การผลิตหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Lin.) แช่เยือกแข็งแบบลมเย็น และแบบไครโอจินิค

นายเลิศเกียรติ พูลผล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-205-2

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF FROZEN GREEN-LIPPED MUSSEL (*Perna viridis* Lin.) BY AIR BLAST AND CRYOGENIC FREEZING

Mister Lertkiat Phoonphon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 1999

ISBN 974-334-205-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Lin.) แช่เยือกแข็งแบบลมเย็น และแบบไครโอจินิค
โดย	นายเลิศเกียรติ พูลผล
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลิศเกียรติ พูลผล : การผลิตหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Lin.) แช่เยือกแข็งแบบลมเย็น และแบบไครโอจินิค (Production of Frozen Green-Lipped Mussel (*Perna viris* Lin.) by Air Blast and Cryogenic Freezing) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล,**88**หน้า, ISBN 974-334-205-2

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง ในขั้นตอนแรกศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบเริ่มต้น พบว่าหอยแมลงภู่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นความชื้น 81.88% โปรตีน 9.82% ไขมัน 1.17% เถ้า 2.25% และมีโลหะหนักประเภทตะกั่ว แคดเมียมในปริมาณต่ำ และตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อหอยแมลงภู่สด เท่ากับ 2.1×10^{3} cfu/g โดยพบ Faecal coliforms เท่ากับ 43 MPN/g *Escherichia coli* เท่ากับ 15.7 MPN/g ขั้นตอนต่อมาศึกษาหาวิธีการ และเวลาที่เหมาะสมในการลวกหอยแมลงภู่ แปรวิธีการลวกเป็น 2 วิธี คือ ลวกด้วยน้ำเดือด และไอน้ำ และแปรเวลาในการลวกเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที พบว่าเวลาในการลวกที่ 4 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยก เนื้อหอยแมลงภู่ออกจากเปลือก และ สามารถทำลายเชื้อ Faecal coliforms ได้หมด จากนั้นศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว โดยแปรอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งเป็น 4 ระดับคือ -70, -80, -90 และ -100°C พบว่าใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิกึ่งกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ -18 °C คือ 4 นาที, 2 นาที 30 วินาที, 2 นาที และ 1 นาที 30 วินาที ตามลำดับ โดยหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -80°C ได้รับคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด จากนั้นศึกษาหาความเข้มข้น และเวลาที่เหมาะสมในการแช่สารละลาย Sodium Tripolyphosphate (STP) หอยแมลงภู่ โดยแปรความเข้มข้นของ STP เป็น 3 ระดับ คือ 5, 6 และ 7% และแปรเวลาในการแช่เป็น 3 ระดับคือ 30, 60 และ 90 วินาที พบว่าที่ความเข้มข้น 7% เวลาที่ใช้ในการแช่ 60 วินาทีให้ค่า %weight gain สูง และให้ค่า %thawing loss ต่ำ รวมทั้งได้รับคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากการแช่ที่ 90 วินาที ขั้นตอนต่อมาศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็ง ร่วมกับวิธีการละลายน้ำแข็ง พบว่า วิธีการแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast และ Cryogenic ร่วมกับ การละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิตู้เย็น และละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลต่อ % Thawing loss และ ค่า Cutting force แต่พบว่าวิธีการแช่เยือกแข็ง มีผลต่อ % Freezing loss โดยการแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast จะให้ค่า % Freezing loss สูงกว่า จากนั้นศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็ง ร่วมกับ ระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า % Thawing loss และปริมาณ TBA เพิ่มขึ้น ส่วนการแช่หอยแมลงภู่ในสารละลาย STP และการเคลือบด้วยน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง สามารถลด % Thawing loss และปริมาณ TBA ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้ และพบว่าวิธีการแช่เยือกแข็ง แบบ Cryogenic ตัวอย่าง จะมีปริมาณ TBA และ ค่า % Thawing loss ต่ำกว่าวิธีการแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา................................
ปีการศึกษา 2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม............................

##3971521023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD GREEN-LIPPED MUSSEL/ AIR BLAST/ CRYOGENIC/ SODIUM TRIPOLYPHOSPHATE

LERTKIAT PHOONPHON : PRODUCTION OF FROZEN GREEN-LIPPED MUSSEL (*Perna viridis* Lin.) BY AIR BLAST AND CRYOGENIC FREEZING, THESIS ADVISOR : ROMANEE SANGUANDEEKUL, Ph. D., 88 pp. ISBN 974-334-205-2

The objective of this research was to develop the production of frozen green-lipped mussel (*Perna viridis* Lin.) by air blast and cryogenic freezing. Proximate composition of raw mussel was 81.88% moisture content, 9.82% protein, 1.17% fat, 2.25% ash and very low level of heavy metal. Total viable count, faecal coliforms and *Escherichia coli* were 2.1×10^3 cfu/g, 43 MPN/g and 15.7 MPN/g respectively. Blanching with either hot water or steam for 4 minutes was the suitable condition for completely destroy Faecal coliforms and separate the meat from the mantle. The cryogenic freezing with liquid nitrogen was done at -70, -80, -90 and -100 °C. Time to decrease the core temperature of the mussel to -18 °C was 4 min, 2 min 30 sec, 2 min and 1 min 30 sec respectively. Freezing at -80 °C was selected for further study because of least freezing loss, drip loss and high score in sensory evaluation. Concentration (5, 6, 7%) and dipping time in sodium tripolyphosphate (STP) was studied. It was found that 7% STP and dipping time of 60 sec gave the highest %weight gain and lowest % weight loss. Combination of freezing and thawing method were studied. The results revealed that freezing and thawing method had no effect on thawing loss and cutting core but % freezing loss depended on freezing method i.e. air blast gave higher % freezing loss. The shelf life storage of air blast and cryogenic freezing products were studied. It was found that % thawing loss and TBA value increased as storage time increased while mussels which were treated with STP and glazing had less % thawing loss and TBA value. The cryogenic products and less TBA and % thawing loss than the air blast products.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา........................
ปีการศึกษา 2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..................

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จได้ เนื่องจากความอนุเคราะห์ของหลาย ๆ ท่าน ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ที่ได้สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา สุภิมารส ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัทบางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และไนโตรเจนเหลวในการวิจัย

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ในกำลังใจที่ได้รับ และความปรารถนาดีของทุกท่านที่ได้รับตลอดการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....จ
กิตติกรรมประกาศ....ฉ
สารบัญ....ช
สารบัญตาราง....ซ
สารบัญรูป....ญ

บทที่

1. บทนำ....1
2. วารสารปริทัศน์....2
3. การทดลอง....16
4 ผลการทดลอง....24
5. วิจารณ์ผลการทดลอง....48
6. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ....56
รายการอ้างอิง....58

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก....64
ภาคผนวก ข....72
ภาคผนวก ค....79
ภาคผนวก ง....82
ภาคผนวก จ....84
ประวัติผู้เขียน....88

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยแมลงภู่ 4
2 Amino acid analysis of mussel protein and Food and Agriculture Organization provisional pattern of essential amino acids for human nutrition 5
3 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของหอยแมลงภู่สด 24
4 ค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อหอยแมลงภู่สด 25
5 ค่าเฉลี่ย ความชื้น ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ %Yields และ Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกที่วิธีและเวลาในการลวกแตกต่างกัน 26
6 ค่าเฉลี่ยของ ปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกที่วิธี และเวลาในการลวกแตกต่างกัน 27
7 เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ ด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 28
8 เวลาที่ใช้พ่นไอไนโตรเจนเหลว ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 32
9 ค่าเฉลี่ย %Freezing loss , %Thawing loss และ Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 33
10 คะแนนเฉลี่ยการประเมินทางประสาทสัมผัส ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 34
11 ค่าเฉลี่ยของความชื้น , %Weight gain และ %P_2O_5 ของหอยแมลงภู่ที่แช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาในการแช่แตกต่างกัน 35
12 ค่าเฉลี่ย %Freezing loss , %Thawing loss และ Cutting Force ของหอยแมลงภู่ที่แช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาในการแช่แตกต่างกัน 36
13 คะแนนเฉลี่ยการประเมินทางประสาทสัมผัส ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งหลังจากการแช่สารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาในการแช่แตกต่างกัน 37
14 ค่าเฉลี่ย %Freezing loss , %Thawing loss และ Cutting Force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายต่างกัน 39
15 ค่าเฉลี่ยของ %Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน 40
16 ค่าเฉลี่ยของ %Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอายุการเก็บรักษา 41

17 ค่าเฉลี่ยของ %Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการเตรียมวัตถุดิบ........ 42
18 ค่าเฉลี่ยของ %Thawing loss และ ค่า TBA ของหอยแมลงภู่เมื่อพิจารณาเฉพาะวิธีการแช่เยือกแข็ง........ 42
19 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน........ 43
20 การหาปริมาณไอไนโตรเจนเหลว ที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่แบบไครโอจินิค........ 71
21 ปฏิกิริยาของเชื้อใน TSI agar และ MIL medium........ 81
22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความชื้น %Yields ค่า Cutting force และปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ (sspN) ที่ผ่านการลวกที่วิธี และเวลาต่างกัน........ 84
23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ %Freezing loss %Thawing loss และค่า Cutting force ของตัวอย่างหอยแมลงภู่ที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนที่อุณหภูมิต่างกัน........ 84
24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ คะแนนทางประสาทสัมผัส ของเนื้อหอยที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิคที่อุณหภูมิแตกต่างกัน........ 85
25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความชื้น %Weight gain %P_2O_5 %Freezing loss %Thawing loss และค่า Cutting force ของเนื้อหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาแตกต่างกัน........ 85
26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ คะแนนทางประสาทสัมผัส ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาแตกต่างกัน........ 86
27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ %Freezing loss %Thawing loss และค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายที่แตกต่างกัน........ 86
28 การวิเคราะความแปรปรวนของค่า %Thawing loss ปริมาณ TBA และค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาแตกต่างกัน........ 87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1 กระบวนการผลิตหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง 2

2 การเปรียบเทียบลักษณะภายในของหอยแมลงภู่ในสกุล Mytilus และ Perna 3

3 โครงสร้างของสารประกอบ Sodium tripolyphosphate 9

4 แสดงการจับตัวของ Sodium tripolyphosphate กับอิออนของโลหะหนัก 9

5 การเปรียบเทียบกราฟแช่แข็งของน้ำบริสุทธิ์ กับสารละลายที่มีตัวถูกละลายมากกว่า 1 ตัว 11

6 การเกิดปฏิกิริยา Oxidation ของอาหารทะเล 13

7 ปฏิกิริยาระหว่าง TBA กับ Malonaldehyde 13

8 Freezing curve ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบลมเย็น 29

9 Freezing curve ของหอยแมลงภู่ที่ลวกด้วยไอน้ำที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่างกัน 30

10 Freezing curve ของหอยแมลงภู่ที่ลวกด้วยน้ำเดือดที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่างกัน 31

11 โครงสร้างเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Air Blast ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 300 เท่า 45

12 โครงสร้างเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 300 เท่า 45

13 โครงสร้างเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Air Blast ที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 150 เท่า 46

14 โครงสร้างเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Air Blast ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำและทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 150 เท่า 46

15 โครงสร้างเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 150 เท่า 47

16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานการตัดขาด กับ เวลาในการวัด 70

17 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Phosphorus 78

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

หอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Lin.) เป็นหอยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และสามารถเพาะเลี้ยงได้โดยมีแหล่งเพาะเลี้ยงอยู่บริเวณชายฝั่งรอบอ่าวไทย ในปีพ.ศ 2536 ปริมาณที่จับได้มีถึง 49,200 ตัน คิดเป็นมูลค่า 173.9 ล้านบาท (สถิติการประมงแห่งประเทศไทย, 2536) โดยผลผลิตที่จับได้จะถูกนำมาบริโภคในลักษณะหอยเปลือกประมาณ 51% และหอยแปรรูป 49% (พงพัฒน์ บุญชูวงศ์, 2530) แต่หอยแมลงภู่ในลักษณะหอยเปลือกสด จะเสื่อมเสียได้ง่าย และตายภายใน 2 วันหลังจากนำขึ้นมาจากทะเล เนื่องจากการขนส่งหอยแมลงภู่ในประเทศไทยนิยมบรรจุในกระสอบพลาสติก โดยไม่มีการให้ความเย็น (จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร และสุเมธ สุพิชญางกูร, 2533) จึงเป็นเหตุให้สภาวะการตลาดของหอยแมลงภู่ไม่แพร่หลายเท่าที่ควร ดังนั้นกระบวนการแช่เยือกแข็ง จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และการเจริญของจุลินทรีย์ในหอย ซึ่งส่งผลให้สามารถเก็บรักษาหอยแมลงภู่ ให้มีคุณภาพดีได้ยาวนานขึ้น รวมทั้งในปัจจุบันอาหารแช่เยือกแข็งได้มีการพัฒนา และเริ่มเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น ตามสถิติการส่งออก ตั้งแต่ปี 2513-2525 ปริมาณการส่งออกหอยแมลงภู่แช่เย็น ยังมีโครงสร้างที่ไม่แน่นอน เนื่องจากคุณภาพหอยแช่เย็นไม่มีความสม่ำเสมอ จึงมีการเปลี่ยนแปลงประเทศลูกค้าเรื่อยมา (เรืองไร โตกฤษณะ, 2528) นอกจากนี้หอยแมลงภู่ที่นำไปทำการแช่เยือกแข็ง และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C ซึ่งเป็นที่นิยมในทางการค้า ยังสามารถเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยา Oxidation ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนขึ้นในผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง (Ablett and Gould, 1986) ส่งผลให้อายุในการจำหน่ายสั้นลง ดังนั้นการผลิตหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง ให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับจึงเป็นสิ่งที่ต้องได้รับการพัฒนา

งานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงคุณภาพเริ่มต้นของหอยแมลงภู่ วิธีการ และเวลาในการลวกหอยแมลงภู่ ความเข้มข้น และเวลาในการแช่หอยแมลงภู่ในสารละลาย Sodium Tripolyphosphate รวมทั้งวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วต่างกัน ที่มีผลต่อคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

บทที่2

วารสารปริทัศน์

หอยแมลงภู่เป็นสัตว์ทะเลที่เสื่อมเสียได้ง่าย และตายภายใน 2 วันหลังจากนำขึ้นมาจากน้ำทะเล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพของหอยไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงของการเก็บรักษา ซึ่งวิธีการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีหนึ่ง ที่สามารถเก็บรักษาอาหารให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับอาหารสดมากที่สุด ซึ่งการผลิตหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งมีขั้นตอนดังนี้

หอยแมลงภู่
↓
การทำความสะอาด (Depuration)
↓
การลวก (Blanching)
↓
การแช่เยือกแข็ง (Freezing)
↓
การเก็บรักษา (Storage)
↓
การละลายน้ำแข็ง (Thawing)

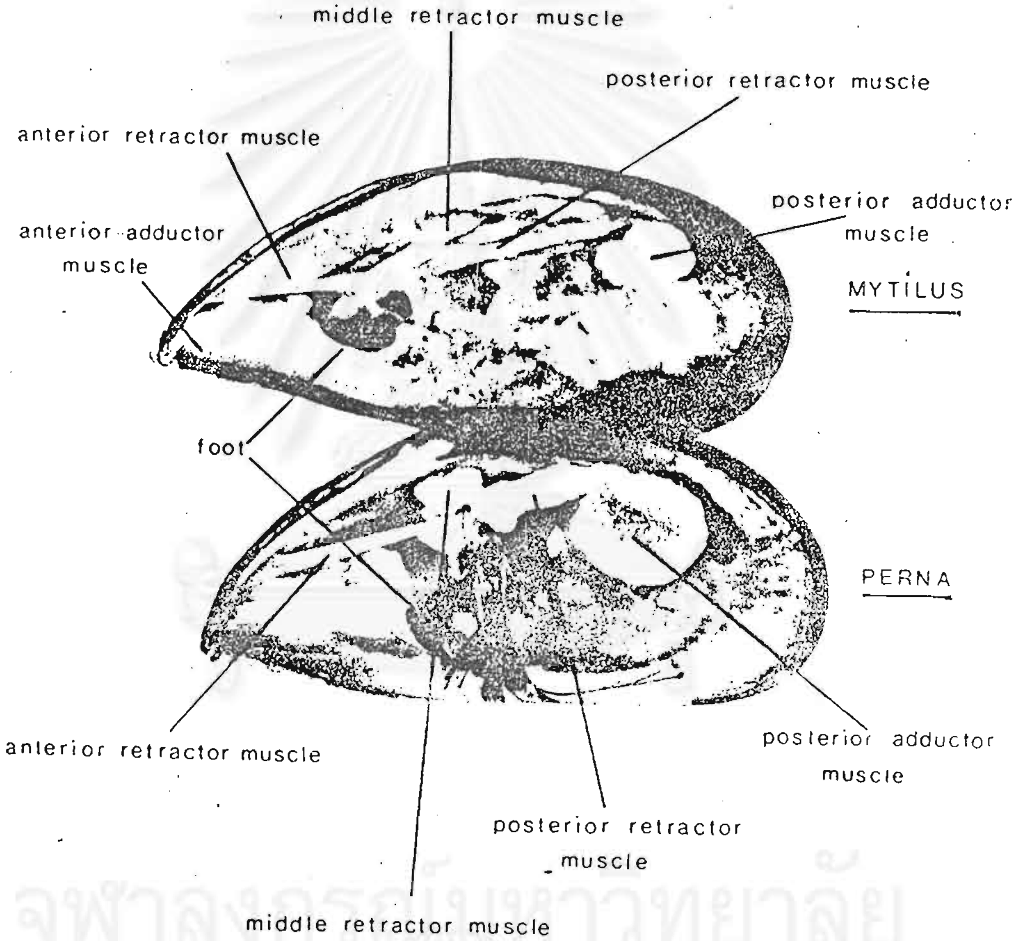
รูปที่ 1 กระบวนการผลิตหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

2.1 วัตถุดิบ

หอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Lin.) มีชื่อสามัญว่า Green-lipped mussel เป็นสัตว์ที่มีการแพร่กระจายอยู่ในบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีระดับน้ำขึ้นสูงสุด และลงต่ำสุด (Littoral) ของเขตร้อนทั้งซีกโลกเหนือ และใต้ สามารถจำแนกหมวดหมู่ทางหลักวิชาอนุกรมวิธานได้ดังต่อไปนี้ (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2527)

Phylum Mollusca
Class Bivalia
Order Anisomyria
Family Mytilidae
Genus Perna
Species viridis

หอยแมลงภู่มีหลายสกุล เช่น *Mytilus edulis* Lin. เป็นหอยแมลงภู่ที่มีการแพร่กระจายตามชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิค และมหาสมุทรแอตแลนติค สำหรับหอยแมลงภู่ที่พบในประเทศไทยคือ *Perna viridis* Lin. ในสองสกุลนี้คือ *Mytilus* จะมี Retractor scar 1 อัน แต่ไม่มี Primary latheral teeth ส่วนสกุล *Perna* จะมี Retractor scar 2 อัน และมี Primary latheral teeth 10-18 อัน (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2527) ความแตกต่างของทั้งสองสกุลแสดงดังรูปที่ 2


middle retractor muscle
posterior retractor muscle
anterior retractor muscle
anterior adductor muscle
posterior adductor muscle
MYTILUS
foot
PERNA
anterior retractor muscle
posterior adductor muscle
posterior retractor muscle
middle retractor muscle

รูปที่ 2 การเปรียบเทียบลักษณะภายในของหอยแมลงภู่ในสกุล *Mytilus* และ *Perna* (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2527)

หอยแมลงภู่จัดเป็นหอยสองฝา มีเปลือกรูปรี ด้านหน้าแหลม ท้ายป้าน ผิวนอกของเปลือกเรียบมีสีเขียวเข้มหรือสีน้ำตาลไหม้ ด้านในเป็นสีมุก ขอบของแมนเทิลเชื่อมติดกับตอนท้ายตัว สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ โดยจะมีการวางไข่แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม และช่วงเดือนมิถุนายน-กรกฎาคมของทุกปี โดยตัวอ่อนของหอยจะเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำ หลังจากนั้น 12 วันตัวอ่อนจะสร้างเส้นใยที่เป็น ควินโนน แทน โปรตีน (Quinone tanned protein) ซึ่งมีสีน้ำตาล เหนียว เพื่อใช้สำหรับยึดติดกับหิน เสาไม้ หรือวัสดุอื่นๆ (วันทนา อยู่สุข, 2528) ด้วยความสามารถในการเกาะกับหลักของหอยแมลงภู่ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่ด้วยการใช้ไม้ไผ่ปักเพื่อล่อให้ลูกหอยมาเกาะ และเจริญเติบโตต่อไป ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมในประเทศไทย โดยจะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตหอยแมลงภู่ได้เมื่อเลี้ยงได้ประมาณ 8 เดือน ผลผลิตที่ได้จะนำมาบริโภคภายในประเทศถึง 60% โดยบริโภคในรูปหอยสดเปลือกเป็นส่วนใหญ่ และแปรรูปเป็นหอยแกะสด หอยผ่าตาก หอยต้มตากแห้ง หอยดอง และหอยแช่แข็ง โดยส่วนที่เหลือจะส่งออกในรูปหอยต้มตากแห้ง และแช่แข็ง (บุปผา ยงชัยชาญ, 2531) ซึ่งจะเห็นว่าหอยแมลงภู่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค เนื่องจากรสชาติอร่อย และมีคุณค่าทางอาหารสูงดังแสดงใน ตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยแมลงภู่ (กองวิเคราะห์อาหาร, 2516)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ(ร้อยละ)
ความชื้น	84.6
โปรตีน	9.1
ไขมัน	0.8
คาร์โบไฮเดรต	3.1
เถ้า	2.4
พลังงาน (แคลอรี่ ต่อ 100 กรัม)	56
แคลเซี่ยม (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	75.3
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	10.2
เหล็ก (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	6.7
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	0.33
วิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	10.8

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 Amino acid analysis of mussel protein and Food and Agriculture Organization provisional pattern of essential amino acids for human nutrition (Holland et al., 1983)

Amino acid	% Content	
	Mussel	FAO
Aspartic acid	11.7	
Threonine	5.2	2.8
Serine	4.6	-
Glutamic acid	13.0	-
Proline	3.5	-
Glycine	10.5	-
Alanine	8.1	-
Valine	6.0	4.2
Cystine	1.2	-
Methionine	2.0	2.2
Isoleucine	5.2	4.2
Leucine	7.6	4.8
Tyrosine	2.4	2.8
Phenylalanine	3.8	2.8
Lysine	7.4	4.2
Histidine	1.8	-
Arginine	5.9	-

จากตารางที่ 1 และ 2 พบว่าหอยแมลงภู่ เป็นแหล่งอาหารโปรตีน และแคลเซี่ยมที่สำคัญ โดยโปรตีนในเนื้อหอยประกอบด้วย กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบครบทั้ง 8 ชนิด และมีปริมาณสูงกว่าที่ FAO ได้กำหนดให้มีในอาหาร

2.2 การทำความสะอาด (Depuration)

หอยเป็นสัตว์น้ำที่กินอาหารโดยการกรองอาหาร และเศษผงชิ้นเล็กๆ จากน้ำเอาไว้เป็นอาหารซึ่งในระหว่างที่กระทำการดังกล่าว หอยจะสะสมจุลินทรีย์เอาไว้ในระบบย่อยของมัน ซึ่งถ้าเป็นแบคทีเรีย และเชื้อไวรัสที่เกิดจากอุจจาระ เมื่อคนบริโภคเข้าไป ก็จะเสี่ยงต่อการเกิดอาหารเป็นพิษ ดังนั้นการทำความสะอาดหอยสองฝาจึงจำเป็นเพื่อที่จะกำจัดเชื้อโรคที่ปนเปื้อนมากับหอย (ข่าวกรมประมง, 2539) กรมประมงได้กำหนดมาตรฐานของหอยแมลงภู่ที่เหมาะสมต่อการบริโภคต้องสด ยังมีชีวิตอยู่ และไม่มีดิน หรือสิ่งสกปรกติดอยู่ มีจำนวนเชื้อ Faecal coliforms น้อยกว่า 300 หรือมีจำนวน *E. coli* น้อยกว่า 230 ต่อน้ำหนักเนื้อหอย 100 กรัม ต้องไม่มีเชื้อไวรัสตับอักเสบ (Hepatitis) และแบคทีเรีย (Shigella) ในทะเลที่เป็นสาเหตุแห่งโรค ซึ่งทำให้คนเจ็บป่วย ต้องไม่มีเชื้อ Salmonella หรือพิษของสัตว์หรือสารที่เป็นอันตราย และต้องไม่มีพิษที่บริโภคแล้วทำให้เป็นอัมพาต หรือพิษที่บริโภคหอยแล้วทำให้ท้องร่วง โดยกรมประมงแบ่งประเภทของแหล่งที่อยู่ของหอยแมลงภู่ ตามคุณภาพด้านจุลิน ทรีย์ของหอยแมลงภู่ได้ดังนี้

ระดับ A หอยต้องมีจำนวนของเชื้อ Faecal coliforms น้อยกว่า 300 MPN หรือมีจำนวน E.coli น้อยกว่า 230 MPN/ น้ำหนักหอย 100 กรัม

ระดับ B หอยต้องมีจำนวนของเชื้อ Faecal coliforms ระหว่างา 300-6,000 MPN หรือมีจำนวน E.coli น้อยกว่า 4,600 MPN/ น้ำหนักหอย 100 กรัม

ระดับ C หอยต้องมีจำนวนของเชื้อ Faecal coliforms ระหว่าง 6,000-60,000 MPN/ น้ำหนักหอย 100 กรัม

Sangrungruang และคณะ (1989) ศึกษาวิธีการทำความสะอาดหอยสองฝา ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในประเทศไทย พบว่า %การตายของหอยแมลงภู่ระหว่างการทำความสะอาด มีค่าสูงกว่าหอยสองฝาชนิดอื่น เนื่องจากหอยแมลงภู่จะอยู่กันเป็นกลุ่ม เมื่อนำมาทำความสะอาดจึงต้องทำการแยกออกจากกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บขึ้นได้ จึงส่งผลให้หอยมีการหายใจอย่างรวดเร็ว ดังนั้นค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำจึงต่ำกว่าหอยชนิดอื่น รวมทั้งหอยแมลงภู่เป็นหอยที่ไม่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมมากนัก จึงทำให้มีการตายมากกว่าหอยชนิดอื่น และ พบว่าการทำความสะอาดหอยแมลงภู่สามารถลด ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในหอยได้ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ภายใน 24-36 ชั่วโมง

2.3 การลวก (Blanching)

การลวกมีวัตถุประสงค์ เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และลดปริมาณจุลินทรีย์ในอาหาร รวมทั้งให้ง่ายต่อการแยกเนื้อหอยออกจากเปลือก การลวกมีหลายวิธี เช่นลวกในน้ำร้อน, ลวกด้วยไอน้ำ, ลวกโดยใช้ลมร้อน และลวกด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งระยะเวลาการลวกขึ้นกับชนิดของอาหาร, ความทนทานของเอนไซม์, ขนาดของชิ้นอาหาร และวิธีการลวก (Mallet, 1993)

Korobkina และคณะ (1969) ศึกษาวิธีการลวกหอยแมลงภู่ด้วยไอน้ำ และน้ำเดือด พบว่าการลวกด้วยไอน้ำจะทำให้มีการสูญเสียวิตามิน และแร่ธาตุที่สามารถละลายน้ำได้น้อยกว่าวิธีการลวกในน้ำเดือด โดยการลวกด้วยไอน้ำจะมีการสูญเสีย Niacin 57.6%, Vitamin B$_6$และ Mn 17.7% ส่วนการลวกด้วยน้ำร้อน มีการสูญเสีย Niacine 71.8 %, Vitamin B$_6$ 67.5% และMn 36.5%

Chai และคณะ (1991) ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนที่มีต่อคุณภาพของหอยนางรม พบว่าการฆ่าเชื้อในหอยนางรมที่บรรจุถุงพลาสติกชนิด Polyester ด้วยอุณหภูมิระหว่าง 75-76 °C จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางด้านกายภาพ และประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังพบว่าที่สภาวะนี้สามารถทำลายเอนไซม์ Amylase และPeroxidase ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ ไม่สามารถทำลาย Lipase ได้หมดโดยพบว่ายังมี Lipase เหลืออยู่ 15 %

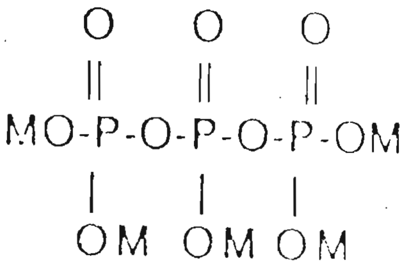
พรรณทิพย์ สุวรรณสาครกุล และวราทิพย์ สมบุญญฤทธิ (2539) ศึกษาวิธีการแยกเนื้อหอยจากเปลือก โดยวิธีการนึ่ง และต้ม พบว่าที่เวลาในการลวกเท่ากัน วิธีการลวกด้วยไอน้ำ (นึ่ง) จะให้ผลผลิตที่มี %Yield สูงกว่าการลวกด้วยน้ำเดือด (ต้ม) และเมื่อใช้เวลาในการลวกเพิ่มขึ้น ผลผลิตที่ได้จะมี % Yield ต่ำลง เนื่องจากการลวกด้วยน้ำเดือด จะมีพื้นที่ในการที่ ให้หอยสัมผัสกับตัวกลางในการให้ความร้อนสูงกว่าวิธีการลวกด้วยไอน้ำ ดังนั้นความร้อนที่ได้จึงกระจายทั่วตัวหอยอย่างรวดเร็ว จึงทำให้โปรตีนในเนื้อหอยเกิดการเสียสภาพ (Denature) และอัดตัวกันแน่นขึ้น เป็นผลให้มีการขับน้ำออกจากตัวหอยมากขึ้น %Yield ที่ได้จึงต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการแยกเนื้อหอยออกจากเปลือก และเวลาในการลวกมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ($P<0.01$) โดยเนื้อหอยที่แยกจากเปลือก ด้วยวิธีการนึ่งจะได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสสูงกว่า เนื้อหอยที่แยกจากเปลือกด้วยวิธีการต้ม และพบว่าเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น จะส่งผลให้คะแนนทางประสาทสัมผัสของหอยลดต่ำลง เนื่องจากการลวกหอยด้วยไอน้ำ จะทำช่วยรักษาน้ำในเนื้อหอยไว้ได้สูงกว่า ทำให้เนื้อหอยมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ชุ่มน้ำ และเนื้อไม่เกิดการอัดตัวกันแน่น นอกจากนี้การลวกด้วยไอน้ำสามารถรักษาเกลือแร่ต่างๆ ที่มีอยู่ในเนื้อหอยได้สูงกว่า จึงเป็นเหตุให้หอยที่ลวกด้วยไอน้ำมีรสชาติที่ดีกว่าหอยที่ลวกด้วยน้ำเดือด เมื่อใช้เวลาการลวกเท่ากัน ส่วนเวลาที่ใช้ในการลวกสูงขึ้น จะทำให้โปรตีนในเนื้อหอยเสื่อมสภาพมากขึ้น มีการจับตัวกันแน่นขึ้น และโปรตีนสูญเสีย

สมบัติในการจับกับน้ำ (Water holding capacity) มากขึ้น เป็นเหตุให้หอยมีเนื้อสัมผัสเหนียวขึ้น และมีความชุ่มน้ำของเนื้อลดลง

Shamasunder และ Prakash (1994) ศึกษาผลของการลวกที่มีต่อ ลักษณะทางเคมีกายภาพของกุ้งแช่เยือกแข็ง พบว่า ระยะเวลาในการเก็บ รักษา มีผลต่อ %Drip loss และ% Protein extracted อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่า % Drip loss จะมีปริมาณสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 300 วัน เนื่องจากน้ำในกุ้งสดที่ไม่ลวกมักอยู่ในรูปของน้ำอิสระ ซึ่งสามารถบีบอัดออกจากเนื้อเยื่อของกุ้งได้ง่าย ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาในรูปของกุ้งแช่แข็ง น้ำจะอยู่ในรูปผลึกน้ำแข็ง และมีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุการเก็บรักษา เมื่อนำกุ้งมาละลายน้ำแข็งก็จะทำให้กุ้งมีการสูญเสียน้ำได้มากขึ้น ส่วน % Protein extracted มีปริมาณลดลงจากเดิม มีปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ 80 % เมื่อเก็บครบ 300 วัน มีโปรตีนที่สกัดได้เพียง 68 % เนื่องจากในช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โปรตีนในเนื้อกุ้งเกิดการเสื่อมสภาพ (Denature) มากขึ้นทำให้สมบัติในการละลายของโปรตีนลดต่ำลง จึงส่งผลให้ % Protein extracted ลดต่ำลงเช่นกัน นอกจากนี้ยัง พบว่าการลวกมีผลต่อ % Drip loss ของกุ้งแช่เยือกแข็งโดย กุ้งที่ผ่านการลวกมี % Drip loss ต่ำกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการลวกก่อนนำไปทำการแช่เยือกแข็ง เนื่องจากในการลวก ความร้อนที่ใช้ลวกจะทำให้โปรตีนในเนื้อกุ้งเกิดการเสื่อมสภาพ (Denature) ไปได้บางส่วน และโปรตีนจะจับตัวกันแน่น มีการสูญเสียน้ำในกล้ามเนื้อไปด้วย ทำให้น้ำที่เหลืออยู่ในกล้ามเนื้อของกุ้ง จะเป็นน้ำที่มีลักษณะ Bound water ซึ่งมีความเสถียรสูง ไม่สามารถบีบอัดออกมาได้ง่ายนัก จึงทำให้กุ้งที่ผ่านการลวกมี % Drip loss ไม่สูงนัก ส่วน %Protein extracted ในกุ้งที่ผ่านการลวกจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ในช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษา เนื่องจากการลวกทำให้โปรตีนเกิดการ Denature ไป คุณสมบัติในการละลายน้ำของโปรตีนก็จะลดต่ำลงด้วย ทำให้ไม่สามารถสกัดโปรตีนออกจากเนื้อกุ้งได้มากขึ้นกว่าเดิม

2.4 การเตรียมหอยแมลงภู่ก่อนการแช่เยือกแข็ง

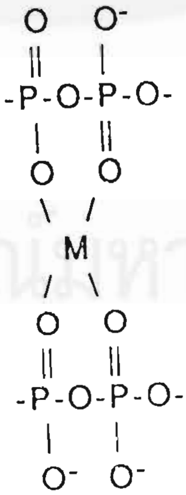
สารประกอบฟอสเฟตเป็นสารที่นิยมใช้ในอาหารทะเลส่วนใหญ่เป็นสารจำพวก Polyphosphate ซึ่งมีด้วยกันหลายชนิด เช่น Sodium hexametaphosphate, Sodium metaphosphate และ Sodium tripolyphosphate (STP) เป็นต้น แต่ในอุตสาหกรรมนิยมใช้ Sodium tripolyphosphate มากที่สุด ซึ่งมักนิยมใช้ร่วมกับสารประกอบชนิดอื่น เช่น เกลือ สารกันหืน สารกันบูด เป็นต้น ซึ่ง Sodium tripolyphosphate มีสูตรเคมี เป็น $Na_5P_3O_{10}$ มีสูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3 ละลายได้ทั้งในน้ำร้อน และน้ำเย็น โดยสามารถละลายได้ 32.5 กรัม/ น้ำร้อน 100 กรัม และละลายได้ 14.5 กรัม/ น้ำเย็น 100 กรัม มี pH ประมาณ 9.8-10.2 (Molins, 1991)



$$\mathrm{MO-}\underset{\underset{\mathrm{OM}}{|}}{\overset{\overset{\mathrm{O}}{\|}}{\mathrm{P}}}\mathrm{-O-}\underset{\underset{\mathrm{OM}}{|}}{\overset{\overset{\mathrm{O}}{\|}}{\mathrm{P}}}\mathrm{-O-}\underset{\underset{\mathrm{OM}}{|}}{\overset{\overset{\mathrm{O}}{\|}}{\mathrm{P}}}\mathrm{-OM}$$

รูปที่ 3 โครงสร้างของสารประกอบ Sodium tripolyphosphate (Molins, 1991)

สารประกอบฟอสเฟตที่ใช้ในอาหารทะเลมีผลต่อโปรตีนในกล้ามเนื้อ ซึ่งประกอบด้วย Actin และ Myosin ที่จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยสารประกอบฟอสเฟต จะสกัด Myosin ออกมา และ Myosin ที่สกัดออกมาสามารถจับกับน้ำได้ดี ดังนั้นจึงมีผลทำให้ช่วยรักษา โปรตีนชนิดที่ละลายน้ำ เกลือแร่ และวิตามินที่สามารถละลายในน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้สารประกอบฟอสเฟตสามารถจับตัวกับ อิออนของโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ทองแดง และเหล็ก ที่มีอยู่ในอาหาร หรือจากการปนเปื้อนของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งโลหะเหล่านี้จะเร่งปฏิกิริยา Oxidation ของไขมัน ดังนั้นสารประกอบฟอสเฟตจึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้ นอกจากนี้การจับกับโลหะหนักจำพวก แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2536)



รูปที่ 4 แสดงการจับตัวของ Sodium tripolyphosphate กับอิออนของโลหะหนัก (Molins, 1991)

English และคณะ (1988) ได้ศึกษาการใช้ STP ในปลา Mullet บรรจุกระป๋อง โดยลวกปลาในน้ำร้อน 3 นาที ก่อนบรรจุลงในน้ำเกลือที่มี สารละลาย STP ที่มีปริมาณ Phosphorus (P_2O_5) อยู่ระหว่าง 0.07-0.19% พบว่าการเติมสาร STP สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแน่นเนื้อสูงขึ้น ส่งผลให้ได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสสูงขึ้นด้วย

Rippen และคณะ (1996) ได้ศึกษาการใช้สารละลาย STP ในเนื้อหอย Scallop สดแช่เย็น พบว่าการใช้สารละลาย STP ที่มีความเข้มข้นสูง และใช้เวลาในการแช่ระยะสั้น ให้ผลดีกว่าแช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้นต่ำ แต่ใช้เวลานาน โดยการใช้สารละลาย STP ที่มีความเข้มข้น 10% ระยะเวลาในการแช่ 1 นาทีจะให้ ผลิตภัณฑ์ที่มี % Drip loss และ % Cooking loss น้อย และมีปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อหอยต่ำที่สุด รวมทั้งมีปริมาณของ Phosphorus ตกค้างอยู่ในเนื้อหอยสูงที่สุด

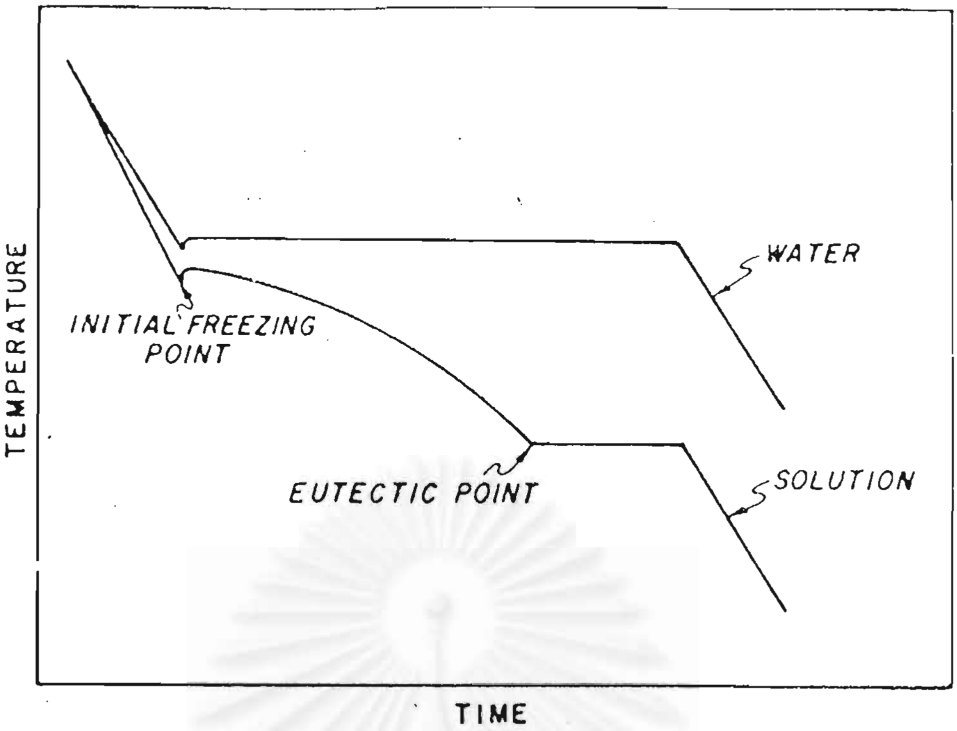
Tenhet และคณะ (1981) ได้ศึกษาปริมาณ Phosphorus ที่ตกค้างอยู่ในกุ้งที่ปอกเปลือกแช่ในสารละลาย STP พบว่า การใช้สารละลาย STP ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ให้ค่าของปริมาณ Phosphorus ที่ตกค้างอยู่ในเนื้อกุ้งไม่แตกต่างจากปริมาณที่มีอยู่ในธรรมชาติ แต่ที่ความเข้มข้นของ STP ที่ 5.0 และ 12.0% สามารถตรวจพบปริมาณของ Phosphorus ที่ตกค้างอยู่ในเนื้อกุ้งเพิ่มขึ้น

Chin (1977) ได้ศึกษา การใช้สารละลาย STP ในปลา Drum fish (*Aplodinotus grunniens*) โดยทดลองแช่ปลาในสารละลาย STP 12.5% นาน 1 นาที และไม่แช่ในสารละลาย STP เก็บรักษานาน 3 เดือน พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย STP มีปริมาณ Thawing และ Cooking loss ลดลง รวมทั้งปริมาณโปรตีนที่ละลายออกมากับน้ำ Drip ลดลง และป้องกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TBA ในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

Federal Register (1979) ได้กำหนดให้มีปริมาณของ Phosphorus ที่ตกค้างในอาหารทะเลได้ไม่เกิน 0.5% เนื่องจาก การเติมสารประกอบฟอสเฟต จะทำให้ผู้บริโภคถูกเอาเปรียบ จากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จากน้ำที่สารประกอบฟอสเฟตสามารถกักเก็บไว้ในอาหารได้เพิ่มขึ้น และอายุในการเก็บผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จากการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยา Oxidation

2.5 การแช่เยือกแข็ง (Freezing)

การแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่มนุษย์รู้จักมาเป็นเวลานาน และนับได้ว่าเป็นการถนอมอาหารที่ให้ลักษณะ และคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับอาหารสดมากที่สุด โดยกลไกการเกิดผลึกน้ำแข็งแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบกราฟแช่แข็งของน้ำบริสุทธิ์ กับสารละลายที่มีตัวถูกละลายมากกว่า 1 ตัว (Heldman and Singh, 1981)

รูปที่ 5 แสดง การเปรียบเทียบกราฟแช่แข็งของน้ำบริสุทธิ์ กับสารละลายที่มีตัวถูกละลายมากกว่า 1 ตัว โดยกราฟของน้ำนั้นจะมีอุณหภูมิลดลง เมื่อความร้อนถูกกำจัดออกจากระบบ จนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็ง หลังจากการเกิดการเย็นตัวยวดยิ่ง (Supercooling คือ อุณหภูมิของน้ำลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์ แต่ยังไม่เกิดผลึก) ปริมาณเล็กน้อยแล้วอุณหภูมิจะคงที่ ซึ่งในช่วงนี้ความร้อนจะถูกกำจัดในรูปความร้อนแฝงของน้ำ ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง หลังจากน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งหมดแล้ว ถ้าความร้อนถูกกำจัดออกไปจากระบบต่อไปอุณหภูมิก็จะลดลงต่อไปอีก แต่กราฟของการแช่แข็งอาหารหรือสารละลายใดๆ นั้นอุณหภูมิจะลดลงจนถึงจุดเยือกแข็งเริ่มต้นเช่นเดียวกับน้ำ แต่อุณหภูมิจุดเยือกแข็งจะลดต่ำลง และอุณหภูมิของสารละลายลดลงจนถึงจุดที่เรียกว่า Eutectic point ของตัวถูกละลาย หลังจากจุดนี้เมื่อกำจัดความร้อนออกไปอีกจะเกิดผลึกของตัวถูกละลาย และผลึกของน้ำแข็งขึ้น หลังจากนั้นอุณหภูมิของระบบก็จะลดลง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535)

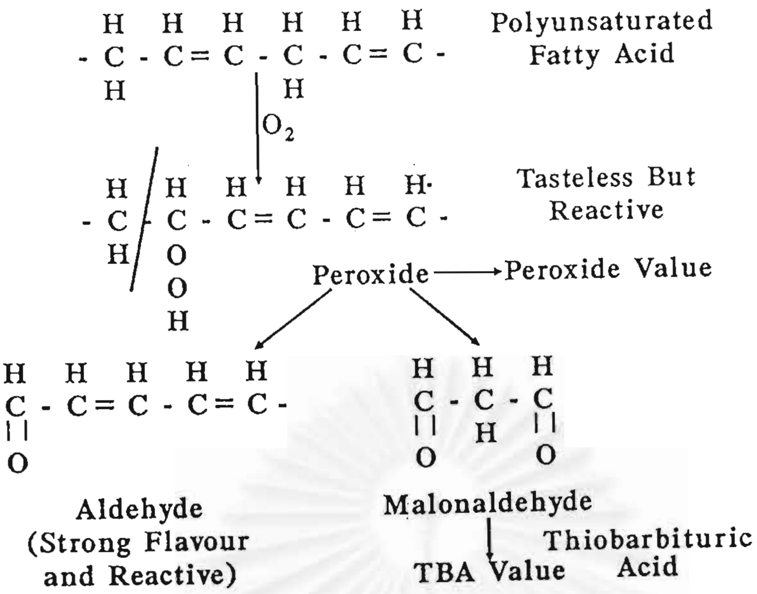
Aurell และคณะ (1976) ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพต่างๆ ของอาหารทะเลที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งต่างๆ กัน พบว่า การแช่เยือกแข็งด้วยการใช้ Liquid freon เป็นสารแช่เยือกแข็งสามารถลดเวลาในการแช่เยือกแข็งอาหารทะเลได้ เมื่อเปรียบกับวิธี Air blast freezing และ Plate freezing นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ Liquid freon สามารถลด % Weight loss และ % Drip loss ของอาหารทะเลลงได้

Gidding และHill (1978) ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งที่มีต่อเนื้อสัมผัส และโครงสร้างกล้ามเนื้อของปูพบว่าเนื้อปูที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วย Liquid freon และLiquid nitrogen จะเกิดผลึกของน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก และกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในกล้ามเนื้อของปู เนื่องจาก Liquid freon และLiquid nitrogen จะทำให้น้ำในทุกส่วนของเนื้อปูกลายเป็นผลึกอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำปูที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมาเก็บรักษาที่ -29 °C จะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีการพัฒนาขนาดให้ใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา เนื่องจาก ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำภายในอาหารจะเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นใหม่ (Recrystallization) ทำให้มีการพัฒนาขนาดของผลึกให้ใหญ่ขึ้น ส่วนปูที่ผ่านการแช่เยือกแข็งอย่างช้าๆ ที่ -29 °C และเก็บรักษาที่ -29 °C จะมีการสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้นภายนอกเซลล์ (Extracellular crystal) และผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นในช่วงระยะการเก็บรักษา เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์ ออกมาสู่ภายนอกเซลล์ ทำให้ผลึกมีการพัฒนาขนาดขึ้น จึงเป็นเหตุให้เซลล์เกิดการอัดตัวกันแน่นขึ้น และเกิดการฉีกขาดในเดือนที่ 6 ของการเก็บรักษา

Chen และ Pan (1997) ศึกษาการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast (-20°C, -36°C) และ แบบ Cryogenic ด้วย ไนโตรเจนเหลว (-87°C, -128°C) ที่มีผลต่อโครงสร้างกล้ามเนื้อของปลา Tilapia พบว่า การแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic มีผลทำให้เกิดช่องว่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อของปลา น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast และพบว่าการแช่เยือกแข็งทำให้เกิดความกว้างของช่องว่าง ระหว่างมัดกล้ามเนื้อเพิ่มสูงกว่าเนื้อปลาสด 5-151%

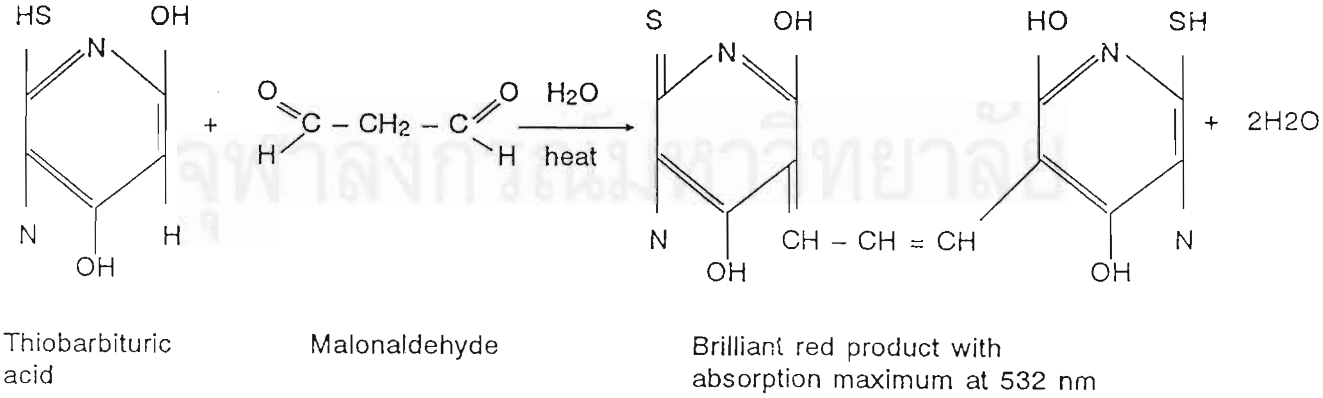
2.6 การเก็บรักษา (Storage)

ในระหว่างการแช่เยือกแข็งจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในอาหารทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงมีผลให้คุณภาพลดลง อาหารที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วถึงแม้จะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -10 °C สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ แต่ก็ยังมีปฏิกิริยาของเอนไซม์เกิดขึ้นอย่างช้าๆ จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพขึ้นถึงแม้ว่าจะลดอุณหภูมิลงถึง -70 °C (สกล กาญจนรังษี และกอบกิตต์ ฐิตวัฒนกุล, 2592) นอกจากนี้อาหารทะเลแช่ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของไขมันเป็น Polyunsaturateed fatty acids (PUFA) สูงถึง 90% ของไขมันทั้งหมด รวมถึงมีองค์ประกอบที่เป็นโลหะหนักจำพวก ทองแดง และเหล็กอยู่ในองค์ประกอบของเลือด โดย พบเหล็กเป็นองค์ประกอบของ Myoglobin ในเลือดปลา และ ทองแดงเป็นองค์ประกอบของ Hemocyanin ในเลือดของปู ปลาหมึก กุ้งและ หอย ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Oxidation ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6 (Flick and Martin, 1992)


Polyunsaturated Fatty Acid
O_2
Tasteless But Reactive
Peroxide
Peroxide Value
Aldehyde (Strong Flavour and Reactive)
Malonaldehyde
Thiobarbituric Acid
TBA Value

รูปที่ 6 การเกิดปฏิกิริยา Oxidation อาหารทะเล (Flick and Martin, 1992)

Sinnhuber และคณะ (1958) ค้นพบการตรวจสอบปฏิกิริยา Oxidation ในอาหารโดยใช้ Thiobarbituric acid มาทำปฏิกิริยากับ Malonaldehyde ที่ได้จากการสลายตัวของ PUFA โดยจะได้สารละลายที่มีสีแดงส้ม แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งสามารถตรวจสอบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้โดยนำสารละลายมาวัดด้วย Spectrophotemeter


H_2O
heat
+ 2H2O
Thiobarbituric acid
Malonaldehyde
Brilliant red product with absorption maximum at 532 nm

รูปที่ 7 ปฏิกิริยาระหว่าง TBA กับ Malonaldehyde (Sinnhuber et al, 1958)

Mishra และ Srikar (1989) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของหอย Clamแช่เยือกแข็ง พบว่าค่า %Thaw drip ของหอย Clam แช่เยือกแข็งจะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยหอย Clamแช่เยือกแข็ง มี %Thaw drip เริ่มต้นเท่ากับ 7.79% และจะมีปริมาณ 15.90% เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 200 วัน เนื่องจากวิธีการแช่เยือกแข็งเป็นแบบ Slow freezing ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อหอยขึ้น ดังนั้นเมื่อนำมาทำการละลายน้ำแข็งจึงทำให้น้ำจากเนื้อเยื่อแพร่ออกมาได้มากขึ้น ซึ่งจากการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อหอย ก็จะส่งผลให้ค่า % Moisture content ลดต่ำลงตามอายุการเก็บรักษาด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณTotal Nitrogen และGlycogen ในเนื้อเยื่อหอยจะมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเช่นกัน เนื่องจากเอนไซม์ในตัวหอย และจากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลาย Nitrogen และ Glycogen ที่มีอยู่ในเนื้อหอยได้เป็นสารที่ระเหยได้ และอาจหลุดมากับ Drip loss ในช่วงการละลายได้

Ablett และ Gould (1986) ศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัส และสภาวะการเกิดกลิ่นหืนในหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง พบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 °C และตัวอย่างทางการค้า (Commercial) ได้รับคะแนนด้านกลิ่นรสต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -30 และ -60 °C นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -60 °C ได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด เนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำๆ สามารถลดการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้ รวมทั้งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียได้ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จะช่วยให้เนื้อเยื่อของอาหาร ไม่ให้เกิดการฉีกขาดจากการเพิ่มขนาดของผลึกได้ นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลา และอุณหภูมิในการเก็บรักษาหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (-30 °C) จะมีค่า TBA ต่ำสุด และตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ -12 °C จะมีค่า TBA สูงสุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 20 อาทิตย์ เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipase ที่มีอยู่ในเนื้อหอยได้ ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า (-12 °C) เอนไซม์จะสามารถย่อยไขมันในเนื้อหอยให้เป็น กรดไขมันอิสระได้สูงกว่า ซึ่งกรดไขมันอิสระที่ได้จะสามารถเร่งกลไกการเกิดกลิ่นหืนของอาหารได้

Jeong และคณะ (1990) ศึกษาการเสื่อมสลายของไขมัน และวิธีการยับยั้งการยับยั้งการเสื่อมสลายของไขมันในหอยนางรมในระหว่างการแช่เยือกแข็ง พบว่าค่า TBA ของทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 เดือนแรกของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาครบ 12 เดือน ตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีค่า TBA ใกล้เคียงกันคือที่ประมาณ 1.2 ยกเว้นตัวอย่างที่เก็บร่วมกับ Deoxygenizer จะมีค่า TBA ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ คือมีค่า TBA ประมาณ 1.0 เนื่องจาก

Deoxygenizer สามารถจับกับ ออกซิเจนที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับไขมันในหอยได้ นอกจากนี้ยังพบว่า polyunsaturated fatty acid (PUFA) (22:5n-3 + 22:6n-3) สามารถทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจน และเปลี่ยนโครงสร้างเป็น Saturated fatty acid (16:0) โดย PUFA มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 เดือนแรกของการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาร่วมกับ Deoxygenizer มีอัตราการลดลงของ PUFA ในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุด เนื่องจาก Deoxygenizer สามารถแย่งจับกับออกซิเจน ก่อนที่ออกซิเจนจะเข้าจับกับพันธะคู่ใน PUFA จึงเป็นเหตุให้การเก็บวิธีนี้มีปริมาณ PUFA เหลืออยู่สูงสุด

Jadhav และ Magar (1970) ได้ศึกษาการเคลือบน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง (Glazing) ให้กับผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็งต่างๆ พบว่า การเคลือบด้วยน้ำให้กับผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้ โดย กุ้งแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำจะเกิดกลิ่นหืนเมื่อเก็บรักษา ที่ -18 °C เป็นเวลานาน 3 เดือน ส่วน ปลา Sardines และปลา Mackerel แช่เยือกแข็ง และเก็บรักษาที่ -20 °C จะเกิดกลิ่นหืนเมื่ออายุเก็บรักษาผ่าน ไปได้ 5 และ 4 เดือนตามลำดับ

Nelson (1963) ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาหอยนางรมแช่เยือกแข็ง ที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำ เคลือบด้วยสารละลาย Ascorbic acid และเคลือบด้วย Corn syrup เปรียบเทียบกับหอยนางรมแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการเคลือบ โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 °F เป็นเวลา 20 เดือน พบว่า หอยนางรมที่ไม่ผ่านการเคลือบไม่สามารถบริโภคได้ เมื่ออายุการเก็บรักษาผ่านไป 8 เดือน เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดกลิ่นหืนขึ้น ส่วนหอยนางรมที่ผ่านการเคลือบสารทั้ง 3 ชนิด ยังสามารถบริโภคได้เมื่ออายุการเก็บรักษาผ่านไป 20 เดือน

2.7 การละลายน้ำแข็ง (Thawing)

วิธีการละลายน้ำแข็งมี 2 หลักการ คือ (IIR, 1972)

1. การนำความร้อนจากผิวไปสู่ภายในผลิตภัณฑ์ โดยจัดผลิตภัณฑ์ให้สัมผัสกับแหล่งที่ให้ความร้อน เช่น น้ำอุ่น อากาศร้อน และแผ่นโลหะร้อน
2. การสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้คลื่นไมโครเวฟ

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

หอยแมลงภู่ (*Perna viridis Lin*) จากอ่าวไทยบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงขนาด 30-45 ตัวต่อกิโลกรัม ที่ผ่านการตัดหนวด และทำความสะอาดแล้ว

3.2 สารเคมี

Sodium hydroxide	commercial grade
Sodium tripolyphosphate	commercial grade
Ammonium molybdate	A.R. grade
Ammonium monovanabate	A.R. grade
Sulfuric acid	A.R. grade
Ethanol 95 %	A.R. grade
Potassium dihydrogen phosphate	A.R. grade
Petroleum ether	A.R. grade
Boric acid	A.R. grade
Hydrochloric acid 37 %	A.R. grade
Thiobarbituric acid	A.R. grade
Glacial acetic acid	A.R. grade
Disodium hydrogenphosphate	A.R. grade
Potassium chloride	A.R. grade

ใช้ถุงลามิเนท บรรจุอาหาร (Nylon/LLDPE) ขนาด 6X8 นิ้ว ความหนา 0.05 มิลลิลิตร

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- Air blast freezer อุณหภูมิต่ำสุด –32 องศาเซลเซียสความเร็วลมสูงสุด 4 เมตรต่อวินาที
- Cryo- Test Chamber Nitrogen Freezer Model CT –1818-12 F
- ถังบรรจุไนโตเจนเหลว Model XL –55 HP
- ตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส
- เครื่องบันทึกอุณหภูมิและเวลา (Data recorder) Y-okogawa , LR 4210
- สาย Thermocouple ชนิด Copper- Constantan (Type-T) สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ –200 ถึง 400 องศาเซลเซียส

- Texture analyzer Model TA : XT2I
- เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius , BA 4100 S ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius , A 2000 S ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) Sanyo ,MLS 3020
- เครื่องปิดผนึกแบบสูญญากาศ บริษัท Sea master
- เครื่องวัด pH (pH meter) Horiba , F-21
- เตาเผาเถ้า Fisher Scientific , Isotemp
- เครื่องปั่น (blender)
- ตู้อบลมร้อน (Air oven) Memmert ,KI 26
- ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) Model B80
- เครื่อง Spectronic 20 Genesis Jasco , V-530

3.4 วิธีวิเคราะห์ แบ่งออกได้เป็น 4 วิธี

ก. วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

- หาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการแช่สารละลายสารละลาย Sodium tripolyphosphate (% Weight gain) รายละเอียดดังในภาคผนวก ก.1
- หาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่แข็ง (% Freezing loss) (ดัดแปลงจาก A.O.A.C. ,1995 : 35.108) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2
- หาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายผลึกน้ำแข็ง (% Thawing loss) (ดัดแปลงจาก A.O.A.C. ,1995 : 35.108) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3
- วัดค่าแรงต้านทานการตัดขาด (Cutting force) โดยเครื่อง Texture analyzer รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4
- การหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5
- การหาอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6
- การหาปริมาณ Liquid Nitrogen ที่ใช้ไปโดยการจับเวลา รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7
- การหาปริมาณ การใช้ Liquid Nitrogen ที่ใช้ต่อ 1 หน่วยน้ำหนักของหอยแมลงภู่ (ตามวิธีของบริษัท Bangkok Industrial gas (BIG) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8
- การตรวจสอบโครงสร้างเนื้อเยื่อด้วย SEM (Scanning electron microscope) (Finlay and Stanley , 1984) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

- หาปริมาณความชื้น (ดัดแปลงจาก A.O.A.C. ,1995 : 39.1.02) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.1
- หาปริมาณโปรตีน (ดัดแปลงจาก A.O.A.C. ,1995 : 39.1.15) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2
- หาปริมาณไขมัน (ดัดแปลงจาก A.O.A.C. ,1995 : 39.1.05) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.3
- หาปริมาณเถ้า (ดัดแปลงจาก A.O.A.C. ,1995 : 39.1.14) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.4
- หาปริมาณ phosphorus (Jame , 1995) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.5
- ตะกั่ว , แคดเมียมและปรอท (วิเคราะห์โดยสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล)
- หาปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ (Miwa and Yong , 1992) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.6
- การหาปริมาณ TBA (Pearson , 1976) ภาคผนวก ข.7

ค. วิธีวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

- หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ , 2535) รายละเอียดในภาคผนวก ค.1
- หาปริมาณเชื้อ Faecal coliforms , *Escherichia coli* (ดัดแปลงจาก A.O.A.C. ,1995 : 17.2.02) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2
- หาปริมาณเชื้อ *Salmonella spp.*(กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ , 2535) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.3
- หาปริมาณเชื้อ *Stapylococcus aureus* (ดัดแปลงจาก A.O.A.C. ,1995 :17.5.02) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.4
- หาปริมาณเชื้อ *Vibrio cholerae* (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ , 2535) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.5

ง. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวม โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน ที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์ จำนวน 12 คน ซึ่งเป็นกลุ่มนิสิตปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้แบบทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบ Scoring test และใช้ Hedonic scale สำหรับการประเมินผลในด้านการยอมรับรวม รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง.1

3.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและจุลินทรีย์ของหอยแมลงภู่สด

นำหอยแมลงภู่สดจากอ่าวไทยบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง มาทำความสะอาด ทำการตรวจสอบดังนี้

3.5.1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหอยแมลงภู่สด

การตรวจสอบ

- ปริมาณความชื้น
- ปริมาณโปรตีน
- ปริมาณไขมัน
- ปริมาณเถ้า
- ปริมาณตะกั่ว , เถ้า , แคดเมียม และปรอท

3.5.1.2 ศึกษาคุณภาพด้านจุลินทรีย์ ของหอยแมลงภู่สด

การตรวจสอบ

- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด
- ปริมาณเชื้อ Faecal coliform , *Escherichia coli*
- ปริมาณเชื้อ *Salmonella spp.*
- ปริมาณเชื้อ*Staphylococcus aureus*
- ปริมาณเชื้อ *Vibrio cholerae*

3.5.2 ศึกษาวิธีการและเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยแมลงภู่

นำหอยแมลงภู่ที่ผ่านการตัดหนวด และล้างทำความสะอาด มาลวกด้วยวิธีและเวลาต่างกันดังนี้

แปรวิธีการลวกเป็น 2 วิธี คือ ลวกด้วยไอน้ำ (อัตราส่วนน้ำหนักน้ำ : น้ำหนักหอย = 4 :1) และลวกด้วยไอน้ำ (อัตราส่วนน้ำหนักน้ำ : น้ำหนักหอย = 2 : 1)

แปรเวลาในการลวกเป็น 5 ระดับคือ 2,4,6,8 และ 10 นาที

การตรวจสอบ

- เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (% Yield)

- ความชื้น
- ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ (sspN)
- แรงต้านทานการตัดขาด (cutting force)
- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด
- Faecal coliforms , *Escherichia coli*

เลือกเวลาในการลวกที่เหมาะสมโดยพิจารณา % Yields ความชื้น sspN และ Cutting force ร่วมกับปริมาณจุลินทรีย์ที่ลดลง วางแผนการทดลองแบบ Asymmetric factorial design ขนาด 2X5 ทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5.3 ศึกษาหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่แบบลมเย็น (Air Blast freezing)

นำเนื้อหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกข้อ 3.5.2 มาแช่เยือกแข็งด้วย Air blast freezer โดยใช้เนื้อหอยครั้งละ 100 กรัม ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อหอย โดยใช้ Thermocouple Type-T เสียบเข้าส่วนที่หนาที่สุดของตัวหอย บันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ โดยบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของหอยแมลงภู่ (5 °C) และเวลาใช้ตั้งแต่ เริ่มต้นจนอุณหภูมิภายในเนื้อหอยเท่ากับ –18 °C

การตรวจสอบ

- เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง กับอุณหภูมิของหอยแมลงภู่ที่เปลี่ยนแปลง
- เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิภายในเนื้อหอยจนถึง –18°C

3.5.4 ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่แบบไครโอจินิค (Cryogenic freezing)

นำเนื้อหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกจากข้อ 3.5.2 ครั้งละ 100 กรัม มาทำการแช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิภายในเนื้อหอยลดลงถึง –18 °C ด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิแตกต่างกันดังนี้ แปรชนิดของเนื้อหอยแมลงภู่เป็น 2 ชนิด คือหอยแมลงภู่ที่ลวกด้วยน้ำเดือด และหอยแมลงภู่ที่ลวกด้วยไอน้ำ แปรอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเป็น 4 ระดับคือ –70 , -80, -90 และ –100 °C ทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ –18 °C เป็นเวลา 7 วัน และละลายน้ำแข็ง (Thaw) โดยทิ้งไว้ในตู้เย็นข้ามคืน

การตรวจสอบ

- เวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ปริมาณไนโตรเจนเหลวที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5
- % Freezing loss
- % Thawing loss
- ค่าแรงต้านทานการตัดขาด (Cutting force)
- ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

เลือกชนิดของหอยแมลงภู่และอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็ง โดยพิจารณาค่า %Freezing loss % Thawing loss ค่า Cutting force และปริมาณการใช้ liquid nitrogen ร่วมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบ Asymmetric factorial design ขนาด 2X4 ทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5.5 ศึกษาหาความเข้มข้น และเวลาในการแช่สารละลาย Sodium Tripolyphosphate (STP) ที่เหมาะสม

นำเนื้อหอยที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.5.4 มาทำการแช่สารละลาย STP ร่วมกับ NaCl 1 % ซึ่งควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ในช่วย 5-10 °C และแช่ในอัตราส่วนของเนื้อหอย ต่อปริมาตรสารละลาย เท่ากับ 1 : 2 โดยแปรวิธีการทดลองดังนี้

แปรความเข้มข้นของสารละลาย STP เป็น 3 ระดับคือ 5 ,6 และ 7 %

แปรเวลาในการแช่สารละลายเป็น 3 ระดับ คือ 30 , 60 และ 90 วินาที

วางไว้บนตะแกรง 5 นาที ให้สะเด็ดน้ำ นำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิที่ผ่านการคัดเลือก จากข้อ 3.5.4แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –18 °C เป็นเวลา 7 วัน นำมาทำการละลายน้ำแข็ง โดยเก็บผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE แบบสุญญากาศ ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C ทิ้งไว้ข้ามคืน

การตรวจสอบ

- เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากการแช่สารละลาย STP (% Weight gain)
- ความชื้น
- ปริมาณ Phosphorus
- % Freezing loss
- % Thawing loss
- ค่าแรงต้านทานการตัดขาด (Cutting force)
- ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

เลือกความเข้มข้นของสารละลาย STP และเวลาในการแช่ที่เหมาะสม โดยพิจารณา ความชื้น ปริมาณ Phosphorus % Weight gain %Freezing loss % Thawing loss และ ค่า Cutting force ร่วมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบ Symmetric factorial design ขนาด 3X3 ทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5.6 ศึกษาผกของวิธีการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายที่มีต่อคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

เตรียมเนื้อหอยแมลงภู่ตามวิธีในข้อ 3.5.5 นำมาแปรการทดลองดังนี้

แปรวิธีการแช่เยือกแข็ง 2 แบบคือ Air blast (-32°C) และแบบ Cryogenic โดยใช้อุณหภูมิที่ผ่านการคัดเลือกจา ข้อ 3.5.4

แปรการละลายเป็น 2 วิธีคือ ละลายในตู้เย็น (4°C) และละลายโดยแช่ถุงที่ใช้บรรจุหอยแช่เยือกแข็งในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (30°C)

การตรวจสอบ

- % Freezing loss
- % Thawing loss
- ค่าแรงต้านทานการตัด (Cutting force)

เลือกวิธีการที่เหมาะสมโดยพิจารณา% Freezing loss % Thawing loss % Total loss ร่วมกับค่า Cutting force วางแผนการทดลองแบบ Symmetric factorial design ขนาด 2X2 ทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

3.5.7 ศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็ง และ ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

นำเนื้อหอยที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.5.4 นำมาทำการแช่เยือกแข็งโดยแปรวิธีการทดลองดังนี้

แปรการเตรียมเนื้อหอยเป็น 3 วิธี คือ ไม่แช่สารละลาย STP แช่ในสารละลาย STP ที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.5.5 และเคลือบด้วยน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง (Glazing)

แปรวิธีการแช่เยือกแข็งเป็น 2 วิธี คือ แช่เยือกแข็ง แบบ Air Blast และแบบ Cryogenic โดยใช้อุณหภูมิที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.5.4

เก็บรักษาที่อุณหภูมิ –18°C สุ่มตัวอย่างทุก 3 สัปดาห์เป็นเวลา 9 สัปดาห์ นำมาละลายน้ำแข็งโดยใช้วิธีที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.5.6

การตรวจสอบ

- % Thawing loss
- ค่าแรงต้านทานการตัด (Cutting force)
- ค่า TBA (Pearson, 1976)
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

วางแผนการทดลองแบบ Asymmetric factorial design ขนาด 3X2X3 ทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และ จุลินทรีย์ของหอยแมลงภู่สด

4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยแมลงภู่สด

ผลการหาปริมาณความชื้น, โปรตีน, ไขมัน,เถ้า และโลหะหนักประเภทตะกั่ว แคดเมียม ปรอท แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของหอยแมลงภู่สด

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%) ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	81.88 ± 0.96
โปรตีน	9.82 ± 0.95
ไขมัน	1.17 ± 0.19
เถ้า	2.25 ± 0.26
คาร์โบไฮเดรต	4.88 ± 0.07
ตะกั่ว (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	0.019 ± 0.003
แคดเมียม (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	0.010 ± 0.000
ปรอท (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	0.006±0.000

จากตารางที่ 3 พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของหอยแมลงภู่ เป็นความชื้นถึง 81.88% และมีโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 9.82% 1.17% 2.25% และ 4.88% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค มีปริมาณต่ำมาก

4.1.2 ผลการวิเคราะห์จุลินทรีย์ของหอยแมลงภู่สด

ผลการตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ปริมาณเชื้อ Faecal coliforms, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp, *Staphylococcus aureus* และ*Vibrio cholerae* แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่4 ค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อหอยแมลงภู่สด

ชนิดของจุลินทรีย์	ปริมาณที่ตรวจพบ
1. จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	2.1×10^3 cfu/g
2. Faecal coliforms	43.00 MPN/g
3. *Escherichia coli*	15.70 MPN/g
4. *Salmonella* spp	ตรวจไม่พบ
5. *Staphylococcus aureus*	ตรวจไม่พบ
6. *Vibrio cholerae*	ตรวจไม่พบ

จากตารางที่ 4 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ที่มีอยู่ในหอยแมลงภู่มีปริมาณไม่สูงมากนัก และตรวจพบ แบคทีเรีย จำพวก Faecal coliforms และ *E.coli* ระหว่าง 43.0 และ15.70 MPN/g ตามลำดับ นอกจากนี้ตรวจไม่ แบคทีเรีย จำพวก *Salmonella* spp. *Staphylococcus aureus* และ *Vibrio cholerae* ในน้ำหนักเนื้อหอย 25 กรัม ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ สามารถจัดระดับของหอยแมลงภู่ ที่นำมาทำการทดลดงนี้ อยู่ในระดับ B คือมี จำนวน ของ Faecal coliforms อยู่ระหว่าง 3-60 MPN/g ของน้ำหนักหอย และมี *E.coli* น้อยกว่า 46 MPN/g ของน้ำหนักหอย (กรมประมง, 2539) โดยหอยในแหล่งนี้ต้องนำมาทำความสะอาด 36 ชั่วโมง หรือให้ความร้อนที่พอเพียงต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ ได้ ดังนั้นการทดลองต่อไป จึงเป็นการศึกษาถึงวิธีการและเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับเตรียมหอยแมลงภู่

4.2 ศึกษาวิธีการ และเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยแมลงภู่

4.2.1 ผลการหาปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ (Salt soluble protein; sspN) % Yields และCutting force

ผลการหาปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ % Yields และCutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกด้วยวิธี และ เวลาในการลวกแตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย ความชื้น ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ % Yields และ Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกที่วิธี และเวลาในการลวกแตกต่างกัน

วิธีการลวก	เวลาในการลวก (นาที)	ความชื้น (%)	โปรตีนที่ละลายในเกลือ (%)	Yields (%)	Cutting force (N)
น้ำเดือด	2	$81.02^{ab}\pm0.05$	$0.46^{ab}\pm0.01$	$18.76^{ab}\pm1.30$	$22.29^{d}\pm0.16$
	4	$80.26^{bcd}\pm0.09$	$0.44^{bc}\pm0.01$	$18.00^{b}\pm2.67$	$24.56^{bcd}\pm1.13$
	6	$79.04^{def}\pm0.28$	$0.40^{c}\pm0.00$	$17.49^{b}\pm2.37$	$24.71^{bcd}\pm1.18$
	8	$78.32^{efg}\pm0.64$	$0.31^{d}\pm0.01$	$16.68^{b}\pm2.17$	$26.30^{ab}\pm1.28$
	10	$77.51^{g}\pm1.33$	$0.32^{d}\pm0.00$	$16.67^{b}\pm1.44$	$27.60^{a}\pm0.86$
ไอน้ำ	2	$82.97^{a}\pm0.11$	$0.50^{a}\pm0.03$	$22.30^{a}\pm2.16$	$17.21^{e}\pm1.08$
	4	$80.60^{bc}\pm0.07$	$0.40^{c}\pm0.03$	$17.01^{b}\pm0.84$	$23.48^{cd}\pm0.29$
	6	$78.56^{cde}\pm0.33$	$0.41^{c}\pm0.01$	$17.10^{b}\pm0.84$	$26.24^{ab}\pm0.72$
	8	$78.14^{efg}\pm0.06$	$0.32^{d}\pm0.02$	$16.21^{b}\pm1.97$	$26.05^{abc}\pm1.22$
	10	$77.51^{fg}\pm0.03$	$0.33^{d}\pm0.01$	$15.99^{b}\pm1.55$	$26.92^{ab}\pm0.94$
หอยสด	-	83.29 ± 0.10	0.72 ± 0.00	-	-

a,b…ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Asymmetric factorial design พบว่าวิธีการลวกไม่มีผลทำให้ค่าปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ % Yields และค่า Cutting force มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq.05$) แต่พบว่าเวลาที่ใช้ในการลวกมีผลต่อความชื้น ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ % Yields และค่า Cutting force อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยเวลาในการลวกเพิ่มมากขึ้น ทำให้ ความชื้น ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ และ % Yields ลดลงด้วยเช่นกัน แต่พบว่า เวลาในการลวกมีผลทำให้ค่า Cutting force เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยการลวกด้วยไอน้ำ ที่ 2 นาที ให้ค่า Cutting force ต่ำที่สุด

4.2.2 ผลการหาปริมาณจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงหลังการลวก

ผลการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, Faecal coliforms และ *E.coli* ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกด้วยวิธี และเวลาในการลวกแตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของ ปริมาณจุลินทรีย์ ในเนื้อหอยแมลงภู่ที่ผ่านการลวกด้วยวิธี และเวลาในการลวกที่แตกต่างกัน

วิธีการลวก	เวลาในการลวก (นาที)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	Faecal coliforms (MPN/g)	*E.coli* (MPN/g)
น้ำเดือด	2	$4.6X10^2$	23 MPN	-
	4	$2.3X10^2$	-	-
	6	< 30	-	-
	8	< 30	-	-
	10	< 30	-	-
ไอน้ำ	2	$5.5X10^2$	40 MPN	-
	4	$3.2X10^2$	-	-
	6	< 30	-	-
	8	< 30	-	-
	10	< 30	-	-
หอยสด	-	$2.3X10^3$	93 MPN	21 MPN

จากตารางที่ 6 พบว่า วิธีในการลวกมี ผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงใกล้เคียงกัน สำหรับเวลาในการลวกมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ โดยเวลาในการลวกที่เพิ่มขึ้นสามารถทำลายปริมาณจุลินทรีย์ทีอยู่ในเนื้อหอยแมลงภู่ได้มากขึ้น โดยระยะเวลาในการลวกที่สั้นที่สุดที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ ในกลุ่ม Faecal coliforms ได้อย่างสมบูรณ์ คือระยะเวลาในการลวกที่ 4 นาทีทั้งการลวกด้วยน้ำเดือด และ ไอน้ำ

จากตารางที่ 5 และ 6 สามารถเลือกเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยแมลงภู่ได้ คือ ที่ 4 นาที โดยที่เวลานี้ สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ ที่เวลาการลวกนี้ให้เนื้อหอยที่มี %Yields และ ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลืออยู่สูง รวมทั้งสามารถแยกเนื้อหอยออกจากเปลือกได้ง่าย

4.3 ผลการหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ด้วยลมเย็น (Air blast)

จากการทดลองพบว่าการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ด้วย Air blast freezer ที่ อุณหภูมิ -32 °C ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิภายในตัวหอยเริ่มต้นที่ 5 °C จนถึง -18 °C เท่า 18 นาที 20 วินาที คิดเป็นอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 3.29 cm/hr ซึ่งจัดเป็นการแช่เยือกแข็งแบบ Rapid freezing (Boegh-Soerensen and Jul, 1985) และได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่เยือก แข็งดังแสดงในรูปที่ 8

4.4 ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่แบบไครโอจินิค

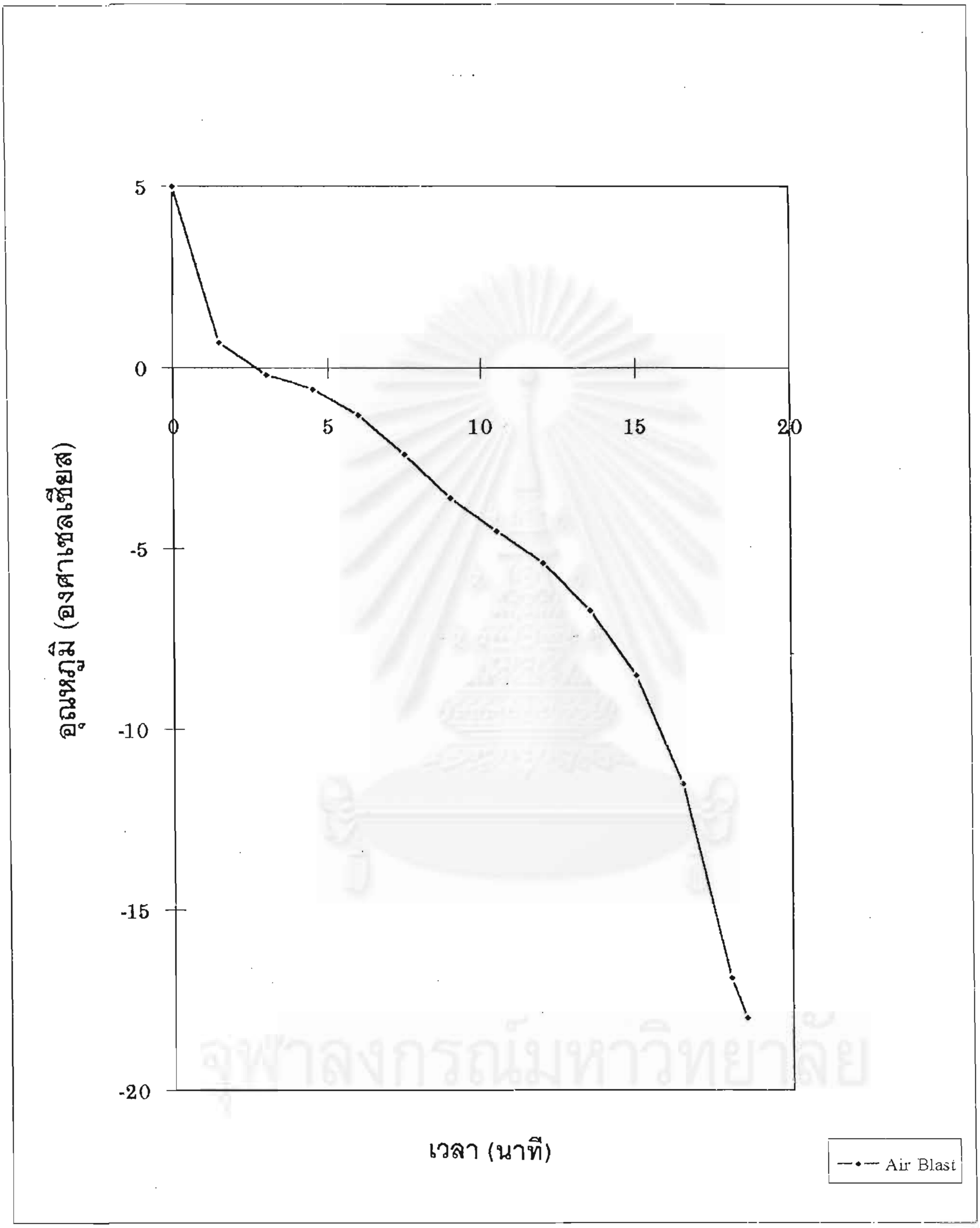
4.4.1 ผลการหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ด้วยไอไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ผลการหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง และอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิแตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 7

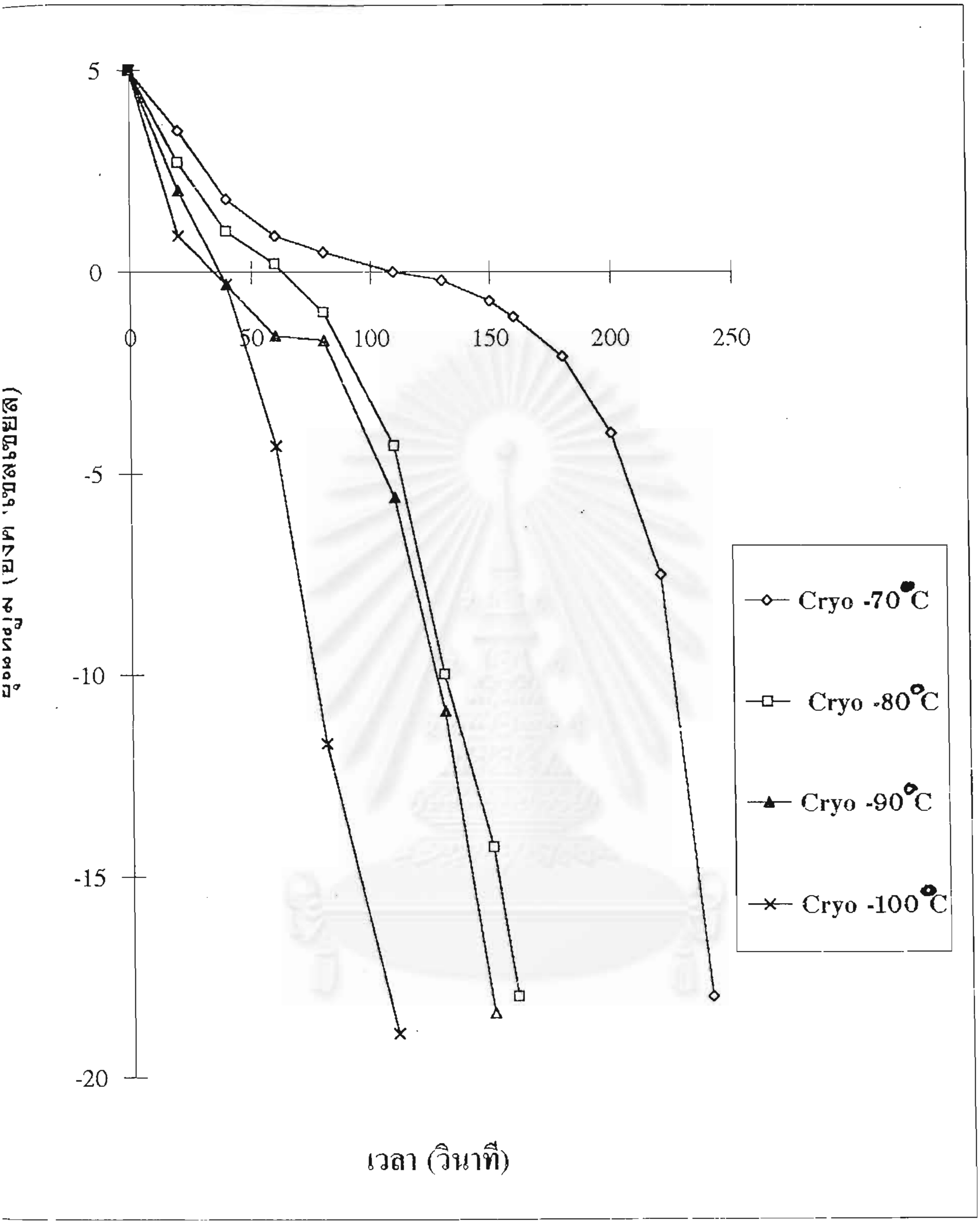
ตารางที่ 7 เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ ด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ชนิดการลวก	อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง (°C)	เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง (นาที)	อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง (cm/hr)
น้ำเดือด	-70	4.00	16.60
	-80	2.50	26.31
	-90	2.00	33.33
	-100	1.50	50.00
ไอน้ำ	-70	4.00	16.60
	-80	2.40	25.00
	-90	2.00	33.33
	-100	1.30	50.00
	Air Blast (-32)	18.20	3.29

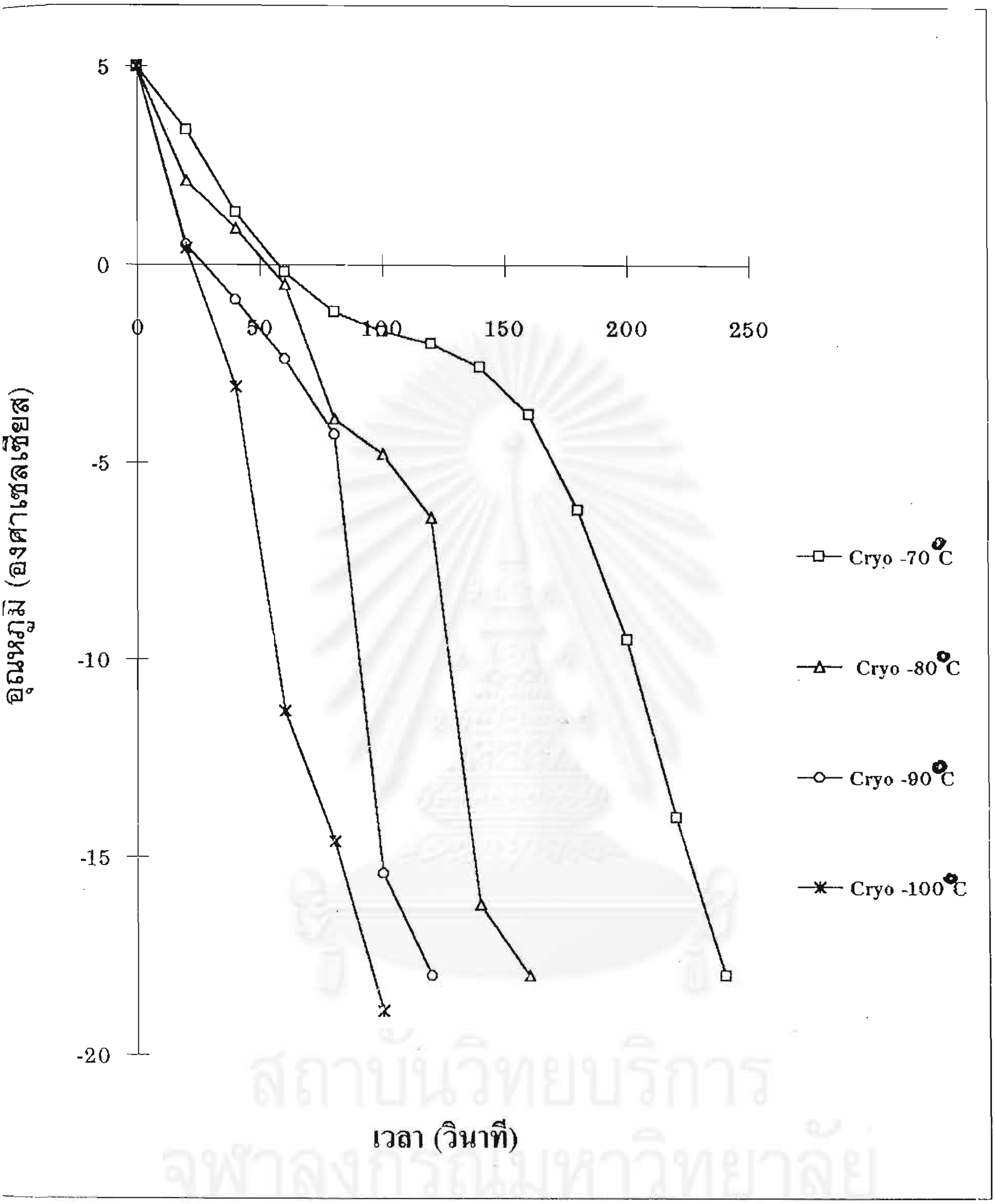
จากตารางที่ 7 พบว่าการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ด้วยไอไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิต่ำๆ จะใช้เวลาในการทำให้อุณหภูมิภายในของหอยแมลงภู่ลดลงจนถึง -18 °C น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูง โดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -100 °C จะใช้เวลาน้อยที่สุดที่จะลดอุณหภูมิ



รูปที่ 8 Freezing curve ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบลมเย็น



รูปที่ 9 Freezing curve ของหอยแมลงภู่ที่ลวกด้วยไอน้ำ ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิต่างกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 10 Freezing curve ของหอยแมลงภู่ที่ลวกด้วยน้ำเดือด ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิต่างกัน

ภายในเนื้อหอยให้ ลงมาเป็น -18 °C ส่วนการแช่เยือกแข็งที่ -70 °C จะต้องใช้เวลาในการอุณหภูมิภายในเนื้อหอยให้ ลงมาเป็น -18 °C มากที่สุด จากตารางนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่ อุณหภูมิแตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10

4.4.2 ผลการหาปริมาณไนโตรเจนเหลวที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ โดยวิธีจับเวลาในการพ่นไอไนโตรเจนเหลว จนทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อหอยแมลงภู่ลดลงเท่ากับ –18 °C (รายละเอียดในภาคผนวก ก.7)

ผลการหาปริมาณไนโตรเจนเหลวที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ ที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่แตกต่างกัน โดยวิธีจับเวลาในการพ่นไอไนโตรเจนเหลว แสดงไว้ในตารางที่8

ตารางที่ 8 เวลาที่ใช้พ่นไอไนโตรเจนเหลว ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิที่ใช่แช่เยือกแข็ง (°C)	เวลาที่ใช้พ่นไอไนโตรเจนเหลว (วินาที)
-70	23
-80	28
-90	30
-100	38

จากตารางที่ 8 เป็นการหาปริมาณของไอไนโตรเจนเหลวที่ใช้ไปในการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ กัน โดยการจับเวลารวมทั้งหมดในการพ่นไอไนโตรเจนเหลวในแต่ละครั้ง ที่พ่นเข้าสู่ระบบ ซึ่งเวลารวมทั้งหมด แสดงถึงปริมาณไอไนโตรเจนเหลวที่ใช้ไปในการลดอุณหภูมิภายในของเนื้อหอยแมลงภู่ จนถึง -18 °C พบว่าการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนที่อุณหภูมิต่ำมากๆ (-100 °C) จะใช้ปริมาณไอไนโตรเจนสูงกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่า (-70 °C) โดยการแช่เยือกแข็ง -100 °C ใช้เวลาในการพ่นนานที่สุดคือ 38 วินาที ส่วนที่อุณหภูมิ -70 °C จะใช้เวลาในการพ่นต่ำที่สุดคือ 23 วินาที

นอกจากนี้ได้ทดลองหาปริมาณของไอไนโตรเจนเหลวที่ใช้ไปต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเนื้อหอยแมลงภู่ ตามวิธีของบริษัท Bangkok industrial gas (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. 8) พบว่า การแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น ที่ 5 °C โดยลดอุณหภูมิภายในเนื้อหอยเป็น

18 °C ต้องใช้ปริมาณเป็นน้ำหนักของไอไนโตรเจนเหลว เท่ากับ 1.34 กรัมของไนโตรเจนเหลว ต่อน้ำหนักเนื้อหอย 1 กรัม

4.4.3 ผลการหา % Freezing loss, % Thawing loss และ Cutting force

ผลการหา % Freezing loss % Thawing loss และ Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ย % Freezing loss % Thawing loss และ Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ชนิดการลวก	อุณหภูมิ (°C)	Freezing loss (%)	Thawing loss^{ns} (%)	Cutting force (N)
น้ำเดือด	-70	$0.99^{a} \pm 0.14$	4.63 ± 0.31	$25.49^{d} \pm 0.25$
	-80	$0.50^{ab} \pm 0.17$	4.52 ± 0.13	$27.50^{cd} \pm 2.69$
	-90	$0.43^{ab} \pm 0.16$	4.41 ± 0.51	$33.16^{ab} \pm 1.14$
	-100	$0.32^{b} \pm 0.16$	5.53 ± 0.57	$29.65^{bcd} \pm 3.81$
ไอน้ำ	-70	$1.02^{a} \pm 0.06$	4.84 ± 0.12	$29.58^{bcd} \pm 2.59$
	-80	$0.48^{ab} \pm 0.35$	4.58 ± 0.55	$29.54^{bcd} \pm 2.26$
	-90	$0.32^{b} \pm 0.21$	4.36 ± 0.82	$36.64^{a} \pm 3.55$
	-100	$0.23^{b} \pm 0.08$	5.16 ± 0.29	$30.99^{bc} \pm 1.41$

a,b…ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Asymmetric factorial design โดยเปรียบเทียบค่า % Freezing loss % Thawing loss และ ค่า Cutting force พบว่า ชนิดของหอยลวก และอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อ % Thawing loss อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งมีผลต่อ % Freezing loss และ Cutting force อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย % Freezing loss จะลดลง ตามอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่ลดต่ำลงด้วย ส่วนค่า Cutting force จะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ยกเว้นที่อุณหภูมิ -100 °C ค่า Cutting force ลดลงต่ำกว่า ที่อุณหภูมิ -90 °C เนื่องจากตัวอย่างที่แช่เยือกแข็ง ที่ -100 °C เกิดการฉีกขาดของตัวอย่าง (Cracking) จึงทำให้ค่า Cutting force ลดลง

4.4.4 ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาท สัมผัสของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ชนิดการลวก	อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	รสชาติ^{ns}	การยอมรับรวม^{ns}
น้ำเดือด	-70	$4.83^{a}\pm1.058$	5.08±0.59	4.50±1.24	4.50±0.90	4.33±1.08
	-80	$5.00^{a}\pm1.41$	5.08±0.73	4.00±1.28	4.50±0.76	4.58±1.08
	-90	$4.42^{abc}\pm1.38$	5.25±0.57	4.00±0.79	4.16±0.71	4.16±1.08
	-100	$3.58^{c}\pm1.37$	4.91±0.85	3.58±1.57	3.91±1.26	3.75±1.46
ไอน้ำ	-70	$4.16^{abc}\pm1.16$	4.50±0.73	3.83±1.41	4.08±1.16	4.00±1.08
	-80	$4.25^{abc}\pm1.38$	4.25±0.98	3.66±0.99	4.33±1.04	4.41±1.44
	-90	$4.58^{abc}\pm1.28$	4.91±1.23	3.83±1.33	4.50±1.07	4.00±1.37
	-100	$3.75^{bc}\pm1.13$	4.50±0.67	3.50±0.83	4.41±1.11	3.91±1.11

a, b,… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูล แบบ Asymmetric factorial design พบว่าหอยที่ผ่านการลวกด้วยวิธีแตกต่างกัน และอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งไม่มีผลทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกด้านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นด้านลักษณะปรากฏ พบว่าอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้ลักษณะปรากฏมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ - 100 °C ได้รับคะแนนทางลักษณะปรากฏต่ำที่สุด ทั้งตัวอย่างที่ลวกด้วยน้ำเดือด และไอน้ำ

จากผลการทดลอง ตารางที่ 8, 9 และ 10 พบว่า หอยที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือด และอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็ง ที่ -80 °C เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำการทดลองในข้อต่อไป เนื่องจาก การแช่เยือกแข็ง ที่ -80 °C ตัวอย่างมีค่า %Freezing loss และ %Thawing lossไม่แตกต่างจากทุกตัวอย่าง รวมทั้งมีแนวโน้มได้รับคะแนนในการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงกว่าตัวอย่างอื่น นอกจากนี้ การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิยังใช้ปริมาณไอไนโตรเจนเหลวต่ำกว่า ที่ -90 และ -100 °C

4.5 ศึกษาหาความเข้มข้น และเวลาในการแช่ในสารละลาย Sodium tripolyphosphate (STP) ที่เหมาะสมสำหรับหอยแมลงภู่

4.5.1 ผลการหาปริมาณความชื้น % Weight gain และปริมาณ Phosphorus (%P_2O_5)

ผลการหาปริมาณความชื้น % Weight gain และปริมาณ Phosphorus (%P_2O_5) ของหอยที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยของ ความชื้น %Weight gain และ%P_2O_5 ของหอยแมลงภู่ที่แช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาในการแช่ที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของ STP (%)	เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย (วินาที)	ความชื้น^{ns} (%)	Weight gain (%)	P_2O_5^{ns} (%)
5	30	79.59±0.00	7.82^{bc}±0.30	0.33±0.02
	60	79.60±0.15	10.17^{a}±0.08	0.35±0.02
	90	79.59±0.50	10.30^{a}±0.00	0.36±0.01
6	30	79.64±0.10	7.06^{c}±0.03	0.36±0.01
	60	79.41±0.55	9.09^{ab}±0.35	0.37±0.01
	90	80.05±1.31	10.00^{a}±0.19	0.40±0.00
7	30	79.66±0.04	8.68^{abc}±1.65	0.39±0.01
	60	79.93±0.11	9.68^{a}±0.17	0.42±0.02
	90	79.67±0.25	10.40^{a}±0.54	0.43±0.02
Control	-	79.54±0.54	-	0.26±0.00

a,b…ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial design พบว่า ความเข้มข้นของสารละลาย STP และเวลาในการแช่ในสารละลาย STPไม่มีผลทำให้ ปริมาณความชื้น และ ปริมาณ Phosphorus แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าปริมาณ Phosphorus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น และเวลาในการแช่ ซึ่งจากการทดลองยังพบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณ Phosphorus ในรูปของ P_2O_5 ที่ตกค้างในเนื้อหอยไม่เกินตามที่มาตรฐานกำหนด คือต้องมีปริมาณ Phosphorus ตกค้าง ไม่เกิน 5,000 ppm หรือ 0.5% นอกจากนี้ พบว่าเวลาในการแช่สารละลายมากขึ้นมีผลทำให้ % Weight gain มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างหอยแมลงภู่ที่แช่ในสารละลายนาน 90 วินาที มีค่า % Weight gain เพิ่มขึ้นสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.2 ผลการหาค่า % Freezing loss %Thawing loss และค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP ที่มีความเข้มข้น และเวลาในการแช่แตกต่างกัน

ผลการหาค่า% Freezing loss % Thawing loss และค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP ที่มีความเข้มข้น และเวลาในการแช่แตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ย % Freezing loss % Thawing loss และค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่แช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาในการแช่สารละลายแตกต่างกัน ก่อนนำมาทำการแช่เยือกแข็ง ที่ -80 °C

ความเข้มข้นของ STP (%)	เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย (วินาที)	Freezing loss (%)	Thawing loss (%)	Cutting force (N)
5	30	1.50^{ab}±0.08	4.59^{b}±0.33	24.56^{c}±0.48
	60	1.06^{c}±0.00	2.12^{cd}±0.11	25.72^{bc}±2.91
	90	0.84^{c}±0.02	1.73^{d}±0.02	25.29^{bc}±1.37
6	30	1.64^{a}±0.02	4.84^{a}±0.45	24.48^{c}±1.22
	60	0.98^{c}±0.03	2.13^{cd}±0.00	26.60^{bc}±1.86
	90	1.15^{c}±0.07	2.29^{c}±0.02	28.40^{abc}±0.83
7	30	1.64^{a}±0.13	3.00^{c}±0.08	27.93^{abc}±0.43
	60	1.47^{ab}±0.04	2.02^{cd}±0.02	29.06^{ab}±0.49
	90	1.55^{a}±0.08	1.78^{cd}±0.02	31.83^{a}±0.50
Control	-	79.54±0.54	-	24.51±3.75

a,b...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial design พบว่า ความเข้มข้นของสารละลาย STP และเวลาในการแช่ในสารละลาย STP หอยแมลงภู่ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง มีผล % Freezing loss, %Thawing loss และค่า Cutting force แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่า ความเข้มข้น และเวลาในการแช่หอยแมลงภู่ ในสารละลาย STP เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า % Freezing loss และ %Thawing loss ลดลง แต่ค่า Cutting force จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดย ค่า Cutting force ของตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลาย STP จะเพิ่มสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย นอกจากนี้ยังพบว่าการเตรียมตัวอย่างโดยการแช่ในสารละลาย STP ก่อนนำไปทำการ

แช่เยือกแข็ง พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายนาน 90 วินาที จะมีค่า % Freezing loss ต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย 60 และ 30 วินาทีตามลำดับ เมื่อตัวอย่างที่เตรียมโดยการแช่ในสารละลาย STP ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว ทำการเก็บรักษาที่ -18 °C นาน 7 วันจึงนำมาทำการละลายหา % Thawing loss พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายนาน 90 วินาที จะมีค่า % Thawing loss ต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย 60 และ 30 วินาทีตามลำดับ เช่นเดียวกับ ค่า % Freezing loss

4.5.3 ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP ที่มีความเข้มข้น และเวลาในการแช่แตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่13คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง หลังจากการแช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาในการแช่สารละลายที่แตกต่างกัน และนำไปผ่านการแช่แข็งที่ -80 °C

ความเข้มข้น (%)	เวลาในการแช่สารละลาย (วินาที)	ลักษณะปรากฏ^{ns}	กลิ่น^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	รสชาติ^{ns}	การยอมรับรวม^{ns}
5	30	4.88±1.46	5.66±0.98	4.50±1.73	5.17±1.27	5.00±1.41
	60	5.68±1.07	5.92±0.67	5.08±1.56	5.25±1.41	5.16±1.28
	90	5.25±1.49	5.58±1.08	5.00±1.71	5.08±0.90	4.92±1.11
6	30	4.83±1.08	5.58±1.08	4.75±1.61	5.83±0.83	5.42±1.38
	60	4.83±1.19	5.58±1.00	5.33±1.54	5.58±0.90	5.25±1.11
	90	5.50±1.16	5.58±0.90	5.75±1.29	5.42±0.90	5.33±1.14
7	30	4.42±1.08	5.50±1.31	4.91±1.64	5.33±1.16	4.92±1.53
	60	4.83±1.36	5.33±1.23	5.50±1.53	5.50±1.36	5.00±1.29
	90	5.16±1.13	5.75±0.97	5.75±1.48	5.33±1.03	5.25±1.11

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric factorial design พบว่าความเข้มข้นและเวลาในการแช่สารละลาย STP ไม่มีผลทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกด้านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส ทางด้าน

ลักษณะปรากฏ กลิ่น และเนื้อสัมผัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้น และเวลาในการแช่หอยแมลงภู่ในสารละลาย STP เพิ่มขึ้น

จากข้อมูลในตารางที่ 11, 12 และ 13 สามารถเลือก ความเข้มข้น และ เวลาในการแช่สารละลาย STP ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองข้อต่อไปคือ ความเข้มข้นของสารละลาย STP 7% และเวลาในการแช่ที่เหมาะสมคือที่ 60 วินาที โดยพบว่าที่สภาวะนี้ ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากการแช่ในสารละลาย (Weight gain) สูง และให้ค่า % Thawing loss ต่ำ รวมทั้งได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากการแช่ที่ 90 วินาที ซึ่งทำให้สามารถลดระยะเวลาในการผลิตลงได้ รวมถึงมีปริมาณ Phosphorus ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่เกินตามมาตรฐานที่กำหนด คือ 0.5%

4.6 ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายน้ำแข็งที่มีต่อหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

นำเนื้อหอยที่ผ่านการเตรียมจากข้อ 4.5 มาทำการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast และ แบบ Cryogenic เก็บรักษานาน 7 วัน จากนั้นละลายน้ำแข็งด้วยวิธีละลายในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C และละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 °C ผลการทดลองได้ดังตารางที่ 14

4.6.1 ผลการหา % Freezing loss, % Thawing loss และค่าแรงต้านทานการตัดขาด ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยของ % Freezing loss % Thawing loss และค่า Cutting forec ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายที่แตกต่างกัน

วิธีการแช่เยือกแข็ง	วิธีการละลาย	Freezing loss (%)	Thawing loss^{ns} (%)	Cutting force^{ns} (N)
Air Blast	ละลายในตู้เย็น	2.41^{a}±0.12	0.46±0.55	26.62±0.57
	ละลายด้วยน้ำ	2.33^{a}±0.06	0.99±0.90	23.62±0.00
Cryogenic	ละลายในตู้เย็น	1.89^{b}±0.09	0.71±0.74	26.16±2.61
	ละลายด้วยน้ำ	1.75^{b}±0.03	1.29±1.19	25.39±0.01

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial design พบว่า วิธีการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายไม่มีผลทำให้ % Thawing loss และ ค่า Cutting force แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าวิธีการในการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้ % Freezing loss มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า การแช่เยือกแข็งด้วยวิธี Air Blast จะมีค่า % Freezing loss สูงกว่า หอยที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี Cryogenic

4.7 ศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

นำเนื้อหอยที่ผ่านการเตรียมจากข้อ 4.5 มาทำการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast และแบบ Cryogenic เปรียบเทียบกับหอยที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย และหอยที่ทำการเคลือบด้วยน้ำหลังทำการแช่เยือกแข็ง เก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ ผลการทดลองได้ดังตารางที่ 15

4.7.1 ผลการหา % Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยของ % Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)	วิธีการแช่เยือกแข็ง	การเตรียมตัวอย่าง	Thawing loss (%)	TBA (mg /kg)	Cutting force (N)
3	Air blast	ไม่แช่ STP	$2.69^{bc}\pm0.15$	$0.36^{c}\pm0.00$	$30.55^{abc}\pm1.32$
		แช่ใน STP	$2.35^{bcd}\pm0.88$	$0.27^{f}\pm0.02$	$30.95^{ab}\pm3.28$
		เคลือบด้วยน้ำ	$0.35^{hg}\pm0.15$	$0.23^{l}\pm0.01$	$30.81^{abc}\pm0.00$
	Cryogenic	ไม่แช่ STP	$1.03^{efgh}\pm0.02$	$0.20^{k}\pm0.00$	$28.98^{abcdef}\pm2.29$
		แช่ใน STP	$0.59^{fgh}\pm0.28$	$0.09^{m}\pm0.00$	$31.96^{a}\pm3.37$
		เคลือบด้วยน้ำ	$0.08^{h}\pm0.02$	$0.11^{l}\pm0.01$	$30.59^{abc}\pm0.07$
6	Air blast	ไม่แช่ STP	$3.05^{b}\pm0.24$	$0.41^{b}\pm0.01$	$29.34^{abcde}\pm1.22$
		แช่ใน STP	$2.13^{bcde}\pm0.00$	$0.29^{e}\pm0.00$	$29.49^{abcde}\pm0.87$
		เคลือบด้วยน้ำ	$0.37^{gh}\pm0.03$	$0.25^{g}\pm0.03$	$30.97^{ab}\pm0.12$
	Cryogenic	ไม่แช่ STP	$1.50^{def}\pm0.04$	$0.27^{f}\pm0.00$	$27.74^{cdef}\pm0.662$
		แช่ใน STP	$0.64^{fgh}\pm0.22$	$0.22^{j}\pm0.01$	$29.80^{abcd}\pm0.98$
		เคลือบด้วยน้ำ	$0.19^{h}\pm0.04$	$0.24^{h}\pm0.02$	$31.67^{a}\pm1.59$
9	Air blast	ไม่แช่ STP	$4.15^{a}\pm0.12$	$0.43^{a}\pm0.01$	$25.66^{f}\pm1.20$
		แช่ใน STP	$1.99^{bcde}\pm0.79$	$0.35^{d}\pm0.00$	$25.89^{ef}\pm0.54$
		เคลือบด้วยน้ำ	$1.41^{defg}\pm0.10$	$0.25^{g}\pm0.03$	$27.71^{bcdef}\pm0.45$
	Cryogenic	ไม่แช่ STP	$2.31^{bcd}\pm0.88$	$0.29^{e}\pm0.01$	$26.34^{def}\pm0.16$
		แช่ใน STP	$1.61^{cdef}\pm0.19$	$0.24^{h}\pm0.02$	$27.20^{cdef}\pm0.43$
		เคลือบด้วยน้ำ	$1.88^{cde}\pm1.19$	$0.22^{j}\pm0.00$	$27.86^{bcdef}\pm1.90$

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Asymmetric factorial design พบว่าอายุในการเก็บรักษา และ วิธีการเตรียมตัวอย่างก่อน และหลังการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้ค่า Thawing loss ปริมาณ TBA และ ค่า Cutting force มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า อายุในการเก็บรักษามากขึ้น ส่งผลให้ค่า TBA และ % Thawing loss เพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่ ค่า Cutting force มีค่าลดลงตามอายุการเก็บรักษา ส่วนวิธีการเตรียมพบว่า ตัวอย่างที่ แช่สารละลาย STP ก่อนการแช่เยือกแข็ง และตัวอย่างที่เคลือบน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า TBA และ % Thawing loss ต่ำกว่า และมีค่า Cutting force สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย STP นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้ ค่า TBA และ % Thawing loss ของตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วย วิธี Cryogenic จะมีค่า TBA และ % Thawing loss ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง แบบ Air Blast

4.7.2 ผลของการหา % Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของ อายุการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยของ %Thawing loss ค่า TBA และค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของ อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)	Thawing loss (%)	TBA (mg malonaldehyde/kg)	Cutting force (N)
3	$1.18^{b} \pm 1.08$	$0.21^{c} \pm 0.10$	$30.63^{a} \pm 0.99$
6	$1.31^{b} \pm 1.12$	$0.28^{b} \pm 0.06$	$29.83^{a} \pm 1.37$
9	$2.23^{a} \pm 0.99$	$0.30^{a} \pm 0.07$	$26.78^{b} \pm 0.94$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 16 พบว่าอายุการเก็บรักษามีผลทำให้ % Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย ระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทำให้ % Thawing loss และค่า TBA เพิ่มขึ้นด้วย ส่วน ค่า Cutting force ลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

4.7.3 ผลของการหา % Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของการเตรียมวัตถุดิบ ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยของ % Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาเฉพาะการเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบ	Thawing loss (%)	TBA (mg malonaldehyde/kg)	Cutting force (N)
ไม่แช่ในสารละลาย STP	2.46^{a}±1.11	0.33^{a}±0.08	26.09^{b}±1.86
แช่ในสารละลาย STP	1.55^{b}±0.76	0.25^{b}±0.08	29.21^{ab}±2.28
เคลือบด้วยน้ำ หลังการแช่เยือกแข็ง	0.72^{c}±0.74	0.22^{c}±0.05	29.37^{a}±1.70

a,b… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 17 พบว่าการเตรียมตัวอย่าง ก่อน และ หลังการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้ % Thawing loss ค่า TBA และ ค่า Cutting force มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าการเคลือบตัวอย่างด้วยน้ำ หลังการแช่เยือกแข็งสามารถลด % Thawing loss ปริมาณ TBA ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้ดีที่สุด

4.7.4 ผลของการหา % Thawing loss และ ค่า TBA ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของวิธีการแช่เยือกแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยของ % Thawing loss และค่า TBA ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาเฉพาะวิธีการแช่เยือกแข็ง

วิธีการแช่เยือกแข็ง	Thawing loss (%)	TBA (mg malonaldehyde/kg)
Air Blast	2.05^{a}±1.22	0.31^{a}±0.07
Cryogenic	1.09^{b}±0.77	0.21^{b}±0.06

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 18 พบว่า วิธีการแช่เยือกแข็งมีผลต่อ % Thawing loss และ Cutting force อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย วิธีการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic จะให้ค่า ทั้งสองต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast

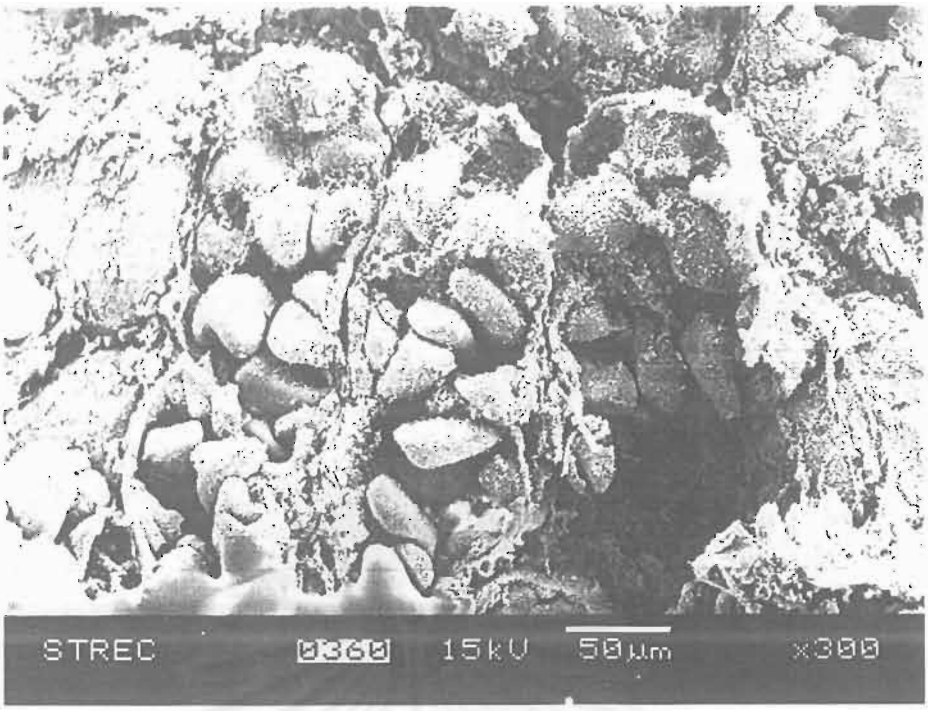
4.7.5 ผลการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และ ระยเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

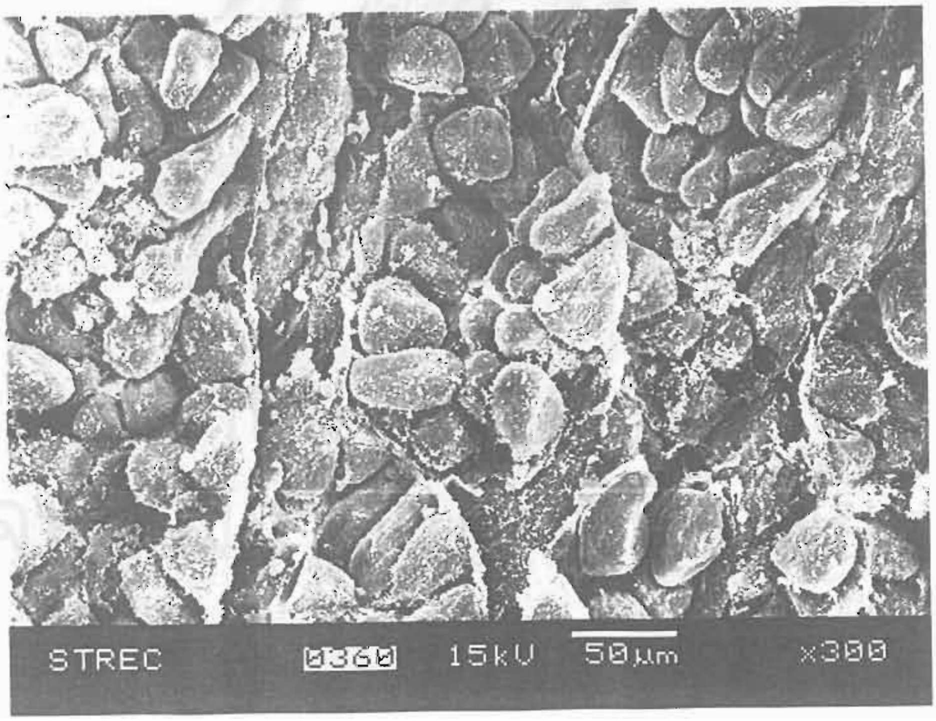
อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)	วิธีการแช่เยือกแข็ง	การเตรียม ตัวอย่าง	ปริมาณจุลินทรีย์ cfu/g
3	Air blast	ไม่แช่ สารละลาย STP	4.49×10^5
		แช่ในสารละลาย STP	3.65×10^5
		เคลือบด้วยน้ำ	3.75×10^5
	Cryogenic	ไม่แช่ สารละลาย STP	3.80×10^5
		แช่ในสารละลาย STP	3.50×10^5
		เคลือบด้วยน้ำ	3.75×10^5
6	Air blast	ไม่แช่ สารละลาย STP	4.35×10^4
		แช่ในสารละลาย STP	1.60×10^4
		เคลือบด้วยน้ำ	4.40×10^4
	Cryogenic	ไม่แช่ สารละลาย STP	1.50×10^4
		แช่ในสารละลาย STP	9.5×10^3
		เคลือบด้วยน้ำ	1.29×10^4
9	Air blast	ไม่แช่ สารละลาย STP	5.30×10^4
		แช่ในสารละลาย STP	4.30×10^4
		เคลือบด้วยน้ำ	4.65×10^4
	Cryogenic	ไม่แช่ สารละลาย STP	5.87×10^4
		แช่ในสารละลาย STP	3.15×10^4
		เคลือบด้วยน้ำ	5.01×10^4

จากตารางที่ 19 พบว่า อายุของการเก็บรักษา วิธีการเตรียมตัวอย่าง และวิธีการแช่เยือกแข็ง มีแนวโน้มทำให้ ปริมาณจุลินทรีย์ลดลง โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP แล้วนำไปทำการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อหอยต่ำกว่าวิธีอื่น และยังพบว่าปริมาณของจุลินทรีย์มีแนวโน้มที่จะลดลงตามอายุของการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่เก็บรักษา 9 สัปดาห์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า ตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 3 สัปดาห์ประมาณ 1 log cycle

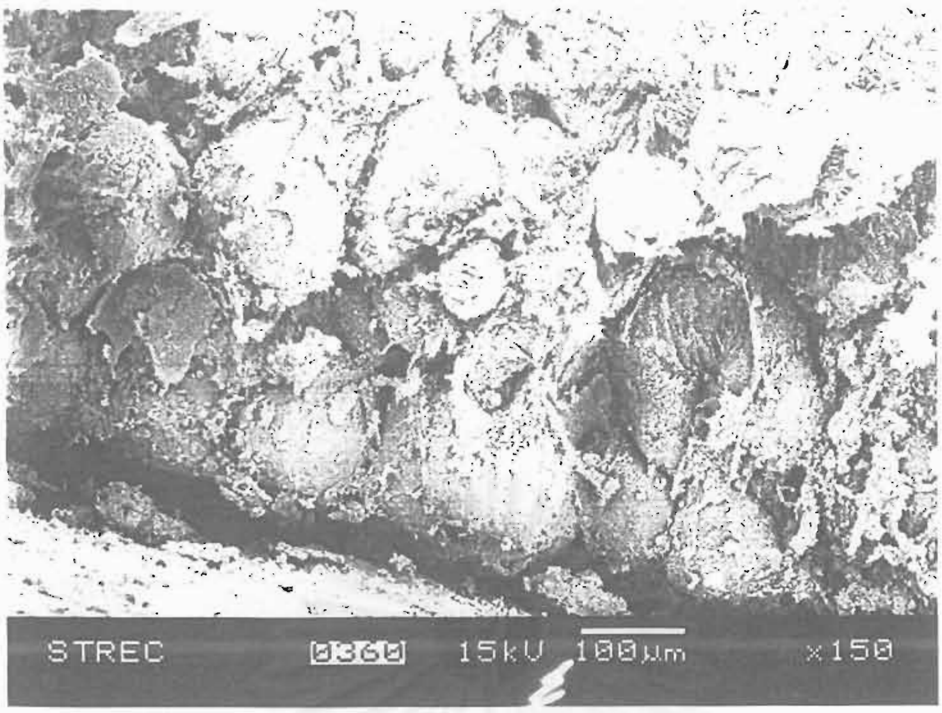
ส่วนการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ -18 °C เป็นเวลานาน 9 สัปดาห์ ด้วยกล้อง Scanning electron microscope (SEM) พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง แบบ Air blast มีช่องว่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็ง แบบ Cryogenic (รูปที่ 11 และ 12) และยังพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลาย STP ช่วยรักษาให้มัดกล้ามเนื้อของหอยแมลงภู่ไม่เกิดช่องว่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย STP และตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง (รูปที่ 13-15)


STREC
0360
15kV
50µm
x300

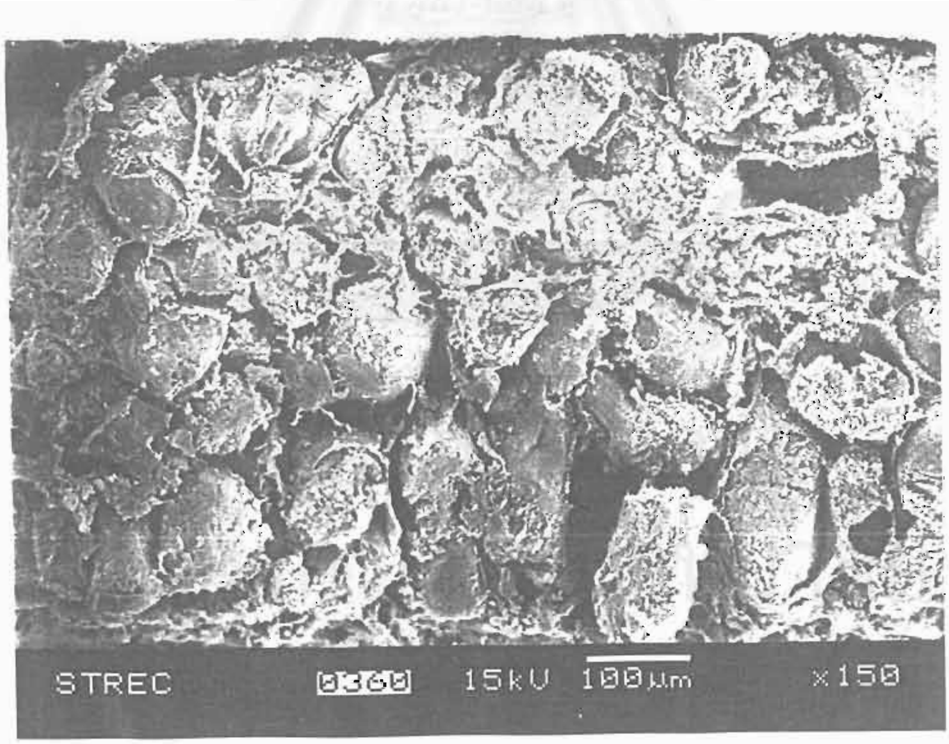
รูปที่11 โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Air blast ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 300 เท่า


STREC
0360
15kV
50µm
x300

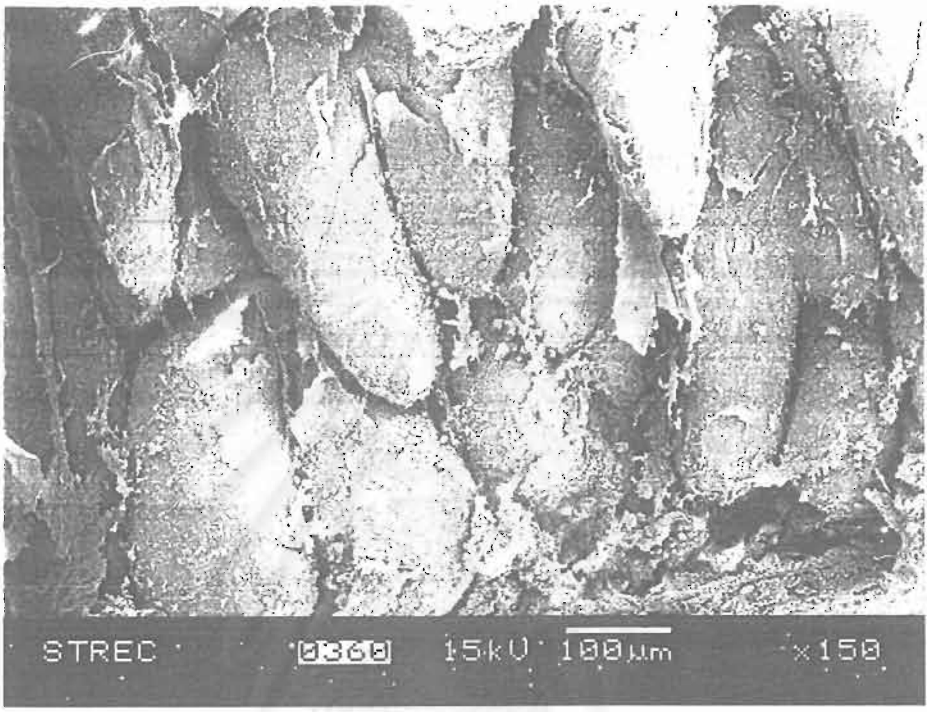
รูปที่12 โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 300 เท่า


STREC
0360
15kV
100µm
x150

รูปที่ 13 โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Air blast ที่ผ่านการแช่ใน สารละลาย STP และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 150 เท่า


STREC
0360
15kV
100µm
x150

รูปที่ 14 โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Air blast ที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำ และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 150 เท่า


STREC
0360
15kV
100µm
×150

รูปที่15 โครงสร้างเนื้อเยื่อของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP และทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ กำลังขยาย 150 เท่า

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และจุลินทรีย์ของหอยแมลงภู่สด

ขั้นตอนนี้ศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมี และจุลินทรีย์ของหอยแมลงภู่สด จากอ่าวไทยบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จากตารางที่3 พบว่าหอยแมลงภู่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก โดยในเนื้อหอยมีความชื้นสูงถึง 81.88% และมีปริมาณโปรตีน 9.82%, ปริมาณไขมันเท่ากับ 1.17% และมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 2.25% นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณของโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อร่างกายต่ำมาก ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในเนื้อหอยแมลงภู่ จากตารางที่4 พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ในระดับปานกลาง โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 2.1 X 10^3 cfu/g ,มีปริมาณของ Faecal coliforms และ *E.coli* เท่ากับ 43 MPN/g และ 15.7 MPN/g ตามลำดับและไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp, *Statphylococcus aureus* และ *Vibrio cholerae* เนื่องจากหอยแมลงภู่ที่นำมาทำการทดลองเป็นหอยที่มีชีวิตอยู่ โดยตรวจสอบจากเปลือกยังปิดสนิท และสามารถปิด-เปิดได้เมื่อสัมผัส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Brook และ Harvie (1981) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยแมลงภู่สด ระหว่างการเก็บรักษา และขนส่ง พบว่าหอยแมลงภู่เมื่อจับขึ้นจากน้ำทะเล มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่สูงมากนัก คืออยู่ในช่วงระหว่าง 2.3 X 10^2 - 3.6 X 10^3 cfu/g ของน้ำหนักหอย แต่เมื่อหอยแมลงภู่ตาย จะพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่า หอยแมลงภู่ที่นำมาทำการทดลองจัดเป็นหอยแมลงภู่ ในเขต B เนื่องจากมีปริมาณเชื้อ Faecal coliforms ระหว่าง 300-6,000 หรือมีจำนวนของ *E.coli* น้อยกว่า 4,600 MPN/100 g ของน้ำหนักหอย (กรมประมง, 2539) ซึ่งหอยที่เลี้ยงในเขตนี้ต้องนำมาทำความสะอาด (Depuration) 36 ชั่วโมง หรือนำมาให้ความร้อนก่อนการนำไปบริโภค ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการทำความสะอาดที่ 36 ชั่วโมง หอยมีอัตราการตายสูง และระบบการทำความสะอาดยังไม่สะดวก ดังนั้นในขั้นตอนต่อมาจึงศึกษาหาวิธีการ และเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับแยกเนื้อหอยออกจากเปลือก

5.2 ผลการศึกษาหาวิธีการ และเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยแมลงภู่

ขั้นตอนนี้ศึกษาวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด และไอน้ำ ร่วมกับเวลาในการลวก 5 ระดับคือ 2, 4, 6,8 และ10 นาที จากตารางที่ 5 พบว่าเวลาในการลวกมีผลต่อ ปริมาณความชื้น % Yields และโปรตีนที่ละลายในเกลือ (Salt soluble protein: sspN)ของเนื้อหอยแมลงภู่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเพิ่มเวลาในการลวกมากขึ้นทำให้ ค่าความชื้น %Yields และ sspN ลดต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มในตัวหอย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แมลงภู่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โปรตีนในมัดกล้ามเนื้อของหอยเกิดการเสียสภาพ (Denature) โดยโมเลกุลของโปรตีนจะเกิดการคลายตัวทำให้เสียคุณสมบัติต่างของโปรตีนไป รวมถึงคุณสมบัติความสามารถละลายได้ในเกลือของโปรตีน ในกลุ่ม Myosin ด้วย แต่พบว่าเมื่อเวลา ในการลวก เพิ่มขึ้นเป็น 8 และ 10 นาที ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือไม่ลดลงมากนัก เนื่องจากโปรตีนส่วนใหญ่เกิดการ Denature ไปแล้ว (Shamasunder and Prakash, 1994) ดังนั้นเมื่อ โปรตีนเกิดการ Denature ไปแล้วทำให้สมบัติในด้าน ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ลดลงด้วยเช่นกันจึงส่งผลให้มีปริมาณของน้ำที่คงอยู่ในเซลล์จึงน้อยลงด้วย รวมถึงของแข็งต่างที่อยู่ภายในกล้ามเนื้อสามารถละลายออกมากับน้ำที่สูญเสียในระหว่างการลวกที่เวลานานขึ้นจึง ส่งผลให้ค่า % Yields ลดลงตามเวลาในการลวกด้วยเช่นกัน นอกจากนี้พบว่าวิธีการลวก และเวลาในการลวกมีผลต่อค่า Cutting force อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด และเวลาในการลวกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า Cutting force เพิ่มขึ้น เนื่องจากการลวกด้วยน้ำเดือด และเวลาในการลวกนานทำให้ความร้อนที่แพร่เข้าในเนื้อหอยเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้โปรตีนในมัดกล้ามเนื้อเกิดการเสียสภาพ และเกิดการอัดตัวกันแน่นมากขึ้น ค่า Cutting force สูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Findlay และ Stanley (1984) ที่ศึกษาถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเนื้อเยื่อของหอย Scallop โดยให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในเนื้อหอยจาก 25 $^{\circ}$C เป็น 55 และ 75 $^{\circ}$C พบว่า เนื้อเยื่อเกิดการถูกทำลายมากขึ้นตามอุณหภูมิ โดยที่ 75 $^{\circ}$C มัดกล้ามเนื้อของหอยเกิดการอัดตัวกันแน่นมากกว่าที่ 55 และที่ 25 $^{\circ}$C ตามลำดับ

ส่วนผลของวิธีการลวก และเวลาในการลวกที่มีต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ลดลง จากตารางที่ 6 พบว่าเวลาในการลวก 4 นาที ทั้งการลวกด้วยน้ำเดือด และไอน้ำสามารถทำลายเชื้อ Faecal coliforms และ *E.coli* ได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ได้ 1 log cycle เนื่องจากการลวกที่ 4 นาทีทำให้อุณหภูมิภายในตัวหอยเพิ่มเป็น 84-90 $^{\circ}$C เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งสามารถทำลายเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคได้อย่างสมบูรณ์ (Chai et al, 1991)

ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ใช้ในการลวกที่ 4 นาที เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากเวลาในการลวกที่ 4 นาที ให้ค่า % Yields ที่สูง และเป็นเวลาที่สั้นที่สุดในการทำลายเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค

5.3 ผลการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่แบบไครโอจินิค

ขั้นตอนนี้ศึกษาหาชนิดของหอยที่ลวกด้วยน้ำเดือด และไอน้ำ 4 นาที ร่วมกับอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็ง 4 ระดับ -70, -80, -90 และ -100 °C ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ % Freezing loss, % Thawing loss และ ค่า Cutting force จากตารางที่ 9 พบว่าชนิดของหอยที่ผ่านการลวกต่างกัน และอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็ง ไม่มีผลทำให้ % Thawing loss แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งมีผลต่อ % Freezing loss และค่า Cutting force อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำลง (-100 °C) ให้ค่า % Freezing loss ต่ำลง เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้เกิดผลึกของน้ำแข็งอย่างรวดเร็วทำให้น้ำที่สูญเสียจากการแช่เยือกแข็งน้อยลงด้วย ส่วนค่า Cutting force พบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้ค่า Cutting force สูงขึ้นเนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว และมีขนาดเล็กกระจายตัวสม่ำเสมอในเซลล์กล้ามเนื้อ เซลล์จึงไม่เกิดการฉีกขาด เมื่อนำมาทำละลายจึงไม่สูญเสียน้ำมาก น้ำจึงอยู่ในเซลล์มากซึ่งน้ำที่อยู่ในเซลล์มากจะช่วยให้เซลล์มีความเต่งตึงสูง (Osmotic pressure สูง) เมื่อนำมาทดสอบค่า Cutting force ด้วยเครื่อง Texturometer จึงให้ค่าที่สูงกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ (Anzaldua-Morales et al, 1999) ยกเว้นตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -100 °C มีค่า Cutting force ลดลงเนื่องการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมินี้ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว น้ำแข็งจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อหอยแมลงภู่ลดลงส่งผลให้ ตัวอย่างเกิดการแตกหัก (Cracking) เมื่อนำตัวอย่างมาทำการละลาย ก็จะทำให้สูญเสียน้ำมาก ค่า Cutting force จึงลดลง

เมื่อนำตัวอย่างมาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส จากตารางที่ 10 พบว่าชนิดของหอย และอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งไม่มีผลทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน กลิ่น, เนื้อสัมผัส, รสชาติ และการยอมรับรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้ ลักษณะปรากฏแตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่ -100 °C ได้รับคะแนนในการทดสอบต่ำที่สุด เนื่องจากตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมินี้ทำให้ตัวอย่างเกิดการแตกหัก ซึ่งผู้ทดสอบสามารถตรวจสอบได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวอย่างหอยแมลงภู่ที่ลวกด้วยน้ำเดือด และแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -80 °C ได้รับคะแนนในด้านการยอมรับรวม, ลักษณะปรากฏสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างหอยที่ลวกด้วยน้ำเดือด และอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่ -80 °C เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากให้ค่า % Freezing loss, Thawing loss ที่ต่ำ และได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด

5.4 ผลการศึกษาความเข้มข้น และเวลาในการแช่สารละลาย STP ที่เหมาะสมในการแช่หอยแมลงภู่

ขั้นตอนนี้ศึกษาผลของความเข้มข้นของ STP ในระดับ 5, 6 และ 7% ร่วมกับ เวลาในการแช่สารละลาย 3 ระดับคือ 30, 60 และ 90 วินาที ที่มีต่อปริมาณความชื้น, Weight gain และ ปริมาณ Phosphorus จากตารางที่ 11 พบว่าความเข้มข้น และเวลาในการแช่ไม่มีผลทำให้ปริมาณความชื้น และปริมาณ Phosphorus แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าเวลาในการแช่มีผลทำให้ % Weight gain แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเวลาในการแช่มากขึ้น ทำให้ % Weight gain เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลาย STP เข้าสกัดโปรตีน Actomyosin ในกล้ามเนื้อทำให้ได้ Myosin ออกมาซึ่ง Myosin สามารถจับกับน้ำได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์อุ้มน้ำได้ดี (English and et al, 1988) น้ำหนักจึงเพิ่มขึ้นด้วย

จากตารางที่ 12 พบว่า ความเข้มข้น และเวลาในการแช่สารละลาย STP มีผลทำให้ % Freezing loss, % Thawing loss และ ค่า Cutting force แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น และเวลาในการแช่นานขึ้น ทำให้ % Freezing loss และ % Thawing loss ต่ำลง แต่ ค่า Cutting force สูงขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลาย STP สูงขึ้น และแช่นานขึ้น ทำให้ สารละลาย STP แพร่เข้าสู่กล้ามเนื้อมากขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับ ปริมาณ Phosphorus ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นสารละลาย STP ที่แพร่เข้าไปจะไปเพิ่มความสามารถในการจับกับน้ำของโปรตีนได้มากขึ้น จึงทำให้ % Freezing loss และ % Thawing loss ลดลงด้วย จึงส่งผลให้มีน้ำอยู่ในเซลล์มาก เมื่อนำไปทดสอบค่า Cutting force ด้วยเครื่อง Texturometer จึงมีค่า Cutting force สูงขึ้นด้วย

นำตัวอย่างมาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส จากตารางที่ 13 พบว่า ความเข้มข้น และ เวลาในการแช่สารละลาย STP ไม่มีผลทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัส ในทุกด้านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นสารละลาย STP 7% และเวลาในการแช่สารละลาย เท่ากับ 60 วินาที เพื่อนำไปทำการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากที่ความเข้มข้น และเวลาในการแช่นี้ ให้ % Freezing loss, % Thawing loss ,% Weight gain และลักษณะทางประสาทสัมผัสสูง และใช้เวลาน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ที่ 90 วินาที รวมทั้งมีปริมาณ Phosphorus ตกค้างต่ำกว่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์กำหนดไว้ ซึ่งต้องพบได้ไม่เกิน 0.5 % (Federal Register, 1979)

5.5 ผลการศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายที่มีต่อคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

ขั้นตอนนี้ศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลาย ที่มีผลต่อคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง จากตารางที่ 14 พบว่า การแช่เยือกแข็งแบบ Air blast มี % Freezing loss สูงกว่าหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ดังแสดงผลในตารางที่7 จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการลดอุณหภูมิภายในเนื้อหอยให้ลงมาเป็น -18 °C ดังนั้นโอกาสในการสูญเสียน้ำจึงมากกว่า วิธีการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ที่ทำให้น้ำในเนื้อเยื่อหอยกลายเป็นน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว (Fennema, Powrie and Marth, 1973) และพบว่าวิธีการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายไม่มีผลทำให้ ค่า % Thawing loss และค่า Cutting force แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ค่า Thawing loss มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อแช่เยือกแข็งด้วยวิธี Air blast และละลายด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง ส่วน ค่า Cutting force มีแนวโน้มลดลง เมื่อแช่เยือกแข็งด้วยวิธี Air blast และละลายด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง เนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งแบบ Air blast มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งต่ำ จึงทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อมีขนาดใหญ่ จึงทำให้เนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาดขึ้น และ เมื่อนำมาทำละลายอย่างรวดเร็วในน้ำที่อุณหภูมิห้อง จึงมีโอกาสทำให้เกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการละลายสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว ผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกระจายตัวสม่ำเสมอ เนื้อเยื่อไม่เกิดการฉีกขาด เมื่อนำมาทำละลายก็ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำน้อยกว่า (Giddings and Hill, 1978) ส่วนการละลายอย่างช้าในตู้เย็นทำให้เกิดการสูญเสียน้ำน้อยกว่าเนื่องจากน้ำที่บริเวณผิวภายนอกจะค่อยๆ ละลายซึ่งจะทำให้เนื้อเยื่อภายในสามารถดูดน้ำกลับเข้าสู่เนื้อเยื่อได้อีก เนื่องจากเนื้อเยื่อภายในที่ยังไม่ละลายจะมีความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจึงมีโอกาสแพร่เข้าสู่ภายในได้มากกว่า การละลายอย่างรวดเร็วที่น้ำอุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังพบว่าการสูญเสียน้ำเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง และการละลายสูงขึ้นมีผลทำให้ ค่า Cutting force มีแนวโน้มลดลงด้วย เนื่องจากเนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาด ส่งผลให้สูญเสียน้ำของเนื้อเยื่อมากขึ้น แรงดันออสโมติคภายในเนื้อเยื่อลดลง ความต้านทานต่อแรงที่มากดทับจึงลดต่ำลงด้วย

5.6 ผลของวิธีการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

ขั้นตอนนี้ศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง จากตารที่ 16 พบว่าอายุการเก็บรักษามีผลทำให้ % Thawing loss ปริมาณ TBA และ ค่า Cutting force แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย

อายุในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น % Thawing loss และปริมาณ TBA เพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่า Cutting force ลดลงตามอายุการเก็บรักษา เนื่องมาจากเมื่อเก็บรักษาหอยแมลงภู่นานขึ้นส่งผลให้เกิด Recrystalization ขึ้นผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ส่งผลให้เนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาดมากขึ้นเมื่อนำมาทำการละลาย จึงมีโอกาสสูญเสียน้ำเนื่องจากการทำละลายเพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้ % Thawing loss สูงขึ้นด้วย นอกจากนี้พบว่าเมื่อเนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาด เอนไซม์ และองค์ประกอบในเนื้อเยื่อ เช่น อนุมูลของโลหะ กรดไขมัน มีโอกาสในการทำปฏิกิริยากันเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้น ปริมาณ TBAซึ่งเป็นค่าแสดงการเสื่อมเสียของไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ablett และ Gould (1986) ที่ทำการเก็บรักษาหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง ที่ -12 °C และ -30 °C พบว่า การเกิดกลิ่นหืนเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา และกลิ่นหืนเกิดมากขึ้นในตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิด Recrystalization สูงกว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื้อเยื่อจึงมีการฉีกขาดสูงกว่า โอกาสที่เกิดปฏิกิริยา Oxidation สูงกว่าเช่นกัน ส่วนการลดลงของ ค่า Cutting force ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา เป็นผลต่อเนื่องมาจาก เนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาด เนื่องจาก Recrystalization รวมทั้งโปรตีนในกล้ามเนื้อเกิดการเสียสภาพมากขึ้น เมื่อนำมาทำการละลาย จึงมีการสูญเสียน้ำสูงกว่า ส่งผลให้ แรงดันออสโมติคใน เนื้อเยื่อลดลง กล้ามเนื้อจึงมีความต้านทานแรงกดทับต่ำ

จากการศึกษาหาอิทธิพลของการเตรียมวัตถุดิบ ที่มีต่อ % Thawing loss ปริมาณ TBA และค่า Cutting force ตามตารางที่ 17 พบว่า การเตรียมวัตถุดิบมีผลทำให้ค่า % Thawing loss ปริมาณ TBA และ ค่า Cutting force มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า หอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งโดยไม่แช่ในสารละลาย STP ให้ค่า % Thawing loss และ ปริมาณ TBA สูงกว่าทุกตัวอย่าง ส่วน การแช่หอยแมลงภู่ใน สารละลาย STP และการเคลือบด้วยน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง มีค่า % Thawing loss และ ปริมาณ TBA ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย STP เนื่องจาก การแช่หอยแมลงภู่ในสารละลาย STP จะทำให้โปรตีนในกล้ามเนื้อละลายออกมา และโปรตีนในกล้ามเนื้อสามารถจับกับน้ำไว้ได้มากขึ้น (Molins, 1991) เมื่อนำมาทำละลายจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำน้อยกว่า ส่วนตัวอย่างที่เคลือบด้วยน้ำเมื่อนำมาทำละลายอย่างช้าในตู้เย็น น้ำที่เคลือบด้านนอกสามารถละลายเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ รวมถึงป้องกันการสูญเสียน้ำของตัวอย่างได้ด้วย จึงทำให้ค่า % Thawing loss ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ STP นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ TBA ในตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP และ ตัวอย่างที่เคลือบด้วยน้ำมีค่า TBA ต่ำกว่า ตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลาย STP เนื่องจากการสารละลาย STP เป็นสาร Chelating agent ซึ่ง สามารถป้องกันการเกิด ปฏิกิริยา Oxidation ได้ โดยจับกับอนุมูลของโลหะหนักในเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Molins, 1991) ส่วนการเคลือบด้วยน้ำสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้โดยการเป็นฉนวนป้องกัน ออกซิเจนที่จะมาทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน

ชนิดไม่อิ่มตัวในเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่ จึงทำให้มีค่า TBA ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย STP ส่วนค่า Cutting force ของตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย STP และเคลือบด้วยน้ำ มีค่า Cutting force สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย STP เนื่องมาจากตัวอย่างที่แช่ STP และเคลือบด้วยน้ำมีค่า % Thawing loss ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย STP จึงทำให้มีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อสูงกว่า แรงดันออสโมติคจึงสูงกว่า เมื่อมีแรงกดทับเนื้อเยื่อจึงสามารถรับแรงได้สูงกว่าด้วย

จากการศึกษาอิทธิพลของวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีต่อ % Thawing loss ปริมาณ TBA และค่า Cutting force ตามตารางที่ 18 พบว่า วิธีการแช่เยือกแข็งมีผลต่อ % Thawing loss และปริมาณ TBA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีการแช่เยือกแข็ง แบบ Cryogenic ให้ค่า % Thawing loss และปริมาณ TBA ต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็ง แบบ Air blast เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast มีอัตราในการแช่เยือกแข็งต่ำ ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งอย่างช้าๆ และผลึกน้ำแข็งที่ได้จึงมีขนาดใหญ่ และมีมุมแหลม ทำให้เนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาด (Fennema, Powrie and Marth, 1973) ดังนั้นเมื่อนำมาทำการละลาย น้ำภายในเนื้อเยื่อมีโอกาสสูญเสียออกมานอกเซลล์มากขึ้น จึงพบว่า ตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วย Air Blast มีค่า % Thawing loss สูงกว่า และการแช่เยือกแข็งด้วย Air Blast นี้ เนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาด ทำให้เอนไซม์ และองค์ประกอบภายในเนื้อเยื่อมีโอกาสทำปฏิกิริยากันมากขึ้น ค่า TBA จึงเพิ่มสูงกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบโครงสร้างเนื้อเยื่อด้วย SEM รูปที่11และ 12 พบว่าเนื้อเยื่อของหอยที่แช่เยือกแข็งแบบ Air Blast มีช่องว่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อมากกว่า วิธีการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากผลึกน้ำแข็งที่ละลายออกไป จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่า วิธีการแช่เยือกแข็งมีผลต่อการฉีกขาดของเนื้อเยื่อได้

จากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ตามแสดงในตารางที่ 19 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์มีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษา โดยที่อายุการเก็บรักษาที่ 9 สัปดาห์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างที่อายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ เนื่องมาจากอายุในการเก็บรักษามากขึ้น น้ำภายในเนื้อเยื่อมีการสูญเสียไปในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้สารภายในกล้ามเนื้อมีความเข้มข้นสูงขึ้น จนทำให้ ค่า a_w ต่ำจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ รวมทั้งที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่ำ โปรตีนในเซลล์ของแบคทีเรียเกิดการเสียสภาพไป ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้เช่นกัน (Bjorn and Erla, 1976) นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างที่ แช่เยือกแข็งด้วย Cryogenic และตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย STP มีแนวโน้ม ที่จะมีปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic เนื้อเยื่อมีการฉีกขาดน้อยกว่าทำให้สภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ส่วน

การแช่ในสารละลาย STP สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากสารละลาย STP มีคุณสมบัติเป็น สารต่อต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (Antimicrobial) (Rippen et al., 1996)

จากการศึกษาโครงสร้างของมัดกล้ามเนื้อ ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง ที่ผ่านการเก็บรักษา นาน 9 สัปดาห์ ด้วยเครื่อง SEM จากรูปที่ 11-15 พบว่า การเตรียมวัตถุดิบด้วยการแช่ในสารละลาย STP ช่วยทำให้มัดกล้ามเนื้อของหอยแมลงภู่จับตัวกันได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ด้วยสารละลาย STP และตัวอย่างที่เคลือบด้วยน้ำหลังการแช่เยือกแข็ง แสดงว่าสารละลาย STP สามารถสกัด โปรตีน Myosin จากกล้ามเนื้อออกมา และ Myosin จะจับตัวกันทำให้จับตัวกันทำให้โครงสร้างของมัดกล้ามเนื้อยึดติดกัน นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้โครงสร้างของมัดกล้ามเนื้อเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในรูปที่ 11-12 โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast มีขนาดของช่องว่างของมัดกล้ามเนื้อมากกว่า ตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบ Air Blast ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ และอยู่ภายนอกเซลล์ ดังนั้นเมื่อนำมาทำละลายจึงเกิดช่องว่างของมัดกล้ามเนื้อที่ใหญ่กว่า

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

การศึกษากระบวนการผลิตหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งแบบ ลมเย็น และไครโอจินิค พบว่า วัตถุดิบเริ่มต้นคือหอยแมลงภู่ที่นำมาทำการทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ในระดับ B ซึ่งวิธีการ และเวลาในการลวกที่เหมาะสมแยกเนื้อหอยแมลงภู่ออกจากเปลือก และสามารถให้ % Yields สูง และไม่ทำลายโปรตีนในเนื้อหอยมากนัก รวมทั้งทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้อย่างสมบูรณ์ คือ การใช้ระยะเวลาในการลวกที่ 4 นาที และการลวกด้วยน้ำเดือด เมื่อนำเนื้อหอยแมลงภู่ที่แยกได้ มาทำการหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง แบบลมเย็น และแบบ ไครโอจินิค พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น ใช้เวลาที่ลดอุณหภูมิภายในเนื้อหอยลงเป็น -18 °C เท่ากับ 18 นาที 20 วินาที และมีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 3.29 cm/hr ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิค พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่แบบไครโอจินิค คือ -80 °C ซึ่งใช้เวลาที่ลดอุณหภูมิภายในเนื้อหอยลงเป็น -18 °C เท่ากับ 2 นาที 30 วินาที และมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 26.31 cm/hr ส่วนวิธีการเตรียมหอยแมลงภู่ก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยการแช่ ด้วยสารละลาย STP พบว่า ความเข้มข้นของสารละลาย STP และเวลาในการแช่ที่เหมาะสมคือ สารละลายที่มีความเข้มข้น เท่ากับ 7% และเวลาในการแช่ 60 วินาที นอกจากนี้พบว่าวิธีการแช่เยือกแข็ง แบบลมเย็น และแบบไครโอจินิค รวมถึงวิธีการละลายหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีละลายในตู้เย็น และละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลทำให้คุณภาพด้าน % Thawing loss และ Cutting force แตกต่างกันแต่การละลายในตู้เย็นมีแนวโน้มที่ จะมีค่า% Thawing loss ต่ำกว่า และมีค่า Cutting force สูงกว่า แต่วิธีการแช่เยือกแข็งมีผลต่อ % Freezing loss โดยการแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอจินิค มีค่า Freezing loss ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น และยังพบว่าวิธีการแช่เยือกแข็ง การเตรียมวัตถุดิบก่อน และหลังการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง โดย อายุการเก็บรักษา และวิธีการเตรียมวัตถุดิบมีผลต่อคุณภาพด้าน % Thawing loss ปริมาณTBA และค่า Cutting force รวมทั้งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทำให้ค่า Thawing loss และปริมาณ TBA เพิ่มขึ้น แต่ค่า Cutting force และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าลดลง ส่วน การแช่หอยแมลงภู่ในสารละลาย STP และ การเคลือบด้วยน้ำหลังการแช่เยือกแข็งสามารถป้องกัน และลดการเกิด % Thawing loss และปริมาณ TBA ที่เกิดขึ้นได้ สำหรับวิธีการแช่เยือกแข็งพบว่าการแช่เยือกแข็งแบบ ไครโอจินิค สามารถป้องกันการเกิด Thawing loss และลดปริมาณ TBA ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเก็บรักษาได้ดีกว่าการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น

ข้อเสนอแนะ

1. วัตถุดิบคือหอยแมลงภู่มีความแตกต่างตามฤดูกาล ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และ จุลินทรีย์ รวมทั้งปริมาณของผลผลิตแต่ละฤดูกาล เพื่อที่จะควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอ
2. การทดลองนี้ควบคุมขนาดของหอยแมลงภู่ เนื่องจากป้องกันความแปรปรวนของข้อมูล แต่ในทางการค้าหอยแมลงภู่ที่มาในแต่ละครั้งมีขนาดแตกต่างกันมาก ดังนั้นการศึกษาถึง ขนาดของหอยแมลงภู่ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตควรได้รับการศึกษาต่อไป
3. การศึกษาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งควรได้รับการศึกษาต่อไป
4. น้ำที่เหลือในการลวกหอย ซึ่งปกติจะทำการทิ้งก่อให้เกิดมลภาวะ ดังนั้นควรนำน้ำทิ้งนี้มาใช้ให้ คุ้มค่าที่สุด เนื่องจากน้ำทิ้งนี้ประกอบด้วย โปรตีนที่ละลายออกมาจากเนื้อหอย รวมทั้งสารที่ให้กลิ่นรสเฉพาะตัวของหอย จึงสามารถนำมาทำเป็นสารให้กลิ่นรสได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมประมง. 2539. ทำความสะอาดหอยสองฝาเพื่อการส่งออก และบริโภคอย่างปลอดภัย. ข่าวกรมประมง. 16 (มกราคม-กุมภาพันธ์) : 5-7.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2๕35. การประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยา และข้อกำหนดมาตรฐานอาหารแช่แข็งเพื่อการส่งออก. 11-15 พฤษภาคม ณ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ยศเส.

กองวิเคราะห์อาหาร. 2516. ตารางส่วนประกอบของอาหารพื้นบ้านไทย. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 16(1-2) :47-49

จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร และสุเมธ สุพิชญางกูร. 2533. การเก็บรักษา และการขนส่งหอยแมลงภู่มีชีวิต. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี. กรมประมง. กรุงเทพมหานคร.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์. 2527. การทดลองเลี้ยงหอยแมลงภู่โดยเชือกแขวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุปผา ยงชัยชาญ. 2531. การศึกษาต้นทุน และผลตอบแทนจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่ในเขตชายฝั่งภาคตะวันออกของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัญชีมหาบัณฑิต ภาควิชาการบัญชี คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงพัฒน์ บุญชูวงศ์. 2530. การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจการแปรรูปหอยแมลงภู่ในจังหวัดฉะเชิงเทราและเพชรบุรี ปี 2527/28. ฝ่ายวิจัยเศรษฐกิจการประมง. กรมประมง. กรุงเทพมหานคร.

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

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร. กรุงเทพมหานคร: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรืองไร โตกฤษณะ. 2528. หอยแมลงภู่การผลิตและการตลาด. วารสารประมงไทย. ฉบับที่ 1 สิงหาคม.

วันทนา อยู่สุข. 2528. หอยทะเล. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สกล กาญจนรังษี และ กอบกิตต์ ฐิตวัฒนกุล. รายงานการศึกษาภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งในภาคใต้. ศูนย์เศรษฐกิจอุตสาหกรรมภาคใต้ กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม.

สถิติการประมง, ฝ่าย. 2536. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย. กองนโยบายและแผนงาน. กรมประมง. กรุงเทพมหานคร.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2536. การใช้ฟอสเฟตในอาหารทะเล. อาหาร. 23(1) : 7-12.

สุมาลี เหลืองสกุล. 2539. คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหาร. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ชัยเจริญ.

ภาษาอังกฤษ

Ablett, R. F., and Gould, S. P. 1986. A Comparison of the Sensory Quality and Oxidative Rancidity Status of Frozen-Cooked Musses (*Mytilus edulis*). J. Food Sci. 51 : 809-811.

Anzaldua-Morales, A., Brusewitz, G.H., and Anderson, J.A. 1999. Pecan Texture as Affected by Freezing Rates Storage Temperature, and Thawing Rates. J. Food Sci. 64 : 332-335.

Association of Official Analytical Chemists. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed Washington, D.C.

Bjom, D., and Erla, S. 1976. A Comparative Study of Freezing Qualities of Seafood Obtained by Using Different Freezing Methods. J. Food Sci. 41 : 1165-1167.

Boegh-Soerensen, L., and Jul, M. 1985. Microbiology of Frozen Foods. London : Elsevier Applied Science Publisher.

Brook, J. D., and Harvie, R. E. 1981. Quality Changes During Storage of The Green-Lipped Mussel (*Perna canaliculus*). Food Tech in Australia. 33(10) : 490-495.

Chai, T., Liang, K. T., Pace, J., and Schlimme, D. V. 1991. Effect of Heat Processing on Quality of Pasteurized Oysters. J. Food Sci. 56 : 1292-1294.

Chen, Y. L., and Pan, B. S. 1997. Morphological Changes in Tilapia Muscle Following Freezing by Airblast and Liquid Nitrogen Methods. J. Int. J. Food Sci. 32: 159-168.

Chin, T. F. 1977. Influence of Sex Size and Tripolyphosphate Treatment on The Shelf life of Summer Season Freshwater Drum (*Aplodinotus grunniens*) Fillets. Diss. Abstr. Int. 38(5): 2106

English, P. M., Gerdes, D. L., Finerty, M. W., and Grodner, R. M. 1988. Effects of Tripolyphosphate Dips on the Quality of Thermally Processed Mallet (*Mugil cephalus*). J. Food Sci. 53(5): 1319-1321.

Federal Register. 1979. Nutrition Labeling Provided by FDA for The 20 Most Frequently Consumed Fish, VIII. 57(45): 8175. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.

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

Finlay, C.J., and Stanley, D.W. 1984. Texture-Structure Relationships in Scallop. J.Texture Studies. 15 : 75-85.

Flick, G. J., and Martin, R. E. 1992. Advances in Seafood Biochemistry Composition and Quality. Pensylvania: Technomic Publishing.

Giddings, G. G., and Hill, L. H. 1978. Relationship of Freezing Preservation Parameters to Texture-Related Structural Damage to Thermally Processed Crustacean Muscle. Food Proc. Preserve. 2 : 249-264.

Haymon, L. W., Brotsky, E., Danner, W. E., Everson, C. W., and Hammes, P. A. 1976. Frozen Cooked Meat Antioxidant: Improved Action of Sodium Tripolyphosphate With Lemon Juice Concentrate. J. Food Sci. 41: 417-420.

Heldman, D. R., and Singh, P. R. 1981. Food Process Engineering, 2d ed. New York: Chapman & Hall.

Holland, C. R., Otterbum, M.S.,and Mccommiskey, P. 1983. Froth Flotation as A Means of Protein Extraction from Mussels. J. Food Technol. 18: 195-205.

IIR. 1972. Recommendations for the Processing and Handling of Frozen and Foods. International Institute of Refrigeration Paris.

Jadhav, M. G., and Magar, N. G. 1970. Preservation of Fish by Freezing and Glazing. Fish Technol. 7: 158.

Jame, C. S. 1995. Analytical Chemistry of Foods. Glasgow : Blackie Academic and Professional.

Korobkina, G. S., Danilova, E. N., and Kalinina, N. N. 1969. Effect of Processing on The Food Value of Mussel. Nutr. Abstr. 40(2) : No2384.

Mallet, C. P. 1993. Frozen Food Technology. Glasgow : Blackie Academic and Professional.

Mishra, M., and Srikar, L. N. 1989. Shelf Life of Frozen Stored Clam (*Meretrix casta*) Meat. Food Sci. Technol. 26(4) : 201-204.

Miwa, K., and Yong, L. M. 1992. Laboratory Manaul on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products. Marine Fisheries Research Department. Southeast Asian Fisheries Development Center. Singapore.

Molins, R. A. 1991. Phosphates in Food. Boston : CRC Press.

Nelson, R. W. 1963. Storage Life of Individually Frozen Pacific Oyster Meats Glazed With Plain Water or With Solution of Ascorbic Acid or Corn Syrup Solids. Commercial Fisheries Review. 25(4): 1-4.

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

Rippen, T. E., Sutton, H. C., Laecey, P. F., Fisher, R. A., and Dupaul, W. D. 1996. Functional, Microbial and Sensory Changes in Ice-Stored Sea Scallops Treated with Sodium Tripolyphosphate. J. Muscle Foods. 7(1) : 93-108.

Sangrungruang, K., Sahavacharin, S., and Ramanudom, J. 1989. Depuration of Some Economically Important Bivalves in Thailand. Asean Food Journal. 4(3) : 101-106

Shamasunder, B. A., and Prakash, V. 1994. Effect of Blanching on Frozen Storage of Prawn (*Metapenaeus dobsoni*) : Physicochemical and Functional Properties. J. Agric. Food Chem. 42(1) : 185-189.

Sinnhuber, R. O., Yu, T. C., and Chang, Y. T. 1958. Characterisation of the Red Pigment Formed in the 2- Thiobarbituric Acid Determination of Oxidative Rancidity. Food Research. 22: 267.

Tenhet, V., Finne, G., Nickelson, R., and Toloday. D. 1981. Phosphorus Levels in Peeled and Deveined Shrimp Treated with Sodium Tripolyphosphate. J. Food Sci. 46 : 350-352.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก.1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มได้จากการแช่สารละลาย (% Weight gain)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของหอยก่อนแช่สารละลาย STP บันทึกค่าที่ได้ (M_1)
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของหอยหลังการแช่สารละลาย STP บันทึกค่าที่ได้ (M_2)

วิธีคำนวณ

% Weight gain = ($M_2 - M_1$) x 100 / M_1

ก.2 การหาค่า % Freezing loss ของหอยเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของหอยก่อนแช่เยือกแข็ง บันทึกค่าที่ได้ (M_3)
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของหอยหลังการแช่เยือกแข็ง บันทึกค่าที่ได้ (M_4)

วิธีคำนวณ

% Freezing loss = ($M_3 - M_4$) x 100 / M_3

ก.3 การหาค่า % Thawing loss ของหอยเนื่องจากการละลาย

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของหอยก่อนการละลาย บันทึกค่าที่ได้ (M_7)
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของหอยหลังการละลาย บันทึกค่าที่ได้ (M_8)

วิธีคำนวณ

% Thawing loss = ($M_7 - M_8$) x 100 /M_7

ก.4 การวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texturometer (Texture analyzer, TA: XT2I)

วิธีทดลอง

1. ทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texturometer โดยใช้ใบมีดหัวตัด (Blade set with knife)
2. ทำการ Calibrate force ด้วยตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม
3. ปรับความเร็วการเคลื่อนที่ของ Load cell เป็น Pre-speed 2 mm/sec , Speed test 2 mm/sec และ Post speed 10 mm/sec
4. วางตัวอย่างบนแท่นวาง ให้ตัวอย่างอยู่ตรงกลางแท่น

5. กดปุ่ม Run a test เพื่อเลื่อนใบมีดลงมาที่ตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างขาดจากกัน ได้กราฟดังรูปที่ 16

ค่าแรงสูงสุดที่อ่านได้จาก Curve ค่าแรกคือ ค่า Cutting force (N) ของหอย

ก.5 การหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง

ควบคุมอุณหภูมิภายในเนื้อหอยแมลงภู่เริ่มต้นให้อยู่ที่ 5 °C จากนั้นชั่งหอยแมลงภู่ 100 ลงในถาดอลูมิเนียม แทง Thermometer เข้าที่ส่วนที่หนาที่สุดของตัวหอย คือ บริเวณส่วนที่เป็น Head จนถึงกึ่งกลางของตัวหอย

- การแช่เยือกแข็งแบบ Air blast

ลดอุณหภูมิ ภายในตัวเครื่องให้ถึง –32 °C ความเร็วลม 4 M / Sec จากนั้นจึงนำถาดที่บรรจุหอย น้ำหนัก 100 กรัม วางบนตะแกรงภายในเครื่อง เริ่มบันทึกอุณหภูมิภายในตัวหอยทันที บันทึกเวลาที่ใช้ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นจนอุณหภูมิสุดท้ายเป็น –18 °C

- การแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic

ลดอุณหภูมิภายใน Chamber ให้อยู่ระหว่าง –20 °C ถึง –25 °C ก่อนที่จะใส่ตัวอย่าง จากนั้นจึงวางถาดที่บรรจุหอย น้ำหนัก 100 กรัม ลงบนตะแกรง ใน Chamber จากนั้นเริ่มพ่นไอไนโตรเจน ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ บันทึกเวลาที่ใช้ตั้งแต่อุณหภูมิที่ตั้งไว้ บันทึกเวลาที่ใช้ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นจนอุณหภูมิสุดท้ายเป็น –18 °C

หมายเหตุ วิธีการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic จำเป็นต้องควบคุมความดันให้สม่ำเสมอทุกครั้งที่ทำการทดลอง เนื่องจากความดันมีผลต่ออัตราการพ่นไอไนโตรเจน เข้าสู่ Chamber ด้วย

ก.6 หาอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง

วัดระยะทางจากผิวหน้าของตัวหอย จนถึงจุดกึ่งกลางของตัวหอย หน่วยเป็น เซนติเมตร นำมาหารด้วยเวลาที่ใช้ไปในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่ จนอุณหภูมิ ภายในถึง -18 °C ซึ่งมีหน่วยเป็นชั่วโมง ดังสมการด้านล่างนี้

$$\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{ระยะทางจากผิวหน้าถึงจุดกึ่งกลาง (cm)}}{\text{เวลาที่ใช้ไปในการแช่เยือกแข็ง (hr)}}$$

ก.7 ปริมาณการใช้ Liquid nitrogen เมื่อใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่างกัน

หาปริมาณการใช้ Liquid nitrogen เมื่อแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้

1. ใช้ตัวอย่างหอย 40 ตัว ใส่ใน Chamber ของเครื่อง Cryo-test Chamber
2. เปิดสวิตซ์เครื่องและเปิดวาล์วที่ถัง Liquid nitrogen ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการ

3. กดปุ่ม Start เพื่อพ่น (Feed) Liquid nitrogen เข้าสู่ Chamber จับเวลาของการพ่น Liquid nitrogen จนอุณหภูมิใน chamber ถึงจุดที่ตั้งไว้ บันทึกเวลา (t_1)
4. นับจำนวนครั้งของการพ่น liquid nitrogen (N) และเวลาการพ่น Liquid nitrogen ต่อครั้ง (t_2) จนครบเวลาที่ตั้งไว้ คือ ที่อุณหภูมิ –50 องศาเซลเซียส เวลา 19 นาที 20 วินาที , -60 องศาเซลเซียส เวลา 12 นาที 50 วินาที , -70 องศาเซลเซียส เวลา 11 นาที 40 วินาที และ –80 องศาเซลเซียสเวลา 90 นาที 55 วินาที
5. คำนวณเวลาทั้งหมดของการพ่น Liquid nitrogen ตลอดการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมินั้น (T) หน่วยเป็นวินาที ดังนี้

$$T = t_1 + N (t_2)$$

ก.8 การหาค่า Liquid nitrogen ที่ใช้ในการเยือกแข็งหอย

ตามวิธีของบริษัท BIG (Bangkok Industrial Gas Co., Ltd.)

Calorimetry เป็นกรรมวิธีในการวิเคราะห์อุณหภูมิโดยการวัดพลังงานในรูปของความร้อน โดยมีหลักการคือ วัดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุที่ใช้ทดสอบกับวัตถุอ้างอิง ซึ่ง Calorimetry โดย Liquid nitrogen นี้ จะวัดค่าน้ำหนักของ Liquid nitrogen ที่ใช้ไปในการทำให้วัตถุที่ทดสอบมีอุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของ Liquid nitrogen (-320° F) ซึ่งในที่นี้ถือว่าเป็นวัตถุอ้างอิง จุดประสงค์ที่แท้จริงของ Calorimetry lab คือการหาปริมาณการใช้ Liquid nitrogen ในการแช่เยือกแข็งอาหารจากอุณหภูมิหนึ่งมาสู่อุณหภูมิที่ต้องการ

อุปกรณ์

- ตาชั่งดิจิตอลสำหรับชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง (ความละเอียด 0.00 กรัม)
- ตาชั่งดิจิตอลสำหรับชั่งน้ำหนักของ Liquid nitrogen ที่ใช้ (ความละเอียด 0.00 กรัม)
- นาฬิกาจับเวลา
- ภาชนะหุ้มฉนวนสำหรับบรรจุ Liquid nitrogen (ถัง Dewar)

วิธีการทดลอง

1. เติม Liquid nitrogen ลงในถัง Dewar และปล่อยให้สมดุลระยะเวลาหนึ่ง
2. ชั่งน้ำหนักถัง Dewar บนตาชั่งอันใหญ่ เริ่มจับเวลา บันทึกค่าน้ำหนักลงในแถวของ a ของ Calorimetry data sheet (ตารางที่ 20)
3. เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที บันทึกค่าน้ำหนักลงในแถว b
3. หลังจากบันทึกค่าตามข้อ 3 แล้ว ให้นำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบหย่อนลงใน Dewar

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. อย่างทันทีทันใด (ชิ้นงานตัวอย่างจะต้องผ่านการชั่งน้ำหนักและบันทึกผลลงในข้อ 1) การหย่อนชิ้นตัวอย่างลงในถัง Dewar จะต้องทำอย่างระมัดระวังป้องกันการกระเด็นของ liquid nitrogen ในถัง Dewar
5. ชิ้นตัวอย่างที่ถูกหย่อนลงในถัง Dewar จะเป็นผลให้ liquid nitrogen ในถัง Dewar เกิดการเดือดอย่างรุนแรงระยะหนึ่งปฏิกิริยาจึงสิ้นสุดลง การสิ้นสุดของปฏิกิริยาสังเกตได้จาก Liquid nitrogen หยุดเดือดและผิวหน้าของ liquid nitrogen จะหยุดเดือดและผิวหน้าของ Liquid nitrogen จะเรียบ บันทึกน้ำหนักอีกครั้งลงในแถว c
6. หลังจากนั้นอีก 1 นาที บันทึกค่าน้ำหนักอีกครั้งลงในแถว d
7. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-6 อีกครั้ง บันทึกลงในช่องที่ 2

การคำนวณ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาคำนวณหาค่าที่ต้องการได้ดังนี้

1. Net sample weight หาได้จากการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างก่อนหย่อนลงในถัง Dewar
2. Initial scale reading เป็นค่าน้ำหนักของ Liquid nitrogen ณ จุดที่กำลังจะหย่อนชิ้นตัวอย่าง ซึ่งก็คือ ค่าที่บันทึกในแถว b
3. Calculate total initial weight เป็นค่าน้ำหนักของ Liquid nitrogen รวมกับชิ้นตัวอย่างก่อนเกิดปฏิกิริยา ซึ่งคือค่าในข้อ 1 บวก ข้อ 2
4. Final scale reading เป็นค่าน้ำหนักของ Liquid nitrogen รวมกับชิ้นตัวอย่างที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ซึ่งคือ ค่าที่บันทึกในแถว c
5. Gross liq boil off จากข้อ 5 และ ข้อ 6 ทำให้สามารถหาค่าน้ำหนัก Liquid nitrogen ที่ใช้ในการทำให้ชิ้นตัวอย่างมีค่า อุณหภูมิหนึ่งลดลงเท่ากับอุณหภูมิของ Liquid nitrogen หรือค่าน้ำหนักของ Liquid nitrogen ที่ใช้เกิดปฏิกิริยา หาได้จากการนำค่าในข้อ 3 ลบข้อ 4
6. Heat leak ในการดำเนินปฏิกิริยานั้น Liquid nitrogen ส่วนหนึ่งถูกใช้ในการทำให้ชิ้นตัวอย่างมีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิของ Liquid nitrogen นอกจากนี้ยังมี Liquid nitrogen อีกส่วนหนึ่งซึ่งจะต้องสูญเสียไปตลอดเวลาไม่ว่าปฏิกิริยาจะดำเนินไปหรือไม่ก็ตาม เรียกว่า Steady state losses ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$[\ ((a-b)+(c-d))/2\ ]\times(c-d)\ ]$$

กรัม กรัม นาที

7. Net liquid boil off จากข้อ 5 และข้อ 6 ทำให้สามารถชั่งน้ำหนัก Liquid nitrogen ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแช่เยือกแข็งคือ ค่าในข้อ 5 ลบข้อ 6

8. สุดท้ายจะสามารถหาปริมาณ Liquid nitrogen ที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งชิ้นตัวอย่าง จากอุณหภูมิหนึ่งลงมายังอุณหภูมิหนึ่งของ Liquid nitrogen ได้ในหน่วยของ unit liq / unit product โดยนำค่าในข้อ 7 / ข้อ 1 ค่าในข้อ 8 เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างที่อุณหภูมิหนึ่งลงมาที่อุณหภูมิของ Liquid nitrogen แต่ในสภาพการผลิตจริงเรา ต้องการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์จากที่อุณหภูมิหนึ่ง (Inlet temperature) ลงมาสู่อุณหภูมิที่ต้องการ (Outlet temperature) ไม่ใช่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว ดังนั้นในการทดลองจริงจะต้องทำการทดลองดังนี้

- จาก Inlet temperature ลงมาสู่อุณหภูมิของ Liquid nitrogen 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
- จาก Outlet temperature ลงมาสู่อุณหภูมิของ Liquid nitrogen 2 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ในข้อ 8 ของทั้ง 2 ส่วนมาลบกันจะได้ Differential consumption ซึ่งก็คือค่าของ Liquid nitrogenที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์จาก Inlet temperature ลงมาสู่ Oulet temperature ที่ต้องการ

9. หาปริมาณความร้อนที่ถูก remove ออกได้โดยคูณกับค่าความร้อนของการกลายเป็นไอของ ไนโตรเจน (diff. Consump. X 85.5 Btu/lb.) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 20

หมายเหตุ หลักของ Calorimetry lab ก็คือ การใช้อุณหภูมิของ Liquid nitrogen เป็นอุณหภูมิอ้างอิงซึ่งเราจะไม่สามารถทำการทดลองที่จะหาค่า Liquid nitroge ที่ใช้ในการเยือกแข็งผลิตภัณฑ์จาก inlet temperature ลงมาสู่อุณหภูมิของ Outlet temperature ที่ต้องการในการทดลอง

ก. 9 **การตรวจสอบโครงสร้างเนื้อเยื่อด้วย** SEM (Scanning electron microscopy)

(Finland and Stanley , 1984)

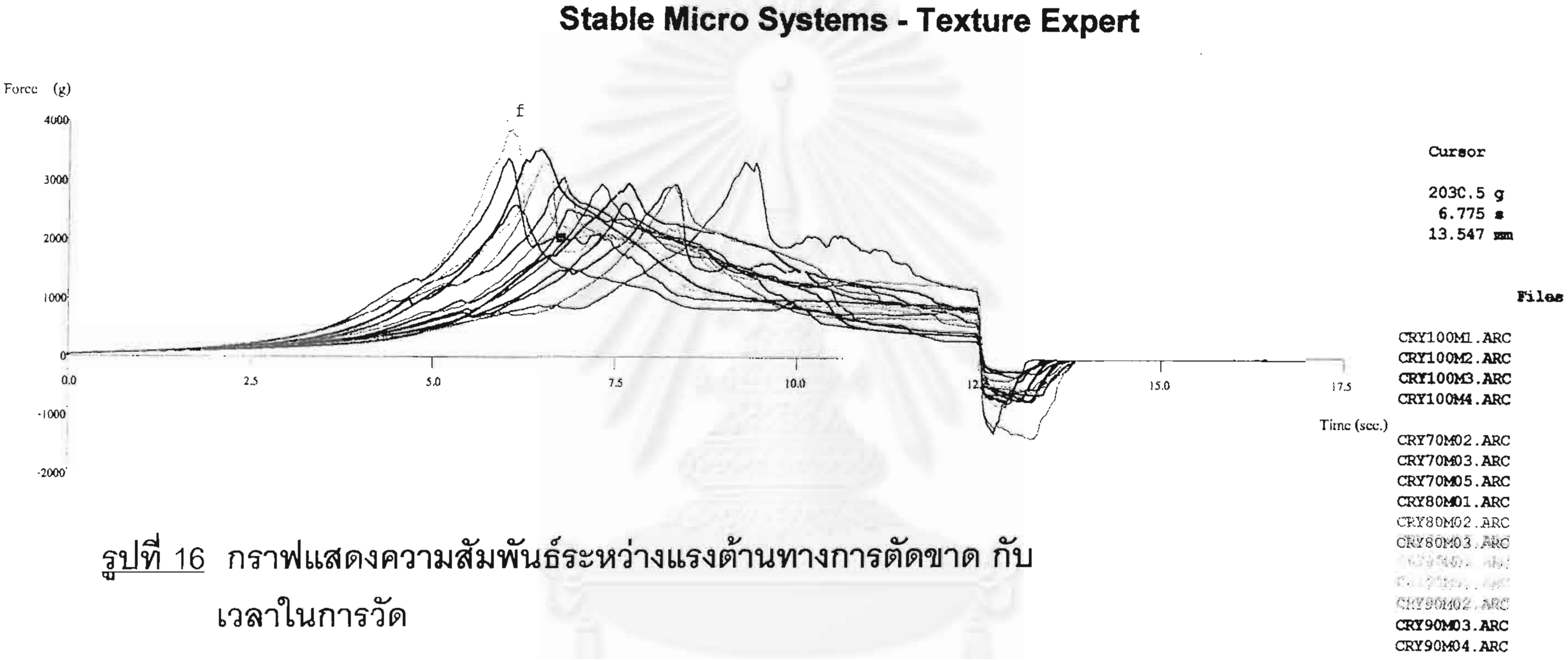
เครื่องมือ

Scanning electron microscope Jeol , JSM-35

วิธีทดลอง

1. ตัดผลิตภัณฑ์ ขนาด 3x3 mm
2. แช่ชิ้นตัวอย่างใน Glutaraldehyde 2.5 % ที่อยู่ใน 0.1 M pH 7.0 และตรงเนื้อเยื่อด้วย Osmium Tetronide
3. กำจัดน้ำออกด้วยเครื่อง Critical point dryer (CPD)
4. นำเนื้อเยื่อไปฉาบทองด้วยเครื่อง Ion Sputter
5. นำชิ้นเนื้อเข้าเครื่อง Scaning electron microscopy
6. ตรวจสอบโครงสร้างเนื้อเยื่อที่กำลังขยายต่าง ๆ

หมายเหตุ การเตรียมชิ้นเนื้อเยื่อด้วยการหักก่อนนำไปฉาบทอง จะให้โครงสร้างเนื้อเยื่อที่ใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อที่แท้จริงมากกว่าการตัดเนื้อเยื่อด้วยมีด



รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทางการตัดขาด กับเวลาในการวัด

ตารางที่ 20 ตารางแสดงการหาปริมาณไอไนโตรเจนเหลว ที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหอยแมลงภู่แบบไครโอจินิค

	Inlet temp. 5 °C		Outlet temp. -18°C	
	Time (Min)	Weight (g)	Time (Min)	Weight (g)
a	0	5099.40	0	4979.30
b	1	5098.30	1	4978.40
c	2.07	5042.10	2	4979.10
d	3.07	4979.50	3	4969.30

1. net sample weight	34.34	41.29
2. initial scale reading (b)	5098.30	4978.40
3. calculate total initial weight	5134.64	5019.69
4. final scale reading (c)	5042.10	4970.10
5. gross liquid boil off (3-4)	92.54	49.59
6. heat leak {(a-b)+(c-d)}/2 X (c-b)	1.12	1.00
7. net liquid boil off (5-6)	91.42	48.59
8. gram liquid/gram sample	2.51	1.17

ปริมาณไอไนโตรเจนเหลว = 1.34 g Liquid Nitrogen/g sample

heat removal = 0.25 Btu/g

ภาคผนวก ข

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

อุปกรณ์

ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

วิธีทดลอง

1.ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในภาชนะสำหรับหาความชื้น (Moisture content) ที่ผ่านการอบแห้งมาแล้ว

2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นานประมาณ 6 ชั่วโมง

3. นำออกจากตู้อบและทิ้งไว้ให้เย็น ในโถดูดความชื้น (Desiccator) และชั่งน้ำหนัก

4. นำไปอบต่ออีกประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

5. คำนวณปริมาณความชื้นหรือน้ำที่หายไป

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

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

อุปกรณ์

1. Gerhardt Micro – Kjeldahl Digestion Unit
2. ชุดเครื่องกลั่น (Pyrex,USA)
3. ฟลาสก์ก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร (digestion flask)

สารเคมี

1. Conc. Sulfuric acid
2. Hydrochloric 0.1 N
3. Boric acid ความเข้มข้นร้อยละ 4
4. Sodium hydroxide ความเข้มข้นร้อยละ 40
5. คะตะลิสต์ผสม (โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ (K_2SO_4) 10 กรัม และ คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$) 0.5 กรัมผสมกัน)
6. อินดิเคเตอร์ (สารละลายเมธิลเรด และสารละลาย โบรโมคลีซอลกรีน ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม กรณีที่เป็นของเหลวใช้ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อย ให้ทำ Blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

2. เติมคะคะลิสต์ประมาณ 1 กรัม และ Sulfuricเข้มข้นจำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตาย่อย โดยค่อย ๆ เพิ่มความร้อนในการย่อย ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในฟาสก์สีเขียว (ประมาณ 3-4 ชั่วโมง) ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น
3. เจือจางส่วนผสม 10 ml เพื่อป้องกันไม่ให้ NH_4 ตกผลึก ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
4. เตรียมขวดหรือฟลาสก์ที่มีสารละลายBoric acid ความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่ผสมอินดิเคเตอร์จำนวน 25 มิลลิลิตร สำหรับรับสารที่กลั่นที่ปลาย Condenser ของเครื่องกลั่น
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่นเติมสารละลาย Sodium hydroxide ความเข้มข้นร้อยละ 40 จำนวน 20 มิลลิลิตร (ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น และถูกจับไว้ด้วยสารละลาย Boric acid ผสม สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว)
6. ล้างส่วนปลาย Condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดรับสารที่กลั่น นำสารละลายทั้งหมดไตเตรทกับ Hydrochloric acid ความเข้มข้น 0.1 N จนได้จุดยุติเป็นสีชมพูแดง
7. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 14/100 \times 100}{\text{g.sample}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(V_a - V_b) \times 14/100 \times 100 \times CF}{\text{g.sample}}$$

กำหนดให้

Va = ปริมาตรของHydrochloric acid ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

Vb = ปริมาตรของHydrochloric acidที่ใช้ไตเตรท Blank

N = normality หรือความเข้มข้นของ Hydrochloric acid ที่ใช้ไตเตรท

14 = น้ำหนักโมเลกุลของไนโตรเจน

CF = conversion factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน

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

อุปกรณ์

1. Water bath

2.ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.Soxhlet apparatus

4. โถดูดความชื้น (Desiccator)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งประมาณ 5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1
2. ใส่ตัวอย่างใน thimble ปิดด้วยสำลีที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว (Defatted cotton wool)
3. ใส่ thimble ลงในชุดแยกสกัด (Extraction unit) ของเครื่องวิเคราะห์ เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ประมาณ 250 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นแบน หรือ Soxhlet fllask แล้ว ต่อเข้าชุดสกัด ใช้เวลาสกัดไขมันนาน 6-8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาระเหยเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจนระเหยหมด
4. นำไขมัน หรือ น้ำมันที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100+ 2 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนักน้ำมันที่ได้จากการสกัด คำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

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

อุปกรณ์

1. เตาเผาเถ้า
2. Crucible
3. Hot plate

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนจำนวน 5 กรัมใส่ใน Crucible ที่ผ่านการเผา และทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว แล้วนำตัวอย่างไปเผาด้วย Hot plate จนกระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน
2. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาเถ้าที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้เพื่อคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ข. 5 การวิเคราะห์ปริมาณ Phosphorus (James, 1995)

อุปกรณ์

1. ขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ปิเปต ขนาด 25 มิลลิลิตร
3. Spectrophotometer ที่ 420 nm

สารเคมี

1. Vanadate-Molybdate reagent ละลาย 20 กรัม ของ Ammonium molybdate ในน้ำ 400 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 50 °C และทำให้เย็น ละลาย 1 กรัมของ Ammonium monovanadate ใน 300 มิลลิลิตร ของน้ำเดือด ทำให้เย็น แล้วจึงใส่ Nitric acid เข้มข้น ลงไป 140 มิลลิลิตร ทีละน้อยๆ จากนั้นจึงเติม สารละลาย Ammonium molybdate ลงในสารละลาย Ammonium monovanadate ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร
2. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ทำการละลาย Potassium dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) 4.39 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยการนำสารละลายที่ได้ 25 มิลลิลิตร มาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 250 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้สารละลาย ที่มีความเข้มข้น 0.1 mg P/ml

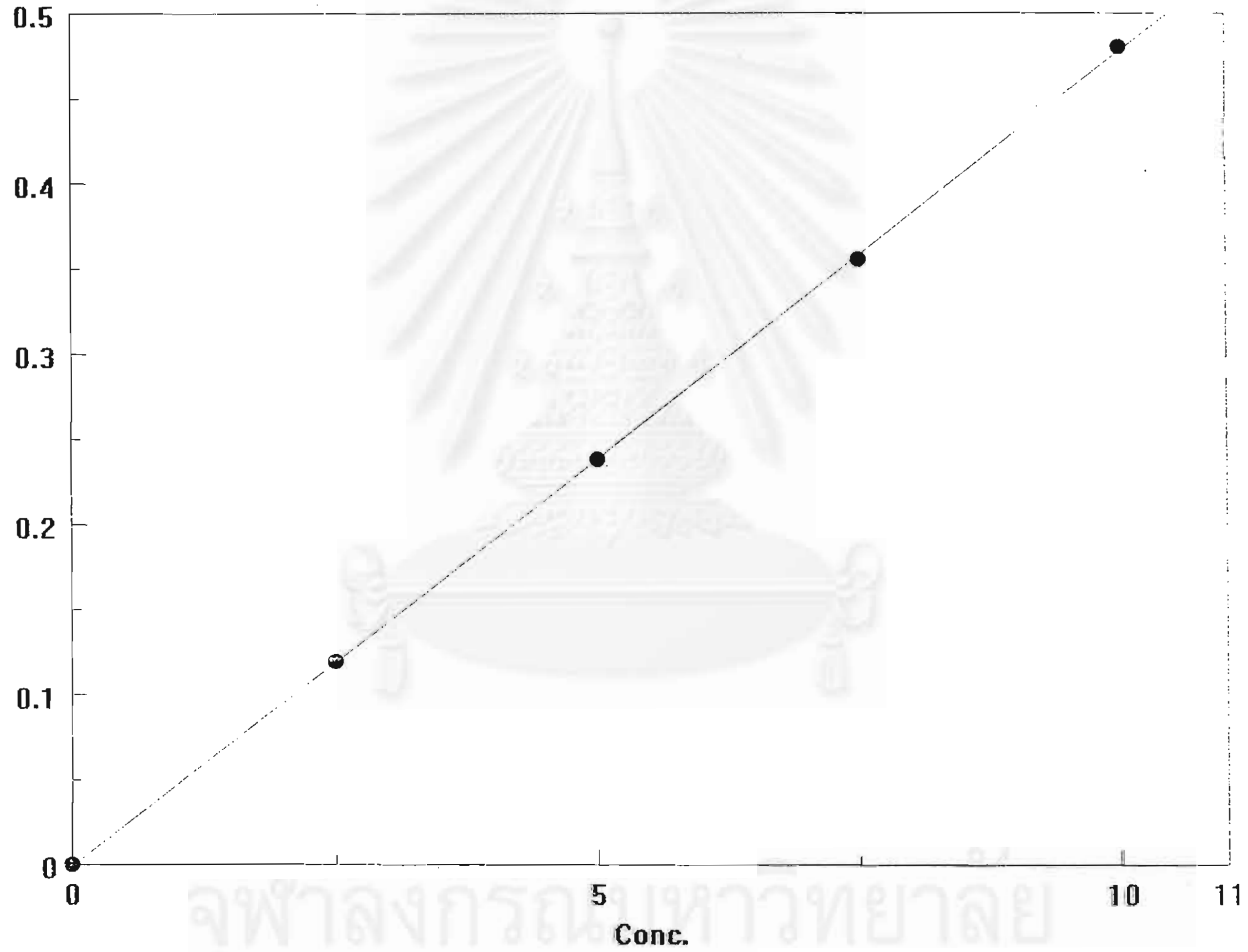
วิธีทดลอง

1. การทำ Calibration curve นำสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 มิลลิลิตร เติมน้ำ 30 มิลลิลิตร แล้วจึงใส่ สารละลาย Vanadate-molybdate reagent ในแต่ละขวดๆ ละ 25 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm นำไปสร้างกราฟมาตรฐานของฟอสเฟตดังแสดงในรูปที่ 17
2. วิเคราะห์สารละลายตัวอย่าง นำเถ้าที่ได้จากการเผา มาละลายด้วยกรด Sulfuric เข้มข้น 5 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด 5 นาที แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ประมาณ 40 มิลลิลิตร นำไปต้มอีกครั้งประมาณ 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จากนั้นจึง ปิเปตสารละลายที่ได้นี้มา 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้น ใส่ Vanadate-molybdate reagent 25 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ 420 nm

การคำนวณ

หาปริมาณ Phosphorus จาก Standard curve จะได้ค่าปริมาณ Phosphorus แล้วจึงนำไปเทียบน้ำหนักโมเลกุล เพื่อหาปริมาณ Phosphorus ในรูป P_2O_5

$$\% P_2O_5 \quad = \quad \text{ปริมาณPhosphorus จาก Standard curve} \times 71/30$$



รูปที่ 7 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน Phosphorus

ข. 6 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ (Miwa and Yong, 1992)

อุปกรณ์

1. เครื่องบด (Blender)
2. เครื่อง Centrifuge

สารเคมีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

1. โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.3 M ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.3 M ผสมสารทั้ง 2 แล้วปรับ pH เป็น 6.85
2. โปแตสเซียมคลอไรด์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.6 M

   ชั่ง 44.73 กรัม ของโปแตสเซียมคลอไรด์ ละลายใน 1 ลิตรของฟอสเฟตบัฟเฟอร์

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 10 กรัม บดรวมกับโปแตสเซียมคลอไรด์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.6 M 200 มิลลิลิตร นาน 4 นาที
2. ตั้งทิ้งไว้ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง
3. นำมา Centrifuge ที่อุณหภูมิ 0-5 °C ด้วยความเร็วรอบ 5,000 rpm นาน 20 นาที
4. ปิเปตสารละลายใสมา 20 มิลลิลิตรนำมาย่อยด้วย H_2SO_4 ตามวิธีของ ข. 2

การคำนวณ

น้ำหนักของตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ SSPN หาได้ดังนี้

$$W_{sspN} = W_2 \times \frac{20}{W_2 + 200}$$

W_2 = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่าง

20 = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการย่อยโปรตีน

200 = ปริมาตรของโปแตสเซียมคลอไรด์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.6 M

ปริมาณ Protein Nitrogen (MgN/100g) = $\frac{(b - a) \times N \times 14 \times 100}{W}$

W = น้ำหนักจาก W_{sssN}

a = ปริมาตรของ 0.1 N HCl ที่ใช้ในการไตเตรตกับ blank

b = ปริมาตรของ 0.1 N HCl ที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง

14 = มวลโมเลกุลของ Nitrogen

ข. 7 การวิเคราะห์ค่า TBA (Pearson, 1976)

อุปกรณ์

1. ชุดกลั่น
2. Spectrophotometer

สารเคมี

1. สารละลายกรด Thiobarbituric (กรด Thiobarbituric 0.2583 กรัม ใน glacial acetic acid 90 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร)
2. สารละลายกรด Hydrochloric 4 M

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 97.5 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรด Hydrochloric 4 M 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ต่อเข้ากับชุดกลั่น กลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกันทั่ว
4. ปิเปตมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีจุกปิด
5. เติม TBA reagent 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน คลายฝาออก
6. นำไปจุ่มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 35 นาที จากนั้นทำให้เย็นด้วยน้ำประปาเป็นเวลา 10 นาที จะได้สารละลายสีชมพู
7. นำไปวัด absorbance ที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank

การคำนวณ

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

ภาคผนวก ค

ค. 1 การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด.(กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม เติม 0.8%สารละลายเกลือ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 225 มิลลิลิตร บดให้ละเอียด 1 นาที สารละลายนี้จะมีความเข้มข้น 1:10 จากนั้นทำ Dilution ถัดมาคือ 1:100, 1:1,000 และ 1:10,000
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากการเตรียมตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อโดยทำ Dilution ละ 2 จาน
3. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Total plate count agar ที่หลอมละลาย และมีอุณหภูมิประมาณ 45 °C ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้แข็งตัว แล้วจึงกลับจานเพาะ แล้วนำไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °C นาน 48 ชั่วโมง
4. นับจำนวนจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้อ ซึ่งมีปริมาณ 30-300 โคโลนี บันทึกผล
5. หาค่าเฉลี่ย แล้วคูณด้วย Dilution factor ของจานเพาะเชื้อที่นับจำนวนโคโลนีได้ แล้วคำนวณเป็นจำนวนโคโลนี ต่อกรัม

ค. 2 การตรวจสอบเชื้อ Faecal coliforms และ *Escherichia coli* (AOAC, 1995)

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากการเตรียมตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Sulfate Tryptose Broth (LST) โดยใส่ dilution ละ 3 หลอดๆ ละ 1 มิลลิลิตร ทำอย่างน้อย 3 dilution ที่ต่อเนื่องกัน
2. นำหลอด LST ไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °C 48 ชั่วโมง แล้วจึงอ่านผลโดยการสังเกตกาซที่เกิดขึ้นในหลอดแก้วเล็ก (Durham's tube) ที่คว่ำอยู่ภายใน บันทึกผลหลอดที่เกิดกาซ เป็น +
3. นำหลอด LST ที่ให้ผล + ถ่ายลงใน EC-Broth โดยใช้ Loop แล้วนำไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 44.5±0.5 °C 48 ชั่วโมง อ่านผลโดยสังเกตหลอดที่เกิดกาซขึ้นใน Durham's tube นำหลอดที่เกิดกาซ ไปเทียบกับตาราง MPN จะได้เป็นปริมาณของ Faecal coliforms
4. นำหลอด EC-Broth ที่เกิดกาซไป Steak ลงบน Eosin Methylene Blue agar (EMB agar) นำไปบ่มเชื้อที่ 35-37 °C 18-24 ชั่วโมง สังเกตจานที่เกิดลักษณะ Metallic sheen นำไปทดสอบ Indole ด้วยสาร Kovac's reagent ถ้าเกิดสีชมพูในชั้นของ reagent แสดงว่า ให้ผล Indole + บันทึกผลหลอดที่ให้ผล + เทียบกับตาราง MPN จะให้ผลของปริมาณ *E.coli*

ค. 3 การตรวจสอบเชื้อ *Salmonella spp* (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์,2535)

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม เติมลงใน Nutrient Broth 225 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ บ่มที่ อุณหภูมิ 35 °C 24ชั่วโมง
2. ถ่ายเชื้อที่บ่มไว้ 3 Loop ลงใน Tetrathionate Broth นำไปบ่มที่ 35 °C 24ชั่วโมง
3. ถ่ายเชื้อ 1 Loop ลงใน selective agar 2ชนิดคือ Bismuth Sulfite Agar (BS) และ Salmonella-Shigella Agar (SS) บ่มที่ 35 °C 24ชั่วโมง
4. สังเกตโคโลนีที่มีลักษณะดังนี้

   ใน BS Agar โคโลนีที่ได้จะเป็นสีเทา หรือดำ และมักจะมี Metallic sheen รอบโคโลนี

   ใน SS Agar โคโลนีที่ได้จะมีขนาดเล็ก ไม่มีสี โดยอาจมีจุดสีดำตรงกลาง
5. ถ่ายโคโลนีที่สงสัย ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Triple Sugar Iron Agar Slant โดยวิธี Stab และ Surface streak บ่มไว้ที่ 35 °C 24ชั่วโมง เปรียบเทียบผลที่ได้กับตารางที่ 15

ค. 4 การตรวจสอบเชื้อ *Staphylococcus aureus* (AOAC,1995)

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ลงบนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ Baird-Parker agar + Egg Yolk จานละ 1 มิลลิลิตร ทำการกระจายเชื้อด้วยแท่งแก้วที่ปลอดเชื้อนำไปอบเพาะเชื้อที่ 35 °C 48 ชั่วโมง แล้วเลือกโคโลนีสีดำล้อมรอบด้วยวงใส
2. นำโคโลนีที่มีลักษณะเฉพาะมาทดสอบ Coagulase ต่อ โดยถ่ายเชื้อที่สงสัยลงในหลอด Brain Heart Infusion Broth (BHI) 0.5 มิลลิลิตร เติม Rabbit plasma 0.5 มิลลิลิตร นำไปอบเพาะเชื้ออุณหภูมิ 35 °C ตรวจสอบการแข็งตัวของ Plasma ภายหลัง 4-6 ชั่วโมง ถ้ามีการแข็งตัวของ Plasma เกิดขึ้น แสดงว่าเป็น *Staphylococcus aureus*
3. หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนี แล้วคูณด้วย Dilution factor แล้วคำนวณเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัม

ค. 5 การตรวจสอบเชื้อ *Vibrio cholerae* (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ลงใน 225 mlของ0.5% NaCl Alkali Peptone pH 8-9 บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C 16-18 ชั่วโมง
2. ถ่ายเชื้อ 3 Loop ลงใน 10 มิลลิลิตร ของ 0.25% Alkali Peptone บ่มที่ 35 °C 6-8 ชั่วโมง
3. Streak สารละลายเชื้อที่ได้ ลงบน Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose Agar (TCBS) บ่มไว้ที่ 35 °C 24 ชั่วโมง

4. เลือกโคโลนีที่มีลักษณะ แบน มีสีเหลือง ตรงกลางโคโลนีขุ่น มาเลี้ยงใน อาหาร TSI สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอาหารเลี้ยงเชื้อ TSI เทียบกับตารางที่ 15

ตารางที่ 21 ปฏิกิริยาของเชื้อใน TSI agar และ MIL medium (สุมาลี เหลืองสกุล, 2540)

จุลินทรีย์	TSI Agar				MIL medium		
	Slant	Butt	Gas	H_2S	Lysine	Indole	Motility
Escherichia coli	A(K)	A	+(-)	-	+(-)	+	+(-)
Shigella	K	A	-	-	-	d	-
Salmonella	K	A	+	+(-)	+(-)	-	+(-)
S. typhi	K	A	-	+	+	-	+
S. paratyphi A	K	A	+	-	-	-	+
Enterobacter	A	A	+	d	d	-	+
Proteus	K or A	A	d	+(-)	-	d	+
Citrobacter	K or A	A	+	d	-	d	+
Klebsiella	A	A	+	-	+	-	-
Y. enterocolitica	A	A	-	-	-	d	-**
*V. parahemolyticus**	K	A	-	-	+	+	+
V. cholerae	A	A	-	-	+	+	+
*V. vulnificus**	A	A	-	-	+	+	+

ใน TSI   K=แดง, A=เหลือง, d=ปฏิกิริยาไม่แน่นอน

ใน MIL   + = ม่วง , - = เหลือง, d=ปฏิกิริยาไม่แน่นอน

* ปฏิกริยาในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเกลือ NaCl 3%

** ให้ผลบวกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ง

ง.1 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

วันที่...................................... ชื่อผู้ทดสอบ..

โปรดประเมินตัวอย่างหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งต่อไปนี้ ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวม โดยให้คะแนนในระดับที่อธิบายความรู้สึกของท่านได้ดีที่สุด

1. ลักษณะปรากฏ

คะแนน	ความหมาย
7	ผิวหน้าชุ่มน้ำ มีลักษณะเต่งตึงมาก
6	ผิวหน้าชุ่มน้ำ มีลักษณะเต่งตึงปานกลาง
5	ผิวหน้าชุ่มน้ำ มีลักษณะเต่งตึงเล็กน้อย
4	ผิวหน้าไม่ชุ่มน้ำ
3	ผิวหน้าไม่ชุ่มน้ำ มีลักษณะเหี่ยวย่นเล็กน้อย
2	ผิวหน้าไม่ชุ่มน้ำ มีลักษณะเหี่ยวย่นปานกลาง
1	ผิวหน้าไม่ชุ่มน้ำ มีลักษณะเหี่ยวย่นมาก

2. กลิ่น

คะแนน	ความหมาย
7	มีกลิ่นของหอยสดมาก
6	มีกลิ่นของหอยสดปานกลาง
5	มีกลิ่นของหอยสดเล็กน้อย
4	ไม่มีกลิ่นของหอยแมลงภู่
3	มีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย
2	มีกลิ่นผิดปกติปานกลาง
1	มีกลิ่นผิดปกติมากที่สุด เหม็นคล้ายเสีย

3. เนื้อสัมผัส

คะแนน	ความหมาย
7	นุ่ม อุ้มน้ำพอสมควร
6	นุ่ม แต่มีน้ำไหลออกมาขณะเคี้ยว
5	นุ่ม แต่มีน้ำไหลออกมาขณะเคี้ยวมาก
4	เนื้อเหนียว
3	เนื้อเหนียว และกระด้างเล็กน้อย
2	เนื้อเหนียว และกระด้างปานกลาง
1	เนื้อเหนียว และกระด้างมาก

4. รสชาติ

คะแนน	ความหมาย
7	มีรสหวานของเนื้อหอยมาก
6	มีรสหวานของเนื้อหอยปานกลาง
5	มีรสหวานของเนื้อหอยน้อย
4	ไม่มีรสชาติ
3	มีรสชาติผิดปกติเล็กน้อย
2	มีรสชาติผิดปกติปานกลาง
1	มีรสชาติผิดปกติมาก

5. การยอมรับรวม

คะแนน	ความหมาย
7	ชอบมาก
6	ชอบปานกลาง
5	ชอบเล็กน้อย
4	เฉยๆ
3	ไม่ชอบเล็กน้อย
2	ไม่ชอบปานกลาง
1	ไม่ชอบมาก

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จ. 1 ศึกษาวิธีการ และเวลาในการลวกที่เหมาะสมสำหรับหอยแมลงภู่

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่าความชื้น %Yields ค่า Cutting force และปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ(sspN) ที่ผ่านการลวกที่วิธี และเวลาต่างกัน

sov	df	MS			
		ความชื้น	Yields	Cutting force	sspN
วิธีการลวก (A)	1	2.09	0.04	6.20	0.00
เวลาในการลวก (B)	4	12.07*	15.33*	34.16*	0.02*
AB	4	0.53	4.62	5.90*	0.00
Error	10	0.24	4.07	0.92	0.00

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

จ. 2 ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิค

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ % Freezing loss % Thawing loss และค่า Cutting force ของตัวอย่างหอยแมลงภู่ที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนที่อุณหภูมิต่างกัน

sov	df	MS		
		Freezing loss	Thawing loss	Cutting force
ชนิดของเนื้อหอย (A)	1	0.09	0.00	30.01*
อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (B)	3	0.82*	0.69	42.63*
AB	3	0.01	0.06	1.61
Error	8	0.13	0.22	2.61

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

ตารางที่ 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ คะแนนทางประสาทสัมผัส ของเนื้อหอยที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิคที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

sov	df	MS				
		ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	การยอมรับรวม
Block	11	8.67*	1.26	4.35*	5.32*	6.90*
ชนิดของหอย (A)	1	1.76	1.50	2.34	0.09	0.37
อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (B)	3	0.73	2.79	1.03	0.26	1.40
AB	3	0.54*	0.19	0.95	1.09	0.68
Error	77	0.53	0.67	1.23	0.48	0.77

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จ. 3 ศึกษาหาความเข้มข้น และเวลาในการแช่ในสารละลาย STP ที่เหมาะสมสำหรับหอยแมลงภู่

ตารางที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความชื้น %Weight gain %P_2O_5 % Freezing loss % Thawing loss และค่า Cutting force ของเนื้อหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาแตกต่างกัน

sov	df	MS					
		ความชื้น	Weight gain	P_2O_5	Freezing loss	Thawing loss	Cutting force
ความเข้มข้น (A)	2	1.37	1.29	0.00	0.27*	1.04*	31.66*
เวลาในการแช่ (B)	2	0.11	9.26*	0.00	0.35*	9.09*	12.21*
AB	4	1.28	0.34	0.00	0.62*	0.57*	2.15
Error	9	0.26	0.39	0.00	0.01	0.03	1.93

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนทางประสาทสัมผัส ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STP ที่ความเข้มข้น และเวลาแตกต่างกัน

sov	df	MS				
		ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	การยอมรับรวม
Block	11	7.82*	6.75*	9.72*	3.92*	6.81
ความเข้มข้น (A)	2	0.56	0.36	2.78	1.77	1.02
เวลาในการแช่ (B)	2	0.92	0.02	3.17	0.33	0.02
AB	4	1.81	0.43	1.62	0.19	0.30
Error	88	0.87	0.37	1.50	0.74	0.84

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จ. 4 ศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลาย ที่มีผลต่อคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ % Freezing loss % Thawing loss และค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายที่แตกต่างกัน

sov	df	MS		
		Freezing loss	Thawing loss	Cutting force
วิธีการแช่เยือกแข็ง (A)	1	0.61*	0.15	0.85
วิธีการละลาย (B)	1	0.02	0.61	7.12
AB	1	0.00	0.00	2.49
Error	4	0.03	0.71	1.79

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จ. 5 ศึกษาวิธีการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า % Thawing loss ปริมาณ TBA และ ค่า Cutting force ของหอยแมลงภู่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาแตกต่างกัน

sov	df	MS		
		Thawing loss	ปริมาณ TBA	Cutting force
อายุการเก็บรักษา (A)	2	3.85*	0.02*	49.53*
วิธีการแช่เยือกแข็ง (B)	1	8.35*	0.10*	0.05
AB	2	0.33	0.00*	0.92
วิธีการเตรียมวัตถุดิบ (C)	2	9.09*	0.38*	10.40*
AC	4	0.45	0.00*	1.89
BC	2	2.27*	0.00*	2.29
ABC	4	0.18	0.00	0.66
Error	18	0.21	0.00	2.29

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียน

นายเลิศเกียรติ พูลผล เกิดเมื่อวันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2515 ที่อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย