเทอร์ริกให้นานที่สุดเท่าที่จะนานได้ ซึ่งทำได้โดยการลดอุณหภูมิ

3. ผลของอุณหภูมิต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเอนไซม์

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับอาหารที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำจะมีอัตราเร็วลดต่ำลง การเสื่อมคุณภาพจะเกิดช้าลง เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในน้ำมันข้าวโพดที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะเกิดช้ากว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 2 เท่า

อาหารจากผลิตผลของสัตว์ ได้แก่ นมและไข่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมคุณภาพมากมาย ได้แก่ oxidoreductase (xanthine oxidase, lactoperoxidase, sulfhydryl oxidase) และ transferases การลดอุณหภูมิช่วยลดอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ แต่ไม่ได้ยับยั้งเอนไซม์ที่เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล การเกิดออกซิเดชันของไขมัน การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ และการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น การสูญเสียวิตามินซี

เอนไซม์บางชนิด เช่น เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (Dehydrogenase) ถูกยับยั้งได้ด้วยการแช่เยือกแข็ง แต่เอนไซม์บางชนิด เช่น อินเวอเทส (Invertase) ไลเปส (Lipase) ไลโปออกซิเดส (Lipoxidase) คตะตาลเลส (Catalase) เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) โปรตีเอส (Protease) บางชนิด และเพกทินไฮโดรเลส (Pectin hydrolase) ยังคงทำงานได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ เช่น เอนไซม์ไลเปสสามารถเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดไขมัน แม้ที่อุณหภูมิต่ำถึง - 29 องศาเซลเซียส

ดังนั้นอาหารที่นำมาเก็บรักษาควรผ่านกระบวนการยับยั้งหรือทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพเสียก่อน

3.3 การแช่เย็นในระดับอุตสาหกรรม

กระบวนการถนอมอาหารโดยการแช่เย็นในระดับอุตสาหกรรม ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ 1.การลดอุณหภูมิของอาหารก่อนการแช่เย็น (Precooling) และ 2.การเก็บรักษาอาหารหลังการลดอุณหภูมิ

อาหารก่อนนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำจะต้องลดอุณหภูมิให้ต่ำถึงอุณหภูมิแช่เย็นก่อนเรียกว่า Precooling เป็นขั้นตอนที่นิยมทำก่อนการเก็บรักษาหรือขนส่งอาหาร โดยลดอุณหภูมิของอาหารลงอย่างรวดเร็ว หลังการฆ่าหรือการเก็บเกี่ยวจนถึงอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสม จะช่วยลด

การเสื่อมเสียและเสื่อมคุณภาพของอาหาร ลดกำลังและขนาดของเครื่องทำความเย็นในยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง

การลดอุณหภูมิมีความสำคัญมากโดยเฉพาะในกรณีของอาหารหรือวัตถุดิบที่เสื่อมเสียง่าย (Perishable) หรือมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น เช่น ผลเบอร์รี่ชนิดต่างๆ หน่อไม้ฝรั่ง บร็อคโคลี่ ข้าวโพดหวาน และผักขม เป็นต้น รวมทั้งในกรณีของวัตถุดิบที่จุลินทรีย์เจริญ ผลิตรายพิษ และทำให้เสื่อมคุณภาพ แต่ไม่มีความจำเป็นจะต้องการลดอุณหภูมิในกรณีของอาหารหรือวัตถุดิบที่เสื่อมเสียยากปานกลาง (semiperishable) และพวกที่ต้องอาศัยการป้อนให้สุก

ในกรณีที่ต้องมีการลดอุณหภูมิควรลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและอุณหภูมิของอาหารหลังการลดอุณหภูมิควรอยู่เหนือจุดเยือกแข็ง และเป็นอุณหภูมิที่ไม่ทำให้เกิด Chilling injury หรือ Cold shortening

3.4 วิธีการและเครื่องมือในการลดอุณหภูมิ

การลดอุณหภูมิเป็นการดึงความร้อนออกจากอาหาร ซึ่งจะต้องอาศัยระบบทำความเย็นหรือสารทำความเย็น วิธีการลดอุณหภูมิมียุคสมัยหลายวิธี การเลือกใช้ให้เหมาะสมขึ้นกับชนิด ขนาดอาหาร และต้นทุนการผลิต เช่น วัตถุดิบชิ้นเล็กๆ มีเนื้อน้อย พวกถั่วพี สามารถทำให้เย็นภายในเวลา 2 – 3 นาที ในขณะที่ซากสัตว์ขนาดใหญ่อาจต้องใช้เวลานาน 2 – 3 วัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสะดวกและเหมาะสมในการปฏิบัติงาน

เครื่องมือหรือวิธีการลดอุณหภูมิของอาหารที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการแช่เย็นมีมากมาย มีลักษณะ วิธีการ ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ และความเหมาะสมในการใช้กับอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนี้

1. การใช้อากาศเย็นที่ไม่เคลื่อนที่ (Cold air)

เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย ห้องแช่เย็น (Chilled room) ซึ่งเป็นห้องบุฉนวน มีระบบทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ

ระบบทำความเย็นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

1) เครื่องระเหยหรือคอยล์เย็น (Evaporator) ทำหน้าที่ให้สารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะเป็นของเหลวดูดความร้อนจากห้องหรืออาหารที่ต้องการลดอุณหภูมิ ความร้อนจะทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ และถูกดูดออกโดยคอมเพรสเซอร์

2) คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ดึงสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะก๊าซและอัดให้มีปริมาตรเล็กลง แล้วส่งไปยังเครื่องควบแน่น (Condenser) เกิดการกลั่นตัวเป็นของเหลว เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบทำความเย็น

3) เครื่องควบแน่น (Condenser) ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็น ที่ส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ โดยใช้อากาศหรือน้ำเย็นเป็นตัวถ่ายเทความร้อน ทำให้สารทำความเย็นเกิดการกลั่นตัวเป็นของเหลว

4) วาล์วบังคับ (Expansion valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นให้สม่ำเสมอ

นอกจากระบบทำความเย็นทั้ง 4 ส่วนแล้ว สิ่งที่ขาดไม่ได้ คือ สารทำความเย็น (Refrigerant) สารทำความเย็นที่ดีเหมาะสำหรับนำมาใช้ในระบบทำความเย็น ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้ คือ มีจุดเดือดต่ำ มีความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูง ในสถานะก๊าซมีความหนาแน่นสูง ทำให้ไม่ต้องใช้คอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่ มีความเป็นพิษต่ำ ไม่ติดไฟ ไม่รวมตัวกับน้ำมัน และมีราคาถูก แต่ยังไม่มีการทำความเย็นชนิดใดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวครบถ้วน ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของสารทำความเย็น

ชนิดสารทำความเย็น	จุดเดือด (°ซ) ที่ 100 kPa	ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (kJkg ⁻¹)	ความเป็นพิษ	การติดไฟ	ความหนาแน่นของก๊าซ (kgm ⁻¹)	การละลายในน้ำมัน	
หมายเลข (No.)	สูตร						
11	CCl ₃ F	23.8	194.2	ต่ำ	ต่ำ	1.31	ละลายได้ดี
12	CCl ₂ F ₂	- 29.8	163.54	ต่ำ	ต่ำ	10.97	ละลายได้ดี
21	CHCl ₂ F	- 44.5	254.2	ต่ำ	ต่ำ	1.76	ละลายได้ดี
22	CHClF ₂	- 40.8	220.94	ต่ำ	ต่ำ	12.81	ละลายได้บางส่วน
717	NH ₃	- 33.3	1325.48	สูง	สูง	1.965	ละลายได้ < 1 %
744	CO ₂	- 78.5	352	ต่ำ	ต่ำ	60.23	ละลายได้ < 1 %

ที่มา : Fellow (1990)

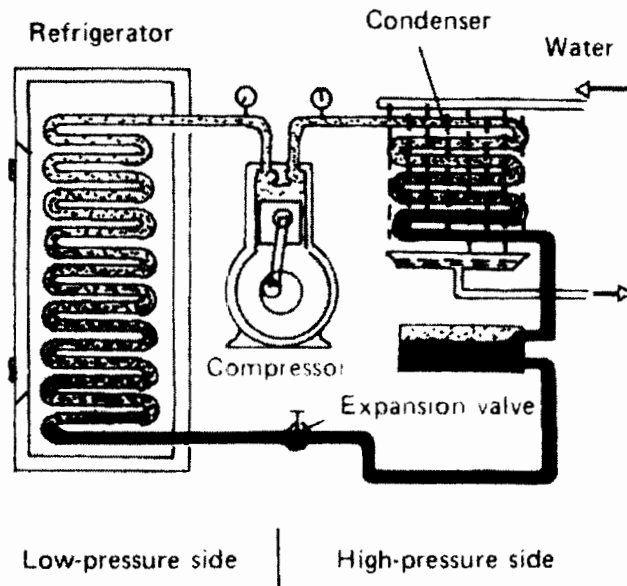
แอมโมเนีย เป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหารแช่เย็นและแช่เยือกแข็ง เนื่องจากมีความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี ไม่ละลายในน้ำมัน และมีราคาถูก แต่มีความเป็นพิษสูง ติดไฟ และทำให้เกิดการกัดกร่อนท่อทองแดง

คาร์บอนไดออกไซด์ มีคุณสมบัติที่ดี คือ ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษ มีจุดเดือดต่ำมากถึง - 78.5 องศาเซลเซียส ใช้ได้อย่างปลอดภัย แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้แรงดันในการควบแน่นสูง ต้องใช้คอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่

สารประกอบฮาโลเจน หรือ ฟรีออน มีหลายชนิดทั้ง ฟรีออน - 12 ฟรีออน - 22 ฟรีออน - 113 มีคุณสมบัติที่ดี คือ ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี และมีราคาถูก นิยมใช้กับตู้เย็นตามบ้านเรือน แต่ก็มีข้อเสีย คือ ละลายได้ดีในน้ำมัน และเป็นสารทำความเย็นในกลุ่ม CFC (Chlorofluorocarbon) และ HCFC (Hydrochlorofluorocarbon) เมื่อปล่อยออกสู่บรรยากาศ จะไปทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน

การทำงานของระบบทำความเย็น

สารทำความเย็นจะเคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ใน 4 ส่วนของระบบทำความเย็น เปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซ และก๊าซไปเป็นของเหลว (ภาพที่ 3.1) เมื่อสารทำความเย็นเคลื่อนผ่านวาล์วบังคับเข้าสู่ส่วนของคอยล์เย็น สารทำความเย็นจะระเหยภายใต้ความดันที่ลดต่ำลง ในการระเหยกลายเป็นไอ สารทำความเย็นจะดูดความร้อนที่เรียกว่า ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) ทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในห้องเย็นลง



ภาพที่ 3.1 การทำงานของระบบทำความเย็น
ที่มา : Fellow (1990)

คอมเพรสเซอร์จะทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะก๊าซให้มีปริมาตรเล็กลง และเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ส่งผ่านไปยังเครื่องควบแน่น เกิดการกลั่นตัวเป็นของเหลว หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะเคลื่อนผ่านวาล์วบังคับ เปลี่ยนสถานะเป็นไอในส่วนของคอยล์เย็นอีกครั้งหนึ่ง วนเวียนอยู่เช่นนี้ ทำให้อุณหภูมิภายในห้องลดต่ำลง

การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้ แม้ว่าจะเป็นวิธีที่สะดวก ประหยัด ดำเนินการง่าย เพราะห้องลดอุณหภูมิและห้องเก็บอาหารสามารถใช้ห้องเดียวกันได้ แต่การลดอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้าๆ เนื่องจากระบบการหมุนเวียนของอากาศภายในไม่ดี และยังมีผลทำให้อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั้งห้อง เกิดการสะสมความร้อนขึ้นบางตำแหน่ง ทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ ส่งผลถึงคุณภาพของอาหาร อาจทำให้เน่าเสียและจุลินทรีย์สามารถเจริญได้เนื่องจากชื้นแฉะ

2. การใช้อากาศเย็นที่เคลื่อนที่ (Moving air)

เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นจากการใช้อากาศเย็นที่ไม่เคลื่อนที่ เพื่อให้การลดอุณหภูมิเกิดได้เร็วขึ้น ทำได้ใน 2 ลักษณะ คือ

2.1. ห้องเย็นติดพัดลมกำลังสูง

ลักษณะเป็นห้องเย็นที่มีการติดตั้งพัดลมที่มีกำลังลมแรง เป่าให้อากาศเย็นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เพื่อช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศและอุณหภูมิในห้องเย็นสม่ำเสมอ

การแช่เย็นวิธีนี้ได้รับความนิยมมาก เป็นเรื่องมีอยู่ง่ายๆ การทำงานไม่ยุ่งยาก เพียงนำอาหารไปวางในห้องเย็น ถ้าเป็นอาหารชิ้นใหญ่ๆ เช่น ซากสัตว์ ปลาทูน่า กลัวยังทั้งเครือ อาจใช้วิธีแขวนกับราวที่อยู่ด้านบน ผลิตภัณฑ์อาหารชิ้นเล็กๆ ไม่มีการหุ้มห่อหรือบรรจุ ก็สามารถวางบนชั้น ผักและผลไม้วางบนถาด แต่วิธีการนี้การส่งผ่านความร้อนที่ผิวหน้าของอาหารต่ำ ซึ่งไม่ใช่ปัญหาสำคัญ ขึ้นกับ การกำหนดปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนที่ผิวหน้า คือ อุณหภูมิและความเร็วของอากาศเย็น การเพิ่มความเร็วของอากาศเย็น และใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำจะช่วยลดเวลาในการแช่เย็น แต่ถ้าใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำมากจะเกิดการเยือกแข็งที่ผิวหน้าขึ้น ทำให้เกิดความเสียหาย ดังนั้นต้องกำหนดอุณหภูมิและความเร็วของอากาศเย็นให้เหมาะสม เช่น อาหารพร้อมบริโภคที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่แบ่งเป็นสองช่อง ช่องหนึ่งบรรจุข้าวหรือพาสต้า อีกช่องหนึ่งบรรจุเนื้อหรือปลา อาหารทั้งสองส่วนนอกจากจะมีคุณสมบัติด้านความร้อนที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีปริมาณการบรรจุที่แตกต่างกัน ถ้าใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิ - 10 องศาเซลเซียส ความเร็ว 5 เมตร/วินาที จะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ 34 นาที อาหารในทั้งสองส่วนจะเกิดการแข็งตัว แต่เมื่อลดความเร็วลงให้ต่ำ

กว่า 0.5 เมตร/วินาที จะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และมีการแข็งตัวของข้าวเกิดขึ้นเล็กน้อย ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของอากาศเย็นให้สูงขึ้นถึง - 5 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศเย็น 5 เมตร/วินาที ใช้เวลา 45 นาที มีการแข็งตัวเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (James & Bailey, 1990)

การออกแบบการหมุนเวียนของอากาศผ่านผลิตภัณฑ์ การจัดการที่ไม่ดี เช่น ผลิตภัณฑ์วางซ้อนหรือแขวนไม่เป็นระเบียบ การเคลื่อนที่ของอากาศเย็นผ่านผลิตภัณฑ์อาหาร จะไม่สม่ำเสมอ และไม่ทั่วถึงกัน รวมถึงความไม่เข้าใจต่อข้อจำกัดของอาหาร ทำให้อาหารเย็นลงไม่สม่ำเสมอ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอาหาร

2.2. อุโมงค์ซึ่งมีสายพานลำเลียงอาหาร

ลักษณะเป็นอุโมงค์ มีสายพานลำเลียงอาหารผ่านเข้าและออก ภายในอุโมงค์มีอากาศเย็นเคลื่อนที่ จึงไม่เกิดปัญหาจากการหมุนเวียนของอากาศที่ไม่สม่ำเสมอ อาหารแต่ละชั้นจะสัมผัสกับอากาศเย็นที่มีอุณหภูมิและความเร็วเดียวกัน

การแช่เย็นในลักษณะนี้จะมีทั้งแบบธรรมดาและแบบที่ซับซ้อน แบบธรรมดาอาหารจะแขวนอยู่บนสายพานและเคลื่อนที่ผ่านห้องเย็น ใช้กันมากในการลดอุณหภูมิของซากไก่และสุกร สำหรับแบบซับซ้อนประสิทธิภาพของการแช่เย็นและเครื่องปรับอากาศ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดความยาวของอุโมงค์ มีการติดตั้งเครื่องระเหยที่มีความจุขนาดใหญ่ไว้ที่ช่วงต้นอุโมงค์ เพื่อกำจัดความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาในครั้งแรก และใช้อุณหภูมิอากาศเย็นในช่วงหลังสูงขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการแข็งตัวที่ผิวหน้า

อาหารชิ้นเล็กๆ สามารถจะลดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง โดยวางบนชั้นที่มีถาดสูงประมาณ 8 - 16 นิ้ว ดึงหรือลากให้เคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์โดยใช้กลไกแบบธรรมดา แต่จะมีปัญหาในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านชั้นที่วางอาหารแต่ละชั้นให้สม่ำเสมอ ในการผลิตขนาดใหญ่นิยมใช้สายพานลำเลียงแบบเส้นตรงหรือแบบเกลียว สายพานแบบเส้นตรงมีโครงสร้างที่ง่ายกว่าแบบเกลียว แต่แบบเกลียวจะประหยัดพื้นที่มากกว่า

การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็นที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ไม่ว่าจะอยู่ในลักษณะห้องเย็นหรืออุโมงค์ สามารถลดอุณหภูมิของอาหารได้อย่างรวดเร็ว เรียกวิธีการนี้ว่า Air blast cooler ซึ่งช่วยรักษาคุณค่าทางอาหารและประหยัดเวลา แต่เกิดการสูญเสียน้ำจากการใช้อากาศเย็นที่มีความเร็วสูง ดังนั้นควรใช้วัสดุห่อหุ้มหรือบรรจุอาหารในภาชนะก่อน และต้องใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิและความเร็วที่เหมาะสม และควบคุมให้ดีไม่ให้เกิดการแข็งตัวที่ผิวหน้า ไม่ทำให้เกิด Cold injury หรือ Cold shortening ขึ้น ทำให้ไม่สามารถใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำสุดในการลดอุณหภูมิ

การลดอุณหภูมิวิธีนี้ นิยมใช้กับ เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก พืชตระกูลส้ม แคนตาลูป เชอร์รี่หวาน แอปริคอต และถั่วพี

3. การใช้น้ำเย็น น้ำแข็ง หรือน้ำแข็งผสมน้ำ

น้ำมีความจุความร้อนสูงและเป็นตัวนำความร้อนที่ดี สามารถลดอุณหภูมิของอาหารได้อย่างรวดเร็วกว่าการใช้อากาศ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ๆ ราคาถูก และไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพง การลดอุณหภูมิของอาหารโดยวิธีนี้สามารถทำได้หลายลักษณะ ดังนี้

3.1. น้ำเย็น (Hydrocooling)

จุ่มหรือแช่อาหารในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียส หรือฉีดพ่นน้ำเย็นเป็นละอองฝอยลงบนอาหาร โดยน้ำเย็นที่ใช้อาจเติมสารฆ่าเชื้อโรค เช่น คลอรีน หรือ ฟีนอล ก็ได้ ในระดับอุตสาหกรรมวิธีฉีดพ่นน้ำเย็นในขณะที่สายพานลำเลียงอาหารผ่านเข้ามานิยมใช้กับอาหารที่มีขนาดเล็ก เช่น ขึ้นฉ่าย ถั่วพี หัวไชเท้า แครอต พืช เชอร์รี่ หน่อไม้ฝรั่ง ข้าวโพดหวาน และแคนตาลูป สำหรับอาหารที่มีขนาดใหญ่ เช่น สัตว์ปีก นิยมวิธีการจุ่มหรือแช่มากกว่า

3.2. น้ำแข็ง น้ำแข็งผสมน้ำ

การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งบดหรือน้ำแข็งผสมน้ำ เป็นวิธีที่ง่าย มีประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายต่ำ การลดอุณหภูมิเกิดจากความร้อนแฝงในการหลอมละลายของน้ำแข็ง และการสัมผัสกับอาหารโดยตรง ทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว ผิวของอาหารไม่แห้ง นิยมใช้ในการเก็บรักษาหรือลำเลียงขนส่งสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำ เช่น ปลา จะบรรจุในกล่องระหว่างชั้นของน้ำแข็งบด น้ำแข็งจะดึงความร้อนออกจากปลา และเกิดการหลอมเหลว อุณหภูมิยังคงอยู่ที่ 0 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำแข็งละลายหมด

สัตว์ปีก นิยมใช้วิธีลำเลียงผ่านอ่างบรรจุน้ำเย็น โดยให้จุ่มในน้ำเย็นหรือน้ำแข็งผสมน้ำ การลดอุณหภูมิวิธีนี้จะเร็วมาก และสัตว์ปีกจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นระหว่างการลดอุณหภูมิ แต่การผลิตในอุตสาหกรรมน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้มากที่สุดจะถูกควบคุมตามข้อกำหนดของ EEC Council Regulation, 2967/76 (Jame & Bailey, 1990) การเคลื่อนที่ของซากจะถูกกำหนดให้เคลื่อนที่สวนทางกับการไหลของน้ำ เพื่อที่จะลดโอกาสที่แบคทีเรีย เช่น ซาลโมเนลลาจะถ่ายทอดจากซากหนึ่งไปยังอีกซากหนึ่ง

การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็น น้ำแข็ง และน้ำแข็งผสมน้ำ มีข้อดี คือ ให้อัตราการลดอุณหภูมิที่สูงมาก ไม่เสี่ยงต่อการแข็งตัวที่ผิวหน้า ผิวของอาหารไม่แห้งและช่วยเพิ่มน้ำหนัก

ขณะที่การใช้อากาศเย็นทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก แต่อย่างไรก็ตามการลดอุณหภูมิวิธีนี้ไม่เหมาะกับอาหารบางชนิด เพราะจะทำให้อาหารเปื่อยขึ้น เกิดการเน่าเสียง่าย และอาจสูญเสียสารอาหารบางอย่างโดยละลายไปกับน้ำ นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านค่าแรงที่ใช้ในการบดน้ำแข็งและการแช่ในน้ำแข็งอีกด้วย

4. การลดอุณหภูมิโดยการลดความดัน (Vacuum cooling)

การลดอุณหภูมิวิธีนี้ทำได้โดยนำอาหารใส่ในห้องที่ปิดสนิท ดูดอากาศภายในห้องออกจนความดันลดลงเหลือ 4.0 – 4.6 มม.ปรอท การลดอุณหภูมิจะเกิดจากการระเหยของน้ำในอาหาร ในการระเหยน้ำต้องใช้ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอประมาณ 600 กก.แคลอรี/กก. ทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว การดึงน้ำออกจากผักต่างๆ 1 % ช่วยลดอุณหภูมิลงได้ประมาณ 5 – 6 องศาเซลเซียส (James & Bailey, 1990)

วิธีการนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก คือ มีอัตราส่วนของปริมาตรต่อน้ำหนักสูง อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากหรือมีการระเหยของน้ำจากผิวหน้าได้ง่าย จะสามารถลดอุณหภูมิได้เร็ว เช่น การลดอุณหภูมิของผักกาดหอม หน่อไม้ฝรั่ง หัวผักกาด และสั้ม จากอุณหภูมิ 23.8 องศาเซลเซียส เหลือ 0 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 6 80 และ 100 นาที ตามลำดับ (Fennema, 1975) จะเห็นได้ว่าผักกาดหอมเป็นผักประเภทใบมีพื้นที่ผิวด่อน้ำหนักมาก ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิเพียง 3 นาทีเท่านั้น

ในทางปฏิบัติการลดอุณหภูมิจะอาศัยน้ำที่เกาะอยู่ที่ผิวของอาหาร แต่ถ้ามีน้ำในอาหารมีไม่เพียงพอ จะใช้วิธีพรมน้ำลงไปบนผิวของอาหารเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำในอาหาร

การลดอุณหภูมิวิธีนี้นิยมใช้กับผักใบ เช่น เห็ด ผักกาดหอม และขึ้นฉ่าย นอกจากผักใบแล้ว ยังมีการใช้กับถั่วพี กะหล่ำดอก และข้าวโพดหวาน และยังสามารถนำไปใช้ในการลดอุณหภูมิของอาหารที่หุงต้มแล้ว เช่น เนื้อสัตว์ อาหารเด็กอ่อน ชิ้นส่วนสัตว์ปีก โดยบรรจุในถาดแบนๆ สามารถลดอุณหภูมิให้ลดลงอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิ 80 เหลือ 10 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง แต่ในการใช้ความดันจะต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับเนื้อสัมผัสของอาหาร (James & Bailey, 1990)

การลดอุณหภูมิด้วยวิธีการนี้นอกจากจะสามารถลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็วแล้ว ยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แช่แข็ง โดยจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานในการบดน้ำแข็งและการบรรจุหีบห่อเพื่อป้องกันความเสียหาย แต่ข้อเสียคือ เครื่องมือมีขนาดใหญ่ กินพื้นที่มาก การลงทุนในด้านเครื่องมือสูง เป็นวิธีที่มีราคาแพง และเหมาะสำหรับอาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก

5. การลดอุณหภูมิโดยใช้สารไครโอเจนิก (Cryogenic cooling)

การลดอุณหภูมิวิธีนี้สามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง โดยการจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในสารทำความเย็น เช่น ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว หรือฉีดพ่นสารทำความเย็นไปบนผิวหนัง หรือสูบไอของสารทำความเย็นและเป่าผ่านไปบนผิวหนังของอาหาร

การจุ่มลงไปในการทำความเย็นโดยตรง อุณหภูมิของอาหารจะลดลงอย่างรวดเร็วเพียงไม่กี่วินาที ในกระบวนการผลิตสามารถใช้เครื่องมือขนาดเล็กซึ่งให้ผลผลิตที่สูง แต่มีปัญหาหลักๆ 2 ประการ คือ ผลิตภัณฑ์จะเกิด thermal shock สูงมาก และความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอเท่านั้นที่ถูกใช้ไป

แต่วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปจะใช้วิธีฉีดพ่นสารทำความเย็นลงไปบนผลิตภัณฑ์อาหารขณะเคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์ที่มีฉนวนหุ้ม ประสิทธิภาพในการแช่เย็นจะเพิ่มมากขึ้นจากก๊าซเย็นที่เกิดจากการระเหิดของสารทำความเย็นและจากความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ

ไม่ว่าจะใช้วิธีการจุ่มหรือฉีดพ่น ปัญหาที่เกิดขึ้นเสมอ คือ การแข็งตัวที่ผิวหนังอาหาร การทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซเย็นแล้วจึงนำมาใช้ เป็นเพียงวิธีเดียวที่สามารถใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการแข็งตัวที่ผิวหนัง แต่วิธีปฏิบัติยังไม่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามวิธีนี้สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาในกรณีของอาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ทำจากวัสดุที่นำความร้อนไม่ดี โดยนำไนโตรเจนเหลวหรือเกล็ดคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณเล็กน้อยใส่เข้าไปในกล่องบรรจุอาหารที่ร้อน จากการทดลอง พบว่า เนื้อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส จะมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 2 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่ต้องใช้วิธีการแช่เย็นใดๆเลย การใช้เกล็ดคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะเกิดการแข็งตัวที่ผิวหนังบางส่วน แต่น้อยกว่าการใช้ไนโตรเจนเหลวและมีดริปมากกว่าเล็กน้อย (James & Bailey, 1990)

6. การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การลดอุณหภูมิจากอาหารที่เป็นของเหลวหรือกึ่งเหลว เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายรูปแบบ มีลักษณะและความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกัน ดังนี้

การลดอุณหภูมิในระบบปิด แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับความนิยม มีการใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารเหลว เช่น เบียร์ ไวน์ และน้ำผลไม้ เป็นต้น สารทำความเย็นอาจเป็นน้ำ เอทานอล หรือ สารละลายเกลือ สามารถลดอุณหภูมิได้ทั้งแบบไม่ต่อเนื่องและ

แบบต่อเนื่อง มีพื้นที่ผิวที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนมากทำให้ลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว ใช้น้ำมันที่น้อย มีประสิทธิภาพสูง แต่ข้อเสียคือ เครื่องมือมีราคาแพง เนื่องจากพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอาหารจะต้องทำจากวัสดุที่มีคุณภาพดี ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร และไม่เกิดการปนเปื้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอาหาร เครื่องมือไม่สามารถต้านทานต่อแรงดันที่สูง ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับอาหารที่มีความข้นหนืด

การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนท่อ ประกอบด้วย ท่อจำนวนมาก มีความต้านทานต่อความดันสูงกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น เหมาะสำหรับอาหารที่มีความข้นหนืด

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Scraped surface เหมาะสำหรับอาหารที่มีความข้นหนืดมาก และอาหารที่มักมีปัญหาการไหม้ที่ผิวหน้า

วิธีการลดอุณหภูมิที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนใหญ่จะใช้กับอาหารที่เป็นของแข็ง เป็นชิ้นๆ (ยกเว้นวิธีที่ 6) การใช้กับอาหารเหลวต้องมีการดัดแปลงให้เหมาะสม เช่น ต้องบรรจุอาหารเหลวในภาชนะก่อนนำไปลดอุณหภูมิ ส่วนการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น เครื่องมือมีราคาแพง ยุ่งยาก ซ้ำซ้อน และต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้และความชำนาญในการควบคุมการทำงาน ดังนั้นจึงมีความพยายามประยุกต์วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของอาหารเหลวในลักษณะต่างๆ ดังนี้

การผลิตในอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือระดับครัวเรือน การลดอุณหภูมิอาหารเหลวที่ร้อน เช่น ซุป ซอส น้ำเกรวี่ อาจใช้วิธีปล่อยให้เย็นเองที่อุณหภูมิห้องหรือนำไปแช่ในห้องเย็น วิธีการนี้ตรงจุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ยังคงมีอุณหภูมิสูงอาจสูงถึง 65 องศาเซลเซียส หลังใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ 16 ชั่วโมง ระยะเวลาดังกล่าวผลิตภัณฑ์ยังคงมีอุณหภูมิสูงทำให้ได้รับความร้อนมากเกินไป สิ่งที่มาคือ การเปลี่ยนแปลงกลั่นรสรวมทั้งอาจมีการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนสูง

การลดอุณหภูมิโดยให้สารทำความเย็นเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างชั้นของส่วนกันภาชนะบรรจุ หรือจุ่มขวดลดทำความเย็นลงไปในอาหารเหลว ภาชนะบรรจุที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีเครื่องกวนติดอยู่ เพื่อเพิ่มอัตราการส่งผ่านความร้อน และป้องกันการเกิดเป็นชั้นของของเหลวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน วิธีนี้สามารถลดอุณหภูมิของของเหลวได้ตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 ลิตร แต่ภาชนะที่มีสองชั้นและมีฉนวนหุ้มนั้น จะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำ แต่มีข้อดีคือ ทำความสะอาดได้ง่าย

วิธีการธรรมดาๆ อีกวิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อลดเวลาในการลดอุณหภูมิของของเหลวในภาชนะปิด ก็คือการใช้ความดันเพื่อให้เกิดการระเหย การใช้ความดัน 0.006 บาร์ ช่วยลดเวลาในการ

ลดอุณหภูมิจาก 130 นาที เหลือ 11 นาที ถ้าเป็นอาหารที่เกิดโคมต้องเพิ่มความดันที่เพิ่มสูงขึ้น เพื่อป้องกันการล้นเข้าไปในบัมสุญญากาศ

วิธีการลดอุณหภูมิด้วยเครื่อง Falling film หรือ Surface cooler ทำได้โดยการบัมของเหลวที่ร้อนขึ้นไปด้านบนของท่อหรือขดลวดความเย็น แล้วปล่อยให้ไหลผ่านผิวหน้าที่เย็นลงมา วิธีการนี้นำมาใช้ครั้งแรกกับวอทของเบียร์และครีม (ศึกษาลักษณะและการทำงานของเครื่องมือเพิ่มเติมได้ใน FD468)

อาหารที่เป็นของผสมระหว่างของแข็งและของเหลว เช่น เนื้อสัตว์ หรือผักในซอสหรือเกรวี่ ไซ้ของพายและพาสตรี แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ที่รอดชีวิตจากการหุงต้มสามารถเจริญและเพิ่มจำนวนได้ระหว่างการลดอุณหภูมิและการบรรจุที่อุณหภูมิระหว่าง 10 – 50 องศาเซลเซียส

การลดอุณหภูมิของอนุภาคที่เป็นของแข็งจะช้ากว่าของเหลว และอาจเกิดชั้นของอาหารที่มีอุณหภูมิต่างกันในภาชนะที่ไม่มีเครื่องกวน ในขณะที่เดียวกันการใช้เครื่องกวนการออกแบบและวิธีการกวนเป็นสิ่งสำคัญ ต้องไม่ทำให้เกิดการแตกหักของอาหารที่เป็นของแข็งและบอบบาง

วิธีการอื่นๆ ที่สามารถใช้ในการลดอุณหภูมิ เช่น การเติมคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเข้าไปโดยตรง การแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันก่อนและแยกกันลดอุณหภูมิ แล้วค่อยนำกลับมาผสมกัน หรือการลดอุณหภูมิด้วยความดันโดยการพ่นของเหลวที่ร้อนเข้าไปในภาชนะซึ่งอยู่ภายใต้ความดันเป็นวิธีลดอุณหภูมิได้รวดเร็ว แต่ปริมาณของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการขยายตัวในระหว่างกระบวนการ

3.5 ห้องแช่เย็นอาหาร

ในการถนอมอาหารโดยการแช่เย็น อาหารหลังลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาแล้วจะต้องเก็บในห้องแช่เย็น ห้องแช่เย็นอาหารจะแตกต่างจากห้องสำหรับลดอุณหภูมิ โดยห้องลดอุณหภูมิใช้เพื่อกำจัดความร้อนออกจากอาหาร ในขณะที่ห้องแช่เย็นจะใช้รักษาอุณหภูมิของอาหารให้อยู่ในระดับต่ำและคงที่เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามถ้าใช้ห้องแช่เย็นเป็นทั้งห้องลดอุณหภูมิและเก็บรักษาอาหารหลังลดอุณหภูมิ จำเป็นต้องกำจัดความร้อนออกจากอาหารอย่างรวดเร็วก่อนที่จะรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เอาไว้

การเก็บอาหารในห้องเย็นนั้น อาจเก็บได้ทั้งในบรรยากาศปกติหรือมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศ ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแตกต่างกัน ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 แต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นการเก็บแบบใด สภาวะแวดล้อมภายในห้องเก็บ

เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการหมุนเวียนของอากาศ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของอาหาร

ห้องเย็นที่ใช้เก็บอาหารต้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ระบบการหมุนเวียนและการระบายอากาศให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิด ดังนี้

1. อุณหภูมิ

อาหารแต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เย็นต่างกัน อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิที่สามารถลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ ลดกิจกรรมทางเมแทบอลิซึม ลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-เอนไซม์ และไม่ทำให้อาหารเกิดความเสียหายเนื่องจากความเย็น

อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1. อุณหภูมิ - 1 ถึง + 1 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับอาหารสด ได้แก่ เนื้อสัตว์ ไก่ และปลา เป็นต้น โดยอุณหภูมินั้นยังคงสูงกว่าจุดเยือกแข็งของอาหาร ช่วยรักษาความสดเอาไว้สำหรับกรณีของไข่ (ทั้งเปลือก) สามารถเก็บที่อุณหภูมิต่ำถึง - 1.6 องศาเซลเซียส โดยที่ของเหลวภายในยังไม่เกิดการแข็งตัว ไม่ควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้เพราะจะทำให้เปลือกไข่ร้าวหรือแตก เสียหาย

2. อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับ นำนม ครีม โยเกิร์ต แชนด์วิช พิซซ่า พาสต้า และเพสทรี ช่วยให้มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

3. อุณหภูมิ 8 - 10 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับ เนื้อต้ม เนย มาคาริน เนยแข็ง และผลไม้เมืองร้อน อาหารเหล่านี้ไม่มีความจำเป็นต้องเก็บที่อุณหภูมิต่ำเกินไป โดยเฉพาะผักและผลไม้ การเก็บที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ ไม่ได้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเสมอไป เช่น ในกรณีของกล้วยควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 12 - 15 องศาเซลเซียส ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้เปลือกกล้วยจะดำ (Heldman & Hartel, 1997)

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เย็น เพื่อให้อาหารมีอายุการเก็บรักษาสูงสุด สรุปไว้ในตารางที่ 3.5

ห้องเก็บอาหารแช่เย็นนอกจากจะต้องเลือกอุณหภูมิให้เหมาะกับชนิดของอาหารแล้ว การควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการเก็บให้ถูกต้องและคงที่เป็นสิ่งสำคัญ ถ้าอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยจะทำให้อาหารสูญเสียคุณภาพ ดังเช่น ปลาสด ปลาแฮตดอก เก็บที่อุณหภูมิ -1 ถึง - 2 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษา 22 - 29 วัน แต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 0 องศาเซลเซียส อายุการเก็บรักษาจะลดลงเหลือ 13 วัน สัตว์ปีกเก็บที่อุณหภูมิ - 2 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานกว่าการเก็บที่ 0 องศาเซลเซียส ถึง 40 % ถั่วลิสงเก็บที่อุณหภูมิ - 1.5 - 1 - 0.5 และ 0 องศาเซลเซียส

มีอายุการเก็บรักษา 12 10 9 และ 7 สัปดาห์ ตามลำดับ ดังนั้นห้องเก็บอาหารที่ดีต้องสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็ไม่ควรเกิน ± 1 องศาเซลเซียสสำหรับอาหารทั่วไป แต่สำหรับ ไข่ ปลา และผลไม้บางชนิด การแปรปรวนของอุณหภูมิไม่ควรเกิน ± 0.5 องศาเซลเซียส และจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการก่อให้เกิดความร้อน เช่น ความร้อนจากดวงไฟ การทำงานของเครื่องจักร ผู้ปฏิบัติงานภายในห้อง การปิดเปิดประตู ปริมาณอาหารที่เก็บรักษาในห้อง และการหายใจของเซลล์ที่ยังมีชีวิต

ตารางที่ 3.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เย็น

อุณหภูมิ (°ซ)	ประเภท	ชนิดอาหาร
เหนือจุดเยือกแข็ง	เนื้อสัตว์	เนื้อปลา ไก่ เนื้อหมู
	ผลไม้	แอปเปิล แอปปริคอต เบอร์รี่ มะนาวสีเหลือง พีช แพร์ พลัม ส้ม (ฟลอริดา)
	ผัก	หน่อไม้ฝรั่ง หัวบีท บรอกโครี ขึ้นฉ่าย กะหล่ำปลี แครอต ถั่ว ผักขม ข้าวโพดหวาน
2 - 7 °ซ (35 - 45 °ฟ)	ไข่ทั้งเปลือก	
	ผลไม้	แอปเปิล ส้ม (ยกเว้นพันธุ์ฟลอริดา) แดงโม สับปะรดสุก
เหนือ 7 °ซ	ผัก	มันฝรั่ง
	ผลไม้	อโวคาโด กล้วย องุ่น มะม่วง มะเขือเทศ มะนาวเขียว สับปะรดดิบ
	ผัก	ถั่ว แดงกวา มันฝรั่ง มันเทศ

ที่มา : Fennema (1975)

การแช่เย็นไม่เพียงแต่ควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ยังเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและกายภาพของอาหาร อุณหภูมิที่เก็บรักษาอาหารแช่เย็นมีการเปลี่ยนแปลงมากทั้งในขั้นการผลิต การขนส่ง การขายปลีก และการเก็บในครัวเรือน อย่างไรก็ตามระหว่างการเก็บอาหารแช่เย็นมีโอกาสที่อุณหภูมิเกิดการแปรปรวน ถ้าเกิดมากการเจริญของจุลินทรีย์ก็เกิดได้มาก เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดภัยและสูญเสียคุณภาพ การควบคุมอุณหภูมิเป็นกุญแจสำคัญต่อคุณภาพของอาหารแช่เย็น

2. ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเก็บมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อคุณภาพของอาหาร ถ้าห้องเก็บมีความชื้นสัมพัทธ์สูง จุลินทรีย์เจริญได้ดี ทำให้อาหารเน่าเสียเร็วขึ้น ผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิล พลัม เกิดการปริแตก แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเกินไป น้ำจะระเหยออกจากอาหาร สูญเสียน้ำหนัก ความกรอบ และมีลักษณะเหี่ยวแห้ง สำหรับผักการสูญเสียความชื้นไปเพียง 3 - 6 % จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างเห็นได้ชัด

เนื้อวัวหลังการฆ่าต้องเก็บปมที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายสัปดาห์ เพื่อให้เนื้อนุ่ม ถ้าห้องเก็บอาหารมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 90 % เนื้อจะขึ้นรา แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 90 % จะสูญเสียน้ำหนักและเนื้อเหี่ยวแห้ง ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุด คือ เก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงและภายในห้องเก็บควรติดตั้งอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 2700 \AA (angstrom) จะช่วยป้องกันการเกิดเชื้อและการเจริญของราที่ผิวหน้า

การเก็บรักษาไข่ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 82 - 85 % ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะเกิดการสูญเสียน้ำ ช่องอากาศภายใต้เปลือกไข่จะขยายกว้างขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ

อาหารแต่ละชนิดต้องการความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3.6 ในระหว่างการเก็บรักษาความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไม่ควรเปลี่ยนแปลงเกิน ± 2.5 ถึง ± 5 % การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ยังขึ้นกับอุณหภูมิและการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องเก็บ

ตารางที่ 3.6 ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับอาหารแต่ละชนิด

ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม	ชนิดของอาหาร
ต่ำกว่า 85%	เนยเหลว เนยแข็ง มะพร้าว ไข่ ผลไม้แห้ง กระเทียม หัวหอม
85 - 90%	เนื้อไก่ กุ้ง(สีเหลือง) ส้ม สับปะรด มะเขือเทศ มันเทศ
90 - 95%	เนื้อวัว เนื้อปลา แอปเปิล กุ้งดิบ ถั่ว ข้าวโพด แดงกวาง ผักใบ

ที่มา : Fennema (1975)

3. การหมუნเวียนและการถ่ายเทของอากาศ

ห้องเย็นที่มีระบบหมუნเวียนของอากาศที่ดีจะช่วยให้อุณหภูมิและองค์ประกอบของอากาศภายในห้องคงที่ ลดอุณหภูมิของอาหารได้เร็ว นอกจากนี้ยังช่วยให้อากาศภายในห้องสะอาดบริสุทธิ์ การออกแบบการหมუნเวียนและการถ่ายเทอากาศให้เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อระบายกลิ่น ก๊าซ และสารระเหยต่างๆ ที่ถูกปล่อยออกมาจากอาหารในระหว่างการเก็บ ซึ่งจะไปเร่งการสุก และอาจทำให้เกิดลักษณะผิดปกติที่ผิวของผักผลไม้ การทำให้อากาศบริสุทธิ์โดยการกรองอากาศด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated charcoal) เป็นวิธีที่เหมาะสม

ดังนั้นห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษาอาหารจะต้องกำหนดปัจจัยทั้งสามให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร จึงจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารออกไปได้ ดังตารางที่ 3.7

ในการขนส่งระยะสั้นหรือการเก็บชั่วคราวเพื่อรอการขนส่ง หรือ รอการผลิต ไม่คุ้มที่จะเก็บโดยปรับสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิด เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ในทางปฏิบัตินิยมเก็บรวมกันโดยจัดระบบการเก็บอย่างกว้างๆ เป็น 2 ระบบ คือ

1. อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (32°F) ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % สำหรับ ไข่ นม เนื้อสัตว์ และ ผักผลไม้ที่เสียหายจากความเย็นยาก

2. อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (50°F) ความชื้นสัมพัทธ์ 85 – 90 % สำหรับผักผลไม้ที่เสียหายจากความเย็นได้ง่าย

การเก็บอาหารในลักษณะนี้มีข้อควรระวัง คือ ไม่ควรเก็บอาหารที่มีกลิ่นแรง เช่น ปลาหอมหัวใหญ่ ไว้กับอาหารที่ดูดกลิ่น เช่น นม เนย ไข่ และแป้ง เป็นต้น

3.6 การเพิ่มประสิทธิภาพในการถนอมอาหารโดยวิธีแช่เย็น

ในการถนอมอาหารโดยการแช่เย็นจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ถ้ามีการนำวิธีการต่อไปนี้มาใช้ร่วมกับการแช่เย็น

3.6.1 การลดแสง

ในห้องเย็นที่ใช้เก็บอาหารควรมีมืด ไม่มีแสง ช่วยชะลอการงอกของหอม กระเทียม มันฝรั่ง ลดการเกิดกลิ่นและสีที่ผิดปกติ ห้องแช่เย็นที่ใช้เก็บบ่มเนื้อวัวที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็งจะติดแสงอัลตราไวโอเล็ต ช่วยลดการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของอาหาร แต่ไม่เหมาะสมสำหรับผัก ผลไม้ และอาหารที่มีไขมันสูง เช่น ไขมัน เนย และครีม ทั้งนี้เพราะแสงอัลตราไวโอเล็ตจะไปกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดกลิ่นรสและสีที่ผิดปกติขึ้น

ตารางที่ 3.7 สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาของอาหาร

ชนิด	อุณหภูมิ (°ซ)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อายุการเก็บรักษา
แอปเปิ้ลคอต	- 0.5 - 0	90	1 - 2 สัปดาห์
กล้วย	11.7 - 15.6	85 - 95	7 - 10 วัน
บร็อคโคลี่	0	95	10 - 14 วัน
บลูเบอรี่	- 1 - 0	90 - 95	2 สัปดาห์
แคนตาลูป	2 - 4	90 - 95	5 - 15 วัน
แครอท	0	98 - 100	4 - 6 สัปดาห์
ผักชีฝรั่ง	0	95	1 - 2 เดือน
เชอริ (เปรี้ยว)	- 1 - 0	90 - 95	3 - 7 วัน
เชอริ (หวาน)	- 1	90 - 95	2 - 3 สัปดาห์
แตงกวา	10 - 13	90 - 95	10 - 14 วัน
มะเขือ	7 - 10	90 - 95	7 - 10 วัน
องุ่น	10 - 16	85 - 90	4 - 6 สัปดาห์
เลมอน	10 - 14	85 - 90	1 - 6 เดือน
มะนาว	9 - 10	85 - 90	6 - 18 สัปดาห์
ผักกาดหอม	0 - 1	95 - 100	2 - 3 สัปดาห์
เห็ด	0	90	3 - 4 วัน
หัวหอม (เขียว)	0	95	3 - 4 สัปดาห์
พีช	- 0.5 - 0	90	2 - 4 สัปดาห์
พริก	7.2	90 - 95	2 - 3 เดือน
พลัม	- 1 - 0	90 - 95	2 - 4 สัปดาห์
มันฝรั่ง	3 - 10	90 - 95	5 - 8 เดือน
ผักขม	0	95	10 - 14 วัน
สตรอเบอรี่	- 0.5 - 0	90 - 95	5 - 7 วัน
มันเทศ	10 - 12.8	85 - 90	4 - 7 เดือน
มะเขือเทศสุก	4.4 - 10	85 - 90	4 - 7 วัน
แตงโม	4 - 10	80 - 90	2 - 3 สัปดาห์

ที่มา : Frazier & Westhoff (1988), Rao (1992)

3.6.2 การพาสเจอร์ไรซ์

ผลไม้ที่นำมาแช่เย็น ถ้ามีจุลินทรีย์ปนเปื้อนมาก จุลินทรีย์อาจเข้าทำลายโดยเฉพาะถ้าผลไม้มีบาดแผล มีรอยขีดข่วน ทำให้เกิดการเน่าเสีย การลดปริมาณจุลินทรีย์จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา การพาสเจอร์ไรซ์โดยใช้อุณหภูมิที่สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของผลไม้ ช่วยชะลอการเน่าเสียในระหว่างการเก็บ และให้ผลดีกว่าการใช้สารเคมี เพราะไม่มีสารตกค้าง นิยมใช้กับ มะนาว มะม่วง มะละกอ พืช และผลไม้ โดยจุ่มผลไม้ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 46 – 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 – 4 นาที ซึ่งนอกจากจะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์แล้ว ยังสามารถทำลายไข่และตัวอ่อนของแมลงที่ผิวหน้าของผลไม้ ช่วยแก้ปัญหาการแพร่ระบาดของแมลงที่เป็นอุปสรรคในการส่งออก

3.6.3 การเคลือบผิวด้วยไขหรือน้ำมัน

ช่วยลดการสูญเสียน้ำและทำให้ลักษณะปรากฏดี นิยมใช้กับผัก ผลไม้ เช่น แดงกวาง มะเขือเทศเขียว และแคนตาลูป การยืดอายุการเก็บรักษาของไขสามารถทำได้โดยหลังแม่ไก่วางไข่ 12 – 24 ชั่วโมง นำไข่ไปชุบด้วยน้ำมันจะช่วยลดการสูญเสียน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในไข่จะเป็นตัวช่วยรักษาคุณภาพของไข่ขาว

3.6.4 การเก็บในบรรยากาศแบบ CAS MAS และ MAP

การเก็บในบรรยากาศดัดแปรช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารให้ยาวนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ วิธีการและรายละเอียดกล่าวไว้ในบทที่ 4

3.6.5 การใช้สารเคมี

สารเคมีที่นำมาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา มีใช้ทั้งในรูปก๊าซ สารละลาย หรือ เติมน้ำในภาชนะบรรจุ ในวัสดุหุ้มห่อ สารเคมีที่นำมาใช้ควรเป็นสารที่ให้ผลรวดเร็ว ประหยัด สะดวกปลอดภัย และไม่มีผลต่อคุณภาพและคุณค่าทางอาหาร โดยสามารถจัดแบ่งกลุ่มตามวัตถุประสงค์ในการใช้ ดังนี้

1) สารเคมีที่ใช้เพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์และแมลง

สารเคมีที่เหมาะสมที่จะใช้เพื่อชะลอหรือหยุดการเจริญของจุลินทรีย์และแมลง ได้แก่ คลอรีน อะซิเตท โอโซน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมทิลโบรไมด์ และไดฟีนิล เป็นต้น นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในผลไม้ ส่วนผักก็มีการใช้บ้างแต่ไม่มากนัก

2) สารเคมีที่ใช้เพื่อควบคุมการสุก

นิยมใช้ก๊าซเอทิลีน 1 ลูกบาศก์ฟุต/อากาศ 1,000 ลูกบาศก์ฟุต เพื่อเร่งการสุกของกล้วย แพร่ ส่วน 2, 4, 5 – trichlorophenoxy acetic acid ใช้เพื่อชะลอการสุกของมะม่วง

3) สารเคมีที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดลักษณะผิดปกติทางสรีระ (Physiological disorder)

เช่น diphenylamine และ epoxyquin เพื่อชะลอการเกิด scald ของแอปเปิล

4) สารเคมีที่ใช้เพื่อยับยั้งการงอกของพืชหัว

นิยมใช้ Phenyl carbamate (isopropylphenyl carbamate) Maleic hydrazide ไอของ nonylalcohol เพื่อชะลอการงอกของหัวหอม มันฝรั่ง และแครอท

5) สารเคมีที่ใช้เพื่อป้องกันการออกซิเดชัน

เช่น BHA (butylated hydroxyanisole) BHT (butylated hydroxytoluene) L-ascorbic acid

6) สารเคมีที่ใช้เพื่อกำจัดกลิ่น (Deodorizers)

โอโซนสามารถใช้ในการกำจัดกลิ่น แต่ต้องใช้อย่างระมัดระวัง เพราะโอโซนจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด การกำจัดกลิ่นโดยการระบายอากาศ หรือ ใช้ถ่านกัมมันต์จะเป็นวิธีที่ดีกว่า ง่าย และปลอดภัย

7) สารเคมีที่ใช้เพื่อปรับปรุงสี (Color modifier)

เอทิลีนช่วยเร่งการแตกตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเขียวหายไป ในพืชตระกูลส้มเอทิลีนความเข้มข้น 10 ppm ในอากาศ จะช่วยเปลี่ยนสีเขียวเป็นสีเหลือง

8) การใช้รังสี (Ionizing radiation)

รังสี ในระดับที่ต่ำกว่าระดับสเตอริไลส์ (Substerilize) ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์

3.7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแช่เย็นระหว่างการเก็บรักษา

การถนอมอาหารโดยการแช่เย็น แม้ว่าจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา แต่การเสื่อมคุณภาพของอาหารแช่เย็นยังเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาทางเคมี ชีวเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ และจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ คุณภาพอาหารจะเสื่อมไปตามระยะเวลาที่เก็บรักษา แต่เกิดขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าการเก็บที่อุณหภูมิปกติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร คุณสมบัติของอาหาร (pH, a_w) การปฏิบัติกับอาหาร อุณหภูมิและบรรยากาศที่ใช้เก็บดังกล่าวมาแล้ว

การเปลี่ยนแปลงของอาหารแช่เย็นระหว่างการเก็บรักษาที่ไม่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

3.7.1 การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมี

ที่สำคัญ คือ การออกซิเดชันของไขมัน เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อ เนื้อสัตว์ และสัตว์ปีกที่ให้ความร้อนเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นจะเกิดกลิ่นอับและกลิ่นออกซิไดซ์ในเวลาสั้นๆ 48 ชั่วโมง เรียก Warmed-Over Flavor (WOF) แตกต่างจากการแช่แข็งกลิ่นหืนจะค่อยๆเกิดขึ้น แม้ว่า WOF จะพบในเนื้อต้ม แต่ก็พบในเนื้อสดที่บดและสัมผัสกับอากาศ และผลิตภัณฑ์เนื้อสดที่ขึ้นรูปใหม่

ความว่องไวของไขมันในอาหารขึ้นอยู่กับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ฟอสโฟลิปิดที่ไม่อิ่มตัว ตัวกระตุ้น เช่น โลหะ ในการหุงต้มเนื้อฮีโมโปรตีนแตกตัวและปล่อยเหล็กอิสระออกมา มีผลเร่งการเกิด WOF ในระหว่างการแช่เย็น ปริมาณเหล็กอิสระที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิสุดท้าย รวมทั้งวิธีการให้ความร้อน การให้ความร้อนอย่างช้าๆ ปล่อยเหล็กอิสระมากกว่าแบบเร็ว การคั่วหรือเคี้ยวปล่อยมากกว่าการใช้ไมโครเวฟ

การป้องกัน WOF โดยใช้สารกลุ่มฟีนอลิก เช่น BHA และ BHT วิตามินอี สารสกัดจากพืช เช่น พริกไทยเขียว หัวหอม เปลือกมันฝรั่ง สมุนไพร โรสแมรี่ sage marjoram และ clove การเติมไนไตรท์ 50 – 200 ppm เกิดสารประกอบ nitrosylmyochrome และ nitrosylhaemochrome เหล็กเกิดความเสถียรโดยจับกับไนตริกออกไซด์เป็นพอร์ไฟริง สารในกลุ่มไพโรฟอสเฟต ไตรโพลีฟอสเฟต เฮกซะเมตาฟอสเฟต ซึ่งเป็นตัวจับเหล็ก นอกจากนี้การใช้ฟอสเฟตร่วมกับแอสคอร์บิกจะมีผลเสริมกัน เช่นการใช้ในเนื้อหมูปดสามารถป้องกันการออกซิเดชันของไขมันได้ 35 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สารต่างๆที่กล่าวมานี้ให้ผลดีในเนื้อปดเนื่องจากสามารถกระจายตัวได้ทั่ว ในขณะที่เนื้อที่เป็นชิ้นๆ มีผลน้อย

การบรรจุในบรรยากาศไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ แบบสุญญากาศ รวมทั้งการต้มในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน ช่วยลด WOF ในไก่งวง เนื้อหมูและผลิตภัณฑ์หมูที่ผ่านการหุงต้ม

ผลิตภัณฑ์นมและปลาไขมันสูงก็มีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันเช่นกัน การเคลื่อนที่ของทองแดงเข้าสู่ครีมาระหว่างการปั่นสามารถกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดกลิ่นหืน บัตเตอร์มิลค์มีฟอสโฟลิปิดที่ไม่อิ่มตัวอยู่มากโดยเฉพาะ phosphatidylethanolamine ซึ่งสามารถรวมตัวกับโลหะใน prooxidative และการมีสารเชิงซ้อนของโลหะกับฟอสโฟลิปิดที่ผิวหน้าน้ำกับไขมัน ทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของไขมันได้

3.7.2 การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาชีวเคมี

ปฏิกิริยาชีวเคมีมีสาเหตุจากเอนไซม์ ที่อุณหภูมิแช่เย็นกิจกรรมของเอนไซม์ในอาหารส่วนใหญ่จะช้า แต่ก็มีข้อยกเว้น เช่น เอนไซม์ในสัตว์เลือดเย็นปรับตัวให้วงไวที่อุณหภูมิต่ำ ในปลาสด กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อุณหภูมิ - 4 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วลดลงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

สลัดที่มีส่วนประกอบของเห็ดและข้าวโพดหวานถ้าเก็บที่ 15 องศาเซลเซียส พบการเกิดสีน้ำตาลในข้าวโพดหวาน ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำ 2 องศาเซลเซียส เกิดสีน้ำตาลจากเห็ดเป็นผลมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของสลัด

เอนไซม์อาจมีอยู่จากการปนเปื้อนจากอาหารชนิดหนึ่งไปอีกหนึ่ง เช่น เอนไซม์ไลเปสจากพริกหวานที่ไม่ได้ลวกเมื่อนำมาแต่งหน้าพิซซ่า เมื่ออยู่ในสภาวะเหมาะสมมีไตรเอซิลกริเซอร์อล (triacylglycerol) ก็จะทำให้กลิ่นหืน

ดังนั้นการเตรียมอาหารเพื่อนำมาเก็บที่อุณหภูมิต่ำแช่เย็นจำเป็นต้องมีขั้นตอนเพื่อป้องกันกิจกรรมของเอนไซม์ ตัวอย่าง เช่น การลวกผัก

3.7.3 การเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่ของของเหลว(Migration)

อาหารแช่เย็นมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏจากการเคลื่อนที่ของของเหลวที่เป็นส่วนประกอบ เช่น สลัดที่มีส่วนประกอบพวกราบดเนย การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส จากการกระจายและการแพร่ระหว่างมายองเนสและผัก มีลักษณะปรากฏใส ภายใน 6 ชั่วโมงหลังการผสม กะหล่ำปลีดูดซับน้ำมันจากมายองเนสและการเคลื่อนที่ของน้ำจากกะหล่ำปลีไปยังมายองเนส ทำให้มายองเนสมีลักษณะเหลวและไม่เคลือบ ในขณะที่กะหล่ำปลีจะใส นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของน้ำในแซนด์วิชทำให้เกิดลักษณะแฉะ ความชื้นซึมจากไส้ไปยังขนมปัง เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น พาย พิซซ่า การเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้ขนมมาที่เปลือกทำให้เกิดลักษณะนิ่มและแฉะ

3.7.4 การระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร

อาหารแช่เย็นที่ไม่มีวัสดุห่อหุ้ม อายุการเก็บรักษาของอาหารจะสั้นกว่าอาหารแช่เย็นที่มีวัสดุห่อหุ้มอย่างเห็นได้ชัด เช่น 6 ชั่วโมง กับ 2 - 3 วัน จนถึงสัปดาห์ สาเหตุคือ การสูญเสีย น้ำ เนื่องจากการระเหย ทำให้สูญเสียน้ำหนัก ลักษณะปรากฏและสีที่ผิวหน้าเปลี่ยนการสูญเสียน้ำหนักจากผิวหน้าของอาหารที่ไม่ได้ห่อหุ้มกับอัตราการระเหยน้ำจากผิวหน้าและอัตราการ

แพร่ของความชื้นจากภายในผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำ

อัตราการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้ที่เก็บรักษาขึ้นกับความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำของผลิตภัณฑ์และอากาศ และความเร็วของอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ การสูญเสียน้ำขึ้น 5 % ทำให้ผักและผลไม้เหี่ยว

3.8 ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับอาหารแช่เย็น

การเก็บอาหารที่อุณหภูมิต่ำไม่ได้ช่วยยืดอายุของอาหารได้เสมอไป โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ปฏิบัติไม่มีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับธรรมชาติของอาหาร มีการปฏิบัติที่ไม่ถูกต้อง ไม่เหมาะสม แทนที่จะช่วยชะลอและยืดอายุการเก็บรักษา กลับจะทำให้เกิดความเสียหายและเร่งให้เสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น โดยอาจทำให้เกิดลักษณะผิดปกติขึ้นกับอาหารที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำได้ ดังนี้

3.8.1 การหดตัวเนื่องจากความเย็นของกล้ามเนื้อสัตว์

(Cold shortening)

เนื้อสัตว์หลังการฆ่าจะเกิดการเกร็งตัว ที่เรียกว่า ริกออร์ มอร์ทิส (rigor mortis) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวระหว่างโปรตีนแอกตินกับไมโอซินเป็นแอกโตไมโอซิน แต่สามารถแยกออกได้โดยใช้พลังงานที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ ถ้านำเนื้อสัตว์ไปแช่เย็นทันทีหลังฆ่า โดยที่เนื้อนั้นยังไม่ผ่านช่วงริกออร์ มอร์ทิส หรือริกออร์ มอร์ทิสยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ การเกร็งตัวจะเกิดมากขึ้นเนื่องจากแคลเซียมไอออนที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดแอกโตไมโอซินถูกปล่อยออกมามากขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำเนื้อสัตว์จะเกิดการหดตัวมากขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Cold shortening ที่อุณหภูมิต่ำการหดตัวเกิดรุนแรงยิ่งขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 องศาเซลเซียส จะเกิดการหดตัวมากกว่าที่อุณหภูมิ 11 องศาเซลเซียส ปรากฏการณ์นี้พบทั้งในสัตว์ปีก เนื้อสัตว์ และเนื้อปลา แต่ถ้านำเนื้อสัตว์ไปแช่เยือกแข็งทันทีหลังฆ่า การเกร็งตัวจะหยุด และเมื่อนำเนื้อนั้นไปทำละลาย การเกร็งตัวจะเริ่มเกิดขึ้นใหม่ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Thaw rigor

การหดตัวเนื่องจากความเย็นนอกจากจะทำให้เนื้อเหนียวเมื่อนำไปหุงต้มแล้ว ยังทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ มีของเหลวแยกตัวออกจากเนื้อสัตว์มาก ของเหลวเหล่านี้มีสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อายุการเก็บรักษาของเนื้อสัตว์ลดลง

การกระตุ้นซากโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วยแก้ปัญหา Cold shortening ได้ โดยไปเร่งให้กระบวนการริกออร์มอริทิส เกิดเร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง

3.8.2 ลักษณะผิดปกติที่เกิดขึ้นกับผักและผลไม้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Chilling injury, Low temperature injury, Cold injury)

การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ แม้ว่าจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของผักและผลไม้ที่เสื่อมเสียได้ง่ายก็ตาม แต่ถ้าผักและผลไม้ที่นั้นไวต่ออุณหภูมิต่ำก็จะก่อให้เกิดความเสียหายมากกว่าจะเป็นประโยชน์ โดยเฉพาะผักและผลไม้เมืองร้อนและกึ่งร้อนเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพืชชนิดนั้น จะเกิดลักษณะผิดปกติทางสรีระที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (Chilling injury)

ลักษณะผิดปกติที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับ ชนิดของพืช เช่น เกิดรอยบุ๋มที่ผิว (Pitting) เนื่องจากเซลล์บางส่วนสูญเสียน้ำ ทำให้ผิวด้านนอกสุดแข็งและหนากว่าผิวด้านใน พบมากใน มะม่วง อะโวคาโด พริก ส้มโอ และมะนาว สีที่ผิวผิดปกติมักเกิดกับผักและผลไม้ที่มีผิวบาง เช่น มะเขือเทศ และ bell pepper การสุกผิดปกติพบใน มะเขือเทศ แดง และกล้วย นอกจากนี้ยังอาจเกิดลักษณะผิดปกติอื่นๆ เช่น การเสียรสชาติของผลไม้บางชนิด ความเสียหายของโครงสร้างซึ่งเกิดได้ทั้งภายในและภายนอก ทำให้ไวต่อการเน่าเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาจากการเก็บเกี่ยว

อาการสะท้านหนาวอาจเกิดขึ้นภายในระยะเวลาสั้นๆ ที่ผักและผลไม้สัมผัสกับอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม หรือเกิดขึ้นภายหลังจากที่นำออกจากห้องเย็นมาเก็บที่อุณหภูมิปกติ ในกรณีหลังนี้ยากต่อการสังเกต อย่างไรก็ตามอาการสะท้านหนาวจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าจะมีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ช่วงอายุของพืชแต่ละชนิด องค์ประกอบของบรรยากาศ และอัตราการสูญเสียน้ำ

ก. อุณหภูมิ

พืชแต่ละชนิดเกิดอาการสะท้านหนาวที่อุณหภูมิต่างๆ กัน บางชนิดจะเกิดที่อุณหภูมิสูง เช่น กล้วยบางพันธุ์เกิดอาการสะท้านหนาวที่อุณหภูมิ 14.4 องศาเซลเซียส แต่ผลไม้บางชนิดสามารถทนอุณหภูมิต่ำได้ดี เช่น แอปเปิลจะเกิดอาการสะท้านหนาวที่ 1 องศาเซลเซียส พืชบางชนิดถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมนานเกินไป การสุกจะผิดปกติ มะเขือเทศสีเขียวเก็บที่ 1 – 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 – 3 วัน เมื่อนำออกจากห้องเย็นก็จะไม่เปลี่ยนเป็นสีแดง แอปเปิลบางพันธุ์ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส การสุกจะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ มันฝรั่งบางพันธุ์เมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียสเล็กน้อย เนื้อ

ภายในจะเปลี่ยนเป็นสิน้ำตาลและมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเก็บรักษาผักและผลไม้ควรเก็บเหนืออุณหภูมิวิกฤต (อุณหภูมิต่ำสุดที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย) ของผักและผลไม้แต่ละชนิด แสดงในตารางที่ 3.8

ข. ลักษณะทางพันธุกรรม

พืชที่มีถิ่นกำเนิดต่างกันหรือสายพันธุ์ต่างกัน จะตอบสนองต่ออาการสะท้านหนาวต่างกัน พืชเมืองร้อนหรือกึ่งร้อนจะเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าและที่อุณหภูมิสูงกว่าพืชเมืองหนาว

ส้ม ส้มแมนดาริน ทนอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่า มะนาว ส้มโอ โดยส้ม ส้มแมนดารินสามารถเก็บที่อุณหภูมิ 1 – 2 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดลักษณะผิดปกติที่ผิว แต่มะนาว ส้มโอต้องเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จึงจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ อย่างไรก็ตามส้มต่างสายพันธุ์กันก็มีความไวต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวแตกต่างกัน (Cansas & Cunat, 1990)

ค. เวลา

พืชแต่ละชนิดจะมีความไวต่ออุณหภูมิต่ำแตกต่างกัน และเกิดลักษณะผิดปกติเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตภายในระยะเวลาต่างๆ กัน ดังนี้ กล้วย 12 ชั่วโมง มะเขือเทศ 9 – 12 วัน พืชตระกูลส้ม 2 – 3 เดือน

ง. ความแก่อ่อน

ผลไม้ที่สุกจะมีความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวได้ดีกว่าผลไม้ที่ยังไม่สุก เช่น มะเขือเทศสีเขียวที่แก่จะไวต่ออุณหภูมิต่ำและเกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายกว่ามะเขือเทศที่สุก ส้มสีเหลืองจะต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวได้ดีกว่าส้มสีเขียว

จ. อัตราการสูญเสียน้ำ

อัตราการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้มีอิทธิพลในการกระตุ้นการเกิดลักษณะผิดปกติแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช

ฉ. องค์ประกอบของบรรยากาศที่ใช้เก็บ

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศที่ใช้เก็บ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวแตกต่างกัน แต่ยังไม่สามารถสรุปผลที่แน่นอนและชัดเจนได้ เช่น บรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวในมะม่วงและอโวคาโด แต่ในบางกรณีจะทำให้อาการรุนแรงยิ่งขึ้น เช่น ในกรณีของมะเขือเทศ

ตารางที่ 3.8 ลักษณะผิดปกติของผักผลไม้เมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต

ชนิด	อุณหภูมิวิกฤต (°ซ)	ลักษณะผิดปกติที่เกิดขึ้น
แอปเปิล	2 – 3	เนื้อภายในเป็นสีน้ำตาล ใสสีน้ำตาล ผิวเป็นรอยบวมและซ้ำ
กล้วย	12 – 13	เปลือกสีดํา
แตงกวา	7	ผิวเป็นรอยบวม ซ้ำและเน่าเสีย
มะเขือ	7	ผิวเป็นรอยซ้ำ
เลมอน	14	ผิวเป็นรอยบวมหรือรอยซ้ำ
มะนาว	7 – 9	ผิวเป็นรอยบวม ซ้ำและเน่าเสีย
มะม่วง	10 – 13	ผิวเป็นจ้ำสีเทาๆ และไม่สุก
แตงโม	4	ผิวเป็นรอยบวมหรือรอยซ้ำ กลิ่นรสไม่ดี
มะละกอ	7	ผิวเป็นรอยบวมหรือรอยซ้ำ ไม่สุก กลิ่นรส ผิดปกติ เน่าเสีย
สับปะรด	7 – 10	ผิวมีสีคล้ำ การสุกผิดปกติ รสชาติไม่ดี
มันฝรั่ง	3	เกิดสีน้ำตาลและมีความหวานเพิ่มขึ้น
มันเทศ	13	เน่าเสีย ผิวเป็นรอยบวมหรือรอยซ้ำ เนื้อมีสีซีด
มะเขือเทศเขียว	13	ไม่เปลี่ยนสีเมื่อสุก เน่า
มะเขือเทศแดง	7 – 10	เนื้อนุ่ม บวมเน่า
ส้มเขียวหวาน	3	ผิวเป็นรอยบวมหรือรอยซ้ำ

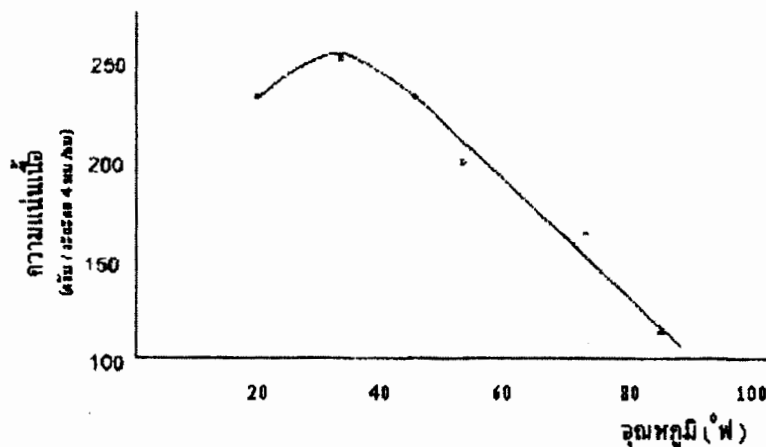
ที่มา : ดัดแปลงจาก Fellow (1990)

การหลีกเลี่ยงการเกิดอาการสะท้านหนาว คือ ไม่เก็บผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต แต่ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นอุณหภูมิที่ช่วยลดอัตราการหายใจ การคายน้ำและช่วยยืดอายุการเก็บรักษา นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามหาวิธีการลดความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว โดยวิธีต่างๆ (Cansas & Cunat, 1990) ดังนี้ 1) เก็บที่อุณหภูมิเหนืออุณหภูมิวิกฤตเล็กน้อย โดยเก็บไว้ระยะเวลาหนึ่งจะทำให้แตงกวาและกล้วยต้านทานอาการสะท้านหนาวได้ 2) การเพิ่มอุณหภูมิในระหว่างการเก็บให้สูงขึ้นเป็นระยะๆ ช่วยลดอาการสะท้านหนาวในแอปเปิลและผลไม้ที่มีเมล็ดแข็ง ในส้มโอที่เก็บที่ 4.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ถ้ากระตุ้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 21.1 องศาเซลเซียส ทุกสัปดาห์

3) การเก็บในสภาพบรรยากาศตัดแปรที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงระยะหนึ่ง ก่อนนำมาเก็บที่อุณหภูมิต่ำจะได้ผลดีในกรณีของส้มโอ ส้ม อะโวคาโด พืช แต่ในบางการทดลองให้ผลที่ขัดแย้งกัน คือ เกิดอาการสะท้อนหนาวรุนแรงขึ้นจากความเย็นที่เกิดจากการสัมผัสกับออกซิเจนต่ำ คาร์บอนไดออกไซด์สูง 4) นอกจากนี้การใช้สารเคมีก็เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในพืชบางชนิด เช่น การใช้โอทาโนลามินกับเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ จะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบของเซลล์ที่อยู่บริเวณผนังเซลล์ การใช้สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เช่น ethoxyquin โซเดียมเบนโซเอท ไดฟีนิลเอมีน และบิวทีเรทไฮดรอกซีโทลูอิน กับแตงกวา และ bell pepper การเคลือบผิวผลไม้ด้วยแว็กซ์ หรือน้ำมันก่อนการแช่เย็น จะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำและลดปริมาณออกซิเจน การเติมสารป้องกันเชื้อรา เช่น เบนโนอิวหรือไทอะเบนดาโซวลงไปในสารที่ใช้เคลือบผิวผลไม้ แต่วิธีที่ดีที่สุดที่จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดอาการสะท้อนหนาว ก็คือ การตัดแปลงทางพันธุกรรม เพื่อให้พืชนั้นสามารถต้านทานการเกิดอาการสะท้อนหนาว

3.8.3 การเกิด Staling ของขนมปัง

อาหารต่างๆ ไปจะมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นยาวนานกว่าที่อุณหภูมิห้อง แต่อาหารที่มีส่วนประกอบของแป้งจะมีลักษณะตรงกันข้าม ขนมปังโดยปกติจะเก็บได้ 2 วัน แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำ เนื้อจะแข็ง กระด้าง แน่น และมีความเหนียวเพิ่มขึ้น กลิ่นรสที่แสดงถึงความใหม่และสดของขนมปังจะหายไป รวมทั้งเกิดกลิ่นอับๆ ขึ้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า "Staling" ขนมปังเมื่ออุณหภูมิลดลงจาก 32 ถึง 0 องศาเซลเซียส ความแน่นเนื้อจะเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ผลของอุณหภูมิต่อความแน่นเนื้อของขนมปัง
ที่มา : Fennema (1975)

การเก็บในบรรยากาศดัดแปรที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยลดอัตราการเกิด staling (Cansas & Cunat, 1990)

นักวิทยาศาสตร์พยายามศึกษาถึงกลไกของการเกิด staling และมีความเห็นสอดคล้องกันว่า การเปลี่ยนแปลงความแน่นเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมีและกายภาพขององค์ประกอบของแป้ง ส่วนใหญ่เนื่องมาจากส่วนของอะมิโลเพกทินและอาจรวมถึงโปรตีนในแป้งด้วย