การยืดอายุการเก็บหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinina* Linnaeus โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

นางสาววิชชญา นะราแก้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN-974-17-6454-5
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SHELF-LIFE EXTENSION OF ABALONE *Haliotis asinina* Linnaeus USING MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING

Miss Vichaya Narakaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

ISBN-974-17-6454-5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การยืดอายุการเก็บหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinina* Linnaeus โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ
โดย	นางสาววิชชญา นะราแก้ว
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนตีกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... รักษาราชการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

รองคณบดีฝ่ายบริหาร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธิพา จันทวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนตีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ตุลยธัญ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิชชญา นะราแก้ว : การยืดอายุการเก็บหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinina* Linnaeus โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (SHELF-LIFE EXTENSION OF ABALONE *Haliotis asinina* Linnaeus USING MODIFED ATMOSPHERE PACKAGING) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. รมณี สงวนดีกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ. 106 หน้า, ISBN 974-17-6454-5

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis asinina* ภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (MAP) โดยใช้ภาวะในการเก็บรักษาที่มีอัตราส่วนก๊าซ 7ภาวะได้แก่ บรรยากาศปกติ สุญญากาศ 40%CO_2:40%O_2:20%N_2, 40%CO_2:30%O_2:30%N_2, 40%CO_2:20%O_2:40%N_2, 60%CO_2:40%O_2, และ 60%CO_2:20%O_2:20%N_2 ร่วมกับการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2±1°C พบว่า CO_2ใน MAP ลดลงระหว่างการเก็บจึงทำให้ค่า pH ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อลดลงเนื่องจาก CO_2 สามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นอาหารและจุลินทรีย์ในรูปกรดคาร์บอนิกได้ โดยภาวะที่มีอัตราส่วนของ $CO_2$60% จะมีค่า pH ต่ำกว่าที่ CO_2 40% ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ระยะเวลาหนึ่งโดยยืดช่วง lag phase ของการเจริญให้นานขึ้น ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียทนความเย็นและแบคทีเรียในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ที่พบในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติจะสูงกว่าในสุญญากาศและ MAP ตามลำดับ จึงทำให้อายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุในสุญญากาศและ MAP ยาวนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ การลดลงของก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุสัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ไม่พบ *C. botulinum* แบคทีเรียกลุ่ม *Vibrio sp.* และปริมาณ TMA ในหอยเป๋าฮื้อตลอดการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของค่า TVB จากจุลินทรีย์จะเกิดช้า ๆ จึงไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกอายุการเก็บ เมื่อใช้การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นเป็นดัชนีบอกอายุการเก็บพบว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บใน MAP มีอายุการเก็บยาวนานกว่าการเก็บในสุญญากาศและบรรยากาศปกติ นอกจากนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่าสี การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาใน MAP สุญญากาศและบรรยากาศปกติ การเก็บหอยเป๋าฮื้อใน MAP ช่วยชะลอการสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ซึ่งมีผลต่อค่าความสดได้ดีกว่าการเก็บรักษาในสุญญากาศและบรรยากาศปกติ โดยชะลอการสลายตัวของ ATP, ADP, AMP และการสะสมของ Adenosine และ Hypoxanthine ได้ ในขณะที่การสลายตัวของ ATP, ADP, AMP และการสะสมของ Adenosine และ Hypoxanthine ระหว่างการบรรจุแบบสุญญากาศและในบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ หอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศมีอายุการเก็บเท่ากับ 3 วัน เก็บใน MAP ที่ภาวะ 40%CO_2:40%O_2:20%N_2 มีอายุ 9 วัน ส่วน 40%CO_2:20%O_2:40%N_2, 60%CO_2:40%O_2, และ 60%CO_2:20%O_2:20%N_2 มีอายุ 11 วัน และ 40%CO_2:30%O_2:30%N_2 มีอายุ 13 วัน จึงสรุปได้ว่าการเก็บหอยเป๋าฮื้อโดย MAP สามารถยืดอายุการเก็บโดยที่ยังคงสภาพของสี คุณภาพด้านเคมีและประสาทสัมผัสที่ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศและในบรรยากาศปกติ โดย MAP ที่มีความปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดคือภาวะ 40%CO_2:30%O_2:30%N_2 ที่อุณหภูมิ 2±1°C จึงถือว่าเป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis asinina*

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....วิชชญา นะราแก้ว.....

สาขาวิชา....เทคโนโลยีทางอาหาร.... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4572492523 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: ABALONE/MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING/SHELF-LIFE

VICHAYA NARAKAEW: SHELF-LIFE EXTENSION OF ABALONE *Haliotis asinina* Linnaeus USING MODIFED ATMOSPHERE PACKAGING. THESIS ADVISOR: ASST.PROF. ROMANEE SANGUANDEEKUL, Ph.D. THESIS COADVISOR: ASST.PROF. UBONRAT SIRIPATHRAWAN, Ph.D.,106 pp. ISBN 974-17-6454-5

This research was aimed to find the optimum condition for shelf life extension of abalones *Haliotis asinina* using modified atmosphere packaging (MAP). The abalones were packed in atmospheric air (control), vacuum, 40%CO_2:40%O_2:20%N_2, 40%CO_2:30%O_2:30%N_2, 40%CO_2:20%O_2:40%N_2, 60%CO_2:40%O_2, and 60%CO_2:20%O_2:20%N_2 and stored at 2±1°C. The level of CO_2 and O_2 in packages were measured throughout the storage. Sensory quality, pH, TVB and TMA, color, texture, nucleotides breakdown, total plate counts, psychrotrophs, *Enterobacteriaceae*, *S. aureus*, *C. botulinum*, and *Vibrio sp.* were used as indices for determining the product shelf-life. Abalones in MAP with 60%CO_2 condition had lower pH value than these in 40%CO_2 condition. CO_2 can dissolve to the membranes of abalone tissues and microorganisms which change to carbonic acid and prolong lag phase of the growth of total plate counts, psychrotrophs, *Enterobacteriaceae*, and *S. aureus*. TMA, *Vibrio sp.*, and *C. botulinum* were not found in all conditions. TVB slightly increased in all samples. Sensory evaluation including appearance, odor, and color revealed that MAP can prolong product shelf-life longer than vacuum and air. The nucleotides breakdown from ATP to hypoxanthine which affect to the freshness of abalones in MAP were slower than these in air and vacuum pack. No difference was observed between abalone kept in air, vacuum, and MAP in term of color values and texture. Abalones kept in air had the shortest shelf-life of only 3 days. Abalones packed under vacuum and MAP had longer shelf-life than the packaged in air. Abalones packed in 40%CO_2:30%O_2:30%N_2 and 40%CO_2:40%O_2:20%N_2 had shelf-life of 13 days and 9 days at 2±1°C respectively while abalones packed in 40%CO_2:20%O_2:40%N_2, 60%CO_2:40%O_2, and 60%CO_2:20%O_2:20%N_2 could be kept for 11 days. Thus, the optimum condition for fresh abalones was 40%CO_2:30%O_2:30%N_2.

Department.....Food Technology.....
Field of study....Food Technology.....
Academic year.....2005.....

Student's signature....Vichaya Narakaew....
Advisor's signature....Romanee Sanguandeekul....
Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พันธิพา จันทวัฒน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ดร.วรรณา ตุลยธัญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ที่ร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งกรุณาชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เผดิมศักดิ์ จารยะพันธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เก็บตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อ และเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการไปเก็บตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อ

ขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนวิจัยในโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอบคุณเพื่อน ๆ ปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร เพื่อนภาควิชาอื่น และเพื่อนสมัยมัธยมศึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ สละเวลาและให้กำลังใจกันมาตลอดการวิจัย ขอบคุณพี่ น้อง และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา น้องสาว พี่โป้งและอานน้อยที่สนับสนุนในด้านการเงิน คำแนะนำ และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ

กิตติกรรมประกาศ .....ฉ

สารบัญ .....ช

สารบัญตาราง .....ฌ

สารบัญรูป .....ฎ

บทที่

1. บทนำ 1
2. วารสารปริทัศน์ 3
   - 2.1 หอยเป๋าฮื้อ 3
   - 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำ 7
   - 2.3 การเปลี่ยนแปลงความสดของอาหารทะเล 8
   - 2.4 การเปลี่ยนแปลงความสดของหอยเป๋าฮื้อระหว่างการเก็บรักษา 12
   - 2.5 การเน่าเสียของอาหารทะเล 13
   - 2.6 การถนอมรักษาผลิตภัณฑ์อาหารทะเล 14
   - 2.7 การเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เย็น 15
   - 2.8 การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง 15
   - 2.9 การใช้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุในการเก็บรักษาอาหารทะเล 20
   - 2.10 การบอกคุณภาพของอาหารทะเลระหว่างการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ 20
3. วิธีการทดลอง 25
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 36
   - 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ 36
   - 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา 37
   - 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนระหว่างการเก็บรักษา 39
   - 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่างการเก็บรักษา 40
   - 4.5 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา 43

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า Total Volatile Base (TVB) ระหว่างการเก็บรักษา.....51
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า Trimethylamine (TMA) ระหว่างการเก็บรักษา.....53
4.8 การยอมรับทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา.....54
4.9 การเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ.....58
4.10 การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ
โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....62
4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ระหว่าง
การเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ...68
5. สรุปผลการทดลอง.....78

รายการอ้างอิง 80
ภาคผนวก.....89
ภาคผนวก ก.....90
ภาคผนวก ข.....91
ภาคผนวก ค.....93
ภาคผนวก ง.....94
ภาคผนวก จ.....97
ภาคผนวก ฉ.....100
ภาคผนวก ช.....102
ภาคผนวก ซ.....103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ผลผลิตหอยเป๋าฮื้อ 6

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ.....36

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....37

4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการ ปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....39

4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพ บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....41

4.5 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Counts) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....44

4.6 ปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น (Psychrotrophs) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....47

4.7 ปริมาณแบคทีเรียในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....48

4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า TVB ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพ บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....51

4.9 คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบ ทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศ ภายในภาชนะบรรจุ.....55

4.10 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบ ทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพ บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....56

4.11 คะแนนการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบทางประสาท สัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายใน ภาชนบรรจุ.....58

4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพ บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....59

ตารางที่ หน้า

4.13 การเปลี่ยนแปลงค่า a* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....60
4.14 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....62
4.15 การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....63
4.16 การเปลี่ยนแปลงค่า Springiness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....64
4.17 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....66
4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า Chewiness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....67
4.19 การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Triphosphate (ATP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....69
4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Diphosphate (ADP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....70
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Monophosphate (AMP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....71
4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....73
4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า Hypoxanthine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....74
4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า K-value ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ....76

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบอวัยวะภายในของหอยเป๋าฮื้อ.....3

2.2 การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์โดยทั่วไป.....11

2.3 การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ของสัตว์พวกที่มีโครงสร้างภายนอกแข็ง.....12

ก.1 หอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ยังมีชีวิตอยู่หนักตัวละ 20 กรัม.....90

ก.2 เนื้อหอยเป๋าฮื้อสดชนิด *H. asinina* หนักประมาณ 10 กรัม.....90

ข.1 เครื่อง Multivac (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd.).....91

ข.2 เครื่อง headspace gas analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd.).....91

ข.3 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC).....92

ค.1 หอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบสุญญากาศ.....93

ค.2 หอยเป๋าฮื้อที่บรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ.....93

ซ.1 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Adenosine triphosphate.....103

ซ.2 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Adenosine diphosphate.....103

ซ.3 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Adenosine monophosphate.....104

ซ.4 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Adenosine.....104

ซ.5 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Hypoxanthine.....105

ซ.6 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่ได้จากหอยเป๋าฮื้อสด.....105

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในตลาดอาหารแช่เย็นของทวีปยุโรป เนื่องจากผู้บริโภคต้องการบริโภคอาหารที่มีความสดใหม่ ไม่มีวัตถุเจือปน จึงทำให้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเข้ามามีบทบาทและเป็นที่นิยมแพร่หลายมากขึ้นเนื่องจากจะช่วยปรับปรุงภาพลักษณ์ของอาหาร และสามารถยืดอายุการเก็บของอาหารได้ ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์และวางขายผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับสภาพบรรยากาศในรูปของอาหารสดแช่เย็นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากในประเทศอังกฤษและฝรั่งเศส โดย Marketing Strategies for Industry (MSI) ได้รายงานการซื้อขายผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจากตลาดประเทศอังกฤษว่ามีค่าประมาณ 2.191 พันล้านปอนด์ในปี 1994 และจะเพิ่มขึ้นเป็น 3.249 พันล้านปอนด์ในปี 1999 โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุได้นำมาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเล พาสต้า เนยแข็ง เบเกอรี ผักและผลไม้ เป็นต้น (Day, 1997)

หอยเป๋าฮื้อเป็นที่นิยมบริโภคในหลายประเทศทั่วโลก เช่น ในแถบยุโรปและอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ เป็นต้น และประเทศในแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น จีน เกาหลี ไต้หวัน ฮ่องกง และไทย เป็นต้น เนื่องจากมีรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสดี มีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังเชื่อว่าเป็นอาหารสิริมงคลและอุดมด้วยคุณค่าทางโปรตีน โดยการบริโภคหอยเป๋าฮื้อในอเมริกามีมูลค่าประมาณ 750 ล้านบาทต่อปี ในขณะที่ประเทศในเอเชียบริโภคสูงสุดประมาณ 7,500-10,000 ล้านบาทต่อปี (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ในประเทศญี่ปุ่นนั้นมีการนำเข้าและส่งออกหอยเป๋าฮื้อในระดับอุตสาหกรรม ในลักษณะเนื้อหอยสดแช่แข็ง หอยกระป๋อง หอยแปรรูป และส่งออกหอยตากแห้งไปยังประเทศไต้หวันและฮ่องกง จึงเป็นสัตว์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ได้รับความสนใจอย่างมาก (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการส่งเสริมให้มีการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อเชิงพาณิชย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งพันธุ์ *Haliotis asinina* มีความเป็นไปได้ทางธุรกิจค่อนข้างสูงเพราะตลาดต่างประเทศนิยมหอยเป๋าฮื้อขนาดไม่ใหญ่นัก (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542) มีสัดส่วนของเนื้อที่ใช้เป็นอาหารสูงและมีอัตราการเติบโตสูงสุดในบรรดาหอยเป๋าฮื้อทุกชนิดทั่วโลก จึงเป็นเป้าหมายสำคัญที่จะพัฒนาการเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ไทยสู่ตลาดโลกเชิงพาณิชย์ต่อไป (จักรพันธุ์ กังวาฬ, 2547)

การเก็บรักษาหรือการแปรรูปหอยเป๋าฮื้อให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้นจะมีส่วนช่วยสนับสนุนการเพาะเลี้ยงได้มาก เนื่องจากช่วยให้ผู้เพาะเลี้ยงมีตลาดเพิ่มมากขึ้น เป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และมูลค่าให้กับหอยเป๋าฮื้อมากขึ้นด้วย จึงคาดว่าหอยเป๋าฮื้อน่าจะสามารถนำมาแปรรูปโดยใช้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุได้

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาการยืดอายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อสดโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุโดยจะเก็บรักษาร่วมกับการแช่เย็น ซึ่งถ้าเก็บหอยเป๋าฮื้อโดยการแช่เย็นเพียงอย่างเดียวนั้นจะสามารถรักษาความสดของหอยเป๋าฮื้อได้เพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้นก็จะทำให้เกิดการเน่าเสียจากปัจจัยต่าง ๆ การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจึงเข้ามามีบทบาทในการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้น เป็นประโยชน์ในการกระจายและเพิ่มมูลค่าของสินค้าได้มากขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้มีความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ โดยที่ยังคงสภาพของสี คุณภาพด้านเคมี และประสาทสัมผัสที่ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้ภาวะการเก็บที่มีอัตราส่วนก๊าซ 7 ภาวะในการศึกษา ได้แก่ บรรยากาศปกติ สุญญากาศ $40\%CO_2{:}40\%O_2{:}20\%N_2$ $40\%CO_2{:}30\%O_2{:}30\%N_2$ $40\%CO_2{:}20\%O_2{:}40\%N_2$ $60\%CO_2{:}40\%O_2$ และ $60\%CO_2{:}20\%O_2{:}20\%N_2$ ร่วมกับการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2±1 องศาเซลเซียส ซึ่งคาดหวังว่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการแปรรูปหอยเป๋าฮื้อทางอุตสาหกรรมต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

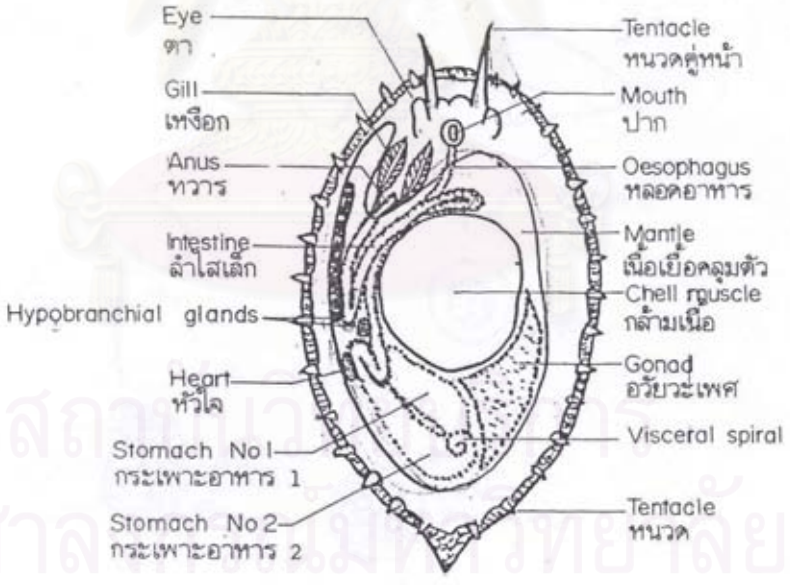
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 หอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อ (abalone) หรือหอยร้อยรู หรือหอยโข่งทะเลเป็นหอยทะเลฝาเดียว อยู่ใน Class Gastropoda, Order Archaeogastropoda, Family Haliotidae, Genus Haliotis หอยเป๋าฮื้อเป็นผู้บริโภคระดับต้น ๆ ของห่วงโซ่อาหาร มีนิสัยการกินแบบขูดขีด (grazer) กินสิ่งมีชีวิตตามซอกหิน ชอบหลบแสงอยู่ใต้ซากปะการังและก้อนหินใต้น้ำตามธรรมชาติ หอยเป๋าฮื้ออาศัยอยู่ในทะเลที่มีสภาพน้ำเป็นน้ำเค็ม ไม่พบในบริเวณน้ำกร่อย (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ลักษณะของเปลือกจะแบน เป็นรูปยาวรี ยอดเตี้ยคล้ายจาน มีสีเขียวเข้ม น้ำตาล หรือแดงคล้ำ ตามขอบเปลือกมีรูเล็ก ๆ เป็นรูหายใจเรียงเป็นแถวยาวไปถึงขอบปาก ไม่มีฝาปิดเปลือกเท้าใหญ่ กล้ามเนื้อแข็งแรง (พายัพ ยังปักษี, 2541) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบอวัยวะภายในของหอยเป๋าฮื้อ
ที่มา: พายัพ ยังปักษี (2541)

หอยเป๋าฮื้อเป็นสัตว์ที่มีเพศแยกจากกันและมีการผสมพันธุ์แบบภายนอก มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1:1 เพศผู้จะมีสีขาวครีมเมื่อเปิดกล้ามเนื้อเท้าออก ถ้าเป็นเพศเมียจะมีสีเขียวขี้ม้า อวัยวะเพศของหอยเป๋าฮื้อจะยื่นออกมาคล้ายเขาวัว เพศผู้มีสีเข้ม รังไข่ของเพศเมียเป็นสีเขียวเข้ม จะเริ่มวางไข่ในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนมีนาคม (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542)

อาหารของหอยเป๋าฮื้อจะเป็นสาหร่ายทะเลที่มีอยู่ในธรรมชาติ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่อาศัยอยู่ตามพื้นผิวต่าง ๆ สิ่งมีชีวิตจำพวกพืชทะเลที่เกาะอยู่ตามก้อนหินและแนวปะการัง เช่น ไดอะตอมประเภทเกาะติด (benthic diatoms) หรือสาหร่ายขนาดเล็กที่เกาะตามโขดหินใต้น้ำ ทั้งสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีเขียว (จักรพันธุ์ กังวาฬ, 2547)

2.1.1 ประโยชน์ของหอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อเป็นอาหารที่อุดมคุณค่าโปรตีน ซึ่งบางคนยังมีความเชื่อว่าเป็นอาหาร สิริมงคลจึงเป็นที่นิยมบริโภคกันมากในประเทศทางเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน ไต้หวัน เป็นต้น กับหลายประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา (พายัพ ยังปักษี, 2541)

หอยเป๋าฮื้อพบแพร่กระจายอยู่ทั่วโลกตั้งแต่ในเขตอบอุ่นจนถึงเขตร้อน โดยขนาดจะแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศ ขนาดใหญ่จะอยู่ในเขตอบอุ่น ขนาดเล็กจะอยู่ในเขตร้อนและเขตหนาวจัด (พายัพ ยังปักษี, 2541)

หอยเป๋าฮื้อที่พบในโลกมีทั้งหมด 75 ชนิด (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542) ในจำนวนนี้ประมาณ 20 ชนิด มีนาดใหญ่ ราคาสูงและสามารถเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ได้ ปัจจุบันประเทศที่ผลิตพันธุ์หอยเป๋าฮื้อได้จำนวนมากคือประเทศออสเตรเลีย ญี่ปุ่นและเม็กซิโก (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ส่วนที่นำมาบริโภคเป็นส่วนเท้าของหอยเป๋าฮื้อและส่วนที่ต่อระหว่างเท้ากับเปลือก ส่วนของอวัยวะภายใน เช่น กระเพาะ อวัยวะสืบพันธุ์และผิวนอกของเท้าที่เป็นหนังเหนียว เป็นต้น ไม่นิยมนำมาปรุงเป็นอาหาร หอยเป๋าฮื้อที่มีขนาดใหญ่มักบริโภคในลักษณะสเต็กโดยหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ หรือตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่มีขนาดเล็กสามารถนำมาบริโภคได้ในลักษณะคอกเทล ซึ่งประเทศที่นิยมบริโภคหอยขนาดเล็ก คือประเทศไต้หวัน เนื่องจากมีรสชาติดี ราคาถูก และขนาดเหมาะสมในการนำไปปรุงเป็นอาหารในงานเลี้ยงต่าง ๆ (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ชาวญี่ปุ่นชอบรับประทานหอยเป๋าฮื้อมากที่สุด โดยนำหอยเป๋าฮื้อไปทำอาหารได้หลายรูปแบบและหลากหลายรสชาติ เช่น การต้มและอบด้วยความร้อน เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมมากที่สุดคือการรับประทานหอยดิบเรียกว่า ซาชิมิ (sashimi) หรือทำเป็นชิ้นแล้ววางแปะบนก้อน

ข้าวเรียกว่า ซูชิ (sushi) ส่วนชาวยุโรปและอเมริกานั้นการปรุงหอยเป๋าฮื้อทำได้ไม่กี่วิธี วิธีที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดคือนำหอยเป๋าฮื้อไปย่าง (grilling) หรือนำไปทอดในน้ำมันที่ร้อนจัดจนเนื้อกรอบ แต่ก่อนที่จะย่างหรือทอดต้องทำให้เนื้อหอยนิ่มลงโดยการทุบด้วยฆ้อนก่อน (ลิลา เรืองแป้น, 2543)

นอกจากใช้เนื้อเป็นอาหารแล้วเปลือกของหอยเป๋าฮื้อยังนำมาทำประโยชน์ในลักษณะเครื่องประดับได้อีกด้วย ในสมัยโบราณชาวญี่ปุ่นจะนำเปลือกหอยเป๋าฮื้อไปใช้ประโยชน์เป็นเครื่องประดับ เช่น โต๊ะฝังมุก กรอบรูปฝังมุก หรือทำเป็นกำไล กระดุม และปิ่นปักผม เป็นต้น ชาวจีนใช้เปลือกหอยเป๋าฮื้อประดับไม้ทำเฟอร์นิเจอร์ การแกะสลักเปลือกหอยเป๋าฮื้อในยุโรป (cameo) เนื่องจากเปลือกของหอยเป๋าฮื้อมีส่วนประกอบซึ่งมีลักษณะแวววัน ชั้นในสุดมีสีมุกขาว เปลือกชั้นนอกที่ขรุขระนั้นถ้านำไปขัดผิวชั้นนอกออกจะได้ผิวชั้นในที่มีลักษณะเป็นมันสีเขียวลายมุกสวยงาม และยังมีการนำเปลือกหอยเป๋าฮื้อมาเป็นส่วนผสมของยาแผนโบราณในเอเชียอีกด้วย (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544)

2.1.2 **ความต้องการของตลาด**

หอยเป๋าฮื้อที่ตลาดต่างประเทศต้องการมีขนาดประมาณ 7–12 เซนติเมตร มีน้ำหนักประมาณ 200–300 กรัม และขนาดภัตตาคาร (cocktail size) หรือขนาด 20–30 ตัวต่อกิโลกรัมและ 30–40 ตัวต่อกิโลกรัม ในตลาดสหรัฐอเมริกาเนื้อส่วนเท้าและกล้ามเนื้อที่นิยมนำมาปรุงอาหารสำหรับชนิดที่นิยมบริโภคมากที่สุดมีมูลค่าประมาณ 750 ล้านบาทต่อปี ขณะที่ประเทศในเอเชียบริโภคสูงสุดประมาณ 7,500-10,000 ล้านบาทต่อปี (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ราคาของหอยเป๋าฮื้อที่มีชีวิตขึ้นอยู่กับขนาด ชนิด สี คุณภาพของเนื้อและที่มา หอยที่มีราคาดีจะเป็นหอยที่รับมาจากทะเล มีขนาดใหญ่ เนื้อแน่น สีขาวครีม ตลาดใหญ่อยู่ในประเทศญี่ปุ่น โดยมีการนำเข้าและส่งออกหอยเป๋าฮื้อในระดับอุตสาหกรรมโดยการนำเข้าในรูปหอยสด หอยแช่แข็งและหอยแช่เย็นจากประเทศจีน เกาหลีและนิวซีแลนด์เป็นจำนวนมากถึง 1,000 ตันต่อปี และนำเข้าหอยเป๋าฮื้อบรรจุกระป๋องซึ่งผ่านการปรุงรสแล้วจากประเทศออสเตรเลียปีละประมาณ 700-800 ตัน นอกจากนำเข้าแล้วญี่ปุ่นก็ส่งออกหอยเป๋าฮื้อแห้งโดยส่งไปขายที่ประเทศฮ่องกงและไต้หวันปีละหลายสิบตัน (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ประเทศที่มีการจับหอยเป๋าฮื้อจากธรรมชาติเพื่อค้าขายจนถึงระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศที่อยู่บริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศที่อยู่แถบชายฝั่งอเมริกาเหนือและชายฝั่งแอฟริกาใต้ ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ เป็นต้น (ลิลา เรืองแป้น, 2543)

ผลผลิตหอยเป๋าฮื้อทั่วโลกมีประมาณ 20,000 เมตริกตันต่อปี โดยมีแหล่งและส่วนแบ่งปริมาณการผลิตดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตหอยเป๋าฮื้อ

ประเทศ	ร้อยละของปริมาณผลผลิตทั่วโลก
เม็กซิโก	34
ญี่ปุ่น	29
ออสเตรเลีย	20
แอฟริกาใต้	6
สหัฐอเมริกา	5
เกาหลี	3
นิวซีแลนด์	3

ที่มา: คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544)

ปริมาณการผลิตหอยเป๋าฮื้อมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นรวมทั้งมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงควบคู่กันไป

ผู้บริโภคหอยเป๋าฮื้อส่วนมากจะเป็นชาวญี่ปุ่นและชาวจีน รวมถึงประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วย ประเทศเหล่านี้จะมีการบริโภคมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของหอยเป๋าฮื้อทั้งหมดที่มีการจับทั่วโลก จะมีการซื้อขายในรูปแบบที่มีชีวิต แบบสด และแบบแช่แข็ง ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด (highest premium) ในขณะที่ชาวจีนจะนิยมบริโภคหอยเป๋าฮื้อบรรจุกระป๋อง ส่วนชาวอเมริกันมักจะซื้อในรูปที่แกะเปลือกออกและหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วเพื่อนำไปทำสเต็กหรือทอด โดยหอยเป๋าฮื้อสดขนาดเล็กจะมีการซื้อขายเพื่อไปทำเป็นอาหารของชาวจีนและชาวยุโรป (Oakes and Ponte, 1996)

การตลาดของหอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis asinina* มีศักยภาพสูงเนื่องจากเป็นชนิดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในกลุ่มหอยเป๋าฮื้อเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งมีสัดส่วนเนื้อต่อเปลือกสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์และอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างรวดเร็ว เมื่ออายุครบ 1 ปี มีความยาวเปลือก 42.7 มิลลิเมตร (ลิลา เรืองแป้น, 2543)

การเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อชนิดนี้มีความเป็นไปได้สูงเพราะตลาดต่างประเทศนิยมหอยขนาดไม่ใหญ่นัก โดยมีประเทศออสเตรเลีย อเมริกาและประเทศในเอเชียเป็นผู้รับซื้อแล้วแปรรูป

บรรจุกระป๋องส่งออก ประเทศผู้ส่งออกหอยเป๋าฮื้อรายใหญ่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้แก่ ฟิลิปปินส์ โดยมีการส่งออกหอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis asinina* และ *Haliotis varia* (ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์, 2541)

2.1.3 **หอยเป๋าฮื้อในประเทศไทย**

หอยเป๋าฮื้อในประเทศไทยเป็นหอยเป๋าฮื้อในเขตร้อนที่มีขนาดเล็ก (4-8 เซนติเมตร) อาศัยตามโขดหินชายทะเลหรือเกาะอยู่ตามปะการังที่อยู่ใต้น้ำ กินตะไคร่ตามโขดหินและปะการังเป็นอาหาร ในน่านน้ำไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนพบหอยเป๋าฮื้อ 3 ชนิดคือ *Haliotis asinina, Haliotis ovina* และ *Haliotis varia* (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542) โดยหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ไทยเหล่านี้มีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีจำหน่ายทั่วโลก (พายัพ ยังปักษี, 2541)

Haliotis asinina เป็นหอยเป๋าฮื้อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย พบที่จังหวัดชลบุรี ระยอง ตราด และที่ทะเลทางฝั่งอันดามัน เปลือกมีลักษณะบางยาวเรียว ผิวเรียบ สีเขียวมะกอกหรือเขียวปนน้ำตาล มีความยาวเฉลี่ย 8 เซนติเมตร ความกว้างเฉลี่ย 4 เซนติเมตร หนักประมาณ 30–250 กรัมต่อตัว มีลักษณะใกล้เคียงกับหอยเป๋าฮื้อของประเทศเกาหลีใต้ชนิด *H. diversicolor supertexta*

Haliotis varia พบที่เกาะภูเก็ตและที่ทะเลอันดามัน เปลือกมีลักษณะยาวรีค่อนข้างแข็ง ผิวขรุขระ สีเขียวมะกอกหรือน้ำตาลแดง มีความยาวเฉลี่ย 4 เซนติเมตรและความกว้างเฉลี่ย 3 เซนติเมตร

Haliotis ovina และ *Haliotis varia* พบอาศัยอยู่ตามซอกของโขดหิน ซึ่งทั้ง 3 ชนิดพบในความลึกที่ระดับ 2–10 เมตร กินตะไคร่หรือสาหร่ายขนาดเล็กที่เกาะตามโขดหินใต้น้ำเป็นอาหาร โดยจะออกหาอาหารในเวลากลางคืน การรวบรวมหอยชนิดนี้มักทำในเวลากลางวันขณะที่น้ำลงต่ำสุด (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542)

2.2 **องค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำ**

สัตว์น้ำมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ นิวคลีโอไทด์และสารประกอบที่เกี่ยวข้องในสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็น Adenosine 5'- triphosphate (ATP) ซึ่งปริมาณ ATP จะลดลงทันทีหลังสัตว์ตายและแตกตัวให้สารประกอบอื่นๆ (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

ในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิด แต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งโปรตีนที่สำคัญออกเป็น 3 ประเภท คือ โปรตีนไมโอไฟบริลซึ่งมีบทบาทสำคัญในการยืดหดตัวและมีความสำคัญต่อการอุ้มน้ำของเนื้อ กลุ่มที่สองคือโปรตีนซาร์โคพลาสมิก ซึ่งเป็นโปรตีนของซาร์โคพลาซึมที่ประกอบด้วยเอนไซม์ซึ่งมีบทบาทโดยตรงต่อคุณภาพสัตว์น้ำ และยังประกอบด้วยโปรตีนเม็ดสีที่มีผลต่อลักษณะของสีกล้ามเนื้อเช่นกัน ส่วนโปรตีนกลุ่มสุดท้ายได้แก่สโตรมาซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่าง ๆ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพสัตว์น้ำ โดยมีผลต่อกลิ่นและรสชาติรวมทั้งมีผลต่อการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำด้วย สารประกอบที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดอะมิโนอิสระ เพปไทด์ นิวคลีโอไทด์ ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ นอกจากนี้สัตว์น้ำยังประกอบด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และองค์ประกอบอื่น ๆ อีก เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล เกลือของกรดอินทรีย์ เป็นต้น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)

2.3 การเปลี่ยนแปลงความสดของอาหารทะเล

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงหลังจากสัตว์น้ำตาย

หลังจากสัตว์น้ำตายกระบวนการ metabolism จะหยุดทำงาน เอนไซม์ที่มีอยู่ภายในตัวสัตว์น้ำเป็นปริมาณมากจะยังไม่ถูกทำลาย แต่เนื่องจากออกซิเจนในร่างกายหมดลงการทำงานของเอนไซม์จึงแตกต่างไปจากขณะที่มีชีวิตอยู่ จึงเกิดการการย่อยตัวเองของเอนไซม์ (autolysis) ซึ่งเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) จะพบมากในเครื่องในและอวัยวะต่าง ๆ เช่น เปลือกและหัว ดังนั้นจึงนิยมเอาเครื่องในและตัดหัวออกเพื่อให้ปลามีความสดอยู่ได้นาน นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ที่ย่อยเนื้อเยื่อจะย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อทำให้เนื้อเยื่อมีน้ำเกิดขึ้นเล็กน้อย แบคทีเรียจะเจริญได้ดีขึ้น ซึ่งการทำงานหรือการย่อยตัวเองของเอนไซม์นี้จะเกิดช้าลงถ้าเก็บรักษาปลาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

นอกจากนี้ยังเกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ โดยหลังจากสัตว์ตายกล้ามเนื้อยังคงมีความอ่อนนุ่มซึ่งเป็นสภาพที่เกิดขึ้นก่อนการเกร็งตัว หลังจากนั้นกล้ามเนื้อจะเริ่มหดตัวและเกร็งแน่น กิจกรรมของเอนไซม์ในเนื้อปลาจะทำให้เกิดการแตกตัวของ ATP แล้วยุติลงที่ Inosine หรือ Hypoxanthine แต่ปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ภายใต้ภาวะที่ขาดอากาศมีผลทำให้ ATP เปลี่ยนเป็น Adenosine diphosphate (ADP) พร้อมกับปล่อยพลังงานส่วนใหญ่ให้กล้ามเนื้อมีผลทำให้กล้ามเนื้อหดตัว ระยะนี้เอนไซม์ย่อยโปรตีนจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนให้

สารประกอบไนโตรเจนช่วยให้จุลินทรีย์ได้รับอาหารที่ดี ช่วยเร่งให้คุณภาพความสดลดลงเร็วยิ่งขึ้น (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อสัตว์น้ำตายเซลล์จะไม่ได้รับออกซิเจน ไกลโคเจนจึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้เหมือนในสภาพที่ยังมีชีวิตอยู่ แต่ไกลโคเจนยังคงแตกตัวต่อไปซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีส (glycolysis) จากการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้น เมื่อมีการสะสมของกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ pH ของกล้ามเนื้อมีความเป็นกรดสูงขึ้น pH จะลดลงจากปกติ 7.0–7.2 มาอยู่ที่ 6.2–6.3 ซึ่งเป็นช่วง pH ที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับ pH ในกล้ามเนื้อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีปริมาณไกลโคเจนสูงกว่าในสัตว์ทะเล การที่เนื้อปลามี pH ค่อนข้างสูงใกล้ pH 7.0 แบคทีเรียจึงเจริญได้ทำให้เนื้อปลาเกิดการเน่าเสียได้เร็ว (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

กระบวนการไกลโคไลซิสก่อให้เกิดกรดแลกติก ส่งผลต่อการลดลงของค่า pH ในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำ ปริมาณกรดแลกติกที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับปริมาณไกลโคเจนที่สะสมก่อนตาย โดยค่า pH ที่ลดต่ำลงจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของสัตว์น้ำ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลง pH ของกล้ามเนื้อสัตว์น้ำขึ้นกับการปลดปล่อย inorganic phosphate และแอมโมเนียในกระบวนการสลาย ATP ด้วย (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548) ค่า pH จะมีผลต่อการเน่าเสียของอาหารทะเล เนื่องจากค่า pH จะมีผลโดยตรงต่อการเจริญของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่อ โดยค่า pH หลังจากสัตว์ทะเลตายจะมีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ 5.5 ถึง 6.5 เนื่องจากการสะสมของกรดแลกติก (Ashie, Smith, and Simpson, 1996) อาหารทะเลส่วนใหญ่จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสะสมอยู่น้อย (น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์) ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลกติกเพียงเล็กน้อยจึงมีค่า pH ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับสัตว์ชนิดอื่น (Gram and Huss, 1996)

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงของด่างที่ระเหยได้และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนสามารถติดตามโดยการตรวจสอบปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total Volatile Base:TVB) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย Trimethylamine (TMA) และแอมโมเนียที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการทำงานของเอนไซม์ในสัตว์น้ำหรือเอนไซม์จากจุลินทรีย์ สำหรับไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide:TMAO) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนที่พบมากในสัตว์ทะเล เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ใน

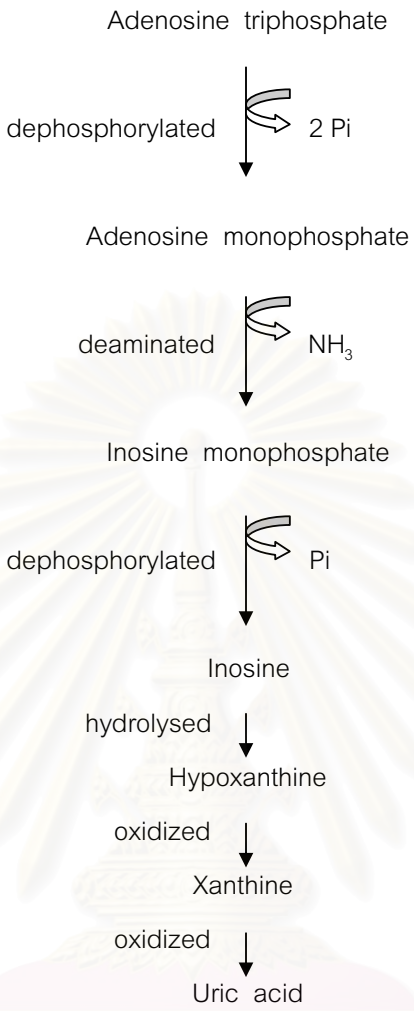
แพลงก์ตอนสัตว์ แพลงก์ตอนเหล่านี้มีเอนไซม์ TMA mono-oxygenase ซึ่งสามารถออกซิไดส์ TMA ไปเป็น TMAO ได้ ดังนั้นเมื่อสัตว์น้ำกินแพลงก์ตอนจึงเกิดการสะสมของ TMAO ภายในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำ ซึ่งปริมาณของ TMAO จะขึ้นกับชนิดของสัตว์น้ำและฤดูกาลด้วย (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)

TMAO สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่ออาหารและการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นดัชนีบอกการเน่าเสียของสัตว์น้ำอันมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียสามารถใช้ TMAOเป็นตัวรับอิเล็คตรอนในการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิด TMA ซึ่งมีกลิ่นคาว กระบวนการรีดักชันของสารประกอบ TMAO มีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ซึ่งพบในทะเล ได้แก่ *Alteromonas, Photobacterium, Vibrio* และ *Shewanella putrefaciens* หรือมีสาเหตุมาจาก *Aeromonas* หรือ *Enterobacteriaceae* ระหว่างการเจริญภายใต้ภาวะที่มีออกซิเจน (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

2.3.4 **การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์** (nucleotide breakdown)

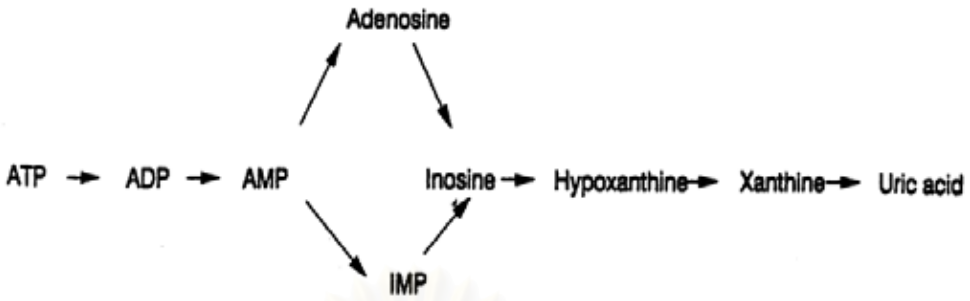
สารประกอบนิวคลีโอไทด์มีบทบาทสำคัญต่อรสชาติของสัตว์น้ำ Inosine monophosphate (IMP) และ AMP มีส่วนให้รสชาติดีเมื่ออยู่รวมกับกรดกลูตามิก นิวคลีโอไทด์มากกว่าร้อยละ 90 ในเนื้อปลาและสัตว์จำพวกครัสเตเชียคืออนุพันธ์ของพิวรีน (purine) และประกอบด้วยอนุพันธ์ของยูราซิล (uracil) และไซโตซีน (cytosine) เพียงเล็กน้อย (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)

สารประกอบนิวคลีโอไทด์ในกล้ามเนื้อขณะที่มีชีวิตอยู่จะประกอบด้วย ATP เป็นส่วนใหญ่ หลังจากปลาตาย ATP จะถูกทำลายโดยเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในเนื้อปลา จะได้สารประกอบต่าง ๆ และรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันไปตามชนิดและอุณหภูมิในการเก็บรักษา (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531) การสลายตัวของนิวคลีโอไทด์ประกอบด้วยกระบวนการ dephosphorylation จาก ATP ไปเป็น Adenosine monophosphate (AMP) และกระบวนการ deamination ไปเป็น IMP เนื่องจากการสลายตัวของ IMP ไปเป็น inosine เกิดขึ้นช้าในปลา ดังนั้น AMP จึงสะสมในกล้ามเนื้อปลา ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์โดยทั่วไป
ที่มา: Botta (1994)

สัตว์ทะเลจำพวกที่มีโครงสร้างแข็งภายนอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ AMP เป็น Adenosine จากปฏิกิริยา dephosphorylation สัตว์จำพวกครัสเตเชียมักพบ AMP เนื่องจากมีกิจกรรมของเอนไซม์ AMP deaminase ต่ำ ส่วนสัตว์จำพวกมอลลัสจะไม่พบ AMP deaminase ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ของสัตว์พวกที่มีโครงสร้างภายนอกแข็ง
ที่มา: Ashie, Smith และ Simpson (1996)

การเปลี่ยนแปลงของนิวคลีโอไทด์จะแบ่งเป็น 2 แบบคือการเปลี่ยนจาก ATP เป็น ADP, AMP, IMP, Inosine, Hypoxanthine, Xanthine และ Uric acid ตามลำดับ และเปลี่ยนจาก ATP เป็น ADP, AMP, Adenosine, Inosine, Hypoxanthine, Xanthine และ Uric acid การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถนำมาใช้บ่งชี้คุณภาพของสัตว์น้ำได้เนื่องจากสัตว์น้ำส่วนใหญ่การแตกตัวของนิวคลีโอไทด์จะสิ้นสุดที่ Hypoxanthine ซึ่งให้รสขม ไม่เป็นที่ต้องการ ล้างออกยากและเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ดังนั้นการให้ความเย็นเป็นการรักษาความสดของสัตว์น้ำที่สำคัญที่สุด โดยจะทำให้เกิดกรดแลกติกอย่างช้า ๆ ทำให้การลดลงของ pH ช้าลง การแตกตัวของ ATP จะช้าลงทำให้การเกร็งตัวเกิดขึ้นช้าลงด้วย (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

2.4 การเปลี่ยนแปลงความสดของหอยเป๋าฮื้อระหว่างการเก็บรักษา

James และ Olley (1974) พบว่าการเสื่อมเสียของหอยเป๋าฮื้อจะเป็นไปอย่างรวดเร็วถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงและไม่มีการเอาเปลือกออก การเอาเปลือกและเครื่องในออกจะเป็นการป้องกันการปนเปื้อนจากแบคทีเรียที่อยู่ในเครื่องในและป้องกันการเสื่อมเสียจากเอนไซม์ด้วย จึงควรเก็บหอยเป๋าฮื้อในสภาพที่แกะเปลือกและเอาเครื่องในออกภายใต้อุณหภูมิต่ำ

Hatae และคณะ (1995) ได้ศึกษาผลของฤดูกาลที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อพบว่าโดยเฉลี่ยหอยเป๋าฮื้อจะมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ความชื้น 72.3–82.1% โปรตีน 14.2–18.4 % ไขมัน 0.26–0.93 % และเถ้า 1.11–1.29 % และได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของ ATP และสารประกอบอื่นว่า ในปลาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก ATP ซึ่งเป็นสารประกอบพวกกรดนิวคลีอิกไปเป็น ADP และเปลี่ยนเป็น AMP

IMP Inosine และ Hypoxanthine ตามลำดับ ในสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลังนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก ATP เป็น ADP AMP Adenosine Inosine และ Hypoxanthine แต่สำหรับหอยเป๋าฮื้อจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งสองแบบ หอยเป๋าฮื้อจะมีการสะสมสารประกอบพวก AMP เป็นส่วนใหญ่แทนที่จะเป็น IMP หรือ Adenosine ซึ่ง AMP นั้นจะเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิด umami โดย umami taste ในหอยเป๋าฮื้อนี้จะเกิดจากกรดกลูตามิกซึ่งจะทำให้เกิดรสหวานเป็นกลิ่นรสเฉพาะของหอยเป๋าฮื้อขึ้น แต่พบว่าเมื่อปริมาณ AMP ลดลงก็จะทำให้ umami taste ลดลงไปด้วย

Chiou และคณะ (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบต่างๆ ของหอยเป๋าฮื้อขนาดเล็กระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 15 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงของค่า Volatile Basic Nitrogen และ K-value เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนที่อุณหภูมิ 15 และ 25 องศาเซลเซียสพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่า Volatile Basic Nitrogen และ K–value ระหว่างการเก็บรักษา และสามารถเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 5 15 และ 25 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลา 84 60 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

Watanabe และคณะ (1992) พบว่าการสลายตัวของ ATP ใน disk abalone นั้นจะเกิดช้ากว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่นและมีการสะสมของ AMP ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ AMP ของหอยนั้นจะแตกต่างจากสัตว์อื่นคือ จะมีการเปลี่ยนจาก AMP ไปเป็น IMP และ Adenosine

2.5 การเน่าเสียของอาหารทะเล

อาหารทะเลเป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย มีผลให้คุณภาพเปลี่ยนทันทีหลังจากถูกจับขึ้นจากน้ำ การเปลี่ยนแปลงที่แสดงถึงความเสื่อมเสียจะเกิดมากขึ้นในระยะหลังการเกร็งตัว ปกติสัตว์น้ำจะมีคาร์โบไฮเดรตสะสมอยู่ที่ตับในรูปของไกลโคเจน เมื่อสัตว์ตายไกลโคเจนจึงเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก โดยทั่วไป pH ของปลาจะอยู่ในช่วง 6.2–6.6 ยกเว้นปลาบางชนิด เช่น ปลาลิ้นหมาและปลาทูน่า เป็นต้น ที่อาจมี pH ต่ำได้ถึง 5.5 เมื่อสัตว์น้ำอยู่ในสภาพที่เกร็งตัวจะถือว่ายังมีความสดอยู่ หลังการเกร็งตัวแบคทีเรียจะสามารถเข้าทำลายได้ง่าย เนื่องจากเอนไซม์ที่ย่อยตัวเองในระยะแรกเข้าย่อยโปรตีนทำให้แบคทีเรียใช้สารอาหารเหล่านั้นได้ดียิ่งขึ้น หลังจากนั้นเอนไซม์จากแบคทีเรียจะเข้ามามีบทบาทโดยการย่อยเนื้อเยื่อต่าง ๆ ผลของการย่อยจะเกิดสารเอมีน แอมโมเนีย แอลกอฮอล์ และไนไตรท์ ซึ่งการสะสมของสารเหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่นคาวปลา นอกจากนี้กรดอะมิโนบางตัว เช่น histidine จะทำให้เกิดกลิ่นฉุนในอาหารทะเล เป็นต้น

นอกจากนี้ปลาที่มีไขมันสูงส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่ายทำให้มีกลิ่นเหม็นและเปลี่ยนสี (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

Farber (1991) กล่าวว่าอาหารทะเลนั้นจะไม่เหมือนกับอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากอาหารทะเลเสื่อมเสียได้ง่ายมากจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี เช่น *Pseudomonas, Moraxella, Acinetobacter*, *Flavobacterium* และ *Cytophaga* เป็นต้น

Hall (1997) กล่าวว่า นอกจาก *Pseudomonas, Moraxella, Acinetobacter*, *Flavobacterium* และ *Cytophaga* แล้ว *Vibrionaceae* และ *Aeromonadaceae* เป็นแบคทีเรียที่สามารถพบได้ทั่วไปในสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Bacillus*, *Micrococcus, Clostridium, Lactobacillus* และ *coryneforms* ด้วย โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนนั้นจะถูกทำลายได้ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแบคทีเรียแกรมลบนั้นจะถูกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำลายได้ง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

แบคทีเรียที่เป็น microflora ในอาหารทะเลทั่วไปเป็นพวก psychrotrophic Gram-negative, rod–shaped bacteria เช่น *Pseudomonas, Moraxella, Acinetobacter, Shewanella, Flavobacterium, Vibrionaceae* และ *Aeromonadaceae* แต่ก็ยังสามารถพบ Gram–positive ได้ด้วย เช่น *Bacillus, Micrococcus, Clostridium, Lactobacillus* และ *Corynebacterium* เป็นต้น (Gram and Huss, 1996)

2.6 การถนอมรักษาผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ธรรมชาติของอาหารทะเลนั้นจะเสื่อมเสียง่าย จึงได้มีการพัฒนาวิธีการเพื่อที่จะยืดอายุการเก็บและรักษาคุณภาพของอาหารทะเลเอาไว้ให้ได้นานที่สุด ซึ่งได้มีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาใช้ การรมควัน (smoking) การอบแห้ง (drying) การเก็บรักษาโดยการใช้เกลือ (salting) เป็นวิธีที่ลดความชื้นของอาหารทะเลจึงช่วยลดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของ autolytic enzymes

การเก็บรักษาอาหารทะเลในรูปของสดซึ่งเป็นรูปแบบที่ผู้บริโภคต้องการอาจทำได้โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและการใช้สารเคมี เช่น การเติมกรดแอสคอร์บิก EDTA หรือกรดซอร์บิก เป็นต้น และยังมีเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการเก็บรักษาอาหารทะเลอีก เช่น การใช้ low–dose irradiation, modified atmosphere storage และ high–pressure treatment เป็นต้น (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

2.7 การเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เย็น

อุณหภูมิมีผลต่อการเร่งหรือลดปฏิกิริยาทางเคมี ตามปกติอุณหภูมิต่ำมีผลไปลดปฏิกิริยาทางเคมีและการทำงานของเอนไซม์ จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารออกไปได้ นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน การเก็บอาหารแบบแช่เย็นโดยใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อยนั้นจะช่วยถนอมรักษาอาหารเอาไว้ได้ โดยทั่วไปการทำให้เย็นอาจทำโดยการใช้น้ำแข็งหรือการแช่ตู้เย็นจะสามารถเก็บอาหารทะเลไว้ได้ระยะหนึ่งเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์และการเจริญของจุลินทรีย์ช้าลง โดยอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสภาพเดิมเล็กน้อย

การเก็บรักษาแบบแช่เย็นมักจะเก็บที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง โดยทั่วไปนิยมเก็บอาหารหลายชนิดไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 0–5^{0}C ทั้งนี้มีปัจจัย 3 ประการที่กระตุ้นให้เกิดการพัฒนาขึ้น ได้แก่ วัตถุประสงค์ของผู้ผลิตอาหารในการที่จะเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ ความต้องการของผู้บริโภคที่จะบริโภคอาหารสดและสะดวก โดยไม่ต้องซื้อหาบ่อย ๆ และสะดวกในการเตรียมเป็นอาหาร และความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบทำความเย็นตลอดห่วงโซ่ของการจัดหาอาหารจากแหล่งผลิตจนถึงมือผู้บริโภค (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

ตามปกติอาหารแช่เย็นไม่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) แต่เหมาะสมกับแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) หรือแบคทีเรียที่ปรับตัวเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophs) แม้ว่าแบคทีเรียจำพวก psychrotrophs เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำแต่การเจริญก็เป็นไปอย่างช้า ๆ การเน่าเสียจึงเกิดขึ้นช้า โดยจุลินทรีย์พวก psychrotrophs ที่มีความสำคัญต่ออาหารทะเล เช่น *Aeromonas hydrophila* และ *Clostridium botulinum* type E เป็นต้น (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (Modified Atmosphere Packaging) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่นำมาใช้ในการเก็บรักษาอาหารทะเลส่วนการใช้อุณหภูมิต่ำก็เป็นวิธีการเก็บรักษาอาหารทะเลที่รู้จักกันดีเป็นเวลานาน ดังนั้นในปัจจุบันการใช้อุณหภูมิต่ำร่วมกับการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจที่จะนำมายืดอายุการเก็บอาหารทะเลให้นานขึ้น

2.8 การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

Church (1994) กล่าวว่า MAP ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารได้ โดยใช้ร่วมกับการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับและเพิ่มความปลอดภัยในเรื่องจุลินทรีย์

2.8.1 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

2.8.1.1 การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (Modified – atmosphere packaging ; MAP)

อากาศมีอัตราส่วนของก๊าซไนโตรเจน 78.08 ก๊าซออกซิเจน 20.95 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.035 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และยังประกอบด้วยไอน้ำและก๊าซเฉื่อยชนิดอื่น ๆ การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นจะเป็นการแทนที่อากาศที่มีอยู่ภายในภาชนะบรรจุด้วยก๊าซชนิดเดียวหรือก๊าซผสมก็ได้ โดยจะเติมก๊าซแต่ละชนิดลงในภาชนะบรรจุในอัตราส่วนที่แน่นอน หลังจากนั้นจะไม่มีการควบคุมอัตราส่วนของก๊าซอีก ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของก๊าซได้ เนื่องมาจากการเกิดก๊าซออกจากตัวผลิตภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์มีการดูดซับก๊าซเข้ามา การแพร่ผ่านของก๊าซออกไปจากภาชนะบรรจุ หรือเกิดก๊าซจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Church,1994)

2.8.1.2 การบรรจุแบบสุญญากาศ (Vacuum packing ; VP)

ผลิตภัณฑ์จะถูกบรรจุในภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของออกซิเจนต่ำ จะมีการดูดอากาศออกจากภาชนะบรรจุก่อนที่จะมีการปิดผนึก ซึ่งอาจมีอากาศเหลืออยู่เพียง 0.3 – 3 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของก๊าซหลังจากเก็บรักษาในระยะเวลาหนึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เช่นเดียวกัน เกิดจากเมตาบอลิซึมของตัวผลิตภัณฑ์ กิจกรรมของจุลินทรีย์และการซึมผ่านของอากาศออกไปภายนอก ดังนั้นจึงจัดว่าเทคนิคนี้เป็นการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุแบบหนึ่ง (Church,1994) ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้โดยการมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในกลุ่ม *Pseudomonas* และ *Aeromonas* ได้ (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

2.8.2 วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่นำมาใช้กับการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่จะนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์จะต้องมีการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนที่ดีสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเสื่อมเสียง่ายถ้ามีออกซิเจน เนื่องจากออกซิเจนจะทำให้เกิดการสูญเสียด้านกลิ่นรส การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเกิดออกซิเดชัน การซึมผ่านของความชื้นนั้นก็มีความสำคัญ เนื่องจากจุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญได้ถ้าไม่มีความชื้น ทำให้

สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บนานขึ้น การเก็บในภาวะสุญญากาศหรือการแช่เย็นนั้นผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพดีถ้าไม่มีความชื้น (Hirsch, 1991)

สมบัติของฟิล์มที่นำมาใช้เก็บรักษาด้วยเทคนิคการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นมีความสัมพันธ์ต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก ฟิล์มจะต้องมีค่าการยอมให้ก๊าซผ่านที่เหมาะสม (Bugueno *et al.*, 2003) ฟิล์ม Polyvinylidene chloride (PVDC) สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ทนต่ออาหารที่มีไขมันสูงและมีความยืดหยุ่นดี (Piringe and Baner, 2002) เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีที่สุด โดยมักจะเคลือบกับวัสดุชนิดอื่นเพื่อนำมาใช้ในการบรรจุ เช่น OPP film เพราะ PVDC สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีอีกด้วย (Goddard, 1990)

2.8.3 ก๊าซที่ใช้ในการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

ก๊าซที่ใช้ในการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่นิยมใช้กันมากคือ ออกซิเจน ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนจะเป็นตัวป้องกันการเจริญของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนแต่ก็จะเร่งการเจริญของแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนด้วย และทำให้ไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อของสัตว์อยู่ในรูปที่เป็นสีแดงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยาในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากไนโตรเจนนั้นเป็นก๊าซที่มีค่าการละลายน้ำต่ำจึงใช้บรรจุลงในผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเพื่อป้องกันการเสียหายของบรรจุภัณฑ์เมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก นอกจากนี้ก๊าซไนโตรเจนยังนำมาใช้เพื่อแทนที่ก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์เพื่อชะลอการเกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนด้วย คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ละลายได้ทั้งในน้ำและไขมันจึงเป็นก๊าซหลักที่ใช้ในการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ช่วง lag phase ในการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ในช่วง log phase (Stammen, Gerdes, and Caporaso, 1990)

ออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซหลักที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (Farber *et al.*, 1990) ซึ่งการเลือกใช้ก๊าซผสมชนิดใดนั้นจะต้องคำนึงถึงผลกระทบที่มีต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์นั้นๆ สมบัติของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์อาจมีผลต่อตัวผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์บางชนิดจะไวต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซ

ออกซิเจนมาก เช่น ในผลิตภัณฑ์จำพวกเนื้อสัตว์ที่จำเป็นต้องรักษาไมโอโกลบินหรือสารไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ cured meat เป็นต้น (Church, 1994)

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและในไขมัน และเป็นก๊าซหลักที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และมีผลยับยั้งการหายใจของผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยจะไปยืดช่วง lag phase ในการเจริญของจุลินทรีย์และลดการเจริญในช่วง log phase ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อจุลินทรีย์นี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อายุและปริมาณของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีอยู่ในอาหาร อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาและชนิดของผลิตภัณฑ์ (Church and Parsons, 1995)

แม้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี แต่ในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เช่น เนื้อสัตว์ สัตว์ปีกและอาหารทะเล เป็นต้น จะมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ได้มาก จึงทำให้เกิดการเสียหายของภาชนะบรรจุได้ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปก็จะส่งผลให้เกิดการเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพิ่มขึ้นและทำให้ปลาที่มีไขมันสูงมีคุณภาพลดลง (Farber, 1991)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เนื่องมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน เริ่มจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนจึงทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง มีผลต่อค่า pH โดยจะละลายเข้าไปในส่วนที่เป็นน้ำของชิ้นอาหารและทำให้มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และค่าการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง มีการสนับสนุนว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อสมบัติทางชีวภาพของเนื้อเยื่ออาหารโดยจะละลายเข้าไปในส่วนที่เป็นน้ำ (liquid phase) จากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในรูปกรดคาร์บอนิกที่ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้ค่า pH ของเนื้อเยื่อลดลงอย่างรวดเร็ว และการเกิดภาวะที่เป็นกรดนี้เองที่มีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย การยับยั้งจะมีผลเพิ่มขึ้นหากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพราะที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในส่วนที่เป็นน้ำได้ดีขึ้น ดังนั้นใช้การแช่เย็นร่วมในการเก็บรักษาจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้นได้ (Daniels, Krishnamurthi, and Rizvi, 1985)

นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ยังมีผลต่อการซึมผ่านของเซลล์ โดยเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายเข้าไปอยู่ในเซลล์ในรูปของกรดคาร์บอนิก (Wolfe, 1980) จากนั้นจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำจึงทำให้สมบัติด้านความสามารถในการซึมผ่านของเซลล์เปลี่ยนไปและมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ด้วย (Church and Parsons, 1995)

สรุปได้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เนื่องจากเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจน จึงมีผลให้การเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนช้าลง โดยจะเข้าไปมี

ผลทางเคมีต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ เพราะจะสามารถทำให้เกิดภาวะที่เป็นกรดภายในเซลล์ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อค่า pH และการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์โดยจะไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ด้วย (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

ออกซิเจนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจของเนื้อเยื่อ ใช้ในการเกิด oxidation และใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นการยืดอายุการเก็บของอาหารสดจึงจำเป็นที่จะต้องลดเมตาบอลึซึมและการเกิดออกซิเดชั่นโดยการลดปริมาณออกซิเจน แต่การที่มีออกซิเจนระดับต่ำเกินไปก็จะกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญได้ (Labuza, Fu, and Taoukis, 1992)

โดยทั่วไปออกซิเจนจะกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนและจะยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ต้องการสภาพไร้ออกซิเจนในการเจริญ (strictly anaerobic bacteria) ออกซิเจนมีความสำคัญอย่างยิ่งกับการเก็บรักษาเนื้อสด เนื่องจากออกซิเจนจะช่วยรักษาไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ให้อยู่ในรูปออกซิไมโอโกลบินซึ่งจะทำให้เนื้อมีสีแดงสด โดยจะใช้การปรับสภาพภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนของก๊าซออกซิเจน 80 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่การมีออกซิเจนอยู่ภายในภาชนะบรรจุนั้นจะทำให้เกิดปัญหากลิ่นหืนและสีได้เช่นกัน โดยจะเกิดปัญหาในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักและปลาที่มีไขมันสูง การเติมออกซิเจนในช่วง 5–10 เปอร์เซ็นต์ ในผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะสามารถต่อต้านการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่ไม่ใช่ออกซิเจนในการเจริญได้โดยเฉพาะ *C. botulinum* อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปอัตราส่วนของก๊าซภายในภาชนะบรรจุย่อมจะมีการเปลี่ยนแปลงไป (Church, 1994) เมื่อมีปริมาณออกซิเจนสูงขึ้นจะเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงได้ เช่นในผลิตภัณฑ์ปลาที่มีไขมันสูงหรือเบคอน ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงไม่มีการเติมก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ (Phillips,1996, and Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่มีรส มีผลเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยในการยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ เนื่องจากตัวไนโตรเจนเองสามารถละลายในน้ำและไขมันได้ต่ำ จึงใช้เติมลงในภาชนะบรรจุเพื่อป้องกันการเสียหายจากการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งการเสียหายของผลิตภัณฑ์นั้นจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในกรณีที่มีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงๆ และเกิดการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังใช้ก๊าซไนโตรเจนมาแทนที่ก๊าซออกซิเจนเพื่อชะลอการเกิดกลิ่นหืน (oxidative rancidity) โดยมักใช้ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ (Farber, 1991 and Phillips, 1996)

นอกจากก๊าซหลักทั้ง 3 ชนิดแล้วก็ยังมีการนำก๊าซชนิดอื่นมาใช้กับ MAP อีกด้วย ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ โอโซน ฮีเลียม ไฮโดรเจน นีออน อาร์กอน โพรไพรีนออกไซด์ เอทีลีน และคลอรีน อย่างไรก็ตามการใช้ก๊าซแต่ละชนิดก็ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัย ต้องพิจารณาข้อเสียที่เกิดขึ้น การยอมรับของผู้บริโภคและสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้วย (Church, 1994)

2.9 การใช้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุในการเก็บรักษาอาหารทะเล

อัตราส่วนของก๊าซที่นำมาใช้ในการทำ MAP ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอาหารทะเล คือ 40% CO_2: 30 % N_2: 30% O_2 สำหรับอาหารทะเลที่มีไขมันต่ำและ 40 – 60%CO_2: 40 - 60%N_2 สำหรับอาหารทะเลที่มีไขมันสูง (Hall, 1997)

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีการแนะนำว่าเหมาะสมกับการใช้เก็บรักษาปลาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้มีคุณภาพดีคือ 40% และ 60% และการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้นก็ไม่ได้ส่งผลให้คุณภาพดีขึ้น (Daniels, Krishnamurthi, and Rizvi, 1985)

2.10 การบอกคุณภาพของอาหารทะเลระหว่างการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

ระหว่างการเก็บรักษาอาหารทะเลโดยใช้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งภายในภาชนะบรรจุและภายในเนื้อเยื่อของอาหารทะเลเองซึ่งจะเป็นผลให้เกิดการเน่าเสียในที่สุด ดัชนีพื้นฐานที่ใช้ในการบอกคุณภาพของอาหารโดยทั่ว ๆ ไปก็ได้ถูกนำมาใช้ เช่น ปริมาณจุลินทรีย์ ผลทางด้านประสาทสัมผัส ค่าความสด (K–value) และการสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ เป็นต้น (Olafsdottir *et al.*, 1997) นอกจากนี้การเก็บรักษาโดยการใช้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงค่า pH การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนก๊าซภายในภาชนะบรรจุ เป็นต้น

2.10.1 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนก๊าซ

อัตราส่วนของก๊าซที่เราใช้ในการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นเมื่อเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่งก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวของก๊าซและ

กิจกรรมของเอนไซม์และจุลินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายเข้าไปในเนื้อเยื่อของปลาได้ ในช่วงแรกของการเก็บรักษาปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงอาจลดลงเนื่องมาจากละลายเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อและทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ระยะหนึ่ง และปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ก็จะลดลงอันเนื่องมาจากการที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการดำรงชีวิต การติดตามการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของก๊าซภายในภาชนะบรรจุจึงมีประโยชน์ในการติดตามและหาสาเหตุของการเสื่อมเสียได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของก๊าซนั้นจะสัมพันธ์กับการเจริญของจุลินทรีย์และ pH ที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย (Stammen, Gerdes, and Caporaso, 1990)

2.10.2 การเปลี่ยนแปลง pH ระหว่างการเก็บรักษา

ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุพบว่า pH ที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิกจึงทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Banks *et al*., 1980)

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

นอกจากนี้การเน่าเสียที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์และเอนไซม์ภายในตัวผลิตภัณฑ์จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารทะเลที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุด้วย

2.10.3 ปริมาณจุลินทรีย์

จำนวนจุลินทรีย์จัดเป็นดัชนีที่สำคัญมากในการบอกคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ การเน่าเสียของอาหารทะเลและอาหารอื่นทั่วไปนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์ประมาณ 10^6 -10^7 CFU / g (Gram and Dalgaard, 2002) โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะเป็นดัชนีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในการบอกอายุการเก็บของอาหารทะเลที่มีการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0-10 องศาเซลเซียสหรือการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งพบว่าอาหารทะเลที่มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงประมาณ 10^6 CFU/g จะเป็นอาหารที่มีคุณภาพไม่ค่อยดีในการนำไปบริโภค (Olafsdottir *et al*., 1997)

S.aureus นั้นเป็นจุลินทรีย์ประเภท facultative anaerobe ซึ่งมีการรายงานว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์

และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการเจริญ *S.aureus* ได้ โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *S.aureus* ในบรรยากาศปกติคือ 5-10 องศาเซลเซียส (Hintlian and Hotchkiss, 1986)

2.10.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TVB

การตรวจสอบหาปริมาณของ total volatile base nitrogen (TVB–N) หรือ total volatile base (TVB) นั้นเป็นวิธีพื้นฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการวัดคุณภาพความสดทางเคมีของอาหารทะเล ซึ่งค่า TVB จากอาหารทะเลสดที่ไม่ได้ผ่านการแช่แข็งนั้นจะประกอบด้วย TMA และ แอมโมเนีย โดยปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อมีผลจากการทำงานของเอนไซม์ urease และการเพิ่มขึ้นของ pH จาก 7 เป็น 8 หรือสูงกว่าเล็กน้อย สารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB–N) นั้นเกิดจากการแตกตัวของสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นค่าบ่งชี้ความสดของอาหารทะเล (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)

2.10.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TMA

สารประกอบไตรเมธิลามีน (TMA–N) เป็นดัชนีที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในการบอกคุณภาพความสดของอาหารทะเลในด้าน odour และ flavour ซึ่งใช้ได้ดีกับอาหารทะเลทั่วไป สามารถใช้ตรวจสอบการเสื่อมเสียคุณภาพในระยะแรกของอาหารทะเล ปลาสดจะมีค่า TMA ต่ำมากและจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปลาเริ่มเน่าเสีย เนื่องจาก TMA จะเกิดจากการ reduce ของ TMAO โดย facultative bacteria ระดับของ TMAO ที่มีอยู่ในอาหารทะเลนั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิด อายุ ขนาด ที่อยู่อาศัย สิ่งแวดล้อมและช่วงเวลา จึงทำให้ระดับ TMAO เริ่มต้นและ TMA ที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไป และการที่ TMA จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงแรกของการเสื่อมเสียจึงไม่จำเป็นนักที่จะหาปริมาณ TMA ในอาหารทะเลที่เก็บรักษาน้อยกว่า 6 วัน

TMA และแอมโมเนียจัดเป็น off-odours และ sour off–flavours ที่พบในผลิตภัณฑ์ cod fillets ที่เสื่อมเสียระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้การบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุร่วมกับการแช่เย็น พบว่า *Shewanella putrefaciens* เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของปลาจะสร้างสารที่ทำให้เกิด off-odours TMA และ H_2S (Dalgaard, 1995)

2.10.6 การยอมรับทางประสาทสัมผัส

การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคนั้นเป็นดัชนีที่ใช้บอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างดี เพราะการยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานเพียงไรนั้น สุดท้ายก็ต้องตัดสินจากการยอมรับของผู้บริโภค การใช้ดัชนีหลาย ๆ ดัชนีร่วมกับการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสจะมีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้ดัชนีใดดัชนีหนึ่งเป็นเกณฑ์เดียวในการตัดสิน (Gram and Dalgaard, 2002)

2.10.7 สี

โปรตีนฮีม (heme proteins) เป็นแหล่งของเม็ดสีที่สำคัญ เม็ดสีชนิดนี้จะมีผลต่อลักษณะสีแดงของกล้ามเนื้อ เม็ดสีที่สำคัญในกลุ่มนี้ประกอบด้วย ออกซีไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) และออกซีฮีโมโกลบิน (oxyhemoglobin) โดยปกติฮีโมโกลบินมีผลน้อยต่อลักษณะปรากฏของอาหารทะเล เนื่องจากจะสูญเสียได้ง่ายระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา ส่วนไมโอโกลบิน (myoglobin) จะยังคงอยู่ในโครงสร้างของเซลล์ โดยทั่วไปจะไม่พบฮีโมโกลบินในสัตว์จำพวกครัสเตเซียและมอลลัส เช่น หอยและปลาหมึก เป็นต้น จะมีโปรตีนที่ประกอบด้วยทองแดงเรียกว่า hemocyanin ซึ่งมีความสามารถในการจับออกซิเจน hemocyanin สามารถจับออกซิเจน 1 โมเลกุลต่อทองแดง 2 อะตอม (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)

การเปลี่ยนแปลงสีของอาหารทะเลพวกกุ้งและลอบส์เตอร์ระหว่างการเก็บรักษานั้นมีสาเหตุโดยตรงมาจากการทำงานของเอนไซม์ แต่สำหรับปลาบางประเภท เช่น ปลาทูน่า และปลา mullet เป็นต้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่ไม่เป็นที่ต้องการคือ ปลาทูน่าจะเกิดสีเขียว (greening phenomenon) ส่วนใน mullet นั้นจะเกิดสีเหลือง greening phenomenon ที่พบในปลาทูน่านั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบิน โดยจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของ TMAO กับ cysteine ที่หลงเหลืออยู่ซึ่งจะทำให้เกิดสีเขียวในปลาทูน่า ในทางตรงกันข้ามนั้นการเกิดสีเหลืองใน mullet เกิดจากการแพร่ของ carotenoid ออกมาจาก chromatophore หรือจาก carotenoprotein complexes ในผิวหนังออกมาที่ชั้นไขมัน (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

2.10.8 การแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์

การวัดค่าการแตกตัวของนิวคลีโอไทด์แสดงถึงการเสื่อมคุณภาพในระยะแรกหรือการลดลงของความสดในสัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี หลังจากที่จับปลาขึ้นมาแล้วระดับของ ATP จะลดลงและ Adenosine สารประกอบนิวคลีโอไทด์ส่วนใหญ่จะเกิดการแตกตัวถูกเปลี่ยนเป็น IMP

ภายใน 1–3 วัน การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเกิดเป็น Inosine และ Hypoxanthine ในที่สุด ซึ่ง Hypoxanthine นั้นจะทำให้เกิดรสขมในขณะที่ IMP จะทำให้เกิดกลิ่นรสของปลาสด (Ozogul *et al*., 2000)

การแตกตัวของนิวคลีโอไทด์สามารถติดตามได้หลายวิธี เช่น การตรวจสอบหาปริมาณ IMP เป็นต้น เนื่องจากการสูญเสียปริมาณ IMP จะทำให้สัตว์น้ำมีกลิ่นและรสชาติเสียไป แต่เนื่องจาก IMP จะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงควรใช้เป็นค่าประเมินคุณภาพเฉพาะระยะแรกเท่านั้น (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

การตรวจสอบหาปริมาณ Hypoxanthine ซึ่งจะเกิดจากการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ซึ่งจะสะสมเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่เก็บรักษาจึงใช้เป็นค่าประเมินความสดในระยะแรกได้ สัตว์น้ำต่างชนิดกันก็จะมีการสะสมของ Inosine หรือ Hypoxanthine ระหว่างการแช่เย็นแตกต่างกัน

การตรวจสอบค่าความสด (K-value) เป็นค่าที่แสดงเป็นสัดส่วนร้อยละระหว่าง Inosine และ Hypoxanthine ต่อปริมาณการแตกตัวของ ATP รวมทั้งสารประกอบที่เกิดจากการสลายตัว สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$K - value = \frac{HxR + Hx}{ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx} \times 100$$

โดย HxR แทนปริมาณ Inosine และ Hx แทนปริมาณ Hypoxanthine

ปกติ K–value ของอาหารทะเลสดจะมีค่าต่ำ เมื่อความสดลดลง K–value จะสูงขึ้น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า K–value เป็นค่ารวมของสารประกอบต่าง ๆ ที่เกิดจากการสลายตัวของ ATP และใช้เป็นค่าบ่งชี้ประมาณค่าความสดของสัตว์น้ำได้ดี อย่างไรก็ตามความสดของสัตว์น้ำนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย จึงไม่สามารถประเมินจาก K–value เพียงอย่างเดียวได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

หอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อที่นำมาทดลองเป็นพันธุ์ *Haliotis asinina* Linnaeus จากสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี น้ำหนักตัวละประมาณ 20 กรัม เมื่อนำเปลือกและเครื่องในออกจะหนักตัวละประมาณ 10 กรัม

วัตถุดิบที่ใช้ในการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

ถุง Polyvinylidene chloride (PVDC) เคลือบบน OPP/PE (Janjaras Chem Supply Co., Ltd.) หนา 20/40 ไมครอน ขนาด 23 x 16 เซนติเมตร water vapor permeability = 4 g/m^2 * 24 hrs., oxygen permeability = 10 cc/m^2 atm * 24 hrs @ 20-25^{o}C

ก๊าซไนโตรเจน, UHP (99.999%) บริษัทลินเด้แก๊ส

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (99.9%)บริษัทลินเด้แก๊ส

ก๊าซออกซิเจน (99.9%)บริษัทลินเด้แก๊ส

วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์

Stomacher bag

Anaerobe pack (MGC, AnaeroPack-Anaero, Mitsubishi Gas Chemical co., Inc)

จานเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ชนิดพลาสติก

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

กรดซัลฟูริก (J.T. Baker, USA)	(A.R.)
กรดบอริก (Univa, Ajax Finechem, Australia)	(A.R.)
เซเลเนียมรีเอเจนท์มิกซ์เจอร์ (Merck, Darmstadt, Germany)	(A.R.)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Univa, Ajax Finechem, Australia)	(A.R.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

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

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

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

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์

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

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

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

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

นิวเตรียน เอการ์ (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., India) (A.R.)

เอส พี เอส เอการ์ (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., India) (A.R.)

ไวโอเลต เรด ไบล์ เอการ์ (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., India) (A.R.)

ที ซี บี เอส เอการ์ (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., India) (A.R.)

แมนนิทอล ซอล เอการ์ (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., India) (A.R.)

แอลกอฮอล์ 70%

แอลกอฮอล์ 95%

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Trimethylamine (TMA)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Total Volatile Base (TVB)

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

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

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

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

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

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

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

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารสกัด

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

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

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

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ATP และสารอนุพันธ์

สารมาตรฐาน (บริษัท Wako Pure Chemical Industries, Ltd., ประเทศญี่ปุ่น)

inosine (Ino) purity 100 %

สารมาตรฐาน (บริษัท Sigma. Chem. Co)

adenosine 5'-triphosphate, disodium (ATP-Na_2) purity 99 %

adenosine 5'-diphosphate, disodium (ADP-Na_2) purity 98 %

adenosine 5'-monophosphate, disodium (AMP-Na_2) purity 99 %

inosine 5'-monophosphate, disodium (IMP- Na_2) purity 98-100 %

adenosine (Ado) purity 99 %

hypoxanthine (Hyx) purity 99 %

ตัวทำละลาย

เมธทานอล (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy) (HPLC grade)

น้ำบริสุทธิ์ เป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แบบ reverse osmosis และ deionization จนน้ำมีความต้านทานไฟฟ้า 18.2 Ω ซม

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

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

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Gerhardt kjeldtherm digestion unit และ Gerhardt vapodest)

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

ตู้อบลมร้อน (WTE binder รุ่น E-53)

เตาเผา (Isotherm Muffle Furnace)

กระดาษกรอง Whatmam No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

ถ้วยอะลูมิเนียม

ครูซิเบิล

เดซิเคเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

เครื่อง Multivac (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd., Sepp Haggenmuller GmbH&Co.KG D-87787 Wolfertschwenden, Germany)

เครื่อง gas mixture (Witt-Gasetechnik GmbH&Co.KG D-58454 Witten, Germany)

ตู้เย็นที่มีอุณหภูมิในช่องแช่เย็นที่ 2 ± 1 องศาเซลเซียส (sharp)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์

เครื่อง incubator (Memmert) สำหรับอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

เครื่อง incubator (Gallenkamp Cooled) สำหรับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เครื่อง autoclave (Tomy SS-320)

เครื่อง stomacher (AES Laboratorire, France)

ตู้อบลมร้อน (WTC binder, Germany)

เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

ปิเปต ขนาด 0.1, 1, 10 มิลลิลิตร

ตะเกียงแอลกอฮอล์

สเปรดเดอร์

Anaerobic jar (Mitsubishi gas chemical co. Inc. Japan)

หลอดทดลองพร้อมฝาปิด

ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

ขวดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร

เครื่องกวนสารละลายแม่เหล็กอัตโนมัติ (Thermix, 210T)

แท่งกวนแม่เหล็ก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ

เครื่อง headspace gas analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd. Witt-Gasetechnik GmbH&Co.KG D-58454 Witten, Germany)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า pH

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

เครื่องวัด pH (Horiba, F21)

เครื่องกวนสารละลายแม่เหล็กอัตโนมัติ (Thermix, 210T)

แท่งกวนแม่เหล็ก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Trimethylamine (TMA)

จานคอนเวย์

กระดาษกรอง Whatmam No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

กระดาษกรอง Whatmam No.41 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

ไมโครบิวเรต

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

ปิเปต ขนาด 1, 10 มิลลิลิตร

ขวดปริมาตร ขนาด 10, 1000 มิลลิลิตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Total Volatile Base (TVB)

จานคอนเวย์

กระดาษกรอง Whatmam No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

กระดาษกรอง Whatmam No.41 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

ไมโครบิวเรต

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

ปิเปต ขนาด 1, 10 มิลลิลิตร

ขวดปริมาตร ขนาด 10, 1000 มิลลิลิตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารสกัด

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

เครื่องวัด pH (Horiba, F21)

เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Themo ICE, ICE Multi RF)

homogenizer (Ace homogenizer)

ตู้แช่แข็งชนิดควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Sanyo, MDF-592)

หลอดเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงขนาด 80 มิลลิลิตร

ปิเปต 10 มิลลิลิตร

ขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร

หลอดหยด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ATP และสารอนุพันธ์

High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ประกอบด้วย

ระบบฉีดตัวอย่าง (Waters, 717 Plus Autosampler)

คอลัมน์ Pursuit 3 μm C8 ขนาด 4.6 มิลลิเมตร × 150 มิลลิเมตร อนุภาค ขนาด 3 ไมครอน

เครื่องตรวจวัด (Waters, 2487 Dual λ Absorbance Detector)

เครื่องวัด pH (Schott, CG 840)

เครื่องกวนสารละลายแม่เหล็กอัตโนมัติ (Thermix, 210T)

แท่งกวนแม่เหล็ก

เข็มฉีด ขนาด 5 มิลลิลิตร

ชุดกรอง (Gast Manufacturing, Inc. USA)

แผ่นกรองแบบบาง (National Scientific Company) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร nylon syringe pore size 0.45 ไมครอน

แผ่นกรองแบบบาง (Pall Corporation, Michigan)) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร pore size 0.45 ไมครอน

ขวดใส่สารตัวอย่างขนาด 1 มิลลิลิตร (Water 150 μl clear glass concial)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสี

เครื่องวัดสี Chroma meter (Minolta Chroma Meter, CR 300 Series)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาเนื้อสัมผัส

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA-XT2)

หัววัดแบบกดรุ่น P100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบ

หอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis asinina* หนักตัวละประมาณ 20 กรัมจากเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี นำมาบรรจุในถุงพลาสติกที่ใส่น้ำทะเลประมาณ 3 ใน 4 ของถุง อัดก๊าซออกซิเจนและใส่ในกล่องโฟมบรรจุน้ำแข็ง ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด แกะเปลือกและเครื่องในออกแล้วจะหนักประมาณ 10 กรัม เพื่อนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อสด

นำหอยเป๋าฮื้อที่ล้างทำความสะอาดแล้วมาสับให้ละเอียด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ หอยเป๋าฮื้อ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้าและไขมัน (AOAC, 1995) โดยวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ง

3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

นำหอยเป๋าฮื้อที่แกะเปลือกและเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วมาบรรจุในถุง Polyvinylidene chloride (PVDC) ปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้มีภาวะที่เป็นบรรยากาศปกติ ภาวะสุญญากาศและภาวะการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ โดยมีอัตราส่วนของก๊าซผสมดังนี้ $CO_2$40%:$O_2$40%:$N_2$20%, $CO_2$40%:$O_2$30%:$N_2$30%, $CO_2$40%:$O_2$20%:$N_2$40%, $CO_2$60%:$O_2$20%:$N_2$20%, $CO_2$60%:$O_2$40% ด้วยเครื่อง Multivac (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd., Sepp Haggenmuller GmbH&Co.KG D-87787 Wolfertschwenden, Germany) และเครื่อง gas mixture (Witt-Gasetechnik GmbH&Co.KG D-58454 Witten, Germany)

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2±1 องศาเซลเซียส วัดการเปลี่ยนแปลงดัชนีต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์คือ การเปลี่ยนปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณTrimethylamine (TMA) และ Total Volatile Base (TVB) การยอมรับทางประสาทสัมผัส การเปลี่ยนแปลงสี ลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณ

สารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ ทุกวันที่ 1 3 5 7 9 11 13 และ 15 ของการเก็บรักษา

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน

วัดปริมาณก๊าซภายในภาชนะบรรจุโดยใช้เครื่อง Headspace Gas Analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd. Witt-Gasetechnik GmbH&Co.KG D-58454 Witten, Germany) วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH

นำตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อมาโฮโมจีไนซ์กับน้ำกลั่นที่มี pH 7 ในอัตราส่วน 1:10 (W/V) วัดค่า pH ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ pH Meter (Chiou *et al*., 2002) วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

3.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

หอยเป๋าฮื้อหนักประมาณ 10 g โฮโมจีไนซ์กับ artificail seawater ปริมาณ 90 มิลลิลิตร และเจือจางจนได้ภาวะที่เหมาะสมและนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total plate counts) ปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น (Psychrotrophic bacteria) (Poole *et al*., 1990) ปริมาณแบคทีเรียในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ปริมาณ *Staphylococcus aureus* ปริมาณ *Clostridium botulinum* และปริมาณ *Vibrio sp.* ดังแสดงในภาคผนวก จ วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

3.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total Volatile Base (TVB)

ตามวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ดังแสดงในภาคผนวก ฉ วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

3.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Trimethylamine (TMA)

ตามวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ดังแสดงในภาคผนวก ฉ วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

3.2.5 การเปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test คะเนนเต็ม 5 (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ช) ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 10 คนประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และสีของหอยเป๋าฮื้อ

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.2.7 การเปลี่ยนแปลงสี

วัดสีตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อในระบบ L* a* b* โดยใช้ Chroma meter (Minolta Chroma Meter,CR 300 Series) (Kusmider *et al.*, 2002) วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

3.2.8 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

นำหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA–XT2i หัววัด TPA P100 วัดค่า Hardness Cohesiveness Springiness และ Chewiness (Sanchez–Brambila *et al*., 2002)

Hardness หมายถึง แรง (กิโลกรัม) ที่ใช้เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ต้องการ

Cohesiveness หมายถึง ความแข็งแรงของพันธะภายในที่ทำให้เนื้ออาหารเกาะติดกันเป็นรูปร่าง

Springiness หมายถึง ความสามารถที่จะกลับสู่สภาพเดิม ภายหลังการถูกดึงและแรงดึงถูกปล่อย

Chewiness หมายถึง งาน (กิโลกรัม) ที่ต้องใช้เพื่อเคี้ยวอาหารแข็งให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะถูกกลืน

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

3.2.9 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์

วิเคราะห์ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ ดังนี้ ATP, ADP, AMP, IMP, Adenosine, Inosine และ Hypoxanthine ที่ได้จากการเตรียมสารสกัดด้วยวิธี HPLC (Hatae *et al*., 1995)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

3.2.9.1 วิธีการเตรียมสารสกัด

นำเนื้อหอยเป๋าฮื้อ 5 กรัมมาโฮโมจีไนซ์กับกรดเปอร์คลอริกความเข้มข้น 10% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง 10,000 × g

ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนใสเก็บไว้ ส่วนตะกอนที่ได้นำมาเติมกรดเปอร์คลอริกความเข้มข้น 5% ปริมาตร 10 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง 10,000 × g ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 นาทีอีกเป็นครั้งที่ 2 นำส่วนใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงทั้งสองครั้งมารวมกัน และปรับ pH เป็น 7.0 ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 N และ 0.1 N นำสารสกัดที่ได้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แบ่งสารสกัดเก็บในหลอดพลาสติกขนาด 1 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ –40 °C ในตู้แช่แข็ง (Hatae *et al*., 1995)

3.2.9.2ภาวะในการวิเคราะห์

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ : 10 ไมโครลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายเฟสเคลื่อนที่: สารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์

pH ของสารละลายเฟสเคลื่อนที่: 6.0

อัตราการไหล: 1.0 มิลลิลิตร/นาที

คอลัมน์: คอลัมน์ Pursuit 3 μm C8 ขนาด 4.6 มิลลิเมตร × 150 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 3 ไมครอน

เครื่องตรวจวัด : Waters, 2487 Dual λ Absorbance Detector

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ขนาดตัวละประมาณ 20 กรัม (ดังภาพในภาคผนวก ก.) ด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (1995) ทดลอง 10 ซ้ำ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าหอยเป๋าฮื้อมีปริมาณโปรตีนสูงแต่มีไขมันต่ำและความชื้นสูง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อสด (โดยน้ำหนักเปียก)

องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์	ปริมาณที่พบ (%)
โปรตีน	14.7 ± 1.1
ไขมัน	0.3 ± 0.1
ความชื้น	82.1 ± 0.9
เถ้า	1.2 ± 0.2

องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อที่ได้จากการทดลองมีโปรตีนเท่ากับ 14.7% ไขมัน 0.3% ความชื้น 82.1% และเถ้า 1.2% เช่นเดียวกับอาหารทะเลอื่น ๆ ที่มีปริมาณไขมันต่ำ (Shahidi, 1994) โดยมีค่าใกล้เคียงกับหอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis discus* ที่มีโปรตีน 14.2–18.4% ไขมัน 0.26–0.93% ความชื้น 72.3–82.1% และเถ้า 1.11–1.29% จากผลการทดลองของ Hatae และคณะ (1995, 1996)

การที่ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อแตกต่างกันส่งผลให้กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏแตกต่างกัน (Olley and Thrower, 1977) ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำที่แตกต่างกันนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิด ฤดูกาล เพศ และฤดูกาลวางไข่ เป็นต้น (นงลักษณ์ สุทธิวณิช, 2531) แต่จากผลการทดลองของ Olaechea และคณะ (1993) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis discus* ในแต่ละช่วงเวลาของปีที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี โดยมีโปรตีน 16.1% ไขมัน 0.58% ความชื้น 76.2% และเถ้า 1.52% ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้ การที่หอยเป๋าฮื้อมีปริมาณไขมันต่ำนั้นเนื่องมาจากหอยเป๋าฮื้อไม่ได้เก็บไขมันไว้เป็นแหล่งพลังงานซึ่งแตกต่างจากปลา จึงมีไขมันอยู่

เพียงเล็กน้อย แต่คาดว่ามีการเก็บพลังงานไว้ในกล้ามเนื้อในรูปของคอลลาเจนซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Hatae *et al*., 1995)

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา

การทดลองวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุโดยใช้เครื่อง headspace gas analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd. Witt-Gasetechnik GmbH&Co.KG D-58454 Witten, Germany) ที่แสดงในภาคผนวก ข ตลอดระยะเวลาการเก็บ พบว่าในภาชนะบรรจุที่เป็นบรรยากาศปกติจะมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดระยะเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ (%)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60:$O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0	0^{e}	0	$39.7^{a} \pm 0.4$	$40.0^{a} \pm 0.1$	$40.4^{a} \pm 0.6$	$60.8^{a} \pm 0.6$	$60.8^{a} \pm 0.4$
1	0^{e}	0	$38.0^{b} \pm 0.2$	$38.8^{a} \pm 0.3$	$38.4^{ab} \pm 0.6$	$59.1^{a} \pm 1.3$	$60.0^{a} \pm 0.1$
3	$0.3^{e} \pm 0.1$	0	$36.5^{c} \pm 0.7$	$36.7^{b} \pm 0.6$	$36.4^{bc} \pm 0.5$	$56.1^{b} \pm 1.5$	$58.2^{b} \pm 0.4$
5	$0.6^{d} \pm 0.1$	0	$36.2^{c} \pm 0.1$	$33.8^{c} \pm 0.4$	$35.1^{c} \pm 0.1$	$53.5^{c} \pm 1.2$	$55.9^{c} \pm 0.4$
7	$0.7^{d} \pm 0.1$	0	$35.2^{d} \pm 0.2$	$33.6^{c} \pm 0.9$	$34.2^{cd} \pm 0.5$	$51.3^{cd} \pm 1.2$	$53.1^{d} \pm 0.9$
9	$1.0^{c} \pm 0.1$	0	$34.9^{d} \pm 0.2$	$33.5^{c} \pm 0.7$	$33.7^{cde} \pm 0.2$	$50.7^{de} \pm 1.0$	$50.5^{e} \pm 0.8$
11	$1.3^{b} \pm 0.1$	0	$34.4^{d} \pm 0.3$	$33.4^{c} \pm 0.6$	$32.0^{de} \pm 0.8$	$48.5^{ef} \pm 1.1$	$49.2^{ef} \pm 0.6$
13	$1.5^{b} \pm 0.1$	0	$33.3^{e} \pm 0.4$	$32.5^{cd} \pm 0.7$	$31.1^{e} \pm 1.3$	$47.8^{f} \pm 1.1$	$48.1^{f} \pm 1.3$
15	$1.9^{a} \pm 0.1$	0	$33.0^{e} \pm 0$	$31.9^{d} \pm 0.6$	$28.0^{f} \pm 2.9$	$47.1^{f} \pm 0.3$	$45.7^{g} \pm 1.0$

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุที่เป็นสภาพบรรยากาศปกติจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญและเกิดการหายใจได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษาเช่นเดียวกับปลา tilapia ที่เก็บในบรรยากาศปกติซึ่งพบว่าปริมาณก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Lannelongue และคณะ (1982) ที่พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเก็บอาหารในบรรยากาศปกติจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหายใจของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ภายในชิ้นอาหาร

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของทุกภาวะที่มีการปรับสภาพบรรยากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันคือ ในช่วง 3 หรือ 5 วันแรกของการเก็บรักษาปริมาณก๊าซจะลดลงจากตอนเริ่มต้น จากนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อนข้างคงที่และเริ่มลดลงอีกครั้งหลังวันที่ 11 ของการเก็บรักษา เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศลดลงในทุกภาวะ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายเข้าไปในชิ้นอาหารหรือชิ้นหอยเป๋าฮื้อได้ อีกทั้งยังเข้าไปมีผลโดยตรงต่อเซลล์ของจุลินทรีย์จึงทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงในช่วงนี้ ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์และค่า pH ด้วย โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุลดลงทำให้ค่า pH ลดลงด้วย ส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Barnett Conrad และ Nelson (1987) ที่เก็บรักษาปลา trout โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80 เปอร์เซ็นต์และการทดลองของ Ruiz-Capillas และ Moral (2001) ที่เก็บรักษาปลา hake ในบรรยากาศปกติและปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์นั้นก็พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะลดลงเนื่องจากละลายเข้าไปในชิ้นปลา hake และส่งผลให้ pH ของเนื้อปลาลดลงด้วย โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายเข้าไปในชิ้นอาหารได้ทั้งส่วนที่เป็น aqueous medium และส่วนที่เป็น tissue lipids จึงทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ลดลงระหว่างการเก็บรักษาอาหารโดยวิธีการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (Bugueno *et al*., 2003) โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์โดยตรงเนื่องจากมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ decarboxylation ในเซลล์ของจุลินทรีย์จึงทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นช้าลง นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีผลต่อการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์และกรดคาร์บอนิกที่เกิดขึ้นจะเป็นพิษต่อเซลล์ของจุลินทรีย์ (Villemure, Simard, and Picard, 1986) ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์ในหอยเป๋าฮื้อจึงลดลงในช่วงแรกของการเก็บรักษา

การสิ้นสุดระยะเวลาในการเก็บรักษาสังเกตได้จากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในตอนหลัง เนื่องมาจากการเจริญและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและทำให้ผลิตภัณฑ์หมดอายุลง โดย Goncalves Lopez-Caballero และ Nunes (2003) เก็บกุ้ง *Parapenaeus longirostris* โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะลดลงในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษาเพราะละลายเข้าไปในชิ้นอาหารและจะเริ่มคงที่หลังจากผ่านไป 4 วัน ส่วนการเก็บกุ้ง *Pandalus platyceros* โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะลดลงระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากละลายเข้าไปในเนื้อกุ้งได้เช่นเดียวกัน แต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายเนื่องจากการหายใจของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ในเนื้อกุ้ง (Layrisse and Matches,1984)

4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุที่วัดโดยใช้เครื่อง headspace gas analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd. Witt-Gasetechnik GmbH&Co.KG D-58454 Witten, Germany) ในภาชนะบรรจุที่เป็นบรรยากาศปกติจะค่อย ๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดได้ (%)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60:$O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0	$21.8^{a} \pm 0.4$	0	$41.1^{a} \pm 1.6$	$31.4^{a} \pm 1.3$	$21.0^{a} \pm 0.1$	$40.1^{a} \pm 0.1$	$20.5^{a} \pm 0.7$
1	$21.5^{ab} \pm 0.7$	0	$41.1^{a} \pm 1.6$	$31.3^{a} \pm 1.3$	$21.0^{a} \pm 0.1$	$41.0^{a} \pm 0.4$	$20.6^{a} \pm 0.6$
3	$21.1^{abc} \pm 0.1$	0	$40.5^{ab} \pm 0.7$	$30.5^{a} \pm 0.7$	$20.0^{a} \pm 0$	$39.8^{a} \pm 0.4$	$20.3^{a} \pm 0.4$
5	$20.0^{abcd} \pm 1.4$	0	$40.3^{abc} \pm 1.1$	$30.5^{a} \pm 0.7$	$20.0^{a} \pm 0$	$39.8^{a} \pm 0.4$	$20.0^{ab} \pm 0$
7	$19.5^{bcd} \pm 0.7$	0	$40.2^{abc} \pm 1.7$	$30.4^{a} \pm 0.9$	$19.9^{a} \pm 0$	$39.3^{a} \pm 0.4$	$20.0^{ab} \pm 0.7$
9	$19.0^{cde} \pm 0$	0	$40.7^{abc} \pm 2.3$	$29.6^{ab} \pm 0.9$	$19.2^{a} \pm 2.1$	$35.5^{b} \pm 1.0$	$19.0^{b} \pm 0.4$
11	$18.4^{de} \pm 0.5$	0	$37.2^{bc} \pm 0.8$	$27.7^{bc} \pm 0.3$	$15.3^{b} \pm 0.7$	$32.6^{bc} \pm 3.3$	$17.1^{c} \pm 0.7$
13	$17.0^{ef} \pm 1.4$	0	$37.3^{bc} \pm 1.0$	$27.8^{bc} \pm 0.9$	$14.8^{b} \pm 0.2$	$31.3^{c} \pm 1.8$	$16.3^{c} \pm 0.4$
15	$16.2^{f} \pm 1.3$	0	$37.3^{c} \pm 1.0$	$26.0^{c} \pm 0.1$	$14.2^{b} \pm 0.2$	$30.5^{c} \pm 0.7$	$15.1^{d} \pm 0.3$

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเริ่มต้นในภาชนะบรรจุที่เป็นบรรยากาศปกติมีปริมาณก๊าซออกซิเจนอยู่ 21.8 เปอร์เซ็นต์ แต่ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาคือวันที่ 15 เหลือเพียง 16.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุที่บรรยากาศปกติจะค่อย ๆ ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ เช่นเดียวกับการทดลองกับปลา tilapia ที่เก็บในบรรยากาศปกติพบว่าก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุจะค่อย ๆ ลดลง (Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) ส่วน Goncalves Lopez-Caballero และ Nunes (2003) พบว่าการเก็บกุ้ง *Parapenaeus longirostris* ไว้ในภาชนะบรรจุที่สภาพบรรยากาศปกติ ปริมาณก๊าซออกซิเจนจะเริ่มลดลงหลังจากเก็บไว้ 4 วัน ซึ่งการลดลงของก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุที่บรรยากาศปกตินั้นเกิดจากจุลินทรีย์และเมตาบอลิซึมภายในชิ้นอาหารซึ่งต้องใช้ก๊าซออกซิเจน (Reddy *et al.*,1994,1997)

ในขณะที่ก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศจะค่อนข้างคงที่ในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษาและจะค่อย ๆ ลดลงหลังจากวันที่ 7 อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการทดลองของ Ruiz-Capillas และ Moral (2004) พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนจะลดลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บ Norway lobster โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทั้งสองภาวะคือ $CO_2$60:$O_2$15:$N_2$25 และ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 โดยอธิบายว่าการลดลงของก๊าซออกซิเจนเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์และเมตาบอลิซึมภายในเนื้อเยื่ออาหาร การลดลงของก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่เป็นบรรยากาศปกตินั้นจะใกล้เคียงกับการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ 2 ภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนอยู่ใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติคือ $CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40 และ $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 ซึ่งวันสุดท้ายของการเก็บรักษาก็พบว่าเหลือก๊าซออกซิเจนใกล้เคียงกับการเก็บในบรรยากาศปกติ แต่ในภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนปริมาณสูงคือที่ 40 เปอร์เซ็นต์ การลดลงของก๊าซออกซิเจนจะไม่ค่อยสัมพันธ์กันอาจเป็นเพราะปริมาณก๊าซที่ค่อนข้างสูงอาจทำให้เกิดความแปรปรวนสูง

4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ระหว่างการเก็บรักษา

ค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อสดมีค่าประมาณ 6.66 (ตารางที่ 4.4) ซึ่งใกล้เคียงกับค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis diversicolor* ที่รายงานไว้โดย Chiou และคณะ (2002) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.57 เมื่อหอยตายในเนื้อเยื่อของหอยจะเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิสจึงทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้น ค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อจึงลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกของการเก็บรักษา ซึ่ง Baldwin และคณะ (1992) รายงานว่าหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis iris* ในประเทศนิวซีแลนด์87มีค่า pH เท่ากับ 6.55 เมื่อเก็บไว้ 1 วันที่อุณหภูมิ 5.5 องศาเซลเซียส และค่า pH จะลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิสแบบไม่ใช้ออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า pH ที่วัดได้						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60:$O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$6.66^{ab} \pm 0.07$	$6.66^{abc} \pm 0.07$	$6.66^{a} \pm 0.07$	$6.66^{a} \pm 0.07$	$6.66^{a} \pm 0.07$	$6.66^{a} \pm 0.07$	$6.66^{a} \pm 0.07$
1	$6.63^{Aab} \pm 0.05$	$6.58^{Ac} \pm 0.03$	$6.38^{BCbc} \pm 0.10$	$6.42^{Bbc} \pm 0.06$	$6.42^{Bcd} \pm 0.03$	$6.32^{Cc} \pm 0.02$	$6.41^{BCb} \pm 0.06$
3	$6.60^{Ab} \pm 0.02$	$6.62^{Abc} \pm 0.04$	$6.27^{BCc} \pm 0.08$	$6.29^{BCc} \pm 0.03$	$6.35^{Bd} \pm 0.08$	$6.22^{Cc} \pm 0.03$	$6.23^{Cc} \pm 0.03$
5	$6.61^{Aab} \pm 0.02$	$6.69^{ABab} \pm 0.10$	$6.45^{Cb} \pm 0.05$	$6.44^{Cbc} \pm 0.04$	$6.56^{Bab} \pm 0.05$	$6.33^{Dbc} \pm 0.04$	$6.40^{CDb} \pm 0.08$
7	$6.60^{Aab} \pm 0.10$	$6.66^{ABabc} \pm 0.10$	$6.41^{CDbc} \pm 0.04$	$6.47^{BCDb} \pm 0.03$	$6.56^{ABCab} \pm 0.14$	$6.32^{Dbc} \pm 0.05$	$6.43^{CDb} \pm 0.13$
9	$6.61^{Aab} \pm 0.01$	$6.67^{Aabc} \pm 0.05$	$6.40^{CDbc} \pm 0.04$	$6.46^{BCbc} \pm 0.02$	$6.53^{Bbc} \pm 0.05$	$6.34^{Dbc} \pm 0.05$	$6.40^{CDb} \pm 0.06$
11	$6.64^{Aab} \pm 0.03$	$6.63^{ABbc} \pm 0.05$	$6.41^{CDbc} \pm 0.17$	$6.43^{BCDbc} \pm 0.19$	$6.59^{ABCab} \pm 0.02$	$6.27^{Dc} \pm 0.16$	$6.44^{ABCDb} \pm 0.03$
13	$6.66^{Aab} \pm 0.02$	$6.68^{Aabc} \pm 0.04$	$6.42^{BCbc} \pm 0.10$	$6.47^{BCb} \pm 0.14$	$6.57^{ABab} \pm 0.02$	$6.31^{Cc} \pm 0.04$	$6.46^{BCb} \pm 0.14$
15	$6.69^{ABa} \pm 0.03$	$6.74^{Aa} \pm 0.06$	$6.39^{Dbc} \pm 0.08$	$6.58^{BCab} \pm 0.08$	$6.58^{BCab} \pm 0.04$	$6.46^{CDb} \pm 0.15$	$6.46^{CDb} \pm 0.11$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสะดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ระหว่างการเก็บหอยเป๋าฮื้อในบรรยากาศปกติและสภาพสุญญากาศพบว่าค่า pH ตลอดอายุการเก็บไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงจากตอนเริ่มต้น ค่า pH ของหอยที่เก็บในสภาพสุญญากาศจะลดลงเพียงเล็กน้อยในวันแรกและเพิ่มขึ้นอีกในวันที่ 3 สอดคล้องกับการเก็บ swordfish ในบรรยากาศปกติพบว่า pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Oberlender *et al*., 1983) Parkin และ Brown (1983) พบว่าการเก็บรักษาปู *Cancer magister* ในบรรยากาศปกติค่า pH เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการเก็บรักษากุ้ง brown shrimp (*Penaeus aztecus*) (Lannelongue *et al*., 1982b) และการเก็บรักษากุ้ง freshwater crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) (Wang and Brown, 1983) ในบรรยากาศปกติซึ่งพบว่าค่า pH สูงขึ้นตลอดการเก็บเช่นกัน การเพิ่มขึ้นของค่า pH ของอาหารที่เก็บในบรรยากาศปกตินั้นเนื่องจากเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียที่เข้าไปสลายโปรตีนในเนื้อกุ้งทำให้เกิดสาร volatile amine เช่น แอมโมเนีย เป็นต้น ค่า pH จึงสูงขึ้น (Layrisse and Matches, 1984, Reddy *et al*, 1994, Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) ในขณะที่ Lannelongue และคณะ (1982a) พบว่าค่า pH ของ swordfish ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อและจุลินทรีย์

ภายในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศนั้นมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ทำให้ค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อลดลงมากในช่วงแรกของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ Lannelongue และคณะ (1982) รายงานว่าภาวะที่เป็นกรดจะเกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษากุ้ง brown shrimp (*Penaeus aztecus*) ในช่วงวันแรก ๆ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายเข้าไปในชิ้นอาหารจึงช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและในสุญญากาศจึงสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากหอยเป๋าฮื้อมีน้ำเป็นองค์ประกอบจำนวนมากและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำและเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกจึงทำให้ pH ลดลง (Wang and Brown, 1983, Parkin and Brown, 1983) ดังนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจึงลดลงจำนวนหนึ่งโดยละลายเข้าไปในชิ้นหอยเป๋าฮื้อจึงทำให้ค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อลดลงไปจากเดิม หลังจากนั้น pH ก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นแต่ก็ยังคงต่ำกว่าค่า pH เริ่มต้น เพราะปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเกิดเป็นสารประกอบพวกเอมีนที่มีความเป็นด่างจึงทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้น

แต่การลดลงของค่า pH ในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นสัมพันธ์กับการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ แต่จะไม่สัมพันธ์กับค่า TMA และ TVB ซึ่งมีค่าต่ำมาก (Ruiz-Capillas and Moral,2001) โดย Lannelongue และคณะ (1982) อธิบายว่าการปรับสภาพบรรยากาศซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บรรจุอยู่ด้วยนั้นจะทำให้ค่า pH ของหอย

เป้าฮื้อลดลงมากในช่วงแรกของการเก็บรักษา จากนั้น pH ก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 5 วัน การที่ pH ลดลงในช่วงแรกนั้นเกิดจากการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในชิ้นอาหารซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของบัฟเฟอร์ในชิ้นอาหารด้วย โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายเข้าไปในส่วนที่ละลายน้ำได้ทำให้ชิ้นอาหารมีค่า pH ลดลง และค่า pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ (Bugueno *et al*., 2003) การเพิ่มขึ้นของค่า pH จะสัมพันธ์กับการสร้าง volatile amines จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ แต่ก็อาจเกิดจากการผลิตแอมโมเนียจากเอนไซม์ภายในชิ้นอาหารก็ได้ (Goncalves, Lopez-Caballero, and Nunes, 2003)

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา

4.5.1 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total plate counts)

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในหอยเป๋าฮื้อสดเท่ากับ 4.65 log CFU/g ดังตารางที่ 4.5 พบว่าเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นทำให้จุลินทรีย์เจริญเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น ($p \leq 0.05$) การเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อในบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศร่วมกับการแช่เย็นจะชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้บ้างโดยทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ค่อนข้างคงที่ในช่วง 3 วันแรก เนื่องจากการใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาจะช่วยชะลอเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ของหอยเป๋าฮื้อและเซลล์จุลินทรีย์ได้ แต่หลังจากนั้นจำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หากใช้ปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ 10^6 CFU/g หรือประมาณ 6 log CFU/g เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นปริมาณที่คาดว่าจะทำให้เกิดการเน่าเสีย (Gram and Dalgaard, 2002) พบว่าการเก็บหอยเป๋าฮื้อในบรรยากาศปกติมีอายุการเก็บเท่ากับ 5 วัน ส่วนการเก็บในภาวะสุญญากาศจะช่วยชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติโดยจะเก็บได้ 7 วัน

การเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด โดยสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้บางส่วนจากการที่ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงในช่วง 5 วันแรก โดยพบว่าอายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุใน $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20, $CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40, CO_2 60:$O_2$40 และ $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 มีอายุการเก็บเท่ากับ 11 วัน ส่วนในภาวะ $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30 เท่ากับ 13 วัน โดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Oberlender และคณะ (1983) ที่เก็บรักษาปลา swordfish ในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดสูงถึง 10^6 CFU/g เมื่อเก็บไว้นาน

6 วัน ส่วนการเก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ ที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$40:$O_2$60 จะมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดสูงถึง 10^6 CFU/g เมื่อเก็บได้ 14 วัน

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Counts) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด(Total Plate Counts) (log CFU/g)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$4.65^{e}\pm3.60$	$4.65^{c}\pm3.60$	$4.65^{c}\pm3.60$	$4.65^{c}\pm3.60$	$4.65^{c}\pm3.60$	$4.65^{c}\pm3.60$	$4.65^{c}\pm3.60$
1	$4.81^{Aa}\pm3.85$	$4.50^{Bb}\pm3.33$	$3.87^{Cc}\pm2.96$	$3.78^{Cc}\pm3.45$	$3.84^{Cc}\pm2.85$	$3.68^{Cc}\pm2.85$	$3.68^{Cc}\pm2.15$
3	$4.66^{Aa}\pm3.69$	$4.45^{Bb}\pm3.15$	$3.69^{Cc}\pm3.13$	$3.51^{Cc}\pm2.15$	$3.54^{Cc}\pm1.85$	$3.54^{Cc}\pm1.85$	$3.53^{Cc}\pm2.55$
5	$5.25^{Aa}\pm4.41$	$4.99^{Bb}\pm3.63$	$4.22^{Bc}\pm3.10$	$4.02^{B}\pm3.64$	$4.06^{Bd}\pm3.46$	$3.95^{Bb}\pm3.46$	$3.98^{Bb}\pm3.25$
7	$6.17^{Ade}\pm4.89$	$5.95^{Bc}\pm4.69$	$4.95^{Cc}\pm4.08$	$4.36^{Cb}\pm4.26$	$4.42^{Cd}\pm3.47$	$4.23^{Cb}\pm3.47$	$4.04^{Cb}\pm3.15$
9	$6.46^{Ad}\pm5.26$	$6.36^{Bc}\pm4.15$	$5.41^{Cc}\pm4.75$	$4.60^{Db}\pm2.85$	$4.79^{Dd}\pm3.85$	$4.30^{Db}\pm3.85$	$4.29^{Db}\pm3.89$
11	$6.77^{Ac}\pm6.05$	$6.41^{Bc}\pm5.61$	$5.91^{Cb}\pm5.21$	$5.55^{Cb}\pm3.85$	$5.01^{Cdc}\pm4.39$	$5.42^{Cb}\pm4.39$	$5.41^{Cb}\pm5.30$
13	$7.54^{Ab}\pm6.85$	$7.04^{Bb}\pm6.15$	$6.55^{Ca}\pm5.86$	$5.85^{Cb}\pm4.63$	$6.32^{Cb}\pm4.45$	$6.13^{Cb}\pm5.86$	$6.18^{Cb}\pm 3.85$
15	$7.77^{Aa}\pm6.45$	$7.53^{Ba}\pm6.75$	$6.60^{Ca}\pm4.85$	$6.30^{Ca}\pm6.15$	$6.47^{Ca}\pm4.93$	$6.38^{Ca}\pm4.93$	$6.41^{Ca}\pm5.93$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การบรรจุแบบสุญญากาศสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาได้เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติ เนื่องจากภาวะสุญญากาศสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการออกซิเจนได้และการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อได้ดีกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติและในสุญญากาศ ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลโดยตรงต่อเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยเมื่อเกิดการเน่าเสียของจุลินทรีย์จะทำให้กลิ่นของหอยเป๋าฮื้อเปลี่ยนไปคือจะเกิดกลิ่นฉุนของแอมโมเนียซึ่งสังเกตได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศอาจมีผลในการชะลอช่วง log phase ให้ยาวนานออกไปและไปลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Silva, Harkness, and White, 1993)

สอดคล้องกับผลการทดลองของ Reddy และคณะ (1994) ที่พบว่าปลา tilapia ที่เก็บในบรรยากาศปกติจะมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นตลอดเวลา และเมื่อเริ่มเกิดการเน่าเสียจะมีลักษณะปรากฏและกลิ่นเปลี่ยนแปลงไปคือจะมีเมือกเกิดขึ้นและส่งกลิ่นเหม็น การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช่วยยืดระยะเวลาช่วง lag phase ของการเจริญของจุลินทรีย์ให้ยาวนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติและในภาวะสุญญากาศ เช่นเดียวกับการเก็บกุ้ง *Pandalus platyceros* ที่อุณหภูมิ 0-2°C ซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นประมาณ 10^4CFU/g ในบรรยากาศปกติสามารถเก็บได้นาน 12 วันโดยมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดจึงจะสูงถึง 10^6CFU/g และมีแอมโมเนียเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่การเก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100 เปอร์เซ็นต์เก็บได้นาน 16 วันและพบว่า lag phase ของจุลินทรีย์ที่พบในกุ้งที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะยาวนานกว่า lag phase ของ จุลินทรีย์ที่พบในกุ้งที่เก็บในบรรยากาศปกติ (Layrisse and Matches,1984)

การลดปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บของอาหารได้เพราะสามารถลดเมตาบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้น แต่การเติมออกซิเจนปริมาณน้อยเกินไปจะเป็นการกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญได้ ส่วนการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากที่มีอยู่เดิมในบรรยากาศจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกที่ผิวหน้าของชิ้นอาหาร จุลินทรีย์ที่อยู่ตามผิวหน้าอาหารจึงต้องพยายามปรับตัวโดยการปรับสภาพ pH ให้สมดุลกับ pH ที่ผิวหน้าอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะต้องใช้พลังงานมากทำให้มีพลังงานเหลือไปใช้ในการเจริญเติบโตลดลง การเสื่อมเสียของอาหารจาก จุลินทรีย์จึงช้าลง (Labuza, Fu, and Taoukis,1992) โดยอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วง 40-60 นั้นถือว่าเหมาะสมกับการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อเพราะสามารถชะลอการเพิ่มจำนวนของ จุลินทรีย์ได้ดีเช่นเดียวกับการเก็บรักษาปลา finfish (*Archosargus probatocephalus*) ซึ่งพบว่าการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีผลในการเพิ่มการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ (Lannelongue *et al*., 1982,c) แต่การเติมก๊าซออกซิเจนก็มีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยเนื่องจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนเจริญได้ดี จึงควรเติมก๊าซออกซิเจนลงในภาชนะบรรจุอย่างน้อย 5เปอร์เซ็นต์เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Lannelongue, *et al*. 1982) โดยจากผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนที่เหมาะสมจะช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาได้ดีที่สุดคือการปรับสภาพบรรยากาศที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30

4.5.2 **การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น** (Psychrotrophic bacteria)

แบคทีเรียทนความเย็นเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อการเน่าเสียของอาหารทะเลและอาหารที่เก็บรักษาด้วยความเย็น ในการทดลองนี้มีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในอุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลา 15 วันซึ่งมีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียกลุ่มนี้ จึงต้องวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น ซึ่งพบว่าปริมาณแบคทีเรียทนความเย็นจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกภาวะการเก็บดังตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละวันที่เก็บรักษาพบว่าวันแรกของการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่าง ($p > 0.05$) ของปริมาณแบคทีเรียทนความเย็นระหว่างภาวะในการเก็บรักษา คาดว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำในระยะแรกนั้นแบคทีเรียทนความเย็นยังไม่สามารถเจริญได้เต็มที่ แต่หลังจากเก็บรักษาไว้นาน 3 วันจะพบความแตกต่างระหว่างภาวะการเก็บรักษาอย่างชัดเจน โดยที่บรรยากาศปกติมีจำนวนจุลินทรีย์สูงกว่าภาวะสุญญากาศ ($p \leq 0.05$) และภาวะสุญญากาศมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่าการเก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ โดยความแตกต่างของการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น (psychrotrophic bacteria) ระหว่างการเก็บหอยเป๋าฮื้อในบรรยากาศปกติและการปรับสภาพบรรยากาศปกติมีแนวโน้มสอดคล้องกับการทดลองของ Gimenez, Roncales, และ Beltran (2002) ที่เก็บรักษาปลา rainbow trout ในภาวะสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ และแปรอัตราส่วนก๊าซออกซิเจนระหว่าง 10-30 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซไนโตรเจน 20-40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งรายงานว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะมีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทนความเย็น ซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มสำคัญที่มักทำให้เกิดการเน่าเสียได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับการแช่เย็น นอกจากนี้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี $CO_2$25:$N_2$75 ที่อุณหภูมิ 0°C สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทนความเย็นในปลาคอดที่มีแบคทีเรียเริ่มต้นประมาณ 10^4 CFU/g ได้ตลอดระยะเวลา 20 วันในการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติที่มีปริมาณสูงเกณฑ์เกณฑ์ที่กำหนดคือ 10^6 CFU/g เมื่อเก็บไว้เพียง 5 วัน (Villemure, Simard, and Picard, 1986) จึงสรุปได้ว่าการบรรจุแบบสุญญากาศสามารถลดการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทนความเย็นในหอยเป๋าฮื้อได้ดีเมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติ และการบรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นสามารถลดการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทนความเย็นได้ดีกว่าการเก็บแบบสุญญากาศ แต่ยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณแบคทีเรียทนความเย็นระหว่างการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทั้ง 5 ภาวะ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น (Psychrotroph) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	Psychrotroph (log CFU/g)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	0^{f}	0^{d}	0^{e}	0^{d}	0^{c}	0^{b}	0^{c}
1^{NS}	2.72^{f}±1.62	2.51^{d}±1.45	2.48^{d}±2.15	2.54^{cd}±1.85	2.54^{bc}±1.85	2.46^{b}±2.10	2.44^{bc}±2.25
3	3.31^{Aef}±1.99	3.10^{ABd}±2.94	2.66^{Bd}±1.92	2.76^{Bc}±2.03	2.81^{Bbc}±3.33	2.72^{Bb}±2.13	2.80^{Bbc}±2.08
5	3.46^{Aef}±2.53	3.29^{Bd}±2.59	2.94^{Cc}±1.75	2.72^{Cc}±1.99	2.94^{Cbc}±1.62	2.91^{Cb}±1.89	2.88^{Cbc}±2.05
7	3.88^{Ade}±2.55	3.61^{Bd}±2.39	2.96^{Cc}±1.99	3.04^{Cb}±2.15	3.02^{Cbc}±2.96	2.88^{Cb}±2.67	2.91^{Cbc}±2.92
9	4.04^{Acd}±2.85	3.92^{Bcd}±3.05	3.18^{Cb}±1.99	3.09^{Cab}±2.26	3.00^{Cbc}±2.45	3.12^{Cb}±2.84	3.03^{Cbc}±2.40
11	4.16^{Ac}±3.00	4.09^{Bc}±3.03	3.17^{Cb}±2.34	3.08^{Cab}±2.75	3.07^{Cbc}±1.15	3.13^{Cb}±1.85	3.22^{Cbc}±2.33
13	4.79^{Ab}±3.72	4.57^{Bb}±3.98	3.29^{Cb}±2.08	3.22^{Ca}±1.85	3.25^{Cab}±1.75	3.30^{Cab}±2.63	3.37^{Cb}±3.28
15	5.21^{Aa}±3.75	5.09^{Ba}±3.45	3.16^{Ca}±2.10	3.19^{Cab}±3.23	3.41^{Ca}±3.05	3.74^{Ca}±2.68	3.68^{Ca}±3.05

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

4.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณ *Enterobacteriaceae*

การเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อในบรรยากาศปกติ สุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทำให้ปริมาณ *Enterobacteriaceae* เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาดังตารางที่ 4.7 โดยในช่วงแรกยังไม่มีพบความแตกต่างทางสถิติ แต่หลังจากวันที่ 7 จะพบว่าปริมาณ *Enterobacteriaceae* เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ *Enterobacteriaceae* แต่ละภาวะการเก็บในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุและสภาพสุญญากาศจะช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม *Enterobacteriaceae* ได้ดีเมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติซึ่งมีปริมาณออกซิเจนสูงและไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูงพอที่จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Reddy, Villanueva, และ Kautter (1995) ที่พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 75 เปอร์เซ็นต์ภายในภาชนะบรรจุสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์พวก

coliform ซึ่งอยู่ในกลุ่ม *enterobacteriaceae* ได้เพราะจะช่วยยืด lag phase ของการเจริญให้ยาวนานขึ้น

ตารางที่ 4.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	*Enterobacteriaceae* (log CFU/g)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$2.70^{d}\pm0.85$	$2.70^{e}\pm0.85$	$2.70^{e}\pm0.85$	$2.70^{c}\pm0.85$	$2.70^{e}\pm0.85$	$2.70^{c}\pm0.85$	$2.70^{c}\pm0.85$
1	$2.70^{Ad}\pm2.15$	$2.51^{Be}\pm1.45$	$2.69^{Ae}\pm0.85$	$2.60^{ABc}\pm1.45$	$2.48^{Be}\pm1.45$	$2.61^{ABc}\pm1.54$	$2.57^{ABc}\pm1.62$
3	$2.96^{ABd}\pm1.69$	$2.50^{Ce}\pm1.32$	$3.04^{Ade}\pm2.15$	$2.90^{Bc}\pm2.10$	$2.58^{Ce}\pm1.45$	$2.92^{Bc}\pm1.69$	$2.71^{Cc}\pm1.85$
5	$3.16^{Ad}\pm2.55$	$2.80^{Be}\pm1.99$	$3.11^{Ade}\pm1.75$	$3.00^{ABc}\pm2.15$	$2.81^{Be}\pm2.33$	$2.85^{Bc}\pm2.03$	$2.74^{Bc}\pm2.17$
7	$3.60^{Ad}\pm3.15$	$2.95^{Be}\pm2.34$	$3.28^{Bde}\pm2.59$	$3.18^{Bc}\pm2.15$	$3.04^{Be}\pm1.85$	$3.07^{Bc}\pm2.35$	$3.00^{Bc}\pm1.15$
9	$4.16^{Acd}\pm3.69$	$3.66^{Bd}\pm2.63$	$3.56^{Bd}\pm2.75$	$3.48^{Bbc}\pm2.72$	$3.44^{Bd}\pm2.73$	$3.38^{Bbc}\pm2.75$	$3.32^{Bbc}\pm2.15$
11	$4.60^{Ac}\pm4.15$	$4.10^{Bc}\pm2.39$	$3.83^{Bc}\pm2.96$	$3.72^{Bbc}\pm2.15$	$3.70^{Bc}\pm2.63$	$3.61^{Bbc}\pm2.93$	$3.58^{Bbc}\pm2.38$
13	$4.96^{Ab}\pm4.47$	$4.28^{Bb}\pm2.15$	$3.99^{Bb}\pm1.85$	$3.96^{Bb}\pm2.75$	$3.86^{Bb}\pm3.17$	$3.81^{Bb}\pm2.85$	$3.69^{Bb}\pm3.08$
15	$5.32^{Aa}\pm4.45$	$4.71^{Ba}\pm3.33$	$4.41^{BCa}\pm3.49$	$4.34^{Ca}\pm3.93$	$4.21^{Ca}\pm3.13$	$4.10^{Ca}\pm3.69$	$4.04^{Ca}\pm3.63$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ในช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 ของการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อพบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในแต่ละภาวะของการเก็บรักษาโดยภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนสูงคือ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20, $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30 และ $CO_2$60:$O_2$40 จะพบปริมาณ *Enterobacteriaceae* สูงกว่าภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำคือ $CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40 และ $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 และภาวะสุญญากาศที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนเลย เมื่อเปรียบเทียบภาวะการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงเท่ากันคือที่ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 และ CO_2 60:$O_2$40 พบว่าอัตราส่วน $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 มีปริมาณ *Enterobacteriaceae* สูงกว่าทั้ง ๆ ที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญของ จุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่ภาวะ CO_2 60:$O_2$40 นั้นมีปริมาณ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เองก็มีผลโดยตรงต่อการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าในขณะที่ก๊าซออกซิเจนเท่ากันจึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ได้ดีกว่า

4.5.4 การวิเคราะห์ปริมาณ *Staphylococcus aureus*

S.aureus เป็นจุลินทรีย์ที่มักพบตามผิวหนังของคน เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 7-47.8°C และสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 20-45°C มีโอกาสปนเปื้อนระหว่างทำการทดลองได้จึงจำเป็นต้องหาปริมาณเชื้อ *S.aureus* ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาด้วย แม้ว่าระหว่างทำการทดลองไม่ได้มีการใช้มือจับกับหอยเป๋าฮื้อโดยตรงก็ตามแต่เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาของการทดลองเป็นอุณหภูมิแช่เย็นเท่ากับ 2°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ *S. aureus* จึงทำให้ไม่พบเชื้อ *S. aureus* เลยในตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อช่วง 13 วันแรกในภาวะที่เป็นบรรยากาศปกติ สุญญากาศและปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ แต่จะพบเชื้อ *S. aureus* เพียงเล็กน้อย (ประมาณ 50 CFU/g) ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาในทุก ๆ ภาวะ โดยไม่มีความแตกต่างของปริมาณเชื้อ *S. aureus* ($p > 0.05$) ของแต่ละภาวะ ซึ่งการพบเชื้อ *S. aureus* ไม่มีผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้บริโภคเนื่องจากงานวิจัยนี้พบว่าไม่สามารถเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อสดในทุก ๆ ภาวะได้ยาวนานถึง 15 วัน เนื่องจากดัชนีอื่นจะเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียก่อน ทำให้มีอายุการเก็บหอยเป๋าฮื้อไม่ถึง 15 วัน การลดปัจจัยเสี่ยงในการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ระหว่างทำการทดลองและการใช้อุณหภูมิต่ำที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ จึงทำให้ *S. aureus* ไม่สามารถเจริญได้ดีระหว่างการเก็บรักษา *S. aureus* นั้นเป็นจุลินทรีย์ประเภท facultative anaerobe ซึ่งมีการรายงานว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการเจริญ *S. aureus* ได้ โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *S. aureus* ในบรรยากาศปกติคือ 5-10 องศาเซลเซียส (Hintlian and Hotchkiss, 1986)

4.5.5 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณ *Clostridium botulinum*

C. botulinum เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (Peck, 1997) การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในภาวะต่างๆ ในการทดลองจึงเสี่ยงต่อการเจริญของแบคทีเรียชนิดนี้ซึ่งทำให้ไม่ปลอดภัยในการบริโภคจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาปริมาณ

แบคทีเรียชนิดนี้ แต่เมื่อทำการทดลองแล้วไม่พบเชื้อ *C. botulinum* ในตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อในตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อสดและทุกภาวะตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา เนื่องจากการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3°C สามารถยับยั้งการเจริญของ *C. botulimun* ได้อย่างสมบูรณ์ (Ashie, Smith, and Simpson, 1996, and Peck, 1997) จึงทำให้การบรรจุแบบสุญญากาศมีความปลอดภัยจาก *C. botulimun* สำหรับภาวะอื่น ๆ นั้นนอกจากจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 3°C เป็นปัจจัยที่ช่วยป้องกันการเจริญของ *C. botulimun* แล้วภายในภาชนะบรรจุยังคงมีก๊าซออกซิเจนในปริมาณสูงพอที่จะยับยั้งการเจริญของเชื้อ *C. botulimun* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย สอดคล้องกับผลการทดลองของ Silva และ White (1994) ที่ไม่พบ *C. botulinum* จากการเก็บรักษา channel catfish ในการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซเท่ากับ CO_2 25 และ 80 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 2°C นั่นคืออุณหภูมิต่ำกว่า 3°C สามารถยับยั้งการเจริญของ *C. botulimun* ได้แม้ว่าเก็บรักษาในภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนก็ตาม

4.5.6 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณ *Vibrio sp.*

Vibrio sp. เป็นแบคทีเรียก่อโรคที่สามารถปนเปื้อนมากับอาหารทะเลได้จึงจำเป็นต้องตรวจหาจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งไม่พบ *Vibrio sp.* ในตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อสดและทุกภาวะตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดในทุก ๆ ภาวะการเก็บจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อในกลุ่ม *Vibrio sp.* ซึ่งเจริญได้ดีในภาวะที่เป็นด่างเล็กน้อย นอกจากนี้จุลินทรีย์กลุ่ม *Vibrio sp.* จะเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 10-44°C และมี optimum temperature คือ 35-37°C (Farber, 1991) แต่ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากเชื้อในกลุ่ม *Vibrio sp.*

4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า Total Volatile Base (TVB) ระหว่างการเก็บรักษา

การวิเคราะห์หาปริมาณ TVB โดยวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ปรากฏว่าไม่พบ TVB ในหอยเป๋าฮื้อสด (ตารางที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chiou และคณะ (2002) ที่พบว่าหอยเป๋าฮื้อสดพันธุ์ *Haliotis diversicolor* มีค่า Total volatile nitrogen (TVN) ต่ำเช่นกันคือประมาณ 2.6 mg/100g ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า TVB ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า TVB (mg/ ตัวอย่าง 100 กรัม)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60:$O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	0^{f}	0^{c}	0^{e}	0^{e}	0^{d}	$0.^{e}$	0^{d}
1	$1.39^{Ae}\pm0.05$	0^{Cc}	$1.32^{Ad}\pm0.07$	0^{Ce}	$1.24^{Bc}\pm0.04$	$1.32^{Ad}\pm0.07$	0^{Cd}
3	$3.96^{Ad}\pm0.17$	$3.49^{Bb}\pm0.62$	$1.34^{Dd}\pm0.03$	$1.37^{Dd}\pm0.06$	$1.28^{Dbc}\pm0.02$	$2.64^{Cc}\pm0.06$	0^{Ed}
5	$6.77^{Abc}\pm0.20$	$6.59^{Aa}\pm0.68$	$1.34^{Cd}\pm0.09$	$1.45^{Cd}\pm0.01$	$1.35^{Cbc}\pm0.15$	$2.63^{Bc}\pm0.04$	0^{Dd}
7	$6.56^{Ac}\pm0.40$	$6.51^{Aa}\pm0.28$	$2.03^{Cc}\pm0.65$	$2.90^{Bc}\pm0.02$	$1.36^{Dbc}\pm0.12$	$2.75^{Bc}\pm0.04$	$1.43^{Dc}\pm0.02$
9	$6.60^{Ac}\pm0.47$	$6.71^{Aa}\pm0.27$	$2.78^{Bb}\pm0.25$	$2.88^{Bc}\pm0.11$	$1.36^{Cbc}\pm0.04$	$2.92^{Bc}\pm0.07$	$1.45^{Cc}\pm0.02$
11	$7.18^{Aab}\pm0.17$	$6.82^{Ba}\pm0.01$	$3.11^{Db}\pm0.24$	$3.20^{Db}\pm0.20$	$1.38^{Ebc}\pm0.09$	$3.56^{Cb}\pm0.11$	$3.40^{CDb}\pm0.20$
13	$7.21^{Aa}\pm0.24$	$6.66^{Ba}\pm0.33$	$3.24^{Cb}\pm0.07$	$3.25^{Cb}\pm0.04$	$1.41^{Db}\pm0.10$	$6.34^{Ba}\pm0.19$	$3.51^{Cb}\pm0.11$
15	$7.34^{Aa}\pm0.10$	$6.95^{Aa}\pm0.35$	$6.46^{Ba}\pm0.26$	$3.51^{Da}\pm0.25$	$4.17^{Ca}\pm0.05$	$6.41^{Ba}\pm0.43$	$3.96^{Ca}\pm0.04$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

หอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาในภาวะบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศจะมีค่า TVB เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 วันแรกของการเก็บรักษา โดยค่า TVB จะเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยา autolytic deamination ของกรดอะมิโนอิสระจากกระบวนการ proteolysis และเกิดการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ยังคงต่ำอยู่จึงทำให้ค่า pH ของอาหารไม่สูงมาก แต่หลังจากนั้นปริมาณ TVB จะสูงขึ้นจากการย่อยสลายตัวเองของเอนไซม์และการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่ทำให้ค่า TVB สูงขึ้นได้แก่ lactic acid bacteria และ *Enterobacteriaceae* ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะสร้างสารที่เป็นด่างและทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นด้วย (Bugueno *et al*., 2003) แต่หลังจากวันที่ 5 ของการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ TVB จะมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 7 mg / ตัวอย่าง 100 g จนสิ้นสุดการเก็บรักษา สอดคล้องกับการทดลองในหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis diversicolor* (Chiou, *et al*., 2002) ที่พบว่ามีค่า TVB 2.6 ± 0.9 mg/ตัวอย่าง 100 g ในหอยสดและเพิ่มขึ้นสูงกว่า 7 mg/ตัวอย่าง 100 g เมื่อเก็บหอยไว้ที่ 5^{o}C นาน 3.5 วัน แนวโน้มใกล้เคียงกับการเก็บรักษาหอยนางรมสดในน้ำแข็งของ Murata และ Sakaguchi

(1986) ที่พบว่าค่า total volatile nitrogen ของหอยนางรมเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาและไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเก็บไว้นาน 6 วัน การเพิ่มขึ้นของค่า total volatile nitrogen นั้นมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและทำให้หอยนางรมมีกลิ่นแตกต่างไปจากหอยนางรมสดจึงไม่เป็นที่ยอมรับหากเก็บหอยนางรมแช่ในน้ำแข็งไว้เป็นเวลานาน

การเพิ่มขึ้นของค่า TVB ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช้ากว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและในสภาพสุญญากาศ ($p \leq 0.05$) และภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนสูงจะทำให้เกิด TVB สูงกว่าการเก็บรักษาในภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ สอดคล้องกับการเก็บรักษาปลา finfish โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติซึ่งพบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทำให้ค่า total volatile nitrogen เพิ่มขึ้นช้ากว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติเพราะการเจริญของจุลินทรีย์ในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศจะช้ากว่าในบรรยากาศปกติ เนื่องจากกาซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีความจำเพาะในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่สร้างสารจำพวกเอมีนได้ และยังพบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$20:$O_2$80 จะมีการสร้างสารเอมีนปริมาณสูงกว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุภาวะอื่น ๆ ที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า (Lannelongue, *et al*., 1982c) และพบว่าการเก็บรักษา gutted hake (*Merluccius merluccius* L.) (Ruiz-Capillas and Moral, 2001) และการเก็บรักษา pota และ octopus (Ruiz-Capillas *et al*., 2002) โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณ TVB ของสัตว์น้ำที่เก็บในภาวะปรับสภาพบรรยากาศในภาชนะบรรจุมีค่าต่ำกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติเช่นเดียวกัน

ดังนั้นการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจึงชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB ของหอยเป๋าฮื้อได้เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและในสภาพสุญญากาศ โดย TVB นั้นจะรวมปริมาณ TMA และแอมโมเนีย ซึ่งสารเหล่านี้มักเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ภายในชิ้นอาหารเอง (Villemure, Simard, and Picard, 1986) การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถลดการเจริญแบคทีเรียทนเย็นและจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญได้ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สร้าง total volatile nitrogen ได้จึงสามารถลด total volatile nitrogen ที่เกิดขึ้นได้ (Lannelongue *et al*. 1982) ในขณะที่ Gimenez, Roncales, และ Beltran (2002) ที่เก็บรักษาปลา rainbow trout โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ และแปรอัตราส่วนก๊าซออกซิเจนระหว่าง 10-30 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซไนโตรเจน 20-40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่า TVB ระหว่างอัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ การเพิ่มขึ้นของค่า TVB ของหอยเป๋าฮื้อที่มีการบรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศ

จะเป็นไปอย่างช้า ๆ และค่า TVB ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศมีค่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับอาหารทะเลชนิดอื่น ๆ นั้น จึงสรุปว่าค่า TVN ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป๋าฮื้อ เช่นเดียวกับผลการทดลองเก็บ disk abalone ที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียสที่พบว่าค่า total volatile nitrogen ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป๋าฮื้อพันธุ์นี้ เนื่องจากค่า total volatile nitrogen จะไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะเก็บไว้นาน 3 หรือ 5 วัน และจะเพิ่มขึ้นช้ามากระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อผ่านไป 13 วันจะมีค่าเพียง 10 mg/100g เท่านั้น (Watanabe, Yamanaka, and Yamakawa, 1992)

4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า Trimethylamine (TMA) ระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ TMA โดยวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ไม่พบปริมาณของ TMA ในหอยเป๋าฮื้อสดและหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติ สุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา คาดว่าหอยเป๋าฮื้อมีปริมาณ TMAO ต่ำมากจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น TMA ระหว่างการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสอดคล้องกับการรายงานของ Olley และ Thrower (1977) ที่พบว่า TMA เกิดจากการแตกตัวของ TMAO ซึ่งมีอยู่ในอาหารทะเลสด โดยในหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis gigantean* จะมีค่าต่ำมากจนเกือบจะไม่มีเลย ทั้งนี้ปริมาณของ TMAO และ TMA ที่พบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่ง TMA จะเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเน่าเสียของปลาหลายชนิด (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) Murata และ Sakaguchi (1986) ได้ทดลองหาปริมาณ TMAO ในหอยนางรมสดพบว่ามีค่าต่ำมาก คือพบต่ำกว่า 0.5 mg/100g ตัวอย่าง เช่นเดียวกับปลา tilapia สดที่พบปริมาณ TMA ต่ำมากคือประมาณ 0.05 mg/100g ตัวอย่าง (Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) ปลา albacore สดก็มีค่า TMA ต่ำมากประมาณ 1.1 mg/100g ตัวอย่างเช่นกัน และจะมีค่าสูงเพียง 2.8 mg/100g ตัวอย่าง เมื่อเก็บรักษาโดยการแช่เย็นนานถึง 33 วัน (Price, Melvin, and Bell, 1991) จากการเก็บรักษาปลา tilapia พบว่าอุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการเกิด TMA ได้ โดยมีการทดลองเก็บปลา tilapia ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสพบว่ามีค่า TMA ต่ำมากใน 6 วันแรก จากเดิมที่มีค่า TMA ที่พบในปลา tilapia สดต่ำอยู่แล้วคือประมาณ 0.07 mg/100g ตัวอย่าง (Reddy *et al*., 1994) จึงสามารถสรุปได้ว่าการที่ไม่พบปริมาณ TMA ในตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อเนื่องมาจากในหอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis asinina* มีปริมาณ TMAO ต่ำมากจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น TMA ระหว่างการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุและ TMA ไม่สามารถใช้เป็นดัชนีในการกำหนดอายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อได้

4.8 การยอมรับทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

4.8.1 ด้านลักษณะปรากฏ

คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นดังตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาแต่ละภาวะการเก็บรักษาพบว่าการเก็บในบรรยากาศปกติและในภาวะสุญญากาศจะเก็บผลิตภัณฑ์ได้เพียง 5 วันเมื่อใช้คะแนนเท่ากับ 2.5 เป็นเกณฑ์ในการตัดสิน ในขณะที่การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถยืดระยะเวลาในการยอมรับทางประสาทสัมผัสออกไปได้มากขึ้น โดยที่ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 สามารถเก็บได้ 9 วัน $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30 เก็บได้ 13 วัน $CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40 เก็บได้ 11 วัน $CO_2$60:$O_2$40 เก็บได้ 15 วัน และ $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 เก็บได้ 11 วัน สอดคล้องกับการทดลองของ Goncalves, Lopez-caballero, และ Nunes (2003) ที่พบว่ากุ้ง *Parapenaeus longirostris* เก็บใน $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30 จะได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด และสรุปไว้ว่าการเก็บรักษากุ้งใน MAP จะทำให้มีอายุการเก็บนานกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ จากการทดลองพบว่ามีความแตกต่าง ($p \leq 0.05$) ของคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศกับหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ในขณะที่การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติเทียบกับสุญญากาศจะไม่มีความแตกต่างกล่าวคือการบรรจุแบบสุญญากาศไม่ได้ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏเพิ่มขึ้น การใช้อัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40-60 เปอร์เซ็นต์จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้หอยเป๋าฮื้อมีลักษณะปรากฏที่ดี การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ในการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเป็นปริมาณที่ต่ำเกินไปในการช่วยคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏดีขึ้น (Brown *et al*., 1980) ผลิตภัณฑ์จะมีอายุการเก็บเมื่อใช้ดัชนีการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าการใช้ดัชนีทางเคมี (Ruiz-Capillas and Moral, 2001)

4.8.2 ด้านกลิ่น

คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจะมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นดังตารางที่ 4.10 ถ้าใช้คะแนนเท่ากับ 2.5 (หอยเป๋าฮื้อมีกลิ่นคาว ฉุนคล้ายกลิ่นแอมโมเนีย) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในแต่ละภาวะพบว่าการเก็บหอย

เป๋าฮื้อในบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศจะมีอายุการเก็บเท่ากับ 3 วัน ใกล้เคียงกับการเก็บหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis diversicolor* ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสซึ่งมีอายุการเก็บ 3.5 วัน เมื่อใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน (Chiou *et al*., 2002) ในภาวะ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 สามารถเก็บได้ 9 วัน $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30 เก็บได้ 15 วัน $CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40 เก็บได้ 11 วัน $CO_2$60:$O_2$40 เก็บได้ 15 วัน และ $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 เก็บได้ 13 วัน สอดคล้องกับผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสกับปลา tilapia จากการทดลองของ Reddy, Villanueva, และ Kautter (1995) ที่พบว่าการเก็บปลา tilapia ไว้ในบรรยากาศปกติปลาจะเกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ที่จะสร้างกลิ่นเหม็นขึ้น ทำให้เกิดการไม่ยอมรับทางประสาทสัมผัสเร็วกว่า ในขณะที่การบรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 75 เปอร์เซ็นต์จะสามารถชะลอการเน่าเสียและการเกิดกลิ่นดังกล่าวได้ยาวนานกว่า เช่นเดียวกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการเก็บรักษากุ้ง *Parapenaeus longirostris* ที่พบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30 และ $CO_2$45:$O_2$5:$N_2$50 จะช่วยให้มีอายุการเก็บนานกว่าในบรรยากาศปกติได้ 2 วัน (Goncalves, Lopez-Caballero, and Nunes, 2003)

ตารางที่ 4.9 คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60:$O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
1	$4.4^{Aa}\pm0.7$	$3.9^{Ba}\pm1.0$	$4.4^{Aa}\pm0.7$	$4.5^{Aa}\pm0.5$	$4.6^{Aa}\pm0.5$	$4.6^{Aa}\pm0.5$	$4.5^{Aa}\pm0.6$
3	$3.0^{Bb}\pm0.9$	$3.0^{Bb}\pm0.8$	$3.6^{ABb}\pm1.1$	$4.1^{Ab}\pm0.9$	$3.4^{Bb}\pm0.8$	$3.4^{Bcd}\pm0.9$	$3.2^{Bb}\pm0.8$
5	$2.7^{Cb}\pm0.7$	$2.8^{Cb}\pm0.8$	$3.3^{Bb}\pm0.7$	$3.7^{ABb}\pm0.6$	$3.8^{ABb}\pm0.8$	$3.9^{Ab}\pm0.7$	$3.3^{Bb}\pm1.0$
7	$2.0^{Bc}\pm0.6$	$2.1^{Bc}\pm0.7$	$3.3^{Ab}\pm0.5$	$3.8^{Ab}\pm0.7$	$3.4^{Ab}\pm0.9$	$3.5^{Abc}\pm1.0$	$3.5^{Ab}\pm0.8$
9	$1.9^{Bc}\pm0.6$	$1.7^{Bcd}\pm0.6$	$2.7^{Ac}\pm0.6$	$3.0^{Ac}\pm0.5$	$2.7^{Ac}\pm1.1$	$2.8^{Ae}\pm1.0$	$3.0^{Ab}\pm0.9$
11	$1.4^{Dd}\pm0.5$	$1.4^{Dde}\pm0.5$	$2.3^{Ccd}\pm0.6$	$3.0^{Ac}\pm0.8$	$2.5^{BCcd}\pm0.6$	$2.9^{ABde}\pm0.8$	$2.5^{BCc}\pm0.7$
13	$1.0^{Dd}\pm0$	$1.1^{De}\pm0.2$	$2.0^{Cd}\pm0.9$	$2.6^{Acd}\pm0.7$	$2.1^{BCde}\pm0.8$	$2.5^{ABe}\pm0.8$	$2.3^{ABCc}\pm0.7$
15	$1.0^{Ed}\pm0$	$1.0^{Ee}\pm0$	$2.0^{BCd}\pm0.8$	$2.4^{ABd}\pm1.0$	$1.6^{CDe}\pm0.8$	$2.5^{Ae}\pm0.8$	$1.5^{Dd}\pm0.8$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	$CO_2$60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
1^{NS}	$4.4^{ABa}\pm0.6$	$4.2^{Ba}\pm0.7$	$4.6^{Aa}\pm0.5$	$4.7^{Aa}\pm0.5$	$4.6^{Aa}\pm0.5$	$4.6^{Aa}\pm0.5$	$4.6^{Aa}\pm0.5$
3	$2.9^{Bb}\pm0.8$	$3.0^{Bb}\pm1.0$	$3.6^{Ab}\pm0.7$	$3.7^{Ab}\pm0.9$	$3.9^{Ab}\pm0.9$	$3.6^{Abc}\pm0.9$	$3.6^{Abc}\pm0.8$
5	$2.2^{Dc}\pm0.6$	$2.2^{Dc}\pm0.5$	$3.3^{Cb}\pm0.7$	$3.4^{BCbc}\pm0.8$	$3.8^{ABCb}\pm0.8$	$3.9^{AB}b\pm0.8$	$4.1^{Ab}\pm0.8$
7	$2.1^{Bc}\pm0.5$	$2.2^{Bc}\pm0.9$	$3.7^{Ab}\pm0.5$	$3.8^{Ab}\pm0.6$	$3.9^{Ab}\pm0.6$	$3.7^{Abc}\pm0.6$	$3.8^{Abc}\pm0.7$
9	$1.6^{Cd}\pm0.7$	$1.9^{Ccd}\pm0.8$	$2.6^{Bc}\pm0.6$	$3.4^{Abc}\pm0.6$	$3.2^{Ac}\pm0.9$	$3.4^{Ac}\pm0.7$	$3.4^{Acd}\pm0.7$
11	$1.5^{Bd}\pm0.5$	$1.6^{Bde}\pm0.7$	$1.7^{Bd}\pm0.7$	$3.0^{Ac}\pm0.7$	$2.8^{Ac}\pm0.5$	$2.8^{Ad}\pm0.8$	$2.9^{Ade}\pm0.7$
13	$1.4^{Cd}\pm0.5$	$1.3^{Ce}\pm0.5$	$1.6^{Cd}\pm0.7$	$2.5^{ABd}\pm0.8$	$2.3^{Bd}\pm0.9$	$2.9^{Ad}\pm0.8$	$2.6^{ABe}\pm0.9$
15	$1.0^{De}\pm0$	$1.3^{CDe}\pm0.4$	$1.8^{Bd}\pm0.8$	$2.5^{Ad}\pm1.0$	$1.8^{Be}\pm0.9$	$2.6^{Ad}\pm0.8$	$1.6^{BCf}\pm0.9$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อใช้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเป็นเกณฑ์พบว่าอายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศลดลงกว่าการใช้ลักษณะปรากฏในการตัดสินเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การยอมรับหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นยังคงใกล้เคียงกับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ โดยพบความแตกต่าง ($p \leq 0.05$) ของคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศ กับหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา คะแนนด้านประสาทสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศจะมีค่าต่ำกว่าการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ สอดคล้องกับการทดลองของ Pastoriza และคณะ (1996) ที่พบว่าปลาแซลมอนที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติจะไม่เป็นที่ยอมรับด้านกลิ่นหลังจากเก็บไว้ 8 วัน ส่วนการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$100% จะยังคงยอมรับได้ในวันที่ 20 ส่วน

การทดลองของ Wang และ Brown (1983) พบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารได้ โดยเก็บ crayfish ในบรรยากาศปกติจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเร็วกว่าในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ เท่ากับ $CO_2$80:air20 โดยในบรรยากาศปกติจะเกิดกลิ่นเหม็นหลังจาก 7 วัน ส่วน $CO_2$80:air 20 นั้นผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสยังยอมรับได้ที่ 14 วัน การเกิดกลิ่นเหม็นของ crayfish ที่เก็บในบรรยากาศปกตินั้นเกิดจากจุลินทรีย์เข้าไปใช้โปรตีนและสารเพปไทด์เป็นแหล่งอาหาร จึงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและเกิดการไม่ยอมรับด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งก็มีแนวโน้มเดียวกันกับผลการทดลองเพราะถ้าเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทั้ง 5 ภาวะพบว่าภาวะที่มี $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 จะได้รับการยอมรับน้อยกว่าภาวะอื่น ๆ เนื่องจากภาวะดังกล่าวมีปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุสูงจึงทำให้เกิดการเน่าเสียเร็ว และเกิดกลิ่นเหม็นเร็วกว่าภาวะอื่น ๆ ที่แม้จะมีปริมาณออกซิเจนเท่ากัน แต่ภาวะ $CO_2$60:$O_2$40 นั้นมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงด้วยจึงน่าจะช่วยชะลอการเสื่อมเสียได้ดีกว่า

4.8.3 **ด้านสี**

คะแนนเฉลี่ยด้านสีของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อแสดงดังตารางที่ 4.11 ถ้าใช้คะแนนเท่ากับ 2.5 (สีมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในแต่ละภาวะพบว่า ทุกภาวะยังคงมีคะแนนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เนื่องจากสีของหอยเป๋าฮื้อไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงและผู้บริโภคยังคงให้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ดีตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ว่าต้องการเก็บรักษาหอยให้ยาวนานโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านสี

4.9 **การเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ**

4.9.1 **การเปลี่ยนแปลงค่า L***

การวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า L* โดยใช้ Chroma meter (Minolta Chroma Meter, CR 300 Series) พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุในบรรยากาศปกติและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ 4.12 ยกเว้นการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 และการบรรจุแบบสุญญากาศที่พบว่าระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ไม่พบความแตกต่างของค่าความสว่าง

ระหว่างอัตราส่วนก๊าซ ยกเว้นในวันที่ 13 ของการเก็บรักษาที่พบว่าค่าความสว่างของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บใน $CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40 จะต่ำกว่าการเก็บรักษาในภาวะอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย ซึ่งวันที่ 13 นั้นก็เป็นวันท้าย ๆ ของการเก็บรักษาจึงไม่น่าจะส่งผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านสีก็ยังคงมีคะแนนในเกณฑ์ที่ยอมรับได้อยู่

ตารางที่ 4.11 คะแนนเฉลี่ยด้านสีของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	คะแนนเฉลี่ยด้านสีของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	$CO_2$60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
1	$4.4^{Aa}\pm0.5$	$3.8^{Ba}\pm1.1$	$4.3^{ABa}\pm0.9$	$4.3^{Aa}\pm0.7$	$4.5^{Aa}\pm0.6$	$4.6^{Aa}\pm0.5$	$4.6^{Aa}\pm0.7$
3	$2.9^{Cc}\pm0.8$	$3.1^{BCbc}\pm0.8$	$3.5^{ABbc}\pm0.8$	$3.9^{Aa}\pm1.0$	$3.9^{Ab}\pm0.7$	$3.9^{Ab}\pm0.8$	$3.6^{ABb}\pm1.0$
5	$2.4^{Bd}\pm0.5$	$2.5^{Bd}\pm0.5$	$3.3^{Acd}\pm0.7$	$3.2^{Abc}\pm0.9$	$3.4^{Ac}\pm0.8$	$3.7^{Abc}\pm0.9$	$3.6^{Ab}\pm0.8$
7	$3.2^{Bbc}\pm0.6$	$3.4^{Bb}\pm0.6$	$3.8^{Aab}\pm0.4$	$3.9^{Aa}\pm0.5$	$4.0^{Ab}\pm0.6$	$4.1^{Aab}\pm0.6$	$3.9^{Ab}\pm0.6$
9	$3.1^{Bbc}\pm1.0$	$2.9^{Bcd}\pm0.7$	$3.1^{Bcde}\pm0.7$	$3.4^{ABb}\pm0.8$	$3.3^{ABc}\pm0.9$	$3.4^{ABcd}\pm0.8$	$3.8^{Ab}\pm0.6$
11	$3.4^{Ab}\pm0.5$	$3.2^{ABbc}\pm0.6$	$2.9^{Bdef}\pm0.7$	$3.2^{ABbc}\pm0.8$	$2.7^{Bd}\pm0.7$	$2.8^{Be}\pm0.8$	$2.8^{Bc}\pm0.6$
13	$3.3^{Ab}\pm0.6$	$2.5^{Bd}\pm0.6$	$2.5^{Bf}\pm1.1$	$2.7^{Bc}\pm1.0$	$2.6^{Bd}\pm0.9$	$2.9^{ABe}\pm0.9$	$2.8^{ABc}\pm0.8$
15	$3.4^{Ab}\pm0.5$	$2.6^{Bd}\pm0.5$	$2.6^{Bef}\pm1.1$	$3.5^{ABbc}\pm0.7$	$1.9^{Ce}\pm0.8$	$3.1^{ABde}\pm0.6$	$2.0^{Cd}\pm0.7$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุภาวะ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 และการบรรจุแบบสุญญากาศจะมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Silva และ White (1994) ที่ทดลองเก็บ channel catfish โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 และ 80 เปอร์เซ็นต์ที่พบว่าค่าความสว่างของชิ้นอาหารจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่างอัตราส่วนก๊าซ ตรงกับการทดลองเก็บปูต้ม *Cancer magister* โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$80:air 20 พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่างการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและการเก็บใน $CO_2$80:air 20 (Parkin and Brown, 1983) การเก็บรักษาปลาแซลมอนรมควันโดยการบรรจุในสุญญากาศและการปรับ

สภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$60:$N_2$40 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า L* เมื่อเทียบกับการบรรจุในบรรยากาศปกติ (Bugueno *et al*., 2003)

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า L* ที่วัดได้						
	Air^{NS}	Vacuum	$CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30^{NS}	$CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40^{NS}	$CO_2$60:$O_2$40^{NS}	$CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20^{NS}
0^{NS}	68.6±2.1	68.6^{b}±2.1	68.6^{b}±2.1	68.6±2.1	68.6±2.1	68.6±2.1	68.6±2.1
1^{NS}	68.0±0.9	67.8^{b}±1.5	68.5^{b}±1.5	69.1±1.8	68.2±1.2	69.6±0.9	67.6±1.9
3^{NS}	68.5±1.5	69.6^{ab}±0.5	67.8^{b}±0.2	69.2±1.4	69.9±0.3	70.8±1.6	69.1±1.9
5^{NS}	67.8±2.6	68.0^{b}±2.5	69.3^{b}±1.2	68.1±1.6	68.3±3.0	69.1±3.0	69.7±0.7
7^{NS}	68.3±4.5	68.0^{b}±1.3	69.8^{ab}±1.5	68.7±2.7	68.3±2.1	70.2±0.1	68.5±5.8
9^{NS}	69.0±3.9	68.2^{b}±0.7	68.7^{b}±0.5	68.4±2.6	67.5±4.6	67.7± 1.5	69.7±3.1
11^{NS}	68.6±0.6	69.6^{ab}±0.9	67.8^{b}±0.7	69.7±1.1	67±0	68.3±2.2	68.9±0.5
13	68.4^{AB}±0.6	70.1^{ABab}±0.5	68.7^{ABb}±1.1	71.6^{A}±0.3	69.1^{B}±2.5	71.9^{AB}±3.4	69.1^{AB}±0.1
15^{NS}	71.0±1.4	72.3^{a}±2.4	71.8^{a}±0.7	70.2±1.4	70.0± 0.1	71.1±0.2	70.0±0.5

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

4.9.2 การเปลี่ยนแปลงค่า a*

จากการวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า a* โดยใช้ Chroma meter (Minolta Chroma Meter, CR 300 Series) พบว่าหอยเป๋าฮื้อมีค่าอยู่ในช่วงสีเขียวดังแสดงในตารางที่ 4.13 โดยพบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของระยะเวลาในการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อต่อค่า a* (ช่วงสีเขียว) ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อในบรรยากาศปกติและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 และ CO_2 60:$O_2$40 แต่การบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30, $CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40 และ $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 นั้นจะมีค่าสีเขียวเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บ

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่า a* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า a* ที่วัดได้						
	Air^{NS}	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20^{NS}	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	$CO_2$60: $O_2$40^{NS}	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	-1.4±0.5	-1.4^{b}±0.5	-1.4±0.5	-1.4^{ab}±0.5	-1.4^{ab}±0.5	-1.4±0.5	-1.4^{abc}±0.5
1	-1.8^{AB}±0.1	-1.6^{Aab}±0.1	-1.5^{A}±0.3	-2.1^{Bab}±0.4	-1.7^{ABabc}±0	-1.5^{A}±0.7	-1.5^{Abc}±0.1
3^{NS}	-2.1±0.6	-1.5^{ab}±0.8	-1.4±0.2	-2.4^{b}±0.8	-1.4^{ab}±0.5	-1.8±0	-1.1^{bc}±0.1
5^{NS}	-1.6±0.2	-1.8^{ab}±0.4	-1.4±0	-1.5^{ab}±2.1	-1.5^{ab}±0	-1.4±0.4	-1.4^{bc}±0.2
7^{NS}	-1.9±1.1	-1.2^{b}±0.2	-1.2±0.3	-1.6^{ab}±0.7	-1.1^{a}±0.5	-1.7±0.2	-1.6^{bc}±1.3
9^{NS}	-2.2±0.5	-2.4^{c}±0.2	-1.2±0.5	-2.1^{ab}±1.0	-1.5^{ab}±0.5	-1.2±0	-1.7^{bc}±0.3
11^{NS}	-1.7±0.7	-0.9^{a}±0.6	-1.6±0.3	-1.5^{a}±0.5	-1.6^{ab}±0.3	-2.0±0.9	-1.3^{bc}±0
13^{NS}	-1.4±0.4	-1.0^{a}±0.2	-1.9±1.2	-1.7^{ab}±0.2	-2.1^{bc}±0	-1.6±1.3	-2.1^{b}±0.6
15^{NS}	-1.7±0.7	-1.5^{ab}±0.6	-1.8±0.7	-2.3^{ab}±0.2	-2.4^{c}±0.2	-2.1±0.1	-2.2^{a}±0.1

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

พบความแตกต่างของค่า a* ช่วงสีเขียวอย่างไม่มีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนก๊าซยกเว้นในวันที่ 1 ของการเก็บรักษาที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนก๊าซแต่ละอัตราส่วน ซึ่งไม่ได้มีแนวโน้มที่แน่นอน การเก็บรักษาในวันที่ 1 พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญระหว่างภาวะต่าง ๆ ในการเก็บรักษาต่อค่าช่วงสีเขียว สอดคล้องกับการเก็บรักษาปลาแซลมอนรมควันโดยการบรรจุในสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$60:$N_2$40 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า a* เมื่อเทียบกับการบรรจุในบรรยากาศปกติ (Bugueno *et al.*, 2003) ในขณะที่การทดลองใน channel catfish พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 และ 80 เปอร์เซ็นต์จากการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะเข้าไปทำให้มีสีเขียวเพิ่มขึ้น คือทำให้ค่า a* ลดลงในช่วงแรกแล้วจึงเพิ่มขึ้น (Silva and White, 1994) และการเก็บ swordfish โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี $CO_2$40:$O_2$60 และ $CO_2$70:$O_2$30 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีขึ้นหลังจากเก็บไวนาน 11 วัน โดยจะมีสีเขียวเพิ่มขึ้น (Lannelongue *et al.*, 1982)

4.9.3 การเปลี่ยนแปลงค่า b*

จากการวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า b* โดยใช้ Chroma meter (Minolta Chroma Meter, CR 300 Series) พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่า b* ช่วงสีเหลืองของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี CO_2 60:$O_2$40 ดังตารางที่ 4.14 ในขณะที่การเก็บรักษาในภาวะอื่น ๆ จะมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซต่อค่า b* ช่วงสีเหลือง ยกเว้นในวันที่ 11 ของการเก็บรักษาที่มีความแตกต่าง ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วน $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 จะมีค่าสีเหลืองต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะอื่น แต่ความแตกต่างนี้ไม่น่าจะมีผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านสีก็ยังคงมีคะแนนในเกณฑ์ที่ยอมรับได้อยู่ ระยะเวลาในการเก็บรักษาจะทำให้หอยเป๋าฮื้อมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ภาวะ ยกเว้นการเก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ CO_2 60:$O_2$40 ซึ่งจากการทดลองเก็บปลา bass โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ ก็ให้ผลตรงกับผลการทดลองโดยรวมคือ ปลา bass จะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (Handumrongkul and Silva, 1994) ในขณะที่การทดลองใน channel catfish พบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 และ 80 เปอร์เซ็นต์ไม่มีผลต่อค่า b* ของ channel catfish (Silva and White, 1994) เช่นเดียวกับการเก็บรักษาปลาแซลมอนรมควันโดยการบรรจุในสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$60:$N_2$40 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า b* เมื่อเทียบกับการบรรจุในบรรยากาศปกติ (Bugueno *et al.*, 2003)

4.10 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

4.10.1 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness

การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแสดงดังตารางที่ 4.15 ซึ่งพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ค่า hardness ของหอยเป๋าฮื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ในทุกภาวะการเก็บ โดยระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นจะทำให้ค่า hardness ลดลง ไม่มีความแตกต่าง ($p > 0.05$) ของอัตราส่วนก๊าซต่อค่า hardness ยกเว้นในช่วงหนึ่งของการเก็บ

รักษาคือช่วงวันที่ 1 และ 3 ที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูงคือ $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 และ CO_2 60:$O_2$40 จะมีค่า hardness ต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะอื่น อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเกินไป จึงทำให้เนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อเกิดการเปลี่ยนแปลง

ระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ค่า hardness ของหอยเป๋าฮื้อลดลง แต่อัตราส่วนก๊าซไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า hardness ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่คาดไว้คือไม่ต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสเนื่องจากการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า b* ที่วัดได้						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40^{NS}	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	7.4^{b}±1.9	7.4^{a}±1.9	7.4^{a}±1.9	7.4^{a}±1.9	7.4^{c}±1.9	7.4±1.9	7.4^{c}±1.9
1^{NS}	10.1^{ab}±2.8	7.3^{d}±0.6	8.5^{ed}±0.5	9.0^{de}±2.5	11.4^{abc}±0	9.5±2.4	6.7^{c}±2.0
3^{NS}	9.3^{ab}±1.4	11.5^{c}±2.8	11.4^{bcd}±1.5	9.9^{cde}±2.5	10.2^{bc}±1.9	11.4±7.0	11.8^{b}±0.3
5^{NS}	10.0^{ab}±0.4	12.5^{bc}±2.2	10.7^{cde}±1.1	10.5^{bcde}±1.9	10.3^{bc}±2.3	11.8±0.9	11.4^{b}±1.0
7^{NS}	10.4^{ab}±0.3	12.3^{bc}±0.2	14.4^{ab}±0.8	11.2^{abcd}±2.5	14.1^{ab}±3.1	11.6±3.0	12.9^{b}±0.4
9^{NS}	13.7^{a}±1.7	12.9^{bc}±0.4	13.2^{abc}±2.8	12.4^{abcd}±0.9	14.0^{ab}±0.4	11.6±3.0	12.7^{b}±0.9
11	12.2^{Bab}±1.3	15.7^{Aab}±0.4	14.6^{ABab}±2.1	13.4^{ABabc}±0.8	14.6^{Aab}±4.0	12.2^{AB}±1.3	13.2^{Bab}±0.9
13^{NS}	13.4^{a}±2.6	17.9^{a}±2.3	16.4^{a}± 0.6	14.4^{a}±1.7	15.5^{a}±1.2	13.8±1.5	13.6^{ab}±0.3
15^{NS}	14.3^{a}±4.7	16.8^{a}±1.4	16.3^{a}±1.5	13.8^{ab}±0.1	15.5^{a}±0.7	12.8±1.6	16.1^{a}±2.7

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า hardness (kg) ที่วัดได้						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$22.3^{a}\pm3.4$	$22.3^{a}\pm3.4$	$22.3^{a}\pm3.4$	$22.3^{a}\pm2.8$	$22.3^{a}\pm3.4$	$22.3^{a}\pm3.4$	$22.3^{a}\pm3.3$
1^{NS}	$18.7^{ab}\pm1.8$	$18.7^{ab}\pm1.8$	$18.6^{ab}\pm1.9$	$17.3^{ab}\pm4.1$	$19.6^{a}\pm1.2$	$13.2^{bc}\pm2.1$	$15.1^{b}\pm0.4$
3	$20.6^{Aab}\pm1.9$	$18.5^{ABabc}\pm3.5$	$18.3^{ABabc}\pm1.1$	$17.9^{ABab}\pm5.6$	$17.9^{ABab}\pm2.1$	$13.2^{Bbc}\pm0.7$	$13.1^{Bbc}\pm0.2$
5	$17.5^{Aab}\pm3.3$	$17.0^{ABabcd}\pm0$	$15.8^{ABbcd}\pm1.6$	$15.7^{ABb}\pm0.7$	$17.6^{Aab}\pm1.2$	$13.4^{Bbc}\pm0.2$	$13.8^{Bbc}\pm0.5$
7^{NS}	$16.4^{b}\pm2.3$	$13.8^{bcde}\pm3.5$	$15.2^{bcd}\pm1.6$	$15.3^{b}\pm2.8$	$12.4^{c}\pm1.8$	$16.3^{b}\pm2.8$	$13.6^{bc}\pm0.2$
9^{NS}	$10.4^{c}\pm0.3$	$11.6^{de}\pm0.4$	$14.1^{cd}\pm2.0$	$13.1^{b}\pm1.3$	$14.7^{bc}\pm3.6$	$13.7^{bc}\pm1.7$	$13.3^{bc}\pm0.7$
11^{NS}	$11.1^{Bc}\pm1.0$	$11.1^{e}\pm0.2$	$14.2^{cd}\pm0.6$	$12.8^{b}\pm1.2$	$11.1^{c}\pm0.7$	$12.0^{bc}\pm2.9$	$12.2^{bc}\pm1.4$
13^{NS}	$11.4^{c}\pm0.6$	$12.0^{de}\pm0.2$	$12.2^{d}\pm0.1$	$12.6^{b}\pm0.2$	$11.1^{c}\pm1.1$	$10.2^{c}\pm0.3$	$10.7^{c}\pm2.2$
15^{NS}	$9.7^{c}\pm1.1$	$12.8^{cde}\pm3.5$	$12.5^{d}\pm1.6$	$13.3^{b}\pm0$	$11.3^{c}\pm0.2$	$11.6^{bc}\pm0.1$	$11.3^{bc}\pm1.6$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

4.10.2 การเปลี่ยนแปลงค่า Springiness

ในการทดลองพบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของระยะเวลาในการเก็บต่อค่า springiness ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติ สุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 ในขณะที่การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุภาวะอื่น ๆ พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า springiness ลดลงดังตารางที่ 4.16 แต่การลดลงของค่า springiness ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุส่วนมากนั้นไม่น่าจะส่งผลเสียต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากพบว่าไม่มีความแตกต่างของอัตราส่วนก๊าซต่อค่า springiness ในแต่ละวันของการเก็บรักษา จึงสามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุไม่ทำให้ค่า springiness ของเนื้อหอยเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ

ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่า Springiness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า Springiness ที่วัดได้						
	Air^{NS}	Vacuum^{NS}	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20^{NS}	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	$CO_2$60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	0.97±0	0.97±0	0.97±0	0.97^{a}±0.04	0.97^{a}±0.01	0.97^{a}±0	0.97^{a}±0
1^{NS}	0.99±0.01	0.88±0.16	0.81±0.11	0.98^{a}±0.02	0.89^{ab}±0.12	0.93^{a}±0.01	0.99^{a}±0.01
3^{NS}	0.98±0.02	0.80±0.28	0.84±0.07	0.91^{ab}±0.09	0.97^{a}±0.01	0.89^{ab}±0.13	0.87^{ab}±0.08
5^{NS}	0.99±0.01	0.91±0.11	0.89±0.02	0.85^{abc}±1.56	0.81^{ab}±0.07	0.85^{ab}±0.07	0.84^{ab}±0.14
7^{NS}	0.94±0.06	0.81±0.04	0.84±0.11	0.88^{abc}±0.03	0.83^{ab}±0.08	0.86^{ab}±0.03	0.86^{ab}±0.07
9^{NS}	0.98±0.01	0.89±0.15	0.77±0.16	0.89^{ab}±0.04	0.78^{ab}±0.04	0.83^{ab}±0.12	0.81^{ab}±0.12
11^{NS}	0.89±0.16	0.89±0.07	0.89±0.01	0.78^{bc}±0.01	0.78^{ab}±0.11	0.81^{ab}±0.11	0.83^{ab}±0.01
13^{NS}	0.86±0.15	0.98±0.07	0.90±0.08	0.83^{bc}±0.02	0.82^{ab}±0.04	0.80^{ab}±0.12	0.80^{ab}±0.04
15^{NS}	0.84±0.01	0.86±0.13	0.90±0.09	0.76^{c}±0.06	0.69^{b}±0.13	0.67^{b}±0.11	0.76^{b}±0.08

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า springiness ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่า hardness คือระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะมีผลทำให้ค่า springiness ลดลง แต่หอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติ สุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า springiness เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเปลี่ยนไป อีกทั้งอัตราส่วนก๊าซไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า springiness เช่นเดียวกันตรงตามวัตถุประสงค์ที่คาดไว้คือไม่ต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสเนื่องจากการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

4.10.3 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness

การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทุกภาวะจะมีค่า cohesiveness ลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของ

ระยะเวลาในการเก็บต่อค่า springiness ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศดังตารางที่ 4.17 แต่การลดลงของค่า cohesiveness ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นไม่ส่งต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซต่อค่า cohesiveness ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ยกเว้นวันที่ 13 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานจนเกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์แล้ว จึงสามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุไม่ทำให้ค่า cohesiveness ของเนื้อหอยเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ ระยะเวลาในการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า cohesiveness ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศ ในขณะที่การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทุกภาวะจะมีค่า cohesiveness ลดลง แต่การลดลงของค่า cohesiveness ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นไม่ส่งต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์

4.10.4 การเปลี่ยนแปลงค่า Chewiness

ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ค่า chewiness ลดลง โดยพบความแตกต่าง ($p \leq 0.05$) ของระยะเวลาในการเก็บต่อค่า chewiness ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในทุกภาวะการเก็บ แต่การลดลงของค่า chewiness ของหอยเป๋าฮื้อไม่มีความแตกต่างของอัตราส่วนก๊าซในแต่ละวันของการเก็บรักษา จึงสามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุไม่ทำให้ค่า chewiness ของเนื้อหอยเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นจะมีผลให้ค่า chewiness ลดลง

สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคเกิดความนิยมเช่นในประเทศญี่ปุ่นมักมีการบริโภคหอยในลักษณะดิบ ดังนั้นการที่ลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุไม่แตกต่างกับการเก็บในบรรยากาศปกติ เช่นเดียวกับการเก็บรักษาปลาแซลมอนรมควันโดยการบรรจุในสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ $CO_2$60:$N_2$40 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเมื่อเทียบกับการบรรจุในบรรยากาศปกติ (Bugueno *et al.*, 2003) จึงน่าจะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการแปรรูปหอยเป๋าฮื้อในอุตสาหกรรมต่อไปได้

ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า Cohesiveness ที่วัดได้						
	Air^{NS}	Vacuum^{NS}	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60:$O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	0.41±0	0.41±0	0.41^{a}±0	0.41^{a}±0.09	0.41^{a}±0.08	0.41^{a}±0.10	0.41^{a}±0
1^{NS}	0.38±0.06	0.36±0.03	0.37^{ab}±0.04	0.36^{ab}±0.03	0.35^{ab}±0.04	0.36^{ab}±0.04	0.42^{a}±0.05
3^{NS}	0.28±0.06	0.38±0.06	0.30^{bc}±0.06	0.39^{ab}±0.01	0.32^{bc}±0.04	0.37^{ab}±0.07	0.34^{b}±0.02
5^{NS}	0.35±0.05	0.32±0.07	0.33^{bc}±0.04	0.36^{ab}±0.01	0.33^{bc}±0	0.31^{b}±0.02	0.33^{bc}±0.01
7^{NS}	0.27±0.01	0.29±0.03	0.28^{c}±0.04	0.30^{bc}±0.10	0.32^{bc}±0.04	0.35^{ab}±0.03	0.33^{b}±0.03
9^{NS}	0.34±0.07	0.40±0.13	0.32^{bc}±0.07	0.33^{abc}±0.04	0.31^{bc}±0.05	0.29^{b}±0.01	0.32^{bc}±0.01
11^{NS}	0.34±0.12	0.37±0.02	0.31^{bc}±0.02	0.35^{abc}±0.07	0.30^{bc}±0.01	0.31^{b}±0.01	0.26^{c}±0.05
13	0.39^{A}±0.04	0.36^{AB}±0.02	0.29^{Bbc}±0.02	0.30^{Bbc}±0.03	0.31^{ABbc}±0.04	0.30^{Bb}±0.04	0.31^{ABbc}±0.01
15^{NS}	0.33±0.09	0.37±0.08	0.27^{c}±0.04	0.26^{c}±0.04	0.26^{c}±0.02	0.30^{b}±0.02	0.32^{bc}±0.04

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคอลาเจนที่มีอยู่ในเนื้อหอย แต่ก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของหอยด้วย โดย Olaechea และคณะ (1993) ได้ศึกษาปริมาณคอลาเจนและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อ 4 พันธุ์ พบว่าทั้ง 4 พันธุ์มีค่าแตกต่างกัน จากการวัดลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA–XT2i หัววัด TPA P100 วัดค่า hardness cohesiveness springiness และ chewiness ดังผลที่แสดงไปแล้วนั้น โดยรวมก็พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นมีค่า hardness cohesiveness springiness และ chewiness ไม่แตกต่างกับการเก็บในบรรยากาศปกติจึงน่าจะส่งผลดีต่อผลิตภัณฑ์โดยคาดว่าน่าจะยังคงเป็นที่ยอมรับอยู่

ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า Chewiness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป้าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ค่า Chewiness (kg) ที่วัดได้						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	$CO_2$60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$8.9^{a}\pm1.4$	$8.9^{a}\pm1.4$	$8.9^{a}\pm1.4$	$8.9^{a}\pm1.1$	$8.9^{a}\pm1.3$	$8.9^{a}\pm1.4$	$8.9^{a}\pm1.3$
1^{NS}	$6.9^{ab}\pm1.8$	$6.0^{ab}\pm2.1$	$5.5^{b}\pm0.7$	$6.1^{b}\pm1.4$	$6.1^{b}\pm1.2$	$4.4^{bc}\pm0.2$	$6.2^{b}\pm1.0$
3^{NS}	$5.6^{bc}\pm0.5$	$5.4^{b}\pm1.8$	$4.7^{bc}\pm1.5$	$6.1^{b}\pm1.2$	$5.5^{b}\pm1.2$	$4.3^{bcd}\pm0$	$3.8^{c}\pm0.1$
5^{NS}	$6.0^{abc}\pm1.9$	$5.0^{b}\pm1.7$	$4.5^{bc}\pm0.2$	$4.8^{bc}\pm1.3$	$4.7^{bc}\pm0.1$	$3.5^{bcd}\pm0.6$	$3.7^{c}\pm0.6$
7^{NS}	$4.2^{bcd}\pm1.1$	$3.2^{b}\pm1.0$	$3.5^{c}\pm0.6$	$3.9^{bc}\pm0.8$	$3.2^{cd}\pm0.5$	$4.9^{b}\pm1.5$	$3.8^{c}\pm0.6$
9^{NS}	$3.5^{cd}\pm0.7$	$4.3^{b}\pm2.2$	$3.4^{c}\pm0.1$	$3.8^{bc}\pm0.3$	$3.4^{cd}\pm0.1$	$3.2^{bcd}\pm0.2$	$3.4^{c}\pm0.2$
11^{NS}	$3.3^{cd}\pm1.5$	$3.6^{b}\pm0.6$	$3.9^{bc}\pm0.5$	$3.5^{c}\pm1.1$	$2.6^{d}\pm0.4$	$3.0^{bcd}\pm1.0$	$2.6^{c}\pm0.2$
13	$3.7^{ABcd}\pm0.5$	$4.1^{Ab}\pm0.1$	$3.1^{BCc}\pm0.1$	$3.1^{BCc}\pm0.3$	$2.8^{Cd}\pm0.3$	$2.4^{Ccd}\pm0.1$	$2.6^{Cc}\pm0.5$
15	$2.6^{Bd}\pm0.4$	$4.0^{Ab}\pm0.4$	$3.0^{ABc}\pm0.5$	$2.6^{Bc}\pm0.7$	$2.0^{Bd}\pm0.5$	$2.3^{Bd}\pm0.6$	$2.6^{Bc}\pm0.2$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป้าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

4.11.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Triphosphate (ATP)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Triphosphate (ATP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป้าฮื้อจากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (ภาคผนวก ข) แสดงดังตารางที่ 4.19 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณ ATP ในหอยเป้าฮื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยไม่มีความแตกต่างของปริมาณ ATP ในหอยเป้าฮื้อสด แต่พบว่าปริมาณ ATP ในหอยเป้าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาใน

ภาวะอื่น ตามด้วยหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในสุญญากาศ การลดลงของปริมาณ ATP ในหอย scallop ที่เก็บโดยการแช่เย็นจะเป็นไปอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา (Wongso and Yamanaka, 1998) เช่นเดียวกับปลาชาร์ดีนและปลาแมคเคอแรล (Watabe *et al.*, 1989) ส่วนการเก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช่วยชะลอการแตกตัวของ ATP ได้ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซต่อปริมาณ ATP โดยพบว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศมี ATP เหลืออยู่น้อยกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ และการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำขณะที่ก๊าซออกซิเจนสูงจะมีปริมาณ ATP เหลืออยู่มากที่สุด หลังจากนั้นจะไม่มีพบความแตกต่าง ของปริมาณ ATP ในแต่ละภาวะการเก็บรักษา เริ่มพบความแตกต่างอย่าง ($p \leq 0.05$) อีกครั้งในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาโดยไม่พบปริมาณ ATP ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและในสุญญากาศ ขณะที่หอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุยังคงมี ATP เหลืออยู่เล็กน้อย นั่นคือการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช่วยชะลอการสลายตัวของสาร ATP ซึ่งมักจะพบในหอยเป๋าฮื้อที่ยังคงสภาพสดอยู่ โดยหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซออกซิเจนปริมาณสูงคือ $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 และ CO_2 60:$O_2$40 จะมีปริมาณ ATP ต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะอื่น ไม่พบปริมาณ ATP ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเมื่อเก็บรักษานาน 13 วัน จึงสรุปว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถชะลอการสลายตัวของสาร ATP ได้เพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น

4.11.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Diphosphate (ADP)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Diphosphate (ADP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแสดงดังตารางที่ 4.20 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ปริมาณ ADP ในหอยเป๋าฮื้อลดลงในทุกภาวะการเก็บ โดย ADP มีความสำคัญในหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis diversicolor* รองจาก AMP (Chiou and Lai, 2002) ในหอย ascidian (*Halocynthia roretzi*) จะพบปริมาณ ADP ค่อนข้างสูงในขณะที่ปริมาณ ATP เริ่มลดลงเรื่อย ๆ (Nontratip, Wada, and Yamanaka, 1991) ไม่มีความแตกต่างของปริมาณ ADP ในหอยเป๋าฮื้อสด แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซในวันที่ 1 ถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา โดยพบว่าปริมาณ ADP ที่พบในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศ อัตราส่วนก๊าซที่เหมาะสมมีผลต่อการสลายตัว

ของสาร ADP ระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองส่วนใหญ่พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40% ทำให้เกิดการสลายตัวของสาร ADP ช้ากว่าการเก็บหอยเป๋าฮื้อไว้ในภาวะอื่น ปริมาณสาร ADP ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศจะสลายหมดไปภายใน 7 วัน การเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถรักษาปริมาณ ADP ให้คงอยู่ได้ระยะเวลาหนึ่ง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 11 วันจะไม่พบสาร ADP ในหอยเป๋าฮื้ออีก

ตารางที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Triphosphate (ATP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ปริมาณ ATP (mg/100g ตัวอย่าง)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	$CO_2$60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$2.9^{a}\pm0.1$	$2.7^{a}\pm0.3$	$2.9^{a}\pm0$	$2.6^{a}\pm0.2$	$2.7^{a}\pm0.1$	$2.7^{a}\pm0.1$	$2.7^{a}\pm0.2$
1	$1.1^{Cb}\pm0.1$	$1.87^{Bb}\pm0.1$	$2.3^{Ab}\pm0$	$2.2^{Ab}\pm0.1$	$2.2^{Ab}\pm0$	$2.3^{Ab}\pm 0.1$	$2.3^{Ab}\pm0$
3	$1.0^{Cbc}\pm0.1$	$1.0^{Cc}\pm0.3$	$2.1^{Ac}\pm0.1$	$2.1^{Ab}\pm0.1$	$1.5^{Bc}\pm0$	$1.5^{Bc}\pm0$	$1.5^{Bc}\pm0$
5^{NS}	$0.9^{bc}\pm0.2$	$1.2^{c}\pm0.1$	$1.2^{d}\pm0$	$1.2^{c}\pm0.3$	$1.2^{d}\pm0.2$	$1.1^{d}\pm0$	$1.2^{d}\pm0.1$
7^{NS}	$0.7^{c}\pm0.2$	$1.0^{c}\pm0.3$	$1.2^{d}\pm0$	$1.1^{c}\pm0$	$1.1^{d}\pm0.1$	$1.0^{d}\pm0$	$1.1^{d}\pm0.1$
9	0^{Cd}	0^{Cd}	$0.5^{Be}\pm0.1$	$0.6^{ABd}\pm0.2$	$0.6^{Be}\pm0.1$	$0.5^{Be}\pm0$	$0.8^{Ae}\pm0.1$
11	0^{Cd}	0^{Cd}	$0.3^{Bf}\pm0$	$0.4^{ABd}\pm0$	$0.4^{ABe}\pm0.1$	$0.3^{ABf}\pm0.1$	$0.5^{Af}\pm0.1$
13^{NS}	0^{d}	0^{d}	0^{g}	0^{e}	0^{f}	0^{g}	0^{g}
15^{NS}	0^{d}	0^{d}	0^{g}	0^{e}	0^{f}	0^{g}	0^{g}

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

4.11.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Monophosphate (AMP)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Monophosphate (AMP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณ AMP ในหอยเป๋าฮื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยพบ AMP ในหอยเป๋าฮื้อสดปริมาณสูงกว่าสารอนุพันธ์ของนิวคลีโอไทด์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจาก AMP เป็นสารประกอบนิวคลีโอ

ไทด์ที่มีการสะสมมากที่สุดในสัตว์จำพวกหอย (Yokoyama *et al.*, 1994) หรือสัตว์จำพวกมอลลัส ส่วน IMP จะเป็นสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่สะสมมากและให้กลิ่นรสในปลา (Kawashima and Yamanaka, 1992) AMP ในหอยเป๋าฮื้อขนาดเล็ก *Haliotis diversicolor* มีปริมาณสูงกว่าสารประกอบนิวคลีโอไทด์ชนิดอื่น ๆ เช่นเดียวกับในหอยเป๋าฮื้อชนิดอื่น ๆ โดย AMP และกรดกลูตามิกจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดกลิ่นรสในหอยเป๋าฮื้อ (Chiou and Lai, 2002) ไม่มีความแตกต่างของปริมาณ AMP ในหอยเป๋าฮื้อสด โดยพบสาร AMP ในหอยเป๋าฮื้อสดปริมาณสูงกว่าสารอนุพันธ์ของนิวคลีโอไทด์ชนิด อื่น ๆ แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าปริมาณ AMP ที่พบในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศ และปริมาณ AMP ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศก็มีค่าสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในสภาพบรรยากาศปกติ ยกเว้นวันที่ 3 ที่ไม่พบความแตกต่าง ($p > 0.05$) ระหว่างแต่ละอัตราส่วนก๊าซ

ตารางที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Diphosphate (ADP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

	ปริมาณ ADP (mg/100g ตัวอย่าง)						
วันที่	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$9.0^{a}\pm0.53$	$17.3^{a}\pm3.6$	$13.6^{a}\pm1.7$	$13.5^{a}\pm1.6$	$14.6^{a}\pm0.8$	$13.3^{a}\pm1.0$	$12.4^{a}\pm0.6$
1	$7.3^{Cb}\pm0.2$	$8.9^{BCb}\pm0.3$	$10.49^{ABb}\pm1.8$	$11.8^{Ab}\pm0.3$	$11.1^{ABb}\pm0.9$	$9.9^{ABb}\pm0.6$	$10.9^{ABa}\pm1.5$
3	$5.8^{Bbc}\pm2.0$	$6.5^{Bbc}\pm0.5$	$8.30^{ABbc}\pm1.4$	$7.2^{ABc}\pm0.16$	$10.4^{Ab}\pm1.6$	$7.7^{ABc}\pm0$	$7.1^{ABb}\pm1.9$
5	$4.3^{Dc}\pm0.2$	$4.8^{CDc}\pm0.2$	$5.98^{BCc}\pm1.2$	$6.6^{ABcd}\pm0.1$	$7.8^{Ac}\pm0.3$	$6.0^{BCd}\pm0.1$	$6.4^{Bb}\pm0.8$
7	0^{Ed}	0^{Ed}	$6.63^{Ac}\pm0.3$	$5.5^{Bd}\pm0.2$	$3.6^{Cd}\pm1.1$	$1.4^{De}\pm0$	$1.4^{Dc}\pm0$
9	0^{Bd}	0^{Bd}	$1.34^{Ad}\pm0.4$	$1.6^{Ae}\pm0.1$	$1.4^{Ae}\pm0$	0^{Bf}	0^{Bc}
11^{NS}	0^{d}	0^{d}	0^{d}	0^{f}	0^{e}	0^{f}	0^{c}
13^{NS}	0^{d}	0^{d}	0^{d}	0^{f}	0^{e}	0^{f}	0^{c}
15^{NS}	0^{d}	0^{d}	0^{d}	0^{f}	0^{e}	0^{f}	0^{c}

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Monophosphate (AMP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ปริมาณ AMP (mg/100g ตัวอย่าง)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$59.1^{a}\pm8.2$	$63.2^{a}\pm3.0$	$61.5^{a}\pm2.5$	$75.0^{a}\pm2.8$	$70.6^{a}\pm7.7$	$70.5^{a}\pm7.2$	$72.3^{a}\pm1.9$
1	$34.3^{Bb}\pm2.2$	$44.9^{ABb}\pm4.4$	$47.5^{ABb}\pm1.8$	$70.5^{Ab}\pm1.0$	$56.5^{ABa}\pm16.7$	$57.2^{ABa}\pm16.3$	$58.5^{ABb}\pm13.0$
3^{NS}	$28.4^{b}\pm3.9$	$28.4^{c}\pm2.5$	$33.5^{c}\pm3.9$	$34.6^{c}\pm1.0$	$34.2^{b}\pm2.4$	$33.7^{b}\pm7.0$	$35.6^{c}\pm0.3$
5	$13.3^{Cc}\pm1.6$	$17.5^{Bd}\pm0.6$	$24.2^{Ad}\pm1.7$	$25.7^{Ad}\pm0.7$	$24.0^{Abc}\pm1.2$	$26.6^{Abc}\pm1.6$	$24.6^{Ad}\pm1.2$
7	$13.2^{Dc}\pm0.8$	$15.8^{CDd}\pm0.1$	$15.6^{CDe}\pm0.1$	$17.3^{BCDe}\pm3.4$	$21.3^{ABbc}\pm3.7$	$19.9^{ABCbcd}\pm0.1$	$24.2^{Ad}\pm1.7$
9	$11.5^{Dcd}\pm1.2$	$13.1^{CDde}\pm1.5$	$15.1^{ABCe}\pm1.2$	$16.7^{ABe}\pm0.8$	$14.4^{BCc}\pm0.8$	$16.6^{ABcd}\pm0.3$	$17.4^{Ade}\pm0.3$
11	$9.2^{Bcd}\pm2.6$	$9.6^{Bef}\pm0$	$11.5^{ABef}\pm0.3$	$14.1^{Aef}\pm0.1$	$12.0^{ABc}\pm0.4$	$11.5^{ABcd}\pm1.9$	$14.0^{Ade}\pm0.5$
13	$7.5^{Ccd}\pm0.7$	$8.0^{Cf}\pm0.5$	$9.7^{Bf}\pm0.7$	$9.9^{Bfg}\pm0.2$	$11.2^{Ac}\pm0.5$	$9.4^{Bd}\pm0.1$	$9.9^{Be}\pm0$
15	$4.8^{Cd}\pm1.2$	$7.1^{Bf}\pm0.1$	$9.7^{Af}\pm0.3$	$10.5^{Ag}\pm0.1$	$9.2^{Ac}\pm0.4$	$9.4^{Ad}\pm0.5$	$9.2^{Ae}\pm0.5$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

AMP เป็นสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดีในหอยเป๋าฮื้อ เนื่องจากเป็นสารที่มีการสะสมอยู่ในเนื้อหอยมากที่สุด และจากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุน่าจะมีผลเล็กน้อยต่อการสะสมของสารประกอบ AMP โดยภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะมีการสะสมของสาร AMP สูงกว่าการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ เนื่องจากที่อัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ (40%) เกิดการสลายตัวของสาร ADP ช้ากว่าการเก็บหอยเป๋าฮื้อไว้ในภาวะอื่น จึงเกิด AMP ที่เป็นสารที่เกิดจากการสลายตัวของ ADP น้อย

4.11.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแสดงดังตารางที่ 4.22 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลต่อการสะสมของสาร Adenosine ในหอยเป๋าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยพบว่าจะมีการสะสมของสาร Adenosine เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น โดยปริมาณ Adenosine ที่พบในหอยเป๋าฮื้อมีปริมาณไม่สูงนักเช่นเดียวกับหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis discus* ที่พบปริมาณ IMP น้อยมากและพบ Adenosine ปริมาณเล็กน้อย (Yokoyama *et al.*, 1994) และไม่พบความแตกต่างของปริมาณ Adenosine ในหอยเป๋าฮื้อสด และภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณ Adenosine ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บไว้นาน 1 วัน แต่พบความแตกต่างของอัตราส่วนก๊าซระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 3 โดยพบว่าปริมาณ Adenosine ที่พบในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศและในสภาพบรรยากาศปกติ

4.11.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Hypoxanthine

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Hypoxanthine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแสดงดังตารางที่ 4.23 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลต่อการสะสมของสาร Hypoxanthine ในหอยเป๋าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยพบว่าจะมีการสะสมของสาร Hypoxanthine เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ไม่พบปริมาณ Hypoxanthine ในหอยเป๋าฮื้อสดและในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศและปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา เริ่มตรวจพบสาร Hypoxanthine ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน โดยพบว่าปริมาณ Hypoxanthine ที่พบในหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าสูงกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าปริมาณ Hypoxanthine ในหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis discus* ในบรรยากาศปกติจะไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะเก็บไว้นาน 7 วัน (Yokoyama *et al.*,1994) เริ่มมีการสะสมของสาร Hypoxanthine ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา โดยพบความแตกต่างของอัตราส่วนก๊าซระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าปริมาณ Hypoxanthine ที่พบในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศและในสภาพบรรยากาศปกติ นั่นคือการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบนิวคลีโอ

ไทด์ในเนื้อหอยเป๋าฮื้อช้าลง กลายเป็นสาร Hypoxanthine ได้ช้ากว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและการเก็บแบบสุญญากาศ

ตารางที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	ปริมาณ Adenosine (mg/100g ตัวอย่าง)						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	$0.8^{f}\pm0.3$	$1.2^{f}\pm0.4$	$0.9^{f}\pm0.1$	$0.8^{g}\pm0.2$	$0.9^{f}\pm0.3$	$0.9^{f}\pm0.3$	$0.9^{f}\pm0.1$
1^{NS}	$2.4^{e}\pm0.3$	$1.7^{ef}\pm0.4$	$1.6^{ef}\pm0.7$	$1.6^{f}\pm0.6$	$1.7^{ef}\pm0.2$	$2.0^{e}\pm0.1$	$2.3^{e}\pm0.4$
3	$3.7^{Ade}\pm0.3$	$2.2^{Be}\pm0.2$	$2.5^{Bde}\pm0.2$	$2.1^{Bef}\pm0.2$	$2.3^{Bde}\pm0$	$2.3^{Be}\pm0.2$	$2.5^{Be}\pm0.2$
5	$3.7^{Ade}\pm0.8$	$3.1^{ABd}\pm0.4$	$2.7^{Bcd}\pm0.1$	$2.9^{ABde}\pm0$	$3.0^{ABcd}\pm0.2$	$2.7^{Bde}\pm0.3$	$3.2^{ABd}\pm0.3$
7	$4.7^{Acd}\pm0.2$	$4.3^{Bc}\pm0.1$	$2.8^{Dcd}\pm0$	$2.8^{Dd}\pm0.2$	$3.5^{Cbc}\pm0.1$	$3.4^{Ccd}\pm0.1$	$3.6^{Ccd}\pm0.1$
9	$4.6^{Acd}\pm0.5$	$4.4^{ABc}\pm0$	$3.0^{Dcd}\pm0.1$	$4.3^{ABc}\pm0$	$3.7^{Cbc}\pm0$	$4.1^{ABCbc}\pm0.2$	$3.9^{BCc}\pm0$
11	$5.7^{Abc}\pm1.3$	$4.9^{ABc}\pm0.4$	$3.6^{Bbc}\pm0.3$	$4.4^{ABc}\pm0.1$	$4.1^{Bb}\pm0.7$	$4.6^{ABb}\pm0.1$	$4.0^{Bc}\pm0.4$
13	$6.9^{Ab}\pm1.0$	$6.2^{ABb}\pm0.1$	$4.2^{Db}\pm0.4$	$5.5^{BCb}\pm0.6$	$5.8^{ABCa}\pm0.3$	$4.9^{CDb}\pm0.2$	$5.1^{BCDb}\pm0.2$
15	$8.6^{Aa}\pm0.2$	$8.0^{ABa}\pm0.2$	$5.5^{Ca}\pm0.9$	$6.6^{BCa}\pm0.5$	$6.2^{BCa}\pm0.9$	$6.0^{Ca}\pm1.3$	$6.8^{BCa}\pm0$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์จะเริ่มจากสารตั้งต้นคือ ATP และจะเกิดระหว่างการเก็บรักษา เกิดการสะสมของสาร Hypoxanthine ขึ้น ซึ่งสาร Hypoxanthine นั้นจะทำให้เกิดรสขมและเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอาหารด้วย (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) ไม่พบ Hypoxanthine ในหอยเป๋าฮื้อสด เช่นเดียวกับหอย ascidian (*Halocynthia roretzi*) (Nontratip, Wada, and Yamanaka, 1991) และจะไม่พบ Hypoxanthine ในช่วงแรกของการเก็บรักษา โดย Hypoxanthine จะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังเมื่อเกิดการเน่าเสียแล้วเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ (Kawashima and Yamanaka, 1992) ปริมาณ Hypoxanthine จึงน่าจะเป็น

ดัชนีที่ดีในการบอกการเสื่อมเสียของอาหารทะเลพวก kuruma prawn *(Penaeus japonicus)* (Matsumoto and Yamanaka, 1990)

ตารางที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า Hypoxanthine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

	ปริมาณ Hypoxanthine (mg/100g ตัวอย่าง)						
วันที่	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	$CO_2$60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	0^{g}	0^{f}	0^{d}	0^{d}	0^{d}	0^{d}	0^{c}
1	$3.2^{Af}\pm0.9$	0^{Bf}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bc}
3	$4.6^{Aef}\pm0.3$	$1.6^{Bef}\pm0.2$	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cc}
5	$5.1^{Aef}\pm0.1$	$4.4^{Bde}\pm0.54$	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cc}
7	$5.9^{Ade}\pm0.4$	$5.4^{Ad}\pm0.5$	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bc}
9	$7.9^{Ad}\pm1.9$	$6.2^{Acd}\pm0.6$	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bc}
11	$11.7^{Ac}\pm2.5$	$8.7^{Bc}\pm0.8$	$3.8^{Cc}\pm0.5$	$2.8^{Cc}\pm0$	$2.1^{Cc}\pm0.3$	$2.6^{Cc}\pm0.6$	$4.4^{Cb}\pm0.2$
13	$14.6^{Bb}\pm0.3$	$18.8^{Ab}\pm3.5$	$9.0^{Cb}\pm1.2$	$5.9^{CDb}\pm2.4$	$4.3^{Db}\pm0.7$	$5.7^{CDb}\pm0.3$	$7.9^{CDa}\pm0.8$
15	$24.6^{Aa}\pm0.2$	$25.3^{Aa}\pm1.9$	$13.0^{Ba}\pm2.5$	$13.1^{Ba}\pm1.2$	$7.9^{Ca}\pm1.8$	$9.2^{Ca}\pm1.6$	$8.4^{Ca}\pm0.2$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะไม่มีผลยับยั้งการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในช่วงแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากการแตกตัวในช่วงแรกนั้นเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในเนื้อเยื่ออาหารเอง แต่หลังจากนั้นจะมีจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้เกิด hypoxanthine ช้ากว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ โดยพบการสะสมของ hypoxanthine หลังจากวันที่ 12 ของการเก็บรักษาปลา whitefish โดยการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในภาชนะบรรจุ (Boyle, Lindsay, and Stuiber, 1991)

4.11.6 การเปลี่ยนแปลงของค่า K

การเปลี่ยนแปลงค่า K ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแสดงดังตารางที่ 4.24 ซึ่งปริมาณของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่ส่งผลต่อค่า K ของหอยเป๋าฮื้อได้แก่ ปริมาณ ATP ADP AMP และ Hypoxanthine เนื่องจากไม่พบปริมาณ IMP และ Inosine ในหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis asinina* ในการทดลอง จึงทำให้ค่า K ที่คำนวณได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์เพียง 4 ชนิด คือปริมาณ ATP ADP AMP และ Hypoxanthine ระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า K ในหอยเป๋าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยพบว่าค่า K เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น โดยทิศทางการเพิ่มขึ้นของค่า K นั้นจะเป็นทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Hypoxanthine

หอยเป๋าฮื้อสดจะมีค่า K ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสดของอาหารทะเลเท่ากับ 0 หมายความว่าหอยเป๋าฮื้อยังคงมีสภาพที่สดมาก และยังไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่า K ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศและปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา ในขณะที่สามารถคำนวณค่าความสดของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บไว้ในบรรยากาศปกตินาน 1 วันได้ เริ่มมีการสะสมของสาร Hypoxanthine ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน และพบการสะสมของสาร Hypoxanthine ในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเมื่อเวลาผ่านไป 11 วันจึงสามารถคำนวณค่าความสดของหอยเป๋าฮื้อได้เมื่อมีการสะสมของปริมาณ Hypoxanthine สรุปได้ว่าการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถรักษาความสดของหอยเป๋าฮื้อเอาไว้ได้เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติหรือสภาพสุญญากาศ

ระยะเวลาในการเก็บรักษาทำให้ค่า K ในหอยเป๋าฮื้อเพิ่มขึ้นโดยทิศทางการเพิ่มขึ้นของค่า K เป็นทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Hypoxanthine การเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถรักษาความสดของหอยเป๋าฮื้อเอาไว้ได้เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติหรือสภาพสุญญากาศ เช่นเดียวกับปลา tilapia ที่พบว่าค่า K ของปลา tilapia สดมีค่า 13.0% และการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี $CO_2$75:$N_2$25 จะชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า K ได้เมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติ (Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) แต่อย่างไรก็ตามค่า K ก็ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกอายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis asinina* เ ช่นเดียวกับที่ค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis discus* เนื่องจากไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่า K ในช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังซึ่งหอยเป๋าฮื้อเกิดการเน่าเสียแล้วในขณะที่ค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป๋าฮื้อพันธุ์ *Haliotis discus* ที่เก็บโดยการแช่เย็นใน

บรรยากาศปกติ เนื่องจากค่า K จะเพิ่มขึ้นช้ามากระหว่างการเก็บรักษา (Yokoyama *et al.*,1994) และค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอย scallop เช่นกัน (Kawashima and Yamanaka, 1992)

ตารางที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลง K-value ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

วันที่	K-value (%) ที่วัดได้						
	Air	Vacuum	$CO_2$40: $O_2$40:$N_2$20	$CO_2$40: $O_2$30:$N_2$30	$CO_2$40: $O_2$20:$N_2$40	CO_2 60: $O_2$40	$CO_2$60: $O_2$20:$N_2$20
0^{NS}	0^{f}	0^{h}	0^{d}	0^{d}	0^{d}	0^{d}	0^{d}
1	$7.0^{Af}\pm2.1$	0^{Bh}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}	0^{Bd}
3	$11.6^{Aef}\pm0.1$	$4.3^{Bg}\pm0.8$	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}
5	$21.7^{Ade}\pm2.2$	$15.7^{Bf}\pm1.5$	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}
7	$29.8^{Acd}\pm2.8$	$24.2^{Be}\pm2.0$	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}
9	$40.5^{Ac}\pm8.1$	$32.2^{Bd}\pm0.3$	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}	0^{Cd}
11	$56.1^{Ab}\pm12.2$	$47.5^{Ac}\pm2.2$	$24.3^{Bc}\pm1.8$	$15.1^{Bc}\pm0.2$	$14.7^{Bc}\pm2.4$	$18.1^{Bc}\pm1.0$	$23.2^{Bc}\pm0.1$
13	$66.0^{Ab}\pm1.6$	$69.8^{Ab}\pm2.6$	$47.8^{Bb}\pm1.6$	$36.3^{CDb}\pm9.1$	$27.8^{Db}\pm2.3$	$37.8^{Cb}\pm1.0$	$44.4^{BCb}\pm2.6$
15	$83.7^{Aa}\pm3.4$	$78.1^{Aa}\pm1.6$	$57.0^{Ba}\pm5.6$	$55.4^{BCa}\pm2.4$	$45.8^{Ca}\pm4.7$	$49.3^{BCa}\pm5.6$	$47.7^{BCa}\pm2.0$

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในสัตว์น้ำนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของสัตว์ โดยสัตว์แต่ละชนิดจะมีชนิดและปริมาณของสารประกอบนิวคลีโอไทด์แตกต่างกัน โดยพบปริมาณ IMP ในปลาไหล *Anguilla anguilla* ปริมาณสูงเนื่องจากเป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในปลา แต่พบปริมาณ ATP ADP และ AMP ต่ำ (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) แตกต่างจากหอยเป๋าฮื้อซึ่งมีการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ได้ทั้งเปลี่ยนจาก ATP →ADP→AMP→IMP→Inosine→Hypoxanthine เหมือนในปลาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงเหมือนสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังก็ได้คือเปลี่ยนจาก

ATP→ADP→AMP→Adenosine→Inosine→Hypoxantine แต่ในหอยเป๋าฮื้อจะพบเอนไซม์ AMP-deaminase และ Adenosine-deaminase ต่ำจึงคาดว่าน่าจะมีการสะสมของปริมาณ AMP มากกว่า IMP ซึ่ง AMP จะไม่สามารถเกิดรสชาติได้เพียงลำพัง แต่จะแสดง umami taste โดยการเกิดปฏิกิริยาร่วมกับกรดกลูตามิก (Hatae *et al.*, 1995) การเปลี่ยนแปลงของสารนิวคลีโอไทด์ในหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis discus* สามารถเกิดได้ 2 แบบเช่นกันคือ เกิดการแตกตัวจาก AMP ไปเป็น IMP หรือ Adenosine โดย ATP และ ADP จะเป็นสารหลักที่มีอยู่ในขณะที่พบปริมาณ AMP สะสมอยู่จำนวนมากที่สุดในหอยเป๋าฮื้อ (Watanabe, Yamanaka, and Yamakawa, 1992) และการเก็บหอยเป๋าฮื้อ *Haliotis discus* ที่อุณหภูมิ 0°C พบว่า ATP ลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงเกือบหมดเมื่อผ่านไป 9 วัน ปริมาณ ADP จะเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 1 ของการเก็บรักษาแต่ก็ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ ส่วนปริมาณ AMP จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 11 จึงเริ่มลดลง สำหรับ Hypoxanthine นั้นก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และตรวจพบ IMP และ Adenosine เพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการสลายตัวของ ATP ใน *Haliotis discus* จะช้ากว่าสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่นและการสะสมของ AMP จะเกิดได้ดีเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยอัตราการสลายตัวของ AMP ในสัตว์พวก mollusks จะกลายเป็น IMP และ Adenosine ส่วนค่า K จะไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะผ่านไป 5 วัน และก็จะเพิ่มขึ้นช้า ๆ จึงสรุปว่าค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของ *Haliotis discus* (Watanabe, Yamanaka, and Yamakawa, 1992)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

หอยเป๋าฮื้อที่บรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิ 2±1ºC มีอายุการเก็บนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ หอยเป๋าฮื้อสดที่เก็บในภาวะสุญญากาศเมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติมีสมบัติด้านกายภาพและเคมีดีกว่าและมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เกณฑ์การยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าการเก็บหอยเป๋าฮื้อในภาวะสุญญากาศมีอายุการเก็บ 3 วันเช่นเดียวกัน การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วน $CO_2$40:$O_2$40:$N_2$20 มีอายุการเก็บ 9 วันโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านเคมีและกายภาพเร็วกว่าภาวะอื่น ๆ อัตราส่วน $CO_2$40:$O_2$20:$N_2$40, CO_2 60:$O_2$40 และ $CO_2$60:$O_2$20:$N_2$20 มีอายุการเก็บเท่ากับ 11 วัน ส่วนในภาวะ $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30 มีอายุการเก็บเท่ากับ 13 วัน

เมื่อพิจารณาดัชนีต่าง ๆ ที่มีผลต่ออายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อ โดยใช้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและการยอมรับทางประสาทสัมผัสเป็นเกณฑ์หลักในการประเมินอายุการเก็บ สรุปได้ว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถยืดอายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อได้โดยภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ $CO_2$40:$O_2$30:$N_2$30 ที่อุณหภูมิ 2±1ºC ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุลดลงเนื่องจากสามารถละลายเข้าไปในชิ้นอาหารจึงทำให้ค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อลดลงด้วย และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ยังมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์โดยตรง ทำให้แบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียทนความเย็นและแบคทีเรียกลุ่ม *Enterobacteriaceae* เพิ่มจำนวนช้ากว่าหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติ ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีอายุการเก็บนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติถึง 8 วัน โดยชะลอการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทั้งหมดได้ 2 log CFU/g ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่า TVB คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า TVB เพิ่มขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ที่สูงขึ้นยังส่งผลให้เกิดการไม่ยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วย นอกจากนี้ปริมาณจุลินทรีย์ยังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์อีกด้วย โดยสารประกอบนิวคลีโอไทด์จะแตกตัวเร็วขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บและจำนวนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณจุลินทรีย์จะไม่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของค่าความสด ในขณะที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีและเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และยังไม่พบปริมาณ TMA และแบคทีเรียที่ก่อโรคอีกด้วย

การบอกอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิ 2±1°C ไม่ควรใช้ดัชนีใดดัชนีหนึ่งในการบอกอายุการเก็บเพียงดัชนีเดียวเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสดควรจะมีหลาย ๆ ปัจจัยช่วยในการตัดสิน การเปลี่ยนแปลงค่า TVB และ K-value ไม่สามารถใช้บอกอายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อสดได้ เนื่องจากค่า TVB นั้นอยู่ในระดับต่ำและระยะเวลาในการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อเพียง 15 วันไม่สามารถใช้ค่า TVB แยกความแตกต่างในการเกิดการเน่าเสียได้ และค่าความสดหรือ K-value นั้นจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ Hypoxanthine เพียงค่าเดียว จึงไม่สามารถบอกค่าความสดที่แท้จริงของหอยเป๋าฮื้อได้ สำหรับงานวิจัยนี้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและการยอมรับทางประสาทสัมผัสเป็นดัชนีที่เหมาะสมที่สุดในการบอกอายุการเก็บหอยเป๋าฮื้อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คเชนทร เฉลิมวัฒน์. 2544. หอยโข่งทะเล. ใน การเพาะเลี้ยงหอย, หน้า 211 – 228. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์รั้วเขียว.

จักรพันธุ์ กังวาฬ. 2547. รู้จักหอยเป๋าฮื้อ. นิตยสารสารคดี 231 (พฤษภาคม): 74 – 76.

นงลักษณ์ สุทธิวนิช. 2531. คุณภาพสัตว์น้ำ : Fish Quality. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

ลิลา เรืองแป้น. 2543. การเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ. สัตว์น้ำฉบับพิเศษ 12 (มกราคม) :126 – 131.

ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์. 2541. การเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อเชิงพาณิชย์. วารสารการประมง 51(กันยายน – ตุลาคม): 395 – 405.

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

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

ภาษาอังกฤษ

AOAC.1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Vol.2. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.

Ashie, I. N. A., Smith, J. P., and Simpson, B. K. 1996. Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 36(1&2):87-121.

Baldwin, J., Wells, R. M. G., Low, M., and Ryder, J. M. 1992. Tauropine and D-lactate as metabolic stress indicators during transport and storage of live paua, (New Zealand abalone) (*Haliotis iris*). Journal of Food Science 57:280-282.

Barnett, H. J., Conrad, J. W., and Nelson, R. W. 1987. Use of laminated high and low density polyethylene flexible packaging to store trout (*Salmo Gairdneri*) in a modified atmosphere. Journal of Food Protection 50(8):645-651.

Botta, J. R. 1994. Freshness quality of seafoods: a review. In F. Shahidi, and J. R. Botta (eds.), Seafoods: chemistry, processing technology and quality, pp. 140-167. Glasgow: Blackie Academic and Professional.

Boyle, J. L., Lindsay, R. C., and Stuiber, D. A. 1991. Adenine nucleotide degradation in modified atmosphere chill-stored fresh fish. Journal of Food Science 56:1267-1270.

Brandsch, J. and Piringer, O. 2000. Characteristics of plastic materials. In Piringer, O.-G., and Baner, A. L. (eds.), Plastic packaging materials for food: barrier function, mass transport, quality assurance and legislation, pp. 9-45. Wiley-Vch Verlag Gmbh, Weinheim, Germany.

Brown, W. D., Albright, M. Watts, D. A., Heyer, B., Spruce, B., and Price, R. J. 1980. Modified atmosphere storage of rockfish (*Sebastes miniatus*) and silver salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Journal of Food Science 45:93-96.

Bugueno, G., Escriche, I., Martinez-Navarrete, N., Camacho, M. M., and Chiralt, A. 2003. Influence of storage conditions on some physical and chemical properties of smoked salmon (*Salmo salar*) processed by vacuum impregnation techniques. Food Chemistry 81:85-90.

Chiou, T., and Lai, M. 2002. Comparison of test components in cooked meats of small abalone fed different diets. Fisheries Science 68:388-394.

Chiou, T., Lai, M., Lan, H., and Shiau, C. 2002. Extractive component changes in the foot muscle of live small abalone during storage. Fisheries Science 68:380-387.

Church, N. 1994. Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. Trends in Food Science & Technology 5:345–352.

Church, N., and Parsons, A. L. 1995. Modified atmosphere packaging technology: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture 67:143-152.

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

Dalgaard, P. 1995. Qualitative and quantitative characterization of spoilage bacteria from packed fish. International Journal of Food Microbiology 26:319–333.

Daniels, J. A., Krishnamurthi, R., and Rizvi, S. S. H. 1985. A review of effects of carbon dioxide on microbial growth and food quality. Journal of Food Protection 48(6):532–537.

Day, B. P. F. 1997. Modified-atmosphere packaging markets, Europe. In Brody, A. L., and Marsh, K. S. (eds.), The Wiley encyclopedia of packaging technology, pp. 656-659. John Wiley&sons, Inc. New York.

Ehira, S., and Uchiyama, H. 1974. Freshness-lowering rates of cod and sea bream viewed from changes in bacterial count, total volatile base- and trimethylamine-nitrogen, and ATP related compounds. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 40(5):479-487.

Farber, J. M.1991. Microbiological aspects of modified–atmosphere packaging technology. Journal of Food Protection 54(1):58–70.

Farber, J. M., Warburton, D. W., Gour, L., and Milling, M. 1990. Microbiological quality of foods packaged under modified atmospheres. Food Microbiology 7:327-334.

Gimenez, B., Roncales, P., and Beltran, J. A. 2002. Modified atmosphere packaging of filleted rainbow trout. Journal of the Science of Food and Agriculture 82:1154-1159

Goddard, R. 1990. Packaging materials. 1st ed. England: Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire.

Goncalves, A. C., Lopez-Caballero, M. E., and Nunes, M. L. 2003. Quality changes of deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) packed in modified atmosphere. Journal of Food Science 68:2586-2590.

Gram, L. and Dalgaard, P. 2002. Fish spoilage bacteria–problems and solutions. Biotechnology 13:262–266.

Gram, L., and Huss, H. H. 1996. Microbiological spoilage of fish and fish products. International Journal of Food Microbiology 33:121-137.

Hall, G. M. 1997. Fish processing technology. 2nd ed. London: Blackie Academic & Professional.

Handumrongkul, C., and Silva, J. L. 1994. Aerobic counts, color and adenine nucleotide changes in CO_2 packed refrigerated striped bass strips. Journal of Food Science. 59:67-69.

Hasegawa H. 1987. Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products. Marine Fisheries Research Department Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore.

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

Hatae, K., Nakai, H., Takada, C., Shimada, A., and Watabe, S.1996. Taste and texture of abalone meat after extended cooking. Fisheries Science 62(4):643-647.

Hatae, K., Yoshimatsu, F., and Matsumoto, J. J. 1984. Discriminative characterization of different texture profiles of various cooked fish muscles. Journal of Food Science 49(3): 721–726.

Hintlian, C. B., and Hotchkiss, J. H. 1986. The safety of modified atmosphere packaging: a review. Food Technology 34(12):55-63.

Hirsch, A. 1991. Flexible food packaging questions and answers. New York: Van Nostrand Reinhold.

James, D. G., and Olley, J. 1970. Moisture and pH changes as criteria of freshness in abalone and their relationship to texture of the canned product. Food Technology in Australia 22:350-357.

James, D. G., and Olley, J. 1974. The abalone industry in Australia. In K. Rudolf (ed.), Fishery products, pp.238-242. England: The Whitefriaris Press Ltd.

Jayasingh, P., Cornforth, D. P., Brennand, C. P., Carpenter, C. E., and Whittier, D. R. 2002. Sensory evaluation of ground beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging. Journal of Food Science 67:3493-3496.

Kawashima, K., and Yamanaka, H. 1992. Effects of storage temperatures on the post-mortem biochemical changes in scallop adductor muscle. Nippon Suisan Gakkaishi 58:2175-2180.

Kusmider, E. A., Sebranek, J. G., Lonergan, S. M., and Honeyman, M. S. 2002. Effects of carbon monoxide packaging on color and lipid stability of irradiated ground beef. Journal of Food Science 67:3463–3468.

Labuza, T. P., Fu, B., and Taoukis, P. S. 1992. Prediction for shelf life and safety of minimally processesed CAP / MAP chilled foods : A Review. Journal of Food Protection 55:741–750.

Lannelongue, M., Finne, G., Hanna, M. O., Nickelson, R., and Vanderzant, G. 1982(a). Microbiological and chemical changes during storage of swordfish (*Xiphias gladius*) steaks in retail packages containing CO_2-enriched atmospheres. Journal of Food Protection 45(13):1197-1203.

Lannelongue, M., Finne, G., Hanna, M. O., Nickelson, R., and Vanderzant, G. 1982(b). Storage characteristics of brown shrimp (*Penaeus aztecus*) stored in retail packages containing CO_2-enriched atmospheres. Journal of Food Science 47:911-913.

Lannelongue, M., Hanna, M. O., Finne, G., Nickelson, R., and Vanderzant, G. 1982(c). Storage characteristics of finfish fillets (*Archosargus probatocephalus*) packed in modified gas atmospheres containing carbon dioxide. Journal of Food Protection 45(5):440-444.

Layrisse, M. E., and Matches, J. R. 1984. Microbiological and chemical changes of spotted shrimp (*Pandalus platyceros*) stored under modified atmosphere. Journal of Food Protection 47(6):453-457.

Murata, M., and Sakaguchi., M. 1986. Changes in contents of free amino acids, trimethylamine, and nonprotein nitrogen of oyster during ice storage. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 52(11):1975-1980.

Matsumoto, M., and Yamanaka, H. 1990. Post-mortem biochemical changes in the muscle of Kuruma prawn during storage and evaluation of the freshness. Nippon Suisan Gakkaishi 56:1145-1149.

Nontratip, A., Wada, S., and Yamanaka H. 1991. Post-mortem glycolysis and degradation in the muscle of ascidian *Halocynthai roretzi*. Nippon Suisan Gakkaishi 57:761-766.

Oakes, F. R., and Ponte, R. D. 1996. The abalone market: Opportunities for cultured abalone. Aquaculture 140:187–195.

Oberlender, V., Hanna, M. O., Miget, R., Vanderzant, C., and Finne, G. 1983. Storage characteristics of fresh swordfish steaks stored in carbon dioxide-enriched controlled (flow-through) atmospheres. Journal of Food Science 46:434-440.

Olaechea, R. P., Ushio, H., Watabe, S., Takada, K., and Hatae, K. 1993. Toughness and collagen content of abalone muscles. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 57(1):6-11.

Olafsdottir, G., Martinsdottir, E., Oehlenschlager, J., Dalgaard, P., Jensen, B., Undeland, I., Mackie, I. M., Henehan, G., Nielsen, J., and Nilsen, H. 1997. Method to evaluate fish freshness in research and industry. Trends in Food Science & Technology 8:258–265.

Olley, J., and Thrower, S. J. 1977. Abalone-an esoteric food. Advances Food Research 23:143-186.

Ozogul, F., Taylor, K. D. A., Quantick, P., and Ozogul, Y. 2000. Chemical, microbiological and sensory evaluation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored in ice, modified atmosphere and vacuum pack. Food Chemistry 71:267-273.

Ozogul, Y., Ozogul, F., and Gokbulut, C. 2006. Quality assessment of wild European eel (*Anguilla anguilla*) stored in ice. Food Chemistry 95:458-465.

Palumbo, S. A. 1986. Is refrigeration enough to restrain foodborne pathogens?. Journal of Food Protection 49(12):1003–1009.

Parkin, K. L., and Brown, W. D. 1983. Modified atmosphere storage of Dungeness crab (*Cancer magister*). Journal of Food Science 48:370-374.

Pastoriza, L., Sampedro, G., Herrera, J. J., and Cabo, M. L. 1996. Effect of carbon dioxide atmosphere on microbial growth and quality of salmon slices. Journal of the Science of Food and Agriculture 72:348-352.

Peck, M. W. 1997. *Clostridium botulinum* and the safety of refrigerated processed foods of extended durability. Trends in Food Science & Technology 8:186–192.

Phillips, C. A. 1996. Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce. International Journal of Food Science and Technology 31:463-479.

Poole, S. E., Wilson, P., Mitchell, G.E., and Wills, P. A. 1990. Storage life of chilled scallops treated with low dose irradiation. Journal of Food Protection 53(9): 763–766.

Price, R. J., Melvin, E. F., and Bell, J. W. 1991. Postmortem changes in chilled round, bled and dressed albacore. Journal of Food Science 56:318-321.

Reddy, N. R., Roman, M. G., Villanueva, M., Solomon, H. M., Kautter, D. A., and Rhodehamel, E. J. 1997. Shelf life and *Clostridium botulinum* toxin development during storage of modified atmosphere-packaged fresh catfish fillets. Journal of Food Science 62:878-884.

Reddy, N. R., Schreiber, C. L., Buzard, K. S., Skinner, G. E., and Armstrong, D. J. 1994. Shelf life of fresh tilapia fillets packaged in high barrier film with modified atmospheres. Journal of Food Science 59:260-264.

Reddy, N. R., Villanueva, M., and Kautter, D. A. 1995. Shelf life of modified-atmosphere-packaged fresh tilapia fillets stored under refrigeration and temperature-abuse conditions. Journal of Food Protection 58(8): 908-914.

Ruiz–Capillas, C., and Moral, A. 2001. Chilled bulk storage of gutted hake (*Merluccius merluccius* L.) in CO_2 and O_2 enriched controlled atmospheres. Food Chemistry 74:317–325.

Ruiz–Capillas, C., and Moral, A. 2004. Free amino acids in muscle of Norway lobster (*Nephrops novergicus* (*L.*)) in controlled and modified atmospheres during chilled storage. Food Chemistry 86:85-91.

Ruiz–Capillas, C., Moral, A., Morales, J., and Montero, P. 2002. Preservation of shelf life of pota and octopus in chilled storage under controlled atmospheres. Journal of Food Protection 65(1):140–145.

Ryder, J. M. 1985. Determination of adenosine triphosphate and its breakdown products in fish muscle by high-performance liquid chromatography. Journal of Agricultural and Food Chemistry 33:678-680.

Sanchez-Brambila, G. Y., Lyon, B. G., Huang, Y. W., Lyon, C. E., and Gates, K. W. 2002. Sensory characteristics and instrumental texture attributes of abalones, *Haliotis fulgens* and *cracherodii*. Journal of Food Science 67:1233-1239.

Sanchez-Brambila, G. Y., Lyon, B. G., Huang, Y. W., Santiago, J. R. F., Lyon, C. E., and Gates, K. W. 2002. Sensory and texture quality of canned whelk (*Astraea undosa*) subjected to tenderizing treatments. Journal of Food Science 67:1559-1563.

Silva, J. L., Harkness, E., and White, T. D. 1993. Residual effect of CO_2 on bacterial counts and surface pH of channel catfish. Journal of Food Protection 56(12):1051-1053.

Silva, J. L., and White, T. D. 1994. Bacteriological and color changes in modified atmosphere-packaged refrigerated channel catfish. Journal of Food Protection 57(8):715-719.

Smiddy, M., Papkovsky, D., Kerry, J. 2002. Evaluation of oxygen content in commercial modified atmosphere packs (MAP) of processed cooked meats. Food Research International 35: 571–575.

Stammen, K., Gerdes, D., and Caporaso, F. 1990. Modified atmosphere packaging of seafood. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 29(5):301-331.

Suwetja, K., Hori, K., Miyazawa, K., and Ito, K. 1989. Changes in content of ATP-related compounds, Homarine, and Trigonelline in marine invertebrates during ice storage. Nippon Suisan Gakkaishi 55:559-566.

Villemure, G., Simard, R. E., and Picard, G. 1986. Bulk storage of cod fillets and gutted cod (*Gadus morhua*) under carbon dioxide atmosphere. Journal of Food Science 51:317-320.

Wang, M. Y., and Brown, W. D. 1983. Effects of elevated CO_2 atmosphere on storage of freshwater crayfish (*Pacifastacus leniusculus*). Journal of Food Science 48:158-162.

Watabe, S., Ushio, H., Iwamoto, M., Kamal, M., Ioka, H., and Hashimoto, K. 1989. Rigor-mortis progress of sardine and mackerel in association with ATP degradation and lactate accumulation. Nippon Suisan Gakkaishi 55:1833-1839.

Watanabe, H., Yamanaka, H., and Yamakawa, H. 1992. Post-mortem biochemical changes in the muscle of disk abalone during storage. Nippon Suisan Gakkaishi 58:2081-2088.

Watanabe, H., Yamanaka, H., and Yamakawa, H. 1992. Seasonal variation of extractive components in the muscle of disk abalone. Nippon Suisan Gakkaishi 58:921-925.

Wolfe, S. K. 1980. Use of CO- and CO_2-enriched atmospheres for meats, fish, and produce. Food Technology 34(3):55-63.

Wongso, S., Yamanaka, H. 1998. Extractive components of the adductor muscle of Japanese baking scallop and changes during refrigerated storage. Journal of Food Science 63:772-776.

Yokoyama, Y., Sakaguchi, M., Kawai, F., and Kanamori, M. 1992. Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage. Nippon Suisan Gakkaishi 58:2125-2136.

Yokoyama, Y., Sakaguchi, M., Kawai, F., and Kanamori, M. 1994. Chemical indices for assessing freshness of shellfish during storage. Fisheries Science 60:329-333.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

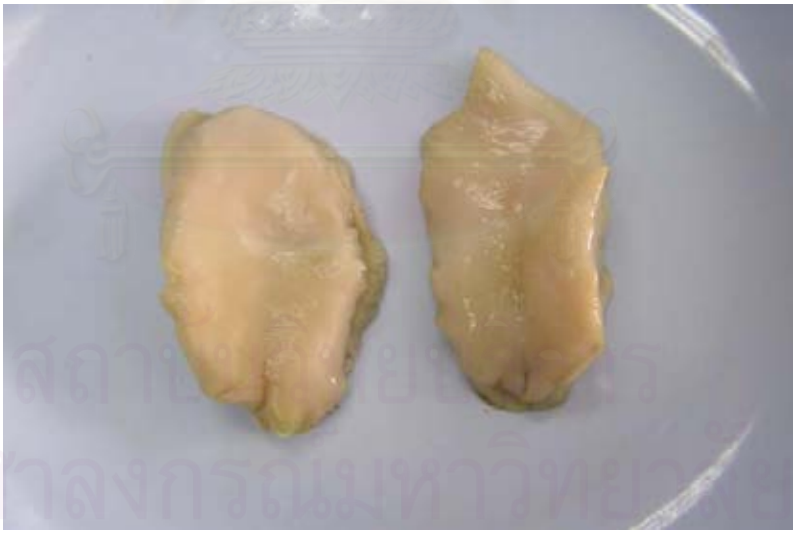
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง

รูปที่ ก.1 หอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ยังมีชีวิตหนักตัวละ 20 กรัม



รูปที่ ก.2 เนื้อหอยเป๋าฮื้อสดชนิด *H. asinina* หนักประมาณ 10 กรัม

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ ข.1 เครื่อง Multivac (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd.)

รูปที่ ข.2 เครื่อง headspace gas analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd.)

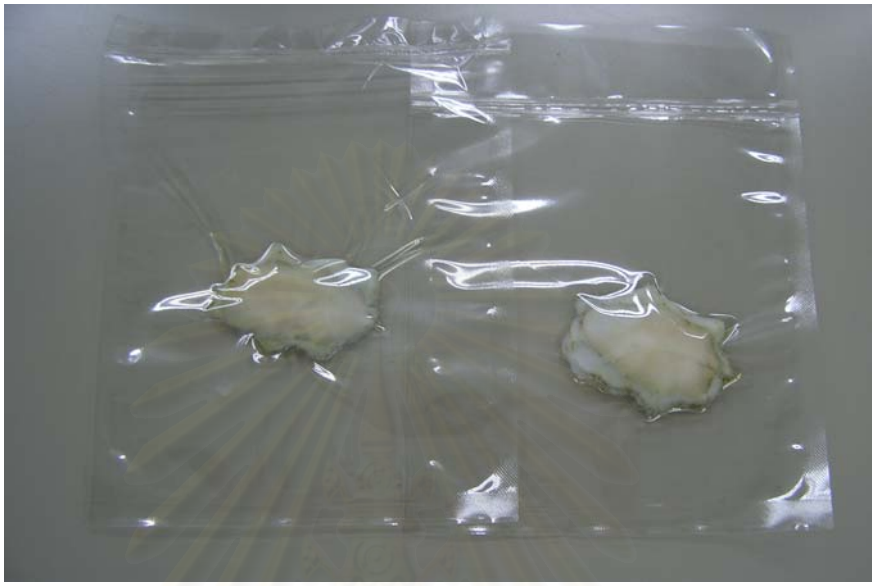
รูปที่ ข.3 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ประกอบด้วย

- ระบบฉีดตัวอย่าง (Waters 717plus Autosampler)
- เครื่องตรวจวัด (Waters, 2487 Dual λ Absorbance Detector)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลิตภัณฑ์จากการทดลอง



รูปที่ ค.1 หอยเป๋าฮื้อที่บรรจุแบบสุญญากาศ

รูปที่ ค.2 หอยเป๋าฮื้อที่บรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

อุปกรณ์

ตู้อบ

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (ที่รู้น้ำหนักแน่นอน) ใส่ภาชนะอะลูมิเนียมซึ่งอบแห้ง และชั่งน้ำหนักไว้แล้ว

2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

3. นำตัวอย่างในภาชนะอะลูมิเนียมมาทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\left[\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง (กรัม)}\right]}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1995)

อุปกรณ์

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น
2. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.1N
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 35 โดยปริมาตร
4. สารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร
5. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst-selenium mixture)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวดย่อย

2. เติมตัวเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม

3. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 20 มิลลิลิตร

4. ย่อยตัวอย่างด้วยเครื่อง Buchi Digestion จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน

5. กลั่นตัวอย่างที่ย่อยได้ด้วยเครื่อง Buchi Distillation โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอก-ไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยา และเก็บสารละลายที่กลั่นได้ในสารละลายบอริก ซึ่งเติม methyl red-methylene blue เป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

6. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 N คำนวณปริมาณโปรตีนโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{A \times B \times 6.25 \times 1.4}{C}$$

A = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก ที่ใช้ไตเตรท

B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรท (มิลลิลิตร)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

ก.3 การวิเคราะห์ไขมัน (AOAC, 1995)

อุปกรณ์

1. ชุดสกัดไขมัน (Gerhardt Soxtherm Automatic, S166)

2. ทิมเบิล

3. ตู้อบลมร้อน

4. กระดาษกรอง Whatman No.1

5. เดซิกเคเตอร์

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)

วิธีทดลอง

1.ชั่งตัวอย่างแล้วนำไปอบแห้งให้ได้น้ำหนักประมาณ 5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.ใส่ตัวอย่างในทิมเบิลซึ่งบรรจุในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

3. เติม petroleum ether ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด แล้วต่อเข้ากับชุดสกัดใช้เวลาในการสกัดไขมันนาน 3-4 ชั่วโมง

4. ระเหยเอา petroleum ether ออกจากไขมันที่สกัดได้

5. นำไขมันที่ได้หรือน้ำมันที่ได้ในขวดสกัดไปอบที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C ประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

6. ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่ได้จากการสกัด คำนวณปริมาณไขมันโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times 100}{C}$$

A = น้ำหนักที่แน่นอนของขวดก้นกลมและไขมันที่สกัดได้ (กรัม)

B = น้ำหนักที่แน่นอนของขวดก้นกลม (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 1995)

อุปกรณ์

เตาเผา

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในครูซิเบิล ที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำตัวอย่างไปให้ความร้อนเพื่อไล่ควัน จนกระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน

2. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่ 500-550 $^{\circ}$C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

3. ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณเถ้าโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณเถ้า (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำทะเลเทียม

1. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	17.05 กรัม
2. โปแตสซียมคลอไรด์ (KCl)	0.75 กรัม
3. $MgSo_4.7H_2O$	12.35 กรัม
4. $CaCl_2.2H_2O$	1.45 กรัม
5. น้ำกลั่น	1 ลิตร

เตรียมโดยชั่งส่วนผสมของสารเคมีตามด้านบนและผสมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร และนำมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

การเตรียมสารละลายเจือจางของหอยเป๋าฮื้อ

นำหอยเป๋าฮื้อหนักประมาณ 10 กรัมมาผสมกับน้ำทะเลเทียมปริมาตร 90 มิลลิลิตรในถุง Stomacher จากนั้นนำไปตีป่นด้วยเครื่อง stomacher (AES Laboratorire, France) นาน 1 นาที และนำไปเจือจางด้วยน้ำทะเลเทียมจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิด

การวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total plate counts)

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อนิวเตรียน เอการ์ในรูปอาหารแข็ง โดยใช้น้ำทะเลเทียมเป็นตัวทำละลายและนำไปผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน จากนั้นนำมาเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้จนแข็ง นำสารละลายเจือจางของหอยเป๋าฮื้อที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ความเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรมา spread ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในจานที่เตรียมไว้ความเข้มข้นละ 2 จาน นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง และนับจำนวนจุลินทรีย์เป็นหน่วยโคโลนี

การวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น (Psychrotrophic bacteria)

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อนิวเตรียน เอการ์ในรูปอาหารแข็ง โดยใช้น้ำทะเลเทียมเป็นตัวทำละลายและนำไปผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน จากนั้นนำมาเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้จนแข็ง นำสารละลายเจือจางของหอยเป๋าฮื้อที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ความเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรมา spread ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในจานที่เตรียมไว้ความเข้มข้นละ 2 จาน นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 10 วัน และนับจำนวนจุลินทรีย์เป็นหน่วยโคโลนี

การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Enterobacteriaceae*

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อไวโอเลต เรด ไบล์ เอร์การ์ ในรูปอาหารแข็ง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายและนำไปผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน จากนั้นนำมาเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้จนแข็ง นำสารละลายเจือจางของหอยเป๋าฮื้อที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ความเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรมา spread ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในจานที่เตรียมไว้ความเข้มข้นละ 2 จาน นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง และนับจำนวนจุลินทรีย์เป็นหน่วยโคโลนี

การวิเคราะห์หาปริมาณ *Staphylococcus aureus*

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแมนนิทอล ซอล เอร์การ์ในรูปอาหารแข็ง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายและนำไปผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน จากนั้นนำมาเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้จนแข็ง นำสารละลายเจือจางของหอยเป๋าฮื้อที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ความเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรมา spread ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในจานที่เตรียมไว้ความเข้มข้นละ 2 จาน นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมงและนับจำนวนจุลินทรีย์เป็นหน่วยโคโลนี

การวิเคราะห์หาปริมาณ *Clostridium botulinum*

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเอส พี เอส เอร์การ์ในรูปอาหารแข็ง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายและนำไปผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน จากนั้นนำมาเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้จนแข็ง นำสารละลายเจือจางของหอยเป๋าฮื้อที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ความเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรมา spread ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในจานที่เตรียมไว้ความเข้มข้นละ 2 จาน นำจาน

อาหารทั้งหมดใส่ลงใน anaerobic jar ที่บรรจุซองดูดอากาศจำนวน 2 ซอง นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง และนับจำนวนจุลินทรีย์เป็นหน่วยโคโลนี

การวิเคราะห์หาปริมาณ *Vibrio sp.*

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อที ซี บี เอส เอร์การ์ ในรูปอาหารแข็ง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายและนำไปผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน จากนั้นนำมาเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้จนแข็ง นำสารละลายเจือจางของหอยเป๋าฮื้อที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ความเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรมา spread ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในจานที่เตรียมไว้ความเข้มข้นละ 2 จาน นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมงและนับจำนวนจุลินทรีย์เป็นหน่วยโคโลนี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์หาปริมาณ Trimethylamine และ Total Volatile Base

การเตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์

ชั่งโบรโมครีซอลกรีน 0.01 กรัมและเมทิลเรด 0.02 กรัม ละลายในเอทานอล 10 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลาย Inner ring

ชั่งกรดบอริก 10 กรัมละลายในเอทานอล 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1 ลิตร

การเตรียมสารละลายอิ่มตัวของโปแตสเซียมคาร์บอเนต

ชั่งโปแตสเซียมคาร์บอเนต 60 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นำไปต้มประมาณ 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

การเตรียมสารละลาย Neutralized 10% Formaldehyde

ชั่งแมกนีเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม ละลายในฟอร์มาลิน 100 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อให้เกิด neutralize กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เจือจางด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง

การเตรียมตัวอย่าง

สับตัวอย่างให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างมา 2 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลาย 4% ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด 8 มิลลิลิตร บดให้ทั่วด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 ปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตรด้วย 4% ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด เก็บในตู้เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาปริมาณ Trimethylamine

เติมสารละลาย Inner ring 1 มิลลิลิตรลงด้านในของจาน Conway เติมสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงด้านนอกของจาน Conway เติมสารละลาย Neutralized 10% Formaldehyde 1 มิลลิลิตรลงไปผสมกับตัวอย่างที่ด้านนอกของจาน Conway ปิดฝาจาน Conway ทันที แล้วค่อย ๆ เอียงจานหรือหมุนเบา ๆ ให้สารละลายด้านนอกของจานผสมกัน จากนั้นเติมสารละลายอิ่มตัวของโปแตสเซียมคาร์บอเนต 1 มิลลิลิตรลงที่ด้านนอกของจาน ปิดฝา

และหมุนจานเบาๆ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง ไตเตรตส่วนที่อยู่ด้านในของจานด้วย 0.02 N ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยใช้ไมโครบิวเรต จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู และนำปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณ Trimethylamine ดังสูตร

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

โดย N = Normality ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

C = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตสารละลายตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต Blank

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่างและสารละลาย4%กรดไตรคลอโรอะซิติกที่ใช้ในการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณ Total Volatile Base

เติมสารละลาย inner ring 1 มิลลิลิตรลงด้านในของจาน Conway เติมสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงด้านนอกของจาน Conway ปิดฝาจาน Conway แล้วค่อย ๆ เอียงจาน จากนั้นเติมสารละลายอิ่มตัวของโปแตสเซียมคาร์บอเนต 1 มิลลิลิตรลงที่ด้านนอกของจาน โดยให้อยู่คนละด้านกับสารละลายตัวอย่างอย่าให้ผสมกัน ปิดฝาและหมุนจานเบา ๆ ให้สารละลายอิ่มตัวของโปแตสเซียมคาร์บอเนตผสมกับสารละลายตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง ไตเตรตส่วนที่อยู่ด้านในของจานด้วย 0.02 N ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยใช้ไมโครบิวเรต จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู และนำปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณ TVB ดังสูตร

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

โดย N = Normality ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

A = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตสารละลายตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต Blank

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่างและสารละลาย4%กรดไตรคลอโรอะซิติกที่ใช้ในการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ภาคผนวก ซ

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

คำชี้แจง กรุณาประเมินคุณภาพตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และสี โดยให้คะแนนตามลักษณะที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง

ลักษณะปรากฏ	คะแนน	**กลิ่น**	คะแนน
ตัวอย่างที่____	____	ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____	ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____	ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____	ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____	ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____	ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____	ตัวอย่างที่____	____

สี	คะแนน
ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____
ตัวอย่างที่____	____

ระดับคะแนน

1 = ไม่ดี กลิ่นเหม็นมาก สีเปลี่ยนแปลงมาก

2 = ไม่ค่อยดี เริ่มมีกลิ่นเหม็น

3 = ปานกลาง เริ่มมีกลิ่นเล็กน้อย

4 = ดี ลักษณะดี สีไม่เปลี่ยนแปลง

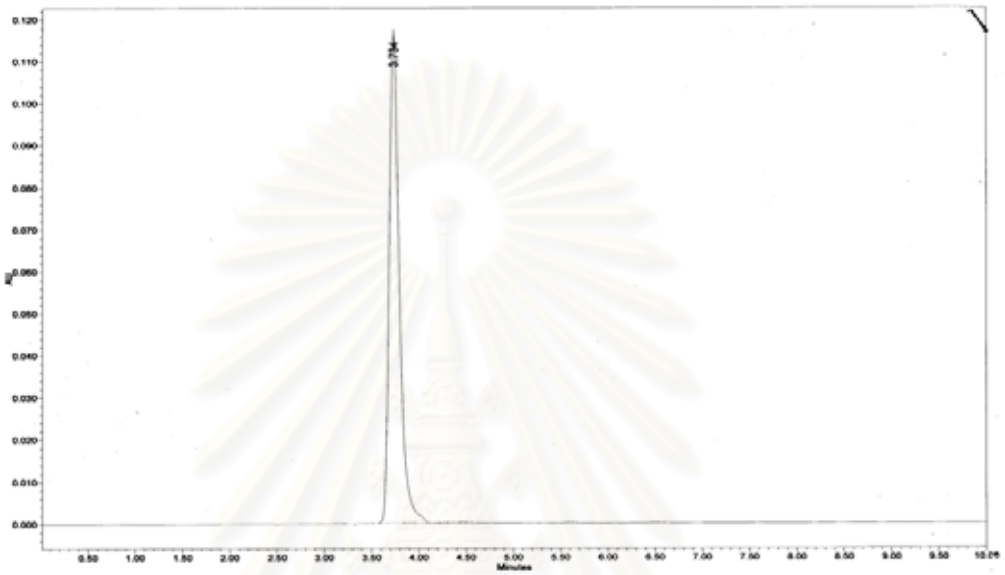
5 = ดีมาก ลักษณะดีมาก ไม่มีกลิ่น

ข้อเสนอแนะ _____

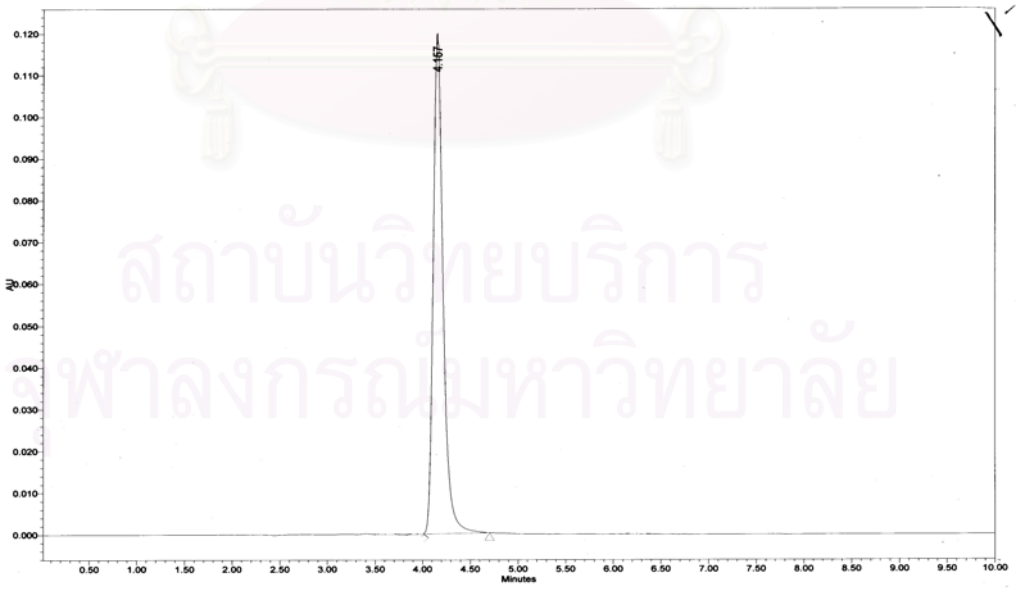
_____

ภาคผนวก ซ

โครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

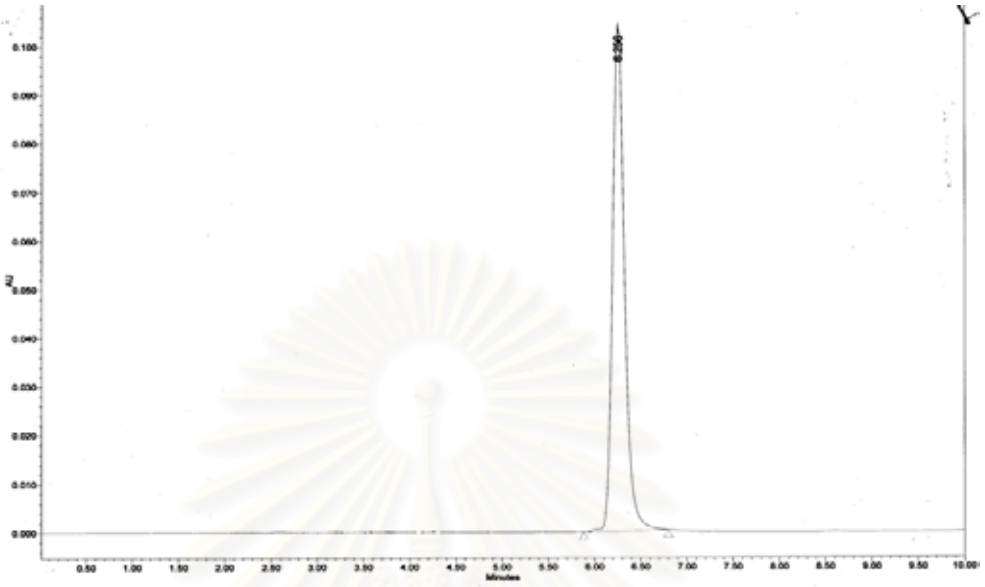


รูปที่ ซ1. โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Adenosine triphosphate

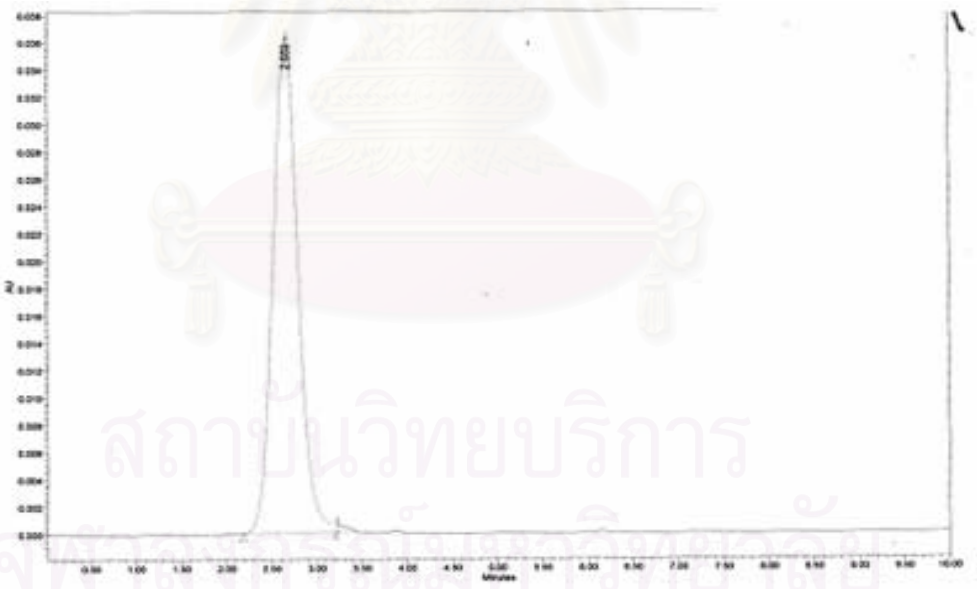


รูปที่ ซ2. โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Adenosine diphosphate

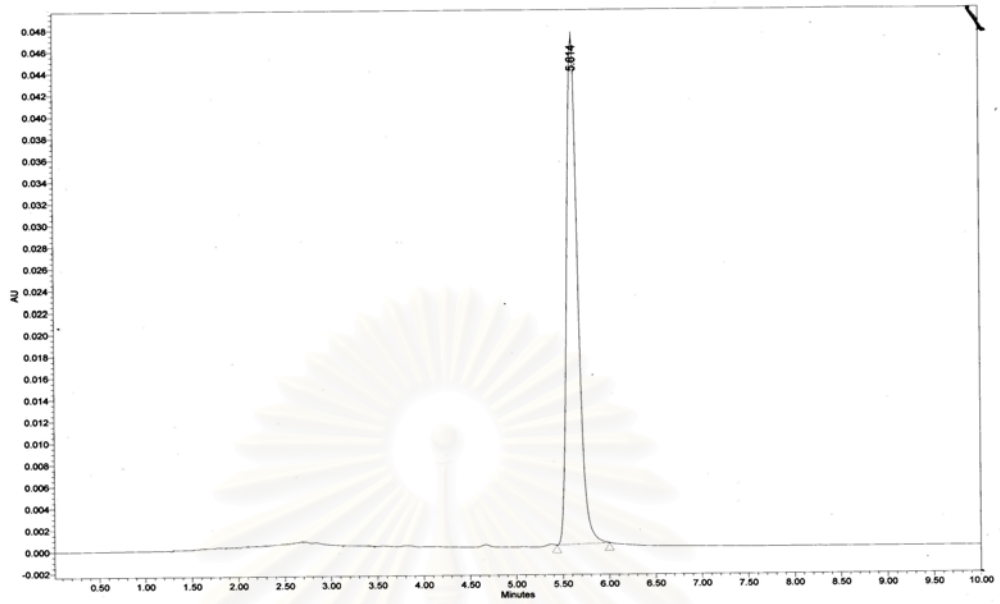
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



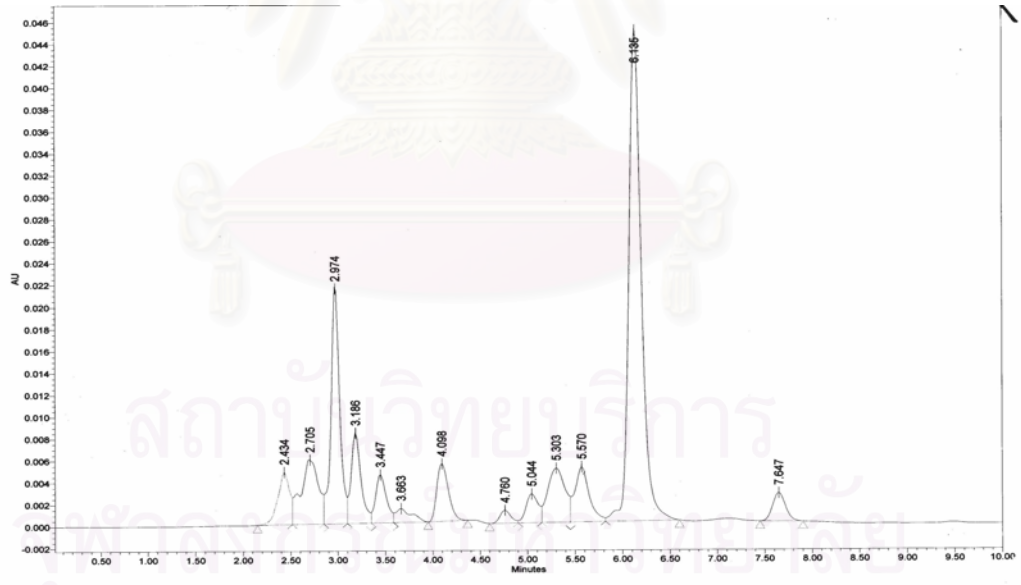
รูปที่ ซ3. โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Adenosine monophosphate



รูปที่ ซ4. โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Adenosine



รูปที่ ซ5. โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน Hypoxanthine



รูปที่ ซ6. ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่ได้จากหอยเป๋าฮื้อสด

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิชชญา นะราแก้ว เกิดวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2523 ที่จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร จากมหาวิทยาลัยศิลปากร ในปี พ.ศ.2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย