การผลิตหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinina* L. แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก

นางสาวกลันทิกา แพทย์สิทธิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF FROZEN ABALONE *Haliotis asinina* L. BY CRYOGENIC FREEZING

Miss Kalanthika Patsiddhi

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinina* L. แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก
โดย	นางสาวกลันทิกา แพทย์สิทธิ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนตีกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา สุภิมารส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนตีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลันทิกา แพทย์สิทธิ์ : การผลิตหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinina* L. แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก
(PRODUCTION OF FROZEN ABALONE *Haliotis asinina* L. BY CRYOGENIC FREEZING)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. รมณี สงวนดีกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล. 84 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อแบบวิธีไครโอจีนิก ผลของการเตรียมวัตถุดิบ และวิธีการบรรจุที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาหลังการแช่เยือกแข็ง ตลอดจนผลของเวลาในการลวกผลิตภัณฑ์หลังการแช่เยือกแข็งที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อหอยเป๋าฮื้อ พบว่ามีปริมาณความชื้น 84.07 % โปรตีน 13.91% ไขมัน 0.89% เถ้า 1.00% ต่อมาศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อแบบไครโอจีนิก ที่อุณหภูมิ -70 -80 และ -90 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์เท่ากับ -18 องศาเซลเซียส เท่ากับ 231.1 225.8 และ 158.9 วินาที ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งลดลง %thawing loss ของผลิตภัณฑ์ต่ำลง ส่วน %freezing loss ของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) จึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียสในการศึกษาขั้นต่อไป เมื่อแปรเวลาที่ใช้ในการลวกผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งแล้วเป็น 1 2 3 และ 4 นาที พบว่าการใช้เวลาในการลวกนานขึ้น เนื้อหอยมี %cooking loss และค่าแรงต้านทานการตัดขาดสูงขึ้น ($p\leq0.05$) คือ จาก 30.12% เป็น 45.66% และ จาก 4.20 kg เป็น 6.88 kg ตามลำดับ การลวกโดยใช้เวลา 2 นาทีเป็นภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้จนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค มี %cooking loss ต่ำ รวมทั้งได้รับคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสดีที่สุด ($p\leq0.05$) ในขั้นต่อมาศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ ที่มีต่อคุณภาพในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส โดยแปรวัตถุดิบเริ่มต้นเป็นหอยเป๋าฮื้อทั้งเปลือก หอยเป๋าฮื้อที่เอาเครื่องในออกแล้ว และแปรวิธีการบรรจุเป็นการบรรจุแบบธรรมดา และการบรรจุแบบสุญญากาศ พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มี %storage loss %thawing loss ค่า thiobarbituric acid (TBA) ปริมาณ total volatile base (TVB) ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าแรงต้านทานการตัดขาดสูงขึ้น ($p\leq0.05$) และตรวจไม่พบ trimethylamine (TMA) ในเนื้อหอยเป๋าฮื้อทุกตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บ ในขณะที่ตรวจพบ TVB ในปริมาณน้อย นอกจากนี้พบว่าการแกะเปลือกและเอาเครื่องในออกจากหอยเป๋าฮื้อก่อนขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง ช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นก่อนการแช่เยือกแข็งได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....กลันทิกา แพทย์สิทธิ์.....
สาขาวิชา....เทคโนโลยีทางอาหาร.... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4672531423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: ABALONE /FREEZING/ FROZEN STORAGE

KALANTHIKA PATSIDDHI: PRODUCTION OF FROZEN ABALONE *Haliotis asinina* L. BY CRYOGENIC FREEZING. THESIS ADVISOR: ASST.PROF. ROMANEE SANGUANDEEKUL, Ph.D.THESIS CO-ADVISOR: ASST.PROF. JIRARAT TATTIYAKUL, Ph.D., 84 pp.

This research aimed to study the influence of cryogenic freezing temperature on frozen abalone, effect of material preparation and packing methods on quality of frozen abalone stored at -18 ° C, and optimum blanching time for thawed abalone in order to prepare ready-to-eat abalone. Raw abalone composed of 84.07% moisture, 13.91% protein, 0.89% fat, and 1.0% ash. The cryogenic freezing with liquid nitrogen was done at -70 °C, -80°C, and -90°C. Time to decrease the core temperature of abalone to -18 ° C was 231.1 seconds, 225.8 seconds, and 158.9 seconds, respectively. In addition, It was found that %thawing loss decreased as freezing temperature decreased, while %freezing loss of all samples were not different ($p>0.05$). Thus, freezing at -90° C was selected for further study because the condition resulted in the least % thawing loss ($p\leq 0.05$). The optimum time for blanching of thawed frozen abalone was studied. The abalone was blanched in hot water (90-95°C) for 1, 2, 3, and 4 minutes. It was found that when blanching time increased, %cooking loss and cutting force tended to increase. Blanching abalone for 2 minutes was the optimum condition that could reduce microorganisms to fewer than 30 CFU/g, which was lower than those in raw abalone and 1 minute-blanched abalone. In addition, 2 minute-blanched abalone had less % cooking loss than that of 3 minute- and 4 minute-blanched abalones, and had the highest sensory scores. The effect of abalone preparation (whole and shell-off gutted abalone) and packing methods (vacuum and non-vacuum packing) on abalone during storage at -18 ° C for 3 months was studied. It was found that %storage loss, %thawing loss, thiobarbituric acid (TBA), total volatile base (TVB), cutting force, and pH increased as storage time increased. Trimethylamine (TMA) was not detected and TVB slightly increased in all samples. Moreover, shelling-off and gutting abalone reduced rate of lipid oxidation and microbial count.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Food Technology..... Student's signature.....Kalanthika Patsiddhi

Field of study....Food Technology..... Advisor's signature.....

Academic year.....2007..... Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งและอย่างเต็มที่เต็มกำลังของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ ทัตติยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และ อาจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ ที่ร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งกรุณาชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เผดิมศักดิ์ จารยะพันธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาหอยเป๋าฮื้อที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนวิจัยในโครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหอยเป๋าฮื้อโดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูปและการบรรจุ

ขอบคุณบริษัทบางกอกอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และไนโตรเจนเหลวในการวิจัย

ขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และเพื่อนสมัยปริญญาตรีและสมัยมัธยมศึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจกันมาตลอดการวิจัย ขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ คุณยาย และขอบคุณพี่สาว น้าๆและน้องชายสำหรับกำลังใจดีๆและความเข้าใจ รวมถึงการสนับสนุนกำลังทรัพย์ที่ทุ่มเทอย่างเต็มที่และเต็มใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทัศน์ 3

2.1 หอยเป๋าฮื้อ 3

2.2 การแช่เยือกแข็ง..... 6

2.3 การบรรจุก่อนการเก็บรักษา..... 12

2.4 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง..... 15

3. วิธีการทดลอง..... 20

4. ผลการทดลองและวิจารณ์..... 28

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ..... 28

4.2 ภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีไครโอจีนิก..... 29

4.3 เวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว..... 33

4.4 ผลของการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการบรรจุและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็ง..... 40

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 53

หน้า

รายการอ้างอิง 55
ภาคผนวก 61
ภาคผนวก ก 62
ภาคผนวก ข 65
ภาคผนวก ค 73
ภาคผนวก ง 77
ภาคผนวก จ 80
ภาคผนวก ฉ 81
ภาคผนวก ช 83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติของหอยเป๋าฮื้อไทย……..	5
2.2	อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งจากวิธีที่แตกต่างกัน โดยใช้หลักการวัดความเร็วของการเกิดผิวหน้าน้ำแข็ง……	9
2.3	ผลของความหนาแน่นต่อคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของออกซิเจนและน้ำของโพลีเอทิลีน…….	15
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* สด (โดยน้ำหนักเปียก)……..	28
4.2	เวลาและอัตราเร็วที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีแบบไครโอจีนิกที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน…….	29
4.3	%freezing loss และ thawing loss ของหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิกที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน……..	30
4.4	ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยเป๋าฮื้อหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิกที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน……	31
4.5	%cooking loss และค่าแรงต้านทานการตัดขาดของหอยเป๋าฮื้อที่ลวกโดยใช้เวลาต่างกัน…….	33
4.6	ค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อหอยที่ผ่านการลวกโดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน……	34
4.7	คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อผ่านการที่ลวกโดยใช้เวลาต่างกัน…….....	36
4.8	คะแนนความชอบเฉลี่ยของหอยเป๋าฮื้อผ่านการที่ลวกโดยใช้เวลาต่างกัน.....	38
4.9	การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน……..	40
4.10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TVB ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน……..	42
4.11	%storage loss ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน…….	44

ตารางที่ หน้า

4.12 %thawing loss ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน..... 46
4.13 ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน..... 48
4.14 ค่า thiobarbituric acid (TBA) ของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน..... 49
4.15 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน..... 51
ค.1 ค่า Most Probable Number (MPN) ต่อกรัมของตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ความเจือจาง 0.1 0.01 และ 0.001 ลบ.ซม..... 76

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบอวัยวะภายในของหอยเป๋าฮื้อ.....	3
2.2	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อเมื่ออัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบช้า.....	10
2.3	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อเมื่ออัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบเร็ว.....	11
2.4	การตกผลึกใหม่แบบไมเกรทอรี.....	16
4.2	หอยเป๋าฮื้อที่ลวกในน้ำเดือดโดยใช้เวลาในการลวกต่างกัน.....	38
จ.1	หอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเมื่อเริ่มต้นเก็บ.....	80
จ.2	หอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเมื่อเก็บเป็นเวลา 12 สัปดาห์.....	80
ฉ.1	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก.....	81
ฉ.2	เครื่องมือสำหรับใช้ในปิดผนึกบรรจุภัณฑ์.....	82
ฉ.3	เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Texture Analyzer).....	82
ช.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีไครโอจีนิก.....	83

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

หอยเป๋าฮื้อเป็นหอยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมีรสชาติดี ราคาแพง และเป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวาง ในหลายประเทศทั่วโลก เช่น ในแถบยุโรปและอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ เป็นต้น รวมถึงประเทศในแถบเอเชียเช่น ญี่ปุ่น จีน เกาหลี ไต้หวัน ฮ่องกง และไทย เป็นต้น เนื่องจากมีรสชาติอร่อย เนื้อสัมผัสมีลักษณะเฉพาะตัว มีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังเชื่อว่าเป็นอาหารสิริมงคลด้วย (พายัพ ยังปักษี, 2541) ในสหรัฐอเมริกาหอยเป๋าฮื้อมีราคากิโลกรัมละ 1,000-1,650 บาท ส่วนในญี่ปุ่นซึ่งเป็นตลาดใหญ่ที่สุดในเอเชียราคาสูงถึง 2,000-2,400 บาท (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544) โดยการบริโภคหอยเป๋าฮื้อในอเมริกามีมูลค่าประมาณ 750 ล้านบาทต่อปี ในขณะที่ประเทศในเอเชียบริโภคสูงสุดประมาณ 7,500 -10,000 ล้านบาทต่อปี (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ปัจจุบันประเทศไทยประเทศไทยได้มีการส่งเสริมให้เลี้ยงหอยเป๋าฮื้อในเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis asinina* ซึ่งมีความเป็นไปได้ทางธุรกิจค่อนข้างสูง เพราะตลาดต่างประเทศนิยมหอยเป๋าฮื้อขนาดไม่ใหญ่นัก มีสัดส่วนของเนื้อที่ใช้เป็นอาหารสูง และมีอัตราการเติบโตสูงสุดในบรรดาหอยเป๋าฮื้อทุกชนิดทั่วโลก (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนากระบวนการแปรรูปหอยเป๋าฮื้อ เพื่อรองรับผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงที่เริ่มมีมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

กระบวนการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ ที่นอกจากจะช่วยชะลอการเสื่อมเสียของหอยเป๋าฮื้อแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งการแช่เยือกแข็งอาหารให้มีคุณภาพดีนั้น นอกจากจะขึ้นกับคุณภาพของวัตถุดิบแล้ว ยังขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างในขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง และขั้นตอนการเก็บรักษาอีกด้วย ได้แก่ ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ การแช่สารละลาย วิธีที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง รวมถึงขั้นตอนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาขั้นตอนและกระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมวัตถุดิบ และวิธีการผลิตหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็ง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งให้มีคุณภาพต่อไป

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีแบบไครโอจีนิก ศึกษาหาเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว รวมถึงศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการบรรจุและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็ง

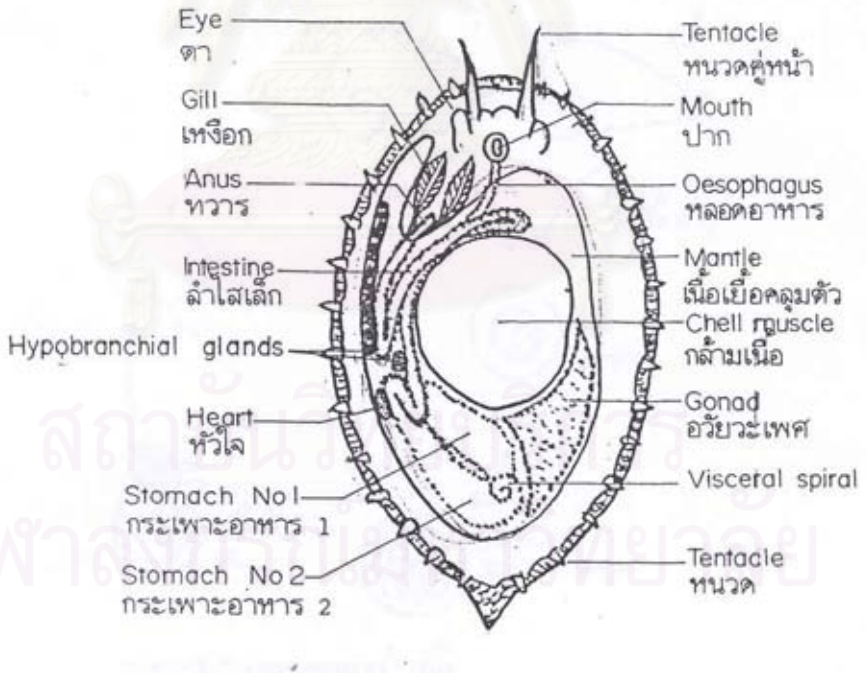
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 หอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อ หอยโข่งทะเล หรือหอยร้อยรู (abalone) เป็นหอยทะเลประเภทหอยฝาเดียว ลักษณะทั่วไปของหอยเป๋าฮื้อจะมีเปลือกเดียวที่ค่อนข้างแบน รูปทรงค่อนข้างกลมจนถึงยาวรี เปลือกมีหลายสี เช่น สีเขียวมะกอก สีแดงอมส้ม แตกต่างกันไปตามชนิดของหอย แหล่งอาศัย และอาหาร ลักษณะเด่นของหอยเป๋าฮื้อ คือบริเวณเปลือกมีรูเรียงเป็นแถว รูนี้ทำหน้าที่ช่วยถ่ายเทน้ำผ่านตัวเพื่อช่วยในการหายใจ การขับถ่ายของเสีย และปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกมาสู่ภายนอก ส่วนอวัยวะภายในเป็นลักษณะของหอยโบราณ คือมีเหงือกเป็นคู่อยู่ในแอ่งด้านซ้ายของลำตัว มีกล้ามเนื้อเท้าขนาดใหญ่ที่มนุษย์ใช้เป็นอาหาร มีปากและอวัยวะรับสัมผัสอยู่ส่วนหน้าของลำตัว (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544; จักรพันธุ์ กังวาฬ, 2547) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบอวัยวะภายในของหอยเป๋าฮื้อ
ที่มา: พายัพ ยังปักษี (2541)

ที่อยู่อาศัยของหอยเป๋าฮื้อมักเป็นตามแนวหินและซากปะการัง น้ำใสสะอาด มีการไหลเวียนดี มีความเค็มค่อนข้างสูงและคงที่ ไม่ชอบแสงและออกหากินในเวลากลางคืน อาหารของหอยเป๋าฮื้อมักเป็นสาหร่ายทะเลที่มีอยู่ในธรรมชาติ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่อาศัยอยู่ตามพื้นผิวต่างๆ สิ่งมีชีวิตจำพวกพืชทะเลที่เกาะอยู่ตามก้อนหินและแนวปะการัง เช่น ไดอะตอมประเภทเกาะติด (benthic diatoms) หรือสาหร่ายขนาดเล็กที่เกาะตามโขดหินใต้น้ำ ทั้งสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีเขียว (จักรพันธุ์ กังวาฬ, 2547)

หอยเป๋าฮื้ออาศัยและเติบโตอยู่ทั่วโลกตั้งแต่ในเขตอบอุ่นจนถึงเขตร้อน โดยขนาดจะแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศ ขนาดใหญ่มักอยู่ในเขตอบอุ่น ขนาดเล็กมักอยู่ในเขตร้อนและเขตหนาวจัด หอยเป๋าฮื้อทั่วโลกมีประมาณ 100 ชนิด ในจำนวนนี้มีประมาณ 22 ชนิด ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ (จักรพันธุ์ กังวาฬ, 2547; พายัพ ยังปักษี, 2541) หอยเป๋าฮื้อเมืองร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่ หอยเป๋าฮื้อเล็ก (small abalone) (*H. diversicolor*) พบตามชายฝั่งของประเทศญี่ปุ่นและไต้หวัน เป็นชนิดที่เพาะเลี้ยงในประเทศจีนและไต้หวัน และหอยเป๋าฮื้อหูลา (ass's ear หรือ donkey's ear abalone) (*H. asinina*) เป็นชนิดที่ส่งเสริมให้เพาะเลี้ยงในประเทศไทย (มะลิ บุณยรัตผลิน, 2545)

ในประเทศไทย หอยเป๋าฮื้อที่พบมี 3 ชนิด ได้แก่ *H. asinina H. ovina* และ *H. varia* ซึ่งมีสมบัติแสดงดังตารางที่ 2.1 โดย *H. asinina* เป็นชนิดที่มีข้อมูลในเรื่องการเพาะเลี้ยงและการเจริญเติบโตมากที่สุด และมีศักยภาพในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย เนื่องจากเป็นหอยเป๋าฮื้อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่พบในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีสัดส่วนของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักตัวสูงถึง 85% มีอัตราการเจริญเติบโตสูง รวมทั้งยังสามารถควบคุมทุกขั้นตอนของวงจรชีวิตได้โดยการใช้ลูกพันธุ์จากโรงเพาะฟักและการเลี้ยงแบบฟาร์มบนบกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด ซึ่งจัดเป็นระบบผลิตเชิงพาณิชย์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะในระบบ จึงเป็นการเพาะเลี้ยงที่ถูกสุขลักษณะและปลอดภัยต่อผู้บริโภค (จักรพันธุ์ กังวาฬ, 2547) ซึ่งการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อชนิดนี้มีความเป็นไปได้เชิงธุรกิจสูง เพราะตลาดต่างประเทศนิยมหอยขนาดไม่ใหญ่นัก โดยมีประเทศออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และประเทศในเอเชียเป็นผู้รับซื้อก่อนนำไปแปรรูปบรรจุกระป๋องเพื่อการส่งออกอีกต่อหนึ่ง ประเทศผู้ส่งออกหอยเป๋าฮื้อรายใหญ่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้แก่ ฟิลิปปินส์ โดยมีการส่งออกหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* และ *H. varia* (ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์, 2541)

ตารางที่ 2.1 สมบัติของหอยเป๋าฮื้อไทย

ชนิด	สมบัติของหอยเป๋าฮื้อไทย			
	ขนาดสูงสุด ยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	% ของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักตัว	การแพร่กระจาย
H. asinina	10	170	85	อ่าวไทยและทะเลอันดามัน
H. ovina	8	65	40	อ่าวไทยและทะเลอันดามัน
H. varia	6	6	30	ทะเลอันดามัน

ที่มา: คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544)

ราคาหอยเป๋าฮื้อขนาดค็อกเทลในประเทศไทยกิโลกรัมละประมาณ 1,000-1,500 บาท (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542) ในตลาดสหรัฐอเมริกาเนื้อหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ที่นิยมบริโภคมากที่สุดมีราคา 1,000-1,600 บาทต่อกิโลกรัม มูลค่าการบริโภคต่อปีประมาณ 750 ล้านบาท แต่อย่างไรก็ตามตลาดผู้บริโภคที่ใหญ่ที่สุดอยู่ในเอเชีย คิดเป็นมูลค่าการบริโภคประมาณ 7,500-10,000 ล้านบาทต่อปี โดยมีญี่ปุ่นเป็นตลาดที่สำคัญ (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544) ญี่ปุ่นนำเข้าและส่งออกหอยเป๋าฮื้อในระดับอุตสาหกรรม โดยนำเข้าในรูปหอยสด หอยแช่แข็ง และหอยแช่เย็นจากประเทศจีน เกาหลี และนิวซีแลนด์เป็นจำนวนมากถึง 1,000 ตันต่อปี และนำเข้าหอยเป๋าฮื้อบรรจุกระป๋องจากประเทศออสเตรเลียประมาณ 700-800 ตันต่อปี นอกจากการนำเข้าแล้วญี่ปุ่นยังส่งออกหอยเป๋าฮื้อแห้งไปยังฮ่องกงและไต้หวันปีละหลายสิบตัน (พายัพ ยังปักษี, 2541)

หอยเป๋าฮื้อเป็นอาหารที่อุดมคุณค่าโปรตีน ซึ่งบางคนยังมีความเชื่อว่าเป็นอาหารสิริมงคลจึงเป็นที่นิยมบริโภคกันมาก ส่วนที่นำมาบริโภคเป็นส่วนเท้าของหอยเป๋าฮื้อและส่วนที่ต่อระหว่างเท้ากับเปลือก ส่วนของอวัยวะภายใน เช่น กระเพาะ อวัยวะสืบพันธุ์และผิวนอกของเท้าที่เป็นหนังเหนียว เป็นต้น ไม่นิยมนำมาปรุงเป็นอาหาร หอยเป๋าฮื้อที่มีขนาดใหญ่มักบริโภคในลักษณะสเต็ก โดยหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ หรือตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่มีขนาดเล็กสามารถนำมาบริโภคได้ในลักษณะค็อกเทล ซึ่งประเทศที่นิยมบริโภคหอยขนาดเล็ก คือประเทศไต้หวัน เนื่องจากมีรสชาติดี ราคาถูก และขนาดเหมาะสมในการนำไปปรุงเป็นอาหารในงานเลี้ยงต่าง ๆ (พายัพ ยังปักษี, 2541)

นอกจากใช้เนื้อเป็นอาหารแล้วเปลือกของหอยเป๋าฮื้อยังนำมาทำประโยชน์ในลักษณะเครื่องประดับได้อีกด้วย ในสมัยโบราณชาวญี่ปุ่นจะนำเปลือกหอยเป๋าฮื้อไปใช้ประโยชน์เป็นเครื่องประดับ เช่น โต๊ะฝังมุก กรอบรูปฝังมุก หรือทำเป็นกำไล กระดุม และปิ่นปักผม เป็นต้น ชาวจีนใช้เปลือกหอยเป๋าฮื้อประดับไม้ทำเฟอร์นิเจอร์ การแกะสลักเปลือกหอยเป๋าฮื้อใน

ยุโรป (cameo) เนื่องจากเปลือกของหอยเป๋าฮื้อมีส่วนประกอบซึ่งมีลักษณะแวววัน ชั้นในสุดมีสีมุกขาว เปลือกชั้นนอกที่ขรุขระนั้นถ้านำไปขัดออกจะได้ผิวชั้นในที่มีลักษณะเป็นมันสีเขียวลายมุกสวยงาม และยังมีการนำเปลือกหอยเป๋าฮื้อมาเป็นส่วนผสมของยาแผนโบราณใน เอเชียอีกด้วย (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544)

2.2 การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการทำให้การตกผลึกของน้ำผ่านไปอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในสภาพเยือกแข็งอย่างสมบูรณ์ โดยอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ -18°C หรือต่ำกว่า (Codex Alimentarius, 2001)

หลักการพื้นฐานในการแช่เยือกแข็งคือ การลดอุณหภูมิอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง โดยมีหลักสำคัญ คือ การเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำอิสระในอาหารส่วนใหญ่จากของเหลวไปเป็นของแข็ง ทำให้น้ำไม่สามารถทำหน้าที่ต่างๆในปฏิกิริยาเคมี และไม่เป็นสารตั้งต้นให้กับจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับอาหาร (Fennema, Powrie and Marth, 1973; George, 1993) สารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้น เซลล์หรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำเนินปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีต่อไปได้ตามปกติ รวมทั้งเซลล์จุลินทรีย์ที่ติดมาก็หยุดชะงักการเจริญเติบโต แต่คุณค่าทางอาหารและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย (อรพิน ชัยประสพ, 2542)

2.2.1 วิธีการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์อาหารมีอยู่หลายวิธี โดยแต่ละวิธีจะมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งแตกต่างกันออกไป วิธีการแช่เยือกแข็งที่นิยมใช้มีดังนี้ (Fennema, Powrie, and Marth, 1973)

2.2.1.1 วิธีการแช่เยือกแข็งด้วยลมเย็น (Air freezing) ซึ่งสามารถแบ่งเป็นแบบต่าง ๆ ได้ 3 แบบ คือ

2.2.1.1.1 Still air freezing เป็นวิธีแช่เยือกแข็งโดยอาศัยลมเย็นอุณหภูมิต่ำ มีการหมุนเวียนอย่างช้าๆ หรือไม่มีการหมุนเวียนของลมเย็นเลย อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบช้ามาก

2.2.1.1.2 Air blast freezing เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่อาศัยลมเย็นความเร็วสูงหมุนเวียนอยู่เหนือผลิตภัณฑ์ โดยลมเย็นจะเป็นตัวนำความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์

อาหาร อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งจะขึ้นอยู่กับความเร็วลม อุณหภูมิของลม และอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์

2.2.1.1.3 Fluidized bed freezing ใช้กับอาหารที่เป็นของแข็งขนาดเล็ก มีหลักการคือ ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารลอยตัวด้วยลมเย็นที่เป่าจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยผ่านตะแกรงที่วางผลิตภัณฑ์ การแช่เยือกแข็งวิธีนี้มีอัตราเร็วกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast freezing

2.2.1.2 วิธีการแช่เยือกแข็งด้วยแผ่นโลหะเย็นจัด (Plate freezing)

อาหารที่นำมาแช่เยือกแข็งจะถูกวางไว้ระหว่างแผ่นโลหะเย็น ซึ่งถูกทำให้เย็นโดยมีสารให้ความเย็นอยู่ภายใน วิธีนี้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนดีมาก แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาแช่เยือกแข็ง จะต้องมีความหนาที่สม่ำเสมอ และการแช่เยือกแข็งมีอัตราที่ช้าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ทันสมัยอื่นๆ

2.2.1.3 วิธีการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (Liquid immersion freezing)

วิธีนี้ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแช่เยือกแข็งซึ่งอาจมีการห่อภาชนะบรรจุหรือไม่ห่อภาชนะบรรจุ ไปจุ่มหรือพ่นด้วยสาร freezant ซึ่งเป็นของเหลวที่ยังสามารถคงสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -18°C ซึ่งสาร freezant ที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โพรพิลีนไกลคอล กลีเซอรอล เป็นต้น

2.2.1.4 วิธีการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก (Cryogenic freezing)

เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูงมาก สามารถทำได้โดยการจุ่มอาหารลงในสารทำความเย็น (cryogen) หรือฉีดพ่นสารทำความเย็นลงบนอาหาร เมื่อสารทำความเย็นสัมผัสกับอาหารจะเกิดการเปลี่ยนสถานะ ในช่วงการเปลี่ยนสถานะจะมีการดึงความร้อนออกจากอาหาร ทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว สารทำความเย็นที่นิยมใช้ได้แก่ ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง เป็นต้น

ข้อดีของการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวคือ มีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์น้อยมาก โดยปกติน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจนจะถูกกำจัดออกจากผลิตภัณฑ์ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง การแช่เยือกแข็งวิธีนี้มีลักษณะการแช่เยือกแข็งแบบ individual quick freezing (IQF) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความเสียหายน้อยมาก เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อการเสื่อมเสียเนื่องจากการแช่เยือกแข็งได้ดี เช่น มะเขือเทศ เห็ด กล้วย เป็นต้น และเมื่อแช่เยือกแข็งอาหารประเภทเนื้อสัตว์ จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการละลายน้อย และเนื้อสัมผัสถูกทำลายน้อย นอกจากนี้เครื่องมือไม่สลับซับซ้อน เหมาะที่จะใช้ในการผลิตแบบต่อเนื่อง

ข้อเสียของการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีนี้คือ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง เนื่องจากไนโตรเจนเหลวมีราคาแพง (Fennema, Karel, and Lund, 1975)

2.2.2 อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง

อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งนับเป็นเรื่องสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งสามารถแบ่งได้เป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing หรือ sharp freezing) การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (rapid freezing หรือ quick freezing) และการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมาก (ultra rapid freezing) ซึ่งหลักเกณฑ์ในการกำหนดอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งในระดับต่าง ๆ มีหลายวิธีดังนี้ (Fennema, *et al*., 1973; สายสนม ประดิษฐดวง, 2540)

2.2.2.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหน่วยเวลา

ถ้าอุณหภูมิลดลง 1ºC ต่อนาที จัดเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า ถ้าอุณหภูมิลดลง 50ºC ต่อนาที จัดเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว หลักการนี้ไม่ค่อยถูกต้องนัก เพราะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหน่วยเวลาจะไม่สม่ำเสมอกันตลอดระยะเวลาแช่เยือกแข็ง ดังนั้นการพิจารณา ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเพียงอย่างเดียวอาจผิดพลาดได้

2.2.2.2 เวลาในช่วงที่ผลิตภัณฑ์เกิดการตกผลึกและแข็งตัวหมด (freezing plateau)

หลักการนี้ใช้ช่วงความชันของส่วนแผนภาพการแช่เยือกแข็งที่เป็นเส้นตรง (freezing plateau) ถ้าเวลาในช่วงที่ผลิตภัณฑ์เกิดการตกผลึกและแข็งตัวหมดใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมงจัดเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า แต่ถ้าใช้เวลาน้อยกว่า 1-2 นาที จัดเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

2.2.2.3 ลักษณะชั้นหน้าของน้ำแข็ง

ถ้าน้ำแข็งที่เกิดขึ้นเป็นแผ่นจนแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวได้จัดเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า ถ้าเกิดผลึกน้ำแข็งจำนวนมากไม่เกิดการแยกชั้น จัดเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว แต่ถ้าผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์จัดเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมาก

2.2.2.4 ตำแหน่งของผลึกน้ำแข็ง

การแช่เยือกแข็งแบบช้าจะเกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบเร็วจะเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นทั้งภายในและนอกเซลล์ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผลึกน้ำแข็งภายในและภายนอกเซลล์จะเป็นดัชนีแสดงอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งได้เป็นอย่างดี

2.2.2.5 ความเร็วของการเกิดผิวหน้าน้ำแข็ง

หลักการนี้ดูความเร็วของผิวหน้าน้ำแข็งที่เคลื่อนที่เข้าไปจากผิวนอกของผลิตภัณฑ์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง วิธีนี้มีหน่วยเป็นระยะทางต่อเวลา (เซนติเมตรต่อชั่วโมง) หลักการนี้ถือว่าเป็นที่นิยม เพราะสามารถวัดได้ค่อนข้างถูกต้อง อัตราเร็วในการเคลื่อนที่สามารถเป็นดัชนีแสดงอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งได้เป็นอย่างดี ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งจากวิธีที่แตกต่างกัน โดยใช้หลักการวัดความเร็วของการเกิดผิวหน้าน้ำแข็ง

วิธีในการแช่เยือกแข็ง	อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง (เซนติเมตรต่อชั่วโมง)
Ultra rapid freezing	> 10
Rapid freezing	1-10
Normal freezing	0.3-1
Slow freezing	0.1-0.3
Very slow freezing	<0.1

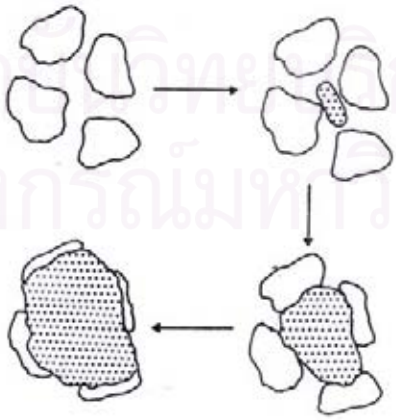
ที่มา : Boegh-Soerensen และ Jul (1985)

ในทางเทคโนโลยีอาหาร การกล่าวถึงอัตราการแช่เยือกแข็งที่นิยมใช้กันมี 2 ลักษณะ คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหน่วยเวลา โดยคำนวณจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิสุดท้ายหารด้วยเวลาในการแช่เยือกแข็ง หรือบอกเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราเร็วในการเกิดผลึกน้ำแข็งจากผิวหน้าจนถึงจุดกึ่งกลาง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร/ชั่วโมง (อรพิน ชัยประสพ, 2542)

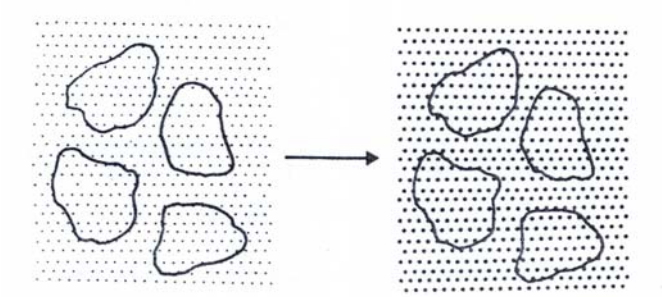
2.2.3 ผลของอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ผลกระทบของการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของอาหาร คือ เกิดความเสียหายของเซลล์จากการโตของผลึกน้ำแข็ง อัตราเร็วที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งจะส่งผลต่อขนาดของผลึกน้ำแข็งและตำแหน่งการเกิดผลึกน้ำแข็ง โดยปกติการเกิดผลึกน้ำแข็งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การเกิดนิวเคลียส (Nucleation) และการโตของผลึกน้ำแข็ง (Crystal growth) (Fennema, *et al*., 1975)

ขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในการแช่เยือกแข็งจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับจำนวนผลึกนิวเคลียสหรือนิวคลีไอ (nuclei) ที่เกิดขึ้น ถ้าจำนวนนิวคลีไอที่เกิดขึ้นน้อยจะได้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่แต่มีจำนวนน้อย แต่ถ้าเกิดนิวคลีไอขึ้นจำนวนมาก จะได้ผลึกน้ำแข็งที่ขนาดเล็กจำนวนมาก จำนวนนิวคลีไอที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดนิวเคลียสและอัตราการกำจัดความร้อน ดังนั้นถ้าอัตราการแช่เยือกแข็งเป็นแบบเร็ว จะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก ถ้าอัตราการแช่เยือกแข็งเป็นแบบช้า จะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนน้อย (อรพิน ชัยประสพ, 2542) ตำแหน่งการเกิดผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นภายในหรือภายนอกเซลล์ขึ้นอยู่กับ อัตราการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิของตัวอย่าง และธรรมชาติของเซลล์ โดยปกติในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์อาหารจะเกิดนิวคลีไอขึ้นภายนอกเซลล์ก่อน ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเซลล์เพิ่มขึ้น เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอภายนอกและภายในเซลล์ ความดันไอภายในเซลล์ที่สูงกว่าจะดันให้น้ำซึมผ่านผนังเซลล์ออกสู่ภายนอก ถ้าอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบช้า น้ำในเซลล์จะสามารถเคลื่อนที่ออกมาอยู่ภายนอกเซลล์เรื่อย ๆ เกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายนอกเซลล์ ซึ่งจะเบียดและทำลายเซลล์ ทำให้เซลล์สูญเสียน้ำหดตัว (รูปที่ 2.2) และอาจได้รับความเสียหายต่อไปเนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงขึ้นด้วย เมื่อนำไปละลายจะเกิดการสูญเสีย drip มาก คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ถ้าอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งสูงมาก การแช่เยือกแข็งจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลาสั้น ๆ น้ำมีการเคลื่อนที่ออกจากเซลล์น้อย ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กสม่ำเสมอ และกระจายอยู่ทั่วไปทั้งภายในและนอกเซลล์ (รูปที่ 2.3) เซลล์จึงเกิดความเสียหายน้อย เมื่อนำไปละลายจึงยังคงมีคุณภาพดี และใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนการแช่เยือกแข็ง (อรพิน ชัยประสพ, 2542; George, 1997)



รูปที่ 2.2 การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อเมื่ออัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบช้า
ที่มา : Fellows, 1990



รูปที่ 2.3 การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อเมื่ออัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเป็นแบบเร็ว
ที่มา : Fellows, 1990

Aurell, Dagbjartsson, และ Salomonsdottir (1976) ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างๆกัน ได้แก่ การใช้ liquid freon freezant, air blast freezing และ plate freezing ที่มีต่อคุณภาพของ กุ้ง, หอยเชลล์ และปลา lemon sole พบว่าการแช่เยือกแข็งด้วย liquid freon freezant จะใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่า คือ 50 วินาที 3 นาที และ 4 นาที ในการแช่เยือกแข็งกุ้ง หอยเชลล์ และปลา lemon sole ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ air blast freezing ซึ่งใช้เวลา 6 นาที 15 นาที และ 22 นาที ตามลำดับ และ plate freezing ซึ่งใช้เวลา 30 นาที 45 นาที และ 41 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ liquid freon freezant สามารถลด % drip loss และ % weight loss ลงได้

Gidding และ Hill (1978) ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งซึ่งมีอัตราเร็วต่างกันต่อการทำลายโครงสร้างทางลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งและปู พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้าที่อุณหภูมิ -29ºC และ -10ºC จะทำให้เกิดการเสียหายของโครงสร้างเนื้อสัมผัสมากกว่า โดยผิวของผลิตภัณฑ์จะแห้ง หดตัว และอัดตัวกันแน่น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบช้าทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งและการโตของผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งแบบเร็ว โดยใช้ freon freezant หรือ ใช้ liquid nitrogen เป็นสารให้ความเย็นนั้น มีโครงสร้างและเส้นใยคงอยู่ในสภาพเดิม และยังคงมีน้ำอยู่ในเซลล์ เพราะผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กและอยู่ภายในเซลล์ และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองวิธีไปละลายพบว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งแบบช้ามีปริมาณ drip loss มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งแบบเร็ว

Pan และ Yeh (1993) ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งกุ้งกุลาดำด้วย air blast freezing อุณหภูมิ -35ºC และ cryogenic freezing โดยใช้ไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิ –80ºC, -100ºC และ –120ºC พบว่าทันทีหลังจากแช่เยือกแข็ง จะมีช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น โดยกุ้งที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast freezing (อัตราเร็วการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 3.4

เซนติเมตรต่อชั่วโมง) จะมีช่องว่างมากกว่ากุ้งที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี cryogenic freezing (อัตราเร็วการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 8.6 –16.1 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) และระยะห่างระหว่างช่องว่างจะเพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20ºC โดยกุ้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งโดยวิธี cryogenic freezing จะมีความสมบูรณ์ของกล้ามเนื้อสูงกว่ากุ้งที่แช่เยือกแข็งแบบ air blast freezing แต่เมื่อเก็บไว้ที่ –20ºC นานมากกว่า 1 เดือน พบว่าความสมบูรณ์ของกล้ามเนื้อที่แช่เยือกแข็งหมดไปโดยทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกัน โดยไลโซโซมในกล้ามเนื้อจะเกิดการแตกออกและปล่อยเอนไซม์ออกมา แสดงถึงความสมบูรณ์ของกล้ามเนื้อที่ลดลง

Chen และ Pan (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกล้ามเนื้อของปลานิลที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การแช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast โดยใช้อุณหภูมิ –20ºC และ –36ºC และการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวโดยใช้อุณหภูมิ –87ºC และ –128ºC พบว่าการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีการเพิ่มขึ้นของช่องว่างระหว่างมัดเส้นใยกล้ามเนื้อน้อยกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast เนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวยังคงรักษาความสมบูรณ์ของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าการแช่เยือกแข็งด้วย air blast และพบว่าระยะเวลาในการเก็บที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งโดยทั้ง 2 วิธี มีช่องว่างระหว่างมัดเส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้น

ศิรินทรา บุญสำเร็จ (2544) ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งกุลาดำที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีแบบ air blast freezing และแบบ cryogenic freezing พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งกุ้งกุลาดำด้วยวิธี air blast คือ การใช้ความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิประมาณ -28ºC และภาวะที่เหมาะสมของแบบ cryogenic freezing คือ อุณหภูมิ –70ºC เนื่องจากจะมีร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดและทำให้กุ้งกุลาดำที่ผ่านการละลายน้ำแข็งแล้วมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดไม่ต่างกับกุ้งกุลาดำสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

2.3 การบรรจุก่อนการเก็บรักษา

การบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งมีความจำเป็นมาก ภาชนะบรรจุจะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ และป้องกันการสัมผัสกับออกซิเจน ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่มีการบรรจุในภาชนะที่ไม่เหมาะสมนั้น เมื่อนำไปเก็บรักษาจะมีการระเหิดของน้ำแข็ง หรือการระเหยของน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ไปสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำ น้ำหนักลดลง และอาจเกิด freezer burn เกิดขึ้น ซึ่งวิธีการป้องกันสามารถทำได้โดย การเพิ่มความชื้น

สัมพัทธ์ภายในห้องเก็บให้สูงขึ้น การเคลือบที่ผิวผลิตภัณฑ์ (glazing) การบรรจุอาหารในภาชนะที่สามารถกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ และบรรจุให้แนบชิดกับตัวผลิตภัณฑ์ (Fennema *et al*., 1973)

2.3.1 คุณสมบัติบรรจุภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง

โดยทั่วไปคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เหมาะสมสำหรับอาหารแช่เยือกแข็งมีดังนี้ (มยุรี ภาคลำเจียก, 2541)

2.3.1.1 มีความทนทานต่ออุณหภูมิแช่แข็ง คือ ต่ำกว่า -30°C โดยไม่เสื่อมสภาพ

2.3.1.2 ไม่เป็นพิษ หรือก่อสารปนเปื้อนที่เป็นพิษในการบริโภค

2.3.1.3 ไม่ทำให้กลิ่นหรือรสชาติอาหารผิดปกติ

2.3.1.4 สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ดี

2.3.1.5 ทนความชื้น น้ำ และไขมันได้ดี

2.3.1.6 มีความเหนียว ต้านทานการทิ่มทะลุได้สูง

2.3.1.7 สามารถใช้กับเครื่องจักรได้ รวมทั้งพิมพ์ได้ดี หมึกไม่หลุดลอกออกง่ายในสภาวะแช่แข็ง

2.3.1.8 ไม่ก่อปัญหากับสิ่งแวดล้อม

2.3.2 การบรรจุแบบสุญญากาศ

การบรรจุแบบสุญญากาศเป็นเทคนิคที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ทำได้โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุที่ทำจากวัสดุที่สามารถกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี จากนั้นดึงอากาศออกจากบรรจุภัณฑ์ ปิดผนึกจนสนิทไม่ให้อากาศผ่านเข้าไปได้ (Balasubramaniam and Chinnan, 1997) เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่คงรูป เนื้อสัมผัสไม่เป็นโพรงหรือรูพรุน และไม่มีมุมแหลมคม ระดับของสุญญากาศภายในภาชนะขึ้นกับอายุการเก็บรักษาที่ต้องการ และปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2537)

การบรรจุแบบสุญญากาศสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งนั้น มีข้อดีคือ ช่วยยืดอายุการเก็บอาหารให้นานขึ้น ช่วยลดการสูญเสียน้ำในอาหาร ลดการเกิดผลึกน้ำแข็งภายในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากสามารถช่วยลดช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์กับภาชนะบรรจุ ที่เป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งบนผิวของผลิตภัณฑ์และภาชนะบรรจุ ส่งผลให้เกิดลักษณะที่ไม่น่าดู และเกิดการสูญเสียความชื้นไปในช่วงการเก็บรักษา นอกจากนี้การบรรจุแบบสุญญากาศจะช่วยกำจัด

ออกซิเจน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดออกซิเดชัน จึงสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ได้ (Yam, Zhao, and Lai, 2004)

2.3.3 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการบรรจุแบบสุญญากาศมักเป็นถุงปิดผนึก 4 ด้าน ทำด้วยฟิล์มพลาสติกหลายชั้นที่สามารถกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี และมีความเหนียวสูง เช่น Nylon/PE, Nylon/Surlyn, PET/PE, PET/Surlyn เป็นต้น (มยุรี ภาคลำเจียก, 2541) บรรจุภัณฑ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย คือ LLDPE/Nylon ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้กับอาหารแช่เยือกแข็งอย่างแพร่หลาย โดยเป็นการลามิเนตขึ้นรูปกันระหว่างฟิล์ม 2 ชนิด คือ LLDPE กับ Nylon ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) เป็นพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (Polyethelyne : PE) ชนิดหนึ่ง มีความหนาแน่นประมาณ 0.916-0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร คุณสมบัติทางกายภาพของ LLDPE จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (Hernandez, Selke, and Culter, 2000) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 LLDPE จะผลิตภายใต้สภาวะความดันต่ำ โดยที่นิยมใช้เป็นชั้นป้องกันความชื้นโดยการเคลือบ PE (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) เป็นพลาสติกพวกโพลีเอทิลีนที่มีข้อดีคือ มีความเหนียวสูง ยืดตัวได้มาก ฉีกขาดยาก ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ และสามารถใช้งานที่อุณหภูมิแช่แข็งได้ดี (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2537)

Polyamide (PA) หรือ ไนลอน มีคุณสมบัติโปร่งใส ไม่มีรส ไม่มีกลิ่นและไม่เป็นอันตราย ป้องกันการซึมผ่านของไขมันและก๊าซต่าง ๆ ได้ดี มีความเหนียวสูง สามารถต้านทานแรงฉีกขาด แรงทิ่มทะลุได้สูง (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2537) จึงเหมาะสำหรับใช้กับวัตถุดิบในการทดลอง คือ หอยเป๋าฮื้อ ซึ่งมีเปลือกที่มีลักษณะแข็งและมีเหลี่ยมคมได้ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ผลของความหนาแน่นต่อคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของออกซิเจนและน้ำของโพลีเอทิลีน

ความหนาแน่นของโพลีเอทิลีน (g/cm^3)	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (g μm/ m^2 day)	ความสามารถในการซึมผ่านได้ของออกซิเจน (cm^3μm/ m^2 day atm)
0.910	0.866	275
0.915	0.779	256
0.920	0.685	225
0.925	0.579	201
0.930	0.465	165
0.935	0.366	137
0.940	0.276	104
0.945	0.244	91.3
0.950	0.208	76.4
0.955	0.185	70.1
0.960	0.145	61.0

ที่มา : Hernandez, Selke, และ Culter (2000)

2.4 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง

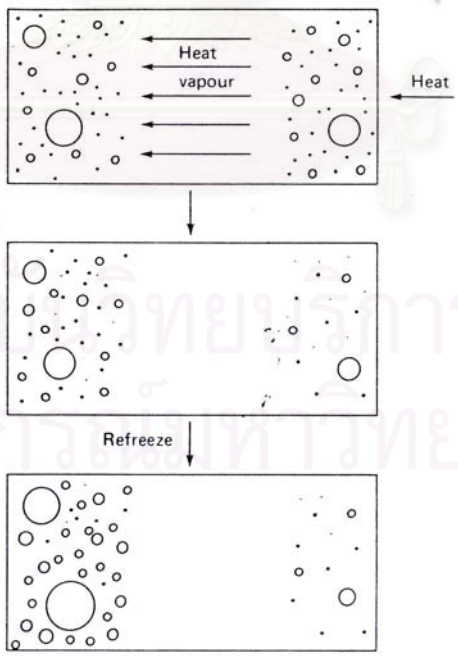
วัตถุประสงค์อันดับแรกในการแช่เยือกแข็ง คือ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยพบว่า แม้ที่อุณหภูมิ -18ºC จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ แต่ยีสต์ยังสามารถเจริญได้จนถึงอุณหภูมิ -12ºC และราบางชนิดยังเจริญได้ที่อุณหภูมิ -18ºC ส่วนปฏิกิริยาของเอนไซม์บางชนิด พบว่ายังสามารถเกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ แม้ว่าอุณหภูมิลดต่ำลงถึง -70ºC (Zaritzky, 2000) ดังนั้นถ้าเก็บรักษาไว้ในสภาพที่ไม่เหมาะสม

คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงมาก โดยทั่วไปการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งจำเป็นต้องเก็บในห้องที่มีระดับความเย็นที่เหมาะสม มีฉนวนป้องกันเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของห้องให้คงที่ตลอดเวลา (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2540) โดยทั่วไปควรเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C หรือต่ำกว่า (Fennema *et al*., 1973) ขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับอาหารในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งที่สำคัญ มีดังนี้

2.4.1 การตกผลึกใหม่ (Recrystallization)

หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวกับจำนวน ขนาด รูปร่าง และการเรียงตัวของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นหลังจากที่ได้ผ่านการกลายเป็นผลึกน้ำแข็งที่สมบูรณ์แล้ว ซึ่งการตกผลึกใหม่ที่มักจะเกิดขึ้นในอาหารและสำคัญที่สุดคือการตกผลึกใหม่แบบไมเกรทอรี (migratory recrystallization) เป็นลักษณะที่ผลึกขนาดใหญ่ขยายขนาดขึ้นจากรวมตัวของผลึกที่เล็กกว่าผลึกที่ได้จึงมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่จำนวนผลึกลดลง แสดงในรูปที่ 2.4 การตกผลึกใหม่แบบนี้เกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิในช่วงการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งไม่คงที่ ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำและคงที่ตลอดเวลา (Fennema *et al*., 1973)



รูปที่ 2.4 การตกผลึกใหม่แบบไมเกรทอรี
ที่มา : Fellows, 1990

2.4.2 การสูญเสียความชื้นในระหว่างเก็บรักษา (Moisture migration)

ในช่วงการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง จะเกิดการระเหยของน้ำและการระเหิดของผลึกน้ำแข็งไปสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จะมีน้ำหนักลดลง และอาจเกิด freezer burn ขึ้น (Fennema *et al.*, 1973)

2.4.3 การเสียสภาพของโปรตีน (Protein denaturation)

การเสียสภาพของโปรตีนในช่วงการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง เป็นผลเนื่องมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ การเกิดผลึกน้ำแข็ง ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลาย การจับตัวกันระหว่างโปรตีนกับสารฟอร์มาลดีไฮด์ (FA) ซึ่งได้จากการสลายตัวของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (TMAO) ในสัตว์น้ำบางชนิด นอกจากนี้การรวมตัวกันระหว่างโปรตีนกับกรดไขมันอิสระ หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิเดชันของไขมัน ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน (Santos-Yap, 1995; Zaritzky, 2000)

2.4.4 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation)

ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแช่เยือกแข็งสามารถเกิดการออกซิเดชันของไขมันได้แม้เก็บที่อุณหภูมิ -18°C จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดกลิ่นรสที่ไม่เป็นที่ต้องการหรือกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ สัตว์น้ำที่มีไขมันมาก มีแนวโน้มการเกิดออกซิเดชันได้มากกว่าสัตว์น้ำที่มีไขมันน้อย และหากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูงจะมีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันมากกว่าสัตว์น้ำที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำ วิธีที่นิยมใช้ตรวจสอบและติดตามการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่

- การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value ; PV) เป็นการหาปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ตัวแรกที่เกิดขึ้นจากการเกิดออกซิเดชัน

- การหาค่าไทโอบาบิทูริก (thiobarbituric acid number ; TBA) เป็นการหาปริมาณของสารมาโลนแอลดีไฮด์ (malonaldehyde) ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของไขมัน โดยให้ทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาบิทูริก (TBA) จะได้สารละลายที่มีสีแดงเกิดขึ้น จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer เพื่อตรวจสอบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (Santos-Yap,1995; Zatitzky, 2000)

2.4.5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณด่างที่ระเหยได้ในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ (total volatile base nitrogen; TVB-N) ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีบอกคุณภาพความสดของสัตว์น้ำได้ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548) โดยตามมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดให้ปลาหมึกแช่เยือกแข็ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 428-2525, 2525) และกุ้งแช่เยือกแข็ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 115-2529, 2529) มีปริมาณด่างที่ระเหยได้ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อน้ำหนักเนื้อ 100 กรัม

Mishra และ Srikar (1989) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของเนื้อหอยกาบ (*Meretrix casta*) ที่แกะเปลือกเอาเครื่องในออกแล้วแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20ºC เป็นระยะเวลา 200 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น %thaw drip loss ของหอยกาบแช่เยือกแข็งจะเพิ่มขึ้นจาก 7.79% ในตอนเริ่มต้น เป็น 15.90% ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) และปริมาณไกลโคเจนในเนื้อหอยมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษา ทั้งนี้เกิดจากการย่อยสลายของเอนไซม์ในตัวหอย ซึ่งสามารถย่อยสลายไนโตรเจนและไกลโคเจนที่มีอยู่ในเนื้อหอย และอาจเกิดจากการสูญเสียผ่าน drip loss ในช่วงการละลายด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าค่า PV และค่า TBA มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไขมันในเนื้อหอยกาบเกิดการออกซิเดชันเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนปริมาณ TVB-N จะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

เลิศเกียรติ พูลผล (2542) ศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็งเนื้อหอยแมลงภู่ที่แกะเปลือกแล้วแบบ air blast freezing และแบบ cryogenic freezing พบว่าหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธี 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 นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พบว่า การแช่หอยแมลงภู่ในสารละลาย STPP และการเคลือบด้วยน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง สามารถลด %thawing loss และค่า TBA ที่เกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

Balasundari และคณะ (1997) ศึกษาผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18° C เป็นเวลา 150 วัน ต่อคุณภาพของหอยนางรมที่แกะเปลือกและต้มแล้วแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีการบรรจุในถุงชนิด low density polyethylene พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างจะมี %thaw drip loss สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.01$) เนื่องจากเกิดการเสียสภาพของโปรตีน ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง รวมทั้งเกิดจากการฉีกขาดของเซลล์อันเนื่องมาจากผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุการเก็บ นอกจากนี้พบว่า ปริมาณ TVB-N และค่า TBA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.01$) ตามอายุการเก็บรักษาเช่นกัน ส่วนจำนวนจุลินทรีย์ในเนื้อหอยกลับมีปริมาณลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

พรรัตน์ สินชัยพานิช (2546) ศึกษาผลของการเก็บรักษากุ้งก้ามกรามในสภาพแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ตัวอย่างจะมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำลดลง เนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีนจากการแช่เยือกแข็งและระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลึกน้ำแข็งในตัวอย่าง และระยะห่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อมีค่ามากขึ้นตามอายุการเก็บ ทำให้เกิดการเสียหายทางกายภาพของเซลล์ และเกิดความเสียหายต่อเนื้อสัมผัส ส่งผลให้ %thawing loss และค่าแรงต้านทานการตัดขาดของตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย

Yerlikaya และ Gokoglu (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปู (blue crab) ที่บรรจุใน polyethylene polyamide pouch ในระหว่างการเก็บรักษาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิเป็นเวลา 10 เดือน พบว่าปริมาณ TVB-N ของเนื้อปู มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บ ส่วนค่า TMA-N จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ($p<0.01$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.38-1.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในช่วงเวลาการเก็บ 10 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

หอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis asinina* L. ขนาดน้ำหนักรวมเปลือกประมาณ 25-30 กรัมต่อตัว ซึ่งซื้อมาจากฟาร์มหอยเป๋าฮื้ออันดามัน (Andaman Abalone Farm) จังหวัดตรัง

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

กรดซัลฟิวริก (J.T. Baker, USA)	(A.R.)
กรดบอริก (Univa, Ajax Finechem, Australia)	(A.R.)
เซเลเนียมรีเอเจนท์มิกซ์เจอร์ (Merck, Darmstadt, Germany)	(A.R.)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Univa, Ajax Finechem, Australia)	(A.R.)
โซเดียมคาร์บอเนต (Univa, Ajax Finechem, Australia)	(A.R.)
โบรโมครีซอลกรีน (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)	(A.R.)
ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)	(A.R.)
โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)	(A.R.)
เมธทิลเรด (Merck, Darmstadt, Germany)	(A.R.)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Total Volatile Base (TVB)

กรดบอริก (Univa, Ajax Finechem, Australia)	(A.R.)
เอทานอล (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)	(A.R.)
เมธทิลเรด (Merck, Darmstadt, Germany)	(A.R.)
โบรโมครีซอลกรีน (Merck, Darmstadt, Germany)	(A.R.)
กรดไฮโดรคลอริก (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)	(A.R.)
โปแตสเซียมคาร์บอเนต (Univa, Ajax Finechem, Australia)	(A.R.)
กรดไตรคลอโรอะซิติก (Merck, Darmstadt, Germany)	(A.R.)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Trimethylamine (TMA)

กรดบอริก (Univa, Ajax Finechem, Australia) (A.R.)

เอทานอล (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy) (A.R.)

โบรโมครีซอลกรีน (Merck, Darmstadt, Germany) (A.R.)

เมธทิลเรด (Merck, Darmstadt, Germany) (A.R.)

กรดไฮโดรคลอริก (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy) (A.R.)

โปแตสเซียมคาร์บอเนต (Univa, Ajax Finechem, Australia) (A.R.)

กรดไตรคลอโรอะซิติก (Merck, Darmstadt, Germany) (A.R.)

แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Univa, Ajax Finechem, Australia) (A.R.)

ฟอร์มาลิน (Univa, Ajax Finechem, Australia) (A.R.)

สารเคมีที่ใช้ในการหาค่า Thiobarbituric acid (TBA)

กรดอะซิติก (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy) (A.R.)

กรดไฮโดรคลอริก (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy) (A.R.)

สารกันฟอง Silicone antifoam (Univa, Ajax Finechem, Australia) (A.R.)

กรดไธโอบาร์บิทิวริก (Sigma – Aldrich, Germany) (A.R.)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, Switzerland, distillation unit รุ่น B324, Switzerland, scrubber รุ่น -324, Switzerland, scrubber รุ่น B-414, Switzerland)

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

ตู้อบลมร้อน (WTE binder รุ่น E-53)

เตาเผา (Isotherm Muffle Furnace)

กระดาษกรอง Whatman No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

ถ้วยอะลูมิเนียม

ครูซิเบิล

เดซิเคเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้การแช่เยือกแข็งและการบรรจุหอยเป๋าฮื้อ

เครื่อง Liquid Nitrogen Freezer (Cryo-Test Chamber Nitrogen Freezer, รุ่น CT-1818-12F, USA) ซึ่งประกอบด้วย ถังบรรจุไนโตรเจนเหลว Model XL-55 HP และ Cryo-Test Chamber Model CT-1818-12F โดยผู้ใช้สามารถตั้งอุณหภูมิและเวลาสำหรับใช้ในการแช่เยือกแข็ง เพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดได้ เครื่องมือจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ chamber สำหรับใส่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนำไปแช่เยือกแข็ง และเป็นส่วนสำหรับพ่นไนโตรเจนเหลวลงบนผลิตภัณฑ์ ส่วนที่สองเป็นถังบรรจุไนโตรเจนเหลว เป็นของบริษัทบางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด (Bangkok Induatrial Gas Co.,Ltd.) ติดตั้งไว้ที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รูปที่ ฉ.1 ในภาคผนวก ฉ)

เครื่องบันทึกอุณหภูมิและเวลา (Yokogawa รุ่น MV-100, Japan)

ประกอบด้วยลวด thermocouple ชนิด type T ซึ่งมีขั้วบวกทำจากโลหะทองแดง ขั้วลบเป็น โลหะ constantant (ทองแดง + นิกเกิล) สามรถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -270 ถึง 400 องศาเซลเซียส

ตู้แช่เยือกแข็งที่มีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส (Sanyo รุ่น MDF-U5411, Japan)

เครื่องปิดผนึกถุงแบบสุญญากาศ (Webomatic รุ่น Hansastr.199, Germany)

เครื่องปิดผนึกถุงด้วยความร้อน (Glory-Pack รุ่น PHS 450-10D, American Binding Company, Inc., USA)

ถุงพลาสติกชนิด LLDPE/Nylon ขนาด 20 X 30 เซนติเมตร (บริษัทเจนจรัสเคมซัพพลาย จำกัด, ประเทศไทย)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์การละลาย

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BP3100s, Ireland)

นาฬิกาจับเวลา

ตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรงประมาณ 1 × 1 เซนติเมตร

อุปกรณ์ที่ใช้วัดเนื้อสัมผัส

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Texture Analyzer, Instron Corp., USA)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า pH

เครื่อง pH meter (Eutech รุ่น Cyberscan pH 100 Bench.,Singapore)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Total Volatile Base (TVB)

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

จานคอนเวย์ (Conway)

กระดาษกรอง Whatman No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

กระดาษกรอง Whatman No.41 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

ไมโครบิวเรต

อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่า TBA

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Jasco UV/VIS Spectrophotometer รุ่น V-530, USA)

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert รุ่น D-91126, Germany)

ชุดเครื่องแก้วสำหรับกลั่น

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบ

หอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis asinina* ความยาวประมาณ 6 เซนติเมตร น้ำหนักทั้งเปลือกประมาณ 25 -30 กรัม จากฟาร์มเป๋าฮื้ออันดามัน จังหวัดตรัง บรรจุในถุงพลาสติกประมาณ 2 กิโลกรัมต่อถุง โดยบรรจุน้ำทะเลประมาณ 1 ใน 4 ของถุง อัดออกซิเจนและมัดปากถุง ใส่ลงในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง จากนั้นขนส่งโดยเครื่องบินจากสนามบินจังหวัดตรังมายังสนามบินดอนเมือง ขนส่งต่อโดยรถยนต์มายังห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้เวลาในการขนส่งทั้งหมดไม่เกิน 6 ชั่วโมง

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อสด

นำหอยเป๋าฮื้อทั้งเปลือกที่ทำความสะอาดเบื้องต้น โดยใช้น้ำทะเลที่บรรจุมาล้างสาหร่ายและสิ่งสกปรกออก ไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง Cryo -Test Chamber Nitrogen Freezer โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อให้หอยตาย จากนั้นล้างทำความสะอาด แกะเปลือก เอาเครื่องในออก สับให้ละเอียด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ตามวิธีของ A.O.A.C. (1995) ดังวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข.1–ข.4 วิเคราะห์ 4 ซ้ำ

3.2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีไครโอจีนิก

นำหอยเป๋าฮื้อทั้งเปลือกที่ทำความสะอาด โดยใช้น้ำทะเลที่บรรจุมาล้างสาหร่ายและสิ่งสกปรกออก ไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง Cryo -Test Chamber Nitrogen Freezer ซึ่งประกอบด้วยถังบรรจุไนโตรเจนเหลว และ Cryo-Test Chamber สำหรับวางผลิตภัณฑ์เพื่อให้ไนโตรเจนเหลวพ่นลงบนผลิตภัณฑ์ โดยวางหอยลงในตะแกรงครั้งละประมาณ 10 ตัว วางลงใน chamber โดยเสียบเทอร์โมคัปเปิล Type-T ซึ่งต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิและเวลา เข้าไปยังบริเวณจุดกึ่งกลางของตัวหอย 2 ตัว เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อหอย จากนั้นเปิดเครื่องไนโตรเจนเหลว แช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิภายในเนื้อหอยลดลงถึง -18ºC โดยใช้ไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -70ºC -80ºC และ -90ºC บันทึกอุณหภูมิและระยะเวลาการแช่เยือกแข็งเพื่อคำนวณหาอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6) บรรจุหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งแล้วประมาณ 10 ตัว ลงในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบใช้ความร้อน เก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18±2 ºC เป็นเวลา 2 วัน ละลายน้ำแข็งโดยวิธีการให้น้ำซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25-30ºC ไหลผ่านตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกที่ปิดผนึกอยู่ จนกระทั่งอุณหภูมิในเนื้อหอยมีค่าประมาณ 25ºC หรือใช้เวลาประมาณ 35 นาที แล้วนำไปตรวจสอบดังนี้

3.2.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (%freezing loss) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1)

3.2.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง (%thawing loss) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2)

3.2.3 ค่าแรงต้านทานการตัดขาด ด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 4 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox,1992) เลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยพิจารณาจาก%freezing loss %thawing loss และแรงต้านทานการตัดขาด เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.3 ศึกษาเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว

นำหอยเป๋าฮื้อทั้งเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วไปแช่เยือกแข็ง โดยใช้ภาวะที่เลือกจากข้อ 3.2 บรรจุลงในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 20 x 30 เซนติเมตร ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบใช้ความร้อน เก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18±2 ºC เป็นเวลา 2 วัน ละลายน้ำแข็งโดยวิธีการให้น้ำซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25-30ºC ไหลผ่านตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกที่ปิดผนึกอยู่ จนกระทั่งอุณหภูมิในเนื้อหอยมีค่าประมาณ 25ºC หรือใช้เวลาประมาณ 35 นาที ตัดแต่งและแยกเนื้อหอยออกจากเปลือก ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นนำไปลวกด้วยน้ำเดือดครั้งละ 10 ตัว อัตราส่วนเนื้อหอย : น้ำ คือ 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยแปรเวลาที่ใช้ลวกเป็น 4 ระดับคือ 1 2 3 และ 4 นาที แล้วนำไปตรวจสอบดังนี้

3.3.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (% cooking loss) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4)

3.3.2 ค่าแรงต้านทานการตัดขาด ด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7)

3.3.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.1)

3.3.4 ปริมาณ *Staphylococcus aureus* (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2)

3.3.5 ปริมาณ *Escherichia coli* (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.3)

3.3.6 ประเมินผลทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผู้บริโภค โดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis with scoring 5 point scale และประเมินความชอบโดยใช้แบบทดสอบแบบ Hedonic scale (9 คะแนน) โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน (รายละเอียดแบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ง)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ และ RCBD ทดลอง 2 ซ้ำ สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox,1992) เลือกเวลาในการลวกที่เหมาะสมโดยพิจารณาจาก %cooking loss และแรงต้านทานการตัดขาด ปริมาณจุลินทรีย์ที่ลดลง ร่วมกับคะแนนทางประสาทสัมผัส เพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.4 ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการบรรจุและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็ง

3.4.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อทั้งเปลือกแช่เยือกแข็ง

นำหอยเป๋าฮื้อทั้งเปลือกที่ทำความสะอาดแล้ว จากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ไปแช่เยือกแข็งโดยใช้ภาวะที่เลือกจากข้อ 3.2 จากนั้นบรรจุหอยที่แช่เยือกแข็งแล้วจำนวน 10 ตัวลงในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 20 x 30 เซนติเมตร โดยแปรวิธีการปิดผนึกเป็น 2 แบบ คือ ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบใช้ความร้อนภายใต้ภาวะบรรยากาศแบบปกติ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±2 ºC เป็นเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ ละลายน้ำแข็งโดยวิธีการให้น้ำซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25-30ºC ไหลผ่านตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกที่ปิดผนึกอยู่ จนกระทั่งอุณหภูมิในเนื้อหอยมีค่าประมาณ 25ºC หรือใช้เวลาประมาณ 35 นาที แล้วนำไปตรวจสอบดังนี้

3.4.1.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเก็บรักษา (%storage loss) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3)

3.4.1.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง (%thawing loss) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2)

3.4.1.3 ค่าแรงต้านทานการตัดขาด ด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7)

3.4.1.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.6)

3.4.1.5 ค่าความสด โดยวิเคราะห์หาปริมาณ total volatile base nitrogen (TVB) และ trimethylamine (TMA) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.5)

3.4.1.6 ค่า thiobarbituric acid number (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.7)

3.4.1.7 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.1)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox,1992)

3.4.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกแล้วแช่เยือกแข็ง

นำหอยเป๋าฮื้อทั้งเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วไปแช่เยือกแข็ง โดยใช้สภาวะที่เลือกจากข้อ 3.2 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้หอยตาย จากนั้นบรรจุหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งแล้วจำนวน

10 ตัว ลงในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 20 x 30 เซนติเมตร ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบใช้ความร้อนภายใต้ภาวะบรรยากาศแบบปกติ เก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18±2°C เป็นเวลา 1 วัน จึงนำไปละลายน้ำแข็งโดยวิธีการให้น้ำซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25-30°C ไหลผ่านตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกที่ปิดผนึกอยู่ เป็นเวลา 35 นาที แล้วล้างทำความสะอาดหอยเป๋าฮื้อด้วยน้ำ แกะเปลือก เอาเครื่องในออก ล้างอีกครั้งให้สะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นนำหอยเป๋าฮื้อเฉพาะเนื้อที่ได้ไปแช่เยือกแข็งซ้ำตามสภาวะที่เลือกจากข้อ 3.2 บรรจุหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งแล้ว ลงในถุงพลาสติกชนิด Nylon/LLDPE ขนาด 20 x 30 เซนติเมตร โดยแปรวิธีการปิดผนึกเป็น 2 แบบคือ ปิดผนึกโดยใช้ความร้อนภายใต้ภาวะบรรยากาศแบบปกติ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±2°C เป็นเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ ละลายน้ำแข็งโดยวิธีการให้น้ำซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25-30°C ไหลผ่านตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกที่ปิดผนึกอยู่ เป็นเวลา 35 นาที แล้วนำไปตรวจสอบเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ

จากการทดลองเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* ที่มีน้ำหนักทั้งเปลือกประมาณ 25 - 30 กรัมต่อตัว คิดเป็นน้ำหนักเปลือกและเครื่องในประมาณ 44% (โดยน้ำหนักตัว) ด้วยวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* สด (โดยน้ำหนักเปียก)

องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์	ปริมาณที่พบ (%)
ความชื้น	84.08 ± 0.47
โปรตีน	13.91 ± 0.34
ไขมัน	0.89 ± 0.05
เถ้า	1.00 ± 0.08

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าหอยเป๋าฮื้อมีความชื้น 84.08% โปรตีน 13.91% ไขมัน 0.89% และเถ้า 1.00% ซึ่งใกล้เคียงกับหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่มีน้ำหนักตัวทั้งเปลือกประมาณ 20 กรัม มีปริมาณความชื้น 82.1 - 82.2% โปรตีน 14.7-15.3% ไขมัน 0.3-0.6% และเถ้า 1.0-1.2% (อุบลวรรณ พึ่งฉิม, 2547 ; วิชชญา นะราแก้ว, 2548) หอยเป๋าฮื้อชนิด *H. ovina* มีปริมาณความชื้น 77.6% โปรตีน 19.4% ไขมัน 0.69% และเถ้า 1.74% (อุบลวรรณ พึ่งฉิม, 2547) และหอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis discus* ซึ่งมีปริมาณความชื้น 72.3-82.1% โปรตีน 14.2-18.4% ไขมัน 0.26-0.93% และเถ้า 1.11-1.29% (Hatae *et al*, 1995) โดยปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำที่แตกต่างกันนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิด กายวิภาค ฤดูกาล เพศ แหล่งที่อยู่อาศัย และฤดูกาลวางไข่ เป็นต้น (นงลักษณ์ สุทธิวณิช, 2531)

4.2 ภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีไครโอจีนิก

4.2.1 อัตราเร็วและเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีแบบไครโอจีนิกโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน

เมื่อนำหอยเป๋าฮื้อทั้งเปลือกไปแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิกที่อุณหภูมิต่างกัน จะได้ผลของเวลา และอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เวลาและอัตราเร็วที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีแบบไครโอจีนิกที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง (วินาที)	อัตราเร็วที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง (เซนติเมตรต่อชั่วโมง)
-70	$231.13^{a} \pm 14.86$	$8.16^{b} \pm 0.65$
-80	$225.75^{a} \pm 15.65$	$9.26^{b} \pm 0.89$
-90	$158.88^{b} \pm 10.50$	$13.21^{a} \pm 0.81$

a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อที่ระดับอุณหภูมิต่างกันจะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิในเนื้อหอยแตกต่างกัน โดยเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวที่ระดับอุณหภูมิ -70 -80 -90 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเนื้อหอยมีอุณหภูมิกึ่งกลาง เป็น -18 องศาเซลเซียส คือ 231.13 225.75 และ 158.88 วินาที ตามลำดับ (รูปแสดงในภาคผนวก ช) ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งต่ำจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อลดลง โดยพบว่าเวลาในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับเวลาในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อที่อุณหภูมิ -70 และ -80 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาอัตราเร็วการแช่เยือกแข็ง พบว่าอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อที่ระดับอุณหภูมิ -70 -80 -90 องศาเซลเซียสเป็น 8.16 9.26 และ 13.21 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเร็วที่สุด ทั้งนี้

เนื่องจากการใช้ระดับอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่ต่ำลงจะทำให้ช่วยเพิ่มแรงขับ ในการระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น ทำให้เวลาในการแช่เยือกแข็งสั้นลง จึงส่งผลให้อัตราการแช่เยือกแข็งเร็วขึ้น (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535)

4.2.2 ผลของการแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพของหอยเป๋าฮื้อ

จากการทดลองแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อที่ระดับอุณหภูมิต่างกันจะได้ %freezing loss และ %thawing loss ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 %freezing loss และ %thawing loss ของหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิกที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)	freezing loss [ns] (%)	thawing loss (%)
-70	2.01 ± 0.07	12.52 [a] ± 0.46
-80	1.90 ± 0.18	12.34 [a] ± 0.32
-90	1.84 ± 0.07	11.0 [b] ± 1.04

a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อนำเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกันไปวัดเนื้อสัมผัส พบว่ามีค่าแรงต้านทานการตัดขาดแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยเป๋าฮื้อหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิกที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าแรงต้านทานการตัดขาด (กรัม)
- 70	$7673.8^{b} \pm 607.6$
- 80	$7715.8^{b} \pm 253.3$
- 90	$8980.7^{a} \pm 835.7$

a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งที่แตกต่างกันในช่วง -70 ถึง -90 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อ %freezing loss อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีผลต่อ %thawing loss โดยหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส มีค่า %thawing loss น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 และ -80 องศาเซลเซียส ($p \leq 0.05$) ส่วน %thawing loss ของหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 และ -80 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกันกับค่าแรงต้านทานการตัดขาดของหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 -80 และ -90 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่า 7673.8 7715.8 และ 8980.7 กรัม ตามลำดับ พบว่าค่าแรงต้านทานการตัดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งต่ำลง โดยหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียสมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดสูงที่สุดและแตกต่างจากที่อุณหภูมิ -70 และ -80 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่ต่ำ ส่งผลให้อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จึงมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอและกระจายอยู่ทั่วไปทั้งภายนอกและภายในเซลล์ เซลล์จึงเกิดความเสียหายน้อย (Fennema *et al.*, 1973; George, 1997) เมื่อนำไปละลายจึงยังคงมีสภาพดี มีการสูญเสียของเหลวน้อย เซลล์จึงยังคงรูปอยู่ดี ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของหอยยังคงมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดสูง

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้ตัวอย่างมีแนวโน้ม %thawing loss ต่ำลง แต่บางครั้งการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำจนเกินไป อาจส่งผลให้เกิดรอยร้าวในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมากนั้น ทำให้อาหารมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูง ส่วนของผิวหน้าอาหารจะแข็งตัวก่อน เกิดเปลือกแข็งขึ้นบริเวณผิวของอาหาร ในขณะที่ส่วนที่ยังไม่แข็งตัวในอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะและขยายปริมาตรเพิ่มขึ้น เกิด

ความเค้นภายในขึ้น ก่อให้เกิดรอยร้าวขึ้นในผลิตภัณฑ์ หรืออาจทำให้เกิดการแตกหัก (cracking) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพลดลง (Kim and Hung, 1994) ดังเช่นงานวิจัยของเลิศเกียรติ พูลผล (2542) ศึกษาการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกแล้วด้วยวิธีไครโอจีนิกที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน ได้แก่ -70 -80 -90 และ -100 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งลดต่ำลง %thawing loss ของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง และมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดที่สูงขึ้น ($p \leq 0.05$) ยกเว้นที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส ที่ตัวอย่างจะมี %thawing loss สูงกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิอื่นๆ และมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส เนื่องจากตัวอย่างเกิดการแตกหัก (cracking) หรือฉีกขาด ทำให้มีค่าแรงต้านทานการตัดขาดลดลง และในปี 2544 ศิรินทรา บุญสำเร็จ ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งกุ้งกุลาดำด้วยวิธีไครโอจีนิก ที่ภาวะอุณหภูมิต่างกัน คือ -70 ถึง -100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าแรงต้านทานการตัดขาดของตัวอย่างสูงขึ้น (22.45 - 23.78 นิวตัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่ำลง (-70 ถึง -90 องศาเซลเซียส) ยกเว้นที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียสที่ตัวอย่างมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดต่ำที่สุด (18.56 นิวตัน) เนื่องจากเกิดการแตกหัก (cracking) และฉีกขาดของตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่น้ำเปลี่ยนแปลงสถานะอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรอย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็วในขณะแช่เยือกแข็งจะส่งผลให้เกิดความเสียหายในผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นน้อยมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นมาก ซึ่งในการทดลอง วัตถุดิบที่ใช้คือ หอยเป๋าฮื้อ ซึ่งมีส่วนของเปลือกที่มีความแข็งและไม่มีความยืดหยุ่น เมื่อนำไปผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ จะมีอัตราการแช่เยือกแข็งที่สูง ส่งผลให้ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงสานะอย่างรวดเร็ว เปลือกของหอยเป๋าฮื้อซึ่งไม่มีความยืดหยุ่นจึงเกิดรอยร้าวหรือแตกได้ ซึ่งจากการประเมินลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โดยผู้วิจัยปรากฏว่า มีการพบเปลือกที่เกิดรอยร้าวบ้างในการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิกที่ระดับอุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส ดังนั้นการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -90 องศาเซลเซียสจึงเป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์

จากการทดลองพบว่าหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียสมี %thawing loss น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิอื่น ดังนั้นจึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีแบบไครโอจีนิกที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 3 นาที เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 เวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว

4.3.1 ผลของเวลาที่ใช้ในการลวกต่อคุณภาพทางกายภาพของหอยเป๋าฮื้อ

เมื่อนำหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วตามภาวะที่คัดเลือกแล้วในข้อ 4.2 ไปละลายด้วยวิธีใช้น้ำไหลผ่าน จากนั้นลวกในน้ำเดือดโดยแปรเวลาในการลวกต่างกัน จะได้ %cooking loss และค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอย ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 %cooking loss และ ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของหอยเป๋าฮื้อที่ลวกโดยใช้เวลาต่างกัน

คุณภาพทาง	เวลาที่ใช้ในการลวก (นาที)			
กายภาพ	1	2	3	4
cooking loss (%)	30.12^{d} ± 0.45	33.03^{c} ± 0.90	41.3^{b} ± 0.72	45.66^{a} ± 1.30
ค่าแรงต้านทานการตัดขาด (กรัม)	4202.2^{d} ±118.40	5205.7^{c} ± 145.10	5789.6^{b} ± 137.10	6881.2^{a} ± 133.30

a, b, c, … ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเวลาที่ใช้ในการลวกส่งผลต่อ %cooking loss และค่าแรงต้านทานการตัดขาดของหอยเป๋าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการลวกเพิ่มขึ้น หอยเป๋าฮื้อมี %cooking loss เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป๋าฮื้อที่ลวกในน้ำเดือด 1 นาที มี %cooking loss ต่ำที่สุด คือ 30.12% ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่ลวกในน้ำเดือด 2 3 และ 4 นาที มี %cooking loss คือ 33.03 41.34 และ 45.66% ตามลำดับ เนื่องจากการลวกส่งผลให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพและอัดตัวกันแน่นขึ้น ส่งผลให้มีการขับน้ำออกจากตัวหอยมากขึ้น (พรรณทิพย์ สุวรรณสาครกุล และวราทิพย์ สมบุญญฤทธิ, 2539) เมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น %cooking loss จึงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยที่มีค่าสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้เวลาการลวกนานขึ้น โดยหอยที่ลวกโดยใช้เวลา 1 2 3 และ 4 นาที มีค่าแรงต้านทานการตัดขาดเป็น 4202.2 5205.7 5789.6 และ 6881.2 กรัม ตามลำดับ เนื่องจากการลวกที่นานขึ้นส่งผลให้โปรตีนกล้ามเนื้อเกิดการเสียสภาพ และอัดตัวกันแน่นขึ้น เป็นผลให้เนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อมี

ค่าแรงต้านทานการตัดขาดสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เลิศเกียรติ พูลผล (2542) ที่ศึกษาผลของวิธีและเวลาในการลวกหอยแมลงภู่ โดยลวกหอยแมลงภู่ด้วยไอน้ำและน้ำเดือดเป็นเวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที พบว่าเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น ผลิตภัณฑ์มี %yield ลดลงจาก 18.76 เป็น 16.67% และ 22.30 เป็น 15.99% สำหรับการลวกในน้ำเดือดและไอน้ำ ตามลำดับ และเนื้อหอยมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดเพิ่มขึ้น จาก 22.29 นิวตัน เป็น 27.60 นิวตันสำหรับการลวกในน้ำเดือด และ 17.21 นิวตัน เป็น 26.92 นิวตัน สำหรับการลวกด้วยไอน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาการลวกที่นานขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำออกจากเซลล์มากขึ้น และมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวขึ้น

4.3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการลวกต่อปริมาณจุลินทรีย์ในหอยเป๋าฮื้อ

เมื่อตรวจวิเคราะห์ด้านปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อหอยที่ลวกในน้ำเดือดโดยใช้เวลาแตกต่างกัน และในหอยเป๋าฮื้อสด พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด *S. aureus* และ *E. coli* เมื่อเปรียบเทียบกับในหอยสด ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อหอยที่ผ่านการลวกโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน

จุลินทรีย์	เวลาในการลวก (นาที)				
	หอยสด	1	2	3	4
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	6.2×10^2	1.4×10^2	40	< 30	< 30
S.aureus (CFU/g)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
E.coli (MPN/g)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ของหอยเป๋าฮื้อที่ใช้เวลาในการลวกต่างกันเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ในหอยเป๋าฮื้อสด พบว่าตรวจพบ *E.coli* น้อยกว่า 3 MPN/g และ *S.aureus* น้อยกว่า 10 CFU/g ทั้งในหอยเป๋าฮื้อสด และหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการลวกในทุก ๆ อุณหภูมิ ซึ่งเกิดเนื่องจากได้มีการนำเครื่องในออกจากหอยเป๋าฮื้อที่นำมาใช้ทดลอง และมีการล้างทำความสะอาดอย่างถูกสุขลักษณะ จึงช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจติดมากับเครื่อง

ในและระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อจนกระทั่งมีอุณหภูมิในเนื้อหอยเป็น -18 องศาเซลเซียส ส่งผลให้จุลินทรีย์บางส่วนถูกทำลาย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sabramanian (2007) ซึ่งศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปต่อปริมาณจุลินทรีย์ในปลาหมึกและปู พบว่าเมื่อนำปลาหมึกและปูสด ซึ่งมีปริมาณเชื้อ *E.coli และ S.aureus* เริ่มต้น 23 และ 280 organisms/ 10 g sample และ 35 และ 120 organisms/ 10 g sample ตามลำดับ ไปแช่เยือกแข็ง ปรากฏว่าตรวจไม่พบทั้งเชื้อ *E.coli และ S.aureus* หลังจากการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ เนื่องจากจุลินทรีย์อาจเกิดการบาดเจ็บและตายไปบางส่วนจากการแช่เยือกแข็ง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าเวลาในการลวกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้หอยเป๋าฮื้อมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง โดยจากการตรวจวิเคราะห์พบว่าในหอยสดมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.2 $x10^2$ CFU/g เมื่อเวลาในการลวกเพิ่มขึ้นจนถึง 4 นาที หอยเป๋าฮื้อจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงเหลือ <30 CFU/g ทั้งนี้เนื่องจากการลวกหอยเป๋าฮื้อในน้ำเดือดเป็นเวลานานนั้นสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้จำนวนหนึ่ง

4.3.3 ผลของเวลาที่ใช้ในลวกต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อ

เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อหอยที่ผ่านการลวกโดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน ด้านลักษณะปรากฏ ได้แก่ สี การหดตัว ด้านกลิ่น ด้านรสชาติ ด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความชุ่มน้ำ โดยวิธี QDA with scoring 5 point scale และด้านความชอบโดยรวมโดยวิธี และ Hedonic scale (9 คะแนน) ใช้ผู้ทดสอบชิมแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อผ่านการที่ลวกโดยใช้เวลาต่างกัน

คุณลักษณะ	คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	ลวก 1 นาที	ลวก 2 นาที	ลวก 3 นาที	ลวก 4 นาที
ลักษณะปรากฏ				
สี [1]	$4.33^{a} \pm 0.49$	$3.23^{b} \pm 0.75$	$2.25^{c} \pm 0.45$	$1.33^{d} \pm 0.49$
การหดตัว [2]	$4.17^{a} \pm 0.72$	$3.50^{b} \pm 0.67$	$2.50^{c} \pm 0.80$	$1.50^{d} \pm 0.67$
กลิ่นคาว[3]	$4.00^{b} \pm 1.54$	$4.50^{ab} \pm 1.00$	$4.67^{a} \pm 0.65$	$4.50^{ab} \pm 0.80$
รสชาติ[ns]	2.92 ± 1.31	3.08 ± 1.00	2.83 ± 1.03	2.58 ± 1.24
เนื้อสัมผัส				
ความยืดหยุ่น	$2.83^{b} \pm 0.94$	$3.17^{ab} \pm 1.03$	$3.33^{ab} \pm 0.08$	$3.75^{a} \pm 1.06$
ความเหนียว[4]	$3.67^{a} \pm 0.49$	$2.83^{b} \pm 0.83$	$2.92^{b} \pm 0.51$	$2.33^{b} \pm 1.23$
ความชุ่มน้ำ	$3.75^{a} \pm 1.06$	$3.00^{b} \pm 0.85$	$2.92^{bc} \pm 0.51$	$2.25^{c} \pm 0.97$

a, b, c, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

1 คะแนน 5 หมายถึง สีขาวครีม (ลักษณะที่ดี)
คะแนน 1 หมายถึง สีน้ำตาลเข้ม (ลักษณะที่ไม่ดี)

2 คะแนน 5 หมายถึง การหดตัวน้อย (ลักษณะที่ดี)
คะแนน 1 หมายถึง การหดตัวมาก (ลักษณะที่ไม่ดี)

3 คะแนน 5 หมายถึง ไม่พบกลิ่นคาว (ลักษณะที่ดี)
คะแนน 1 หมายถึง มีกลิ่นคาวมาก (ลักษณะที่ไม่ดี)

4 คะแนน 5 หมายถึง ไม่เหนียว (ลักษณะที่ดี)
คะแนน 1 หมายถึง เหนียวมาก (ลักษณะที่ไม่ดี)

ลักษณะปรากฏ ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านสี และการหดตัวของหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการลวกโดยใช้เวลาแตกต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเวลาการลวกนานขึ้นหอยเป๋าฮื้อมีคะแนนด้านสีต่ำลงซึ่งบ่งชี้ว่าหอยมีสีเข้มขึ้น หอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 4 นาที มีสีเข้มมากที่สุด คืออยู่ในช่วงสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้มเนื่องจากได้รับความร้อนเป็นเวลานาน หอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 1 นาทีมีสีอ่อนที่สุด คือ สีขาวครีม ด้านการหดตัวของหอยเป๋าฮื้อ พบว่าเวลาในการลวกที่นานขึ้นส่งผลให้หอยเป๋าฮื้อมีการหดตัวมาก

ขึ้น โดยหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 1 นาทีมีการหดตัวน้อยที่สุด และหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 4 นาที มีการหดตัวมากที่สุด

กลิ่นคาว จากตารางคะแนนที่มีค่ามากที่สุด หมายถึง ไม่พบกลิ่นคาวในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 3 นาที มีคะแนนมากที่สุด และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 นาทีและ 4 นาที แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบไม่พบกลิ่นคาวหรือพบเล็กน้อย ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 1 นาที มีคะแนนเท่ากับ 4 ซึ่งหมายถึงผู้ทดสอบสามารถรับรู้ถึงกลิ่นคาวได้เล็กน้อย

รสชาติ ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกโดยใช้เวลาแตกต่างมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เนื้อสัมผัส ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความยืดหยุ่น ความเหนียว ความชุ่มน้ำของตัวอย่างของหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการลวกโดยใช้เวลาต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ด้านความยืดหยุ่นพบว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 1 นาที มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากหอยที่ลวกเป็นเวลา 4 นาที ส่วนหอยที่ลวกเป็นเวลา 2 และ 3 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ด้านความเหนียว พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 1 นาที มีความเหนียวน้อยและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 4 นาที ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 และ 3 นาที พบว่ามีคะแนนความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความชุ่มน้ำ เมื่อเวลาในการลวกที่นานขึ้นส่งผลให้หอยเป๋าฮื้อมีคะแนนความชุ่มน้ำลดลง โดยหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลานาน 1 นาที มีคะแนนความชุ่มน้ำมากที่สุด และมีความแตกต่างจากหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 3 และ 4 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 4 นาที มีความชุ่มน้ำน้อยที่สุด คือ อยู่ในระดับแห้งเล็กน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.2 หอยเป๋าฮื้อที่ลวกในน้ำเดือดโดยใช้เวลาในการลวกต่างกัน (เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ได้แก่ หอยเป๋าฮื้อที่ลวกนาน 1 2 3 และ 4 นาที ตามลำดับ)

ผลคะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้ทดสอบชิม ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส การยอมรับรวมของหอยเป๋าฮื้อ แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 คะแนนความชอบเฉลี่ยของหอยเป๋าฮื้อผ่านการที่ลวกโดยใช้เวลาต่างกัน

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบเฉลี่ย			
	ลวก 1 นาที	ลวก 2 นาที	ลวก 3 นาที	ลวก 4 นาที
ลักษณะปรากฏ	7.58^{a} ±1.31	6.42^{b} ±1.68	5.75^{b} ± 1.14	3.67^{c} ±1.23
สี	7.42^{a} ±1.31	6.50^{b} ± 1.38	5.50^{c} ± 1.45	2.75^{d} ± 0.62
กลิ่น	5.00^{b} ± 1.71	6.00^{a} ± 1.13	5.92^{a} ± 1.08	6.25^{a} ± 1.42
รสชาติ	4.92^{b} ± 1.68	6.58^{a} ± 1.08	6.67^{a} ± 0.78	6.00^{a} ± 1.48
เนื้อสัมผัส	5.00^{b} ± 1.35	6.83^{a} ± 1.47	7.70^{a} ± 1.13	5.42^{b} ± 1.93
การยอมรับรวม	5.08^{b} ± 1.68	6.75^{a} ± 1.36	6.58^{a} ± 1.00	5.25^{b} ± 1.14

a, b, c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบเฉลี่ย (ตารางที่ 4.8) ของหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 1 นาที พบว่ามีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสีแตกต่างจากการลวกอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก เนื่องจาก

หอยเป๋าฮื้อที่ใช้เวลาลวก 1 นาที ยังคงมีสีที่ดี (ตารางที่ 4.8) และมีการหดตัวเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้มีคะแนนลักษณะปรากฏที่สูง แต่เมื่อพิจารณาด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม พบว่าได้รับคะแนนที่น้อยและแตกต่างจากตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 1 นาที อาจยังมีบางส่วนของชิ้นเนื้อที่ไม่สุกส่งผลให้เนื้อหอยยังคงมีกลิ่นคาวและกลิ่นของสาหร่าย จึงได้รับคะแนนการยอมรับรวมจากผู้ทดสอบน้อย

หอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 4 นาที มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสีน้อยที่สุด และแตกต่างจากตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการลวกนานขึ้น ส่งผลให้หอยเป๋าฮื้อมีสีที่เข้มขึ้น โดยอยู่ในช่วงสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม (ตารางที่ 4.8) และมีการหดตัวมาก ทำให้มีลักษณะปรากฏไม่น่าดู นอกจากนี้พบว่าหอยเป๋าฮื้อมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมน้อยกว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 และ 3 นาที เนื่องจากหอยเป๋าฮื้อมีเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับเหนียวค่อนข้างมาก ซึ่งไม่เป็นที่ชื่นชอบของผู้ทดสอบ จึงได้คะแนนการยอมรับรวมจากผู้ทดสอบน้อย

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบเฉลี่ยของหอยเป๋าฮื้อด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมของหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 นาที และ 3 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นคะแนนเฉลี่ยด้านสีที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 นาที มีค่าคะแนนความชอบด้านสีมากกว่าหอยที่ลวกเป็นเวลา 3 นาที เนื่องจากมีสีอยู่ในช่วงเหลืองอ่อน ในขณะที่หอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 3 นาที มีสีอยู่ในช่วงสีน้ำตาล (ตารางที่ 4.7) จึงได้รับคะแนนความชอบที่ต่ำกว่า

จากตารางที่ 4.8 เห็นได้ว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 นาที และ 3 นาทีมีคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านการยอมรับรวมสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 1 และ 4 นาที และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 นาที มีค่าแนวโน้มคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 3 นาที และเมื่อพิจารณา %cooking loss (ตารางที่ 4.5) พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 2 นาที มีค่า %cooking loss ต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกเป็นเวลา 3 นาที เมื่อวัดอุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางของเนื้อหอยที่ลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที พบว่ามีค่าเท่ากับ 88 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิในการพาสเจอไรซ์ จึงสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค โดยจากเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2544) กำหนดให้อาหารพร้อมบริโภคที่ผ่านกรรมวิธีหรือปรุงสุกแล้วมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^6 CFU/g *E.coli* น้อยกว่า 3 MPN/g และ *S.aureus* น้อยกว่า 10 CFU/g ซึ่งจากการทดลองปรากฏว่าหอยเป๋าฮื้อที่ลวกในน้ำเดือด เป็นเวลา 2 นาที

มี *E.coli* *S.aureus* และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ดังนั้นจึงเลือกภาวะการลวกหอยเป๋าฮื้อในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที (อัตราส่วนเนื้อหอย : น้ำ เท่ากับ 1:10) เป็นภาวะที่เหมาะสม

4.4 ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการบรรจุและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็ง

4.4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อวัดค่า pH ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ด้วยเครื่อง pH meter (Eutech รุ่น Cyberscan pH 100 Bench, Singapore) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน

สัปดาห์ที่	ค่า pH			
	แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
0	$6.17^{eAB} \pm 0.01$	$6.13^{cC} \pm 0.03$	$6.23^{dA} \pm 0.03$	$6.15^{cAB} \pm 0.04$
2	$6.39^{dC} \pm 0.06$	$6.56^{bAB} \pm 0.04$	$6.50^{cBC} \pm 0.09$	$6.68^{bA} \pm 0.01$
4	$6.42^{cdC} \pm 0.01$	$6.59^{abB} \pm 0.01$	$6.53^{bcB} \pm 0.01$	$6.75^{bA} \pm 0.05$
6	$6.46^{cdB} \pm 0.05$	$6.66^{abA} \pm 0.06$	$6.63^{bA} \pm 0.06$	$6.71^{bA} \pm 0.01$
8	$6.49^{cB} \pm 0.04$	$6.61^{abAB} \pm 0.12$	$6.78^{aA} \pm 0.01$	$6.76^{bA} \pm 0.03$
10	$6.57^{bC} \pm 0.03$	$6.72^{aB} \pm 0.02$	$6.81^{aA} \pm 0.03$	$6.85^{aA} \pm 0.05$
12	$6.71^{aB} \pm 0.01$	$6.73^{aB} \pm 0.07$	$6.89^{aA} \pm 0.01$	$6.88^{aA} \pm 0.01$

a, b, c, … ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งเมื่อเริ่มต้นเก็บมีค่าอยู่ในช่วง 6.13-6.23 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 12 พบว่าหอยเป๋าฮื้อมีค่า pH

สูงขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและบรรจุแบบสุญญากาศมีค่า pH 6.17-6.71 หอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและบรรจุแบบปกติ มีค่า pH 6.13-6.73 หอยเป๋าฮื้อไม่แกะเปลือกและบรรจุแบบสุญญากาศมีค่า pH 6.23-6.89 และหอยเป๋าฮื้อไม่แกะเปลือกและบรรจุแบบปกติมีค่า pH 6.15-6.88 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yerlikaya และ Gokoglu (2004) ที่พบว่าเนื้อปูที่เก็บรักษาแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์มีค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 6.48 เป็น 7.61 และงานวิจัยของ Bhope และ Pai (1988) พบว่ากุ้งแช่เยือกแข็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 สัปดาห์ มีค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 6.84 เป็น 7.40 เนื่องจากแม้จุลินทรีย์จะหยุดกิจกรรมต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง แต่ปฏิกิริยาต่างๆของเอนไซม์ยังคงดำเนินไปอย่างช้า ๆ (Morrison, 1993) เช่น เอนไซม์โปรติเอสต่าง ๆ ซึ่งเป็นพวกโปรติโอไลติกเอนไซม์ที่ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างช้า ๆ ในช่วงการเก็บอาหารแช่เยือกแข็ง (Sista, Erickson and Shewfelt, 1997; Zaritzky, 2000) จึงอาจส่งผลให้เนื้อหอยเกิดการย่อยสลายตัวเอง (autolysis) ส่งผลให้ค่า pH สูงขึ้นในช่วงการเก็บรักษา

4.4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total Volatile Base (TVB) ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนสามารถติดตามโดยการตรวจสอบปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย TMA และแอมโมเนีย ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการทำงานของเอนไซม์ในสัตว์น้ำหรือเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548) โดยทั่วไปปริมาณ TVB และปริมาณ TMA สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความสดของสัตว์น้ำได้ โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531) จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณ TVB ในเนื้อหอยเป๋าฮื้อ (ตารางที่ 4.10) ในช่วงเวลาเริ่มต้น ของการเก็บปรากฏว่า ไม่พบ TVB ในทุกตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของวิชชญา นะราแก้ว (2548) ที่ตรวจไม่พบ TVB ในหอยเป๋าฮื้อสด ที่เก็บในภาวะบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเช่นกัน

จากการทดลอง เริ่มตรวจพบ TVB เมื่อย่างเข้าสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น จะตรวจพบ TVB เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยในสัปดาห์ที่ 2-6 พบว่า ปริมาณ TVB ในเนื้อหอยเป๋าฮื้อไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.85-0.87 mg N / 100 g ตัวอย่าง และพบว่า TVB มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นเป็น 8 สัปดาห์ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากสัปดาห์ที่ 6 ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณ TVB ในตัวอย่างที่เก็บเป็นเวลา 8-12 สัปดาห์ มีปริมาณอยู่ในช่วง 1.71-

1.73 mg N / 100 g ตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณ TVB ที่เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษานั้นสอดคล้องกับค่า pH ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 4.9) เนื่องจาก TVB คือปริมาณด่างทั้งหมดที่ระเหยได้ที่ตรวจพบในตัวอย่าง เมื่อปริมาณ TVB เพิ่มสูงขึ้น ค่า pH ของตัวอย่างจึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการเตรียม และการบรรจุที่ต่างกัน พบว่าตัวอย่างที่มีการเตรียม และการบรรจุที่ต่างกันไม่มีผลให้ค่า TVB มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TVB ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน

	ค่า TVB (mg N / 100 g sample)			
สัปดาห์ที่	แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
0	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
2^{ns}	0.85^{b} ± 0.01	0.86^{b} ± 0.00	0.86^{b} ± 0.00	0.86^{b} ± 0.00
4^{ns}	0.85^{b} ± 0.01	0.86^{b} ± 0.01	0.87^{b} ± 0.00	0.86^{b} ± 0.00
6^{ns}	0.86^{b} ± 0.01	0.87^{b} ± 0.00	0.87^{b} ± 0.00	0.87^{b} ± 0.00
8^{ns}	1.73^{a} ± 0.01	1.72^{a} ± 0.01	1.74^{a} ± 0.00	1.74^{a} ± 0.01
10^{ns}	1.74^{a} ± 0.01	1.71^{a} ± 0.00	1.71^{a} ± 0.00	1.71^{a} ± 0.03
12^{ns}	1.73^{a} ± 0.01	1.73^{a} ± 0.02	1.72^{a} ± 0.01	1.73^{a} ± 0.01

a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการทดลองวิเคราะห์ TMA ในเนื้อหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็ง โดยใช้ตัวอย่าง 2 กรัม ปรากฏว่าไม่พบ TMA ในทุกตัวอย่างตลอดอายุการเก็บรักษา เช่นเดียวกับผลการทดลองของวิชชญา นะราแก้ว (2548) ที่ตรวจไม่พบ TMA ในเนื้อหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุเนื่องจากหอยเป๋าฮื้อมีปริมาณ TMAO ต่ำมากจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น TMA ในช่วงการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง โดยปริมาณ TMAO นั้นจะต่างกันไปตามแต่ชนิดของสัตว์น้ำ (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531) ซึ่งจากการทดลองหาปริมาณ TMA ในหอยนางรม *Crassostrea madrasensis* แช่เยือกแข็ง ในงานวิจัยของ Balasundari และคณะ (1997) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 เดือน ก็ตรวจไม่พบ TMA ตลอดอายุการเก็บรักษาเช่นกัน

จากผลการทดลอง เห็นได้ว่าหอยเป๋าฮื้อ *H.asinina* ที่เก็บรักษาแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0-12 สัปดาห์ มี TVB อยู่ในปริมาณต่ำมากคือ 0.85-1.73 mg N / 100 g ตัวอย่าง และตรวจไม่พบ TMA ในทุกตัวอย่างตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ข้อกำหนดจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกุ้งแช่เยือกแข็ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 115-2529, 2529) และปลาหมึกแช่เยือกแข็ง(มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 428-2525, 2525) ได้อนุญาตให้ตัวอย่างมี TVB ได้ไม่เกิน 30 mgN/100g ตัวอย่าง ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณ TVB ที่ได้จากการทดลองแล้วพบว่าหอยเป๋าฮื้อมีปริมาณ TVB น้อยมาก ดังนั้นปริมาณ TVB และ TMA อาจไม่ใช่ดัชนีที่เหมาะสมในการบ่งบอกความสดของหอยเป๋าฮื้อ *H.asinina* แช่เยือกแข็ง เนื่องจากตรวจพบได้ในปริมาณที่น้อยมาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากการที่หอยเป๋าฮื้อมีปริมาณ TMAO ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จะเปลี่ยนเป็น TMA น้อย ส่งผลให้ TVB มีปริมาณน้อยตามไปด้วย นอกจากนี้อาจเกิดจากการใช้เนื้อหอยในการตรวจหา TVB ในปริมาณที่น้อยเกินไป คือ 2 กรัม ซึ่งอาจส่งผลให้สามารถตรวจพบ TVB ได้ในปริมาณที่น้อย

4.4.3 ผลการเปลี่ยนแปลง %storage loss ในระหว่างการเก็บรักษา

%storage loss ของหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0 เป็น 0.20 -1.75% ขึ้นอยู่กับภาวะการบรรจุ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 โดยพบว่าไม่มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเก็บ (storage loss) ของหอยเป๋าฮื้อทุกตัวอย่างในช่วงเริ่มต้นของการเก็บ ต่อมาเมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มี %storage loss เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและบรรจุแบบสุญญากาศ มี % storage loss เพิ่มขึ้นจาก 0.01% ในสัปดาห์ที่ 2 เป็น 0.20% ในสัปดาห์ที่ 10 หอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและบรรจุแบบปกติมี %storage loss จาก 0.26% ในสัปดาห์ที่ 2 เป็น 1.66% ในสัปดาห์ที่ 10 หอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกและบรรจุแบบสุญญากาศ มี %storage loss จาก 0.07 เป็น 0.28% หอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกและบรรจุแบบปกติมี %storage loss จาก 0.12 เป็น 1.75% ในสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 %storage loss ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน

สัปดาห์ที่	storage loss (%)			
	แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
0^{ns}	0^{c}.00	0^{e}.00	0^{b}.00	0^{e}.00
2	0.01^{cC} ± 0.01	0.26^{dA} ± 0.03	0.07^{bBC} ± 0.01	0.12^{deB} ± 0.04
4	0.06^{bcC} ± 0.01	0.34^{dA} ± 0.03	0.09^{bC} ± 0.01	0.21^{dB} ± 0.01
6	0.14^{abB} ± 0.01	0.80^{cA} ± 0.04	0.08^{bB} ± 0.01	0.82^{cA} ± 0.04
8	0.12^{abB} ± 0.01	1.23^{bA} ±0.16	0.30^{aB} ± 0.12	1.17^{bA} ± 0.05
10	0.19^{aB} ± 0.08	1.28^{bA} ± 0.14	0.24^{aB} ± 0.01	1.26^{bA} ± 0.17
12	0.20^{aB} ± 0.06	1.66^{aA} ± 0.10	0.28^{aB} ± 0.02	1.75^{aA} ± 0.13

a, b, c, … ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

การที่ผลิตภัณฑ์มี %storage loss เพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงการเก็บรักษาจะมีการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์สู่ภายนอก นอกจากนี้ความแปรปรวนของอุณหภูมิในช่วงการเก็บรักษา ส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอของน้ำ โดยในช่วงการเก็บอาจมีการไม่คงที่ของอุณหภูมิตู้แช่เยือกแข็งซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง ±2 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันของไอน้ำภายในผลิตภัณฑ์กับสภาพแวดล้อมภายนอก เป็นผลให้น้ำเคลื่อนที่จากภายในผลิตภัณฑ์สู่สภาพแวดล้อมภายนอก (George, 2000) จึงเกิดการสูญเสียน้ำหนักในช่วงการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง สอดคล้องกับผลการทดลองของกัญช์ ไพรสณฑ์, ขนิษฐา วาริชวัฒนะ และจันทนิภา เหลืองทองคำ (2546) ที่พบว่ากุ้งกุลาดำแช่เยือกแข็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 เดือน มีแนวโน้ม %storage loss เพิ่มมากขึ้น จาก 0.70 เป็น 3.08% และกุ้งกุลาดำแช่เยือกแข็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส มีแนวโน้ม %storage loss เพิ่มมากขึ้นจาก 0.41% เป็น 0.95%

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการบรรจุ พบว่า %storage loss ของทุกตัวอย่างในตอนเริ่มต้นของการเก็บ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อเข้าสัปดาห์ที่ 2 จนกระทั่งครบ 12 สัปดาห์ พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุด้วยวิธีต่างกัน มี %storage loss แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บ ที่พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบสุญญากาศ มี %storage loss แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) จากหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบปกติ โดยหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบสุญญากาศ มี %storage loss น้อยกว่าหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบปกติ เนื่องจากการบรรจุแบบสุญญากาศเป็นการบรรจุที่ทำให้วัสดุมีการแนบชิดกับตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยลดช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์กับภาชนะบรรจุ จึงช่วยลดการเกิดผลึกน้ำแข็งที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ (Blond and Meste, 2004) ส่งผลให้ตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำหนักในช่วงการเก็บรักษาน้อยกว่าตัวอย่างที่บรรจุแบบปกติ

4.4.4 ผลการเปลี่ยนแปลง %thawing loss ในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อนำหอยเป๋าฮื้อที่แช่เยือกแข็งแล้วไปละลายด้วยวิธีใช้น้ำไหลผ่านเป็นเวลา 35 นาที แล้วหา %thawing loss ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 โดยพบว่า %thawing loss ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งพบว่าเมื่อเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ %thawing loss ของหอยเป๋าฮื้อมีค่าเท่ากับ 11.42 11.03 16.46 และ 15.85% สำหรับหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและบรรจุแบบสุญญากาศ หอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและบรรจุแบบปกติ หอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกและบรรจุแบบสุญญากาศ หอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกและบรรจุแบบปกติ ตามลำดับ สอดคล้องกับการเก็บหอยนางรม *Crossostrea madrasensis* แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ซึ่งมี %drip loss เพิ่มขึ้นจาก 11% เป็น 19% ($p\leq0.05$) โดยเป็นผลมาจากการเสียสภาพของโปรตีน การเพิ่มขึ้นของผลึกน้ำแข็ง การฉีกขาดของเซลล์ (Balasundari *et al*, 1997) เช่นเดียวกับการเก็บเนื้อหอยแมลงภู่ที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิก ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบว่ามี %thawing loss เพิ่มขึ้นจาก 1.03% เป็น 2.03% ($p\leq0.05$) (เลิศเกียรติ พูลผล, 2542)

ตารางที่ 4.12 %thawing loss ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน

สัปดาห์ที่	thawing loss (%)			
	แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
0	7.21^{dB} ±0.89	7.27^{cB} ±0.59	9.56^{dA} ±1.14	9.77^{cA} ±0.33
2	7.32^{dB} ±0.19	7.14^{cB} ±0.29	10.56^{cdA} ±0.19	10.84^{bcA} ±0.08
4	9.23^{cB} ±0.37	8.85^{bcB} ±0.25	11.56^{bcA} ±0.37	11.75^{bA} ±1.05
6	9.90^{bcB} ±0.93	9.98^{abB} ±0.04	12.85^{bA} ±0.47	11.97^{bA} ±0.11
8	10.96^{abB} ±0.04	10.44^{abB} ±1.66	15.42^{aA} ±0.34	15.61^{aA} ±0.49
10	11.20^{abB} ±0.77	11.28^{aB} ±0.59	15.93^{aA} ±1.11	15.71^{aA} ±0.03
12	11.42^{aB} ±0.37	11.03^{aB} ±0.60	16.46^{aA} ±0.93	15.85^{aA} ±0.23

a, b, c, … ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การเพิ่มขึ้นของ %thawing loss ในหอยเป๋าฮื้อ อาจมีสาเหตุจากการที่โปรตีนเสียสภาพในระหว่างการเก็บแช่เยือกแข็ง เกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนแอคโตไมโอซิน ซึ่งจะเห็นได้จากการสูญเสียสมบัติการละลายของโปรตีนของตัวอย่างในช่วงการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง ดังเช่นงานวิจัยของ Bhope และ Pai (1986), Leelapongwattana และคณะ (2005) และ Sriket และคณะ (2007) ซึ่งพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น สมบัติการละลายได้ของโปรตีนในตัวอย่างมีค่าลดลง ซึ่งการเสียสภาพของโปรตีนนั้น ส่งผลต่อการสูญเสียคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของโปรตีน (Zayas, 1997) ทำให้สามารถอุ้มน้ำได้ลดลง ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างไปละลายน้ำแข็ง จึงพบว่ามีการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากการโตขึ้นของขนาดผลึกน้ำแข็งในช่วงการเก็บรักษา โดย พรรัตน์ สินชัยพานิช (2546) พบว่าเมื่อเก็บรักษากุ้งก้ามกรามไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานขึ้น ผลึกน้ำแข็งภายในกล้ามเนื้อกุ้งมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการตกผลึกใหม่แบบไมเกรทอรีที่เกิดจากอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอในช่วงการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของขนาดผลึกน้ำแข็งมีผลให้เกิดต่อความเสียหายต่อ

เนื้อเยื่อ ทำให้เซลล์เนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาด หรือเบียดตัวกันแน่นขึ้น เมื่อนำไปละลายจึงมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์มากขึ้น ส่งผลให้ %thawing loss สูงขึ้น

4.4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าแรงต้านทานการตัดขาด (cutting force) ของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่าเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้เนื้อหอยมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.13) โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา อาจเป็นผลเนื่องจากเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น โปรตีนเกิดการเสียสภาพในระหว่างการเก็บรักษาแช่เยือกแข็งมากขึ้น ทำให้โปรตีนแอคโตไมโอซินเกิดการรวมตัวกัน ส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความเหนียวมากขึ้น (Santos-Yap, 1995; Jiang *et al*, 1991) สอดคล้องกับงานวิจัยของพรรัตน์ สินชัยพานิช (2546) พบว่าค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน มีค่าแรงต้านทานการตัดขาดที่มีแนวโน้มสูงขึ้น จาก 17.88 N/cm เป็น 21.0 N/cm เนื่องจากเกิดการเสียสภาพของโปรตีน

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการเตรียมวัตถุดิบ พบว่าค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยที่แกะเปลือกแล้วแช่เยือกแข็งสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกแช่เยือกแข็ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงการเก็บ 8-12 สัปดาห์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกแล้วแช่เยือกแข็งได้ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งในขั้นแรกก่อนเพื่อให้หอยตาย และแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ก่อนนำมาแช่เยือกแข็งซ้ำอีกครั้งจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งการแช่เยือกแข็งซ้ำ มีผลต่อเนื้อเยื่อทำให้เกิดการเสียหายทางกายภาพ ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์เป็นจำนวนมาก รวมทั้งโปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ เกิดการรวมตัวกันของ myofibrillar proteins (Sikorski, 1977) ทำให้เนื้อหอยมีความเหนียวมากขึ้น แรงต้านทานการตัดขาดของตัวอย่างจึงสูงขึ้น เช่นเดียวกับในกุ้งที่มีการแช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็งซ้ำหลายรอบ ซึ่งพบว่าเนื้อกุ้งมีค่าแรงต้านทานการตัดขาดสูงขึ้น (ศิรินทรา บุญสำเร็จ, 2544; พรรัตน์ สินชัยพานิช, 2546) การที่เนื้อหอยเป๋าฮื้อที่มีอายุการเก็บนานขึ้น มีค่าแรงต้านทานการตัดขาดสูงขึ้น ถือเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องจากเกิดจากการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์และเกิดการเสียสภาพของโปรตีนในระหว่างการเก็บแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้เนื้อหอยมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น ค่าแรงต้านทานการตัดขาดจึงมีค่าสูงขึ้น ถือเป็นลักษณะคุณภาพที่ด้อยลง ซึ่งจะแตกต่างจากผลการทดลองในหอยสดที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 ถึง -90 องศาเซลเซียส (ดังการทดลองข้อ 4.2) ซึ่งระบุว่าค่าแรงต้านทานการตัดขาดที่สูงกว่าเป็นลักษณะที่ดี เนื่องจากเกิดจากการแช่เยือกแข็งที่มี

อัตราเร็วสูง (อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเซลล์กล้ามเนื้อมีขนาดเล็ก และมีการกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เซลล์เกิดการเสียหายน้อย เมื่อนำมาละลายจึงยังคงมีสภาพดี ทำให้ค่าแรงต้านทานการตัดของเนื้อมีค่าสูง ถือเป็นลักษณะคุณภาพที่ยังดีอยู่ของเนื้อหอย

ตารางที่ 4.13 ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน

สัปดาห์ที่	ค่าแรงต้านทานการตัดขาด (g)			
	แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
0^{ns}	10834.8^{d}± 920.9	10095.2^{c}± 152.1	10961.7^{c}± 1295.4	11406.5^{c}± 1007.3
2^{ns}	12138.0^{d}± 350.1	10812.6^{c}± 779.1	11555.7^{c}± 1171.1	12243.6^{bc}± 706.6
4^{ns}	14814.7^{c}± 1938.1	16571.8^{b}± 110.4	13984.7^{b}± 113.6	13731.9^{b}± 1372.6
6^{ns}	15270.2^{c}± 286.8	17888.7^{b}± 2977.9	14158.0^{b}± 883.0	13758.3^{b}± 612.4
8	20908.7^{bB}± 287.0	22655.2^{aA}± 408.5	18661.1^{aC}± 229.0	19437.1^{aC}± 773.8
10	23598.9^{aB}± 605.6	25975.3^{aA}± 1090.3	16732.1^{aD}± 286.6	18745.2^{aC}± 327.9
12	24322.3^{aA}± 1239.7	25263.3^{aA}± 1485.5	18409.7^{aB}± 1230.3	19431.5^{aB}± 670.6

a, b, c, … ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C, … ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการบรรจุ พบว่าค่าแรงต้านทานการตัดขาดของหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบปกติมีแนวโน้มสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบสุญญากาศ (ตารางที่ 4.13) เนื่องจากการบรรจุแบบปกติส่งผลให้เซลล์มีความชื้นบางส่วนแพร่ออกไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก (Blond and Meste, 2004) ผิวหน้าของหอยจะมีลักษณะแห้งมากกว่าการบรรจุแบบสุญญากาศ เมื่อนำไปวัดค่าแรงต้านทานการตัดขาดจึงมีแนวโน้มมีค่ามากกว่าหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบสุญญากาศ

4.4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า thiobarbituric acid (TBA) ของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษา

เมื่อนำหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียม การบรรจุ และเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างกันมาวิเคราะห์ค่า TBA จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่า thiobarbituric acid (TBA) ของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน

สัปดาห์ที่	ค่า TBA (mg malonaldehyde / 1 kg sample)			
	แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
0^{ns}	$0.30^{b} \pm 0.01$	$0.30^{c} \pm 0.00$	$0.30^{d} \pm 0.01$	$0.30^{e} \pm 0.00$
2^{ns}	$0.30^{b} \pm 0.01$	$0.31^{c} \pm 0.03$	$0.31^{cd} \pm 0.00$	$0.33^{de} \pm 0.03$
4^{ns}	$0.30^{b} \pm 0.01$	$0.31^{c} \pm 0.03$	$0.33^{c} \pm 0.01$	$0.38^{cd} \pm 0.04$
6^{ns}	$0.39^{a} \pm 0.01$	$0.39^{b} \pm 0.01$	$0.41^{b} \pm 0.01$	$0.42^{bc} \pm 0.01$
8	$0.41^{aB} \pm 0.04$	$0.42^{abB} \pm 0.12$	$0.42^{bB} \pm 0.01$	$0.46^{bA} \pm 0.03$
10	$0.42^{aC} \pm 0.01$	$0.42^{abC} \pm 0.01$	$0.47^{aB} \pm 0.02$	$0.51^{aA} \pm 0.01$
12	$0.42^{aC} \pm 0.01$	$0.44^{aBC} \pm 0.01$	$0.49^{aAB} \pm 0.01$	$0.52^{aA} \pm 0.02$

a, b, c, … ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.14 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลให้ค่า TBA ของหอยเป๋าฮื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บรักษา โดยในช่วงเริ่มต้นของการเก็บ ทุกตัวอย่างมีค่า TBA เริ่มต้น คือ 0.30 mg malonaldehyde / 1 kg sample และเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 0.42-0.52 mg malondehyde / 1 kg sample ในสัปดาห์ที่ 12 ของการเก็บ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mishra และ Srikar (1989) ซึ่งศึกษาอายุการเก็บของเนื้อหอยกาบ *Maretrix costa* แช่เยือกแข็ง พบว่าค่า TBA ของเนื้อ

หอยกาบซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส 200 วัน มีค่า TBA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จาก 0.11 ถึง 0.63 mg malonaldehyde / 1 kg sample และในเนื้อหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกแล้วแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก (เลิศเกียรติ พูลผล, 2542) ที่พบว่ามีค่า TBA เพิ่มขึ้นจาก 0.20 ถึง 0.29 mg malonaldehyde / 1 kg sample ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 สัปดาห์ เช่นเดียวกันกับในเนื้อปู และปลาหมึกแช่เยือกแข็ง ในการทดลองของ Subramanian (2007) ที่พบว่ามีค่า TBA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) จาก 3.06 ถึง 22.9 mg malonaldehyde / 1 kg sample และ 0.1 ถึง 2.64 mg malonaldehyde / 1 kg sample ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -41 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 120 วัน โดยไม่มีความแตกต่างกันในช่วงแรกของการเก็บ จนกระทั่งวันที่ 60 ของการเก็บจึงเริ่มมีความแตกต่างกัน

การเพิ่มขึ้นของค่า TBA แสดงถึงการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งเกิดได้จากปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิการเก็บ ค่า water activity แสง ปริมาณออกซิเจน เอนไซม์ รวมไปถึงสารคะตะลิสต์อื่น ๆ เช่น เหล็ก ทองแดง (Erickson, 1997) จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.14) เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการเตรียมตัวอย่างและการบรรจุ พบว่าค่า TBA ของตัวอย่างที่มีการเตรียมและการบรรจุต่างกัน ที่เก็บตั้งแต่เริ่มต้นเก็บจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาจนกระทั่ง 8 สัปดาห์ พบว่าค่า TBA ของตัวอย่างทั้ง 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยในสัปดาห์ที่ 8-12 พบว่าค่า TBA ของหอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกมีแนวโน้มสูงกว่าค่า TBA ของหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกแล้ว ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจาก หลังจากการแช่เยือกแข็งแล้ว หอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกยังคงมีเครื่องในอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง ดังเช่นในงานวิจัยของ ดวงใจ ลาภยืนยง (2548) ได้วิเคราะห์หาปริมาณไขมันในส่วนของเครื่องในหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* พบว่ามีปริมาณไขมัน 3.95% ซึ่งนับเป็นปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับปริมาณของไขมันของเนื้อหอยที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีเพียง 0.89% ดังนั้นการเก็บหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวที่ยังไม่ได้แกะเปลือกและเอาเครื่องในออกแล้วแช่เยือกแข็ง จึงมีโอกาสเกิดการออกซิเดชันของไขมันได้สูงกว่าการเก็บหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกแล้ว นอกจากนี้เครื่องในยังเป็นแหล่งสะสมของจุลินทรีย์ เอนไซม์และองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งในช่วงการเก็บรักษาที่นานขึ้นผลึกน้ำแข็งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดการเบียดและทำลายเซลล์ อาจเป็นผลให้เซลล์เนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาด เอนไซม์และองค์ประกอบในเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น กรดไขมัน และอนุมูลของโลหะ เป็นต้น มีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยากันได้ เกิดการออกซิเดชันได้มากขึ้น ค่า TBA จึงมีค่าเพิ่มขึ้นกว่าตัวอย่างที่แกะเปลือกแล้ว

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการบรรจุของตัวอย่างที่เก็บในช่วงสัปดาห์ที่ 8 ถึงสัปดาห์ที่ 12 พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกที่บรรจุแบบสุญญากาศ และบรรจุแบบปกติ มีค่า TBA

ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกที่บรรจุแบบสุญญากาศ และบรรจุแบบปกติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยพบว่าหอยเป๋าฮื้อที่มีการบรรจุแบบปกติมีค่า TBA สูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบสุญญากาศ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุเนื่องจากหอยเป๋าฮื้อที่มีการบรรจุแบบปกตินั้น มีการสัมผัสกับออกซิเจนซึ่งมีอยู่ในถุงตลอดภาวะการเก็บ จึงมีผลเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากขึ้น ในขณะที่การบรรจุหอยเป๋าฮื้อแบบสุญญากาศย่อมเป็นการกำจัดออกซิเจนซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่งในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันออกไปจากภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ จึงช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ในระดับหนึ่ง ส่งผลให้หอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกที่บรรจุแบบสุญญากาศมีค่า TBA น้อยกว่าหอยเป๋าฮื้อไม่แกะเปลือกที่บรรจุแบบปกติ

4.4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษา

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ของหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียม การบรรจุ และเก็บรักษาเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษาที่มีการเตรียมวัตถุดิบ และการบรรจุต่างกัน

สัปดาห์ที่	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)			
	แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ	ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
0	4.8×10^2	5.2×10^2	6.2×10^2	9.5×10^2
2	4.2×10^2	5.5×10^2	8.5×10^2	8.8×10^2
4	7.6×10^2	6.4×10^2	8.2×10^2	7.8×10^2
6	3.0×10^2	2.5×10^2	9.5×10^2	7.2×10^2
8	1.8×10^2	5.0×10^2	8.4×10^2	7.6×10^2
10	2.2×10^2	3.3×10^2	8.0×10^2	7.4×10^2
12	2.5×10^2	2.8×10^2	9.2×10^2	6.0×10^2

เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บแช่เยือกแข็ง พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากระหว่างการเก็บรักษา จุลินทรีย์จะมีการตาย

ไปบางส่วนเนื่องจากบาดเจ็บจากการแช่เยือกแข็ง ขาดอาหาร รวมไปถึงความความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์ที่เพิ่มขึ้น อาจมีผลเสียต่อจุลินทรีย์ (Zaritzky and Plata, 2000) นอกจากนี้พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกแล้วแช่เยือกแข็ง มีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อที่ไม่แกะเปลือกแช่เยือกแข็ง เนื่องจากในการแกะเปลือกนั้นจะมีการเอาเครื่องในซึ่งเป็นแหล่งสะสมของจุลินทรีย์และเอนไซม์ต่าง ๆ ออก รวมทั้งมีการล้างทำความสะอาดอีกครั้งก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Karacam และ Boran (1996) ที่พบว่าปลาแอนโชวี่ที่มีการเอาเครื่องในออกก่อนการแช่เยือกแข็ง มีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่าปลาแอนโชวี่ทั้งตัวแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้พบว่าเมื่อเก็บรักษาปลาแอนโชวี่ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์มีจำนวนลดลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

หอยเป๋าฮื้อที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีน้ำหนักรวมเปลือกประมาณ 30 กรัม ความยาวของลำตัวประมาณ 6 เซนติเมตร มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น 84.07% โปรตีน 13.91% ไขมัน 0.89% และเถ้า 1.00% เมื่อนำหอยเป๋าฮื้อไปแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก พบว่าเวลาที่ใช้การแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวด้วยเครื่อง Cryo-Test chamber ที่อุณหภูมิ -70 -80 -90 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิกึ่งกลางเนื้อหอยเป๋าฮื้อลดลงเหลือ -18 องศาเซลเซียส คือ 231.1 225.8 และ 158.8 วินาที ตามลำดับ และมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง คือ 8.2 9.3 และ 13.2 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อ คือ -90 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีค่า %thawing loss ของหอยเป๋าฮื้อต่ำกว่าที่ระดับอุณหภูมิอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) เมื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการลวกหอย โดยนำหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียสไปละลาย แกะเปลือกเอาเครื่องในออก แล้วนำไปลวกในน้ำเดือด พบว่าเมื่อระยะเวลาการลวกเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อหอยเป๋าฮื้อมี %cooking loss และค่าแรงต้านทานการตัดขาดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง นอกจากนี้พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการลวกหอยในน้ำเดือดคือ 2 นาที ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด มี %cooking loss ต่ำ และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์จนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยกับการบริโภค จากนั้นศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ ที่มีต่อคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่า pH %storage loss %thawing loss ค่าแรงต้านทานการตัดขาด ปริมาณ total volatile base (TVB) ค่า thiobarbituric (TBA) สูงขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการบรรจุ พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบสุญญากาศ มี %storage loss ต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการเตรียมวัตถุดิบ พบว่าการแกะเปลือกและเอาเครื่องในของหอยเป๋าฮื้อออกจะช่วยชะลออัตราการเกิดออกซิเดชันได้ รวมทั้งช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นก่อนการแช่เยือกแข็งได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณ TVB ในหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* ที่ตรวจได้จากการทดลองมีปริมาณน้อยมาก ซึ่งสันนิษฐานว่าสาเหตุอาจเกิดจากการที่หอยเป๋าฮื้อมีปริมาณ TMAO ต่ำ ส่งผลให้มี TVB น้อยตามไปด้วย และอาจเกิดจากการที่ใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์ TVB ในปริมาณที่น้อยเกินไป คือ 2 กรัม ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรเพิ่มปริมาณตัวอย่างในการตรวจหาปริมาณ TVB

2. จากการทดลองในส่วนของการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ ที่มีต่อคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อในช่วงการเก็บรักษาหลังการแช่เยือกแข็งนั้น แม้จะพบว่าหอยเป๋าฮื้อที่มีการแกะเปลือกมีอัตราการเกิดออกซิเดชันที่น้อยกว่า รวมทั้งมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวแช่เยือกแข็ง แต่เมื่อผู้วิจัยได้ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในเบื้องต้นแล้ว พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกแล้ว มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ด้อยกว่าหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวแช่เยือกแข็ง เนื่องจากหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกแล้วเป็นหอยที่ได้การแช่เยือกแข็งละลายซ้ำ 2 ครั้ง โดยในครั้งแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อให้หอยตาย เพื่อแกะเปลือกออก จึงส่งผลให้ตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำ โปรตีน และสารประกอบให้กลิ่นรสไปส่วนหนึ่ง ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและมีรสชาติที่ด้อยกว่าหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงควรศึกษาวิธีการทำให้หอยตาย และแกะเปลือกหอยเป๋าฮื้อ ก่อนการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

กัญช์ ไพรสนฑ์, ขนิษฐา วาริชวัฒนะ และจันนิภา เหลืองทองคำ. 2546. ผลของการแช่เยือกแข็งที่มีต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพของกุ้งกุลาดำ. โครงการวิจัยปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คเชนทร เฉลิมวัฒน์. 2544. การเพาะเลี้ยงหอย. กรุงเทพมหานคร: รั้วเขียว.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2538. เอกสารประกอบการสอนหลักการบรรจุ. ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักรพันธุ์ กังวาฬ. 2547. หอยเป๋าฮื้อจากธรรมชาติสู่ฟาร์มเลี้ยง. สารคดี 20(231): 74-76.

นงลักษณ์ สุทธิวณิช. 2531. องค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำ. ใน คุณภาพสัตว์น้ำ. หน้า 48-79. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์หยี่เฮง จำกัด.

พรรณทิพย์ สุวรรณสาครกุล และ วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ. 2539. พัฒนาการบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์จากหอยแมลงภู่. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี. กรมประมง. กรุงเทพมหานคร.

พรรัตน์ สินชัยพานิช. 2546. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็ง และละลายน้ำแข็ง – แช่เยือกแข็งซ้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พายัพ ยังปักษี. 2541. หอยเป๋าฮื้อ. สัตว์น้ำฉบับพิเศษ 10 (มกราคม) : 169 – 174.

มยุรี ภาคลำเจียก. 2541. บรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับอาหารแช่แข็งเพื่อการส่งออก. พลาสติก 14(4): 55-58.

มะลิ บุณยรัตผลิน. 2545. การพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทยหอยเป๋าฮื้อ. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทย, หน้า 1-18. 2 กุมภาพันธ์ 2545 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์กรุงเทพมหานคร.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปลาหมึกเยือกแข็ง มอก.428-2525. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกุ้งเยือกแข็ง มอก. 115-2529. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

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

วิชชญา นะราแก้ว. 2548. การยืดอายุการเก็บหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinina* Linnaeus โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิรินทรา บุญสำเร็จ. 2544. ผลของกระบวนการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งกุลาดำ*(Penaeus monodon)* ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีแบบลมพ่นและแบบไครโอจินิค. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์. 2541. การเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อเชิงพาณิชย์. วารสารการประมง 51(5): 395-405.

สมปอง วิชญวิเชียร. 2542. หอยเป๋าฮื้อ. ข่าวกรมประมง 23 (มกราคม – มิถุนายน): 18-19.

สาธารณสุข, กระทรวง. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2544. ความรู้เกี่ยวกับสารเคมี/จุลินทรีย์ในอาหารในโครงการสุขภาพดีเริ่มที่อาหารปลอดภัย. กรุงเทพมหานคร: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

สายสนม ประดิษฐดวง. 2540. การแช่เยือกแข็งอาหาร. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 132-163. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2548. เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

อรพิน ชัยประสพ. 2542. การถนอมอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

อุบลวรรณ พึ่งฉิม. 2546. ผลของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis asinina* และ *Haliotis ovina*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

American Public Health Association, Intersociety Agency Committee on Microbiological Method for Food. 1992. Compendium of Method for the Microbiological Examination of Food. 3rd ed., Washington, D. C: APHA, Inc.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Virginia: The Association of Official Analytical Chemists.

Aurell, T., Dagbjartsson, B., and Salomonsdottir, E. 1976. A comparative study of freezing qualities of seafoods obtained by using different freezing method. Journal of Food Science 41: 1165-1167.

Balasubramaniam, V. M., and Chinnan, M. S. 1997. Role of Packaging in Quality Preservation of Frozen Foods. In M.C. Erickson and Y-C. Hung (eds.), Quality in Frozen Food, pp. 296-306. New York: International Thompson Publishing.

Balasundari, S., Abraham,T. J., Shanmugam, S. A., and Jasmine, G. I. 1997. Frozen storage performance of edible oyster *Crassostrea madrasensis* (Preston). Journal of Food Science and Technology. 34(5): 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.

Blond, G., and Meste, M. L. 2004. Principles of Frozen Storage. In Y. H. Hui, P. Cornillon, I. G. Legaretta, M. H. Lim, K. D. Murrel, and W. K. Nip (eds.), Handbook of Frozen Foods. pp. 25-53. USA: Marcel Dekker.

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

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

Cochran, W. C., and Cox, G. M. 1992. Experimental Designs. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons.

Codex Alimentarius Commission. 2001. Request for Comments on the Hygiene Provisions of the Proposed Draft Code of Practice for Fish and Fishery product. CL 201/15-FH.

Erickson, M. C. 1997. Lipid Oxidation: Flavor and Nutritional Quality Deterioration in Frozen Foods. In M.C. Erickson and Y-C. Hung (eds.), Quality in Frozen Food, pp. 141-154. New York: International Thompson Publishing.

Fellows, P. J. 1990. Food Processing Technology: Principle and Practice. England: Ellis Horwood.

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

Fennema, O. R., Karel, M., and Lund. D.B. 1975. Principle of Food Science in Physical Principle of Food Preservation. New York: Marcel Dekker.

George, R.M. 1997. Freezing Systems. In M.C. Erickson and Y-C. Hung (eds.), Quality in Frozen Food, pp. 1-9. New York: International Thompson Publishing.

George, M. 2000. Selecting Packaging for Frozen Food Products. In C. J. Kennedy (ed.), Managing Frozen Foods, pp. 195-211. England: Woodhead Publishing Limited.

Giddings, G.G., and Hill, L.H. 1978. Relationship of freezing preservation parameters to texture-related structural damage to thermally processed crustacean muscle. Journal of Food Processing and Preservation 2: 249-264.

Hasegawa, H. 1987. Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products. Marine Fisheries Research Department Southest Asian Fisheries Development Center, Singapore.

Hatae, K., Nakai, H., Shimada, A., Murakami. T.,Takada, K., Shiroi, Y., and Watabe, S. 1995. Abalone (*Haliotis discus*): Seasonal variations in chemical composition and textural properties. Journal of Food Science. 60(1): 32-35, 39.

Hernandez, R. J., Selke, E. M., and Culter, J. D. 2000. Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations. Germany: Carl Hanser Verlag.

Jiang, S. T., Hwang, B. S., Moody, M. W., and Chen, H. C. 1991. Thermostalibility and freeze denaturation of grass prawn (*Penaeus monodon*) muscle proteins. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 39: 1998-2001.

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.

Kim, N.K., and Hung, Y-C. 1994. Freeze-cracking in food as affected by physical properties. Journal of Food Science. 56(3): 669-674.

Leelapongwattana, K., Benjakul, S., Vissessanguan, W., and Howell, N. K. 2005. Physicochemical and biochemical changes in whole lizard fish (*Saurida micropectoralis*) muscles and and fillets during frozen storage. Journal of Food Biochemistry. 29: 547-569.

Mishra, R., and Srikar, L. N. 1989. Shelf life of frozen stored clam (*Meretrix casta*) meat. Journal of Food Science and Technology. 26(4): 201-204.

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

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

Pearson, D. 1976. The Chemical Analysis of Foods. London: Churchill Livingstone Publishing.

Santos-Yap, E. M. 1995. Fish and Seafood. In L. E. Jeremiah (ed.), Freezing Effects on Food Quality, pp. 109-133. New York: Marcel Dekker.

Sikorski, Z. E. 1977. Protein Changes in Muscle Foods due to Freezing and Frozen Storage. I.I.R. Commissions C1 and C2: Ettlingen, Germany.

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.

Sriket, P., Benjakul, S., Visessanguan, W., and Kijroongrojana, K. 2007. Comparative studies on the effect of the freezing-thawing process on the physiochemical properties and microstructures of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle. Food Chemistry. 104: 113-121.

Subramanian, T. A. 2007 Effect of processing on bacterial population of cuttle fish and crab and determination of bacterial spoilage and rancidity developing on frozen storage. Journal of Food Processing and Preservation. 31: 13-31.

Yam, K.L., Zhao, H., and Lai, C.C. 2004. Frozen Food Packaging. In Y. H. Hui, P. Cornillon, I. G. Legaretta, M. H. Lim, K. D. Murrel, and W. K. Nip (eds.), Handbook of Frozen Foods. pp. 55-65. USA: Marcel Dekker.

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

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก.1 การหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (%freezing loss) **(ดัดแปลงจาก** A.O.A.C.,1995)

<u>วิธีการ</u>

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างก่อนการแช่เยือกแข็ง บันทึกค่าที่ได้ (m_1)
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างหลังการแช่เยือกแข็งทันที บันทึกค่าที่ได้ (m_2)

<u>วิธีคำนวณ</u>

$$\%\text{freezing loss} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

ก.2 การหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง (%thawing loss) **(ดัดแปลงจาก** A.O.A.C.,1995)

<u>วิธีการ</u>

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างก่อนการละลายน้ำแข็ง บันทึกค่าที่ได้ (m_1)
2. ละลายน้ำแข็งตัวอย่างด้วยวิธีการใช้น้ำไหลผ่านถุงที่บรรจุตัวอย่างเป็นเวลา 35 นาที นำตัวอย่างออกจากถุง วางทิ้งไว้บนตะแกรง 2 นาที ใช้กระดาษทิชชูซับน้ำให้แห้ง นำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่ได้ (m_2)

<u>วิธีคำนวณ</u>

$$\%\text{thawing loss} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

ก.3 การหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็ง (% storage loss) **(ดัดแปลงจาก** A.O.A.C.,1995)

<u>วิธีการ</u>

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างหลังจากการแช่เยือกแข็งทันที ก่อนนำใส่ในถุงภาชนะบรรจุเพื่อเก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส บันทึกค่าที่ได้ (m_1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. นำผลิตภัณฑ์ออกจากถุง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บรักษาบันทึกค่าที่ได้ (m_2)

วิธีคำนวณ

$$\%\text{storage loss} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

ก.4 การหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการให้ความร้อน (%cooking loss) (ดัดแปลงจาก A.O.A.C.,1995)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างก่อนการให้ความร้อน บันทึกค่าที่ได้ (m_1)
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างหลังการให้ความร้อนทันที บันทึกค่าที่ได้ (m_2)

วิธีคำนวณ

$$\%\text{cooking loss} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

ก.5 การหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง

แช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อครั้งละประมาณ 10 ตัว โดยเรียงใส่ถาด เสียบเทอร์โมคัปเปิลซึ่งต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิและเวลาเข้าที่บริเวณกึ่งกลางของตัวหอย จากนั้นเปิดเครื่อง Liquid Nitrogen Freezer ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้วางถาดบรรจุหอยลงใน chamber แล้วเริ่มพ่นไนโตรเจน บันทึกอุณหภูมิและเวลาด้วยเครื่องบันทึกโดยบันทึกเวลาที่ใช้ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของหอยมีค่าประมาณ -18 องศาเซลเซียส

ก.6 การหาอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง (ดัดแปลงจาก เลิศเกียรติ พูลผล, 2542)

วิธีการ

1. วัดระยะทางจากผิวหน้าของตัวหอย จนถึงจุดกึ่งกลางของตัวหอย หน่วยเป็นเซนติเมตร บันทึกค่าที่ได้ (h)

2. จับเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้น จนกระทั่งอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางมีค่าเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส หน่วยเป็นชั่วโมง บันทึกค่าที่ได้ (t)

วิธีคำนวณ

อัตราเร็วที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง (เซนติเมตร/ชั่วโมง) = $\frac{h}{t}$

ก.7 การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสในรูปแรงต้านทานการตัดขาด

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Instron Texture Analyzer, USA)
2. Warner-Bratzler Blade

วิธีการ

1. ติดตั้งใบมีดและอุปกรณ์ต่างๆให้เรียบร้อย จากนั้นเปิดเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส
2. เปิดคอมพิวเตอร์ และเข้าโปรแกรม Merlin
3. calibrate load cell และ compression load
4. ปรับตำแหน่งของใบมีด โดยใบมีดที่ใช้ในการทดลองคือ Warner-Bratzler Blade ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที
5. วางตัวอย่างบนฐาน โดยจัดให้อยู่กึ่งกลาง แล้วกดปุ่ม start เพื่อตัดตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน
6. บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ใช้ รายงานผลเป็นหน่วย กรัม (g)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 1995)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven, Memmert รุ่น W 350, Germany)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, AB204, Mettler Toledo,Inc., Switzerland)
3. โถดูดความชื้น (desiccator)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
2. อบตัวอย่างในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาปริมาณความชื้น

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 1995)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, Switzerland, distillation unit รุ่น B-324, Switzerland, scrubber รุ่น B-414, Switzerland)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, AB204, Mettler Toledo,Inc., Switzerland)

<u>สารเคมี</u>

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R.grade)
2. กรดบอริก (A.R.grade) เตรียมให้มีความเข้มข้น 4% (w/v)
3. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 37% (A.R.grade) ความเข้มข้น 0.1 N
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R.grade) ความเข้มข้น 35 % (w/v)
5. Selenium reagent mixture (A.R.grade)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ (สารละลายเมทิลเรด และสารละลายโบรโมครีซอลกรีน ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 อัตราส่วน 1 ต่อ 5)

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย
2. เติม Selenium reagent mixture ประมาณ 5 กรัม เพื่อเร่งปฏิกิริยา และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยบนเตาย่อย (Buchi Digestion Unit) โดยค่อยๆเพิ่มความร้อนในการย่อย จนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ปิดเตาย่อย และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. ต่อขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด เข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (Distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

NaOH ความเข้มข้น 35 % (w/v)	40	มิลลิลิตร
Boric acid ความเข้มข้น 4% (w/v)	50	มิลลิลิตร
H_2O	40	มิลลิลิตร
Time	6	นาที

6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น ซึ่งจะจับกับสารละลายกรดบอริก เมื่อครบเวลาที่กำหนดจะได้สารละลายสีเขียว
7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้มาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 N จนได้จุดยุติ (end point) เป็นสีชมพู
9. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง
10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (\%)} = \frac{(Va-Vb) \times N \times 1.4 \times CF}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อกำหนดให้

Va = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

Vb = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

CF = conversion factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้ 6.25)

ข.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 1995)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven, Memmert รุ่น W 350, Germany)
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, AB204, Mettler Toledo,Inc., Switzerland)
4. Soxtherm Gerhardt (รุ่น S-226, Germany)

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (A.R.grade)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแล้วนำไปอบแห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ใส่ลงในทิมเบิล (thimble)
2. ใส่ทิมเบิลที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่ลงในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักแน่นอน
3. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 250 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด เพื่อใช้เป็นตัวสกัด
4. ต่อขวดสกัดเข้ากับชุดสกัด ใช้เวลาในการสกัดไขมันประมาณ 3-4 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส
5. ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดซึ่งมีไขมันหรือน้ำมันที่ได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด คำนวณหาปริมาณไขมัน

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมันที่สกัดได้ (กรัม) X 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ข.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 1995)

อุปกรณ์

1. ครูซิเบิล (crucible)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, AB204, Mettler Toledo,Inc., Switzerland)
3. เตาเผาเถ้า (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)
4. โถดูดความชื้น (desiccator)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 3-5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. เผาตัวอย่างบน hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาเถ้า ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ตั้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้ คำนวณหาปริมาณเถ้า

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม) X 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ข.5 การวิเคราะห์หาปริมาณ Total Volatile Base และ Trimethylamine (Hasegawa, 1987)

อุปกรณ์

1. จาน Conway เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 75 มิลลิเมตร ลึก 15-20 มิลลิเมตร ขอบวงในสูง 10 มิลลิเมตร และมีฝาปิด
2. ไมโครบิวเรต

3. เครื่องบด

4. ตู้บ่ม (Memmert, Germany)

สารเคมี

1. สารละลาย mixed indicator เตรียมโดยละลาย methyl red 0.02 กรัม และ bromocresol green 0.01 กรัม ใน ethanol 10 มิลลิลิตร

2. สารละลาย inner ring เตรียมโดยชั่งกรดบอริก 10 กรัม ละลายในเอทานอล 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1 ลิตร

3. สารละลาย potassium carbonate (K_2CO_3) อิ่มตัว เตรียมโดยละลาย K_2CO_3 60 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดอ่อนๆ 10 นาที ทิ้งให้เย็น แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง

4. สารละลายกรด trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 4%

5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.02 N

6. สารละลาย neutrilized 10% formaldehyde เตรียมโดยชั่งแมกนีเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม ละลายในฟอร์มาลิน 100 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อให้เกิด Neutrilize กรองด้วยกระดาษกรอง แล้วเจือจางสารละลายที่กรองได้ 3 เท่าด้วยน้ำกลั่น

7. grease

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณ Total volatile base

1. สับตัวอย่างให้ละเอียด ชั่งใส่ลงในบีกเกอร์ 2 กรัม เติมสารละลาย กรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้น 4% 8 มิลลิลิตร บดด้วยแท่งแก้ว แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตรด้วย กรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้น 4%

3. ทา grease ที่ขอบฝาจาน Conway

4. ใส่สารละลาย inner ring 1 มิลลิลิตรลงภายใน inner ring ของจาน Conway

5. ใส่สารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงด้านนอก (outer ring) ของจาน Conway (กรณี blank ให้ใช้ กรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้น 4% 1 มิลลิลิตร แทนสารละลายตัวอย่าง)

6. เลื่อนปิดฝาจาน Conway ครึ่งหนึ่ง จากนั้นเติมสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตอิ่มตัว1 มิลลิลิตร ลงใน outer ring ของจาน Conway โดยใส่คนละด้านกับสารละลายตัวอย่าง และระวังอย่าเพิ่งให้ผสมกัน

7. ปิดฝาจาน และหมุนจานเบาๆให้สารละลายตัวอย่างผสมกับสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตอิ่มตัว

8. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง หรือเก็บในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 2 นาน ชั่วโมง

9. ไตเตรตสารละลาย inner ring ด้วย สารลายกรดไฮโดรคลอริก 0.02 N โดยใช้ไมโครบิวเรต จนกระทั่งเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู

10. จดปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ แล้วคำนวณหาปริมาณ total volatile base ตามสูตร

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{TVB-N (mg/100g sample)} = \frac{NV \times 14(A-B) \times 100}{\text{g sample}}$$

เมื่อกำหนดให้

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต

A = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต blank

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่างและสารละลาย กรดไตรคลอโรอะซิติก 4%ที่ใช้ในการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

<u>วิธีวิเคราะห์หาปริมาณ Trimethylamine</u>

1. เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณ Total volatile base
2. ทา grease ที่ขอบฝาจาน Conway
3. ใส่สารละลาย inner ring 1 มิลลิลิตรลงภายใน inner ring ของจาน Conway
4. ใส่สารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงด้านนอก (outer ring) ของจาน Conway แล้วใส่สารละลาย neutrilized 10% formaldehyde 1 มิลลิลิตร ลงไปผสมกับตัวอย่างที่ด้านนอกของจาน Conway
5. เลื่อนปิดฝาจาน Conway ครึ่งหนึ่ง แล้วเติมสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 1 มิลลิลิตร ลงใน outer ring ของจาน Conway โดยใส่คนละด้านกับสารละลายตัวอย่าง และระวังอย่าเพิ่งให้ผสมกัน
6. ปิดฝาจานให้สนิท และหมุนจานเบาๆ ให้สารละลายตัวอย่างผสมกับสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตอิ่มตัว
7. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง หรือเก็บในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 2 นาน ชั่วโมง

8. ไตเตรตสารละลาย inner ring ด้วย สารลายกรดไฮโดรคลอริก 0.02 N โดยใช้ไมโครบิวเรต จนกระทั่งเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู

9. คำนวณหาปริมาณ trimethylamine ตามสูตร

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{TMA-N (mg/100g sample)} = \frac{NV \times 14(C-B) \times 100}{\text{g sample}}$$

เมื่อกำหนดให้

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต

C = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต blank

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่างและสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก 4% ที่ใช้ในการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ข.6 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Bhobe and Pai, 1986)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องปั่น
2. pH meter (Eutech รุ่น Cyberscan pH 100 Bench.,Singapore)

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ผสมในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปั่นผสมในเครื่องปั่น
2. วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter

ข.7 การวิเคราะห์ค่า TBA (Pearson, 1976)

<u>อุปกรณ์</u>

1. ชุดกลั่น
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert รุ่น D-91126, Germany)
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Jasco UV/VIS Spectrophotometer รุ่น V-530, USA)

สารเคมี

1. สารละลายกรดไธโอบาร์บิทิวริก (เตรียมโดยละลาย thiobarbituric acid 0.2883 กรัม ใน glacial acetic acid 9 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร)
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 4 M
3. สารกันฟอง (Silicone antifoam)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 10 กรัม ใส่ในฟลาสก์ก้นกลม เติมน้ำกลั่น 97.5 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 4 M ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร แล้วเติมเม็ด bead กับสารกันฟอง (Silicone antifoam) ลงไปเล็กน้อย เขย่าให้เข้ากัน
3. ต่อเข้ากับชุดกลั่น กลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าสิ่งที่กลั่นได้ผสมกันให้ทั่ว ปิเปตมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีฝาจุกปิด
4. เติมสารละลายกรดไธโอบาร์บิทิวริก 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นคลายฝาออก
5. นำไปแช่น้ำเดือดใน water bath เป็นเวลา 35 นาที แล้วทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำ 10 นาที จะได้สารละลายสีชมพู
6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร โดยใช้น้ำรวมกับสารละลายกรดไธโอบาร์บิทิวริกอย่างละ 5 มิลลิลิตรเป็นตัวเทียบ (blank)

การคำนวณ

TBA value (mg of malonaldehyde / kg sample) = 7.8 X absorbance

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ค.1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ (A.O.A.C., 1995)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.85 % (w/v)
2. Standard Plate Count Agar

อุปกรณ์

1. เครื่องตีป่นอาหาร (stomacher) (AES Laboratorie, France)
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

วิธีวิเคราะห์

1. สุ่มตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงพลาสติกปราศจากเชื้อ เทสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.85 % (w/v) ปริมาตร 225 มิลลิลิตรลงไป เพื่อให้ได้สารละลายตัวอย่างที่เข้มข้น 1:10
2. ตีป่นให้ละเอียด โดยใช้เครื่องตีป่นอาหารเป็นเวลา 2 นาที
3. ปิเปตตัวอย่างอาหารเจือจาง 1 มิลลิเมตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลาย โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.85 % ปริมาตร 9 มิลลิลิตร จนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม 3 ระดับ
4. ปิเปตตัวอย่างอาหารจากระดับความเจือจาง 3 ระดับ ระดับละ 3 ซ้ำ ปริมาตร 0.1 มิลลิเมตร ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Standard Plate Count Agar จากนั้นใช้แท่งแก้วงอที่ฆ่าเชื้อแล้วเกลี่ยจนผิวหน้าของอาหารแห้ง กลับจานเพาะเชื้อ
5. บ่มอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
6. ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนระหว่าง 30-300 โคโลนี และรายงานเป็นจำนวน Colony Forming Unit (CFU) /กรัมตัวอย่าง

การคำนวณจำนวน CFU / กรัมตัวอย่าง

CFU = ค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนี X ระดับความเจือจาง

ค.2 การวิเคราะห์ Staphylococcus (A.O.A.C., 1995)

<u>อาหารเลี้ยงเชื้อ</u>

1. สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.85 % (w/v)
2. Baird-Parker medium
3. Brain Heart Infusion medium
4. coagulase plasma EDTA
5. NaCl TSB (Trypticase Soy Borth)
6. Mannitol Salted Egg Yolk (MSEY) agar

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องตีป่นอาหาร (stomacher) (AES Laboratorire, France)
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. เตรียมตัวอย่างอาหารเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างอาหารเจือจางต่างๆกันปริมาตร 1 มิลลิเมตร ลงใน 10 % NaCl TSB (Trypticase Soy Borth) 10 มิลลิลิตร บ่มอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
3. ปิเปตตัวอย่างอาหารจากระดับความเจือจาง 3 ระดับ ระดับละ 3 ซ้ำ ปริมาตร 0.1 มิลลิเมตร ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Mannitol Salted Egg Yolk (MSEY) agar และ Baird-Parker medium เกลี่ยจนผิวหน้าของอาหาร นำไปบ่มอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
4. สังเกตโคโลนีของ *Staphylococcus aureus* ซึ่งอยู่บน MSEY agar โคโลนีสีขาวเหลือง ขนาดเล็ก และมีบริเวณทึบแสง (opaque zone) สีขาวเหลืองรอบๆโคโลนี ส่วนบน Baird-Parker medium จะมีลักษณะกลมขอบเรียบขนาด 2-3 มิลลิเมตร มีสีเทาหรือสีเทาดำ โดยสีที่ขอบโคโลนีจะอ่อนกว่าที่ตรงกลางโคโลนี รอบๆ โคโลนีมีโซนทึบแสงที่ล้อมรอบด้วยโซนใสอีกชั้นหนึ่ง เมื่อแตะโคโลนีด้วยเข็มเขี่ยเชื้อจะมีลักษณะเป็นเมือกเหนียว เลือกโคโลนีที่ลักษณะดังกล่าวไปทดสอบ coagulase test
5. ทดสอบเอนไซม์ coagulase นำโคโลนีที่สงสัยว่าจะเป็น *Staphylococcus aureus* มาเลี้ยงใน Brain Heart Infusion (BHI) ปริมาตร 0.5 มิลลิเมตร บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติม coagulase plasma EDTA ลงไปอีก 0.5 มิลลิเมตร

แล้วนำไปบ่มต่ออีก 4-6 ชั่วโมง นำมาตรวจดูผลการแข็งตัว (clot) ของ coagulase plasma EDTA ทุกๆ 1 ชั่วโมงโดยต้องเกิดการแข็งตัวภายใน 4-6 ชั่วโมง จึงจะถือว่าให้ผลบวก

6. คำนวณและรายงานผลจำนวน *Staphylococcus aureus* ในตัวอย่างอาหาร 1 กรัม

ค.3 การวิเคราะห์เชื้อ *Escherichia coli* (A.O.A.C., 1995)

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากการเตรียมตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Sulfate Tryptose Broth (LST) โดยใส่ dilution ละ 3 หลอดๆละ 1 มิลลิลิตร ทำอย่างน้อย 3 dilution ที่ต่อเนื่องกัน

2. นำหลอด LST ไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง แล้วจึงอ่านผลโดยการสังเกตก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดแก้วเล็ก (Durham's tube) ที่คว่ำอยู่ภายใน บันทึกผลหลอดที่เกิดก๊าซ เป็น positive (+)

3. นำหลอด LST ที่ให้ผลเป็น positive ถ่ายลงใน EC- Broth โดยใช้ Loop แล้วนำไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 44.5 $\pm$ 0.5 ° C 48 ชั่วโมง

4. นำหลอด EC –Broth ที่เกิดก๊าซไป Streak ลงบน Eosin Methylene Blue agar (EMB agar) นำไปบ่มเชื้อที่ 35-37 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง สังเกตจานที่เกิดลักษณะ Metallic sheen นำไปทดสอบ Indole ด้วยสาร Kovac's reagent ถ้าเกิดสีชมพูในชั้นของ reagent แสดงว่าให้ผล Indole เป็น positive บันทึกผลหลอดที่ให้ผลเป็น positive เทียบกับตาราง MPN จะให้ผลของปริมาณ *E.coli*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ค่า Most Probable Number (MPN) ต่อกรัมของตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ความเจือจาง 0.1 0.01 และ 0.001 ลบ.ซม.

Combination of Positives	3 tubes per Dilution		
	MPN Index/g	Limits	
		Lower	Upper
0-0-0	<3	-	-
0-0-1	3	<0.5	9
0-1-0	3	<0.5	13
0-2-0	-	-	-
1-0-0	4	<0.5	20
1-0-1	7	1	21
1-1-0	7	1	23
1-1-1	11	3	36
1-2-0	11	3	36
2-0-0	9	1	36
2-0-1	14	3	37
2-1-0	15	3	44
2-1-1	20	7	89
2-2-0	21	4	47
2-2-1	28	10	150
2-3-0	-	-	-
3-0-0	23	4	120
3-0-1	39	7	130
3-0-2	64	15	380
3-1-0	43	7	210
3-1-1	75	14	230
3-1-2	120	30	380
3-2-0	93	15	380
3-2-1	150	30	440
3-2-2	210	35	470
3-3-0	240	36	1,300
3-3-1	460	71	2,400
3-3-2	1,100	150	4,800
3-3-3	≥2,400	-	-

ที่มา: APHA (1992)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อน

ผู้ทดสอบ.....วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ กรุณาประเมินคุณลักษณะตัวอย่างในด้านต่างๆ โดยใส่เครื่องหมาย ในระดับที่อธิบายความรู้สึกของท่านได้ดีที่สุด

1. **ลักษณะปรากฏ**

   1.1 สี

☐	☐	☐	☐	☐
สีขาวครีม	สีเหลืองอ่อน	สีเหลือง	สีน้ำตาล	สีน้ำตาลเข้ม

   1.2 ลักษณะการหดตัวของหอย

☐	☐	☐	☐	☐
ไม่หดตัว	หดตัวเล็กน้อย	หดตัวปานกลาง	หดตัวค่อนข้างมาก	หดตัวมาก

2. **กลิ่นผิดปกติ** (หมายถึง กลิ่นคาวของหอยดิบหรือของสาหร่าย หรือกลิ่นแปลกปลอมที่สามารถรับรู้ได้)

☐	☐	☐	☐	☐
ไม่พบกลิ่นผิดปกติ	มีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย	มีกลิ่นผิดปกติปานกลาง	มีกลิ่นผิดปกติค่อนข้างมาก	มีกลิ่นผิดปกติมาก

3. **รสชาติ** (หมายถึง รสชาติตามปกติของหอยสด)

☐	☐	☐	☐	☐
มีรสหวานของเนื้อหอยมาก	มีรสหวานของนื้อหอยค่อนข้างมาก	มีรสหวานของปานกลาง	มีรสหวานของน้อย	ไม่มีรสชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. เนื้อสัมผัส

4.1 ความยืดหยุ่น (หมายถึง การคืนตัวกลับมาของตัวอย่างหลังจากใช้ฟันบด โดยที่ตัวอย่างยังไม่แตก)

☐ ยืดหยุ่นมาก ☐ ยืดหยุ่นค่อนข้างมาก ☐ ยืดหยุ่นปานกลาง ☐ ยืดหยุ่นเล็กน้อย ☐ ไม่ยืดหยุ่น

4.2 ความเหนียว

☐ ไม่เหนียว ☐ เหนียวเล็กน้อย ☐ เหนียวปานกลาง ☐ เหนียวค่อนข้างมาก ☐ เหนียวมาก

4.3 ความชุ่มน้ำ

☐ ชุ่มน้ำมาก ☐ ชุ่มน้ำปานกลาง ☐ ชุ่มน้ำเล็กน้อย ☐ แห้งเล็กน้อย ☐ แห้งมาก

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบที่ใช้ในการเลือกหอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อน

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....

ตัวอย่าง.....

คำชี้แจง ให้ผู้ทดสอบประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อน โดยให้ระบุคะแนนแสดงความพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้

9 = ชอบมากที่สุด
8 = ชอบมาก
7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบเล็กน้อย
5 = เฉยๆ
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
3 = ไม่ชอบปานกลาง
2 = ไม่ชอบมาก
1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะที่ประเมิน	ระบุคะแนนของตัวอย่าง			
	.....	.....	.....	.....
1. ลักษณะปรากฏ				
2. สี				
3. กลิ่น				
4. รสชาติ				
5. เนื้อสัมผัส				
6. ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ภาคผนวก จ

ผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อแช่เยือกแข็ง

(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ จ.1 หอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเมื่อเริ่มต้นเก็บ
(ก) ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ (ข) ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
(ค) แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ (ง) แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ

(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ จ.2 หอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเมื่อเก็บเป็นเวลา 12 สัปดาห์
(ก) ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ (ข) ไม่แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ
(ค) แกะเปลือกบรรจุแบบสุญญากาศ (ง) แกะเปลือกบรรจุแบบปกติ

ภาคผนวก ฉ

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ฉ.1 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก

(ก) Cryo-Test Chamber Nitrogen Freezer

(ข) ถังบรรจุไนโตรเจนเหลว

(ค) Cryo-Test Chamber

(ก)

(ข)

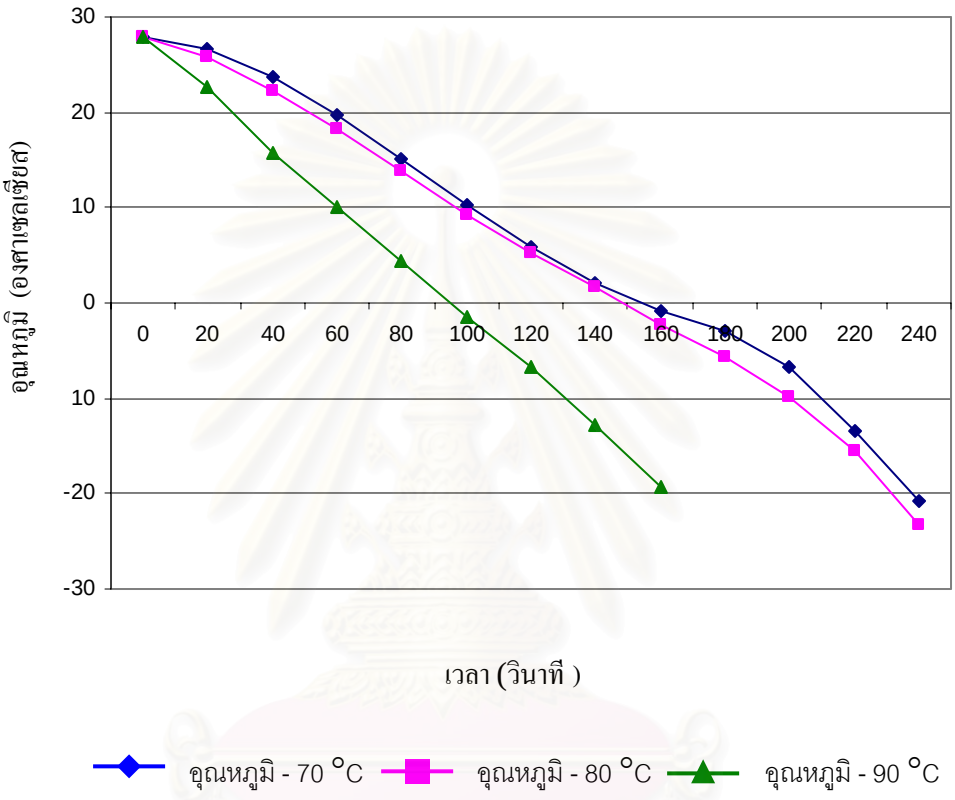
รูปที่ ฉ.2 เครื่องมือสำหรับใช้ในปิดผนึกบรรจุภัณฑ์

(ก) เครื่องปิดผนึกถุงแบบสุญญากาศ

(ข) เครื่องปิดผนึกถุงด้วยความร้อน

รูปที่ ฉ.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Texture Analyzer)

ภาคผนวก ช



รูปที่ ช.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีไครโอจีนิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกลันทิกา แพทย์สิทธิ์ เกิดวันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย