รายงานการวิจัย

กระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยตลับแช่เยือกแข็ง
Production Process and Quality Change of Frozen Hard Clam (*Meritrix casta*)

นพรัตน์ มะเห	Nopparat Mahae
ดลฤดี พิชัยรัตน์	Donrudee Pichairat
อุไรวรรณ วัฒนกุล	Uraiwan Wattanakul

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2561

รายงานการวิจัย

กระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยตลับแช่เยือกแข็ง

Production Process and Quality Change of Frozen Hard Clam (*Meritrix casta*)

นพรัตน์ มะเห Nopparat Mahae

ดลฤดี พิชัยรัตน์ Donrudee Pichairat

อุไรวรรณ วัฒนกุล Uraiwan Wattanakul

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2561

กระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยตลับแช่เยือกแข็ง

นพรัตน์ มะเห ดลฤดี พิชัยรัตน์ และ อุไรวรรณ วัฒนกุล

บทคัดย่อ

หอยตลับเป็นหอยที่สำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดตรัง แต่หอยตลับเสื่อมเสียง่าย จึงต้องการยืดอายุการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็ง โดยทำการศึกษาสภาวะในการเตรียมตัวอย่างก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 40 และ 50 นาที ศึกษาคุณภาพของเนื้อหอยหลังการต้ม โดยศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity: WHC) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (% Thawing lose) จากนั้นทำการศึกษากราฟการแช่เยือกแข็ง อัตราการแช่เยือกแข็ง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างก่อนการ แช่เยือกแข็งคือการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 40 นาที การแช่เยือกแข็งตัวอย่างหอยตลับที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียสจนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวอย่างเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 54 นาที หรือ 474 นาที อัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ มีค่าเท่ากับ 0.30 เซนติเมตร/ชั่วโมง ถือเป็นการแช่แข็งแบบช้า (Slow Freezing) ซึ่งสภาวะดังกล่าวสามารถนำไปใช้สำหรับการแช่เยือกแข็งหอยตลับของชุมชนชาวประมงในท้องถิ่นได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณด่างที่ระเหยได้ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย และค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยตลับมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอยตลับมีแนวโน้มลดลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนประมาณสัปดาห์ที่ 9 เมื่อยืนยันผลด้วยผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

คำสำคัญ : หอยตลับ, การแช่เยือกแข็ง, การยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร

.....

สาขาอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.สิเกา จ.ตรัง 92150

Production Process and Quality Change of Frozen Hard Clam (*Meritrix casta*)

Nopparat Mahae Donrudee Pichairat and Uraiwan Wattanakul

Abstract

Hard clam is an important economic clam of Trang province, but it is perishable. Then the freezing process as preservation method was selected for this clam. The study on preparation process as boiling in water (30, 40 and 50 minutes) was studied. pH value, total volatile base (TVB), water holding capacity (WHC) and % thawing lose were investigate for quality evaluation. After that, freezing graph, freezing rate and quality change during storage were studied. During storage, the quality change of Hard Clam was evaluated. The result showed that suitable boiling time for this clam was 30 minutes. Thermal arrest time to reach -18°C at the center of sample was 7 hours 54 minutes (474 minutes). Freezing rate was 0.30 cm/hr. ,which was slow freezing. This condition could be used for freezing process of Hard Clam in local fishery community. For the study on quality change during storage, the result showed that pH value, total volatile base, % thawing lose and shear force were increased while total variable count and % water holding capacity were decreased. Hard clam quality may be changed in week 9, when the result was confirmed with scanning electron microscopy picture.

Keywords: Hard Clam, freezing, food preservation

.....

Department of Food Industry and Fishery Product, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมงในการอนุเคราะห์เครื่องมือและห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2561 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2562

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญภาพ	(6)
บทนำ	1
วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	18
สรุปผลการวิจัย	32
เอกสารอ้างอิง	33

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งจากวิธีการแช่เยือกแข็งที่ต่างกัน โดยใช้หลักการวัดความเร็วของการเกิดผิวหน้าน้ำแข็ง	8
2	รายชื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำของไทย	13
3	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของเนื้อหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ	18
4	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (% cooking lose) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ	19
5	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ	19
6	ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ	20
7	ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (Thawing lose) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ	20
8	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง(อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์	25
9	ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB) ของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง(อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์	26
10	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง(อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์	26
11	ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (Thawing lose) ของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์	27
12	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์	28
13	ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์	28

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.	แผนภาพการแช่เยือกแข็งของอาหารและสารชีววิทยาที่แช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน	6
2	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อเมื่ออัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบช้า	9
3	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อเมื่ออัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบเร็ว	9
4	สาเหตุของการเน่าเสียของสัตว์น้ำ	12
5	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับผสมน้ำต้มหอย	21
6	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการแช่เยือกแข็งหอยตลับทั้งเปลือก	23
7	โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง กำลังขยาย 500 เท่า	29
8	โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ กำลังขยาย 500 เท่า	29
9	โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ กำลังขยาย 500 เท่า	30
10	โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 500 เท่า	30
11	โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ กำลังขยาย 500 เท่า	31

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

หอยตลับ มีชื่อเรียกอื่นๆ คือ หอยกระปุก หอยหวาน หอยปะ บางชนิดเปลือกเรียบเป็นมัน และมีลายเป็นแถบสีน้ำตาล บนพื้นสีขาวหรือสีครีม บางชนิดไม่มีลาย แต่มีสันและร่องในแนวที่ขนานกับขอบเปลือกทั่วทั้งเปลือก อาศัยตามพื้นท้องทะเล ที่เป็นทราย และโคลนปนทราย ในเขตน้ำตื้น (วันทนา และคณะ, 2552) หอยในกลุ่มหอยตลับมีหลายชนิด พบทั้งทางฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน ที่สำคัญได้แก่ชนิด *Meretrix meretrix* พบมากทางฝั่งอ่าวไทย เช่น จังหวัดตราด จันทบุรี ระยอง เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี และชนิด *Meretrix casta* พบมากทางฝั่งอันดามัน และแถบจังหวัดสมุทรสงคราม ชลบุรี หอยตลับนอกจากจะบริโภคสดในรูปหอยตลับทั้งเปลือกแล้ว ยังมีการแกะเนื้อเพื่อส่งจำหน่ายยังต่างประเทศ หอยตลับชนิด *M. meretrix* มีราคาจำหน่ายประมาณกิโลกรัมละ 35-50 บาท ส่วนชนิด *M. casta* มีปริมาณมากและมีราคาถูกกว่า คือ กิโลกรัมละประมาณ 15-20 บาท (ทรงชัย และคณะ, 2530)

การถนอมอาหารโดยการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่มนุษย์รู้จักกันมานานแล้ว หลักการพื้นฐานในการแช่เยือกแข็งคือ การลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถจะดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ โดยทั่วไปมักจะเป็นที่อุณหภูมิ -18 °C หรือต่ำกว่า ซึ่งหลักสำคัญคือ การเปลี่ยนสภาวะของน้ำในอาหารที่เป็นของเหลวให้เป็นน้ำแข็ง เพื่อมิให้น้ำนั้นสามารถทำหน้าที่ต่างๆในปฏิกิริยาเคมี และไม่เป็นสับสเตรทให้กับเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนมากับอาหารได้ (สายสนม, 2539) ปัจจุบันกฎการเก็บรักษาอาหารแช่แข็งส่วนใหญ่ จะให้เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18°C (หรือ 0°F) ได้ในระยะเวลา 6 เดือน ถึง 2 ปี ด้วยความเย็นระดับนี้จะไม่มีจุลินทรีย์ชนิดใดสามารถเจริญเติบโตได้ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ชนิด Psychophilic Organism ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิต่ำถึง -5 องศาเซลเซียส ทำให้การแช่เย็นทั่วไปป้องกันไม่ได้ เพราะอุณหภูมิจะอยู่ที่เพียง 0-5 องศาเซลเซียส (บุหลัน และ เปรมจิตต์, 2538) การนำหอยตลับมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง นอกจากพิจารณาในแง่ของการเป็นหอยเศรษฐกิจแล้ว หอย *Meritrix sp* ยังอุดมไปด้วย ด้วยคุณค่าทางโภชนาการ และสรรพคุณทางยา เช่น ยับยั้งเซลล์มะเร็ง (anticancer) (Xie et al., 2012) การควบคุมการตอบสนองทางระบบภูมิคุ้มกัน (immuno-regulating) (Xie et al., 2012) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Jiang et al., 2013) ลดความดันและไขมันในเส้นเลือด (antihypertensive and hypolipidemic activities) (Xu, et al. 1999) นอกจากนั้นน้ำที่ได้จากการต้มหอยยังมีการผลิตจำหน่ายในรูปของ nutraceutical product เนื่องจากมีองค์ประกอบของ กรดอะมิโนอิสระ และเปปไทด์ (Wu and Shiau, 2002) สำหรับองค์ประกอบหลักของเนื้อหอยนั้น จะมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของหอยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารอาหารที่มีในเนื้อหอยที่ใช้เป็นอาหาร 7 ชนิด ได้แก่ หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยเทพรส หอยเป๋าฮื้อ หอยหลอด และหอยกะพง

พบว่า ปริมาณสารอาหารในหอยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จากน้ำหนักเนื้อหอยสด 100 กรัม พบว่า มีโปรตีน 6.9 – 22.3 กรัม คาร์โบไฮเดรต 0.58 – 1.6 กรัม ไขมันรวม 0.4 – 1.4 กรัม แคลเซียม 14 – 98 มิลลิกรัม หอยชนิดที่มีโปรตีนมากที่สุด คือ หอยเชลล์ หอยนางรมมีคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมมากที่สุด ส่วนหอยกะพงมีไขมันรวมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหมู (ส่วนที่ไม่ติดมัน) พบว่า มีโปรตีน 20.14 กรัม ไขมันรวม 12 กรัม และแคลเซียม 9 มิลลิกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่า เนื้อหอยมีโปรตีนใกล้เคียงกับเนื้อหมู แต่มีไขมันรวมน้อยกว่า และมีแคลเซียมมากกว่า (วันทนา และคณะ, 2552) ส่วนหอยตลับมีการรายงานถึงคุณค่าทางโภชนาไว้ว่า หอยตลับเป็นแหล่งที่มาชั้นดีของวิตามิน B12 และประกอบไปด้วยสารอาหารจำพวกโพแทสเซียม (นิรนาม, 2559)

หอยตลับถือเป็นหอยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดตรัง จึงมีการนำหอยตลับมาใช้ประโยชน์ค่อนข้างสูง โดยชาวประมงจะนำหอยตลับมาจำหน่ายใน 2 รูปแบบคือ หอยสดทั้งตัว และหอยแกะเนื้อ นอกจากนั้นหอยชนิดนี้ยังมีการแปรรูปส่งออกต่างประเทศในรูปของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งโดยบริษัทในจังหวัดตรัง ด้วยกระบวนการผลิตที่เป็นข้อมูลปกปิดของบริษัท ซึ่งหากกลุ่มชาวประมงที่ทำการประมงหอยตลับ สามารถทำการแปรรูปหอยตลับในรูปของหอยตลับแช่เยือกแข็งได้เอง จะเป็นประโยชน์แก่กลุ่มชาวประมงในหลายๆด้าน เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์หอยตลับแช่เยือกแข็งเพื่อจำหน่ายช่วยแก้ปัญหาการเน่าเสียง่ายของหอยเมื่อไม่สามารถขายได้หมดภายในเวลาที่หอยยังไม่เสื่อมเสีย และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์หอยตลับ นอกจากนั้นกระบวนผลิตแบบแช่เยือกแข็งมีความซับซ้อนของกระบวนการผลิตไม่มากนักเมื่อเทียบกับบางระบวนการผลิต การผลิตผลิตภัณฑ์หอยตลับในรูปแบบแช่เยือกแข็ง ยังสามารถนำหอยที่ได้ไปทำการปรุงอาหาร หรือผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกหลายชนิด ซึ่งถือเป็นข้อดีเมื่อเทียบกับการแปรรูปเป็นรูปแบบอื่นๆ

การศึกษาครั้งนี้ต้องการนำหอยตลับซึ่งเป็นหอยเศรษฐกิจของจังหวัดตรังมายืดอายุการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็ง เนื่องจากหอยตลับมีการเสื่อมเสียง่าย ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปถ่ายทอดให้กับกลุ่มชาวประมงพื้นที่บ้านแหลม ตำบลวังวน อำเภอกันตัง และในเขตพื้นที่บ้านหินคอกควาย ตำบลบ้านนา อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์หอยตลับแช่เยือกแข็งจากชุมชนจะเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่จะสร้างรายได้ให้กับชุมชนชาวประมงของจังหวัดตรังต่อไป

หลักการ แนวคิด ทฤษฎี

หอยตลับ (*Meretrix casta*) ถือเป็นหอยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดตรัง จึงมีการนำหอยตลับมาใช้ประโยชน์ค่อนข้างสูง โดยชาวประมงจะนำหอยตลับมาจำหน่ายใน 2 รูปแบบ คือ หอยสดทั้งตัว และหอยแกะเนื้อ แต่เนื่องด้วยหอยเป็นสัตว์น้ำที่เสื่อมเสียง่าย ดังนั้นการหาแนวทางในการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของหอยตลับ จะทำให้การนำหอยตลับมาใช้ประโยชน์เกิดความคุ้มค่ามากขึ้น การแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารอีกชนิดหนึ่งที่ช่วยยืดอายุการเก็บ

รักษาของอาหารได้ โดยการแช่เยือกแข็ง (Freezing) เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ ตามปกติจุลินทรีย์ที่มีปะปนอยู่ในอาหารจะชะงักการเจริญเติบโตและหยุดกระบวนการทางเมตาบอลิซึมลง แต่เนื้อเยื่อของอาหารยังคงลักษณะอยู่ได้ โดยทั่วไปจะเป็นที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ซึ่งหลักสำคัญ คือ การเปลี่ยนสภาวะของน้ำในอาหารที่เป็นของเหลวให้เป็นน้ำแข็ง เพื่อไม่น้ำนั้นสามารถทำหน้าที่ต่างๆ ในปฏิกิริยาเคมี และไม่เป็นสารตั้งต้นให้กับเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับอาหารได้ (สายสนม, 2540)

การนำหอยตลับมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง นอกจากพิจารณาในแง่ของการเป็นหอยเศรษกิจแล้ว หอย Meritrix sp ยังอุดมไปด้วย ด้วยคุณค่าทางโภชนาการ และสรรพคุณทางยา เช่น ยับยั้งเซลล์มะเร็ง (anticancer) (Xie et al., 2012), การควบคุมการตอบสนองทางระบบภูมิคุ้มกัน (immuno-regulating) (Xie et al., 2012) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Jiang et al., 2013), and ลดความดันและไขมันในเส้นเลือด (antihypertensive and hypolipidemic activities) (Xu, et al. 1999) นอกจากนั้นน้ำที่ได้จากการต้มหอยยังมีการผลิตจำหน่ายในรูปของ nutraceutical product เนื่องจากมีองค์ประกอบของ กรออะมิโนอิสระ และ เปปไทด์ (Wu and Shiau, 2002)

การศึกษาครั้งนี้จึงต้องการแปรรูปหอยตลับในรูปของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง โดยมีการผลิตรวมไปกับน้ำที่ได้จากการต้มหอยด้วย เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชาการและสรรพคุณที่ดีของน้ำหอยตลับไว้ การผลิตมี 2 รูปแบบคือ หอยตลับแกะเนื้อและหอยตลับทั้งเปลือก ซึ่งหอยตลับแบบแกะเนื้อจะสะดวกในการบริโภค ส่วนหอยตลับทั้งเปลือกจะลดต้นทุนค่าแรงในการแกะเนื้อหอย และทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์หอยตลับแช่เยือกแข็งทั้งสองรูปแบบที่ผลิตขึ้น เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์หลังการแช่เยือกแข็งและทำการเก็บรักษา เป็นการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อความปลอดภัยและเหมาะสมในการบริโภคต่อไป

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

หอยตลับ (*Meretrix casta*)

หอยตลับ *(Meretrix casta)* มีชื่อเรียกอื่นๆ คือ หอยกระปุก หอยหวาน หอยปะ บางชนิดเปลือกเรียบเป็นมัน และมีลายเป็นแถบสีน้ำตาล บนพื้นสีขาวหรือสีครีม บางชนิดไม่มีลาย แต่มีสันและร่องในแนวที่ขนานกับขอบเปลือกทั่วทั้งเปลือก อาศัยตามพื้นท้องทะเล ที่เป็นทราย และโคลนปนทราย ในเขตน้ำตื้น หอยตลับ เป็นหอยที่ได้จากการจับจากธรรมชาติ พบมากทางภาคใต้ของไทย หอยตลับนำมาประกอบอาหารได้หลายประเภท นอกจากบริโภคสดแล้ว ยังนำมาต้ม แกะเอาเฉพาะเนื้อบรรจุกระป๋องเป็นสินค้าส่งออก (วันทนา และคณะ, 2552) หอยตลับ พบทั้งทางฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน ที่สำคัญได้แก่ชนิด *Meretrix meretrix* พบมากทางฝั่งอ่าวไทย เช่น จังหวัดตราด

จันทบุรี ระยอง เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี และชนิด *Meretrix casta* พบมากทางฝั่งอันดามัน และแถบจังหวัดสมุทรสงคราม ชลบุรี หอยตลับนอกจากจะใช้บริโภคเป็นอาหารทะเลรสดี ซึ่งใช้บริโภคทั้งภายในประเทศ และแกะเนื้อส่งจำหน่ายไปยังต่างประเทศเป็นจำนวนมากแล้ว เปลือกหอยยังใช้ประโยชน์ในการนำมาประดิษฐ์เป็นของที่ระลึก ของประดับตกแต่งต่างๆ จึงมีการเก็บหอยตลับขึ้นมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิด *M. meretrix* ซึ่งมีเปลือกลวดลายสีสันสวยงาม ทำให้พันธุ์หอยในธรรมชาติมีปริมาณลดน้อยลงในทุกแหล่งการแพร่กระจายหอยตลับชนิด *M. meretrix* มีราคาจำหน่ายประมาณกิโลกรัมละ 35-50 บาท ส่วนชนิด *M. casta* มีปริมาณมากและมีราคาถูกกว่า คือกิโลกรัมละประมาณ 15-20 บาท (ทรงชัย และคณะ, 2530)

หอยในจีนัส Meretrix ประกอบด้วยหอยชนิดต่างๆ 38 species และ subspecies ซึ่งประกอบด้วย *M. meretrix, M. casta, M. lamarckil, M. lamarckii* และอื่นๆ (Pan et al., 2006). สารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive components) จากหอย Meritrix sp ประกอบด้วย เปปไทด์ โปรตีน เอนไซม์ พอลิแซคคาไรด์ เกลือแร่ วิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย essential vitamins, essential amino acids ตัวยับยั้งเอนไซม์ (enzyme inhibitor) ซึ่งสารเหล่านี้มีรายงานการวิจัยตรวจพบในหอย Meritrix sp (Xie et al., 2012). ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางยา ต่างๆ เช่น ยับยั้งเซลล์มะเร็ง (anticancer) (Xie et al., 2012), การควบคุมการตอบสนองทางระบบภูมิคุ้มกัน (immuno-regulating) (Xie et al., 2012) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Jiang et al., 2013), and ลดความดันและไขมันในเส้นเลือด (antihypertensive and hypolipidemic activities) (Xu, et al. 1999)

หอยทะเลทุกชนิดกินเป็นอาหารได้ อาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของรสชาติ อันเนื่องมาจากลักษณะของเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม แข็งกระด้าง เหนียว หรือมีความพอดี โดยทั่วไปหอยที่เติบโตช้า หรือมีอายุมาก เนื้อมักจะมีความเหนียวมากกว่าหอยที่โตเร็ว พฤติกรรมและอาหารที่หอยกิน ก็มีส่วนที่ทำให้รสชาติของหอยแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน (อานนท์, 2556) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสารอาหารที่มีในเนื้อหอยที่ใช้เป็นอาหาร 7 ชนิด ได้แก่ หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยเทพรส หอยเป๋าฮื้อ หอยหลอด และหอยกะพง พบว่า ปริมาณสารอาหารในหอยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จากน้ำหนักเนื้อหอยสด 100 กรัม พบว่า มีโปรตีน 6.9 – 22.3 กรัม คาร์โบไฮเดรต 0.58 – 1.6 กรัม ไขมันรวม 0.4 – 1.4 กรัม แคลเซียม 14 – 98 มิลลิกรัม หอยชนิดที่มีโปรตีนมากที่สุด คือ หอยเชลล์ ส่วน หอยนางรมมีคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมมากที่สุด และหอยกะพงมีไขมันรวมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหมู (ส่วนที่ไม่ติดมัน) พบว่า มีโปรตีน 20.14 กรัม ไขมันรวม 12 กรัม และแคลเซียม 9 มิลลิกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่า เนื้อหอยมีโปรตีนใกล้เคียงกับเนื้อหมู แต่มีไขมันรวมน้อยกว่า และมีแคลเซียมมากกว่า (วันทนา และคณะ, 2552) ส่วนหอยตลับมีการ

รายงานถึงคุณค่าทางโภชนาไว้ว่าหอยตลับเป็นแหล่งที่มาชั้นดีของวิตามิน B12 และประกอบไปด้วยสารอาหาร จำพวกโพแทสเซียม (นิรนาม, 2559)

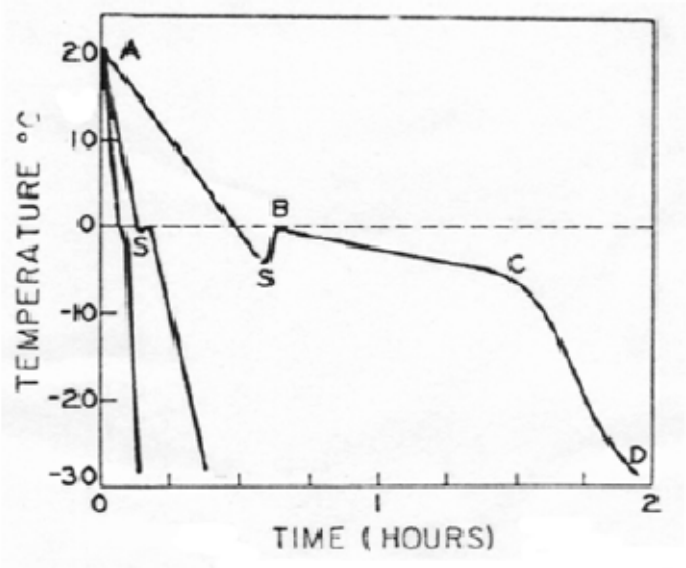
การแช่เยือกแข็ง (Freezing)

การถนอมอาหารโดยการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่ชาวขั้วโลกเหนือและใต้รู้จักกันมานานแล้ว โดยการเก็บรักษาอาหารส่วนที่เหลือจากการบริโภคไว้ในหิมะซึ่งจัดเป็นวิธีการแช่เยือกแข็งตามธรรมชาติ (Weather freezing) ในระยะที่มนุษย์ยังคิดประดิษฐ์เครื่องทำความเย็นเพื่อทำการแช่เยือกแข็งไม่ได้มีการถนอมอาหารพวกปลาและไก่โดยใช้น้ำแข็งผสมเกลือช่วยในการแช่เยือกแข็ง ในปี ค.ศ. 1880 ได้มีการคิดประดิษฐ์เครื่องทำความเย็นโดยใช้แอมโมเนียเหลวเพื่อการแช่เยือกแข็งได้สำเร็จ (สายสนม, 2540) การแช่เยือกแข็งจะเป็นผลให้เกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นภายในอาหาร ขนาดหรือการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปละลายน้ำแข็งออก การเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งมักจะเกิดขึ้นในระหว่าง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพแช่เยือกแข็ง ถ้าผลึกน้ำแข็งเริ่มต้นมีขนาดเล็กก็จะมีโอกาสในการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็งได้น้อยกว่าผลึกน้ำแข็งเริ่มต้นที่มีขนาดใหญ่ (Boast, 1985)

การแช่เยือกแข็ง เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ ตามปกติจุลินทรีย์ที่มีปะปนอยู่ในอาหารจะชะงักการเจริญเติบโตและหยุดกระบวนการทางเมตาบอลิซึมลง แต่เนื้อเยื่อของอาหารยังคงลักษณะอยู่ได้ โดยทั่วไปจะเป็นที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ซึ่งหลักสำคัญ คือ การเปลี่ยนสภาวะของน้ำในอาหารที่เป็นของเหลวให้เป็นน้ำแข็ง เพื่อไม่น้ำนั้นสามารถทำหน้าที่ต่างๆ ในปฏิกิริยาเคมี และไม่เป็นสารตั้งต้นให้กับเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับอาหารได้ แต่การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำไม่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้หมดไปได้ (สายสนม, 2540) ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำจากของเหลวให้เป็นของแข็งนั้นประกอบด้วย 2 ระยะ คือ ระยะการเกิดนิวเคลียสผลึก (Nucleation) ซึ่งเป็นระยะที่โมเลกุลของน้ำหลายๆ โมเลกุลมาจับตัวกันเป็นอนุภาคเล็กๆ ที่เป็นระเบียบ เกิดเป็นผลึกเล็กๆ ที่สามารถอยู่ได้และเป็นจุดสำหรับการโตของผลึกต่อไป และระยะการโตของผลึก (Crystal growth) เป็นช่วงที่ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งเกิดที่อุณหภูมิใกล้ๆ กับจุดเยือกแข็ง อัตราการโตของผลึกขึ้นอยู่กับปัจจัยของอุณหภูมิ และอัตราการนำความร้อนออก โดยอัตราการโตของผลึกจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง และถ้าอัตราการนำความร้อนออกจากอาหารเป็นไปอย่างรวดเร็วจะทำให้ผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก (ไพบูลย์, 2532)

โดยทั่วไปภายในเซลล์ของอาหารตามธรรมชาติมักจะเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันที่ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิดด้วยกัน โดยจะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของอาหาร ดังนั้นแผนภาพการแช่เยือกแข็งของสารแต่ละอย่างจะมีลักษณะเฉพาะตัว แผนภาพการแช่เยือกแข็งของอาหารซึ่งเป็นผลมาจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสิ่งที่นำมาแช่เยือกแข็งที่

เปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาของการแช่เยือกแข็งหรือการดึงความร้อนออกแสดงดังรูปที่ 1 (Karel et al., 1975)



ภาพที่ 1 แผนภาพการแช่เยือกแข็งของอาหารและสารชีววิทยาที่แช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน
ที่มา: Karel et al. (1975)

จากภาพที่ 1 จะเห็นว่าอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งแบบช้าปานกลางนั้นเหมาะสมสำหรับการประมาณสภาวะของ Solid-liquid equilibrium ในขณะที่อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งแบบเร็วจะให้ข้อมูลของเวลาและอุณหภูมิในสภาวะที่ไม่สมดุล (non- equilibrium) ถ้าเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าพบว่า อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะลดลงโดยในช่วง AS ผลิตภัณฑ์จะมีการระบายความร้อนสัมผัสออกไป (sensible heat) ทำให้น้ำในอาหารมีอุณหภูมิลดลงโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำไปเป็นน้ำแข็ง จุด S เป็นจุดความเย็นยวดยิ่ง (supercooling) คือจุดที่สารละลายในผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งแต่ไม่เกิดผลึกขึ้น จุดยืนตัวยวดยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องพบเสมอไป ขึ้นกับความไวของการตอบสนองต่อเวลา และตำแหน่งที่เครื่องวัดอุณหภูมิแตะอยู่กับตัวอย่าง หลังจากผ่านจุดเย็นตัวรวดยิ่งไปแล้ว จะเริ่มก่อเกิดนิวเคลียสผสมขึ้นตามด้วยการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็ง ทำให้เกิดการปลดปล่อยความร้อนเนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จึงสูงขึ้น และเกิดจุดเยือกแข็งเริ่มต้นปรากฏของตัวอย่างที่จุด B ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร ช่วง BC เป็นช่วงเวลาที่น้ำส่วนใหญ่ในผลิตภัณฑ์ (ประมาณ 3/4) เปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็ง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเกิดผลึกน้ำแข็งจะถูกกำจัดออก ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในวัฏภาคที่ยังไม่แข็งตัวเพิ่มขึ้นปานกลาง มีผลให้จุดเยือกแข็งลดต่ำลงเล็กน้อย ดังนั้นช่วง BC ยังคงเป็น

ลักษณะกราฟราบที่มีความชันลงเล็กน้อย ในช่วงแรกของ BC น้ำจะแยกตัวเป็นผลึกน้ำแข็งที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ ในขณะที่ช่วงท้ายๆของ BC อาจเกิดของผสมยูเทคนิค (eutectic mixtures) และสารประกอบของแข็งชนิดอื่นๆซึ่งมีองค์ประกอบและโครงสร้างที่ใหญ่ ในช่วงท้ายๆของ BC นี้ เนื้อเยื่อจะมีความซับซ้อนมากเนื่องจากมีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นทั้งในและนอกเซลล์ ที่จุด C น้ำจะเปลี่ยนรูปไปเป็นน้ำแข็งอย่างต่อเนื่องแต่จะมีน้ำที่สามารถแข็งตัวได้น้อยกว่าในช่วงแรกมาก การดึงความร้อนออกจำนวนหนึ่งในระหว่างช่วง CD จะมีผลทำให้อุณหภูมิของตัวอย่างลดลงต่ำกว่าช่วง BC หลังจากที่อุณหภูมิลดต่ำลงถึงจุด D ผลิตภัณฑ์จะยังคงมีน้ำที่สามารถแข็งตัวอยู่ได้บ้างถ้าอุณหภูมินี้ไม่ต่ำกว่าจุด eutectic สุดท้ายของผลิตภัณฑ์มาก (Karel et al., 1975)

อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง

อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นเรื่องสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น การแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (rapid หรือ quick freezing) และการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมาก (ultra rapid freezing) หลักในการกำหนดอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งในระดับต่างๆ นั้นมีอยู่หลายวิธี เช่น (สายสนม,2539; Fennema et al., 1973)

1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหน่วยเวลา

หลักการนี้ไม่ค่อยเป็นที่พอใจนัก เพราะในช่วงที่ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสภาวะใน 1 องศาเซลเซียสที่เปลี่ยนไปจะไม่สม่ำเสมอตลอดการแช่แข็ง และเนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตัวอย่างนั้นผันแปลอย่างมากในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่จะใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อช่วงเวลาของการแช่เยือกแข็ง

2) เวลาที่ผ่านไปในช่วงของอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์แข็งตัว

หลักการนี้ใช้ช่วงความชันของส่วนของแผนภาพการแช่เยือกแข็งที่เป็นเส้นตรง (freezing plateau) โดยดูอัตราการแช่เยือกแข็ง (degree/unit time) ถ้าอุณหภูมิในช่วงของ freezing plateau ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จัดเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า ถ้าอุณหภูมิในช่วงของ freezing plateau ใช้เวลา 1-2 นาที จัดเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว วิธีนี้ค่อนข้างเหมาะสม เนื่องจากการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งจะเกิดขึ้นในช่วงระยะสุดท้ายของการแช่เยือกแข็ง

3) ลักษณะของชั้นหน้าน้ำแข็ง

ถ้ามีน้ำแข็งเกิดขึ้นเป็นแผ่นจนแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวได้จัดว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า ถ้าเกิดผลึกน้ำแข็งจำนวนมากมาย ไม่มีชั้นแยกให้เห็นชัดเจนจัดว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ถ้าเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จัดเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมาก หลักการนี้เป็นคำจำกัดความที่ดีตรวจสอบได้ แต่ไม่ค่อยแน่นอน

4) ความเร็วของการเกิดผิวหน้าน้ำแข็ง

โดยอาศัยความเร็วของผิวหน้าน้ำแข็งที่เคลื่อนที่เข้าไปจากผิวนอกของผลิตภัณฑ์เป็นหน่วยระยะทางต่อเวลา (เซนติเมตร/ชั่วโมง) หลักการนี้ถือว่าเหมาะสม เพราะสามารถวัดได้ค่อนข้างถูกต้อง อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งจากวิธีการแช่เยือกแข็งที่ต่างกัน โดยใช้หลักการวัดความเร็วของการเกิดผิวหน้าน้ำแข็ง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งจากวิธีการแช่เยือกแข็งที่ต่างกัน โดยใช้หลักการวัดความเร็วของการเกิดผิวหน้าน้ำแข็ง

วิธีในการแช่เยือกแข็ง	อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง (เซนติเมตร/ชั่วโมง)
Utra rapid freezing	>1
Rapid freezing	1-10
Normal freezing	0.3-1
Slow freezing	0.1-0.3
Very slow freezing	<0.1

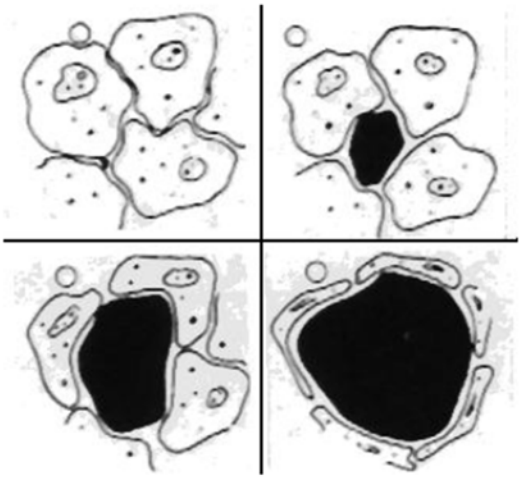
ที่มา: Boegh and Jul (1985)

5) ตำแหน่งที่เกิดผลึกน้ำแข็ง

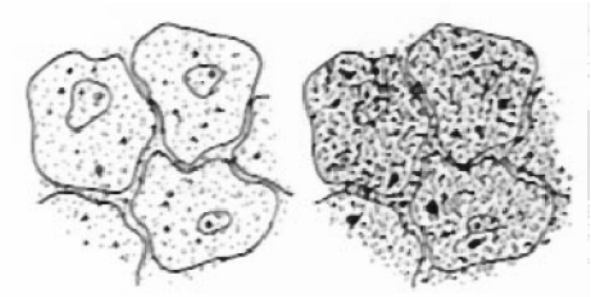
ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นที่ส่วนใดของเซลล์เนื้อเยื่อก็ตาม ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ และลักษณะตามธรรมชาติของเซลล์ โดยทั่วไปการแช่เยือกแข็งแบบช้าจากเกิดผลึกขนาดใหญ่และจะเกิดที่บริเวณภายนอกเซลล์ (extracellular) น้ำภายในเซลล์จะถูกดึงมาช่วยเพิ่มขนาดของผลึกที่ภายนอกเซลล์ เป็นผลให้เซลล์หดตัวลดขนาดลง แต่ถ้าเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็วผลึกน้ำแข็งจะเกิดได้ทั้งในส่วนภายในเซลล์ (intracellular) และภายนอกเซลล์ได้พร้อมๆกัน มีขนาดของผลึกสม่ำเสมอกระจายทั่วไปจึงไม่ทำให้เซลล์เกิดการหดตัว ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3

6) วิธีอื่นๆ

นอกจากวิธีต่างๆดังกล่าว ยังมีวิธีการใช้อัตราการปลดปล่อยความร้อน (rate of heat liberation) และจำนวนเก็บน้ำแข็งที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยเวลา เป็นต้น



ภาพที่ 2 การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อเมื่ออัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบช้า
ที่มา: Fennema et al. (1973)



ภาพที่ 3 การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อเมื่ออัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบเร็ว
ที่มา: Fennema et al. (1973)

การเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

วิธีการแช่เยือกแข็งที่ดีและเหมาะสมเพียงอย่างเดียวจะไม่ช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งดีที่สุดได้ เพราะผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องนำมาเก็บรักษาไว้ก่อนจะส่งจำหน่ายถึงผู้บริโภค ถ้าเก็บรักษาไว้ในสภาพที่ไม่เหมาะสม คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลงลดมากโดยทั่วไปการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งจำเป็นต้องเก็บในห้องที่มีระดับความเย็นเหมาะสม มีฉนวนป้องกันเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของห้องให้คงที่อยู่ตลอดเวลา และควรจะอยู่ในระดับต่ำที่แน่ใจได้ว่าจุลินทรีย์ที่ปะปนจะมา

หยุดการทำงานโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นกับอาหารอุณหภูมิในการเก็บรักษาควรจะรักษาให้อยู่ในระดับ -18 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า (สายสนม, 2539)

การเปลี่ยนแปลงในอาหารแช่เยือกแข็ง

ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งผ่านกระบวนการการแปรรูปด้วยการให้ความเย็นระดับเยือกแข็งเพื่อถนอมอาหารให้เก็บได้ยาวนาน อุณหภูมิที่ต่ำจะสามารถ ลด ยับยั้งและหยุดการเสื่อมเสียในอาหารอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมี รวมทั้งการคงรักษาเนื้อสัมผัสได้ด้วยการลดจนเกือบจะหยุดการเคลื่อนไหวทางฟิสิกส์ของอนุภาคหรือที่เรียกว่าการเข้าสู่สภาวะสภาพแก้ว (glass transition) ในอาหารได้ ปัจจุบันกฎการเก็บรักษาอาหารแช่แข็งส่วนใหญ่ จะให้เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า-18°C (0°F) ได้ในระยะเวลา 6 เดือน ถึง 2 ปี ด้วยความเย็นระดับนี้จะไม่มีจุลินทรีย์ชนิดใดสามารถเจริญเติบโตได้ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ชนิด Psychophilic Organism ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิต่ำถึง -5 องศาเซลเซียส ทำให้การแช่เย็นทั่วไปป้องกันไม่ได้ เพราะอุณหภูมิจะอยู่ที่เพียง 0-5 องศาเซลเซียส (บุหลัน และ เปรมจิตต์, 2538)

ผลกระทบของอาหารแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพอาหารคือเกิดความเสียหายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ การแช่เยือกแข็งมีผลต่อ สี กลิ่น รส หรือคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก การแช่เยือกแข็งอย่างช้าๆจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่และจะเกิดที่บริเวณนอกเซลล์ น้ำภายในเซลล์จะถูกดึงมาเพิ่มขนาดของผลึกที่ภายนอกเซลล์ เนื่องจากผลึกน้ำแข็งจะมีความดันไอน้ำต่ำกว่าบริเวณภายในเซลล์ น้ำจากเซลล์จึงเคลื่อนที่ไปยังผลึกที่เติบโต เป็นผลให้เซลล์หดตัวและได้รับความเสียหายต่อไปเนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงขึ้น การทำละลายน้ำแข็งในอาหาร เซลล์ในอาหารจะไม่กลับมามีรูปร่างและความเข็งแรงเหมือนเดิม อาหารจะนิ่มมากขึ้นและสารต่างๆ ภายในเซลล์จะไหลออกสู่นอกเซลล์ ส่วนการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นทั้งภายในเซลล์และนอกเซลล์ได้พร้อมๆกันผลึกจึงมีขนาดเล็กและกระจายทั่วไป (Inoue and Bushuk, 1992)

อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง (Frozen seafood)

ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง (frozen seafood) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่เยือกแข็ง (freezing) อาหารทะเลสด ได้แก่ ปลาทะเล สัตว์น้ำในกลุ่ม crustacean ได้แก่ กุ้ง ปู กั้ง สัตว์น้ำในกลุ่ม mollusk ได้แก่ ปลาหมึก และหอย อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง อาจเป็นวัตถุดิบที่ ผ่านการเตรียมเบื้องต้น (raw material preparation) เช่น คัดขนาด การล้าง (cleaning) แล่เป็นชิ้น ตัดแต่ง แกะเปลือก หรือ เป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่า เช่น การชุปด้วยแป้ง (coating batter) การชุบเกล็ดขนมปัง (breading) ผ่านการปรุงสุก (cooking) ได้แก่ นึ่ง (steming) ทอด (frying) หรือ ต้มสุกให้พร้อมนำไปแปรรูปต่อ หรือนำไปประกอบอาหาร เช่น ซูริมิหลังจากการแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็งจะต้องเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์และเก็บรักษาอุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส เพื่อคงความสด ป้องการการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่และมีอายุการเก็บรักษาตามที่กำหนด (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2561)

รูปแบบการแช่เยือกแข็ง อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

รูปแบบโดยทั่วไปของอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ที่จำหน่ายในปัจจุบัน ได้แก่

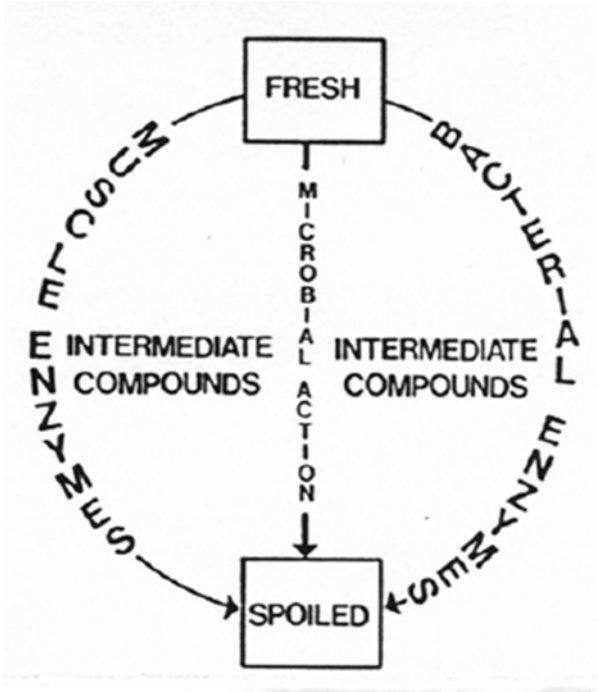
1) ผลิตภัณฑ์แช่แข็งแบบเป็นชิ้น หรือที่เรียกว่าไอ คิว เอฟ (IQF) เป็นอาหารทะเลที่ภายหลังการแช่เยือกแข็งจะมีลักษณะเป็นชิ้นแยกเป็นอิสระกันเพื่อสะดวกแก่การนำไปใช้บริโภค เครื่องแช่เยือกแข็ง (freezer) ที่ใช้ เพื่อการแช่เยือกแข็งอาหารทะเล แบบ IQF ได้แก่ air blast freezer, belt freezer, spiral freezer, fluidized bed freezer, cryogenic freezer การผลิต IQF ควรใช้เครื่องเย็นระบบลมเย็น air blast ใช้สายพาย นิยมใช้เครื่องเย็นแบบไครโอจินิกซึ่งใช้สารทำความเย็นเหลว เช่น ไนโตรเจนเหลวหรือคาร์บอนไดออกไซด์เหลวพ่นลงไปก็ได้ การทำเยือกแข็งใช้เวลาประมาณ 10-20 นาที

2) ผลิตภัณฑ์แช่แข็งแบบเป็นก้อน (block) อาหารทะเล เช่น เนื้อปลา กุ้ง หรือปลาหมึก จะถูกนำไปเรียงลงกล่องโลหะ เติมน้ำให้ท่วมก่อนจะถูกนำไปแช่เยือกแข็ง ด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบแผ่น (plate freezer) โดยอาจมีอุณหภูมิต่ำถึง -40 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ เพื่อให้เนื้อสัตว์ มีอุณหภูมิไม่เกิน -18 องศาเซลเซียส จากนั้นอาหารทะเล ะถูกเคาะออกจากบล็อก อาจมีการเคลือบน้ำแข็ง (ice glazing) เพื่อลดการสูญเสียน้ำก่อนนำไปบรรจุลงถุงและกล่องกระดาษ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็งแบบก้อน น้ำที่ใช้สำหรับเคลือบหรือใช้เตรียมสารละลายสำหรับเคลือบต้องเป็นน้ำที่สะอาดมีคุณภาพและมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ว่าด้วยน้ำบริโภค ถ้าใช้น้ำทะเลที่ใช้ในการเคลือบ ต้องเป็นน้ำทะเลที่สะอาดได้มาตรฐานทางจุลชีววิทยา ตามมาตรฐานน้ำบริโภคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข และปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่ทำให้คุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งไม่เป็นที่ยอมรับ

3) ผลิตภัณฑ์แช่แข็งแบบกึ่งเป็นก้อน ลักษณะของผลิตภัณฑ์เป็นก้อน แต่เมื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ละชิ้นผลิตภัณฑ์ที่รวมกันอยู่เป็นก้อนจะแยกออกจากกันโดยง่าย ในกระบวนการทำเยือกแข็งไม่มีการเติมน้ำลงในกล่องตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่นิยมทำ ได้แก่ หมึกเป็นตัวแช่แข็งรวมกันเป็นกล่อง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2545; ,มยุรี, 2558)

การเน่าเสียของสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำต่างๆ เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของคนและสัตว์ ผลผลิตจากสัตว์น้ำของไทยได้จากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ คลอง และท้องทะเลทั่วอ่าวไทยและทะเลอันดามัน นอกจากนั้นมีการขุดบ่อหรือสระเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยง ซึ่งนิยมทำในบริเวณใกล้กับแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (วรรณวิบูลย์, 2539) การเน่าเสียของสัตว์น้ำจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากสัตว์น้ำตาย และขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ก่อนสัตว์น้ำตายซึ่งจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับวิธีการจับและแหล่งจับสัตว์น้ำ สัตว์น้ำซึ่งจับตามริมชายฝั่งจะมีจำนวนจุลินทรีย์มากกว่าสัตว์น้ำที่ได้จากทะเลลึกหรือแหล่งน้ำสะอาด การเน่าเสียของสัตว์น้ำเกิดจากสาเหตุหลักที่สำคัญ 2 ประการคือ จากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในตัวของสัตว์น้ำเอง และจากปฏิกิริยาของเอนไซม์จากแบคทีเรียที่ติดอยู่ในตัวสัตว์น้ำ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สาเหตุของการเน่าเสียของสัตว์น้ำ
ที่มา: Pedraja (1970)

มาตรฐานของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

มาตรฐานของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำมีทั้งทางเคมี จุลชีววิทยา และทางกายภาพ โดยมาตรฐานในแต่ละประเทศอาจแตกต่างกันไป การกำหนดมาตรฐานของไทยมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง คือสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม หากเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรฐานสัตว์น้ำระหว่างประเทศ ได้แก่

1. องค์กรอาหารระหว่างประเทศ (Codex Alimentarius Commission)

2. คณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยจุลินทรีย์ด้านอาหาร (International Commission on Microbiological Specification for Foods หรือ ICMSF) หน่วยงานนี้ มีหน้าที่เกี่ยวกับจุลินทรีย์ของอาหาร

3. องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Standard Organization หรือ (ISO) เป็นหน่วยงานที่ท้าหน้าที่เกี่ยวกับมาตรฐานสินค้าและมาตรฐานด้านอาหาร กำหนดวิธีวิเคราะห์และพัฒนาวิธีเพื่อใช้เป็นแนวทางเดียวกันและแน่นอนในการซื้อขาย (ภักดี, 2536)

สำหรับรายชื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำต่างๆของไทยแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายชื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำของไทย

ชื่อมาตรฐาน	เลขที่ – ปี พ.ศ.
กุ้งกระป๋อง	มอก. 264-2521
เนื้อปูกระป๋อง	มอก. 292-2522
ปลาหมึกแห้งปรุงรส	มอก. 323-2522
ปลาหมึกเยือกแข็ง	มอก. 428-2525
หอยลายกระป๋อง	มอก. 430-2525
ปลาหมึกกระป๋อง	มอก. 434-2525
น้ำปลาพื้นเมือง	มอก. 3-2526
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	มอก. 89-2528
กุ้งเยือกแข็ง	มอก. 115-2529
ปลาสดแล่เยือกแข็ง	มอก. 616-2529
ปลาสดทั้งตัวเยือกแข็ง	มอก. 617-2925
ปลาแมกเคเรลกระป๋อง	มอก. 645-2529
ปลาทูน่ากระป๋อง	มอก. 142-2530
ปลาหยอง ปลาเกล็ด และปลาแห้งป่น	มอก. 700-2530
ข้าวเกรียบ	มอก. 701-2530
ปลาเค็ม : ปลาสลิด	มอก. 1199-2530
เนื้อปลาบด (ซูริมิ) เยือกแข็ง	มอก. 935-2533
ปลาหมึกแห้ง	มอก. 972-2533
กุ้งแห้ง	มอก. 1003-2533
กะปิ	มอก. 1080-2535
ปลาเค็ม : ปลาอินทรี	มอก. 1204-2536

ที่มา: มัทนา (2545)

มาตรฐานการส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งมี 9 มาตรฐาน ดังนี้คือ

1. GMP (Good Manufacturing Practice) เป็นหลักการทั่วไปเกี่ยวกับสุขลักษณะอาหาร (มอก.34-2546) หลักเกณฑ์นี้ได้วางพื้นฐานเพื่อให้เกิดความมั่นใจในเรื่องสุขลักษณะอาหารและควรใช้ควบคู่กับข้อกำหนดวิธีปฏิบัติด้านสุขลักษณะเฉพาะแต่ละเรื่องที่เหมาะสม และควรใช้ร่วมกับข้อแนะนำเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ทางด้านจุลินทรีย์

2. HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point System) เป็นระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมในการผลิตอาหาร ซึ่งระบบนี้เป็นระบบการจัดการเพื่อความปลอดภัยของอาหาร

3. BRC (British Retail Consortium) เป็นมาตรฐานที่สมาคมผู้ค้าปลีกประเทศอังกฤษได้พัฒนาเพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการผลตัดสินค้าของผู้ส่งมอบเพื่อส่งมอบกับผู้ค้าปลีกในประเทศอังกฤษ เป็นระบบที่เน้นการผลิตภายใต้ระบบการจดการคุณภาพกับระบบความปลอดภัยในการผลิตอาหารเข้าด้วยกัน

4. IFS (International Food Standard) เป็นมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นมาโดย Hauptverband des Deutschen Einzelhandels (HDE) ประเทศเยอรมัน โดยเป็นมาตรฐานระบบรายงานสำหรับทุกบริษัทที่ผลิตและ/ หรือแปรรูปอาหาร มาตรฐานดังกล่าววางอยู่บนพื้นฐานการใช้รายการตรวจสอบ และ Scoring matrix โดยมีระดับของการให้การรับรองมาตรฐานอยู่ที่ Foundation and Higher Level ลักษณะของการตรวจประเมินจะเป็นแบบ Checklist

5. BAP (Best Aquaculture Practices from Aquaculture Certification Council) เป็นข้อกำหนดของมาตรฐานของ ACC หรือ Aquaculture Certification Council ซึ่งเป็นองค์กรอิสระของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ให้บริการรับรองกระบวนการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยข้อกำหนดของมาตรฐานนี้คลอบคลุม 4 หัวข้อหลักประกอบด้วย ด้านชุมชน (Community), ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment), ด้านความปลอดภัยของอาหาร (Food Safety) , ด้านการตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability)

6. ISO/IEC 17025 (General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories) เป็นมาตรฐานสากลที่เกิดขึ้นโดยการร่วมมือกนระหว่าง International Organization for Standardization กับ International Electrotechnical Commission ซึ่งได้กำหนดข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและห้องปฏิบัติการทดสอบให้เป็นมาตรฐานเดียวกันซึ่งครอบคลุมถึงการบริหารจัดการห้องปฏิบัติการ ตั้งแต่การเตรียมตัวอย่างจนถึงความชำนาญในการวิเคราะห์ทดสอบ/สอบเทียบ รวมถึงการเก็บบันทึกและการรายงานผล

7. ISO 9001: 2000 (International Standard Organization) เป็นมาตรฐานสากลที่องค์กรธุรกิจทั่วโลกให้ความสำคัญ เพื่อความเป็นเลิศทางด้านคุณภาพ และความมีประสิทธิภาพของการดำเนินงานภายในองค์กร

8. ISO 14001 (International Standard organization Environmental management) เป็นระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม มีวัตถุประสงค์เพื่อให้องค์กรมีความตระหนักถึงความสำคัญของการจัดการสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมควบคู่กับการพัฒนาธุรกิจ โดยมุ่งเน้นในการป้องกันมลพิษและการปรับปรุงให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง

9. มาตรฐานแรงงานไทย เป็นข้อกำหนดห้ามการใช้แรงงานผิดกฎหมายและแรงงานเด็ก (จารวี, 2552)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mishra and Srikar (1989) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของเนื้อหอยตลับ (*Meretrix casta*) ที่แกะเปลือกเอาเครื่องในออกแล้วแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °c เป็นระยะเวลา 200 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น %thaw drip loss ของหอยกาบแช่เยือกแข็งจะเพิ่มขึ้นจาก 7.79% ในตอนเริ่มต้น เป็น 15.90% ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) และปริมาณ

ไกลโคเจนในเนื้อหอยมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษา ทั้งนี้เกิดจากการย่อยสลายของเอนไซม์ในตัวหอย ซึ่งสามารถย่อยสลายไนโตรเจนและไกลโคเจนที่มีอยู่ในเนื้อหอย และอาจเกิดจากการสูญเสียผ่าน drip loos ในช่วงการละลายด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าค่า PV และค่า TBA มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไขมัน ในเนื้อหอยกาบเกิดการออกซิเดชั่นเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนปริมาณ TVB-N จะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

เลิศเกียรติ พูลผล (2542) ศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ที่แกะเปลือกแล้วแบบ air blast freezing และแบบ cryogenic freezing พบว่าหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ air blast จะมี %freezing loss สูงกว่าหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ cryogenic และอายุการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะมี %thawing loss และค่า thiobarbituric acid (TBA) เพิ่มขึ้น แต่มีค่าแรงต้านทานการตัดขาดลดลง โดยตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast จะมี thawing loss และค่า TBA สูงกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี cryogenic นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พบว่าการแช่แข็งหอยแมลงภู่ในสารละลาย STPP และการเคลือบด้วยน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง สามารถลด %thawing loss และค่า TBA ที่เกิดขึ้นได้อย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Balasundari et al. (1997) ศึกษาผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°c เป็นเวลา 150 วัน ต่อคุณภาพของหอยนางรมที่แกะเปลือกและต้มแล้วแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีการบรรจุในถุงชนิด low density polyethylene พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างจะมี %thawing loss สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) เนื่องจากเกิดการเสียสภาพของโปรตีน ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง รวมทั้งเกิดจากการฉีกขาดของเซลล์อันเนื่องมาจากผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้พบว่า ปริมาณ TVB-N และค่า TBA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ตามอายุการเก็บรักษาเช่นกัน ส่วนจำนวนจุลินทรีย์ในเนื้อหอยกับมีปริมาณลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยตลับ
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาหอยตลับแช่เยือกแข็ง

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถยืดอายุการเก็บรักษาหอยตลับสด
2. สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์หอยตลับ
3. สามารถนำผลการทดลองที่ได้ที่มาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง

นำหอยตลับจากกลุ่มชาวประมงในอำเภอกันตัง จ.ตรัง มาล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาด และล้างด้วยน้ำผสมคลอรีนความเข้มข้น 50 ppm โดยหอยที่ซื้อมาจะทำการทดลองในทันทีไม่มีการเก็บรักษาเพื่อรอการทดลอง นำหอยทั้งตัวที่ผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วมาวางให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักแล้วนำมาเติมน้ำ อัตราส่วนหอยต่อน้ำเท่ากับ 2:1 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 30, 40 และ 50 นาที ตรวจสอบร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (% Cooking lose) โดยดัดแปลงวิธีการของ AOAC (1995) แกะเนื้อหอยแยกจากเปลือก นำเนื้อหอยตลับผสมน้ำหอยใส่ในบล็อกสำหรับแช่เยือกแข็ง โดยทำการชั่งน้ำหนักของเนื้อหอยและน้ำหอยก่อนทำการแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำเนื้อหอยที่ผ่านการลวกและน้ำหอยที่ได้จากการต้มบรรจุลงบล็อกแช่เยือกแข็ง ทำการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -30 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Hong and Choi, 2016) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการละลายน้ำแข็ง (Thawing) ผ่านนำไหลเป็นเวลา 30 นาที (Hong and Choi, 2016) คัดเลือกสภาวะในการต้มที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- ค่าความเป็นกรดด่าง ตามวิธีการของ Hasegawa (1987)
- ปริมาณด่างที่ระเหยได้ ตามวิธีการของ Hasegawa (1987)
- ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity: WHC) ตามวิธีการของ Hong et al. (2008)
- ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% Freezing lose) ตามวิธีการของ AOAC (1995)
- ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (% Thawing lose) ตามวิธีการของ AOAC (1995)

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยตลับผสมน้ำหอย

เตรียมหอยตลับเช่นเดียวกับข้อ 1 โดยใช้สภาวะในการต้มที่เหมาะสมซึ่งคัดเลือกจากจากข้อ 1 หลังจากนำเนื้อหอยที่ผ่านการต้มและน้ำหอยที่ได้จากการลวกบรรจุลงบล็อกแช่เยือกแข็งแล้วทำ การศึกษาดังนี้

2.1 กราฟการแช่เยือกแข็ง

ศึกษากราฟการแช่เยือกแข็ง ตามวิธีการของ Boonsumrej et al (2007) โดยทำการแช่เยือกแข็งตัวอย่าง ด้วยตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -30 °C บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างจนกระทั่งอุณหภูมิของจุดกึ่งกลางตัวอย่าง เท่ากับ -18 °C ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger Temperature) โดยใช้สายเสียบเข้าไปตรงกลางของชิ้นเนื้อหอย บันทึกอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิ -18 °C

2.2 อัตราการแช่เยือกแข็ง

ศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) โดยคำนวณอัตราการแช่เยือกแข็ง ตามสมการ ของ Pan and Yeh (1993) ดังนี้

$$\text{Freezing rate (cm/h)} = \frac{\text{Minimum distance from the surface to the thermal center of sample (cm)}}{\text{Thermal arrest time (hr) to reach -18°C}}$$

$$= \frac{\text{ระยะทางน้อยสุดจากผิวหน้าตัวอย่างถึงจุดกึ่งกลางของตัวอย่าง (เซนติเมตร)}}{\text{ระยะเวลาของการแช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิตัวอย่าง -18 องศาเซลเซียส}}$$

3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาหอยตลับแช่เยือกแข็ง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาหอยตลับแช่เยือกแข็ง ทำการศึกษาเฉพาะเนื้อหอยตลับเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าหอยตลับทั้งเปลือก โดยเตรียมตัวอย่างตามผลการทดลองในข้อ 1 และ 2 หลังจากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ ละลายน้ำแข็ง (Thawing) โดยผ่านน้ำไหลเป็นเวลา 30 นาที (Hong and Choi, 2016) ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งจากหอยตลับทั้ง 2 รูปแบบ โดยตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

-ค่าความเป็นกรดด่าง ตามวิธีการของ Hasegawa (1987)

-ปริมาณด่างที่ระเหยได้ ตามวิธีการของ Hasegawa (1987)

-ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity: WHC) ตามวิธีการของ Hong et al. (2008)

-ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% Freezing lose) ตามวิธีการของ AOAC (1995)

-ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (% Thawing lose) ตามวิธีการของ AOAC (1995)

-ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) ตามวิธีการของ Speck (1976)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยทำการลวดหอยตลับในน้ำเดือดที่อุณหภูมิต่างๆกัน 3 ระดับคือ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดค่าต่างๆคือ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (Total volatile base: TVB) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity: WHC) ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% Freezing lose) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (% Thawing lose) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของเนื้อหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิในการต้ม (°C)	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)
30	7.06 ± 0.05^{a}
40	6.98 ± 0.04^{ab}
50	6.95 ± 0.03^{b}

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่ระยะเวลาต่างๆกัน พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของหอยตลับต้มที่ต้มเป็นระยะเวลา 30, 40และ50 นาที มีค่าเท่ากับ 7.06 ± 0.05, 6.98 ± 0.04 และ 6.95 ± 0.03 ตามลำดับ ซึ่งระดับค่า pH ดังกล่าวเป็นระดับค่า pH ของหอยสดปกติที่ยังไม่มีการเสื่อมเสีย ซึ่งระดับค่า pH ดังกล่าวเป็นระดับค่า pH ของหอยสดปกติที่ยังไม่มีการเสื่อมเสีย จากการศึกษา Jo et al. (2014) ซึ่งทำศึกษากระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง (high hydrostatic pressure: HHP) กระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้ความดันสูงเพื่อถนอมอาหาร พบว่าการใช้ความดัน 0.1 MPa, 100 MPa, 200 MPa, 300 MPa, 400 MPa และ 500 MPa ค่า pH ของหอยที่ได้มีค่าเท่ากับ 6.31± 0.15, 6.30 ± 0.04, 6.05 ± 0.01, 6.35 ± 0.01, 6.45 ± 0.03 และ 6.45 ± 0.03 ตามลำดับ ซึ่งค่า pH ดังกล่าวเป็นค่า pH ของหอยที่ยังไม่มีการเน่าเสีย เพียงนำมาผ่านกระบวนการใช้ความดันในการถนอมอาหาร

ตารางที่ 4 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (% cooking lose) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิในการต้ม (°C)	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน
30	24.79 ± 3.09[a]
40	26.94 ± 0.98[a]
50	27.40 ± 1.16[a]

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการต้มเป็นระยะเวลา 30, 40 และ50 นาทีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มของร้อยละการสูญเสียเนื่องจากการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ เลิศเกียรติ (2542) พบว่าผลของวิธีและเวลาในการลวกหอยแมลงภู่ โดยลวกหอยแมลงภู่ด้วยไอน้ำและน้ำเดือดเป็นเวลา 2, 6, 8 และ10 นาที พบว่าเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น ผลิตภัณฑ์มีร้อยละของผลผลิต (%yield) ลดลงจากร้อยละ 18.76 เป็นร้อยละ 16.67 สำหรับการลวกในน้ำเดือด และลดลงจากร้อยละ 22.30 เป็นร้อยละ 15.99 สำหรับการลวกไอน้ำ ซึ่งการลดลงของผลผลิตส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิในการต้ม (°C)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (%)
30	47.67 ± 3.40[a]
40	47.42 ± 3.26[a]
50	37.05 ± 1.46[b]

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 5 ความสามารถในการอุ้มน้ำของหอยตลับที่ผ่านการต้มด้วยระยะเวลาต่างๆกัน คือ 30 40 และ50 นาที มีค่าลดลง โดยการต้มที่เวลา 50 นาทีจะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงต่างจากที่เวลา 30 และ 40 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นจาก 40 นาทีเป็น 50 นาที นิธิยา (2545) กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงที่เห็นชัด ได้แก่ การสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) การ

หดตัว (shrinkage) ของกล้ามเนื้อ และทำให้เนื้อสัมผัส (texture) ของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (denaturation) โปรตีนแต่ละชนิดจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติในสภาวะที่แตกต่างกัน และการทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติมีหลายวิธี วิธีหนึ่ง คือ การให้ความร้อน โปรตีนในเนื้อสัตว์จะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติได้ตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 57 ถึง 75 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ความสามารถในการอุ้มน้ำและการหดตัวของเนื้อสัตว์

ตารางที่ 6 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิในการต้ม (°C)	**ปริมาณด่างที่ระเหยได้** (มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตัวอย่าง)
30	ไม่พบ
40	ไม่พบ
50	ไม่พบ

จากตารางที่ 6 ผลการศึกษาปริมาณด่างที่ระเหยได้ ของหอยตลับที่ผ่านการต้มเป็นระยะเวลาต่างๆกัน พบว่าไม่พบปริมาณด่างที่ระเหยได้ที่ระยะเวลาการต้ม 30, 40 และ 50 นาที ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ วิชชญา (2548) ซึ่งศึกษาการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ กลันทิกา (2550) ซึ่งศึกษาการเก็บรักษาหอยเปาฮื้อที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่าจากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณด่างที่ระเหยได้จะไม่พบปริมาณด่างที่ระเหยได้ในอาทิตย์แรกของการเก็บรักษา

ตารางที่ 7 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (Thawing lose) ของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิในการต้ม (°C)	**ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (%)**
30	14.68 ± 5.82^{a}
40	12.35 ± 4.15^{ab}
50	8.82 ± 3.35^{b}

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 7 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายของหอยตลับที่ผ่านการต้มที่ระยะเวลาต่างๆกันพบว่า เมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องจาก การต้มเป็นเวลานานทำให้

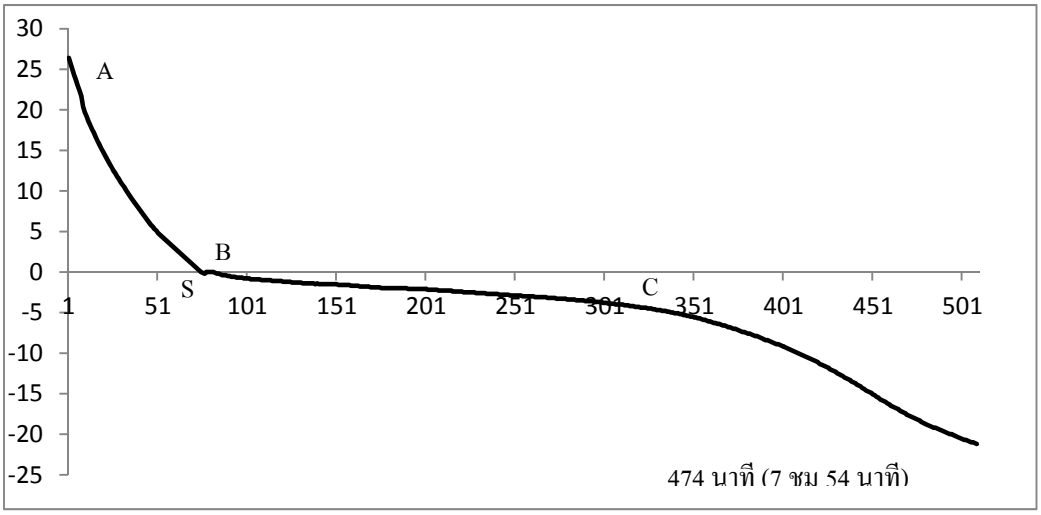
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (ตารางที่ 4) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง (ตารางที่ 5) เนื่องจากการต้มเป็นเวลานานทำให้โปรตีนเสียสภาพ ซึ่งการเสียสภาพของโปรตีนส่งผลต่อการสูญเสียสมบัติในการอุ้มน้ำของโปรตีน (Zayas, 1997) นั้นคือเมื่อต้มเป็นระยะเวลานานหอยจะสูญเสียน้ำมาก เมื่อนำมาแช่เยือกแข็ง หอยที่เสียน้ำมากก็จะมีการสูญเสียน้ำออกมาเนื่องจากการละลายน้อยลง เพราะมีน้ำเหลืออยู่ในเซลล์น้อย

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยตลับ

2.1 การแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับผสมน้ำหอย

2.1.1 กราฟการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับผสมน้ำหอย

การศึกษากราฟการแช่เยือกแข็งโดยทำการแช่เยือกแข็งตัวอย่างแบบ Air-blast freezing ที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างจนกระทั่งอุณหภูมิของจุดกึ่งกลางตัวอย่าง -18 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger temperature) ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับผสมน้ำต้มหอย

เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีการแช่เยือกแข็ง (Rahman et al., 2002) การศึกษากราฟแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ (ภาพที่ 5) พบว่าช่วงที่ 1 (A-S) เมื่อนำตัวอย่างเนื้อหอยตลับไปแช่เยือกแข็งซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้น A อุณหภูมิของตัวอย่างจะลดต่ำลงเนื่องจากมีการคายความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ของน้ำในตัวอย่างเนื้อหอยตลับ จนถึงจุดทำให้เย็นยิ่งยวด (super cooling : S) ณ. จุดนี้อุณหภูมิของน้ำลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ คือ 0 องศาเซลเซียส แต่ยังไม่เกิดผลึกน้ำแข็ง ซึ่งเกิดขึ้นเสมอก่อนที่จะเกิดผลึกน้ำแข็ง ช่วงที่ 2 (S-B) เมื่อเริ่มเกิดผลึกน้ำแข็ง จะมีการคายความร้อนของการเกิดผลึกหรือความร้อนแฝง (Latent heat) ช่วงที่ 3 (B-C) เป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำใน

ตัวอย่างเนื้อหอยตลับไปเป็นน้ำแข็งโดยอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่ที่อุณหภูมิ -5.3 องศาเซลเซียส ในระหว่างนี้คงมีการคายความร้อนแฝงออกมาจนกระทั่งตัวอย่างเนื้อหอยตลับเป็นน้ำแข็งหมด ช่วงที่ 4 เมื่อตัวอย่างเนื้อหอยตลับกลายเป็นน้ำแข็งจนหมดแล้วหากยังคงทำการแช่แข็งต่อไปอุณหภูมิน้ำแข็งจะลดลงไปจนกว่าจะเท่ากับอุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็ง ในช่วงนี้จะมีการคายความร้อนสัมผัสของน้ำแข็ง การทดลองครั้งนี้ทำการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของเนื้อหอยตลับถึงอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 54 นาที หรือ 474 นาที

2.1.2 อัตราการแช่เยือกแข็ง

ศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็ง (Freezing rate) ของเนื้อหอยตลับ โดยคำนวณอัตราการแช่เยือกแข็งตามสมการ (Pan and Yeh,1993)

$$\text{Freezing rate (cm/h)} = \frac{\text{Minimum distance from the surface to the thermal center of sample (cm)}}{\text{Thermal arrest time (hr) to reach } -18^{\circ}\text{C}}$$

$$= \frac{\text{ระยะทางน้อยสุดจากผิวหน้าตัวอย่างถึงจุดกึ่งกลางของตัวอย่าง (เซนติเมตร)}}{\text{ระยะเวลาของการแช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิตัวอย่าง -18 องศาเซลเซียส}}$$

$$= 2.4/7.90 \text{ (เซนติเมตร/ชั่วโมง)}$$

$$= 0.30 \text{ เซนติเมตร/ชั่วโมง}$$

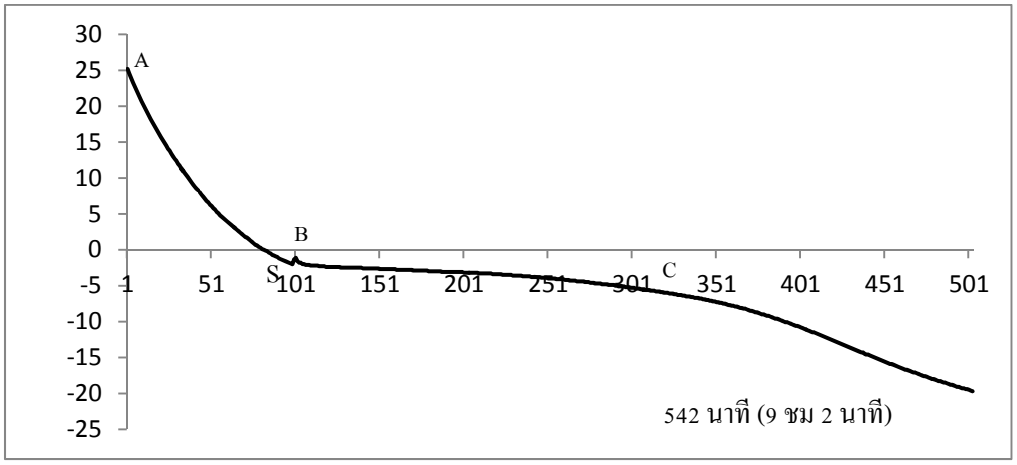
จากการศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ โดยคำนวณจากอัตราการแช่เยือกแข็ง พบว่า อัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ มีค่าเท่ากับ 0.30 เซนติเมตร/ชั่วโมง เป็นการแช่แข็งแบบช้า โดยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Slow Freezing) มีอัตราการแช่เยือกแข็งอยู่ในช่วง 0.2-0.5 เซนติเมตร ต่อชั่วโมง ใช้สำหรับการแช่เยือกแข็งชิ้นอาหารขนาดใหญ่ (Bulk) ในห้องเย็นที่มีลมเป่า (Air Blast Room) (วิไล, 2547) การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้การแช่เยือกแข็งแบบช้าเนื่องจากเป็นการแช่เยือกแข็งที่สามารถดำเนินการได้โดยใช้ตู้แช่เยือกแข็งที่ราคาไม่สูงมากนัก กลุ่มชาวประมงที่ต้องการแปรรูปหอยตลับในลักษณะของหอยตลับแช่เยือกแข็งสามารถดำเนินการได้

สำหรับความแตกต่างของผลของการแช่เยือกแข็งแบบเร็วและแบบช้านั้น LaBell (1991) อธิบายว่าระหว่างที่แช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วจะเกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ซึ่งการเกิดผลึกจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดการทำลายผนังเซลล์เมมเบรนของยีสต์ แต่ถ้าเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าเมื่อของเหลวภายในเซลล์เกิดการเย็นตัวแบบยิ่งยวด จะมีความดันไอที่แตกต่างกันระหว่างของเหลวภายในและเซลล์ภายนอก ทำให้น้ำในเซลล์ไหลออกมาภายนอกแล้วเกิดเซลล์เป็นผลึกน้ำแข็ง และน้ำภายในเซลล์จะคงเหลืออยู่ ทำให้ไม่สามารถเป็นผลึกน้ำแข็งได้ ดังนั้น การแช่แข็งแบบช้าจึงทำให้เกิดอัตราการรอดชีวิตมากกว่า

2.2 การแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับทั้งเปลือก

2.2.1 กราฟการแช่เยือกแข็งหอยตลับทั้งเปลือก

การศึกษากราฟการแช่เยือกแข็งโดยทำการแช่เยือกแข็งตัวอย่างแบบ Air-blast freezing ที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส บันทึกอุณหภูมิของตัวอย่างจนกระทั่งอุณหภูมิของจุดกึ่งกลางตัวอย่าง -18 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger temperature) ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการแช่เยือกแข็งหอยตลับทั้งเปลือก

เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีการแช่เยือกแข็ง (Rahman et al., 2002) การศึกษากราฟแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับทั้งเปลือก (ภาพที่ 6) พบว่าช่วงที่ 1 (A-S) เมื่อนำตัวอย่างหอยตลับทั้งเปลือกไปแช่เยือกแข็งซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้น A อุณหภูมิของตัวอย่างจะลดต่ำลงเนื่องจากมีการคายความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ของน้ำในตัวอย่างหอยตลับทั้งเปลือก จนถึงจุดทำให้เย็นยิ่งยวด (super cooling : S) ณ. จุดนี้อุณหภูมิของน้ำลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ คือ 0 องศาเซลเซียส แต่ยังไม่เกิดผลึกน้ำแข็ง ซึ่งเกิดขึ้นเสมอก่อนที่จะเกิดผลึกน้ำแข็ง ช่วงที่ 2 (S-B) เมื่อเริ่มเกิดผลึกน้ำแข็งจะมีการคายความร้อนของการเกิดผลึกหรือความร้อนแฝง (Latent heat) ช่วงที่ 3 (B-C) เป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในตัวอย่างหอยตลับทั้งเปลือกไปเป็นน้ำแข็งโดยอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่ที่อุณหภูมิ -5.1 องศาเซลเซียส ในระหว่างนี้คงมีการคายความร้อนแฝงออกมาจนกระทั่งตัวอย่างหอยตลับทั้งเปลือกเป็นน้ำแข็งหมด ช่วงที่ 4 เมื่อตัวอย่างหอยตลับทั้งเปลือกกลายเป็นน้ำแข็งจนหมดแล้วหากยังคงทำการแช่แข็งต่อไปอุณหภูมิน้ำแข็งจะลดลงไปจนกว่าจะเท่ากับอุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็ง ในช่วงนี้จะมีการคายความร้อนสัมผัสของน้ำแข็ง การทดลองครั้งนี้ทำการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยตลับที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนกระทั้งอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของหอยตลับทั้งเปลือกถึงอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 9 ชั่วโมง 2 นาที หรือ 542 นาที

จากการศึกษาของ Chen and Pan (1997) ศึกษาการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast (-20 องศาเซลเซียส และ -36 องศาเซลเซียส) และแบบ Cryogenic ด้วย ไนโตรเจนเหลว (-87 องศาเซลเซียส และ -128 องศาเซลเซียส) ที่มีผลต่อโครงสร้างกล้ามเนื้อของปลา Tilapia พบว่า การแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic มีผลทำให้เกิดช่องว่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อของปลา น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast และพบว่าการแช่เยือกแข็งทำให้เกิดความกว้างของช่องว่าง ระหว่างมัดกล้ามเนื้อเพิ่มสูงกว่าเนื้อปลาสด 5-151%

2.2.2 อัตราการแช่เยือกแข็ง

ศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็ง (Freezing rate) ของหอยตลับทั้งเปลือก โดยคำนวณอัตราการแช่เยือกแข็งตามสมการ (Pan and Yeh,1993)

$$\text{Freezing rate (cm/h)} = \frac{\text{Minimum distance from the surface to the thermal center of sample (cm)}}{\text{Thermal arrest time (hr) to reach } -18^{\circ}\text{C}}$$

$$= \frac{\text{ระยะทางน้อยสุดจากผิวหน้าตัวอย่างถึงจุดกึ่งกลางของตัวอย่าง (เซนติเมตร)}}{\text{ระยะเวลาของการแช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิตัวอย่าง -18 องศาเซลเซียส}}$$

$$= 2.75/9.03 \text{ (เซนติเมตร/ชั่วโมง)}$$

$$= 0.30 \text{ เซนติเมตร/ชั่วโมง}$$

จากการศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งของหอยตลับทั้งเปลือก โดยคำนวณจากอัตราการแช่เยือกแข็ง พบว่า อัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับทั้งเปลือกผสมน้ำหอย มีค่าเท่ากับ 0.30 เซนติเมตร/ชั่วโมง โดยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Slow Freezing) มีอัตราการแช่เยือกแข็งอยู่ในช่วง 0.2-0.5 เซนติเมตร ต่อชั่วโมง ใช้สำหรับการแช่เยือกแข็งชิ้นอาหารขนาดใหญ่ (Bulk) ในห้องเย็นที่มีลมเป่า (Air Blast Room) (วิไล, 2547)

จากการศึกษาของ Pan and Yeh (1993) พบว่า ผลของวิธีแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วต่างกัน (air-blast freezing และ liquid nitrogen freezing) และระยะเวลาเก็บรักษาต่อการเสื่อมเสียของเนื้อเยื่อกุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon) พบว่าหลังจากแช่ทันทีช่องว่างระหว่าง muscle fiber bundles จะมากขึ้น โดยกุ้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็ว 3.4 เซนติเมตร/ชั่วโมง จะมีช่องว่างเกิดขึ้นมากกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็ว 8.6-16.1 เซนติเมตร/ชั่วโมง ช่องว่างนี้จะมีระยะห่างมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของโปรตีนใน 0.6 M KCl ในกุ้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจากทั้ง นายกุ้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจากทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ กุ้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วย liquid nitrogen มีความสมบูรณ์ของกล้ามเนื้อสูงกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธี air-blast แต่หลังจาก เก็บรักษานาน 1 เดือนพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาหอยตลับแช่เยือกแข็ง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาหอยตลับแช่เยือกแข็งเลือกศึกษาเฉพาะเนื้อหอยตลับผสมน้ำหอยแช่เยือกแข็ง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงง่ายกว่าหอยตลับทั้งเปลือก ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 8 – 13 และภาพที่ 7-11

ตารางที่ 8 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าความเป็นกรดด่าง
0	6.83 ± 0.14^{b}
3	6.90 ± 0.13^{b}
6	6.92 ± 0.12^{b}
9	7.18 ± 0.02^{a}
12	7.25 ± 0.03^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 8 แสดงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของเนื้อหอยตลับซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นค่า pH ของเนื้อหอยมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเริ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ การศึกษาของ กลันทิกา (2550) พบว่าค่าความเป็นกรดด่างของหอยเป๋าฮื้อแช่แข็ง มีค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อแช่แข็งเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาอยู่ในช่วง 6.13 – 6.23 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 12 พบว่าหอยเป๋าฮื้อมีค่า pH สูงขึ้นและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและบรรจุแบบสุญญากาศมีค่า pH 6.17 - 6.71หอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและบรรจุแบบปกติมีค่า pH 6.13-6.73 หอยเป๋าฮื้อไม่แกะเปลือกแล้วบรรจุแบบสุญญากาศมีค่า pH 6.23 - 6.85และหอยเป๋าฮื้อไม่แกะเปลือกและบรรจุแบบปกติมีค่า pH 6.15 - 6.88 นอกจากนั้นจากการศึกษาของ Yerlikaya และ Gokoglu (2004) พบว่าเนื้อปูที่เก็บรักษาแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์มีค่า pH เพิ่มขึ้น จาก 6.48 เป็น 7.16 และงานวิจัยของ Bhope และ pai (1986) พบว่ากุ้งแช่เยือกแข็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 สัปดาห์ มีค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 6.84 เป็น 7.40 เนื่องจากแม้จุลินทรีย์จะหยุดกิจกรรมต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่แข็ง แต่ปฏิกิริยาต่างๆของเอนไซม์ยังคงดำเนินไปอย่างช้าๆ (Morrison,1993) เช่นเอนไซม์โปรตีเอสต่างๆ ซึ่งเป็นพวกโปรติโอไลติกเอนไซม์ที่ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างช้าๆ ในช่วงการเก็บอาหารแช่แข็ง (Sista, et al., 1997; Zaritzky, 2000) จึงอาจส่งผลให้เนื้อหอยเกิดการย่อยสลายตัวเองส่งผลให้ค่า pH สูงขึ้นในช่วงการเก็บรักษา

ตารางที่ 9 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB) ของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตัวอย่าง)
0	0.00 ± 0.00^{d}
3	0.00 ± 0.00^{d}
6	2.70 ± 0.02^{c}
9	6.67 ± 0.04^{b}
12	11.93 ± 0.37^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 9 ผลการศึกษาปริมาณด่างที่ระเหยได้ ของเนื้อหอยตลับซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณด่างที่ระเหยได้ของเนื้อหอยตลับเพิ่มขึ้น โดยเริ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับก่อนการเก็บรักษาหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ปริมาณด่างที่ระเหยได้เพิ่มขึ้นเป็น 11.93 ± 0.37 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปลาหมึก แช่เยือกแข็ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 428-2525) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2525) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกุ้งแช่เยือกแข็ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 115-2529) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) อนุญาตให้ตัวอย่างมี TVB ได้ไม่เกิน 30 mgN/100g ตัวอย่าง

ตารางที่ 10 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (%)
0	44.00 ± 4.29^{a}
3	42.77 ± 0.74^{b}
6	40.29 ± 1.91^{bc}
9	39.67 ± 1.83^{bc}
12	38.64 ± 2.06^{c}

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 10 ผลการศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอยตลับซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอยตลับลดลง โดยเริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ นิธิยา (2545) กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงที่เห็นชัด ได้แก่ การสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) การหดตัว (shrinkage) ของกล้ามเนื้อ และทำให้เนื้อสัมผัส (texture) ของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (denaturation) โปรตีนแต่ละชนิดจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติในสภาวะที่แตกต่างกัน และการทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติมีหลายวิธี วิธีหนึ่ง คือ การให้ความร้อน โปรตีนในเนื้อสัตว์จะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติได้ตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 57 ถึง 75 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ความสามารถในการอุ้มน้ำและการหดตัวของเนื้อสัตว์

ตารางที่ 11 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (Thawing lose) ของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (%)
0	3.59 ± 2.63^{d}
3	5.26 ± 1.13^{cd}
6	6.34 ± 1.68^{abc}
9	7.57 ± 1.89^{ab}
12	9.42 ± 1.47^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 11 ผลการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลาย (thawing lose) ของหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งด้วยระยะเวลาต่างๆพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายของหอยตลับก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยในสัปดาห์ที่ 6 ที่ทำการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการละลายเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการเพิ่มของจำนวนหรือขนาดของผลึกน้ำแข็ง เนื่องจากจากการศึกษาของ Ngapo et al. (1999) พบว่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลาย (drip loss/thawing loss) ของกล้ามเนื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (frozen muscle) จะสัมพันธ์กันอย่างสูงกับขนาดและจำนวนของผลึกน้ำแข็ง

ตารางที่ 12 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)
0	8.67×10^2
3	9.00×10^2
6	1.10×10^3
9	7.00×10^2
12	3.67×10^2

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 12 ผลการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งด้วยระยะเวลาต่างๆ ว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณจุลินรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจากระหว่างการเก็บรักษาจุลินทรีย์มีการตายไปบางส่วนเนื่องจากการบาดเจ็บจากการแช่เยือกแข็ง รวมไปถึงความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์ที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลเสียต่อจุลินทรีย์ (Zaritzky, 2000) ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ เลิศเกียรติ (2542) ซึ่งศึกษาในหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งพบว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และการศึกษาของ Karacam และ Boran (1996) ซึ่งพบว่าปลาแอนโชวี่ที่เก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานขึ้นปริมาณจุลินทรีย์จะลดลง

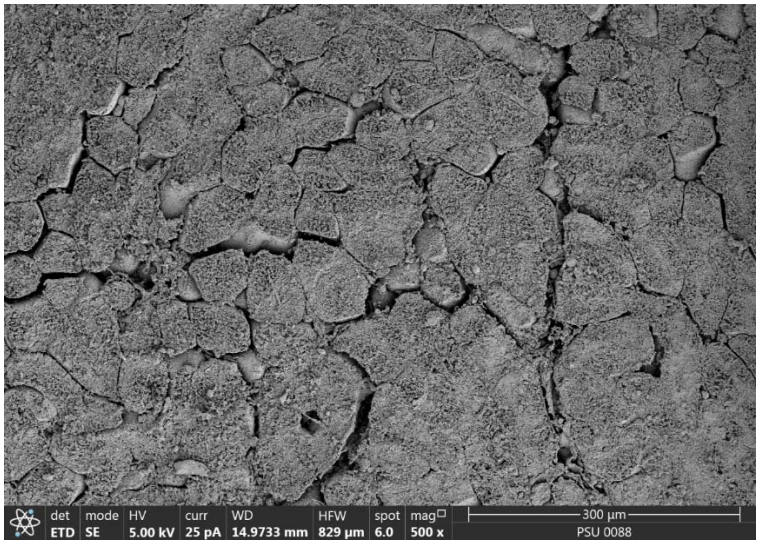
ตารางที่ 13 ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าแรงต้านทานการตัดขาด (g)
0	2549.95 ± 153.11^{c}
3	2718.85 ± 218.68^{bc}
6	2731.79 ± 186.68^{bc}
9	2850.40 ± 233.17^{ab}
12	2947.05 ± 263.55^{a}

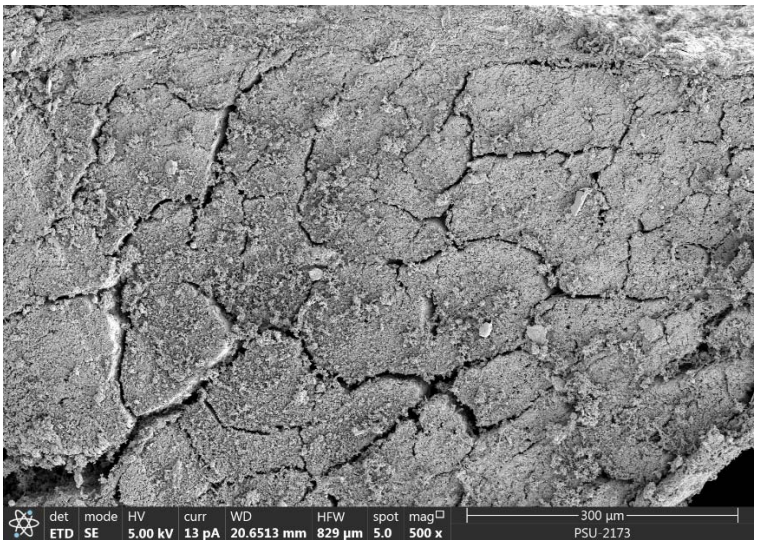
หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 13 ผลการศึกษาค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยตลับที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์พบว่า เมื่อระยะเวลาใน

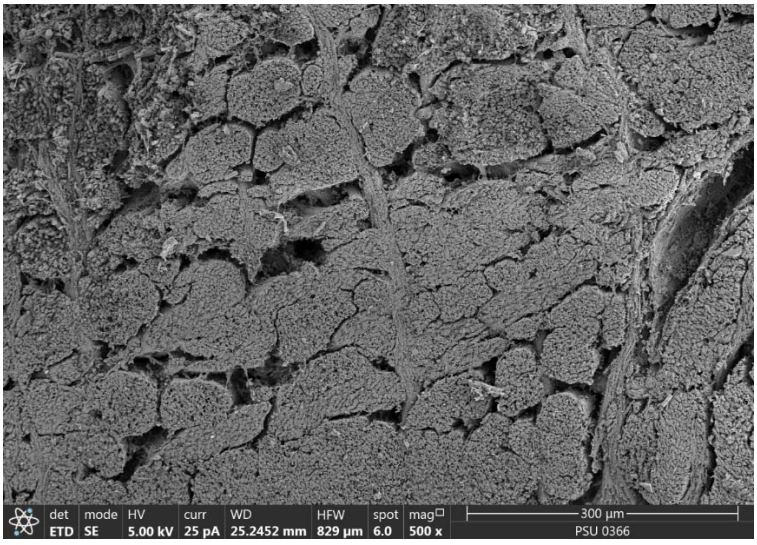
การเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยตลับมีค่าเพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 9 ที่ทำการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) การแช่เยือกแข็งมีผลทำให้เนื้อเยื้อเกิดการเสียหายทางกายภาพ ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์เป็นจำนวนมาก รวมทั้งโปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ เกิดการรวมตัวกันของ myofibrillar protein (Sikorski, 1977) ทำให้เนื้อหอยมีความเหนียว แรงต้านการตัดขาดของเนื้อหอยจึงสูงขึ้น



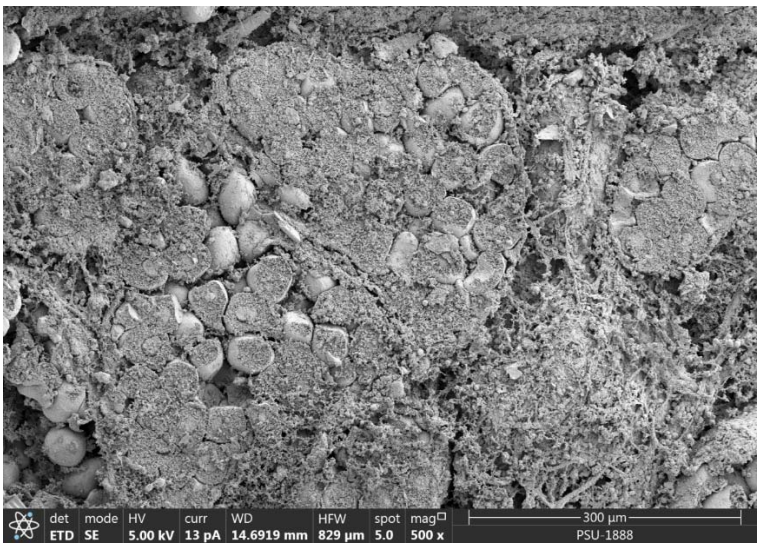
ภาพที่ 7 โครงสร้างเนื้อเยื้อของหอยตลับก่อนการแช่เยือกแข็ง กำลังขยาย กำลังขยาย 500 เท่า



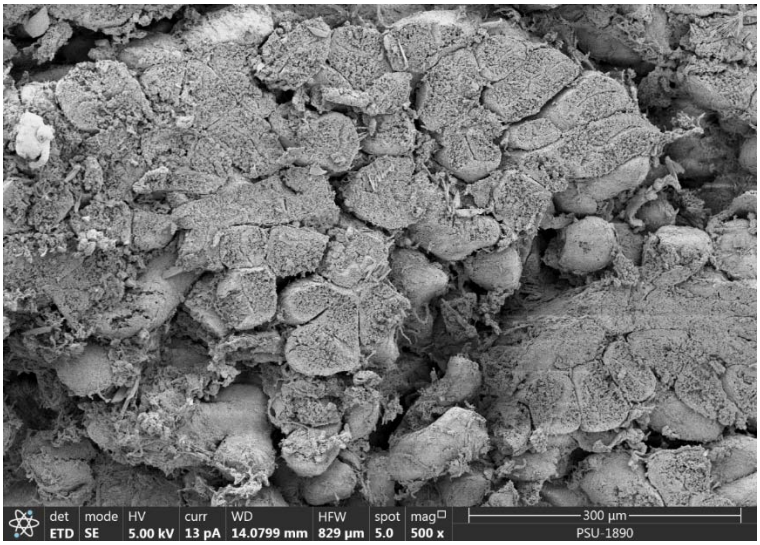
ภาพที่ 8 โครงสร้างเนื้อเยื้อของหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ กำลังขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 9 โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ กำลังขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 10 โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 11 โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ กำลังขยาย 500 เท่า

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อหอยตลับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 7 -11 พบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น กล้ามเนื้อของหอยจะมีการแยกตัวมากขึ้น มีช่องว่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อมากขึ้น และเกิดความเสียหายของเนื้อเยื้อ โครงสร้างของมัดกล้ามเนื้อเกิดการฉีกขาด ดังภาพที่ ซึ่ง พรรัตน์ (2546) พบว่าเมื่อเก็บรักษากุ้งก้ามกรามไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานขึ้น ผลึกน้ำแข็งในกล้ามเนื้อกุ้งมีขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มขึ้นของผลึกน้ำแข็งทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื้อ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยตลับแช่เยือกแข็ง เพื่อหาแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อหอยตลับสด ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างก่อนการ แช่เยือกแข็งคือการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 40 นาที การแช่เยือกแข็งตัวอย่างหอยตลับที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียสจนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวอย่างเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 54 นาที หรือ 474 นาที อัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อหอยตลับ มีค่าเท่ากับ 0.30 เซนติเมตร/ชั่วโมง ถือเป็นการแช่แข็งแบบช้า (Slow Freezing) ซึ่งสภาวะดังกล่าวสามารถนำไปใช้สำหรับการแช่เยือกแข็งหอยตลับของชุมชนชาวประมงในท้องถิ่นได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์พบว่าคุณภาพมีการเปลี่ยนแปลงในแนวทางที่เสื่อมลง โดยมีการเปลี่ยนแปลงที่เสื่อมลงในแต่ละคุณลักษณะส่วนใหญ่อยู่ในในสัปดาห์ที่ 6 และในสัปดาห์ที่ 9 แต่เมื่อยืนยันผลของการทดลองด้วยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อหอยตลับพบว่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเนื้อเยื้อจะชัดเจนในสัปดาห์ที่ 9 ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆของเนื้อหอยตลับแช่เยือกแข็งอาจมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเมื่อพิจารณาหลายๆคุณลักษณะประกอบกัน

เอกสารอ้างอิง

กลันทิกา แพทย์สิทธิ์. 2550. การผลิตหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinine* L. แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จารวี สุขประเสริฐ. 2552. มาตรฐานที่จำเป็นในการส่งออกอาหารทะเลแช่แข็ง. วารสารผู้ส่งออก 22 (515) : 19-21

ทรงชัย สหวัชรินทร์, คมน์ ศิลปาจารย์, สุทธิโณ ลิ้มสุรัตน์ และ สมพงษ์ กลางณรงค์. 2530. **การเพาะพันธุ์หอยตลับ**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 47/2530. **สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดประจวบคีรีขันธ์**. 9 น.

นิรนาม. 2559. **12สุดยอดอาหาร...แหล่งที่มาของวิตามินB12.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.natui.com.au/articles/item/view/6380** (3 ตุลาคม 2561)

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

บุหลัน พิทักษ์พล และ เปรมจิตต์ สระวาสี. 2538. **การถนอมผลิตผลการเกษตร.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=19&chap=3&page=t19-3-infodetail07.html** (28 กันยายน 2561)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2561. **Frozen seafood / อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1901/frozen-seafoodอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง** (24 กันยายน 2561).

พรรัตน์ สินชัยพานิช. 2546. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*). วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.** สงขลา ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภักดี โพธิศิริ. (2536). **มาตรฐานอาหารระหว่างประเทศกับความปลอดภัยของอาหาร.** วารสารอุตสาหกรรมเกษตร, 4 (2) , 35-45.

มยุรี จัยวัฒน์. 2558. **การให้ความเย็นและการแช่แข็งผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ**, น.217-234. *ใน* จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร,ปัทมา ระตะนะอาพร,พงษ์เทพ วิไลพันธ์ และวรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (ผู้รวบรวม). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง. สำนักพิมพ์มหาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

มัทนา แสงจินดาวงษ์. 2545. **ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เลิศเกียรติ พูลผล .2542. การผลิตหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Lin.) แช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและแบบไครโอจีนิค.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร. 2539. **สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์.** ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 282-294. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันทนา อยู่สุข, ธีระพงศ์ ด้วงดี และ สิรินทร์ ช่วงโชติ. 2552. **หอยในทะเลไทย.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=34&chap=5&page=t34-5-infodetail08.html** (28 กันยายา 2561)

วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,กรุงเทพฯ. 500 น.

วิชชญา นะราแก้ว. 2548. การยืดอายุการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinine* Linnaeus โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สายสนม ประดิษฐดวง. 2539. **กระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร.** ในวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 131-163. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายสนม ประดิษฐดวง. 2540. กระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. หน้า 131-163. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด. กรุงเทพมหานคร.

อานนท์ ภาคมาลี. 2556. **หอย**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.gotoknow.org/posts/533607 (26 กันยายน 2560).

AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16thed. The Association of Official Analytical Chemists. Virginia.

Balasundari S.T., Jawahar S.A. and Shanmugam, G. 1997. Frozen storage performance of edible oyster Crassostrea madrasensis (Preston). Journal of Food Science and Technology 34: 434–436.

Bhobe, A.M., and Pai, J. S. 1986. Study of properties of frozen shrimps. Journal of Food Science and Technology. 23: 143-147.

Boast, M.F.G. 1985. The technology of freezing. In R. K. Robinson (ed.). Microbiology of Frozen Food, pp. 1-39. New York: Elsevier Applied Science Publishers.

Boegh-Soerensen, L and Jui, M. 1985. Effects of Freezing/Thawing on Foods. In R. K. Robinson (ed.). Microbiology of Frozen Food, pp. 48-50. New York: Elsevier Applied Science Publishers.

Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Tantratian, S., Suzuki, T. and Takai, R. 2007. Effect of freezing and thawing on the quality of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. Journal of Food Engineering 80: 292-299.

Chen, Y.L. and Pan, B.S. 1997. Morphological changes in tilapia muscle following freezing by airblast and liquid nitrogen methods. Journal of Food Science and Technology 32: 159 - 168

Fennema, O. R., Powrie, W. D., and Marth, E. H. 1973. Low-Temperature Preservation of Food and Living Matter. New York: Marcel Dekker, INC.

Hasegawa, H. 1987. Laboratory Manual on Analytical Method and Procedures of Fish Products. Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore.

Hong, G. P., Ko, S. H., Choi, M. J. and Min, S. G. 2008. Effect of glucono-δ-lactone and κ-carrageenan combined with high pressure treatment on the physico-chemical properties of restructured pork. Meat Science, 79, 236–243.

Hong, G. –P. and Mi-Jung Choi, M. –J. 2016. Comparison of the quality characteristics of abalone processed by high-pressure sub-zero temperature and pressure-shift freezing. Innovative Food Science and Emerging Technologies 33: 19–25.

Inoue, Y. and Bushuk, W. 1992. Studies on frozen doughs. II. Flour quality requirements for bread production from frozen dough. Cereal Chemistry 69: 423-428.

Jiang, C.X.; Xiong, Q.P.; Gan, D.; Jiao, Y.; Liu, J.; Ma, L.; Zeng, X. 2013. Antioxidant activity and potential hepatoprotective effect of polysaccharides from *Cyclina sinensis*. Carbohydrate Polymers 91: 262–268.

Jo, Y. J., Jung, K. H., Lee, M. Y., Choi, M. J., Min, S. G., & Hong, G. P. 2014. Effect of high pressure short-time processing on the physicochemical properties of abalone (Haliotis discus hannai) during refrigerated storage. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 23, 33–38.

Karacam, H. and Boran, M. 1996. Quality changes in frozen whole and gutted anchovies during storage at -18 C. International Journal of Food Science and Technology 31: 527 – 531.

Karel, M., Fennema, O. R., and Lund, D. B. 1975 Principles of Food Science Part ll Physical Principles of Preservation. New York: Marcel Dekker, INC.

LaBell, F. 1991. Enzyme for bread extends freshness. Food Processing April: 118-119

Mishra, R. and Srikar, L.N. 1989. Shelf life of frozen stored clam meat. Journal of Food Science and Technology 26: 201–204

Morrison, C. R. 1993. Fish and Shellfish. In C. P. Mallett (ed.), Frozen Food Technology. pp. 196-235. New York: Blackie Academic.

Ngapo, T. M., Babare, I. H., Reynolds, J., & Mawson, R. F. (1999). Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork. Meat Science, 53, 149–158.

Pan, B.S. and Yen, W.T. 1993. Biochemical and Morphological changes in grass shrimp (*Penaeus monodon*) muscle following freezing by air blast and liquid nitrogen method. Journal of Food Biochemistry 17: 147-160.

Pan, B.P., Wu, Q., Zhang, S.P. and Song, L. S. 2006. Molecular phylogeny of meretrix (Mollusca, Bivalvia) based on 16S rRNA genes and ITS1 sequences. Oceanologia et Limnologian Sinica 37(4): 343-347.

Pedraja, R.R. 1970 Change of composition of shrimp and other marine animals durimg processing. Food Technology. 24(12): 37-42.

Rahman M.S., N. Guizani, M. Al-Khaseibi, S.A. Al-Hinai, S.S. Al-Maski, K. Al-Hamhami. 2002. Analysis of cooling curve to determine the end point of freezing. Food Hydrocolloids 16: 653-659

Sikorski, Z.E., 1977. Protein changes in muscle foods due to freezing and frozen storage. Ettlingen, Germany: I.I.R. Commissions C1 and C2.

Sikorski, Z.E. and Kotakowska, A. 1990. Freezing of Marine Foods, pp.111-124. In Seafood: Resources, Nutritional Composition and Preservation. Sikorski, Z.E. (ed.) CRC Press Inc., Boca Raton, USA,

Sista, R. V., Ericson, M. C., and Shewfelt, R. L. 1997. Quality Deterioration in Frozen Foods Associated with Hydrolytic Enzyme activities. In M.C. Erickson and Y-C. Hung (eds.), Quality in Frozen Food, pp. 101-110. New York: International Thompson Publishing.

Speck, M.L. 1976. Compendium of Method for the Microbiological Examination of Food. American Public Health Association, Inc. Washington, D.C.

Wu, H.C. and Shiau, C.Y. 2002. Proximate composition, free amino acids and peptides contents in commercial chicken and other meat essences. Journal of Food and Drug Analysis 10:170–177.

Xie, W., Chen, C., Liu, X., Wang, B., Sun, Y., Yan, M. and Zhang, X. 2012. *Meretrix Meretrix*: Active Components and Their Bioactivities. Life Science Journal 9(3): 756-762

Xu, X.L., Li, T.M., Zhang, C.R. 1999. Experimental study on the stability of thrombin activity. Chinese Journal of Biochemical and Pharmaceutics 20: 298–299.

Yerlikaya, P., and Gokoglu, N. 2004. Quality changes of blue crab (Callinecter Sapidus) meat during frozen storage. Journal of Food Quality 27: 83-89.

Zaritzky, N. E. 2000. Factors Affecting the Stabiliy of Frozen Foods. In C. J. Kennedy (ed.), Managing Frozen Foods, pp. 111-135. England: Woodhead Publishing Limited.

Zayas, J.F. 1997. Water Holding Capacity of Proteins. pp.76-133. *In*: Zayas, J.F., ed. Functionality of Proteins in Food. Springer, Berlin, Heidelberg.