

158

ผลของการเตรียมวัสดุดิบและวิธีแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ
Penaeus monodon Fabricius แช่เยือกแข็ง

นางสาวอาจรรย์ ปิ่นสันเทียะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539
ISBN 974-635-717-4
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF RAW MATERIAL PRETREATMENT AND FREEZING METHODS
ON THE QUALITY OF FROZEN GIANT TIGER PRAWN

Penaeus monodon Fabricius

Miss. Ajin Pansantare

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Food Technology

Graduate School

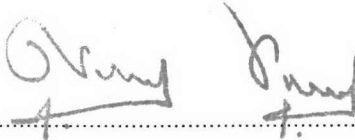
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

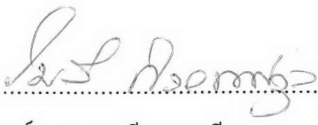
ISBN 974-635-717-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการเตรียมวัสดุติดและวิธีแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ
 Penaeus monodon Fabricius แช่เยือกแข็ง
โดย นางสาวอาจิญย์ ปั่นสันเทียะ
ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณมา สุภิมารส

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

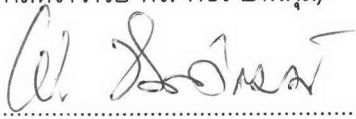

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ คุภาวัฒน์ ชูติวงศ์)

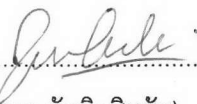
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณมา สุภิมารส)

๒๐๑๗ ๗๐
..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรีย์ ปานกุล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์)


..... กรรมการ
(คุณชนะ ตันติวัตินชัย)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

อาจิดนย์ บันสันเทียะ : ผลของการเตรียมวัตถุดิบและวิธีแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของกุ้งกุลาค่า Penaeus monodon Fabricius แช่เยือกแข็ง (Effect of Raw Material Pretreatment and Freezing Methods on the Quality of Frozen Giant Tiger Prawn Penaeus monodon Fabricius) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุวรรณ สุภิมารส 114 หน้า. ISBN 974-635-717-4.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัตถุดิบเพื่อผลิตกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็ง โดยศึกษาหาเวลาและปริมาณ Sodium tripolyphosphate (STPP) ในการแช่กุ้งเพื่อลดการสูญเสียน้ำและหดตัวหลังต้มสุก แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อใส มองดูคล้ายดิบ จึงทดลองเติม CaCl_2 และ Sodium acidpyrophosphate (SAPP) ลงไปในสารละลาย STPP พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม คือ การแช่กุ้งใน STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส แล้วศึกษาคุณภาพของกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็ง ที่ได้จากการเตรียมต่างกั่ก่อนแช่เยือกแข็ง ใช้วิธีแช่เยือกแข็งต่างกั่ ศึกษาอายุการเก็บเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% มีค่า Thawing loss, Total Volatile Base Nitrogen (TVB-N) แแรงที่ใช้เจาะเนื้อกุ้ง จำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่าและคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีค่า Thawing loss, TVB-N และแรงที่ใช้เจาะเนื้อกุ้งต่ำกว่า จำนวนจุลินทรีย์และคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ สูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยลมเย็น อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่า Thawing loss, TVB-N และแรงที่ใช้เจาะเนื้อกุ้งเพิ่มขึ้น จำนวนจุลินทรีย์และคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบเนื้อกุ้งต้มสุกที่ได้จากการแช่เยือกแข็งต่างกั่ ส่องดูด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope ศึกษาลักษณะโครงสร้างเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายจากการเกิดผลึกน้ำแข็ง พบว่า การแช่เยือกแข็งด้วยลมเย็น จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เนื้อเยื่อเกิดการหดตัวอัดกันแน่นหลังแช่เยือกแข็ง การแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ทำให้มีรอยแยกในเนื้อเยื่อเล็กน้อย เนื้อกุ้งมีลักษณะใกล้เคียงกุ้งต้มสุกที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งมากกว่ากุ้งต้มสุกที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยลมเย็น

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิติ *Apri*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *[Signature]*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

##C627075 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: FROZEN COOKED SHRIMP / AIR BLAST FREEZING / LIQUID NITROGEN
CRYOGENIC FREEZING / STRUCTURAL COOKED SHRIMP MUSCLE

AJIN PANSANTARE : EFFECT OF RAW MATERIAL PRETREATMENT AND FREEZING
METHODS ON THE QUALITY OF FROZEN GIANT TIGER PRAWN Penaeus monodon
Fabricius. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.SUWANNA SUBHIMAROS, DR.ING.
114 pp. ISBN 974-635-717-4.

This research is intended to study the optimum conditions for production of frozen shrimp. Soaking time and concentration of sodium tripolyphosphate (STPP) were studied for raw material preparation to reduce loss of water and shrinkage of shrimp muscle. After cooking, disadvantages are still encountered with translucent and raw appearance. Calcium chloride and sodium acidpyrophosphate (SAPP) were added to STPP solution. It was found that the suitable condition for the preparation were soaking in 2% STPP and 0.75% CaCl₂ solution for 4 hours at temperature not exceeded 5°C. Quality changes of frozen cooked shrimp by different preparation method with two different freezing method during 6 months. It was found that product soaked in 2% STPP and 0.75% CaCl₂ gave thawing loss, Total Volatile Base Nitrogen (TVB-N), force to pierce shrimp muscle and microorganism content lower than unsoaked product but higher sensory score ($p < 0.05$). Liquid nitrogen cryogenic freezing gave thawing loss, TVB-N and force to pierce shrimp muscle lower than air blast freezing but microorganism and sensory score higher than air blast freezing method ($p < 0.05$). The Thawing loss, TVB-N force to pierce shrimp muscle increased, microorganism content and sensory scores decreased with storage time ($p < 0.05$). Compare the tissue of frozen cooked shrimp by different freezing methods were investigated by scanning electron microscope to see structural texture damage caused by ice crystal formation and growth. With air blast freezing method, severe structural texture due to growth of large ice crystal causing tissue shrinkage and compaction was seen. With liquid nitrogen cryogenic freezing, structural texture of frozen cooked shrimp is virtually close to cooked fresh shrimp.

ภาควิชา..... เทคโนโลยีทางอาหาร

สาขาวิชา..... เทคโนโลยีทางอาหาร

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต *Agg Ann*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Danny*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุวรรณมา สุภิมารส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และช่วยเหลือทางด้านวิชาการตลอดระยะเวลาของการปฏิบัติงานวิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อ. ดร. รมณี สงวนดีกุล ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. พัชรี ปานกุล รศ. ดร. พันธิพา จันทวัฒน์ และ คุณชนะ ตันติวคินชัย ผู้จัดการส่วนเทคนิค บริษัท บางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส (BIG) จำกัด ที่ได้กรุณาสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้เสนอแนวทางแก้ไขและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์นี้ให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกุลธิดา ภูวิกรมย์ พี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ในบริษัท อินเทอร์เน็ตเซ็นแนล ควอลิตี้ แอสซัวร์นซ์ แลบบอราตอรี จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านข้อมูล อุปกรณ์การทดลอง และเครื่องมือต่างๆ ตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท จาร์พา เทคโนโลยี จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ที่ใช้เครื่อง Texture Analyser บริษัท บางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส (BIG) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ที่ใช้เครื่องแซ่เยือกแข็งไนโตรเจนเหลวและเงินทุนวิจัยบางส่วน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และบุคลากร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกในด้านสารเคมี และครุภัณฑ์ต่างๆ ตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคนในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้กำลังใจ การสนับสนุน และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ขอขอบคุณน้องชาย น้องสาว ญาติพี่น้องทุกๆ ท่าน และคุณรัชชัย ศิรินันท์ ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือด้านต่างๆตลอดมาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	3
2.1 วัตถุประสงค์	3
2.2 วิธีการเตรียมกึ่งก่อนการแช่เยือกแข็ง	6
2.3 กรรมวิธีแช่เยือกแข็ง	8
2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา.....	15
2.5 การละลายผลึกน้ำแข็ง	16
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	17
4. ผลการทดลอง	31
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง	87
6. สรุปผลการทดลอง	95
รายการอ้างอิง	97
ภาคผนวก ก	101
ภาคผนวก ข	112
ภาคผนวก ค	113
ประวัติผู้เขียน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกุ้งแช่เยือกแข็งของประเทศไทยระหว่างปี 2532-2537	1
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกุ้ง	6
2.2 ชนิดโครงสร้าง พีเอช การละลาย หน้าที่ของ STPP และ SAPP	7
2.3 คุณสมบัติของอาหารที่นำมาแช่เยือกแข็ง.....	10
2.4 สมบัติบางประการของตัวทำความเย็นชนิดต่างๆ ที่ใช้ในวิธีแช่เยือกแข็งแบบโครโอจินิก.....	12
2.5 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษากุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็ง.....	16
4.1 ค่า weight gain และ cooking loss ของกุ้งต้มสุกหลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% เป็นเวลาต่างกัน ในการศึกษาเบื้องต้น	30
4.2 คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุก ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และการยอมรับรวม หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% เป็นเวลาต่างกัน ในการศึกษาเบื้องต้น	31
4.3 ค่า weight gain และ cooking loss ของกุ้งต้มสุกหลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% เป็นเวลาต่างกัน	32
4.4 คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุก ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และการยอมรับรวม หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% เป็นเวลาต่างกัน	32
4.5 ค่า weight gain ของกุ้งดิบ และ cooking loss ของกุ้งต้มสุกหลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ในระดับต่างกัน.....	33
4.6 ผลการวัดสีเนื้อกุ้งต้มสุก(เฉพาะส่วนสีขาว) ที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP ในระดับต่างกัน	34
4.7 ปริมาณ Phosphorus ในกุ้งต้มสุก ที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP ในระดับต่างกัน.....	34
4.8 ค่า weight gain ของกุ้งดิบ และ cooking loss ของกุ้งต้มสุกหลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ในระดับ 2% ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน	35
4.9 ผลการวัดสีเนื้อกุ้งต้มสุก (เฉพาะส่วนสีขาว) หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ในระดับ 2% ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน	36
4.10 ปริมาณ CaCl_2 ในกุ้งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ในระดับ 2% ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน	36
4.11 ค่า weight gain ของกุ้งดิบ และ cooking loss ของกุ้งต้มสุกหลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน	37

4.12	ผลการวัดสีเนื้อกึ่งต้มสุก (เฉพาะสีขาว) หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน	38
4.13	แรงที่ใช้ในการเจาะ (นิวตัน) เนื้อกึ่งต้มสุกหลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน	39
4.14	คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกึ่งต้มสุก ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน	40
4.15	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกึ่งต้มสุก ในด้านเนื้อสัมผัส หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน	41
4.16	เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกึ่งต้มสุก ในด้านเนื้อสัมผัส หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน โดยให้ปริมาณ CaCl_2 เป็นตัวแปรคงที่	41
4.17	เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกึ่งต้มสุก ในด้านเนื้อสัมผัส หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ CaCl_2 ในระดับต่างกัน โดยให้ปริมาณ STPP เป็นตัวแปรคงที่	41
4.18	ค่า weight gain และ cooking loss ของกึ่งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	42
4.19	ผลการวัดสีเนื้อกึ่งต้มสุก (เฉพาะสีขาว) หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	43
4.20	ปริมาณ Phosphorus ในกึ่งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	44
4.21	ค่า weight gain และ cooking loss ของกึ่งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	45
4.22	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า weight gain ของกึ่งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	46
4.23	เปรียบเทียบค่า weight gain ของกึ่งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน โดยให้ปริมาณ SAPP เป็นตัวแปรคงที่	46
4.24	เปรียบเทียบค่า weight gain ของกึ่งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน โดยให้ปริมาณ STPP เป็นตัวแปรคงที่	46
4.25	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า cooking loss ของกึ่งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	47
4.26	เปรียบเทียบค่า cooking loss ของกึ่งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน โดยให้ปริมาณ SAPP เป็นตัวแปรคงที่	47

4.27	เปรียบเทียบค่า cooking loss ของกุ้งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน โดยให้ปริมาณ STPP เป็นตัวแปรคงที่	47
4.28	ผลการวัดสีเนื้อกุ้งต้มสุก (เฉพาะสีขาว) หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	48
4.29	แรงที่ใช้ในการเจาะ (นิวตัน) เนื้อกุ้งต้มสุกหลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	49
4.30	คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุก ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับ SAPP ในระดับต่างกัน	50
4.31	ค่า weight gain และ cooking loss ของกุ้งต้มสุก หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% และ STPP 1.5% ร่วมกับ SAPP 0.5%	51
4.32	ผลการวัดสีเนื้อกุ้งต้มสุก(เฉพาะส่วนสีขาว) หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% และ STPP 1.5% ร่วมกับ SAPP 0.5%	51
4.33	แรงที่ใช้ในการเจาะ(นิวตัน) หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% และ STPP 1.5% ร่วมกับ SAPP 0.5%	52
4.34	คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุก ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม หลังผ่านการแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% และ STPP 1.5% ร่วมกับ SAPP 0.5%	52
4.35	ปริมาณไนโตรเจนเหลวที่ใช้สำหรับแช่เยือกแข็งกุ้งต้มสุก โดยใช้อุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งต่างกัน	54
4.36	ค่า freezing loss และ thawing loss ของกุ้งต้มสุกหลังผ่านการแช่เยือกแข็งด้วย ไนโตรเจนเหลว โดยใช้อุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งต่างกัน	55
4.37	แรงที่ใช้ในการเจาะ(นิวตัน) เนื้อกุ้งต้มสุก หลังผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว โดยใช้อุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งต่างกัน	56
4.38	คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุก ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม หลังผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว โดยใช้ อุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งต่างกัน	57
4.39	เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง และอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง กุ้งต้มสุกที่บรรจุถุงพลาสติก โดยใช้วิธีแช่เยือกแข็งต่างกัน	59
4.40	ค่า weight loss และ thawing loss ของกุ้งต้มสุกที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	61

4.41	ปริมาณ TVB-N ในกุ้งต้มสุก ที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	63
4.42	แรงที่ใช้ในการเจาะเนื้อกุ้งต้มสุก ที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	65
4.43	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแรงที่ใช้ในการเจาะเนื้อกุ้งต้มสุก ที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	66
4.44	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้เจาะเนื้อกุ้งต้มสุก เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยให้วิธีการ แช่เยือกแข็งและการเตรียมตัวอย่างเป็นตัวแปรคงที่	66
4.45	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้เจาะเนื้อกุ้งต้มสุกที่ได้จากวิธีแช่เยือกแข็งต่างกัน เมื่ออายุ การเก็บรักษาและการเตรียมตัวอย่างเป็นตัวแปรคงที่	67
4.46	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงที่ใช้เจาะเนื้อกุ้งต้มสุกที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างต่างกัน เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นและวิธีการแช่เยือกแข็งคงที่	67
4.47	อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการเตรียมตัวอย่างและอายุการเก็บรักษา ที่มีผลต่อแรง ที่ใช้เจาะเนื้อกุ้งต้มสุก	67
4.48	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	68
4.49	คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุก ในด้านลักษณะปรากฏ ของกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	70
4.50	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ กุ้งต้มสุก ในด้านลักษณะปรากฏ ของกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกันเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	71
4.51	คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุกในด้านกลิ่นรส ของกุ้งต้มสุก แช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% แช่เยือกแข็งด้วย วิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	72
4.52	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของกุ้งต้มสุกในด้านกลิ่นรส ของกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl_2 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	73
4.53	อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บ ที่มีผลต่อคะแนนการประเมินคุณภาพ ทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสของกุ้งต้มสุก	73

4.54	ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุกในด้านกลิ่นรส ของกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	74
4.55	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุกในด้านกลิ่นรส ของกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	75
4.56	อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็ง และการเตรียมตัวอย่าง ที่มีผลต่อคะแนนการประเมินคุณภาพในด้านเนื้อสัมผัสของกุ้งต้มสุก	75
4.57	คะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุก ในด้านการยอมรับรวมของกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	76
4.58	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งต้มสุก ในด้านการยอมรับรวม ของกุ้งต้มสุกแช่เยือกแข็งที่ไม่แช่และแช่สารละลาย STPP 2% ร่วมกับ CaCl ₂ 0.75% แช่เยือกแข็งด้วยวิธีต่างกัน เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์	77
4.59	อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บ ที่มีผลต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมของกุ้งต้มสุก	77
4.60	เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกุ้งต้มสุก เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยให้วิธีแช่เยือกแข็งและการเตรียมตัวอย่างเป็นตัวแปรคงที่	78
4.61	เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกุ้งต้มสุกที่ได้จากวิธีแช่เยือกแข็งต่างกัน เมื่ออายุการเก็บรักษาและการเตรียมตัวอย่างเป็นตัวแปรคงที่	79
4.62	เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกุ้งต้มสุกที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างต่างกัน โดยให้วิธีแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บเป็นตัวแปรคงที่	80

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพตัดขวางของกล้ามเนื้อกึ่ง 5	5
2.2 ภาพตัดตามยาวของกล้ามเนื้อกึ่ง 5	5
2.3 การเปลี่ยนแปลงสถานะของสารละลายในผลิตภัณฑ์ระหว่างแช่เยือกแข็ง 9	9
2.4 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบ Liquid Immersion Freezing 13	13
2.5 เปรียบเทียบอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งแต่ละวิธี 13	13
3.1 ส่วนประกอบของถังบรรจุไนโตรเจนเหลว 19	19
3.2 ส่วนประกอบของ Cryo Test Chamber ที่ใช้แช่เยือกแข็ง 19	19
3.3 ถังบรรจุไนโตรเจนเหลว 20	20
3.4 Cryo Test Chamber ที่ใช้แช่เยือกแข็ง 20	20
3.5 เครื่องวัดสี 21	21
3.6 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส 22	22
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการแช่เยือกแข็งกึ่งต้มสุกด้วยลมเย็น 58	58
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการแช่เยือกแข็งกึ่งต้มสุกด้วยไนโตรเจนเหลว 58	58
4.3 คะแนนเฉลี่ยของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกึ่งต้มสุก เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยให้วิธีแช่เยือกแข็งและการเตรียมตัวอย่างเป็นตัวแปรคงที่ 78	78
4.4 คะแนนเฉลี่ยของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกึ่งต้มสุกที่ได้จากวิธีแช่เยือกแข็งต่างกัน เมื่ออายุการเก็บรักษาและการเตรียมตัวอย่างเป็นตัวแปรคงที่ 79	79
4.5 คะแนนเฉลี่ยของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกึ่งต้มสุกที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างต่างกัน โดยให้วิธีแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บเป็นตัวแปรคงที่ 80	80
4.6 ภาพตัดตามขวางเนื้อเยื่อกึ่งต้มสุกที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว และลมเย็น 81	81
4.7 ภาพตัดตามขวางเนื้อเยื่อกึ่งต้มสุกที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว และลมเย็น หลังเก็บรักษา 24 สัปดาห์ 82	82
4.8 ภาพตัดตามยาวเนื้อเยื่อกึ่งต้มสุกที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษา เปรียบเทียบกับกึ่งต้มสุกที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวและลมเย็น หลังเก็บรักษา 24 สัปดาห์ 83	83