

การผลิตไคอะตอม *Amphora delicatissima* แบบเฮเทอโรโทรฟิก
เพื่อเป็นอาหารเสริมสำหรับเพรียงทราย *Perinereis nuntia*



นายเอกราช ภูมั่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

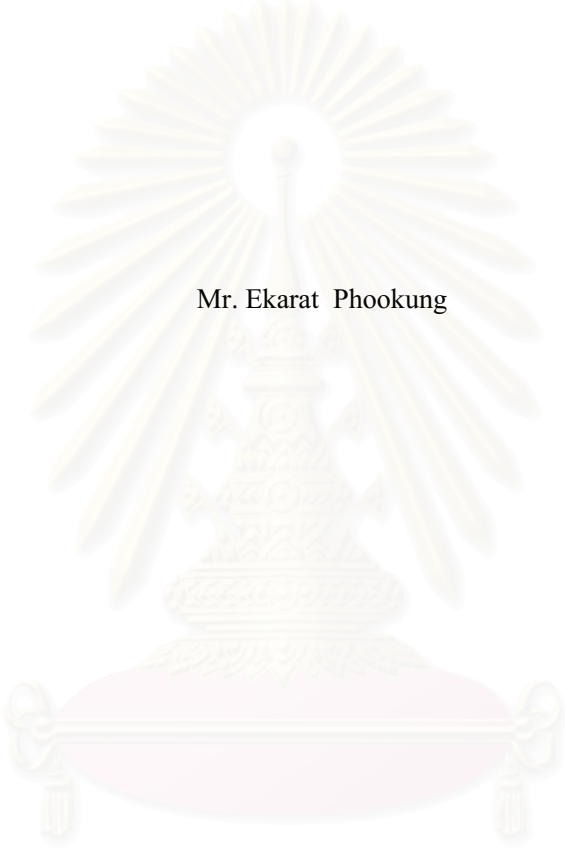
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HETEROTROPHIC PRODUCTION OF THE DIATOM *Amphora delicatissima*
AS FOOD SUPPLEMENT FOR POLYCHAETE *Perinereis nuntia*

Mr. Ekarat Phookung



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Marine Science

Department of Marine Science, Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตไคอะคอม *Amphora delicatissima* แบบเฮเทอโรโทริก
เพื่อเป็นอาหารเสริมสำหรับเพรียงทราย *Perinereis nuntia*

โดย

นายเอกราช ภูมิ่ง

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์ทางทะเล

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิตวรกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิตธรรมขง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิตวรกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด)

เอกราช ภูมิ่ง: การผลิตไดอะตอม *Amphora delicatissima* แบบเฮเทอโรโทรฟิกเพื่อเป็นอาหารเสริม
สำหรับเพรียงทราย *Perinereis nuntia* (HETEROTROPHIC PRODUCTION OF THE DIATOM
Amphora delicatissima AS FOOD SUPPLEMENT FOR POLYCHAETE *Perinereis nuntia*).

อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรฉัตรกุล,

อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข, 123 หน้า.

การศึกษานี้เป็นการทดลองเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ในห้องปฏิบัติการโดยมีการเติมไดอะตอม *Amphora delicatissima* ที่เติบโตในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิกลงในถังเลี้ยงร่วมกับการให้อาหารสำเร็จรูปตามปกติ ในขั้นแรกได้ทำการศึกษาการเติบโตของไดอะตอมในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงพบว่าขนาดของเม็ดทรายมีผลต่อการเติบโตของไดอะตอม โดยไดอะตอมสามารถเติบโตได้ดีที่สุดในทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร และไดอะตอมจะมีการเติบโตได้ดีในสภาวะมิกโซโทรฟิกในชั้นทรายที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนและได้รับแสง ในขณะที่การเลี้ยงไดอะตอมในทรายเทียม (vermiculite) โดยมีอาหารกุ้งเป็นแหล่งสารอาหารหลัก และระบบอยู่ในสภาวะที่ไม่มีแสง จะพบการเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ไดอะตอมไม่มาก แต่ไดอะตอมสามารถดำรงชีวิตอยู่ในระบบเลี้ยงได้ โดยมีสภาพเซลล์ที่สมบูรณ์และมีสารสีเหมือนไดอะตอมปกติที่เติบโตแบบโฟโตออโตโทรฟิก ผลการเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ให้อ่อนด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไดอะตอม พบว่าสารสีจากไดอะตอมถูกถ่ายถอดไปสู่เพรียงทรายตามห่วงโซ่อาหารได้ โดยสารสีที่พบมากที่สุดคือฟูโคแซนทีน (Fucoxanthin) ซึ่งเป็นสารสีชนิดเด่นในไดอะตอม ในขณะที่การเสริมไดอะตอมไม่ช่วยเพิ่มหรือเปลี่ยนแปลงปริมาณและองค์ประกอบสารสีในเพรียงทรายขนาดใหญ่ เนื่องจากเพรียงทรายจะเลือกกินเฉพาะอาหารกุ้งเป็นหลัก และการเลี้ยงเพรียงทรายด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไดอะตอม พบว่ามีปริมาณกรดไขมันที่ไม่สามารถจำแนกได้ปริมาณที่สูงกว่าชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การเสริมไดอะตอมลงในระบบเลี้ยงเพรียงทรายนอกจากจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับเพรียงทรายแล้ว ไดอะตอมยังช่วยควบคุมคุณภาพน้ำโดยลดปริมาณแอมโมเนียและไนเตรดในน้ำช่วยให้มีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งเห็นผลได้อย่างชัดเจนทั้งในชุดการทดลองที่ทำกับเพรียงทรายให้อ่อนและกับเพรียงทรายตัวเต็มวัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล..... ลายมือชื่อนิสิต..... ทัศนพงษ์ ภูมิ่ง.....
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772580223 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEY WORD: Diatom / *Amphora delicatissima* / HETEROTROPHIC /
POLYCHAETE / *Perinereis nuntia*

EKARAT PHOOKUNG : HETEROTROPHIC PRODUCTION OF THE DIATOM
Amphora delicatissima AS FOOD SUPPLEMENT FOR POLYCHAETE
Perinereis nuntia.

THESIS ADVISOR : SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL Ph.D.,
THESIS CO-ADVISOR : SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D., 123 pp.

This study involved the cultivation of sandworm (*Perinereis nuntia*) fed with artificial feed and supplemented with the heterotrophic diatom *Amphora delicatissima* under laboratory condition. Preliminary studies on growth of the diatom in sand layer of the sandworm culture system showed that grain sizes of the sand had an effect on growth of the diatom. Highest growth rate of the diatom was obtained in 0.3-0.7 mm diameter sand under mixotrophic culture condition supplemented with organic carbon and light. Dark-heterotrophic growth of the diatom in artificial sand (Vermiculite) with shrimp feed as a sole carbon source could induce only slow growth rate. However, with this condition, diatom could survive and cells were still in good condition with normal pigment profile as autotrophic condition. The experiment on diatom supplemented in juvenile sandworm culture tank showed that pigment from diatom could be transferred through food chain from diatom to sandworm. The dominant pigment found in sandworm was fucoxanthin which is the dominant pigment in the diatom. However, diatom supplement did not improve pigmentation in adult sandworm due to its food selective capability. Fatty acids profile analysis showed that sandworm fed with shrimp feed plus diatom had higher unidentified fatty acids than that found without diatom supplement. Moreover, supplement of diatom in sandworm culture system also improved water quality especially with ammonia and nitrate removal. This was clearly found in both juvenile and adult sandworm culture experiments.

Department.....Marine science.....Student's signature.....
Field of study.....Marine science.....Advisor's signature.....
Academic year2007.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิดาวรกุล และดร.สรวิศ
เผ่าทองสุข สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำการศึกษาในครั้งนี้
นี้ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิตินธรรมยง และศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์
เมนะเสวด ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดในวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ณ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่
และเครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.พอจำ อรัณยกานนท์ และนายสุรพล ชูณหับฉิมจิต สถาบันวิจัยทรัพยากร
ทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนายชภัทร วนาครรวริวิศาล กรรมการผู้จัดการ บริษัท
ต้นอคควอดติก จำกัด ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์และให้ความอนุเคราะห์เพียงทรายที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.พนิดา อุณากุล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ที่ให้
คำแนะนำ และอนุเคราะห์เครื่องมือ ในการวิเคราะห์กรดไขมัน

ขอบคุณอาจารย์วิชญา กันบัว ที่ให้คำปรึกษาการวิเคราะห์สารสี รวมถึงการทำวิทยานิพนธ์
และสมาชิกในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ที่คอยช่วยเหลือในการทำ
วิทยานิพนธ์

ขอบคุณพี่จัน พี่เส พี่รุช แจก ตึก ตึก คิว มล และทราย รวมถึงน้องๆ ฝึกงาน ที่ให้ความ
ช่วยเหลือการทำงานทดลองเป็นอย่างดี

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัวภูมั่ง คือคุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาว สำหรับความ
ช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง และกำลังใจที่มีให้ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้
สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
แนวคิดและทฤษฎี.....	3
2.1 ชีวิตวิทยาของไคอะตอม.....	3
2.2 สารชีวโมเลกุลในเซลล์ของไคอะตอม.....	6
2.3 การเคลื่อนที่ของไคอะตอม.....	8
2.4 การสืบพันธุ์ของไคอะตอม.....	8
2.5 นิเวศวิทยาของไคอะตอม.....	9
2.6 ชีวิตวิทยาของไคอะตอม <i>Amphora delicatissima</i>	9
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของไคอะตอม.....	10
2.8 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะเฮเทอโรโทรฟิก.....	13
2.9 ลักษณะทางชีววิทยาเพรียงทราย (<i>Perinereis nuntia</i>).....	16
2.10 ความสำคัญของเพรียงทราย.....	17
2.11 ฟาร์มเพาะเลี้ยงเพรียงทรายเชิงพาณิชย์.....	17
2.12 วิธีการเพาะเลี้ยงเพรียงทรายในประเทศไทย.....	18
2.13 แนวทางการพัฒนาระบบเลี้ยงเพรียงทราย.....	18
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 การศึกษาการเติบโตของไคอะตอม <i>A.delicatissima</i> ในชั้นทราย.....	20
3.2 การเติบโตของไคอะตอม <i>A.delicatissima</i> ในทรายเทียมของ ระบบเลี้ยงเพรียงทราย.....	24

บทที่	หน้า
3.3 ผลของการเสริมไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ลงในระบบเลี้ยง เพรียงทราย.....	27
4. ผลการทดลอง.....	32
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	89
-ภาคผนวก ก.....	90
-ภาคผนวก ข.....	91
-ภาคผนวก ค.....	92
-ภาคผนวก ง.....	96
-ภาคผนวก จ.....	97
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ปริมาณกรดไขมันในเซลล์ของไคอะตอม (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)	7
2-2 ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยง <i>A. delicatissima</i> ในประเทศไทย.....	15
3-1 ชุดทดลองเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายที่มีขนาดเม็ดทรายแตกต่างกัน.....	21
3-2 การทดลองเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite).....	23
3-3 การทดลองเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทราย (vermiculite) ของระบบเลี้ยงเพรียงทรายในสถานะเฮเทอโรโทรฟิก.....	26
3-4 โปรแกรมการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนตัวทำละลาย ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารสีด้วย HPLC.....	30
4-1 ปริมาณสารสีฟูโคแซนทีน (Fucoxanthin) แครโรทีนอยด์ (Carotenoids) ชนิดอื่นๆ และแอสตาแซนทีน (Astaxanthin) ในอาหารกุ้ง ไคอะตอม และในเพรียงทราย วัยอ่อนอายุ 1 เดือน จากชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับ ไคอะตอม โดยเลี้ยงนาน 55 วัน.....	53
4-2 ปริมาณสารสีฟูโคแซนทีน (Fucoxanthin) และแครโรทีนอยด์ (Carotenoids) ชนิดอื่นๆ ในอาหารกุ้ง ไคอะตอม และในเพรียงทรายจากชุดควบคุมและชุดทดลอง ของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในระบบ ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน.....	70
จ.1 สัดส่วนของน้ำหนักเปียกต่อน้ำหนักแห้งของเพรียงทราย.....	97
จ.2 การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร.....	98
จ.3 ความหนาแน่นของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร ที่ความหนาแน่นทราย 0-0.3 และ 0.3-0.5 เซนติเมตร และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยDuncan.....	99
จ.4 การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ในทรายหนา 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกุ้งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร)	100

ตารางที่	หน้า
จ.5 ความหนาแน่นของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ที่ความหนาชั้นทราย 0-1.5 และ 1.5-2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan.....	101
จ.6 การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ให้แสง, ทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร ให้แสง และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ไม่ให้แสง ที่มีความหนาชั้นทราย 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร).....	102
จ.7 การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ส่วนชุดควบคุมไม่เติมทราย โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) มีความหนาชั้นทราย 3 เซนติเมตร.....	103
จ.8 ความหนาแน่นของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ที่ความหนาชั้นทราย 0-1 , 1-2 และ 2-3 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan.....	104
จ.9 การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ส่วนชุดควบคุมไม่เติมทราย โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) มีความหนาชั้นทราย 3 เซนติเมตร.....	105
จ.10 การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ความหนาชั้นทราย 10 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งเม็ด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) ส่วนชุดควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเล ความเค็ม 30 พีเอสยู ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง.....	106

ตารางที่	หน้า
จ.11 การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร ชุดทดลองควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเล ความเค็ม 30 พีเอสยู ชุดทดลองเติมอาหารกุ้งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง.....	107
จ.12 การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร เติมอาหารกุ้งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร และเติมด้วยอาหาร สูตร F/2 ส่วนชุดทดลองที่เหลือเติมอาหารกุ้งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง.....	108
จ.13 อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 20 และ 41 วันและทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan.....	109
จ.14 ปริมาณสารสีในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 41 วันและทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan.....	110
จ.15 อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 55 วันและทดสอบทางสถิติด้วย t-Test.....	111
จ.16 ปริมาณสารสีในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 41 วันและทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan.....	112
จ.17 ชนิดและปริมาณสารสีของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i>	113
จ.18 ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง เป็นเวลา 55 วัน.....	113
จ.19 ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน เดือนที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> เป็นเวลา 55 วัน.....	114

ตารางที่	หน้า
จ.20	อัตราการรอดเฉลี่ยของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> จากธรรมชาติ เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงนาน 15 และ 33 วัน และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan.....115
จ.21	ปริมาณสารในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> จากธรรมชาติ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 33 วัน และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยDuncan.....116
จ.22	ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> จากธรรมชาติ.....117
จ.23	ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> จากธรรมชาติ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง เป็นเวลา 15 วัน.....118
จ.24	ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> จากธรรมชาติ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> เป็นเวลา 15 วัน.....119
จ.25	องค์ประกอบของกรดไขมันมาตรฐาน (Sigma # 189-19)120
จ.26	ชนิดและปริมาณกรดไขมันของอาหารกุ้ง, ไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> , เพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเพรียงทราย เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม เป็นเวลา 55 วัน.....121
จ.27	ชนิดและปริมาณกรดไขมันของอาหารกุ้ง, ไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> , เพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> จากธรรมชาติ, เพรียงทรายเลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเพรียงทรายเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม เป็นเวลา 33 วัน.....122

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1	โครงสร้างฟรัสตูล (frustule) ของไดอะตอม.....4
2-2	ลักษณะของไดอะตอม กลุ่มเซนตริก (centric diatom).....5
2-3	ลักษณะของไดอะตอม กลุ่มเพนเนต (pennate diatom).....5
2-4	ลักษณะด้านหน้า และด้านในฝาของไดอะตอมน้ำเค็ม <i>A. delicatissima</i> AM9901.....9
2-5	ภาพวาดแสดงอวัยวะของเพรียง.....16
2-6	เปรียบเทียบลักษณะของทรายธรรมชาติ กับทรายเทียม (vermiculite).....17
3-1	ภาชนะสำหรับทดลองเลี้ยงไดอะตอม <i>A. delicatissima</i> โดยใช้เม็ดทราย 2 ขนาด ได้แก่ 0.3-0.7 และ 0.7-2 มิลลิเมตร ใช้ชั้นทรายหนา 2.5 เซนติเมตร.....21
3-2	การทดลองเลี้ยงไดอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดเม็ดเล็ก, กลางและใหญ่ ใช้ชั้นทรายหนา 2.5 เซนติเมตร23
3-3	แผนภาพแสดงระบบเลี้ยงเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> โดยใช้ทรายเทียม หนา 10 เซนติเมตร24
3-4	ระบบเลี้ยงไดอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง ใช้ชั้น ทรายหนา 10 เซนติเมตร.....27
3-5	แผนภาพ (บน) และภาพถ่าย (ล่าง) ของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับ เลี้ยงเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ที่มีการเสริมไดอะตอม <i>A. delicatissima</i>28
3-6	แนวทางการทดลองผลของการเสริมไดอะตอมลงในระบบเลี้ยงเพรียงทราย.....29
4-1	การเติบโตของไดอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร.....32
4-2	การเติบโตของไดอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร ที่ความลึกของชั้นทราย 0-0.3 และ 0.3-0.5 เซนติเมตร.....33
4-3	การเติบโตของไดอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ในทรายหนา 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร.....34

- 4-4 ความหนาแน่นของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ที่ความหนาชั้นทราย 0-1.5 และ 1.5-2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร).....35
- 4-5 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ให้แสง, ทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร ให้แสง และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ไม่ให้แสง ที่มีความหนาชั้นทราย 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร.....36
- 4-6 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และ ขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ส่วนชุดควบคุมไม่เติมทราย โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) มีความหนาชั้นทราย 3 เซนติเมตร เป็นแหล่งสารอาหาร.....37
- 4-7 ความหนาแน่นของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ที่ความหนาชั้นทราย 0-1 , 1-2 และ 2-3 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร.....38
- 4-8 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ความหนาชั้นทราย 10 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด เป็นแหล่งสารอาหาร (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) ส่วนชุดควบคุม เติมเฉพาะน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง.....39
- 4-9 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ความหนาชั้นทราย 10 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งเม็ด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร ส่วนชุดควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง.....40

4-10	การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร ชุดทดลองควบคุม เติมน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ชุดทดลองเติมอาหารกึ่งบด มีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง.....	41
4-11	การเติบโตของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร เติมน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ชุดทดลองเติมอาหารกึ่งบด มีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร และเติมด้วยอาหารสูตร F/2 ส่วนชุดทดลองที่เหลือเติมน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ชุดทดลองเติมอาหารกึ่งบด มีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร เป็นแหล่งของสารอาหาร ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง.....	42
4-12	อัตราการเจริญของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วย อาหารกึ่ง และเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 55 วัน.....	43
4-13	ปริมาณแอมโมเนีย ในไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทราย วัยอ่อน ชุดควบคุมที่ให้เฉพาะอาหารกึ่ง.....	45
4-14	ปริมาณแอมโมเนีย ในไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทราย วัยอ่อน ชุดทดลองที่ให้อาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i>	45
4-15	ปริมาณสารสีที่พบในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง (ชุดควบคุม) และเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> (ชุดทดลอง)หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 20, 40 และ 55 วัน.....	47
4-16	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> โดยพีคที่ 1 คือสารที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์ ซี พีคที่ 2, 4 และ 8 คือแคโรทีนอยด์ ที่ยังจำแนกไม่ได้ พีคที่ 3 คือฟูโคแซนทิน และพีคที่ 5, 6 และ 7 คือ สารที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์ เอ.....	48
4-17	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง เป็นเวลา 55 วัน โดยพีคที่ 1, 2 และ 3 ไม่สามารถจำแนกได้ พีคที่ 4 คือแอสตาแซนทิน และพีคที่ 5 เป็นสารสีที่มีสเปกตรัมคล้ายเบต้า-แคโรทีน.....	49

4-18	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> (ชุดทดลอง) เป็นเวลา 55 วัน โดยพีคที่ 1, 2, 3, 4, 8 และ 9 ไม่สามารถจำแนกได้ พีคที่ 5, 6, 7, 11 และ 12 คือแคโรทีนอยด์ที่ยังไม่สามารถจำแนกชนิดได้ และพีคหมายเลข 10 คือสารที่มี สเปกตรัมคล้ายคลอโรฟิลล์.....	50
4-19	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของอาหารกุ้ง (ขนาดเล็ก) ที่ใช้เลี้ยงเพรียงทราย.....	51
4-20	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของแอสควีนแซนทีนมาตรฐาน.....	52
4-21	โครมาโตแกรมแสดงชนิดกรดไขมันมาตรฐาน, อาหารกุ้ง, ไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> , เพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> เลี้ยงนาน 55 วัน.....	54
4-22	ชนิดและปริมาณกรดไขมันของอาหารกุ้ง, ไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> , เพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และ เพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> เลี้ยงนาน 55 วัน.....	55
4-23	อัตราการเฉลี่ยของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 20 และ 41 วัน.....	56
4-24	ปริมาณสารสีในชั้นทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 41 วัน.....	57
4-25	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของอาหารกุ้ง (ขนาดเม็ดใหญ่) ที่ใช้เลี้ยงเพรียงทราย.....	58
4-26	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง เป็นเวลา 20 วัน ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....	58
4-27	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> เป็นเวลา 20 วัน ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....	59
4-28	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง เป็นเวลา 41 วัน ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....	59

4-29	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> เป็นเวลา 41 วัน ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....	60
4-30	อัตราการอดเฉลี่ยของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ จากธรรมชาติ เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง และเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในระบบเลี้ยงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ เป็นเวลา 15 และ 33 วัน	61
4-31	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทราย ขนาดใหญ่ ชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งและไม่มีมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....	62
4-32	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทราย ขนาดใหญ่ ชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....	62
4-33	ปริมาณสารสีในชั้นทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่จากธรรมชาติ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง และเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับ ไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในระบบการเลี้ยงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....	63
4-34	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของอาหารกึ่ง (ขนาดใหญ่) ที่ใช้เลี้ยงเพรียงทราย.....	64
4-35	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ ที่จับจากธรรมชาติ โดยพีคที่ 1 และ 2 คือสารที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์ เอ และพีค 3-13 คือสารสีแคโรทีนอยด์ที่ยังไม่สามารถจำแนกชนิดได้.....	65
4-36	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน	66
4-37	โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i> ขนาดใหญ่ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> ในระบบ ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน โดยพีคที่ 1, 2 และ 4 คือ สารที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์ เอ และพีคที่ 3 และ 5-18 คือ สารสีแคโรทีนอยด์ที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้.....	68
4-38	โครมาโตแกรมแสดงชนิดกรดไขมันมาตรฐาน, อาหารกึ่ง, ไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> , เพรียงทรายจากธรรมชาติ, เพรียงทรายจากธรรมชาติ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง และเพรียงทรายจากธรรมชาติที่เลี้ยงด้วย อาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม <i>A. delicatissima</i> โดยเลี้ยงในระบบปิด ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ เป็นเวลา 15 วัน.....	72

4-39 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของอาหารกุ้ง, ไคอะตอม *A. delicatissima*,
 เพรียงทรายจากธรรมชาติ, เพรียงทรายจากธรรมชาติที่เลี้ยง
 ด้วยอาหารกุ้ง และเปรียงทรายจากธรรมชาติที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง
 ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* โดยเลี้ยงในระบบปิด
 ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน.....73

ค.1 ลักษณะของช่องบนสไลด์นับเม็ดเลือดที่ใช้ในการนับเซลล์ไคอะตอม.....92

ค.2 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียม ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 0.01, 0.05
 และ 0.25 มิลลิกรัมแอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร.....94

ค.3 กราฟมาตรฐานไนไตรต์ ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 0.01, 0.05
 และ 0.25 มิลลิกรัมไนไตรต์-ไนโตรเจนต่อลิตร.....95

ค.4 กราฟมาตรฐานไนเตรต ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 2, 4, 6 และ
 8 มิลลิกรัมไนเตรต-ไนโตรเจนต่อลิตร.....95

จ.1 การเคลื่อนที่ของไคอะตอม *A. delicatissima* ระยะเวลา 40 วินาที
 บนสไลด์นับเม็ดเลือด.....97

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดียวหรือจุลสาหร่าย (microalgae) เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำมีความจำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งสาหร่ายที่ใช้เลี้ยงส่วนมากจะเป็นชนิดที่เป็นแพลงก์ตอนซึ่งจะเหมาะกับสัตว์น้ำวัยอ่อนในระยะที่ดำรงชีวิตเป็นแพลงก์ตอนและกินอาหารในมวลน้ำ รวมทั้งการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชเพื่อเป็นอาหารสัตว์น้ำที่กรองกินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร เช่น สัตว์ในกลุ่มหอยสองฝา ในขณะที่การใช้แพลงก์ตอนพืชเพื่อเป็นอาหารของสัตว์ทะเลหน้าดิน (benthos) และสัตว์ทะเลที่อาศัยฝังตัวอยู่ในดินนั้นยังไม่มีการศึกษามากนัก

เพรียงทรายหรือไส้เดือนทะเล (*Perinereis nuntia*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดใหม่ที่มีการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นในประเทศไทย การเพาะเลี้ยงเพรียงทรายเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันนิยมให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับใช้เลี้ยงกุ้งนำมาบดเพื่อเป็นอาหาร โดยผลผลิตเพรียงส่วนใหญ่จะถูกนำมาจำหน่ายเป็นเหยื่อตกปลาและใช้เป็นอาหารสำหรับพ่อแม่พันธุ์กุ้ง ทั้งนี้เพราะเพรียงนอกจากจะมีโปรตีนสูงแล้ว ยังมีปริมาณสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดจำเป็น (essential unsaturated fatty acids) ในปริมาณสูง ซึ่งสารสีและกรดไขมันเหล่านี้มีแหล่งที่มาจากอาหารที่เพรียงกินเข้าไปและสะสมอยู่ในตัวของเพรียง พบว่าเพรียงที่มีแหล่งที่มาจากธรรมชาติจะมีองค์ประกอบคุณค่าทางอาหารที่แตกต่างจากเพรียงจากการเพาะเลี้ยง (Meunpol, 2007) ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการได้รับอาหารที่แตกต่างกัน

สาหร่าย *Amphora delicatissima* เป็นสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมที่เติบโตบริเวณผิวหน้าดิน (benthic diatom) โดยสามารถเติบโตได้ทั้งในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง ซึ่งในสภาวะที่ไม่มีแสงนั้นสาหร่ายชนิดนี้จะใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (ชมพูนุท ชัยรัตน์ และคณะ, 2546; มะลิวัลย์ คุตะโค และคณะ, 2547) ในขณะที่สภาวะของการเลี้ยงเพรียงทรายจะทำในถังน้ำทะเลที่บรรจุทรายหรือทรายเทียม (สุรพล ชุมหับฉัตติ และพองจำ อรรถยกานนท์, 2549) อยู่ในสภาวะที่ปิดมืดไม่เหมาะสมกับการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชโดยทั่วไป การเลี้ยงสาหร่าย *A. delicatissima* ซึ่งเติบโตได้ในสภาวะที่ไม่มีแสง เพื่อเป็นอาหารเสริมตามธรรมชาติให้กับเพรียงทรายจึงมีความเป็นไปได้ การศึกษาในครั้งนี้เป็นการจำลองสภาวะของการเลี้ยงเพรียงทรายในห้องปฏิบัติการ โดยมีการเสริมสาหร่าย *A. delicatissima* จากการเพาะเลี้ยงลงในถังเลี้ยงเพรียง โดยทำการทดลองภายใต้สภาวะการเลี้ยงด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเติบโตของไคอะตอม *Amphora delicatissima* แบบเฮเทอโรโทrophic ภายในชั้นทราย โดยใช้อาหารกึ่งเป็นแหล่งสารอาหารหลัก
2. ศึกษาการเติบโต อัตรารอด และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารสีและกรดไขมันของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งสำเร็จรูปร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima*

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบลักษณะทางสรีรวิทยาการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในสภาวะการเลี้ยงภายในชั้นทรายจริงและทรายเทียมที่มีขนาดเม็ดต่างๆ กัน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาวิธีการเลี้ยงไคอะตอมในชั้นทราย

เป็นแนวทางการประยุกต์ใช้สาหร่ายเซลล์เดียวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับเพรียงทราย โดยเฉพาะสารสีและกรดไขมัน และการใช้สาหร่ายเพื่อช่วยควบคุมคุณภาพน้ำ ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการเลี้ยงเพรียงทราย ตลอดจนช่วยรักษาสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

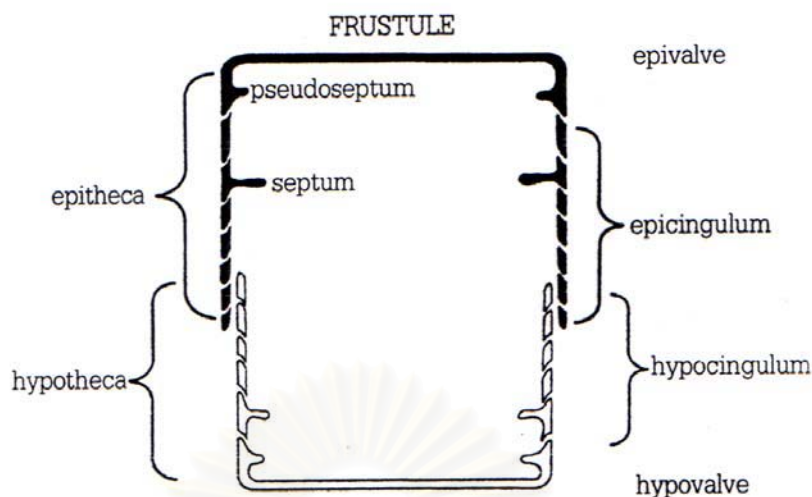
แนวคิดและทฤษฎี

2.1 ชีวิตวิทยาของไดอะตอม

แพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายเซลล์เดียวเป็นผู้ผลิตลำดับต้นของระบบนิเวศในแหล่งน้ำ เนื่องจากสาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารเองได้หรือเรียกว่าออโตโทรฟิก (autotrophic) โดยใช้แหล่งคาร์บอนในรูปสารอนินทรีย์ที่อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) เรียกว่าการเติบโตในสภาวะโฟโตออโตโทรฟิก (photoautotrophic) แต่นอกเหนือไปจากสาหร่ายที่เติบโตแบบโฟโตออโตโทรฟิกแล้ว ยังมีสาหร่ายอีกจำนวนหนึ่งที่สามารถใช้สารอินทรีย์ร่วมกับใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน เรียกว่าการเติบโตแบบมิคโซโทรฟิก (mixotrophic) เช่น *Poteroiochromonas malhamensis* (Vymazal, 1995 อ้างโดย Caron et al., 1990), *Chlamydomonas acidophila* (Tittel et al., 2005), *Pheaocystis globosa* (Seuront et al., 2006) และ *Chrysochromulina polylepis* (Stibor and Sommer, 2003) เป็นต้น และยังมีสาหร่ายที่สามารถนำสารอินทรีย์เข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต เรียกว่าสภาวะการเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic) ซึ่งจะไม่ต้องการแสงเนื่องจากไม่มีการสังเคราะห์แสง สาหร่ายกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกที่พบได้มากก็คือสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมที่อาศัยอยู่ตามพื้นทะเล (benthic diatom) ซึ่งมักพบเติบโตแบบยึดเกาะอยู่กับพื้นทราย, หิน และดิน

2.1.1 โครงสร้างภายนอกของไดอะตอม

ไดอะตอมจัดเป็นแพลงก์ตอนพืช หรือสาหร่ายเซลล์เดียว ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ แต่ก็บางชนิดที่อยู่รวมกันเป็น โคลโลนี (colony) มีขนาดเซลล์ตั้งแต่ 1-500 ไมครอน ลักษณะเด่นของไดอะตอมคือ ผนังเซลล์มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ทำให้เกิดเป็นลวดลายบนฝาที่แตกต่างกันตามชนิดของไดอะตอม ไดอะตอมหนึ่งเซลล์ประกอบด้วยฝาสองฝาที่ครอบกันได้พอดี คล้ายงานเลี้ยงเชื้อ โดยเรียกว่า ฟรัสตุล (frustule) ฝาบนเรียกว่า อีพิทีกา (epitheca) ครอบด้วยอีพิวาล์ว (epivalve) และอีพิซิงกูลัม (epicingulum) ฝาล่างเรียกว่า ไฮโปทีกา (hypotheca) ครอบด้วยไฮโปวาล์ว (hypovalve) และไฮโปซิงกูลัม (hypocingulum) โครงสร้างฟรัสตุลของไดอะตอม ดังภาพที่



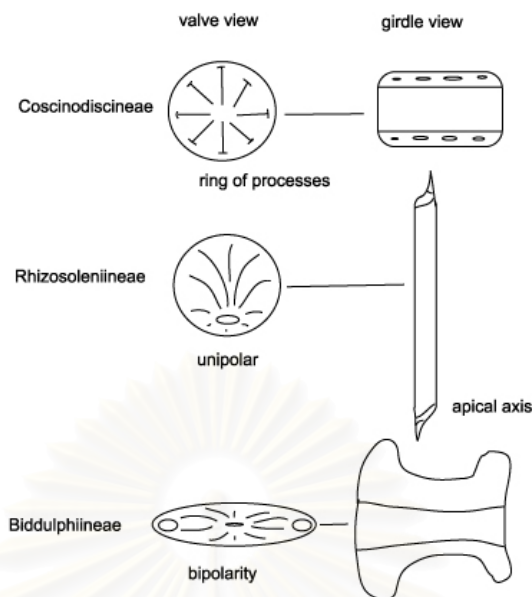
ภาพที่ 2-1 โครงสร้างฟรัสตูล (frustule) ของไดอะตอม

ที่มา: Hasle and Syvertsen, 1997 อ้างโดย ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542

การจัดจำแนกชนิดของไดอะตอมตามลักษณะโครงสร้างฟรัสตูลของไดอะตอมสามารถจำแนกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1.1 เซนตริกไดอะตอม (centric diatom) ลักษณะฟรัสตูลของไดอะตอมกลุ่มเซนตริกส่วนมากมีรูปร่างทางด้านหน้าฝายเป็นรูปวงกลม ซึ่งมีสมมาตรแบบรัศมี (radial symmetry) ไดอะตอมบางสกุลอาจมีรูปร่างทางด้านหน้าฝายเป็นรูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมหรือครึ่งวงกลม ด้านเกอร์เดิลหรือด้านข้างมักเป็นรูปสี่เหลี่ยม ลวดลายบนฝามักเรียงกันในแนวรัศมีโดยยึดศูนย์กลางของฝายเป็นหลัก ดังภาพที่ 2-2

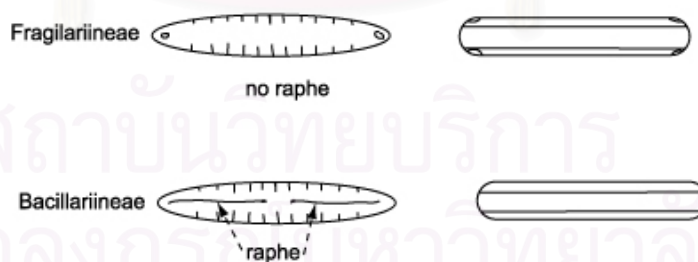
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-2 ลักษณะของไดอะตอม กลุ่มเซนตริก (centric diatom)

ที่มา: Hasle and Syvertsen, 1997 อ้างโดย ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542

2.1.1.2 เพนเนตไดอะตอม (pennate diatom) ฝาจะมีรูปร่างแตกต่างกันหลายแบบ คือ เป็นรูปเรือ รูปวงรี รูปไข่ รูปเข็ม ฯลฯ ไดอะตอมกลุ่มที่มีสมมาตรแบบสองด้าน (bilateral symmetry) ด้านหน้าฝาของไดอะตอมมีร่องแคบ (slit) พาดตามยาวเรียกร่องนี้ว่า ราพี (raphe) ตลอดแนวของร่องราพียาวไม่ติดกัน แต่จะแบ่งออกเป็นสองช่อง เนื่องจากกึ่งกลางของฝามีคูดมหนานที่เกิดขึ้นจากการฝังตัวของซิลิกาบนผนังเซลล์เรียกว่า เซนทรัลโนดูล (central nodule) ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ลักษณะของไดอะตอม กลุ่มเพนเนต (pennate diatom)

ที่มา: Hasle and Syvertsen, 1997 อ้างโดย ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542

2.2 สารชีวโมเลกุลในเซลล์ของไดอะตอม

ภายในเซลล์ของไดอะตอมประกอบด้วยสารชีวโมเลกุลดังนี้

2.2.1 โปรตีน (protein) ไดอะตอมมีโปรตีนหลายชนิดเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ ทั้งนี้ ความแตกต่างของชนิดและปริมาณโปรตีนจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของไดอะตอมแต่ละชนิด และสภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไดอะตอม ในการเปรียบเทียบโปรตีนในเซลล์ไดอะตอม 6 ชนิด 25 สกุล พบว่ามีกรดอะมิโนชนิดเซอรีน (serine) มากที่สุด รองลงมาคือ ไกลซีน (glycine), กรดกลูตามิก (glutamic acid) และกรดแอสพาร์ติก (aspartic acid) ตามลำดับ (Chau *et al.*, 1967 อ้างโดย Werner, 1977) และจากการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโน พบว่ามีการสะสมมากที่ผนังเซลล์ของไดอะตอมมากกว่าส่วนอื่นๆ (Hecky *et al.*, 1973 อ้างโดย Werner, 1977)

2.2.2 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) โพลีแซคคาไรด์ที่พบสะสมในไดอะตอมจะอยู่ในรูปของคริสโซลามินาแรน (chrysolaminaran) หรือ เบต้า-1,3 กลูแคน (β -1, 3 glucan) ซึ่งเป็น คาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ ไดอะตอมส่วนมากเมื่อเติบโตเข้าสู่ระยะคงที่ (stationary phase) จะผลิตโพลีแซคคาไรด์ และปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ในรูปของเจลาติน (gelatin) ทำให้มีลักษณะเป็นเมือกเหนียวห่อหุ้มเซลล์เรียกว่า แคปซูล (capsule) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของแคปซูลที่ไดอะตอมผลิตขึ้นจะแตกต่างกัน เช่น แคปซูลของไดอะตอม *Phaeodactylum tricornutum* ประกอบด้วย ไซโลส (xylose), แมนโนส (mannose), ฟูโคส (fucose) และกาแลคโตส (galactose) (Lewin *et al.*, 1958 อ้างโดย Werner, 1977)

2.2.3 ไขมัน (lipid) ชนิดของไขมันภายในเซลล์ไดอะตอมมีเหมือนกับสาหร่ายสีเขียว และพืชชั้นสูง ซึ่งประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride), ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride), เลซิธิน (lecithin), ฟอสโฟติลกลีเซอรอล (phosphatidyl glycerol) และฟอสโฟติลอิโนซิทอล (phosphatidyl inositol) กรดไขมันที่พบในไดอะตอมประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ที่มีคาร์บอน 14, 16 และ 20 อะตอม เป็นองค์ประกอบ การผลิตกรดไขมันลิโนเลนิก (linolenic acid, C18:3) ของไดอะตอมพบปริมาณน้อย ในพืชชั้นสูง จะพบกรดลิโนเลนิกเป็นองค์ประกอบหลัก เพราะกรดลิโนเลนิกจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของคลอโรพลาสต์ ปริมาณของกรดไขมันในเซลล์ไดอะตอมบางชนิด แสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ปริมาณกรดไขมันในเซลล์ของไดอะตอม (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	<i>Navicula elliptulosa</i> ¹	<i>Cylindrotheca gracilis</i> ²	<i>Nitzschia palea</i> ³	<i>Phaeodactylum tricornutum</i> ⁴	<i>Nitzschia alba</i> ⁵	<i>Skeletonema costatum</i> ⁵	<i>Thalassiosira fluvitili</i> ⁶
Myristic acid (C14:0)	2.8	7.0	6.2	8.6	30	6.2	7.9
Palmitic acid (C16:0)	9.1	16.4	22.8	10.7	20.9	11.1	23.2
Palmitoleic acid (C16:1)	30.8	21.3	44.7	27.3	8.5	21.7	44.8
Hexadecadienoic acid (C16:2)	7.4	4.2	3.6	13.4	13.4	6.1	2.8
Hexadecatrienoic acid (C16:3)	18.3	-	1.6	9.9	ND	11.4	6.5
Stearic acid (C18:0)	-	1.0	-	0.1	tr	-	0.3
Oleic acid (C18:1)	6.2	5.3	2.5	4.7	23.6	1.8	0.4
Linoleic acid (C18:2)	3.9	2.9	-	0.5	4.7	2.1	0.5
Linolenic acid (C18:3)	2.6	-	-	0.2	tr	-	0.2
Arachidonic acid (C20:4)	4.5	6.2	6.3	0.7	tr	3.9	0.6
Eicosapentaenoic acid (C20:5)	14.5	24.4	12.0	18.2	10.8	30.2	8.0

ที่มา: ¹Kates and Volcani (1966), ²DeMort *et al.* (1972), ³Opute (1974), ⁴Chuecas and Riley (1969), ⁵Ackman *et al.* (1968), ⁶Tornabene *et al.* (1974)

หมายเหตุ: ND= ตรวจไม่พบ tr=น้อยมาก

2.2.4 สารสี (pigment) ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ สาหร่ายชนิดต่างๆ รวมทั้งไดอะตอมมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ร้อยละ 0.3-2 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนคลอโรฟิลล์-ซี จะพบคลอโรฟิลล์-ซี₁ และคลอโรฟิลล์-ซี₂ ในเซลล์ไดอะตอมมีอัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์-ซี₁ต่อซี₂ เท่ากับ 1 เสมอ แต่บางครั้งอัตราส่วนดังกล่าวอาจมีมากหรือน้อยกว่า 1 ก็ได้ ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของไดอะตอม ปริมาณคลอโรฟิลล์-ซี ในไดอะตอมเท่ากับ ร้อยละ 11-37 ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Jeffery, 1972) ส่วนแคโรทีนอยด์ที่พบมีสองประเภทคือ ประเภทแคโรทีน ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) และแอมซิลอน-แคโรทีน (ϵ -carotene) ประเภทแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ได้แก่ ฟูโคแซนทิน (fucoxanthin), ไดอะโตแซนทิน (diatoxanthin) แต่เนื่องจากปริมาณของแคโรทีนอยด์ และแซนโทฟิลล์มากกว่าคลอโรฟิลล์ จึงทำให้สีของคลอโรพลาสต์มีสีตั้งแต่เหลือง เหลืองแกมเขียว เขียวมะกอก เหลืองอมน้ำตาล น้ำตาลอ่อน น้ำตาลทอง จนถึงสีน้ำตาลเข้ม

2.3 การเคลื่อนที่ของไดอะตอม

ไดอะตอมมีการเคลื่อนที่หลายแบบเช่น แบบกระตุก (jerking) ซึ่งจะพบเฉพาะไดอะตอมชนิดที่มีราฟีที่แท้จริงเท่านั้น กลไกการเคลื่อนที่ของไดอะตอมมีหลายวิธีเช่น การที่ไซโตพลาสซึมเคลื่อนที่ไปตามร่องของราฟีผ่านทาง central pore และ terminal pores ซึ่งไซโตพลาสซึมนี้จะสัมผัสกับวัตถุที่เซลล์กำลังเกาะอยู่ ทำให้เกิดแรงผลักดันให้เซลล์เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของไซโตพลาสซึม หรือโดยการขยับเมือ่อกออกมาจากเซลล์ขณะที่เซลล์เคลื่อนที่ เส้นทางในการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของราฟี ซึ่งไดอะตอม *Amphora* นั้นเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของไดอะตอมยังได้รับอิทธิพลจากแสงอีกด้วยคือ มีทั้งแบบเคลื่อนที่เข้าหาแสงสว่าง (positive phototaxis) และเคลื่อนที่ออกจากแสงสว่าง (negative phototaxis) (ถัดดา วงศ์รัตน์, 2542)

2.4 การสืบพันธุ์ของไดอะตอม

การสืบพันธุ์ของไดอะตอมมีสองแบบคือ แบบไม่อาศัยเพศ และอาศัยเพศ แต่ส่วนมากจะสืบพันธุ์ไม่อาศัยเพศ โดยเป็นการแบ่งส่วนประกอบของเซลล์ออกเป็นสองส่วน แล้วจึงแบ่งไซโตพลาสซึม ทำให้เซลล์ใหม่ที่ได้อยู่ในแต่ละฝาของผนังเซลล์คือ ส่วนประกอบของเซลล์ที่ได้ส่วนที่หนึ่งจะอยู่ในฝาบนหรืออีพิทิกา อีกส่วนอยู่ที่ฝาล่างหรือไฮโปทิกาซึ่งเป็นฝาเดิมของเซลล์ จากนั้นจะมีการสร้างผนังเซลล์ส่วนที่เหลือขึ้นมาใหม่เป็นส่วนของไฮโปทิกา สรุปได้ว่าทั้งอีพิทิกาและไฮโปทิกาของเซลล์เดิมจะกลายเป็นอีพิทิกาของเซลล์ใหม่เสมอ ดังนั้นเมื่อไดอะตอมแบ่งเซลล์จะทำให้ไดอะตอมมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ส่วนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เป็นการสร้างออกโซสปอร์ (auxospore) ซึ่งเป็นสปอร์ที่ไม่มีสิ่งห่อหุ้ม โปรโตพลาสซึมทำให้ไดอะตอมขยายขนาดได้ กระบวนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของไดอะตอม เริ่มต้นด้วยไดอะตอม 2 เซลล์ จับคู่กัน จากนั้นไดอะตอมทั้งสองเซลล์มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ทำให้ได้ไดอะตอมแต่ละเซลล์มี 4 นิวเคลียส โดยมีนิวเคลียสขนาดใหญ่ 2 นิวเคลียสและนิวเคลียสขนาดเล็ก 2 นิวเคลียส จากนั้นนิวเคลียสขนาดเล็กก็จะสลายตัวพร้อมๆ กับเกิดการแบ่งไซโตพลาสซึมออกเป็น 2 ส่วน ที่มีขนาดไม่เท่ากันและทำหน้าที่เป็นเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์ขนาดเล็กของแต่ละเซลล์จะเข้าผสมและปฏิสนธิกับเซลล์สืบพันธุ์ขนาดใหญ่ของอีกฝ่ายได้เป็นไซโกต ต่อมาไซโกตมีการขยายขนาดเพื่อสร้างออกโซสปอร์ มีการสร้างผนังเซลล์หุ้มเป็นไดอะตอมที่สมบูรณ์ และมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์แม่ (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534)

2.5 นิเวศวิทยาของไดอะตอม

ไดอะตอมเป็นจุลสาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม และน้ำกร่อย นอกจากนี้ยังพบในดิน และตามที่ชื้น ไดอะตอมถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะที่อยู่อาศัย คือ ไดอะตอมที่อาศัยอยู่ตามหน้าดิน (benthic diatom) เป็นไดอะตอมชนิดที่สามารถสร้างก้าน (stalk) หรือเมือกออกจากเซลล์เพื่อใช้ในการยึดเกาะกับพื้นน้ำหรือวัตถุต่างๆ ในน้ำ เช่น ก้อนหิน นอกจากนี้ไดอะตอมบางชนิดสามารถดำรงชีวิตอยู่โดยการฝังตัวในทราย ส่วนไดอะตอมที่เป็นแพลงก์ตอน (planktonic diatom) เป็นไดอะตอมที่ใช้เวลาส่วนมากหรือตลอดระยะเวลาในวัฏจักรชีวิตอยู่ในมวลน้ำ และมีไดอะตอมบางชนิดที่บางช่วงของวัฏจักรชีวิตอาศัยเกาะติดกับพื้น (Werner, 1977)

2.6 ชีวิตวิทยาของไดอะตอม *Amphora delicatissima*

ไดอะตอม *Amphora delicatissima* เป็นเพนเนตไดอะตอมและเซลล์อยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ มีรูปร่างคล้ายรูปไข่ ที่ปลายเซลล์ตัดตรง ดังภาพที่ 2-4 สามารถจัดจำแนกชนิดของไดอะตอมได้ดังนี้ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542)

Division Chromophyta

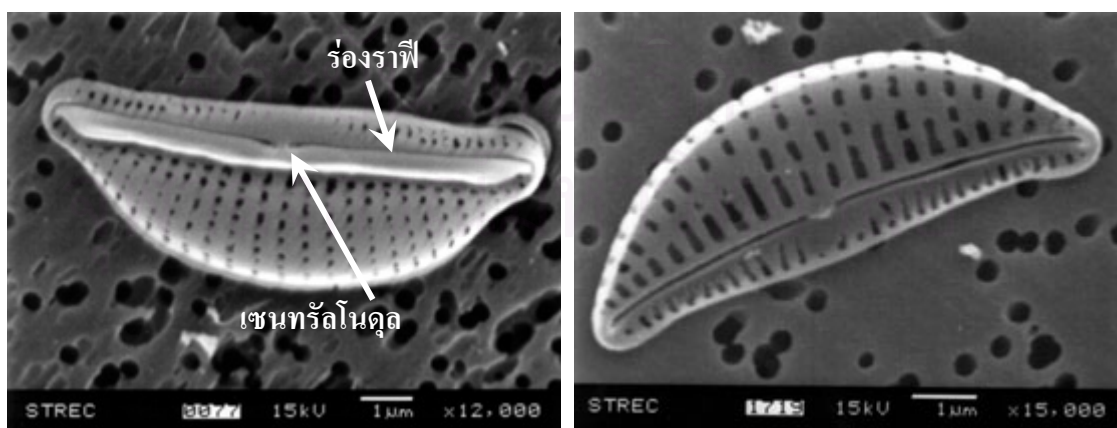
Class Bacillariophyceae

Order Bacillariales

Family Naviculaceae

Genus *Amphora*

Species *A. delicatissima*



ภาพที่ 2-4 ลักษณะด้านหน้า และด้านในฝาของไดอะตอมน้ำเค็ม *A. delicatissima* AM9901

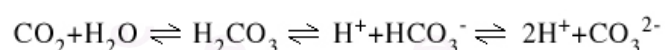
(มะลิวัลย์ กุตะโก, 2546)

ไดอะตอมน้ำเค็ม *Amphora* สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากด้านหลังและด้านท้องของเซลล์ หนุนเป็นรูปไข่ที่มีปลายเซลล์ตัดตรงทางด้านเกอร์เดิล มีอินเตอร์คาลารีแบนด์หลายแถบ ซึ่งอาจมี ลวดลายเป็นจุดหรือเป็นเส้นหรืออาจไม่มีอินเตอร์คาลารีแบนด์ก็ได้ ราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง เส้น โคนหรืออาจมีลักษณะเป็นเกลียว ไดอะตอม *Amphora* sp. จัดเป็นพวกไดอะตอมหน้าดิน (benthic diatom) เนื่องจากอาศัยอยู่ตามพื้นทราย หรือเกาะอยู่บนพืชน้ำหรือวัตถุต่างๆ ในน้ำ เช่น ก้อนหิน และพื้นซีเมนต์ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542) เซลล์ของไดอะตอมชนิดที่ลอยอยู่ในมวลน้ำ (planktonic diatom) จะถูกรวมเป็นมวลชีวภาพของสาหร่ายบริเวณหน้าดิน (Sundbäck *et al.*, 1996) ในปัจจุบันมีการนำไดอะตอม มาใช้ในการเพาะเลี้ยง และอนุบาลสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น นำมาเป็น อาหารในการเพาะเลี้ยงหอยเป่าฮือในระยะลงเกาะ (Norman-Boudreau *et al.*, 1986 อ้างโดย มณฑล แก่นมณี, 2539) และใช้ในการอนุบาลกุ้งวัยอ่อน (Peterson และ Curiel, 2002)

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของไดอะตอม

ปัจจัยทางเคมี

2.7.1 คาร์บอน เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของไดอะตอมโดยมีอิทธิพลต่อการสร้างตัว เซลล์และผลิตสารเมแทบอลิต์ปฐมภูมิ (primary metabolite) และเมแทบอลิต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) สาหร่ายสามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้ในรูปของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ สาหร่าย พวกออกโตโทรฟมีการดำรงชีวิตเหมือนพืชชั้นสูง โดยต้องการสารอนินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน เพื่อ ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้สาหร่ายสามารถใช้แหล่งคาร์บอนในรูปของเกลือ คาร์บอนเนตหรือไบคาร์บอนเนต การเปลี่ยนรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำสามารถแสดงได้ดัง สมการ (Becker, 1994)



สาหร่ายหลายชนิดสามารถเปลี่ยนการดำรงชีวิตจากแบบออโตโทรฟเป็นแบบเฮเทอโรโทรฟได้ โดยเปลี่ยนจากการใช้สารอนินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีแสง เป็นการใช้อินทรีย์ภายใต้ สภาวะที่ไม่มีแสง สาหร่ายพวกเฮเทอโรโทรฟได้รับคาร์บอนจากสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต และไขมัน การศึกษาการเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟนิยมใช้แหล่งคาร์บอนจาก น้ำตาลชนิดต่างๆ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อัตราการสังเคราะห์แสงขึ้นอยู่กับปริมาณของ คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อปริมาณคาร์บอนมีมากจนถึงจุดอิ่มตัว อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น (Devlin and Barker, 1971)

2.7.2 ซิลิกา ไดอะตอมต้องการซิลิกาในการเติบโตและการสร้างเปลือก โดยทั่วไปแล้วไดอะตอมสามารถใช้ซิลิกาได้ทั้งในรูปของกรดซิลิซิก (silicic acid) และซิลิเกต (silicate) การเติบโต

ของไคอะตอมจะหยุดเมื่ออาหารที่เลี้ยงมีปริมาณกรดซิลิซิกน้อยเกินไป และยังส่งผลต่อการสังเคราะห์ดีเอ็นเอให้หยุดด้วย ซิลิกาที่เป็นองค์ประกอบของพริสตุลของไคอะตอมอยู่ในช่วง 45-200 พิโคกรัมต่อเซลล์ ความต้องการซิลิกาในเซลล์ไคอะตอมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณซิลิกาที่เติมในอาหารเพาะเชื้อ สภาวะแวดล้อมระหว่างการเพาะเลี้ยง เช่น แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่ำ ความเข้มข้นของสารอาหารและความหนาแน่นของเซลล์ไคอะตอม รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงขนาดของเซลล์ไคอะตอม (Werner, 1977)

2.7.3 ไนโตรเจน โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายสามารถใช้แหล่งไนโตรเจนในรูปสารประกอบอนินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์ สารประกอบอนินทรีย์ที่สาหร่ายใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย แกลือแอมโมเนีย หรือไนเตรต เมื่อสาหร่ายใช้แอมโมเนียจะทำให้อาหารเพาะเชื้อมีความเป็นกรดมากขึ้น ส่วนสารอินทรีย์ในไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปของกรดอะมิโน โปรตีน หรือยูเรีย โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายสามารถเติบโตในอาหารที่มีสารอินทรีย์ในไนโตรเจนได้เร็วกว่าในอาหารที่มีสารอนินทรีย์ในไนโตรเจน วัตถุประสงค์ที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จะเป็นสารอินทรีย์ในไนโตรเจนที่ประกอบด้วยสารประกอบไนโตรเจนหลายชนิดรวมกัน เช่น ยีสต์สกัด การขาดไนโตรเจนจะส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณสารสี รวมทั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิดลดลงด้วย (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2541)

2.7.4 แกลือแร่ จัดว่าเป็นธาตุอาหารรองที่สาหร่ายต้องการในปริมาณน้อยมาก แต่สาหร่ายก็จำเป็นที่จะต้องได้รับ เพราะแกลือแร่มีความสำคัญในการควบคุมกระบวนการอิเล็กโตรไลต์ (electrolyte) ของเซลล์ สาหร่ายที่ดำรงชีวิตในน้ำเค็มจำเป็นต้องใช้โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K) และคลอไรด์ (Cl) ในการเติบโต นอกจากนี้สาหร่ายยังมีความต้องการแมกนีเซียม (Mg) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และแคลเซียม (Ca) เพื่อใช้เป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ของเอนไซม์บางชนิดและเป็นองค์ประกอบของสารบางชนิด เช่น โคบอลต์เป็นองค์ประกอบของวิตามินบี₁₂ (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534)

2.7.5 วิตามิน การเติบโตของสาหร่ายทะเลมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับวิตามิน เช่น ไบโอติน และไรอามีน (McLachlan, 1973) ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) การเติมวิตามินที่มีความสำคัญต่อการเติบโตของสาหร่าย เช่น วิตามินบี₁₂ ลงในอาหารเพาะเชื้อ จะช่วยเพิ่มอัตราการเติบโตของไคอะตอมได้เป็นอย่างดี (Krichnavaruk *et al.*, 2004)

ปัจจัยทางกายภาพ

2.7.6 แสงสว่าง (illumination) แสงเป็นแหล่งพลังงานที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยปกติแล้วแหล่งพลังงานแสงที่ให้ระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นแสงจากดวงอาทิตย์ และแสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ จุดอิ่มตัวของการสังเคราะห์แสง (light-saturation

intensity) นั้นต่างกันในสาหร่ายแต่ละชนิด และแสงยังเป็นตัวกระตุ้นการเคลื่อนที่ของไดอะตอมด้วย (Trainor, 1978) อย่างไรก็ตามการให้แสงที่ระดับความเข้มแสงสูงๆ ส่งผลให้อุณหภูมิของอาหารเพาะเชื้อสูงขึ้น ซึ่งก็จะส่งผลต่อการเติบโตของสาหร่ายด้วยเช่นกัน

2.7.7 การฟุ้งอากาศ (aeration) การให้อากาศในเพาะเลี้ยงสาหร่ายนิยมให้ในรูปของอากาศตามธรรมชาติหรืออากาศผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเติมอากาศที่ผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในอาหารเพาะเชื้อ พบว่าความเป็นกรดต่างจะคงที่ในช่วง 7.8-8.0 ซึ่งการให้อากาศลงในภาชนะที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายควรมีการกรองอากาศด้วยตัวกรองขนาดรูพรุน 0.3-0.5 ไมครอน เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

2.7.8 ความเค็ม (salinity) ระดับความเค็มที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เช่น ความเค็มในช่วง 20-25 พีเอสยูเหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมน้ำเค็ม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไอออนในอาหารที่เลี้ยงเซลล์สาหร่าย สาหร่ายจะสูญเสียน้ำทำให้เซลล์มีการหดตัวอย่างรวดเร็ว (Hellebust, 1976 อ้างโดย Darley, 1982) เมื่อน้ำมีความเค็มสูงขึ้นจะทำให้สาหร่ายมีอัตราการหายใจ (dark respiration) เพิ่มขึ้นเพื่อสร้างพลังงานสำหรับปรับแรงดันออสโมติกภายในเซลล์ ทำให้ผลผลิตสาหร่ายลดลง (สรวิศ เผ่าทองสุข, 2543)

2.7.9 อุณหภูมิ (temperature) มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการสังเคราะห์แสงก็จะเพิ่มขึ้น จนถึงอุณหภูมิหนึ่งแม้ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นก็ไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการเติบโตลดลง (Darley, 1982) สาหร่ายน้ำเค็มสามารถเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 15-20 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนในน้ำ โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง แต่การละลายของออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น (Lee and Ding, 1995)

2.7.10 ความเป็นกรดต่าง (pH) สาหร่ายส่วนใหญ่สามารถเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นกลาง แต่สาหร่ายบางชนิดสามารถเติบโตได้ในสภาพ pH สูง เช่น สาหร่าย *Spirulina* sp. ส่วนกลุ่มไดอะตอมสามารถเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นกลาง โดยสภาพความเป็นกรดต่างจะมีผลต่อการละลายของแร่ธาตุในน้ำ เช่น ที่ pH 3-7 ธาตุเหล็กจะสามารถละลายได้ดีกว่าที่ pH ต่ำกว่า 3 (Fyson *et al.*, 2006) ซึ่งธาตุเหล็กมีความจำเป็นต่อกระบวนการเติบโตของสาหร่าย

2.8 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะเฮเทอโรโทรฟิก

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยสภาวะเฮเทอโรโทรฟิคนั้นเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการผลิตสาหร่ายระดับอุตสาหกรรม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่มากเนื่องจากยังมีการศึกษาไม่มากนักและสาหร่ายชนิดที่สามารถเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟิกได้นั้นมีอยู่น้อย ตัวอย่างของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบเฮเทอโรโทรฟิกได้แก่ การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlamydomonas reinhardtii* แบบแบคทีเรียภายใต้สภาวะการเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟิก โดยใช้อะซิเตตเป็นแหล่งคาร์บอน Chen และ John (1994) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nitzschia laevis* และไดอะตอมชนิดอื่นๆ ที่มีปริมาณกรดไขมัน EPA (Eicosapentaenoic acid) สูง ในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิกโดยใช้สารอินทรีย์เพียงเล็กน้อย และมีแหล่งไนโตรเจนจาก ไนเตรต, แอมโมเนียม, ยูเรีย, tryptone และ ยีสต์สกัด (Zhi-You and Feng, 2001) โดยการปรับเปลี่ยนสูตรอาหารที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และปรับปรุงองค์ประกอบทางชีวเคมี ภายในเซลล์สาหร่ายได้ ตัวอย่างของการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบเฮเทอโรโทรฟิกได้แก่

Tan และ Johns (1991) เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella saccharophila* เปรียบเทียบกัน 2 สภาวะ โดยใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าการเลี้ยงในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิคมียังมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ กรดไขมันไลเลอิก (C18:2) และกรดไขมันไลเลนิก (C18:3) สูงกว่า สภาวะที่ให้แสง และพบว่าการเติบโตของสาหร่ายลดลงเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสมากกว่า 15 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของกลูโคสที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายคือ 14 กรัมต่อลิตร

Chen and Johns (1994) เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlamydomonas reinhardtii* แบบแบคทีเรียภายใต้สภาวะเฮเทอโรโทรฟิก โดยใช้อะซิเตตเป็นแหล่งคาร์บอน จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของอะซิเตตที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายเท่ากับ 0.4 กรัมต่อลิตร

Shi *et al.* (1999) ศึกษาการเติบโตและการผลิต lutein ของสาหร่าย *Chlorella protothecoides* โดยเพาะเลี้ยงแบบแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 30 ลิตร ใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนโดยเติม 36 กรัมต่อลิตร พบว่าสาหร่ายมีอัตราการเติบโตจำเพาะ 0.92 ต่อวัน ให้น้ำหนักแห้งและผลิต lutein ได้ 16.4 กรัมต่อลิตร และ 4.85 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ตามลำดับ

Zhang *et al.* (1999) ทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlamydomonas reinhardtii* แบบแบคทีเรียเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟิกของสาหร่าย พบว่าความเข้มข้นของไนเตรต แอมโมเนีย และยูเรียที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายเท่ากับ 0.48, 0.44 และ 0.61 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่ายูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่าย โดยมีอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.071 ต่อชั่วโมง จากนั้นทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบครั้งคราวโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่าย ที่ได้จากการทดลองเพาะเลี้ยงแบบแบคทีเรีย พบว่าการ

เพาะเลี้ยงแบบครั้งคราวให้ความหนาแน่นเซลล์ 1.1482 กรัมต่อลิตร ซึ่งมากกว่าความหนาแน่นเซลล์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบบแบตช์ 1.9 เท่า

de Swaaf *et al.* (2003) ทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Cryptocodinium cohnii* ภายใต้สถานะเฮเทอโรโทรฟิก พบว่าสาหร่ายจะมีการสะสมกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (PUFA) โดยมีกรดไขมัน DHA (docosahexaenoic acid C22:6) มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

ในประเทศไทยจากการศึกษาของ มะลิวัลย์ คู่ตะโค (2543) ได้แยกเลี้ยงเซลล์ไดอะตอม *Amphora. delicatissima* สายพันธุ์ AM9901 จากทะเลในจังหวัดชลบุรี พบว่าไดอะตอมชนิดนี้สามารถเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟิกได้ดี และสามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งในสถานะที่มีแสง (autotrophic) และไร้แสง (heterotrophic) หลังจากนั้นได้มีการศึกษาสาหร่ายชนิดนี้อย่างต่อเนื่อง โดยมีผลการศึกษาดังตารางที่ 2-2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

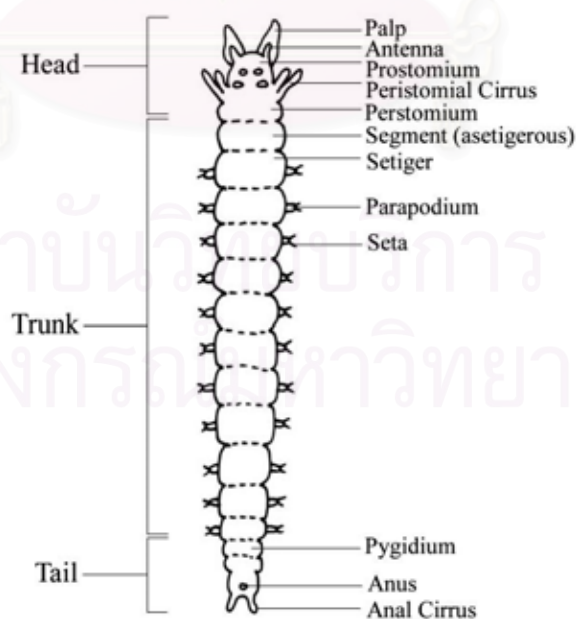
ตารางที่ 2-2 ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยง *A. delicatissima* ในประเทศไทย

ลำดับ	การทดลอง	อ้างอิง
1	แยกสายพันธุ์สาหร่าย <i>A. delicatissima</i> จากชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี สามารถเติบโตได้ในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิก โดยเลี้ยงด้วยอาหารสูตร F/2 เสริมด้วยเปปโติน และยีสต์สกัด	มะลิวัลย์ คู่ตะโก (2543)
2	เลี้ยงสาหร่าย <i>A. delicatissima</i> ด้วยอาหารสูตร F/2 เติมด้วยสารอินทรีย์คาร์บอนคือ กลูโคส, เปปโติน, ยีสต์สกัด และเนื้อสกัด 4, 5, 2 และ 1 กรัมต่อลิตรตามลำดับ เพาะเลี้ยงแบบแบตช์ภายใต้สภาวะแบบเฮเทอโรโทรฟิกในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 1 และ 5 ลิตร ได้รับความหนาแน่นเซลล์สูงสุด 75×10^4 และ 61×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตรตามลำดับ	มะลิวัลย์ คู่ตะโก (2546); มะลิวัลย์ คู่ตะโก และ คณะ (2547)
3	เลี้ยงสาหร่าย <i>A. delicatissima</i> ในสภาวะแบบเฮเทอโรโทรฟิก (ไม่ให้แสง) ใช้อาหารสูตร F/2 ที่เสริมด้วยสารอินทรีย์คาร์บอนคือกลูโคส และกรดแอสซิติคความเข้มข้น 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร และผสมสารอาหารอินทรีย์ ได้แก่ สารสกัดจากเนื้อ, เปปโติน และสารสกัดยีสต์ เพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสเป็น 4 กรัมคาร์บอนต่อลิตร ทำให้อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดถึง 0.96 ต่อวัน และมีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด 7.4×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	ชมพูนุท ชัยรัตน์ และ คณะ (2546)
4	เลี้ยงสาหร่าย <i>A. delicatissima</i> ในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิกโดยใช้สูตรอาหารที่พัฒนาขึ้นใหม่คือ อาหารกึ่ง+2.4 mM Si+4C ซึ่งใช้อาหารกึ่ง 10.19 กรัมต่อลิตร พบว่าสามารถเติบโตได้จนมีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด 584.17×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และทดลองเลี้ยงโดยใช้ขวดรูปชมพู่ ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันแสง เขย่าด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ได้รับความหนาแน่นเซลล์สูงสุด 282.5×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	นฤมล ไบพัด (2546)

2.9 ชีวิตวิทยาของเพรียงทราย (*Perinereis nuntia*)

เพรียง หรือไส้เดือนทะเลอาศัยอยู่บนพื้นทะเลใกล้ฝั่งเขตน้ำท่วมตลอดเวลา พบตามพื้นทราย ใต้ก้อนหิน หรือซุงครุอยู่ (บพิชและนันทพร จารุพันธ์, 2538) ปกติจะฝังตัวลึกในทราย และขึ้นมาหาอาหารในเวลาน้ำขึ้น เป็นสัตว์กินเนื้อ (carnivore) (Mettam, 1980) หรืออาจกินสารอินทรีย์ลอยตามน้ำโดยการกรอง สำหรับบางชนิดที่เคลื่อนที่ช้ามักกินอาหารตามผิวหน้าดิน

รูปร่างเพรียงทรายแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว ลำตัว และหาง ลำตัวเป็นปล้องยาวเรียงกันจำนวนมาก (Baoling *et al.*, 1985) โดยส่วนหัวประกอบด้วย พัลป์ (palps) จำนวน 1 คู่ ทำหน้าที่รับความรู้สึกด้านเคมีและกินอาหาร 1 คู่ โพรสโตเมียม (prostomium) และเพอริสโตเมียม (peristomium) โพรสโตเมียมอยู่ด้านหน้าสุดของลำตัว มีตา 2 คู่ และอวัยวะด้านข้างของส่วนท้องก่อนไปทางด้านท้ายของโพรสโตเมียม มีลักษณะแท่งมน เทนทาकुลาร์เซอร์ราย (tentacular cirri) 4 คู่ และมีพาราเนธ (paragnaths) เป็นสารโคติน อยู่บริเวณด้านปาก และ maxillary ring ส่วนถัดมาคือเพอริสโตเมียม เป็นปล้องที่ไม่มีระยางค์ ถัดจากส่วนหัวต่อมา คือส่วนลำตัว ประกอบด้วยปล้องและมีระยางค์ข้างลำตัวสำหรับการเคลื่อนที่ เรียกว่า พาราโปเดียม (parapodium) แต่ละอันแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระยางค์บน (notopodium) และระยางค์ล่าง (neuropodium) พาราโปเดียมสองปล้องแรกเป็นแฉกเดี่ยว เรียกว่า ยูนิรามัส (uniramous) ถัดลงมาเป็นขาที่แยกเป็นสองแฉก เรียกว่า ไบรามัส (biramous) ระยางค์ส่วนใหญ่มีข้อต่อ (compound setae) ปลายจะมีลักษณะตรง (spiniger) หรือเป็นแบบดาขอ (falciger) ส่วนสุดท้ายคือ ส่วนหาง (pygidium) เป็นปล้องสุดท้ายอยู่ปลายลำตัว ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 ภาพวาดแสดงอวัยวะของเพรียง

ที่มา: <http://personal.cityu.edu.hk/~bhworm/sedentary/morphology1.jpg>

เพรียงทรายสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ โดยการผสมข้ามระหว่างเพศผู้และเพศเมียที่แยกเพศกัน จะเริ่มเข้าสู่ระยะสมบูรณ์เพศเมื่ออายุ 8 เดือน ถึง 1 ปี (จิรประภา บริรักษ์, 2543) เมื่อถึงฤดูผสมพันธุ์ ตัวผู้และตัวเมียจะว่ายน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำและว่ายวนไปมา ในช่วงเช้า พฤติกรรมการผสมพันธุ์นี้เรียกว่า นูปเจียล แดนซ์ (Nuptial dance) ตัวเมียปล่อยฟีโรโมน (pheromone) ออกมากระตุ้นตัวผู้ ให้มาผสมพันธุ์ อาจมีตัวผู้ตัวเดียวหรือหลายตัว ตัวเมียจะปล่อยไข่ก่อนและตัวผู้จึงปล่อยสเปิร์มเข้าผสมกับไข่ในน้ำ (Elliott, 1952) การผสมพันธุ์เป็นช่วงที่มีระยะสั้น เมื่อผสมพันธุ์เสร็จแล้ว ตัวผู้และตัวเมียจะจมสู่พื้นท้องน้ำและตายในที่สุด (อนงค์ สวรรยาริพย์ และปิยะพงศ์ โชติพันธุ์, 2527) ไข่ที่ได้รับการผสมจะพัฒนาออกเป็น 4 ระยะคือ คลีเวจ (cleavage) โทรโคฟออร์ (trochophore) เฮทาโทรโคฟออร์ (hetatrochophore) และเนคโทคิต (nectochaete) ตามลำดับ

2.10 ความสำคัญของเพรียงทราย

นิยมนำเพรียงทรายมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากเนื้อเยื่อของเพรียงทรายจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (PUFAs) ในปริมาณสูงซึ่งจำเป็นต่อสัตว์น้ำ ในธรรมชาติเพรียงทรายจะเป็นอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น กุ้งทะเล ปูทะเล และปลาทะเลหน้าดิน คุณค่าทางโภชนาการของเพรียงทรายสำหรับสัตว์น้ำคือ มีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 57 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายชนิดอยู่ระหว่างร้อยละ 17-19 คุณค่าทางโภชนาการนี้เองที่จำเป็นมากสำหรับพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำที่กำลังเจริญพันธุ์ การศึกษาใต้เดือนทะเลรอบคร่าว Nereidae ของ Dhainaut *et al.*, (1989) พบว่าน้ำเลือดของ *Nereis diuersicolor* มีสารยับยั้งแบคทีเรีย นอกจากนี้เพรียงทรายยังสามารถนำเป็นเหยื่อตกปลาได้ ทำให้ความต้องการเพรียงทรายมีมาก โดยเฉพาะในธุรกิจการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้ง ทั้งนี้นอกจากการจับเพรียงทรายจากธรรมชาตินอกจากจะเป็นการลดจำนวนเพรียงทรายในธรรมชาติแล้ว เพรียงทรายในธรรมชาติที่นำมาอาจจะมีเชื้อไวรัสและแบคทีเรียที่จะเป็นอันตรายต่อพ่อแม่พันธุ์กุ้ง ดังนั้นการผลิตเพรียงทรายที่ปลอดเชื้อเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับพ่อแม่พันธุ์กุ้งจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

2.11 ฟาร์มเพาะเลี้ยงเพรียงทรายเชิงพาณิชย์

การผลิตเพรียงทรายนอกจากช่วยทดแทนการจับเพรียงทรายจากธรรมชาติแล้ว การผลิตในรูปแบบเชิงพาณิชย์ ทำให้ได้เพรียงทรายที่มีคุณภาพดีกว่าที่จับมาจากธรรมชาติ เนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพเพรียงให้ปลอดเชื้อได้ ซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปัจจุบันมีการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงเพรียงทรายเชิงพาณิชย์โดยใช้ทรายเทียม (vermiculite) (ภาพที่ 2-6) ทรายเทียมมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ แมกนีเซียม, อลูมิเนียม, เหล็ก และซิลิกา เป็นวัสดุมีลักษณะเป็นเกล็ดคล้ายไมก้า (mica) ต่างกันที่ชั้นระหว่างโปรแตสเซียม (K) ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุอิเล็กตรอน

ระหว่างชั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าทรายเทียมเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไมก้าภายใต้สภาวะความกดดันด้วยอุณหภูมิต่ำ (Kalinowski and Schweda, 2007)

ดูดซับน้ำได้ดี มีน้ำหนักเบา เกิดแรงเสียดทานระหว่างเม็ดทรายน้อย ทำให้เพรียงทรายที่อาศัยอยู่ระหว่างชั้นทรายได้รับบาดเจ็บน้อยลงระหว่างการเก็บเกี่ยว ทรายเทียมมีการนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะหนัก (Malandrino *et al.*, 2006; Vieira dos Santos and Masini, 2007; Abollino *et al.*, 2007; Brigatti *et al.*, 2005) ใช้ดูดซับกรดที่รั่วไหลออกมาระหว่างการผลิต (Maqueda *et al.*, 2007) ใช้ vermiculite หมักรวมกับเศษอาหารจากครัวเรือน (Seo *et al.*, 2004) ใช้บำบัดแอมโมเนีย (Armstrong and Prosser, 1988) และใช้บำบัดน้ำเสีย (Johnson and Worrall, 2007) จากการทดลองเลี้ยงเพรียงทรายของ สุรพล ชูณหัฒนิต และพองจำ อรัญยกานนท์ (2549) ด้วยทรายเทียม (vermiculite) เปรียบเทียบกับทรายธรรมชาติ พบว่า ชุดที่เลี้ยงโดยใช้ทรายเทียมมีการเติบโตดีกว่า จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำทรายเทียม (vermiculite) มาใช้เป็นวัสดุเลี้ยงแทนทรายจากธรรมชาติ



ภาพที่ 2-6 เปรียบเทียบลักษณะของทรายธรรมชาติ กับทรายเทียม (vermiculite)

2.12 วิธีการเพาะเลี้ยงเพรียงทรายในประเทศไทย

วิธีการเลี้ยงเพรียงทรายในระยะแรก เน้นการเลียนแบบมาจากธรรมชาติของเพรียงทราย โดยใช้ทรายธรรมชาติเป็นที่อยู่ของเพรียงและมีการเปลี่ยนน้ำทุกวันตลอดการเลี้ยง ซึ่งจะมีความยุ่งยากหากเลี้ยงอยู่ห่างไกลแหล่งน้ำ การทดลองของ อิศราภรณ์ จิตรหลัง และคณะ (2550) ทดลองเลี้ยงเพรียงทรายด้วยอาหารสำเร็จรูปที่มีการเสริมไขมัน และวิตามิน อี พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้เสริมไขมัน และไม่ได้เสริมวิตามิน อี อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.001$) และสรุปว่าปริมาณไขมันในอาหาร ไม่มีผลต่อองค์ประกอบกรดไขมันในเพรียงทราย การเลี้ยงได้พัฒนามาเป็นการเลี้ยง

ด้วยทรายเทียม โดยสุรพล ชุมหับฉัตร และพอจำ อรัณยกานนท์ (2549) ซึ่งทดลองเลี้ยงเพรียงทราย โดยใช้ทรายเทียม (vermiculite) เป็นวัสดุเลี้ยงแทนทรายจากธรรมชาติ เปรียบเทียบกับทรายธรรมชาติ พบว่า ชุดที่เลี้ยงโดยใช้ทรายเทียม มีการเติบโตดีกว่า และตัวเพรียงจะได้รับความบาดเจ็บระหว่างการเก็บเกี่ยวน้อยกว่าการใช้ทรายธรรมชาติเลี้ยง การเลี้ยงได้รับความสนใจจากภาคเอกชน ทำให้เกิดโครงการเลี้ยงในรูปแบบเชิงพาณิชย์ขึ้น และจากการร่วมมือกันระหว่างราชการและภาคเอกชน ทำให้เกิดเป็นฟาร์มต้นแบบขึ้นที่ จังหวัดสมุทรสงคราม โดยมีคุณชภัทร วนาครวรวิศาล กรรมการผู้จัดการ บริษัท ต้นอควอดิก จำกัด เน้นการผลิตเพรียงทรายที่มีคุณภาพ ปลอดภัยจากเชื้อแบคทีเรีย และไวรัส ซึ่งมีสำคัญมากในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์น้ำ

2.13 แนวทางการพัฒนาระบบเลี้ยงเพรียงทราย

การเลี้ยงเพรียงทรายในระยะเริ่มต้นยังอิงแนวทางการเลี้ยงตามธรรมชาติ มีการปรับปรุงวิธีการเลี้ยงโดยใช้ทรายเทียมแทนการใช้ทรายจากธรรมชาติ จนมีการเลี้ยงในรูปแบบเชิงพาณิชย์ แต่ต้องประสบปัญหาเรื่องน้ำที่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการเลี้ยง ทำให้ต้องมีสถานที่เตรียมน้ำและเก็บน้ำมาก ซึ่งเป็นปัญหาระหว่างการเลี้ยง การนำระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเข้ามาจะเป็นการแก้ปัญหาเรื่องน้ำ การจัดการระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดให้เหมาะสมต่อระบบเลี้ยงเพรียงทราย เพื่อให้ระบบสามารถจัดการกับคุณภาพน้ำได้ จึงเกิดแนวคิดที่จะใช้สาหร่ายเป็นตัวช่วยในการรักษาคุณภาพน้ำร่วมกับระบบบำบัดน้ำ ซึ่งสาหร่ายที่ใช้ต้องสามารถเติบโตได้ในสภาวะแสงน้อย หรือไม่มีแสงเลย สาหร่ายที่เติบโตในสภาวะแสงน้อยจะต้องการใช้สารอินทรีย์ในรูปแบบของอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งแหล่งอินทรีย์คาร์บอนจะได้จากอาหารกุ้ง ที่ใช้เป็นอาหารสำหรับเพรียงทรายอยู่แล้ว และไคอะตอม *A. delicatissima* เป็นสาหร่ายที่มีคุณสมบัติตรงกับสภาวะที่เลี้ยงแม่เพรียง การทดลองของ Delgado *et al.* (1991) พบว่าการเคลื่อนที่ของทรายมีผลต่อการเติบโตไคอะตอม *Surirella ovata* และ *Navicula digitoradiata* ที่เลี้ยงแบบกะ (batch culture) พบว่าจะมีเซลล์ของไคอะตอมบางส่วนได้รับความเสียหาย จากการเคลื่อนที่ของเม็ดทรายที่บดทับกัน แต่ระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมจะเกิดผลจากการบดทับกันน้อยเนื่องจากทรายเทียมมีลักษณะอ่อนนุ่มกว่าเม็ดทรายธรรมชาติ ข้อดีอีกของการเลือกสาหร่ายคือ สาหร่ายมีสารอาหารที่เพรียงทรายสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งถือว่าเป็นอาหารเสริมให้กับเพรียงทรายได้

นอกจากสาหร่ายจะช่วยควบคุมคุณภาพได้บางส่วน ทรายเทียม ก็มีมีส่วนช่วยในเรื่องคุณภาพน้ำด้วย มีการศึกษาพบว่าสามารถใช้บำบัดแอมโมเนีย (Armstrong and Prosser, 1988) และใช้บำบัดน้ำเสีย (Johnson and Worral, 2007) ได้ นอกจากนี้พื้นผิวของทรายเทียมยังจะเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย ซึ่งจะช่วยบำบัดน้ำ เมื่อทำงานร่วมกับระบบกำจัดของเสียก็จะทำให้ระบบเลี้ยงเพรียงทราย ไม่จำเป็นที่จะเปลี่ยนน้ำบ่อย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาการเติบโตของไคอะตอม *A.delicatissima* ในชั้นทราย

3.1.1 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายธรรมชาติที่มีขนาดเม็ดทรายแตกต่างกัน

ไคอะตอม *A. delicatissima* สายพันธุ์ AM9901 ที่ใช้ในการทดลอง ได้มาจากการคัดเลือกสายพันธุ์จากบริเวณหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี โดย มะลิวัลย์ คุณะโค (2543) เลี้ยงด้วยอาหารเพาะเชื้อสูตรของกิลลาร์ด (Guillard's medium) หรือ F/2 ปกติ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2541)(ภาคผนวก ก.) ในสภาวะปลอดแบคทีเรีย (Axenic) โดยมีการกำจัดเชื้อปนเปื้อนด้วยสารละลายยาปฏิชีวนะ (ภาคผนวก ข.) ใช้น้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ให้แสงด้วยความเข้มแสง 1000 ลักซ์ จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ตลอดเวลา

ทำการเพาะเลี้ยงไคอะตอม *A. delicatissima* ในภาชนะบรรจุทรายธรรมชาติที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรง 2 ขนาด ได้แก่ขนาด 0.3-0.7 และ 0.7-2 มิลลิเมตร จัดเป็นชุดการทดลองดังตารางที่ 3-1 โดยภาชนะทดลองทำจากกระบะพลาสติกขนาด 5.3x6.3x5.3 เซนติเมตร ใช้ชั้นทรายที่ความหนา 2.5 เซนติเมตร และเติมน้ำทะเลให้มีระดับเท่ากับผิวหน้าทราย ในการเลี้ยงไคอะตอมจะทำการเติมสารละลายอาหารกึ่งบดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร (ละลายอาหารกึ่งบด 2.4 กรัมด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร) เพื่อเป็นแหล่งของสารอาหารอินทรีย์ เติมหิวเชื้อไคอะตอมความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 5×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ให้แสงด้วยความเข้มแสง 1000 ลักซ์ จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ตลอดเวลา ภาพของชุดทดลองแสดงในภาพที่ 3-1 ทำการนับเซลล์ไคอะตอมในแต่ละระดับความลึกของชั้นทราย โดยคูดน้ำออกจากภาชนะ เก็บตัวอย่างทรายด้วยหลอดเก็บตัวอย่างขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตร แล้วนำไปแยกเซลล์ไคอะตอมออกจากเม็ดทราย ด้วยเครื่องสั่นสะเทือนความถี่สูง (sonicator) เพื่อให้เซลล์ไคอะตอมแยกออกจากกันก่อนทำการนับจำนวนด้วยสไลด์นับเม็ดเลือด (haemocytometer) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และคำนวณความหนาแน่นเซลล์ตามวิธีใน ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3-1 ชุดทดลองเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทรายแตกต่างกัน

ชุดการทดลอง	ปัจจัยแปรผัน
ชุดควบคุม	มีเฉพาะน้ำทะเล ไม่มีทราย
ชุดทดลองที่ 1	เม็ดทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร
ชุดทดลองที่ 2	เม็ดทรายขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3-1 ภาชนะสำหรับทดลองเลี้ยงไคอะตอม *A. delicatissima* โดยใช้เม็ดทราย 2 ขนาด ได้แก่ 0.3-0.7 และ 0.7-2 มิลลิเมตร ใช้ชั้นทรายหนา 2.5 เซนติเมตร

3.1.2 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite)

เนื่องจากการเลี้ยงเพรียงทรายในปัจจุบันได้หันมาใช้ทรายเทียมที่ทำจากวัสดุ Vermiculite การทดลองนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดอนุภาคเล็ก, กลางและ ใหญ่ โดยใช้ภาชนะสำหรับการทดลองเช่นเดียวกับกับในหัวข้อ 3.1.1 ในการทดลองนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็นการทดลองย่อย 3 การทดลอง ดังที่ได้สรุปไว้ในตาราง 3-2 โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

3.1.2.1 การทดลองย่อยที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายธรรมชาติขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม ขนาดกลาง 0.7-2 มิลลิเมตร โดยมีชั้นทรายหนา 2.5 เซนติเมตร เติมน้ำทะเลอาหารกึ่งบดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร และเติมน้ำทะเลให้มีระดับเท่ากับผิวหน้าทราย เติมน้ำเค็มความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ

5×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ให้อากาศและแสงด้วยความเข้มแสง 1000 ลักซ์ จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ตลอดการทดลองดังภาพที่ 3-2 ทำการนับเซลล์ไคอะตอมที่เติบโตในชั้นทรายทุกวัน

3.1.2.2 การทดลองย่อยที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายธรรมชาติขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียมขนาดกลาง 0.7-2 มิลลิเมตร ชั้นทรายหนา 2.5 เซนติเมตร ในภาชนะและสภาวะการเลี้ยงเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.1.2.1 แต่ได้เพิ่มปริมาณสารละลายอาหารกึ่งบดให้มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 5 กรัมคาร์บอนต่อลิตร (ละลายอาหารกึ่งบด 12.03 กรัมด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร) และทำการเลี้ยงไคอะตอมเปรียบเทียบระหว่างการให้แสงที่มีความเข้มแสง 1000 ลักซ์ และการทดลองที่ทำในที่มืด ดังตารางที่ 3-2 ทำการนับเซลล์ไคอะตอมที่เติบโตในชั้นทรายทุกวัน

3.1.2.3 การทดลองย่อยที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในสภาวะที่จำลองมาจากถังเลี้ยงแม่เพรียง โดยชุดควบคุมจะมีเฉพาะน้ำทะเลแต่ไม่มีทรายเทียม ในขณะที่ชุดทดลองจำนวน 3 ชุด ประกอบด้วยชุดทดลองที่มีทรายเทียมขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ขนาดเล็ก 0.1-0.35 มม., ขนาดกลาง 0.7-2 มม. และขนาดใหญ่ 1.4-4 มม. ตามลำดับ โดยจัดให้มีชั้นทรายหนา 3 เซนติเมตร เติมสารละลายอาหารกึ่งบดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร และเติมน้ำทะเลให้มีระดับเท่ากับผิวหน้าทราย เติมไคอะตอมความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 5×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ให้อากาศ ทำการทดลองในที่มืดทุกชุดทดลอง ในระหว่างการทดลอง ทำการนับเซลล์ไคอะตอมที่เติบโตในชั้นทรายทุกวัน

ตารางที่ 3-2 การทดลองเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite)

