

ผลของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อ
ชนิด *Haliotis asinina* และ *Haliotis ovina*



นางสาวอุบลวรรณ พิงฉิม

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN-974-17-5291-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF HEAT - STERILIZATION ON CHEMICAL COMPOSITION AND TEXTURE OF
ABALONE Haliotis asinina AND *Haliotis ovina*



Miss Ubonwan Phungchim

สถาบันวิทยบริการ
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-5291-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อต่อองค์ประกอบทางเคมี และเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *Haliotis asinina* และ *Haliotis ovina*

โดย นางสาวอุบลวรรณ ฟิ่งฉิม

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ม.ล.ศิริพัสตร์ ไชยันต์

คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา ตูลยธัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ม.ล.ศิริพัสตร์ ไชยันต์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เมธิมศักดิ์ จารยะพันธุ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทรวรรณ)

อุบลวรรณ พึ่งฉิม : ผลของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *Haliotis asinina* และ *Haliotis ovina* (Effects of heat-sterilization on chemical composition and texture of abalone *Haliotis asinina* and *Haliotis ovina*) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. รณธิสงวนดีกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ม.ล. ศิริพัศตร์ ไชยันต์, 144 หน้า. ISBN 974-17-5291-1

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *Haliotis asinina* และ *H. ovina* ก่อนและหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน โดยในขั้นต้นได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ชนิดและปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในกล้ามเนื้อ เนื้อสัมผัสและองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรส พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน มีโปรตีนชนิด stroma เป็นองค์ประกอบหลัก (49.12 และ 35.83 % ของโปรตีนทั้งหมด) มีปริมาณคอลลาเจน 5.32 และ 4.39 g/100g และค่า toughness 1492.05 และ 2674.13 g ตามลำดับ มีองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสชนิดหลัก คือ AMP, arginine, glycine และ glutamic acid ต่อมาศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัส โดยขั้นแรกนำหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C เป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน โดยเมื่อผ่านการให้ความร้อนแล้วจะทำความชื้นและปริมาณ AMP มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณ cooking loss และโปรตีนสูงขึ้น สำหรับสมบัติด้านเนื้อสัมผัส พบว่าปริมาณคอลลาเจนไม่แตกต่างกันทุกสภาวะ และเมื่อนำหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดไปให้ความร้อน 100°C เป็นเวลา 120 นาที จะมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงที่สุด (601.70 และ 7.29 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ) ในขณะที่ค่า toughness ต่ำที่สุด (103.00 และ 205.34 g ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อสมบัติเนื้อสัมผัสด้วยวิธี texture profile analysis และสมบัติทางประสาทสัมผัสโดยใช้หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา พบว่าหอยเป่าฮือที่ผ่านการให้ความร้อน 80°C เป็นเวลา 120 นาที ได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสที่ดีที่สุด เช่นเดียวกับค่า hardness, springiness และ chewiness ที่มีค่าสูงที่สภาวะดังกล่าว ต่อมาศึกษาผลของการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีน้ำหนักเนื้อสูงกว่าชนิด *H. ovina* (82.81 และ 54.55 %) ความชื้น โปรตีน ปริมาณคอลลาเจน และปริมาณ AMP ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีค่า 80.70 และ 73.08 %, 16.14 และ 23.82 %, 3.32 และ 4.54 g/100g, และ 12 และ 33 mg/100g ตามลำดับ ส่วนค่า toughness ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีค่า 159.59 และ 267.37 g ในขั้นสุดท้ายได้เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้กับหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องทางการค้า (commercial) พบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อมีองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องทางการค้า

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

ลายมือชื่อชนิด.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2546.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4372499823 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: ABALONE/COLLAGEN/TASTE ACTIVE COMPONENT

UBONWAN PHUNGCHIM : EFFECTS OF HEAT-STERILIZATION ON CHEMICAL COMPOSITION AND TEXTURE OF ABALONE *Haliotis asinina* AND *Haliotis ovina*.

THESIS ADVISOR : ASST.PROF. ROMANEE SANGUANDEEKUL, Ph.D. THESIS

COADVISOR : SIRIPASTR JAYANTA, 144 pp. ISBN 974-17-5291-1

This research was aimed to study chemical compositions and texture of abalone *Haliotis asinina* and *Haliotis ovina* before and after heat process. Initially, the chemical compositions of the two species and amount of muscle proteins, texture and taste active components were studied. The result showed that both species had similar chemical composition. Stroma protein was found to be the major component in the muscle (49.12 and 35.83% of total protein). *H. asinina* and *H. ovina* had 5.32 and 4.39 g/100g collagen and 1492.05 and 2674.13 g toughness respectively. AMP, arginine, glycine and glutamic acid were found to be their major taste active components. The effect of heating process were also studied by heating abalones at 60, 80 and 100 °C for 30, 60 and 120 minutes. The results indicated that both species had similar changes during heating. As temperature and time increased, moisture content and AMP content tended to decrease whilst cooking loss and protein content tended to increase. However, collagen content remained the same in both species at all conditions. When abalones were heated at 100 °C for 120 minutes, they yielded the highest soluble collagen (601.70 and 7.29 µg/g) and lowest toughness (103.00 and 205.34 g). The effect of heating temperature and time on textural properties and sensory evaluation of *H. asinina* were then studied . It was found that abalone heated at 80 °C for 120 minutes scored the highest and showed good hardness, springiness and chewiness. The effect of heat-sterilization at 114 °C for 30 minutes on chemical compositions and texture was also studied. The result showed that after heating, *H. asinina* had more drain weight than *H. ovina* (82.81 and 54.55%). There were 80.70 and 73.08 % moisture content, 16.14 and 23.82 % protein, 3.32 and 4.54 g/100g collagen, 159.59 and 267.37 g toughness and 12 and 33 mg/100g AMP in *H. asinina* and *H. ovina* respectively. Finally, chemical composition and texture of heat sterilized-abalones were compared to those commercially canned-abalone. *H. asinina* was found to have similar chemical compositions and texture as the commercial ones.

Department.....Food Technology.....

Student's signature.....

Field of study....Food Technology.....

Advisor's signature.....

Academic year.....2003.....

Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ม.ล.ศิริพัสตร์ ไชยันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้การดูแลและแนะนำวิธีการใช้ HPLC

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา ตูลยธัญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภักทวารวณ ที่ร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งกรุณาชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เผด็จศักดิ์ จารยะพันธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เก็บตัวอย่างหอยเป่าสี้อและร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คุณทวี หมดอด้า คุณสมภพ รุ่งสภา และเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการไปเก็บตัวอย่างหอยเป่าสี้อ

ขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณนางสาวกมลวรรณ หัวเมืองแก้ว และนางสาวอรอน จันทรประสาทสุข ที่ช่วยให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือในงานวิจัย

ขอบคุณเพื่อน ๆ ปริญญาโททุกคนที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำและให้กำลังใจกันมาตลอดการวิจัย

ขอบคุณพี่ น้อง และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่สาว ที่สนับสนุนในด้านการเงิน คำแนะนำ และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
3 การทดลอง.....	29
4 ผลการทดลอง.....	47
5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	80
6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	100
รายการอ้างอิง.....	103
ภาคผนวก.....	111
ภาคผนวก ก.....	112
ภาคผนวก ข.....	118
ภาคผนวก ค.....	120
ภาคผนวก ง.....	121
ภาคผนวก จ.....	124
ภาคผนวก ฉ.....	125
ภาคผนวก ช.....	126
ภาคผนวก ซ.....	136
ภาคผนวก ฌ.....	141
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	144

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ผลผลิตหอยเป่าฮื้อ.....6
2.2	สมบัติของหอยเป่าฮื้อไทย.....7
4.1	ลักษณะทั่วไปของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i>47
4.2	อัตราส่วนของกล้ามเนื้อ เปลือก และเครื่องใน (% โดยน้ำหนักตัว) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i>47
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i>48
4.4	ปริมาณโปรตีน (% ของโปรตีนทั้งหมด) ที่เป็นองค์ประกอบของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i>49
4.5	ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) และ ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i>51
4.6	ATP และสารอนุพันธ์ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i>53
4.7	กรดอะมิโนอิสระ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> ...54
4.8	cooking loss (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....56
4.9	ความชื้น (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....57
4.10	โปรตีน (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....58
4.11	ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....59
4.12	ATP และสารอนุพันธ์ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....62
4.13	cooking loss (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....63
4.14	ความชื้น (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15	โปรตีน (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....65
4.16	ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....66
4.17	ATP และสารอนุพันธ์ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....69
4.18	ค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....71
4.19	คะแนนด้านสี กลิ่นรส ความชุ่มน้ำ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....72
4.20	drain weight ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที.....73
4.21	องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที.....74
4.22	ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที.....74
4.23	ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที.....75
4.24	ATP และสารอนุพันธ์ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที.....75
4.25	กรดอะมิโนอิสระ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที.....76
4.26	จุลินทรีย์ที่สำคัญและเป็นสาเหตุทำให้อาหารกระป๋องเสียของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที.....77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.27 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> และหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า.....	78
4.28 ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> และหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า.....	78
4.29 ค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> และ <i>H. ovina</i> และหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า.....	79
๗.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ cooking loss ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	136
๗.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	136
๗.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของโปรตีน (โดยน้ำหนักเปียก) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	137
๗.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจน (โดยน้ำหนักเปียก) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ....	137
๗.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจน (โดยน้ำหนักแห้ง) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ....	137
๗.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า toughness (โดยน้ำหนักแห้ง) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	138
๗.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	138
๗.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ cooking loss ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	138
๗.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	139
๗.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ซ.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจน (โดยน้ำหนักเปียก) ของ หอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	139
ซ.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า toughness ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	140
ซ.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของหอยเป่าฮือ ชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	140
ซ.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและ ระยะเวลาต่าง ๆ.....	140
ฅ.1 ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	141
ฅ.2 ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (ไมโครกรัม/กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	142
ฅ.3 ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	142
ฅ.4 ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (ไมโครกรัม/กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....	143

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ระบบอวัยวะภายในและทิศทางการไหลของน้ำผ่านเปลือกและลำตัวของหอยเป่าฮื้อ.....3
2.2	ภาพตัดขวางแสดงการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน.....18
2.3	ลำดับกรดอะมิโนและโครงสร้างของโมเลกุลคอลลาเจน.....19
4.1	ภาพถ่ายการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i>50
4.2	ภาพถ่ายการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i>50
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอลลาเจน(กรัม/100กรัม) และค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i>52
4.4	ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....60
4.5	ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (ไมโครกรัม/กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....61
4.6	ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....67
4.7	ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (ไมโครกรัม/กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ.....68
4.8	ภาพถ่ายการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที.....70
4.9	ภาพถ่ายการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที.....71
ง.1	หอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ทั้งตัว.....121
ง.2	เนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i>121
ง.3	หอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ทั้งตัว.....123
ง.4	เนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i>123
ง.5	หอยเป่าฮื้อที่พบในประเทศไทย (a) <i>H. asinina</i> (b) <i>H. ovina</i> (c) <i>H. varia</i>123
ช.1	โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน ATP และอนุพันธ์.....126
ช.2	โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน hypoxanthine.....126
ช.3	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i>127

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ช.4	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 ° C เป็นเวลา 30 นาที.....127
ช.5	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 ° C เวลา 60 นาที.....127
ช.6	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 ° C เวลา 120 นาที.....128
ช.7	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 ° C เวลา 30 นาที.....128
ช.8	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 ° C เวลา 60 นาที.....128
ช.9	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 ° C เวลา 120 นาที.....129
ช.10	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 ° C เวลา 30 นาที.....129
ช.11	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 ° C เวลา 60 นาที.....129
ช.12	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. asinina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 ° C เวลา 120 นาที.....130
ช.13	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i>130
ช.14	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 ° C เวลา 30 นาที.....130
ช.15	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 ° C เวลา 60 นาที.....131
ช.16	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 ° C เวลา 120 นาที.....131

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ช.17	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 ° C เวลา 30 นาที.....131
ช.18	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 ° C เวลา 60 นาที.....132
ช.19	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 ° C เวลา 120 นาที.....132
ช.20	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 ° C เวลา 30 นาที.....132
ช.21	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 ° C เวลา 60 นาที.....133
ช.22	โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. ovina</i> ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 ° C เวลา 120 นาที.....133
ช.23	โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานกรดอะมิโนอิสระ.....134
ช.24	โครมาโทแกรมของกรดอะมิโนอิสระของหอยเป่าฮื้อสดชนิด <i>H. asinina</i>134
ช.25	โครมาโทแกรมของกรดอะมิโนอิสระของหอยเป่าฮื้อสดชนิด <i>H. ovina</i>135
ช.26	โครมาโทแกรมของกรดอะมิโนอิสระของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114 ° C เวลา 30 นาที.....135

บทที่ 1

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ประมงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายแสนล้านบาท ในปี พ.ศ. 2540 การส่งออกผลิตภัณฑ์ประมงของไทยมีมูลค่าประมาณ 130,728 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2540) ผลิตภัณฑ์ประมงของไทยประกอบด้วยสัตว์ทะเลประมาณ 92% และสัตว์น้ำจืดประมาณ 8% การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ประมงในช่วงก่อนปี พ.ศ. 2508 นั้นผลผลิตส่วนใหญ่ใช้สำหรับการบริโภคสด ส่วนที่เหลืออีก 46% นำไปแปรรูป แต่หลังจากปี พ.ศ. 2508 เป็นต้นมาสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของสัตว์น้ำเปลี่ยนแปลงไป ผลิตภัณฑ์ประมงในลักษณะบริโภคสดมีแนวโน้มลดลงและการใช้ประโยชน์เพื่อการแปรรูปเพิ่มมากขึ้น ทรัพยากรสัตว์น้ำแต่ละชนิดที่นำมาแปรรูปจะมีลักษณะการใช้ประโยชน์แตกต่างกันไปตามประเภทของสัตว์น้ำและความนิยมของแต่ละท้องถิ่น (สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย, 2540)

หอยเป๋าฮื้อ (abalone) เป็นหอยทะเลประเภทหอยฝาเดียวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นหอยที่มีราคาแพงและเป็นที่ยอมรับบริโภคมาก ประเทศในแถบเอเชียนิยมบริโภคหอยเป๋าฮื้อมานานนับพันปีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศจีนและญี่ปุ่น เมื่อ 30 ปีที่แล้วมีการจับจากธรรมชาติในปริมาณสูงถึง 28,000 ตันต่อปี แต่ปัจจุบันผลผลิตที่จับได้จากธรรมชาติลดลงเหลือเพียง 10,000 ตันต่อปี ปริมาณหอยเป๋าฮื้อส่วนที่ขาดหายไปจึงถูกทดแทนด้วยการเพาะเลี้ยง ปัจจุบันประเทศจีนและประเทศไต้หวันสามารถเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อได้ปีละ 7,500 ตัน แต่ยังไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด (สิทธิศักดิ์ เหมืองสิน, 2545)

ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีมีการเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อเชิงพาณิชย์ แต่มีการรวบรวมหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* จากธรรมชาติ เพื่อส่งภัตตาคารในลักษณะหอยสด ส่วนการบริโภคหอยแปรรูปหรือหอยบรรจุกระป๋องของไทยนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น (พ่ายพิยังปักชี, 2541) ดังนั้นถ้ามีการนำหอยเป๋าฮื้อชนิดที่พบในเมืองไทยและมีความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์มาแปรรูปจะเป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และมูลค่าให้กับหอยเป๋าฮื้อมากขึ้นโดยเฉพาะหอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* ซึ่งมีความเป็นไปได้เชิงธุรกิจค่อนข้างสูงเนื่องจากตรงกับความต้องการของตลาดต่างประเทศที่นิยมหอยขนาดใหญ่และเป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และมูลค่าให้กับหอยเป๋าฮื้อมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการแปรรูปหอยเป่าฮื้อที่มีการใช้ความร้อนอาจทำให้กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อเปลี่ยนแปลงไปซึ่งอาจส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่อุตสาหกรรมการแปรรูปหอยเป่าฮื้อทำให้ลดมูลค่าการนำเข้าและยังสามารถส่งเป็นสินค้าออกได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อก่อนและหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อเป็นข้อมูลในการแปรรูปหอยเป่าฮื้อในระดับอุตสาหกรรมต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

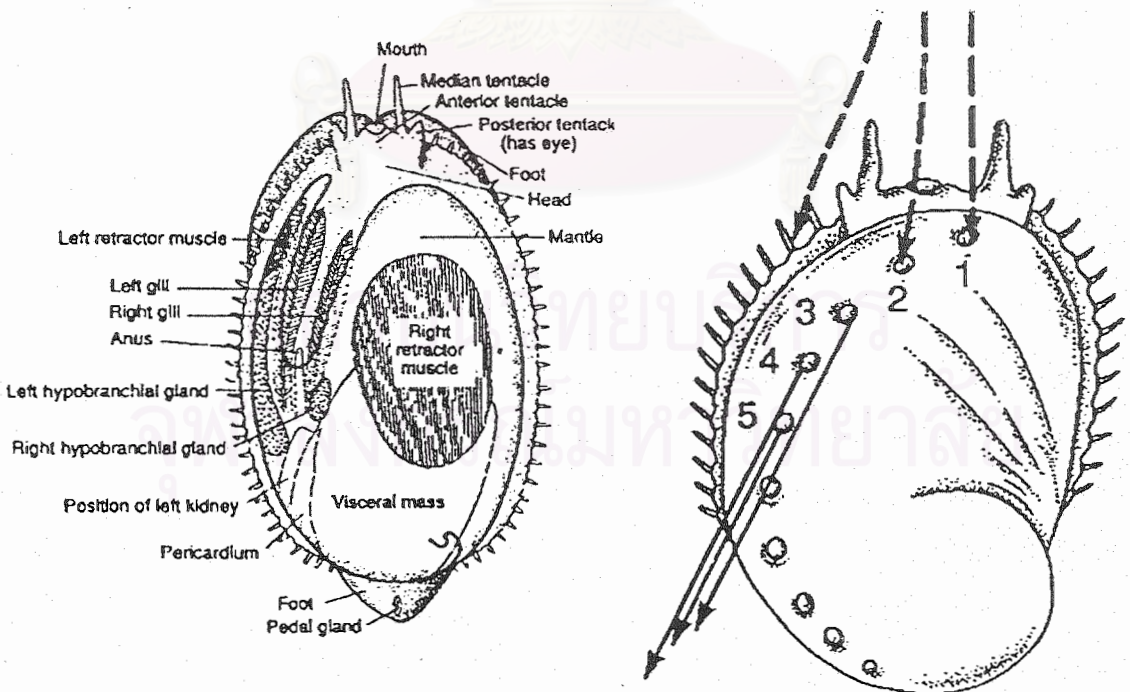
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 หอยเป่าฮื้อ

หอยเป่าฮื้อหรือหอยโข่งทะเลเป็นหอยทะเลฝาเดียวอยู่ใน Class Gastropoda, Order Archaeogastropoda, Family Haliotidae, Genus Haliotis หอยเป่าฮื้อเป็นผู้บริโภคระดับต้นของห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากมีนิสัยการกินแบบขูดขีด (grazer) สิ่งมีชีวิตตามซอกหินโดยใช้อวัยวะส่วนหน้าที่เรียกว่า radula ขูดอาหาร อาหารของหอยเป่าฮื้อคือสาหร่ายทะเลที่มีอยู่ในธรรมชาติรวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่อาศัยอยู่ตามพื้นผิวต่าง ๆ (พายัพ ยิงปักซี่, 2541)

หอยเป่าฮื้อเป็นหอยโบราณ เปลือกมีลักษณะแบนเป็นรูปยาวรี ยอดเตี้ยคล้ายจานรี มีสีเขียวเข้ม น้ำตาล หรือแดงคล้ำ บริเวณเปลือกมีรูเรียงเป็นแถว รูปบนเปลือกจะสร้างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อหอยโตขึ้น (รูปที่ 2.1) สำหรับอวัยวะภายในก็เป็นไปในลักษณะของหอยโบราณคือมีเหงือกเป็นคู่อยู่ในแอ่งด้านซ้ายของลำตัว มีเท้าและกล้ามเนื้อขนาดใหญ่เป็นส่วนที่ใช้เป็นอาหาร (คเชนทร เจริมวัฒน์, 2544)



รูปที่ 2.1 ระบบอวัยวะภายในและทิศทางการไหลของน้ำผ่านเปลือกและลำตัวของหอยเป่าฮื้อ
ที่มา: คเชนทร เจริมวัฒน์ (2544)

หอยเป่าฮือเป็นสัตว์ที่มีเพศแยกจากกัน มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1:1 อวัยวะสืบพันธุ์จะพัฒนาอยู่รอบ ๆ ส่วนที่เรียกว่าต่อมสร้างน้ำย่อย อวัยวะเพศของหอยเป่าฮือจะยื่นออกมาคล้ายเขาวัวสามารถมองเห็นได้โดยการหงายท้องขึ้นและเปิดกล้ามเนื้อทำทางขวาตอนล่างของเปลือกออก ถ้าเป็นเพศผู้จะเห็นอวัยวะนี้เป็นสีขาวยุติคมชัด ส่วนรังไข่ของเพศเมียเป็นสีเขียวเข้มจะมองเห็นไม่ชัดเจนเนื่องจากมีสีคล้ายกับสีของอวัยวะภายใน (พายัพ ยังปักซี่, 2541)

2.1.1 ประโยชน์ของหอยเป่าฮือ

หอยเป่าฮือจัดเป็นอาหารที่อุดมคุณค่าโปรตีนและบางคนยังเชื่อว่าเป็นอาหารเสริมคลั่งนิยมบริโภคกันมากในประเทศทางเอเชียกับหลายประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา โดยส่วนที่นำมาบริโภคคือส่วนเท้าของหอยเป่าฮือ

ชาวญี่ปุ่นชอบรับประทานหอยเป่าฮือมากที่สุด โดยนำหอยเป่าฮือไปทำอาหารได้หลายรูปแบบและหลากหลายรสชาติ เช่น การต้มและอบด้วยความร้อน แต่วิธีที่นิยมมากที่สุดคือการรับประทานหอยดิบเรียกว่า ซาซิมิ (sashimi) หรือทำเป็นชิ้นแล้ววางแปะบนก้อนข้าวเรียกว่า ซูชิ (sushi) ส่วนชาวยุโรปและอเมริกานั้นการปรุงหอยเป่าฮือทำได้ไม่กี่วิธี วิธีที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดคือนำหอยเป่าฮือไปย่าง (grilling) หรือนำไปทอดในน้ำมันที่ร้อนจัดจนเนื้อกรอบ แต่ก่อนที่จะย่างหรือทอดต้องทำให้เนื้อหอยนิ่มลงโดยการทุบด้วยส้อมก่อน (ลิลลา เรืองแป้น, 2543) สำหรับชาวจีนเชื่อกันว่านอกจากรสชาติที่ดีแล้วหอยเป่าฮือยังเป็นอาหารที่บำรุงสุขภาพ โดยช่วยบำรุงสายตา ตับไต ทำให้อุณหภูมิร่างกายและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยและผู้สูงอายุ (สิทธิศักดิ์ เหมืองสิน, 2545)

นอกจากใช้เนื้อเป็นอาหารแล้วเปลือกของหอยเป่าฮือยังนำมาทำประโยชน์ในลักษณะเครื่องประดับได้อีกด้วย เนื่องจากเปลือกของหอยเป่าฮือมีส่วนประกอบซึ่งมีลักษณะแววมัน ชั้นในสุดมีสีมุกขาว เปลือกชั้นนอกที่ขรุขระนั้นถ้านำไปขัดผิวชั้นนอกออกจะได้ผิวชั้นในที่มีลักษณะเป็นมันสีเขียวลายมุกสวยงาม ในสมัยโบราณชาวญี่ปุ่นจะนำเปลือกหอยเป่าฮือไปใช้ประโยชน์เป็นเครื่องประดับ เช่น ใต๊ะฝังมุก กรอบรูปฝังมุก หรือทำเป็นกำไล กระดุม และปิ่นปักผม เป็นต้น ชาวจีนใช้เปลือกหอยเป่าฮือประดับไม้เท้าเฟอร์นิเจอร์หรือการแกะสลักเปลือกหอยเป่าฮือในยุโรป (cameo) (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544)

2.1.2 ความต้องการของตลาด

หอยเป๋าฮื้อที่พบในโลกมีประมาณ 100 ชนิด แต่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมีประมาณ 20 ชนิด ใน 20 ชนิดนี้เป็นหอยเป๋าฮื้อเมืองหนาวเกือบทั้งหมด ซึ่งเป็นหอยขนาดใหญ่มีความยาวเปลือก 15–30 เซนติเมตร มีเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่เป็นหอยเป๋าฮื้อเมืองร้อนซึ่งมีขนาดเล็กมีความยาวเปลือก 8–12 เซนติเมตร

หอยเป๋าฮื้อเมืองหนาวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่

1. หอยเป๋าฮื้อปากดำ black-lip abalone (*H. rubra*) หอยเป๋าฮื้อปากน้ำตาล brown-lip abalone (*H. concipora*) และ หอยเป๋าฮื้อปากเขียว green-lip abalone (*H. laevigata*) พบในออสเตรเลีย ทางฝั่งตะวันออก ฝั่งตะวันตกเฉียงใต้และฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ตามลำดับ
2. หอยเป๋าฮื้อแดง red abalone (*H. rufescens*) พบทางฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศชิลี เม็กซิโก และรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา
3. หอยเป๋าฮื้อเปาว์ paua (*H. iris*) ของนิวซีแลนด์
4. หอยเป๋าฮื้อออเมอร์ the ormer (*H. tuberculata*) ของฝรั่งเศส
5. หอยเป๋าฮื้อพินโต pinto abalone (*H. kamtschatkana*) ของอเมริกาเหนือ
6. หอยเป๋าฮื้ออีโซ ezo abalone (*H. discus*) พบทางฝั่งแปซิฟิกของญี่ปุ่น
7. หอยเป๋าฮื้อเพอเลอมีน perlemoen abalone (*H. midae*) ของแอฟริกาใต้

หอยเป๋าฮื้อเมืองร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่

1. หอยเป๋าฮื้อเล็ก small abalone (*H. diversicolor*) พบตามชายฝั่งของประเทศญี่ปุ่นและไต้หวัน เป็นชนิดที่เพาะเลี้ยงในประเทศจีนและไต้หวัน
2. หอยเป๋าฮื้อหูลา ass'ear หรือ donkey's ear abalone (*H. asinina*) เป็นชนิดที่ส่งเสริมให้เพาะเลี้ยงในประเทศไทย (มะลิ บุญยรัตผลิน, 2545)

ประเทศที่มีการใช้ประโยชน์ของหอยเป๋าฮื้อโดยการจับจากธรรมชาติมาเพื่อค้าขายอย่างจริงจังจนถึงระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศที่อยู่บริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศที่อยู่แถบชายฝั่งอเมริกาเหนือและชายฝั่งแอฟริกาใต้ ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ เป็นต้น (ลิลา เรืองแป้น, 2543) ผลผลิตหอยเป๋าฮื้อทั่วโลกมีประมาณ 20,000 เมตริกตันต่อปี โดยมีแหล่งและส่วนแบ่งปริมาณการผลิตดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตหอยเป่าฮื้อ

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

ที่มา: คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544)

ปริมาณการผลิตหอยเป่าฮื้อมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นรวมทั้งมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงควบคู่กันไป

หอยเป่าฮื้อเป็นหอยที่มีราคาสูงในท้องตลาด ราคาของหอยเป่าฮื้อขึ้นอยู่กับขนาด ชนิด สีสัน คุณภาพของเนื้อและที่มา หอยที่มีราคาดีจะเป็นหอยที่รับมาจากทะเล มีขนาดใหญ่ เนื้อแน่น มีสีขาวครีม (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542) ในตลาดสหรัฐอเมริกาเนื้อส่วนเท้าและกล้ามเนื้อที่นิยมนำมาปรุงอาหารราคากิโลกรัมละ 1,000-1,650 บาท สำหรับชนิดที่นิยมบริโภคมากที่สุดมีมูลค่าประมาณ 750 ล้านบาทต่อปี อย่างไรก็ตามตลาดผู้บริโภคที่ใหญ่ที่สุดจะอยู่ในเอเชียซึ่งมีมูลค่าการบริโภคประมาณ 7,500-10,000 ล้านบาทต่อปี โดยมีประเทศญี่ปุ่นเป็นตลาดที่สำคัญ (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544) นอกจากนี้บริโภคลแล้วญี่ปุ่นยังมีการนำเข้าและส่งออกหอยเป่าฮื้อในระดับอุตสาหกรรมโดยการนำเข้าในรูปแบบหอยสด หอยแช่แข็ง และหอยแช่เย็นจากประเทศจีน เกาหลี และนิวซีแลนด์เป็นจำนวนมากถึง 1,000 ตันต่อปี และนำเข้าหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องซึ่งผ่านการปรุงรสแล้วจากประเทศออสเตรเลียปีละประมาณ 700-800 ตัน นอกจากนี้นำเข้าแล้วญี่ปุ่นก็ส่งออกหอยเป่าฮื้อในรูปแบบของหอยแห้งโดยส่งไปขายที่ประเทศฮ่องกงและไต้หวันปีละหลายสิบล้าน (พายัพ ยังกัษี, 2541)

ในประเทศไทยหอยเป่าฮื้อขนาดคอกเทล (cocktail size) หรือขนาด 20-30 ตัวต่อกิโลกรัม และ 30-40 ตัวต่อกิโลกรัม ราคา 1,000-1,500 บาทต่อกิโลกรัม ถ้าเป็นหอยสดแกะ

เครื่องในและเปลือกออกแล้วราคาประมาณ 800-1,200 บาทต่อกิโลกรัม (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542)

2.1.3 หอยเป่าฮื้อในประเทศไทย

หอยเป่าฮื้อในประเทศไทยเป็นหอยเป่าฮื้อในเขตร้อน มีขนาดเล็ก (4-8 เซนติเมตร) อาศัยตามโขดหินชายทะเลหรือเกาะอยู่ตามปะการังที่อยู่ใต้น้ำ กินตะไคร่ตามโขดหินและปะการังเป็นอาหาร หอยเป่าฮื้อที่พบในประเทศไทย มี 3 ชนิด ได้แก่ *H. asinina*, *H. ovina* และ *H. varia*

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของหอยเป่าฮื้อไทย

ชนิด	คุณสมบัติของหอยเป่าฮื้อไทย			
	ขนาดสูงสุดยาว (ซ.ม.)	น้ำหนัก (กรัม)	% ของน้ำหนักเนื้อต่อ น้ำหนักตัว	การแพร่กระจาย
<i>H. asinina</i>	10	170	85	อ่าวไทยและอันดามัน
<i>H. ovina</i>	8	65	40	อ่าวไทยและอันดามัน
<i>H. varia</i>	6	6	30	อันดามัน

ที่มา: คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544)

หอยเป่าฮื้อของไทยมีศักยภาพสำหรับการพัฒนาพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่มีศักยภาพทางการตลาดสูง เนื่องจากเป็นชนิดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในกลุ่มหอยเป่าฮื้อในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งมีสัดส่วนน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักตัวสูงถึง 85% และมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างเร็ว เมื่ออายุครบ 1 ปี มีความยาวเปลือก 42.7 มิลลิเมตร ดังนั้นการเลี้ยงหอยเป่าฮื้อชนิดนี้จึงมีความเป็นไปได้เชิงธุรกิจค่อนข้างสูง เพราะตลาดต่างประเทศนิยมหอยขนาดใหญ่โดยมีประเทศออสเตรเลีย อเมริกา และประเทศในเอเชียเป็นผู้รับซื้อแล้วแปรรูปบรรจุกระป๋องส่งออกอีกทีหนึ่ง (ลีลา เรืองแป้น, 2543)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำ

องค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำแตกต่างกันตามประเภท (type) และชนิด (species) ความแตกต่างกันขององค์ประกอบทางเคมีนั้น มีผลต่อรสชาติตลอดจนการเน่าเสียของสัตว์น้ำ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของสัตว์น้ำ ได้แก่

2.2.1 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสัตว์น้ำ มี 2 รูปแบบ คือ

1) รูปอิสระ (free water) น้ำที่อยู่ในสภาวะนี้ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารอื่น เช่น โปรตีน คอลลอยด์ กระจายอยู่ทั่วไป ขณะเดียวกันยังทำหน้าที่เป็นตัวละลายสารอื่นด้วย

2) รูปยึดเหนี่ยว (bound water, absorbed water) น้ำในสภาวะนี้จะอยู่ตามผิวของคอลลอยด์ ในโปรตีนและตามผนังเซลล์ เมื่อได้รับความร้อนจากการอบตัวอย่างเพื่อหาความชื้นน้ำที่อยู่ในสภาวะนี้จะระเหยได้ช้ากว่าน้ำที่อยู่ในรูปอิสระ ดังนั้นจึงต้องใช้ความร้อนสูงเข้าช่วยซึ่งตรงข้ามกับน้ำในรูปอิสระที่ระเหยง่ายเมื่อใช้ความร้อนต่ำหรือแช่เยือกแข็ง (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531)

2.2.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต สัตว์น้ำมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 8-28% โปรตีนในสัตว์น้ำจำแนกตามลักษณะการละลายได้ดังนี้ (Shahidi, 1994; Kolakowski, 2001; วรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ, 2543)

1. โปรตีนที่ละลายได้ในน้ำหรือที่เรียกว่าซาร์โคพลาสมิคโปรตีน (sarcoplasmic protein) หรือไมโอเจน (myogen) มีอยู่ประมาณ 10-20% ของโปรตีนทั้งหมด ได้แก่ น้ำย่อยชนิดต่าง ๆ เม็ดสีในเนื้อ และ cytochrome C เป็นต้น

sarcoplasmic protein มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการ enzyme catalysis, osmoregulation, antifreeze, intermediary metabolism, nitrogen storage, transport process และเป็นโครงสร้างของเซลล์ (Haard, Simson และ Pan, 1994) ปริมาณ sarcoplasmic protein ที่พบในปลาแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยปลาเนื้อแดงจะมีปริมาณ

sarcoplasmic protein สูงกว่าปลาเนื้อขาว และส่วนกล้ามเนื้อสีเข้ม (dark muscle) จะมีปริมาณ sarcoplasmic protein สูงกว่าส่วนกล้ามเนื้อสีขาว (white muscle) เช่น กล้ามเนื้อสีเข้มของปลา mackerel มี sarcoplasmic protein ประมาณ 50% ปลา sardine มีประมาณ 46% ในขณะที่ส่วนกล้ามเนื้อสีขาวของปลา mackerel มี sarcoplasmic protein ประมาณ 38% และปลา sardine มีประมาณ 34% (Suzuki, 1981)

2. โปรตีนที่ละลายในสารละลายเกลือที่มี ionic strength ประมาณ 0.5 ได้แก่ โปรตีนกล้ามเนื้อ (myofibrillar protein) เช่น แอคติน (actin), ไมโอซิน (myosin), แอคติน-ไมโอซิน (actinomyosin) เป็นต้น โปรตีนชนิดนี้มีประมาณ 65-75% ของโปรตีนทั้งหมด

myofibrillar protein เป็นโปรตีนที่มีปริมาณสูงที่สุดในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำ โดยมี myosin เป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณสูงที่สุด (50-60% ของปริมาณ myofibrillar protein ทั้งหมด) รองลงมา คือ actin (20% ของปริมาณ myofibrillar protein ทั้งหมด) เมื่อรวมตัวกับ myosin ได้สารประกอบ actomyosin ซึ่งละลายน้ำได้ มีบทบาทสำคัญต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังพบ paramyosin ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมีประมาณ 0.1-10 เท่าของปริมาณ myosin ทำหน้าที่ยึดเนื้อเยื่อในกล้ามเนื้อไว้ให้คงรูป และยังพบ tropomyosin และ troponin ประมาณ 10% ของปริมาณ myofibrillar protein ทั้งหมด (Shahidi, 1994)

3. โปรตีนที่ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในสารละลายเกลือเจือจางซึ่งมี ionic strength ประมาณ 0.15 (alkali-soluble protein) เช่น โปรตีนในเลือดและน้ำย่อยบางชนิด เรียกว่า globulin-x

4. โปรตีนที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายในสารละลายเกลือแต่ละลายในกรดและเบสเข้มข้น เรียกว่า stroma protein ได้แก่ โปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น คอลลาเจน (collagen), อีลาสติน (elastin), เรคติคูลิน (reticulin) พบอยู่ประมาณ 3-10% ของโปรตีนทั้งหมด

คอลลาเจนเป็นโปรตีนที่มีปริมาณสูงที่สุดที่พบใน stroma protein มีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังทั้งดิบและผ่านการให้ความร้อนแล้ว โดยพบว่าเนื้อปลาดิบที่มีปริมาณคอลลาเจน 1.6-2.3% จะมีเนื้อสัมผัสนุ่ม ส่วนเนื้อปลาที่มีปริมาณคอลลาเจน 8.8-12.4% จะมีเนื้อสัมผัสเหนียว แต่ถ้านำไปให้ความร้อนจะเป็นไปในทางตรงกันข้าม เนื้อปลาที่มีปริมาณคอลลาเจนต่ำจะมีเนื้อสัมผัสแห้ง ส่วนเนื้อปลาที่มีปริมาณคอลลาเจนสูงเนื้อ

สัมผัสจะฉ่ำน้ำและมีความยืดหยุ่นดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากคอลลาเจนเกิด gelatinization (Sikorski และ Borderias, 1994) การที่ปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำแตกต่างกันขึ้นกับชนิด อาหารที่ได้รับและระยะเวลาเจริญของสัตว์น้ำ (Shahidi, 1994)

Watabe และคณะ (1986) ศึกษาชนิดและปริมาณของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของกล้ามเนื้อเท้า กล้ามเนื้อ opercular และเครื่องในของ turban shell (*Batillus cornutus*) พบว่ากล้ามเนื้อทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณ sarcoplasmic protein และ alkali-soluble protein ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณ myofibrillar protein และ stroma protein แตกต่างกัน คือ กล้ามเนื้อเท้ามีปริมาณ stroma protein สูงกว่ากล้ามเนื้อ opercular และเครื่องใน (10.30, 5.90 และ 1.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/กรัมของน้ำหนักเปียก ตามลำดับ) ส่วนปริมาณ myofibrillar protein เป็นไปในทางตรงกันข้าม คือ เครื่องในมีปริมาณสูงกว่ากล้ามเนื้อ opercular และกล้ามเนื้อเท้า (14.62, 9.79 และ 9.67 มิลลิกรัมไนโตรเจน/กรัมของน้ำหนักเปียก ตามลำดับ)

Olaechea และคณะ (1993) ศึกษาชนิดและปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในกล้ามเนื้อเท้าและกล้ามเนื้อ adductor ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. discus* ที่จับจากธรรมชาติและเลี้ยงที่สถานีทดลอง พบว่ากล้ามเนื้อเท้าของหอยเป่าชื่อที่นำมาเลี้ยงที่สถานีทดลองมีปริมาณ myofibrillar protein ต่ำกว่ากล้ามเนื้อบริเวณ middle adductor 1.5 เท่า แต่มีปริมาณ stroma protein สูงกว่า 2.3 เท่า ส่วนหอยเป่าชื่อที่จับจากธรรมชาติให้ผลใกล้เคียงกัน

2.2.3 ไขมัน

ไขมันในสัตว์น้ำบางพวก เช่น ปลา พบว่าอยู่บริเวณใต้ผิวหนังและกล้ามเนื้อ โดยสามารถจำแนกได้ 2 ชนิด คือ ไขมันที่ร่างกายเก็บไว้ใช้เป็นพลังงาน (depot-fat) ส่วนไขมันที่ไม่ได้ถูกสะสมเพื่อใช้เป็นพลังงาน (non-depot-fat) ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) สฟิงโกลิปิด (sphingolipids) และสเตอรอล (sterols)

กรดไขมันที่พบในปลา กุ้ง หอย มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอาหารที่สัตว์เหล่านี้กิน กรดไขมันในสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ จำแนกได้ 2 พวก คือ

1) กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) Stansby และ Hall (1967) รายงานว่ากรดไขมันอิ่มตัวในปลามีปริมาณ 15–40% กรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 12 ขึ้นไป ได้แก่ กรดลอริก กรดไมริสติก กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก

2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) น้ำมันจากปลาที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึง 40% โดยทั่วไปไขมันจากปลาทะเลมีส่วนประกอบที่ซับซ้อนและกรดไขมันมี C18, C20, C22 จำนวนมาก ขณะที่ปลาน้ำจืดมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยกว่าไขมันจากปลาทะเล แต่มีปริมาณกรดพาล์มิติกและกรดสเตียริกสูงกว่า

2.2.4 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่ให้แก่กระบวนการเมตาบอลิซึม คาร์โบไฮเดรตในสัตว์น้ำพบอยู่ในรูปต่างๆ เช่น น้ำตาลที่อยู่ร่วมกับคอลลาเจนในปลาหมึกสูงกว่าสัตว์มีกระดูกสันหลัง น้ำตาลที่พบส่วนใหญ่ คือ glucose และ galactose โดยพบในปลาหมึกกล้วย ปลาหมึกกระดอง หอยเปี้ยว และปู ปริมาณ 3.96, 2.89, 4.18 และ 12.45% ของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด ตามลำดับ จึงทำให้สัตว์น้ำเหล่านี้มีรสอร่อยเมื่อทำให้สุกใหม่ๆ (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531)

2.2.5 วิตามินและแร่ธาตุ

วิตามินที่พบในสัตว์น้ำ ได้แก่ วิตามิน เอ ดี อี ที่ละลายได้ในไขมัน โดยพบมากในตับปลาฉลาม ปลาคอด นอกจากนี้ยังพบวิตามินบีในตับและไขปลาอีกด้วย วิตามินซี พบใน adrenal cortex ซึ่งไม่นิยมบริโภค วิตามินที่พบมากในปลาหมึก ได้แก่ วิตามินบี โดยเฉพาะบี 6 และไบโอติน ส่วนแร่ธาตุมีปริมาณ 3.4% ของน้ำหนักสด

องค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำที่แตกต่างกันนั้นมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส โดยพบว่าความชื้นและไขมันจะมีผลต่อโครงสร้างของกล้ามเนื้อทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น เช่น เนื้อปลาที่มีปริมาณไขมันและความชื้นสูงเนื้อสัมผัสจะนุ่ม ในทางตรงกันข้ามถ้ามีปริมาณความชื้นต่ำและมีปริมาณโปรตีนสูงเนื้อสัมผัสจะแน่นกว่า (Dunajski, 1979)

2.3 รสและรสชาติของสัตว์น้ำ

อาหารทะเลแต่ละชนิดจะมีรสและรสชาติเฉพาะตัวที่เกิดจากองค์ประกอบของสารสกัด (extractive components) องค์ประกอบของสารสกัดที่ให้รสของอาหารทะเลเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำและมีมวลโมเลกุลต่ำ ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณองค์ประกอบของสารสกัดที่สำคัญที่สุดคือพันธุกรรมซึ่งมีผลทำให้สัตว์แต่ละชนิดมีรสและรสชาติเฉพาะตัว นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผล

ต่อปริมาณองค์ประกอบของสารสกัด เช่น ฤดูกาล กระบวนการให้ความร้อน ระยะของการเจริญเติบโต การอพยพเพื่อวางไข่ สภาวะแวดล้อม อาหาร ส่วนของเนื้อเยื่อ และความสด เป็นต้น

องค์ประกอบของสารสกัดแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน (nitrogenous compounds) เช่น กรดอะมิโนอิสระ สารประกอบของกรดอะมิโน สารประกอบนิวคลีโอไทด์ และ organic bases เป็นต้น และสารที่ไม่เป็นสารประกอบไนโตรเจน (non-nitrogenous compounds) ได้แก่ น้ำตาลและกรดอินทรีย์ เป็นต้น (Fuke, 1994; Konosu และ Yamaguchi, 1982)

2.3.1 สารประกอบไนโตรเจน (nitrogenous compounds)

2.3.1.1 กรดอะมิโนอิสระ (free amino acids)

กล้ามเนื้อสัตว์น้ำมีกรดอะมิโนรวมอยู่ 3 รูปแบบ คือ กรดอะมิโนอิสระ กรดอะมิโนที่รวมอยู่กับโปรตีน (protein bound amino acid) และกรดอะมิโนที่รวมอยู่กับเพปไทด์ (peptide bound amino acid) กรดอะมิโนที่รวมกันอยู่นี้จะแยกออกจากกันได้โดยการย่อยด้วยกรดเกลือ กรดอะมิโนอิสระมีความสำคัญในการควบคุมกระบวนการออสโมซิสในสัตว์จำพวก crustaceans และสัตว์ทะเลชนิดอื่น ๆ (นงลักษณ์ สุทธิวิณิช, 2531)

2.3.1.2 เพปไทด์ (peptides)

ในสารสกัดจากกล้ามเนื้อของปลาและสัตว์จำพวกหอยจะมีเพปไทด์ในจำนวนจำกัด ชนิดของเพปไทด์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำที่พบในสารสกัด เช่น carnosine, anserine, balenine และ glutathione ซึ่ง carnosine เป็นไดเพปไทด์ที่ประกอบด้วย β -alanine และ histidine ส่วน anserine เป็นไดเพปไทด์ที่ประกอบด้วย β -alanine กับ methionine (Konosu และ Yamaguchi, 1982)

2.3.1.3 สารประกอบกวานิดีน (guanidine compounds)

ในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำจะพบ guanidine compounds ชนิดหลัก คือ creatine และ arginine โดยจะพบ creatine มากในปลา และพบ arginine เป็นจำนวนมากในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่ยังมีชีวิตสารประกอบทั้งสองตัวนี้จะอยู่ในรูป phosphorylated form ทำหน้าที่เป็นสารประกอบที่ให้หมู่ฟอสเฟต (phosphagen) ใน energy

metabolism ของกล้ามเนื้อ ส่วน creatinine เกิดจากปฏิกิริยา dehydration ของ creatine (Konosu และ Yamaguchi, 1982)

2.3.1.4 ไตรเมทิลามีนออกไซด์ (trimethylamine oxide, TMAO)

TMAO เป็นสารประกอบในสัตว์น้ำทำหน้าที่คล้ายยูเรียหรือกรดยูริกในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ช่วยกำจัดและปรับสภาพไนโตรเจนในเลือดที่ สัตว์ทะเลมีปริมาณ TMAO ต่างกัน ปลากระดูกอ่อนมีปริมาณมากกว่าปลากระดูกแข็ง ส่วนกุ้ง ปู มีปริมาณปานกลาง ประมาณ 50 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100กรัม ส่วนพวกที่มี TMAO ต่ำ ได้แก่ ปลาตัวแบนและหอยสองฝา

2.3.1.5 ยูเรีย (urea)

ยูเรียพบมากในปลากระดูกอ่อน เช่น ปลาฉลาม ปลากระเบน โดยพบใน ornithine-urea cycle มากกว่าจะพบจากในปิวรีนเมตาบอลิซึม ยูเรียเมื่อรวมตัวกับ TMA-N จะทำให้เกิดกลิ่นรุนแรงในสัตว์น้ำ ยูเรียเกิดจากปฏิกิริยาการแตกตัวของ arginine และเมื่ออุณหภูมิในสัตว์น้ำสูงขึ้น ยูเรียจะสลายตัวให้แอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์

2.3.1.6 บีเทน (betaines)

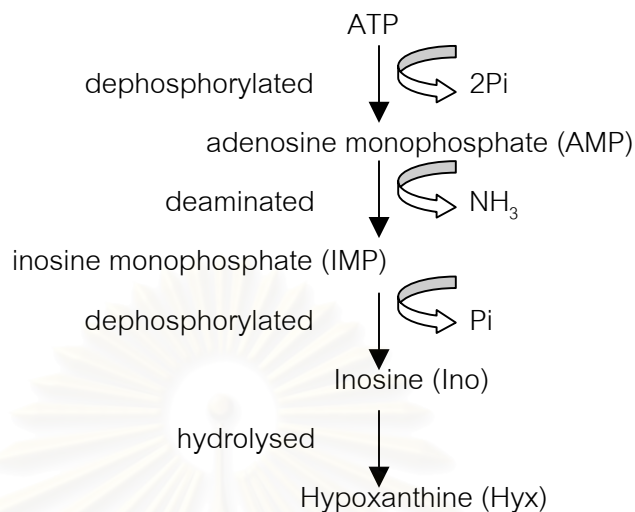
betaines ที่พบตามธรรมชาติ ได้แก่ glycine betaines ซึ่งมีมากกว่า betaines ชนิดอื่น ๆ ในหอยและปูมีปริมาณ 200–400 มิลลิกรัม/100กรัม ส่วน β -alanine betaines พบมากในปู หอยและปลาบางชนิด ส่วน homarine เป็นเมตาโบไลต์ของ tryptophan พบใน หอย ปู นอกจากนี้ยังพบ carnitine ในหอยและปูเช่นกัน (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531)

2.3.1.7 สารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารประกอบอื่นที่เกี่ยวข้อง (nucleotides and related compounds)

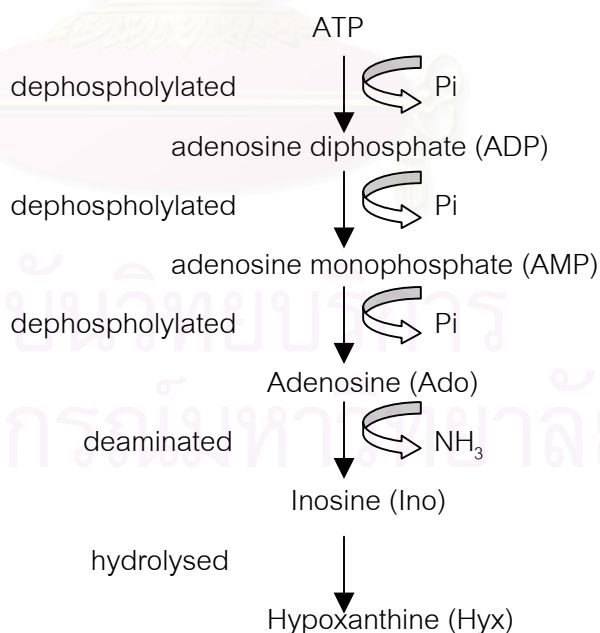
สารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารประกอบอื่นที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ในกล้ามเนื้อปลาและสัตว์จำพวกหอยเป็นอนุพันธ์ของสารประกอบพิวรีนและยังพบอนุพันธ์ของ uracil และ cytosine ในปริมาณเล็กน้อย (Seki, 1971)

ในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่ยังมีชีวิตจะมี ATP (adenosine triphosphate) เป็นองค์ประกอบหลัก หลังจากสัตว์ตายจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ โดยวิถี

ของการสลายตัวของสารประกอบตัวนี้ในกล้ามเนื้อปลา เป็นดังนี้ (Konosu และ Yamaguchi, 1982)



เนื่องจากปฏิกิริยาการสลายตัวของ IMP ไปเป็น inosine เกิดค่อนข้างช้า ทำให้ในกล้ามเนื้อของปลาสดมีปริมาณ IMP สูง ส่วนสัตว์จำพวก crustaceans มีแนวโน้มที่จะมี AMP สูง เนื่องจากเอนไซม์ AMP deaminase มี activity ต่ำ และสัตว์จำพวก mollusks จะมีเอนไซม์ AMP deaminase น้อย ดังนั้นวิถีหลักของการสลายตัวของ ATP จะเป็นดังนี้ (Konosu และ Yamaguchi, 1982)



ความแตกต่างของปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในสัตว์น้ำต่าง ๆ นั้น เนื่องจากชนิดและอาหารที่ได้รับ จากการแยกองค์ประกอบของกล้ามเนื้อปลาและหอย พบว่า

ประกอบด้วยกรดอะมิโนอิสระ อิมิดาโซลไดเพปไทด์ สารประกอบกัวนิดีน ไตรเมธิลามีนออกไซด์ ยูเรีย ปีเพน นิวคลีโอไทด์ และสารอื่นๆ มากกว่า 95 % (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531)

2.3.2 สารที่ไม่เป็นสารประกอบไนโตรเจน (non-nitrogenous compounds)

2.3.2.1 กรดอินทรีย์ (organic acids)

กรดอินทรีย์ที่พบในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำ เช่น lactic acid, propionic acid, acetic acid, pyruvic acid, succinic acid และ oxalic acid เป็นต้น โดย lactic acid เกิดจากปฏิกิริยา glycolysis (Konosu และ Yamaguchi, 1982)

2.3.2.2 น้ำตาล (sugars)

น้ำตาลอิสระที่พบมากในกล้ามเนื้อปลาและสัตว์น้ำจำพวกหอย ได้แก่ glucose และ ribose โดยทั่วไปจะพบน้ำตาลอิสระในกล้ามเนื้อปลาและสัตว์น้ำจำพวกหอยในปริมาณค่อนข้างน้อย แต่น้ำตาลอิสระปริมาณเพียงเล็กน้อยนี้ สามารถทำให้เกิดรสและรสชาติในสัตว์น้ำได้ (Konosu และ Yamaguchi, 1982)

2.3.2.3 เกลืออนินทรีย์ (inorganic salts)

ไอออนของเกลืออนินทรีย์ที่มีผลทำให้เกิดรสและรสชาติที่สำคัญและพบมาก ได้แก่ Na^+ , K^+ , และ Cl^- และยังพบ PO_4^{3-} แต่ในปริมาณน้อย (Hayashi, Yamaguchi, และ Konosu, 1981)

สัตว์จำพวกหอยและปลาหมีก็จะมีกรดอะมิโนอิสระ taurine, proline, glycine, alanine และ arginine สูง ปริมาณแปรผันตามชนิดและสายพันธุ์ กรดอะมิโนหลายตัวมีผลทำให้เกิดรสในอาหารทะเล เช่น glycine, alanine และ proline ทำให้เกิดรสหวาน (Nishimura และ Kato, 1988) glutamic acid, glycine, alanine, arginine และ serine ทำให้การรับรู้รส umami ชัดเจนขึ้น (Konosu, Hayashi, และ Yamaguchi, 1987; Kimura และคณะ, 1969) leucine, isoleucine และ valine ทำให้เกิดรสขมและฝาด (Konosu, และคณะ, 1987; Nishimura และ Kato, 1988)

Konosu (1973) วิเคราะห์องค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือชนิด *H. discus* ด้วยวิธี omission test และรายงานว่า glutamic acid, glycine, glycine betaine และ AMP เป็นองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือ โดย glutamic acid เป็นตัวให้รส umami และรสชาติ

เฉพาะของหอยเป่าชื่อ glycine ทำให้เกิดรสหวาน ส่วน AMP นั้นไม่ทำให้เกิดรส แต่เมื่ออยู่ร่วมกับ glutamic acid จะทำให้เกิดรส umami และพบว่าถ้าไม่มี glutamic acid และ AMP ในระบบจะทำให้รส umami และกลิ่นรสเฉพาะของหอยเป่าชื่อหายไป ส่วนกรดอะมิโนที่มีปริมาณมาก เช่น taurine และ arginine นั้นไม่ทำให้เกิดรส แต่ taurine จะทำหน้าที่ช่วยปรับสภาพความเข้มข้นของสารละลายในเนื้อเยื่อให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของน้ำทะเล (osmoregulation) (Powell และคณะ, 1982) ส่วน arginine แม้จะไม่ทำให้เกิดรส แต่ก็ช่วยให้เกิดความรู้สึก continuity, thickness, complexity และ mildness (Fuke, 1994)

Watanabe, Yamanaka, และ Yamakawa (1992) ศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบของสารสกัดจากหอยเป่าชื่อ พบว่าองค์ประกอบของสารสกัดหลัก คือ ATP ADP และ AMP และมีปริมาณแปรผันตามฤดูกาล โดย AMP มีปริมาณค่อนข้างสูง ในขณะที่ IMP และ adenosine (Ado) ตรวจพบตลอดทั้งปีแต่พบในปริมาณเล็กน้อย ปริมาณของ ATP และสารประกอบที่เกี่ยวข้องจะสูงที่สุดในเดือนกันยายน ส่วนปริมาณกรดอะมิโนอิสระมีความแปรผันตามฤดูกาลเช่นกันโดยจะมีปริมาณสูงที่สุดในเดือนกันยายนและลดลงครึ่งหนึ่งในเดือนอื่น ๆ กรดอะมิโนอิสระชนิดหลักที่พบ ได้แก่ taurine (Tau), arginine (Arg), glutamine (Gln), glycine (Gly), glutamic acid (Glu), alanine (Ala) และ leucine (Leu) โดยในเดือนกันยายน Gln, Arg, Gly, Glu, Ala และ serine มีปริมาณสูงที่สุด ส่วน Tau ไม่มีความแปรผันตามฤดูกาล มีปริมาณ 1,000–1,300 มิลลิกรัม/100กรัม ตลอดทั้งปี และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าชื่อ ซึ่งได้แก่ AMP, Glu และ Gly พบว่ามีปริมาณสูงที่สุดในเดือนกันยายน (470 ไมโครโมล/กรัม) และต่ำที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ (130 ไมโครโมล/กรัม) ดังนั้นเนื้อหอยเป่าชื่อจึงมีรสชาติดีในฤดูร้อนเนื่องจากมีปริมาณองค์ประกอบของสารสกัดที่เป็นตัวให้กลิ่นรสสูง

Hatae และคณะ (1995) ศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบของสารสกัดของหอยเป่าชื่อชนิด *H. discus* พบว่าปริมาณ ATP และสารประกอบที่เกี่ยวข้อง กรดอะมิโนอิสระทั้งหมด oligopeptides ของหอยเป่าชื่อมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยจะมีปริมาณสูงสุดในฤดูร้อนและต่ำสุดในฤดูหนาว กรดอะมิโนอิสระที่มีปริมาณมากที่สุด คือ taurine รองลงมา ได้แก่ arginine, glycine, glutamine และ glutamic acid ตามลำดับ ทั้ง 2 ฤดู และ peptide-bond ที่มีปริมาณมากที่สุด คือ peptide-bond ของ glutamic acid กับ glutamine

Hwang และคณะ (1997) ศึกษาผลของฤดูกาลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอะมิโนอิสระในเนื้อและเครื่องในของหอยเป่าชื่อชนิด *H. diversicolor* พบว่ากรดอะมิโนอิสระที่มี

ปริมาณสูงที่สุด คือ taurine รองลงมา ได้แก่ arginine, glycine, glutamic acid และ alanine ตามลำดับ โดยเนื้อจะมีปริมาณสูงกว่าเครื่องใน และพบว่ากรดอะมิโนอิสระทั้งหมด, taurine และ กรดอะมิโนที่เป็นตัวให้รส ได้แก่ arginine, glycine, glutamic acid และ alanine ของตัวอย่างที่ เก็บในเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคมมีปริมาณสูงกว่าเดือนอื่นจึงสรุปได้ว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. diversicolor* จะมีรสชาติดีในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาว

Chiou และ Lai (2002) ศึกษาผลของอาหารที่ใช้เลี้ยงต่อปริมาณองค์ประกอบของสาร สกัดของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. diversicolor* โดยเปรียบเทียบระหว่างหอยเป่าฮื้อที่เลี้ยงด้วยสาหร่าย ผมนาง (*Gracilaria* sp.) กับอาหารสำเร็จ พบว่าหอยทั้งสองตัวอย่างมีกรดอะมิโนชนิดหลักที่พบ ได้แก่ taurine (Tau), arginine (Arg), glycine (Gly), glutamic acid (Glu), alanine (Ala), proline (Pro) และ serine (Ser) ตามลำดับ หอยที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จจะมีปริมาณ Gly, Glu, Ala, Pro และ Ser สูงกว่าหอยที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายผมนาง ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ก็ให้ผล เช่นเดียวกัน โดยมี AMP เป็นองค์ประกอบหลัก และเมื่อนำหอยทั้งสองตัวอย่างไปทดสอบทาง ประสาทสัมผัสด้านรสชาติพบว่าหอยเป่าฮื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จได้รับคะแนนดีกว่าหอยที่ เลี้ยงด้วยสาหร่ายผมนางโดยผู้ทดสอบให้เหตุผลว่าหอยที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จมีรสชาติดีกว่า และมีรสหวานกว่าหอยที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายผมนางในขณะที่รส umami ไม่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึง สรุปว่ากรดอะมิโนตัวสำคัญที่มีผลต่อรสหวาน คือ Gly เนื่องจากหอยทั้งสองตัวอย่างมีปริมาณ แตกต่างกันอย่างชัดเจนในขณะที่กรดอะมิโนที่ให้รสหวานตัวอื่น เช่น Ala, Ser และ Pro มีปริมาณ ไม่แตกต่างกันมาก

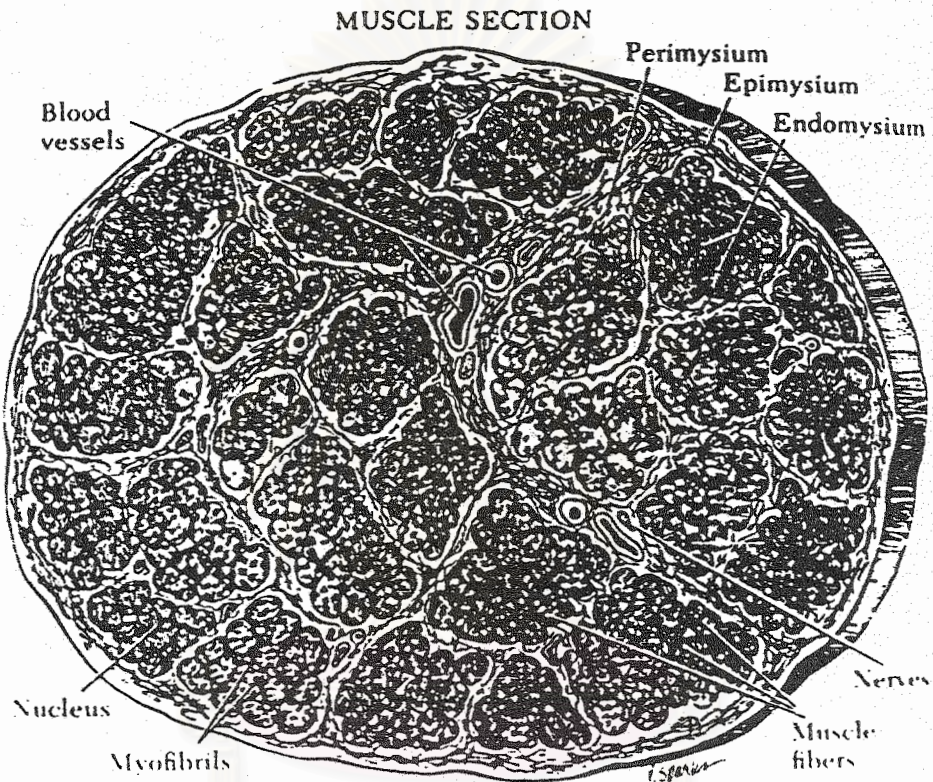
2.4 ความสัมพันธ์ของคอลลาเจนต่อเนื้อสัมผัสของสัตว์น้ำ

ปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้ออาหารของผู้บริโภคคืออาหารนั้นต้องมีคุณค่าทางโภชนาการ และมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ยอมรับได้ ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญอย่างหนึ่งของ เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์คือมีเนื้อสัมผัสที่ดี ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อ สัมผัส คือ คอลลาเจน (Ledward, 1984; Sikorski และ Borderias, 1994)

2.4.1 โครงสร้างของคอลลาเจนภายในกล้ามเนื้อ

คอลลาเจนเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ทำหน้าที่ห่อหุ้มกล้ามเนื้อ ไฟเบอร์และไมโอไฟบริล ประกอบด้วย อีพิมิเซียม (epimysium) เป็น

ส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่พบอยู่ด้านนอกสุด ทำหน้าที่เป็นผนังห่อหุ้มกลุ่มของกล้ามเนื้อ (group of muscle bundles) เข้าด้วยกัน เพอริไมเซียม (perimysium) เป็นส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ล้อมรอบแต่ละมัดกล้ามเนื้อ (muscle bundle) และเอนโดไมเซียม (endomysium) เป็นส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มแต่ละเซลล์กล้ามเนื้อ (มาลัยวรรณ อารยะสกุล และวรรณวิบูลย์ กาญจน-กฤษกร, 2540) ดังแสดงในรูป 2.2

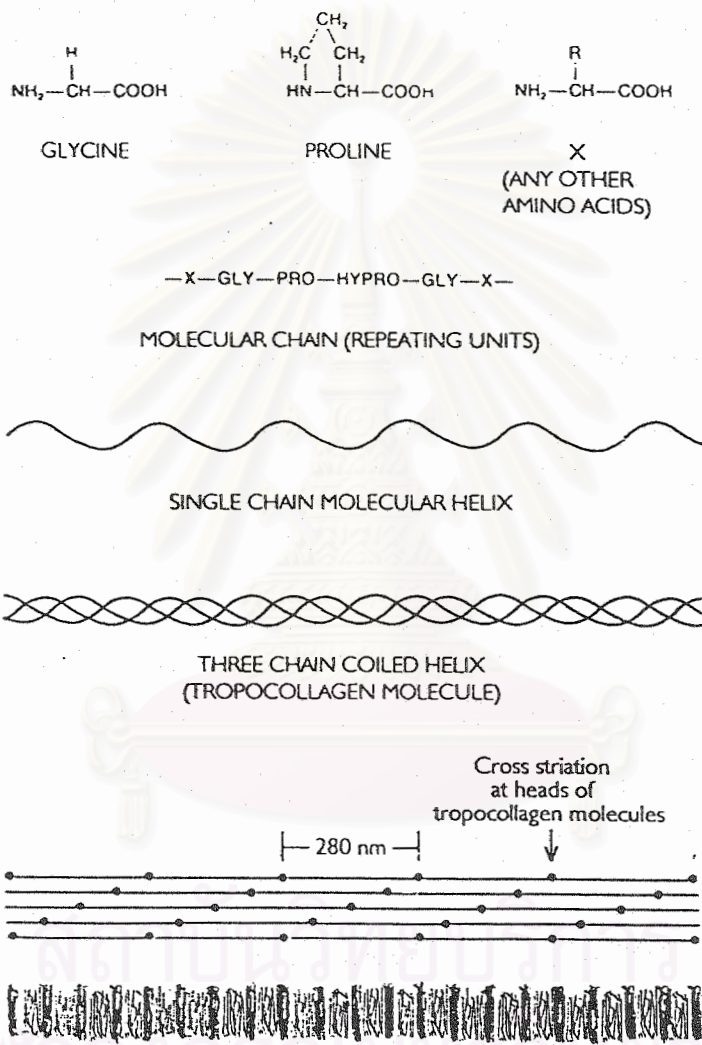


รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางแสดงการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน
ที่มา: Foegeding, Lanier และ Hultin (1996)

2.4.2 โครงสร้างและสมบัติทั่วไปของคอลลาเจน

คอลลาเจนเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในสัตว์ พบในกระดูก ผิวหนัง หลอดเลือดและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ประกอบด้วย glycine 33%, alanine 11%, proline 12%, hydroxyproline 11% และ hydroxylysine 1% คอลลาเจนประกอบด้วยโมเลกุลของโปรตีนที่มีน้ำหนัก 285,000 ขนาด $15 \text{ \AA} \times 2,800 \text{ \AA}$ เรียงกันเป็นแถว โมเลกุลในแต่ละแถวจะเหลื่อมกันเล็กน้อยและมีช่องว่าง

ระหว่างโมเลกุล สายเพปไทด์ในคอลลาเจนมีลำดับกรดอะมิโนที่ซ้ำกัน (Gly-X-Pro) ทำให้มีแนวโน้มที่จะม้วนเป็นเกลียวเวียนซ้าย เกลียวเวียนซ้ายสามเกลียวจะมาม้วนพันกันเกิดเป็นเกลียวใหญ่เวียนขวา (triple helix) ที่ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่ม NH และกลุ่ม CO ของพันธะเพปไทด์ในแต่ละสาย นอกจากนั้นยังสามารถเกิดสะพานเชื่อมต่อกันทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล (intra และ inter molecular cross-linkage) ทำให้คอลลาเจนมีความแข็งแรงมากขึ้น (ภิญโญ พานิชพันธ์, 2542) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลำดับกรดอะมิโนและโครงสร้างของโมเลกุลคอลลาเจน

ที่มา: Xiong (1997)

ลักษณะของคอลลาเจนโดยทั่วไปคล้ายคลึงกันต่างกันเพียงเล็กน้อยที่องค์ประกอบของกรดอะมิโน เป็นผลให้คุณสมบัติของคอลลาเจนต่างกันไป ปัจจัยสำคัญที่พบว่ามีอิทธิพลต่อสมบัติของคอลลาเจน คือ สายพันธุ์และชนิดของเนื้อเยื่อ

คุณสมบัติที่สำคัญของคอลลาเจน

1. เมื่ออยู่ในกรดหรือเบสเจือจาง คอลลาเจนจะไม่ละลายแต่จะพองตัว
2. ถ้าความเข้มข้นของกรดหรือเบสมากขึ้นจะทำลายสะพานเชื่อมของคอลลาเจนได้บ้างทำให้คุณสมบัติในการละลายเพิ่มขึ้น โดยพบว่าสัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายในกรดมากกว่าสัตว์อายุมาก
3. คอลลาเจนจะหดตัวลง 1/3 ของความยาวเดิม เมื่อได้รับความร้อนประมาณ 60°C ซึ่งระดับอุณหภูมินี้ คือ อุณหภูมิในการหดตัว (shrink temperature) การเปลี่ยนแปลงจะมากขึ้นกับชนิดของคอลลาเจน
4. ถ้าให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้คอลลาเจนหดตัวได้จะทำให้คอลลาเจนเปลี่ยนเป็นเจลาติน แต่ทั้งนี้ต้องมีน้ำอยู่ด้วยในขณะให้ความร้อน (มาลัยวรรณ อารยะสกุล และวรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษร, 2543)

ปริมาณคอลลาเจนมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยพบว่าเนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพต่ำจะมีปริมาณคอลลาเจนสูง ส่วนเนื้อที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณคอลลาเจนต่ำ (Bailey และ Light, 1989) คอลลาเจนชนิดที่มีบทบาทต่อเนื้อสัมผัสของอาหาร คือ คอลลาเจนชนิด III คอลลาเจนชนิดดังกล่าวมีลักษณะเป็นสายโซ่ซึ่งเป็นเกลียวเวียนซ้ายสามเกลียวมาหมุนพันกันเกิดเป็นเกลียวใหญ่ที่เวียนขวา (triple helix) กล้ามเนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพต่ำจะมีปริมาณคอลลาเจนชนิดนี้สูง นอกจากปริมาณคอลลาเจนแล้วการจัดเรียงตัวแบบเกิดพันธะเชื่อมขวางภายในเส้นใยคอลลาเจนของกล้ามเนื้อก็มีผลต่อคุณภาพของกล้ามเนื้อเช่นกันโดยกล้ามเนื้อที่มีสัดส่วนของ heat stable cross-links สูงจะมีคุณภาพต่ำ (Kijowski, 2001)

Ochiai และคณะ (1985) ศึกษาปริมาณคอลลาเจนจากกล้ามเนื้อเท้า กล้ามเนื้อ opercular และเครื่องในของ turban shell (*Batillus cornutus*) พบว่ากล้ามเนื้อเท้า กล้ามเนื้อ opercular และเครื่องใน มีปริมาณคอลลาเจน 8.2, 5.5 และ 0.9 กรัม/100กรัมของน้ำหนักเปียก หรือคิดเป็น 45, 34 และ 5 % ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดตามลำดับ และพบว่าปริมาณคอลลาเจนแปรผันโดยตรงกับค่า toughness ของ turban shell โดยกล้ามเนื้อเท้ามีค่า toughness สูงที่สุด (2.8 กิโลกรัม) รองลงมา คือ กล้ามเนื้อ opercular (0.7 กิโลกรัม) และเครื่องใน (0.15 กิโลกรัม) ตามลำดับ

Sato และคณะ (1986) ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณคอลลาเจนและเนื้อสัมผัสของปลา 22 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณคอลลาเจนอยู่ในช่วง 0.34-2.19 % ของน้ำหนักเปียก หรือคิด

เป็น 1.6-12.4 %ของโปรตีนทั้งหมด ปริมาณคอลลาเจนขึ้นกับสายพันธุ์ ชนิดของกล้ามเนื้อ อายุ ฤดูกาล และอาหารที่ปลาได้รับ เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอลลาเจนกับเนื้อสัมผัส พบว่า ปลา sardine, argentine, rainbow trout และ horse mackerel ซึ่งมีปริมาณคอลลาเจนต่ำนั้นมีเนื้อสัมผัสนุ่ม ในขณะที่ปลาซึ่งมีคอลลาเจนสูง เช่น Japanese eel, pike conger และ conger eel มีเนื้อสัมผัสเหนียวกว่า

Watabe และคณะ (1986) ศึกษาปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อเท้า กล้ามเนื้อ opercular และเครื่องในของ turban shell (*Batillus cornutus*) พบว่าปริมาณคอลลาเจนของกล้ามเนื้อเท้า กล้ามเนื้อ opercular และเครื่องใน มีปริมาณ 45, 34 และ 5 %ของโปรตีนทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่พบว่าเส้นใยไมโอไฟบริลของกล้ามเนื้อเท้าจะมีเส้นใยคอลลาเจนล้อมรอบ เส้นใยคอลลาเจนดังกล่าวมีความหนาประมาณ 1 ไมโครเมตร ส่วนกล้ามเนื้อ opercular มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยคล้ายกัน แต่เส้นใยคอลลาเจนที่ล้อมรอบบางกว่า ในขณะที่บริเวณเครื่องในนั้นเส้นใยไมโอไฟบริลมีเส้นใยคอลลาเจนล้อมรอบอยู่น้อยมาก

Mizuta และคณะ (1994) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอลลาเจนและเนื้อสัมผัสของสัตว์จำพวก crustaceans 16 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณคอลลาเจนมีความแปรผันตามสายพันธุ์ อยู่ในช่วง 0.04-0.58 %ของน้ำหนักเปียก หรือ 0.4-3.5 %ของโปรตีนทั้งหมด และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณคอลลาเจนและเนื้อสัมผัส พบว่ากุ้งซึ่งมีปริมาณคอลลาเจนสูงจะมีเนื้อสัมผัสเหนียว ส่วนปูซึ่งมีปริมาณคอลลาเจนต่ำมีเนื้อสัมผัสนุ่มกว่า

2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคอลลาเจนและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อ

หอยเป่าฮื้อเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมไปทั่วโลกเนื่องจากมีลักษณะพิเศษ คือรสชาติดีและเนื้อสัมผัสเหนียวจึงนิยมบริโภคแบบดิบ ๆ เนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อมีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของโปรตีน ซึ่งโปรตีนตัวสำคัญที่มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อแตกต่างกัน คือ คอลลาเจน

James และ Olley (1971) รายงานว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อบริเวณ epipodium และ pedal sole ซึ่งมีปริมาณคอลลาเจนสูงจะเหนียวมาก ในขณะที่กล้ามเนื้อบริเวณ adductor ที่มีปริมาณคอลลาเจนต่ำกว่าเนื้อจะนุ่มกว่า

Olaechea และคณะ (1993) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอลลาเจนกับค่า toughness ของหอยเป่าฮื้อ 4 ชนิด ได้แก่ *H. discus*, *H. gigas*, *H. seibodii* และ *H. discus hannai* พบว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. discus* มีปริมาณคอลลาเจน และ ค่า toughness สูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ *H. seibodii*, *H. gigas* และ *H. discus hannai* ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปริมาณคอลลาเจนมีความสัมพันธ์กับความเหนียวของเนื้อหอยเป่าฮื้อ เมื่อปริมาณคอลลาเจนเพิ่มขึ้นเนื้อหอยเป่าฮื้อจะเหนียวขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคอลลาเจนมีความแปรผันตามฤดูกาลโดยตัวอย่างที่เก็บในเดือนกรกฎาคมจะมีปริมาณคอลลาเจนและค่า toughness ต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บในช่วงเวลาอื่น และเมื่อศึกษาการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนภายในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยใช้กล้ามเนื้อบริเวณ epipodium, pedal sole และ adductor ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. discus* เป็นตัวแทนในการศึกษา พบว่ากล้ามเนื้อจากส่วนต่าง ๆ ของหอยเป่าฮื้อมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยภายในกล้ามเนื้อที่คล้ายกัน ประกอบด้วยเส้นใยไมโอไฟบริลที่ล้อมรอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน แต่แตกต่างกันที่ความหนาของเส้นใย คอลลาเจน โดยบริเวณ epipodium มีเส้นใยคอลลาเจนหนาที่สุด รองลงมา ได้แก่ บริเวณ pedal sole และ adductor ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ก็สอดคล้องกับค่า toughness ที่พบว่าบริเวณ epipodium มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือบริเวณ pedal sole และ adductor ตามลำดับ

Hatae และคณะ (1995) ศึกษาผลของฤดูกาลต่อเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. discus* พบว่าปริมาณคอลลาเจนสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อและแปรผันตามฤดูกาล โดยในช่วงฤดูร้อนปริมาณคอลลาเจนต่ำที่สุด (9.34 %ของโปรตีนทั้งหมด) เนื้อหอยเป่าฮื้อนุ่ม ขณะที่ในฤดูหนาวมีปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุด (30.8 %ของโปรตีนทั้งหมด) เนื้อหอยเป่าฮื้อเหนียว ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่พบว่าในฤดูหนาวเส้นใยคอลลาเจนจะเป็นเส้นใยขนาดเล็ก ๆ เรียงตัวกันแน่นกว่าในฤดูร้อน

2.5 กระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน

การให้ความร้อนเป็นวิธีการที่สำคัญที่สุดวิธีหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหาร ทั้งนี้เพื่อให้อาหารมีคุณภาพการบริโภคตามต้องการ นอกจากนี้การให้ความร้อนยังเป็นวิธีในการแปรรูปอาหาร มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อยับยั้งการเน่าเสียของอาหารและการสร้างสารพิษจากจุลินทรีย์ในอาหาร ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารนั้นรวมทั้งพยาธิและแมลงต่าง ๆ

ประโยชน์ที่สำคัญอื่น ๆ ของการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาหาร ได้แก่

1. การทำลายองค์ประกอบในอาหารที่ทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลงไป
2. การเพิ่มความสามารถในการย่อยขององค์ประกอบในอาหาร
3. การเปลี่ยนสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส

2.5.1 วิธีการให้ความร้อนกับอาหาร

การทำให้อาหารสุก (cooking)

การทำให้อาหารสุกมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้อาหารมีความอร่อยและมีผลต่อการถนอมอาหารด้วย บางครั้งทำให้อาหารย่อยสลายได้ง่ายเมื่อบริโภค การทำให้สุกทำได้หลายวิธี ได้แก่ การอบ (baking) การผิงอัง (broiling) การย่าง (roasting) การต้มเคี่ยว (boiling) การทอด (frying) การต้มเปื่อย (stewing) เป็นต้น

การลวก (blanching)

การลวกเป็นการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบก่อนนำไปแปรรูปในกระบวนการถัดไป มีจุดประสงค์เพื่อทำลายเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงคุณภาพเช่นด้านสีและกลิ่นรส

การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization)

การพาสเจอร์ไรซ์เป็นการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากโดยมุ่งทำลายแบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างสปอร์และก่อให้เกิดโรคกับมนุษย์ (pathogenic bacteria)

การสเตอริไลซ์ (sterilization)

การสเตอริไลซ์เป็นวิธีการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งอาจเป็นอุณหภูมิภายใต้ น้ำเดือดหรือสูงกว่าเพื่อทำลายสิ่งมีชีวิตทั้งหลายรวมทั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ให้หมดไป แต่ในทางอุตสาหกรรมอาหารสามารถทำได้เพียงให้ความร้อนเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสียและทำให้ผู้บริโภคปลอดภัยเมื่อบริโภคอาหารนั้นภายใต้สภาวะการเก็บรักษาและขนถ่ายในสภาวะปกติ

การนำอาหารมาบรรจุกระป๋องเป็นวิธีการถนอมรักษาอาหารไว้เพื่อบริโภคเป็นเวลานานโดยที่อาหารจะถูกบรรจุอยู่ในกระป๋องซึ่งทำให้เกิดสุญญากาศระหว่างการปิดผนึก แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม กระป๋องจะทำหน้าที่ป้องกันอาหารจาก

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ภายนอก โดยทั่วไปในการฆ่าเชื้ออาหารนั้นจะใช้ความร้อนในปริมาณเพียงพอที่จะทำให้อาหารระบองมีสภาพปราศจากเชื้อแบบเชิงการค้า (commercial sterility) เท่านั้น เพราะการฆ่าเชื้ออาหารจะต้องใช้ความร้อนปริมาณสูง ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะและคุณค่าของอาหารเสียไป (มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2545)

2.5.2 ผลของกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงที่เห็นชัด ได้แก่ การสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) การหดตัว (shrinkage) ของกล้ามเนื้อ และทำให้เนื้อสัมผัส (texture) ของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (denaturation)

โปรตีนที่พบภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์และในของเหลวต่าง ๆ ในร่างกายสัตว์เป็นโปรตีนธรรมชาติ (native protein) คือ โปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นเองตามธรรมชาติ และมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ง่ายเมื่ออยู่ในภาวะที่เปลี่ยนไปจากธรรมชาติหรือสัมผัสกับสารเคมีต่าง ๆ ดังนั้นสมบัติของโปรตีนที่เปลี่ยนไป จึงใช้เป็นตัวชี้บ่งว่ามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนไปจากธรรมชาติ สมบัติของโปรตีนที่เปลี่ยนไป เช่น การละลาย การรวมตัวกัน และการตกตะกอนของโปรตีน

โปรตีนแต่ละชนิดจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติในภาวะที่แตกต่างกันและมีวิธีการทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติได้หลายวิธี วิธีหนึ่ง คือ การให้ความร้อน โปรตีนในเนื้อสัตว์จะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติได้ตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 57 ถึง 75 °C ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการหดตัวของเนื้อสัตว์ (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2539)

ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเนื้อสัตว์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัส โดยความร้อนมีผลทำให้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันบริเวณ อีพีมิเยียม เพอร์มิเยียม และเอนโดมิเยียมหดตัว เกิดการสูญเสียน้ำ (Light, Voyle และ Champion, 1984) อุณหภูมิที่ทำให้ คอลลาเจนหดตัวนั้นขึ้นกับชนิดและลำดับของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล

คอลลาเจนจะเริ่มสูญเสียโครงสร้างไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °C (Dunajski, 1979) เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวจะไปรบกวนพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุล คอลลาเจนทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้นซึ่งความสามารถในการละลายของคอลลาเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่อ อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น (Lawrie, 1968) และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 70 °C จะทำให้ คอลลาเจนบริเวณเอนโดไมเซียมหดตัวอย่างถาวร ที่อุณหภูมิ 80 °C คอลลาเจนบริเวณ เพอริไมเซียมจะเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน (gelatinization) และที่อุณหภูมิ 90 °C โครงสร้างของ กล้ามเนื้อจะสูญเสียไป แต่ยังคงเห็นส่วนที่เป็นซาร์โคเมอร์ (sarcomere) (Cheng และ Parrish, 1976; Jones, Carrol, และ Cavanaugh, 1977) สำหรับกรณีที่มีน้ำอยู่ในระบบระหว่างให้ความ ร้อนจะทำให้พันธะเพปไทด์ของคอลลาเจนที่หดตัวถูกไฮโดรไลซ์เปลี่ยนไปเป็นเจลาตินที่ละลายน้ำ ได้ทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น (Ledward, 1984) แต่อย่างไรก็ตามสัตว์ที่มีอายุมากคอลลาเจนจะมี ปริมาณพันธะเชื่อมขวางสูงอยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อหดตัวจะทำให้เนื้อสัมผัสเหนียวขึ้น เนื่องจากมีการบีบน้ำออกมาจากระบบ

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์นั้นไม่ได้เกิดจากการ เปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเพียงอย่างเดียวยังเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ myofibrillar protein ด้วย ซึ่งมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์เหนียวขึ้น เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ ประมาณ 50 °C จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมาก โดย myofibrillar protein จะเริ่มอัดตัวกัน ที่ อุณหภูมิ 60 °C เส้นใยบาง (thin filament) และเส้นใยหนา (thick filament) รวมตัวกัน (coagulation) ตามด้วยการหดตัวของ myofibrillar protein (Cheng และ Parrish, 1976; Jones และคณะ, 1977) และที่อุณหภูมิ 70-90 °C actomyosin จะหดตัวและสูญเสียน้ำทำให้เนื้อสัมผัส เหนียว (Bailey และ Light, 1989)

Lawrie (1966) และ Visser และคณะ (1960) ได้สรุปผลของการให้ความร้อนกับ โครงสร้างของเนื้อสัตว์ว่าความร้อนมีผลทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้นเนื่องจากคอลลาเจนที่อยู่บริเวณ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน และมีผลทำให้เนื้อสัตว์เหนียวขึ้นเนื่องจากการรวมตัวกัน ของ myofibrillar protein

นอกจากการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสแล้วการให้ความร้อนยังมีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์ด้วย โดยพบว่าระหว่างให้ความร้อนวิตามิน B1, B6, B12 และ panthotenic acid จะสูญเสียไปประมาณ 1 ใน 3 ส่วนวิตามิน B2 และ nicotinic

acid จะสูญเสียไปประมาณ 1 ใน 10 นอกจากนี้ยังพบว่าระหว่างให้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลไรโบสหรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตัวอื่น ๆ กับ hypoxanthine, inosine หรือกรดอะมิโนมีผลทำให้เกิดกลิ่นรสขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนมากเกินไปอาจทำให้กรดอะมิโนสลายตัวเกิด H_2S และแอมโมเนียขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาวะที่ใช้ในการผลิตอาหารกระป๋อง (อุณหภูมิ 110-120 °C) จะเกิด H_2S จากการสลายตัวของ myofibrillar protein เมื่อรวมกับ metal sulphide จะทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป นอกจากการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เนื่องจาก H_2S แล้ว ระหว่างการให้ความร้อนเนื้อสัตว์จะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของ globin myohaemichromogen การเกิดปฏิกิริยา caramelization ของคาร์โบไฮเดรตและการเกิดปฏิกิริยา Maillard ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนอีกด้วย (Lawrie, 1968)

James และ Olley (1971) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อ black abalone (*H. ruber* Leach) ที่ผ่านการ sterilization พบว่าเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากก่อนให้ความร้อนกล้ามเนื้อบริเวณ adductor มีเนื้อสัมผัสนุ่ม ส่วนกล้ามเนื้อบริเวณเท้าเนื้อสัมผัสเหนียว แต่เมื่อผ่านการให้ความร้อนแล้วกล้ามเนื้อบริเวณ adductor จะเหนียวขึ้น ส่วนบริเวณเท้าเนื้อจะนุ่ม Kimura และ Kubota (1968) อธิบายว่าปกติแล้วเนื้อหอยเป๋าฮื้อบริเวณ adductor มีปริมาณคอลลาเจนต่ำกว่าบริเวณเท้า (1.4 และ 5.3 %ของน้ำหนักเปียกตามลำดับ) เมื่อผ่านการให้ความร้อน myofibrillar protein ที่มีมากบริเวณ adductor จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้เนื้อเหนียวขึ้น ส่วนคอลลาเจนในกล้ามเนื้อส่วนเท้าจะเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินเนื้อจึงนุ่ม

Otwell และ Hamann (1979) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของปลาหมึก (*Loligo pealei* L.) โดยนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25, 50, 60, 70 และ 80 °C และนำไปต้มในน้ำเดือด 100 °C เป็นเวลา 1, 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 นาที พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้ปริมาตรและน้ำหนักของปลาหมึกลดลงมากที่สุด และพบว่าความชื้นของปลาหมึกค่อย ๆ ลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 นาที จะทำให้ความชื้นลดลงประมาณ 2% แต่อย่างไรก็ตามความชื้นของปลาหมึกยังคงมีค่าสูงกว่า 70% แม้ว่าจะให้ความร้อนที่ 100 °C เป็นเวลา 64 นาที ส่วนสมบัติด้านเนื้อสัมผัสพบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C ไม่ทำให้เนื้อปลาหมึกมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากโปรตีนยังคง

สภาพอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 60 °C จะเริ่มสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก sarcoplasmic protein และ myofibrillar protein เริ่มเกิดการรวมตัวกัน และเมื่อให้ความร้อนถึง 100 °C พบว่ามีการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นมากทำให้เส้นใยไมโอไฟบริลจับตัวกันแน่นปริมาตรของเนื้อปลาหมึกจึงลดลง

Ochiai และคณะ (1985) ศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อค่า toughness บริเวณกล้ามเนื้อเท้า กล้ามเนื้อ opercular และเครื่องใน ของ turban shell โดยนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30–100 °C พบว่ากล้ามเนื้อบริเวณ upper region มีค่า toughness ลดลงจาก 2.9 กิโลกรัม (ตัวอย่างควบคุม) เป็น 1.1 กิโลกรัม บริเวณ middle adductor ลดลงจาก 1.4 กิโลกรัม เป็น 1.2 กิโลกรัม ส่วนบริเวณ opercular มีค่าลดลงจาก 0.8 กิโลกรัม เป็น 0.3 กิโลกรัม ในขณะที่เครื่องใน ค่า toughness ค่อนข้างคงที่แม้ว่าจะใช้อุณหภูมิสูง

Mochizuki และคณะ (1995) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของปลาหมึก 5 สายพันธุ์ หลังผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 63 และ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าความชื้นและโปรตีนของปลาหมึกพันธุ์ *Sepia esculenta* ลดลงเล็กน้อยเมื่อให้ความร้อน 63 °C เป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากที่อุณหภูมินี้แม้ว่า myosin คอลลาเจน และ sarcoplasmic protein จะเสียสภาพไปแล้วแต่ actin ยังคงสภาพอยู่ แต่เมื่อให้ความร้อน 80 °C เป็นเวลา 30 นาที ความชื้นของปลาหมึกจะลดลงมาก เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าว actin ได้เสียสภาพไปแล้ว ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Marten, Stabursvik และ Marten (1982) ที่รายงานว่าความชุ่มน้ำ (juiciness) มีความสัมพันธ์กับการเสียสภาพของ actin ภายในกล้ามเนื้อ ทำให้ปริมาณ cooking loss สูงขึ้น เมื่อใช้ความร้อนสูง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงจะเหนี่ยวนำให้ actin มาจับตัวกันแล้วปล่อยน้ำออกมาจากเส้นใยไมโอไฟบริล ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง หรือทำให้เส้นใยไมโอไฟบริลหดตัวเนื่องจากมี cross-linking แบบใหม่เกิดขึ้น

Hatae และคณะ (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *H. discus* ที่ต้มนาน 0, 15, 30, 60, 180 และ 360 นาที พบว่าระหว่างให้ความร้อนเนื้อของหอยเป่าฮือจะหดตัวทำให้สูญเสียน้ำและองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ออกมาในรูปของ drip เมื่อความร้อนนาน 360 นาที จะทำให้น้ำหนักของหอยเป่าฮือเหลือเพียง 60 % ของน้ำหนักเริ่มต้น ความชื้นก็ให้ผลเช่นเดียวกันโดยเมื่อให้ความร้อนนานขึ้นความชื้นจะลดลง ส่วนปริมาณโปรตีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การให้ความร้อนยังทำให้เนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยพบว่าค่า breaking stress ลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากให้

ความร้อนไป 15 นาที และเมื่อให้ความร้อนนานขึ้นเป็น 180 หรือ 360 นาที เนื้อหอยเป่าฮื้อจะนุ่มขึ้นเนื่องจากคอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน สำหรับองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อรสชาติของหอยเป่าฮื้อ พบว่าหลังจากให้ความร้อนเป็นเวลา 15 นาที ปริมาณ ATP ในสารสกัดลดลงจนเกือบหมด ในขณะที่ AMP มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ไม่พบ IMP เช่นเดียวกับในหอยสด ซึ่ง AMP ที่เกิดขึ้นนี้เป็นตัวที่ทำให้เกิดรส umami โดยการเกิด synergism กับ glutamic acid ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่วรส umami ของหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมี AMP สูงขึ้น

Kawashima และ Yamanaka (1996) ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ของหอย scallop โดยนำไปต้มที่อุณหภูมิ 30, 45, 60, 75 และ 90 °C และที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 90 นาที พบว่า ATP จะลดลงอย่างรวดเร็วตอนเริ่มให้ความร้อนและสลายตัวหมดเมื่ออุณหภูมิสูง 60 °C ในขณะที่ AMP มีปริมาณค่อย ๆ สูงขึ้นจนคงที่เมื่ออุณหภูมิในการความร้อนสูงถึง 90 °C และเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C AMP จะเริ่มเปลี่ยนไปเป็น adenosine

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดลอง

วัตถุประสงค์

หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* จากสถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

หอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* จากสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

กรดซัลฟูริก	(A. R.)
กรดบอริก	(A. R.)
เซลเนียมรีเอเจนท์มิกซ์เจอร์	(A. R.)
โซเดียมไฮดรอกไซด์	(A. R.)
โซเดียมคาร์บอเนต	(A. R.)
โบรมีนครีซอลกรีน	(A. R.)
ปิโตรเลียมอีเทอร์	(A. R.)
โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท	(A. R.)
เมทิลเรด	(A. R.)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโปรตีน

โซเดียมไฮดรอกไซด์	(A. R.)
ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	(A. R.)
กรดไตรคลอโรอะซิติก	(A. R.)
โพแทสเซียมคลอไรด์	(A. R.)
โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	(A. R.)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณคอแลลาเจน

กรดซัลฟูริก	(A. R.)
คอปเปอร์ซัลเฟต	(A. R.)

โซเดียมไฮดรอกไซด์	(A. R.)
ไดเมทิลอะมิโนเบนซาลดีไฮด์	(A. R.)
สารมาตรฐานกรดอะมิโนไฮดรอกซีโพรลีน	(A. R.)
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	(A. R.)

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารสกัด

กรดเปอร์คลอริก	(A. R.)
โบแตสเซียมไฮดรอกไซด์	(A. R.)
กรดไตรคลอโรอะซิติก	(A. R.)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ATP และสารอนุพันธ์

สารมาตรฐาน (บริษัท Oriental Yeast Co., Ltd., ประเทศญี่ปุ่น)	
adenosine 5'-triphosphate, disodium (ATP-Na ₂) purity 85.4 %	
adenosine 5'-diphosphate, disodium (ADP-Na ₂) purity 77.9 %	
adenosine 5'-monophosphate, disodium (AMP-Na ₂) purity 81.5 %	
inosine 5'-monophosphate, disodium (IMP- Na ₂) purity 88.8 %	
adenosine (Ado) purity 100 %	
inosine (Ino) purity 100 %	
hypoxanthine (Hyx) purity 99.0 %	

ตัวทำละลาย

เมทานอล	(HPLC grade)
น้ำบริสุทธิ์ เป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แบบ reverse osmosis และ deionization จนน้ำมีความต้านทานไฟฟ้า 18.2 Ω ซม	
กรดฟอสฟอริก	(A. R.)
โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไดไฮเดรต	(A. R.)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนอิสระ

Waters AccQ-Tag eluent A concentrate (gradient mobile phase)
Waters amino acid hydrolysate standard ampoules
60% acetonitrile
Waters AccQ.flour reagent kit ประกอบด้วย

- Waters AccQ. flour borate buffer
- Waters AccQ. flour reagent powder (2A)
- Waters AccQ. flour reagent diluent (2B)

สารเคมีที่ใช้ในการผลิตหอยเป่าฮื้อบรจระป่อง

เกลือแกง

กรดซิตริก

(A. R.)

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchi B-324)

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

ตู้อบ (Mettmert)

เตาเผา (Isotherm Muffle Furnace)

กระดาษกรอง Whatmam No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 เซนติเมตร

ถ้วยชั่งอะลูมิเนียม

ครุฑีเบล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโปรตีน

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchi B-324)

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

เครื่องตีปั่นไฟฟ้า (Waring blender, 32BL79)

เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Themo ICE, ICE Multi RF)

หลอดเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงขนาด 80 มิลลิลิตร

กระดาษกรอง Whatmam No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 เซนติเมตร

กระดาษกรอง Whatmam No.41 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 เซนติเมตร

ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

ปิเปตขนาด 10 และ 20 มิลลิลิตร

กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร

แท่งแก้วคน

นาฬิกาจับเวลา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารสกัด

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

เครื่องวัด pH (HORIBA, F21)

เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Thermo 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)

- เครื่องสูบน้ำของเหลว (Waters, 600E Multisolvent Delivery System)

- คอลัมน์ Asahipak GS 320 7G (Shodex, Japan) ขนาด 7.6 มิลลิเมตร × 500

มิลลิเมตร อนุภาค Hydrophobic polymer ขนาด 5 ไมครอน

- เครื่องตรวจวัด (Waters, 996 Photodiode Array)

เครื่องวัด pH (Schott, CG 840)

เครื่องคนสารละลายแม่เหล็กอัตโนมัติ (Thermix, 210T)

แท่งคนแม่เหล็ก

filter holder (Avantec, VT-500)

glass microanalysis holder (Avantec, KGS-47)

เข็มฉีด ขนาด 10 มิลลิลิตร

แผ่นกรองแบบบาง (Avantec, Japan) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร pore size

0.45 ไมครอน

แผ่นกรองแบบบาง (Avantec, Japan) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร pore size

0.45 ไมครอน (mix cellulose ester)

แผ่นกรองแบบบาง (Avantec, Japan) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร pore size

0.45 ไมครอน (PTFE)

ขวดใส่สารตัวอย่างขนาด 1 มิลลิลิตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนอิสระ

High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ประกอบด้วย

- ระบบฉีดตัวอย่าง (Waters Alliance 2695 with heater)
- คอลัมน์ Waters AccQ-Tag amino acid analysis column ขนาด 3.9 มิลลิเมตร × 150 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 4 ไมครอน
- เครื่องตรวจวัด (2475 Scanning Fluorescence Detector EX: 250 นาโนเมตร EM: 395 นาโนเมตร)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณคอแลลาเจน

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Shimadzu uv-visible recording spectrophotometer UV-240)

ตู้อบ (WTB Binder, E-53)

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, D-91126)

ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 100 และ 500 มิลลิลิตร

กระดาษฟีกา

กระดาษกรอง Whatman No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 เซนติเมตร

หลอดทดลอง

ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร

เทอร์โมมิเตอร์ 0 ถึง 100 °C

นาฬิกาจับเวลา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาเนื้อสัมผัส

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA-XT2)

หัววัดแบบกดรูน P100

หัววัดสแตนเลส P2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (JEOL JEM-200CX Electron microscope)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตหอยเป่าสีอบบรรจุกระป๋อง

กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ขนาด 300 × 407

เครื่องไล่อากาศ (Blancher)

เครื่องปิดฝากระป๋อง (Seamer)

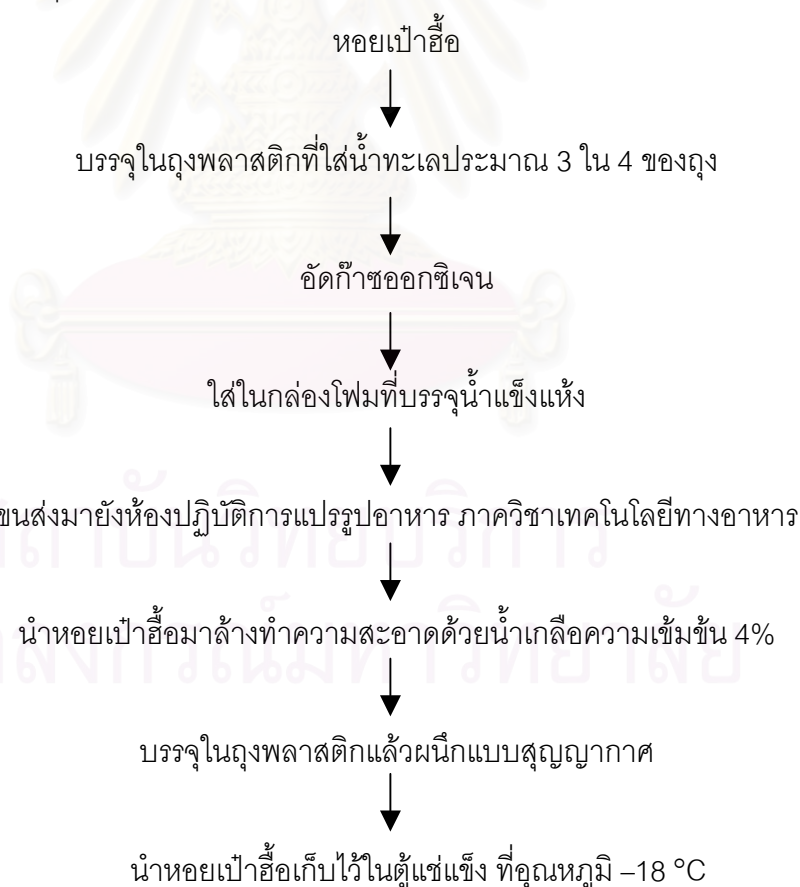
เครื่องฆ่าเชื้อ (HISAKA simulator retort model RCS-40RTGN)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

ใช้หอยเป่าฮื้อ 2 ชนิด ได้แก่ ชนิด *H. asinina* เลี้ยงที่สถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี และชนิด *H. ovina* เก็บจากธรรมชาติที่สถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเล และศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี โดยหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดมีขนาดประมาณ 40-50 ตัว/กิโลกรัม (รูปที่แสดงลักษณะภายนอกของหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิด แสดงไว้ในภาคผนวก ค)

การเตรียมวัตถุดิบ



นำถอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเพื่อละลายน้ำแข็ง จากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา ชั่งน้ำหนักของถอยทั้งตัว เนื้อ เปลือก และเครื่องใน วัดความยาวเปลือกด้วยเวอร์เนียร์ โดยสุ่มตัวอย่างถอยชนิดละ 20 ตัว

3.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีผลของถอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

นำถอยเป่าฮื้อที่ได้จากข้อ 3.1 มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา แกะเปลือกและเอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง นำเนื้อที่ได้มาสับให้ละเอียด

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถอยเป่าฮื้อ โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และไขมัน (A.O.A.C., 1995) โดยวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 6 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.3 ศึกษาชนิดและปริมาณโปรตีนในกล้ามเนื้อของถอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

นำถอยเป่าฮื้อที่ได้จากข้อ 3.1 มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา แกะเปลือกและเอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง นำเนื้อที่ได้มาสับให้ละเอียด

3.3.1 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณโปรตีนของถอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* (Miwa และ Yong, 1987)

(1) Total sarcoplasmic protein nitrogen (tspN)

นำเนื้อถอยเป่าฮื้อ 10 กรัม มาปั่นผสมกับสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องตีปั่นไฟฟ้า เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 9000 rpm (อุณหภูมิ 4 °C) เป็นเวลา 20 นาที ปิเปตส่วนใสปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์โปรตีน

คำนวณน้ำหนักของหอยเป่าฮื้อเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณโปรตีน

$$W_{\text{tspn}} = \frac{W_1}{W_1 + 200} \times 20$$

W_1 คือ น้ำหนักหอยเป่าฮื้อ (กรัม) ที่ใช้ในการสกัด sarcoplasmic protein

20 คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของส่วนใสที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

200 คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1M ที่ใช้ในการสกัด sarcoplasmic protein

(2) Salt soluble protein nitrogen (sspN)

นำเนื้อหอยเป่าฮื้อ 10 กรัม มาปั่นผสมกับสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.6M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องตีปั่นไฟฟ้า เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 9000 rpm (อุณหภูมิ 4 °C) เป็นเวลา 20 นาที ปิเปตส่วนใส ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์โปรตีน

คำนวณน้ำหนักของหอยเป่าฮื้อเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณโปรตีน

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

W_2 คือ น้ำหนักหอยเป่าฮื้อ (กรัม) ที่ใช้ในการสกัด salt soluble protein

20 คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของส่วนใสที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

200 คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.6M ที่ใช้ในการสกัด salt soluble protein nitrogen

(3) Residual intercellular protein and denatured protein nitrogen (rpN)

นำตะกอนที่ได้จากข้อ (2) มาล้างด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.6M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 9000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ล้างตะกอน 2 ครั้ง นำตะกอนที่ได้มาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1N ปริมาตร 15 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 9000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง เจือจางส่วนใสที่ได้ให้มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1N ปิเปตส่วนใสปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์โปรตีน

คำนวณน้ำหนักของหอยเป่าฮื้อเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณโปรตีน

$$W_{rpN} = \frac{W_3}{50} \times 20$$

W_3 คือ น้ำหนักหอยเป่าฮื้อ (กรัม) ที่ใช้ในการสกัด salt soluble protein

20 คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของส่วนใสที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

50 คือ ปริมาตรของ residual intercellular protein and denatured protein ที่สกัดได้

(4) Stroma protein nitrogen (spN)

นำตะกอนที่ได้จากข้อ (3) มาละลายน้ำแล้วนำไปวิเคราะห์โปรตีน

W_{spN} = น้ำหนักหอยเป่าฮื้อ (กรัม) ที่ใช้ในการสกัด salt soluble protein

นำส่วนที่สกัดได้แต่ละขั้นตอนมาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยใช้วิธี Kjeldahl method แล้วคำนวณปริมาณไนโตรเจนจากสูตร

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัม)} = \frac{\text{ปริมาตรกรดซัลฟูริก} \times \text{normality ของกรดซัลฟูริก} \times 28 \times 100}{\text{น้ำหนัก (กรัม) ที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมโปรตีนที่ละลายในสารละลายที่ใช้สกัด/100 กรัม)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน} \times 6.25$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (กรัม/100กรัม)} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมโปรตีนที่ละลายในสารละลายที่ใช้สกัด/100 กรัม)}}{1,000}$$

$$\% \text{ โปรตีนแต่ละชนิด} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีน (กรัม/100กรัม)}}{\text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมดของหอยเป่าฮื้อ (กรัม/100กรัม)}} \times 100$$

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 6 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.3.2 ศึกษาลักษณะการจัดเรียงตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อทั้ง 2 ชนิด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope) (ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงไว้ในภาคผนวก ก)

3.4 ศึกษาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

นำหอยเป่าฮื้อที่ได้จากข้อ 3.1 มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา แกะเปลือกและเอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง นำเนื้อที่ได้มาสับให้ละเอียด

3.4.1 วิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน

3.4.1.1 ขั้นตอนการย่อย (Kolar, 1990)

นำเนื้อหอยเป่าฮื้อน้ำหนัก 4 กรัม มาย่อยด้วยกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 7M ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เก็บสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.4.1.2 วิเคราะห์ปริมาณ hydroxyproline (Leach, 1960)

ปิเปตสารละลายที่ได้จากข้อ 3.4.1.1 มา 5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้ 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.05M ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2.5M ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำสารละลายที่ได้ไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 40 °C เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 6% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ให้ความร้อนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 3M ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และไดเมทิลอะซิโตนเบนซาลดีไฮด์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปิดฝาหลอดทดลองแล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 16 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 555 nm

นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากข้อ 3.4.1.2 ไปคำนวณปริมาณ hydroxyproline (ไมโครกรัม/2มิลลิลิตร) จากกราฟมาตรฐานแล้วคำนวณปริมาณ hydroxyproline (กรัม/100กรัม) จากสูตร

$$\text{ปริมาณ hydroxyproline (กรัม/100กรัม)} = \frac{(h \times 2.5)}{(m \times V)}$$

h คือ ปริมาณ hydroxyproline (ไมโครกรัม/2 มิลลิลิตร) ที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

m คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) ที่นำไปย่อยด้วยกรดซัลฟูริก

V คือ ปริมาตรของสารละลายที่กรองได้แล้วนำมาปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

คำนวณปริมาณคอลลาเจนของหอยเป่าฮื้อ (กรัม/100กรัม) โดยให้ปริมาณ hydroxyproline คิดเป็น 10.2% ของปริมาณคอลลาเจน (Kimura และ Kubota, 1968)

$$\text{ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม)} = \frac{\text{ปริมาณ hydroxyproline (กรัม/100กรัม)} \times 100}{10.2}$$

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 6 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.4.2 ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส

นำเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ได้จากข้อ 3.1 มาหั่นให้มีขนาดประมาณ 1 × 1 เซนติเมตร หน้าประมาณ 0.5 เซนติเมตร วัดค่า toughness ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer (TA-XT2) โดยใช้หัวเจาะสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร อัตราเร็วของหัวกดคงที่ 0.5 มิลลิเมตร/วินาที (Hatae และคณะ, 1995)

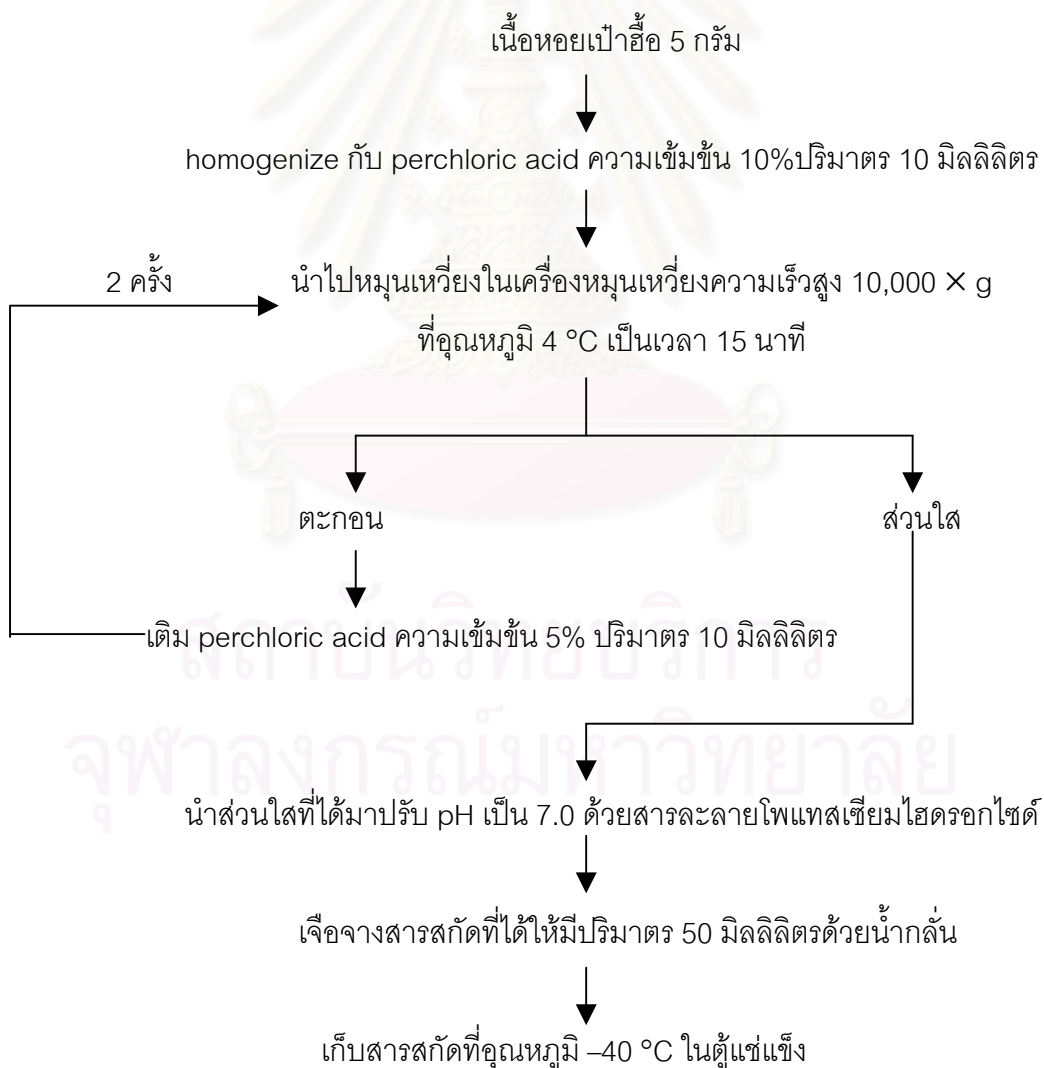
วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 6 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.5 ศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

นำหอยเป่าชื่อที่ได้จากข้อ 3.1 มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา แกะเปลือกและเอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง นำเนื้อที่ได้มาสับให้ละเอียด

3.5.1 วิเคราะห์ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ ดังนี้ ATP, ADP, AMP, IMP, adenosine (Ado), inosine (Ino) และ hypoxanthine (Hyx) ที่ได้จากการเตรียมสารสกัดด้วยวิธี HPLC (Hatae และคณะ, 1995)

วิธีการเตรียมสารสกัด



สภาวะในการวิเคราะห์

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ : 20 ไมโครลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายเฟสเคลื่อนที่: สารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจน

ฟอสเฟต ความเข้มข้น 200

มิลลิโมลาร์

pH ของสารละลายเฟสเคลื่อนที่: 2.90

อัตราการไหล: 1.0 มิลลิลิตร/นาที

คอลัมน์: Asahipak GS 320 7G ขนาด 7.6 มิลลิเมตร × 500 มิลลิเมตร

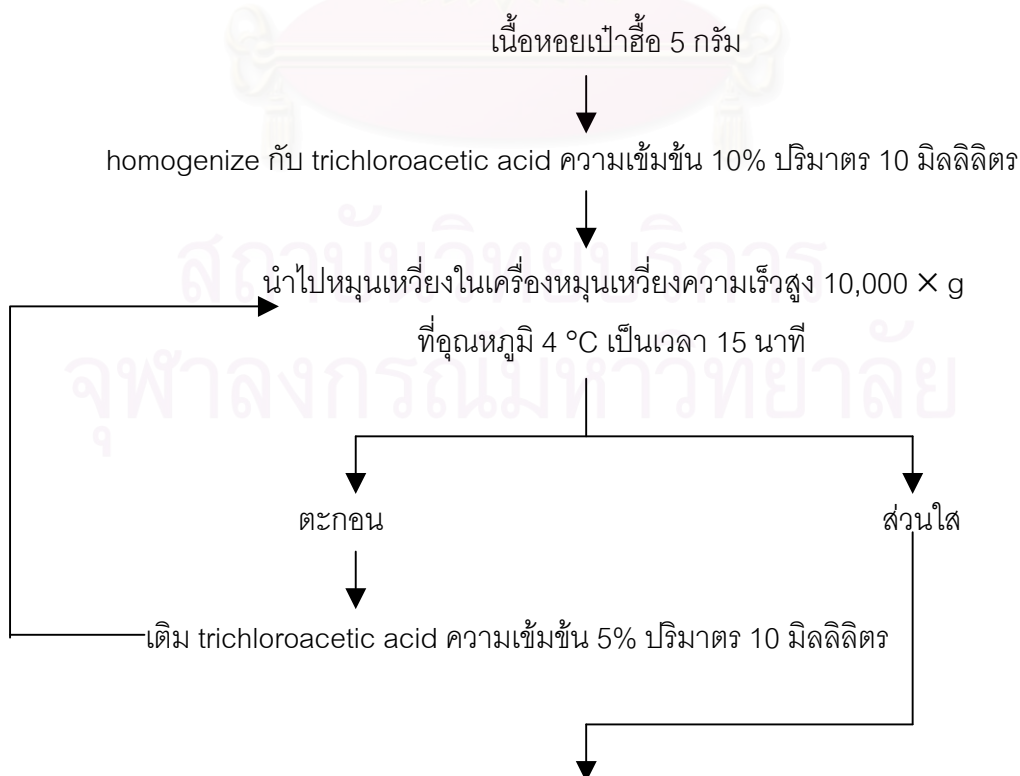
อนุภาค hydrophilic polymer ขนาด 5 ไมครอน

เครื่องตรวจวัด: photodiode array ที่ความยาวคลื่น 200–400 นาโนเมตร

ทดลอง 5 ซ้ำ แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและช่วงค่าต่ำที่สุดถึงค่าสูงที่สุด

3.5.2 วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอิสระ ด้วยวิธี HPLC (ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหิดล แสดงไว้ในภาคผนวก ก)

วิธีการเตรียมสารสกัด (Hatae และคณะ, 1995)



นำส่วนใสที่ได้มาปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น



เก็บสารสกัดที่อุณหภูมิ -40°C ในตู้แช่แข็ง

สภาวะในการวิเคราะห์

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้: 5 ไมโครลิตร

สารละลายเฟสเคลื่อนที่: AccQ Tag Eluent A และ acetonitrile

คอลัมน์: AccQ Tag column ขนาด 3.9 มิลลิเมตร \times 150 มิลลิเมตร

อนุภาค hydrophilic polymer ขนาด 4 ไมครอน

เครื่องตรวจวัด: scanning fluorescence detector (EX : 250 นาโนเมตร,

EM : 395 นาโนเมตร)

3.6 ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของ หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

3.6.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมี
และเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือ

3.6.1.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบ
ทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina*

นำหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มาล้างทำความสะอาด แกะเปลือกและ
เอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง แล้วบรรจุในถุง polypropylene ถุงละ 6 ตัว ปิดผนึก
แบบสุญญากาศ จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิ
60, 80 และ 100 $^{\circ}\text{C}$ เวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที ประเมินคุณภาพด้านต่าง ๆ
ดังนี้

3.6.1.1.1 วิเคราะห์ปริมาณ cooking loss (Hatae และคณะ, 1996)

ปริมาณ cooking loss (%) = $\frac{\text{น้ำหนักหอยเป่าฮือ ก่อนให้ความร้อน} - \text{น้ำหนักหอยเป่าฮือ หลังให้ความร้อน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักหอยเป่าฮือ ก่อนให้ความร้อน (กรัม)}} \times 100$

3.6.1.1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีความชื้นและโปรตีนเช่นเดียวกับข้อ 3.2

3.6.1.1.3 ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 3.4.1 และ 3.4.2

3.6.1.1.4 วิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (Pauline, Suzanne และ Linda, 1973)

นำเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนมาสับให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 5 กรัม บดผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 70 มิลลิลิตร ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยง $10,000 \times g$ เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1.2

วางแผนการทดลองแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.6.1.1.5 วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัด เช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 ทดลอง 5 ซ้ำ แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและช่วงค่าต่ำที่สุดถึงค่าสูงที่สุด

3.6.1.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina*

นำหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* มาล้างทำความสะอาด แกะเปลือกและเอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง แล้วบรรจุในถุง polypropylene ถุงละ 6 ตัว ปิดผนึกแบบสุญญากาศ จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C เวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที ประเมินคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

3.6.1.2.1 วิเคราะห์ปริมาณ cooking loss เช่นเดียวกับข้อ 3.6.1.1.1

3.6.1.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ความชื้นและโปรตีน เช่นเดียวกับข้อ 3.2

3.6.1.2.3 ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 3.4.1 และ 3.4.2

3.6.1.2.4 วิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ เช่นเดียวกับข้อ

3.6.1.1.3

วางแผนการทดลองแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.6.1.2.5 วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัด เช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 ทดลอง 5 ซ้ำ แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและช่วงค่าต่ำที่สุดถึงค่าสูงที่สุด

3.6.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนของโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อ จากภาพตัดขวาง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2 ใช้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที และ 100°C เป็นเวลา 120 นาที เป็นตัวแทนในการศึกษา

3.6.1.4 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) และการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) ใช้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา ซึ่งค่าต่าง ๆ มีคำจำกัดความดังนี้ (Forrest, 1975)

hardness หมายถึง แรง (กิโลกรัม)ที่ใช้เพื่อให้ได้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ต้องการ

cohesiveness หมายถึง ความแข็งแรงของพันธะภายในที่ทำให้เนื้ออาหารเกาะติดกันเป็นรูปร่าง

springiness หมายถึง ความสามารถที่จะกลับสู่สภาพเดิม ภายหลังการถูกดึง และแรงดึงถูกปล่อย

chewiness หมายถึง งาน (กิโลกรัม) ที่ต้องใช้เพื่อเคี้ยวอาหารแข็งให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะถูกกลืน

นำเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ มาหั่นให้มีขนาด 1×1 เซนติเมตร หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร วัดลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน และการทนต่อการเคี้ยว ด้วยวิธี texture profile analysis (TPA) โดยใช้หัววัดแบบกรุ่น P100 กำหนดให้อัตราเร็วของหัววัดคงที่ 100 มิลลิเมตร/นาที ระยะทางที่กดจากผิวตัวอย่าง 75% ของความสูงของตัวอย่าง

วางแผนการทดลองแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.6.1.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ ด้าน สี กลิ่นรส ความชุ่มน้ำ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยใช้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา ใช้แบบทดสอบชนิด Qualitative Descriptive Analysis with Scaling (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ค) ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน จำนวน 10 คน

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.6.2 ศึกษาผลของการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที ต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อ

นำหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มาแกะเปลือก เอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาด นำเนื้อส่วนที่ได้ไปลวกในน้ำเกลือความเข้มข้น 5% เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ล้างทำความสะอาดง่ายขึ้น นำเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ได้น้ำหนักประมาณ 80 กรัม บรรจุในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ขนาด 300 × 407 เติมสารละลาย (เกลือ 1% กรดซิตริก 0.2%) จากนั้นนำไปผ่านเครื่องไล่อากาศด้วยไอน้ำจนอุณหภูมิภายในกระป๋องไม่ต่ำกว่า 75 °C ปิดฝากระป๋องทันที นำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อ (HISAKA simulator retort model RCS-40RTGN) ที่อุณหภูมิ 114 °C เป็นเวลา 30 นาที (Brambila และคณะ, 2002) ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

3.6.2.1 วิเคราะห์น้ำหนักเนื้อ (drain weight) (James และ Olley, 1974)

$$\text{drain weight (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักหอยเป่าฮื้อหลังให้ความร้อน (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักหอยเป่าฮื้อก่อนให้ความร้อน (กรัม)}}$$

3.6.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ความชื้นและโปรตีน เช่นเดียวกับข้อ 3.2

3.6.2.3 ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 3.4.1 และ 3.4.2

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 6 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.6.2.4 วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัด เช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 ทดลอง 5 ซ้ำ แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและช่วงค่าต่ำที่สุดถึงค่าสูงที่สุด

3.6.2.5 วิเคราะห์จุลินทรีย์ (วิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข) โดยใช้หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา ได้แก่

- flat sour ชนิด thermophilic และ mesophilic
- thermophilic anaerobe
- putrefactive anaerobe

3.7 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้กับหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า (commercial)

เปรียบเทียบสมบัติของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* บรรจุกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เป็นเวลา 30 นาที ที่ผลิตได้กับหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องทางการค้าโดยใช้หอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องยี่ห้อ CALMEX ของบริษัท Ocean Garden Products, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา สารละลายที่บรรจุกระป๋องตามที่ระบุไว้ในฉลากประกอบด้วย น้ำ และเกลือไอโอดิซ์ (iodized salt) น้ำหนักสุทธิ 425 กรัม เปรียบเทียบสมบัติดังนี้

3.7.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ความชื้นและโปรตีน เช่นเดียวกับข้อ 3.2

3.7.2 วิเคราะห์ปริมาณคอแลลาเจน เช่นเดียวกับข้อ 3.4.1

3.7.3 ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน และการทนต่อการเคี้ยว เช่นเดียวกับข้อ 3.6.1.4

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

สุ่มตัวอย่างหอยเป่าฮื้อ 2 ชนิด ได้แก่ หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* เลี้ยงที่สถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี และหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* ที่เก็บจากธรรมชาติ ที่สถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี ชนิดละ 20 ตัว มาล้างทำความสะอาดสะอาดด้วยน้ำประปา ชั่งน้ำหนักหอยทั้งตัว เนื้อ เปลือก และเครื่องใน วัดความยาวเปลือก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

ชนิด	ความยาวเปลือก (cm)	น้ำหนักตัว ^{ns} (g)
<i>H. asinina</i>	4.72 ^a ± 0.14	20.95 ± 1.11
<i>H. ovina</i>	5.75 ^b ± 0.14	22.58 ± 1.89

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

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนของกล้ามเนื้อ เปลือก และเครื่องใน (% โดยน้ำหนักตัว) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

ชนิด	% โดยน้ำหนักตัว		
	กล้ามเนื้อ	เปลือก	เครื่องใน
<i>H. asinina</i>	52.40 ^b ± 5.38	11.80 ^a ± 1.59	35.80 ^b ± 6.00
<i>H. ovina</i>	21.60 ^a ± 0.77	53.87 ^b ± 1.53	24.54 ^a ± 1.53

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

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และชนิด *H. ovina* มีความยาวเปลือกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ความยาวเปลือกมากกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* แต่น้ำหนักตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และจากตารางที่ 4.2 พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ เปลือก และเครื่องในแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีส่วนของกล้ามเนื้อสูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* แต่มีส่วนเปลือกและเครื่องในต่ำกว่าตามลำดับ

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ด้วยวิธี A.O.A.C. (1995) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

ชนิด	ความชื้น (% โดยน้ำหนัก)	โปรตีน (% โดยน้ำหนัก)	ไขมัน ^{ns} (% โดยน้ำหนัก)	เถ้า (% โดยน้ำหนัก)
<i>H. asinina</i>	82.22 ^b ± 0.73	15.31 ^a ± 0.44	0.61 ± 0.09	1.00 ^a ± 0.05
<i>H. ovina</i>	77.60 ^a ± 0.14	19.40 ^b ± 0.84	0.69 ± 0.10	1.74 ^b ± 0.07

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

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีปริมาณความชื้น โปรตีน และเถ้า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีปริมาณโปรตีนและเถ้าต่ำกว่า แต่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ตามลำดับ ส่วนปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3 ชนิดและปริมาณโปรตีนในกล้ามเนื้อของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

4.3.1 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ด้วยวิธีของ Miwa และ Yong (1987) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโปรตีน (% ของโปรตีนทั้งหมด) ที่เป็นองค์ประกอบของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

ชนิด	sarcoplasmic ^{ns}	myofibrillar	alkali-soluble	stroma
<i>H. asinina</i>	16.07 ± 1.10	30.45 ^a ± 3.19	4.46 ^a ± 0.58	49.02 ^b ± 1.10
<i>H. ovina</i>	18.96 ± 2.91	36.48 ^b ± 1.10	8.49 ^b ± 1.37	36.07 ^a ± 3.63

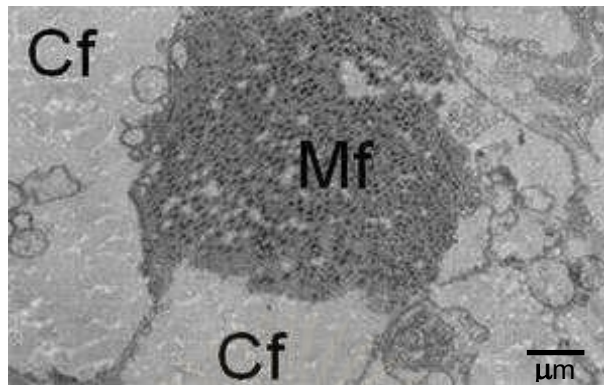
a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* พบว่าหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดมีปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar, alkai-soluble และ stroma แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่โปรตีนชนิด sarcoplasmic ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดมีโปรตีนชนิด myofibrillar และ stroma เป็นองค์ประกอบหลัก โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณโปรตีนชนิด stroma สูงกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* แต่มีปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar ต่ำกว่าตามลำดับ

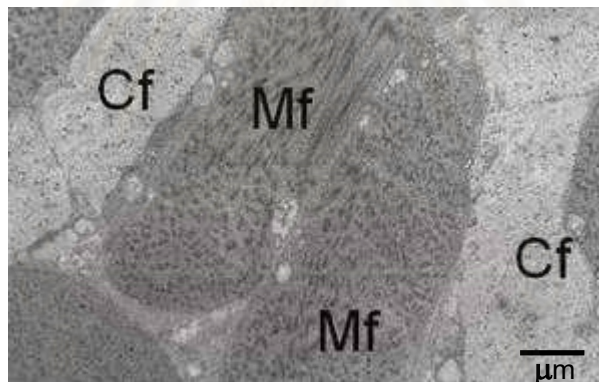
4.3.2 ศึกษาการจัดเรียงตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

จากการวิเคราะห์การจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina*

Cf =collagen fibrils Mf = myofibrils โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
(กำลังขยาย 12,300 เท่า)



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina*

Cf =collagen fibrils Mf = myofibrils โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
(กำลังขยาย 12,300 เท่า)

จากการวิเคราะห์การจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อของหอยเป่าฮื้อทั้ง 2 ชนิด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าหอยเป่าฮื้อทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อคล้ายกัน โดยประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนชนิด myofibrillar (Mf) ที่ล้อมรอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน (Cf) โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* จะมีชั้นของเส้นใยคอลลาเจนหนากว่าชนิด *H. ovina*

4.4 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

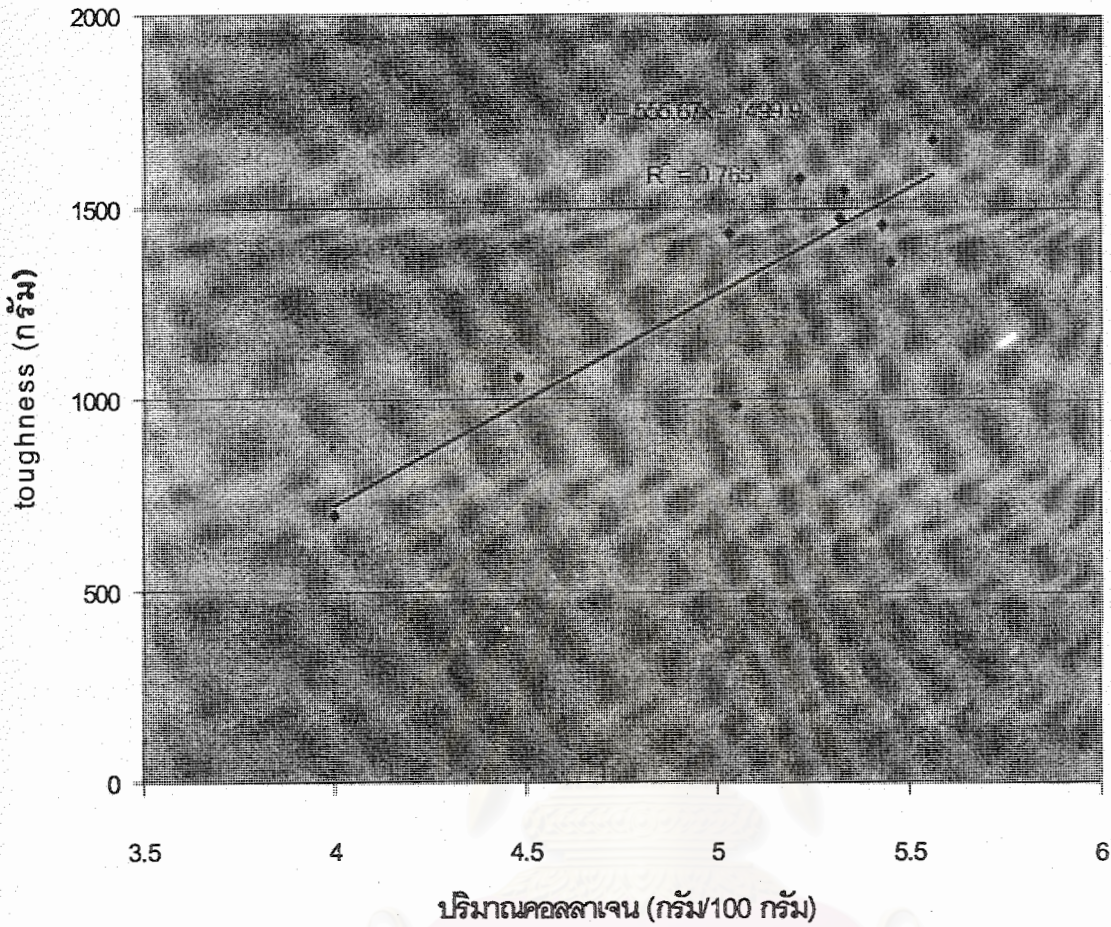
วิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน และ ค่า toughness ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100 กรัม) และ ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

ชนิด	คอลลาเจน	toughness
<i>H. asinina</i>	5.32 ^b ± 0.28	1492.05 ^a ± 55.81
<i>H. ovina</i>	4.39 ^a ± 0.21	2674.13 ^b ± 132.94

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

จากการวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน และ ค่า toughness ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* พบว่าหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดมีปริมาณคอลลาเจน และ ค่า toughness แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณคอลลาเจนสูงกว่าชนิด *H. ovina* แต่มีค่า toughness ต่ำกว่า และเมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอลลาเจนกับค่า toughness พบว่าปริมาณคอลลาเจนและค่า toughness ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีความสัมพันธ์กัน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ = 0.7650) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แต่ปริมาณคอลลาเจนและค่า toughness ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* ไม่มีความสัมพันธ์กัน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ = 0.1654)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) และค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 องค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัดจากหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* โดยปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ แสดงในตารางที่ 4.6 และปริมาณกรดอะมิโนอิสระ แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ATP และสารอนุพันธ์ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

สารประกอบ ¹	<i>H. asinina</i>	<i>H. ovina</i>
ATP	3 (3 - 4)	1 (1 - 2)
ADP	12 (8 - 16)	14 (11 - 18)
AMP	35 (32 - 38)	62 (58 - 67)
IMP	0	0
Adenosine	1 (0 - 1)	1 (0 - 1)
Inosine	5 (3 - 8)	3 (2 - 4)
Hypoxanthine	0	0

¹วิเคราะห์ 5 ซ้ำ แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและช่วงของค่าต่ำที่สุดถึงค่าสูงที่สุด

ตารางที่ 4.7 กรดอะมิโนอิสระ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

กรดอะมิโน	<i>H. asinina</i>	<i>H. ovina</i>
Aspartic acid	17.91	13.18
Serine	4.96	13.51
Glutamic acid	62.51	41.85
Glycine	105.56	75.21
Histidine	8.09	2.96
Arginine	792.48	385.32
Threonine	144.81	86.32
Alanine	24.08	27.30
Proline	4.96	7.27
Cysteine	0	56.25
Tyrosine	4.29	4.13
Valine	2.94	6.57
Methionine	0.82	1.69
Lysine	6.84	3.89
Isoleucine	2.02	3.85
Leucine	3.08	3.05
Phenylalanine	2.50	1.41

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณองค์ประกอบของสารสกัดของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ในตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีองค์ประกอบของสารสกัดกลุ่มนิวคลีโอไทด์เหมือนกัน คือ AMP แต่มีกรดอะมิโนอิสระชนิดหลักต่างกัน โดยหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* มีกรดอะมิโนอิสระชนิดหลัก คือ arginine, threonine, glycine, glutamic acid, alanine และ aspartic acid ส่วนหอยเป่าชื่อชนิด *H. ovina* นั้นประกอบด้วย arginine, threonine, glycine, cysteine, glutamic acid, aspartic acid และ serine

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสารสกัดที่เป็นตัวให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ ได้แก่ AMP, glycine และ glutamic acid พบว่าแม่หอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* จะมีปริมาณ AMP สูงกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* แต่มีปริมาณ glycine และ glutamic acid ต่ำกว่าตามลำดับ

4.6 ผลของการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

4.6.1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อ

4.6.1.1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่นำไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C และเวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลดังนี้

4.6.1.1.1 ปริมาณ cooking loss ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8

4.6.1.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและโปรตีนแสดงในตารางที่ 4.9–4.10

ตารางที่ 4.8 cooking loss (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนัก)
60	30	14.17 ^a \pm 0.62
	60	16.14 ^{ab} \pm 0.81
	120	13.29 ^a \pm 2.09
80	30	17.95 ^{bc} \pm 1.99
	60	19.67 ^{cd} \pm 1.89
	120	19.30 ^{cd} \pm 0.30
100	30	20.28 ^{cd} \pm 0.36
	60	21.13 ^d \pm 0.85
	120	15.55 ^{ab} \pm 0.50

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน มีผลต่อปริมาณ cooking loss ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณ cooking loss มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าปริมาณ cooking loss สูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 60 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ความชื้น (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนัก)
60	30	78.57 ^d \pm 0.11
	60	77.98 ^{cd} \pm 0.18
	120	77.62 ^d \pm 0.60
80	30	77.38 ^d \pm 0.12
	60	76.87 ^{cd} \pm 0.18
	120	75.45 ^{bc} \pm 0.02
100	30	71.92 ^a \pm 0.88
	60	73.72 ^b \pm 0.11
	120	75.25 ^{bc} \pm 1.94

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้นของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าความชื้นของหอยเป่าฮือต่ำที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.10 โปรตีน (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักเปียก)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ^{ns}
60	30	17.98 ^a \pm 0.45	83.74 \pm 2.11
	60	18.38 ^{ab} \pm 0.54	83.47 \pm 2.45
	120	18.85 ^{ab} \pm 0.21	84.23 \pm 0.95
80	30	19.28 ^{abc} \pm 1.58	82.76 \pm 3.50
	60	19.76 ^{bc} \pm 0.04	85.43 \pm 0.18
	120	20.64 ^{cd} \pm 0.37	84.05 \pm 1.53
100	30	24.38 ^e \pm 0.45	86.78 \pm 1.63
	60	21.96 ^d \pm 0.63	83.55 \pm 2.40
	120	21.34 ^d \pm 0.27	86.22 \pm 1.95

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณโปรตีนของ หอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนของหอย เป่าชื่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าปริมาณโปรตีนสูงสุด เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที แต่เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนเทียบ จากน้ำหนักแห้งพบว่าปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

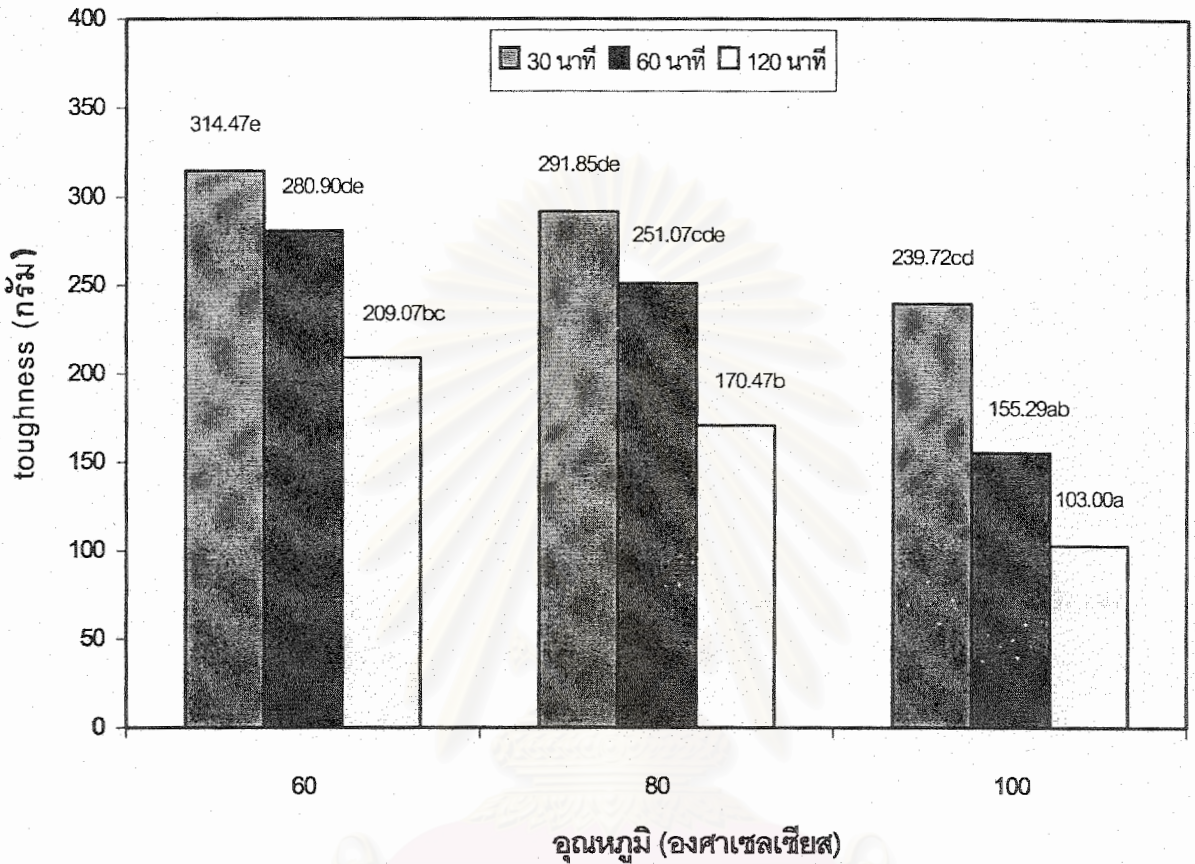
4.6.1.1.3 วิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน แสดงในตารางที่ 4.11 และค่า toughness แสดงในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.11 ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100 กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักเปียก)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
60	30	5.83 ^a \pm 0.08	27.22 ^{ab} \pm 0.40
	60	5.87 ^a \pm 0.20	26.66 ^{ab} \pm 0.90
	120	5.93 ^{ab} \pm 0.09	26.47 ^{ab} \pm 0.41
80	30	6.43 ^{abc} \pm 0.04	28.40 ^b \pm 0.16
	60	6.31 ^{abc} \pm 0.40	27.26 ^{ab} \pm 1.74
	120	6.58 ^{bc} \pm 0.41	26.80 ^{ab} \pm 1.67
100	30	6.92 ^c \pm 0.30	24.65 ^a \pm 1.05
	60	6.58 ^{bc} \pm 0.24	25.04 ^a \pm 0.91
	120	6.33 ^{abc} \pm 0.34	25.58 ^a \pm 0.91

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณคอลลาเจนของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณคอลลาเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที และเมื่อพิจารณาปริมาณคอลลาเจนที่เทียบจากน้ำหนักแห้งพบว่าให้ผลเช่นเดียวกันแต่ปริมาณไม่แตกต่างกัน



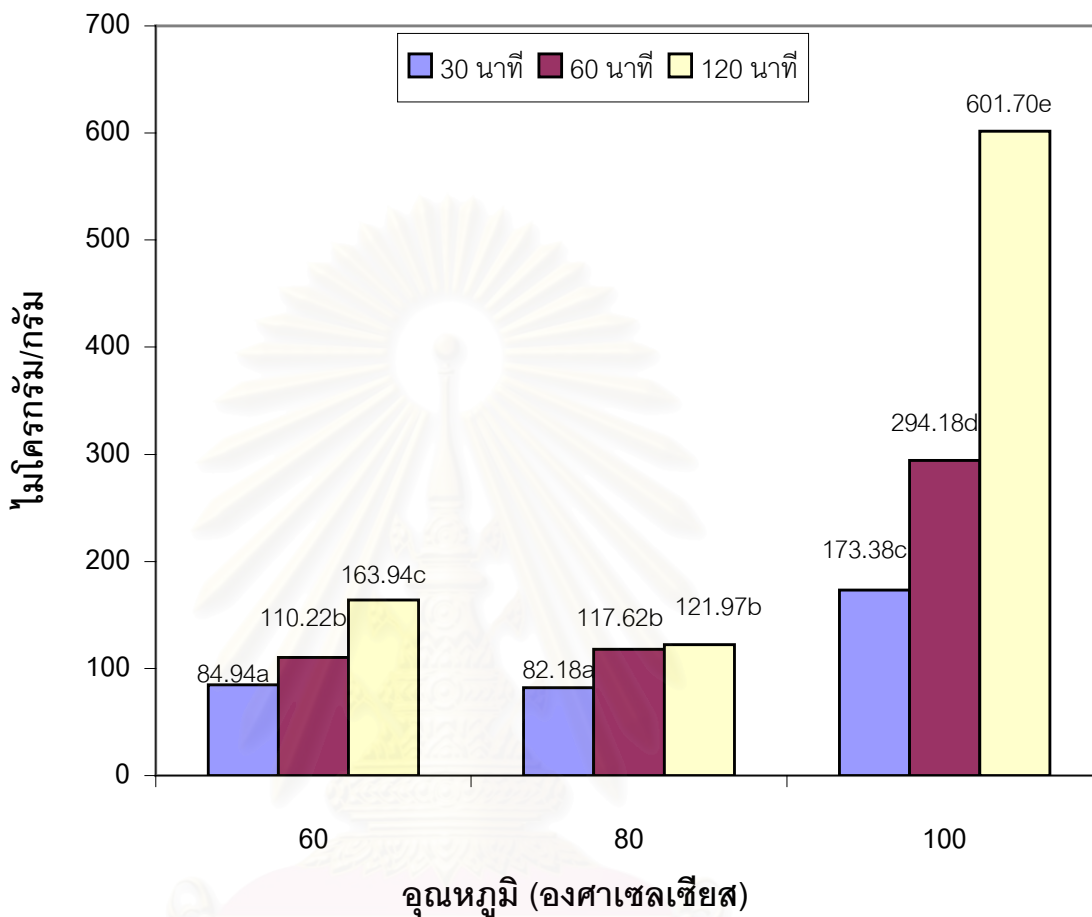
รูปที่ 4.4 ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

a, b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่าอุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า toughness ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า toughness ลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบค่า toughness ต่ำที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 120 นาที

4.6.1.1.4 วิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (ไมโครกรัม/กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

a, b.....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้นและพบว่าปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 120 นาที

4.6.1.1.5 วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัด ได้แก่ ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ATP และสารอนุพันธ์ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ*

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ATP	ADP	AMP	IMP	Ado	Ino	Hyx
60	30	1(0-1)	6(5-7)	18(12--29)	0	1(0-1)	9(8-10)	1(0-1)
	60	1(0-1)	3(2-4)	15(9-17)	0	1(1-2)	7(5-8)	1(0-2)
	120	1(1-2)	2(1-2)	16(11-21)	0	1(1-2)	6(3-9)	1(0-1)
80	30	0	4(3-5)	21(8-35)	0	0	8(6-10)	1(0-1)
	60	1(1-2)	4(4-5)	18(10-33)	0	0	7(6-9)	1(0-1)
	120	2(1-2)	5(3-8)	22(11-39)	0	0	9(7-11)	1(0-1)
100	30	1(0-2)	5(4-5)	20(11-30)	0	0	11(8-14)	1(0-1)
	60	1(0-2)	4(4-5)	19(16-32)	0	2(1-2)	8(6-14)	1(0-1)
	120	1(0-2)	5(4-7)	24(17-35)	0	2(2-3)	7(5-9)	1(0-1)

*วิเคราะห์ 5 ซ้ำ แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและช่วงของค่าต่ำที่สุดถึงค่าสูงที่สุด Ado, adenosine; Ino, inosine; Hyx, hypoxanthine

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสประเภท นิวคลีโอไทด์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* พบว่า ATP, ADP และ AMP มีปริมาณลดลง แต่ปริมาณ hypoxanthine เพิ่มขึ้น และไม่พบ IMP เช่นเดียวกับหอยสด

4.6.1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่นำไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C และเวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที

4.6.1.2.1 วิเคราะห์ปริมาณ cooking loss ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 cooking loss (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนัก)
60	30	19.44 ^a \pm 0.53
	60	21.48 ^b \pm 0.89
	120	27.43 ^c \pm 1.46
80	30	34.63 ^d \pm 1.63
	60	39.24 ^e \pm 0.60
	120	47.39 ^g \pm 0.20
100	30	43.96 ^f \pm 0.18
	60	39.13 ^e \pm 0.19
	120	35.63 ^d \pm 0.40

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน มีผลต่อปริมาณ cooking loss ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณ cooking loss มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าปริมาณ cooking loss สูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที

4.6.1.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและโปรตีนแสดงในตารางที่ 4.14-4.15

ตารางที่ 4.14 ความชื้น (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนัก)
60	30	75.10 ^e \pm 0.05
	60	74.48 ^e \pm 1.56
	120	73.69 ^{de} \pm 1.30
80	30	70.34 ^c \pm 0.45
	60	68.42 ^b \pm 0.29
	120	63.96 ^a \pm 0.16
100	30	67.73 ^b \pm 0.18
	60	72.42 ^d \pm 0.22
	120	74.34 ^e \pm 0.38

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่าอุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน มีผลต่อปริมาณความชื้นของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าความชื้นของหอยเป่าฮือต่ำที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 โปรตีน (% โดยน้ำหนัก) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาทีก)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักเปียก)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ^{ns}
60	30	21.09 ^a ± 1.56	84.68 ± 6.28
	60	21.92 ^a ± 0.50	85.87 ± 1.97
	120	22.83 ^a ± 0.26	86.76 ± 1.00
80	30	25.06 ^b ± 0.66	84.50 ± 2.24
	60	27.16 ^c ± 1.01	85.99 ± 3.20
	120	30.58 ^d ± 0.34	84.85 ± 0.95
100	30	26.74 ^{bc} ± 0.69	82.85 ± 2.13
	60	22.98 ^a ± 0.26	83.27 ± 0.95
	120	21.65 ^a ± 1.20	84.38 ± 4.69

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณโปรตีนของ หอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที แต่เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนที่เทียบจากน้ำหนักแห้งพบว่า ปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

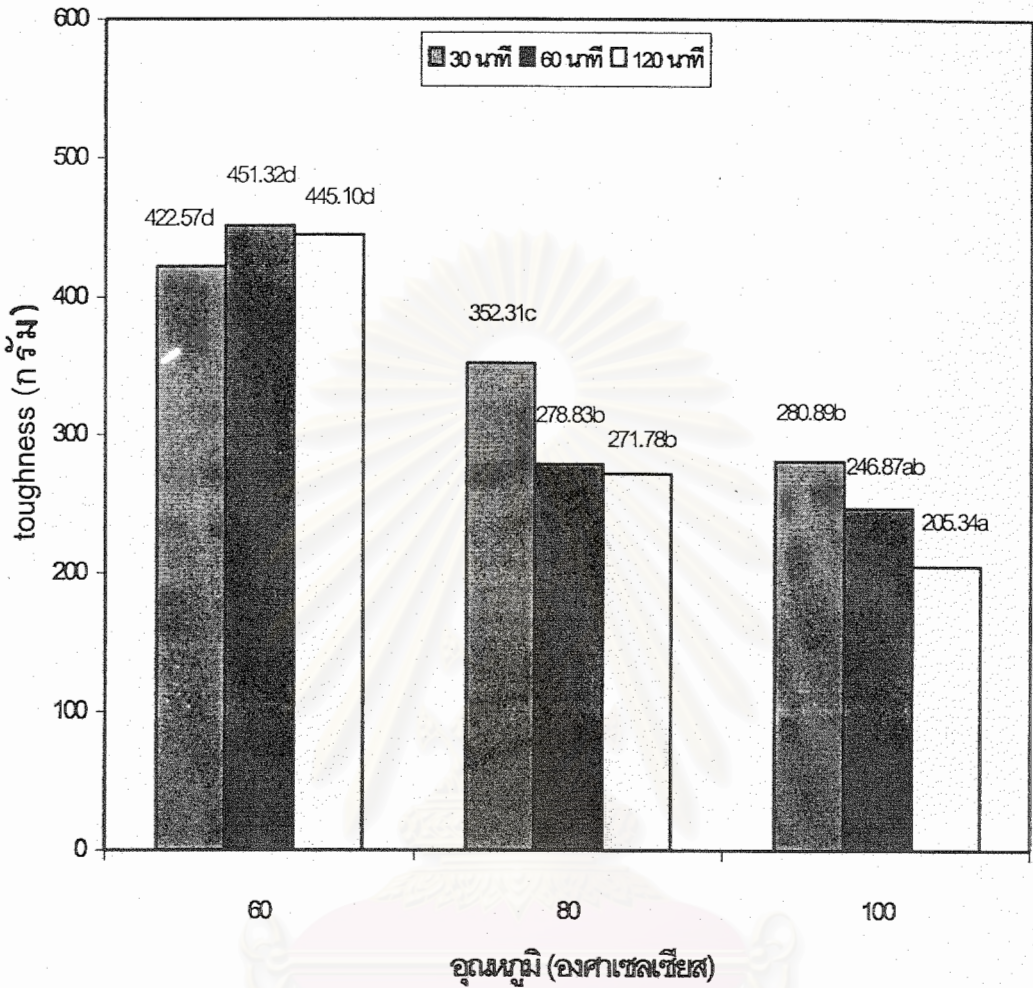
4.6.1.2.3 วิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน แสดงในตารางที่ 4.16 และค่า toughness แสดงในรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.16 ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักเปียก)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
60	30	4.53 ^a \pm 0.23	18.20 ^{ab} \pm 0.91
	60	4.86 ^a \pm 0.05	19.14 ^b \pm 0.20
	120	4.70 ^a \pm 0.20	17.87 ^{ab} \pm 0.76
80	30	5.59 ^b \pm 0.28	18.85 ^{ab} \pm 0.95
	60	6.05 ^{bc} \pm 0.03	19.16 ^b \pm 0.09
	120	6.46 ^c \pm 0.05	17.91 ^{ab} \pm 0.14
100	30	5.74 ^b \pm 0.50	17.79 ^{ab} \pm 1.53
	60	4.73 ^a \pm 0.12	17.16 ^a \pm 0.44
	120	4.57 ^a \pm 0.01	17.81 ^{ab} \pm 0.05

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณคอลลาเจนของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณคอลลาเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที และเมื่อพิจารณาปริมาณคอลลาเจนเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน แต่ปริมาณไม่แตกต่างกัน

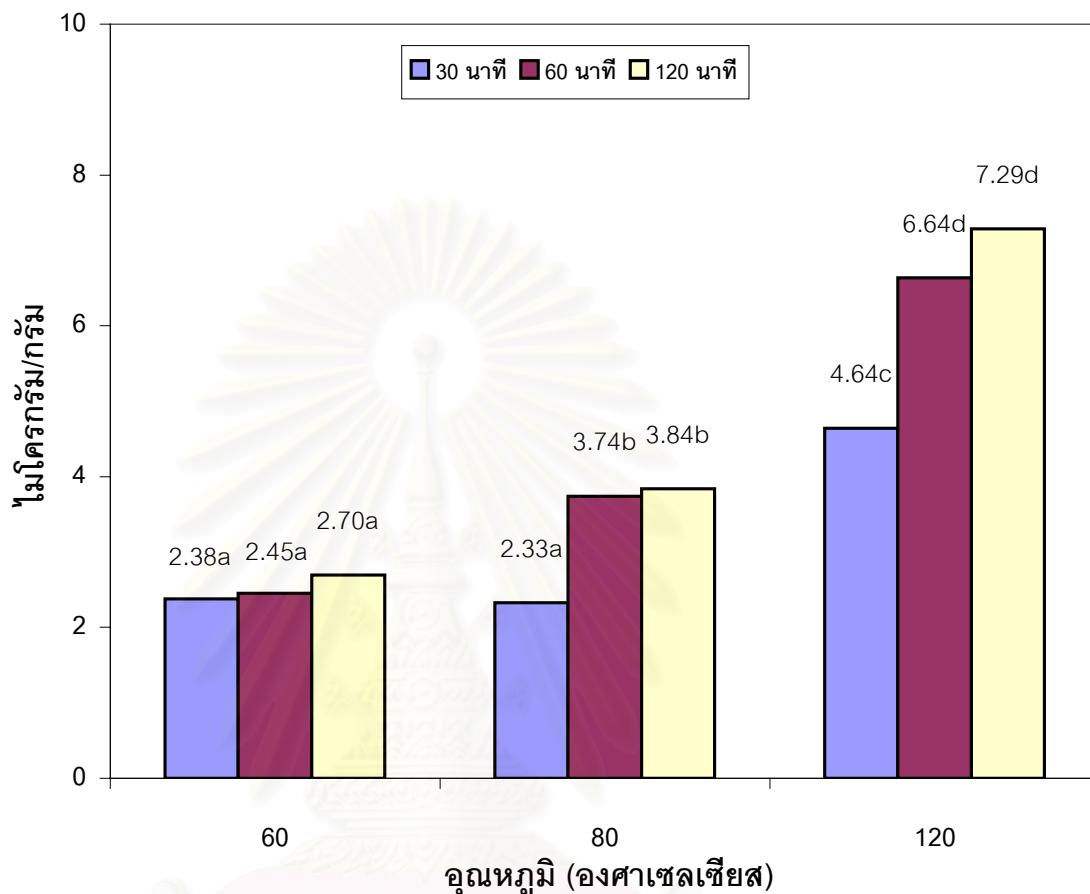


รูปที่ 4.6 ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

a, b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่าอุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า toughness ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า toughness ลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น และพบว่าค่า toughness ต่ำที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 120 นาที

4.6.1.2.4 วิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (ไมโครกรัม/กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

a, b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3×3 พบว่า อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้นและพบว่าปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงที่สุดเมื่อนำหอยเป่าฮือไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 120 นาที

4.6.1.2.5 วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัด ได้แก่ ปริมาณ ATP และ สารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.17

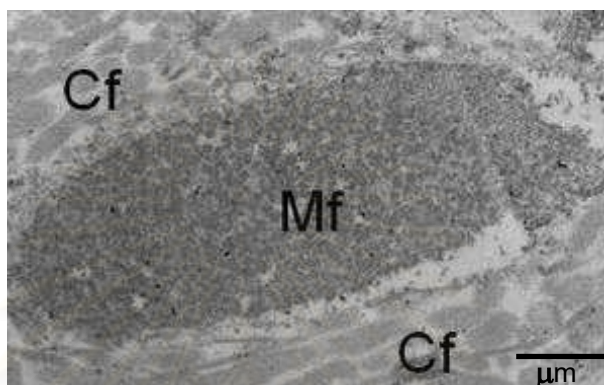
ตารางที่ 4.17 ATP และสารอนุพันธ์ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ *

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ATP	ADP	AMP	IMP	Ado	Ino	Hyx
60	30	1(0-1)	12(9-17)	57(41-76)	0	2(2-3)	4(3-6)	1(0-1)
	60	1(0-1)	11(9-14)	51(48-57)	0	2(1-2)	4(3-4)	1(0-1)
	120	1(0-1)	12(10-13)	55(50-60)	0	3(2-4)	10(9-12)	1(0-1)
80	30	1(1-2)	14(10-17)	58(54-65)	0	0	7(6-8)	1(0-1)
	60	1(0-2)	9(7-11)	49(43-67)	0	1(1-2)	5(3-7)	1(0-1)
	120	1(1-2)	11(8-16)	59(56-64)	0	1(0-2)	14(8-26)	1(0-1)
100	30	0	7(5-10)	48(43-52)	0	0	5(5-6)	1(0-1)
	60	1(0-1)	5(2-7)	50(21-65)	0	1(0-2)	7(5-9)	1(0-1)
	120	0	6(5-7)	60(57-72)	0	3(2-3)	10(7-12)	1(0-1)

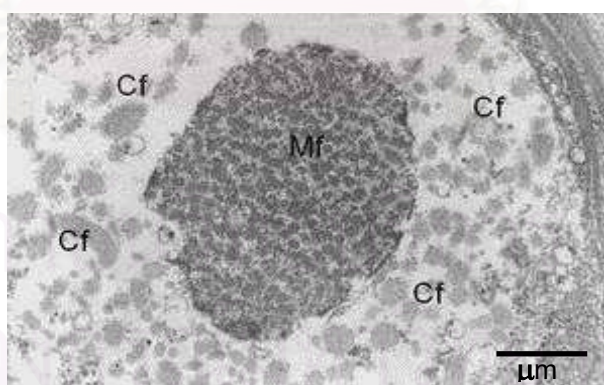
* วิเคราะห์ 5 ซ้ำ แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและช่วงของค่าต่ำที่สุดถึงค่าสูงที่สุด Ado, adenosine; Ino, inosine; Hyx, hypoxanthine

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสประเภทนิวคลีโอไทด์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* คือ ATP, ADP และ AMP สลายตัวไปเป็น inosine และ hypoxanthine ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบหลักยังคงเป็น AMP

4.6.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อ จากภาพตัดขวาง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ใช้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที และ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที เป็นตัวแทนในการศึกษา ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที Cf = collagen fibrils และ Mf = myofibrils โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (กำลังขยาย 12,300 เท่า)



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที Cf = collagen fibrils และ Mf = myofibrils โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (กำลังขยาย 12,300 เท่า)

4.6.1.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือด้านความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน และการทนต่อการเคี้ยว ใช้หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา โดยนำไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C และเวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		hardness (kg)	cohesiveness	springiness	chewiness (kg)
60	30	8.17 ^d ± 0.09	0.60 ^{abc} ± 0.01	0.83 ^a ± 0.02	3.96 ^{bc} ± 0.15
	60	8.20 ^d ± 0.58	0.57 ^a ± 0.03	0.80 ^a ± 0.03	3.97 ^{bc} ± 0.22
	120	7.83 ^d ± 0.06	0.62 ^{bcd} ± 0.01	0.83 ^a ± 0.05	4.09 ^c ± 0.11
80	30	7.22 ^c ± 0.16	0.67 ^e ± 0.01	0.84 ^{ab} ± 0.03	3.77 ^b ± 0.09
	60	6.70 ^b ± 0.20	0.67 ^e ± 0.03	0.93 ^d ± 0.02	4.04 ^c ± 0.18
	120	7.20 ^c ± 0.52	0.58 ^{ab} ± 0.01	0.92 ^d ± 0.01	3.87 ^{bc} ± 0.24
100	30	9.93E-3 ^a ± 1.16E-4	0.64 ^{cde} ± 0.03	0.93 ^d ± 0.02	5.73E-3 ^a ± 5.77E-5
	60	8.33E-3 ^a ± 3.51E-4	0.66 ^{de} ± 0.04	0.89 ^{cd} ± 0.01	4.67E-3 ^a ± 5.77E-5
	120	8.70E-3 ^a ± 4.36E-4	0.58 ^{bc} ± 0.04	0.87 ^{bc} ± 0.01	4.37E-3 ^a ± 1.53E-4

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric factorial CRD ขนาด 3 × 3 พบว่า อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า hardness และค่า cohesiveness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้นค่า hardness ลดลง และทำให้ค่า cohesiveness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพบว่าอุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า springiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า springiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น ส่วนอุณหภูมิมีผลต่อค่า chewiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า chewiness ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น

4.6.1.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อน ด้าน สี กลิ่นรส ความชุ่มน้ำ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ใช้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา โดยใช้แบบทดสอบชนิด Qualitative Descriptive Analysis with Scaling คะแนน 0-10 โดยให้คะแนน 0 มีลักษณะที่ไม่ดี และคะแนน 10 มีลักษณะที่ดีที่สุด ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 10 คน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 คะแนนด้านสี กลิ่นรส ความชุ่มน้ำ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	สี	กลิ่นรส	ความชุ่มน้ำ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
60	30	6.36 ^b ± 0.64	5.54 ^{ab} ± 0.61	5.54 ^a ± 0.60	5.98 ^{ab} ± 0.72	6.86 ^{bc} ± 0.81
	60	7.43 ^{bc} ± 0.85	5.45 ^a ± 0.77	6.53 ^b ± 0.83	5.86 ^{ab} ± 0.69	7.00 ^{bc} ± 0.83
	120	8.04 ^d ± 0.73	5.54 ^{ab} ± 0.64	6.96 ^{bc} ± 0.74	7.57 ^{de} ± 0.97	8.02 ^{de} ± 0.92
80	30	7.20 ^c ± 0.78	6.26 ^{bc} ± 0.87	7.35 ^c ± 0.89	7.71 ^{de} ± 0.96	7.11 ^{bc} ± 0.90
	60	8.13 ^d ± 0.67	6.59 ^c ± 0.90	6.41 ^b ± 0.83	7.02 ^{cd} ± 0.96	6.61 ^b ± 0.88
	120	4.30 ^a ± 0.66	8.22 ^d ± 0.70	8.38 ^d ± 0.79	8.25 ^{ef} ± 0.95	8.30 ^e ± 0.94
100	30	7.18 ^c ± 0.89	8.63 ^d ± 0.89	8.18 ^d ± 0.89	8.62 ^f ± 0.87	7.69 ^{cde} ± 0.90
	60	8.00 ^d ± 0.91	8.66 ^d ± 0.82	8.22 ^d ± 0.94	6.59 ^{ab} ± 0.72	7.25 ^{bcd} ± 0.98
	120	4.39 ^a ± 0.52	8.33 ^d ± 0.87	5.07 ^a ± 0.61	5.32 ^a ± 0.77	5.49 ^a ± 0.78

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 120 นาที มีคะแนนด้านความชอบรวมสูงที่สุดและเมื่อพิจารณาคะแนนด้านอื่นประกอบก็พบว่าให้คะแนนด้าน กลิ่นรส ความชุ่มน้ำ และเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์สูง คือ มีกลิ่นรสเฉพาะของหอยเป่าฮื้อ มีความชุ่มน้ำกำลังดีไม่แห้งหรือเปียกเกินไป และมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นดี ยกเว้นคะแนนด้านสีซึ่งได้รับคะแนนต่ำที่สุดเนื่องจากมีสีน้ำตาลเข้มเกินไป แต่อย่างไรก็ตามสมบัติที่เป็นลักษณะเด่นของเนื้อหอยเป่าฮื้อคือเนื้อสัมผัสและรสชาติดังนั้นผู้บริโภคจึงยอมรับตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 120 นาที มากที่สุด

4.6.2 ศึกษาผลของการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที ต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อ

นำหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มาแกะเปลือก เอาเครื่องในออก แล้วล้างทำความสะอาด นำเนื้อส่วนที่ได้ไปลวกในน้ำเกลือความเข้มข้น 5% นาน 2 นาที เพื่อล้างทำความสะอาด แล้วนำเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ได้น้ำหนักประมาณ 80 กรัม ไปบรรจุในกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ ขนาด 300 × 407 เดิมสารละลายบรรจุกระป๋อง (เกลือ 1% กรดซิตริก 0.2%) ผ่านเครื่องไล่อากาศด้วยไอน้ำให้อุณหภูมิภายในกระป๋องไม่ต่ำกว่า 75°C ปิดฝากระป๋องทันที นำเข้าเครื่องฆ่าเชื้ออุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติด้านเนื้อสัมผัส

4.6.2.1 วิเคราะห์น้ำหนักเนื้อ (drain weight) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 drain weight ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที

ชนิด	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนัก)
<i>H. asinina</i>	82.81 ^b ± 2.10
<i>H. ovina</i>	54.55 ^a ± 0.31

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

จากตารางที่ 4.20 พบว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มี น้ำหนักเนื้อ (drain weight) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีน้ำหนักเนื้อสูงกว่าชนิด *H. ovina*

4.6.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและโปรตีนแสดงในตารางที่ 4.21 และ 4.22

ตารางที่ 4.21 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที

ชนิด	ความชื้น (% โดยน้ำหนัก)	โปรตีน (% โดยน้ำหนักเปียก)	โปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ^{ns}
<i>H. asinina</i>	80.70 ^b ± 0.67	16.14 ^a ± 0.11	86.17 ± 1.90
<i>H. ovina</i>	73.08 ^a ± 1.46	23.82 ^b ± 0.59	86.32 ± 2.06

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

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.21 พบว่าหอยเป่าฮื้อชนิดชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีปริมาณความชื้นและโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีความชื้นสูงกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนจากน้ำหนักแห้งก็พบว่าหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.6.2.3 วิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.22 และ 4.23

ตารางที่ 4.22 ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที

ชนิด	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักเปียก)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
<i>H. asinina</i>	3.32 ^a ± 0.22	17.35 ^b ± 1.19
<i>H. ovina</i>	4.54 ^b ± 0.16	16.85 ^a ± 0.60

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

ตารางที่ 4.23 ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที

ชนิด	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
<i>H. asinina</i>	159.59 ^a \pm 7.18
<i>H. ovina</i>	267.37 ^b \pm 15.21

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

จากการวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน และค่า toughness พบว่าของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีปริมาณคอลลาเจน และค่า toughness แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณคอลลาเจนและค่า toughness ต่ำกว่าชนิด *H. ovina*

4.6.2.4 วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัด ได้แก่ ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.24 และปริมาณกรดอะมิโนอิสระแสดงผลในตารางที่ 4.25 (ใช้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา)

ตารางที่ 4.24 ATP และสารอนุพันธ์ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที

สารประกอบ ¹	<i>H. asinina</i>	<i>H. ovina</i>
ATP	0	0
ADP	1(1)	3(2 – 5)
AMP	12(10 – 15)	33(24 – 47)
IMP	0	0
Adenosine	1(1)	2(1-3)
Inosine	0	0
Hypoxanthine	0	0

¹ วิเคราะห์ 5 ซ้ำ แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและช่วงของค่าต่ำที่สุดถึงค่าสูงที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าชื่อทั้งสองชนิดพบว่าปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ลดลงเมื่อนำไปผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที โดยองค์ประกอบที่วิเคราะห์ได้ คือ ADP AMP และ adenosine โดยมี AMP เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับหอยสด

ตารางที่ 4.25 กรดอะมิโนอิสระ (มิลลิกรัม/100กรัม) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที

กรดอะมิโน	<i>H. asinina</i>
Aspartic acid	2.41
Serine	1.46
Glutamic acid	2.97
Glycine	6.27
Histidine	0
Arginine	89.23
Threonine	17.64
Alanine	2.26
Proline	0.24
Cysteine	0
Tyrosine	0.57
Valine	0.24
Methionine	0
Lysine	0.71
Isoleucine	0.18
Leucine	0.33
Phenylalanine	0.24

จากวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอิสระของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* พบว่ากรดอะมิโนอิสระมีปริมาณลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที โดยกรดอะมิโนอิสระชนิดหลักที่พบได้แก่ arginine, threonine, glycine, glutamic acid, alanine และ serine เช่นเดียวกับที่พบในหอยสด

4.6.2.5 ตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ของหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที โดยใช้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษาได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 จุลินทรีย์ที่สำคัญและเป็นสาเหตุทำให้อาหารกระป๋องเสียของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที

ชนิดของจุลินทรีย์	ผลการทดสอบ
Flat sour	ไม่พบ
Thermophilic anaerobe	ไม่พบ
Putrefactive anaerobe	ไม่พบ

จากการวิเคราะห์จุลินทรีย์ พบว่าผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที ไม่มีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ได้แก่ flat sour, thermophilic anaerobe และ putrefactive anaerobe

4.7 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้กับหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า (commercial)

การบริโภคหอยเป่าฮื้อแปรรูปหรือหอยบรรจุกระป๋องของไทยเป็นสินค้านำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น ดังนั้นถ้ามีการนำหอยเป่าฮื้อชนิดที่พบในเมืองไทยและมีความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์มาแปรรูปก็จะเป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และมูลค่าให้กับหอยเป่าฮื้อมากขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ก็ควรมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาด

4.7.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* กับหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* และหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า

ชนิด	pH	ความชื้น (% โดยน้ำหนัก)	โปรตีน (% โดยน้ำหนักเปียก)	โปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ^{ns}
<i>H. asinina</i>	4.27 ^a ± 0.03	80.70 ^c ± 0.67	16.14 ^a ± 0.11	86.17 ± 1.90
<i>H. ovina</i>	4.13 ^a ± 0.11	73.08 ^a ± 1.46	23.82 ^c ± 0.59	86.32 ± 2.06
commercial	6.49 ^b ± 0.04	75.31 ^b ± 0.55	21.06 ^b ± 0.70	85.30 ± 2.84

a, b...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที และหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า พบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผลิตได้มีความชื้นและโปรตีนแตกต่างกับหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.7.2 ศึกษาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือ ชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* และหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.28 และ 4.29

ตารางที่ 4.28 ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* และหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า

ชนิด	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักเปียก)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
<i>H. asinina</i>	3.48 ^b ± 0.11	18.05 ^c ± 0.57
<i>H. ovina</i>	4.54 ^c ± 0.21	16.85 ^b ± 0.78
commercial	0.52 ^a ± 0.07	2.12 ^a ± 0.28

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.29 ค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ของหอยเป่าสี่ชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* และหอยเป่าสี่อับรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า

ชนิด	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	hardness (kg)	cohesiveness	springiness	chewiness (kg)
<i>H. asinina</i>	7.43 ^a \pm 0.29	0.57 ^a \pm 0.02	0.85 ^b \pm 0.03	4.23 ^a \pm 0.18
<i>H. ovina</i>	8.76 ^b \pm 0.85	0.65 ^b \pm 0.01	0.68 ^a \pm 0.02	5.26 ^b \pm 0.12
commercial	7.51 ^a \pm 0.13	0.74 ^c \pm 0.04	0.84 ^b \pm 0.01	4.42 ^a \pm 0.22

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

จากการวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าสี่ชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* และหอยเป่าสี่อับรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า พบว่าหอยเป่าสี่ทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณคอลลาเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าสี่ชนิด *H. asinina* มีปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ *H. ovina* และหอยเป่าสี่อับรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้าตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ของหอยเป่าสี่ทั้งสามตัวอย่าง พบว่าหอยเป่าสี่ชนิด *H. asinina* มี ค่า hardness, springiness และ chewiness ไม่แตกต่างกับหอยเป่าสี่อับรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

หอยเป่าฮือของไทยเป็นหอยที่เพิ่งได้รับความสนใจเมื่อไม่นานมานี้ ดังนั้นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาและใช้ประโยชน์จากหอยเป่าฮืออย่างยั่งยืนและครบวงจรยังขาดอยู่อีกมาก ข้อมูลส่วนใหญ่เป็นของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* รองลงมาเป็นข้อมูลพื้นฐานของหอยชนิด *H. ovina* ส่วนข้อมูลพื้นฐานเฉพาะเกี่ยวกับหอยชนิด *H. varia* นั้นมีน้อยมาก (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาหอยเป่าฮือ 2 ชนิด คือ *H. asinina* ซึ่งเป็นหอยที่มีความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์สูง และชนิด *H. ovina* ที่กำลังได้รับความสนใจมากขึ้น โดยใช้หอยเป่าฮือทั้งสองชนิดที่มีขนาด 30-40 ตัวต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นหอยขนาดกัตาคารที่นิยมบริโภคกันในประเทศไทย (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542) ส่วนหอยเป่าฮือชนิด *H. varia* ไม่ได้นำมาศึกษาในงานวิจัยเนื่องจากเป็นหอยที่มีขนาดเล็ก โตช้า และมีน้ำหนักเนื้อเพียง 30% ของขนาดตัว ไม่มีศักยภาพเพียงพอในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ (มะลิ บุญยรัตผลิน, 2545)

จากการศึกษาลักษณะทั่วไปของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ซึ่งมีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีขนาดใหญ่กว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* โดยมีความยาวเปลือกมากกว่า และเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ เปลือก และเครื่องในดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ เปลือก และเครื่องในแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีส่วนของกล้ามเนื้อซึ่งเป็นส่วนที่นำมาบริโภคสูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* (52.40 และ 21.60% ตามลำดับ)

ลีลา เรืองแป้น (2543) รายงานว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* เป็นหอยเป่าฮือที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในกลุ่มหอยเป่าฮือในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีสัดส่วนของเนื้อต่อเปลือกสูงถึง 85% และมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างเร็ว เมื่ออายุครบ 1 ปี จะมีความยาวเปลือกประมาณ 42.7 เซนติเมตร หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีอายุประมาณ 1 ปี ความยาวเปลือกประมาณ 47 มิลลิเมตร เป็นหอยขนาดคอกเทล (cocktail size) น้ำหนักประมาณ 20-25

กรัมต่อตัว สัดส่วนของเนื้อต่อเปลือกจึงต่ำกว่า 85% แต่คาดว่าถ้าเจริญเติบโตเต็มที่สัดส่วนของเนื้อต่อเปลือกจะสูงขึ้น ส่วนหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* เป็นหอยที่เก็บจากธรรมชาติ และเป็นหอยเป่าฮือชนิดที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่า ดังนั้นสัดส่วนของเนื้อต่อน้ำหนักตัวจึงต่ำกว่ามาก และอาจเป็นไปได้ว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* จะมีอายุมากกว่า *H. asinina* เนื่องจากมีความยาวเปลือกมากกว่า แต่มีอัตราการเจริญเติบโตช้า

5.2 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ด้วยวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995) พบว่าปริมาณความชื้น โปรตีน และเถ้าของหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีปริมาณโปรตีน (15.31%) และเถ้า (1.00%) ต่ำกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* (19.40 และ 1.74% ตามลำดับ) แต่มีปริมาณความชื้นของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* (82.22%) สูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* (77.60%) องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกับหอยเป่าฮือชนิดอื่น ๆ เช่น หอยเป่าฮือที่พบในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ ชนิด *H. gigantea sieboldii* ที่มีความชื้น 78-83% โปรตีน 12-17% ชนิด *H. gigantea discus* มีความชื้น 78-90% โปรตีน 9.4-17.5% ชนิด *H. discus hannai* มีความชื้น 72-78% โปรตีน 7.5-12.5% (Takayama และคณะ, 1970) หอยเป่าฮือชนิด *H. cracheroidii* ที่พบในประเทศสหรัฐอเมริกา มีความชื้น 68-72% โปรตีน 18-23 % (Webber, 1970) หอยเป่าฮือชนิด *H. ruber* ที่พบในประเทศออสเตรเลีย มีความชื้น 74-78% โปรตีน 16-19.5% การที่ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือแตกต่างกันก็จะส่งผลให้กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏแตกต่างกัน (Olley และ Thrower, 1977) ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำที่แตกต่างกันนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิด ภาวะวิภาค ฤดูกาล เพศ และฤดูกาลวางไข่ เป็นต้น (นงลักษณ์ สุทธิวิณิช, 2531)

5.3 ชนิดและปริมาณโปรตีนในกล้ามเนื้อของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

5.3.1 ศึกษาชนิดและปริมาณโปรตีนในกล้ามเนื้อของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

สัตว์น้ำมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 8-28% จำแนกตามลักษณะการละลายได้ 4 ชนิด คือ sarcoplasmic, myofibrillar, alkali-soluble และ stroma (Shahidi, 1994; Kolakowski,

2001; วรณวิบูลย์ กาญจนบุญชวร, 2540) จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโปรตีนของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar, alkai-soluble และ stroma แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่โปรตีนชนิด sarcoplasmic ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีโปรตีนชนิด myofibrillar และ stroma เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งโปรตีนทั้งสองชนิดนี้มีบทบาทสำคัญต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ (Palka และ Daun, 1999) หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar และ stroma 30.45 และ 49.02% ตามลำดับ ส่วนหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีปริมาณ 36.48 และ 36.07% ตามลำดับ สัตว์น้ำทั่วไปจะมีปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar ประมาณ 65–72% ส่วนชนิด stroma นั้นพบน้อยมากประมาณ 1-3% (เนงลักษณะ สุทธิวิช, 2531) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะมีโปรตีนชนิด myofibrillar ประมาณ 49-55% ส่วนชนิด stroma มีประมาณ 10–7% สัตว์ปีกมีโปรตีนชนิด myofibrillar ประมาณ 60-65% ส่วนชนิด stroma มีประมาณ 5–10% (นิธิยา รัตนานนท์, 2539) จากผลการทดลองจะเห็นว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar ต่ำกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ แต่มีปริมาณโปรตีนชนิด stroma สูงกว่า ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือแตกต่างจากเนื้อสัตว์ชนิดอื่นน่าจะมาจากโปรตีนชนิด stroma ที่มีองค์ประกอบหลัก คือ คอลลาเจน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังทั้งดิบและผ่านการให้ความร้อนแล้ว (Shahidi, 1994) ปริมาณคอลลาเจนจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเหนียว (toughness) ของเนื้อสัตว์ (Cover, Ritchey และ Hostetler, 1962; Dransfield, 1977; Moller, Sorensen และ Larsen, 1981) นอกจากนี้ยังพบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีปริมาณโปรตีนชนิด stroma สูงกว่าหอยเป่าฮือชนิดอื่น เช่น หอยเป่าฮือชนิด *H. discus* ที่เลี้ยงในฟาร์มและที่จับจากธรรมชาติในประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีปริมาณ 29.6 และ 26.8% ตามลำดับ (Olaechea และคณะ, 1993) แต่มีปริมาณต่ำกว่ากล้ามเนื้อส่วนเท้าและ opercular ของหอย turban shell (*Batillus cornutus*) (41 และ 40% ตามลำดับ) (Watabe และคณะ, 1986) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหอยเป่าฮือน่าจะมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนชนิด stroma สูง โปรตีนดังกล่าวมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เนื้อสัมผัสมีความเหนียว ซึ่งจัดเป็นลักษณะเด่นของเนื้อหอยเป่าฮือ

5.3.2 ศึกษาการจัดเรียงตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

โครงสร้างภายในของเนื้อเยื่อสัตว์โดยทั่วไปประกอบไปด้วยมัดกล้ามเนื้อ (bundle) แต่ละมัดกล้ามเนื้อจะประกอบไปด้วยเซลล์กล้ามเนื้อเป็นเส้นใยเล็กๆ ที่เรียกว่า เส้นใยไมโอไฟบริล ชั้นมัดกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (มาลย์วรรณ อารยะสกุล และวรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ, 2540) เมื่อพิจารณาภาพถ่ายการจัดเรียงตัวเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าหอยเป่าชื่อทั้งสองชนิดมีการจัดเรียงของเส้นใยโปรตีนที่คล้ายคลึงกัน โดยประกอบด้วยเส้นใยไมโอไฟบริลที่ล้อมรอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน เช่นเดียวกับที่พบในกล้ามเนื้อเรียบของสัตว์จำพวก gastropods ซึ่งบริเวณภายในของเส้นใย ไมโอไฟบริลจะประกอบไปด้วย thick filament และ thin filament ที่ล้อมรอบด้วยเส้นใย คอลลาเจนมีลักษณะเป็นริ้ว ๆ เรียงตัวในแนวขวาง (Ochiai และคณะ, 1985; Watabe และคณะ, 1986) เช่นเดียวกับที่พบในหอยเป่าชื่อชนิด *H. discus* (Olaechea และคณะ, 1993) และ turban shell (*Batillus cornutus*) (Watabe และคณะ, 1986) นอกจากนี้ยังพบว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* มีชั้นของเส้นใยคอลลาเจนที่ล้อมรอบเส้นใยไมโอไฟบริลหนากว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. ovina* ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในกล้ามเนื้อของหอยเป่าชื่อทั้งสองชนิด (ตารางที่ 4.5) ที่พบว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* มีปริมาณโปรตีนชนิด stroma สูงกว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. ovina* ในขณะที่หอยเป่าชื่อชนิด *H. ovina* มีปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar สูงกว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยโปรตีนภายในกล้ามเนื้อสัตว์จำพวก gastropods จะแปรผันตามส่วนของกล้ามเนื้อด้วย เนื่องจากกล้ามเนื้อของสัตว์กลุ่มนี้จะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ foot muscle, opercular muscle (adductor muscle) และ visceral muscle ซึ่งกล้ามเนื้อส่วนเท้า (foot muscle) จะมีชั้นของเส้นใยคอลลาเจนหนาที่สุด รองลงมาคือส่วน opercular และ visceral ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณโปรตีนที่พบว่ากล้ามเนื้อเท้ามีปริมาณ stroma protein สูงกว่ากล้ามเนื้อ opercular และเครื่องในตามลำดับ (Olaechea และคณะ, 1993; Watabe และคณะ, 1986)

5.4 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

ลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป่าชื่อขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของคอลลาเจนในกล้ามเนื้อ ซึ่งปริมาณคอลลาเจนจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเหนียว (toughness) ของเนื้อสัตว์ (Cover และคณะ, 1962; Dransfield, 1977; Moller และคณะ, 1981) การวัดความเหนียวของเนื้อสัตว์จะวัดเป็นค่า toughness ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการใช้หัวเจาะ (plunger) เจาะชิ้นตัวอย่างลงไปลึกตามที่กำหนด แรงที่ใช้ในการเจาะทะลุตัวอย่างจะขึ้นกับขนาดและชนิดของหัวเจาะ อัตรา

ความเร็วในการปล่อยหัวเจาะ และชนิดของตัวอย่าง (Pompei และคณะ, 1988) จากการวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน และค่า toughness ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีปริมาณคอลลาเจน และค่า toughness แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีปริมาณคอลลาเจนสูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* (5.32 และ 4.39 กรัม/100กรัม ตามลำดับ) แต่มีค่า toughness ต่ำกว่า (1492.05 และ 2674.13 กรัม ตามลำดับ) การที่หอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีปริมาณคอลลาเจนต่ำกว่า แต่มีค่า toughness สูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องจากหอยเป่าฮือทั้งสองมีลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยคอลลาเจนแตกต่างกัน Bailey และคณะ (1979) รายงานว่าความเหนียวของเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์และการเกิดพันธะเชื่อมขวาง (cross linkage) ภายในโมเลกุลคอลลาเจน การสร้างพันธะเชื่อมขวางนั้นมีทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล (intra และ inter molecular cross linkage) สัตว์ที่มีอายุมากขึ้นจะมีปริมาณพันธะเชื่อมขวางเพิ่มขึ้นทำให้คอลลาเจนมีความแข็งแรงมากขึ้น (มาลัยวรรณ อารยะสกุล และวรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษกร, 2543) Ledward (1984) พบว่าสัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีปริมาณของพันธะเชื่อมขวางน้อยกว่าสัตว์ที่มีอายุมาก ดังนั้นการที่หอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีค่า toughness สูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* แต่มีปริมาณคอลลาเจนต่ำกว่านั้นอาจเนื่องจากหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีอายุมากกว่าเพราะมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่แม้จะมีน้ำหนักตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่มีความยาวเปลือกมากกว่า (ตารางที่ 4.1) ดังนั้นปริมาณพันธะเชื่อมขวางภายในโมเลกุลของคอลลาเจนจึงน่าจะสูงกว่าทำให้ค่า toughness สูงกว่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar (ตารางที่ 4.4) ซึ่งเป็นโปรตีนอีกชนิดที่มีบทบาทสำคัญกับเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ (Palka และ Daun, 1999) พบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีปริมาณโปรตีนชนิดนี้สูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* (36.48 และ 30.45% ตามลำดับ) จึงอาจมีผลให้หอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีค่า toughness สูงกว่า นอกจากนี้การที่หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีเนื้อสัมผัสที่ต่างกันยังอาจเกิดจากมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันด้วย Dunajski (1979) รายงานว่าความชื้นและไขมันจะมีผลต่อโครงสร้างของกล้ามเนื้อที่ทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามถ้ากล้ามเนื้อที่มีปริมาณความชื้นต่ำและมีปริมาณโปรตีนสูงเนื้อสัมผัสจะแน่นกว่า ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีปริมาณความชื้น (77.60%) สูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* (82.22%) แต่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า (19.40 และ 15.31% ตามลำดับ) ดังนั้นหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* จึงมีเนื้อสัมผัสแน่นกว่าส่งผลให้มีค่า toughness สูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina*

เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอลลาเจนและค่า toughness ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ดังแสดงรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าปริมาณคอลลาเจนและค่า toughness ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีความสัมพันธ์กัน ($r^2 = 0.7650$) เมื่อปริมาณคอลลาเจนเพิ่มขึ้น ค่า toughness เพิ่มขึ้นเช่นกัน ปริมาณคอลลาเจนของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* อยู่ในช่วง 4.00-5.50 กรัม/100กรัม โดยที่ส่วนใหญ่ (ประมาณ 80% ของตัวอย่างทั้งหมด) มีปริมาณ 5.00-5.50 กรัม/100 กรัม แสดงให้เห็นว่าปริมาณคอลลาเจนใกล้เคียงกันมีความแปรผันน้อย ทั้งนี้เนื่องจากหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* เป็นหอยเลี้ยง อยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันซึ่งควบคุมได้และมีอายุใกล้เคียงกัน ในขณะที่หอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ปริมาณคอลลาเจนและค่า toughness ไม่มีความสัมพันธ์กัน ($r^2 = 0.1654$) จึงไม่ได้แสดงผลไว้ ทั้งนี้เนื่องจากหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* เป็นหอยที่จับจากธรรมชาติไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมและอายุได้จึงทำให้มีปริมาณคอลลาเจนแตกต่างกันมาก

5.5 องค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

หอยเป่าฮือเป็นอาหารที่คนนิยมบริโภคกันทั่วโลก เนื่องจากมีกลิ่นรสเฉพาะตัวและเนื้อสัมผัสต่างจากสัตว์น้ำชนิดอื่น กลิ่นรสของหอยเป่าฮือเกิดจากองค์ประกอบของสารสกัด ได้แก่ AMP, glutamic acid, glycine, และ glycine betaine โดย glutamic acid เป็นตัวให้รส umami และรสชาติเฉพาะของหอยเป่าฮือ glycine ทำให้เกิดรสหวาน ส่วน AMP นั้นไม่ทำให้เกิดรส แต่เมื่ออยู่ร่วมกับ glutamic acid จะทำให้เกิดรส umami ชัดเจนขึ้น (Konosu, 1973)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์รวมทั้งกรดอะมิโนอิสระแตกต่างกัน แต่หอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีปริมาณ AMP เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกัน (35 และ 64 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ) ในขณะที่ไม่พบ IMP ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ AMP-deaminase ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา deamination เปลี่ยน AMP ไปเป็น IMP มีปริมาณต่ำทำให้มีปริมาณ AMP สะสมในกล้ามเนื้อสูง (Oley และ Thrower, 1977) และเมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนอิสระ พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีกรดอะมิโนอิสระที่เป็นองค์ประกอบหลักแตกต่างกัน โดยหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีกรดอะมิโนอิสระชนิดหลัก คือ arginine, threonine, glycine, glutamic acid, alanine และ aspartic acid ส่วนหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีกรดอะมิโนอิสระชนิดหลัก คือ arginine, threonine, glycine, cysteine, glutamic acid, aspartic acid และ serine

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสารสกัดที่เป็นตัวให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ ได้แก่ AMP, glutamic acid และ glycine พบว่าแม้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* จะมีปริมาณ AMP ต่ำกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* แต่มีปริมาณกรดอะมิโนอิสระ glutamic acid และ glycine (62.51 และ 105.56 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ) สูงกว่าชนิด *H. ovina* (41.85 และ 75.21 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ) ซึ่งนักวิจัยหลายท่านได้รายงานว่าการกรดอะมิโนอิสระมีบทบาทสำคัญที่สุดต่อการเกิดกลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ (Simidu และคณะ, 1953; Takagi และ Simidu, 1963) ตัว AMP เองนั้นไม่ทำให้เกิดรสต้องอยู่ร่วมกับ glutamic acid จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่ากรด อะมิโนอิสระที่มีปริมาณสูงสุดของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* คือ arginine (792 และ 385 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ) ตัว arginine เองนั้นไม่ทำให้เกิดรสในหอยเป่าฮื้อ (Konosu, 1973) แต่ช่วยให้เกิดความรู้สึก continuity, thickness, complexity และ mildness (Fuke, 1994) เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนอิสระ leucine, isoleucine และ valine ที่ทำให้เกิดรสขมและฝาด (Konosu และคณะ, 1987; Nishimura และ Kato, 1988) พบว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีปริมาณ leucine ใกล้เคียงกัน (3.08 และ 3.05 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ) ปริมาณ isoleucine 2.02 และ 3.85 มิลลิกรัม/100กรัม และ valine 2.94 และ 6.57 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้กรดอะมิโน threonine ซึ่งพบว่าหอยทั้งสองชนิดมีปริมาณสูง แม้จะไม่มีรายงานไว้ว่าเป็นตัวที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ แต่ตัว threonine เองให้รสหวาน (Fuke, 1994) ซึ่งหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณสูงกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* (144.81 และ 86.32 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* จะมีกลิ่นรสดีกว่าชนิด *H. ovina* เนื่องจากมีองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสหอยเป่าฮื้อสูงกว่าและมีปริมาณกรดอะมิโนที่ทำให้เกิดรสขมและฝาดต่ำกว่าตามลำดับ การที่หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีชนิดและปริมาณขององค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสแตกต่างกัน นอกจากจะขึ้นกับชนิดของหอยแล้วยังอาจเกิดจากอาหารที่ได้รับด้วย Chiou และ Lai (2002) รายงานว่าหอยเป่าฮื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จจะมีปริมาณ ATP และสารประกอบที่เกี่ยวข้องและปริมาณกรดอะมิโนอิสระ glycine, glutamic acid, alanine, proline และ serine สูงกว่าหอยเป่าฮื้อที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายผมนาง และเนื่องจากหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* เป็นหอยที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จ ในขณะที่หอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* เป็นหอยที่จับจากธรรมชาติซึ่งอาหารหลักคือสาหร่ายทะเลที่มีอยู่ในธรรมชาติรวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่อาศัยอยู่ตามพื้นผิวต่าง ๆ (พายัพยังปักชี, 2541) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* จะมีปริมาณองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสสูงกว่าชนิด *H. ovina* เนื่องจากอาหารที่ได้รับแตกต่างกัน

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรส ได้แก่ glutamic acid, glycine, alanine และ arginine ปริมาณสูงเช่นเดียวกับหอยเป่าฮือชนิด *H. diversicolor* (Hwang และคณะ, 1997) และหอยเป่าฮือชนิด *H. discus* (Watanabe และคณะ, 1992; Hatae และคณะ, 1995) (ตารางแสดงองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือแสดงในภาคผนวก จ) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* น่าจะให้กลิ่นรสที่ใกล้เคียงกับหอยเป่าฮือชนิดอื่น ๆ

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่สามารถวิเคราะห์กรดอะมิโนอิสระชนิด taurine, hydroxyproline, tryptophan ได้เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่ง taurine นั้นเป็นกรดอะมิโนอิสระที่มีปริมาณสูงสุดที่พบในหอยเป่าฮือ (Watanabe และคณะ, 1992; Hatae และคณะ, 1995; Hwang และคณะ, 1997; Chiou และ Lai, 2002) taurine แม้จะไม่ให้รสในหอยเป่าฮือ (Konosu, 1973) แต่ช่วยในการปรับสภาพความเข้มข้นของสารละลายในเนื้อเยื่อให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของน้ำทะเล (osmoregulation) (Powell และคณะ, 1982)

องค์ประกอบของสารสกัดของสัตว์น้ำนอกจากจะให้กลิ่นรสแล้วยังสามารถบอกความสดของสัตว์น้ำได้อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากหลังจากสัตว์ตาย ATP จะสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์เปลี่ยนไปเป็น ADP, AMP, adenosine, inosine และ hypoxanthine ตามลำดับ (Konosu และ Yamaguchi, 1982) จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ใช้ในงานวิจัยยังคงมีปริมาณ ATP เหลืออยู่เล็กน้อย (3 และ 1 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ) และมีปริมาณ AMP สะสมมาก (35 และ 57 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ) แต่ไม่พบ hypoxanthine ซึ่ง hypoxanthine สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดความสดได้ ถ้ามีปริมาณสูงกว่า 10 มิลลิกรัม/100กรัม จะถือว่าตัวอย่างเสีย (Nontratip, Wada และ Yamanaka, 1991) ดังนั้นแสดงว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ยังอยู่ในสภาพดี แต่อย่างไรก็ตามนอกจากปริมาณ hypoxanthine แล้วยังสามารถใช้ค่าอื่นเป็นเกณฑ์ในการวัดความสดของอาหารทะเลได้อีก เช่น ค่า K เหมาะที่เข้ากับปลา ค่า K' เหมาะที่จะใช้กับหอยนางรม เป็นต้น (Atkinson, 1968) (รายละเอียดของค่า K และ ค่า K' แสดงไว้ภาคผนวก ฉ)

5.6 ผลของการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina*

การให้ความร้อนกับอาหารเป็นวิธีที่สำคัญที่สุดในกระบวนการแปรรูปอาหาร ทั้งนี้เพื่อให้อาหารมีคุณภาพการบริโภคตามต้องการในด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และสมบัติอื่น ๆ นอกจากนี้การให้ความร้อนยังเป็นวิธีการแปรรูปอาหารโดยมีวัตถุประสงค์หลักคือยับยั้งการเน่าเสียของอาหารและการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ในอาหาร ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารรวมทั้งทำลายพยาธิและแมลงต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามระดับของความร้อนที่ใช้ในการถนอมอาหารหรือแปรรูปก็มีผลต่อสมบัติของอาหารในด้านต่าง ๆ เช่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เป็นต้น (วิไลรังสาดทอง, 2543)

5.6.1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือ

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงที่เห็นชัด ได้แก่ การสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) การหดตัว (shrinkage) ของกล้ามเนื้อ และทำให้เนื้อสัมผัส (texture) ของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (denaturation) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539)

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยแปรอุณหภูมิเป็น 60, 80 และ 100 °C และเวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนในเนื้อสัตว์จะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติได้ตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 57 ถึง 75 °C (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539) เริ่มจากการเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจน และ myofibrillar protein ที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C และที่อุณหภูมิ 70-90 °C actomyosin จะหดตัว (Cheng และ Parrish, 1976; Jones และคณะ, 1977) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้สมบัติต่างๆ ของเนื้อสัตว์เปลี่ยนแปลงไปดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

5.6.1.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่นำไปให้ความร้อนในอ่างให้

ความร้อนควบคุมอุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C และเวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที

จากการวิเคราะห์ปริมาณ cooking loss ความชื้น และโปรตีน ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* หลังผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.8-4.10 พบว่าอุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณ cooking loss ความชื้นและโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น ปริมาณ cooking loss มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณ cooking loss สูงที่สุด (21.13 %โดยน้ำหนัก) เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 60 นาที ในขณะที่ความชื้นมีแนวโน้มลดลง โดยความชื้นต่ำที่สุด (71.92 %โดยน้ำหนัก) เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที ส่วนโปรตีนพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและพบว่าปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (24.38 %โดยน้ำหนักเปียก) เมื่อนำไปให้ความร้อนอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที แต่เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนจากน้ำหนักแห้งพบว่าปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกัน การที่หอยเป่าฮื้อมีปริมาณ cooking loss และโปรตีนสูงขึ้น ในขณะที่ความชื้นต่ำลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้นนั้นเนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนเนื้อหอยเป่าฮื้อจะหดตัวทำให้สูญเสียน้ำออกมาในรูปของ drip (Hatae และคณะ, 1996) ทำให้ปริมาณ cooking loss สูงขึ้น ความชื้นภายในเนื้อหอยเป่าฮื้อจึงลดลงและปริมาณโปรตีนสูงขึ้น สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสูญเสียน้ำอาจเกิดจากการหดตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบริเวณอิพิไมเซียม เพอริไมเซียม และเอนโดไมเซียมที่อยู่รวมกับโปรตีนกล้ามเนื้อ (Light และคณะ, 1984) ร่วมกับการหดตัวของ myofibrillar protein (Cheng และ Parrish, 1976; Jones และคณะ, 1977) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงจะเหนี่ยวนำให้ actin มาจับตัวกันแล้วปล่อยน้ำออกมาจากเส้นใยไมโอไฟบริลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water binding capacity) ลดลง หรือทำให้เส้นใยไมโอไฟบริลหดตัวเนื่องจากมี cross-linking แบบใหม่เกิดขึ้น (Marten และคณะ, 1982) ส่วนหอยเป่าฮื้อที่นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 60 และ 120 นาที มีปริมาณ cooking loss ต่ำลงและความชื้นสูงขึ้นอาจเนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวคอลลาเจนถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นเจลาติน โดยที่โครงสร้างของเจลาตินยังคงรูปเดิมเป็นมัดเกลียว (fibrous) ของคอลลาเจนแต่มีขนาดเล็กลงทำให้มีความสามารถในการจับกับน้ำได้มากขึ้น (Ward และ Court, 1977) ส่งผลให้ปริมาณ cooking loss ต่ำลง แต่ความชื้นและโปรตีนสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* จากตารางที่ 4.12 พบว่าอุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณคอลลาเจนของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณคอลลาเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ

อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น โดยปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที (6.92 กรัม/100กรัม) แต่เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่าปริมาณคอลลาเจนไม่แตกต่างกันมากนัก การที่ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะมีส่วนที่ยึดประสานเส้นใยให้อยู่ร่วมกัน เรียกว่า ground substance ซึ่งองค์ประกอบสำคัญของ ground substance คือ น้ำ ดังนั้นเมื่อมีการสูญเสียน้ำระหว่างการให้ความร้อนจึงทำให้เส้นใยคอลลาเจนอยู่กันอย่างหนาแน่นมากขึ้น (Sikorski และ Borderias, 1994) ปริมาณคอลลาเจนที่วิเคราะห์ได้จึงสูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้ก็สอดคล้องกับปริมาณ cooking loss ในตารางที่ 4.8 ซึ่งมีปริมาณสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น แต่เมื่อโครงสร้างของคอลลาเจนเปลี่ยนเป็นเจลาตินแล้วทำให้จับกับน้ำได้มากขึ้นปริมาณคอลลาเจนจึงลดลงเล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 60 และ 120 นาที (6.58 และ 6.33 กรัม/100กรัม ตามลำดับ) สำหรับค่า toughness แสดงผลในรูปที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อนและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า toughness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า toughness ลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น ซึ่งค่า toughness ต่ำที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที (103.00 กรัม) ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของคอลลาเจนเริ่มจะสูญเสียโครงสร้างไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 °C (Dunajski, 1979) ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวจะไปรบกวนพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลคอลลาเจนโดยไอน้ำจะไปไฮโดรไลซ์คอลลาเจนให้แปรสภาพไปเป็นเจลาตินดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะนุ่มขึ้น ดังนั้นค่า toughness จึงลดลงและเมื่อพิจารณาปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ ดังแสดงรูปที่ 4.5 พบว่าอุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที (601.70 ไมโครกรัม/กรัม) ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการละลายของคอลลาเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น (Lawrie, 1968) จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่า toughness ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้มีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงขึ้นจะทำให้ค่า toughness ลดลง และพบว่าปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้จะสูงที่สุดและค่า toughness ต่ำที่สุดเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าที่อุณหภูมิและระยะเวลาดังกล่าวพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลคอลลาเจนถูกทำลายไปมากที่สุด คอลลาเจนจึงมีสมบัติการละลายจึงดีที่สุดส่งผลให้ค่า toughness ต่ำที่สุด

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสประเภทสารประกอบ นิวคลีโอไทด์ เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ ดังแสดงตารางที่ 4.12 พบว่าปริมาณ ATP, ADP และ AMP ลดลง แต่มีปริมาณ hypoxanthine เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับหอยสด (ตารางที่ 4.6) และไม่พบ IMP เช่นเดียวกับหอยสด โดยองค์ประกอบหลักของสารประกอบ นิวคลีโอไทด์ยังคงเป็น AMP การที่ปริมาณ ATP, ADP, AMP ลดลงแต่ปริมาณ hypoxanthine เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ ATP, ADP, AMP สลายตัวได้เป็น องค์ประกอบอื่นที่เป็นอนุพันธ์ของ ATP เช่น hypoxanthine (Hatae และคณะ, 1996) ซึ่งพบว่ามีปริมาณสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบกลุ่มนิวคลีโอไทด์มีพันธะทางเคมีที่ไม่แข็งแรง เช่น glucosidic linkage และ ester linkage เมื่อได้รับความร้อนพันธะ phosphoric ester ของ นิวคลีโอไทด์จะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นนิวคลีโอไซด์และกรดฟอสฟอริก จากนั้นพันธะ N-glucosidic จะถูกไฮโดรไลซ์ทำให้นิวคลีโอไซด์สลายตัวเป็นพิวรีนและน้ำตาลไรโบส (Matoba และคณะ, 1988)

ดังนั้นในการผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อที่ต้องผ่านการให้ความร้อน เช่น หอยเป่าฮื้ออบรรจุกระป๋องอาจต้องเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อลงไปด้วย เพื่อทดแทนองค์ประกอบที่สูญเสียไประหว่างการให้ความร้อน

5.6.1.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* ที่นำไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C และเวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ cooking loss ความชื้น และโปรตีนของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* หลังผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ แสดงผลในตารางที่ 4.13-4.15 พบว่าให้ผลทดลองเช่นเดียวกับหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* โดยอุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน มีผลต่อปริมาณ cooking loss ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น ปริมาณ cooking loss มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณ cooking loss สูงที่สุด (47.39 %โดยน้ำหนัก) เมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที ในขณะที่ความชื้นมีแนวโน้มลดลง โดยความชื้นต่ำที่สุด (63.96 %โดยน้ำหนัก) เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที ส่วนปริมาณโปรตีนพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (30.58 %โดยน้ำหนักเปียก) เมื่อนำไปให้ความร้อนอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที แต่เมื่อ

พิจารณาปริมาณโปรตีนจากน้ำหนักแห้งพบว่าปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกัน จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีมากที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งต่างกับหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* (100 °C เป็นเวลา 120 นาที) ทั้งนี้อาจเนื่องจากหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักต่างกัน หอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีปริมาณ myofibrillar protein สูงกว่าชนิด *H. asinina* (ตารางที่ 4.4) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือ *H. ovina* น่าจะเกิดจากการเสถียรภาพของโปรตีน actin ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของ myofibrillar protein เป็นหลักร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจน เนื่องจากโปรตีน actin จะเสถียรภาพที่อุณหภูมิ 80 °C ทำให้ปล่อยน้ำออกมาจากเส้นใยไมโอไฟบริลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง (Marten และคณะ, 1982) ปริมาณ cooking loss และโปรตีนจึงสูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณความชื้นต่ำที่สุด เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลานานที่สุด (120 นาที)

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* โดยอุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณคอลลาเจนของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณคอลลาเจนสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้นโดยปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที (6.46 กรัม/100กรัม) แต่เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่าปริมาณคอลลาเจนไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อพิจารณาค่า toughness และปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าอุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า toughness และปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น ค่า toughness จะต่ำลงโดยมีค่าต่ำที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที (205.34 กรัม) ในขณะที่ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้น โดยปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที (7.29 ไมโครกรัม/กรัม) ซึ่งเหตุผลก็อธิบายเช่นเดียวกับที่พบในหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina*

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าเมื่อนำหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ทำให้มีค่า toughness ต่ำที่สุดและปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงที่สุด พบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มี

ค่า toughness สูงกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* (205.34 และ 103.00 กรัม ตามลำดับ) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีปริมาณ myofibrillar protein สูงกว่าชนิด *H. asinina* ดังที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการรวมตัวกันจึงอาจส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะเหนียว ในขณะที่หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีปริมาณคอลลาเจนสูงกว่าดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนเนื้อสัมผัสจึงมีลักษณะนุ่มขึ้นเนื่องจากคอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน (Lawrie, 1966; Visser และคณะ, 1960) และเมื่อพิจารณาปริมาณคอลลาเจนที่ละลายพบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* มีปริมาณต่ำกว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* (7.29 และ 601.70 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าหอยเป่าฮือทั้งสองชนิดมีคอลลาเจนที่เป็นองค์ประกอบต่างกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* จะมีคอลลาเจนที่มีสัดส่วนของ heat stable cross-links สูง ทำให้มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ต่ำ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสประเภทสารประกอบนิวคลีโอไทด์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* คือ ATP, ADP และ AMP สลายตัวไปเป็น inosine และ hypoxanthine ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักยังคงเป็น AMP

5.6.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮือ จากภาพตัดขวาง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน โดยใช้หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที และ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที เป็นตัวแทนในการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ใช้หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่ำที่สุด และที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนสูงสุด เป็นตัวแทนในการศึกษา จากผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในกล้ามเนื้อหอยเป่าฮือจากภาพตัดขวางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ดังแสดงในรูป 4.8 และ 4.9 พบว่าหอยเป่าฮือทั้งสองตัวอย่างยังคงมีการจัดเรียงตัวของโปรตีนเช่นเดียวกับที่พบในหอยสด (รูปที่ 4.1) คือ ประกอบด้วยเส้นใยไมโอไฟบริลที่ล้อมรอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน แต่จะเห็นได้ว่าส่วนของเส้นใยไมโอไฟบริลที่ประกอบไปด้วยเส้นใยหนาและเส้นใยบางมีขนาดเพิ่มขึ้นทั้งสองตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจาก myofibrillar protein เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะเริ่มเปลี่ยนแปลง

ตั้งแต่ได้รับความร้อนประมาณ 50 °C โดยเริ่มอัดตัวกัน และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 60 °C จะทำให้เส้นใยบางและเส้นใยหนารวมตัวกัน ตามด้วยการหดตัวของ myofibrillar protein (Cheng และ Parrish, 1976; Jones และคณะ, 1977) และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 70-90 °C จะทำให้ actin มารวมตัวกัน (Marten และคณะ, 1982) จึงทำให้เห็นว่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เช่นเดียวกับเส้นใยคอลลาเจนที่ล้อมรอบเส้นใยไมโอไฟบริลอยู่เนื่องจากการพองตัวของคอลลาเจน แต่จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่ามีปริมาณเส้นใยคอลลาเจนที่ล้อมรอบเส้นใยไมโอไฟบริลน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที ทำให้คอลลาเจนเปลี่ยนเป็นเจลาติน (Cheng และ Parrish, 1976; Jones และคณะ, 1977) ซึ่ง Olley และ Thrower (1977) รายงานว่าถ้านำหอยเป่าฮือไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะทำให้คอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินประมาณ 40% ส่วนหอยเป่าฮือบรรจุกระป๋องที่ผ่านสภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 116 °C เป็นเวลา 65 นาที จะทำให้คอลลาเจนเกือบทั้งหมดเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างของกล้ามเนื้ออยู่ในสภาพอสัณฐาน โดยที่ส่วนเส้นใยไมโอไฟบริลยังคงสภาพอยู่ (Cheng และ Parrish, 1976; Jones และคณะ, 1977) ดังนั้นจึงเห็นว่ามีปริมาณเส้นใยคอลลาเจนน้อยลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้ก็สอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจากงานวิจัยของ Ochiai และคณะ (1985) ที่นำหอย turban shell (*Batillus cornutus*) ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 – 60 °C และพบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 °C เส้นใยไมโอไฟบริลและเส้นใยคอลลาเจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เส้นใยไมโอไฟบริลจะขยายขนาดขึ้นและเส้นใยคอลลาเจนพองตัวขึ้นประมาณ 5 เท่า ซึ่งผลที่ได้ในงานวิจัยนี้ก็สอดคล้องกับค่า toughness และปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ที่พบว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีค่า toughness ต่ำที่สุด และปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงที่สุดเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที

5.6.1.4 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความสามารถในการรวมตัวกัน (cohesiveness) และการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) โดยใช้หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา นำไปให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิ 60, 80 และ 100 °C และเวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 120 นาที

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จัดเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คือ มีสีสันทันรับประทาน รสชาติอร่อยและมีเนื้อสัมผัส

ที่ดี โดยทั่วไปสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่สนใจศึกษาในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป ได้แก่ ความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน และการทนต่อการเคี้ยว เป็นต้น

เนื้อหอยเป่าฮือดิบมีลักษณะพิเศษคือมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวพอเหมาะ แต่เมื่อผ่านการให้ความร้อนสมบัติด้านเนื้อสัมผัสจะเปลี่ยนไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในกล้ามเนื้อ จากตารางที่ 4.18 พบว่า อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า hardness และค่า cohesiveness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อุณหภูมิและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า springiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอุณหภูมิมีผลต่อค่า chewiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่า hardness ลดลง เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ คอลลาเจนดังที่ได้อธิบายไว้แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ทุกระยะเวลา ให้ค่า hardness ที่ต่ำมาก (น้อยกว่า 1 กิโลกรัม) ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีบทบาทต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อหอยเป่าฮือ ได้แก่ myofibrillar protein และคอลลาเจนเสียหายไปแล้ว ทำให้สมบัติด้านความแข็งเสียไป เช่นเดียวกับค่า chewiness ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับค่า hardness ทั้งนี้เนื่องจากค่า chewiness คำนวณมาจาก $\text{hardness} \times \text{cohesiveness} \times \text{springiness}$ และพบว่าค่า chewiness มีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 80°C เช่นเดียวกับค่า springiness ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าว actomyosin เกิดการหดตัวและสูญเสียน้ำทำให้กล้ามเนื้อมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100°C โปรตีนดังกล่าวได้เสียหายไปแล้ว (Bailey และ Light, 1989) ทำให้ค่า chewiness ต่ำลง เมื่อพิจารณาค่า cohesiveness พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C และ 80°C ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวโปรตีนเกิดการหดตัวทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะยึดจับกันมากขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 100°C พบว่าค่า cohesiveness ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวโปรตีนได้เสียหายไปแล้วทำให้เนื้อสัมผัสเสียไปด้วย

5.6.1.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮือที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ ด้าน สี กลิ่นรส ความชุ่มน้ำ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยใช้หอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* เป็นตัวแทนในการศึกษา

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.19 พบว่าเมื่อนำหอยเป่าฮือไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที ได้รับคะแนนด้านความชอบรวมสูงที่สุดและเมื่อพิจารณาจากคะแนนด้านอื่นประกอบ พบว่าได้รับคะแนนด้าน ความชุ่มน้ำ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส อยู่ในเกณฑ์สูงทุกด้าน คือ มีกลิ่นรสเฉพาะของหอยเป่าฮือที่ผ่านการให้ความร้อนชัดเจน มีความชุ่มน้ำ กำลังดีไม่แห้งหรือชุ่มน้ำเกินไป และมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นดี เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 และ 4.12 พบว่าที่สภาวะดังกล่าวหอยเป่าฮือมีความชื้นประมาณ 75.45 % แสดงว่าไม่ชุ่มน้ำหรือแห้งเกินไป และมีปริมาณ AMP ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารสกัดช่วยให้เกิดกลิ่นรสสูงที่สุด (22 มิลลิกรัม/100 กรัม) นอกจากนี้การที่ได้รับคะแนนด้านกลิ่นรสสูงที่สุดยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลไรโบสหรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตัวอื่น ๆ กับ hypoxanthine, inosine หรือกรดอะมิโนมีผลทำให้เกิดกลิ่นรสขึ้น (Lawrie, 1968) ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่ผู้บริโภคต้องการ สำหรับคะแนนด้านเนื้อสัมผัสก็ให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือด้วยวิธี TPA (ตารางที่ 4.18) เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวหอยเป่าฮือมีค่า hardness, springiness และ chewiness อยู่ในเกณฑ์สูง Warn และ Brown (1984) รายงานว่าผู้บริโภคหอยเป่าฮือที่ผ่านการให้ความร้อนส่วนใหญ่จะชอบหอยเป่าฮือที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสยืดหยุ่นและเหนียว (rubber-like) แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีต่ำที่สุดเนื่องจากหอยเป่าฮือมีสีน้ำตาลเข้มที่สุด Lawrie (1968) รายงานว่าการให้ความร้อนจะทำให้เนื้อสัตว์เปลี่ยนแปลงไปเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของ globin myohaemichromogen การเกิดปฏิกิริยา caramelization ของคาร์โบไฮเดรตและการเกิดปฏิกิริยา Maillard ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนอีกด้วย Kawashima และ Yamanaka (1996) รายงานว่าหอย scallop เกิดสีน้ำตาลขึ้นหลังผ่านการให้ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard ของ sugar phosphate โดยเฉพาะอย่างยิ่ง glucose-6-phosphate กับกรดอะมิโนอิสระ เช่น taurine และ alanine ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* นั้นน่าจะเกิดจากปฏิกิริยา oxidation ของ globin myohaemichromogen และปฏิกิริยา Maillard เป็นหลัก เนื่องจากหอยเป่าฮือมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำ และอาจเป็นไปได้ว่าที่สภาวะดังกล่าวมีปริมาณกรดอะมิโนอิสระสูงทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard กับน้ำตาลไรโบสที่เกิดจากการสลายตัวของนิวคลีโอไซด์จึงเกิดสีน้ำตาลขึ้น (Matoba และคณะ, 1988) การลดปัญหาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างให้ความร้อนอาจทำได้โดยใช้ sodium metabisulfite เพื่อให้ sulfite รวมกับน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อรวมกับกรดอะมิโนจะไม่เกิดสีน้ำตาล (James และ Olley, 1974)

นอกจากนี้ยังพบว่าหอยเป่าฮือที่นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 120 นาที ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมต่ำที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณา

คะแนนด้านอื่นประกอบก็พบว่าแม้จะได้คะแนนด้านกลิ่นรสอยู่ในเกณฑ์สูง แต่คะแนนด้านเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าผู้บริโภคให้ความสำคัญกับเนื้อสัมผัสเป็นเกณฑ์ในการยอมรับผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อน

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการให้ความร้อนหอยเป่าฮื้อนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการบริโภคด้วย ถ้าต้องการบริโภคหอยที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มควรเลือกใช้อุณหภูมิประมาณ 60 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวคอลลาเจนจะเริ่มถูกไฮโดรไลซ์เปลี่ยนไปเป็นเจลาตินดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว แต่ถ้าต้องการเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่นควรให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวจะเกิดการหดตัวของโปรตีน actin ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ถ้าต้องการบริโภคในลักษณะตุ๋นก็ควรใช้อุณหภูมิ 100 °C และระยะเวลาในการให้ความร้อนนานเพื่อให้มีคอลลาเจนละลายออกมามากที่สุด

5.6.2 ศึกษาผลของการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที ต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อ

ในระหว่างการเตรียมหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ก่อนบรรจุกระป๋องนั้นได้นำหอยเป่าฮื้อลวกในน้ำเกลือความเข้มข้น 5 % นาน 2 นาที เพื่อให้ทำความสะอาดกำจัดเมือกและสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนตัวหอยออกง่ายขึ้น จากนั้นนำไปบรรจุกระป๋องแล้วเติมสารละลายเกลือ 1% และกรดซิตริก 0.2% ทั้งนี้เนื่องจากหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาวะที่ใช้ในการผลิตหอยเป่าฮื้อกระป๋องมักจะทำให้เกิดสีน้ำเงินที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น (bluing) ซึ่งมักเกิดบริเวณ epipodium เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีปริมาณเหล็กสูง (Olley และ Thrower, 1977) การเกิด bluing นั้นเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก กับ H_2S ที่ได้จากการสลายตัวของกรดอะมิโนเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแล้วเกิดสีน้ำเงินขึ้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเติมกรดซิตริก (ความเข้มข้นประมาณ 0.2% น้ำหนักโดยปริมาตร) (Warn และ Brown, 1984) เนื่องจากกรดซิตริกจะทำหน้าที่เป็น chelating agent จับกับอนุมูลของโลหะที่จะไปรวมกับกับ H_2S หรือช่วยป้องกันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ oxidized haemocyanin กับโปรตีน (James และ Olley, 1974) จากนั้นนำกระป๋องที่ไล่อากาศและปิดฝาเรียบร้อยแล้วไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114 °C เป็นเวลา 30 นาที (Brambila และคณะ, 2002)

ผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อกระป๋องที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114 °C เวลา 30 นาที มีค่า $F_0 = 5.8$ นาที มี pH ประมาณ 4.2 จัดอยู่ใน

กลุ่มอาหารที่มีความเป็นกรด เนื่องจากมีการเติมกรดซิตริกลงในสารละลายที่ใช้บรรจุกระป๋องเพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏด้านสีที่ดี และไม่พบจุลินทรีย์ที่สำคัญและเป็นสาเหตุทำให้อาหารกระป๋องเสียดังแสดงในตารางที่ 4.26 ทั้งนี้เนื่องจาก pH ของผลิตภัณฑ์เป็นกรดทำให้แบคทีเรียไม่เจริญและมีความต้านทานความร้อนต่ำ จึงไม่ต้องใช้อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อสูง ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะและคุณค่าของอาหารเสียไป (มัทนา แสงจินดาพงษ์, 2545)

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.20 และ 4.21) พบว่าหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดมีปริมาณ drain weight, ความชื้น และโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มี drain weight สูงกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* แสดงว่าเมื่อผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวแล้วหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณผลผลิต (yield) สูงกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* (82.81 และ 54.55 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องจากหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* เกิดการสูญเสียน้ำระหว่างการให้ความร้อนมากกว่าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่พบว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีความชื้นสูงกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* (80.70 และ 73.08 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ) ส่วนปริมาณโปรตีน (เทียบจากน้ำหนักแห้ง) ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับหอยเป่าฮื้อสด James และ Olley (1974) ได้สรุปสาเหตุสำคัญที่ทำให้หอยเป่าฮื้อสูญเสียน้ำหนักระหว่างการผลิตหอยเป่าฮื้อกระป๋องว่าเกิดจากของแข็งที่อยู่ในกล้ามเนื้อในรูปของคอลลาเจนเปลี่ยนแปลงเป็นเจลาตินแล้วละลายออกมาอยู่ในสารละลายน้ำเกลือ นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากโปรตีนเกิดการสูญเสียซึ่งมีความสัมพันธ์กับ pH และความเข้มข้นของเกลือในสารละลายที่บรรจุกระป๋อง

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสดังแสดงตารางที่ 4.22 และ 4.23 พบว่าหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดมีปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด และค่า toughness แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด (เทียบจากน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าชนิด *H. ovina* (17.35 และ 16.85 กรัม/100กรัม ตามลำดับ) แต่มีค่า toughness ต่ำกว่า (159.59 และ 267.37 กรัม ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของคอลลาเจนที่ต่างกันดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนปริมาณองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสกลุ่มนิวคลีโอไทด์ (ตารางที่ 4.24) พบว่าปริมาณ AMP ของหอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดลดลงประมาณ 50% จากที่พบในหอยสด (ตารางที่ 4.6) ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของ ATP ไปเป็นสารอนุพันธ์ตัวอื่น ๆ รวมทั้งในระบบมีน้ำ ดังนั้นองค์ประกอบของสารสกัดที่ละลายน้ำได้อาจแพร่ออกมาทำให้ปริมาณ AMP ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้เกิดกลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อมีปริมาณ

ลดลงเช่นเดียวกับปริมาณกรดอะมิโนอิสระ (ตารางที่ 4.25) ที่พบว่าปริมาณกรดอะมิโนอิสระที่ทำให้เกิดกลิ่นรสหอยเป่าฮื้อ ได้แก่ glutamic acid, glycine alanine และ arginine มีปริมาณลดลงมากเมื่อเทียบกับหอยสด (ตารางที่ 4.7) ผลการทดลองที่ได้ก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลวรรณ หัวเมืองแก้ว (2545) ที่นำไข่หอยเม่นไปต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิน้ำเดือด (98–100 °C) เป็นเวลา 2 นาที แล้วพบว่าปริมาณ ATP, ADP, AMP, IMP และกรดอะมิโนอิสระลดลง เนื่องจากโปรตีนในไข่หอยเม่นเสียสภาพทำให้สมบัติในการอุ้มน้ำลดลง น้ำในไข่หอยเม่นจึงไหลออกจากเนื้อเยื่อไข่หอยเม่นซึ่งจะทำให้กรดอะมิโนอิสระในเนื้อเยื่อซึ่งละลายน้ำได้แพร่ออกมาจากเนื้อเยื่อ

5.7 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้กับหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า (commercial)

จากการศึกษาขององค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้กับหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้า (ตารางที่ 4.27) พบว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ที่ผลิตได้มีความชื้นและโปรตีนแตกต่างกับหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาสมบัติด้านเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.28 และ 4.29) พบว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณคอลลาเจน (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ *H. ovina* และหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้าตามลำดับ การที่ปริมาณคอลลาเจนของหอยเป่าฮื้อต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของกล้ามเนื้อ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้ามีคอลลาเจนที่มีสมบัติต่างกับหอยเป่าฮื้อที่ใช้ในงานวิจัยทำให้คอลลาเจนในกล้ามเนื้อเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินเกือบทั้งหมดปริมาณคอลลาเจนจึงต่ำที่สุด (0.52 กรัม/100กรัม) และอีกสาเหตุหนึ่งน่าจะเนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้ออาจจะรุนแรงกว่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (114 °C เป็นเวลา 30 นาที) ซึ่งอาจทำให้คอลลาเจนในเนื้อหอยเป่าฮื้อเปลี่ยนเป็นเจลาตินได้มากกว่าสภาวะที่ใช้ในงานวิจัย Olley และ Throver (1977) พบว่าหอยเป่าฮื้อที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 °C เป็นเวลา 65 นาที จะทำให้คอลลาเจนเกือบทั้งหมดเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าหอยเป่าฮื้อบรรจุกระป๋องจำหน่ายทางการค้าที่ผ่านสภาวะในการฆ่าเชื้อที่รุนแรงจึงทำให้คอลลาเจนในกล้ามเนื้อเกือบทั้งหมดเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินทำให้ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ดังแสดงในตาราง 4.29 พบว่า ค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ของหอยเป่าฮื้อทั้งสามตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีค่า hardness,

springiness และ chewiness ไม่แตกต่างกับหอยเป่าฮือบรจกระป๋องจำหน่ายทางการค้า แสดงว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีสมบัติด้านองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับหอยเป่าฮือที่ขายในท้องตลาดซึ่งสมบัติดังกล่าวเป็นสมบัติที่สำคัญในการตัดสินใจบริโภคหอยเป่าฮือ

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้เปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือบรจกระป๋องที่ผลิตได้กับหอยเป่าฮือบรจกระป๋องจำหน่ายทางการค้า ทั้งนี้เนื่องจากหอยเป่าฮือที่บรจกระป๋องจำหน่ายทางการค้าอาจมีการเติมสารปรุงรสลงไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดีซึ่งอาจทำให้ผลการวิเคราะห์หาค่าคลาดเคลื่อนได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

1. หอยเป่าฮื้อที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ขนาด 40-50 ตัว/กิโลกรัม ชนิด *H. asinina* มีสัดส่วนที่บริโภคได้ 52.40% ชนิด *H. ovina* 21.60%
2. หอยเป่าฮื้อทั้งสองชนิดมีโปรตีนชนิด myofibrillar และ stroma เป็นองค์ประกอบหลัก โดยหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณโปรตีนชนิด stroma (49.12%) สูงกว่าหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* (35.83%) แต่มีปริมาณโปรตีนชนิด myofibrillar ต่ำกว่า (30.61 และ 36.32% ตามลำดับ)
3. หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 นาที มีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมสูงที่สุด
4. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อก่อนและหลังผ่านการให้ความร้อน

สมบัติ	ก่อนให้ความร้อน		ความร้อน 80 °C เวลา 120 นาที		ความร้อน 114 °C เวลา 30 นาที	
	<i>H. asinina</i>	<i>H. ovina</i>	<i>H. asinina</i>	<i>H. ovina</i>	<i>H. asinina</i>	<i>H. ovina</i>
ความชื้น (%)	82.22	77.60	75.45	63.96	80.70	73.08
โปรตีน (%)	15.31	19.40	20.64	30.58	16.14	23.82
คอแลลาเจน (g/100g)	5.32	4.39	6.58	6.46	3.32	4.54
toughness (g)	1492.05	2674.13	170.47	271.78	159.59	267.37
AMP (g/100g)	35	64	22	59	12	33
glycine (g/100g)	105.56	75.21	-	-	6.27	-
glutamic acid (g/100g)	62.51	41.85	-	-	2.97	-

5. หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับหอยเป่าฮื้อที่ขายในท้องตลาด

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลที่ได้ในงานวิจัยนี้พบว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* มีองค์ประกอบของสารสกัดชนิดหลักใกล้เคียงกับหอยเป่าชื่อชนิดอื่น ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันว่าองค์ประกอบของสารสกัดตัวนั้นๆ เป็นตัวให้กลิ่นรสของหอยเป่าชื่อทั้งสองชนิด จึงควรมีการศึกษาชนิดขององค์ประกอบของสารสกัดที่เป็นตัวให้กลิ่นรสของหอยเป่าชื่อด้วยวิธี omission test
2. ในงานวิจัยหัวข้อผลของการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ผลิตหอยเป่าชื่อโดยใช้สภาวะในการฆ่าเชื้อสภาวะเดียวกับหอยเป่าชื่อที่ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการฆ่าเชื้อหอยเป่าชื่อให้เหมาะกับหอยเป่าชื่อชนิดที่พบในประเทศไทย
3. ผลิตภัณฑ์หอยเป่าชื่อบรรจุกระป๋องที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์หอยเป่าชื่อในสารละลายเกลือ 1% และกรดซิตริก 0.2% จึงควรมีการพัฒนาปรับปรุงสภาวะที่ใช้ในการบรรจุกระป๋องหรือศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีชนิดอื่น ๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อหอยเป่าชื่อที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเพื่อให้ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด
4. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หอยเป่าชื่อบรรจุกระป๋องที่ได้เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กมลวรรณ หัวเมืองแก้ว. 2545. องค์ประกอบของสารสกัดและผลของการให้ความร้อนที่มีต่ออัตราของไซโทฮอยเม่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คเชนทร เฉลิมวัฒน์. 2544. หอยโข่งทะเล. ใน การเพาะเลี้ยงหอย, หน้า 211-228. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ริ้วเขียว.
- นงลักษณ์ สุทธิวิช. 2531. องค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำ. ใน คุณภาพสัตว์น้ำ, หน้า 48-79. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิตยา รัตนพานนท์. 2539. โปรตีน. ใน เคมีอาหาร, หน้า 111-142. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พ่ายพ์ ยั่งปักซี่. 2541. หอยเป่าฮื้อ. สัตว์น้ำ 10 (มกราคม): 169-174.
- ภิญโญ พานิชพันธ์. 2542. กรดอะมิโนและโปรตีน. ใน ชีวเคมี, หน้า 89-123. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- มัทนา แสงจินดาวงษ์. 2545. ผลิตภัณฑ์ประมงบรรจุกระป๋อง. ใน ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย, หน้า 121-140. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มะลิ บุญยรัตผลิน. 2545. การพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทยหอยเป่าฮื้อ. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทย, หน้า 1-18. 2 กุมภาพันธ์ 2545 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2523
- มาลัยวรรณ อารยะสกุล และ วรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร. 2540. เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 248-281. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลิดา เรืองแป้น. 2543. การเพาะเลี้ยงหอยเป่าฮื้อ. สัตว์น้ำ 12 (มกราคม): 126-136.
- วรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร. 2543. สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 282-294. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีไล รังสาดทอง. 2543. กรรมวิธีแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน. ใน เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร, หน้า 125-136. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. 2540. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2539/2540.

กรุงเทพมหานคร: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 309 หน้า.

สมปอง วิชญูวิเชียร. 2542. หอยเป่าฮื้อ. ข่าวกรมประมง 23 (มกราคม-มิถุนายน): 19-31.

สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย. 2540. การแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมง. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีประมงเบื้องต้น ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สิทธิศักดิ์ เหมือนสิน. 2545. หอยเป่าฮื้อสัตว์น้ำเศรษฐกิจตัวใหม่ของไทย. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทย, หน้า 1-12. 2 กุมภาพันธ์ 2545 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

A.O.A.C. 1995. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Washington D.C. pp. 39-1-39-23.

Atkinson, D. E. 1968. The energy charge of the adenylate pool as a regulatory parameter. Interaction with feedback modifiers. Biochemistry. 7: 4030-4034.

Bailey, A. J., and Light, N. D. 1989. Connective tissue in meat and meat products. London: Elsevier Applied Science.

Bailey, A. J., Restall, D. J., Sim, T. J., and Duance, V. C. 1979. Meat tenderness: immunofluorescent localization of the isomorphic forms of collagen on bovine muscles of varying texture. Journal of Science of Food and Agriculture. 30(1): 203-207.

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

Brambila, G. Y. S., Lyon, B. G., Huang, Y. W., Lyon, C. E., and Gates, K. W. 2002. Sensory characteristics and instrumental texture attributes of abalone, *Haloitiss Fulgens* and *Cracherodii*. Journal of Food Science. 67(3): 1233-1239.

Cheng, C. S., and Parrish, F. C. 1976. Scanning electron microscopy of bovine muscle: effect of heating on ultrastructure. Fisheries Science. 41(11): 1449-1454.

Chiou, T. K., and Lai, M. M. 2002. Comparison of taste components in cooked meats of small abalone fed different diets. Fisheries Science. 68(2): 388-394.

- Chiou, T. K., and Lai, M. M., Lan, H. L., and Shiau, C. Y. 2002. Extractive component changes in the foot muscle of live small abalone during storage. Fisheries Science. 68(2): 380-387.
- Cochran, G. J. B., and Cox, G. M. 1992. Experimental Design. New York: John Wiley and Sons, 611 pp.
- Cover, S., Ritchey, S. J., and Hostetler, R. L. 1962. Tenderness of beef 1. the connective tissue component of tenderness. Journal of Food Science. 27(1): 469-473.
- Dransfield, E. 1977. Intramuscular composition and texture of beef muscle. Journal of Science of Food and Agriculture. 28(2): 883-886.
- Dunajski, E. 1979. Texture of fish muscle. Journal of Texture Studies. 10: 301-309.
- Foegeding, E. A., Lanier, T. C., and Hultin, H. O. 1996. Characteristics of edible muscle tissues. In O. R. Fennema (ed.), Food chemistry, pp. 879-942. New York: Marcel Dekker.
- Forrest, J. C., Aberle, E. D., Hedrick, H. B., Judge, M. D., and Merkel, R. A. 1975. Principles of meat science. New York: Freeman.
- Fuke, S. 1994. Taste-active components of seafood with special reference to umami substances. In F. Shahidi, and J. R. Botta (eds.), Seafoods: chemistry, processing technology and quality, pp.115-139. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Haard, N. F., Simson, B. K., and Pan, B. S. 1994. Sarcoplasmic proteins and other nitrogenous compound. In Z. E. Sikorski, B. S. Pan, and F. Shahidi (eds.), Seafood protein, pp. 13-39. New York: Chapman & Hall.
- Hatae, K., Nakai, H., Shimada, A., Murakami, T., Takada, K., Shirojo, Y., and Watanabe, S. 1995. Abalone (*Haliotis discus*) seasonal variations in chemical composition and textural properties. Journal of Food Science. 60(1): 32-39.
- Hatae, K., Nakai, H., Tanaka, C., Shimada, A., and Watabe, S. 1996. Taste and texture of abalone meat after extended cooking. Fisheries Science. 62(4): 643-647.
- Hayashi, T, Yamaguchi, K., and Konosu, S. 1981. Sensory analysis of taste active components in the extract of boiled snow crab meat. Journal of Food Science. 46(2): 479-483.

- Hwang, D. F., Liang, W. P., Shiau, C. Y., Chiou, T. K., and Jeng, S. S. 1997. Seasonal variations of free amino acids in the muscle and viscera of small abalone *Haliotis diversicolor*. Fisheries Science. 63(4): 625-629.
- James, D. G., and Olley, J. 1971. Studies on the processing of abalone II the maturometer as a guide to canned abalone texture. Food Technology in Australia. 23:3914-3918.
- James, D. G., and Olley, J. 1974. The abalone industry in Australia. In K. Rudolf (ed.), Fishery products, pp.238-242. England: The Whitefriars Press.
- Jones, S. B., Carrol, R. J., and Cavanaugh, J. R. 1977. Structural changes in heated bovine muscle: a scanning electron microscope study. Journal of Food Science. 42(1): 125-131.
- Kawashima, K., and Yamanaka, H. 1996. Relations between glycolysis and browning of cooked scallop adductor muscle. Fisheries Science. 62(5): 800-805.
- Kijowski, J. 2001. Muscle proteins. In Z. E. Sikorski (ed.), Chemical and functional properties of food proteins, pp. 233-269. Pennsylvania: Technomic Publishing.
- Kimura, J., Shimizu, A., Kimizuka, A., Ninomiya, T., and Katsuya, N. 1969. The contribution of peptides and amino acids to the taste of food stuffs. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 17(2): 689-695.
- Kimura, S., and Kubota, M. 1968. Some properties of collagen from the abalone. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 34(4): 925-929.
- Kolakowski, E. 2001. Protein determination and analysis in food systems. In Z. E. Sikorski (ed.), Chemical and functional properties of food proteins, pp. 57-112. Pennsylvania: Technomic Publishing.
- Kolar, K. 1990. Colorimetric determination of hydroxyproline as measure of collagen content in meat and meat products: NKML collaborative study. Journal of the Association of Official Analytical Chemists. 73(1): 54-57.
- Konosu, S. 1973. Taste of fish and shellfish with special difference to taste-producing substances. Nippon Shokuhin-Kogyo Gakkaishi. 20(2): 432-439.
- Konosu, S., Hayashi, T., and Yamaguchi, K. 1987. Role of extractive components of boiled crab in producing the characteristic flavor. In K. Kawamura, and M. R. Karo (eds.), Umami: A Basic Taste, pp. 235-253. New York: Marcel Dekker.

- Konosu, S., and Yamaguchi, K. 1982. The flavor components in fish and shellfish. In R. E. Martin, G. J. Flick, C. E. Hebard, and D. R. Ward (eds.), Chemistry and biochemistry of marine food products, pp. 367-404. Westport: AVI Publishing.
- Lawrie, R. A. 1966. Meat science. London: Pergamon Press.
- Lawrie, R. A. 1968. Chemical changes in meat due to processing – a review. Journal of Science of Food and Agriculture. 19(1): 233-240.
- Leach, A. A. 1960. Notes on a modification of the Neuman & Logan method for the determination of the hydroxyproline. Biochemical Journal. 74(1): 70-71.
- Ledward, D. A. 1984. Thermal stability of connective tissue in meat and meat products. Journal of Science of Food and Agriculture. 35(5):1262-1267.
- Light, N., Voyle, C., and Champion, A. 1984. Relationship between collagen content, type and texture of difference muscles. Journal of Science of Food and Agriculture. 35(5): 1261-1262.
- Marten, H., Stabursvik, E., and Marten, M. 1982. Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins. Journal Texture Studies. 13(1): 291-309.
- Matoba, T., Kuchiba, M., Kimura, M., and Hasegawa, K. 1988. Thermal degradation of flavor enhancers, inosine 5'-monophosphate, and guanidine 5'-monophosphate in aqueous solution. Journal of Food Science. 53(4): 1156-1159.
- Miwa, K., and Yong, L. P. 1987. Labolatory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products. Southeast Asian fisheries development center. Singapore.
- Mizuta, S., Yoshinaka, R., Sato, M., and Sakaguchi, M. 1994. Characterization of collagen in the muscle of several crustacean species in association with raw meat texture. Fisheries Science. 60(3): 323-328.
- Mochizuki, Y., Mizuno, H., Ogawa, H., Ishimura, K., Tsuchiya, H., and Iso, N. 1995. Changes of rheological properties of cuttlefish and squid meat be heat treatment. Fisheries Science. 61(4): 680-683.
- Moller, A. J., Sorensen, S. E., and Larsen, M. 1981. Differentiation of myofibrillar and connective tissue strength in beef muscles by Warner-Bratzler shear parameters. Journal Texture Studies. 12(1): 71.

- Nishimura, T., and Kato, H. 1988. Taste of free amino acids and peptides. Food Reviews International. 4:175 -194.
- Nontratip, A., Wada, S., and Yamanaka, H. 1991. Post-mortem glycolysis and ATP degradation in the muscle of ascidian *Halocynthia roretzi*. Nippon Suisan Gakkaishi. 57(2): 761-766.
- Ochiai, Y., Kariya, Y., Watabe, S., and Hashimoto, K. 1985. Heat-induced tendering of turban shell (*Batillus cornutus*) muscle. Journal of Food Science. 50(2): 981-984.
- 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.
- Olley, J., and Thrower, S. J. 1977. Abalone-an esoteric food. Advance in Food Research. 23(1):143-185.
- Otwell, W. S., and Hamann, D. D. 1979. Textural characterization of squid (*Loligo pealei* L.) instrumental and panel evaluations. Journal of Food Science. 44(4): 1636-1643.
- Palka, K., and Daun, H. 1999. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine *M. semitendinosus* during heating. Meat Science. 51(1): 237-243.
- Pauline, C. P., Suzanne, E. M., and Linda, M. H. 1973. Heat-induced changes in extractability of beef muscle collagen. Journal of Food Science. 38(1): 66-68.
- Pompei, C., Lucisano, M., Zanoni, B., and Casiraghi, E. 1988. Evaluation of spreadability of food products by penetration tests and panel scores. Journal of Food Science. 53(2): 592-596.
- Powell, E. N., Margaret, K., Chen, E., Koeing, M., and Pecon, J. 1982. Changes in free amino acid pool during environmental stress in the gill of the oyster, *Crassostrea virginica*. Comparative Biochemistry and Physiology. 71(2): 591-598.
- Sato, K., Yoshinaka, R., Sato, M., and Shimizu, Y. 1986. Collagen content in the muscle of fishes in association with their swimming movement and meat texture. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 52(9): 1595-1600.
- Seki, N. 1971. Nucleotides in aquatic animals and seaweed. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 37(3): 777-783.

- Shahidi, F. 1994. Seafood proteins and preparation of protein concentrates. In F. Shahidi, and J. R. Botta (eds.), Seafoods: chemistry, processing technology and quality, pp. 3-9. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Sikorski, Z. E., and Borderias, J. 1994. Collagen in the muscles and skin of marine animals. In Z. E. Sikorski, B. S. Pan, and F. Shahidi (eds.), Seafood protein, pp. 58-70. New York: Chapman & Hall.
- Simidu, W., Hibiki, S., Sibata, S., and Takeda, K. 1953. Studies on muscle of aquatic animal. XVI. Distribution of extractive nitrogens in muscles of several kinds of gastropod. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 19(4): 871-876.
- Stansby, M. E., and Hall, A. S. 1967. Chemical composition of commercially important fish of the United State. Fisheries Industrial Research. 3(1): 24-28.
- Suzuki, T. 1981. Fish and krill processing technology. London: Applied Science.
- Takaki, L., and Simidu, W. 1963. Seasonal variation of chemical constituents and extractive nitrogens in some species of shellfish. Nippon Suisan Gakkaishi. 29(1): 66-70.
- Takayama, N., Yamamoto, Y., Kadowaki, Y., and Endo, K. 1970. Chemical components of abalone meat. Kaseikaku Zasshi. 21(1): 239-245.
- Visser, R. Y., Harrison, D. J., Goertz, G. E., Bunyan, M., and Mackintosh, D. L. 1960. The effect of degree of done on the tenderness and juiciness of bovine cooked in the oven and in deep fat. Food Technology. 14: 193-208.
- Ward, A. G., and Court, A. 1977. The science and technology of gelatin. New York: Academic Press.
- Warn, D., and Brown, N. 1984. Abalone canning: factors affecting product safety, sensory quality and profitability. Infofish Marketing Digest. 5(1): 42-44.
- Watabe, S., Ochiai, Y., Kariya, Y., Dinh, T. N. L., Kimura, S., and Hashimoto, K. 1986. Characterization of three types of turban shell *Batillus cornutus* muscle – ultrastructure and protein composition. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 52(4): 737-744.
- Watanabe, H., Yamanaka, H., and Yamakawa, H. 1992. Seasonal variations of extractive components in the muscle of disk abalone. Nippon Suisan Gakkaishi. 58(5): 921-925.

Webber, H. H., 1970. Changes in metabolite composition during the reproductive cycle of the abalone *Haliotis cracheroidii* (Gastropoda: Prosobranchiata). Physiological Zoology. 43(1): 213-217.

Xiong, Y. L. 1997. Structure-function relationships of muscle protein. In S. Damodaran (ed.), Food proteins and their application, pp. 341-362. New York: Marcel Dekker.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

อุปกรณ์

ตุ้บ

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ภาชนะอะลูมิเนียมซึ่งอบแห้ง และชั่งน้ำหนักไว้แล้ว
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตุ้บ ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. นำมาทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

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

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ตามวิธีของ A.O.A.C. (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)

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 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยา 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

ตามวิธีของ A.O.A.C. (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
2. ใส่ตัวอย่างในทิมเบิลซึ่งบรรจุในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
3. เติม petroleum ether ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด แล้วต่อเข้ากับชุดสกัดใช้เวลาในการสกัดไขมันนาน 3-4 ชั่วโมง
4. ระเหยเอา petroleum ether ออกจากไขมันที่สกัดได้

5. นำไขมันที่ได้หรือน้ำมันที่ได้ในขวดสกัดไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C ประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์

6. ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่ได้จากการสกัด คำนวณปริมาณไขมันโดยใช้สูตร

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

A = น้ำหนักที่แน่นอนของขวดก้นกลมและไขมันที่สกัดได้ (กรัม)

B = น้ำหนักที่แน่นอนของขวดก้นกลม (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

ตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

อุปกรณ์

1. เตาเผา
2. เตาให้ความร้อน

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในครุชีเบล ที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำตัวอย่างไปให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น จนกระทั่งตัวอย่างไม่มีกลิ่น

2. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่ 500-550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

ขาว

3. ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณเถ้าโดยใช้สูตร

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

ก.5 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนอิสระด้วยวิธี HPLC (ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยมหิดล)

AccQ.Tag. เป็นวิธีการหากรดอะมิโนที่ Waters พัฒนาขึ้น โดยการทำอนุพันธ์ของกรดอะมิโนด้วยวิธี pre-column โดยสารเคมีที่ใช้ในการทำอนุพันธ์ ได้แก่ AQC. (AccQ-fluor reagent) มีชื่อทางเคมี คือ 6-amino quinolyl-N-hydroxy succinimidyl carbamate ซึ่งสามารถเกิด

อนุพันธ์กับ primary และ secondary amino acid ได้เป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโนที่มีความเสถียร เก็บที่อุณหภูมิห้องได้นานและสามารถแยกได้ง่ายด้วย reverse phase HPLC โดยใช้ column ที่ Waters พัฒนาขึ้น อนุพันธ์ที่แยกได้สามารถตรวจวัดด้วยเครื่อง fluorescent detector ที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร นอกจากนี้สาร AQC. ที่มากเกินไปจะถูกไฮโดรไลซ์ ด้วยน้ำได้เป็น AMQ.(aminoquinoline) ที่ตรวจวัดได้น้อย ทำให้ไม่มีการรบกวนจากปริมาณ AQC. ที่มากเกินไป

อุปกรณ์

1. Water Alliance 2695 with heater
2. Waters AccQ-Tag amino acid analysis column
3. เครื่องตรวจวัด (2475 Scanning Fluorescence Detector EX : 250 nm, EM : 395 nm)

สารเคมี

1. Waters AccQ-Tag eluent A concentrate (gradient mobile phase)
2. Water amino acid hydrolysate standard ampoules
3. 60% acetonitrile
4. Water AccQ.fluor reagent kit ประกอบด้วย
 - Water AccQ. fluor borate buffer
 - Water AccQ. fluor reagent powder (2A)
 - Water AccQ. fluor reagent diluent (2B)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียม Waters AccQ. reagent เพื่อทำอนุพันธ์

นำ Water AccQ. fluor reagent (2B) 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water AccQ. fluor reagent (2A) ปิดฝาเขย่า 10 วินาที ให้ความร้อน 55 °C จนผงใน (2A) ละลายหมด ระวังอย่าให้ความร้อนนานเกิน 10 นาที เมื่อเตรียมเสร็จสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน 1 สัปดาห์

2. การเตรียมสารมาตรฐานและอนุพันธ์ของสารมาตรฐาน

2.1 การเตรียมสารมาตรฐาน

เติม amino acid hydrolysate standard 40 ไมโครลิตร และ internal standard stock solution 40 ไมโครลิตร (ละลาย 2-amino butyric acid 6.45 มิลลิกรัม ใน 0.1M HCl ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ -20 °C ได้นาน 6 เดือน) จากนั้นเติมน้ำ Milli-Q 920 ไมโครลิตร สารมาตรฐานที่เตรียมได้จะประกอบด้วย 100 pmol/ไมโครลิตร ของกรดอะมิโนแต่ละชนิด และ internal standard 100 pmol/ไมโครลิตร

2.2 การเตรียมอนุพันธ์สารมาตรฐาน

นำสารมาตรฐาน 10 ไมโครลิตรที่เตรียมไว้ใส่ใน sample tube ขนาด 6 × 50 มิลลิเมตร เต็ม Waters AccQ. fluor borate buffer ประมาณ 70 ไมโครลิตร เต็ม ACQ. reagent 20 ไมโครลิตร วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

3. การเตรียมตัวอย่างและอนุพันธ์ของตัวอย่าง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำ internal standard ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ที่เตรียมไว้ใน 20 mM HCl ปริมาตร 980 ไมโครลิตร จากนั้นใส่สารมาตรฐานแบบ internal standard ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ในตัวอย่าง

3.2 การเตรียมอนุพันธ์ของตัวอย่าง

เติม AccQ. fluor borate ปริมาตร 60 ไมโครลิตร ลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้ จากนั้นเขย่าให้เข้ากันและเติม ACQ. reagent ที่เตรียมไว้ 20 ไมโครลิตร เขย่าเป็นเวลา 10 วินาที ทิ้งไว้ 1 นาที เพื่อรอให้ ACQ. ที่มากเกินไปถูก hydrolyse ด้วยน้ำไปเป็น AMQ. นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

3.3 การแยกอนุพันธ์ของกรดอะมิโน

ใช้ปั๊มขับเคลื่อน mobile phase เข้าร่วมกับตัวอย่างเพื่อพาเข้าสู่ separating column ที่อุณหภูมิ 37°C โดยใช้ mobile phase 3 ชนิด คือ

- eluent A เป็น AccQ. Tag eluent 200 มิลลิลิตร ใน Milli-Q 2 ลิตร
- eluent B เป็น acetonitrile
- eluent C เป็น Milli-Q water

ตรวจวัดด้วย fluorescent detector ที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ก.6 การวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อเยื่อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) (ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (JEOL JEM-200CX Electron microscope)
2. Sony, video graphic printer UP -880

วิธีการทดลอง

1. ตัดชิ้นหอยเป่าสี่เหลี่ยมมีขนาดประมาณ 1 × 5 × 5 มิลลิเมตร ด้วยมีดผ่าตัดเบอร์ 23

2. แช่ตัวอย่าง (pre-fix) ใน 0.1M phosphate buffer pH 7.2 ที่มี glutaraldehyde ผสมอยู่ 2.5% นาน 3 ชั่วโมง หรือข้ามคืนในตู้เย็น
3. ล้างตัวอย่างด้วย phosphate buffer 3 ครั้ง ครั้งละ 10-15 นาที
4. แช่ตัวอย่าง (post-fix) ใน 0.1M phosphate buffer pH 7.2 ที่มี OsO_4 ผสมอยู่ 1% หรือในน้ำกลั่น นาน 1-2 ชั่วโมง
5. ล้างตัวอย่างด้วย phosphate buffer หรือน้ำกลั่น 3 ครั้ง ครั้งละ 10-15 นาที
6. ขจัดน้ำออกจากตัวอย่าง (dehydrate) ด้วย ethanol หรือ acetone ที่ความเข้มข้น 30% 50% 70% 90% และ 100% (2 ครั้ง) ตามลำดับ ขั้นตอนละ 10-15 นาที
7. แช่ตัวอย่างในแอลกอฮอล์ผสมพลาสติก (เรซิน) ในอัตราส่วน 2 : 1 จากนั้นเปลี่ยนอัตราส่วนเป็น 1 : 1 แล้วเปลี่ยนอัตราส่วน เป็น 1 : 2 แช่ครั้งละ 3 ชั่วโมง และในขั้นสุดท้ายให้แช่ตัวอย่างในพลาสติก(เรซิน) 100% ทำขั้นตอนนี้ 2 ครั้ง เพื่อให้พลาสติกเข้าไปแทนที่ในเนื้อเยื่อเพื่อให้เนื้อเยื่อคงรูป
8. ใส่ตัวอย่างที่ได้ในแม่พิมพ์ เติมพลาสติกให้เต็ม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง
9. แกะตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์แล้วนำมาตัดให้มีความหนาประมาณ 60–90 nm
10. วางตัวอย่างที่ได้บน grid แล้วนำไปย้อมด้วย uranyl acetate หรือ lead acetate แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
11. นำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ก.7 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA-XT2)
2. หัววัดแบบกดรุ่น P100
3. หัววัดสแตนเลส P2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร

วิธีการทดลอง

1. calibrate force ด้วยตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม
2. ติดตั้งหัววัดเข้ากับ load cell ของเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส
3. ตั้งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดตามต้องการ
4. วางตัวอย่างบริเวณตรงกลางของแท่นวาง
5. กดปุ่มวัด เพื่อเลื่อนหัววัด ตามระยะทางที่กำหนด
6. บันทึกค่าต่าง ๆ ที่ต้องการวัด

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ตามวิธีของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2523)

ข.1 การตรวจวิเคราะห์ แพลตซาวร์ (flat sour) ชนิดเทอร์โมฟิลิก (thermophilic) และชนิดมีโซฟิลิก (mesophilic)

1. นำตัวอย่าง 2 กรัม หรือ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพาะลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเดกซ์โตรสทริปไตโนบรอมครีซอลเพอร์เฟิลบรอก จำนวน 4 หลอด และในอาหารเลี้ยงเชื้อเดกซ์โตรสทริปไตโนบรอมครีซอลเพอร์เฟิลอะการ์ 4 จาน

2. อบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 °C อย่างละ 2 หลอด และ 2 จาน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ถ้ามีเชื้อพวกแพลตซาวร์ (*Bacillus stearothermophilus*) จะทำให้เกิดกรดขึ้น ซึ่งจะเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อจากสีม่วงเป็นสีเหลือง

ข.2 การตรวจวิเคราะห์เทอร์โมฟิลิกแอนแอโรบส์ (Thermophilic anaerobes) ได้แก่ *Clostridium thermosaccharolyticum*

1. นำตัวอย่างประมาณ 2 กรัม หรือ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพาะลงในอาหารเลี้ยงเชื้อปีฟฮาร์ตอินฟิวชันมีเดียมหรือคูมิตมีเดียม ซึ่งได้ต้มไล่อากาศออกและทำให้เย็นแล้วจำนวน 4 หลอด

2. แบ่งไปต้มที่ 80 °C 20 นาที 2 หลอด ทำให้เย็นแล้วเทพาราฟินหรืออะการ์ที่ปราศจากเชื้อทับผิวหน้าอาหารในหลอดทั้ง 4 หรือจะใส่ในแอนแอโรบิกจาร์ (anaerobic jar) ก็ได้

3. อบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 55 °C นาน 48-72 ชั่วโมง ถ้ามีก๊าซเกิดขึ้นนำไปย้อมสีด้วยวิธีกรัมสแติน ถ้ามีเชื้อซึ่งเป็นกรัมบวก (gram positive) มีรูปร่างเป็นแท่ง มีสปอร์อยู่ปลายท่อนหรือค่อนข้างปลายแสดงว่าเป็นเชื้อพวกเทอร์โมฟิลิกแอนแอโรบส์

ข.3 การวิเคราะห์พิวทริแฟกทีฟแอนแอโรบส์ (Putrefactive anaerobes) ได้แก่ *C. botulinum*, *C. sporogenes* และ *C. perfringens*

วิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ ค.2 แต่อบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 °C เวลา 72-96 ชั่วโมง ถ้ามีเชื้อจะมีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดและมีกลิ่นเหม็นเน่า

ข.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. เดกซ์โทรสทริปโตเนบรอมครีซอลเพอร์เฟิลบรอต (Dextrose tryptone bromcresol purple broth)

ทริปโตเน	10 กรัม
เดกซ์โทรส	5 กรัม
บรอมครีซอลเพอร์เฟิล	0.04 กรัม
น้ำกลั่น	1000 มิลลิลิตร

2. บีฟฮาร์ทอินฟิวชันมีเดียม (Beef heart infusion medium)

เปปโตเน	10 กรัม
โซเดียมคลอไรด์	5 กรัม
หัวใจวัว (ปราศจากไขมัน)	500 กรัม

นำหัวใจวัวมาบดเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เก็บไว้ในตู้เย็นหนึ่งคืน ต้มให้เดือด นาน 15 นาที แยกเอาส่วนที่เป็นเนื้อและเป็นน้ำออกจากกัน โดยกรองผ้าหนาๆ 2 ครั้ง เติมเปปโตเนและโซเดียมคลอไรด์ลงในส่วนที่เป็นน้ำ เติมน้ำจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ปรับให้มีความเป็นกรดต่าง 7.6 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมล ต้มน้ำให้เดือด 15-20 นาที แบ่งส่วนที่เป็นเนื้อลงในหลอดทดลอง ให้มีปริมาณของเนื้อสูง 2 เซนติเมตร แล้วเติมน้ำลงไปครึ่งหลอด ปิดฝาฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 20 นาที ถ้าไม่ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อในวันที่เตรียมก็นำไปใช้ต้องต้มน้ำอากาศออกที่อุณหภูมิ 100 °C ประมาณ 3 นาที และทำให้เย็นทันที

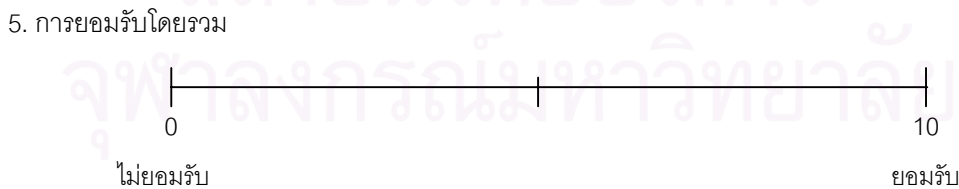
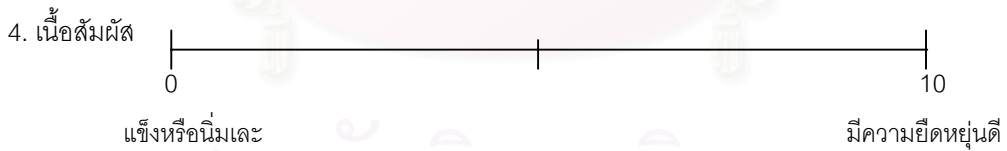
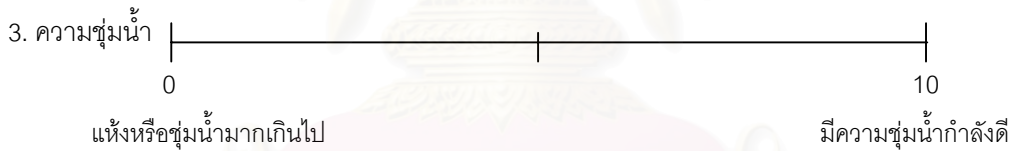
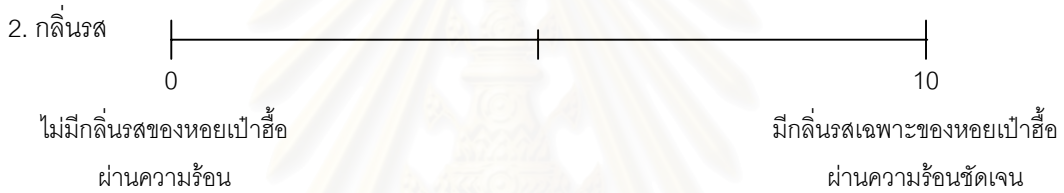
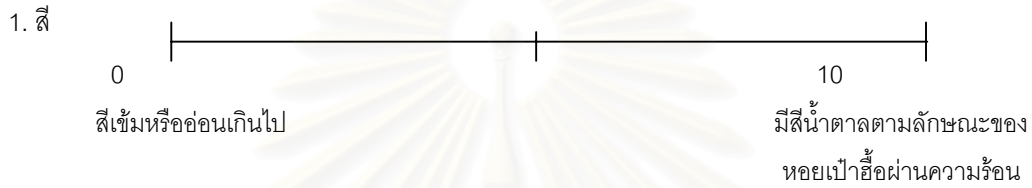
ภาคผนวก ค

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮือผ่านการให้ความร้อน

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

คำชี้แจง โปรดทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และทำเครื่องหมายเส้นตรงในแนวตั้งให้ตั้งฉากกับเส้นสเกลแนวนอนที่ให้ ตามลักษณะที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง



ข้อเสนอนี้ _____

ภาคผนวก ง

หอยเป่าสีที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ ง.1 หอยเป่าสีชนิด *H. asinina* ทั้งตัว



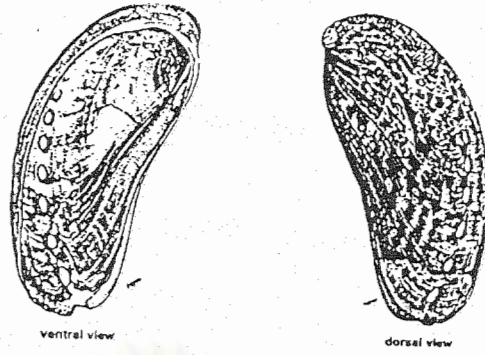
รูปที่ ง.2 เนื้อหอยเป่าสีชนิด *H. asinina*



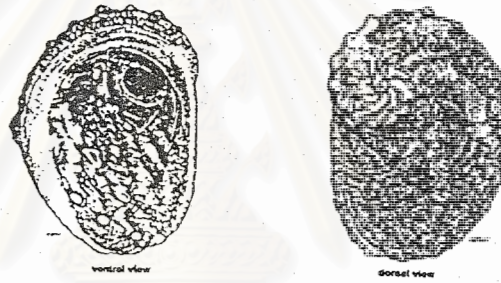
รูปที่ ง.3 หอยเป่าฮ้อชนิด *H. ovina* ทั้งตัว



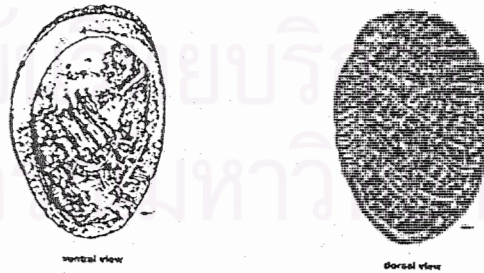
รูปที่ ง.4 เนื้อหอยเป่าฮ้อชนิด *H. ovina*



(a)



(b)



(c)

รูปที่ ๓.๕ หอยเป่าฮ้อที่พบในประเทศไทย (a) *H. asinina* (b) *H. ovina* (c) *H. varia*

ภาคผนวก จ

องค์ประกอบของสารสกัดของหอยเป่าสี่ชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ จ.1 องค์ประกอบของสารสกัด (มิลลิกรัม/100 กรัม) ของหอยเป่าสี่ชนิดต่าง ๆ

กรดอะมิโน	<i>H. asinina</i>	<i>H. ovina</i>	<i>H. discus</i> ^a	<i>H. diversicolor</i> ^b
Aspartic acid	17.91	13.18	9	8
Serine	4.96	13.51	95	20
Glutamic acid	62.51	41.85	109	31
Glycine	105.56	75.21	174	221
Histidine	8.09	2.96	23	10
Arginine	792.48	385.32	299	388
Threonine	144.81	86.32	82	13
Alanine	24.08	27.30	98	28
Proline	4.96	7.27	98	13
Cysteine	0	56.25	-	-
Tyrosine	4.29	4.13	57	11
Valine	2.94	6.57	37	6
Methionine	0.82	1.69	12	3
Lysine	6.84	3.89	76	14
Isoleucine	2.02	3.85	18	5
Leucine	3.08	3.05	24	7
Phenylalanine	2.50	1.41	26	6
AMP	35	64	90	126

^a ที่มา: Konosu (1973)

^b ที่มา: Chiou และคณะ (2002)

* ไม่มีรายงานไว้ในงานวิจัย

ภาคผนวก จ

การตรวจสอบการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำโดยการวัดค่าการแตกตัวของนิวคลีโอไทด์

การวัดค่าการแตกตัวของนิวคลีโอไทด์หรือ ATP (adenosine triphosphate) โดยการตรวจสอบปริมาณ IMP (inosine monophosphate) ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของ ATP และควรใช้เป็นค่าประเมินคุณภาพในระยะแรก เนื่องจาก IMP สูญเสียอย่างรวดเร็ว การลดลงของ IMP จึงมีผลต่อความสดของปลา จึงนำค่า IMP ประเมินค่าความสดของปลาได้ และเมื่อปริมาณ IMP และ inosine ลดลง ปริมาณไฮโปแซนทีน (hypoxanthine) จะเพิ่มขึ้นภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากปลาตาย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการตรวจสอบความสดของปลา จึงใช้ค่า K (K-value) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนระหว่าง inosine และ hypoxanthine ต่อปริมาณการแตกตัวของ ATP นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบปริมาณไฮโปแซนทีน (hypoxanthine, Hx) ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของนิวคลีโอไทด์เช่นกัน โดย Hx จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่เก็บ (มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2545)

$$K (\%) = \frac{[\text{Inosine}] + [\text{Hypoxanthine}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}] + [\text{IMP}] + [\text{Inosine}] + [\text{Hypoxanthine}]}$$

ค่า K หลังจากปลาตายทันที น้อยกว่าร้อยละ 5 (<5%)

ปลาดีบ ร้อยละ 20-30 (20-30%)

ปลาเน่าแล้วมากกว่าร้อยละ 60 (>60%)

นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำเพื่อให้เหมาะสมกับสัตว์น้ำชนิดต่างๆ มากขึ้น เช่น ค่า K' (Botta, 1994)

$$K' = \frac{[\text{Hypoxanthine}]}{[\text{IMP}] + [\text{Inosine}] + [\text{Hypoxanthine}]}$$

ภาคผนวก จ

การตรวจสอบการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำโดยการวัดค่าการแตกตัวของนิวคลีโอไทด์

การวัดค่าการแตกตัวของนิวคลีโอไทด์หรือ ATP (adenosine triphosphate) โดยการตรวจสอบปริมาณ IMP (inosine monophosphate) ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของ ATP และควรใช้เป็นค่าประเมินคุณภาพในระยะแรก เนื่องจาก IMP สูญเสียอย่างรวดเร็ว การลดลงของ IMP จึงมีผลต่อความสดของปลา จึงนำค่า IMP ประเมินค่าความสดของปลาได้ และเมื่อปริมาณ IMP และ inosine ลดลง ปริมาณไฮโปแซนทีน (hypoxanthine) จะเพิ่มขึ้นภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากปลาตาย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการตรวจสอบความสดของปลา จึงใช้ค่า K (K-value) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนระหว่าง inosine และ hypoxanthine ต่อปริมาณการแตกตัวของ ATP นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบปริมาณไฮโปแซนทีน (hypoxanthine, Hx) ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของนิวคลีโอไทด์เช่นกัน โดย Hx จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่เก็บ (มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2545)

$$K (\%) = \frac{[\text{Inosine}] + [\text{Hypoxanthine}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}] + [\text{IMP}] + [\text{Inosine}] + [\text{Hypoxanthine}]}$$

ค่า K หลังจากปลาตายทันที น้อยกว่าร้อยละ 5 (<5%)

ปลาดีบ ร้อยละ 20-30 (20-30%)

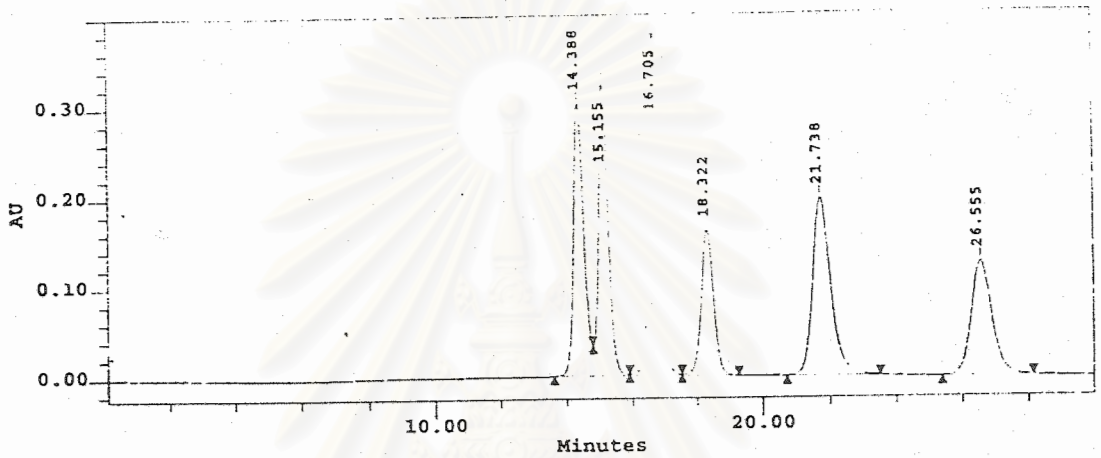
ปลาเน่าแล้วมากกว่าร้อยละ 60 (>60%)

นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำเพื่อให้เหมาะสมกับสัตว์น้ำชนิดต่างๆ มากขึ้น เช่น ค่า K' (Botta, 1994)

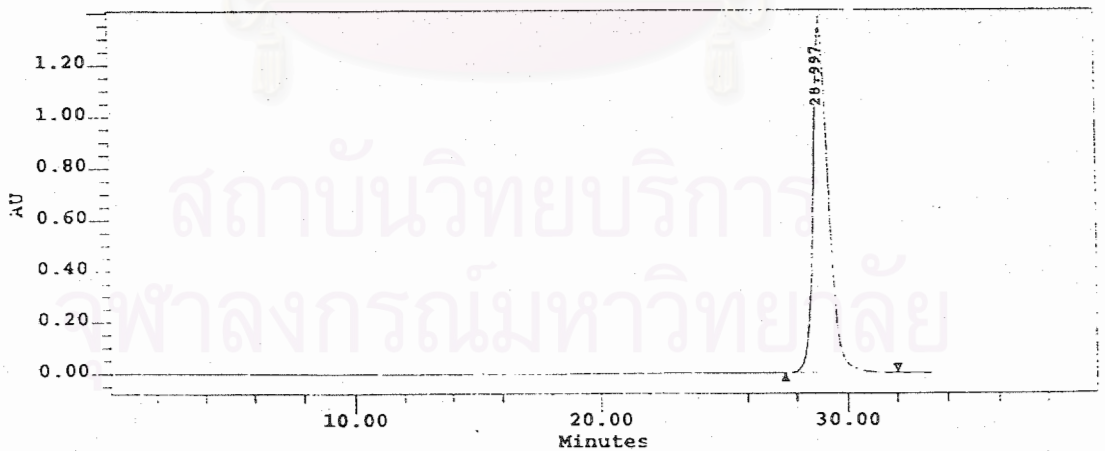
$$K' = \frac{[\text{Hypoxanthine}]}{[\text{IMP}] + [\text{Inosine}] + [\text{Hypoxanthine}]}$$

ภาคผนวก ข

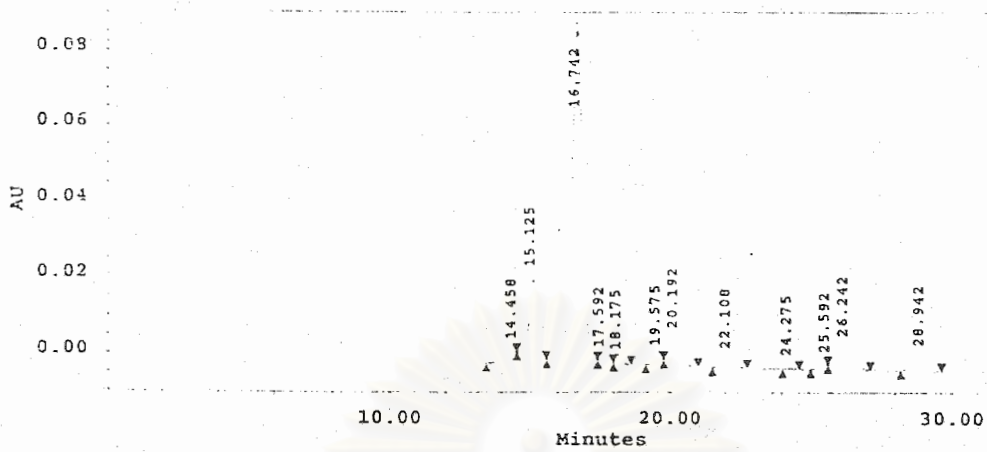
โครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัดที่ให้กลิ่นรสของ
หอยเป่าฮือด้วยวิธี HPLC



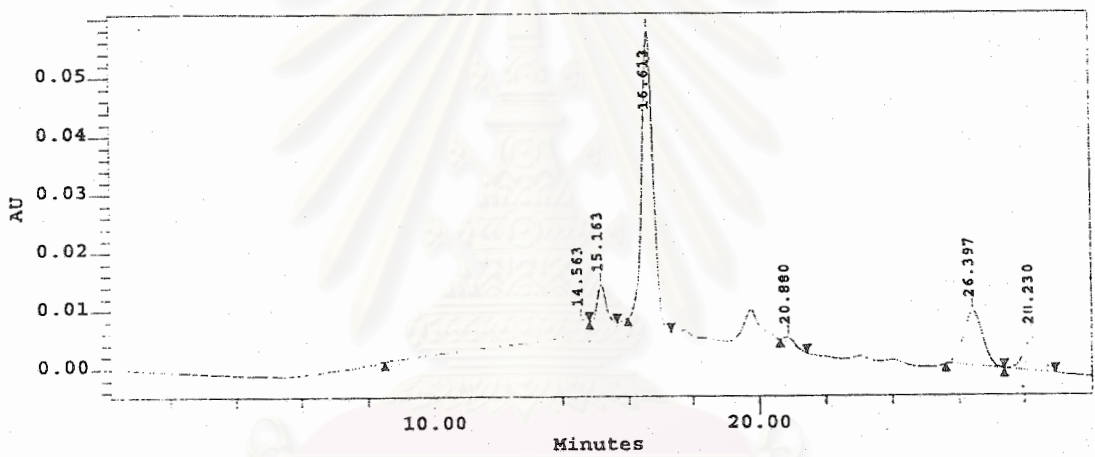
รูปที่ ข.1 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน ATP และอนุพันธ์



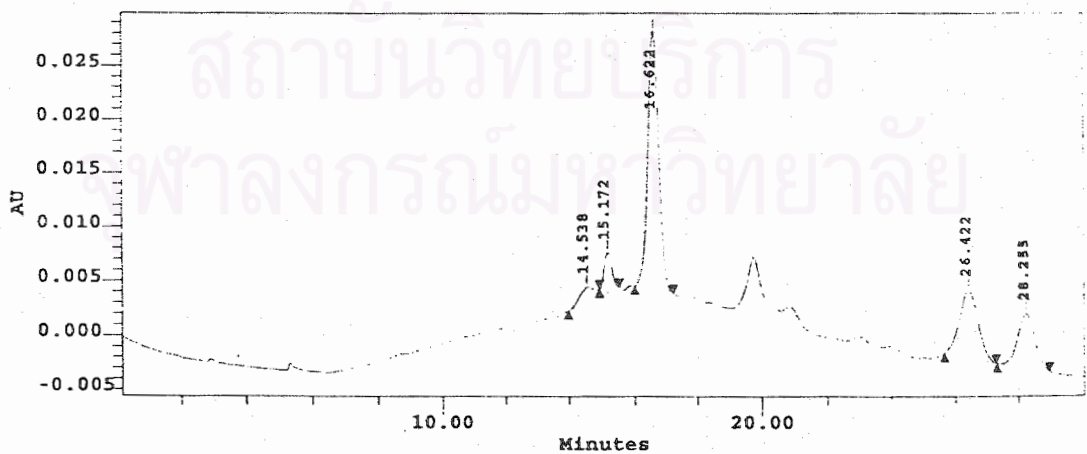
รูปที่ ข.2 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน hypoxanthine



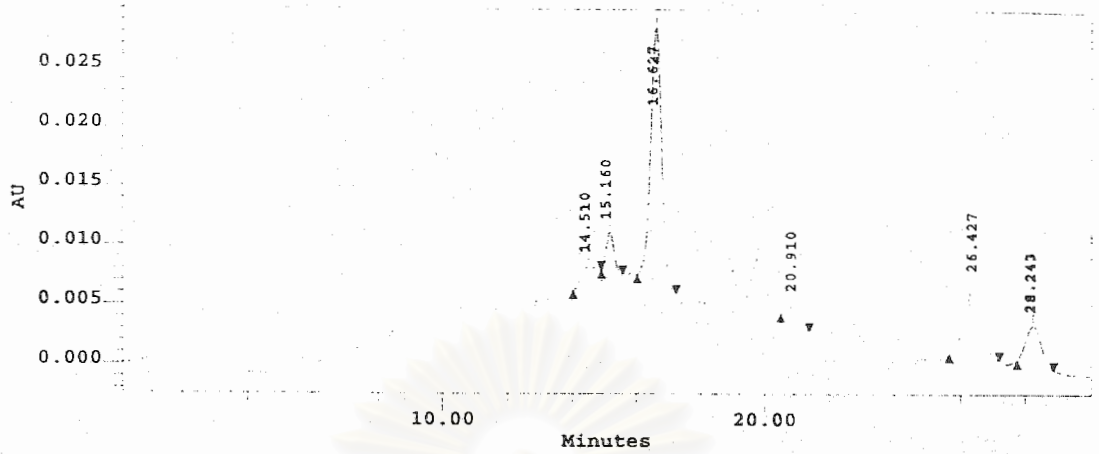
รูปที่ ๓.3 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina*



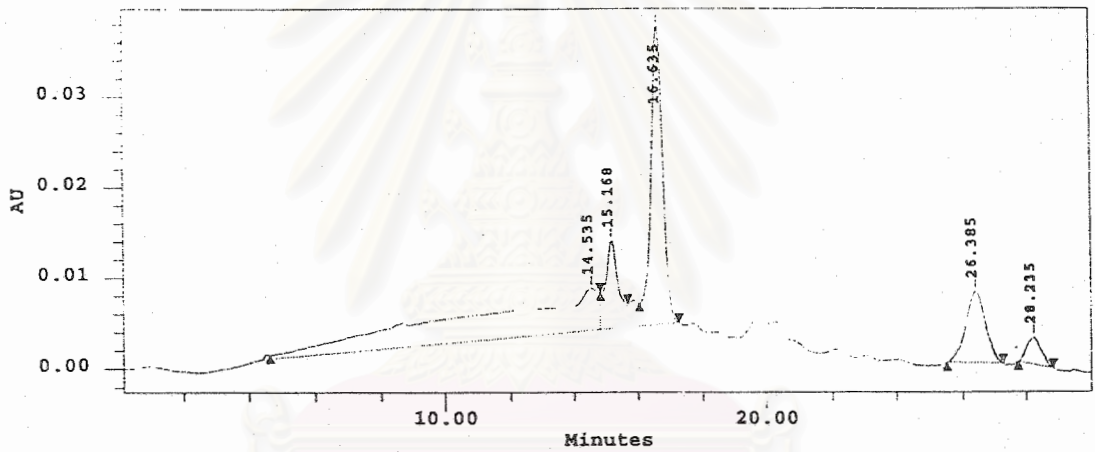
รูปที่ ๓.4 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที



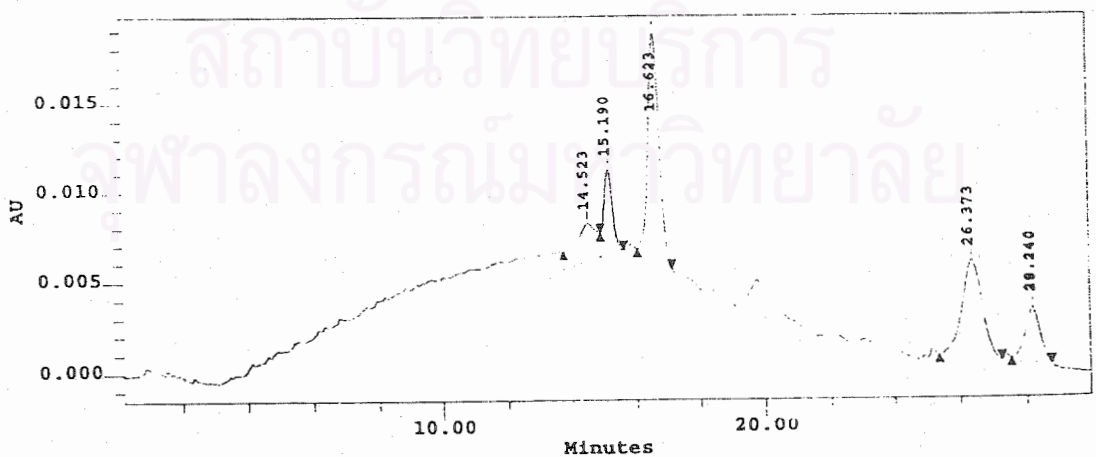
รูปที่ ๓.5 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 60 นาที



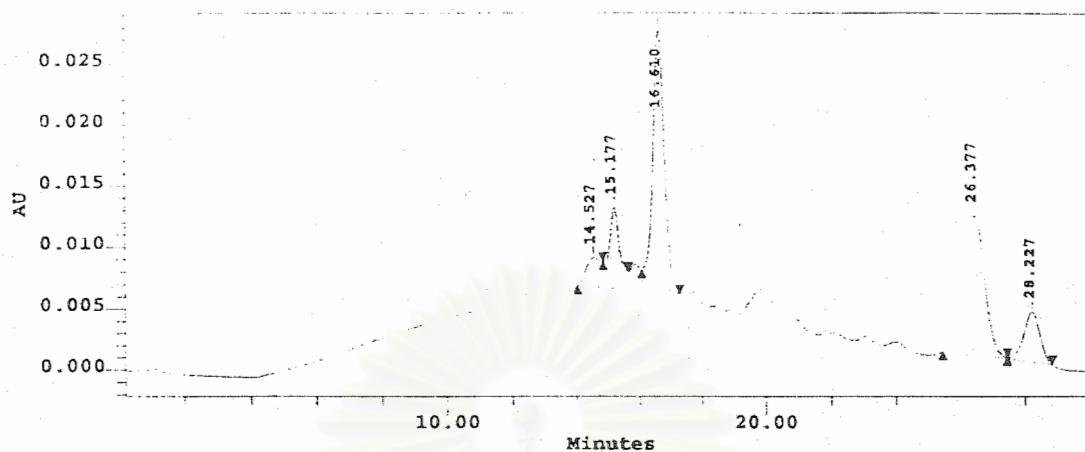
รูปที่ ข.6 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 °C เวลา 120 นาที



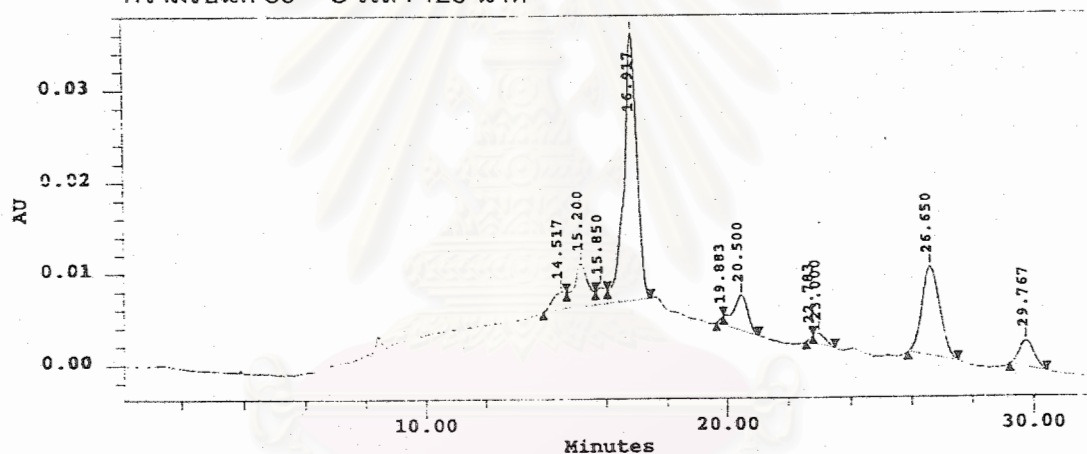
รูปที่ ข.7 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 °C เวลา 30 นาที



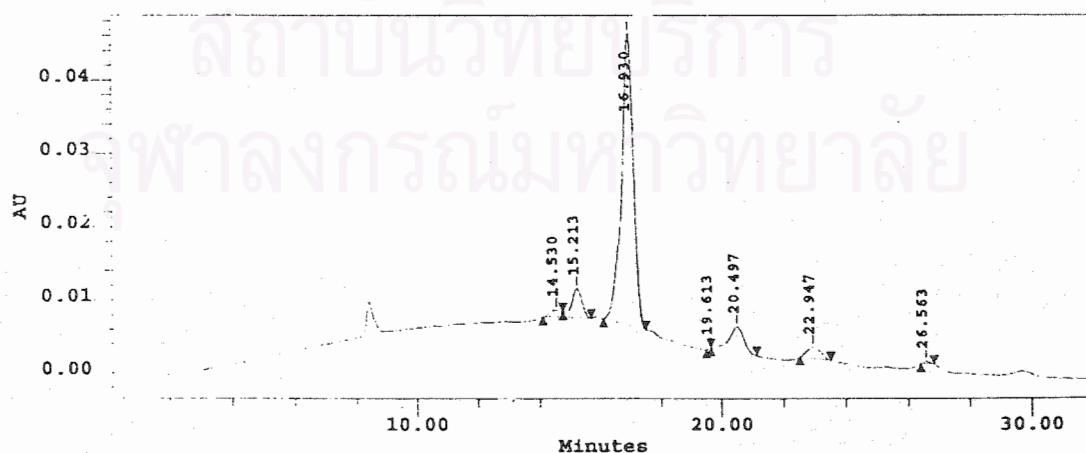
รูปที่ ข.8 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 °C เวลา 60 นาที



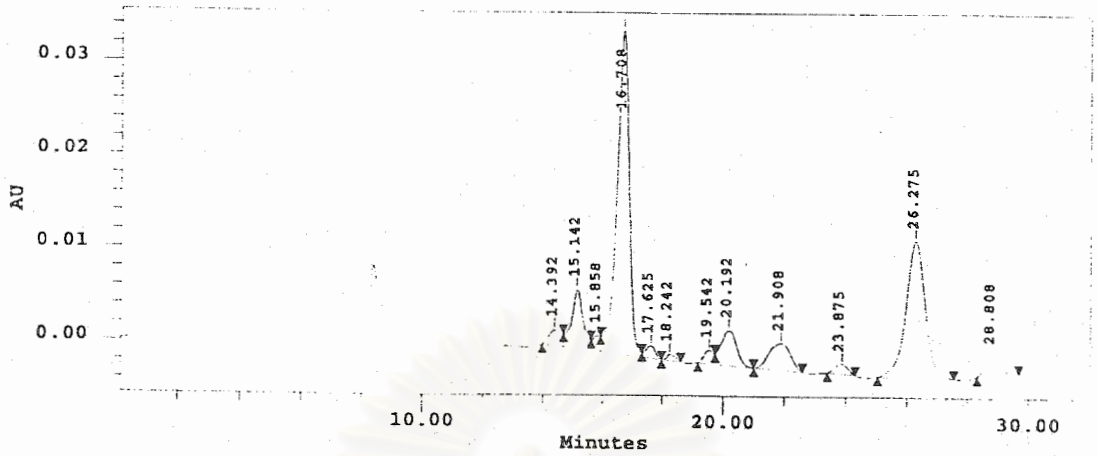
รูปที่ ข.9 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 °C เวลา 120 นาที



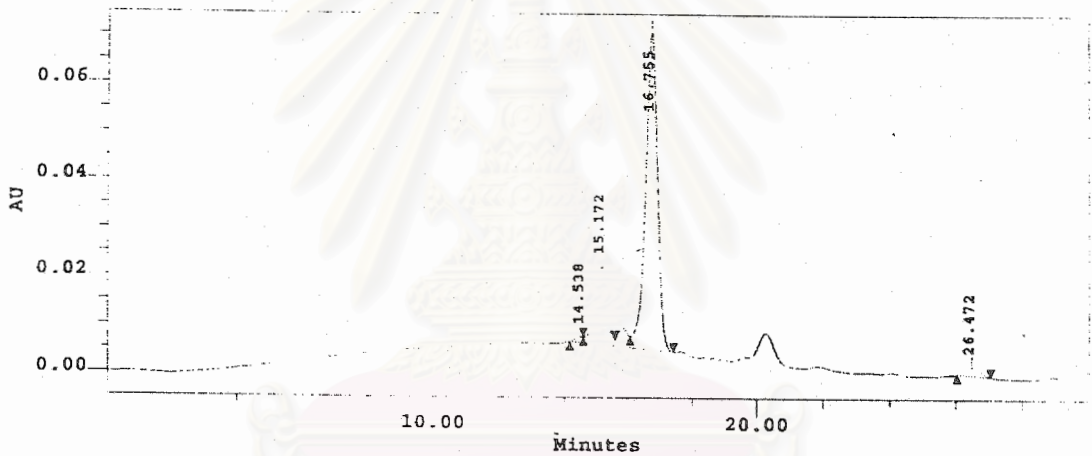
รูปที่ ข.10 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C เวลา 30 นาที



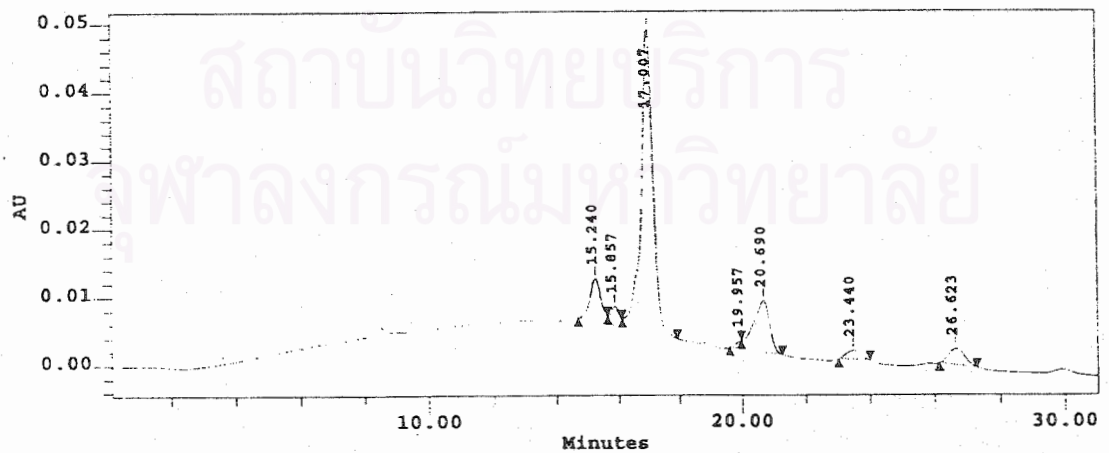
รูปที่ ข.11 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C เวลา 60 นาที



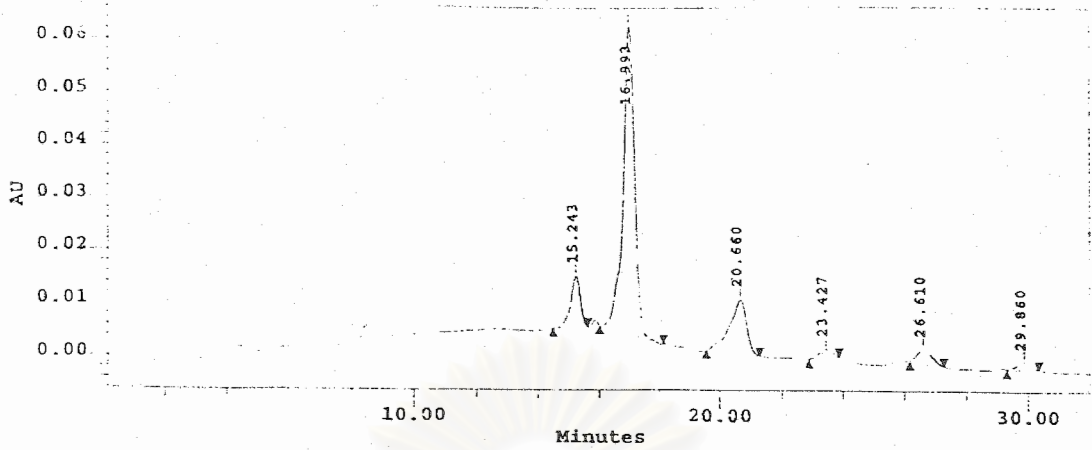
รูปที่ ข.12 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่ายี่ห้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100°C เวลา 120 นาที



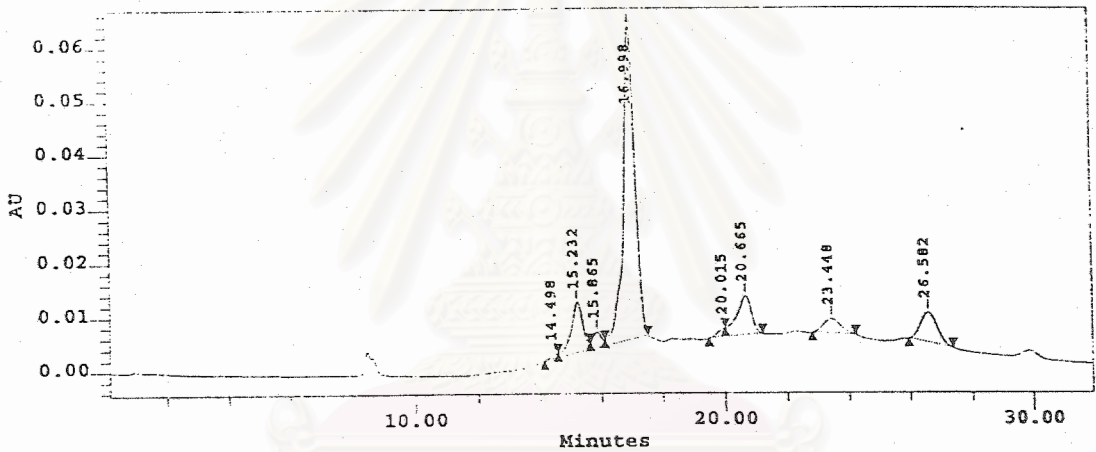
รูปที่ ข.13 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่ายี่ห้อชนิด *H. ovina*



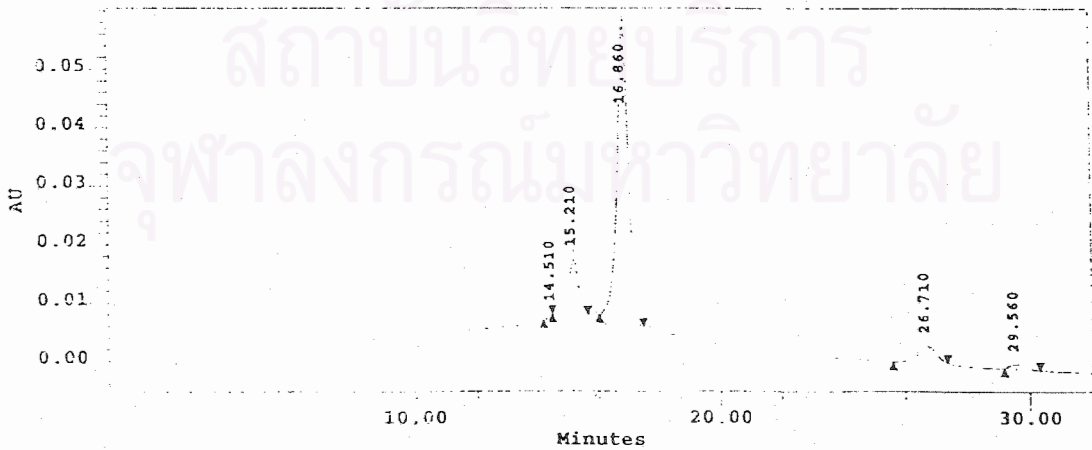
รูปที่ ข.14 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่ายี่ห้อชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60°C เวลา 30 นาที



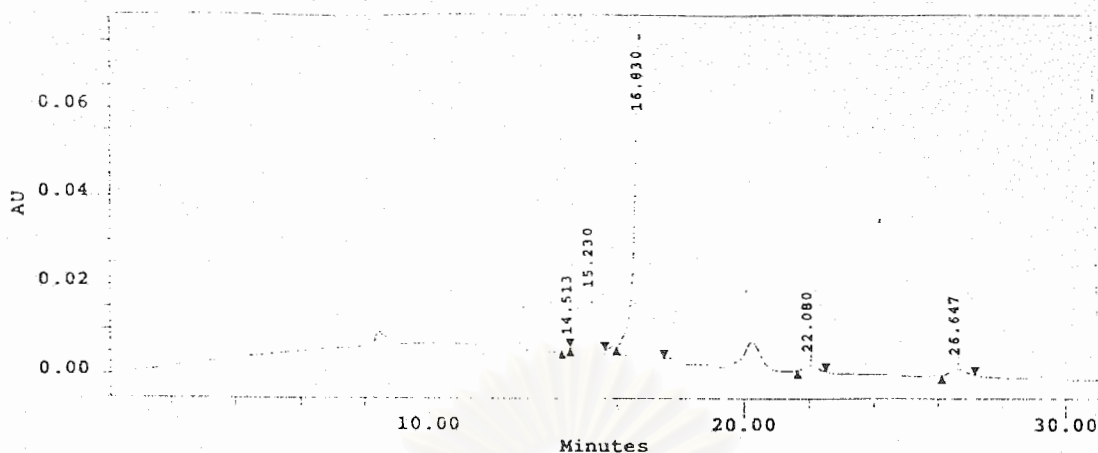
รูปที่ ข.15 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 °C เวลา 60 นาที



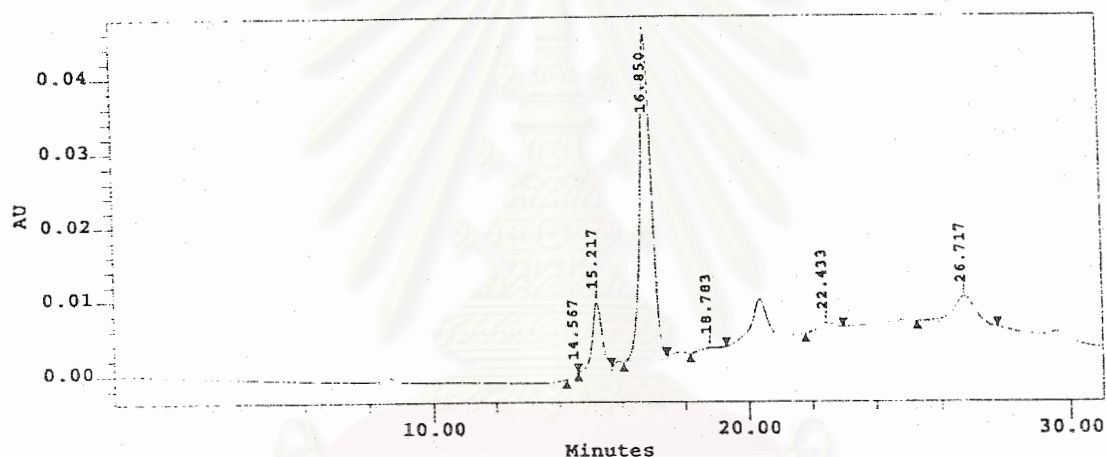
รูปที่ ข.16 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 60 °C เวลา 120 นาที



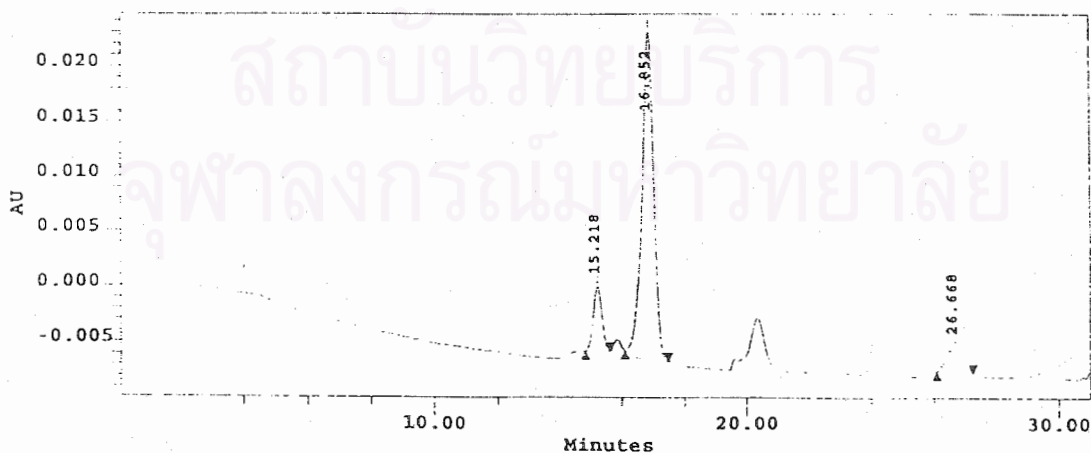
รูปที่ ข.17 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 °C เวลา 30 นาที



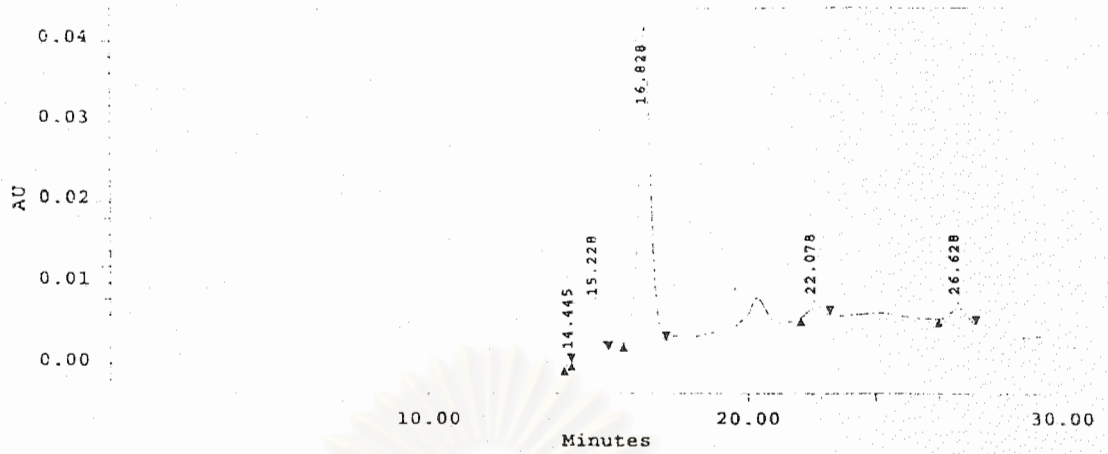
รูปที่ ข.18 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮ็อนชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 °C เวลา 60 นาที



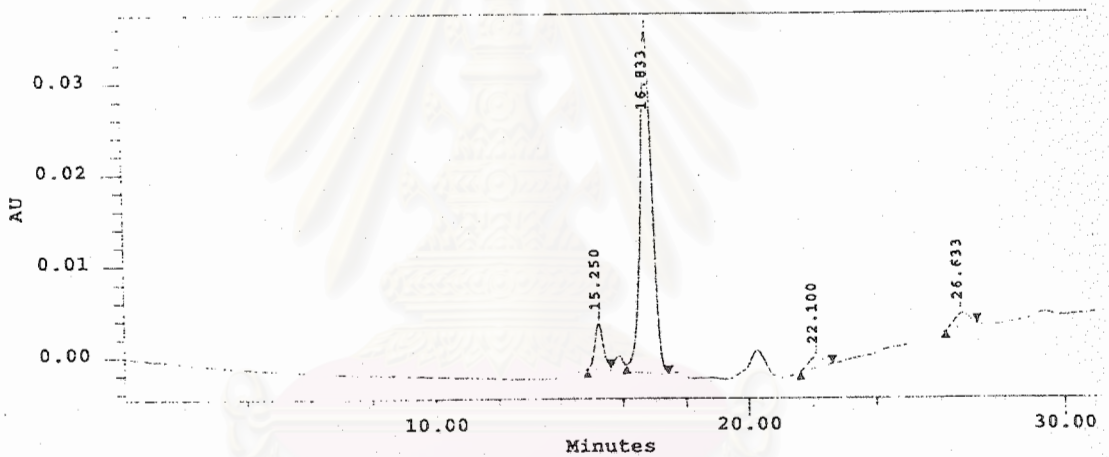
รูปที่ ข.19 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮ็อนชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 °C เวลา 120 นาที



รูปที่ ข.20 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮ็อนชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C เวลา 30 นาที

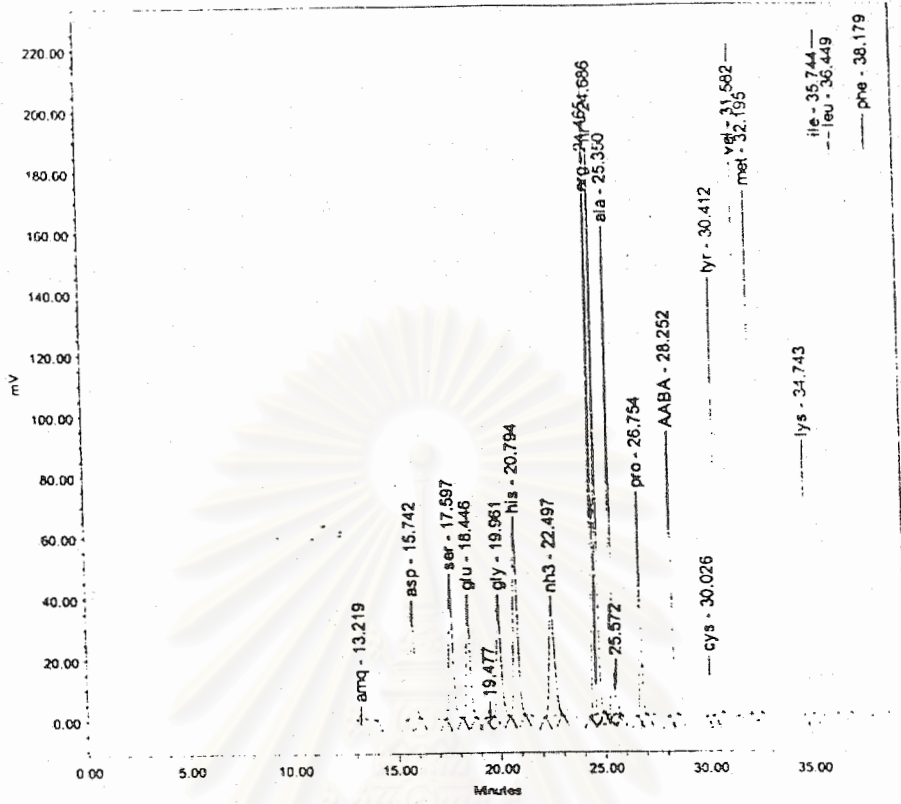


รูปที่ ข.21 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C เวลา 60 นาที

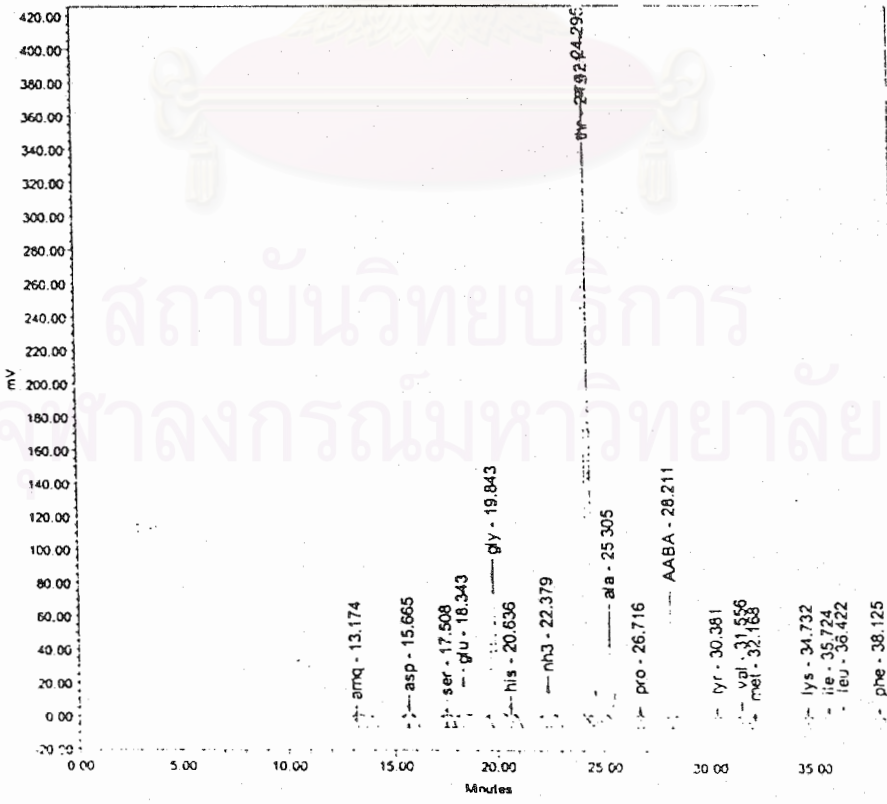


รูปที่ ข.22 โครมาโทแกรมของ ATP และสารอนุพันธ์ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C เวลา 120 นาที

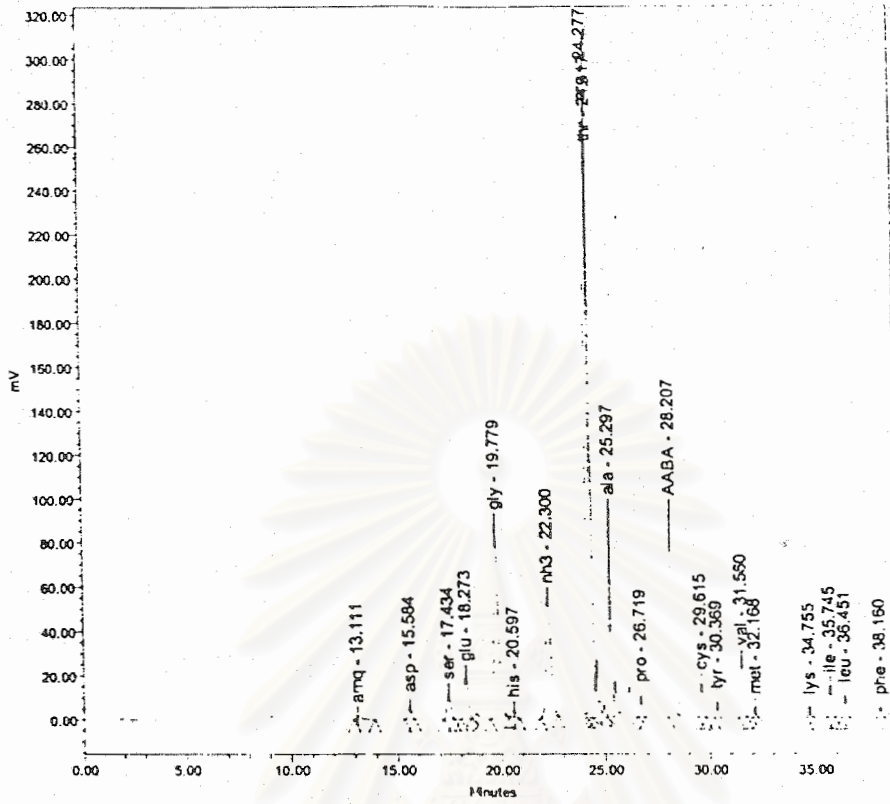
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



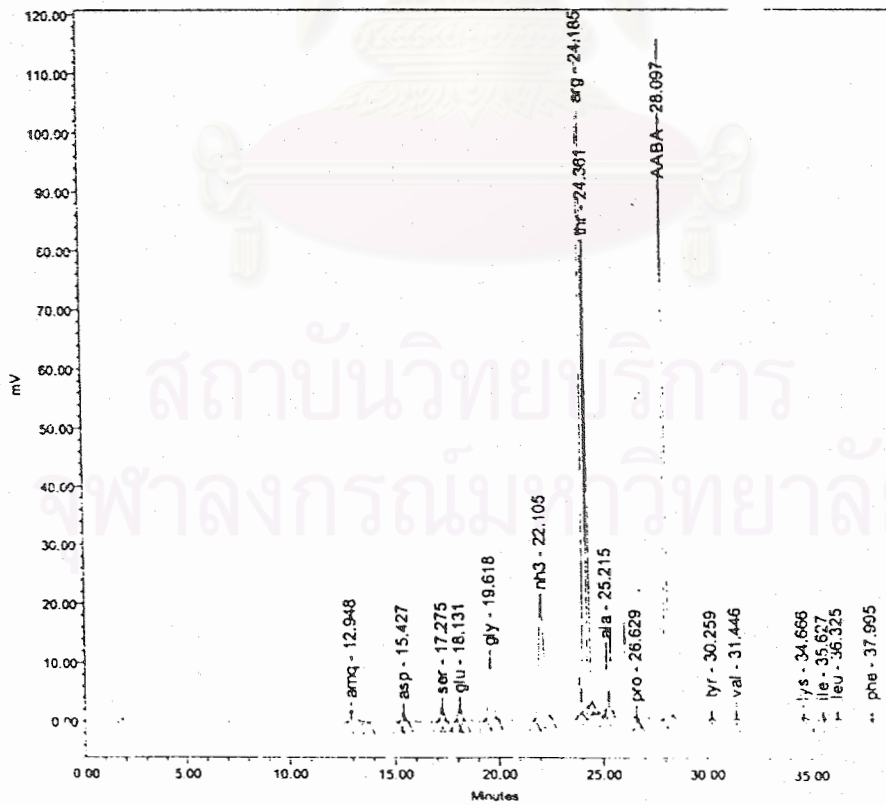
รูปที่ ๒.23 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานกรดอะมิโนอิสระ



รูปที่ ๒.๒๔ โครมาโทแกรมของกรดอะมิโนอิสระของหอยเป่าข้อสดชนิด *H. asinina*



รูปที่ ๒.๒๕ โคโรมาโทแกรมของกรดอะมิโนอิสระของหอยเป่าอีสดชนิด *H. ovina*



รูปที่ ๒.๒๖ โคโรมาโทแกรมของกรดอะมิโนอิสระของหอยเป่าอีชนิด *H. asinina* ผ่านการฆ่าเชื้อที่

อุณหภูมิ 114 ° C เวลา 30 นาที

ภาคผนวก ซ

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ซ.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ cooking loss ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	64.263*
เวลา (B)	2	27.919*
AB	4	11.055
Error	9	4.261

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ซ.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	30.430*
เวลา (B)	2	0.080
AB	4	3.973*
Error	9	0.554

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของโปรตีน (โดยน้ำหนักเปียก) ของหอยเป่าสี่ชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	39.497*
เวลา (B)	2	0.449
AB	4	5.586*
Error	9	1.444

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจน (โดยน้ำหนักเปียก) ของหอยเป่าสี่ชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	18.282*
เวลา (B)	2	0.214
AB	4	0.140
Error	9	0.250

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจน (โดยน้ำหนักแห้ง) ของหอยเป่าสี่ชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	9.130*
เวลา (B)	2	0.416
AB	4	0.844
Error	9	1.199

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๕.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า toughness (โดยน้ำหนักแห้ง) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	16890.797 [*]
เวลา (B)	2	15682.253 [*]
AB	4	1158.613 [*]
Error	9	143.967

^{*} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๕.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	16890.797 [*]
เวลา (B)	2	15682.253 [*]
AB	4	1158.613 [*]
Error	9	143.967

^{*} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๕.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ cooking loss ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	593.788 [*]
เวลา (B)	2	30.002 [*]
AB	4	61.478 [*]
Error	9	0.721

^{*} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๙.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	70.985*
เวลา (B)	2	1.875
AB	4	21.471*
Error	9	0.514

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๙.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	29.378*
เวลา (B)	2	0.311
AB	4	4.937*
Error	9	1.156

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๙.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจน (โดยน้ำหนักเปียก) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	2.892*
เวลา (B)	2	0.006
AB	4	0.167*
Error	9	0.048

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๗.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า toughness ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	21415.324*
เวลา (B)	2	20877.551*
AB	4	2634.452*
Error	9	195.706

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๗.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS
อุณหภูมิ (A)	2	67.755*
เวลา (B)	2	12.274*
AB	4	9.129*
Error	9	0.038

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๗.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

SOV	df	MS			
		hardness	cohesiveness	springiness	chewiness
อุณหภูมิ (A)	2	173.093*	0.004*	0.018*	46.707*
เวลา (B)	2	0.065*	0.006*	0.0002	0.023
AB	4	0.162*	0.005*	0.005*	0.026
Error	9	0.076	0.0006	0.0006	0.020

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก ฅ

ตารางผลการทดลอง

ตาราง ฅ.1 ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮี้ชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
60	30	314.47 ^e \pm 15.66
	60	280.90 ^{de} \pm 0.04
	120	209.07 ^{bc} \pm 17.41
80	30	291.85 ^{de} \pm 73.98
	60	251.07 ^{cde} \pm 13.52
	120	170.47 ^b \pm 1.08
100	30	239.72 ^{cd} \pm 9.41
	60	155.29 ^{ab} \pm 17.82
	120	103.00 ^a \pm 12.11

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ฅ.2 ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (ไมโครกรัม/กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
60	30	84.94 ^a ± 6.54
	60	110.22 ^b ± 10.57
	120	163.94 ^c ± 12.17
80	30	82.18 ^a ± 5.87
	60	117.62 ^b ± 8.14
	120	121.97 ^b ± 7.89
100	30	173.38 ^c ± 9.22
	60	294.18 ^d ± 14.78
	120	601.70 ^e ± 20.54

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตาราง ฅ.3 ค่า toughness (กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
60	30	422.57 ^d ± 26.22
	60	451.32 ^d ± 30.94
	120	445.10 ^d ± 47.36
80	30	352.31 ^c ± 32.07
	60	278.83 ^b ± 1.99
	120	271.78 ^b ± 2.37
100	30	280.89 ^b ± 12.26
	60	246.87 ^{ab} ± 37.92
	120	205.34 ^a ± 6.36

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตาราง ฅ.4 ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (ไมโครกรัม/กรัม) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. ovina* ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
60	30	2.38 ^a ± 0.04
	60	2.45 ^a ± 0.03
	120	2.70 ^a ± 0.16
80	30	2.33 ^a ± 0.14
	60	3.74 ^b ± 0.03
	120	3.85 ^b ± 0.07
100	30	4.64 ^c ± 0.03
	60	6.64 ^d ± 0.38
	120	7.29 ^e ± 0.22

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอุบลวรรณ พึ่งฉิม เกิดวันที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2523 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย