การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง-แช่เยือกแข็งซ้ำ

นางพรรัตน์ สินชัยพานิช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4647-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES IN THE MUSCLE OF GIANT FRESH WATER-PRAWN, *Macrobrachium rosenbergii*, DURING FROZEN STORAGE AND FREEZE-THAW CYCLES

Mrs Pornrat Sinchaipanit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Food Technology
Faculty of Science Chulalongkorn University
Academic year 2003

ISBN 974-17-4647-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง-แช่เยือกแข็งซ้ำ
โดย	นางพรรัตน์ สินชัยพานิช
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล
	รองศาสตราจารย์ สัตว์แพทย์หญิง ดร. สุมลยา กาญจนะพังคะ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ สัตว์แพทย์หญิง ดร. สุมลยา กาญจนะพังคะ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ)

..... กรรมการ

(ดร. พรรณทิพย์ สุวรรณสาครกุล)

พรรัตน์ สินชัยพานิช : การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii* ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง-แช่เยือกแข็งซ้ำ (PHYSICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES IN THE MUSCLE OF GIANT FRESH WATER-PRAWN *Macrobrachium rosenbergii* DURING FROZEN STORAGE AND FREEZE-THAW CYCLES) อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร
อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล และ รองศาตราจารย์สัตว์แพทย์หญิง ดร. สุมลยา กาญจนะพังคะ. 127 หน้า, ISBN 974-17-4647-4

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม ในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C -18°C และเมื่อมีการละลายน้ำแข็ง-แช่เยือกแข็งซ้ำ โดยได้นำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของกล้ามเนื้อทั้งในระดับกล้องจุลทรรศน์แสงสว่างและอิเลคตรอน เพื่อใช้อธิบายการเสื่อมเสียเนื้อสัมผัสของกุ้งที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวเคมีของโปรตีน ผลการเก็บรักษากุ้งก้ามกรามไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (0-14 วัน) กุ้งก้ามกรามจะมีเนื้อสัมผัสนิ่มลงจนไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเก็บรักษานานเกิน 6 วัน การนิ่มของเนื้อกุ้งอาจเป็นผลจากการสูญเสียความแข็งแรงของโครงสร้างกล้ามเนื้อ เนื่องจากการถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ทั้งที่มีอยู่ในตัวกุ้งและจากจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถพบความเสียหายที่ Z-line และมีการยืดออกของเส้นใยกล้ามเนื้อบริเวณ I-band นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นของสารละลายแอคโตไมโอซินจาก 138.82 เป็น 193.02 mg/g เมื่อเก็บนาน 14 วัน และมีการเปลี่ยนแปลงแถบโปรตีนของแอคโตไมโอซินเมื่อวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE เมื่อเก็บรักษากุ้งก้ามกรามไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น(0-6เดือน) กุ้งจะมีเนื้อสัมผัสเหนียวขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางชีวเคมีของโปรตีน โดยพบว่ามีการลดลงของสารละลายแอคโตไมซินจาก 150.50 เป็น 121.90 mg/g เมื่อเก็บนาน 6 เดือน และยังพบว่าสมบัติของโปรตีนของเนื้อกุ้ง ได้แก่ Ca^{2+}ATPase และสมบัติการอุ้มน้ำของโปรตีนลดลง รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของ hydrolytic degradation products น้อยกว่าการเก็บรักษาไว้ที่ 4 °C ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในเนื้อกุ้งอาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง สังเกตจากการเพิ่มขึ้นของผลึกน้ำแข็ง 30.36 เป็น 40.87μm และระยะห่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นจาก 9.61 เป็น 13.96 μm สำหรับผลการเก็บรักษากุ้งก้ามกรามระหว่างที่มีการละลายน้ำแข็งและแช่เยือกแข็งซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ พบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวเคมีของโปรตีนคล้ายกับการเก็บรักษากุ้งก้ามกรามไว้ที่ -18 °C นาน 6 เดือน อย่างไรก็ตามพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของการละลายของแอคโตไมโอซิน รวมทั้งมีการเสียหายของเส้นใยโปรตีนมากกว่าการเก็บรักษากุ้งก้ามกรามไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อจำนวนรอบของการละลายน้ำแข็ง-แช่เยือกแข็งซ้ำเพิ่มขึ้นกุ้งจะมีเนื้อสัมผัสนิ่มลง

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อนิสิต.....พรรัตน์ สินชัยพานิช.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2546.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4273816123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: FRESH WATER PRAWN/ REFRIGERATED STORAGE/ FROZEN STORAGE/ FREEZE- THAW CYCLES /PHYSICO-BIOCHEMICAL CHANGES/ STRUCTURAL CHANGES.

PORNRAT SINCHAIPANIT: PHYSICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES IN THE MUSCLE OF GIANT FRESH WATER-PRAWN, *Macrobrachium rosenbergii*, DURING FROZEN STORAGE AND FREEZE-THAW CYCLES. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUMATE TANTRATIAN, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. ROMANEE SANGUANDEEKUL, Ph. D., AND ASSOC. PROF. SUMOLYA KANCHANAPANGKA. Ph.D.,

127 pp. ISBN 974-17-4647-4

The effects of cold storage at 4°C, -18 °C, and freeze-thaw cycles on the quality changes of prawn muscle were investigated. The biochemical changes during storage of 14 days were determined along with the techniques of light microscope and electron microscope. During the storage at 4°C for 14 days, the texture of prawn became softer and was not accepted after 6 days of storage. The softness of prawn may be due to the weakening of muscle structure resulted from hydrolytic enzymes degradation from prawn and microorganism. The Z-line distortion and I-band extension in myofibrillar proteins were observed. It was found that the solubility of actomyosin increased from 138.82 to 193.02 mg/g during 14 days of storage and changes of actomyosin pattern were observed when analyzed with SDS-PAGE. When prawns were stored at -18 °C, the texture became tougher with increasing time (0-6 months). It was found that the solubility of actomyosin was reduced from 150.50 to 121.90 mg/g during 6 months of storage. The amount of Ca^{2+}ATPase and the water holding capacity of proteins were also reduced. The changes of hydrolytic degradation products were found to be lower than the prawn stored at 4 °C. The changes in texture during frozen storage were probably due to the physical damage which resulted from the growing of the ice crystals size from 30.36 to 40.87μm in diameter and the increasing of the distance between muscle bundle from 9.61 to 13.96 μm during 0-6 months of storage. For the freeze-thaw of prawn muscle at 5 cycles, the changes in biochemical properties of protein were similar with the prawn storage at -18 °C for 6 months. However, the increase of the solubility of actomyosin, and the degree of myofibrillar protein deterioration were higher than the prawn stored at -18 °C, and furthermore, the texture of the prawn became softer as the freeze-thaw cycle of the prawn increased.

Department .....Food Technology..... Student's signature Pornrat Sinchaipanit

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

Academic year .....2003..... Co-advisor's signature Romanee Sanguandeekul

Co-advisor's signature Sumolya

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จได้ เนื่องจากความอนุเคราะห์ของหลายๆท่าน ผู้วิจัยของกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล และรองศาสตราจารย์สัตว์แพทย์หญิง ดร. สุมลยา กาญจนะพังคะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาในการวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาในการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ ดร.พรรณทิพย์ สุวรรณสาครกุล และอ. ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ ที่ได้สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ เพื่อทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องประมวลผลและวิเคราะห์ภาพด้วย image analysis

ขอขอบคุณ คุณศิลป์ชัย เพียรชอบ คุณจงกล แสงวิรุณ และคุณวิฑูรย์ มะบุตร เจ้าหน้าที่ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะสัตว์แพทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ในการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีทาง histology

ขอขอบคุณภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะสัตวแพทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือ และสารเคมี ในการเตรียมตัวอย่าง เพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน

ขอขอบคุณทบวงมหาวิทยาลัย และคณะกรรมการบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้จัดสรรทุนอุดหนุนงานวิจัยบางส่วน

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณท่านคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ เพื่อนๆ และรุ่นน้อง ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดมา

และท้ายสุดนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา และทุกคนในครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ อย่างเสมอมา จนกระทั่งทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฎ

บทที่

1. บทนำ..... 1
2. วารสารปริทัศน์..... 4
   - 2.1 กุ้งก้ามกราม..... 4
   - 2.2 องค์ประกอบของกล้ามเนื้อ..... 8
   - 2.3 โครงสร้างระดับต่ำกว่าจุลภาคของโปรตีนกล้ามเนื้อ..... 9
   - 2.4 เส้นใยกล้ามเนื้อ..... 11
   - 2.5 การเน่าเสียของสัตว์น้ำ..... 16
   - 2.6 การย่อยสลายของโปรตีน..... 17
   - 2.7 การรักษาคุณภาพสัตว์น้ำที่อุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็ง..... 23
   - 2.8 การรักษาคุณภาพสัตว์น้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง..... 25
   - 2.9 การตกผลึก..... 25
   - 2.10 แผนภาพของการแช่เยือกแข็ง..... 26
   - 2.11 อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง..... 28
   - 2.12 การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแช่เยือกแข็ง..... 31
3. การทดลอง..... 38
   - 3.1 การเตรียมวัตถุดิบ..... 38
   - 3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 39
4. ผลการทดลองและวิจารณ์..... 48
   - 4.1 การเสื่อมเสียคุณภาพของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C 48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การเสื่อมเสียคุณภาพของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C 68

4.3 การเสื่อมเสียคุณภาพของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachuim rosenbergii*) ระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ..... 88

5. สรุปผลการทดลอง 111

รายการอ้างอิง..... 113

ภาคผนวก..... 125

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 127

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	แสดงโปรตีนบางส่วนที่มีอยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยคิดเป็นร้อยละของ myofibrillar protein.....	12
2.2	อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งจากวิธีการแช่เยือกแข็งที่ต่างกัน โดยใช้หลักการวัดความเร็วของการเกิดน้ำแข็งที่ผิวหน้า.....	29
4.1	ปริมาณโปรตีนแอคโตไมโอซิน ซาร์โคพลาสมิค และโปรตีนที่ละลายทั้งหมดที่สกัดได้จากกุ้งก้ามกรามเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C	48
4.2	ปริมาณโปรตีนคอลลาเจนของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม ในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C.....	50
4.3	ปริมาณ hydrolytic degradation products จำนวนจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างเอนไซม์ย่อยโปรตีน และจุลินทรีย์ทั้งหมด ของกุ้งก้ามกรามที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C.....	52
4.4	ค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณ drip loss ของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C.....	56
4.5	ค่าแรงต้านทานการตัดขาดและลักษณะคุณภาพเนื้อสัมผัสของเนื้อกุ้งก้ามกรามดิบและสุก ของกุ้งก้ามกรามที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4	65
4.6	การละลายของโปรตีนแอคโตไมโอซิน ซาร์โคพลาสมิค และโปรตีนที่ละลายทั้งหมดที่สกัดได้จากกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษากุ้งก้ามกรามไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน.....	69
4.7	ปริมาณโปรตีนคอลลาเจนของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ-18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน	72
4.8	ปริมาณ Ca^{2+}ATPase activity ของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน.....	73
4.9	ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนและปริมาณ thawing loss ของกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน.....	74
4.10	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลึกน้ำแข็งของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ-18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน.....	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.11	ระยะห่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อของกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นระยะเวลานาน 6 เดือน	80
4.12	ปริมาณ hydrolytic degradation products ของกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน	81
4.13	ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน	86
4.14	การละลายของโปรตีนแอคโตไมโอซิน ซาร์โคพลาสมิค และโปรตีนที่ละลายทั้งหมดที่สกัดได้จากกุ้งก้ามกรามในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ	89
4.15	ปริมาณโปรตีนคอลลาเจนของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม ในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ	91
4.16	ปริมาณ thawing loss และการอุ้มน้ำของโปรตีน ของกุ้งก้ามกรามในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ	92
4.17	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งในกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามและจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ	94
4.18	ระยะห่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามและจำนวนรอบของการละลายน้ำแข็งและแช่เยือกแข็งซ้ำ	96
4.19	ปริมาณ hydrolytic degradation products ของกุ้งก้ามกรามในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ	104
4.20	ปริมาณ Ca^{2+}ATPase activity ของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ	108
4.21	ค่าแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ	110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*).....	5
2.2	ภาพผ่าตามขวางส่วนท้องปล้องที่ 2 ของกุ้งก้ามกราม.....	6
2.3	โครงสร้างภายในของกุ้งก้ามกราม.....	7
2.4	เนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อสัตว์.....	8
2.5	กล้ามเนื้อโครงร่าง.....	10
2.6	โครงสร้างของโมเลกุลไมโอซิน.....	13
2.7	cytoskeletal proteins ในเส้นใยกล้ามเนื้อ.....	15
2.8	สาเหตุการเน่าเสียของสัตว์น้ำ.....	16
2.9	แผนภาพการแช่เยือกแข็งของน้ำและสารละลายแบบง่าย.....	26
2.10	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อโดยการแช่เยือกแข็งแบบช้า.....	30
2.11	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อโดยการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว.....	30
3.1	แผนภาพของการแช่เยือกแข็งและลายน้ำแข็งซ้ำของกุ้งก้ามกราม.....	46
4.1	electrophoretic pattern ของสารละลายโปรตีนแอคโตไมโอซินที่สกัดได้จากกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C.....	57
4.2	ภาพ electron micrographs ของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C.....	60
4.3	ภาพ electron micrographs ของไมโตคอนเดรียของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C	63
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการแช่เยือกแข็งกุ้งก้ามกรามด้วย still freezer (-65 °C).....	68
4.5	ภาพ micrographs แสดงผลึกน้ำแข็งของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน (50x, Wright's Giemsa).....	76
4.6	ภาพ micrographs แสดงระยะห่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อกล้ามของกุ้งก้ามกรามระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ-18 °C เป็นระยะเวลา 6 เดือน (50x, hematoxylin and eosin).....	79
4.7	electrophoretic pattern ของสารละลายโปรตีนแอคโตไมโอซินที่สกัดได้จากกุ้งก้ามกรามในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C.....	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.8	ภาพ electron micrographs แสดงโครงสร้างกล้ามเนื้อของกุ้งก้ามกราม ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C.....	84
4.9	ปริมาณการละลายของโปรตีนแอคโตไมโอซินของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C (a), -18 °C (b) และในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ (c).....	90
4.10	ภาพ micrographs แสดงผลึกน้ำแข็งในกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามและจำนวนครั้งในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ (50x, Wright's Giemsa).....	93
4.11	ภาพ micrographs แสดงระยะห่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อของกุ้งก้ามกรามในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ (50x, hematoxylin and eosin).....	95
4.12	ภาพ micrographs แสดงระยะห่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อ ของกุ้งก้ามกรามที่มีการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C และระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ (50x, hematoxylin and eosin)	98
4.13	ภาพ electron micrographs แสดงการฉีกขาด(ตำแหน่งที่ลูกศรชี้)ของเส้นใยกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ.....	99
4.14	ภาพ electron micrographs ของโครงสร้างกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามและจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ.....	101
4.15	ภาพ electron micrographs ของโครงสร้างกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกราม ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C ,-18 °C และระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ.....	103
4.16	ปริมาณ hydrolytic degradation products (μmole/g) ของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C (a), -18 °C (b) และในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ(c).....	105
4.17	electrophoretic pattern ของสารละลายโปรตีนแอคโตไมโอซินที่สกัดได้จากกุ้งก้ามกราม เมื่อมีการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ.....	106
4.18	ปริมาณ Ca^{2+}ATPase activity ของกล้ามเนื้อกุ้งก้ามกรามที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C (a) และในระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ (b).....	109