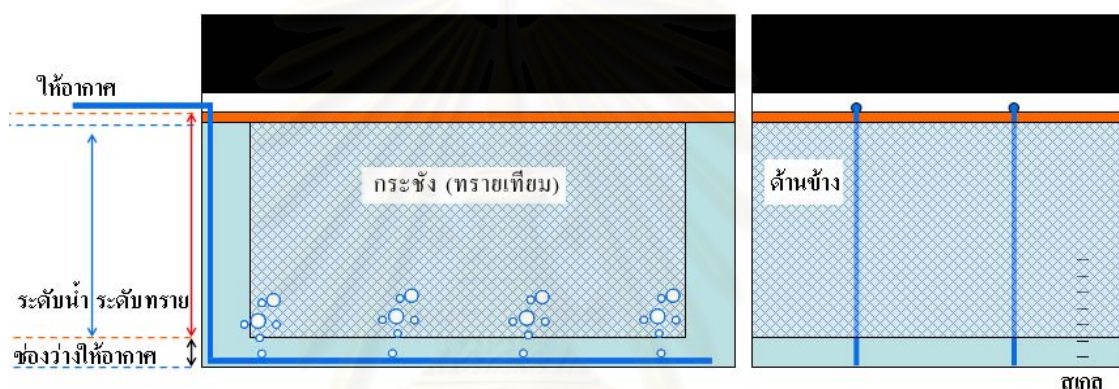
การทดลอง	ชุดการทดลอง	รายละเอียดของชุดการทดลอง	ปริมาณคาร์บอนจากอาหารกึ่ง
การทดลองย่อย 1	ชุดควบคุม	ทรายธรรมชาติ ขนาด 0.3-0.7 มม. ให้แสง	-
	ชุดทดลอง	ทรายเทียม ขนาด 0.7-2 มม. ให้แสง	1 g-C/L
การทดลองย่อย 2	ชุดควบคุม	ทรายธรรมชาติ ขนาด 0.3-0.7 มม. ให้แสง	5 g-C/L
	ชุดทดลอง 1	ทรายเทียม ขนาด 0.7-2 มม. ให้แสง	
	ชุดทดลอง 2	ทรายเทียม ขนาด 0.7-2 มม. ในที่มืด	
การทดลองย่อย 3	ชุดควบคุม	ไม่มีทรายเทียม ในที่มืด	1 g-C/L
	ชุดทดลอง 1	ทรายเทียมขนาดเล็ก 0.1-0.35 มม. ในที่มืด	
	ชุดทดลอง 2	ทรายเทียมขนาดกลาง 0.7-2 มม. ในที่มืด	
	ชุดทดลอง 3	ทรายเทียมขนาดใหญ่ 1.4-4 มม. ในที่มืด	



ภาพที่ 3-2 การทดลองเลี้ยงไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดเม็ดเล็ก, กลางและใหญ่ ใช้ชั้นทรายหนา 2.5 เซนติเมตร

3.2 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทราย

การทดลองนี้เป็นศึกษาการเติบโตของไคอะตอมในชั้นทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทรายที่มีขนาดและความหนาของชั้นทรายมากกว่าที่ใช้ในการทดลองหัวข้อ 3.1 โดยภาชนะที่ใช้ทำระบบเลี้ยงเพรียงทรายดังแสดงในภาพที่ 3-3 และ 3-4 มีลักษณะเป็นตู้กระจกขนาด 15x30.5x18 เซนติเมตร ที่มีน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ปริมาตร 8.23 ลิตร ภายในถังมีท่อสำหรับพ่นอากาศจากด้านล่าง และมีชั้นทรายเทียม (vermiculite) ขนาดเม็ด 0.7-2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดของทรายเทียมที่นิยมใช้ในการเลี้ยงเพรียงทรายเชิงพาณิชย์ บรรจุในถุงตาข่ายที่แขวนอยู่ในภาชนะให้มีความหนาชั้นทราย 10 เซนติเมตร โดยที่ด้านล่างของถุงบรรจุทรายเทียมจะยกให้สูงขึ้นจากพื้นถาดพลาสติกเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนน้ำและออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำผ่านเข้าไปในชั้นของทรายได้ดี



ภาพที่ 3-3 แผนภาพแสดงระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* โดยใช้ทรายเทียมหนา 10 เซนติเมตร

ในการทดลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในสภาวะการเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic) ร่วมกับการเติมอาหารกุ้งที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 1, 5 และ 10 กรัมคาร์บอนต่อลิตร เป็นแหล่งของสารอินทรีย์ สำหรับการเลี้ยงในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิกในที่มืด จะห่อหุ้มถังทดลองด้วยถุงพลาสติกสีดำเพื่อป้องกันไม่ให้ไคอะตอมได้รับแสง เติมไคอะตอม *A. delicatissima* ลงในภาชนะเลี้ยงด้วยความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นระหว่าง 5×10^4 ถึง 1×10^5 เซลล์ต่อมิลลิเมตรเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำรวมในระบบ และเติมอาหารกุ้งสดเป็นแหล่งอาหาร หลังจากนั้นจึงติดตามการเติบโตของไคอะตอมในระบบทุกวัน โดยสุ่มตัวอย่างชั้นทรายหนา 4 เซนติเมตรมาแยกไคอะตอมออกด้วยการสั่นสะเทือนความถี่สูง และนับจำนวนด้วยสไลด์นับเม็ดเลือดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และคำนวณความหนาแน่นเซลล์ตามวิธีใน ภาคผนวก ค. โดยแบ่งการทดลองเป็นการทดลองย่อยเป็น 4 การทดลอง ดังแสดงในตาราง 3-3 โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

3.2.1 เปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมของระบบเลี้ยง เปรียงทรายที่มีขนาดอนุภาคเม็ดทรายแตกต่างกัน 3 ขนาด เช่นเดียวกับที่ใช้ในการทดลอง 3.1.2 ของ โดยเติมสารละลายอาหารกึ่งบดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตรเป็นแหล่งอาหาร และชุดควบคุมจะเติมเฉพาะน้ำทะเลไม่มีทราย ในการทดลองนี้จัดให้มีชั้นทรายหนา 10 เซนติเมตร และเติมน้ำทะเลให้มีระดับสูงกว่าผิวหน้าทราย 1 เซนติเมตร เติมไคอะตอมความหนาแน่นเซลล์ เริ่มต้นเท่ากับ 10×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในห้องอากาศ ทำการทดลองในที่มืดโดยห่อหุ้มตู้ทดลองทุกตู้ ด้วยถุงพลาสติกสีดำเพื่อป้องกันไม่ให้ไคอะตอมได้รับแสง ดังภาพที่ 3-4 ทำการนับเซลล์ไคอะตอม ที่เติบโตในชั้นทรายทุกวัน

3.2.2 เปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมที่มีขนาด อนุภาคต่างกันสามขนาดความหนาของชั้นทราย 10 เซนติเมตร ในระบบถึงเลี้ยงเปรียงทราย โดยใน การทดลองนี้ได้เปลี่ยนจากการเติมอาหารกึ่งบดละเอียดมาเป็นการเติมอาหารกึ่งที่มีลักษณะเป็นเม็ด ขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยเติมในปริมาณเท่ากับปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร ซึ่ง เป็นสถานะของการเลี้ยงเพรียงเชิงพาณิชย์ ส่วนชุดควบคุมจะเติมเฉพาะน้ำทะเลและไม่มีทราย ชั้น ทรายหนา 10 เซนติเมตร และเติมน้ำทะเลให้มีระดับสูงกว่าผิวหน้าทราย 1 เซนติเมตร เติมไค อะตอมความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 10×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในห้องอากาศ และห่อหุ้มตู้ทดลอง ด้วยถุงพลาสติกสีดำเพื่อป้องกันไม่ให้ไคอะตอมได้รับแสง ดังภาพที่ 3-4 ทำการนับเซลล์ไคอะตอม ที่เติบโตในชั้นทรายทุกวัน

3.2.3 เปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลางที่มีความหนา 10 เซนติเมตรของระบบเลี้ยงเปรียงทราย เติมสารละลายอาหารกึ่งบดที่มี ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร ในชุดทดลองที่ 1 และ 5 กรัมคาร์บอนต่อลิตร ในชุด ทดลองที่ 2 ส่วนชุดควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเล และเติมน้ำทะเลให้มีระดับสูงกว่าผิวหน้าทราย 1 เซนติเมตร เติมไคอะตอมความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 5×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในห้องอากาศ และห่อหุ้มตู้ทดลองด้วยถุงพลาสติกสีดำเพื่อป้องกันไม่ให้ไคอะตอมได้รับแสง ดังภาพที่ 3-4 ทำการ นับเซลล์ไคอะตอมที่เติบโตในชั้นทรายทุกวัน

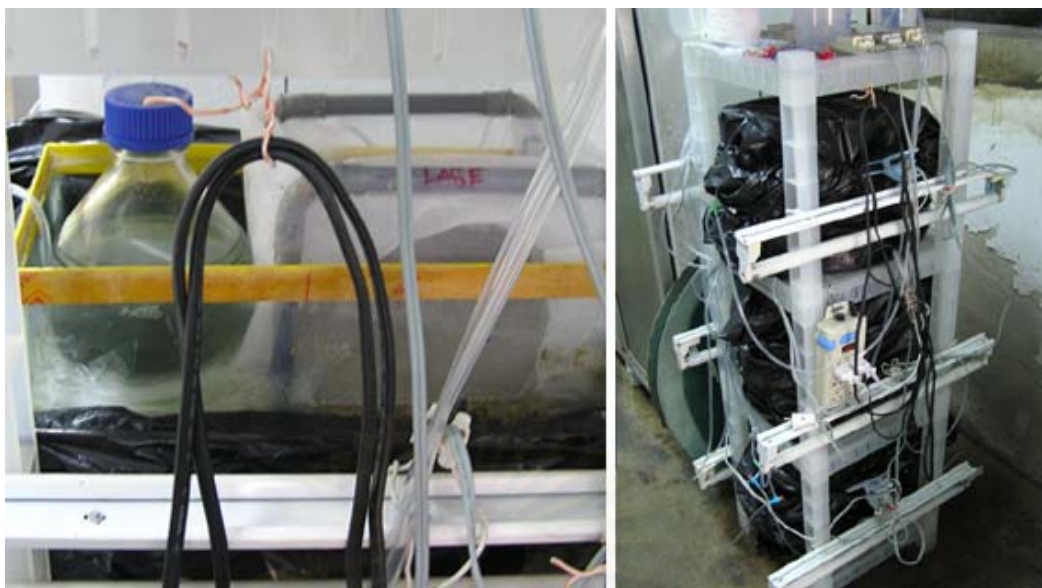
3.2.4 เปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ของระบบเลี้ยงเปรียงทราย โดยเติมสารละลายอาหารกึ่งบดร่วมกับอาหารเพาะเชื้อสำหรับสายสูตร F/2 โดยในชุดทดลองที่ 1 จะเติมสารละลายอาหารกึ่งบดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร และอาหารเพาะเชื้อสำหรับสายตามสูตร F/2 ส่วนในชุดทดลองที่ 2 จะเติมสารละลายอาหารกึ่งบดที่มี ปริมาณคาร์บอน 10 กรัมคาร์บอนต่อลิตร ร่วมกับอาหารเพาะเชื้อสำหรับสาย ในขณะที่ชุดทดลองที่ 3 และ 4 นั้นจะมีการเติมสารละลายอาหารกึ่งที่มีปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอนต่อลิตร ตามลำดับ แต่ไม่มีการเติมอาหารเพาะเชื้อสำหรับสาย ในทุกชุดการทดลองใช้ไคอะตอมเริ่มต้นความ หนาแน่นเซลล์เท่ากับ 5×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในห้องอากาศ และห่อหุ้มตู้ทดลองด้วยถุงพลาสติกสีดำ

เพื่อป้องกันไม่ให้ไคอะตอมได้รับแสง ดังภาพที่ 3-4 ทำการนับเซลล์ไคอะตอมที่เติบโตในชั้นทรายทุกวัน

ตารางที่ 3-3 การทดลองเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ของระบบเลี้ยงเพรียงทรายในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิก

การทดลอง	ชุดการทดลอง	รายละเอียดของชุดการทดลอง	ปริมาณคาร์บอนจากอาหารกุ้ง
การทดลอง 3.3.1	ชุดควบคุม	เติมเฉพาะน้ำทะเล	-
	ชุดทดลอง 1	ทรายเทียมขนาดใหญ่ 1.4-4 มม.	1 g-C/L
	ชุดทดลอง 2	ทรายเทียมขนาดกลาง 0.7-2 มม.	
	ชุดทดลอง 3	ทรายเทียมขนาดเล็ก 0.1-0.35 มม.	
การทดลอง 3.3.2	ชุดควบคุม	เติมเฉพาะน้ำทะเล	-
	ชุดทดลอง 1	ทรายเทียมขนาดใหญ่ 1.4-4 มม.	1 g-C/L (อาหารกุ้งเม็ด)
	ชุดทดลอง 2	ทรายเทียมขนาดกลาง 0.7-2 มม.	
	ชุดทดลอง 3	ทรายเทียมขนาดเล็ก 0.1-0.35 มม.	
การทดลอง 3.3.3	ชุดควบคุม	เติมเฉพาะน้ำทะเล	-
	ชุดทดลอง 1	ทรายเทียมขนาดกลาง 0.7-2 มม.	1 g-C/L
	ชุดทดลอง 2	ทรายเทียมขนาดกลาง 0.7-2 มม.	5 g-C/L
การทดลอง 3.3.4	ชุดทดลอง 1	ทรายเทียมขนาดกลาง + อาหารเพาะเชื้อ F/2	1 g-C/L
	ชุดทดลอง 2	ทรายเทียมขนาดกลาง + อาหารเพาะเชื้อ F/2	10 g-C/L
	ชุดทดลอง 3	ทรายเทียมขนาดกลาง	1 g-C/L
	ชุดทดลอง 4	ทรายเทียมขนาดกลาง	10 g-C/L

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

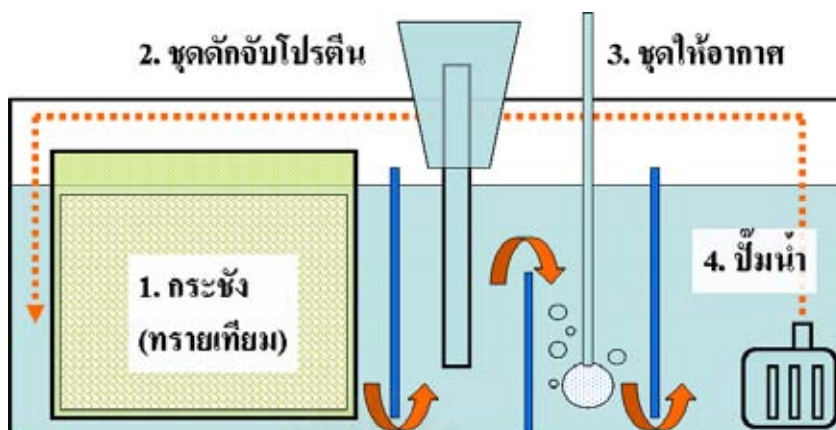


ภาพที่ 3-4 ระบบเลี้ยงไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง ใช้ชั้น ทรายหนา 10 เซนติเมตร

3.3 ผลของการเสริมไคอะตอม *A. delicatissima* ลงในระบบการเลี้ยงเพรียงทราย

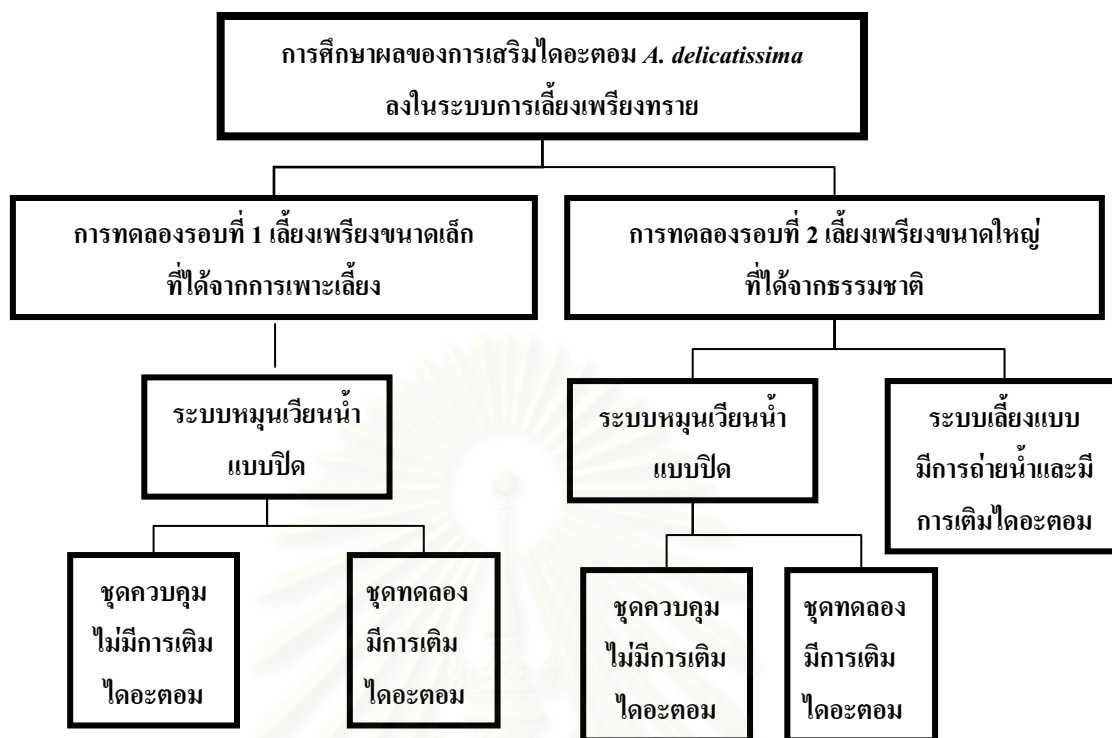
ระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* จำลองมาจากระบบที่ใช้เลี้ยงเพรียงทรายของบริษัทต้นอควอดิก จำกัด จังหวัดสมุทรสงคราม โดยสร้างขึ้นจากตู้กระจกขนาด 18x49x18 เซนติเมตร ความจุน้ำทะเลรวม 15.87 ลิตร ซึ่งในการเลี้ยงตามปกติจะต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อช่วยรักษาคุณภาพน้ำที่ดีในระบบเลี้ยง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการเลี้ยงแบบปิดขึ้นมาเพิ่มเติม โดยได้จัดแบ่งภายในถังระบบปิดออกเป็นพื้นที่เลี้ยงแม่เพรียงขนาด 4.41 ลิตร ช่องติดตั้งระบบดักจับฟองโปรตีน (Protein-skimmer หรือ Foam fractionator) ขนาด 2.27 ลิตร และช่องเติมอากาศขนาด 3.32 ลิตร ดังแสดงในภาพที่ 3-5 โดยส่วนเลี้ยงแม่เพรียงมีลักษณะเป็นพื้นทรายเทียม (vermiculite) ความหนา 10 เซนติเมตร บรรจุในถุงตาข่าย โดยมีการหมุนวนน้ำภายในระบบเลี้ยงด้วยปั้มน้ำขนาดเล็ก (Sonic รุ่น AP1200) ส่วนระบบเลี้ยงแบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ มีลักษณะของอุปกรณ์ระบบเลี้ยงเหมือนกับชุดทดลองในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แตกต่างกันเพียงจะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบเลี้ยงทุกวันตลอดการทดลอง โดยจะถ่ายน้ำออกร้อยละ 70 ของปริมาณน้ำทั้งหมดในระบบเลี้ยง

เพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่ใช้ทดลองได้มาจาก 2 แหล่ง โดยเพรียงทรายวัยอ่อน (ขนาดเล็ก) ความยาวประมาณ 1-2 เซนติเมตร เป็นเพรียงจากการเพาะเลี้ยงได้รับการอนุเคราะห์จากคุณรภัทร วนาครวรวิศาล กรรมการผู้จัดการ บริษัท ต้นอควอดิก จำกัด และเพรียงขนาดใหญ่ความยาวประมาณ 11-15 เซนติเมตร จับมาจากหาดวอนนภา ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี



ภาพที่ 3-5 แผนภาพ (บน) และภาพถ่าย (ล่าง) ของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับเลี้ยง
 เพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่มีการเสริมโคอะตอม *A. delicatissima*

การทดลองนี้แบ่งออกเป็นการทดลองย่อยสองรอบ โดยในรอบแรกใช้เพรียงทรายวัยอ่อน (ขนาดเล็ก) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงซึ่งมีอายุประมาณ 1 เดือน ขนาดความยาว 1 เซนติเมตร จำนวน 30 ตัว/ถัง ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 41 วัน และในรอบที่สองใช้เพรียงทรายขนาดความยาว 11-15 เซนติเมตรที่จับมาจากธรรมชาติ จำนวน 30 ตัว/ถัง และในการทดลองแต่ละรอบได้ทำการเปรียบเทียบการเลี้ยงเพรียงทรายในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลยตลอดระยะเวลาการทดลอง และระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำปริมาณร้อยละ 70 ทุกวัน โดยได้เปรียบเทียบการเลี้ยงเพรียงทรายที่มีการเสริมโคอะตอม (ชุดทดลอง) และไม่มีเสริมโคอะตอม (ชุดควบคุม) แผนภาพแนวทางการทดลองแสดงในภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 แนวทางการทดลองผลของการเสริมไคอะตอมลงในระบบการเลี้ยงเพรียงทราย

ในระหว่างการทดลอง มีการเติมอาหารกึ่งบดวันละ 0.75 และ 16.27 กรัม/ถัง/วัน สำหรับการทดลองเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อน และขนาดใหญ่ตามลำดับ เพื่อเป็นอาหารหลักของเพรียงทราย สำหรับชุดทดลองที่มีการเสริมไคอะตอมจะทำการเติมไคอะตอม *A. delicatissima* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการและตั้งทิ้งไว้ให้เซลล์ตกตะกอนในกรวยตกตะกอน ก่อนจะแยกส่วนตะกอนเซลล์ที่มีความหนาแน่นประมาณ 300×10^4 เซลล์/มิลลิลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร (ภาคผนวก ง.) เติมนลงในถังเลี้ยงเพรียงทรายชุดทดลองวันละ 1 ครั้ง ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำได้แก่ แอมโมเนีย, ไนไตรต์ และไนเตรต (ภาคผนวก ค.) และตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในชั้นทราย โดยการเก็บตัวอย่างด้วยแท่งพลาสติกกลวงที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร เจาะลงในพื้นทรายก่อนนำตัวอย่างทรายไปแยกไคอะตอมเพื่อทำการนับจำนวนตามวิธีในภาคผนวก ง. นอกจากนี้ในชุดทดลองที่เติมไคอะตอมจะทำการเก็บมูลของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่ขับถ่ายออกมาเพื่อตรวจสอบความสามารถในการย่อยไคอะตอมของแม่เพรียงทราย โดยนำมูลเพรียงทรายส่งตรวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์

การติดตามการเติบโตและอัตราการรอดของเพรียงทราย ทำโดยก่อนเริ่มการทดลองจะชั่งน้ำหนักเพรียงก่อนการทดลอง หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 20 วันทำการนับจำนวนเพรียงทรายที่เหลือรอดเพื่อคำนวณหาอัตราการรอด พร้อมกับการชั่งน้ำหนักเพรียงทรายทั้งหมดเพื่อดูการเติบโต และ

ลุ่มเก็บตัวอย่างเพียงเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารสี และกรดไขมันพร้อมกันนี้จะเก็บทรายในระบบเลี้ยงโดยใช้แท่งพลาสติกพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตรแทงลงไปในพื้นที่ทรายเพื่อเก็บทรายมาวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ในพื้นที่ทราย หลังจากนั้นนำเพียงทรายที่เหลือทดลองเลี้ยงต่อและทำการวัดทุกๆ 20 วัน

การวิเคราะห์สารสี (pigments) ในอาหารกุ้งและในตัวของเพรียงทั้งก่อนและหลังสิ้นสุดการทดลอง ทำโดยการวิเคราะห์ด้วย HPLC ตามวิธีของ Suzuki *et al.*, (1993) โดยใช้ตัวอย่างอาหารกุ้งหรือเพียงทรายน้ำหนัก 0.1 กรัม ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีการระเหิด (freeze dry) นำมาบดให้ละเอียด แล้วใส่หลอดพลาสติก Eppendorf เติมนิวเมทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เก็บสารละลายส่วนใสเพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณสารสีด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (HPLC รุ่น HP 1100) โดยใช้ปริมาตรตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร ใช้คอลัมน์ Alltech Apollo ขนาด 150 × 4.6 มิลลิเมตร บรรจุตัวกลาง C18 ขนาดอนุภาค 5 ไมครอน และตรวจวัดด้วย Photo-Diode Array การวิเคราะห์ใช้ Mobile Phase ประกอบด้วยน้ำกลั่น อะซิโตน และเมทานอล ที่มีการปรับสัดส่วนการผสมตามตาราง 3-6 โดยใช้อัตราการไหลของตัวทำละลายเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการวิเคราะห์ใช้เวลา 25 นาที

ตารางที่ 3-4 โปรแกรมการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนตัวทำละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์สารสีด้วย HPLC

เวลา (นาที)	ร้อยละของตัวทำละลาย A (น้ำ)	ร้อยละของตัวทำละลาย B (อะซิโตน)	ร้อยละของตัวทำละลาย C (เมทานอล)
0.00	25	0	75
4.00	25	0	75
4.01	0	0	100
5.00	0	0	100
5.01	0	20	80
11.00	0	20	80
11.01	0	35	65

การจัดจำแนกชนิดของสารสี ทำได้โดยเปรียบเทียบสเปกตรัม (spectrum) ในช่วงความยาวคลื่น 440-655 นาโนเมตร ของสารสีแต่ละชนิดที่แยกได้จากเครื่อง HPLC กับสเปกตรัมของสารสีมาตรฐานในเอกสารของ Jeffrey *et al.*, (1997) และการคำนวณความเข้มข้นของสารสี ทำโดยเปรียบเทียบกับแอสตาแซนทินมาตรฐาน (Sigma Product no. A9335-250MG) และการคำนวณ

ความเข้มข้นของสารสีชนิดอื่น โดยอาศัยค่าแก้ (Relative Responsive factor) จากเอกสารของ Jeffrey *et al.*, (1997)

การวิเคราะห์กรดไขมัน ใช้วิธีของ Unagul *et al.*, (2007) ทำโดยนำตัวอย่างอาหารกุ้ง ใต้อะตอม หรือเฟรียงทรายที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการระเหิด (freeze dry) น้ำหนักประมาณ 30-50 มิลลิกรัม ใส่ลงในหลอดทดลองและเติมสารละลายมาตรฐานกรดไขมันชนิด Heptadecanoic acid (C17:0) (50 มิลลิกรัมต่อเฮกเซน 5 มิลลิตร) 100 ไมโครลิตร เติมสารละลายเมทานอล-กรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วน 95 ต่อ 5 ปริมาตร 2 มิลลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิตร และเติมสารละลายเฮกเซนปริมาตร 1 มิลลิตร เขย่าให้เข้ากันดี จากนั้นวางทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้น แยกสารละลายชั้นบนออกมาและกรองผ่านโซเดียมซัลเฟต นำตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร ไปฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC Shimadzu รุ่น GC-17A) ที่ประกอบด้วยคอลัมน์ Supelco : Omegwax 250 capillary Column (30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร Catalog No.24156) เครื่องวัดสัญญาณแบบ FID (Flame Ionize Detector) ใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซตัวนำ โดยทำการฉีดตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ชนิดกรดไขมันเมื่ออุณหภูมิของจุดฉีดตัวอย่างเท่ากับ 250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของคอลัมน์ที่เริ่มต้นในการวิเคราะห์เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเครื่องวัดสัญญาณเท่ากับ 260 องศาเซลเซียส ซึ่งในการวิเคราะห์กรดไขมันใช้สารละลายมาตรฐานกรดไขมันชนิดรวมกรดไขมันหลายชนิดที่มีคาร์บอนอะตอม 4-24:1 (Std. 189-19) แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันมาตรฐานใน ภาคผนวกตารางที่ จ.25

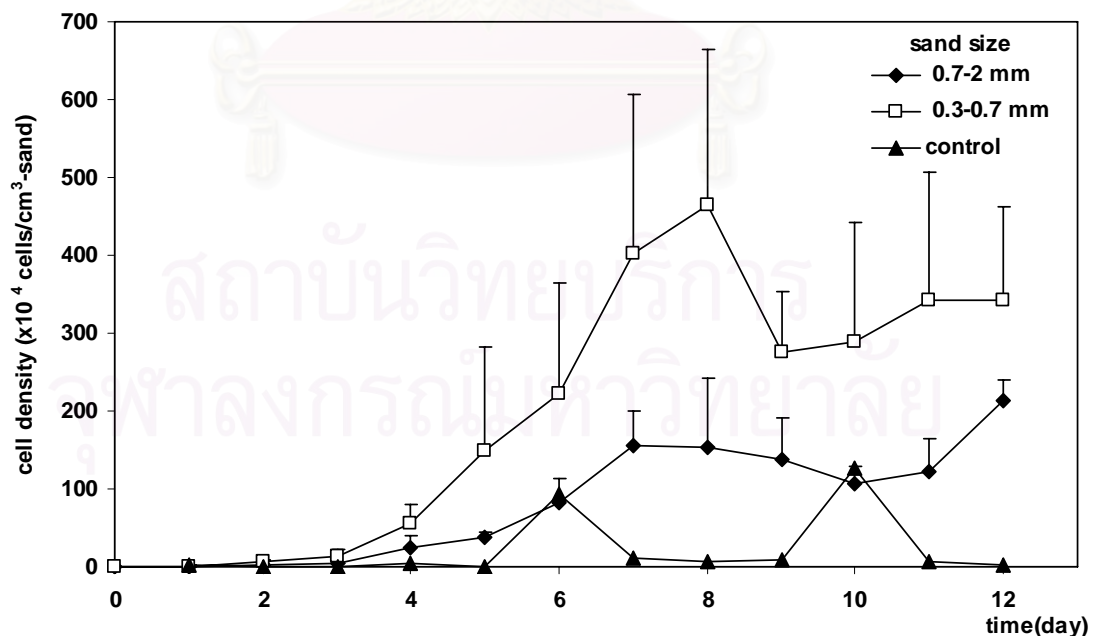
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาการเติบโตของไคอะตอม *Amphora delicatissima* ในชั้นทราย

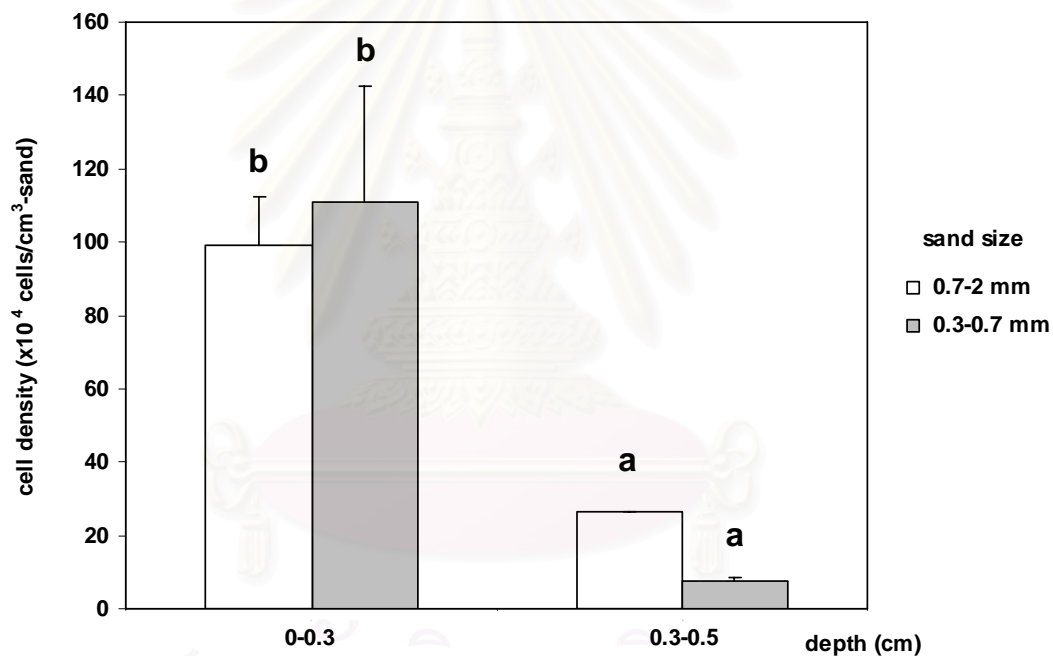
4.1.1 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายธรรมชาติที่มีขนาดเม็ดทรายแตกต่างกัน

การทดลองเลี้ยงไคอะตอม *A. delicatissima* ในระบบการเลี้ยงแบบแบตช์ (batch) ในชุดทดลองควบคุม ที่มีเพียงน้ำทะเล พบว่าไคอะตอมมีการเติบโตต่ำสุด โดยเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีความหนาแน่นสูงสุด 127×10^4 เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 10 ของการทดลองในสถานะที่บรรจุทรายขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร พบว่าไคอะตอม มีการเติบโตสูงสุดในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร โดยเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีความหนาแน่นสูงสุด $465 \pm 199 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 8 ของการทดลอง หลังจากนั้นเริ่มมีจำนวนเซลล์ลดลง ส่วนระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นสูงสุด $155 \pm 45 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง หลังจากนั้นไคอะตอมมีการเติบโตในระยะคงที่ (Stationary phase) ในวันที่ 7 ถึง 11 ของการทดลอง ดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร

เมื่อทำการตรวจวัดความหนาแน่นของไดอะตอม *A. delicatissima* ที่เติบโตในทรายความลึกชั้นทรายจากผิวหน้า 0-0.3 และ 0.3-0.5 เซนติเมตร (ภาพที่ 4-2) พบว่าที่ระดับความลึกของชั้นทราย 0-0.3 เซนติเมตร ความหนาแน่นสูงสุดของไดอะตอมในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาดเล็ก 0.3-0.7 มิลลิเมตรมีความหนาแน่นเฉลี่ย $110.8 \pm 31.8 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับไดอะตอมในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาดใหญ่ 0.7-2 มิลลิเมตร ที่มีความหนาแน่น $99.17 \pm 12.9 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ในระดับความลึกของทรายที่มากขึ้นคือ 0.3-0.5 เซนติเมตรพบว่าไดอะตอม มีความหนาแน่นสูงสุดลดลงอย่างชัดเจน โดยในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาด 0.7-2 มิลลิเมตรพบไดอะตอมมีความหนาแน่นเฉลี่ย 26.67×10^4 เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับไดอะตอมในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร ซึ่งมีความหนาแน่น $7.5 \pm 1.18 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

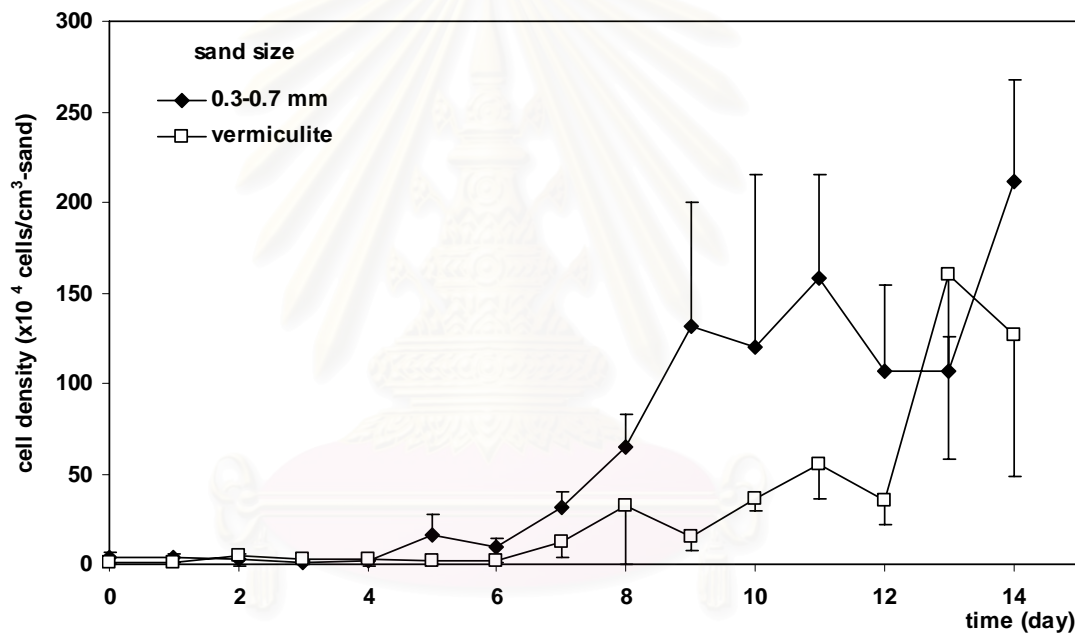


ภาพที่ 4-2 ความหนาแน่นของไดอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร ที่ความลึกของชั้นทราย 0-0.3 และ 0.3-0.5 เซนติเมตร
หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกัน คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.1.2 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite)

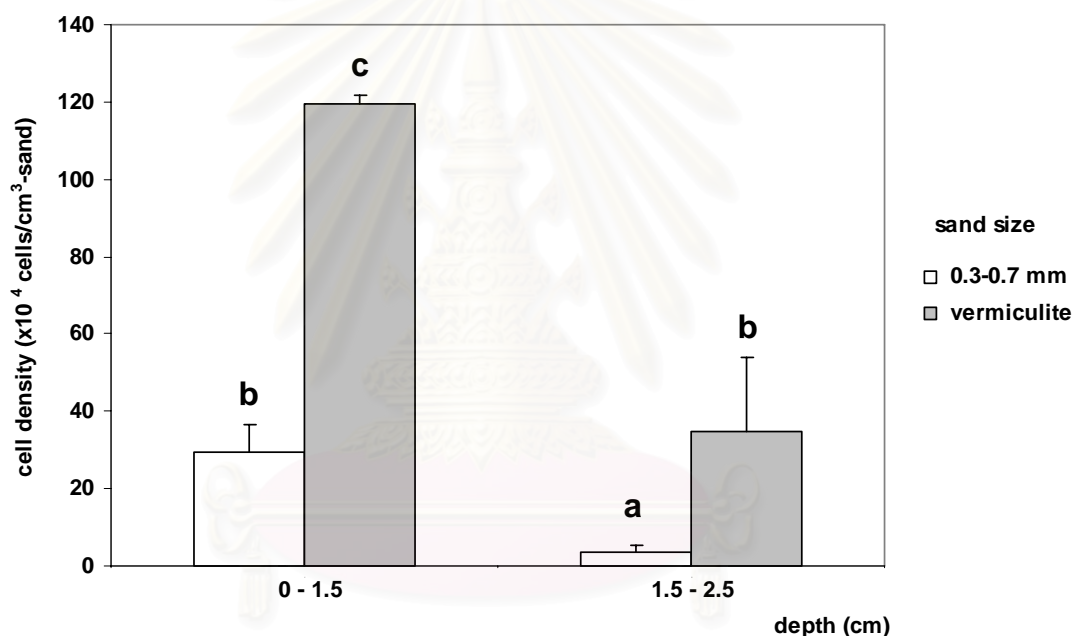
4.1.2.1 การเปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอมในทรายธรรมชาติและทรายเทียม

การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ในทรายหนา 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกุ้งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) พบว่าไคอะตอม มีการเติบโตสูงสุดในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร โดยเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีความหนาแน่นสูงสุด $211.67 \pm 56.2 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง ส่วนระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียม (vermiculite) มีความหนาแน่นสูงสุด $160 \pm 101.4 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 13 ดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ในทรายหนา 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกุ้งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร

การนับจำนวนไคอะตอมในตัวอย่างทรายทั้งสองขนาด โดยแบ่งเป็นความหนาชั้นทราย 0-1.5 และ 1.5-2.5 เซนติเมตร พบว่าที่ระดับความหนาของชั้นทราย 0-1.5 เซนติเมตร ไคอะตอมมีความหนาแน่นสูงสุดในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียม โดยมีความหนาแน่น $119.67 \pm 2.0 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายธรรมชาติ มีความหนาแน่น $29.33 \pm 7.2 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) สำหรับไคอะตอมที่พบในระดับความหนาของชั้นทราย 1.5-2.5 เซนติเมตร พบว่าไคอะตอมมีความหนาแน่นสูงสุดในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมเช่นเดียวกัน โดยพบความหนาแน่น $35 \pm 19.1 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนไคอะตอมในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายธรรมชาติพบว่ามีความหนาแน่น $3.67 \pm 1.5 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งต่ำกว่าที่พบในทรายเทียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (ภาพที่ 4-4)



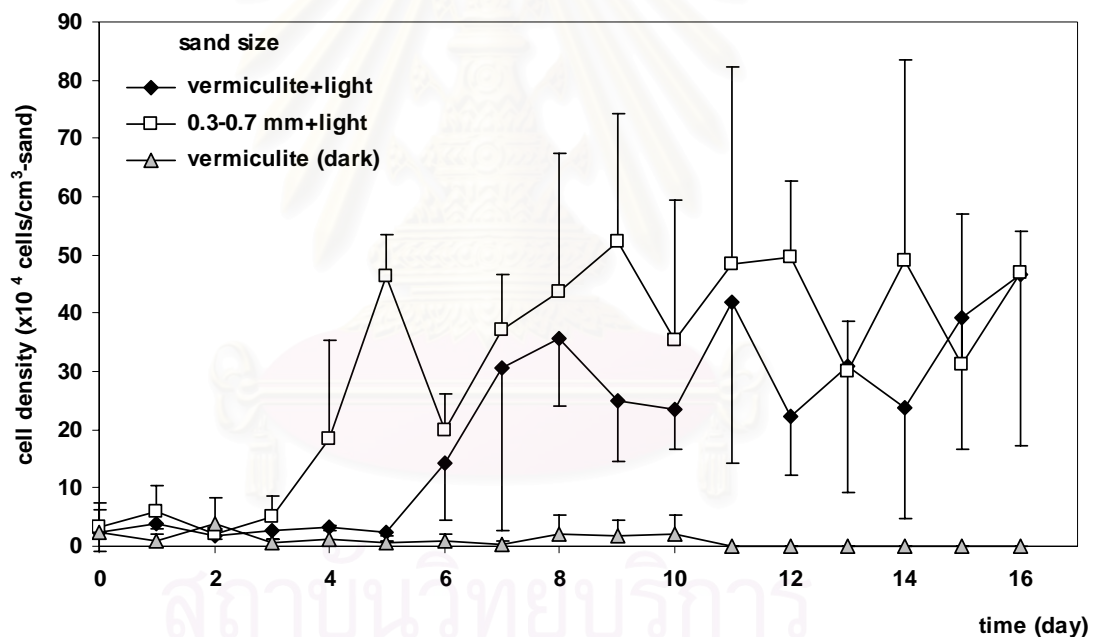
ภาพที่ 4-4 ความหนาแน่นของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ที่ความหนาชั้นทราย 0-1.5 และ 1.5-2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร)

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกัน คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

4.1.2.2 ผลของแสงและขนาดของเม็ดทรายต่อการเติบโตของไคอะตอมในชั้น

ทรายธรรมชาติและทรายเทียม

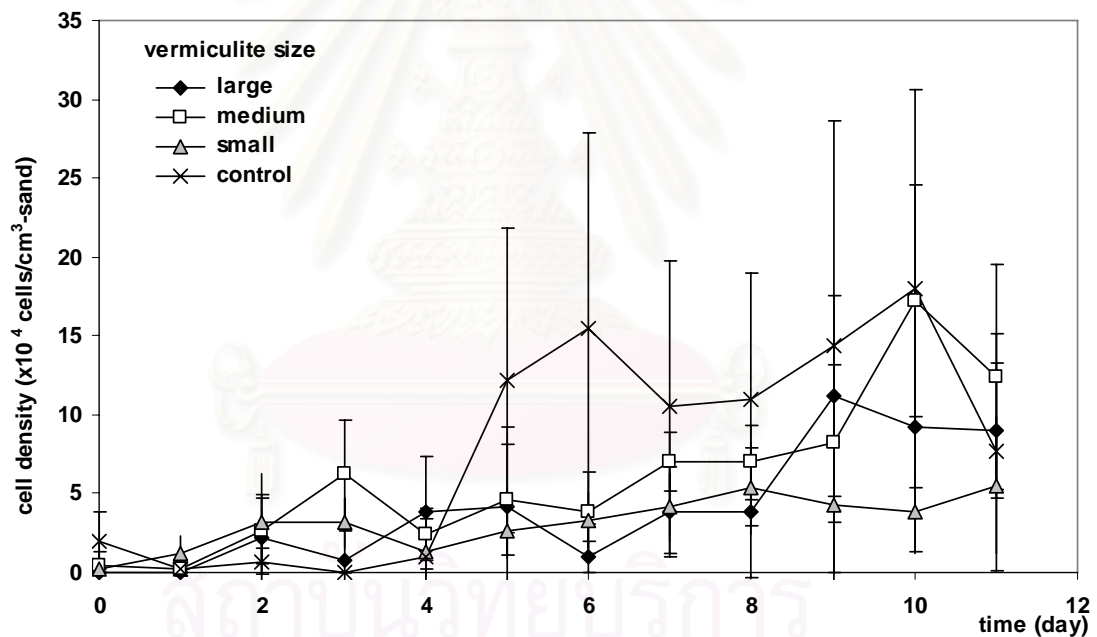
การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ให้แสง, ทรายธรรมชาติที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร ให้แสง และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ไม่ให้แสง โดยมีการเติมอาหารกึ่งบดปริมาณคาร์บอน 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร แสดงในภาพที่ 4-5 พบว่าไคอะตอมมีการเติบโตสูงสุดในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายธรรมชาติขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตรและมีแสง โดยเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีความหนาแน่นสูงสุด $52.33 \pm 22 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 9 ของการทดลอง ส่วนระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมมีความหนาแน่นสูงสุด $42 \pm 27.7 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 11 ในขณะที่ระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมและไม่มีแสง มีการเติบโตน้อย โดยมีความหนาแน่นสูงสุดเพียง $2 \pm 3.4 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 8 ของการทดลอง



ภาพที่ 4-5 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ให้แสง, ทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร ให้แสง และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ไม่ให้แสง ที่มีความหนาแน่นทราย 2.5 เซนติเมตรโดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร

4.1.2.3 ผลของขนาดเม็ดทรายเทียมต่อการเติบโตของไคอะตอมในชั้นทราย

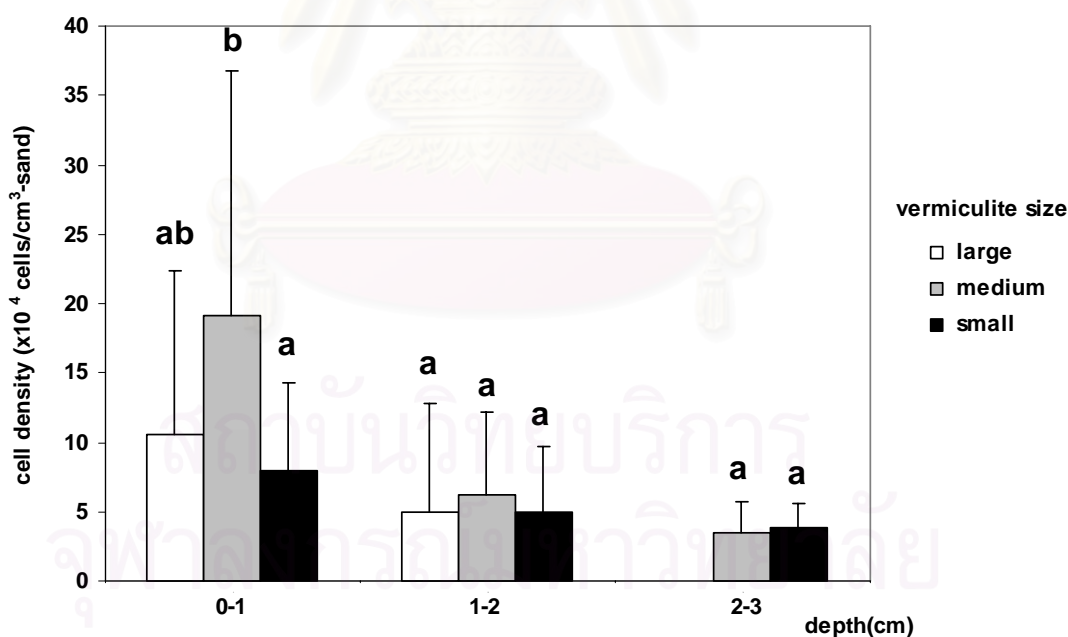
การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 3 ขนาด ในสถานะที่ไม่มีแสง โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) พบว่าในชุดควบคุมที่มีเฉพาะน้ำทะเลแต่ไม่มีทราย ไคอะตอมมีการเติบโตสูงสุด โดยมีความหนาแน่นสูงสุด $18 \pm 12 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 10 ของการทดลอง ส่วนในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมพบการเพิ่มจำนวนของไคอะตอมเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยไคอะตอมที่เลี้ยงในทรายเทียมขนาดใหญ่มีความหนาแน่นสูงสุด $11.2 \pm 6.38 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 9 ของการทดลอง ส่วนในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมขนาดกลางพบว่าไคอะตอม มีการเติบโตสูงสุดโดยเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีความหนาแน่น $17.2 \pm 7.3 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 10 ของการทดลอง และในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมขนาดเล็กไคอะตอมมีความหนาแน่นสูงสุด $5.33 \pm 2.94 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ภาพที่ 4-6)



ภาพที่ 4-6 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ส่วนชุดควบคุมไม่เติมทราย โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร

ผลของการตรวจวัดความหนาแน่นภายในชั้นทรายของไคอะตอม *A. delicatissima* ที่เติบโตในทรายเทียมทั้งสามขนาดแสดงในภาพที่ 4-7 พบว่าที่ระดับความหนาของชั้นทราย 0-1 เซนติเมตรไคอะตอมมีความหนาแน่นสูงสุดในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียม ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) โดยมีความหนาแน่น $19.17 \pm 17.6 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าไคอะตอมที่เลี้ยงในทรายขนาดใหญ่ ($10.5 \pm 11.8 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และทรายขนาดเล็ก ($8 \pm 6.3 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

ส่วนที่ระดับความหนาของชั้นทราย 1-2 เซนติเมตรไคอะตอม มีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบความหนาแน่นในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมขนาดใหญ่ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร) มีความหนาแน่น $5 \pm 7.8 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทรายเทียมขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) มีความหนาแน่น $6.17 \pm 5.9 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และทรายเทียมขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) มีความหนาแน่น $5 \pm 4.7 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่ระดับความหนาของชั้นทราย 2-3 เซนติเมตรไคอะตอม ไม่พบเซลล์ไคอะตอมในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมขนาดใหญ่ ซึ่งแตกต่างจากระบบที่ใช้ทรายเทียมขนาดกลางที่พบว่ามีมีความหนาแน่น $3.5 \pm 2.26 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และทรายเทียมขนาดเล็กมีความหนาแน่น $3.83 \pm 1.72 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



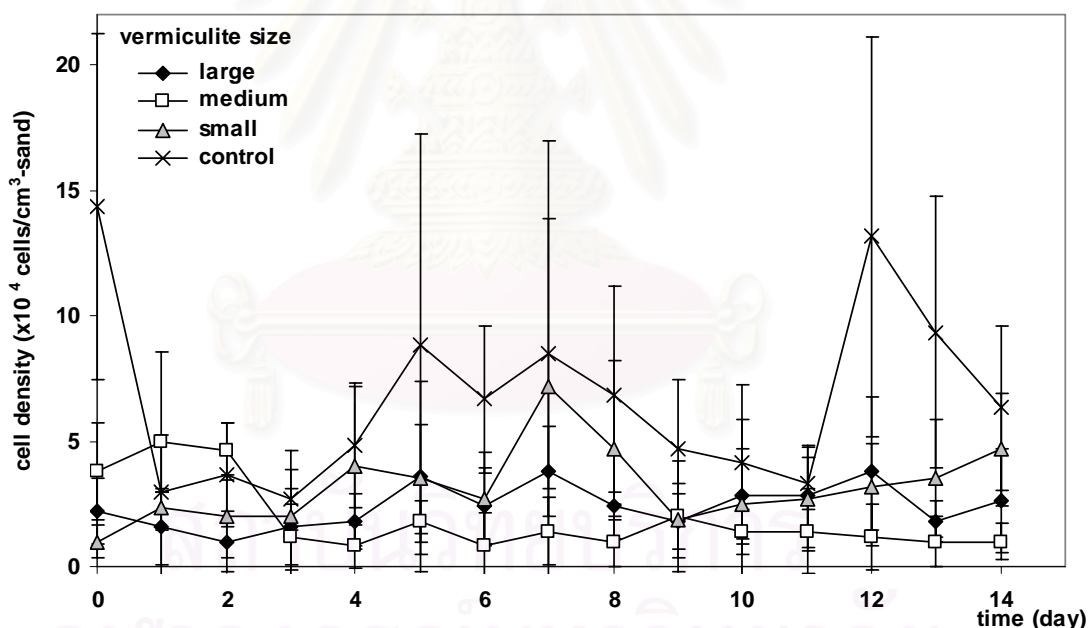
ภาพที่ 4-7 ความหนาแน่นของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ที่ความหนาชั้นทราย 0-1 , 1-2 และ 2-3 เซนติเมตรโดยเติมอาหารกุ้งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกัน คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

4.2 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทราย

4.2.1 เปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทราย เติมสารละลายอาหารกึ่งบดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร

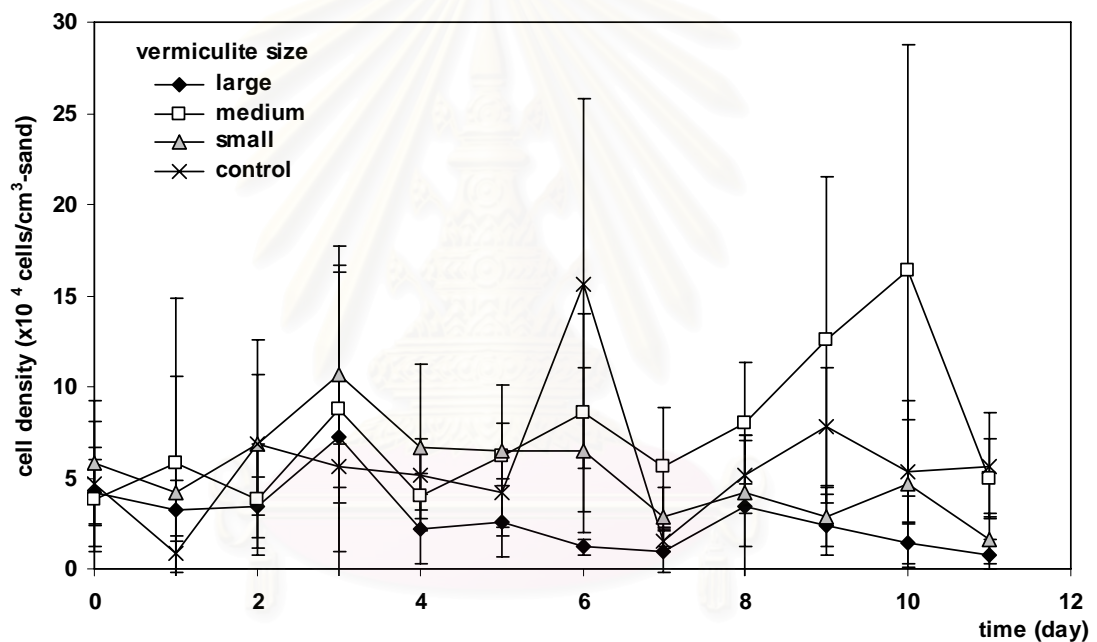
การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในสภาวะที่ไม่มีแสงในทรายเทียมขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) โดยมีอาหารกึ่งบดปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตรเป็นแหล่งสารอาหาร พบว่าในชุดควบคุมที่มีเฉพาะน้ำทะเลไคอะตอมไม่มีการเติบโต ส่วนในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมขนาดเล็ก ไคอะตอมมีการเติบโตบ้างเล็กน้อยโดยเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีความหนาแน่นสูงสุด $7.16 \pm 9.8 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง ส่วนในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมขนาดกลางและขนาดใหญ่ ความหนาแน่นของไคอะตอมไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยยังคงพบเซลล์ที่มีลักษณะปกติ แสดงให้เห็นว่าไคอะตอมที่ไม่มีการเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นแต่ก็ยังคงมีชีวิตอยู่ได้แม้ว่าจะอยู่ในสภาวะที่ไม่มีแสงก็ตาม



ภาพที่ 4-8 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ความหนาแน่นทราย 10 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด เป็นแหล่งสารอาหาร (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) ส่วนชุดควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเลความเค็ม 30 เพื่อสยุมไม่ให้แสงตลอดการทดลอง

4.2.2 เปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมของระบบเลี้ยง เพียงทราย โดยเติมอาหารกุ้งชนิดเม็ดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอนต่อลิตร

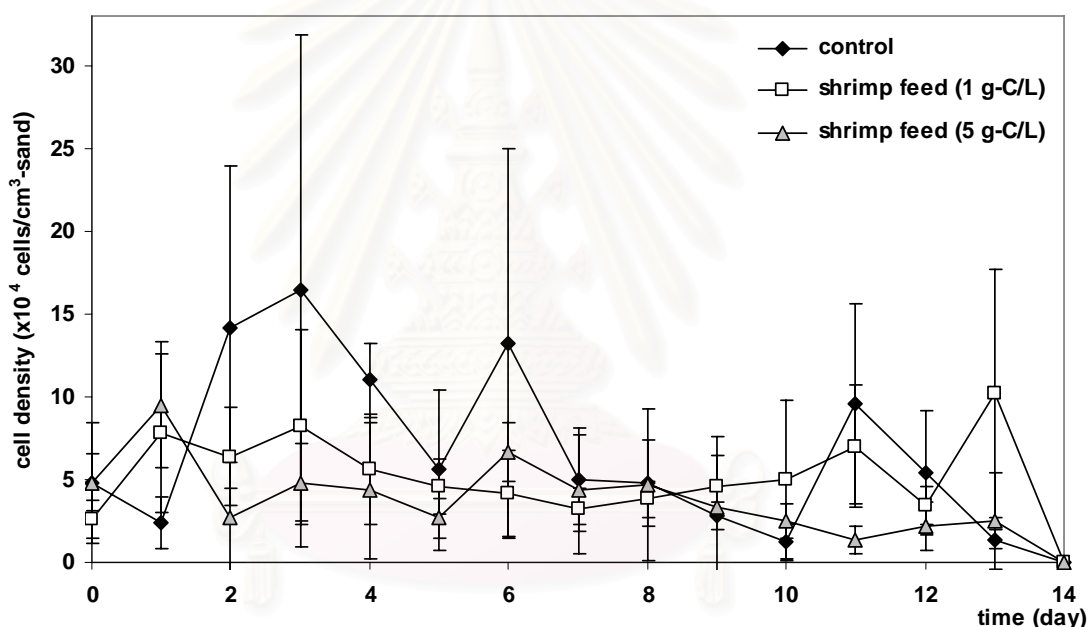
การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม 3 ขนาดเช่นเดียวกับการทดลอง
หัวข้อ 4.2.1 แต่เปลี่ยนจากอาหารกุ้งบดมาเป็นอาหารกุ้งชนิดเม็ดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 กรัม
คาร์บอน/ลิตร พบว่าในทุกชุดการทดลองไคอะตอมไม่มีการเติบโตเพิ่มจำนวนที่เด่นชัด (ภาพที่ 4-9)
โดยพบการเติบโตสูงสุดในชุดการทดลองที่ใช้ทรายเทียมขนาดกลางซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่าง
ช้าๆ จนมีความหนาแน่นสูงสุด $16.4 \pm 12.3 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 10 ของการ
ทดลอง ส่วนชุดทดลองที่เลี้ยงไคอะตอมในทรายเทียมขนาดเล็ก, ขนาดใหญ่ และชุดควบคุมที่ไม่มี
ทราย พบว่าไคอะตอมยังคงมีชีวิตอยู่แต่ไม่มีการเติบโตที่ชัดเจน



ภาพที่ 4-9 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่
(1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร)
ความหนาแน่นทราย 10 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกุ้งเม็ด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัม
คาร์บอน/ลิตร) เป็นแหล่งสารอาหาร ส่วนชุดควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเลความเค็ม 30
พีเอสยู ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง

4.2.3 เปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทรายที่เติมสารละลายอาหารกุ้งบดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 และ 5 กรัมคาร์บอนต่อลิตร

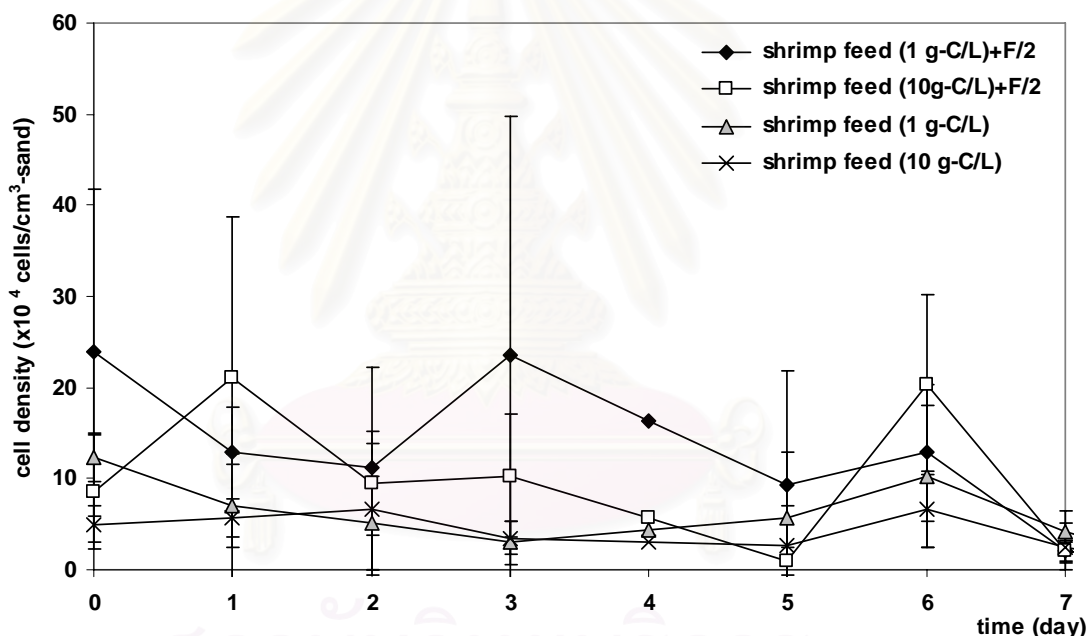
การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่เติมอาหารกุ้งบดปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ 1 และ 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร ในสถานะที่ไม่มีแสง พบว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีทรายไคอะตอม มีการเติบโตเล็กน้อยในช่วงแรก โดยเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีความหนาแน่นสูงสุด $16.4 \pm 15.4 \times 10^4$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 3 ของการทดลอง หลังจากนั้นเริ่มมีจำนวนเซลล์ลดลง ส่วนไคอะตอมในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมและได้อาหารกุ้งบดทั้งสองระดับไม่พบการเพิ่มจำนวนที่ชัดเจน (ภาพที่ 4-10) แต่เซลล์ที่พบในระบบในวันสุดท้ายยังคงมีสภาพที่มีชีวิตตามปกติ



ภาพที่ 4-10 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร ชุดทดลองควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ชุดทดลองเติมอาหารกุ้งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง

4.2.4 เปรียบเทียบการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทราย โดยเติมสารละลายอาหารกึ่งบดที่มีปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอนต่อลิตร ร่วมกับอาหารสูตร F/2

การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียมขนาดกลาง เติมน้ำอาหารกึ่งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร ร่วมกับการเติมน้ำอาหารเพาะเชื้อสำหรับสูตร F/2 ในสถานะที่ไม่มีแสง พบว่าการเพิ่มปริมาณอาหารกึ่งและการเติมน้ำอาหารเพาะเชื้อสำหรับสูตร F/2 ไม่มีส่วนในการเพิ่มการเติบโตของไคอะตอมในทรายเทียมของระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียม โดยจะเห็นได้ว่าไคอะตอมไม่มีการเพิ่มจำนวนให้เห็นได้ (ภาพที่ 4-11) แต่จากการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าเซลล์ของไคอะตอมยังคงเป็นเซลล์ปกติที่มีคลอโรพลาสต์สีน้ำตาลปนเขียวและมีรูปร่างสมบูรณ์



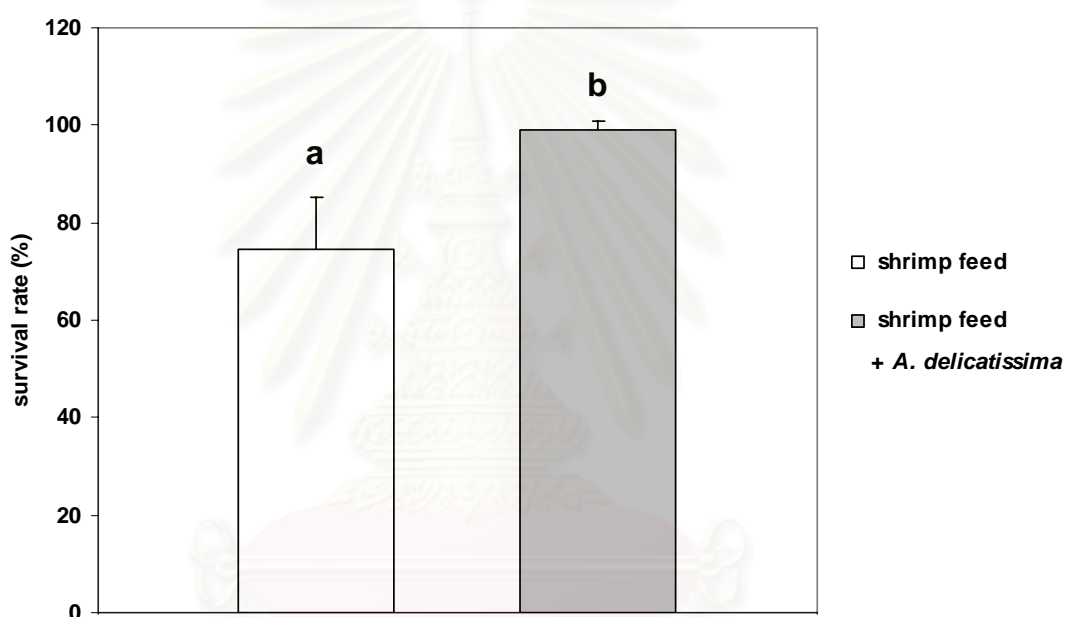
ภาพที่ 4-11 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร เติมน้ำอาหารกึ่งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร และเติมน้ำอาหารสูตร F/2 ส่วนชุดทดลองที่เหลือเติมน้ำอาหารกึ่งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร เป็นแหล่งของสารอาหาร ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง

4.3 ผลของการเสริมไคอะตอม *A. delicatissima* ลงในระบบเลี้ยงเพรียงทราย

4.3.1 การเสริมไคอะตอมในถังเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อนในระบบการเลี้ยงแบบปิด

4.3.1.1 การเติบโตของเพรียงทรายวัยอ่อนในระบบการเลี้ยงแบบปิด

จากการทดลองเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อนความยาว 1-2 เซนติเมตร ด้วยอาหารกุ้ง (ชุดควบคุม) และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* (ชุดทดลอง) หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 55 วัน พบว่าเพรียงทรายที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม มีอัตราการรอดเฉลี่ยร้อยละ 98.8 ± 1.9 ซึ่งสูงกว่าเพรียงทรายในชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ซึ่งอัตราการรอดเฉลี่ยร้อยละ 74.6 ± 10.4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังภาพที่ 4-12



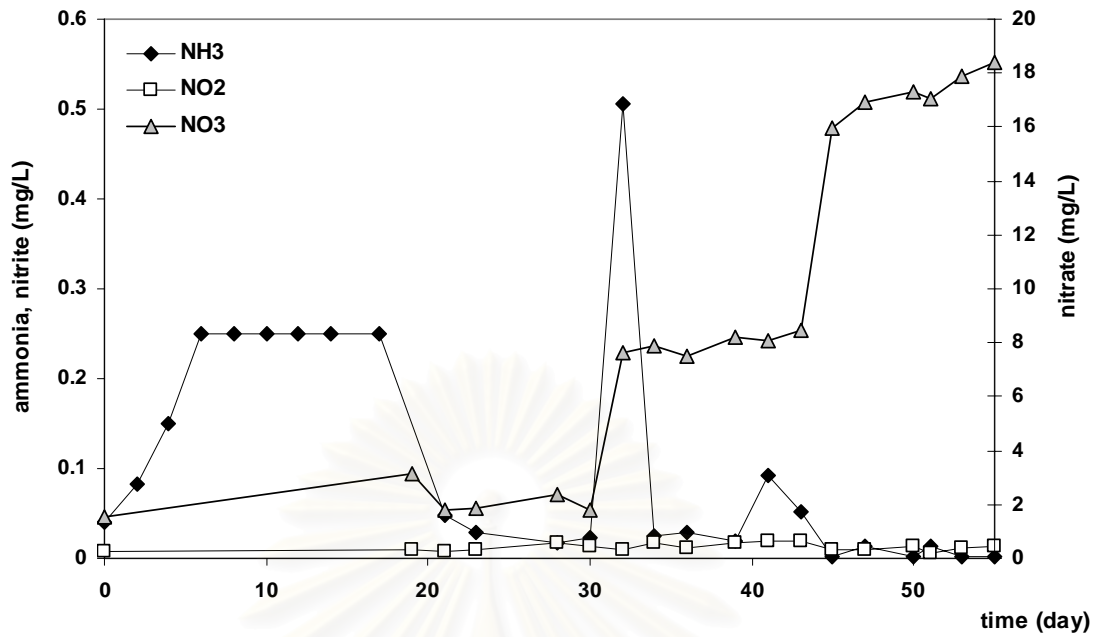
ภาพที่ 4-12 อัตราการรอดเฉลี่ยของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 55 วัน

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกัน คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

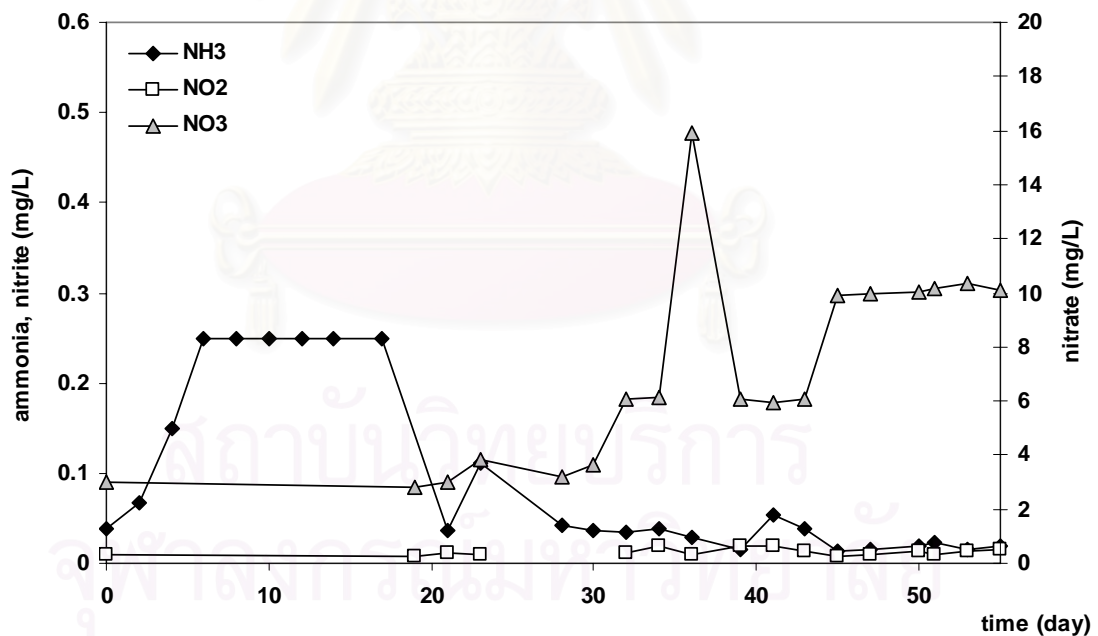
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1.2 คุณภาพน้ำของระบบเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อนแบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ในน้ำของระบบเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อนชุดควบคุมที่ให้เฉพาะอาหารกุ้ง และชุดทดลองที่ให้อาหารกุ้งและไดอะตอม ระยะเวลาการทดลอง 55 วัน แสดงในภาพที่ 4-13 และ 4-14 ผลการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียในน้ำของทั้งชุดทดลอง และชุดควบคุมส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่า $0.3 \text{ mg NH}_4\text{-N/L}$ และไม่พบการสะสมไนไตรต์ภายในระบบทดลอง โดยมีปริมาณไนไตรต์เฉลี่ยเท่ากับ $0.012 \text{ mg NO}_2\text{-N/L}$ ในขณะที่พบการสะสมของไนเตรตภายในน้ำของทั้งชุดทดลองและชุดควบคุม โดยปริมาณไนเตรตในถังชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก $2.08 \text{ mg NO}_3\text{-N/L}$ ในวันเริ่มต้นการทดลอง จนถึงในช่วงท้ายของการทดลองปริมาณไนเตรตมีค่าอยู่ระหว่าง $15.9\text{-}18.4 \text{ mg NO}_3\text{-N/L}$ (ภาพที่ 4-13) ส่วนไนเตรตในถังชุดทดลองก็มีการสะสมเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น $3.24 \text{ mg NO}_3\text{-N/L}$ แต่มีอัตราการสะสมของไนเตรตที่ต่ำกว่าชุดควบคุม และมีปริมาณไนเตรตในวันสุดท้ายเท่ากับ $10.09 \text{ mg NO}_3\text{-N/L}$ (ภาพที่ 4-14)



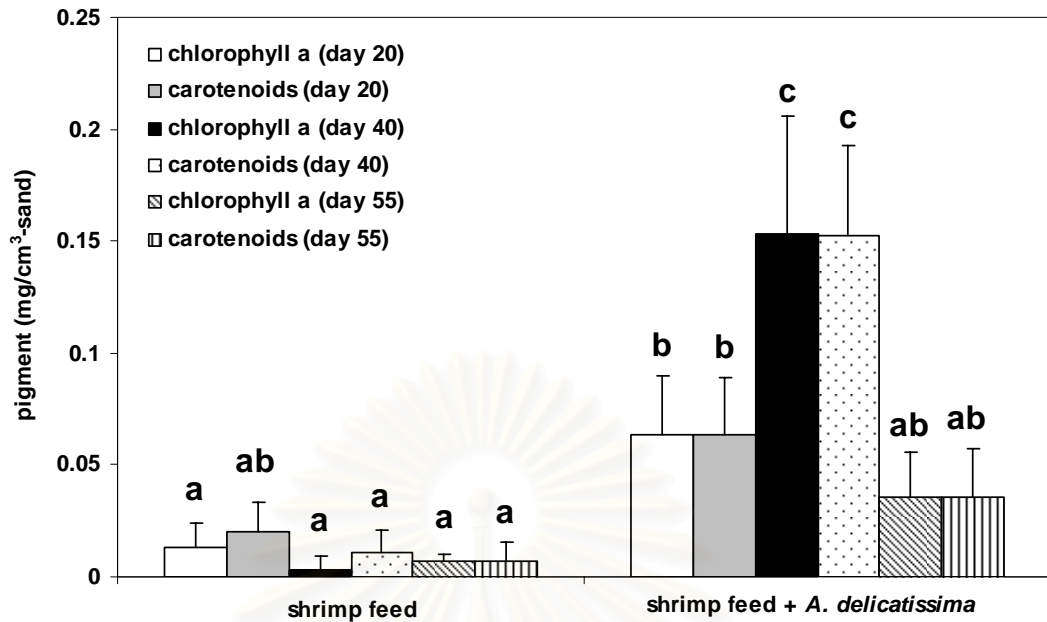
ภาพที่ 4-13 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อน ชุดควบคุมที่ให้เฉพาะอาหารกุ้ง



ภาพที่ 4-14 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อน ชุดทดลองที่ให้อาหารกุ้งร่วมกับไดอะตอม *A. delicatissima*

4.3.1.3 สารสีของเพรียงทรายวัยอ่อนที่เลี้ยงในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ปริมาณสารสีที่ตรวจพบในชั้นทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อน ในชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และชุดทดลองเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอมมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ภาพที่ 4-15) การเก็บตัวอย่างทรายเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารสีคลอโรฟิลล์-เอ และแคโรทีนอยด์ในวันที่ 20, 40 และ 55 วัน พบว่าในวันที่ 20 ทรายของชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอมมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ 0.06 ± 0.025 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สูงกว่าชุดควบคุมที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ เพียง 0.01 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และปริมาณแคโรทีนอยด์ที่พบในทรายของชุดทดลอง (0.06 ± 0.026 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ก็มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (0.02 ± 0.013 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ในวันที่ 40 ของการทดลอง ทรายของชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอมมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ 0.15 ± 0.052 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนชุดควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ เพียง 0.003 ± 0.005 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดก็พบในชุดทดลองเช่นเดียวกัน โดยพบปริมาณ 0.15 ± 0.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพียง 0.01 ± 0.009 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) สำหรับในวันที่ 55 ซึ่งเป็นวันสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของตัวอย่างทรายจากชุดทดลองมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ก็ยังสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอมมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ 0.03 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนชุดควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ 0.006 ± 0.003 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และชุดทดลองมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.03 ± 0.021 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ทราย) ส่วนชุดควบคุมมีปริมาณเพียง 0.006 ± 0.008 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 4-15 ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่าไคอะตอมที่เติมลงไปยังคงอาศัยอยู่ในชั้นทราย

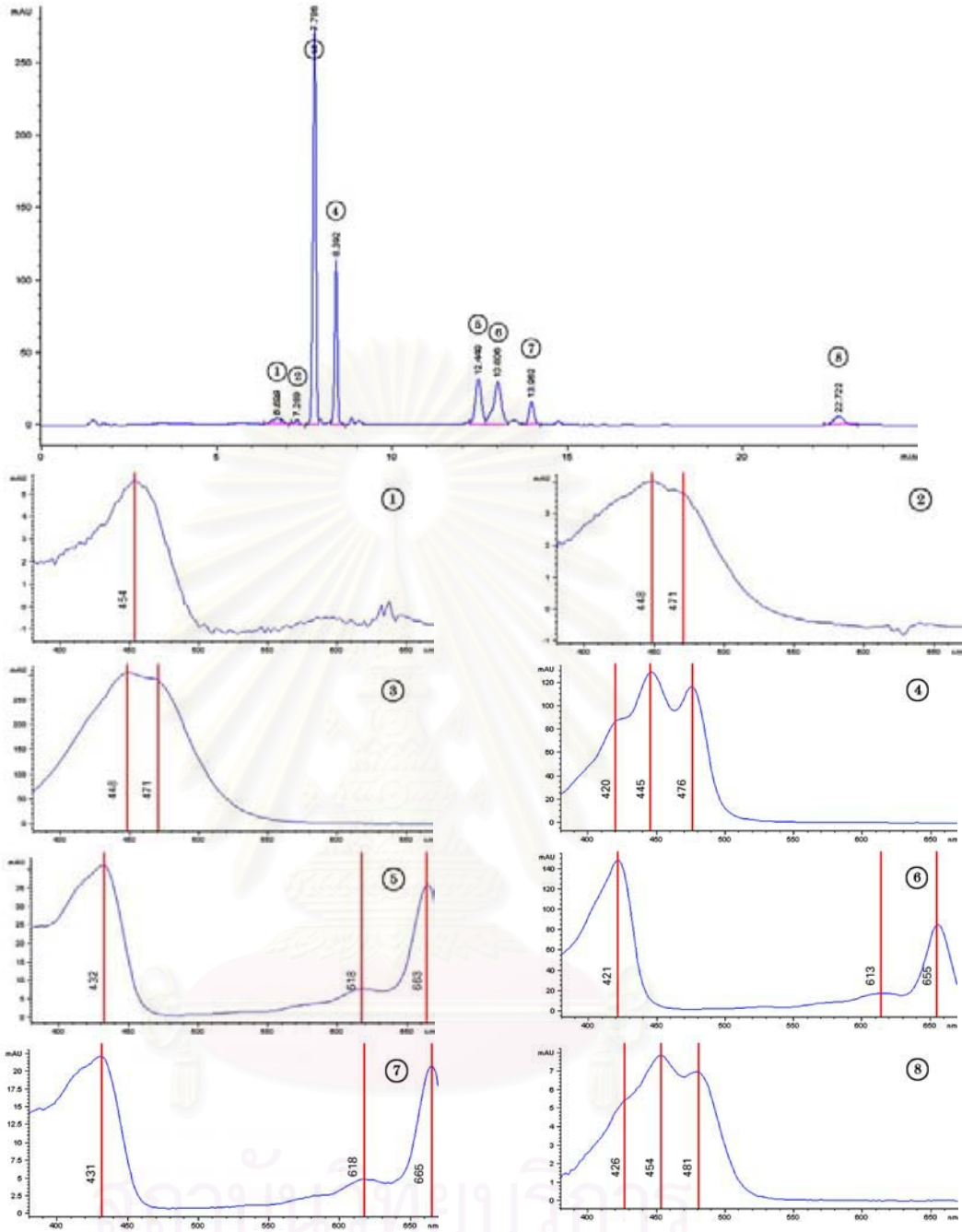


ภาพที่ 4-15 ปริมาณสารสีที่พบในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง (ชุดควบคุม) และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* (ชุดทดลอง) หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 20, 40 และ 55 วัน

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกัน คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

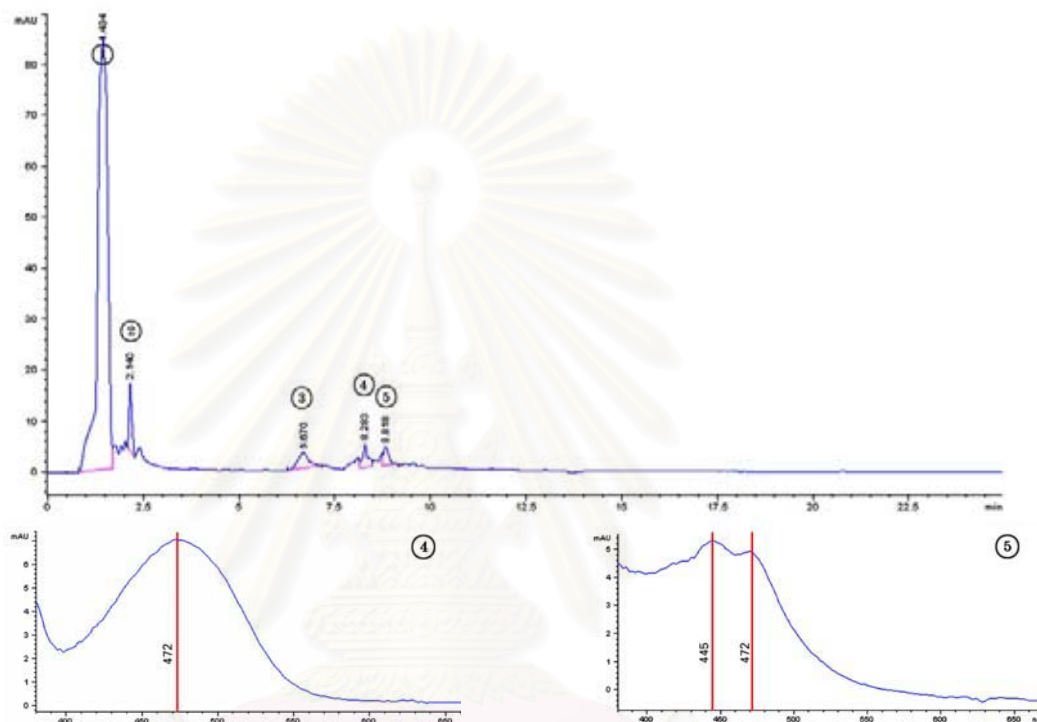
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารสีในไคอะตอม *A. delicatissima* ดังแสดงในภาพที่ 4-16 พบว่าพีก (peak) ที่ 1 (นาทีกี่ 6.699) คือสารที่มีโครงสร้างคล้าย คลอโรฟิลล์-ซี ส่วนพีกที่ 2, 4 และ 8 (นาทีกี่ 7.289, 8.392 และ 22.722 ตามลำดับ) คือสารสีแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ ที่ยังไม่สามารถจำแนกชนิดได้อย่างถูกต้อง พีกที่ 3 (นาทีกี่ 7.786) คือฟูโคแซนทิน (Fucoxanthin) และพีกที่ 5, 6 และ 7 (นาทีกี่ 12.449, 13.006 และ 13.962 ตามลำดับ) คือสารสีที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์-เอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



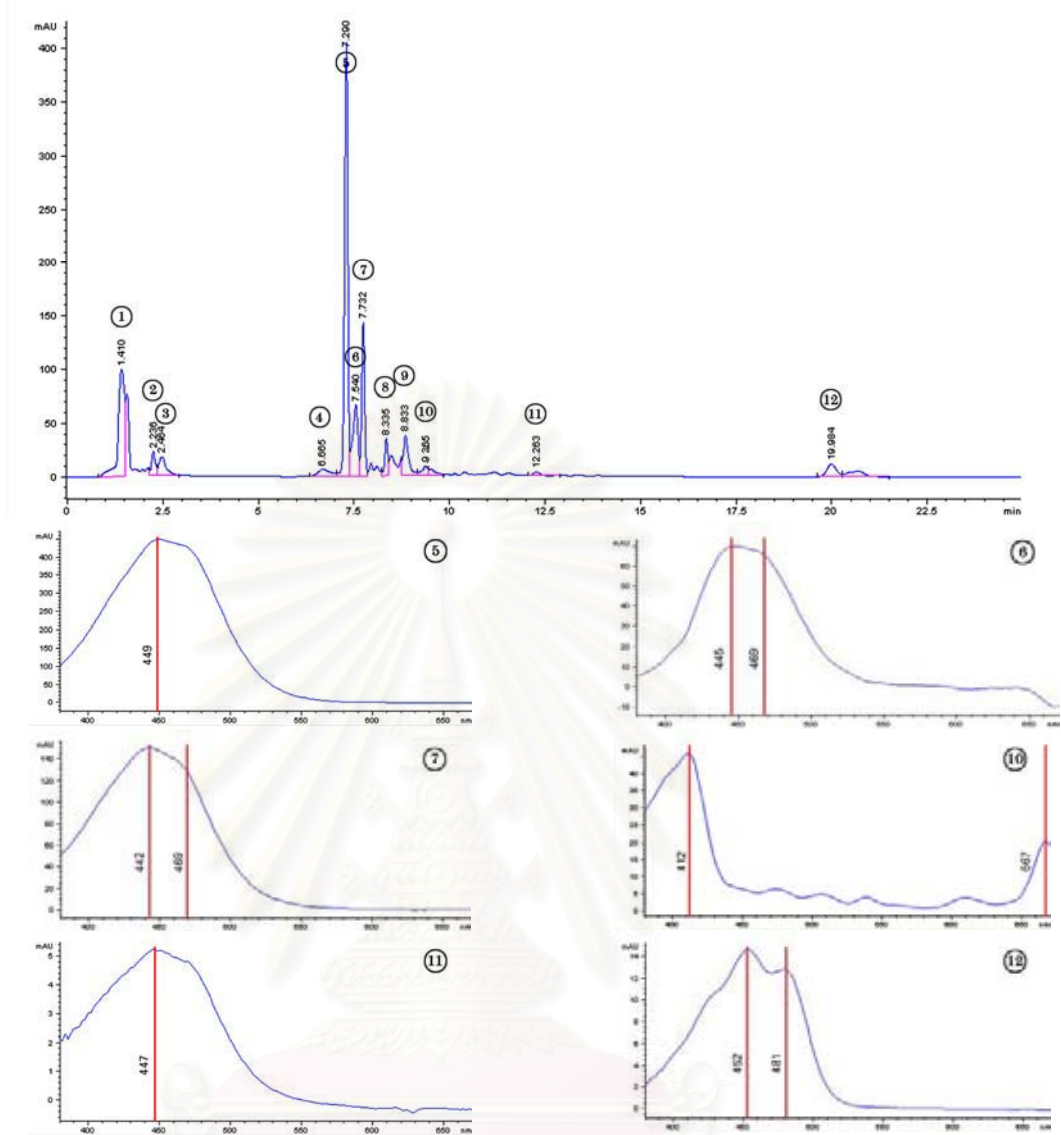
ภาพที่ 4-16 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของไดอะตอม *A. delicatissima* โดยพีคที่ 1 คือสารที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์ ซี พีคที่ 2, 4 และ 8 คือแคโรทีนอยด์ที่ยังจำแนกไม่ได้ พีคที่ 3 คือฟูโคแซนทิน และพีคที่ 5, 6 และ 7 คือสารที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์ เอ

โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis* sp. วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง (ชุดควบคุม) เป็นเวลา 55 วัน แสดงในภาพที่ 4-17 พบสารสีที่จำแนกได้เป็นแอสตาแซนทิน (Astaxanthin) ปรากฏในพีคหมายเลข 4 (นาทิต่ำ 8.283) ส่วนพีคหมายเลข 5 (นาทิต่ำ 8.818) คือสารสีที่มีสเปกตรัมคล้ายเบต้า-แคโรทีน ส่วนพีคอื่นๆ นั้นไม่สามารถจำแนกได้จากการตรวจสอบสเปกตรัมด้วยระบบ Photo-Diode array



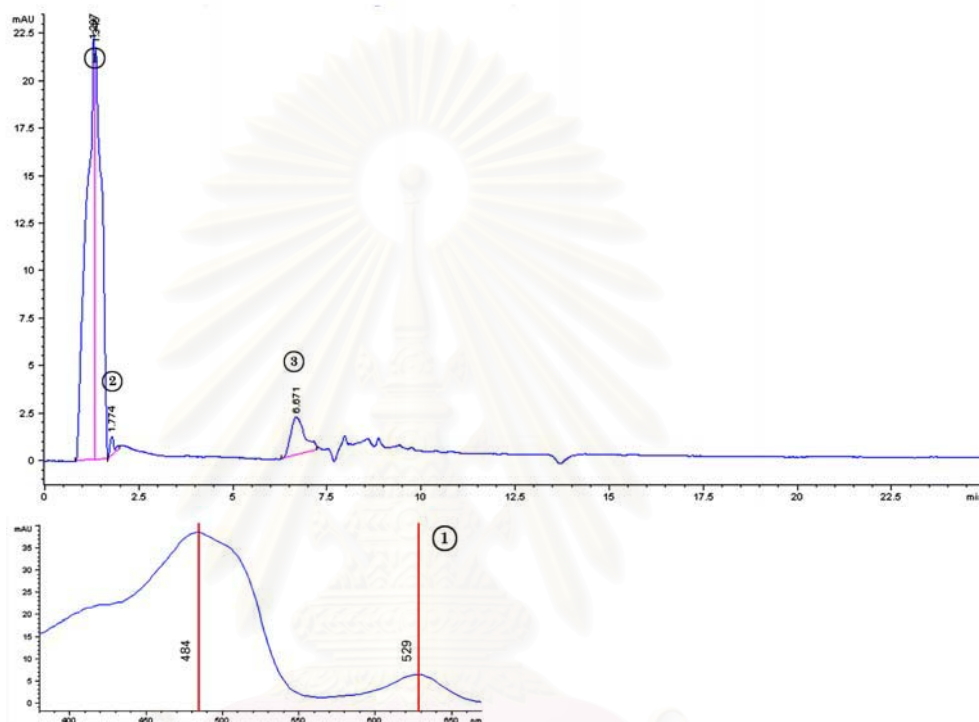
ภาพที่ 4-17 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง เป็นเวลา 55 วัน โดยพีคที่ 1, 2 และ 3 ไม่สามารถจำแนกได้ พีคที่ 4 คือแอสตาแซนทิน และ พีคที่ 5 เป็นสารสีที่มีสเปกตรัมคล้ายเบต้า-แคโรทีน

สารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* (ชุดทดลอง) เป็นเวลา 55 วัน แสดงในภาพที่ 4-18 ผลการวิเคราะห์พบสารสีแคโรทีนอยด์หลายชนิดในพีคที่ 5, 6, 7, 11 (นาทิต่ำ 7.290, 7.540, 7.732 และ 12.263 ตามลำดับ) แม้ว่าสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้จะยังไม่สามารถจำแนกชนิดของแคโรทีนอยด์ได้อย่างถูกต้อง แต่ก็แสดงให้เห็นว่าแม่เพรียงทรายที่ได้รับไคอะตอมเป็นอาหารเสริมจะมีสารสีแคโรทีนอยด์ในตัวในปริมาณสูง โดยสารสีที่พบมากที่สุดคือพีคที่ 5 ซึ่งจะมีเวลา (Retain time) และลักษณะสเปกตรัมที่ใกล้เคียงกับสารสีฟูโคแซนทินที่พบในไคอะตอม *A. delicatissima* (ภาพที่ 4-16) ในขณะที่พีคหมายเลข 1, 2, 3, 4, 8 และ 9 นั้นไม่สามารถจำแนกได้ และพีคหมายเลข 10 คือสารที่มี สเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์



ภาพที่ 4-18 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ว่ายอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* (ชุดทดลอง) เป็นเวลา 55 วัน โดยพีคที่ 1, 2, 3, 4, 8 และ 9 ไม่สามารถจำแนกได้ พีคที่ 5, 6, 7, 11 และ 12 คือแคโรทีนอยด์ที่ยังไม่สามารถจำแนกชนิดได้ และพีคหมายเลข 10 คือสารที่มี สเปกตรัมคล้ายคลอโรฟิลล์

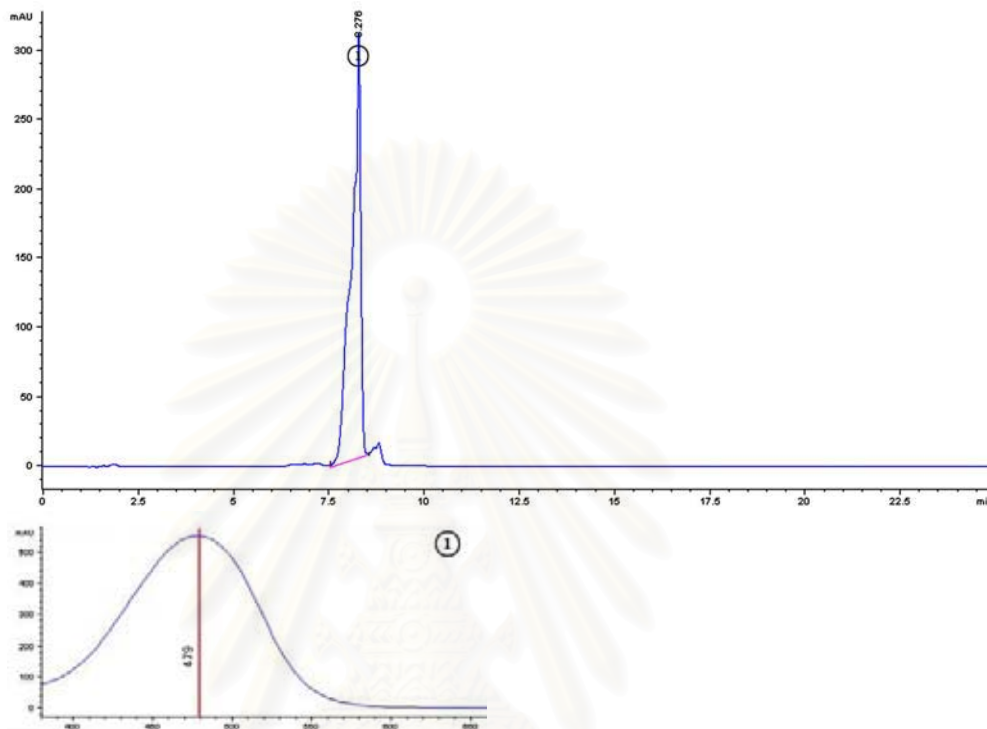
โครมาโตแกรมแสดงสารสีของอาหารกุ้ง (ขนาดเล็ก) ที่ใช้เลียงเพรียงทรายแสดงในภาพที่ 4-19 มีปริมาณสารสีน้อยมากจนตรวจสอบไม่พบ และในพีคที่ 1 แม้ว่าจะมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร ทำให้ตรวจพบเป็นพีคขึ้นในโครมาโตแกรม แต่ก็ไม่ใช่สารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์หรือคลอโรฟิลล์ เนื่องจากสเปกตรัมของพีคหมายเลข 1 นี้จะพบการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 529 นาโนเมตรร่วมอยู่ด้วย ซึ่งไม่ใช่ลักษณะของสารสีกลุ่มคลอโรฟิลล์หรือแคโรทีนอยด์



ภาพที่ 4-19 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของอาหารกุ้ง (ขนาดเล็ก) ที่ใช้เลียงเพรียงทราย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากการวิเคราะห์สารสีจะใช้สารสีแอสตาแซนทินเป็นสารมาตรฐานในการเทียบปริมาณ จึงได้ทำการวิเคราะห์สารมาตรฐานแอสตาแซนทิน ได้ผลดังภาพที่ 4-20 โดยพบพีคของแอสตาแซนทินในนาที่ที่ 8.274 และพบการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 479 นาโนเมตร



ภาพที่ 4-20 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของแอสตาแซนทินมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารสีในตารางที่ 4-1 พบว่าในไคอะตอมจะมีสารสีหลักคือฟูโคแซนทิน โดยพบปริมาณ 1,736.39 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีสารสีแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ ในปริมาณ 569.75 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ตัวเพรียงทรายวัยอ่อนชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งเสริมด้วยไคอะตอม จะมีสารสีฟูโคแซนทิน 12.6 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และสารสีแคโรทีนอยด์อื่นๆ อีก 5.9 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ตัวของเพรียงทรายชุดควบคุมจะพบแคโรทีนอยด์เพียง 0.072 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งเท่านั้น

ตารางที่ 4-1 ปริมาณสารสีฟูโคแซนทิน (Fucoxanthin) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ชนิดอื่นๆ และ แอสตาแซนทิน (Astaxanthin) ในอาหารกึ่ง ไคอะตอม และในเพรียงทรายวัยอ่อนอายุ 1 เดือน จากชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม โดยเลี้ยงนาน 55 วัน

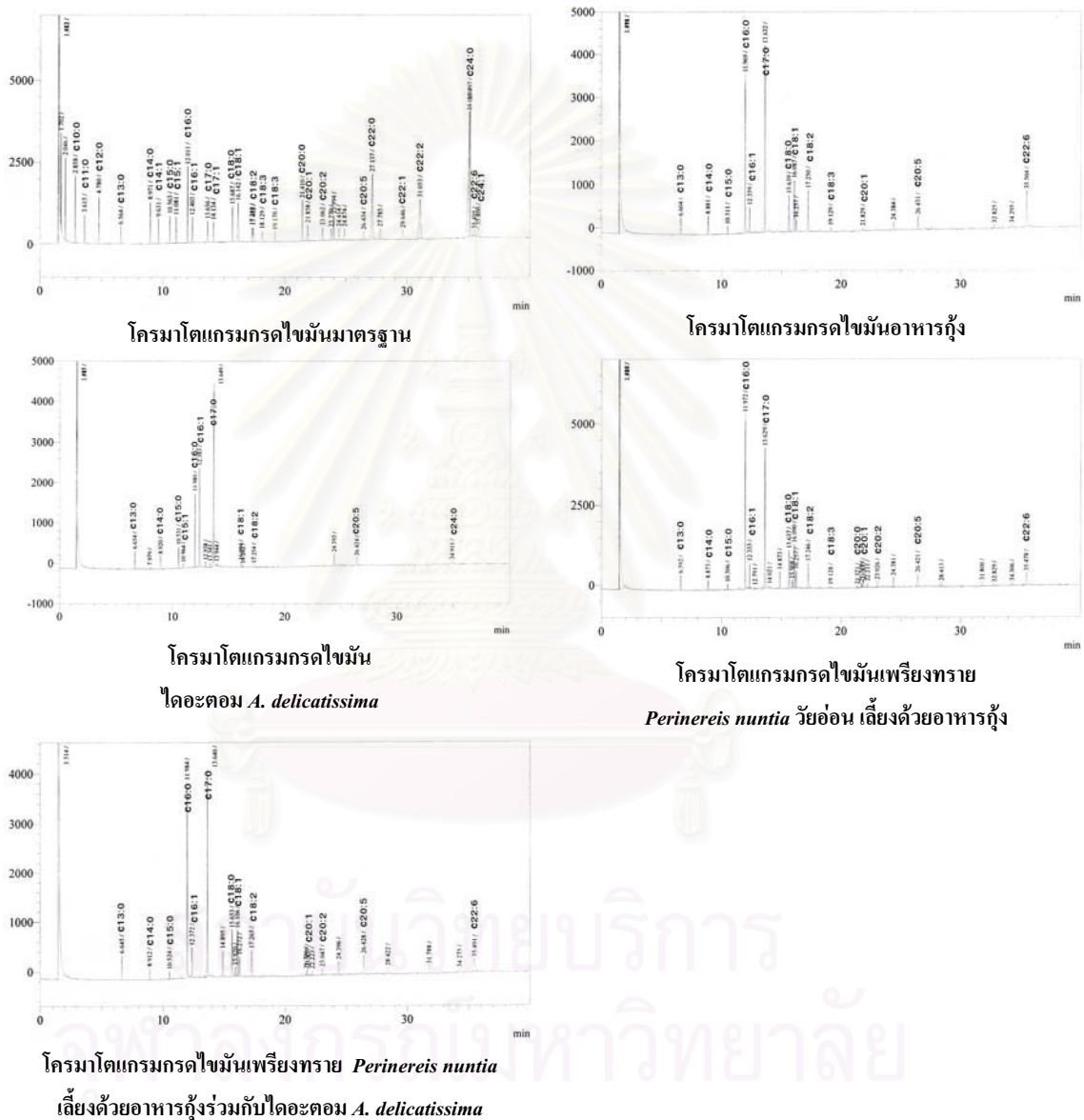
	สารสี (ไมโครกรัม/กรัม นน.แห้ง)		
	ฟูโคแซนทิน	แคโรทีนอยด์อื่นๆ	แอสตาแซนทิน
อาหารกึ่ง	ND	ND	ND
ไคอะตอม	1736.39±0.03	569.75±0.11	ND
เพรียงชุดควบคุม	ND	0.072±0.0000004	0.03±0.0000003
เพรียงชุดทดลอง	12.60±0.0003	5.90±0.003	ND

หมายเหตุ ND = ตรวจไม่พบ

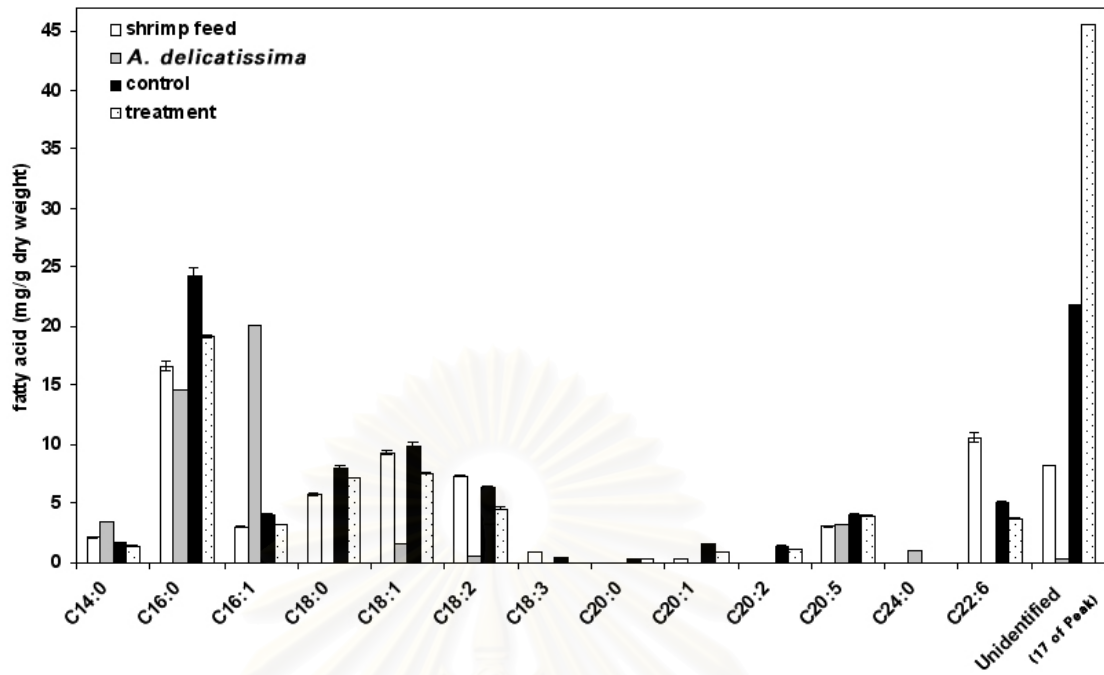
4.3.1.4 กรดไขมันของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* วัยอ่อน ในระบบที่ไม่มีมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่ผลิตขึ้นภายในตัวของเพรียงทรายวัยอ่อน ที่เลี้ยงนาน 55 วัน พบโครมาโตแกรม (ภาพที่ 4-21) ของเพรียงทรายทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง ส่วนใหญ่จะคล้ายกับองค์ประกอบกรดไขมันที่พบในอาหารกึ่งซึ่งใช้เป็นอาหารหลักในการเลี้ยงเพรียงทราย และต่างจากองค์ประกอบกรดไขมันในไคอะตอมค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามพบว่ากรดไขมันของเพรียงทรายที่กินอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอมจะมีกรดไขมันที่จำแนกชนิดไม่ได้ในปริมาณมากกว่าอย่างชัดเจน (ภาพที่ 4-22) กรดไขมันที่พบปริมาณมากที่สุดคือ Palmitic acid (C16:0) โดยมีปริมาณ 24.30±0.60 และ 19.16±0.14 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับเพรียงทรายชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ ในส่วนของกรดไขมันจำเป็นหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวนั้นพบว่ากรดไอโคซาเพนทาอีโนอิก หรือ EPA (Eicosapentaenoic acid) (C20:5) ในชุดควบคุมที่เลี้ยง

ด้วยอาหารกุ้ง มีปริมาณ 4.06 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม มีปริมาณ 3.99 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง กรดดีโคซาเฮกซาอีโนอิก หรือ DHA (Docosahexaenoic acid) (C22:6) ในชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง มีปริมาณ 5.08 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม มีปริมาณ 3.75 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 4-21 โครมาโตแกรมแสดงชนิดกรดไขมันมาตรฐาน, อาหารกุ้ง, ไคอะตอม *A. delicatissima*, เพรียงทรายวัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเพรียงทรายที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* เลี้ยงนาน 55 วัน



ภาพที่ 4-22 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของอาหารกุ้ง, ไคอะตอม *A. delicatissima*, เพรียงทราย *Perinereis nuntia* วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* เลี้ยงนาน 55 วัน

4.3.2 การเสริมไคอะตอมในระบบเลี้ยงเพรียงทรายขนาดใหญ่ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

4.3.2.1 การเติบโตของเพรียงทรายขนาดใหญ่ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

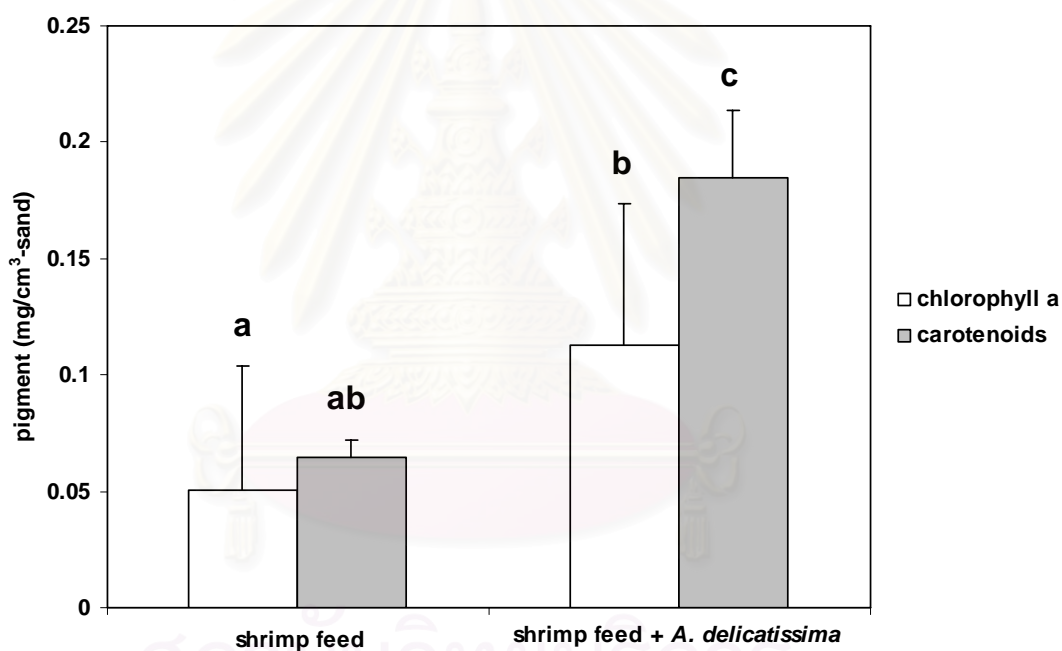
จากการทดลองเลี้ยงเพรียงทรายขนาดใหญ่ที่จับมาจากธรรมชาติด้วยอาหารกุ้ง (ชุดควบคุม) และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* (ชุดทดลอง) โดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระหว่างการเลี้ยง พบว่าในวันที่ 20 ของการทดลอง แม่เพรียงในชุดควบคุมมีอัตราการรอดร้อยละ 98.34 ± 3.1 ซึ่งไม่แตกต่างจากอัตราการรอดของแม่เพรียงในชุดทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 93.34 ± 9.4 และในวันที่ 41 ของการทดลองแม่เพรียงทรายในทั้งสองชุดการทดลองมีอัตราการรอดไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดควบคุมมีอัตราการรอดเฉลี่ยร้อยละ 92.74 ± 2.3 และชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม มีอัตราการรอดเฉลี่ยร้อยละ 89.67 ± 8.9 (ภาพที่ 4-23)



ภาพที่ 4-23 อัตราการรอดเฉลี่ยของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 20 และ 41 วัน

4.3.2.2 สารสีของเพรียงทรายขนาดใหญ่ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

การตรวจวัดปริมาณสารสีในชั้นทรายในระบบเลี้ยงเพรียงทรายขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง (ชุดควบคุม) และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม (ชุดทดลอง) หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 41 วัน แสดงในภาพที่ 4-24 พบว่าชุดทดลองมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ 0.11 ± 0.06 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าที่พบในชุดควบคุมที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ 0.05 ± 0.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน โดยแคโรทีนอยด์ที่พบในชั้นทรายของชุดทดลองมีปริมาณ 0.18 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณ 0.06 ± 0.007 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีไคอะตอมอาศัยอยู่ในชั้นทรายของชุดทดลอง

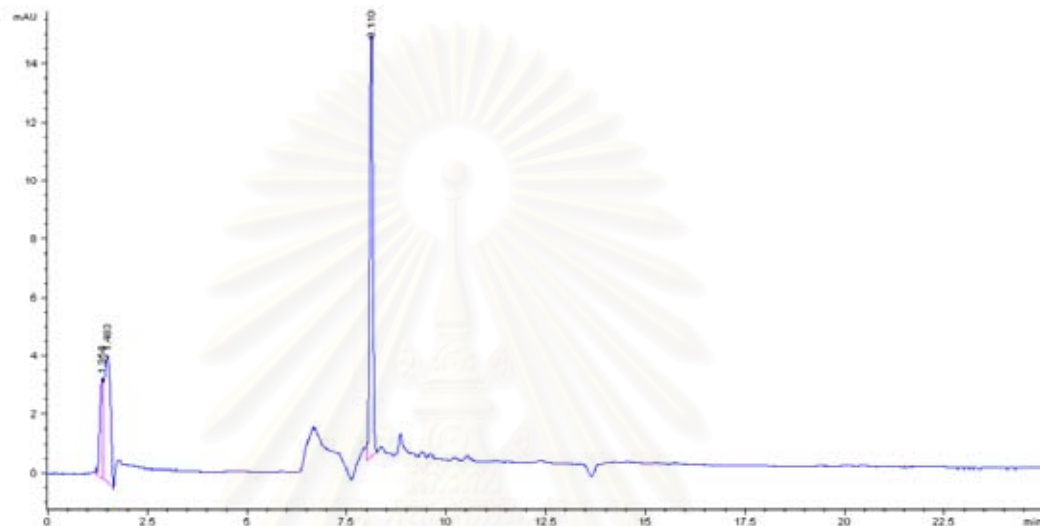


ภาพที่ 4-24 ปริมาณสารสีในชั้นทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 41 วัน

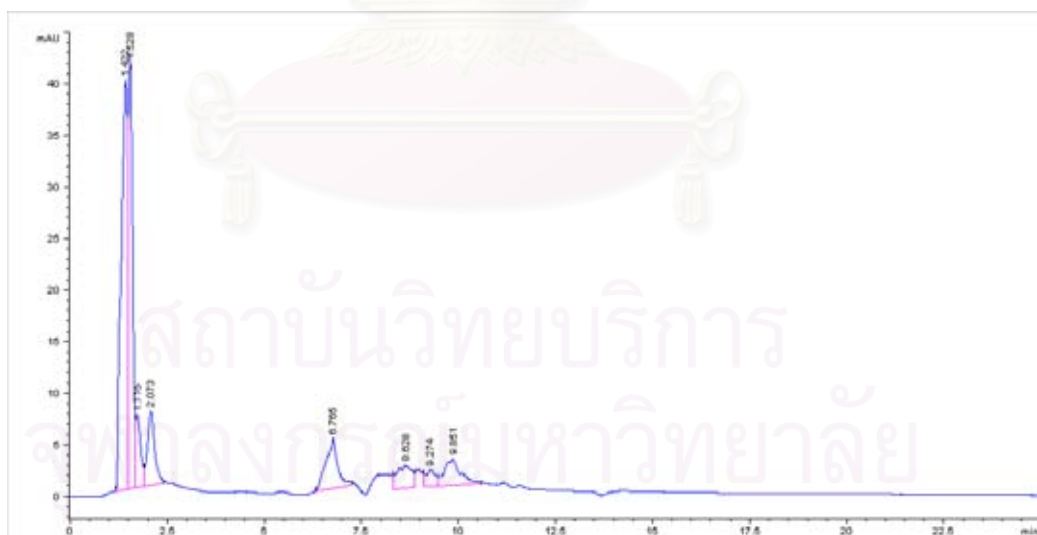
หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกัน คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

จากโครมาโตแกรมที่ได้จาก HPLC ในภาพที่ 4-25 ถึง 4-29 แสดงให้เห็นว่าสารสีที่พบในเพรียงทรายขนาดใหญ่ในชุดควบคุมที่กินอาหารกุ้งและชุดทดลองที่กินอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม มีองค์ประกอบของสารสีที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามสารสีที่พบในเพรียงทรายนั้นมี

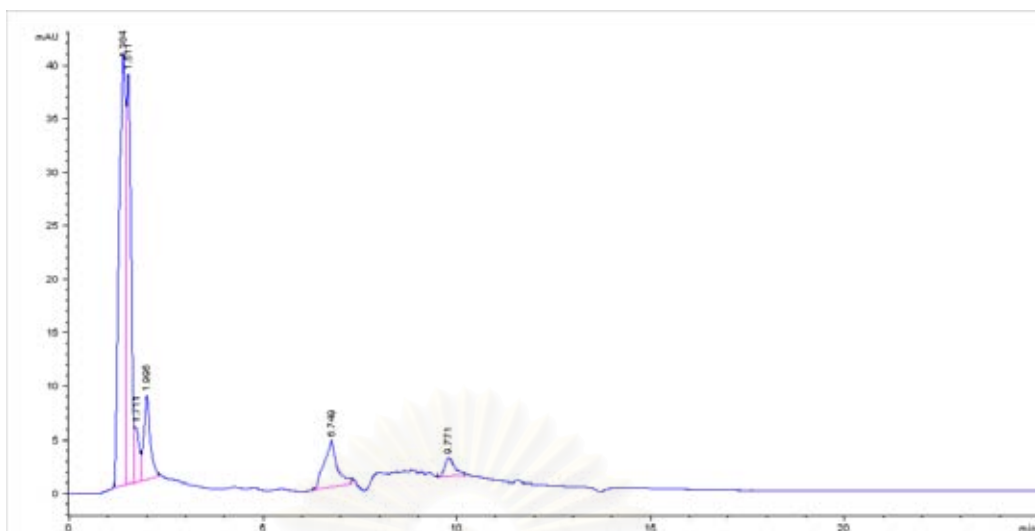
องค์ประกอบสารสีที่ต่างจากสารสีที่พบในอาหารกุ้ง โดยความแตกต่างขององค์ประกอบสารสีในเฟรียงทรายหูดควบคุมและหูดทดลองจะเห็นได้ชัดขึ้นเมื่อทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลานานขึ้น สำหรับการจำแนกชนิดสารสีที่ตรวจพบโดยการเปรียบเทียบสเปกตรัมของฟีกของสารสีชนิดเด่นที่ตรวจพบในช่วงความยาวคลื่น 350-700 นาโนเมตร เทียบกับสเปกตรัมของสารมาตรฐานของสารสีในเอกสารของ Jeffrey *et al.* (1997) นั้นไม่สามารถระบุชนิดของสารสีที่พบได้



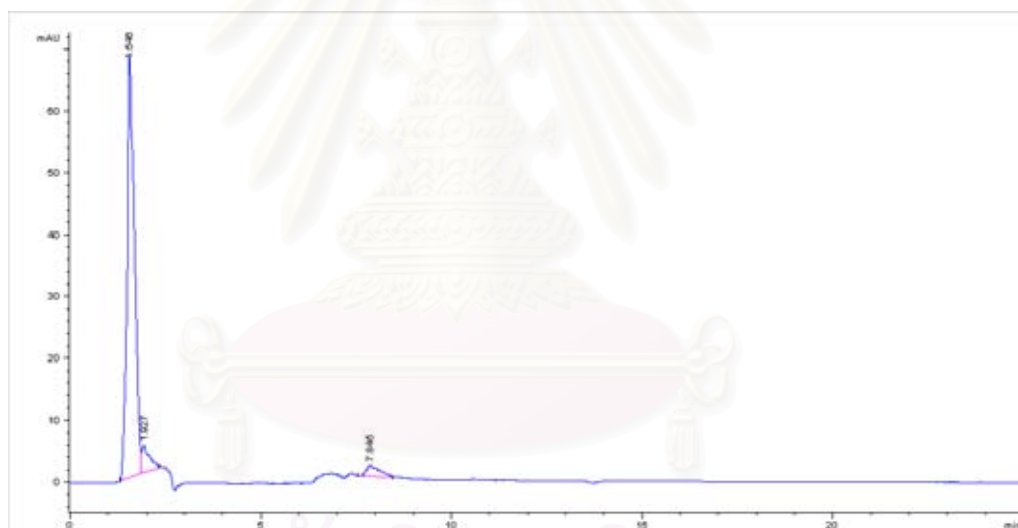
ภาพที่ 4-25 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของอาหารกุ้ง (ขนาดเม็ดใหญ่) ที่ใช้เลี้ยงเฟรียงทราย



ภาพที่ 4-26 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเฟรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง เป็นเวลา 20 วัน ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

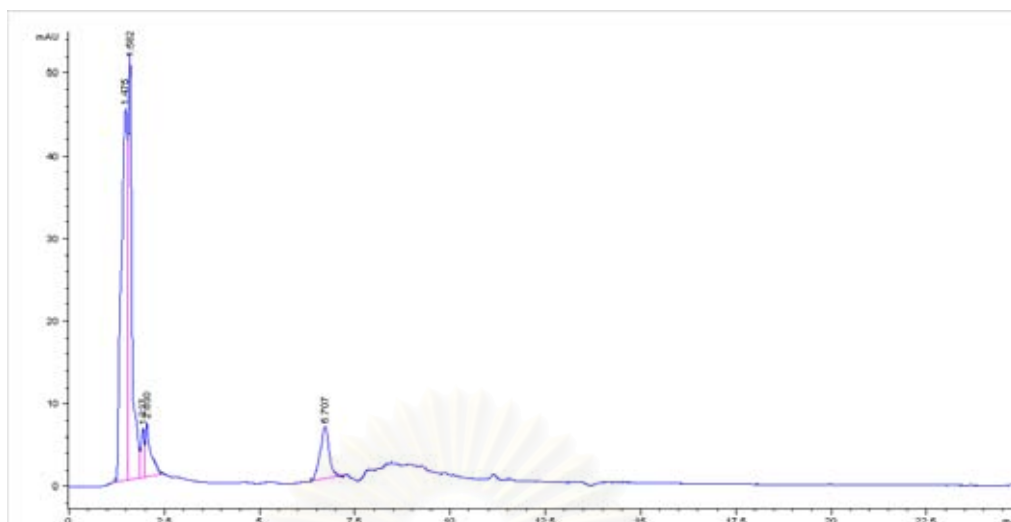


ภาพที่ 4-27 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* เป็นเวลา 20 วัน ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ



ภาพที่ 4-28 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง เป็นเวลา 41 วัน ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



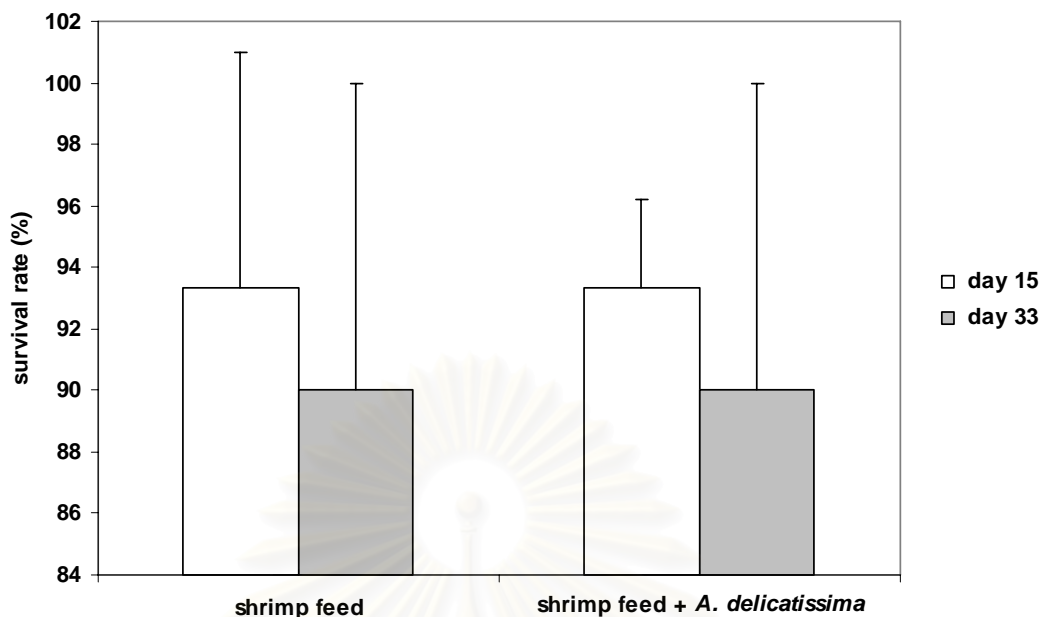
ภาพที่ 4-29 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* เป็นเวลา 41 วัน ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

4.3.3 การเติบโตของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

4.3.3.1 การเติบโตของเพรียงทรายขนาดใหญ่ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

จากการทดลองเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ด้วยอาหารกุ้ง (ชุดควบคุม) และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* (ชุดทดลอง) พบว่าในวันที่ 15 และวันที่ 33 ของการทดลอง เพรียงทรายในชุดควบคุมและชุดทดลองมีอัตราการรอดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 4-30) โดยในวันที่ 15 พบว่าเพรียงทรายชุดควบคุมมีอัตราการรอดร้อยละ 93.33 ± 7.6 และชุดทดลองมีอัตราการรอดร้อยละ 93.33 ± 2.8 ส่วนในวันสุดท้ายของการทดลอง เพรียงทรายทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองมีอัตราการรอดเฉลี่ยเท่ากันคือร้อยละ 90 ± 10

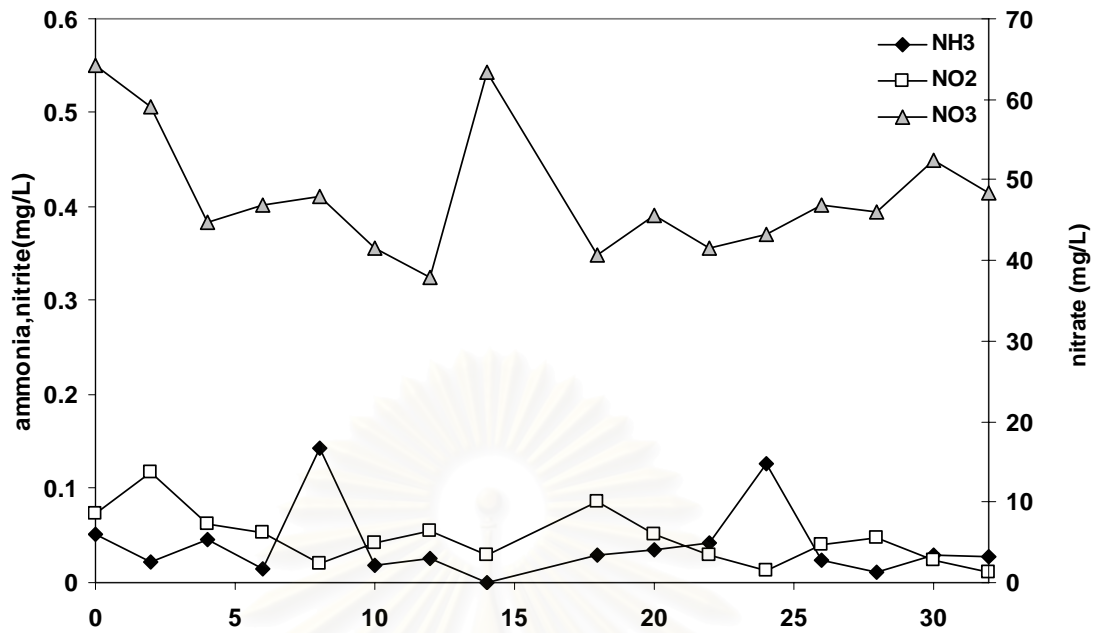
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



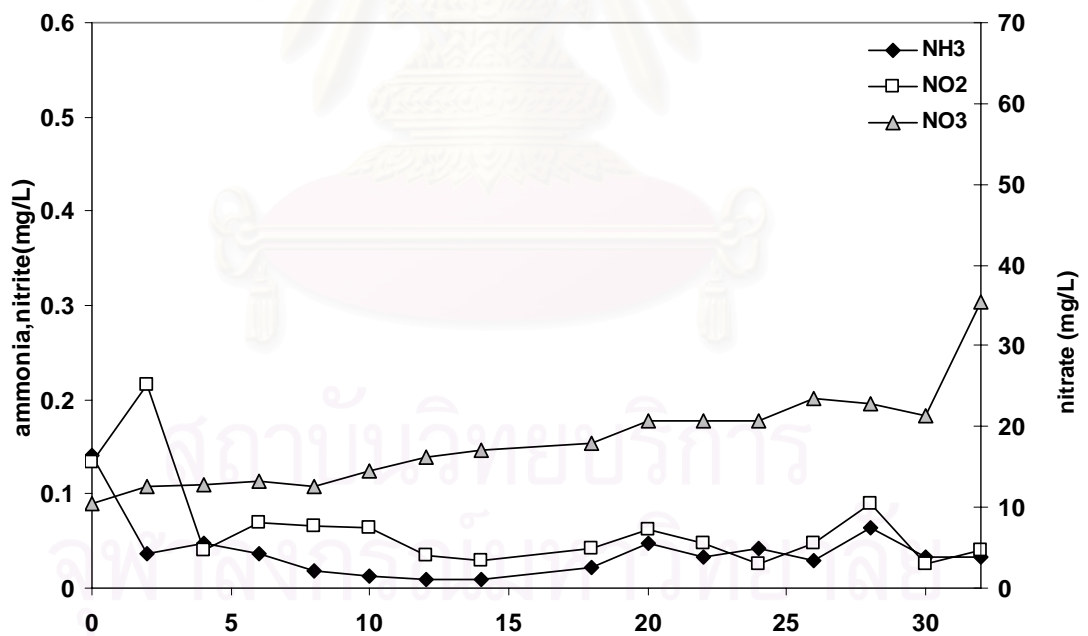
ภาพที่ 4-30 อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่จากธรรมชาติ เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* ในระบบเลี้ยงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 และ 33 วัน

4.3.3.2 คุณภาพน้ำของระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่จากธรรมชาติ ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทรายระบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ พบว่าระบบบำบัดที่ประกอบด้วยระบบแยกฟองโปรตีนและไขมัน และระบบเติมอากาศ สามารถควบคุมคุณภาพน้ำภายในระบบเลี้ยงเพรียงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ ดังแสดงในภาพที่ 4-31 และ 4-32 โดยในชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง พบว่าปริมาณแอมโมเนียมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.14 mg NH₄-N/L ปริมาณไนไตรต์จะมีค่าเฉลี่ยคงที่อยู่ในช่วง 0.011-0.11 mg NO₂-N/L ส่วนปริมาณไนเตรตมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 37.9-52.53 mg NO₃-N/L ในขณะที่ชุดทดลองเลี้ยงเพรียงทรายระบบปิดที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม พบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์อยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกับชุดควบคุม โดยปริมาณแอมโมเนียมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.14 mg NH₄-N/L และปริมาณไนไตรต์จะมีค่าเฉลี่ยคงที่อยู่ในช่วง 0.024-0.13 mg NO₂-N/L ในขณะที่มีปริมาณไนเตรตต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัด โดยไนเตรตแนวโน้มน้อยๆ เพิ่มขึ้นจาก 10.48 mg NO₃-N/L ในวันเริ่มต้นการทดลองเป็น 35.36 mg NO₃-N/L ในวันสุดท้ายของการทดลอง



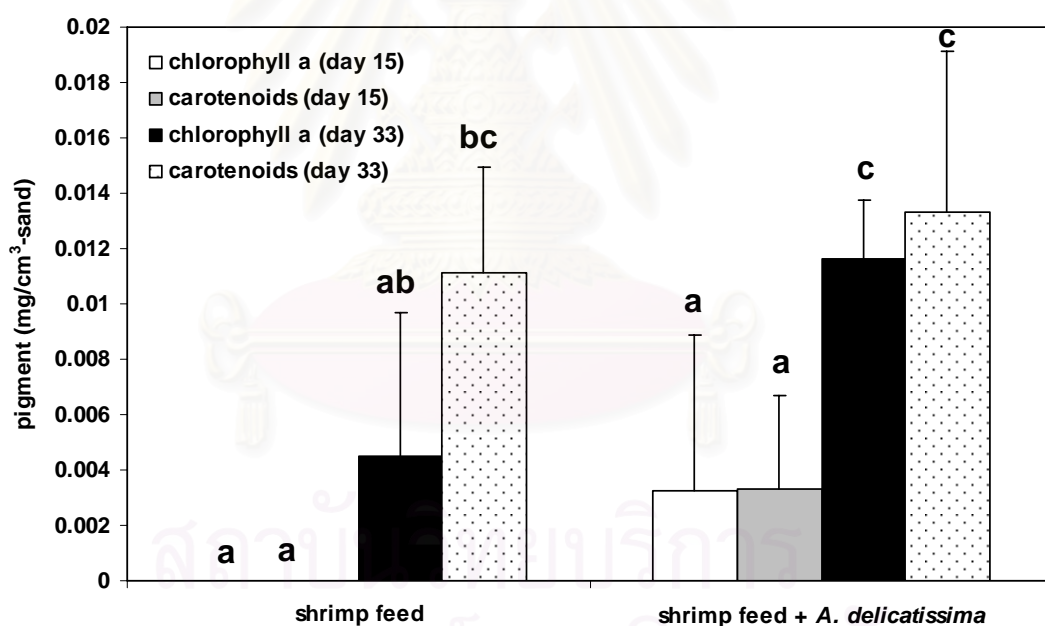
ภาพที่ 4-31 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทรายขนาดใหญ่ ชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งและไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ



ภาพที่ 4-32 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในระบบเลี้ยงเพรียงทรายขนาดใหญ่ ชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

4.3.3.3 สารสีของเพรียงทรายขนาดใหญ่ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารสีในชั้นทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทรายชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง และชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไดอะตอม *A. delicatissima* แสดงในภาพที่ 4-33 พบว่าในวันที่ 15 ทรายของชุดทดลองมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ 0.003 ± 0.005 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.003 ± 0.003 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่ชุดควบคุมตรวจไม่พบทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ ส่วนในวันที่ 33 ของการทดลอง พบว่าทรายของชุดทดลองก็ยังมีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์สูงกว่าทรายของชุดควบคุม โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ 0.011 ± 0.0002 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ 0.004 ± 0.005 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่สำหรับปริมาณแคโรทีนอยด์พบว่าทรายของชุดทดลองมีแคโรทีนอยด์ 0.013 ± 0.005 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่แตกต่างจากทรายของชุดควบคุมที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.011 ± 0.003 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

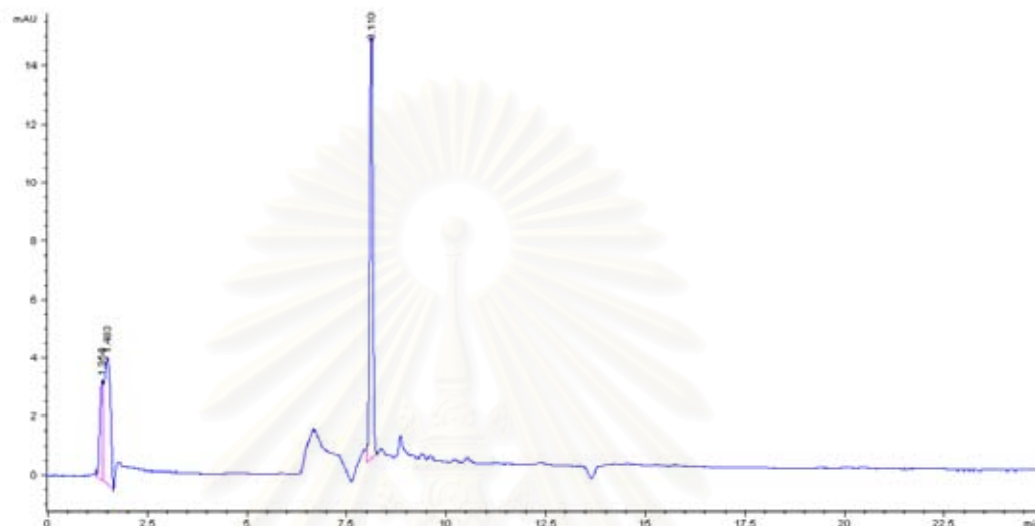


ภาพที่ 4-33 ปริมาณสารสีในชั้นทรายเทียมของระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่จากธรรมชาติ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง และเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไดอะตอม *A. delicatissima* ในระบบการเลี้ยงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกัน คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

4.4.6 สารสีของเพรียงทราย *Perinereis* sp. ขนาดใหญ่ จากธรรมชาติ และที่นำมาเลี้ยงในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

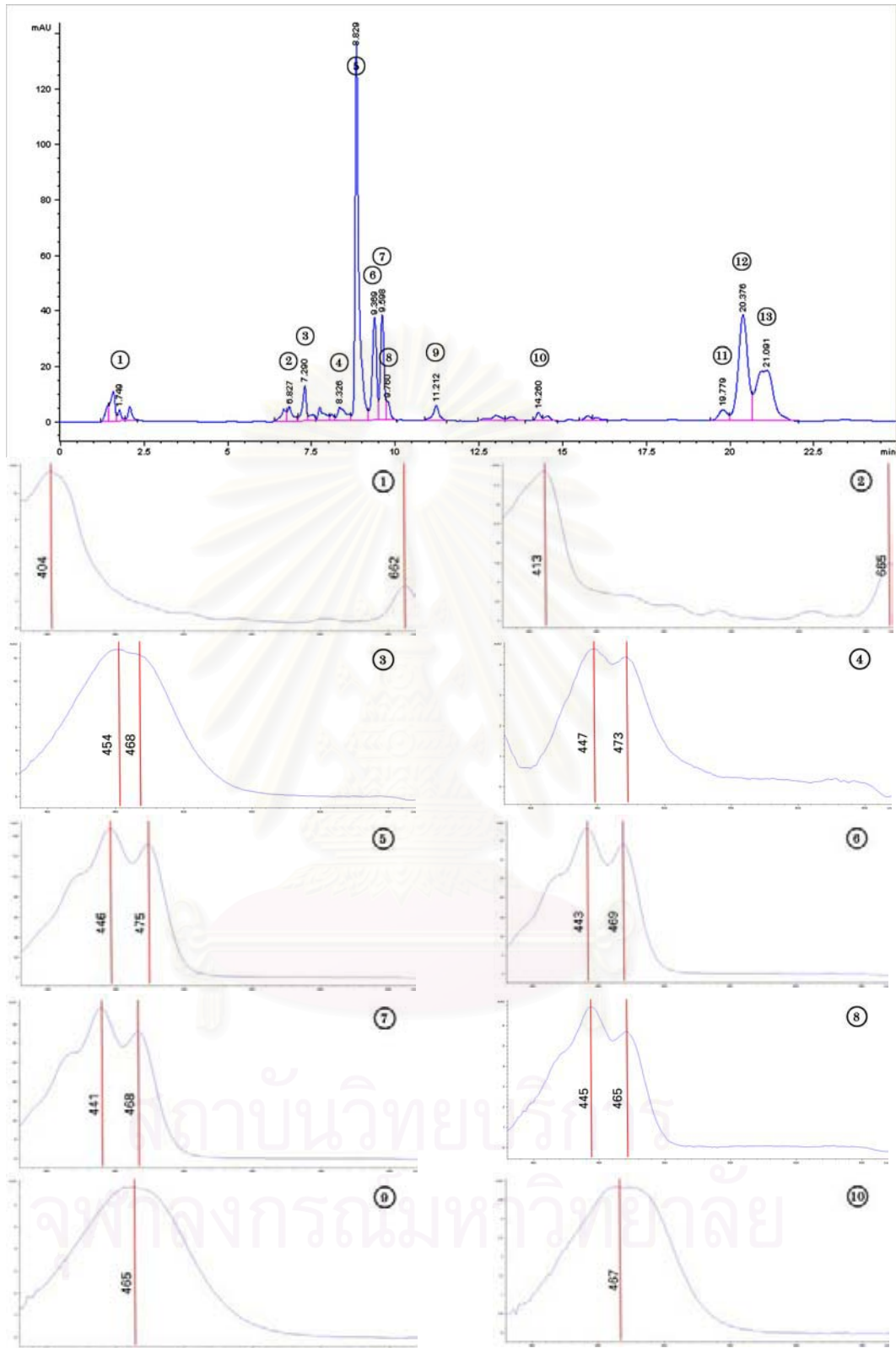
โครมาโตแกรมผลการวิเคราะห์สารสีของอาหารกุ้งด้วย HPLC แสดงในภาพที่ 4-34 พบว่ามีพีคของสารสีในปริมาณน้อยมาก ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบสเปกตรัมของพีคเพื่อจำแนกชนิดของสารสีได้



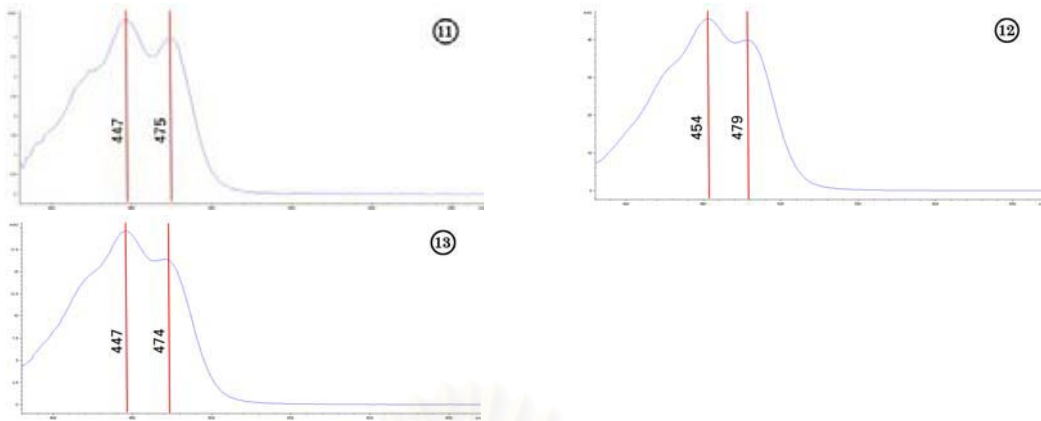
ภาพที่ 4-34 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของอาหารกุ้ง (ขนาดใหญ่) ที่ใช้เลี้ยงเพรียงทราย

โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่จับจากธรรมชาติ (ภาพที่ 4-35) พบพีคของสารที่มีสเปกตรัมคล้ายคลอโรฟิลล์-เอในพีคที่ 1 และ 2 (เวลาที่ 1.749 และ 6.827) ส่วนสารสีแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ ที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ปรากฏในพีคหมายเลข 3-13 ซึ่งสเปกตรัมและความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารสีแต่ละชนิดที่ตรวจพบได้แสดงในภาพย่อยของภาพที่ 4-35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

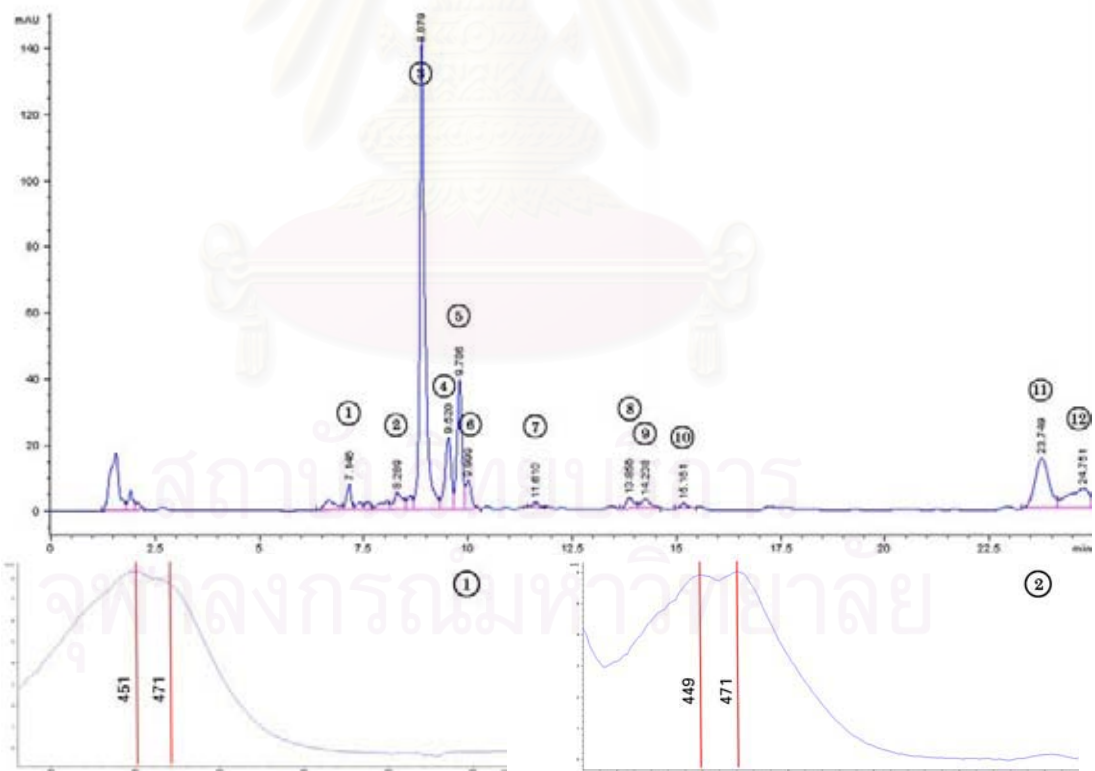


ภาพที่ 4-35 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่จับจากธรรมชาติ โดยพีคที่ 1 และ 2 คือสารที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์ เอ และพีค 3-13 คือสารสีแคโรทีนอยด์ที่ยังไม่สามารถจำแนกชนิดได้

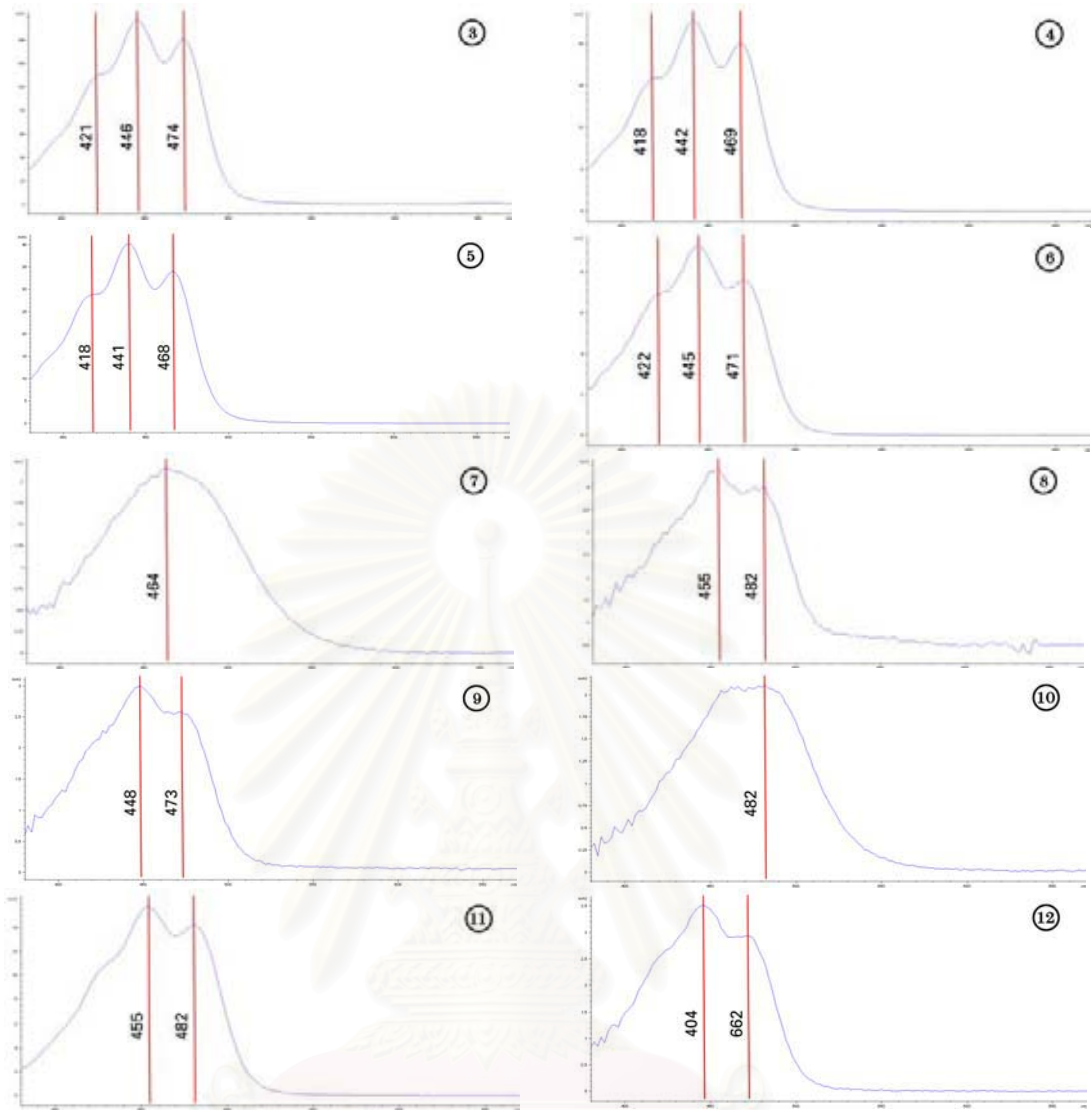


ภาพที่ 4-35 (ต่อ)

โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหาร กุ้ง เป็นเวลา 15 วัน (ชุดควบคุม) ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แสดงในภาพที่ 4-36 พบพีคของ สารสีแคโรทีนอยด์จำนวน 12 ชนิด แต่จากการตรวจสอบสเปกตรัมที่แสดงในภาพย่อยของภาพที่ 4-36 ไม่สามารถจำแนกชนิดของแคโรทีนอยด์ได้

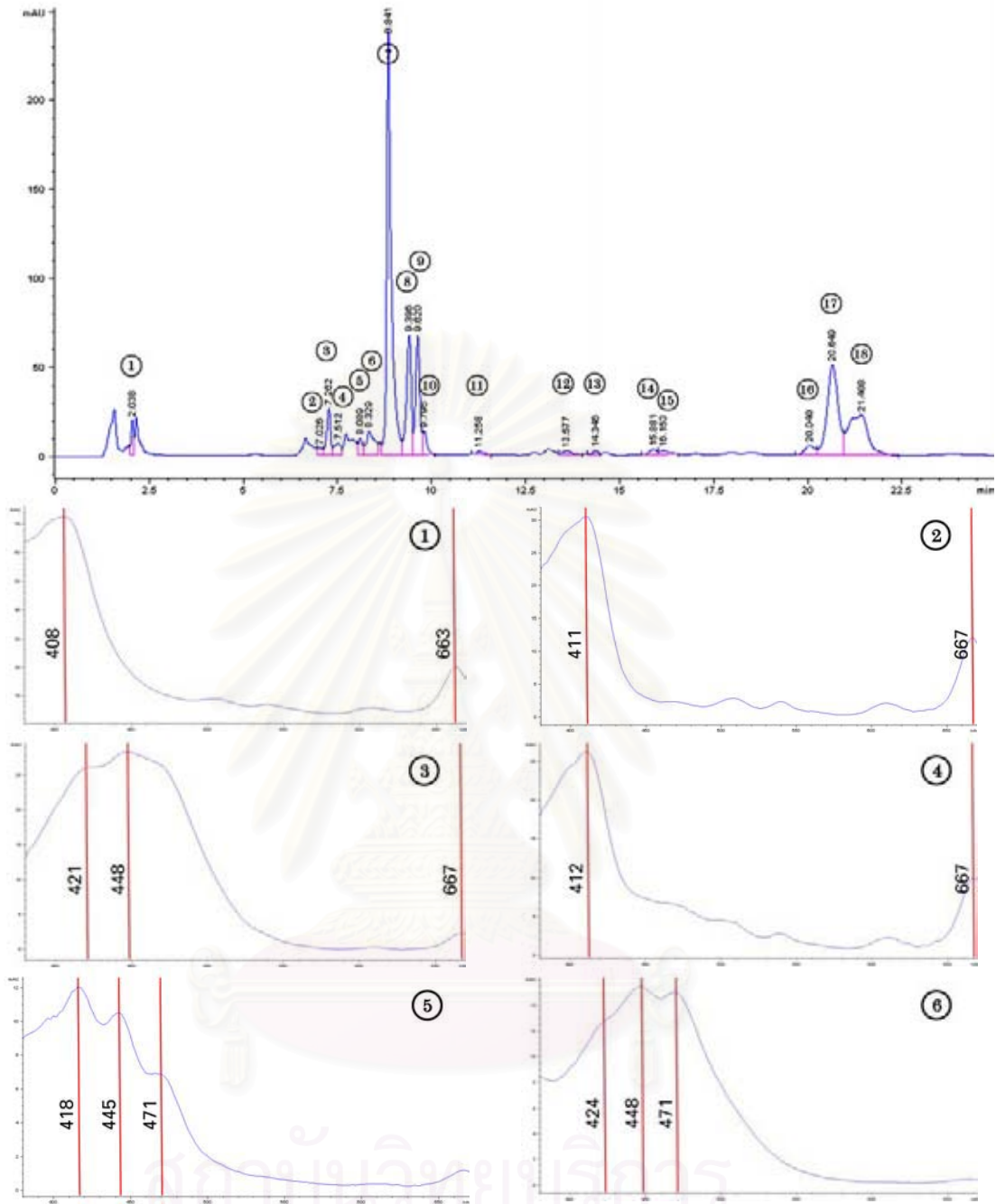


ภาพที่ 4-36 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วย อาหารกุ้ง ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน

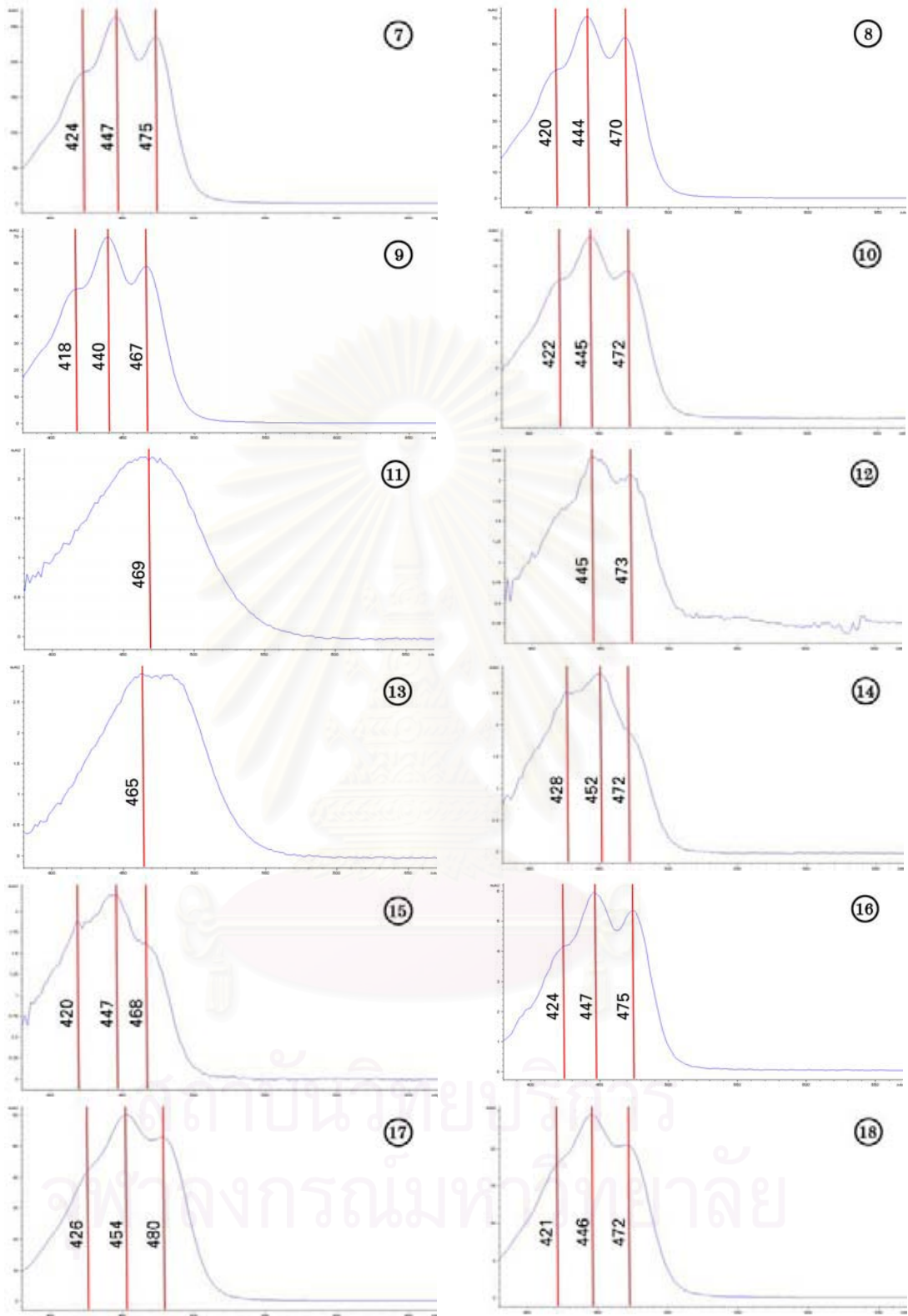


ภาพที่ 4-36 (ต่อ)

โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหาร กุ้งร่วมกับไดอะตอม *A. delicatissima* (ชุดทดลอง) ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน พบว่ามีความแตกต่างจากชุดควบคุม (ภาพที่ 4-37) โดยพบพีคของสารสีที่มีสเปกตรัมคล้ายคลอโรฟิลล์-เอ จำนวน 3 พีค ได้แก่พีคหมายเลข 1, 2 และ 4 (นาทิตี 2.038, 7.026 และ 7.512 ตามลำดับ) ส่วนพีคหมายเลข 3 และพีคหมายเลข 5-18 เป็นสารสีแคโรทีนอยด์ที่มีสเปกตรัมแตกต่างกันซึ่งจากการเปรียบเทียบสเปกตรัมยังไม่สามารถจำแนกชนิดของแคโรทีนอยด์ได้ (ภาพที่ 4-37)



ภาพที่ 4-37 โครมาโตแกรมแสดงสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไดอะตอม *A. delicatissima* ในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน โดยพีคที่ 1, 2 และ 4 คือสารที่มีสเปกตรัมคล้าย คลอโรฟิลล์ เอ และพีคที่ 3 และ 5-18 คือสารสีแคโรทีนอยด์ที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้



ภาพที่ 4-37 (ต่อ)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารสีดังตารางที่ 4-2 พบว่าในอาหารกุ้งนั้นตรวจไม่พบสารสีแคโรทีนอยด์ ในขณะที่ไคอะตอมจะพบสารสีฟูโคแซนทิน 1,736.39 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ รวม 569.75 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนเพรียงทรายขนาดใหญ่ที่กินอาหารกุ้งเสริมด้วยไคอะตอม (ชุดทดลอง) จะพบสารสีแคโรทีนอยด์ 22.048 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนเพรียงทรายชุดควบคุมที่ให้เฉพาะอาหารกุ้งจะพบปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ 11.526 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่พบในเพรียงทรายที่จับจากธรรมชาติซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 13.557 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4-2 ปริมาณสารสีฟูโคแซนทิน (Fucoxanthin) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ชนิดอื่นๆ ในอาหารกุ้ง ไคอะตอม และในเพรียงทรายจากชุดควบคุมและชุดทดลอง ของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน

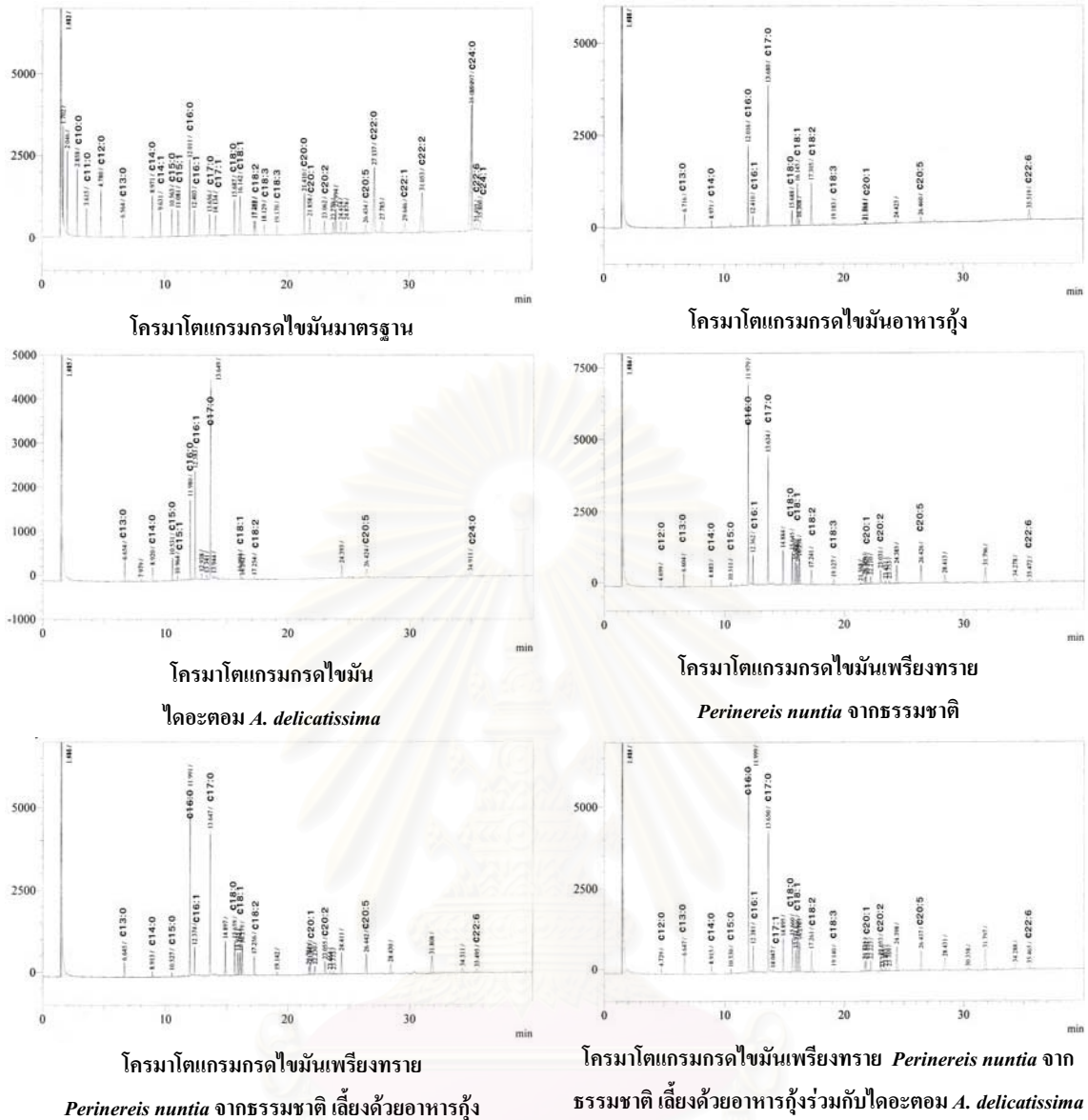
	สารสี (ไมโครกรัม/กรัม นน.แห้ง)	
	แคโรทีนอยด์อื่นๆ	ฟูโคแซนทิน
อาหารกุ้ง	ND	ND
ไคอะตอม	569.75±0.11	1736.39±0.03
เพรียงที่จับจากธรรมชาติ	13.557±0.0002	ND
เพรียงชุดควบคุม (เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง)	11.526±0.0015	ND
เพรียงชุดทดลอง (เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง+ไคอะตอม)	22.048±0.0031	ND

หมายเหตุ ND = ตรวจไม่พบ

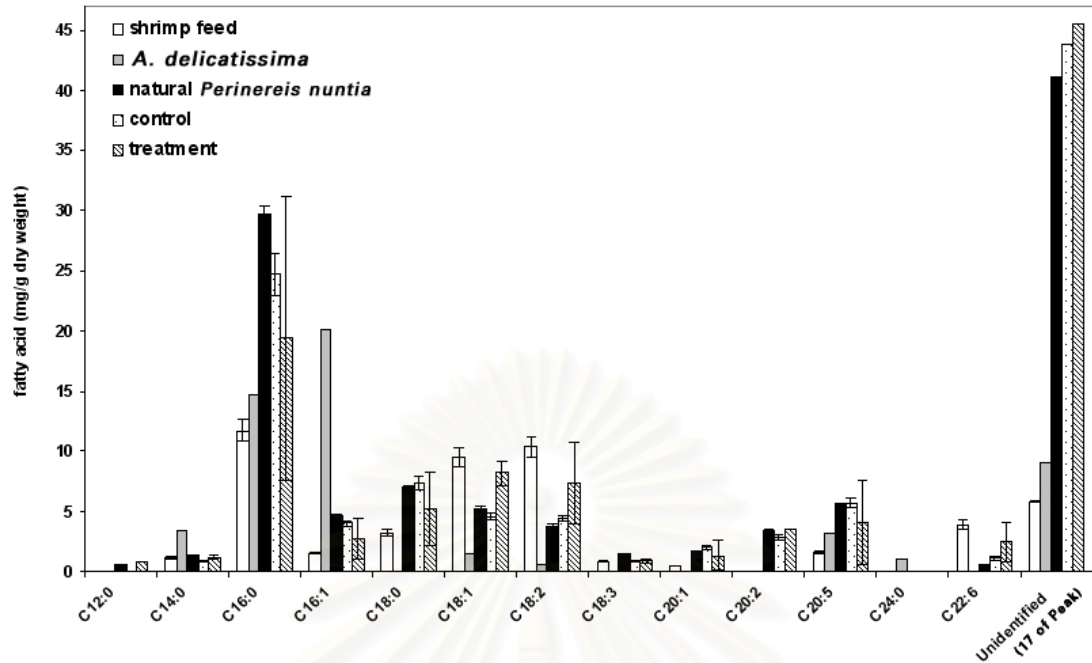
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.7 ชนิดและปริมาณกรดไขมันเพียงทราย *Perinereis nuntia* ขนาดใหญ่

ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในอาหารกุ้ง ในไคอะตอม และในตัวของเพียงทรายแสดงในภาพที่ 4-39 จากภาพโครมาโตแกรม (ภาพที่ 4-38) พบว่าอาหารกุ้งจะมีกรดไขมัน C16:0, C18:1 และ C18:2 เป็นชนิดเด่น ในขณะที่ไคอะตอมจะมีกรดไขมัน C14:0 และ C16:1 เป็นชนิดเด่น เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบกรดไขมันในเพียงจะพบว่าเพียงที่จับจากธรรมชาติ แม้เพียงที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง (ชุดควบคุม) และเพียงที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม (ชุดทดลอง) มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีกรดไขมันที่พบมากคือ C16:0, C18:0, C20:2, C20:5 และส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นกรดไขมันที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ในส่วนของกรดไขมันจำเป็นหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวนั้นพบว่าเพียงทรายจากธรรมชาติมีปริมาณกรดไอโคซาเพนทาอีโนอิก (Eicosapentaenoic acid) หรือ EPA (C20:5) 5.68 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เพียงทรายชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง มีปริมาณ EPA 5.76 ± 0.36 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และเพียงทรายชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม มีปริมาณ EPA 4.08 ± 3.53 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในส่วนของกรดดีโคซาเฮกซาอีโนอิก (Docosahexaenoic acid) หรือ DHA (C22:6) พบว่าเพียงทรายจากธรรมชาติ มีปริมาณ DHA 0.56 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง มีปริมาณ DHA 1.18 ± 0.18 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และในชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม มีปริมาณ DHA 2.50 ± 1.62 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 4-38 โครมาโตแกรมแสดงชนิดกรดไขมันมาตรฐาน, อาหารกุ้ง, ไดอะตอม *A. delicatissima*, เพรียงทราย *Perinereis nuntia* จากธรรมชาติ, เพรียงทรายจากธรรมชาติที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเพรียงทรายจากธรรมชาติที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับ ไดอะตอม *A. delicatissima* โดยเลี้ยงในระบบปิดที่ไม่มีมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 4-39 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของอาหารกุ้ง, ไคอะตอม *A. delicatissima*, เพรียงทรายจากธรรมชาติ, เพรียงทรายจากธรรมชาติที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเปรียงทรายจากธรรมชาติที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* โดยเลี้ยงในระบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 15 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการทดลอง

การศึกษาการเติบโตของไคอะตอม *Amphora delicatissima* ในระบบการเลี้ยงแบบกะ (batch) ในชั้นทรายธรรมชาติ 2 ขนาดคือ ขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 และ 0.7-2 มิลลิเมตร พบว่าไคอะตอม มีการเติบโตสูงสุดในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร โดยเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีความหนาแน่นสูงสุด $465 \pm 199 \times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ภาพที่ 4-1) พบว่าที่บริเวณผิวด้านบนของชั้นทรายจนถึงความลึก 0.3 เซนติเมตร ทั้งในชุดทดลองที่มีทรายอนุภาคขนาดเล็ก (0.3-0.7 มิลลิเมตร) และทรายที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ (0.7-2 มิลลิเมตร) มีจำนวนเซลล์ไคอะตอมสูงกว่าที่พบในชั้นทรายที่อยู่ลึกลงไปข้างล่าง โดยที่ความหนาแน่นของไคอะตอมในชุดทดลองทั้งสองไม่แตกต่างกัน แต่ในชั้นทรายระดับลึกลงไป (0.3-0.5 เซนติเมตร) พบว่าชุดทดลองที่ใช้เม็ดทรายขนาดอนุภาคใหญ่ (0.7-2 มิลลิเมตร) จะพบจำนวนเซลล์ไคอะตอมมากกว่าในทรายขนาดเล็กเนื่องจากทรายที่มีอนุภาคใหญ่จะมีช่องว่างระหว่างเม็ดทรายมากกว่าทำให้เซลล์ไคอะตอมสามารถเคลื่อนที่แทรกตัวลงไปชั้นทรายที่ลึกได้ง่าย (ภาพที่ 4-2) และจากการทดลองหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของไคอะตอมบนสไลด์นับเม็ดเลือด (ภาคผนวก ภาพที่ จ.1) พบว่าไคอะตอม *A. delicatissima* สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.41 ไมโครเมตรต่อวินาที หากประมาณการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงพบว่าไคอะตอมจะใช้เวลาประมาณ 40 นาที ในการเคลื่อนที่ระยะทาง 1 มิลลิเมตร ซึ่งในความเป็นจริงไคอะตอมไม่ได้เคลื่อนที่ตลอดเวลา และการเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดทรายก็จะได้ไม่เป็นเส้นตรง ทั้งนี้ไคอะตอมแต่ละชนิดก็มีวิธีการเคลื่อนที่ความเร็วที่ต่างกัน โดยความเร็วของการเคลื่อนที่ของ *A. delicatissima* ที่วัดได้นี้ก็มีค่าใกล้เคียงกับไคอะตอม *Synedra tabulate* สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็ว 0.1-1 ไมโครเมตรต่อวินาที (Werner, 1977) ผลการทดลองในส่วนนี้ชี้ให้เห็นว่าไคอะตอม *A. delicatissima* สามารถแทรกตัวลงไปเติบโตได้ในชั้นทราย และ Jewson *et al.* (2006) ได้ศึกษาโดยการตรวจวัดจำนวนไคอะตอมจากปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เม็ดทรายพัฒนา พบว่าไคอะตอมในธรรมชาติจำนวนมากว่าครึ่งของจำนวนไคอะตอมทั้งหมด สามารถถูกพัฒนาไปกับเม็ดทรายที่ถูกคลื่นพัดไป

การทดลองที่ 3.1.2 เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติบโตของไคอะตอมในทรายธรรมชาติและทรายเทียม พบว่าไคอะตอมสามารถเติบโตได้ดีที่สุดในทรายธรรมชาติ แต่ไคอะตอมที่ตรวจพบในทรายเทียมจะมีความหนาแน่นสูงกว่าทรายธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความลึกเท่ากัน ซึ่งเป็น

ประเด็นที่ขัดแย้งกับความหนาแน่นเซลล์ไคอะตอมรวมตลอดความลึกของชั้นทราย ประเด็นนี้ก็สามารถอธิบายได้จากช่องว่างของทรายเทียมที่มีมากกว่าและยังมีรูปร่างของอนุภาคเป็นเกล็ดแบนและมีน้ำหนักเบา ต่างจากทรายธรรมชาติที่เป็นเม็ดขนาดเล็กอัดตัวกันแน่นกว่า นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการเก็บตัวอย่างจากการสุ่มเพียง 3 ซ้ำ ซึ่งทำให้เกิดความแปรปรวนของข้อมูลขึ้นได้ ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณไคอะตอมในชั้นทรายที่ต่างชนิดกันนั้นอาจไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากในที่นี้จำเป็นต้องเปรียบเทียบโดยใช้ทรายปริมาตรเท่ากัน เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างทรายด้วยท่อพลาสติกขนาดหน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตร เพื่อนำมาแยกไคอะตอมออกจากทรายก่อนทำการนับจำนวน การที่ทรายแต่ละชนิดจะมีช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลต่อที่ว่างที่ไคอะตอมจะอาศัยอยู่ได้ อย่างไรก็ตามแม้การเปรียบเทียบปริมาณไคอะตอมที่พบในทรายแต่ละชนิดมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง ผลการทดลองก็ยังสามารถยืนยันได้ว่ามีไคอะตอม *A. delicatissima* อาศัยแทรกตัวอยู่ในพื้นทรายลงไปในระดับความลึกหลายเซนติเมตร จึงน่าจะเป็นอาหารธรรมชาติของเพรียงทรายได้

การทดลองเรื่องผลของแสงต่อการเติบโตของไคอะตอม ใช้ชั้นทรายหนา 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 5 กรัมคาร์บอนต่อลิตร) พบว่าในสถานะที่ไม่ให้แสง หรือเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic) ไคอะตอมยังคงมีชีวิตอยู่ในชั้นทรายแต่มีความหนาแน่นเซลล์ที่ค่อนข้างต่ำ ส่วนในสถานะที่มีทั้งแสงและสารอินทรีย์ หรือมิกโซโทรฟิก (mixotrophic) ไคอะตอมมีความหนาแน่นสูงที่สุดในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร โดยมีความหนาแน่นสูงสุด $52.33 \pm 22 \times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 9 ของการทดลอง (ภาพที่ 4-5) อย่างไรก็ตามแม้ว่าไคอะตอมในสถานะมิกโซโทรฟิกจะมีความหนาแน่นเซลล์ที่สูงกว่าสถานะเฮเทอโรโทรฟิก แต่ก็ยังเป็นความหนาแน่นที่ต่ำ ซึ่งงานวิจัยของ Trainor (1978) พบว่าการเลี้ยงสาหร่ายที่เสริมสารคาร์บอนอินทรีย์ร่วมกับการให้แสง (mixotrophic) จะมีการเติบโตได้ดีกว่าการเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิก โดยผลของปริมาณออกซิเจนที่มีไม่เพียงพอเนื่องจากการหมุนเวียนหรือการผสมของน้ำที่ไม่ดีจะทำให้เซลล์ไคอะตอมที่เติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟิกได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้ออกซิเจนในน้ำก็ยังถูกใช้ในการหายใจของแบคทีเรียที่มีอยู่ในชั้นทรายตามธรรมชาติ และแบคทีเรียดังกล่าวจะถูกกระตุ้นให้เพิ่มจำนวนขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนลงในระบบ ทำให้การขาดออกซิเจนนั้นสามารถเกิดได้แม้ว่าทรายจะมีความหนาแน่นเพียง 2.5 เซนติเมตรก็ตาม

การเติบโตของไคอะตอมในสถานะเฮเทอโรโทรฟิกในชั้นทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน 3 ขนาด คือขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ในหัวข้อ 4.1.2 พบว่าความหนาแน่นของเซลล์ที่พบในชั้นทรายไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทรายเทียมที่ใช้เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน และมีรูปร่างค่อนข้าง

เป็นเกล็ดมากกว่าเป็นก้อน ดังนั้นแม้ว่าทรายเทียมจะมีขนาดแตกต่างกันแต่เมื่อนำมาวางเป็นชั้นทรายก็จะมีขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคไม่แตกต่างกันมากนัก

การเพิ่มความหนาของชั้นทรายขึ้นจาก 2.5 เซนติเมตรเป็น 10 เซนติเมตรในการทดลอง 3.2 เมื่อทำการทดลองเลี้ยงไคอะตอมในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิกในที่มีดพบว่าไคอะตอมมีการเติบโตต่ำมากในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียมทุกขนาด (ภาพที่ 4-8) และการทดลองต่อมาในหัวข้อ 3.3.2 ที่เปลี่ยนจากการให้อาหารกึ่งบด เป็นอาหารกึ่งชนิดเม็ดแทน และสภาวะต่างๆ เหมือนกับการทดลองข้างต้น ก็ได้ผลเช่นเดียวกันคือไคอะตอมแทบจะไม่มีการเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น แต่การส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าไคอะตอมยังมีสภาพเซลล์ปกติ จึงได้ทำการทดลอง 3.3.3 โดยเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในอาหารจาก 1 เป็น 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร เพื่อเป็นการทดสอบว่าการเติบโตที่จำกัดเป็นผลเนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ไม่เพียงพอหรือไม่ ซึ่งผลการทดลองในภาพที่ 4-9 ก็แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณสารอาหารไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราการเติบโตของไคอะตอมในชั้นทราย แม้ว่าจะพบว่าไคอะตอมชุดควบคุมที่เลี้ยงในระบบที่ไม่มีทรายจะมีการเติบโตที่ดีกว่าเล็กน้อย แต่การเติบโตก็ยังต่ำกว่าที่พบในระบบเลี้ยงแบบโฟโตออโตโทรฟิกอยู่มาก

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการเพิ่มจำนวนของไคอะตอมก็คือซิลิกาที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกเซลล์ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2541) การทดลองในหัวข้อ 3.3.4 ได้เพิ่มอาหารเพาะเชื้อสำหรับยีสต์ F/2 ซึ่งจะเป็แหล่งสารอาหารอนินทรีย์และซิลิกาที่จำเป็นสำหรับการเติบโต และในขณะเดียวกันก็ได้เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนขึ้นเป็น 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร แต่ก็ไม่ได้ช่วยเพิ่มการเติบโตของไคอะตอมในชั้นทรายที่อยู่ในสภาวะที่ไม่มีแสง

อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในงานวิจัยนี้เพื่อเพิ่มอัตราการเติบโตของไคอะตอม จะไม่สามารถเปรียบเทียบได้กับงานวิจัยการเลี้ยงไคอะตอม *A. delicatissima* ในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิกที่ได้มีรายงานไปก่อนหน้านี้ (ชมพูนุท ชัยรัตน์ และคณะ, 2545; มะลิวัลย์ คุตะโค และคณะ, 2547) เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวเป็นการเลี้ยงไคอะตอมแบบปราศจากการปนเปื้อน (axenic culture) ทำให้ไคอะตอมสามารถนำสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารเพาะเชื้อไปใช้ได้เต็มที่ ในขณะที่การเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและสารอาหารอื่นๆ ในรูปของอาหารกึ่ง ในสภาวะจำลองของถังเลี้ยงแม่เพรียงทราย จะมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ตามธรรมชาติ การแย่งใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ในน้ำและในชั้นทรายจึงทำให้ไคอะตอมได้รับสารอาหารที่น้อยกว่าความต้องการ การเติบโตของไคอะตอมจึงถูกจำกัด

จากการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่าไคอะตอม *A. delicatissima* สามารถที่จะมีชีวิตอยู่ในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียม (vermiculite) และมีอาหารกึ่งเป็นแหล่งของสารอาหาร โดยไม่จำเป็นต้องมีแสง (สภาวะเฮเทอโรโทรฟิก) ซึ่งจัดว่าเป็นสภาวะแวดล้อมเดียวกันกับที่พบในถังเลี้ยงเพรียงทรายทั่วไป แต่ว่าไคอะตอมมีการเติบโตที่ค่อนข้างต่ำ มีความเป็นไปได้ยากที่จะเพิ่มความหนาแน่นเซลล์ไคอะตอมในชั้นทรายเทียมให้มีปริมาณมากจนมีส่วนเป็นอาหารเสริมให้กับเพรียง

ดังนั้นจึงได้ปรับเปลี่ยนการทดลองจากเดิมที่จะให้ไคอะตอมมีการเพิ่มจำนวนขึ้นเองตามธรรมชาติมาเป็นวิธีการเพิ่มจำนวนเซลล์ไคอะตอมให้มีความหนาแน่นสูงในขวดเลี้ยงที่อยู่ในห้องปฏิบัติการสำหรับ ตามวิธีของมะลิวัลย์ คุตะโค (2546) ซึ่งรายละเอียดวิธีการเลี้ยงแสดงในภาคผนวก ง. หลังจากที่ได้เซลล์ไคอะตอมที่มีความหนาแน่นสูง จึงนำมาทิ้งให้ตกตะกอนและนำเซลล์ที่ตกตะกอนนั้นไปเติมลงในระบบเลี้ยงเพรียงทรายต่อไป

ในลำดับต่อมาจึงได้ทำการทดลองเลี้ยงเพรียงทรายขนาดเล็กที่เพาะพันธุ์ได้ในฟาร์มของบริษัทต้นอคควอดิก แม่เพรียงทรายดังกล่าวมีความยาว 1-2 เซนติเมตร จากผลการทดลองพบว่าเพรียงทรายที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งและเสริมด้วยไคอะตอมจะมีอัตราการรอดสูงกว่าชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งเพียงอย่างเดียว และเพรียงดังกล่าวยังมีองค์ประกอบสารสีที่คล้ายกับไคอะตอม *A. delicatissima* โดยเฉพาะการพบสารสีฟูโคแซนทินซึ่งเป็นสารสีเด่นของไคอะตอมในตัวเพรียงทราย ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าเพรียงทรายกินอาหารกุ้งและไคอะตอมที่แทรกตัวอยู่ในชั้นทรายเป็นอาหาร นอกจากนี้การที่สารสีที่ตรวจพบในโครมาโตแกรมมีสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป แสดงให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารสี (pigment degradation) ของเพรียงทราย ซึ่งน่าจะเกิดจากกระบวนการย่อยและเมแทบอลิซึมในตัวของเพรียงทรายเอง สรุปได้ว่าสารสีจากไคอะตอมสามารถถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารได้ การทดลองของ Domínguez *et al.* (2005) พบว่าโรดิเฟอร์ที่กินสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* จะได้รับสารสีแอสตาแซนทินสะสมในตัว โดยจะถูกถ่ายทอดต่อไปยังสัตว์น้ำที่กินตามลำดับห่วงโซ่อาหาร เช่นเดียวกับการทดลองของ Bjerkeng *et al.* (1993) พบว่าสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ตรวจพบสะสมในหอยแมลงภู่ *Modiolus modiolus* ได้มาจากการกรองกินสาหร่ายกลุ่มไคอะตอม และไคแฟลกเจลเลตในบริเวณที่มันอาศัยอยู่ และในหอยแมลงภู่ *Mytilus edulis* ก็ตรวจพบการสะสมสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายเช่นเดียวกัน (Partali *et al.*, 1993)

ในการทดลองหัวข้อ 3.3 เป็นการเลี้ยงเพรียงทรายวัยอ่อนในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 55 วัน พบว่าระบบสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ของแบคทีเรียที่มีอยู่ในชั้นทรายเทียมซึ่งจะทำให้หน้าที่เป็นวัสดุให้แบคทีเรียยึดเกาะ (Armstrong และ Prosser, 1988) นอกจากนี้ยังพบว่าในชุดการทดลองที่ให้อาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอมจะพบว่ามีปริมาณไนเตรตที่ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ให้อาหารกุ้งเพียงอย่างเดียว สาเหตุประการหนึ่งอาจมาจากการนำไนโตรเจนส่วนหนึ่งเข้าสู่เซลล์ของไคอะตอมเพื่อใช้ในการเติบโต (Darley, 1982) ส่งผลให้มีปริมาณไนเตรตในชุดทดลองและชุดควบคุมมีปริมาณแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4-34 และ 4-35

อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองเสริมไคอะตอมในระบบเลี้ยงเพรียงทรายขนาดใหญ่ กลับไม่พบความแตกต่างของสารสีในชุดควบคุมและชุดทดลองที่มีการเสริมไคอะตอม แสดงว่าเพรียงขนาดใหญ่จะมีการเลือกกินอาหารกุ้งที่มีลักษณะเป็นเม็ดมากกว่าที่จะกินอาหารธรรมชาติในดิน

ตะกอน ซึ่งในการเลี้ยงเพรียงทรายนั้นจะมีการให้อาหารเป็นเวลาและจะเห็นว่าเพรียงทรายขนาดใหญ่จะหลุดจากทรายขึ้นมาทันทีที่มีการให้อาหาร และเมื่ออาหารหมดเพรียงทรายก็จะกลับฝังตัวลงใต้ทรายเช่นเดิม พฤติกรรมลักษณะนี้จึงเป็นที่เชื่อได้ว่าการเติมโคอะตอมเพื่อเป็นอาหารเสริมในเพรียงทรายขนาดใหญ่ นั้นอาจเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมนัก แต่การเสริมโคอะตอมก็ยังคงมีประโยชน์ในด้านอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลการทดลองในภาพที่ 4-31 และ 4-32 แสดงให้เห็นว่าการที่มีโคอะตอมอยู่ในชั้นทรายจะช่วยลดปริมาณไนเตรดในระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้เลี้ยงเพรียงทรายขนาดใหญ่ได้ ซึ่งผลการทดลองนี้ก็สอดคล้องกับผลการทดลองในระบบเลี้ยงเพรียงวัยอ่อนที่ได้อภิปรายไปก่อนหน้านี้

ในส่วนของผลการวิเคราะห์กรดไขมันในอาหารกุ้ง ในโคอะตอม และในเพรียงทรายทั้งวัยอ่อนและตัวเต็มวัย พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในเพรียงทรายจะคล้ายกับกรดไขมันที่พบในอาหารกุ้งซึ่งเป็นอาหารหลักในการเลี้ยงเพรียงทราย ดังนั้นการเสริมโคอะตอมจึงไม่มีผลมากนักในการเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acids) ซึ่งสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง แต่ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น แต่ประเด็นที่น่าสนใจก็คือการพบกรดไขมันที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ในปริมาณที่มาก ซึ่งทำให้องค์ประกอบกรดไขมันของเพรียงทรายในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างจากอาหารกุ้งและโคอะตอมอย่างชัดเจน ซึ่งประเด็นการพบกรดไขมันจำเป็นชนิดไม่โอเมก้าหลายชนิดในเพรียงทรายนั้นนับเป็นสิ่งสำคัญต่อคุณค่าทางอาหารของเพรียงทราย โดยเฉพาะกรดไขมันที่เป็นที่ต้องการเช่น EPA, DHA และ AA (Arachidonic acid) ในขณะที่กระบวนการสร้างกรดไขมันในเพรียงทรายนั้นยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ว่ากรดไขมันจำเป็นที่พบในเนื้อเยื่อของเพรียงทรายนั้นได้มาจากจุลินทรีย์ในดินหรือสร้างขึ้นได้โดยตัวของเพรียงทรายเอง Olive *et al.* (2006) รายงานผลการเลี้ยงไส้เดือนทะเล *Arenicola marina* L. ตรวจพบกรดไขมัน iso15:0, iso16:0 และ ant16:0 ในระบบเลี้ยง และเนื้อเยื่อของไส้เดือนทะเล แสดงว่าแบคทีเรียในทรายสามารถสังเคราะห์ EPA, AA และ DHA ได้ ซึ่งกรดไขมันในตัวหนอนทะเลอาจได้รับมาจากแบคทีเรียในทรายนั่นเอง การศึกษาของ Saito (2007) พบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวใหม่ *n*-4 กลุ่ม NMI-PUFA ที่สร้างจากแบคทีเรีย ที่ต่างจากกรดไขมันที่ตรวจพบในสัตว์ทะเล และสามารถถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารได้

แม้จะยังไม่มีรายงานออกมาอย่างเป็นทางการ แต่เป็นที่ทราบกันว่าในประเทศไทยได้มีการทดลองเติมสาหร่ายเซลล์เดียวลงในระบบเลี้ยงเพรียงทราย (สุรพล ชุมหับันจิต, ติดต่อส่วนตัว) โดยสาหร่ายที่ใช้มักเป็นโคอะตอมเช่น *Chaetoceros* sp. ซึ่งการเติมโคอะตอมชนิดที่ต้องการแสงในการเติบโต จะมีข้อจำกัดอยู่มากเนื่องจากสภาพแวดล้อมในถังเลี้ยงเพรียงทรายไม่เหมาะสมกับการเติบโตของโคอะตอมในแบบโฟโตออโตโทรฟิก แต่ในงานวิจัยนี้พบว่าโคอะตอม *A. delicatissima* นั้นสามารถมีชีวิตและเติบโตได้โดยไม่ต้องแสง การมีโคอะตอมในทรายจึงส่งผลดีหลายประการได้แก่ เป็นอาหารเสริมของเพรียงทราย ช่วยลดปริมาณของเสียในโคโรเจนในระบบ และยัง

อาจช่วยลดปัญหาการเติบโตและสะสมของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่อยู่ในทรายได้อีก ซึ่งประเด็นหลังนี้ยังต้องการพิสูจน์ต่อไป

สรุปผลการทดลอง

1. ขนาดเม็ดทรายมีผลต่อการเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* เนื่องจากช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่มีขนาดต่างกันจะส่งผลต่อการเติบโต ซึ่งไคอะตอมสามารถเติบโตได้ดีที่สุดในทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตรมีความหนาแน่นสูงสุดถึง $465 \pm 199 \times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตรในวันที่ 8 ของการทดลอง และไคอะตอมจะมีการเติบโตได้ดีในสภาวะมิกโซโทรฟิกในชั้นทรายที่สารอินทรีย์คาร์บอนและได้รับแสง

2. การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* แบบเฮเทอโรโทรฟิกในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายเทียม (vermiculite) โดยมีอาหารกึ่งเป็นแหล่งสารอาหารหลัก และระบบอยู่ในสภาวะที่ไม่มีแสง จะพบการเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ไคอะตอมไม่มาก แต่ไคอะตอมสามารถดำรงชีวิตอยู่ในระบบเลี้ยงได้โดยมีสภาพเซลล์ที่สมบูรณ์และมีสารสีเหมือนไคอะตอมปรกติที่เติบโตแบบโฟโตออโตโทรฟิก

3. การเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ้วยอ่อนด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม สามารถที่จะทำให้สารสีจากไคอะตอมถูกถ่ายทอดไปสู่แม่เพรียงทรายตามห่วงโซ่อาหารได้ โดยสารสีที่พบได้มากที่สุดคือฟูโคแซนทิน (Fucoxanthin) ซึ่งเป็นสารสีชนิดเด่นในไคอะตอมโดยจะพบได้เฉพาะในเพรียงทรายจากชุดทดลองที่เติมไคอะตอมเท่านั้น นอกจากนั้นแล้วปริมาณสารสีที่พบในชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอมสูงกว่าชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งเพียงอย่างเดียวทุกชุดการทดลอง ในขณะที่การเสริมไคอะตอมไม่ช่วยเพิ่มหรือเปลี่ยนแปลงปริมาณและองค์ประกอบสารสีในเพรียงทรายขนาดใหญ่ เนื่องจากเพรียงจะเลือกกินเฉพาะอาหารกึ่งเป็นหลัก

4. การเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม พบว่ามีปริมาณกรดไขมันที่ไม่สามารถจำแนกได้ปริมาณที่สูงกว่าชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่งเพียงอย่างเดียว โดยที่กรดไขมันอาจมีการเปลี่ยนรูปไปในระหว่างที่มีการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร และจากกระบวนการย่อยอาหารของเพรียงทรายเอง

5. การเสริมไคอะตอมลงในระบบเลี้ยงเพรียงทรายนอกจากจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับเพรียงทรายแล้ว ไคอะตอมยังช่วยควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนเตรดในน้ำ ซึ่งเห็นผลได้อย่างชัดเจนทั้งในชุดการทดลองที่ทำกับเพรียงทรายวัยอ่อนและกับเพรียงทรายตัวเต็มวัย ซึ่งมีความสำคัญมากในระบบเลี้ยงที่ไม่มีเปลี่ยนถ่ายน้ำ

6. การเลี้ยงเพรียงทรายด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ซึ่งช่วยให้ไม่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ สามารถลดความต้องการน้ำคุณภาพดีที่จะมาใช้เปลี่ยนถ่าย และลดความต้องการแรงงานในการดูแลถ่ายน้ำในระบบเลี้ยงลงได้มาก โดยงานที่ผู้เลี้ยงต้องทำมีเพียงการให้อาหารเท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

1. การเลี้ยงเพรียงทรายควรใช้ทรายเทียม (vermiculite) แทนทรายธรรมชาติ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ทำความสะอาดง่าย และช่วยให้การเก็บเพรียงทรายสะดวก โดยที่เพรียงตัวไม่บาดเจ็บ (ตัวขาด) ระหว่างการจับ พบบ่อยในระบบเลี้ยงที่ใช้ทรายธรรมชาติ
2. การเลี้ยงแม่เพรียงทรายด้วยอาหารกึ่งร่วมกับไคอะตอม เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับแม่เพรียงทราย เพื่อให้เห็นผลชัดเจนควรเพิ่มความหนาแน่นเซลล์ของไคอะตอมให้มีความหนาแน่นเซลล์สูงกว่านี้ และระยะเวลาการเลี้ยงเพรียงทรายนานขึ้น
3. ในระบบเลี้ยงใช้บ่อทดลองขนาด 216 ตารางเซนติเมตร ใช้ไคอะตอม 30 มิลลิลิตรต่อวัน (300×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ดังนั้นหากบ่อเลี้ยงเพรียงทรายขนาด 3 ตารางเมตร ต้องเตรียมไคอะตอม 4.28 ลิตรต่อวัน ซึ่งไม่สะดวกสำหรับการปฏิบัติจริง ควรมีการพัฒนาการเลี้ยงไคอะตอมให้สามารถเพิ่มจำนวนได้ ในระบบเลี้ยงเพรียงทราย
4. แยกสายพันธุ์ไคอะตอมชนิดอื่นที่สามารถเติบโตได้แบบเฮเทอโรโทrophic แต่มีกรดไขมันจำเป็นในปริมาณสูง เพื่อนำมาทดลองเลี้ยงเพรียงทราย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จิระประภา บริรักษ์. 2543. นิเวศวิทยาและอนุกรมวิธานของไส้เดือนทะเล บริเวณป่าชายเลน จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ชมพูนุท ชัยรัตน์. 2543. การเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของไคอะตอม *Amphora delicatissima* ที่เลี้ยงโดยใช้คาร์บอนอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 108 หน้า.
- ชมพูนุท ชัยรัตน์, สรวิศ เผ่าทองสุข และ สมเกียรติ ปิยะธีรชิตวิรุณกุล. 2546. การเติบโตของไคอะตอม *Amphora delicatissima* ในที่มีสภาพใต้สภาวะเฮเทอโรโทรฟิก. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 25(2): 205-212.
- นฤมล ไบพัด. 2546. การเติบโตของไคอะตอม *Amphora delicatissima* สายพันธุ์ AM9901 ในอาหารเพาะเชื้อที่มีอาหารกึ่งเป็นแหล่งของสารอาหารหลัก. ปัญหาพิเศษ ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 66 หน้า.
- มะลิวัลย์ คุณะโค. 2543. การแยกสายพันธุ์และการเจริญของไคอะตอมที่สามารถเจริญได้ในสภาวะเฮเทอโรโทรฟิก จากชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี. ปัญหาพิเศษ ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา. 74 หน้า.
- มะลิวัลย์ คุณะโค. 2546. การเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟิกของไคอะตอมน้ำเค็ม *Amphora delicatissima* สายพันธุ์ AM9901 ในการเพาะเลี้ยงแบบแบตช์และแบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 140 หน้า.
- มะลิวัลย์ คุณะโค, สรวิศ เผ่าทองสุข และ สรัญญา พันธุ์พฤษ. 2547. การเพาะเลี้ยงไคอะตอมน้ำเค็ม *Amphora delicatissima* AM9901 แบบกะและแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะเฮเทอโรโทรฟิก. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T) 3, 1: 309-321.
- มณฑล แก่นมณี. 2539. การเปรียบเทียบอาหารพวกสาหร่ายต่อการเจริญเติบโตของหอยเป่าชื่อชนิด *Haliotis ovina* (GMELIN, 1791). วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 109 หน้า.
- บพิช จารุพันธ์ และ นันทพร จารุพันธ์. 2538. สัตววิทยา. ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 611 หน้า.
- บัญญัติ สุขศรีงาม. 2534. จุลชีววิทยาทั่วไป. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 507 หน้า

- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2541. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 117 หน้า
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. แพลงก์ตอนพืช. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 851 หน้า
- สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. สาหร่าย ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ สกว. ชุดที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 356 หน้า
- สุรพล ชุมหับันทิต และพอลจำ อรัณยกานนท์. 2549. การใช้ทรายเทียมเป็นวัสดุเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia*, Savigny แทนทรายธรรมชาติ. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 สาขาประมง : 229-236
- อนงค์ สวรรยาธิปต์ย์ และ ปิยะพงศ์ โชติพันธุ์. 2527. การศึกษาชีววิทยาบางประการของไส้เดือนทะเลชนิด *Perinereis nuntia brevicirris* ในบริเวณชายฝั่ง อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี. รายงานผลการวิจัยภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และสถานีวิจัยประมงศรีราชา. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อิสราภรณ์ จิตรหลัง, ปณต กลิ่นเชิดชู, นงลักษณ์ สำราญราษฎร์ และสุพิศ ทองรอด. 2550. ไ้จมันและวิตามิน อี ในเพรียงทราย (*Perinereis nuntia*, Savigny). การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 สาขาประมง : 342-354.

ภาษาอังกฤษ

- Abollino, O., Giacomino, A., Malandrino, M. and Mentasti, E. 2007. Interaction of metal ions with montmorillonite and vermiculite. Applied Clay Science (in press).
- Ackman, R.G., Tocher, C.S. and McLachlan, J. 1968. Marine phytoplankton fatty acid. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 25(8): 1603-1620.
- Armstrong, E. F. and Prosser, J. I. 1988. Growth of *Nitrosomonas europaea* on ammonia-treated vermiculite. Soil Biology and Biochemistry. 20(3): 409-411.
- Association of Official Analytical Chemists. 1980. Official Method Analysis 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
- Baoling, W., Ruiping, S. and Yang, D.J. 1985. The Nereidae (*Polychaetous annelids*) of the Chinese Coast. China Ocean Press: 266-275.
- Becker, E. W. 1994. Microalgae: Biotechnology and Microbiology. New York: Cambridge University Press: 293 p.
- Bjerkeng, B., Hertzberg, S. and Liaaen-Jensen, S.. 1993. Carotenoids in food chain studies—V. Carotenoids of the bivalves *Modiolus modiolus* and *Pecten maximus*—structural, metabolic and food chain aspects. Biochemistry and Molecular Biology. 106(2): 243-250
- Brigatti, M.F., Colonnab, S., Malferraria, D., Medicic, L. and Poppi, L..2005. Mercury adsorption by montmorillonite and vermiculite: a combined XRD, TG-MS, and EXAFS study. Applied Clay Science 28: 1– 8.
- Caron, D.A., Porter, K.G. and Sanders, R.W. 1990. Carbon, nitrogen and phosphorus budgets for the mixotrophic phytoflagellate *Poteroiochromonas malhamensis* (Chrysophyceae) during bacteria ingestion. Limnology and Oceanography 35: 433-443.
- Chuecas, L. and Riley, J. P. 1969. Component fatty acids of the total lipids of some marine phytoplankton. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 49: 97-116.
- Chen, F. and Johns, M. R. 1994. Substrate inhibition of *Chlamydomonas reinhardtii* by acetate in heterotrophic culture. Process Biochemistry. 29: 245-252.
- Chau, Y.K., Chuecas, L. and Riley, J.P. 1976. The component combined amino acids of some marine phytoplankton species. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 49: 97-116.

- Darley, W.M. 1982. Algae Biology a Physiological Approach. In Wilkinson, J.F. (ed) Basic Microbiology. London. Blackwell Scientific Publication: 21-53.
- Delgado, M., De Jonge, V.N. and Peletier, H. 1991. Effect of sand movement on the growth of benthic diatoms. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 145(2): 221–231.
- DeMort, C. T., Lowry, R., Tinsley, I. and Phinney, H. K. 1972. The Biochemical analysis of estuarine phytoplankton species. I. Fatty acid composition. Journal of Phycology 8: 211-216.
- de Swaaf, M. E., de Rijk, T. C., van der Meer, P., Eggink, G. and Sijtsma, L. 2003. Analysis of docosahexaenoic acid biosynthesis in *Cryptocodinium cohnii* by ¹³C labelling and desaturase inhibitor experiments. Journal of Biotechnology 103(1) : 21-29.
- Devlin, R.M. and Barker, A.V. 1971. Photosynthesis. London. Litton Educational Publication Inc.: 251-277.
- Dhainaut, A., Raveillon, B., M'Béri, M., Porchet-Henneré, E. and Demuynck, S. 1989. Purification of an antibacterial protein in the coelomic fluid of *Nereis diversicolor* (annelida, polychaeta). similitude with a cadmium-binding protein. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology, 94(2): 555-560.
- Domínguez, A, Ferreira, M., Coutinho, P., Fa'breagas, J. and Otero, A. 2005. Delivery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* to the aquaculture food chain. Aquaculture 250(1-2): 424-430.
- Elliott, A.M. 1952. Zoology. Appleton Century Crofts. New York: 746 p.
- Fyson, A., Nixdorf, B. and Kalin, M. 2006. The acidic lignite pit lakes of Germany-Microcosm experiments on acidity removal through controlled eutrophication. Ecological Engineering 28: 288–295.
- Green, A.R., Clesceri, L.S. and Eaton, A.D. 1992. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 18th edition. Washington DC, USA. American Public Health Association: 10-137 p.
- Hecky, R.E., Mopper, K., Kilham, P. and Degens, E.T. 1973. The amino acid and sugar composition of diatom cell walls. Marine Biology 19: 323-331.
- Hellebust, J. A. 1976. Effect of salinity on photosynthesis and mannitol synthesis in die green flagellate *Platymonas suecica*. Canadian Journal of Botany 54:1735-1741.
- Hasle, G.R., Syvertsen, E.E., 1997. Marine Diatoms. In: Tomas, C.R. (Ed.), Identifying marine phytoplankton. Academic Press. New York: 5–361.

- Jeffery, S. W. 1972. Preparation and some properties of crystalline chlorophyll c_1 and c_2 from marine algae. Biochimica et Biophysica Acta. 279:15-33.
- Jeffery, S. W., Mantoura, R.F.C. and Wright, S.W. 1997. Phytoplankton Pigments in Oceanography : Guidelines to Modern Methods. UNESCO Publishing: 661 p.
- Jewson, D.H., Lowry, S.F. and Bowen, R. 2006. Co-existence and survival of diatoms on sand grains. European Journal of Phycology 41(2): 131-146.
- Johnson, C. D. and Worrall F. I. 2007. Novel granular materials with microcrystalline active surfaces-waste water treatment applications of zeolite/vermiculite composites. Water Research 41: 2229-2235.
- Kalinowski, B. E. and Schweda, P. 2007. Rates and nonstoichiometry of vermiculite dissolution at 22°C. Geoderma (in press).
- Kates, M. and Volcani, B. E. 1966. Lipid component of diatom. Biochimica et Biophysica Acta 166: 264-278.
- Krichnavaruk, S., Loataweesup, W., Powtongsook, S. and Pavasant, P. 2004. Optimal growth conditions and the cultivation of *Chaetoceros calcitrans* in airlift photobioreactor. Chemical Engineering Journal 105(3): 91-98.
- Lee, Y. K. and Ding, S. K. 1995. Effect of dissolved oxygen partial pressure on the accumulation of astaxanthin in chemostat cultures of *Haematococcus lacustris* (Chlorophyta). Journal of Phycology 31: 922-924.
- Lewin, J.C., Lewin, R.A. and Philpott, D.E. 1958. Observations on *Phaeodactylum tricoratum*. Journal of General Microbiology. 18: 418-426.
- Malandrino, M., Abollino, O., Giacomino, A., Aceto, M. and Mentasti, E. 2006. Adsorption of heavy metals on vermiculite: Influence of pH and organic ligands. Journal of Colloid and Interface Science 299: 537-546.
- Maqueda, C., Romero, A.S., Morillo, E. and Perez-Rodríguez J.L. 2007. Effect of grinding on the preparation of porous materials by acid-leached vermiculite. Journal of Physics and Chemistry of Solids 68(5-6): 1220-1224.
- McLanchlan, J. 1973. Growth media-marine. In Stein, J.R. 1973. Handbook of Phycological Method: Culture Methods and Growth Measurements. Cambridge University Press, 25-54 .
- Mettam, C. 1980. On the feeding habits of *Aphrodita aculeate* and commensal polynoids. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 60: 833-834.

- Meunpol, O., Iam-Pai, S., Suthikrai, W. and Piyatiratitivorakul S. 2007. Identification of progesterone and 17 α -hydroxyprogesterone in polychaetes (*Perinereis* sp.) and the effects of hormone extracts on penaeid oocyte development in vitro. Aquaculture 270(1-4): 485-492.
- Norman-Boudreau, K., Burns, D., Cooke, C.A. and Austin, A. 1986. A simple Technique for Detection of Feeding in newly Metamorphosed Abalone. Aquaculture. 51:313-317.
- Olive P.J.W., Duangchinda, T., Ashforth E. and Craig, S. 2006. Light independent Biosynthesis of PUFA in a closed polychaete *Arenicola marina* L. culture system: evidence for a microbial loop. Journal of the World Aquaculture Society (in press).
- Opute, F. I. 1974. Lipid and fatty-acid composition of diatom. Journal of Experimental Botany 25: 823-835.
- Partali, V., Tangen, K. and Liaaen-Jensen, S. 1989. Carotenoids in food chain studies—III. Resorption and metabolic transformation of carotenoids in *Mytilus edulis* (Edible mussel). Biochemistry and Molecular Biology 92(2): 239-246.
- Peterson, J. J. and Curiel, J. L. 2002. Improved shrimp larviculture using diatom. The Advocate. 7(2): 72-73.
- Saito, H. 2007. Identification of novel n-4 series polyunsaturated fatty acids in a deep-sea clam, *Calypptogena phaseoliformis*. Journal of Chromatography 1163(1-2): 247-259
- Seo, J.Y., Heo, J.S., Kim, T.H., Joo, W.H. and Crohn, D.M. 2004. Effect of vermiculite addition on compost produced from Korean food wastes. Waste Management 24: 981-987.
- Seuront, L., Vincent, D. and Mitchell, J.G. 2006. Biologically induced modification of seawater viscosity in the Eastern English Channel during a *Phaeocystis globosa* spring bloom. Journal of Marine Systems 61(3-4): 118-133.
- Shi, X. M., Lin, H. J., Zhang, X. W. and Chen, F. 1999. Production of biomass and lutein by *Chlorella protothecoides* at various glucose concentrations in heterotrophic cultures. Process Biochemistry 34(4): 341-347.
- Stibor, H. and Sommer U. 2003. Mixotrophy of a photosynthetic flagellate viewed from an optimal foraging perspective. Protist 154(1): 91-98.
- Strickland, J. D. H. And Parson T. R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 167. Ottawa: 310 p.

- Sundbäck, K., Nilsson, P., Nilsson, C. and Jönsson, B. 1996. Balance between autotrophic and heterotrophic components and processes in microbenthic communities of sandy sediments: A Field Study. Estuarine, Coastal and Shelf Science 43: 689–706.
- Suzuki, R., Takahashi, M., Furuya, K. and Ishimaru, T. 1993. Simplified technique for the rapid determination of phytoplankton pigments by reverse-phase High-Performance Liquid Chromatography. Journal of Oceanography 49: 571- 580.
- Tan, C. K. and Johns, M. J. 1991. Fatty acid production by heterotrophic *Chlorella saccharophila*. Hydrobiologia 215: 13-19.
- Tittel, J., Bissinger, V., Gaedke, U. and Kamjunke, N. 2005. Inorganic carbon limitation and mixotrophic growth in *Chlamydomonas* from an acidic mining lake. Protist 156(1): 63-75.
- Tornabene, T.G., Kates, M. and Volcani, B.E. 1974. Sterols, aliphatic hydrocarbons and fatty acids of a nonphotosynthetic diatom, *Nitzschia alba*. Lipids 9: 279-284.
- Trainor, F.R. 1978. Introductory Phycology. USA. John Wiley and Sons. 525 p.
- Unagul, P., Assantachai, C., Phadungruengluij, S., Suphantharika, M., Tanticharoen, M. and Verduyn, C. 2007. Coconut water as a medium additive for the production of docosahexaenoic acid (C22:6 n3) by *Schizochytrium mangrovei* Sk-02. Bioresource Technology 98: 281–287.
- Vieira dos Santos, A. C. and Masini, J. C. 2007. Evaluating the removal of Cd(II), Pb(II) and Cu(II) from a wastewater sample of a coating industry by adsorption onto vermiculite. Applied Clay Science 37(1-2): 167-174.
- Vymazal, J. 1995. Algae and element cycling in wetlands. Lewis Publishing., Boca Raton: 689 p.
- Werner, D. 1977. The Biology of Diatom. Los Angeles: Blackwell Scientific. 498 p.
- Ytrestøyl, T. and Bjerkeng, B. 2007. Dose response in uptake and deposition of intraperitoneally administered astaxanthin in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) Aquaculture 263:179–191.
- Zhang, X. W., Chen, F. and Johns, M. R. 1999. Kinetic Models for heterotrophic growth of *Clamydomonas reinhardtii* in batch and fed-batch cultures. Process Biochemistry 35: 385-389.
- Zhi-You, W. and Feng, C. 2001. Optimization of nitrogen sources for heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by the diatom *Nitzschia laevis*. Enzyme and Microbial Technology 29: 341–347.

Zhi-You, W. and Feng, C. 2003. Heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by microalgae. *Biotechnology Advances* 21: 273–294



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การเตรียมอาหารเพาะเชื้อไดอะตอม

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ดัดแปลงจากสูตรของกิลลาร์ด F/2 (Guillard, 1975 อ้างโดย Smith, 1975)

สารละลายส่วนที่ 1 (ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร)

โซเดียมไนเตรต (NaNO_3)	42.074	กรัม
ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	3.0	กรัม
เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3)	1.45	กรัม
โซเดียมเอทิลีน ไดอะมีน เตตระอะซีติก (Na_2EDTA)	5.0	กรัม

สารละลายส่วนที่ 2 (ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร)

คอปเปอร์ซัลเฟต-5-ไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	1.96	กรัม
ซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4)	4.40	กรัม
โซเดียม โมลิบเดต-4-ไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	1.26	กรัม
แมงกานีสคลอไรด์-4-ไฮเดรต ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	3.60	กรัม
โคบอลท์คลอไรด์-6-ไฮเดรต ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	2.0	กรัม

สารละลายส่วนที่ 3 (ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร)

โซเดียมเมตาซิลิเกต-9-ไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)	16.50	กรัม
---	-------	------

เตรียมอาหารเพาะเชื้อไดอะตอม โดยปีเปตสารละลายส่วนที่ 1 และ 3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายส่วนที่ 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 พีเอสยู ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายยาปฏิชีวนะ

สารละลายยาปฏิชีวนะ (antibiotic solution) ที่ดัดแปลงจากวิธีของกิลลาร์ด (Guillard, 1975 อ้างโดย Stein, 1975)

ละลายยาปฏิชีวนะสองชนิดคือ เพนนิซิลิน จี 100 มิลลิกรัม และสเตรปโตไมซิน 50 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายยาคลอแรมเฟนิคอล 10 มิลลิกรัม ที่ละลายในเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นกรองสารละลายยาปฏิชีวนะด้วยกระดาษกรองขนาดรูพรุน 0.22 ไมครอน

นำสารละลายยาปฏิชีวนะผสมกับ หัวเชื้อสาหร่ายที่ปนเปื้อนแบคทีเรีย ในอัตราส่วน สารละลายยาปฏิชีวนะต่อสารละลายหัวเชื้อร้อยละ 5, 10, 15 และ 25 ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง โดยให้แสงตลอด จากนั้นนำหัวเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยยาปฏิชีวนะแล้ว มาเลี้ยงต่อบนอาหารเพาะเชื้อสูตรของกิลลาร์ด F/2 ชนิดวุ้น เลี้ยงนาน 7 วัน แยกหัวเชื้อสาหร่ายที่ปราศจากแบคทีเรีย เพื่อนำไปขยายต่อไป

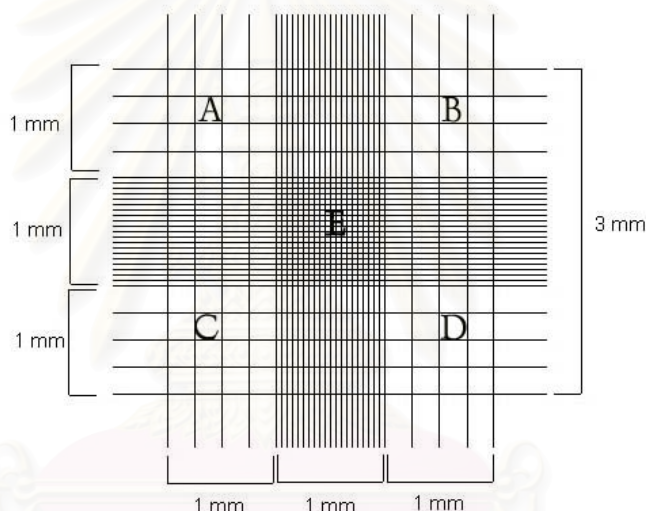
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณความหนาแน่นเซลล์ วิเคราะห์คุณภาพน้ำ และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

1. การคำนวณหาความหนาแน่นของโคอะตอมจากวิธีการนับเซลล์

เมื่อทราบจำนวนเซลล์โคอะตอมจากการนับบนสไลด์นับเม็ดเลือด (haemocytometer) แล้วสามารถคำนวณหาความหนาแน่นเซลล์ของโคอะตอม (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) จากช่องที่ใช้ในการนับเซลล์บนสไลด์นับเม็ดเลือดมีความกว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 1 มิลลิเมตร สูง 0.1 มิลลิเมตร ดังนั้นปริมาตรของช่องสไลด์ที่ใช้นับเซลล์ 1 ช่อง เท่ากับ 0.1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ลักษณะของช่องในสไลด์นับเม็ดเลือดที่ใช้ในการนับเซลล์โคอะตอม (ภาพที่ ก.1)



ภาพที่ ก.1 ลักษณะของช่องบนสไลด์นับเม็ดเลือดที่ใช้ในการนับเซลล์โคอะตอม

ที่มา: <http://web.agri.cmu.ac.th/ppath/course/360301/untitled.jpg>

ตัวอย่างการคำนวณ นับเซลล์โคอะตอมในช่องนับเซลล์บนสไลด์นับเม็ดเลือดจำนวน 4 ช่อง ได้จำนวนเซลล์ 45 เซลล์ ความหนาแน่นเซลล์สามารถคำนวณได้ดังนี้

ปริมาตร 4 ช่องบนสไลด์นับเม็ดเลือดเท่ากับ 0.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร นับโคอะตอมได้ 45 เซลล์
 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (1000 ลูกบาศก์ มิลลิเมตร) มีเซลล์ $= \frac{45 \text{ เซลล์} \times 1000 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}}{0.4 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}}$

$$\text{ความหนาแน่นเซลล์โคอะตอม} = 11.25 \times 10^4 \text{ เซลล์ต่อมิลลิลิตร}$$

2. วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

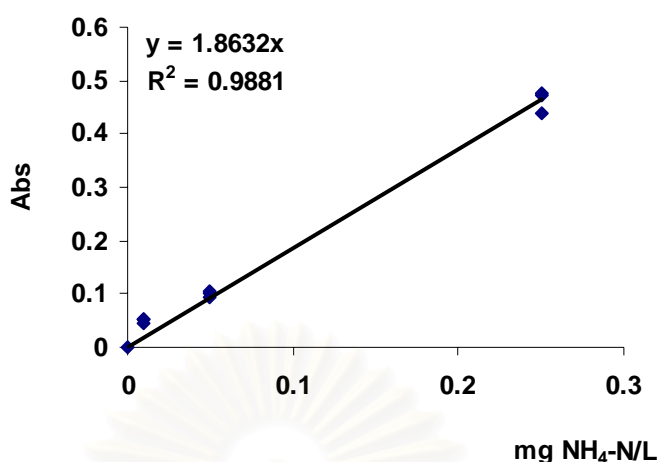
2.1 การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย (Strickland และ Parsons, 1972)

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลาย phenol : ละลาย phenol 20 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร
2. สารละลาย Sodium nitroprusside : ละลาย Sodium nitroprusside $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 กรัม ในน้ำ de-ionized 200 มิลลิลิตร
3. สารละลาย Alkaline : ละลาย Sodium citrate 100 กรัม และ Sodium hydroxide 5 กรัม ในน้ำ de-ionized 500 มิลลิลิตร
4. สารละลาย Sodium hypochlorite
5. สารละลาย Oxidizing : ผสมระหว่างสารละลาย Alkaline กับสารละลาย Sodium hypochlorite ด้วยอัตราส่วน 4:1

วิธีการวิเคราะห์

นำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Phenol 0.04 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Sodium nitroprusside 0.04 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Oxidizing reagent 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Spectrophotometer (รุ่น GENESYS 10 uv) เตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียโดยมีความเข้มข้น 0, 0.01, 0.05 และ 0.25 มิลลิกรัมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Spectrophotometer สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายแอมโมเนีย เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ดังภาพที่ ค.2



ภาพที่ ค.2 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียม ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 0.01, 0.05 และ 0.25 มิลลิกรัม แอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรต์ (Strickland และ Parsons,1972)

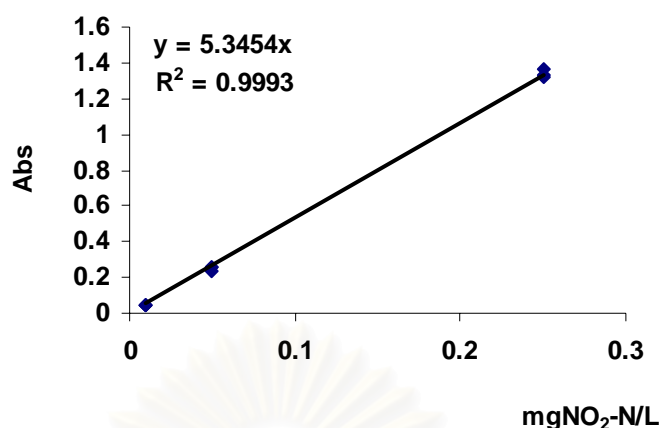
การเตรียมสารละลาย

1. สารละลาย Sulphanilamide : ละลาย Sulphanilamide 5 กรัม ในส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริก 50 มิลลิลิตรกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2. สารละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride (NNED) : ละลาย dihydrochloride 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์ไนโตรต์

นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Sulfanilamide 0.02 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride (NNED) 0.02 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (รุ่น GENESYS 10 UV) เตรียมสารละลายมาตรฐานไนโตรต์ โดยมีความเข้มข้น 0, 0.01, 0.05 และ 0.25 มิลลิกรัมไนโตรต์-ไนโตรเจนต่อลิตร สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายไนโตรต์ เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของไนโตรต์ ดังภาพที่ ค.3

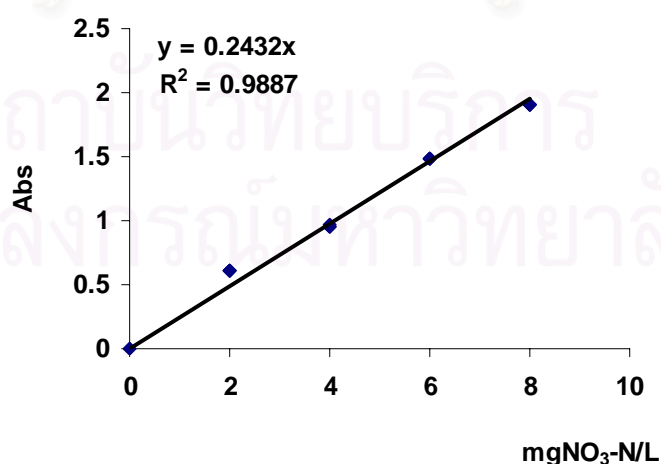


ภาพที่ ค.3 กราฟมาตรฐานไนไตรต์ ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 0.01, 0.05 และ 0.25 มิลลิกรัมไนไตรต์-ไนโตรเจนต่อลิตร

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต (Greenberg *et al*, 1992)

วิธีวิเคราะห์ไนเตรต

วัดน้ำตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร ลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรตที่มีความเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิกรัมไนเตรต-ไนโตรเจนต่อลิตร สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายไนเตรต เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของไนเตรต ดังภาพที่ ค.4



ภาพที่ ค.4 กราฟมาตรฐานไนเตรต ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิกรัมไนเตรต-ไนโตรเจนต่อลิตร

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในชั้นทรายและการเตรียมไคอะตอมความหนาแน่นสูง

วิธีวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในชั้นทราย ดัดแปลงจาก Stickland และ Parsons (1972)

เก็บตัวอย่างชั้นทรายจากระบบเลี้ยงด้วยแท่งพลาสติก หน้าตัดขนาด 1 ตารางเซนติเมตร (ภาพที่ 3-7) กดลงไปชั้นทรายจนถึงพื้นตาข่ายด้านล่าง ซึ่งก่อนเก็บจะต้องลดระดับน้ำเพื่อเก็บตัวอย่างเฉพาะทราย นำตัวอย่างทรายมาสกัดคลอโรฟิลล์โดยบดทรายในโกรก เติมน้ำกลั่นระหว่างบด หลังจากบดละเอียดแล้วกรองด้วยกระดาษ GF/C พับกระดาษกรองที่มีทรายที่ถูกบดละเอียดใส่หลอดทดลอง เติมอะซิโตน (acetone) ความเข้มข้นร้อยละ 90 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แซ่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง หลังจากครบ 20 ชั่วโมงแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที โดยทุกขั้นตอนต้องพยายามไม่ให้ตัวอย่างได้รับแสง เพื่อป้องกันการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ หลังจากนั้นดูดส่วนใสเพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480, 630, 645 และ 665 นาโนเมตร เพื่อใช้คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ดังสมการด้านล่าง

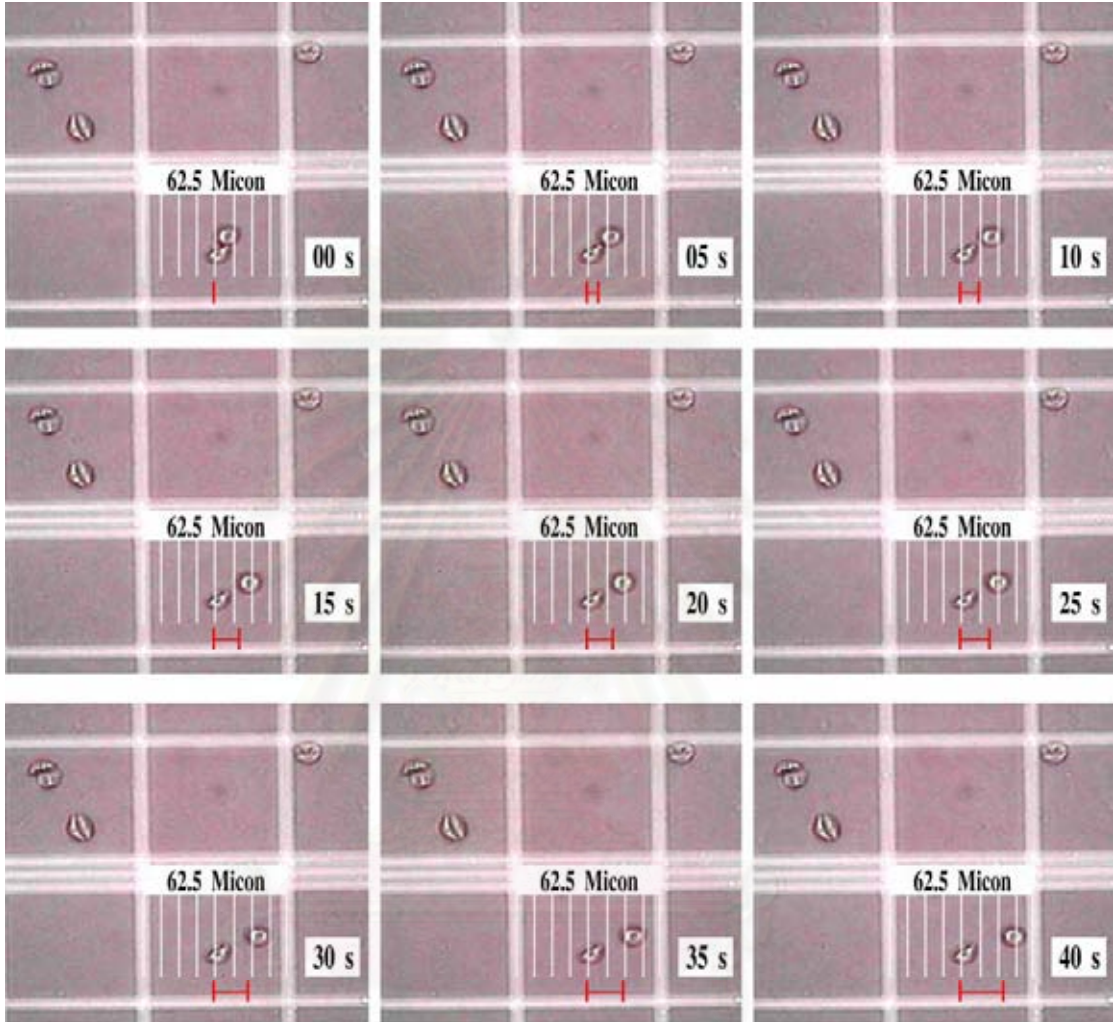
$$\text{Chlorophyll a} = 11.6E_{665} - 1.31E_{645} - 0.14E_{630}$$

$$\text{Carotenoid} = 10E_{480}$$

การเตรียมไคอะตอม *A. delicatissima* ความหนาแน่นสูง

เลี้ยงไคอะตอมภายใต้สภาวะเฮเทอโรโทรฟิก ด้วยอาหารเพาะเชื้อสูตร F/2 + NB (เปปโตน 5 กรัมต่อลิตร, ยีสต์สกัด 2 กรัมต่อลิตร และเนื้อสกัด 1 กรัมต่อลิตร) + กลูโคส 4 กรัมคาร์บอนต่อลิตร + ซิลิกา 2.4 mM (มะลิวัลย์ คู่ตะโค, 2546) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีอาหารเพาะเชื้อปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง rotary shaker โดยเขย่าตลอดเวลาเลี้ยงนาน 10 วัน รวบรวมเซลล์ไคอะตอมด้วยกรวยตกตะกอน (sedimentation cone) นำเซลล์ไคอะตอมที่มีความหนาแน่นสูงไว้ในน้ำเค็ม 30 พีเอสยู เพื่อรอการใช้ต่อไป

ภาคผนวก จ
ข้อมูลผลการทดลอง



ภาพที่ จ.1 การเคลื่อนที่ของไคอะตอม *A. delicatissima* ระยะเวลา 40 วินาทีบนสไลด์นับเม็ดเลือด

ตารางที่ จ.1 สัดส่วนของน้ำหนักเปียกต่อน้ำหนักแห้งของเพรียงทราย

น้ำหนักเพรียงทราย (กรัม)		สัดส่วนของน้ำหนักเปียก ต่อน้ำหนักแห้ง (กรัม)	สัดส่วนของน้ำหนักเปียกต่อ น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม)
น้ำหนักเปียก	น้ำหนักแห้ง		
0.73	0.17	4.21	3.57±0.44
0.47	0.13	3.51	
1.49	0.45	3.32	
0.93	0.29	3.26	

ตารางที่ จ.2 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร

วันที่ในการ เพาะเลี้ยง (วัน)	ความหนาแน่นเซลล์ (10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร)		
	ชุด ควบคุม	เม็ดทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร	เม็ดทรายขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร
0	2	0.00	0.33±0.58
1	0	1.00±1.00	0.33±0.58
2	1	6.67±1.53	1.33±0.58
3	5	14.00±7.81	3.67±1.15
4	1	55.33±24.99	24.33±14.57
5	94	150.00±132.29	38.33±7.02
6	11	223.33±142.16	81.67±30.86
7	6	401.67±204.96	155.67±45.35
8	10	465.00±199.25	153.33±88.05
9	127	275.00±77.94	137.00±53.70
10	7	290.00±151.58	106.33±23.18

ตารางที่ จ.3 ความหนาแน่นของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.7-2 และ 0.3-0.7 มิลลิเมตร ที่ความหนาชั้นทราย 0-0.3 และ 0.3-0.5 เซนติเมตร และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan

ความหนาชั้น ทราย (มิลลิเมตร)	ความหนาแน่นเซลล์ (10^4 เซลล์ต่อมิลลิเมตร)	
	เม็ดทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร	เม็ดทรายขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร
0-0.3	110.83±31.82	99.17±12.96
0.3-0.5	7.50±1.18	26.67±0.00

**Oneway
Test of Homogeneity of Variances**

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.561	3	20	.033

ANOVA

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)		47886.458	3	15962.153	24.440	.000
	Linear	Contrast	38700.208	1	38700.208	59.254	.000
	Term	Deviation	9186.250	2	4593.125	7.033	.005
Within Groups			13062.500	20	653.125		
Total			60948.958	23			

**Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets
Duncan**

Factor	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
4.00	6	7.5000	
3.00	6	26.6667	
1.00	6		99.1667
2.00	6		110.8333
Sig.		.209	.438

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

ตารางที่ จ.4 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ในทรายหนา 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร)

วันที่ในการเพาะเลี้ยง (วัน)	ความหนาแน่นเซลล์ (10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	
	เม็ดทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร	ทรายเทียม (vermiculite)
0	3.67±3.06	0.67±0.58
1	3.67±2.08	1.00±0.00
2	3.00±2.65	4.67±5.51
3	1.33±0.58	2.67±2.89
4	2.00±1.00	3.00±4.36
5	16.33±11.68	2.00±1.73
6	9.67±4.51	2.00±1.00
7	31.00±9.00	12.33±8.33
8	65.00±17.58	32.67±32.35
9	131.67±68.07	15.33±7.51
10	120.00±95.00	36.67±7.09
11	158.33±56.86	55.00±19.08
12	106.67±47.52	35.33±13.43
13	106.67±18.93	160.00±101.49
14	211.67±56.20	126.67±78.16
21	185.00±31.22	90.00±5.20
22	140.00±30.41	77.33±6.81
23	91.67±64.29	24.33±15.70
24	83.33±50.58	59.67±24.34
25	150.00±8.66	89.67±19.86
26	118.33±77.67	88.67±27.39
29	86.67±27.54	30.67±1.15

ตารางที่ จ.5 ความหนาแน่นของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร และทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ที่ความหนาชั้น ทราย 0-1.5 และ 1.5-2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัม คาร์บอน/ลิตร) และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่าง ด้วย Duncan

ความหนาชั้นทราย (เซนติเมตร)	ความหนาแน่นเซลล์ (10^4 เซลล์ต่อมิลลิเมตร)	
	เม็ดทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร	ทรายเทียม (vermiculite)
0-1.5	29.33±7.23	119.67±2.08
1.5-2	3.67±1.53	35.00±19.16

**Oneway
Test of Homogeneity of Variances**

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
9.206	3	8	.006

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)	22842.917	3	7614.306	71.496	.000
	Linear Term	1470.150	1	1470.150	13.804	.006
	Contrast Deviation	21372.767	2	10686.383	100.342	.000
Within Groups		852.000	8	106.500		
Total		23694.917	11			

**Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets
Duncan**

Factor	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
3.00	3	3.6667		
1.00	3		29.3333	
4.00	3		35.0000	
2.00	3			119.6667
Sig.		1.000	.520	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ จ.6 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ให้แสง, ทรายที่มีขนาดเม็ดทราย 0.3-0.7 มิลลิเมตร ให้แสง และ ทรายเทียม (vermiculite) ที่มีขนาด 0.7-2 มิลลิเมตร ไม่ให้แสง ที่มีความหนาชั้น ทราย 2.5 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร)

วันที่ในการเพาะเลี้ยง (วัน)	ความหนาแน่นเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)		
	ทรายเทียม (vermiculite) ให้แสง	เม็ดทรายขนาด 0.3-0.7 มิลลิเมตร ให้แสง	ทรายเทียม (vermiculite) ไม่ให้แสง
0	2.33±3.21	3.33±4.04	2.33±4.04
1	4.00±1.00	6.00±4.36	1.00±1.00
2	1.67±0.58	2.00±1.00	4.00±4.36
3	2.67±1.53	5.00±3.61	0.67±0.58
4	3.33±0.58	18.33±17.04	1.33±2.31
5	2.33±1.53	46.33±7.02	0.67±1.15
6	14.33±10.02	20.00±6.08	1.00±1.00
7	30.67±28.02	37.00±9.54	0.33±0.58
8	35.67±11.72	43.67±23.69	2.00±3.46
9	25.00±10.44	52.33±22.01	1.67±2.89
10	23.33±6.66	35.33±24.13	2.00±3.46
11	42.00±27.78	48.33±33.86	0.00
12	22.33±10.07	49.67±13.05	0.00
13	31.00±21.79	30.00±8.54	0.00
14	23.67±18.88	49.00±34.39	0.00
15	39.33±22.74	31.33±25.79	0.00
16	46.67±29.40	47.00±7.00	0.00

ตารางที่ จ.7 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ส่วนชุดควบคุมไม่เติมทราย โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) มีความหนาชั้นทราย 3 เซนติเมตร

วันที่ เพาะเลี้ยง (วัน)	ความหนาแน่นเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			
	ชุดควบคุม	ขนาดทรายเทียม (vermiculite)		
		ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร)	ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร)	ขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร)
0	2.00 \pm 1.79	0.00	0.40 \pm 0.89	0.17 \pm 0.41
1	0.17 \pm 0.41	0.00	0.20 \pm 0.45	1.17 \pm 1.17
2	0.67 \pm 0.82	2.20 \pm 2.77	2.60 \pm 2.07	3.17 \pm 3.06
3	0.00	0.80 \pm 1.79	6.20 \pm 3.42	3.17 \pm 1.60
4	1.00 \pm 2.45	3.80 \pm 3.56	2.40 \pm 1.67	1.33 \pm 1.51
5	12.17 \pm 9.66	4.20 \pm 5.02	4.60 \pm 3.51	2.67 \pm 1.75
6	15.50 \pm 12.41	1.00 \pm 1.00	3.80 \pm 2.59	3.33 \pm 1.75
7	10.50 \pm 9.27	3.80 \pm 2.86	7.00 \pm 1.87	4.17 \pm 2.14
8	11.00 \pm 8.00	3.80 \pm 4.09	7.00 \pm 2.35	5.33 \pm 2.94
9	14.33 \pm 14.32	11.20 \pm 6.38	8.20 \pm 4.97	4.33 \pm 5.57
10	18.00 \pm 12.66	9.20 \pm 7.85	17.20 \pm 7.33	3.83 \pm 2.64
11	7.67 \pm 7.53	9.00 \pm 4.24	12.40 \pm 7.13	5.50 \pm 4.32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖.8 ความหนาแน่นของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ที่ความหนาชั้นทราย 0-1 , 1-2 และ 2-3 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan

ความหนาชั้น ทราย (เซนติเมตร)	ความหนาแน่นเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร)		
	ขนาดทรายเทียม (vermiculite)		
	ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร)	ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร)	ขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร)
0-1	10.50 \pm 11.81	19.17 \pm 17.62	8.00 \pm 6.32
1-2	5.00 \pm 7.80	6.17 \pm 5.95	5.00 \pm 4.73
2-3	-	3.50 \pm 2.26	3.83 \pm 1.72

**Oneway
Test of Homogeneity of Variances**

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.854	7	40	.000

density

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)	1133.479	7	161.926	2.101	.066
	Linear Term	187.313	1	187.313	2.430	.127
	Contrast Deviation	946.167	6	157.694	2.046	.082
Within Groups		3083.500	40	77.088		
Total		4216.979	47			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
6.00	6	3.5000	
9.00	6	3.8333	
2.00	6	5.0000	
8.00	6	5.0000	
5.00	6	6.1667	
7.00	6	8.0000	
1.00	6	10.5000	10.5000
4.00	6		19.1667
Sig.		.241	.095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

ตารางที่ จ.9 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ส่วนชุดควบคุมไม่เติมทราย โดยเติมอาหารกึ่งบด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) มีความหนาชั้นทราย 3 เซนติเมตร

วันที่ เพาะเลี้ยง (วัน)	ความหนาแน่นเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			
	ชุดควบคุม	ขนาดทรายเทียม (vermiculite)		
		ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร)	ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร)	ขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร)
0	14.33 \pm 6.92	2.20 \pm 1.30	3.80 \pm 1.92	1.00 \pm 0.63
1	3.00 \pm 0.00	1.60 \pm 1.52	5.00 \pm 3.54	2.33 \pm 2.88
2	3.67 \pm 2.07	1.00 \pm 1.22	4.60 \pm 1.14	2.00 \pm 1.67
3	2.67 \pm 1.21	1.60 \pm 1.52	1.20 \pm 1.30	2.00 \pm 2.61
4	4.83 \pm 2.48	1.80 \pm 1.10	0.80 \pm 0.84	4.00 \pm 3.16
5	8.83 \pm 8.38	3.60 \pm 3.78	1.80 \pm 0.84	3.50 \pm 2.17
6	6.67 \pm 2.94	2.40 \pm 1.52	0.80 \pm 1.30	2.67 \pm 1.86
7	8.50 \pm 5.39	3.80 \pm 1.79	1.40 \pm 1.34	7.17 \pm 9.83
8	6.83 \pm 4.36	2.40 \pm 0.55	1.00 \pm 1.00	4.67 \pm 3.56
9	4.67 \pm 2.80	1.80 \pm 1.10	2.00 \pm 2.24	1.83 \pm 1.47
10	4.17 \pm 3.06	2.80 \pm 1.92	1.40 \pm 0.89	2.50 \pm 3.33
11	3.33 \pm 1.03	2.80 \pm 2.05	1.40 \pm 1.67	2.67 \pm 2.07
12	13.17 \pm 7.96	3.80 \pm 2.95	1.20 \pm 1.30	3.17 \pm 1.72
13	9.33 \pm 5.43	1.80 \pm 0.84	1.00 \pm 1.00	3.50 \pm 2.35
14	6.33 \pm 3.27	2.60 \pm 2.07	1.00 \pm 0.71	4.67 \pm 2.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.10 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร), ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) และขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร) ความหนาชั้นทราย 10 เซนติเมตร โดยเติมอาหารกึ่งเม็ด (ปริมาณคาร์บอน 1 กรัมคาร์บอน/ลิตร) ส่วนชุดควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง

วันที่ เพาะเลี้ยง (วัน)	ความหนาแน่นเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			
	ชุดควบคุม	ขนาดทรายเทียม (vermiculite)		
		ขนาดใหญ่ (1.4-4 มิลลิเมตร)	ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร)	ขนาดเล็ก (0.1-0.35 มิลลิเมตร)
0	4.67 \pm 3.44	4.20 \pm 1.79	3.80 \pm 2.86	5.83 \pm 3.37
1	0.83 \pm 0.98	3.20 \pm 1.64	5.80 \pm 9.09	4.17 \pm 6.37
2	6.83 \pm 3.87	3.40 \pm 1.67	3.80 \pm 3.03	6.83 \pm 5.71
3	5.67 \pm 1.21	7.20 \pm 9.09	8.80 \pm 7.82	10.67 \pm 7.06
4	5.17 \pm 1.94	2.20 \pm 1.92	4.00 \pm 1.22	6.67 \pm 4.59
5	4.17 \pm 2.32	2.60 \pm 1.95	6.20 \pm 3.90	6.50 \pm 1.52
6	15.67 \pm 10.15	1.20 \pm 0.45	8.60 \pm 5.41	6.50 \pm 4.51
7	1.50 \pm 0.55	1.00 \pm 1.22	5.60 \pm 3.29	2.83 \pm 1.60
8	5.17 \pm 2.14	3.40 \pm 3.91	8.00 \pm 3.32	4.17 \pm 2.93
9	7.83 \pm 3.25	2.40 \pm 1.67	12.60 \pm 8.96	2.83 \pm 1.60
10	5.33 \pm 2.88	1.40 \pm 1.14	16.40 \pm 12.38	4.67 \pm 4.59
11	5.67 \pm 2.94	0.80 \pm 0.84	5.00 \pm 2.12	1.67 \pm 1.37

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.11 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร ชุดทดลองควบคุมเติมเฉพาะน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ชุดทดลองเติมอาหารกึ่งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 5 กรัมคาร์บอน/ลิตร ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง

วันที่ เพาะเลี้ยง (วัน)	ความหนาแน่นเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)		
	ชุดควบคุม	ปริมาณคาร์บอนจากอาหารกึ่งบด	
		1 กรัมคาร์บอน/ลิตร	5 กรัมคาร์บอน/ลิตร
0	4.80±3.63	4.80±3.63	4.83±1.72
1	2.40±1.52	2.40±1.52	9.50±3.78
2	14.20±9.76	14.20±9.76	2.67±3.33
3	16.40±15.47	16.40±15.47	4.83±2.32
4	11.00±2.24	11.00±2.24	4.33±4.08
5	5.60±4.83	5.60±4.83	2.67±1.21
6	13.20±11.73	13.20±11.73	6.67±1.75
7	5.00±2.74	5.00±2.74	4.33±3.78
8	4.80±2.59	4.80±2.59	4.67±4.59
9	2.80±0.84	2.80±0.84	3.33±4.27
10	1.20±1.10	1.20±1.10	2.50±1.05
11	9.60±6.02	9.60±6.02	1.33±0.82
12	5.40±3.78	5.40±3.78	2.17±1.47
13	1.40±0.55	1.40±0.55	2.50±2.88

ตารางที่ จ.12 การเติบโตของไคอะตอม *A. delicatissima* ในทรายเทียม (vermiculite) ขนาดกลาง (0.7-2 มิลลิเมตร) หนา 10 เซนติเมตร เติมอาหารกึ่งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับ คือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร และเติมด้วยอาหารสูตร F/2 ส่วนชุดทดลองที่เหลือเติมอาหารกึ่งบดมีปริมาณคาร์บอน 2 ระดับคือ ปริมาณคาร์บอน 1 และ 10 กรัมคาร์บอน/ลิตร ไม่ให้แสงตลอดการทดลอง

วันที่ เพาะเลี้ยง (วัน)	ความหนาแน่นเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)			
	ปริมาณคาร์บอนจากอาหารกึ่งบด			
	1 กรัมคาร์บอน/ ลิตร + F/2	10 กรัมคาร์บอน/ ลิตร + F/2	1 กรัมคาร์บอน/ ลิตร	10 กรัมคาร์บอน/ ลิตร
0	23.83±17.90	8.50±6.25	12.33±2.73	5.00±2.00
1	12.83±4.96	21.17±17.50	7.00±4.56	5.67±7.12
2	11.17±11.14	9.50±5.68	5.17±5.08	6.67±7.20
3	23.50±26.19	10.33±6.80	3.00±2.37	3.50±1.87
4	16.42±0.00	5.67±0.00	4.33±0.00	3.08±0.00
5	9.33±12.58	1.00±1.55	5.67±7.23	2.67±4.32
6	12.83±7.44	20.33±9.93	10.33±7.79	6.67±4.23
7	2.00±1.10	2.00±1.26	4.17±2.23	2.50±2.59

ตารางที่ จ.13 อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย *Perinereis* sp. ที่เลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง และเลี้ยงด้วยอาหารกึ่ง ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 20 และ 41 วันและทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan

ระยะเวลาเลี้ยง (วัน)	อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i>	
	อาหารกึ่ง	อาหารกึ่ง ร่วมกับไคอะตอม
20	93.34±9.43	98.34±2.35
41	92.74±3.20	89.67±8.96

Oneway
Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
28453276 27768964. 000	3	4	.000

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	77.376	3	25.792	.558	.670
(Combined)					
Linear Contrast	2.932	1	2.932	.063	.814
Term Deviation	74.444	2	37.222	.805	.508
Within Groups	184.869	4	46.217		
Total	262.244	7			

Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets
Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05
		1
4.00	2	89.6650
2.00	2	92.7400
1.00	2	93.3350
3.00	2	98.3350
Sig.		.276

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

ตารางที่ จ.14 ปริมาณสารสีในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 41 วันและทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan

ชนิดสารสี	ปริมาณสารสี (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	อาหารกุ้ง	อาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม
คลอโรฟิลล์ เอ	0.05±0.05	0.11±0.06
แคโรทีนอยด์	0.06±0.01	0.18±0.03

**Oneway
Test of Homogeneity of Variances**

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.651	11	24	.001

ANOVA

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)		.095	11	.009	14.596	.000
	Linear	Contrast	.029	1	.029	49.895	.000
	Term	Deviation	.065	10	.007	11.066	.000
Within Groups			.014	24	.001		
Total			.109	35			

**Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets
Duncan**

Factor	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
3.00	3	.0034		
6.00	3	.0067		
5.00	3	.0069		
4.00	3	.0111		
1.00	3	.0134		
2.00	3	.0200	.0200	
12.00	3	.0356	.0356	
11.00	3	.0358	.0358	
8.00	3		.0633	
7.00	3		.0637	
10.00	3			.1522
9.00	3			.1535
Sig.		.168	.058	.948

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ จ.15 อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* วัยอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 55 วันและทดสอบทางสถิติด้วย t-Test

ระยะเวลาเลี้ยง (วัน)	อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i>	
	อาหารกุ้ง	อาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม
55	74.67±10.48	98.89±1.92

t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	74.66667	98.88889
Variance	109.7778	3.703704
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.936766	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	-4.82188	
P(T<=t) one-tail	0.02021	
t Critical one-tail	2.919986	
P(T<=t) two-tail	0.04042	
t Critical two-tail	4.302653	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.16 ปริมาณสารสีในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 41 วันและทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan

ระยะเวลาเลี้ยง (วัน)	ชนิดสารสี	ปริมาณสารสี (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
		อาหารกุ้ง	อาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม
20	คลอโรฟิลล์ เอ	0.01±0.01	0.06±0.03
	แคโรทีนอยด์	0.02±0.01	0.06±0.03
40	คลอโรฟิลล์ เอ	0.00±0.01	0.15±0.05
	แคโรทีนอยด์	0.01±0.01	0.15±0.04
55	คลอโรฟิลล์ เอ	0.01±0.00	0.04±0.02
	แคโรทีนอยด์	0.01±0.01	0.04±0.02

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.651	11	24	.001

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)	.851	11	.077	14.596	.000
	Linear Contrast	.264	1	.264	49.895	.000
	Term Deviation	.586	10	.059	11.066	.000
Within Groups		.127	24	.005		
Total		.978	35			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
3.00	3	.0101		
6.00	3	.0200		
5.00	3	.0208		
4.00	3	.0333		
1.00	3	.0401		
2.00	3	.0600	.0600	
12.00	3	.1067	.1067	
11.00	3	.1074	.1074	
8.00	3		.1900	
7.00	3		.1911	
10.00	3			.4567
9.00	3			.4606
Sig.		.168	.058	.948

ตารางที่ จ.17 ชนิดและปริมาณสารสีของไคอะตอม *A. delicatissima*

Pigment	relative response factor	Peak	Time	Area		Pigment (mg/g dry weight)	
Degrade-Chlorophyll c	0.63	1	6.70	36.1	2.22	2.223	2.223
Unidentified Carotenoid	0.77	2	7.29	24.8	0.02	0.018	0.018
Fucoxanthin	1.09	3	7.79	1651.3	1.74	1.736	1.789
Unidentified Carotenoid	0.77	4	8.39	617.0	0.46	0.458	0.349
Chlorophyll a	2.89	5	12.45	332.8	0.93	0.927	0.927
Chlorophyll a	2.89	6	13.01	393.0	1.10	1.095	1.095
Chlorophyll a	2.89	7	13.96	160.4	0.45	0.447	0.447
Unidentified Carotenoid	0.77	8	22.72	125.2	0.09	0.093	0.036

ตารางที่ จ.18 ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* ว่ายอ่อน ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง เป็นเวลา 55 วัน

Pigment	relative response factor	Peak	Time	Area		Pigment (mg/g dry weight)	
Unidentified	-	1	1.43	1465.2	1465.2	-	-
Unidentified	-	2	2.14	70.10	70.1	-	-
Unidentified	-	3	6.67	69.40	69.4	-	-
Astaxanthin	1	4	8.28	15.80	15.0	0.000086	0.000082
Unidentified Carotenoid	0.77	5	8.82	17.30	17.4	0.000072	0.000073

ตารางที่ จ.19 ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* วัยอ่อน เดือน ที่เลี้ยง ด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไดอะตอม *A. delicatissima* เป็นเวลา 55 วัน

Pigment	relative response factor	Peak	Time	Area		Pigment (mg/g dry weight)	
Unidentified	-	1	1.41	1480.40	1480.40	-	-
Unidentified	-	2	2.24	93.40	93.40	-	-
Unidentified	-	3	2.47	123.20	123.20	-	-
Unidentified	-	4	6.67	106.60	106.60	-	-
Fucoxanthin	1.09	5	7.29	2115.30	2107.66	0.01260	0.01256
Unidentified Carotenoid	0.77	6	7.54	335.80	338.25	0.00141	0.00142
Unidentified Carotenoid	0.77	7	7.73	677.90	671.18	0.00285	0.00283
Unidentified	-	8	8.34	117.40	117.40	-	-
Unidentified	-	9	8.84	170.80	170.80	-	-
Unidentified	-	10	9.37	71.20	71.20	-	-
Unidentified Carotenoid	0.77	11	12.26	39.70	39.47	0.00017	0.00017
Unidentified Carotenoid	0.77	12	19.99	349.40	168.37	0.00147	0.00071

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.20 อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* จากธรรมชาติ เลี้ยงด้วยอาหาร กุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไดอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงนาน 15 และ 33 วัน และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan

ระยะเวลาเลี้ยง (วัน)	อัตรารอดเฉลี่ยของเพรียงทราย <i>Perinereis nuntia</i>	
	อาหารกุ้ง	อาหารกุ้งร่วมกับไดอะตอม
15	93.33±7.64	93.33±2.89
33	90.00±10.00	90.00±10.00

Oneway
Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.667	3	8	.596

ANOVA

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)		33.333	3	11.111	.167	.916
	Linear Term	Contrast	.000	1	.000	.000	1.000
		Deviation	33.333	2	16.667	.250	.785
Within Groups			533.333	8	66.667		
Total			566.667	11			

Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets
Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05
		1
2.00	3	90.0000
3.00	3	90.0000
1.00	3	93.3333
4.00	3	93.3333
Sig.		.649

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ จ.21 ปริมาณสารในชั้นทรายของระบบเลี้ยงเพรียงทราย *Perinereis nuntia* จากธรรมชาติ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม *A. delicatissima* หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 15 และ 33 วัน และทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan

ระยะเวลาเลี้ยง (วัน)	ชนิดสารสี	ปริมาณสารสี (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
		อาหารกุ้ง	อาหารกุ้ง ร่วมกับไคอะตอม
15	คลอโรฟิลล์ เอ	-	0.0032±0.0056
	แคโรทีนอยด์	-	0.0033±0.0033
33	คลอโรฟิลล์ เอ	0.0045±0.0052	0.0116±0.0021
	แคโรทีนอยด์	0.0111±0.0038	0.0133±0.0058

**Oneway
Test of Homogeneity of Variances**

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.068	7	16	.010

ANOVA

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)		.001	7	.000	5.640	.002
	Linear	Contrast	.000	1	.000	22.991	.000
	Term	Deviation	.000	6	.000	2.748	.050
Within Groups			.000	16	.000		
Total			.001	23			

**Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets
Duncan**

Factor	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1.00	3	.0000		
2.00	3	.0000		
5.00	3	.0032		
6.00	3	.0033		
3.00	3	.0045	.0045	
4.00	3		.0111	.0111
7.00	3			.0116
8.00	3			.0133
Sig.		.217	.055	.519

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ จ.22 ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* จากธรรมชาติ

Pigment	relative response factor	Peak	Time	Area		Pigment (mg/g dry weight)	
Chlorophyll a	2.89	1	1.749	10.8	10.8	0.00023	0.00023
Chlorophyll a	2.89	2	6.829	12.1	12.1	0.00026	0.00026
Unidentified	-	3	7.29	76.1	71.1	-	-
Unidentified	-	4	8.326	48.9	41.4	-	-
Unidentified Carotenoid	0.77	5	8.829	988.7	990.0	0.00568	0.00568
Unidentified Carotenoid	0.77	6	9.369	240.5	238.3	0.00138	0.00137
Unidentified Carotenoid	0.77	7	9.598	194.2	191.2	0.00111	0.00110
Unidentified Carotenoid	0.77	8	9.782	6.2	13.4	0.00004	0.00008
Unidentified	-	9	11.212	70	76.5	-	-
Unidentified	-	10	14.26	21.7	19.2	-	-
Unidentified Carotenoid	0.77	11	19.779	43	42.0	0.00025	0.00024
Unidentified Carotenoid	0.77	12	20.376	540	526.9	0.00310	0.00302
Unidentified Carotenoid	0.77	13	21.115	349.2	307.8	0.00200	0.00177

ตารางที่ จ.23 ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* จากธรรมชาติ ที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง เป็นเวลา 15 วัน

Pigment	relative response factor	Peak	Time	Area		Pigment (mg/g dry weight)	
Unidentified	-	1	7.15	46.9	124.3	-	-
Unidentified	-	2	8.29	32.5	49.4	-	-
Unidentified Carotenoid	0.77	3	8.88	1141.8	1323.8	0.00669	0.007761
Unidentified Carotenoid	0.77	4	9.52	159.9	-	0.00094	-
Unidentified Carotenoid	0.77	5	9.79	235.4	256.7	0.00138	0.001505
Unidentified Carotenoid	0.77	6	10.01	21.6	10.6	0.00013	0.000062
Unidentified	-	7	11.61	15.2	89.2	-	-
Unidentified	-	8	13.86	35.6	0.0	-	-
Unidentified	-	9	14.24	36.4	18.6	-	-
Unidentified	-	10	15.16	19	9.4	-	-
Unidentified Carotenoid	0.77	11	23.75	307	-	0.00180	-
Unidentified Carotenoid	0.77	12	24.75	100.4	-	0.00059	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.24 ชนิดและปริมาณสารสีของเพรียงทราย *Perinereis nuntia* จากธรรมชาติ ที่เลี้ยง
ด้วยอาหารกุ้ง ร่วมกับไดอะตอม *A. delicatissima* เป็นเวลา 15 วัน

Pigment	relative response factor	Peak	Time	Area		Pigment (mg/g dry weight)	
Chlorophyll a	2.89	1	2.038	42.6	42.6	0.00087	0.000871
Chlorophyll a	2.89	2	7.026	7.9	7.9	0.00016	0.000161
Unidentified	-	3	7.262	138.8	122.7	-	-
Chlorophyll a	2.89	4	7.512	29.2	29.2	0.00060	0.000597
Unidentified Carotenoid	0.77	5	8.089	15.2	7.3	0.00008	0.000040
Unidentified Carotenoid	0.77	6	8.329	74.5	8.9	0.00041	0.000048
Unidentified Carotenoid	0.77	7	8.841	1868.8	1497.4	0.01018	0.008155
Unidentified Carotenoid	0.77	8	9.396	436.1	368.1	0.00238	0.002004
Unidentified Carotenoid	0.77	9	9.62	339.4	292.5	0.00185	0.001593
Unidentified Carotenoid	0.77	10	9.815	30.2	12.8	0.00016	0.000070
Unidentified	-	11	11.262	36.8	86.7	-	-
Unidentified Carotenoid	0.77	12	13.589	39.3	13.6	0.00021	0.000074
Unidentified	-	13	14.346	19.3	21.2	-	-
Unidentified Carotenoid	0.77	14	15.881	23.2	17.4	0.00013	0.000095
Unidentified Carotenoid	0.77	15	16.162	15	9.0	0.00008	0.000049
Unidentified Carotenoid	0.77	16	20.04	53	50.5	0.00029	0.000275
Unidentified Carotenoid	0.77	17	20.649	735.5	585.9	0.00401	0.003191
Unidentified Carotenoid	0.77	18	21.422	418.1	362.9	0.00228	0.001977

ตารางที่ จ.25 องค์ประกอบของกรดไขมันมาตรฐาน (Sigma # 189-19)

- | | |
|---|--|
| 1. Butyric acid methyl ester (C4:0) 4% | 21. Linolenic acid methyl ester (C18:3, <i>cis</i> -9,12,15) 2% |
| 2. Caproic acid methyl ester (C6:0) 4% | 22. γ -Linolenic acid methyl ester (C18:3, <i>cis</i> -6,9,12) 2% |
| 3. Caprylic acid methyl ester (C8:0) 4% | 23. Arachidic acid methyl ester (C20:0) 4% |
| 4. Capric acid methyl ester (C10:0) 4% | 24. <i>cis</i> -11-Eicosenoic acid methyl ester (C20:1) 2% |
| 5. Undecanoic acid methyl ester (C11:0) 2% | 25. <i>cis</i> -11,14-Eicosadienoic acid methyl ester (C20:2) 2% |
| 6. Lauric acid methyl ester (C12:0) 4% | 26. <i>cis</i> -11,14,17-Eicosatrienoic acid methyl ester (C20:3) 2% |
| 7. Tridecanoic acid methyl ester (C13:0) 2% | 27. <i>cis</i> -8,11,14-Eicosatrienoic acid methyl ester (C20:3) 2% |
| 8. Myristic acid methyl ester (C14:0) 4% | 28. Arachidonic acid methyl ester (C20:4, <i>cis</i> -5,8,11,14) 2% |
| 9. Myristoleic acid methyl ester (C14:1, <i>cis</i> -9) 2% | 29. <i>cis</i> -5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid methyl ester (C20:5) 2% |
| 10. Pentadecanoic acid methyl ester (C15:0) 2% | 30. Heneicosanoic acid methyl ester (C21:0) 2% |
| 11. <i>cis</i> -10-Pentadecenoic acid methyl ester (15:1) 2% | 31. Behenic acid methyl ester (C22:0) 4% |
| 12. Palmitic acid methyl ester (C16:0) 6% | 32. Erucic acid methyl ester (C22:1, <i>cis</i> -13) 2% |
| 13. Palmitoleic acid methyl ester (C16:1, <i>cis</i> -9) 2% | 33. <i>cis</i> -13,16-Docosadienoic acid methyl ester (C22:2) 2% |
| 14. Heptadecanoic acid methyl ester (C17:0) 2% | 34. <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid methyl ester (C22:6) 2% |
| 15. <i>cis</i> -10-Heptadecenoic acid methyl ester (C17:1) 2% | 35. Tricosanoic acid methyl ester (C23:0) 2% |
| 16. Stearic acid methyl ester (C18:0) 4% | 36. Lignoceric acid methyl ester (C24:0) 4% |
| 17. Oleic acid methyl ester (C18:1, <i>cis</i> -9) 4% | 37. Nervonic acid methyl ester (C24:1, <i>cis</i> -15) 2% |
| 18. Elaidic acid methyl ester (C18:1, <i>trans</i> -9) 2% | |
| 19. Linoleic acid methyl ester (C18:2, <i>cis</i> -9,12) 2% | |
| 20. Linolelaidic acid methyl ester (C18:2, <i>trans</i> -9,12) 2% | |

ตารางที่ จ.26 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของอาหารกุ้ง, ไคอะตอม *A. delicatissima*, เพรียงทราย *Perinereis nuntia* ว่ายอ่อน เลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเพรียงทราย เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม เป็นเวลา 55 วัน

Peak	Retention time (นาที)	ชนิดของกรดไขมัน	อาหารกุ้ง		ไคอะตอม		ชุดควบคุม		ชุดทดลอง	
			ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)
1	8.881	C14:0	3.27±0.04	2.22±0.06	5.61	3.49	1.89±0.01	1.70±0.05	1.88±0.06	1.39±0.05
2	10.511	C15:0	1.09±0.02	0.74±0.02	5.62	3.49	0.84±0.01	0.76±0.02	0.86±0.01	0.63±0.01
3	11.969	C16:0	24.50±0.17	16.64±0.35	23.62	14.67	27.02±0.00	24.30±0.60	25.97±0.12	19.16±0.14
4	12.359	C16:1	4.43±0.06	2.99±0.08	32.37	20.11	4.54±0.02	4.08±0.12	4.34±0.07	3.20±0.06
5	15.639	C18:0	8.59±0.07	5.82±0.13	-	-	8.92±0.04	8.02±0.23	9.73±0.01	7.18±0.01
6	16.087	C18:1	13.75±0.16	9.31±0.24	2.54	1.57	11.03±0.10	9.92±0.34	10.24±0.05	7.56±0.06
7	17.25	C18:2	10.69±0.03	7.31±0.08	1.00	0.62	7.08±0.01	6.37±0.16	6.25±0.07	4.61±0.06
8	19.129	C18:3	1.32±0.01	0.91±0.00	-	-	0.49±0.01	0.44±0.02	-	-
9	21.371	C20:0			-	-	0.46±0.01	0.41±0.00	0.49	0.36
10	21.829	C20:1	0.59±0.02	0.40±0.02	-	-	1.73±0.00	1.56±0.04	1.12±0.03	0.83±0.02
11	23.026	C20:2	-	-	-	-	1.55±0.01	1.39±0.05	1.51±0.05	1.11±0.03
12	26.431	C20:5	4.46±0.01	3.05±0.03	5.11	3.18	4.51±0.01	4.06±0.09	5.41±0.04	3.99±0.04
13	34.911	C24:0	-	-	1.66	1.03	-	-	-	-
14	35.504	C22:6	15.73±0.26	10.61±0.33	-	-	5.65±0.03	5.08±0.15	5.08±0.04	3.75±0.04
กรดไขมันที่ไม่สามารถจำแนกได้รวม			11.56	8.24	67.10	0.37	22.3	21.81	27.11	45.55
กรดไขมันทั้งหมด			100.00	69.30652	100.00	62.11	100.00	91.67141	100.00	100.8095

ตารางที่ จ.27 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของอาหารกุ้ง, ไคอะตอม *A. delicatissima*, เพรียงทราย *Perinereis nuntia* จากธรรมชาติ, เพรียงทรายเลี้ยงด้วยอาหารกุ้ง และเปรียงทรายเลี้ยงด้วยอาหารกุ้งร่วมกับไคอะตอม เป็นเวลา 33 วัน

Peak	Retention time (นาที)	ชนิดของกรดไขมัน	อาหารกุ้ง		ไคอะตอม		แม่เปรียงทรายจากธรรมชาติ		ชุดควบคุม		ชุดทดลอง	
			ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน(มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน(มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน(มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน(มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)	ปริมาณกรดไขมัน(มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)
1	4.699	C12:0	-	-	-	-	0.54±0.03	0.58±0.04	-	-	0.67	0.79
2	8.883	C14:0	2.39±0.88	1.20±0.10	5.61	3.49	1.29±0.01	1.38±0.01	0.88±1.06	0.89±0.04	1.75±0.87	1.23±0.15
3	10.511	C15:0			5.62	3.49	0.45±0.01	0.48±0.00	0.48	0.49±0.04	0.61±0.17	0.46±0.16
4	11.979	C16:0	23.28±0.75	11.73±0.88	23.62	14.67	27.69±0.23	29.67±0.70	24.39±0.93	24.74±1.73	23.46±0.28	19.44±11.79
5	12.362	C16:1	3.19±0.42	1.61±0.08	32.37	20.11	4.36±0.04	4.67±0.12	3.98±0.46	4.03±0.14	3.31±0.08	2.75±1.70
6	15.645	C18:0	6.48±0.48	3.27±0.28	-	-	6.64±0.02	7.11±0.09	7.26±0.62	7.36±0.50	6.37±0.08	5.24±3.07
7	15.91	C18:1	18.89±8.28	9.53±0.82	2.54	1.57	4.90±0.16	5.25±0.25	4.53±10.03	4.60±0.31	12.54±8.77	8.20±1.06
8	17.241	C18:2	20.63±9.38	10.40±0.88	1.00	0.62	3.59±0.13	3.85±0.08	4.40±11.38	4.46±0.25	12.34±11.50	7.36±3.42
9	19.127	C18:3	1.72±0.50	0.87±0.06	-	-	1.45±0.02	1.56±0.05	0.85±0.62	0.86±0.05	1.31±0.58	0.94±0.17
10	21.719	C20:1	0.91±0.62	0.46±0.03	-	-	1.66±0.02	1.78±0.05	2.00±0.75	2.02±0.11	1.42±0.71	1.35±1.29
11	23.031	C20:2	-	-	-	-	3.18±0.08	3.41±0.14	2.82	2.86±0.22	3.11	3.65
12	26.426	C20:5	3.33±1.36	1.68±0.14	5.11	3.18	5.31±0.15	5.68±0.07	5.68±1.68	5.76±0.36	4.45±1.62	4.08±3.53
13	34.911	C24:0	-	-	1.66	1.03	-	-	-	-	-	-
14	35.472	C22:6	7.80±3.79	3.94±0.40	-	-	0.52±0.02	0.56±0.03	1.17±4.53	1.18±0.18	4.40±4.59	2.50±1.62
กรดไขมันที่ไม่สามารถจำแนกได้รวม			11.37	5.89	22.47	9.06	38.42	41.16	41.56	43.73	24.24	45.39
กรดไขมันทั้งหมด			100.00	50.57	100.00	57.22	100	107.13	100.00	102.99	100.00	103.39

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเอกราช ภูมั่ง เกิดวันเสาร์ที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2521 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี เข้ารับการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย จังหวัดสุพรรณบุรี สอบเข้าศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตตรง สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ.2542 หลังจากนั้นสอบเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท แผนกวิชาชีววิทยาทางทะเล สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2549 และได้เข้าร่วมเสนอผลงานดังนี้

- Phookung, E., Baipad, N., Kutako, M. and Powtongsook, S. 2005. Heterotrophic Growth of the Diatom *Amphora delicatissima* AM9901 Using Shrimp Feed as the Main Nutrients Source (Poster). **The Fourth Asian-Pacific phycological forum**. October, 30th to November, 4th, 2005. Rama Gardens Hotel. Bangkok, Thailand. 233.

- เอกราช ภูมั่ง, สรวิศ เผ่าทองสุข และสมเกียรติ ปิยะธีรชิตีวรกุล. 2550. การเพิ่มปริมาณสารสีคาโรทีนอยด์ในแม่เพรียงทราย *Perinereis* sp. วัยอ่อน โดยการเสริมไดอะตอม *Amphora delicatissima* ลงในถังเลี้ยง. การประชุมวิชาการสำหรับและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 3. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 21-23 มีนาคม พ.ศ. 2550. หน้า 62.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย