การผลิตโคพีพอดด้วยระบบการเพาะเลี้ยงแบบต่อเนื่อง

นางสาวนฤมล ใบพัด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF COPEPOD USING CONTINUOUS CULTURE SYSTEM

Miss Narumol Baipad

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501958

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตโคพีพอดด้วยระบบการเพาะเลี้ยงแบบต่อเนื่อง
โดย	นางสาวนฤมล ใบพัด
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรณพ วิยกาญจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภวสันต์)

นฤมล ใบพัด: การผลิตโคพีพอดด้วยระบบการเพาะเลี้ยงแบบต่อเนื่อง (PRODUCTION OF COPEPOD USING CONTINUOUS CULTURE SYSTEM). อ. ที่ปรึกษา : ศ. ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข, 100 หน้า.

โคพีพอดเป็นแพลงก์ตอนสัตว์ที่ถูกนำมาใช้เป็นอาหารในการเลี้ยงลูกปลาวัยอ่อน การศึกษานี้เป็นการพัฒนาระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องเพื่อนำมาใช้เพาะเลี้ยงโคพีพอด โดยเริ่มต้นจากการศึกษาการเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบทีละรุ่น (Batch) ในภาชนะขนาด 1 ลิตร ที่มีการเติมสาหร่ายเซลล์เดียว *Isochrysis galbana* ความเข้มข้นที่มากเกินพอเป็นอาหารของโคพีพอด ผลการทดลองพบว่าโคพีพอดมีอัตราการเติบโตจำเพาะ 0.17 ต่อวัน และมีความหนาแน่นสูงสุดประมาณ 3,500 ตัว/ลิตร ต่อมาจึงได้ทำการเลี้ยงโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องที่ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์แบบใช้แสงขนาด 2 ลิตร สำหรับเลี้ยงสาหร่ายแบบต่อเนื่อง และถังเลี้ยงโคพีพอดขนาด 5 ลิตร ทำการปรับอัตราการเจือจางไว้ที่ 0.2 ต่อวันซึ่งอ้างอิงมาจากอัตราการเติบโตจำเพาะที่ได้จากการเลี้ยงแบบกะ ผลการศึกษาพบว่าโคพีพอดสามารถเติบโตได้ดีในระบบต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง 79 วัน โดยอัตราการเจือจางเฉลี่ยที่วัดได้จริงคือ 0.24 ต่อวัน พบว่าโคพีพอดที่อยู่ในถังเลี้ยงจะมีระยะการเติบโตหลายระยะ เช่น นอเพลียส โคพีโพดิด และโคพีพอดตัวเต็มวัย อาศัยอยู่ร่วมกัน ความหนาแน่นเฉลี่ยของโคพีพอดทุกระยะรวมกันในระบบเลี้ยงเท่ากับ 10,873 ± 4,388 ตัว/ลิตร สำหรับโคพีพอดที่เก็บเกี่ยวได้จากระบบการผลิตส่วนใหญ่จะเป็นระยะนอเพลียส โดยมีผลผลิตนอเพลียสเท่ากับ 1,856 ตัว/ลิตร/วัน

ในการพัฒนาระบบถังปฏิกรณ์สำหรับเลี้ยงโคพีพอดแบบต่อเนื่อง ได้ทำการสร้างระบบป้องกันการปนเปื้อนของอาหารเพาะเชื้อโดยการกรองอาหารเพาะเชื้อสาหร่ายด้วยไส้กรองขนาด 0.3 ไมโครเมตร และผ่านความร้อน 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 วินาที ก่อนจะเติมลงสู่ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเชิงแสงสำหรับเลี้ยงสาหร่าย วิธีนี้สามารถลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่จะเข้าสู่ระบบผลิตสาหร่ายและระบบผลิตโคพีพอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มระบบหมุนเวียนน้ำเข้ามาในระบบ โดยเป็นการนำน้ำที่แยกโคพีพอดออกแล้วมาฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน ทำการกรองด้วยชุดกรองขนาด 0.3 ไมโครเมตร และนำน้ำกลับมาใช้เตรียมอาหารเพาะเชื้อสาหร่าย วิธีนี้สามารถหมุนเวียนน้ำในระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง 33 วัน

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ..... ลายมือชื่อนิสิต.....นฤมล ใบพัด.....

ปีการศึกษา.....2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4872329223 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD: COPEPOD / *Isochrysis galbana* / CONTINUOUS CULTURE

NARUMOL BAIPAD : PRODUCTION OF COPEPOD USING CONTINUOUS CULTURE SYSTEM. THESIS ADVISOR : PROF.PIAMSAK MENAVETA Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D., 100 pp.

Copepod is a zooplankton used as live feed for fish larviculture. This study involved the development of continuous culture system for copepod production. Growth of copepod in batch culture was performed in 1 L culture vessel supplemented with excess amount of the microalga *Isochrysis galbana*. Specific growth rate of 0.17 and maximum density of 3,500 individuals/L were obtained from this experiment. Thereafter, growth of copepod in continuous culture system consisted of a 2 L photobioreactor for the continuous production of the marine microalga *Isochrysis galbana* and a 5 L culture vessel for copepod was investigated. Dilution of the algal reactor was 0.2/day which referred to the specific growth rate from batch culture. The results showed that copepod grew well in continuous culture system during the 79 days experimental period. Average dilution rate of the continuous culture system was apparently 0.24/day. Mixture of various growth stages *i.e.* nauplius, copepodid and adult copepod were simultaneously found in the culture vessel. Average total density of copepod in the culture vessel was 10,873 ± 4,388 Copepod./L. Most of the copepod harvested from the system was in nauplius stage with average productivity of 1,856 Copepod/L/day..

For the development of continuous copepod culture system, inline sterilization of algal culture medium using 0.3 microns filtration and heat at 80-90 °C for 3-4 seconds were applied. Culture medium in stocking tank was pumped through the inline sterilizer before dripped into the algal photobioreactor. This technique was effectively reduce the contamination of unwanted microorganisms into both algal and copepod reactors. Copepod produced from the bioreactor was harvested and water was treated and recycled. The water recycle was performed by chlorine treatment and filtration using 0.3 microns cartridge filter. Water then reused for the algal medium preparation. This water recycle was operated throughout 33 days of experimental period.

Field of study.....Biotechnology.....Student's signature.....Narumol Baipad.....

Academic year .....2007.....Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต และ ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำการศึกษาในครั้งนี้ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรณพ วิยกาญจน์ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล และ รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภวสันต์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ที่อนุเคราะห์หัวเชื้อสาหร่ายและโคพีพอดที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณปวีณา ตปนียวรวงศ์ คุณมะลิวัลย์ คุตะโค คุณรุ่งนภา สุทธิศรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย และขอบคุณสมาชิกทุกท่านในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัว และพี่ๆ ที่สำนักความหลากหลายทางชีวภาพ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อนๆ ในกลุ่มจากหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ สำหรับความช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน และกำลังใจที่มีให้ตลอดมาในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญภาพ.....ฎ
บทที่
1 บทนำ.....1
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....
แนวคิดและทฤษฎี.....
- ชีววิทยาของสาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง.....3
-ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย.....4
-วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....8
-ชีววิทยาของโคพีพอด.....11
-ปัจจัยที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงโคพีพอด.....18
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....19
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....
-การเก็บรักษาหัวเชื้อสาหร่าย *I.s galbana* และโคพีพอด.....23
-การศึกษาอัตราการเติบโตของสาหร่าย *I. galbana*
ในระบบการเพาะเลี้ยงแบบกะ.....23
-การศึกษาการเติบโตของสาหร่าย *I. galbana*
ในระบบการเพาะเลี้ยงแบบต่อเนื่อง.....24
-การศึกษาชีววิทยาพื้นฐานและการเติบโตของโคพีพอด
ในห้องปฏิบัติการ.....27
-การศึกษาการเติบโตของโคพีพอดที่เพาะเลี้ยงด้วย *I. galbana*
ในระบบการเพาะเลี้ยงแบบกะ.....27
-การเพาะเลี้ยงโคพีพอดเพื่อผลิตนอเพลียส.....28
-การศึกษาการเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยง
แบบต่อเนื่อง.....29

หน้า

-การศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างปริมาตรของระบบ
สาหร่าย *I. galbana* และโคพีพอด ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง 31
-การศึกษาการเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยง
แบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร.....32
-การศึกษาการเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยง
แบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร ในระบบหมุนเวียนน้ำ.....34
-การวัดน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *I. galbana* และโคพีพอด.....35
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....37
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....58
รายการอ้างอิง.....67
ภาคผนวก.....70
-ภาคผนวก ก.....71
-ภาคผนวก ข.....72
-ภาคผนวก ค.....73
-ภาคผนวก ง.....74
-ภาคผนวก จ.....97
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....100

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	การวิจัยและพัฒนาระบบการเลี้ยงโคพีพอด	20
3-1	ปริมาตรและอัตราการเจือจางของสาหร่าย *I. galbana* และโคพีพอดในแต่ละชุดการทดลองโดยปรับปริมาตรของสาหร่าย (I) ต่อโคพีพอด (C) แตกต่างกัน	32
4-1	จำนวนนอเพลียสที่ผลิตได้จากโคพีพอดตัวเมียที่มีไข่ 10 ตัว ตลอดระยะเวลาการทดลอง 14 วัน	43
4-2	ความหนาแน่นและผลผลิตของโคพีพอดในระยะต่างๆ ที่อัตราการเจือจาง 0.24 และ 0.33 ต่อวัน ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในขวดแก้วที่มีปริมาตรน้ำ 5ลิตร ในรอบการเลี้ยง 79 วัน	44
4-3	ความหนาแน่นและผลผลิตของโคพีพอดในระยะต่างๆ ที่อัตราการเจือจาง 0.25, 0.29 และ 0.39 ต่อวันตามลำดับ ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร ในรอบการเลี้ยง 51 วัน	51
4-4	ความหนาแน่นและผลผลิตของโคพีพอดในระยะต่างๆ ที่อัตราการเจือจาง 0.24 และ 0.16 ต่อวัน ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง ในรอบการเลี้ยง 33 วัน	54
4-5	ความหนาแน่นและผลผลิตของโคพีพอดในระยะต่างๆ ที่อัตราการเจือจาง 0.27 ต่อวัน ที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง ในรอบการเลี้ยง 31 วัน	55
5-1	ผลผลิตของสาหร่าย *Isochrysis* และโคพีพอดในแต่ละชุดทดลองที่มีอัตราส่วนของสาหร่าย (I) และโคพีพอด (C) ต่างกัน	62
5-2	ผลผลิตโคพีพอดที่ได้จากงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเลี้ยงโคพีพอดแบบกะและแบบต่อเนื่องในงานวิจัยอื่นๆ	63
ง.1	การเติบโตของสาหร่าย *I. galbana* ในระบบการเลี้ยงแบบกะ	74
ง.2	การเติบโตของสาหร่าย *I. galbana* ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในขวดแก้วปริมาตร 1.4 ลิตร	75
ง.3	การเติบโตของสาหร่าย *I. galbana* ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในขวดแก้วปริมาตร 5 ลิตร	77
ง.4	การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบกะ ที่เริ่มต้นจากโคพีพอดเพศเมียที่มีถุงไข่	79

ตารางที่ หน้า

ง.5 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเพาะเลี้ยงแบบกะ
ที่เริ่มต้นจากหัวเชื้อที่มีโคพีพอดทุกระยะ....80
ง.6 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง
ในขวดแก้วขนาด 5 ลิตรที่อัตราการเจือจาง 0.24 และ 0.33 ต่อวัน
ในรอบการเลี้ยง 79 วัน....81
ง.7 การเติบโตของ *I. galbana* .ในขวดเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาด 2 ลิตร
และในขวดเพาะเลี้ยงโคพีพอดขนาด 5 ลิตร ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง
ในรอบการเลี้ยง 79 วัน....84
ง.8 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร
ที่อัตราการเจือจาง 0.25, 0.29 และ 0.39 ต่อวัน ในรอบการเลี้ยง 51 วัน....87
ง.9 การเติบโตของ *I. galbana* .ในขวดเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาด 5 ลิตร
และในขวดเพาะเลี้ยงโคพีพอดขนาด 10 ลิตร ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง
ในรอบการเลี้ยง 51 วัน....89
ง.10 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร
ในระบบหมุนเวียนน้ำ ที่อัตราการเจือจาง 0.24 และ 0.16 ต่อวัน
ในรอบการเลี้ยง 33 วัน....91
ง.11 การเติบโตของ *I. galbana* ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในขวดเพาะเลี้ยง
สาหร่ายขนาด 5 ลิตร และในขวดเพาะเลี้ยงโคพีพอดขนาด 10 ลิตร
ที่มีระบหมุนเวียนน้ำ ในรอบการเลี้ยง 33 วัน....92
ง.12 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร
ในระบบหมุนเวียนน้ำ ที่อัตราการเจือจาง 0.27 ต่อวัน
ในรอบการเลี้ยง 31 วัน....93
ง.13 การเติบโตของ *I. galbana* .ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในขวดเพาะเลี้ยง
สาหร่ายขนาด 5 ลิตร และในขวดเพาะเลี้ยงโคพีพอดขนาด 10 ลิตร
ที่มีระบหมุนเวียนน้ำ ในรอบการเลี้ยง 31 วัน....95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะและรูปร่างของ *I. galbana*	4
2-2	การเติบโตของสาหร่ายในระบบการเลี้ยงแบบกะ	9
2-3	รูปร่างลักษณะของโคพีพอด	14
2-4	ตัวอ่อนระยะ nauplius และ copepodid ของโคพีพอด	17
3-1	หัวเชื้อสาหร่าย *I. galbana* และ โคพีพอดที่เก็บรักษาไว้ในห้องปฏิบัติการ	23
3-2	ระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *I. galbana* แบบกะ ในขวดรูปชมพู่ขนาด 2 ลิตร	24
3-3	ระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบต่อเนื่องในขวดแก้วปริมาตร 1.4 ลิตร	25
3-4	ระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบต่อเนื่องในขวดแก้วปริมาตร 5 ลิตร	26
3-5	ถาดหลุมที่ใช้ในการศึกษาชีววิทยาของโคพีพอดในห้องปฏิบัติการ	27
3-6	ระบบการเพาะเลี้ยงโคพีพอดแบบกะที่มีเซลล์เริ่มต้นเป็นโคพีพอดเพศเมีย ที่มีถุงไข่ จำนวน 100 ตัว ในขวดรูปชมพู่ขนาด 2 ลิตร	28
3-7	ระบบผลิตโคพีพอดระยะนอเพลียส	29
3-8	ระบบเลี้ยงโคพีพอดแบบต่อเนื่องในขวดแก้วขนาด 5 ลิตร	30
3-9	ระบบการเลี้ยงสาหร่าย *I. galbana* และโคพีพอดแบบต่อเนื่องที่สัดส่วน ของปริมาตรสาหร่าย *I. galbana* และโคพีพอดเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 2:1	31
3-10	ระบบฆ่าเชื้อของอาหารเพาะเชื้อสาหร่ายด้วยความร้อน ซึ่งดัดแปลงมาจากกาต้มน้ำ	33
3-11	ระบบการเลี้ยงโคพีพอดแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร ที่มีการฆ่าเชื้อของอาหารเพาะเชื้อสาหร่ายด้วยความร้อน ซึ่งดัดแปลงมาจากกาต้มน้ำ	34
3-12	ระบบการหมุนเวียนน้ำ	35
4-1	การเติบโตของสาหร่าย *I. galbana* ในระบบการเลี้ยงแบบกะ	37
4-2	การเติบโตของสาหร่าย *I. galbana* ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง ในขวดแก้วปริมาตร 1.4 ลิตร	38
4-3	การเติบโตของสาหร่าย *I. galbana* ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง ในขวดแก้วปริมาตร 5 ลิตร	39

ภาพที่ หน้า

4-4 ระยะพัฒนาของโคพีพอด....40
4-5 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบกะ ที่เริ่มต้นจากโคพีพอดเพศเมียที่มีถุงไข่....41
4-6 อัตราการเติบโตจำเพาะของโคพีพอดในช่วงวันที่ 2 ถึงวันที่ 10 ในระบบการเลี้ยงแบบกะ....41
4-7 การศึกษาอัตราการเติบโตของโคพีพอดในระบบการเพาะเลี้ยงแบบกะ ที่เริ่มต้นจากหัวเชื้อที่มีโคพีพอดทุกระยะ....42
4-8 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง....44
4-9 ปริมาณแอมโมเนียในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง ในขวดแก้วที่มีปริมาตรน้ำ 5 ลิตร....45
4-10 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและพิสัยความหนาแน่นของสาหร่ายและโคพีพอด ในการศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างปริมาตรของระบบสาหร่ายและระบบ โคพีพอดที่สัดส่วน 1:2....46
4-11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและพิสัยความหนาแน่นของสาหร่ายและโคพีพอด ในการศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างปริมาตรของระบบสาหร่ายและระบบ โคพีพอดที่สัดส่วน 1:1....47
4-12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและพิสัยความหนาแน่นของสาหร่ายและโคพีพอด ในการศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างปริมาตรของระบบสาหร่ายและระบบ โคพีพอดที่สัดส่วน 2:1....48
4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจือจางและความหนาแน่นของโคพีพอด ในการศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างปริมาตรของระบบสาหร่าย *I. galbana* และโคพีพอด ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง....49
4-14 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร....50
4-15 ปริมาณแอมโมเนียในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร....52
4-16 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร ในระบบหมุนเวียนน้ำ (การทดลองครั้งที่1)....53
4-17 การเติบโตของโคพีพอดในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร ในระบบหมุนเวียนน้ำ (การทดลองครั้งที่2)....55
4-18 ปริมาณแอมโมเนียในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังขนาด 10 ลิตร ในระบบหมุนเวียนน้ำ....56

ภาพที่ หน้า

4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *I. galbana*.....57

4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับน้ำหนักแห้งของโคพีพอด.....57

5-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจือจางและความหนาแน่น เซลล์สาหร่าย *Isochrysis galbana* ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง ในถังปฏิกรณ์ขนาด 1.4 ลิตร และขนาด 5 ลิตร.....59

ค.1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของแอมโมเนีย.....73

จ.1 การเติบโตของสาหร่าย *I.galbana* ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง โดยใช้สัดส่วนของสาหร่ายต่อโคพีพอดเท่ากับ1:2.....97

จ.2 การเติบโตของโคพีพอด ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง โดยใช้สัดส่วนของสาหร่ายต่อโคพีพอดเท่ากับ 1:2.....97

จ.3 การเติบโตของสาหร่าย *I.galbana* ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง โดยใช้สัดส่วนของสาหร่ายต่อโคพีพอดเท่ากับ 1:1.....98

จ.4 การเติบโตของโคพีพอด ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง โดยใช้สัดส่วนของสาหร่ายต่อโคพีพอดเท่ากับ 1:1.....98

จ.5 การเติบโตของสาหร่าย *I.galbana* ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง โดยใช้สัดส่วนของสาหร่ายต่อโคพีพอดเท่ากับ 2:1.....99

จ.6 การเติบโตของโคพีพอด ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง โดยใช้สัดส่วนของสาหร่ายต่อโคพีพอดเท่ากับ 2:1.....99