อาหารแช่แข็งสู่ชีวิตประจำวัน

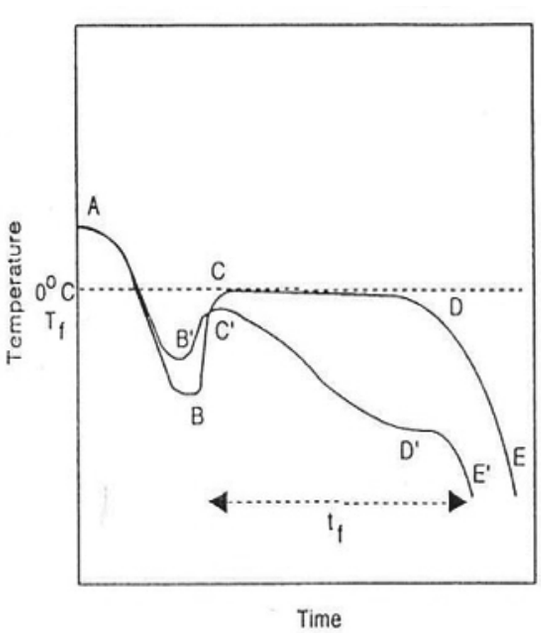
สมโภชน์ โกมลมณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

"อุ่นไหมคะ? รับขนมจีบ ซาลาเปาไหมคะ?" วลีเชิญชวนซื้อในร้านสะดวกซื้อที่คุ้นหู

ในชีวิตที่เร่งรีบของสังคมเมือง อาหารเช้าและเย็นสำหรับเด็กที่ต้องรับประทานอยู่บนรถเนื่องจากเวลาส่วนใหญ่ผ่านไปกับการติดขัดอยู่กับระบบจราจร ชีวิตแม่บ้านที่บีบรัดด้วยเวลา หรือขาดประสบการณ์ในการปรุงอาหาร ทำให้เด็กๆ ไม่ชอบรับประทานอาหารที่ปรุงเอง อาหารแช่แข็งหรือแช่เยือกแข็งจึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ตอบสนองความต้องการดังกล่าว เนื่องจากสะดวกรวดเร็วสำหรับอุ่นมารับประทาน มีรสชาติที่ถูกปากระดับหนึ่ง ประกอบกับซื้อหาได้ง่าย เนื่องจากมีจำหน่ายกระทั่งในปั๊มน้ำมันและมีบริการอุ่นให้เสร็จ พร้อมที่จะรับประทาน อีกทั้งการโฆษณาทำให้อาหารเหล่านี้เป็นที่ต้องตาต้องใจ เกิดค่านิยมกับเด็กว่าเป็นอาหารที่ทันสมัย โก้เก๋ แต่นักวิชาการบางกลุ่มได้กล่าวว่าอาหารแช่แข็งเป็นอาหารขยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำคุณค่าทางโภชนาการไปเปรียบกับอาหารที่ปรุงเองเสร็จใหม่ๆ

การแช่แข็งเป็นวิธีการถนอมรักษาอาหารประเภทหนึ่ง อาหารแช่แข็งมีอายุการเก็บรักษานานมากกว่าการแช่เย็น ในผลิตภัณฑ์บางชนิดเก็บรักษาได้เป็นปี การแช่แข็งแตกต่างกับการแช่เย็นตรงที่ การแช่แข็งทำให้น้ำในส่วนที่สามารถเป็นน้ำแข็งได้ (freezable water) กลายเป็นน้ำแข็ง ขณะที่การแช่เย็นมิได้ทำให้น้ำในอาหารกลายเป็นน้ำแข็ง อาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่เก็บรักษาอาหารแช่เย็นนั้นไม่ต่ำไปกว่า 0 องศาเซลเซียส การแช่เย็นผักและผลไม้ทำให้ผลิตผลมีลักษณะคล้ายสดอยู่มาก ขณะที่การแช่แข็งจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้มีเปลี่ยนแปลงไป

ในบทความนี้จะขอกล่าวเชิงวิชาการที่ชี้ให้เห็นว่าอาหารแช่แข็งหากได้รับการออกแบบการผลิต การเก็บรักษา การหลอมละลาย และการนำมาปรุงอย่างถูกวิธี การแช่แข็งจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการถนอมอาหารที่ทำให้คุณค่าทางอาหารสูญเสียไปน้อยกว่าวิธีอื่น ในขบวนการแช่เยือกแข็ง (freezing process) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 1



ภาพที่ 1 อุณหภูมิที่มีขบวนการแข็งตัวของน้ำ (ABCD) และน้ำเชื่อม (A B′ C′ D′) (Sahagian and Goff, 1996)

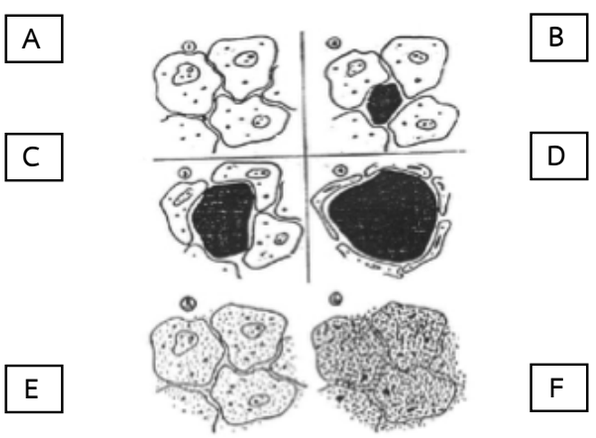
ช่วงที่ 1 เป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จากอุณหภูมิเริ่มต้นที่นำมาแช่แข็งจนถึงอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์เริ่มแข็งตัว (A-B) และ (A-B′)

ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่เกิดน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ ในช่วงนี้น้ำส่วนที่สามารถเป็นน้ำแข็งได้เริ่มกลายเป็นน้ำแข็ง โดยสร้างนิวเคลียส (nucleation) ของน้ำแข็งขึ้น ในช่วงนี้มีการคายความร้อนแฝงเพื่อการเปลี่ยนสถานะออกจากผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ระบบการแช่แข็งที่ดีจะต้องสามารถนำความร้อนออกจากระบบให้ได้ มิเช่นนั้นผลิตภัณฑ์จะไม่สามารถแข็งตัวอีกต่อไป ในช่วงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยหรือมากขึ้นกับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ (B-C) ดังรูปที่ 1 เป็นการแข็งตัวของน้ำและน้ำเชื่อม (B′-C′) ในช่วงนี้น้ำส่วนใหญ่สามารถเป็นน้ำแข็งจึงเรียกว่า zone of maximum crystal formation

ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการใช้เก็บรักษา โดยทั่วไปจะต้องต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส (D-E) และต้องคงอุณหภูมิมิให้สูงกว่า -18 องศาเซลเซียส อาหารนั้นจึงถูกนิยามว่าอาหารแช่แข็ง หากอุณหภูมิที่ขนส่งและเก็บรักษาสูงขึ้นจนทำให้ชิ้นอาหารมีอุณหภูมิสูงกว่า -18 องศาเซลเซียสแล้ว อาหารนั้นจะไม่ถือว่าเป็นอาหารแช่แข็ง

การเกิดนิวเคลียส (nucleation) ของน้ำแข็ง

การเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งมีความสำคัญต่อการแข็งตัวของอาหาร ซึ่งการเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งสามารถเกิดได้ 2 ลักษณะคือ ลักษณะการเกิดนิวเคลียสน้ำแข็งแบบเอกพันธ์ (homogeneous nucleation) เป็นนิวเคลียสที่เกิดจากโมเลกุลของน้ำในอาหารมารวมตัวกันเอง การเกิดนิวเคลียสน้ำแข็งแบบทวิพันธ์ (heterogeneous nucleation) เป็นนิวเคลียสน้ำแข็งที่เกิดจากโมเลกุลน้ำกับอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble particle) ที่ปะปนอยู่ในอาหารโดยอนุภาคเหล่านี้จะมีโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างของน้ำแข็ง ซึ่งการเกิดนิวเคลียสแบบนี้เป็นแบบที่เกิดในอาหารโดยทั่วไป การเกิดจำนวนนิวเคลียสในผลิตภัณฑ์ขึ้นกับอัตราการลดของอุณหภูมิด้วย การลดของอุณหภูมิลงเร็วมากจะเกิดนิวเคลียสจำนวนมากพร้อมๆ กันหลายตำแหน่ง ขณะที่ลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จะเกิดนิวเคลียสจำนวนน้อย ขนาดของผลึกน้ำแข็งจะเกิดและโตขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำมาเกาะมากขึ้น การโตของผลึกจะหยุดเมื่อน้ำได้กลายเป็นน้ำแข็งหมดแล้ว อย่างไรก็ตามการโตของผลึกขึ้นกับความเร็วของการลดอุณหภูมิ โดยพบว่า การแช่แข็งแบบช้า (slow freezing) จะได้จำนวนนิวเคลียสผลึกจำนวนน้อยแต่ขนาดของผลึกค่อนข้างโต ดังรูปที่ 2 (A B C และ D) ในทางตรงข้ามการแช่แข็งแบบเร็ว (fast freezing) จะได้นิวเคลียสผลึกจำนวนมาก ขนาดของผลึกจะมีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 2 (E และ F)



ภาพที่ 2 การเกิดผลึกน้ำแข็งแบบช้าและแบบเร็ว (Fennema และคณะ 1973)

ในสภาพของน้ำปกติ การเรียงตัวของน้ำจะมีรูปแบบเป็นเททระฮีดรัน (tetrahedral) โดยมีออกซิเจนอยู่ตรงกลางมุมของเททระฮีดรัน 2 มุม เกิดจากไฮโดรเจน ส่วนอีก 2 มุมเกิดจากอิเลคตรอนที่ไม่ถูกจับคู่ มีแรงดึงดูดกับโมเลกุลอื่นๆ อย่างไม่มีระเบียบ ในขณะที่การเรียงตัวของน้ำแข็งมีรูปแบบเป็นเฮกซะโกนอล (hexagonal) มีอะตอมไฮโดรเจน 1 อะตอมอยู่ท่ามกลางออกซิเจน 2 อะตอม อะตอมไฮโดรเจนที่จับกันด้วยพันธะโควาเลนซ์จะมีความยาว 1 ± 0.1 อังสตรอม ขณะที่พันธะไฮโดรเจนกับออกซิเจนอีกพันธะหนึ่งจะมีความยาว 1.76 ± 0.1 อังสตรอม ทำให้น้ำเกิดช่องว่างมากขึ้นกว่าเดิมหรือมีปริมาตรมากกว่าเดิม จึงเป็นสาเหตุให้น้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นลดลงเหลือ 0.917 กรัมต่อมิลลิลิตร ขณะที่น้ำที่อุณหภูมิเดียวกันมีความหนาแน่น 0.99 กรัมต่อมิลลิลิตร ความหนาแน่นที่ลดลงนี้มีผลให้เกิดแรงดันอย่างมหาศาลดังจะเห็นได้ว่าหากนำน้ำบรรจุขวดและวางในช่องแช่แข็ง เมื่อน้ำแข็งตัวจะไปดันให้ขวดแตกได้ ด้วยแรงดันนี้เองทำให้เซลล์พืชหรือสัตว์อาจเสียสภาพได้

การเกิดผลึกน้ำแข็งในเนื้อเยื่อพืช

ในเซลล์พืชประกอบด้วยผนังเซลล์และเซลล์เมมเบรน ผนังเซลล์จะมีความแข็งแรง เนื้อเยื่อพืชไม่ผ่านการลวก ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์มักมีผลต่อการเกิดน้ำแข็ง โดยปกติภายนอกเซลล์จะมีความเข้มข้นของสารน้อยกว่าภายในเซลล์ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจะเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งภายนอกเซลล์ก่อน จากนั้นน้ำที่สามารถเป็นน้ำแข็งได้กลายเป็นน้ำแข็งต่อไปและสะสมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากน้ำแข็งมีค่าการส่งผ่านความร้อนน้อยกว่าน้ำจึงส่งเสริมให้เกิดน้ำแข็งภายนอกเซลล์มากยิ่งขึ้น การเกิดน้ำแข็งภายนอกเซลล์นี้จะมีผลต่อแรงดันออสโมซิสของเซลล์ ทำให้เซลล์สูญเสียน้ำ ผนังเซลล์ประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (phospholipids) ไขมันมีค่าการนำความร้อนน้อย จึงเป็นอุปสรรคของการส่งผ่านความร้อน อย่างไรก็ตามลักษณะสภาพการเกิดน้ำแข็ง ขึ้นกับอัตราการลดของอุณหภูมิและอัตราการยอมให้น้ำซึมผ่านผนังเซลล์ ซึ่งจะเกิดได้ใน 3 ลักษณะคือ

1. อัตราการลดอุณหภูมิอย่างช้าและมีอัตราการซึมของน้ำผ่านผนังเซลล์น้อยหรือมาก ในสภาพการลดของอุณหภูมิอย่างช้าๆ น้ำภายนอกเซลล์จะเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งอย่างช้าๆ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเซลล์จะเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้น้ำในเซลล์ซึมผ่านออกมาและแข็งตัวภายนอกเซลล์ เซลล์สูญเสียน้ำและเกิดการแห้ง

2. อัตราการลดของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วกับอัตราการซึมของน้ำผ่านผนังเซลล์น้อย จะเกิดนิวเคลียสอย่างเร็วและจำนวนมาก ขณะที่น้ำสามารถซึมผ่านออกมาได้น้อย อุณหภูมิยิ่งลดลงจะเกิดอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดทำให้น้ำภายในเซลล์แข็งตัว ส่งผลให้เซลล์ได้รับอันตรายจากการฉีกขาดบ้าง ลักษณะเช่นนี้เกิดกับการแช่แข็งของแครอทที่ไม่ผ่านการลวก

3. อัตราการลดของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วกับอัตราการซึมของน้ำผ่านผนังเซลล์มาก จะเกิดนิวเคลียสอย่างเร็วและจำนวนมาก ขณะที่น้ำสามารถซึมผ่านออกมาได้มาก ส่งผลให้น้ำในเซลล์ซึมผ่านออกมาและแข็งตัวภายนอกเซลล์ เซลล์สูญเสียน้ำและเกิดการแห้งได้บ้าง ความคงสภาพของเซลล์นั้นขึ้นอยู่กับวิธีลดความร้อนและความสามารถในการซึมผ่านน้ำของเซลล์ในการเกิดผลึกน้ำแข็งของเนื้อเยื่อ

การเกิดผลึกน้ำแข็งในเนื้อเยื่อสัตว์

การเกิดน้ำแข็งในเนื้อเยื่อสัตว์ไม่เหมือนกับในเนื้อเยื่อพืช เนื่องจากผนังของเซลล์สัตว์มีเพียงเซลล์เมมเบรนซึ่งเป็นผนังบางๆ มีโครงสร้างไม่แข็งแรงเท่าเซลล์พืช และมีอัตราการยอมให้น้ำซึมผ่านมากกว่า เนื่องจากเซลล์สัตว์มีลักษณะที่บางกว่า การส่งผ่านความร้อนจึงง่ายกว่าเซลล์พืช เนื้อเยื่อของสัตว์จึงมีการเกิดและโตของผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ง่ายกว่าเนื้อเยื่อของพืช

การแช่แข็งอย่างเร็ว (fast freezing) จะก่อให้เกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งขึ้นภายในเซลล์ (intracellular ice formation) ขณะที่การแช่แข็งอย่างช้า (slow freezing) จะเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งภายนอกเซลล์ (extracellular ice formation) เช่นเดียวกับในเนื้อเยื่อพืช

จากที่กล่าวมาจึงต้องออกแบบวิธีการแช่แข็งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ โดยคำนึงถึงชนิดและขนาดของผลิตภัณฑ์ ค่าการจัดการของแต่ละกรรมวิธีการแช่แข็งซึ่งค่าการจัดการนี้จะถูกหรือแพงในแต่ละกรรมวิธีนั้นไม่เท่ากัน และนิยมในแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน เช่น plate freezer นิยมติดตั้งในเรือประมงขนาดใหญ่และทำการแช่ปลาที่จับได้จากการตีอวนในทะเลใหญ่ ขณะที่ tunnel freezer ใช้แช่แข็งซากสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ ส่วน air blast belt freezer, fluidized bed จะใช้กับชิ้นอาหารขนาดเล็กให้แข็งตัวแบบรายหน่วยที่เรียกว่า Individual quick frozen (IQF) หรืออาจนำลงแช่ในไนโตรเจนเหลว (ซึ่งมักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง) นอกจากนั้นกรรมวิธีต่างๆก่อนนำมาแช่แข็งก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง เช่นกุ้งจะนำมาล้างทำความสะอาดแล้วเด็ดเอาหัวออก ลอกเปลือกให้เหลือหางไว้ จากนั้นนำไปต้มแล้วรีบแช่แข็งนำมาเรียงลงถาด หรือเอากุ้งไปสับแล้วปรุงรสห่อด้วยแผ่นเกี๊ยวบรรจุถ้วย เติมน้ำซุปเข้มข้นและนำเข้าแช่แข็ง ซึ่งบริษัทผลิตและจำหน่ายอาหารได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ออกมาหลายชนิดเพื่อให้ลูกค้าได้เลือกซื้อตามความต้องการ

การเปลี่ยนแปลงในอาหารแช่แข็งระหว่างการเก็บรักษา

ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น และการเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่

1.1 การเกิดการแห้งในผลิตภัณฑ์ (freezer burn) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องเก็บรักษาจะทำให้น้ำละลายและเกิดการแข็งตัวอีก โดยเฉพาะเกิดเกล็ดน้ำแข็งที่เกาะภายในผลิตภัณฑ์ที่ห่อแบบไม่แนบสนิท เกล็ดน้ำแข็งเหล่านี้มักเกิดการระเหิดออกจากผลิตภัณฑ์อาหาร การแห้งของผลิตภัณฑ์จะเกิดมากขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องเก็บรักษาบ่อยครั้งและมีความแตกต่างอุณหภูมิของห้องเก็บรักษาและอุณหภูมิของอีวาพอเรเตอร์

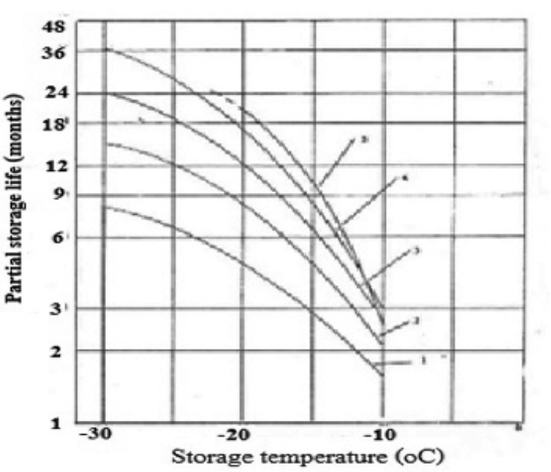
1.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องเก็บรักษามีช่วงกว้าง ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งที่แต่เดิมได้ออกแบบไว้อย่างดี และมีผลึกน้ำแข็งที่เล็กในผลิตภัณฑ์ เมื่ออุณหภูมิในห้องเก็บรักษาสูงขึ้นน้ำแข็งเกิดการหลอมละลาย เมื่อระบบทำความเย็นทำงานอีกอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลง เกิดการแช่แข็งที่เป็นแบบการใช้อากาศที่ไม่เคลื่อนที่ มีผลให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดใหม่อีก (recrystallization) จะเกิดอย่างช้าๆ น้ำที่สามารถกลายเป็นน้ำแข็งได้จึงเกิดภายนอกเซลล์มากขึ้น และผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์นี้จะใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ มีผลให้เซลล์เหี่ยว และผลิตภัณฑ์มีน้ำไหลเยิ้มหลังการหลอมละลาย สารอาหารจะละลายปนไปกับน้ำที่ไหลเยิ้ม ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารแช่แข็งลดลงอย่างมาก ดังนั้นควรมีการป้องกันมิให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็นเนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์แข็งตัว ไม่สามารถไหลเวียนหรือก่อให้เกิดกิจกรรมได้ สารอาหารจึงยังคงคุณค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงหากมีการหลอมละลายที่ถูกวิธีเช่นการใช้ไมโครเวฟสำหรับการหลอมละลาย

อาหารแช่แข็งมีการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารน้อยกว่าอาหารแช่เย็น เนื่องจากในสภาวะแช่เยือกแข็งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ และที่อุณหภูมิต่ำกระบวนการทางชีวเคมีเกิดได้ช้า แต่มิได้หมายความว่าอาหารแช่แข็งจะมีคุณภาพเหมือนเดิมทุกประการ ประกอบกับหลังการผลิตอาหารแช่เยือกแข็งโรงงานมักจะมีการเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งเพื่อเป็นสินค้าคงคลัง หรือรอผลการตรวจสอบคุณภาพ ในช่วงการเก็บรักษานี้ควรใช้อุณหภูมิต่ำเนื่องจากจะสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีความเหมาะสมในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ไม่เท่ากันและมีอายุในการเก็บรักษาที่นานไม่เท่ากัน

ในปัจจุบันอาหารแช่แข็งสำเร็จรูปในท้องตลาดมีมากขึ้นซึ่งอาหารสำเร็จรูปประกอบด้วยเนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ และสารเจือปนอาหารที่นำมาปรุงให้เกิดเป็นอาหารในเมนูต่างๆ จึงต้องพิจารณาให้ดีว่าในอาหารนั้นอะไรมีการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการได้มากที่สุด หรือเก็บรักษาได้นานน้อยที่สุด เป็นตัวตัดสินว่าอาหารนั้นจะหมดอายุเมื่อใด

Persson และ Londahl (1993) ได้รวบรวมอายุการเก็บรักษาของราสเบอร์รี่ เมล็ดถั่วลันเตา ถั่วหั่นเป็นท่อน ปลาไขมันต่ำและปลาไขมันสูงหรือไก่ทอด และบรรจุลงในซองอลูมิเนียมหรือห่อด้วยกระดาษเคลือบพลาสติก รูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเก็บรักษายิ่งต่ำยิ่งสามารถเก็บรักษาอาหารแช่แข็งไว้ได้นานขึ้น ดังนั้นหากนำปลาไขมันสูงหรือไก่มาประกอบเป็นแฮมเบอร์เกอร์แช่แข็งแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสจะมีอายุในการวางจำหน่ายได้สี่เดือนครึ่ง



5. ราสเบอร์รี่
4. เมล็ดถั่วลันเตาและสตรอเบอร์รี่
3. ถั่วหั่นเป็นท่อน
2. ปลาไขมันน้อย
1. ปลาไขมันสูง หรือไก่ทอด

ภาพที่ 3 แสดงอายุการเก็บรักษาของราสเบอร์รี่ เมล็ดถั่วลันเตา ถั่วหั่นเป็นท่อน ปลาไขมันต่ำและปลาไขมันสูงที่อุณหภูมิต่างกัน (Persson และ Londahl, 1993)

ดังนั้นจึงควรคำนึงว่าอาหารแช่แข็งสำเร็จรูปที่อยู่ในซูเปอร์มาเกตนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากเท่าใด เนื่องจากผู้บริโภคเปิดประตูตู้แช่นานเท่าใด อุณหภูมิก็จะยิ่งเปลี่ยนแปลงมากเท่านั้น ความสามารถในการเก็บรักษาและการคงคุณค่าของอาหารก็จะลดลงมากตามไปด้วย ดังนั้นผู้ประกอบการจึงควรเก็บอาหารแช่แข็งไว้ในสภาพที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ■

MAEJO VISION

เอกสารอ้างอิง

Fennema, O.R., W.D. Powrie, and E.H. Marth. (1973). **Low temperature preservation of foods and living matter**. New York: Marcel Dekker. 598 p.

Persson, P.O. and G. Londahl. (1993). **Freezing technology**. In C.P. Mallett (eds.) Frozen food technology. Blackie academic & professional. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras. p. 20-58.

Sahagian, M.E. and H.D. Goff. (1996). Fundamental aspects of freezing process. In L.E. Jeremiah (eds.) Freezing effects on food quality. New York : Marcel Dekker, p. 1-50.