บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ปลาหมึกกระดอง

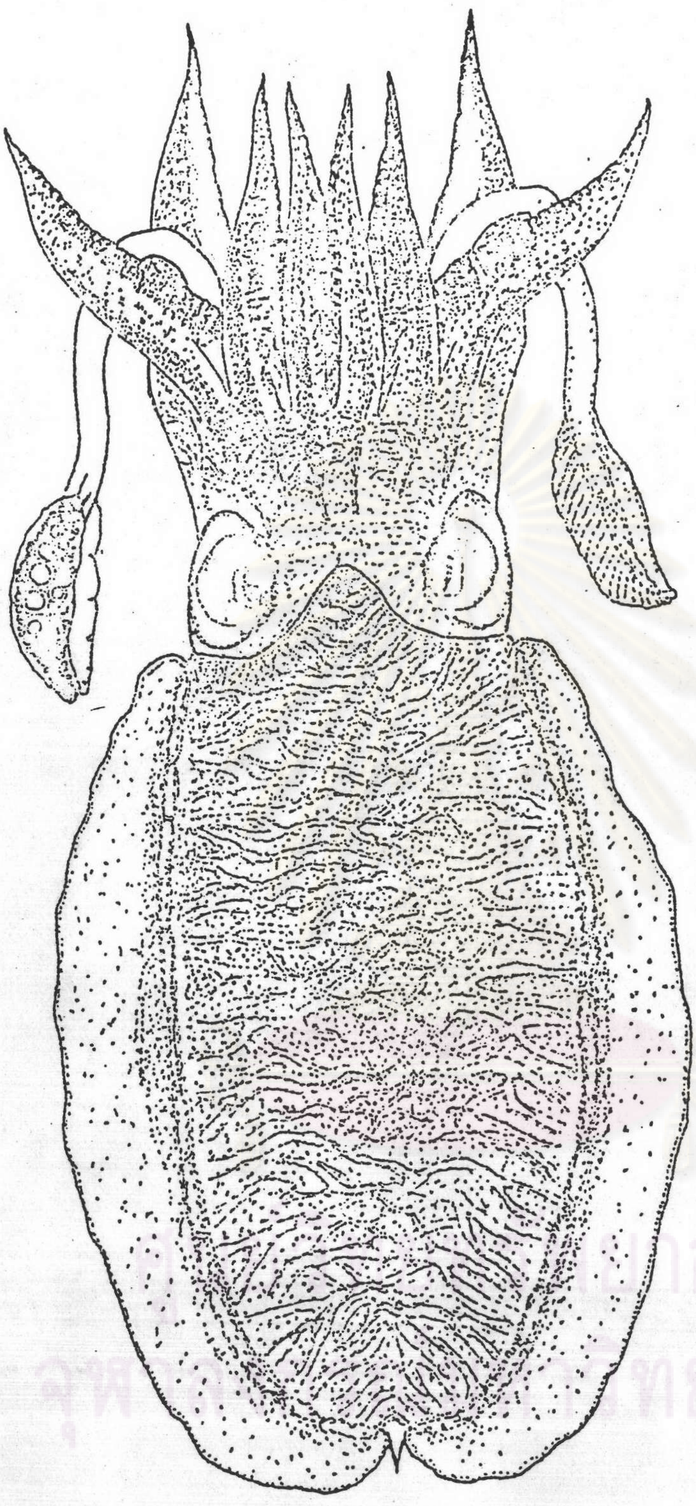
2.1.1 ประวัติและลักษณะทั่วไปของปลาหมึกกระดอง

ปลาหมึกกระดองจัดอยู่ใน Phylum Mollusca อยู่ใน Class Cephalopoda และอยู่ใน Family Sepiidae (1) พันธุ์ของปลาหมึกกระดองที่สำคัญทางการค้า และจับได้ในอ่าวไทยคือ Sepia aculeta , S. pharanosis, S. lysidas, S. recurvirostra, S. brevimana และ Sepiella inermis (10) ลักษณะทั่วไปของปลาหมึกกระดองคือ เป็นปลาหมึกขนาดใหญ่ ลำตัวแบนรูปไข่ ครีบเป็นแผ่นบางอยู่ที่ขอบด้านล่างของลำตัว หัวแบนกว้าง (1) (รูปที่ 1) อาศัยอยู่ตามทะเลเปิดโดยทั่วไป และมักจะเข้ามาวางไข่ตามสถานที่ตื้น ตามสถานที่รก ๆ เช่นข้างเกาะ (11) พบว่าอัตราส่วนของปลาหมึกกระดองเพศผู้น้อยกว่าเพศเมีย และน้ำหนักตัวของเพศเมียจะมากกว่าเพศผู้ ปลาหมึกกระดองพันธุ์ S. pharanosis เป็นปลาหมึกกระดองที่ขนาดใหญ่ที่สุด มีความยาวลำตัวสูงสุด 26.5 เซนติเมตร (10) โดยทั่วไปปลาหมึกกระดองจับได้มากในแถบจังหวัด ตราด ระยอง ชลบุรี สมุทรสาคร ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา (1) ซึ่งมีหลายพันธุ์ปะปนกันและเมื่อส่งไปจำหน่ายไม่ได้คัดเฉพาะแต่ละพันธุ์ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้แยกศึกษาเฉพาะแต่ละพันธุ์ลงไป โดยจะเรียกปลาหมึกกระดองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ว่า Sepia sp.

2.1.2 สถิติการจับและมูลค่าของปลาหมึกกระดอง (10)

ในปี พ.ศ. 2525 ปริมาณสัตว์ทะเลที่จับได้ทั้งหมด 1,986,571 ตัน เป็นปริมาณปลาหมึก 116,607 ตัน แบ่งออกเป็นปลาหมึกกล้วย 70,583 ตัน ปลาหมึกกระดอง 39,009 ตัน และปลาหมึกสาย 7,015 ตัน

ปลาหมึกกระดองจับได้ด้วยเครื่องมืออวนลาก 97.06 เปอร์เซนต์ และเครื่องมืออื่น ๆ 2.94 เปอร์เซนต์ พันธุ์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและจับได้ปริมาณมากมีจำนวน 6 พันธุ์ ได้แก่



รูปที่ 1 ปลาหมึกกระดอง Sepia sp.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พันธุ์	เปอร์เซ็นต์ที่จับได้	ขนาด (เซนติเมตร)
Sepia aculeta	51.6	2.0 - 18.5
S. pharanosis	15.9	3.8 - 26.5
S. recurvirostra	12.1	3.2 - 12.3
S. lysidas	11.0	5.8 - 21.7
S. brevimana	6.6	2.4 - 8.2
Sepiella inermis	2.8	2.0 - 10.5

จากสถิติล่าสุดในปี พ.ศ. 2525 ปลาหมึกที่ส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศมีปริมาณ 49,472 ตัน มูลค่า 2,633 ล้านบาท แบ่งเป็นปลาหมึกแช่แข็ง 42,656 ตัน มูลค่า 1,783 ล้านบาท ปลาหมึกแห้ง ทำเค็ม และแปรรูปอื่น ๆ ปริมาณ 3,565 ตัน มูลค่า 607 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกบรรจุในภาชนะไล่อากาศ 1,341 ตัน มูลค่า 43 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกบรรจุในภาชนะอับอากาศ 1,910 ตัน มูลค่า 200 ล้านบาท จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ปลาหมึกต่าง ๆทั้งหมดที่ส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ พบว่าปลาหมึกกระดองแช่แข็ง เป็นสินค้าที่ทำรายได้เข้าสู่ประเทศมากที่สุดโดยส่งออกปริมาณ 40,054 ตัน มูลค่า 1,722 ล้านบาท

2.1.3 การเพาะเลี้ยงปลาหมึกเชิงพาณิชย์ (3)

ปลาหมึกเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่ทวีความสำคัญขึ้นอย่างมากโดยเฉพาะในระยะเวลา 4-5 ปี ที่ผ่านมา ปริมาณการจับและมูลค่าของผลจับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณของเรือประมงปลาหมึกอย่างรวดเร็วด้วย ทำให้ปริมาณการจับปลาหมึกสูงกว่าศักย์การผลิตอยู่ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในขณะเดียวกันก็ได้มีการสร้างเสริมผลผลิตสัตว์น้ำโดยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งให้เพิ่มขึ้น เพื่อเสริมกำลังผลิตในธรรมชาติ และเป็นแหล่งผลิตอาหารโปรตีนเพื่อบริโภคในประเทศ และส่งเป็นสินค้าออก ปลาหมึกจึงเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาการเพาะเลี้ยงไว้เพื่อตระเตรียมไว้สำหรับอนาคต

การศึกษาทดลองการเพาะเลี้ยงปลาหมึกของกองประมงน้ำกร่อย กรมประมง ได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 ปลาหมึกที่ได้ทดลองทำการเพาะเลี้ยงมี 3 ชนิดคือ ปลาหมึกหอม (Sepioteuthis lessoniana) ปลาหมึกกระดอง (Sepia pharanosis) และ

ปลาหมึกกระดองกันไหม้ (Sepiella inermis) การเพาะเลี้ยงปลาหมึกทั้ง 3 ชนิด กระทำโดยรวบรวมไข่จากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยอาศัย เครื่องมือประมง เช่น อวนลาก ลอบหมึก ไข่ที่ได้จากลอบหมึกจะมีคุณภาพดีกว่าจากอวนลากเพราะกระทบกระเทือนน้อยกว่า ไข่จากลอบหมึกส่วนใหญ่จะเป็นไข่ปลาหมึกหอม ส่วนปลาหมึกกระดองนั้นต้องอาศัยอวนลากและอวนรุน หรือรวบรวมพ่อแม่พันธุ์ให้มาผสมพันธุ์ และวางไข่ในบ่อเลี้ยง แล้วรวบรวมไข่มาฟักอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ได้ไข่ที่มีคุณภาพดี อาหารสำหรับปลาหมึกแรกเกิดคือ เคยตาดำ (Mesopodopsis sp.) ซึ่งรวบรวมจากแหล่งน้ำธรรมชาติ จนกระทั่งปลาหมึกอายุประมาณ 20 วัน ก็เริ่มให้ลูกปลาชนิดต่าง ๆ กุ้งฝอย เคยตาแดง (Acetes sp.) ระหว่างนี้ก็เริ่มหัดให้กินอาหารไม่มีชีวิต เช่น เคยตาย และเนื้อปลาหั่น สำหรับปลาหมึกกระดองนั้น ต้องรอถึงอายุ 30 วัน จึงจะได้ขนาดพอที่จะเริ่มหัดให้กินอาหารไม่มีชีวิตได้ การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาหมึกทั้ง 3 ชนิดในบ่อเพาะเลี้ยงชี้ให้เห็นว่าปลาหมึกหอมให้อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด แต่มีอัตราการรอดตายต่ำ ส่วนปลาหมึกกระดองทั้งสองชนิดให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาหมึกหอมแต่มีอัตราการรอดตายดีกว่า ปลาหมึกกระดอง (Sepia pharanosis) ปรับตัวให้กินอาหารไม่มีชีวิตได้ยากกว่าปลาหมึกกระดองกันไหม้ (Sepiella inermis) ซึ่งว่องไวทนทาน และปรับตัวเข้ากับบ่อเลี้ยงได้ง่าย ปลาหมึกกระดองกันไหม้โตเต็มที่เมื่ออายุประมาณ 4-5 เดือน ภายหลังจากการผสมพันธุ์และวางไข่ก็จะตายไป เช่นเดียวกับปลาหมึกหอม ส่วนปลาหมึกกระดอง ผลการศึกษายังไม่สมบูรณ์ ทราบแต่เพียงว่า เมื่ออายุประมาณ 4 เดือน ก็เริ่มจับคู่ผสมพันธุ์ เช่นเดียวกันและอาจผสมพันธุ์และวางไข่หลายครั้ง ขนาดโตเต็มที่คาดว่ามีอายุประมาณ 2 ปี น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งนับว่าการเพาะเลี้ยงปลาหมึกกระดองทั้งสองชนิดให้ผลดีในเรื่องอัตราการรอดตาย ส่วนอัตราการเจริญเติบโตยังอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าปลาหมึกหอม ดังนั้นควรมีการศึกษาปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคการเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลดียิ่งขึ้น

2.1.4 ประโยชน์ของปลาหมึกกระดองในด้านอุตสาหกรรม

ปลาหมึกกระดองที่จับได้จะนำมาลอกหนัง แกะกระดอง และดึงหัวออก นำส่วนลำตัวไปแช่แข็งส่งขายยังตลาดต่างประเทศ ที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น อิตาลี ฝรั่งเศส ฮ่องกง และเยอรมันตะวันตก ตามลำดับ (12) ปลาหมึกแช่แข็งที่ส่งไปตลาดต่างประเทศนั้นจะนำไปใช้บริโภคโดยตรง และนำไปใช้แปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ จากข้อมูลการนำเข้าปลาหมึกกระดองแช่แข็งทั้งหมดของญี่ปุ่นพบว่าปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ จะนำไปประกอบอาหารทั้งในสภาพสุก

และสภาพดิบ ๆ ซึ่งเรียกว่า sashimi ส่วนปริมาณที่เหลือจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น ปลาหมึกแห้ง ปลาหมึกปรุงรส ปลาหมึกรมควัน ลูกชิ้นปลาหมึก เป็นต้น (13) ส่วนเศษที่เหลือใช้จากปลาหมึกกระดอง คือ กระดองภายในลำตัวจะนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์เลี้ยง เช่น นก หรือบดผสมเข้าเครื่องยาได้ และชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้แก่ ส่วนหัว ใช้ทำลูกชิ้นและปิ้งขาย (1)

2.1.5 คุณค่าทางอาหารของปลาหมึกกระดอง (14)

ปลาหมึกกระดองนับว่าเป็นสัตว์น้ำที่ให้คุณค่าทางอาหารสูงพอสมควร เมื่อเทียบกับสัตว์น้ำประเภทอื่น ๆ แสดงในตารางที่ 1

2.2 กรรมวิธีแช่แข็ง (8)

กรรมวิธีแช่แข็งเป็นวิธีถนอมอาหารวิธีหนึ่งซึ่งแต่เดิมทางการค้าไม่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของกรรมวิธีแช่แข็งจนกระทั่งปลายปีศตวรรษที่ 19 จึงมีการพัฒนากรรมวิธีแช่แข็งขึ้น ในระยะแรกกรรมวิธีแช่แข็ง เริ่มจากการใช้ห้องเย็นสำหรับเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องมือสำหรับแช่แข็ง-ผลิตภัณฑ์จึงทำให้การดำเนินงานล่าช้าและไม่ต่อเนื่อง ตลอดจนไม่สามารถใช้ส่วนต่าง ๆ ภายในห้องเย็นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจุดนี้ทำให้เกิดการพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องมือที่ใช้สำหรับแช่แข็งโดยเฉพาะเรียกว่า freezing tunnel จึงทำให้กรรมวิธีแช่แข็งสามารถดำเนินงานได้ทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ไม่เพียงแต่มีการคิดพัฒนากรรมวิธีแช่แข็งในอุตสาหกรรมเท่านั้น สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึง คือ คุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีแช่แข็งต่าง ๆ และรวมทั้งการใช้ประโยชน์จากกรรมวิธีแช่แข็งเพื่อให้ได้ผลมากที่สุด

2.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลิตภัณฑ์ขณะแช่แข็ง

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงลักษณะกายภาพของผลิตภัณฑ์ในขณะแช่แข็ง ได้แก่การเกิดผลึกน้ำแข็ง ขนาดของผลึกน้ำแข็ง การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ฯลฯ

2.3.1.1 การเกิดผลึกน้ำแข็ง

เมื่อลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จะเริ่มเกิดผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิเฉพาะของจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งจุดเยือกแข็งนี้จะขึ้นโดยตรงกับความ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 คุณค่าอาหารของสัตว์น้ำบางชนิดในส่วนที่กินได้ 100 กรัม (14)

Name of Foods			Moisture	Calories	Fat	Carbo-hydrate	Fibre	Protein	Calcium	Phosphorus	Iron	Vitamin				
Thai	English	Scientific	gm	unit	gm	gm	gm	gm	mg	mg	mg	A I.U.	B_1 mg	B_2 mg	Niacin mg	C mg
ปลาหมึกกระดอง	Cuttlefish	<u>Sepia</u> sp.	81.00	81.00	0.90	1.00	0.00	16.10	27.00	143.00	0.80	0.00	0.70	0.05	2.60	0.00
ปลาหมึกกล้วย	Squid	<u>Loligo</u> sp.	82.00	75.00	0.80	0.70	0.00	15.30	15.00	194.00	1.00	50.00	0.30	0.08	3.20	0.00
ปลาหมึกสาย	Octopus	<u>Octopus</u> sp.	84.10	64.00	0.60	0.00	0.00	13.70	34.00	66.00	1.00	0.00	0.14	0.10	3.00	0.00
หอยนางรม	Oyster	<u>Osterea</u> sp.	82.70	71.00	1.20	6.10	0.00	8.30	98.00	109.00	7.20	192.00	0.22	0.22	1.90	3.00
หอยเชลล์, หอยพัด	Scallop	<u>Anusium</u> pleuronec	72.80	106.00	0.40	3.30	0.00	22.30	14.00	138.00	0.60	-	0.05	0.02	-	0.00
หอยแครง	Ark shell	<u>Area</u> granosa	82.40	72.00	0.80	3.20	0.00	12.20	89.00	123.00	5.20	200.00	0.11	0.18	2.10	0.00
กุ้งทะเล	Shrimp	<u>Penaeus</u> sp.	79.20	87.00	0.90	0.90	0.00	17.60	79.00	184.00	1.60	75.00	0.04	0.08	2.30	1.00
ปูทะเล	Crab	<u>Scylla</u> serrata	74.60	121.00	4.00	0.00	-	19.80	93.00	152.00	1.00	300.00	0.01	0.18	2.10	1.00
ปลาทู	Short-bodied mackerel	<u>Rastrelliger</u> neglectus	76.00	93.00	0.60	0.60	0.00	21.50	42.00	207.00	1.50	-	0.14	0.18	-	0.00
ปลาสลิด	Sipat Siam	<u>Trichogaster</u> pectoralis	80.90	76.00	0.80	0.00	0.10	17.20	70.00	177.00	2.30	109.00	1.00	0.19	2.00	-

<u>หมายเหตุ</u> เครื่องหมาย - แสดงว่ายังไม่มีการรายงานหรือเป็นตัวเลขที่น่าสงสัย

เข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์แต่ไม่ขึ้นกับปริมาณน้ำ ตัวอย่าง เช่น ผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำสูงจะมีจุดเยือกแข็งอยู่ในช่วง -2 ถึง -3 องศาเซลเซียส ขณะที่เนื้อมีปริมาณน้ำต่ำกว่ามากจะเกิดจุดเยือกแข็งที่ -1 องศาเซลเซียส ความแตกต่างนี้เกิดเนื่องจากปริมาณกรดและน้ำตาลที่อยู่ภายในผลไม้สูงกว่าเนื้อ ซึ่งก่อให้เกิดจุดเยือกแข็งของผลไม้ต่ำกว่าเนื้อนั่นเอง (7) การเกิดผลึกน้ำแข็งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะเกิดขึ้นหลังจากเกิดจุดเย็นตัวยวดยิ่ง (supercooling) สิ้นสุดลง (จุดเย็นตัวยวดยิ่งเป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิของสารละลายหรือสารลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งโดยปราศจากการเกิดผลึกน้ำแข็ง) จากนั้นอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้นเนื่องจากสารละลายที่จุดเย็นตัวยวดยิ่งจะคายความร้อนออกมา และน้ำเริ่มเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งที่จุดนี้ ซึ่งก็คือจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์นั่นเอง (6,7)

2.3.1.2 ขนาดของผลึกน้ำแข็ง (7)

อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นอยู่กับอัตราการระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์และอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากสารละลายหรือเจลไปสู่ผิวของผลึกน้ำแข็งที่ก่อตัวขึ้น อัตราเร็วของการแช่แข็งช้าจะก่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ และมีปริมาณผลึกน้ำแข็งจำนวนน้อย การเกิดผลึกน้ำแข็งนี้จะเกิดภายนอกเซล เพราะเกิดจากน้ำที่ซึมผ่านออกมาจากผนังเซลและมีผลทำให้เซลเกิดการยุบตัวลง นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ ขณะที่อัตราเร็วของการแช่แข็งเร็วขึ้น จำนวนผลึกน้ำแข็งมีปริมาณมากขึ้น และขนาดของผลึกน้ำแข็งเล็กลง นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งจะเกิดภายในเซลของผลิตภัณฑ์ ได้มีการค้นคว้าอย่างมากเกี่ยวกับขนาดและตำแหน่งของผลึกน้ำแข็งที่มีผลต่อคุณภาพทาง organoleptic ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่ามีผลเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็วของการแช่แข็งเร็วจะมีผลต่อการสูญเสียน้ำในเนื้อเยื่อเมื่อน้ำแข็งละลาย (drip loss) ต่ำกว่าวิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็วของการแช่แข็งช้า และจะช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีอยู่เสมอ (7,15)

2.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (7)

เมื่อน้ำบริสุทธิ์เปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรคือทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นประมาณ 9 เปอร์เซนต์ ผลิตภัณฑ์อาหารเมื่ออยู่ในสภาพแช่แข็งก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยกว่าเพียงประมาณ 6 เปอร์เซนต์เท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่ามีน้ำเพียงบางส่วนในผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็งและในขณะเดียวกันมีช่องว่างอากาศอยู่ภายในผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วย การใช้วิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็ว

ของการแช่แข็งเร็วยิ่ง (เช่น วิธีแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว) จะทำให้เกิดความดันภายในเซล สูงมาก และเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็วก่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกและเสียหายได้

2.3.1.4 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำความร้อน (7)

เมื่อน้ำบริสุทธิ์เปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็งจะทำให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้น จากเดิม 4 เท่า การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขณะแช่แข็ง และการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์จะมีผลต่ออัตราเร็วของการแช่แข็ง การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์จะแปรเปลี่ยนไปอย่างมากกับชนิด อุณหภูมิ และการจัดเรียงตัวของโครงสร้างในเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ ค่าการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ จะแปรเปลี่ยนไปกับอุณหภูมิ แสดงในตารางที่ 2

2.3.1.5 ปริมาณความร้อนที่ระบายออก (6,7)

ปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากผลิตภัณฑ์อาหารขณะแช่แข็งจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็งได้ ปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในการทำให้อาหารเย็นตัวลงจากอุณหภูมิหนึ่งไปสู่อุณหภูมิหนึ่ง คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ซึ่งประกอบขึ้นจากความร้อนที่ระบายออกจากผลิตภัณฑ์ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็ง ความร้อนแฝงของการเกิดผลึกน้ำแข็งและความร้อนจากอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์แช่แข็ง การเกิดการเปลี่ยนวัฏภาคของสาร เช่น ไขมันเปลี่ยนไปเป็นผลึกจะคายความร้อนออกมาแต่ค่าความร้อนนี้น้อยมาก อาจไม่นำไปรวมกับค่าเอนทาลปี เอนทาลปีทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขณะแช่แข็ง เป็นตัวแปรหนึ่งที่นำไปใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องมือสำหรับแช่แข็ง

2.3.1.6 การสูญเสียความชื้น

ในขณะแช่แข็งถ้าผลิตภัณฑ์ไม่ได้บรรจุอยู่ในภาชนะจะทำให้เกิดการสูญเสียความชื้น แต่ป้องกันได้โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุที่สามารถกันการซึมผ่านของน้ำ และใช้วิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็ว (6,7) ถ้าบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุที่เกิดช่องว่างอากาศระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์และผิวของภาชนะบรรจุ ความชื้นจากผลิตภัณฑ์จะไม่สูญเสียผ่านออกไปจากภาชนะบรรจุ แต่ปริมาณน้ำจะยังคงอยู่ในรูปเกล็ดน้ำแข็งเล็ก ๆ เกาะอยู่ตามผิวด้านในของภาชนะบรรจุ ผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่ไม่ได้บรรจุในภาชนะบรรจุจะสูญเสียความชื้นประมาณ 0.5 - 1.5 เปอร์เซนต์ หรืออาจมากกว่านี้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิขณะแช่แข็ง อัตราเร็วของการแช่แข็ง

ตารางที่ 2 ค่าการนำความร้อนของอาหารบางชนิด (W/^{o}c.m)

Temperature °C (°F)	Pork fat	Beef fat	Peas	Strawberries	Beef	Beef
0 (32)	0.21	0.29	0.29	0.67	0.50	0.50
−10 (14)	0.21	0.29	0.46	1.09	1.07	1.36
−20 (−4)	0.21	0.29	0.55	1.14	1.17	1.44
Moisture content %	6	9	Presumably between 70 and 80	Presumably between 85 and 90	74	75
Fat content %	93	89	—	—	3.4	0.9
Remarks	Exterior fat	Udder fat	Shelled and blanched, bulk density 700 kg/m^3 (44 lb/ft^3)	Mixed sizes tightly packed, bulk density 800 kg/m^3 (50 lb/ft^3)	Heat flow perpendicular to grain	Heat flow parallel to grain

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีแช่แข็ง และชนิดของผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่แข็ง วิธีแช่แข็งด้วยลมเย็นเมื่อใช้อุณหภูมิลมที่เย็นจัด ลมเย็นจะมีปริมาณความชื้นต่ำ จึงสามารถดึงเอาความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้ดี และอัตราเร็วของการแช่แข็งเร็วขึ้น จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะแช่แข็งผลิตภัณฑ์จะเกิดการสูญเสียความชื้นไป เนื่องจากการระเหย และการระเหยจะลดต่ำลง เมื่อผิวของผลิตภัณฑ์มีสิ่งป้องกันความชื้น (moisture-resistance) เช่น พวกไขมันต่าง ๆ ดังนั้นการออกแบบเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแช่แข็งจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะลดการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ (7)

2.3.2 ลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ (Physicochemical)

2.3.2.1 องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลง pH (7)

ขณะแช่แข็งปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารจำนวนมากจะเปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็ง ซึ่งทำให้สารละลาย สารคอลลอยด์ และสารแขวนลอยต่าง ๆ มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH เนื่องจากค่า pH จะไปมีผลต่อเสถียรภาพของสารคอลลอยด์ และสารแขวนลอยต่าง ๆ และมักพบว่าการเปลี่ยนแปลง pH ของผลิตภัณฑ์อาหารขณะแช่แข็ง จะมีแนวโน้มเป็นกรดมากขึ้น โดยที่ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงจะลดลงไปประมาณ 1 หน่วย นอกจากนี้ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้นจะมีผลต่อการตกผลึกของเกลือ และสารประกอบต่าง ๆ จะละลายได้น้อยลง เช่น พวกฟอสเฟต ถ้า pH เกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก (อาจลดลงไป 2 หน่วย) และองค์ประกอบของสารละลายเกลือในอาหารเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ของอาหาร แบบไม่สามารถย้อนกลับได้ เช่น มีผลเสียต่อเอนไซม์แลคติกดีไฮโดรจีเนส (lactic dehydrogenase) เอนไซม์จากเนื้อเยื่อ และไลโปโปรตีน (lipoprotein) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในไข่แดง ซึ่งจะถูกทำลายขณะแช่แข็ง เมื่อค่า pH ลดจาก 7 ถึง 5 และเมื่อความเข้มข้นของฟอสเฟตเพิ่มขึ้น

2.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีฟิสิกส์

ขณะแช่แข็งน้ำภายในเซลบางส่วนอาจจะเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งนอกเซลจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในเนื้อเยื่อเมื่อน้ำแข็งละลายและยังมีผลต่อการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อีกด้วย (7,15) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีฟิสิกส์อื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์แช่แข็ง เช่น การเปลี่ยนแปลงโปรตีนแอคโตมัยซิน (actomysin) ในเนื้อเยื่อของปลาทำให้เนื้อปลามีความหยาบและ

เหนียวขึ้น การเกิดลักษณะแห้ง (desiccation) ของสัตว์ปีก การสูญเสียความเต่งของผักและผลไม้สด และการสูญเสียสภาพเจลของไข่แดง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีฟิสิกส์หลาย ๆ อย่างจะเกิดมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้นขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาพที่ยังไม่แข็งตัว และการเปลี่ยนแปลงนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ทั้งนี้เพราะเกลือในสารละลายจะเกิดการเคลื่อนที่ได้น้อยลง โดยทั่วไปแล้วเนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีฟิสิกส์จะเกิดได้ดี และทำลายผลิตภัณฑ์ให้เสียหายมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ระหว่างจุดเยือกแข็ง และ - 10 องศาเซลเซียส จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะให้ผลิตภัณฑ์อยู่ภายใต้อุณหภูมิช่วงนี้เป็นระยะเวลาสั้นที่สุด (7)

2.3.3 ลักษณะทางชีวเคมี (7)

เมื่อสัตว์มีชีวิตอยู่กล้ามเนื้อได้รับพลังงานจากการสลาย adenosinetriphosphate (ATP) และเมื่อ ATP ในกล้ามเนื้อลดลงชั่วขณะก็จะถูกสร้างขึ้นมาใหม่ทันทีโดยใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากไกลโคเจนที่ถูกออกซิไดส์ไปเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อสัตว์ตายลงเมตาบอลิซึมภายในกล้ามเนื้อยังคงดำเนินอยู่ต่อไป กระบวนการไกลโคลไลซิส (glycolysis) ก็ยังคงเกิดและสร้าง ATP อยู่ตลอดเวลา แต่ปริมาณที่ได้นั้นเทียบแล้วน้อยกว่าขณะเมื่อสัตว์มีชีวิตอยู่ ATP จะลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนไม่สามารถป้องกัน cross-linking ระหว่างกล้ามเนื้อ actin และ myosin เป็นผลทำให้กล้ามเนื้อหดตัวเสียสภาพการยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ ซึ่งเรียกว่าเกิด "rigor mortis" และจะเกิดปริมาณแลคเตทและไฮโดรเจนอิออน ตัวอย่างเช่น ในกล้ามเนื้อวัว ไฮโดรเจนอิออนที่เกิดขึ้น มีผลทำให้ pH กล้ามเนื้อลดลงจาก 7.2 เป็น 5.5 ค่า pHสุดท้าย 5.5 นี้เป็นจุดที่ใกล้กับ isoelectric point ของโปรตีนกล้ามเนื้อและเป็นจุดที่โปรตีนในกล้ามเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำสุด ซึ่งจะทำให้มีผลต่อการสูญเสียน้ำในเนื้อเยื่อเมื่อน้ำแข็งละลายค่อนข้างสูง ถ้า pH สุดท้ายมีค่าสูงกว่านี้ จะทำให้โปรตีนกล้ามเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น ค่า pH สุดท้ายในกล้ามเนื้อจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณไกลโคเจนที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อก่อนสัตว์ถูกนำไปฆ่า ถ้าสัตว์เกิดการตกใจหรือเกิดสภาวะเครียดก่อนถูกฆ่าจะทำให้มีปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อต่ำลง และมีผลทำให้โปรตีนกล้ามเนื้อมีค่า pH สุดท้ายสูงกว่าปกติ จึงมีผลทำให้เนื้อหลังฆ่าเกิดการเน่าเสียเร็ว เนื่องจากมีปริมาณกรดแลคติคต่ำ จุลินทรีย์ต่าง ๆ จึงเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งจะทำให้รสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเสียไปด้วย

การเกิดไกลโคลไลซีสในกล้ามเนื้อหลังจากสัตว์ตายลงจะช้าหรือเร็วขึ้นกับอุณหภูมิ ขณะที่สัตว์ตายลงกระบวนการไกลโคลไลซีสจะเกิดได้เร็วเพราะอุณหภูมิร่างกายของสัตว์ยังสูงทำให้เกิดการลดลงของ pH และปริมาณ ATP อย่างรวดเร็วและทำให้เกิด rigor mortis อย่างรวดเร็วด้วยหลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอื่น ๆ ก็จะเกิดตามมา เช่น เกิดการย่อยสลายโปรตีนเนื่องจากโปรตีโอไลติกเอนไซม์ (proteolytic enzymes) รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่าง ๆ เป็นผลทำให้เกิดการเน่าเสียของเนื้อ ดังนั้นถ้านำสัตว์ที่ตายลงมาทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จะช่วยระงับการเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ และจะช่วยให้โปรตีนกล้ามเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำยังคงสูงอยู่และเนื้อสัตว์ที่ได้จะมีความนุ่ม

2.3.4 ลักษณะทางจุลชีววิทยา

พืชและสัตว์ที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์โดยมากจะเกิดการเน่าเสียได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี ชีวเคมี และจุลชีววิทยา (7,8) ที่อุณหภูมิห้องทั่ว ๆ ไป จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการก่อให้เกิดการเน่าเสียของอาหารมากกว่าการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ วัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติมักพบจุลินทรีย์ปนอยู่ด้วยเสมอ และเมื่อจุลินทรีย์เจริญเติบโตก็จะปล่อยเอนไซม์ต่าง ๆ ลงบนผลิตภัณฑ์ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ จุดประสงค์สำคัญของการถนอมรักษาอาหารก็เพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น ซึ่งทำได้โดยวิธีการฆ่าจุลินทรีย์ หรือยับยั้งความสามารถต่าง ๆ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (7)

<u>การทำลายจุลินทรีย์ขณะแช่แข็ง</u>

จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคบางชนิดจะทนต่อการแช่แข็งมากกว่าจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของอาหาร บักเตรีที่ก่อให้เกิดโรคโดยทั่ว ๆ ไป ส่วนมากจะเป็นพวกแกรมลบ ซึ่งจะถูกทำลายด้วยการแช่แข็ง ง่ายกว่าบักเตรีที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของอาหารซึ่งเป็นพวกแกรมบวก (7) นอกจากนี้แล้วพบว่า วิธีแช่แข็งที่ใช้จะมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์กล่าวคือ วิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็วของการแช่แข็งช้า จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งอย่างช้า ๆ และผลึกจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่าอัตราเร็วของการแช่แข็งเร็ว (7,15) จุลินทรีย์บางส่วนจะถูกทำลายได้ในขณะแช่แข็ง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในตู้แช่แข็งแต่ทั้งนี้จะขึ้นกับวิธีแช่แข็งและชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร ด้วยเหตุนี้การแช่แข็งจึงไม่สามารถที่จะลดจำนวนบักเตรีที่ปนเปื้อนอยู่

ในอาหารได้ทั้งหมด (7)

2.4 เวลาสำหรับการแช่แข็ง (7)

เวลาสำหรับการแช่แข็งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดหาได้จากการทดลองโดยสังเกตจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ การคำนวณเวลาสำหรับการแช่แข็งเป็นสิ่งที่ไม่นิยมทำและทำได้ยาก เนื่องจากมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากมาย แต่อาจอาศัยเทคนิคการคำนวณสมัยใหม่เข้ามาช่วยเพื่อที่จะได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำขึ้น ซึ่งเวลาสำหรับการแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาจคำนวณได้จาก Plank's formula โดยมีสูตรดังนี้

$$t = \frac{\Delta H}{\Delta \theta} \gamma \frac{D}{N} \left(\frac{D}{4\lambda} + \frac{1}{\alpha}\right)$$

t = เวลาสำหรับการแช่แข็ง (hr.)

ΔH = ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ระบายออกจากผลิตภัณฑ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (BTU/lbm)

$\Delta \theta$ = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิของตัวกลางในการแช่แข็ง (^{o}F)

D = ความหนาของผลิตภัณฑ์ในทิศทางขนานกับแนวการถ่ายเทความร้อน (ft)

γ = ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ในสภาวะแช่แข็ง (lbm/ft^3)

N = ตัวเลขที่ขึ้นกับรูปร่างของผลิตภัณฑ์ (2,4 และ 6 คือ ผลิตภัณฑ์รูปแบน ทรงกระบอก และทรงกลม ตามลำดับ)

λ = ค่าการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์ในสภาวะแช่แข็ง (BTU/hr. ft. ^{o}F)

α = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างตัวกลางในการแช่แข็ง และผลิตภัณฑ์ (รวมผลที่เกิดจากภาชนะบรรจุด้วย) (BTU/hr. ft^2. ^{o}F)

สูตรดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการประมาณเวลาสำหรับการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งได้มีการพิสูจน์ ผลการทดลองเพื่อที่จะได้ศึกษาให้ครอบคลุมถึงตัวแปรต่าง ๆ แล้ว แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องมือแช่แข็ง

009173

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเวลาสำหรับการแช่แข็ง

กระบวนการแช่แข็งจะช้าหรือเร็วขึ้นกับตัวแปรหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่แข็ง ขนาดผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ในสภาวะแช่แข็ง อุณหภูมิตัวกลางในการแช่แข็ง อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ ค่าการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์ในสภาวะแช่แข็ง และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแห่งการพา (7,16)

2.5.1 ขนาดของผลิตภัณฑ์ (7,16)

เวลาสำหรับการแช่แข็งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของผลิตภัณฑ์ ขณะที่ความหนาของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์จะนานขึ้น ดูรูปที่ 2

2.5.2 อุณหภูมิตัวกลางในการแช่แข็ง (7,16)

การลดอุณหภูมิตัวกลางในขณะแช่แข็งให้ต่ำลงจะช่วยเพิ่มแรงขับ (driving force) ในการระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้นทำให้ได้เวลาสำหรับการแช่แข็งผลิตภัณฑ์จะเร็วขึ้น ดูรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิตัวกลางในการแช่แข็งจะมีอิทธิพลอย่างเด่นชัด เมื่ออุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิตัวกลางมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยมีผลทำให้ เวลาสำหรับการแช่แข็งนานขึ้น

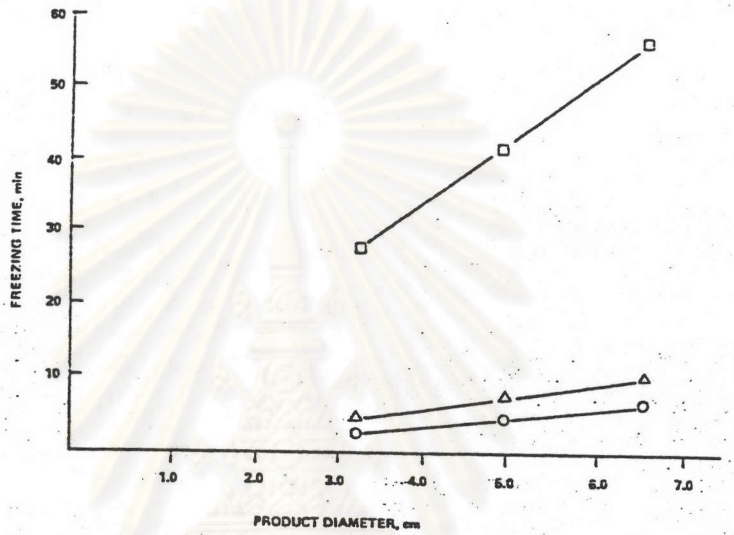
2.5.3 อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (16)

อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อเวลาสำหรับการแช่แข็ง ดูรูปที่ 4 จะเห็นว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในช่วง 5 ถึง 15 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อเวลาสำหรับการแช่แข็งเพียงเล็กน้อย

2.5.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแห่งการพา (16)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแห่งการพาจะมีอิทธิพลต่อเวลาสำหรับการแช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญ ดูรูปที่ 5 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแห่งการพามีค่าต่ำกว่า 175 วัตต์/เมตร..เคลวิน เวลาสำหรับการแช่แข็งจะนานขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแห่งการพามีค่าสูงมาก ๆ เวลาสำหรับการแช่แข็งเมื่อขนาดผลิตภัณฑ์ต่างกันจะมีเพียงเล็กน้อย

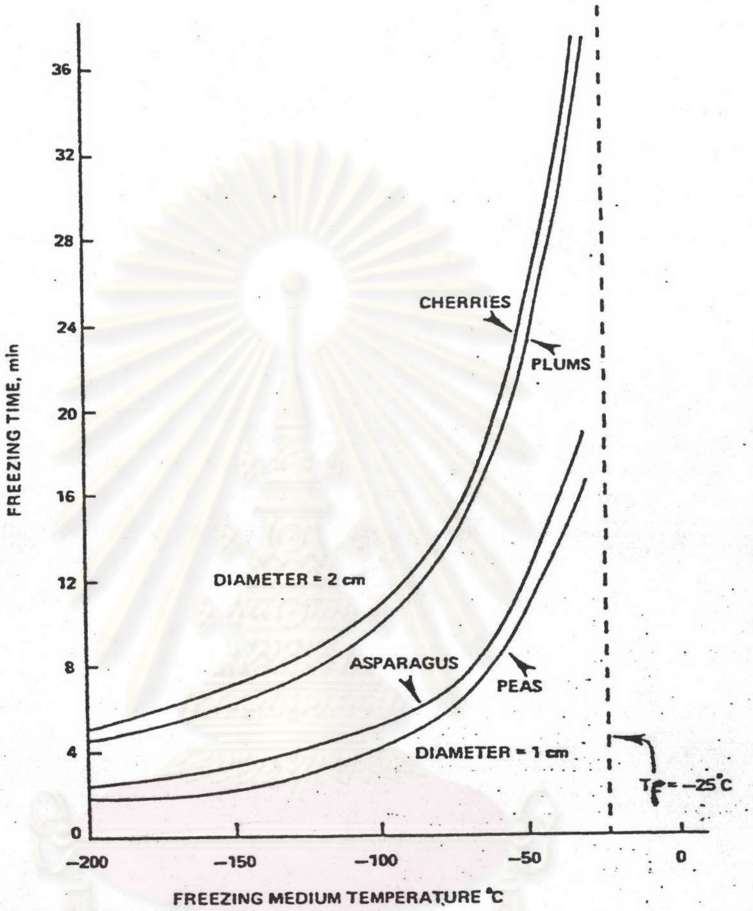
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 อิทธิพลของขนาดผลิตภัณฑ์ที่มีต่อเวลาสำหรับการแช่แข็ง

(For □, h = 22.7 W/m²K; for Δ, h = 170.35 W/m²K; for O, h = 340.7 W/m²K)

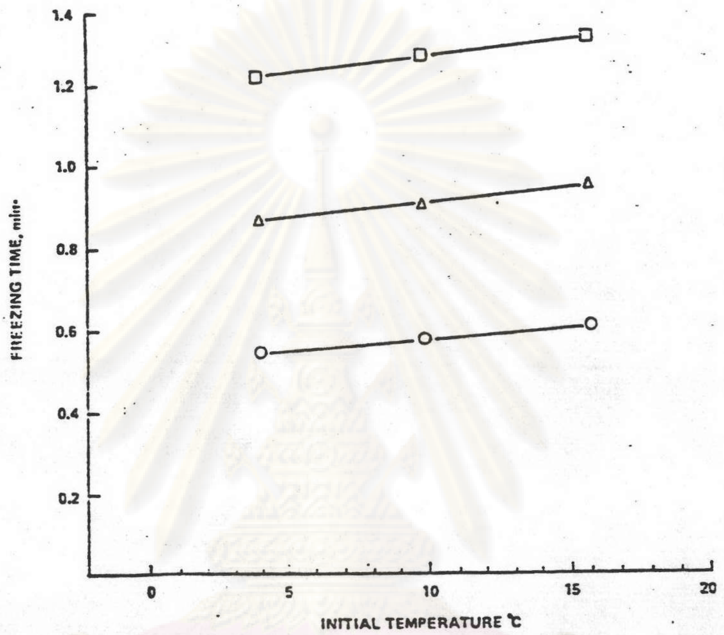
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



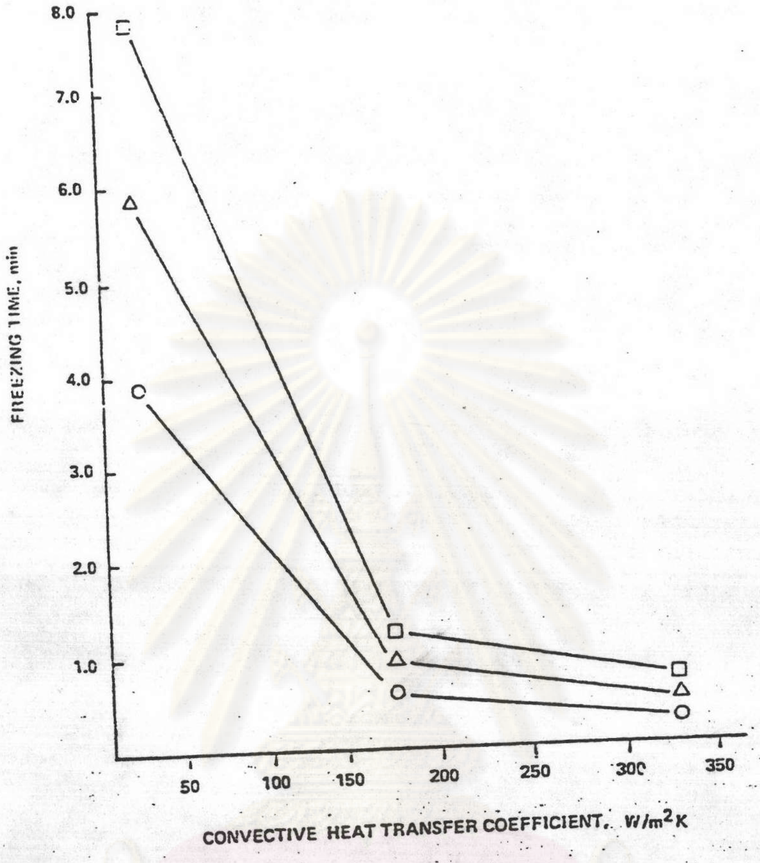
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3 อิทธิพลของอุณหภูมิตัวกลางในการแช่แข็งที่มีต่อเวลาสำหรับการแช่แข็ง

(T_i = 10°C; h = 25W/m²K; T_F = −25°C)



รูปที่ 4 อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อเวลาสำหรับการแช่แข็ง *(For □, diameter = 2.54 cm; for Δ, diameter = 1.31 cm; for O, diameter = 1.27 cm; T = −196°C; h = 170.35 W/m^2K)*



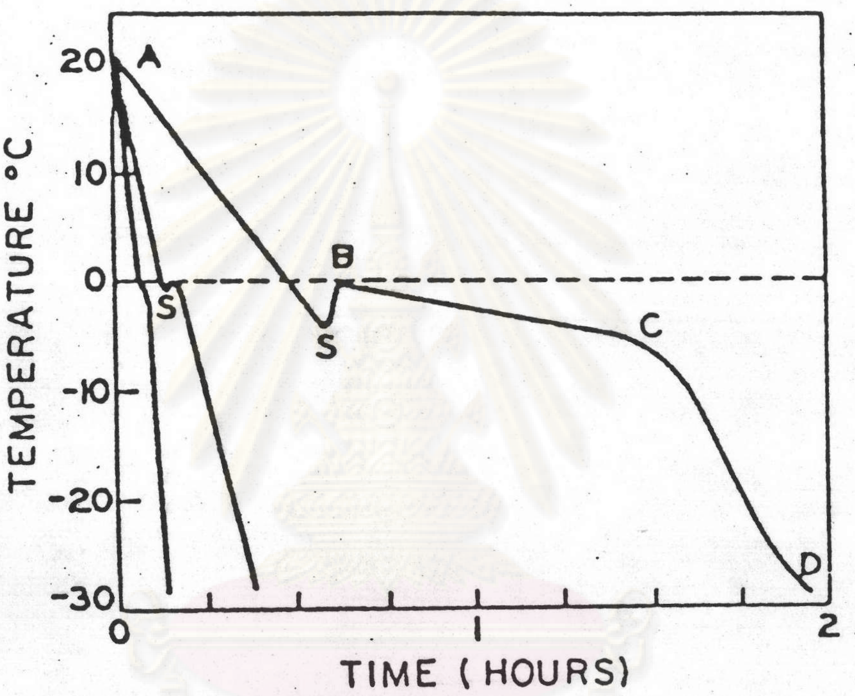
รูปที่ 5 อิทธิพลของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแห่งการพาที่มีต่อเวลาสำหรับการแช่แข็ง *(For □ diameter = 2.54 cm; for Δ, diameter = 1.91 cm; for O, diameter = 1.27 cm; $T_i = 10°C$; $T_\infty = -196°C$)*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในขณะแช่แข็ง (6)

รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารในสภาวะแช่แข็งจะเป็นพื้นฐานที่นำไปสู่ความเข้าใจในกระบวนการแช่แข็งได้ดีขึ้น ดูรูปที่ 6 จากจุด A-S เป็นช่วงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงเป็นการระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากน้ำไปเป็นผลึกน้ำแข็ง จุด s เป็นจุดเย็นตัวยวดยิ่ง (supercooling) คือจุดที่สารละลายภายในผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งแต่ไม่เกิดผลึกน้ำแข็ง ซึ่งจุดนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องพบเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่ความไว, การสนองตอบต่อเวลา และตำแหน่งของเครื่องวัดอุณหภูมิ และหลังจากจุดเย็นตัวยวดยิ่งผ่านไปเล็กน้อยจะเกิดความร้อนของการเกิดผลึกน้ำแข็ง ซึ่งทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นและเริ่มเกิดผลึกน้ำแข็งซึ่งก็คือ จุดเยือกแข็งที่จุด B นั่นเอง จากจุด B-C เป็นช่วงเวลาที่น้ำส่วนมากเปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็งมากที่สุด ความร้อนที่ระบายออกช่วงนี้ เกิดจากความร้อนที่น้ำเปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็ง และความร้อนที่ระบายออกจากผลิตภัณฑ์ขณะแช่แข็ง ในช่วงต้นของ B-C น้ำบริสุทธิ์จะแยกตัวออกไปเป็นผลึกน้ำแข็ง ขณะที่ดำเนินไปในช่วงท้าย ๆ ของ B-C จะเกิดสารละลายผสมต่าง ๆ หลายชนิดปะปนกัน และจุด C เป็นจุดที่มีปริมาณน้ำที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็งได้น้อยกว่าจุดเริ่มแรกของผลิตภัณฑ์ การระบายความร้อนจากช่วง C-D จะมีผลต่อการลดอุณหภูมิลงได้มากกว่าช่วง B-C และแม้ว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงถึงจุด D อุณหภูมิที่จุดนี้ก็ยังคงเหลือปริมาณน้ำที่ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็งได้ การเปลี่ยนน้ำไปเป็นผลึกน้ำแข็งของผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แสดงในตารางที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในขณะแช่แข็ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนน้ำเป็นผลึกน้ำแข็งของอาหารบางชนิด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

Temperature °C (° F)	Lean meat (74.5% H_2O)	Haddock (83.6% H_2O)	Egg white (86.5% H_2O)	Egg yolk (50% H_2O)
0 (32)	0	0	0	0
-1 (30.2)	2	9.7	48	42
-2 (28.4)	48	55.6	75	67
-3 (26.6)	64	69.5	82	73
-4 (24.8)	71	75.8	86	77
-5 (23.0)	74	79.6	87	79
-10 (14.0)	83	86.7	92	84
-20 (-4)	88	90.6	93	87
-30 (-22)	89	92.0	94	89
-40 (-40)	—	92.2	—	—

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 อัตราเร็วของการแช่แข็ง

อัตราเร็วของการแช่แข็งของผลิตภัณฑ์ คือ อัตราส่วนระหว่างระยะทางสั้นที่สุด จากผิวถึงจุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ และเวลาที่ผ่านไปเมื่ออุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ 0 องศาเซลเซียสลดจนกระทั่งอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งลงอีก 10 องศาเซลเซียส โดยที่ความหนาของผลิตภัณฑ์มีหน่วยเป็น เซนติเมตร และเวลามีหน่วยเป็นชั่วโมง (7) อัตราเร็วของการแช่แข็งจะแสดงอยู่ในรูปเซนติเมตร/ชั่วโมง ช่วงอัตราเร็วของการแช่แข็งมีตั้งแต่น้อยกว่า 0.2 ถึง 100 เซนติเมตร/ชั่วโมง โดยจัดเรียงอัตราเร็วของการแช่แข็งตามลำดับดังนี้ น้อยกว่า 0.2 เซนติเมตร/ชั่วโมง คือ การแช่แข็งช้า, 0.5 ถึง 3 เซนติเมตร/ชั่วโมง คือ การแช่แข็งค่อนข้างเร็ว, 5 ถึง 10 เซนติเมตร/ชั่วโมง คือการแช่แข็งเร็ว และ 10 ถึง 100 เซนติเมตร/ชั่วโมง คือ การแช่แข็งเร็วมาก (7,17)

2.8 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็ง

2.8.1 อุณหภูมิการเก็บรักษา

ปกติผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส (18) ซึ่งเป็นสภาวะที่มีน้ำบางส่วนยังคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ การเสื่อมสลายและการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็ยังคงเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวเคมี และกายภาพ แต่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา เพราะอุณหภูมิระดับนี้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยทั่วไปบักเตรีไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์มีค่า water activity (a_w) ลดต่ำลงแต่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียสนี้ยังคงมีจุลินทรีย์ที่สามารถทนต่อสภาวะแห้งแล้งได้ เช่น พังไจ และยีสต์ ยีสต์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า -12 องศาเซลเซียส พังไจไม่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าเก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็งไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า -18 องศาเซลเซียส อาจพบโคโลนีของยีสต์หรือพังไจบนผิวของผลิตภัณฑ์แช่แข็งได้ (7)

2.8.2 การสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บรักษา

การสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บรักษาเป็นปัญหายุ่งยาก มากกว่าขณะแช่แข็งเนื่องจากช่วงระยะเวลาการเก็บนาน การใช้ภาชนะบรรจุที่กันการซึมผ่านของไอน้ำ และบรรจุ

ผลิตภัณฑ์ให้แนบสนิทโดยไม่มีช่องว่างอากาศจะลดปัญหาการเกิดการสูญเสียความชื้น (5,7) อย่างไรก็ตามเราคงพบผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดยังคงเก็บไว้ในสภาพไม่บรรจุภาชนะหรือบรรจุในภาชนะที่ไม่สามารถกันการซึมผ่านของไอน้ำได้เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความชื้นอยู่ตลอดเวลา (6,7) นอกจากนี้การสูญเสียความชื้นยังขึ้นกับอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิของ evaporator ในอุปกรณ์แช่แข็ง และอุณหภูมิภายในห้องเก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็ง การสูญเสียความชื้นเกิดขึ้นต่อเมื่ออุณหภูมิการเก็บสูง อุณหภูมิการเก็บเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ และเมื่ออุณหภูมิของ evaporator ต่ำกว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเกิดการส่งผ่านความร้อนและไอน้ำจากผลิตภัณฑ์ไปสู่ evaporator (7)

ถ้าใช้ภาชนะบรรจุที่กันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีแต่บรรจุผลิตภัณฑ์ไม่แนบสนิทกับภาชนะบรรจุ การสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลาแต่ไม่ผ่านออกไปนอกภาชนะบรรจุจะเกิดเป็นเกล็ดน้ำแข็งเล็ก ๆ เกาะอยู่ตามผิวด้านในของภาชนะบรรจุโดยมีกลไกการเกิดดังนี้ (7)

1. ชั้นอากาศที่เกิดระหว่างผลิตภัณฑ์และภาชนะบรรจุซึ่งอยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะที่อุณหภูมิรอบๆ ผลิตภัณฑ์ลดต่ำลงมีผลทำให้อุณหภูมิที่ผิวภายในของภาชนะบรรจุลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ชั่วขณะหนึ่ง ผลึกน้ำแข็งที่ผิวของผลิตภัณฑ์หรือในผลิตภัณฑ์จะเกิดการระเหิดขึ้นแล้วควบแน่นเป็นเกล็ดน้ำแข็งเล็ก ๆ เกาะอยู่ผิวภายในของภาชนะบรรจุ

2. เมื่ออุณหภูมิสภาพรอบ ๆ สูงขึ้นจะเกิดกระบวนการย้อนกลับจากข้อ 1 แต่จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำกลับคืนบนผิวของผลิตภัณฑ์มากกว่าที่จะกลับเข้าไปแทรกอยู่ภายในเนื้อเยื่อ

3. เมื่อเกิดวัฏจักรของการเปลี่ยนแปลงความร้อน-ความเย็นสลับกันบ่อย ๆ ผลึกน้ำแข็งบนผิวผลิตภัณฑ์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่ผิวภายในของภาชนะบรรจุมากกว่าผลึกน้ำแข็งภายในผลิตภัณฑ์

ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ไม่เหมาะสมจะมีผลต่อการระเหิดของน้ำแข็งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่องหรือตำหนิอย่างหนึ่งที่เรียกว่า "freezer burn" (6) เป็นลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้ง เป็นจุดน้ำตาล ไม่เป็นที่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค การระเหิด และการเกิด freezer burn สามารถลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการป้องกันการสูญเสียความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ให้ดีที่สุด เช่น เก็บผลิตภัณฑ์ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ใช้น้ำเคลือบ หรือบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะที่กันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี

และบรรจุอย่างถูกวิธี (7)

นอกจากการสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บรักษาแล้วยังพบว่าผลึกน้ำแข็งเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ระหว่างการเก็บรักษาด้วย และมักพบเสมอเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส แต่สามารถป้องกันการเกิดการจัดเรียงตัวของผลึกน้ำแข็งใหม่ได้ด้วยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ที่คงที่ และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในช่วงเวลาสั้น ๆ (6)

2.8.3 ข้อแนะนำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็ง (7)

คุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่แข็งจะเก็บรักษาไว้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเก็บที่เหมาะสมสำหรับระยะเวลาการเก็บขณะใดขณะหนึ่ง และขณะที่เก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็งเพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีควรปฏิบัติดังนี้

1. เก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็งไว้ที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า - 18 องศาเซลเซียส และสม่ำเสมอตลอดเวลา

2. เก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็งไว้ในห้องเก็บรักษาที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

3. ไม่เก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่มีอายุเกินกำหนดไว้ในห้องเก็บรักษาอีกต่อไป

4. ไม่เก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่ชำรุดเสียหาย แตกหัก หรือภาชนะบรรจุฉีกขาดไว้ในห้องเก็บรักษา

5. ภายในห้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็งไม่ควรมีสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ เข้าไป เช่น หนู ขนสัตว์ต่าง ๆ และสิ่งอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ จึงจำเป็นต้องออกแบบห้องเก็บรักษาให้เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว

2.9 การละลายน้ำแข็ง (7)

ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งถ้านำไปประกอบอาหารโดยทำให้สุกในสภาวะที่เป็นน้ำแข็งหรือสภาวะที่น้ำแข็งละลายบางส่วนจะเป็นผลดีเนื่องจากจะช่วยรักษา กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ จึงเหมาะสำหรับการใช้ผลิตภัณฑ์แช่แข็งเพื่อประกอบอาหารภายในบ้านเพราะสะดวกและรวดเร็ว แต่มีผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งบางชนิดซึ่งต้องละลายน้ำแข็งก่อนที่จะนำไปรับประทาน เช่น น้ำผลไม้ ผลิตภัณฑ์ขนมอบต่าง ๆ เช่น ขนมปัง เค้ก วิธีการละลายน้ำแข็งมีอยู่ 2 หลักการคือ การนำความร้อนจากผิวไปสู่ภายในผลิตภัณฑ์ และการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้น

ภายในผลิตภัณฑ์ หลักการแรกทำโดยให้ความร้อนไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์โดยจัดให้ผิวของผลิตภัณฑ์สัมผัสกับแหล่งให้ความร้อน เช่น แผ่นโลหะร้อน อากาศร้อน น้ำอุ่น หรือไอน้ำภายใต้สุญญากาศ หลักการที่สองทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธี การเกิดความต้านทานไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์อาหาร ไดอิเลคตริคหรือไมโครเวฟ แต่วิธีการละลายน้ำแข็งด้วยการให้ความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์นิยมทำมากกว่าการทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์

2.9.1 การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีให้ความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์

การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีนี้สามารถทำให้เวลาการละลายน้ำแข็งลดลงได้ดังนี้

1. เมื่อลดขนาดของผลิตภัณฑ์แช่แข็ง
2. เมื่อผลิตภัณฑ์แช่แข็งมีค่าการนำความร้อนสูงขึ้น
3. เมื่อเพิ่มความแตกต่างอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์แช่แข็งและสภาพแวดล้อม
4. เมื่อเพิ่มการเคลื่อนที่ของตัวกลางในสภาพแวดล้อมให้เร็วกว่าผิวของผลิตภัณฑ์
5. เมื่อเพิ่มความชื้นของสภาพแวดล้อม

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการละลายน้ำแข็งแล้วจะมีการนำความร้อนต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แช่แข็ง หลักการละลายน้ำแข็งด้วยวิธีให้ความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะทำได้ไม่ค่อยดีระหว่างผลิตภัณฑ์กำลังละลายน้ำแข็งเนื่องจากเกิดความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ วิธีนี้จะได้ผลดีต่อเมื่อเกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมโดยจัดให้อุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูง และพยายามลดอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลง เมื่อนำผลิตภัณฑ์แช่แข็งบรรจุในภาชนะบรรจุไปทำการละลายน้ำแข็งจะทำให้เวลาการละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้น ดังนั้นควรนำเอาผลิตภัณฑ์แช่แข็งออกจากภาชนะบรรจุก่อนทำการละลายน้ำแข็ง

2.9.1.1 การละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง

เมื่อนำผลิตภัณฑ์แช่แข็งไปละลายน้ำแข็งโดยวางไว้ในอากาศ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส ควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ เพราะผิวของผลิต-ภัณฑ์จะอุ่นขึ้น และอาจเน่าเสียก่อนที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์จะละลายน้ำแข็งได้สมบูรณ์ ตัวอย่างที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งจากปลาคอด (cod) แช่แข็งชนิดก้อน ความหนา 9 เซนติเมตร ใช้เวลาการละลายน้ำแข็ง 20 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิอากาศ 20 องศาเซลเซียส แต่วิธีนี้สามารถ

ลดเวลาการละลายน้ำแข็งลงได้โดยแยกปลาออกเป็นตัว ๆ ก่อนทำการละลายน้ำแข็งและขณะแยกนั้นต้องระวังไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ตัวปลา

2.9.1.2 การละลายน้ำแข็งด้วยการใช้อากาศเป่า

การใช้อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 90 เปอร์เซนต์ จะเป็นผลดีโดยช่วยลดการสูญเสียความชื้น และการหดตัวของผลิตภัณฑ์รวมทั้งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น ใช้ความเร็วอากาศ 12-18 เมตร/นาที อุณหภูมิ 6-8 องศาเซลเซียส ละลายน้ำแข็งของเนื้อถอดกระดูกครึ่งตัวที่บรรจุในภาชนะบรรจุจะใช้เวลาการละลายน้ำแข็ง 3-5 วัน หรือใช้ความเร็วของอากาศ 100 เมตร/นาที ที่อุณหภูมิเดียวกันใช้เวลาการละลาย 2-2$\frac{1}{2}$ วัน ขณะที่การละลายน้ำแข็งของเนื้อหมูครึ่งตัวที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาการละลายน้ำแข็ง 2-4 วัน เมื่อความเร็วของอากาศ 300 เมตร/นาที และอุณหภูมิไม่เกิน 20 องศา-เซลเซียส ถ้าใช้ความเร็วอากาศสูง ๆ และอุณหภูมิอากาศต่ำลงมาก ๆ จะมีผลทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียความชื้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศสูง ๆ จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผิวของผลิตภัณฑ์

2.9.1.3 การละลายน้ำแข็งด้วยน้ำ

วิธีนี้มักไม่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่หั่นเป็นชิ้น ๆ เช่น เนื้อ หรือชิ้นปลา ซาแหละเพราะ ตรงบริเวณรอยตัดของผลิตภัณฑ์จะดูดน้ำและจะเกิดการสูญเสียรสชาติขณะทำการละลายน้ำแข็ง แต่วิธีนี้สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่บรรจุในภาชนะก่อนนำไปละลายน้ำแข็งซึ่งจะช่วยป้องกันการดูดน้ำและกันการเสียรสชาติ นอกจากนี้วิธีละลายน้ำแข็งด้วยน้ำยังเหมาะที่จะใช้ในการละลายน้ำแข็งจากปลาทั้งตัวแช่แข็ง แม้ว่าจะสูญเสียเม็ดสี (pigment) ไปบ้างเล็กน้อย ซึ่งทำโดยให้น้ำไหลรอบ ๆ ตัวปลาหรือพ่นลงบนตัวปลา อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร/นาที และอุณหภูมิไม่สูงกว่า 20 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาการละลายน้ำแข็งได้รวดเร็วขึ้น

2.9.1.4 การละลายน้ำแข็งด้วยไอน้ำสภาวะสูญญากาศ

วิธีนี้ผลิตภัณฑ์จะวางอยู่บนชั้นที่อยู่ภายในห้องซึ่งสามารถดูดอากาศออกเพื่อทำให้เป็นสูญญากาศได้ และจะมีน้ำบรรจุอยู่ภายในห้องอีกด้วย น้ำจะระเหยเป็นไอได้

โดยอาศัยความร้อนจากท่อร้อน ซึ่งอยู่ภายในห้องเดียวกัน การละลายน้ำแข็งของผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นเมื่อภายในห้องเป็นสูญญากาศ และน้ำจะเกิดการระเหยเป็นไอเคลื่อนตัวไปสู่ผลิตภัณฑ์ทันที ต่อจากนั้นไอน้ำจะคายความร้อนแฝงให้ผลิตภัณฑ์แล้วเกิดการควบแน่น วิธีนี้เมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่มีความหนาน้อยกว่า 10 เซนติเมตร จะใช้เวลาการละลายน้ำแข็งน้อยกว่าวิธีให้ความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์วิธีอื่น ๆ ที่กล่าวมา

2.9.1.5 การละลายน้ำแข็งด้วยแผ่นโลหะคู่

วิธีนี้ผลิตภัณฑ์จะวางอยู่ระหว่างแผ่นโลหะคู่ โดยมีของเหลวไหลเวียนอยู่ภายในแผ่นโลหะ โดยที่อุณหภูมิที่ผิวของแผ่นโลหะไม่เกินกว่า 20 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเมื่อใช้ละลายปลาคอดทั้งตัวแช่แข็งชนิดก้อน ความหนา 10 เซนติเมตร ใช้เวลาการละลายน้ำแข็ง 5 ชั่วโมง ต้องระวังไม่ให้ก้อนผลิตภัณฑ์แช่แข็งหลังจากละลายน้ำแข็งแล้วพังทะลายลง เนื่องจากแผ่นโลหะสัมผัสกับผลิตภัณฑ์เพียงแผ่วเบาเท่านั้น

2.9.2 การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีทำให้เกิดความร้อนภายในผลิตภัณฑ์

วิธีนี้ทำให้เกิดความร้อนภายในผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับการให้สนามไฟฟ้าเข้าไปในผลิตภัณฑ์ ซึ่งก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายใน โมเลกุลภายในผลิตภัณฑ์จะเกิดความร้อนและทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อย ขึ้นกับลักษณะทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดและเนื่องจากอาหารไม่ได้เป็นสารเนื้อเดียวกัน ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นแต่ละส่วนย่อมแตกต่างกัน นอกจากนั้นยังขึ้นกับองค์ประกอบภายในของผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วย

2.9.2.1 การละลายน้ำแข็งด้วยความต้านทานทางไฟฟ้า

วิธีนี้ผลิตภัณฑ์จะวางอยู่ระหว่างอิเลคโทรด 2 อัน แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิจะสูงขึ้นเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้า และควรให้กระแสไฟฟ้าแรงสูงในช่วงแรก ๆ ในทางปฏิบัติวิธีนี้เคยใช้ละลายชิ้นปลาซาแหละที่มีความหนา 5 เซนติเมตร และมีน้ำหนักประมาณ 3 กิโลกรัม แต่พบว่าไม่เหมาะที่ใช้กับชิ้นปลาซาแหละที่มีความหนามากกว่านี้

2.9.2.2 การละลายน้ำแข็งด้วยความถี่สูง

เป็นวิธีที่ให้สนามไฟฟ้าที่มีความถี่สูงส่งผ่านไปยังอิเลคโทรดที่คร่อมอยู่ระหว่างผลิตภัณฑ์แช่แข็งโดยไม่ได้สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ ความถี่ที่ใช้ทั่ว ๆ ไป อยู่ในช่วง 27-100 เมกกะเฮิซท์

หรือ 915 - 2450 เมกกะเฮิซท์ (เป็นช่วงไมโครเวฟ) ผลิตภัณฑ์ที่นำมาละลายน้ำแข็งควรเป็นเนื้อเดียวกันและมีรูปร่างที่สม่ำเสมอ ถ้าผลิตภัณฑ์แช่แข็งเป็นแบบก้อน และมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอจะเกิดความร้อนไม่สม่ำเสมอ เช่น บางส่วนอาจเกิดความร้อนมากเกินไป ตัวอย่าง ปลาคอดแช่แข็งแบบก้อน ความหนา 10 เซนติเมตร ใช้เวลาการละลายน้ำแข็งน้อยกว่า 1 ชั่วโมง

2.10 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่แข็ง (7)

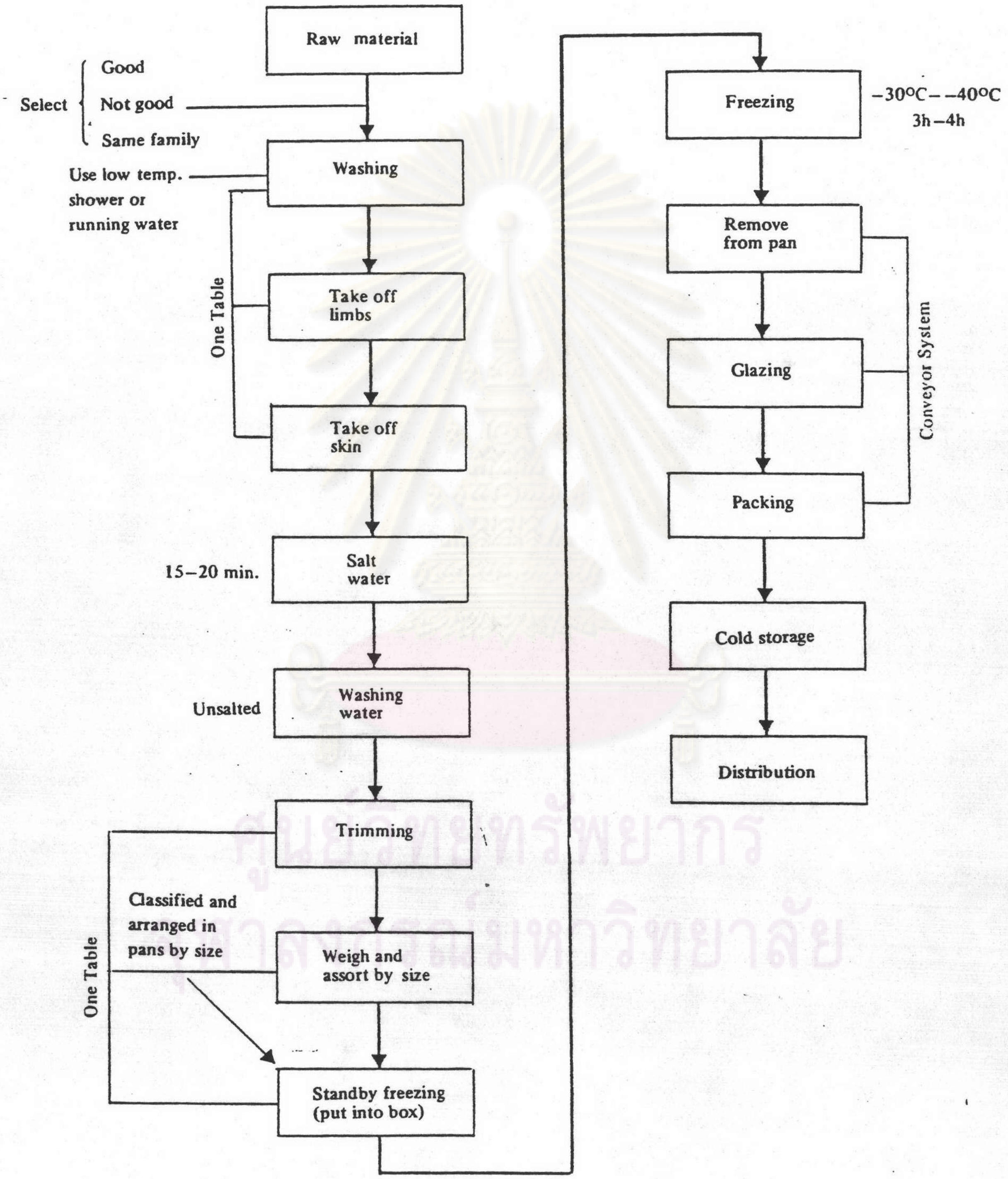
เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณสำหรับอัตราเร็วของการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่แข็งแต่ละชนิดโดยใช้การทดสอบทางเคมี, ทางกายภาพ และการประเมินผลทางประสาทสัมผัส (กลิ่น, รสชาติ, ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ) เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บ, วิธีแช่แข็ง และตัวแปรอื่น ๆ ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่แข็ง

2.11 กระบวนการผลิตปลาหมึกกระดองแช่แข็งทั่ว ๆ ไป

เนื่องจากปลาหมึกกระดองแช่แข็งที่ส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศได้นำไปใช้ประกอบอาหารทั้งสภาพดิบและสุก รวมทั้งนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนั้นความสดของปลาหมึกกระดอง และการป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนบักเตรีในปลาหมึกกระดอง จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของปลาหมึกกระดอง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมและดูแลกระบวนการผลิตปลาหมึกกระดองแช่แข็งอย่างละเอียดถี่ถ้วนทุกขั้นตอน ดูรูปที่ 7

2.11.1 การเตรียมวัตถุดิบ

โดยปกติปลาหมึกกระดองที่จับได้จะมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ เจือปน เช่น ดิน ทรายที่ติดตามลำตัวของปลาหมึก จึงต้องล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออกไป และการล้างนี้จะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ติดมากับปลาหมึกลงได้บ้าง การล้างอาจทำด้วยน้ำสะอาดหรือน้ำคลอรีน (มี available chlorine ประมาณ 5-10 ส่วนในล้านส่วน) (19) คนงานทุกคนต้องสวมถุงมือยาง ขณะที่จับปลาหมึกกระดองและต้องสวมเสื้อคลุม สวมหมวก ขณะเข้าทำงาน มีดและเครื่องมือทุกชนิดควรทำจากเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) นำปลาหมึกกระดองไปแกะกระดอง ลอกหนังเอาครีบออก ดึงหัว ชักไส้ และเอาถุงหมึกออก การเอาถุงหมึกออกต้องทำด้วย ความระมัดระวังไม่ให้ถุงหมึกแตก ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเย็นหรือน้ำผสมคลอรีน ตัดแต่งปลาหมึกกระดองให้เรียบร้อย การตกแต่งต้องใช้เขียงที่ทำจากพลาสติก หลีกเลี่ยงการใช้



รูปที่ 7 กระบวนการผลิตปลาหมึกกระดองแช่แข็งทั่ว ๆไป

เขียงไม้เพราะเป็นแหล่งสะสมเชื้อจุลินทรีย์ตามรูพรุนของไม้ หลังจากนั้นล้างทำความสะอาด เพื่อกำจัดหมึกและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ต่อจากนั้น อาจนำไปแช่ด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 1 เปอร์-เซ็นต์ เป็นเวลานานประมาณ 15-20 นาที หรือ นำไปเก็บไว้ที่สภาพแช่เย็นทันทีก็ได้ อุณหภูมิการเก็บรักษาก่อนแช่แข็ง ควรอยู่ในช่วง 0-5 องศาเซลเซียส และการเก็บสภาพแช่เย็นนี้ไม่ควรใช้น้ำแข็งคลุมเฉพาะส่วนบนเพราะจะทำให้เกิดความเย็นไม่ทั่วถึงควรใช้น้ำผสมน้ำแข็ง (13)

2.11.2 วิธีแช่แข็งปลาหมึกกระดองทั่ว ๆ ไป ในอุตสาหกรรม

เนื่องจากปลาหมึกเป็นอาหารทะเลชนิดหนึ่งที่เกิดการเน่าเสียได้ง่าย ซึ่งสาเหตุเกิดจากจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมี และปฏิกิริยาชีวเคมี การถนอมรักษาปลาหมึกด้วยการแช่แข็งจะช่วยให้ปลาหมึกเกิดการเน่าเสียช้าลง เพราะทำให้อุณหภูมิของปลาหมึกลดต่ำลงกว่าจุดเยือกแข็ง ซึ่งจะระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และความสามารถต่าง ๆของจุลินทรีย์บางชนิด นอกจากนี้การแช่แข็งจะทำให้น้ำภายในเนื้อปลาหมึกเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายในเนื้อปลาหมึกเพิ่มขึ้น และลด water activity ของปลาหมึกทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เช่นกัน ปัจจุบันวิธีแช่แข็งที่ใช้อาจแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ โดยพิจารณาจากหลักพื้นฐานของการระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ดังนี้คือ

2.11.2.1 วิธีแช่แข็งด้วยลมเย็น (Air Freezing)

นำปลาหมึกที่บรรจุเรียบร้อยในภาชนะบรรจุหรือไม่บรรจุไปแช่แข็งด้วยลมเย็นที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง -18 ถึง -40 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีดังนี้

2.11.2.1.1 Still Air Freezing (8) เป็นวิธีแช่แข็งที่ลมเย็นมีการหมุนเวียนอย่างช้า ๆ หรือไม่มีการหมุนเวียนของลมเย็นเลย ตัวทำความเย็นใช้แอมโมเนีย, R-12 (dichlorodifluoromethane) หรือน้ำเกลือที่เย็นจัดไหลอยู่ภายในท่อที่ขดเป็นวงและมีชั้นวางทับท่อเย็นนั้น การแช่แข็งทำโดยวางชิ้นปลาหมึกลงบนถาดที่วางอยู่บนชั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับชิ้นปลาหมึกมีค่าต่ำเพราะพื้นที่ผิวของชิ้นปลาหมึกไม่ได้สัมผัสกับท่อเย็นโดยตรง และภายในมีการหมุนเวียนของลมเย็นช้ามาก วิธีนี้อาจแก้ไขได้โดยการติดตั้งพัดลมช่วยหมุนเวียนอากาศแต่จะไม่เหมาะสมกับปลาหมึก ที่นำมาแช่โดยไม่บรรจุในภาชนะมาก่อน เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) จากชิ้นปลาหมึกได้

วิธีแช่แข็งนี้เป็นวิธีดั้งเดิมที่ทำกันในเชิงการค้า ซึ่งปัจจุบันเรียกว่า "slow freezing"

ข้อดีของวิธีแช่แข็งด้วยวิธี still air freezing

1. เครื่องมือไม่ซับซ้อนทำให้ดำเนินงานง่าย และค่าใช้จ่ายต่ำ

2. เหมาะสำหรับปลาหมึกกระดอง เนื่องจากลักษณะปลาหมึกแบนกว้าง ทำให้การระบายความร้อนออกจากชิ้นปลาหมึกได้ดีและเหมาะที่จะใช้กับปลาหมึกกระดองหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่บรรจุในภาชนะขนาด retail - packages (น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ประมาณ 500 กรัม)

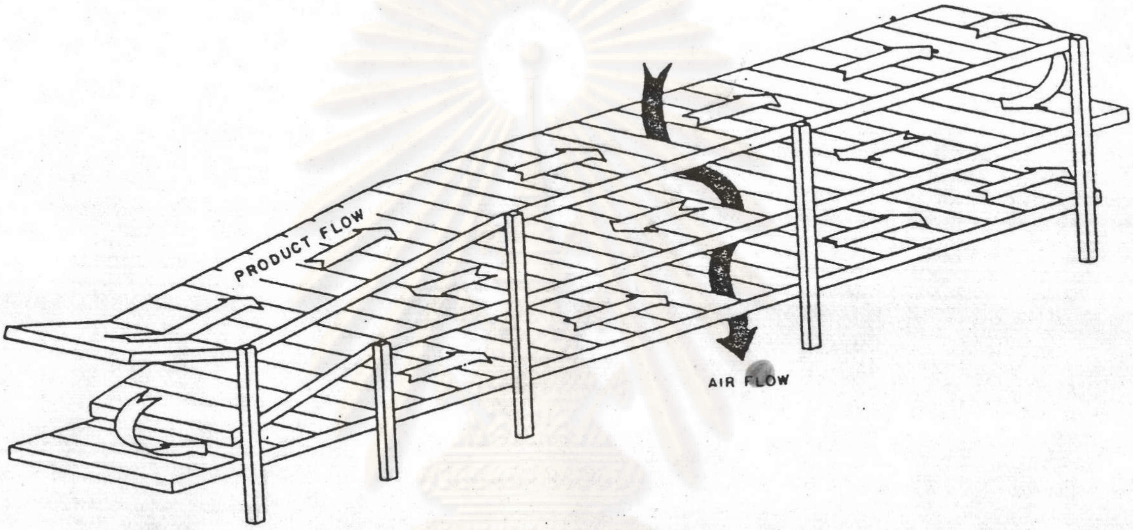
ข้อเสียของวิธีแช่แข็งด้วยวิธี still air freezing

ใช้ไม่ดีกับผลิตภัณฑ์บางชนิดโดยเฉพาะปลาที่มีลักษณะกลม เช่น samon และ halibut หรือปลาหมึกกระดองและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่บรรจุในภาชนะขนาด insititution - type packages (น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 กิโลกรัมขึ้นไป) เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างต่ำ

2.11.2.1.2 Air Blast Freezing (6,8) เป็นวิธีแช่แข็งที่อาศัยลมเย็นเป็นตัวกลางเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงพัดผ่านหมุนเวียนอยู่เหนือชิ้นปลาหมึกที่ต้องการนำมาแช่แข็ง ลมเย็นระบายความร้อนออกจากชิ้นปลาหมึกทำให้อุณหภูมิของปลาหมึกลดต่ำลง และการนำลมกลับไปใช้ใหม่อีกครั้งทำโดยอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมกับตัวทำความเย็น ความเร็วลมเฉลี่ยสำหรับห้องแช่แข็งขนาดเล็กของวิธีแช่แข็งนี้ประมาณ 2.5 เมตร/วินาที และห้องแช่แข็งขนาดใหญ่ประมาณ 7.5 เมตร/วินาที อัตราเร็วของการแช่แข็งจะขึ้นอยู่กับ ความเร็วลม อุณหภูมิของลมเย็น และอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่แข็ง เครื่องมือแช่แข็งแบบใช้ลมเย็นเป่า (air blast freezer) อาจจัดอยู่ในรูปต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง โดยมีการส่งผลิตภัณฑ์ผ่านไปตามสายพานเคลื่อนที่ผ่านเข้าห้องแช่แข็ง ดูรูปที่ 8 หรืออาจจัดเป็นแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้แรงงานคนจัดวางแผลิตภัณฑ์ลงบนถาดแล้วนำไปวางไว้ในห้องแช่แข็ง วิธีแช่แข็งนี้นอกจากจะใช้กับปลาหมึกแล้วยังสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ประมงต่าง ๆ เช่น กุ้ง ชิ้นปลาซาแหละ หอยสคอลลอพ (scallop) และอื่น ๆ

ข้อดีของวิธีแช่แข็งด้วยวิธี air blast freezing

1. เป็นวิธีแช่แข็งที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด และค่าใช้จ่ายต่ำ



รูปที่ 8 Multitier Freezer (8)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน

ข้อเสียของวิธีแช่แข็งด้วยวิธี air blast freezing

1. ในกรณีที่นำปลาหมึกหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ไม่ได้บรรจุในภาชนะก่อนแช่แข็งจะเกิดการสูญเสียน้ำปริมาณมาก

2. ใช้ได้ไม่ดีกับปลาหมึกหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่บรรจุในภาชนะที่มีลักษณะพองนูน เพราะช่องว่างของอากาศจะเกิดเป็นฉนวนทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ไม่ดี

2.11.2.1.3 Fluidized - Bed Freezing เป็นวิธีแช่แข็งที่ดัดแปลงจาก air blast freezing อาหารที่นำมาแช่แข็งด้วยวิธีนี้จะต้องเป็นอาหารชนิดเป็นของแข็งเท่านั้นและต้องมีขนาดเล็ก ๆ เช่น เมล็ดถั่ว สตรอเบอรี่ ดังนั้นวิธีนี้ไม่เหมาะที่จะใช้กับชิ้นปลาหมึกเพราะมีขนาดใหญ่ หลักการของวิธีแช่แข็งนี้คือทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารลอยตัวด้วยลมเย็นที่เป่าจากด้านล่างขึ้นไปด้านบน ซึ่งผ่านชั้นของตะแกรงสำหรับวางผลิตภัณฑ์ ดูรูปที่ 9 นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่แข็งต้องมีรูปร่างและขนาดสม่ำเสมอด้วย (6,8) วิธีแช่แข็งนี้อาจดัดแปลงใช้กับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถทำให้ลอยตัวได้ (non fluidized product) เช่น ชิ้นปลาหมึก ชิ้นปลาชำแหละ โดยใช้วิธีคล้ายกับ air blast freezing ซึ่งเรียกวิธีแช่แข็งนี้ว่า "through flow air freezing" โดยที่อัตราเร็วของการแช่แข็งจะเร็วกว่าวิธี air blast freezing (6)

ข้อดีของวิธีแช่แข็งด้วยวิธี fluidized-bed freezing

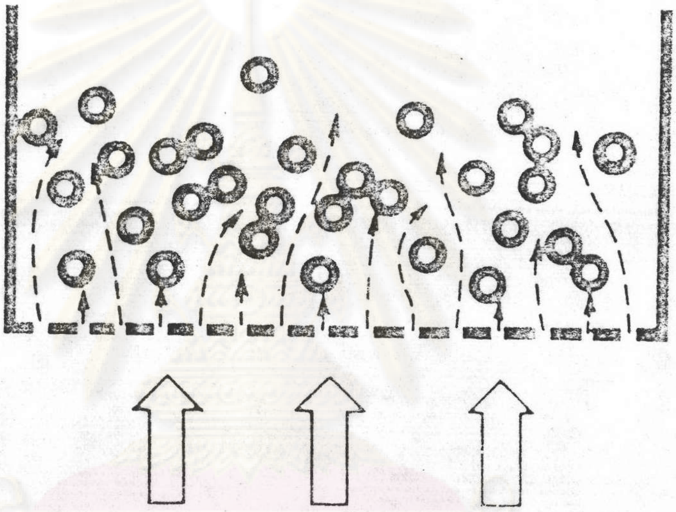
1. เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากทำให้เกิดอัตราเร็วของการแช่แข็งเร็ว

2. เกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) ต่ำ และไม่ต้องทำการละลายน้ำแข็ง (deforst) เครื่องมือบ่อย ๆ และจากการทดลองพบว่า กุ้งแช่แข็งด้วยวิธีนี้เกิดการสูญเสียน้ำน้อยกว่า 1 เปอร์เซนต์

ข้อเสียของวิธีแช่แข็งด้วยวิธี fluidized-bed freezing

ใช้ได้ไม่ดีกับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น ชิ้นปลาหมึก ชิ้นปลาชำแหละ และผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด และรูปร่างไม่สม่ำเสมอ นอกจากจะดัดแปลงไปเป็นวิธีแช่แข็งแบบ through-flow air freezing

i 18177074



รูปที่ 9 Fluidization Principle (8)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.11.2.2 วิธีแช่แข็งด้วยแผ่นโลหะเย็น (Plate Freezing)

ปลาหมึกที่นำมาแช่แข็ง (บรรจุ หรือไม่บรรจุภาชนะ) จะจัดวางไว้ระหว่างผิวของโลหะเย็น ซึ่งทำให้เย็นโดยผ่านน้ำเกลือที่เย็นจัดหรือไอของสารทำความเย็น เช่น R-22 (monodichlorodifluoromethane) R-12 (dichlorodifluoromethane) หรือแอมโมเนีย ความร้อนจากชิ้นปลาหมึกจะถูกระบายออกโดยตรงด้วยวิธีการนำความร้อนด้วยแผ่นโลหะเย็น การสัมผัสกับแผ่นโลหะเย็นนี้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีมาก ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะลดลง เมื่อความหนาของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (6) วิธีแช่แข็งด้วยแผ่นโลหะเย็นนี้มี 2 แบบ (8) คือ

2.11.2.2.1 แผ่นโลหะเย็นแนวนอน ปกติชนิดนี้มีแผ่นโลหะประมาณ 15-20 แผ่น ผลิตภัณฑ์จะวางอยู่ระหว่างผิวของแผ่นโลหะเย็น ระบบนี้สามารถใช้แบบอัตโนมัติหรือแรงงานคน

2.11.2.2.2 แผ่นโลหะเย็นแนวตั้ง วิธีแช่แข็งระบบนี้นิยมนำไปใช้อย่างมากในการแช่แข็งปลาบนเรือ ประกอบด้วยจำนวนแผ่นโลหะแนวตั้งกั้นทำให้เกิดช่องในห้องบรรจุ ซึ่งด้านบนจะเปิดไว้สำหรับใส่ผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์แข็งตัวแล้วจะนำออกทางด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ ปกติระบบนี้จะใช้เครื่องจักรดำเนินงาน และส่วนมากวิธีนี้จะใช้กับปลาทั้งตัวที่ไม่ได้บรรจุในภาชนะมาก่อน แต่ก็อาจจะใช้ได้กับชิ้นปลาชำแหละ

ข้อดีของวิธีแช่แข็งด้วยแผ่นโลหะเย็น

1. ค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ
2. เกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) ต่ำ
3. ใช้ได้ดีกับปลาหมึกที่บรรจุในภาชนะที่มีลักษณะพองนูน (bulging) เพราะสามารถปรับแผ่นโลหะเย็นให้แนบกับผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้ดี

ข้อเสียของวิธีแช่แข็งด้วยแผ่นโลหะเย็น

1. การบรรจุผลิตภัณฑ์ต้องมีความหนาสม่ำเสมอ
2. อัตราเร็วของการแช่แข็งจะช้า ถ้าบรรจุปลาหมึกหรือผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะที่มีช่องว่างอากาศ และอัตราเร็วของการแช่แข็งจะช้ามากถ้ามีช่องว่างอากาศภายใน

ภาชนะบรรจุมากขึ้น (6)

2.11.2.3 วิธีแช่แข็งด้วยการจุ่มลงในสารละลายเย็น (Liquid-Immersion Freezing) (6)

เป็นวิธีแช่แข็งที่มีการใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เช่น ไก่และสัตว์ปีกต่าง ๆ มากกว่าที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์ประมง เช่น ชิ้นปลาหมึก หรือชิ้นปลาซาแหละ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่แข็งจะบรรจุหรือไม่บรรจุในภาชนะก็ได้ ทำโดยจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในสารละลายที่เย็นจัดได้แก่ โปรพิลีนไกลคอล (propyleneglycol) กลีเซอรอล (glycerol) โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) หรือสารละลายผสมเกลือและน้ำตาล การแช่แข็งด้วยวิธีนี้ผิวของผลิตภัณฑ์เกิดเกล็ดน้ำแข็งกระจายตัวได้ดี เนื่องจากเกิดการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวดีมาก และทำให้สีผิวของผลิตภัณฑ์ขาวหม่นน่าดู

ข้อดีของวิธีแช่แข็งด้วยการจุ่มลงในสารละลายเย็น

1. เป็นการแช่แข็งที่เกิดอัตราเร็วของการแช่แข็งที่เร็ว ซึ่งเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหรือไม่บรรจุในภาชนะ

2. ปรับให้เป็นระบบต่อเนื่องค่อนข้างง่าย

3. เนื่องจากผิวของผลิตภัณฑ์สัมผัสกับสารละลายที่เย็นจัดทำให้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายทั่ว ๆ ผลิตภัณฑ์มองดูแล้วสวยงาม และน้ำแข็งที่หุ้มผิวของผลิตภัณฑ์จะช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์ได้

ข้อเสียของวิธีแช่แข็งด้วยการจุ่มลงในสารละลายเย็น

ต้องเลือกตัวทำความเย็นที่มีสมบัติเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

2.11.2.4 วิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิค (Cryogenic Freezing)

เป็นวิธีแช่แข็งที่เกิดอัตราเร็วของการแช่แข็งเร็วมาก ปลาหมึกที่นำมาแช่แข็งจะบรรจุในภาชนะที่เป็นวัสดุชนิดแผ่นฟิล์มบางหรือไม่บรรจุในภาชนะก็ได้ นำมาสัมผัสกับตัวทำความเย็นที่เย็นจัด และจะเกิดการเปลี่ยนสถานะของตัวทำความเย็น เนื่องจากเกิดการระบายความร้อนออกจากปลาหมึกไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะนั่นเอง วิธีแช่แข็งนี้จะแตกต่างจากการแช่แข็ง

โดยการจุ่มในสารละลายเย็นในเรื่องการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็น สารตัวทำความเย็นที่ใช้ต้องเป็นประเภทที่ใช้ได้กับอาหาร (food grade) เช่น ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนไนตรัสออกไซด์ก็นำมาใช้เช่นกันแต่ไม่นิยมใช้ในทางการค้า ส่วนฟรีออน (R-12 หรือ CCl_2F_2) แม้จุดเดือดของมันไม่ต่ำพอที่จะเป็น true cryogenic liquid แต่ก็สามารถใช้หลักการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอได้เช่นกัน ทำให้สามารถนำฟรีออนไปใช้ในวิธีแช่แข็งชนิดนี้ได้ สมบัติบางประการของตัวทำความเย็นชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4 อัตราเร็วของการแช่แข็งแบบไครโอจินิค จะเร็วกว่าการแช่แข็งด้วยวิธี air blast freezing และ plate freezing ค่อนข้างมาก แต่จะเร็วกว่าการแช่แข็งด้วยวิธี fluidized-bed freezing และ immersion freezing เพียงเล็กน้อย ตัวอย่างการแช่แข็งกุ้งด้วยไนโตรเจนเหลวใช้เวลานาน 9 นาที ส่วนการแช่แข็งด้วยวิธี fluidized-bed freezing ใช้เวลานาน 12 นาที(6)

2.11.2.4.1 วิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิคด้วยไนโตรเจน (6)

ไนโตรเจนเหลวใช้กันมากใน cryogenic freezer ดูรูปที่ 10 ประกอบ ผลิตภัณฑ์วางอยู่บนสายพานและเคลื่อนที่เข้าสู่ Zone A ขณะนั้นไอเย็นของไนโตรเจนจะเคลื่อนที่ผ่านสวนทางกับผลิตภัณฑ์ทำให้เกิด pre-freezing เมื่อผลิตภัณฑ์เข้าสู่ Zone B จะฉีดพ่นไนโตรเจนเหลวลงบนผลิตภัณฑ์ และขณะนั้นจะเกิดการเปลี่ยนสถานะของไนโตรเจนเหลวกลายเป็นไอ ผลิตภัณฑ์จะอยู่ในสภาวะแช่แข็งทันที และจะเคลื่อนที่ผ่านไปยัง Zone C ซึ่งเป็นช่วงที่ปล่อยให้อุณหภูมิอยู่ในสภาพคงที่ (- 18 ถึง - 30 องศาเซลเซียส) ก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่ออกจากห้องแช่แข็ง

ข้อดีของวิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิคด้วยไนโตรเจน

1. เกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

2. ระบบนี้ป้องกันออกซิเจนไม่ให้ผ่านเข้าไปในห้องแช่แข็งระหว่างการแช่แข็ง

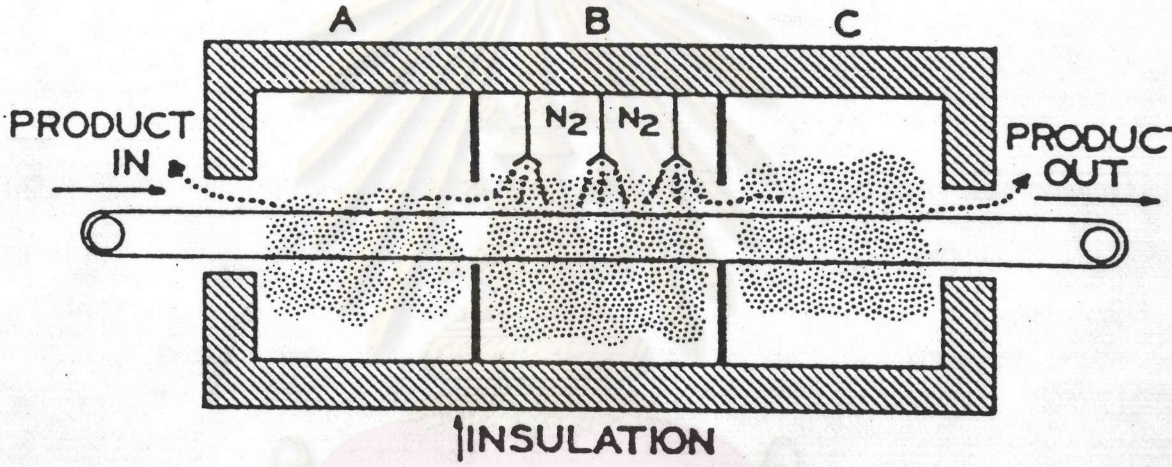
3. ผิวของสัตว์ปีกที่นำมาแช่แข็งจะเกิดสีขาวนวลให้ลักษณะปรากฏที่ดีกว่าวิธีแช่แข็งอื่น ๆ

4. เครื่องมือไม่สลับซับซ้อน เหมาะที่ใช้ในการผลิตแบบต่อเนื่อง สามารถปรับอัตราการผลิต และใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ได้หลายชนิด

ตารางที่ 4 สมบัติบางประการของตัวทำความเย็นชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในวิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิค

Property	Freezant				
	CO_2		N_2O	CCl_2F_2	N_2
Motecular weight		44.01	44.02	120.93	28.016
Boiling point 1 atm. ^{o}F (^{o}C)		-109.3 (-78.5)	-129.1 (-89.5)	-21.62 (-20.79)	-320.46 (-195.81)
Latent heat at bp.Btu/lb	Solid (subl.)	Liquid (vap.)	(vap.)	(vap.)	(vap.)
	246.1	149.6 at-69.9^{o}F	161.8	71.04	85.8
Specific heat, gas, C_p at 1 atm, Btu/lb^{o}F	0.1988 at 60^{o}F	0.1988 at 60^{o}F	0.2004 at 60^{o}F	0.145 at 86^{o}F	0.2447 at 60^{o}F
Usable heat capacity (Btu/ lb)	264	150	184	71	161

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10 Cryogenic Freezer (6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสียของวิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิคด้วยไนโตรเจน

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง เนื่องจากไนโตรเจนเหลวราคาแพง

2.11.2.4.2 วิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิคด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (6)

วิธีแช่แข็งด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์มาสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพของแข็งบดละเอียด หรือสภาพของเหลว ข้อดีของการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกับการใช้ไนโตรเจนเหลว แต่มีข้อเสียคือ ถ้านำปลาหมึกมาแช่แข็งด้วยการสัมผัสโดยตรงกับคาร์บอนไดออกไซด์สภาพของแข็งบดละเอียดทำไม่ได้เพราะคาร์บอนไดออกไซด์จะทำลายเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ และเมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่ได้บรรจุในภาชนะก็จะดูดกลืนและจับคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนไว้ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปบรรจุลงในภาชนะ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดกลืนไว้จะค่อย ๆ ถูกปล่อยออกมาจะทำให้ภาชนะเกิดการบวมขึ้นได้ภายหลัง

2.11.2.4.3 วิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิคด้วยฟรีออน

วิธีแช่แข็งด้วยฟรีออน ได้เคยมีการพัฒนามาแล้ว โดย Du Pont เป็นการใช้ฟรีออนเป็นสารตัวทำความเย็นสัมผัสกับผลิตภัณฑ์อาหารโดยตรง และสารทำความเย็นที่ใช้นี้ต้องเป็นชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง และใช้ได้กับอาหาร (food grade) วิธีแช่แข็งนี้อาจทำได้โดยพ่นฟรีออนลงไปบนชิ้นปลาหมึกหรืออาจใช้วิธีจุ่มปลาหมึกลงไปในฟรีออนก่อน ต่อจากนั้นพ่นฟรีออนตามอีกครั้งหนึ่ง ทั้ง 2 วิธีนี้สามารถนำเอาไอของฟรีออนกลับคืนไปใช้ใหม่ได้อีก โดยใช้หลักการควบแน่นของไอ โดยให้ไอสัมผัสกับแผ่นโลหะที่เย็นจัด

ข้อดีของวิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิคด้วยฟรีออน

1. การใช้ฟรีออนเหลว เหมือนกับการใช้ไนโตรเจน แต่ค่าใช้จ่ายดำเนินงานต่ำกว่า

2. อัตราเร็วของการแช่แข็งเร็วกว่าหรืออาจจะใกล้เคียงกับการใช้ไนโตรเจนเหลว แม้ว่าจุดเดือดของฟรีออนสูงกว่าไนโตรเจนเหลว เพราะว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ของฟรีออนดีกว่าไนโตรเจน

3. ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น กุ้ง ชิ้นปลาชำแหละ เมล็ดถั่วข้าวโพด อาหารชนิดกึ่งเหลว และของเหลวที่บรรจุในภาชนะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสียของวิธีแช่แข็งแบบไครโอจินิคด้วยฟรีออน

ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีรูพรุน และไม่ได้บรรจุในภาชนะ ซึ่งจะเกิดปัญหาการจับฟรีออนไว้ตามรูพรุน แต่ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยนำผลิตภัณฑ์จุ่มลงในน้ำก่อนแช่แข็งและนำไปแช่แข็งทันที ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งอยู่ตามรูพรุน จึงเป็นเกราะป้องกันการดูดกลืนฟรีออน

2.11.3 การบรรจุปลาหมึกกระดองแช่แข็ง

ปลาหมึกกระดองแช่แข็งควรบรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้ซื้อและผู้ขายปลีก ภาชนะบรรจุนอกจากช่วยในการบรรจุ, การขนส่ง และการจำหน่ายแล้ว หน้าที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ช่วยปกป้องผลิตภัณฑ์จากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ไม่ต้องการ เช่น การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ การซึมผ่านของอากาศ สมบัติเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของภาชนะบรรจุที่ใช้ สมบัติของภาชนะบรรจุที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ปลาหมึกกระดองแช่แข็งควรมีดังนี้ (20,21)

1. ทำจากวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ (flexible) เพื่อสะดวกในการขนส่ง และการเก็บรักษา เช่น แผ่นฟิล์มพลาสติก

2. ต้องทนอุณหภูมิต่ำได้ เพราะใช้ในการแช่แข็ง และเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า

3. กันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างแช่แข็งและการเก็บ

4. ไม่เป็นพิษ และไม่ปนเปื้อนต่อกลิ่นรสของปลาหมึกกระดองแช่แข็ง

5. กันการซึมผ่านกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และสารระเหยต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อมได้ดี

6. มีผิวสะอาด ถูกสุขลักษณะ ไม่มีรอยต่อหรือซอกมุม ที่จะจับคราบสิ่งสกปรก หรือเกาะเกี่ยวทำความเสียหายแก่เนื้อปลาหมึกกระดองแช่แข็ง

7. ทนต่อสารเคมีต่าง ๆ ได้ดี

8. ประกอบเป็นภาชนะบรรจุ, การปิด และการเปิด ทำได้ง่าย

9. ปิดผนึกได้ด้วยความร้อน

10. มีลักษณะปรากฏที่ดี สวยงาม สมกับเป็นภาชนะบรรจุอาหาร และดึงดูดใจผู้บริโภค

11. ราคาถูก ทั้งนี้โดยมีสมบัติที่ต้องการด้วย

การบรรจุปลาหมึกกระดองแช่แข็งทำได้หลายชนิด มีดังนี้ (13)

1. ชิ้นปลาหมึกกระดองแช่แข็งต้องมีขนาดสม่ำเสมอ และจัดวางแผ่เรียงเป็นแนวภายในกล่องกระดาษที่จัดทำพิเศษ เคลือบด้วยโพลีเอทธิลีน ขนาดกล่องต้องใหญ่พอที่บรรจุชิ้นปลาหมึกกระดองแช่แข็งได้มิดชิด และบรรจุชิ้นปลาหมึกกระดองแช่แข็งให้ได้น้ำหนักพอดีกับน้ำหนักที่บ่งไว้บนฉลากของแต่ละกล่อง ปลาหมึกกระดองแช่แข็งที่นำมาบรรจุนี้ต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสะอาด และเติมน้ำเคลือบที่ผสมด้วยคลอรีนประมาณ 5 ส่วนในล้านส่วน เพื่อปกคลุมผิวของปลาหมึกกระดองแช่แข็ง

2. ชิ้นปลาหมึกกระดองแช่แข็งต้องมีขนาดสม่ำเสมอ และม้วนปลาหมึกกระดองให้เป็นรูปรียาวตามรูปร่างเดิม และจัดวางเรียงเป็นชั้น ๆ ในกล่องกระดาษที่เคลือบด้วยแผ่นฟิล์มโพลีเอทธิลีน ขนาดกล่องต้องใหญ่พอที่จะบรรจุปลาหมึกกระดองแช่แข็งให้มิดชิด และบรรจุชิ้นปลาหมึกกระดองแช่แข็งให้ได้น้ำหนักพอดีกับน้ำหนักที่บ่งไว้บนฉลากของแต่ละกล่อง ปลาหมึกกระดองแช่แข็งที่นำมาบรรจุต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่สะอาด และเติมน้ำเคลือบที่ผสมด้วยคลอรีน ประมาณ 5 ส่วนในล้านส่วน เพื่อปกคลุมผิวของปลาหมึกกระดองแช่แข็ง

3. ชิ้นปลาหมึกกระดองแช่แข็งอาจบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีนที่ขนาดพอเหมาะหรืออาจจะห่อด้วยแผ่นฟิล์มโพลีเอทธิลีนก่อนหรือหลังแช่แข็งก็ได้ ต่อจากนั้นคัดขนาดผลิตภัณฑ์และบรรจุลงในหีบห่อตามแต่ละขนาดของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย