ผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล สกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*

นางสาวเอกธิดา ทองเด็จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ON GROWTH AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF MARINE MACROALGAE GENUS *Caulerpa, Ulva* AND *Gracilaria*

Miss Ekthida Thongdet

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Science Program in Marine Science
Department of Marine Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล สกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*
โดย	นางสาวเอกธิดา ทองเด็จ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิติธรรมยง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกธิดา ทองเต็จ : ผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria* (EFFECTS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ON GROWTH AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF MARINE MACROALGAE GENUS *Caulerpa*, *Ulva* AND *Gracilaria*) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร.วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล, 87 หน้า

การศึกษาอิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*, *Ulva rigida* และ *Gracilaria fisheri* ผลการศึกษาอัตราการเติบโตพบว่า ในการทดลองที่ 1 สาหร่ายชนิด *C. lentilifera*, *U. rigida* และ *G. fisheri* มีอัตราการเติบโตดีที่สุดหลังจากเติมสารอาหาร 1 สัปดาห์ ในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 10:1, 30:1 และ 12:1 ตามลำดับ ในการทดลองที่ 2 สาหร่ายชนิด *C. lentilifera* มีอัตราการเติบโตดีที่สุดหลังจากเติมสารอาหาร 1 สัปดาห์ ในอัตราส่วนของ NO_3:NH_4^+ เท่ากับ 25:1 ในสาหร่ายชนิด *U. rigida* และ *G. fisheri* มีอัตราการเติบโตดีที่สุดในอัตราส่วนของ NO_3:NH_4^+ เท่ากับ 0:100 การทดลองที่ 3 สาหร่ายชนิด *C. lentilifera*, *U. rigida* และ *G. fisheri* มีอัตราการเติบโตดีที่สุดหลังจากเติมสารอาหาร 1 สัปดาห์ ในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 1850 และ 151, 750 และ 26 และ 50 และ 8 µM

อัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP มีอิทธิพลต่อปริมาณสารชีวเคมีที่พบในสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด โดยพบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนจะมีปริมาณมากในชุดการทดลองที่อัตราส่วนของ N:P และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP สูง ส่วนปริมาณเถ้า ปริมาณไขมันและชนิดของกรดไขมัน ในสาหร่ายไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของ N:P และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่แตกต่างกัน โดยกรดไขมันที่พบมีปริมาณสูงในทุกชุดการทดลองคือ Palmitic Acid และ Oleic Acid โดยสาหร่ายที่มีอัตราการเติบโตสูง จะพบ Oleic Acid ในปริมาณที่สูงกว่าสาหร่ายที่มีอัตราการเติบโตที่ต่ำกว่า ในขณะที่รูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณไขมันของสาหร่ายชนิด *C.lentilifera* และชนิด *U. rigida* แต่มีแนวโน้มว่าปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณไขมันของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีแอมโมเนียมสูงกว่าไนเตรท แต่รูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนมีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต แต่ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมันในสาหร่ายชนิด *G. fisheri*

สาหร่ายสีเขียวชนิด *C. lentilifera* และชนิด *U. rigida* สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่มีปริมาณสารอาหารสูงได้ เป็นสาหร่ายที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากสามารถดึงแอมโมเนียมไปใช้ได้ดี นอกจากนี้ยังมีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้เนื่องจากมีปริมาณของกรดไขมันชนิด Palmitic acid ในปริมาณสูง เป็นแหล่งอาหารเนื่องจากอุดมไปด้วยปริมาณสารชีวเคมี โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวชนิด *U. rigida* ซึ่งมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง ส่วนสาหร่ายสีแดงชนิด *G. fisheri* ก็มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเช่นกันเนื่องจากสามารถนำแอมโมเนียมไปใช้ได้ดี และเหมาะที่จะใช้ประโยชน์ในการบริโภคเนื่องจากมีกรดไขมันชนิด Oleic acid ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพในปริมาณค่อนข้างสูง

ภาควิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2553.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5072583823: MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORDS: *Caulerpa lentilifer* / *Ulva rigida* / *Gracilaria fisheri* / NITROGEN / PHOSPHORUS / AMMONIUM / BIOCHEMICAL COMPOSITION

EKTHIDA THONGDET: EFFECTS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ON GROWTH AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF MARINE MACROALGAE GENUS *Caulerpa*, *Ulva* AND *Gracilaria*. ADVISOR: ASSOC. PROF AJCHARAPORN PIUMSOMBOON, Ph, D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF WARAWUT CHULALAKSANANUKUL, Ph, D.,87 pp.

The effects of nitrogen and phosphorus on growth and biochemical composition of marine macroalgae species *Caulerpa lentilifera*, *Ulva rigida* and *Gracilaria fisheri* were investigated. The highest growth rate of *C. lentilifera*, *U. rigida* and *G. fisheri* were found in the medium with N:P ratio 10:1, 30:1 and 12:1, respectively. The green algae *C. lentilifera* showed preference of nitrogen in form of NO_3 over NH_4^+ since its growth rate was maximized in the NO_3:NH_4^+ ratio of 96:4. Another green algae, *U. rigida* and a red algae *G. fisheri* exhibited better growth in medium with high NH_4^+ (NO_3:NH_4^+ ratio of 0:100). These algae also showed different requirement for nutrient concentrations with the highest requirement of *C. lentilifera*; 1850 µM of DIN and 151 µM of DIP and 750 µM of DIN and 26 µM of DIP for *U. rigida* and 50 µM of DIN and 8 µM of DIP for *G. fisheri*. This discrepancy may due to algal experience in different nutrient status in their environments.

The N:P ratio and the DIN and DIP concentrations have significant effects on biochemical compositions of these macroalgae. The highest amounts of carbohydrate and the amounts of protein in algae were found in high N:P ratio and high DIN and DIP concentrations while there is no significant effects on the amounts of ash, the amounts of lipid and fatty acid profile. The most abundant fatty acids found in these algae comprised of Palmitic Acid (16:0) and Oleic Acid (C18:1). The form of nitrogen, nitrate or ammonium, has no significant effect on the amounts of ash, the amounts of protein, the amounts of carbohydrate and the amounts of lipid in *C.lentilifera* and *U. rigida*. However, there is a tendency of higher amounts of protein, carbohydrate and lipid under higher ammonium condition. On the other hand, the amounts of carbohydrates in the red algae *G. fisheri* increased significantly with the increase in nitrate concentration rather than ammonium concentration.

Chlorophyta species *C. lentilifera* and *U. rigida* can be the bioindicator for eutrophic environment. They have the potential to treat high nitrogen wastewater especially wastewater from coastal aquaculture because of the luxury ammonium uptake. In addition, they have the potential as raw materials for biodiesel because of their high Palmitic acid contents. Due to high biochemical composition especially the protein contents, a green alga *U. rigida* can be used as the potential food source for aquaculture feed. A rhodophyta species *G. fisheri* has high ability to uptake ammonium, so it is useful for coastal wastewater treatment as well. This macroalga is also suitable for using as health food because of its high Oleic acid contents.

Department: .....Marine Science.....Student's Signature.....Ekthida Thongdet.....

Field of Study: .....Marine Science.....Advisor's Signature.....

Academic Year: .....2010.....Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำด้านวิชาการ แนวทางการวิจัย เอกสารและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิติธรรมยง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์ และ ศาสตราจารย์กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาวิจัย รวมทั้งนักวิจัยและเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องสถานที่ศึกษาและคำแนะนำในการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณสุวรรณา วรสิงห์ สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดตราด และคุณสุธาสินี ห้วงน้ำที่ให้พันธุ์สาหร่ายสำหรับการทดลองและคำแนะนำในการเลี้ยงสาหร่าย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

การศึกษาครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (BRT)

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนเรื่องทุนการศึกษา รวมทั้งน้องสาวที่คอยให้กำลังใจ เข้าใจและเชื่อมั่นในตัวผู้วิจัยเสมอ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคุณสฤษดิ์ สองเมือง คุณวรรณี กลับนวล คุณเกศสุดา เทพยศ คุณ Michael Müller และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยรับฟัง ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือเรื่องเอกสารอ้างอิง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูป..... ฐ

บทที่

1.บทนำ..... 1

แนวเหตุผลและทฤษฎีสำคัญ..... 1

วัตถุประสงค์..... 2

ขอบเขตของการวิจัย..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

การสำรวจเอกสาร..... 2

1. สัณฐานวิทยาของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*, *Ulva rigida* และ *Gracilaria fisheri*..... 2
2. องค์ประกอบของสารชีวเคมี (Biochemical composition) ในสาหร่ายทะเล..... 4
3. อิทธิพลของอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอาหารต่อการเติบโตและองค์ประกอบของสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเล..... 8
4. การสะสมและการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีในเนื้อเยื่อสาหร่ายทะเล..... 10
5. รูปแบบของไนโตรเจน (ไนเตรทและแอมโมเนีย) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเล..... 11

2.วิธีดำเนินการศึกษา..... 12

สถานที่ศึกษา..... 12

วิธีการศึกษา..... 12

1. การเตรียมตัวอย่างสาหร่ายทะเล..... 12
2. การเตรียมสารอาหาร..... 12
3. ระยะเวลาในการศึกษา..... 12
4. ขั้นตอนการศึกษา..... 12

บทที่		หน้า
	5. การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำในการศึกษา.....	13
	6. การศึกษาการเติบโตและวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล.....	14
	7. การวิเคราะห์ผลการศึกษา.....	16
3.	ผลการศึกษา.....	18
	1. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโต และปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	18
	1.1 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	18
	1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	19
	1.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	22
	1.4 อิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO^-_3:NH_4^+) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	24
	1.5 อิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3:NH_4^+) ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	25
	1.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3:NH_4^+) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเล ชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	28
	1.7 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโต ของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	30
	1.8 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมี ของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	31
	1.9 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารอาหาร ไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมี ในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*.....	34
	2. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโต และปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*.....	36
	2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*.....	36
	2.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*.....	37

บทที่ หน้า

2.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจน
ต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมี
ในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*..... 40
2.4 อิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3:NH_4^+)
ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*..... 41
2.5 อิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3:NH_4^+)
ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*..... 42
2.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย
(NO_3:NH_4^+) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมี
ในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*..... 45
2.7 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP
ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida* 47
2.8 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP
ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*..... 48
2.9 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้น
ของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP)
ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*..... 51
3. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโต
และปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*..... 52
3.1 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)
ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*..... 52
3.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)
ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri* 53
3.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อ
ฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเล
ชนิด *Gracilaria fisheri*..... 56
3.4 อิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3:NH_4^+)
ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*..... 58
3.5 อิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3:NH_4^+)
ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*..... 59

บทที่ หน้า

3.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3:NH_4^+) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเล ชนิด *Gracilaria fisheri*..... 62
3.7 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโต ของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*..... 64
3.8 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่าย ทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*..... 65
3.9 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้น ของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ต่อการเติบโต และปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*..... 67
4.วิจารณ์ผลการศึกษา..... 69
1. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจน-ฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารประกอบ ทางชีวเคมีของสาหร่ายสีเขียวชนิด *Caulerpa lentilifera*..... 69
2. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจน-ฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารประกอบ ทางชีวเคมีของสาหร่ายสีเขียวชนิด *Ulva rigida*..... 71
3. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจน-ฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารประกอบ ทางชีวเคมีของสาหร่ายสีแดงชนิด *Gracilaria fisheri*..... 74
4. ปริมาณไขมันและกรดไขมัน..... 75
5.สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 76
1. อัตราส่วนโดยโมล รูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนและระดับความเข้มข้นของสารอาหาร ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะต่อการเลี้ยงสาหร่ายทะเล..... 76
2. การใช้ประโยชน์สาหร่ายในการบำบัดน้ำเสีย..... 77
3. การใช้ประโยชน์สาหร่ายในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงาน..... 77
4. การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายในการเป็นอาหาร..... 78
รายการอ้างอิง..... 79
ภาคผนวก..... 85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*……..	5
2	ปริมาณโปรตีนที่พบในสาหร่ายทะเล Genus *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*……..	6
3	ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายทะเล Genus *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*…….	7
4	ปริมาณเถ้าที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*……...	8
5	อัตราส่วนของ N และ P ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลในเขตร้อน ในสภาพแวดล้อมที่มี N และ P ที่แตกต่างกัน……...	9
6	ค่า Retention time ของสารละลายมาตรฐานกรดไขมัน……..….	16
7	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* ……	19
8	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*…….....	21
9	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*……	21
10	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*……	23
11	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*…….....	25
12	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*……	27
13	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*……	27
14	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*……..	29
15	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*……..	30
16	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*……	33
17	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*……	33

ตารางที่		หน้า
18	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	35
19	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	36
20	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	39
21	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	39
22	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	40
23	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	41
24	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	44
25	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	44
26	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	46
27	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	47
28	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	50
29	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	50
30	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	51
31	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	53
32	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	55
33	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	55

ตารางที่		หน้า
34	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	57
35	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	58
36	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	61
37	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	61
38	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	63
39	ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	64
40	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	67
41	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	67
42	ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	68
43	ปริมาณสารชีวเคมีที่พบในสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ให้อัตราการเติบโตดีที่สุด.....	78
44	ปริมาณกรดไขมันที่พบในสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ให้อัตราการเติบโตดีที่สุด.....	78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	*Caulerpa lentilifera*.....	2
2	ลักษณะทราเบคูลา.....	3
3	ลักษณะของรามูลัส.....	3
4	*Ulva rigida*.....	3
5	หนามบริเวณขอบของทัลลัส.....	3
6	ความหนาของทัลลัส.....	3
7	เม็ดไพรีนอยด์ที่อยู่บนคลอโรพลาสต์.....	3
8	*Gracilaria fisheri*.....	4
9	Fatty acid Profile ของสารละลายมาตรฐานกรดไขมัน.....	15
10	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*	18
11	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	20
12	ปริมาณ DIN ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*	22
13	ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*	22
14	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	24
15	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	26
16	ปริมาณ NO_3 ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	28
17	ปริมาณ NH_4^+ ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	28
18	ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	28
19	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	30

รูปที่		หน้า
20	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	32
21	ปริมาณ DIN ในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*.....	34
22	ปริมาณ DIP ในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*	34
23	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	36
24	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	38
25	ปริมาณ DIN ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	40
26	ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	40
27	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	41
28	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	43
29	ปริมาณ NO_3 ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	45
30	ปริมาณ NH_4^+ ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*	45
31	ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*	45
32	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	47
33	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	49
34	ปริมาณ DINในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	51
35	ปริมาณ DIP ในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*.....	51

รูปที่		หน้า
36	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	52
37	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	54
38	ปริมาณ DINในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	56
39	ปริมาณ DIPในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	56
40	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	58
41	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	60
42	ปริมาณ NO_3 ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	62
43	ปริมาณ NH_4^+ ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	62
44	ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	62
45	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	64
46	ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	66
47	ปริมาณ DINในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	68
48	ปริมาณ DIP ในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*.....	68
49	ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของสาหร่ายชนิด *U. rigida* กับปริมาณ DINในสิ่งแวดล้อม.....	71
50	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆในเนื้อเยื่อของสาหร่ายชนิด *Ulva fenestrata* เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติมไนเตรทและแอมโมเนียม.....	73

บทที่ 1

บทนำ

แนวเหตุผลและทฤษฎีสำคัญ

โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญ โดยโปรตีนมีความสำคัญในกระบวนการทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิตทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวขนส่งและเก็บกักสาร ทำหน้าที่ในการควบคุมการเติบโตและการแบ่งตัวของเซลล์ คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบที่สำคัญที่สุดในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ เนื่องจากแหล่งพลังงานของกระบวนการดังกล่าว ส่วนไขมันเป็นสารประกอบที่ให้พลังงานสูงในกระบวนการ oxidation เป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิต (Shanmugam and Palpandi, 2008) สาหร่ายทะเลเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีปริมาณสารชีวเคมีดังกล่าวในปริมาณสูง และได้มีการนำทรัพยากรชนิดนี้มาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะเพื่อการบริโภค ไม่ว่าจะเป็นการบริโภคสด หรือเป็นส่วนประกอบของอาหาร และเป็นแหล่งของ agar, alginate และ carrageenan ที่นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและเภสัชกรรม นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินในการเพาะปลูก เป็นอาหารสัตว์และสัตว์น้ำ ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากสาหร่ายทะเลจะช่วยลดปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะหนักได้ (McHugh, 2003) นอกจากนี้ยังใช้สารสกัดที่ได้ เช่น สาร antioxidants ที่พบในสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมเพื่อช่วยในการควบคุมและป้องกันโรคต่างๆที่เกิดกับมนุษย์ได้มากมาย สาหร่ายที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีเขียวชนิด *Caulerpa lentilifera* หรือสาหร่ายช่อพริกไทยและ *Ulva rigida* หรือสาหร่ายผักกาดทะเล ถูกนำมาบริโภคและใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ทำน้ำจุลินทรีย์ และใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (สุวรรณา วรสิงห์ และคณะ, 2552; Ratana-arporn and Chirapart, 2006) ส่วน *Gracilaria fisheri* หรือสาหร่ายผมนาง เป็นสาหร่ายสีแดงที่ใช้บริโภคสด เป็นอาหารหอยเป๋าฮื้อ ปูม้า ปูทะเล รักษาโรคความดันโลหิตสูง ใจสั่น หลอดเลือดแข็ง บำรุงสมอง รักษาโรคกระเพาะ เป็นยาระบาย ผลิตวุ้น ใช้ทำอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย ทำส่วนผสมของอาหารต่างๆ เช่น แยม เบเกอรี่ ลูกกวาด ไอศกรีม สาหร่ายแผ่นปรุงรส ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และใช้ในผลิตภัณฑ์สิ่งทอและกระดาษ (อาภรณ์ เทพพานิช, มปป)

สาหร่ายทะเลมีการกระจายอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของประเทศไทยทั่วไปและถูกนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการนำมาบริโภค เป็นอาหารสัตว์และการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง แต่เราไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมได้เนื่องจากผลผลิตของสาหร่ายที่ได้จากธรรมชาติมีการผันแปรตามฤดูกาล นอกจากนี้การเก็บผลผลิตของสาหร่ายทะเลจากธรรมชาติมากเกินไปยังเป็นการลดความหลากหลายของสาหร่ายทะเลในธรรมชาติลงด้วย ดังนั้นเพื่อลดการเก็บผลผลิตจากธรรมชาติและช่วยเพิ่มผลผลิตของสาหร่ายทะเลเพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง การศึกษาถึงสภาวะการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมเป็นประเด็นที่สำคัญและน่าสนใจ โดยเฉพาะประเด็นเรื่องอัตราส่วนและปริมาณของสารอาหารที่สาหร่ายทะเลต้องการและผลผลิตที่มีคุณค่าทางโภชนาการ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตและปริมาณของสารชีวเคมี ได้แก่ เถ้า (ash) โปรตีน (protein) ไขมัน (lipid) กรดไขมัน (fatty acid) และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa, Ulva* และ *Gracilaria*
2. ศึกษาอิทธิพลของรูปแบบของไนโตรเจนสองรูป คือ ไนเตรทและแอมโมเนียมต่อการเติบโตและปริมาณของสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa, Ulva* และ *Gracilaria*
3. ศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณของสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa, Ulva* และ *Gracilaria*

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa, Ulva* และ *Gracilaria* ภายหลังจากเพาะเลี้ยงด้วยระดับของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตและเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลที่ให้สารประกอบทางชีวเคมีที่พัฒนาใช้ประโยชน์ต่อไปได้โดยการปรับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้เหมาะสม

การสำรวจเอกสาร

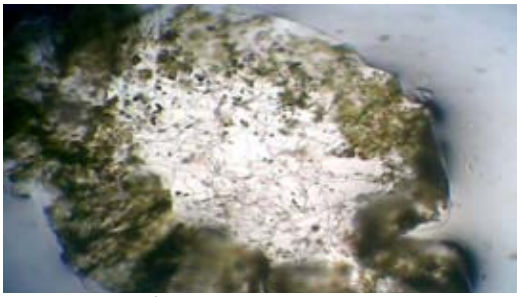
สาหร่ายมีขนาดตั้งแต่เล็กมากประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ ไปจนถึงขนาดใหญ่ มีความยาวหลายสิบเมตร สาหร่ายขนาดใหญ่ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (marine macroalgae หรือ seaweeds) เป็นสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสงได้ แต่ไม่มีดอก ราก ลำต้น และใบที่แท้จริงเหมือนพืชชั้นสูง มีแต่ส่วนที่คล้ายราก คล้ายลำต้น และคล้ายใบ รวมเรียกว่า ทัลลัส (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ และคณะ, 2551)

1. สัณฐานวิทยาของสาหร่ายทะเลที่ใช้ในการศึกษา

1.1 สาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentilifera*

ทัลลัส (thallus) เป็นท่อติดต่อกันตลอด ส่วนของไรโซม (rhizome) คืบคลานไปกับพื้นมีขนาด 2 มิลลิเมตร ไรซอยด์ (rhizoid) ไม่มีสี ทำหน้าที่คล้ายรากคือ ยึดเกาะ มีลักษณะเป็นฝอย ยาวประมาณ 2 เซนติเมตร เมื่อ ตัดตามขวาง (transverse section) จะพบทราเบคูลา (trabecula) ซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์ชั้นในที่ยื่นเข้าไปในช่องเซลล์ (cell cavity) มีลักษณะเหมือนตาข่ายประสานกัน รามูลัส (ramulus) รูปร่างกลมและตรงฐานคอด อาจซ้อนกันหรือเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบบน stalk (Meñez and Calumpong, 1982)

รูปที่ 1 *Caulerpa lentilifera*



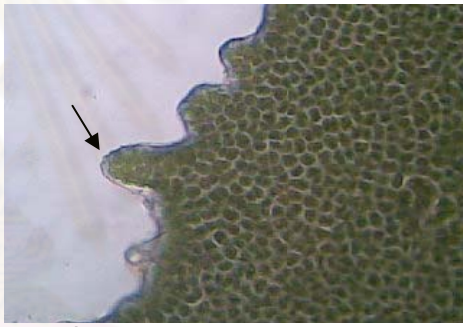
รูปที่ 2 ลักษณะทราเบคูลา

รูปที่ 3 ลักษณะของรามูลัส

1.2 **สาหร่ายสีเขียว** *Ulva rigida*

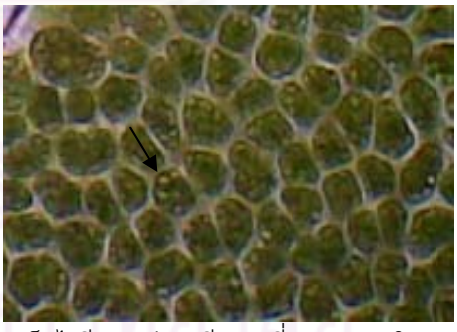
ทัลลัสมีสีเขียวอ่อนถึงเข้ม บนโฮลฟาสต์ (holdfast) มีเพียง 1 ใบ (frond) ทัลลัสมีความกว้าง 9 - 12 เซนติเมตร และยาว 18 - 20 เซนติเมตร บริเวณขอบมีหนาม (spine) ทัลลัสมีความหนา 2 ชั้นเซลล์ รูปร่างเซลล์ที่ผิวจะค่อนข้างยาว และเหมือนกันตลอดทั้งทัลลัส บนคลอโรพลาสต์ (chloroplast) มีไพรีนอยด์ (pyrenoid) 1-2 เม็ด/เซลล์ (Phang *et al*., 2008)

รูปที่ 4 *Ulva rigida*



รูปที่ 5 หนามบริเวณขอบของทัลลัส

รูปที่ 6 ความหนาของทัลลัส



รูปที่ 7 เม็ดไพรีนอยด์ (จุดสีขาว) ที่อยู่บนคลอโรพลาสต์

1.3 **สาหร่ายสีแดง** *Gracilaria fisheri*

ทัลลัสเป็นพุ่ม มีสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลเข้ม สูง 12 - 20 เซนติเมตร แขนงเป็นรูปทรงกระบอกแตกแขนงอย่างไม่สม่ำเสมอและเรียวเล็กลงไปทางด้านปลายยอด ตรงฐานของแขนงค่อนข้างเล็ก axis branch มีขนาด 1.1 - 1.5 มิลลิเมตร ฐานมีขนาด 1.7 - 2.2 มิลลิเมตร เมดูลลา (medulla) มีขนาด 0.4 - 1.1 มิลลิเมตร ชั้นคอร์เท็ก (cortex) หนา 3 - 4 ชั้นเซลล์ ซิสโตคาร์ป (cystocarp) เป็นรูปกรวย (conical shape) และมีขนาด 0.5 - 0.7 มิลลิเมตร (Ruangchuay *et al*., 2007)

รูปที่ 8 *Gracilaria fisheri*

2. องค์ประกอบทางชีวเคมี (biochemical composition) ของสาหร่ายทะเล

สาหร่ายทะเลสดมีน้ำร้อยละ 80 - 90 เมื่อทำให้แห้ง น้ำจะลดลงเหลือร้อยละ 10 – 20 ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน นอกจากนี้ยังมีวิตามิน สารสี และอื่นๆ (สุรภีร์ วีรวานิช, 2547)

2.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายทะเลเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ มีทั้งที่เป็นโครงสร้างในเซลล์อยู่ในเมือกระหว่างเซลล์ เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์และที่เก็บสะสมไว้ (Trainor, 1978; สุรภีร์ วีรวานิช, 2547) คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการเมทาบอลิซึมและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการหายใจ (Haroon *et al*., 2000) คาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายทะเลมีปริมาณร้อยละ 4 - 80 ของน้ำหนักแห้ง ประเภทของคาร์โบไฮเดรตที่พบในสาหร่ายทะเลแต่ละชนิดแตกต่างกัน คาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายสีเขียวอยู่ในรูปของอะไมโลเพคติน (Trainor, 1978) ในสาหร่ายสีแดงอยู่ในรูปของแป้งฟลอริเดียน เซลลูโลส ไซแลน แมนแนน อการ์ และคาราจีแนน และในสาหร่ายสีน้ำตาลพบในรูปของฟูคอยแดน ลามินาแรน แมนนิทอล เซลลูโลส และแอลจิเนท ซึ่งเป็นเกลือ Ca Mg หรือ Na ของกรดแอลจินิก (Trainor, 1978; Dawczynski *et al*., 2007) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria* มีดังนี้ (ตารางที่ 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*

ชนิด	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	เอกสารอ้างอิง
Caulerpa lentilifera	12.80 – 59.27	Renaud and Luong-Van (2006) Ratana-arporn and Chirapart (2006)
Caulerpa recemosa	14.70 - 16.60	Renaud and Luong-Van (2006)
Ulva lactuca	59.10	Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Ulva reticulata	50.25 – 55.77	Shanmugam and Palpandi (2008) Ratana-arporn and Chirapart (2006)
Enteromorpha intestinalis	18.70 - 35.5	Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010) Renaud and Luong-Van (2006) Manivannan *et al*. (2008)
Gracilaria corticata	19.30	Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Gracilaria folifera	22.32 ± 1.40	Manivannan *et al*. (2008)
Gracilaria salicornia	24.40	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria sp.	21.60	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria crassa	18.70	Renaud and Luong-Van (2006)

2.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเนื้อเยื่อของสาหร่าย เป็นองค์ประกอบของเม็ดไพรินอยด์ซึ่งเป็นแป้งพลาสติดที่เก็บอาหารสะสมของสาหร่ายทะเล (Trainor, 1978) ปริมาณโปรตีนที่พบในสาหร่ายทะเลมีค่าประมาณร้อยละ 1 - 25 โดยบางชนิดมีค่าสูงมาก เช่น สาหร่ายสีแดงชนิด *Porphyra tenera* ที่เรียกว่า “จีฉ่าย” หรือ “สายใบ” ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 21 – 47 กรัมโปรตีนต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (สุรภีร์ วีรวานิช, 2547; Renaud and Luong-Van, 2006; Dawczynski *et al*., 2007) กล่าวว่าสาหร่ายสีแดงจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายสีเขียว ปริมาณโปรตีนที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria* แสดงในตารางที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ปริมาณโปรตีนที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*

ชนิด	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	เอกสารอ้างอิง
Caulerpa lentilifera	6.60 – 12.49	Renaud and Luong-Van (2006) Ratana-arporn and Chirapart (2006)
Caulerpa recemosa	6.80 – 6.90	Renaud and Luong-Van (2006)
Ulva rigida	10 – 20	Fleurencel *et al*. (1995) Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Ulva lactuca	10.00 – 20.00	Fleurencel *et al*. (1995) Rohani-Ghadikolaei *et al* (2010)
Ulva rotundata	10.00 – 20.00	Fleurencel *et al*. (1995) Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Ulva reticulata	3.25 – 21.06	Manivannan *et al*. (2008) Shanmugam and Palpandi (2008) Ratana-arporn and Chirapart (2006)
Ulva armoricana	18.00 – 24.00	Fleurance *et al*. (1999)
Enteromorpha intestinalis	3.20 – 20.00	Manivannan *et al*. (2008) Fleurencel *et al*. (1995) Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010) Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria corticata	19.30	Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Gracilaria folifera	6.98 ± 0.08	Manivannan *et al*. (2008)
Gracilaria salicornia	6.00	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria sp.	7.00	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria crassa	6.40	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria lemaneiformis	20.87	Wen *et al*. (2006)

2.3 ไขมันและกรดไขมัน

ไขมันเป็นองค์ประกอบทางชีวเคมีต่างๆ ในสาหร่ายทะเล เช่น ไกลโคลิปิด ซึ่งมีปริมาณมากถึงร้อยละ 50 ของปริมาณไขมันทั้งหมดที่พบในสาหร่ายทะเล ฟอสโฟลิปิดและนิวทรอลลิปิด (Khotimchenko, 2005) เป็นอาหารสะสมในสาหร่ายสีเขียว (Trainor, 1978) โดยปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายทะเลมีค่าประมาณร้อยละ 1 - 8 ของน้ำหนักแห้ง โดยทั่วไปสาหร่ายสีเขียวจะมีปริมาณไขมันสูงกว่าสาหร่ายสีแดงและสาหร่ายสีน้ำตาล (Rohani-Ghadikolaei *et al*., 2010) ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria* ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*

ชนิด	ปริมาณไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	เอกสารอ้างอิง
Caulerpa lentilifera	0.86 - 2.70	Renaud and Luong-Van (2006) Ratana-arporn and Chirapart (2006)
Caulerpa recemosa	3.80 - 4.40	Renaud and Luong-Van (2006)
Ulva reticulata	0.75 - 19.98	Shanmugam and Palpandi (2008) Ratana-arporn and Chirapart (2006)
Ulva lactuca	3.60	Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Enteromorpha intestinalis	1.33 - 2.90	Manivannan *et al*. (2008) Renaud and Luong-Van (2006) Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Enteromorpha clathrata	4.60 ± 0.17	Manivannan *et al*. (2008)
Gracilaria folifera	3.23 ± 1.40	Manivannan *et al*. (2008)
Gracilaria salicornia	1.30	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracialria sp.	1.90	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria corticata	43.00	Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)

กรดไขมันที่พบในสาหร่ายทะเลจะเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ในช่วง 12 – 24 อะตอมและเป็นเลขคู่ และเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน 1 พันธะหรือมากกว่า เช่น Palmitoleic acid (C16:1) และ Oleic acid (C18:1) ส่วนกรดไขมันอิ่มตัว (เป็นกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน เช่น Palmitic acid (C16:0), Stearic acid (C18:0)) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสาหร่ายประกอบด้วยกรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันหลัก ส่วนกรดไขมันอิ่มตัวมีกรดปาล์มมิติกเป็นกรดไขมันหลักมีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 21 - 38 ของไขมันทั้งหมดและพบมีค่าสูงในสาหร่ายสีแดงประมาณร้อยละ 32 - 38 ของปริมาณไขมันทั้งหมด (ประมุข เพ็ญสุต, 2525; Yazici *et al*., 2007) Saito *et al* (2010) รายงานว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันหลักที่พบในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* ประกอบด้วย Linoleic acid (18:2n-6) และ Arachidonic acid (20:4n-6) Shanmugam and Palpandi (2008) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณกรดไขมันในสาหร่ายทะเลชนิด *U. reticulate* พบว่ากรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดในสาหร่ายชนิดนี้คือ Palmitic acid (16:0) โดยพบร้อยละ 50.76 ของปริมาณไขมันทั้งหมด สาหร่ายสีเขียวชนิด *Ulva rigita* และชนิด *Enteromorpha linza* มีปริมาณ Palmitic acid (16:0) ร้อยละ 26.2±1.1 และ 24.0±0.05 (Yazici *et al*., 2007) ส่วนสาหร่ายสีแดง เช่น *Gracilaria verrucosa* พบ Palmitic acid (16:0) ร้อยละ 42.4 Eicosapentaenoic acid (C20:5n-3) 25.8. และ Oleic acid (C18:1n-9) ร้อยละ 11.2 (Fleurence *et al*., 1994)

2.4 เถ้า

ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิสูง สารอินทรีย์จะถูกเผาออกไปจนหมด ปริมาณเถ้าที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria* (ตารางที่ 4) มีดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณเถ้าที่พบในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa*, *Ulva* และ *Gracilaria*

ชนิด	ปริมาณเถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	เอกสารอ้างอิง
Caulerpa lentilifera	24.21 - 48.90	Renaud and Luong-Van (2006) Ratana-arporn and Chirapart (2006)
Caulerpa recemosa	42.20 – 47.70	Renaud and Luong-Van (2006) Nirmal Kumar *et al*. (2009)
Caulerpa sertularioides	13.70	Nirmal Kumar *et al*. (2009)
Enteromorpha intestinalis	22.40 – 49.50	Manivannan *et al*. (2008) Renaud and Luong-Van (2006) Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Enteromorpha clathrata	4.60 ± 0.17	Manivannan *et al* (2008)
Ulva lactuca	12.40	Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)
Ulva reticulata	17.58 ± 2.0	Ratana-arporn and Chirapart (2006)
Gracilaria folifera	3.23 ± 1.40	Manivannan *et al*. (2008)
Gracilaria salicornia	49.30	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracialria sp.	53.10	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria crassa	52.30	Renaud and Luong-Van (2006)
Gracilaria corticata	23.10	Rohani-Ghadikolaei *et al*. (2010)

3. อิทธิพลของอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอาหารต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเล

ปริมาณสารอาหารในน้ำทะเลมีอิทธิพลต่อการเติบโต การควบคุมทางชีวเคมี การสืบพันธุ์ การพัฒนารูปร่าง และการกระจายของสาหร่าย สนม วันเพ็ญ (2530) อ้างถึงใน นิสราภรณ์ ภักดีพันธุ์ (2544) ว่าธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของสาหร่ายมีหลายชนิด เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น แต่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเติบโตและการสร้างสารชีวเคมีภายในเซลล์ของสาหร่ายทะเลมาก เนื่องจากความเข้มข้นของธาตุอาหารดังกล่าวที่มีในน้ำทะเลมีค่าน้อย ส่งผลให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเล โดยไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดสำหรับสาหร่ายทะเลมากที่สุด รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส (Lüning, 1990; Lobban and Harrison, 1997)

ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างสารพันธุกรรมของสาหร่าย เช่น กรดอะมิโน พิวรีน ไพริมิดีน เอไมน์ และรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์ เป็นต้น ในสิ่งแวดล้อมจะพบไนโตรเจนได้ทั้งในรูปแอมโมเนียม ไนเตรท ไนไตรท์ และกรดอะมิโน ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไปใช้ได้ดีที่สุด แต่ในธรรมชาติสารประกอบไนโตรเจนในรูปนี้มีความเข้มข้นต่ำ ดังนั้นสาหร่ายจึงนำสารประกอบไนโตรเจนในรูปไนเตรทไปใช้มากกว่า (Lüning, 1990; Lobban and Harrison, 1997) ถ้าสาหร่ายทะเลขาดแคลนไนโตรเจนจะมีผลต่อการเติบโต การตอบสนองทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายโดยอัตราการเติบโตและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะลดลง (Topinka and Robins, 1976) Viaroli *et al*. (1996) รายงานว่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (specific growth rate) ของสาหร่ายชนิด *Ulva rigida* มีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 0.025 - 0.081 ต่อวัน และมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณ DIN ในน้ำซึ่งมีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง <1 -

90 μmol/L Richardson *et al*. (1969) กล่าวว่ากระบวนการที่เกิดเมื่อไนโตรเจนลดลงคือ ปริมาณโปรตีนจะลดลง จากนั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรทจะเพิ่มขึ้นตามมาด้วยปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นด้วย

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อกระบวนการถ่ายทอดพลังงานในเซลล์สาหร่าย เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) และโคเอ็นไซม์ *เอ* (coenzyme *a*) เป็นต้น ซึ่งในสิ่งแวดล้อมจะพบสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปออร์โทฟอสเฟต (orthophosphate; HPO^{-2}_4) และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ (DOP) ซึ่งสาหร่ายจะนำสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปออร์โทฟอสเฟตไปใช้มากที่สุด (Lüning, 1990; Lobban and Harrison, 1997)

อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ที่สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ต้องการคือ 30:1 (Lobban and Harrison, 1997) Viaroli *et al*.(1996) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) จาก 49.4 เป็น 14.6 โดยพบว่าหากในสิ่งแวดล้อมมีไนโตรเจนสูงแต่ฟอสฟอรัสต่ำ เนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลจะมีอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) สูง แต่ในสิ่งแวดล้อมที่มีไนโตรเจนต่ำแต่ฟอสฟอรัสสูง อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลจะมีค่าต่ำ และถ้าในสิ่งแวดล้อมมีระดับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง เนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลจะมีอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเป็นค่ากลางๆ ไม่สูงมากและไม่ต่ำมาก (Lobban and Harrison, 1997) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายสามารถเก็บสารอาหารจากสิ่งแวดล้อมไว้ในเซลล์เพื่อใช้ในการเติบโตต่อไปได้ Björnsäter and Wheeler (1990) ได้ศึกษาอัตราส่วนของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลในเขตร้อนในสภาพแวดล้อมที่มีไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่แตกต่างกัน และพบว่าหากสิ่งแวดล้อมมีอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 5-8 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อสาหร่ายจะมีค่าน้อยกว่า 16 หากในสิ่งแวดล้อมมีอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 10 - 20 เนื้อเยื่อสาหร่ายจะมีอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อนฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 16 - 24 และหากในสิ่งแวดล้อมมีอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 21 - 44 เนื้อเยื่อของสาหร่ายจะมีอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส มากกว่า 24 ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราส่วนของไนโตรตเจน และฟอสฟอรัส ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลในเขตร้อนในสภาพแวดล้อมที่มีไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่แตกต่างกัน (Björnsäter and Wheeler, 1990)

Limiting indication	**อัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส**
N-limitation (N:P = 5-8)	< 16
N และ P-sufficiency (N:P = 10-20)	16 - 24
P-limitation (N:P = 21-44)	> 24

Lourenço *et al*. (2006) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายสีเขียวชนิด *Chaetomorpha antennina*, *Cladophora rupestris*, *Codium decorticatum*, *Ulva flexuosa*, *U. fasciata* และ *U. lactuca* และสาหร่ายสีแดงชนิด *Bostrychia radic*ans, *Chondracanthus tudii*, *Grateloupia doryphora* และ *Gymnogongrus griffthsiae* กับความเข้มข้นของแอมโมเนียม ไนเตรท ไนไตรท์ ฟอสเฟต และยูเรีย ในอ่าว Guanabara ซึ่งตั้งอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล พบว่าอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส ที่พบในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลมีค่าถึง 20:1 ซึ่งจัดว่าสูงเมื่อเทียบกับสาหร่ายทะเลที่พบในเขตร้อนในบริเวณอื่นๆ ซึ่งอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่มีค่าสูงนี้เป็นผลจากการได้รับไนโตรเจนความเข้มข้นสูงจากน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่ไหลลงมาในอ่าว โดยปริมาณไนไตรท์และยูเรียมีค่าน้อยกว่า 3.0 μM แอมโมเนียมและไนเตรทมีค่าอยู่ระหว่า 5 - 15 μM ส่วนฟอสเฟตมีค่าอยู่ระหว่า 0.4 - 2.6 μM

การศึกษาของ สันติ ปริยะวาที และคณะ (2546) พบว่า อัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส ที่ทำให้สาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentilifera* และสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri* มีการเติบโตดีที่สุด คือ 8:1 ในขณะที่สาหร่ายสีแดงชนิด *Gracilaria cornea* มีอัตราการเติบโตดีที่สุดที่อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส เป็น 10:1 และ 10:5 (Navarro-Angulo and Robledo, 1999) ศุลีมาศ สุทธิเนียม (2551) ได้ศึกษาชนิดของปุ๋ยไนโตรเจนและอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายขนนกภายใต้สภาพแสงธรรมชาติในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa sertularioides* หรือสาหร่ายขนนกที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 30 psu พบว่าสาหร่ายขนนกที่เลี้ยงโดยใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมไนเตรทที่มีอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ 8 : 1 มีอัตราการเติบโตและอัตราการเติบโตจำเพาะสูงที่สุด เท่ากับ 0.46 กรัมต่อวัน และร้อยละ 1.77 ต่อวัน ตามลำดับ

4. การสะสมและการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีในเนื้อเยื่อสาหร่ายทะเล

การผันแปรของอัตราการเติบโตและปริมาณของสารชีวเคมีในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอาหารในสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสาหร่ายสามารถดูดสารอาหารจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปเก็บไว้ในเซลล์ได้ระหว่างการเติบโต ดังการศึกษาของสันติ ปริยะวาที และคณะ (2546) ที่พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) สามารถสะสมไนโตรเจนไว้ในสาหร่ายได้ทั้งหมด 14.37 กิโลกรัมต่อ 132 วัน ในขณะที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ในสาหร่ายได้เพียง 0.22 กิโลกรัมต่อ 132 วัน ดังนั้นเมื่อสารอาหารในน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายหรือในสิ่งแวดล้อมไม่มีสารอาหาร สาหร่ายจึงสามารถเติบโตต่อไปได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lapointe and Ryther (1978) ที่ทำการแช่สาหร่าย *Gracilaria tikvahiae* ในน้ำที่มีสารอาหารไนโตรเจนสูงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเลี้ยงสาหร่ายต่อในน้ำที่ไม่มีสารอาหารไนโตรเจนและพบว่าสาหร่ายสามารถเติบโตที่อัตราการเติบโตสูงที่สุดได้อีกมากกว่า 2 สัปดาห์

ปริมาณสารชีวเคมีภายในเนื้อเยื่อของสาหร่ายมีการผันแปรตามช่วงเวลาของการเติบโตโดยในช่วงที่สาหร่ายมีอัตราการเติบโตสูงปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนจะลดลงในขณะที่ปริมาณไขมันจะเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Manivannan *et al.* (2009) พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนจะลดลงในสาหร่ายชนิด *U. reticulata* เนื่องจากการเติบโตของทัลลัสในขณะที่ปริมาณไขมันเพิ่มสูงขึ้นแต่เมื่ออัตราการเติบโตลดลงปริมาณโปรตีนจะมีค่าสูง ดังการศึกษาของ Haroon and Szaniawska (2000) ที่พบว่าช่วงต้นของการเติบโตของสาหร่าย *Ulva* spp. ที่มีอัตราการเติบโตช้าที่สุดจะมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด และจะมีค่าสูงอีกครั้งช่วงท้ายของการเติบโต

คาร์โบไฮเดรต สารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบในสาหร่ายแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ดังนี้ สาหร่ายสีเขียว (*Acrosiphonia* sp., *Chaetomorpha melagonium*, *Monostroma arcticum* และ *Prasiola crispa*) จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 22 ในขณะที่สาหร่ายสีแดง (*Ceramium strictum*, *Devaleraea ramentacea*, *Odonthalia dentata*, *Palmaria palmata*, *Phycodrys rubens*, *Polysiphonia arctica*, *Ptilota plumosa* และ *Rhodomela lycopodioides*) จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 5 (Gordillo *et al.*, 2006)

โปรตีน ปริมาณโปรตีนในสาหร่ายทะเลมีการผันแปรได้ตามชนิด ฤดูกาล และปัจจัยสิ่งแวดล้อม (Ratana-arporn and Chirapart, 2006; Dawczynski *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังเป็นผลจากปริมาณและรูปแบบของสารอาหาร จากการศึกษาของ Topinka and Robins (1976) พบว่าปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของไนโตรเจนมีผลต่อการสะสมปริมาณไนโตรเจนภายในเซลล์ของสาหร่ายทะเลชนิด *Fucus spiralis* คือเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมและไนเตรทเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในสาหร่ายทะเลเพิ่มขึ้นด้วยและในช่วงฤดูร้อนซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณไนโตรเจนในสิ่งแวดล้อมมีปริมาณลดลงพบว่าปริมาณโปรตีนที่พบในสาหร่ายชนิดนี้ต่ำลงด้วย

การตอบสนองของสาหร่ายทะเลต่อระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสนั้น Yu and Yang (2008) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ได้แก่ สัมประสิทธิ์การเติบโต ปริมาณไฟโคอิริทริน และโปรตีน ของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria lemamneiformis* ที่ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ต่างๆ (50 และ 3.13; 100 และ 6.25; 200 และ 12.5; 400 และ 25 และ 600 และ 37.5 μmol/L) และระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่ระดับ 400 และ 25 μmol/L ทำให้สาหร่ายมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต เป็น 149.62%, 116.28% และ 98.57% ในวันที่ 3, 7 และ 15 ของการเลี้ยง ในขณะที่สาหร่ายที่เลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็น 600 และ 37.5 μmol/L มีสัมประสิทธิ์การเติบโตลดลงร้อยละ 252.53 เมื่อเลี้ยงถึงวันที่ 15 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่ 600 และ 37.5 μmol/L การเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้จะถูกยับยั้ง ส่วนปริมาณโปรตีนนั้นสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ N และ P เป็น 600 และ 37.5 μmol/L ในวันที่ 3 และวันที่ 7 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือ ร้อยละ 3.433 และ 3.955 ตามลำดับ

ไขมัน ไขมันที่พบในสาหร่ายทะเลผันแปรตามชนิดและปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และแร่ธาตุในอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย และมีผลต่อระดับและองค์ประกอบของกรดไขมันที่พบ (Colombo *et al*., 2006) Yazici และคณะ (2007) กล่าวว่า อัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่พบในสาหร่ายทะเลขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายและปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น แสง ความเค็ม อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจนรวมทั้งสารประกอบอื่นๆที่มีในน้ำทะเล จากการศึกษาของ Esteves *et al* (2005) พบว่าปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva lactuca* มีค่าสูงที่สุดในช่วงฤดูหนาว (42 $mg/g^{-1}DW$) และต่ำสุดในช่วงฤดูร้อน (16 $mg/g^{-1}DW$) โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนในน้ำ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาของสาหร่ายขนาดเล็กเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลง โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของไขมัน เช่น การศึกษาของ Richardson *et al*. (1969) ซึ่งพบว่าในการเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว *Oocystis polymorpha* และ *Chlorella sorokiniana* ในระบบการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง เมื่อความเข้มข้นของไนเตรทลดลงจาก 20 mM เป็น 12, 9, 6 และ 3 mM ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียวชนิด *O. polymorpha* ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ไดอะตอมชนิด *C. sorokiniana* มีปริมาณไขมันลดลงเพียงเล็กน้อย การศึกษาของ Weldy and Huesemann (2007) พบว่าปริมาณไขมันที่สาหร่าย *Dunaliella salina* สร้างได้เมื่อเติมไนเตรท 20 mM และให้แสง 800 $\mu mol/m^2/sec$ มีค่า 440 – 450 mg lipid/L ซึ่งมากกว่าการเลี้ยงที่เติมไนเตรท 2 mM และให้แสง 200 $\mu mol/m^2/sec$ ซึ่งให้ปริมาณไขมันเพียง 110 – 135 mg lipid/L

5. รูปแบบของไนโตรเจน (ไนเตรทและแอมโมเนีย) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเล

สาหร่ายทะเลจะนำไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียไปใช้ได้ดีที่สุด (Lüning, 1990; Lobban and Harrison, 1997) เนื่องจากการนำ NO_3^+ ไปใช้ต้องใช้พลังงานจากกระบวนการเมแทบอลิซึมและ enzymatic activity มากกว่า (Baruah *et al*. 2006) Naldi and Wheele (1999) พบว่าปริมาณไนโตรเจนรวม ในเซลล์ของสาหร่ายสีแดงชนิด *Gracilaria pacifica* มีค่าเพิ่มมากขึ้นในชุดการทดลองที่เติมแอมโมเนียมมากกว่าชุดการทดลองที่เติมไนเตรท Navarro-Angulo and Robledo (1999) พบว่าสาหร่ายสีแดงชนิด *Gracilaria cornea* ที่เลี้ยงโดยใช้แอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจนให้ปริมาณโปรตีนร้อยละ 16.01 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงโดยใช้ไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน (ระดับความเข้มข้น 824 μmol/L) ให้ปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.47 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ Navarro-Angulo and Robledo (1999) กล่าวว่ารูปแบบของไนโตรเจนมีผลต่อปริมาณโปรตีนในสาหร่ายทะเลชนิด *G. cornea* โดยพบว่าปริมาณโปรตีนจะมีค่าสูงที่สุดในชุดการทดลองที่เติมสารอาหาร NH_4Cl และ NH_4NO_3 เท่ากับร้อยละ 16.01 ± 1.86 และ 15.58 ± 1.50 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

บทที่ 2

วิธีดำเนินการศึกษา

สถานที่ศึกษา

ดำเนินการทดลองที่สถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมตัวอย่างสาหร่ายทะเล

รวบรวมสาหร่ายชนิด *Caulerpa lentilifera* และชนิด *Ulva rigida* จากสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดตราด และชนิด *Gracilaria fisheri* จากฟาร์มเลี้ยงปูนิ่ม จังหวัดระนอง แล้วนำสาหร่ายที่รวบรวมได้มาพักในน้ำทะเลที่มีความเค็มเท่ากับความเค็มในแหล่งที่พบสาหร่ายที่สถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชังเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ในระหว่างนั้นค่อยๆ ปรับความเค็มจากระดับความเค็มเดิมในแหล่งที่พบสาหร่ายให้มีระดับความเค็มเป็น 30 psu และทำการจำแนกชนิดของสาหร่ายและคัดเลือกตัวอย่างสาหร่ายที่แข็งแรงสมบูรณ์มาทำความสะอาด โดยกำจัดอิพิไฟต์และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่ติดมาออก ก่อนการทดลองจะล้างสาหร่ายด้วยน้ำทะเลที่ผ่านการกรองด้วยถุงกรองขนาดตาผ้า 10 ไมครอน จากนั้นจึงนำไปใช้ในการทดลอง

2. การเตรียมสารอาหาร โดยใช้สูตร F/2 medium ซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็น 882 และ 36 μM และมีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เป็น 24:1 ซึ่งแหล่งของไนโตรเจนที่ใช้คือ $NaNO_3$ และ NH_4Cl และแหล่งของฟอสฟอรัสคือ NaH_2PO_4 ตามลำดับ (Guillard and Ryther 1962; Guillard 1975)

3. ระยะเวลาในการศึกษา

ชนิด *C. lentilifera*	การทดลองที่ 1	ทำการทดลองในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์
และ ชนิด *U. rigida*	การทดลองที่ 2	ทำการทดลองในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม
	การทดลองที่ 3	ทำการทดลองในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน
ชนิด *G. fisheri*	การทดลองที่ 1	ทำการทดลองในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม
	การทดลองที่ 2	ทำการทดลองในเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม
	การทดลองที่ 3	ทำการทดลองในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์

4. ขั้นตอนการศึกษา แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

4.1 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตและปริมาณของสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera, Ulva rigida* และ *Gracilaria fisheri*

เลี้ยงสาหร่ายในตู้อะคิลิคใสขนาด 15 x 15 x 30 เซนติเมตร บรรจุน้ำทะเล 5 ลิตรต่อตู้ จำนวน 4 ตู้/ชุดการทดลอง ภายใต้อุณหภูมิและแสงธรรมชาติ ที่ระดับความเค็ม 30 psu ภายในตู้มีการให้อากาศตลอดเวลา เติมสารอาหารในตู้เลี้ยงสาหร่ายในสัปดาห์ที่ 1 ของการเลี้ยง โดยคำนวนความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเลี้ยงก่อนการเติม

สารอาหารทุกครั้ง จากนั้นปรับระดับของสารอาหารให้มีอัตราส่วนโดยโมลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) แตกต่างกัน 4 ระดับ ดังนี้

ชนิด *C. lentilifera*	4:1	10:1	23:1	33:1
ชนิด *U. rigida*	5:1	9:1	22:1	30:1
ชนิด *G. fisheri*	5:1	12:1	22:1	29:1

โดยใช้ค่า N:P ~ 24:1 เป็นเกณฑ์กลางของสภาพที่มีสารอาหารเพียงพอ (normal N and P sufficiency) และใช้อัตราส่วนที่เพิ่ม N ขึ้น 10 เท่าเป็นสภาพที่มี P จำกัดและเมื่อลด N ลง 10 เท่าและ 15 เท่าเป็นสภาพที่มี N จำกัด (Björnsäter and Wheeler, 1990)

เลี้ยงสาหร่ายทะเลเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ วัดการเติบโตของสาหร่ายสัปดาห์ละครั้งตรวจวัดปริมาณสารชีวเคมีจากตัวอย่างสาหร่ายในสัปดาห์ที่ 2 (หลังจากเติมสารอาหาร 1 สัปดาห์) และสัปดาห์ที่ 4 (หลังจากเติมสารอาหาร 3 สัปดาห์) โดยระหว่างการเลี้ยงจะตรวจวัดความเป็นกรด-เบสโดย pH meter อุณหภูมิโดย Thermometer แบบปรอท และความเข้มแสงโดย LI-250A Light Meter และ Onset HOBO Ware Pro Data logger.

4.2 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-: NH_4^+) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa, Ulva* และ *Gracilaria*

จัดสภาวะการเลี้ยง การให้สารอาหาร ระยะเวลาในการเลี้ยงและการวัดการเติบโตและปริมาณของสารชีวเคมีเหมือนการศึกษาที่ 1 โดยให้สารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P และปริมาณไนโตรเจนที่ให้อัตราการเติบโตสูงสุดจากการศึกษาที่ 1 แต่ปรับรูปแบบของไนโตรเจนที่ใช้โดยเพิ่มแอมโมเนียมและลดไนโตรเจนลงโดยให้อัตราส่วนร้อยละของไนเตรทต่อแอมโมเนียม (NO_3^-: NH_4^+) ให้แตกต่างกัน 5 ระดับ ดังนี้

ชนิด *C. lentilifera*	100:0	98:2	96:4	76:24	0:100
ชนิด *U. rigida*	100:0	98:2	94:6	75:25	0:100
ชนิด *G. fisheri*	100:0	61:39	32:68	5:95	0:100

4.3 การศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ต่อการเติบโตและปริมาณของสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa, Ulva* และ *Gracilaria*

จัดสภาวะการเลี้ยง การให้สารอาหาร ระยะเวลาในการเลี้ยงและการวัดการเติบโตและปริมาณของสารชีวเคมีเหมือนการศึกษาที่ผ่านมาโดยให้สารอาหารที่มีอัตราส่วน N:P และรูปแบบของ N ที่ให้อัตราการเติบโตสูงสุดจากการศึกษาที่ 4.1 และ 4.2 แต่ปรับระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้แตกต่างกัน 5 ระดับ ดังนี้

ชนิด *C. lentilifera*	18 : 1	78 : 7	237 : 31	1,850 : 151	3,414 : 312
ชนิด *U. rigida*	142 : 2	226 : 6	750 : 26	6,147 : 127	10,783 : 385
ชนิด *G. fisheri*	11 : 1	24 : 2	50 : 8	300 : 50	564 : 75

5. การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำในการศึกษา

วิเคราะห์ปริมาณสารอาหารไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรท (NO_3^-) แอมโมเนียม (NH_4^+) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำทุกๆ สัปดาห์ โดยวิธีการของ Parson และคณะ (1984)

6. การศึกษาการเติบโตและวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายทะเล

6.1 การศึกษาการเติบโตของสาหร่ายทะเล

ชั่งน้ำหนักของสาหร่ายในหน่วยกรัมในแต่ละสัปดาห์ แล้วคำนวนอัตราการเติบโตของสาหร่ายในแต่ละสัปดาห์ โดยคำนวนร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น และคำนวนอัตราการเติบโตจำเพาะหรือค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (μ) ของสาหร่ายต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 จากสูตร (Lobban *et al.*,1988)

$$\mu = \frac{\ln(m_{t2}/m_{t1})}{t_2 - t_1}; t_2 > t_1$$

โดย m_{t1} = น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น

m_{t2} = น้ำหนักสาหร่ายเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์

t_1 = สัปดาห์ที่ 1หรือสัปดาห์ที่ 3

t_2 = สัปดาห์ที่ 2 หรือสัปดาห์ที่ 4

6.2 การวัดปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย

6.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำสาหร่ายที่ได้จากการเลี้ยงในสัปดาห์ที่ 2 และและสัปดาห์ที่ 4 มาทำความสะอาด โดยล้างด้วยการแช่ในน้ำจืดประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเกลือที่ยังติดค้างอยู่กับสาหร่ายออกให้หมด (นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์, 2544) อบสาหร่ายให้แห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ในถุงซิปล็อค สำหรับนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลตามวิธีต่อไปนี้

1) **ปริมาณเถ้า** โดยวิธี AOAC (1995) ดังรายละเอียด

อบถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง วางทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ อบถ้วยกระเบื้องเคลือบซ้ำอีกครั้ง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำซ้ำจนได้น้ำหนักที่คงที่ ชั่งน้ำหนักสาหร่ายประมาณ 0.5 กรัม ใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแล้วเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้เถ้าสีเทาอ่อนหรือสีขาวสม่ำเสมอ ชั่งน้ำหนักสาหร่ายพร้อมถ้วยกระเบื้องเคลือบ แล้วหักน้ำหนักถ้วยเปล่าออกจากถ้วยที่มีเถ้าและคำนวนปริมาณเถ้า ดังนี้

ปริมาณเถ้า (%) = $\frac{\text{น้ำหนักเถ้า} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$

2) **ปริมาณคาร์โบไฮเดรต** โดยวิธี Phenol-sulfuric acid method (Dubois *et al.*, 1956)

ชั่งตัวอย่างสาหร่ายแห้ง 1-5 มิลลิกรัม จดน้ำหนักสาหร่ายที่แน่นอน เติม 1M H_2SO_4 0.5 มิลลิลิตร ทำให้เซลล์แตกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้ววางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปปั่นแยกตะกอนที่มีความเร็ว 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย phenol 0.5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายเข้มข้น H_2SO_4 2.5 มิลลิลิตรทันที ผสมให้เข้ากัน วางตัวอย่างทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมจาก Glucose (ภาคผนวก 1)

3) **ปริมาณโปรตีน** โดยวิธี Lowry method (Lowry *et al.*, 1951)

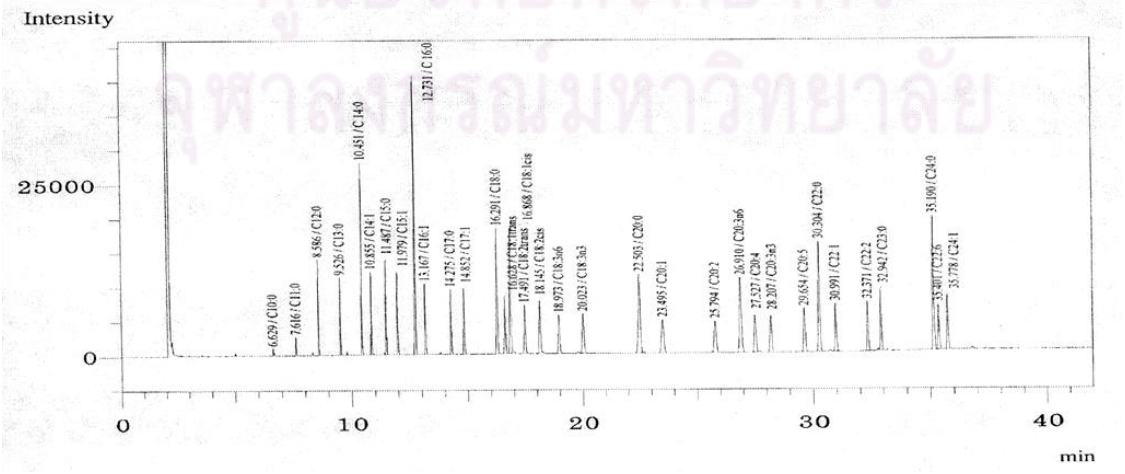
ชั่งตัวอย่างสาหร่ายแห้ง 1-5 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่แน่นอน เติม NaOH 0.5 มิลลิลิตร แล้วต้มนาน 90 นาที จากนั้นเติมสารละลาย $NaK_4H_4O_6.4H_2O$ 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาทีในที่มืด จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocaten phenol reagent 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 – 30 นาที ในที่มืด แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมจาก Bovin serum albumin (ภาคผนวก 2)

4) **ปริมาณไขมัน** โดยวิธี Chloroform-methanol mixture (Method in Enzymology Vol 167, 1982) **และองค์ประกอบของกรดไขมัน** ด้วย Gas Chromatography ตามวิธีของ Lepage and Roy (1986)

ชั่งตัวอย่างสาหร่ายแห้งประมาณ 50 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่แน่นอน เติม chloroform: methanol (1:2) 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ในตู้เย็น 1 คืน เติม chloroform 0.7 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที เติมน้ำกลั่น 0.7 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที สารละลายจะแยกเป็น 3 ชั้น ดูดสารละลายชั้นล่างสุดที่เป็นสีเขียวใส่ micro centrifuge tube แล้วระเหยให้แห้ง เมื่อตัวอย่างสาหร่ายที่สกัดแห้งแล้ว ชั่งน้ำหนักสาหร่ายอีกครั้งเพื่อหาปริมาณไขมัน จากนั้นวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมัน โดยใช้ตัวอย่างสาหร่ายทะเลที่สกัดไขมันและระเหยแห้งแล้ว มาผ่านกระบวนการ Methylation โดยใช้ตัวอย่างปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติม MeOH: hexane (4:1) 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติม acetyl chloride 200 ไมโครลิตร ต้มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติม 6% K_2CO_3 5 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ดูดสารละลายที่เป็นชั้นของ hexane ใส่ใน vial จากนั้นใช้สารละลายปริมาตร 1 ไมโครลิตรฉีดในเครื่อง GC รุ่น GC-2010+AOC20i+s ยี่ห้อ SHIMADZU Column ที่ใช้คือ DB-23 size 30mx0.25 nmID, Film thickness 0.25 μm สภาวะที่ใช้ในการทดสอบคือ ดังนี้

1. Injector : Split (50:1), อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส
2. Capillary column : DB-23
3. Detector : Flame ionization detector (FDI) อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส
4. Carrier gas คือ He : Flow rate 62.9 มิลลิลิตร/นาที

จากนั้นเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากกราฟของสารละลายมาตรฐานกรดไขมัน (รูปที่ 9) โดยสารละลายมาตรฐานจะมี retention time ของกรดไขมันแต่ละตัวดังตารางที่ 6



รูปที่ 9 Fatty acid Profile ของสารละลายมาตรฐานกรดไขมัน

ตารางที่ 6 ค่า Retention time ของสารละลายมาตรฐานกรดไขมัน

Peak	Retention Time	Fatty Acid
1	8.586	Lauric acid (C12:0)
2	9.526	Tridecanoic acid (C13:0)
3	10.451	Myristic acid (C 14:0)
4	10.855	Myristoleic acid (C14:1)
5	11.487	Pentadecanoic acid (C15:0)
6	11.979	Cis-10-Pentadecenoic acid (C15:1)
7	12.731	Palmitic acid (C 16:0)
8	13.167	Palmitoleic acid (C 16:1)
9	14.275	Heptadecanoic acid (C17:0)
10	14.852	Cis-10-Heptadecenoic acid (C17:1)
11	16.291	Stearic acid (C 18:0)
12	16.628	Elaidic acid (C18:1trans)
13	16.868	Oleic acid (C18:1 n-9 cis)
14	17.491	Linolelaidic acid (C18:2trans)
15	18.145	Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)
16	18.973	Linolenic acid (C18:3n6)
17	20.023	Linolenic acid (C18:3 n-3)
18	22.503	Arachidic acid (C20:0)
19	23.495	Cis-11-Eicosenoic acid (C20:1)
20	25.794	Cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)
21	26.910	Cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid (C20:3n6)
22	27.527	Arachidonic acid (C20:4)
23	28.207	Cis-11,14,17-Eicosatrienoic acid (C20:3n3)
24	29.654	Cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid (C20:5)
25	30.304	Behenic acid (C22:0)
26	35.025	Docosapentaenoic acid (C22:5)
27	35.190	Lignoceric Acid (C24:0)

7. การวิเคราะห์ผลการศึกษา

1. นำข้อมูลการเติบโต (ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น) และปริมาณองค์ประกอบของสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลในแต่ละการทดลองในสัปดาห์ที่ 2 (หลังจากเติมสารอาหาร 1 สัปดาห์) และสัปดาห์ที่ 4 (หลังจากเติมสารอาหาร 3 สัปดาห์) มาวิเคราะห์ว่ามีการกระจายแบบ normal distribution หรือไม่หากการกระจายของข้อมูลไม่เป็น normal distributionจะแปลงข้อมูลโดยวิธีการใส่ Log10 เพื่อให้ได้ข้อมูลมีการกระจายแบบ normal distribution สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

2. วิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติของข้อมูลการเติบโต (ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น) และปริมาณของสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลในแต่ละ

อัตราส่วนของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส, รูปแบบของไนโตรเจน และระดับของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 2 เปรียบเทียบกับตัวอย่างจากสัปดาห์ที่ 4 โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงสองทาง (Two-way analysis of variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรโดยวิธี Duncan เพื่อทราบความแตกต่างและนัยสำคัญทางสถิติของข้อมูลระหว่าง 2 ปัจจัยคือ ระดับสารอาหารและเวลา

การวิเคราะห์ทั้งหมดใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS V.17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

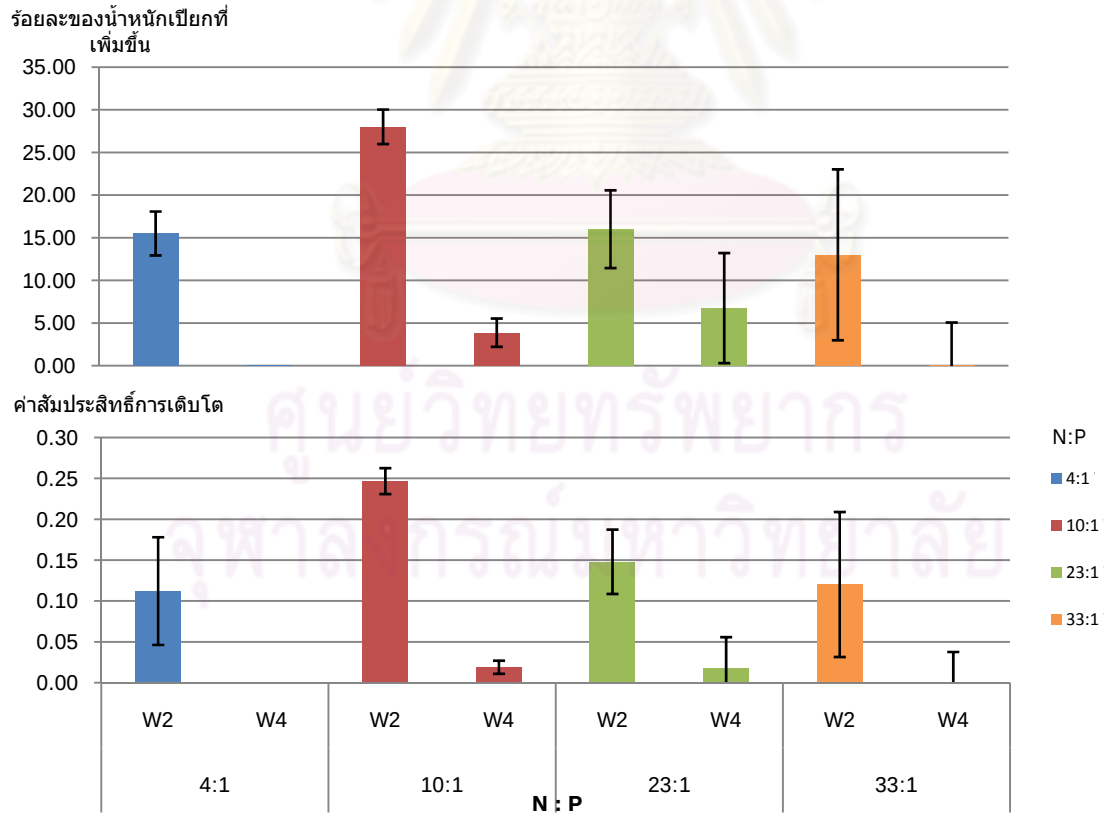
บทที่ 3

ผลการศึกษา

1. **อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera***

   1.1 **อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera***

สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) เท่ากับ 10:1 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (μ) สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 (หลังจากเติมสารอาหาร 1 สัปดาห์) แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 28.00 ± 2.00 และ 0.25± 0.02 ต่อสัปดาห์ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 (หลังจากเติมสารอาหาร 3 สัปดาห์) สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 23:1 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ สูงที่สุดคือมีค่าร้อยละ 6.733 ± 6.45 และ 0.02±0.04 ต่อสัปดาห์ตามลำดับ (รูปที่ 10 และ ตารางที่ 7)



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

ตารางที่ 7 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)			
		4:1	10:1	23:1	33:1
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	15.47 ± 2. 60[b]	**28.00 ± 2.00**[c]	16.00 ± 4.53[b]	13.00 ± 10.04[ab]
	สัปดาห์ที่ 4	-6.53 ± 4.96[a]	3.90 ± 1.67[ab]	**6.733 ± 6.45**[b]	-7.23 ± 12.31[a]
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	0.11 ± 0.07[a]	**0.25 ± 0.02**[b]	0.15 ± 0.04[a]	0.12 ± 0.09[a]
	สัปดาห์ที่ 4	-0.03 ± 0.03	0.02 ± 0.01	**0.02 ± 0.04**	-0.11 ± 0.15

หมายเหตุ a, b, c และ ab คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*

ปริมาณเถ้า ปริมาณเถ้าจากทุกชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 9.16 ± 1.14 ถึง 10.53 ± 1.33 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 ปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.98 ± 0.08 ถึง 5.98 ± 5.51 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 11และ ตารางที่ 8)

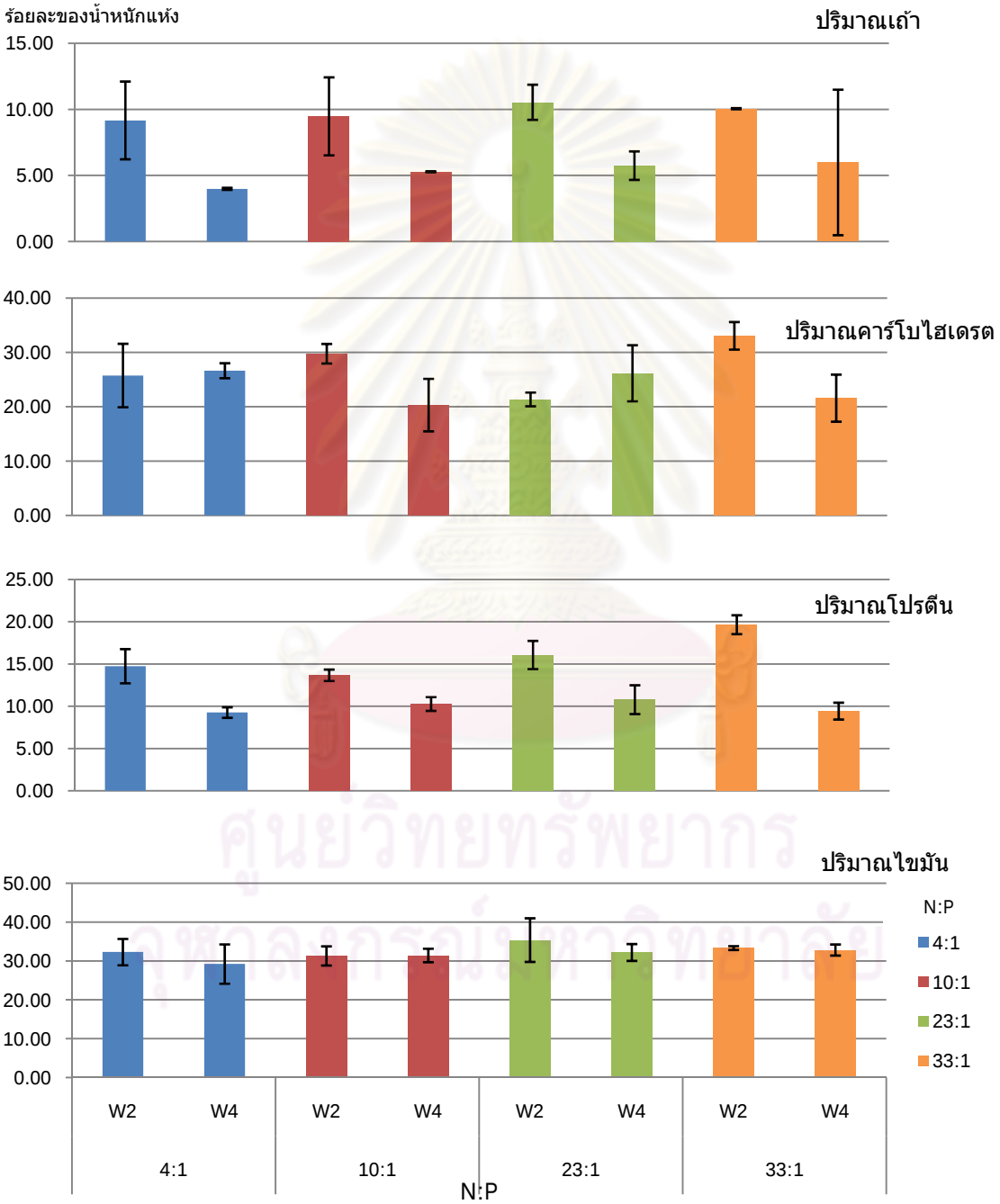
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 33:1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 33.05 ± 2.54 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20.30 ± 4.83 ถึงร้อยละ 26.63 ± 1.38 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 11 และ ตารางที่ 8)

ปริมาณโปรตีน สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 33:1 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 19.65 ± 1.11 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของ N:P มีปริมาณโปรตีนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติคือมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 9.27 ± 0.62 ถึงร้อยละ 10.79 ± 1.71 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 11 และ ตารางที่ 8)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วน N:P มีปริมาณไขมันที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 31.33 ± 2.44 ถึงร้อยละ 35.40 ± 5.61 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 29.25 ± 5.06 ถึงร้อยละ 32.83 ± 1.40 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 11 และ ตารางที่ 8)

สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 4:1 และ 33:1 ให้ Palmitic acid สูงที่สุดคือมีค่าร้อยละ 59.27 และ 53.71 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ตามลำดับ รองลงมาเป็น Oleic acid คือมีค่าร้อยละ 23.14 ของปริมาณไขมันทั้งหมด สำหรับสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 4:1 ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 33:1 กรดไขมันชนิด Docosapentaenoic acid และ Oleic acid คือกรดไขมันที่มีค่าสูงรองลงมา โดยมีค่าร้อยละ 15.81และ 14.78 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 2 และสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 10:1 กรดไขมันที่มีค่าสูงทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 คือ Palmitic acid โดยมีค่าร้อยละ 48.94 และ 51.16 ของปริมาณไขมันทั้งหมดตามลำดับ รองลงมาคือ Oleic acid โดยมีค่าร้อยละ 36.36 และ 31.79 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

จากผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายชนิดนี้ให้ Oleic acid สูงรองลงมาจาก Palmitic acid แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของ N:P พบว่า Palmitic acid ที่พบในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 48.94 ถึง 59.27 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ในขณะที่ Oleic acid เป็นกรดไขมันที่พบมีปริมาณสูงในสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 10:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยโมงของ N:P ที่ให้อัตราการเติบโตสูงที่สุด (ตารางที่ 9)



รูปที่ 11 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

ตารางที่ 8 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)			
		4:1	10:1	23:1	33:1
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	**สัปดาห์ที่ 2**	9.16 ± 1.14	9.47 ± 2.95	**10.53 ± 1.33**	10.05 ± 0.042
	สัปดาห์ที่ 4	3.98 ± 0.08	5.27 ± 0.04	5.74 1.08	**5.98 ± 5.51**
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	**สัปดาห์ที่ 2**	25.75 ± 5.84^{ab}	29.76 ± 1.80^{ab}	21.11 ± 1.27^{a}	**33.05 ± 2.54^{b}**
	สัปดาห์ที่ 4	**26.63 ± 1.38**	20.30 ± 4.83	26.16 ± 5.16	21.58 ± 4.33
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	**สัปดาห์ที่ 2**	14.75 ± 2.03^{b}	13.67 ± 0.68^{b}	16.07 ± 1.66^{b}	**19.65 ± 1.11^{c}**
	สัปดาห์ที่ 4	9.27 ± 0.62	10.27 ± 0.81	**10.79 ± 1.71**	9.44 1.00
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	**สัปดาห์ที่ 2**	32.33 ± 3.38	31.33 ± 2.44	**35.40 ± 5.61**	33.37 ± 0.50
	สัปดาห์ที่ 4	29.25 ± 5.06	31.43 ± 1.70	32.23 ± 2.15	**32.83 ± 1.40**

หมายเหตุ a, b และ ab คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

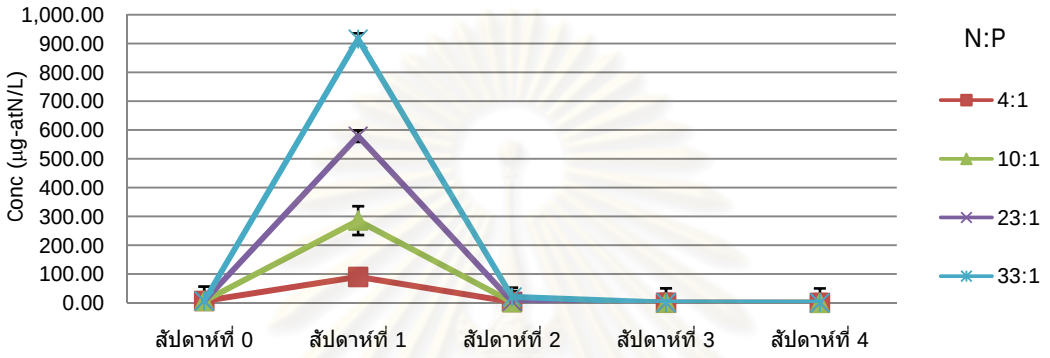
ตารางที่ 9 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	**อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)**			
	4:1	10:1		33:1
	สัปดาห์ที่ 2	**สัปดาห์ที่ 2**	**สัปดาห์ที่ 4**	**สัปดาห์ที่ 2**
Myristic acid (C14:0)	3.18	1.96	3.08	2.01
Palmitic acid (C16:0)	59.27	48.94	51.16	53.71
Palmitoleic acid (C16:1 n-7)	1.06	-	1.29	2.61
Stearic (C18:0)	3.67	2.63	3.91	2.57
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	23.14	36.36	31.79	14.78
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	2.76	4.44	3.56	2.72
Linolenic acid (C18:3 n-3)	1.04	0.39	0.62	0.55
Behenic acid (C22:0)	0.66	0.47	0.52	0.49
Lignoceric Acid (C24:0)	5.19	3.56	4.07	4.73
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-	-	15.81

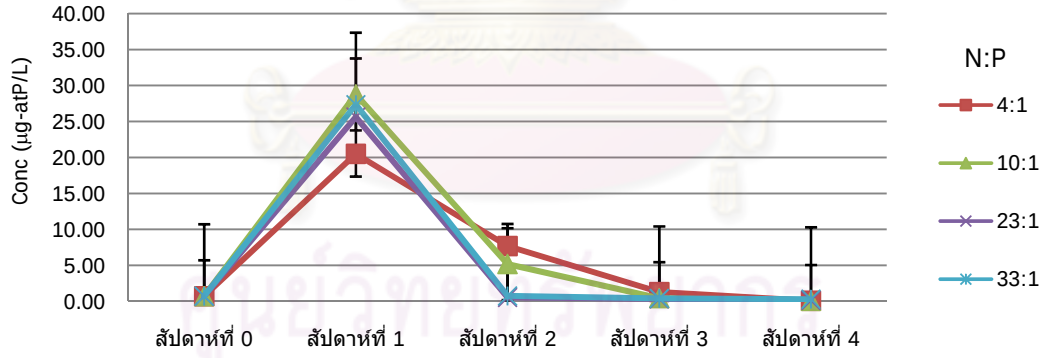
1.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*

1.3.1 ปริมาณ DIN และ DIP ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลในการศึกษา

สาหร่ายสามารถใช้ Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) ในทุกชุดการทดลองหมดภายใน 1 สัปดาห์ (รูปที่ 12) ในขณะที่ Dissolved Inorganic Phosphate (DIP) ในชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 4:1 และ 10:1 ยังมีปริมาณ DIP เหลือในน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายหลังจากเติม 1 สัปดาห์ ต่างจากชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 23:1 และ 33:1 แต่สาหร่ายสามารถใช้หมดภายใน 4 สัปดาห์ (รูปที่ 13)



รูปที่ 12 ปริมาณ DIN ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*



รูปที่ 13 ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

1.3.2 ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสง ในการศึกษา

ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 26.0 – 30.5 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 8.3 – 9.1 ความเข้มแสงค่าอยู่ระหว่าง 105.88 – 179.31 $\mu mol/m^2/s$ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

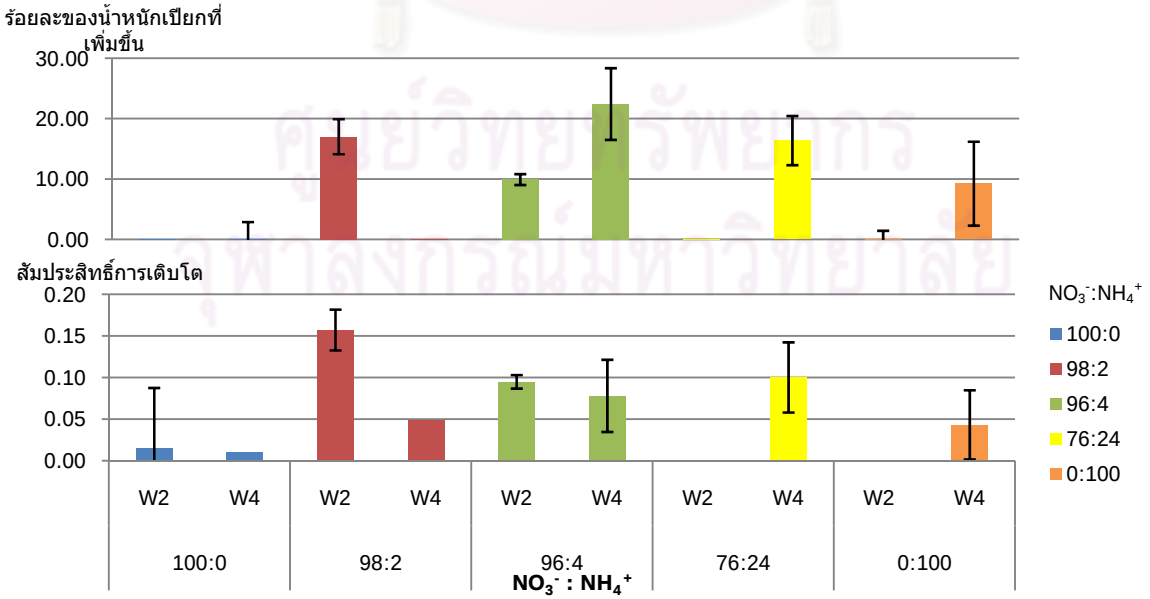
เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	27.0	8.1 – 8.3	105.88
สัปดาห์ที่ 2	30.0	26.0	8.4 – 9.1	179.31
สัปดาห์ที่ 3	30.0	30.0	8.5 – 9.0	154.26
สัปดาห์ที่ 4	30.0	29.8 – 30.5	8.3 – 8.6	153.32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 อิทธิพลของอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) เท่ากับ 98:2 มีร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ สูงที่สุดคือร้อยละ 17.05 ± 2.90 และ 0.16 ± 0.02 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ รองลงมาคือสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 96:4 ซึ่งให้ค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ เป็นร้อยละ 9.93 ± 0.90 และ 0.09 ± 0.01 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตาส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 96:4 ให้ค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดคือมีค่าร้อยละ 22.40 ± 5.94 รองลงมาคือสาหร่ายที่เลี้ยงในสัดส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 76:24 คือมีค่าร้อยละ 16.37 ± 4.07 ในขณะที่สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 76:4 มีค่า μ สูงที่สุด คือมีค่า 0.10 ± 0.04 ต่อสัปดาห์ รองลงมาคือสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 96:4 คือมีค่า 0.08 ± 0.04 ต่อสัปดาห์ (รูปที่ 14 และ ตารางที่ 11)

อัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 96:4 มีผลให้อัตราการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ค่อนข้างสูงและคงที่ตลอด 4 สัปดาห์จึงเลือกเป็นอัตราส่วนสำหรับใช้ในการศึกาต่อไป ซึ่งสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 98:2 และ 76:24 ให้ผลผลิตสาหร่ายที่ไม่มีความสม่ำเสมอ เห็นได้จากค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ ของสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 98:2 มีค่าสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 แต่ลดลงต่ำกว่าค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ ของสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3:NH_4^+ เท่ากับ 96:4 และ 76:24 ในสัปดาห์ที่ 4 ในขณะที่ค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ ของสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 76:24 ถึงแม้จะมีค่าสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 แต่ก็มีค่าต่ำกว่าค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ ของสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 98:2 และ 96:4 ในสัปดาห์ที่ 2 ในขณะที่ค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ ของสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 96:4 มีความสม่ำเสมอคือมีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ ของสาหร่ายทั้ง 2 ครั้งของการวัดที่ไม่แตกต่างกันมาก (รูปที่ 14 และ ตารางที่ 11)



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

ตารางที่ 11 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (mean ± SD)

	เวลา	สัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+)				
		100:0	98:2	96:4	76:24	0:100
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	-4.90 ± 4.00[a]	**17.05 ± 2.90[b]**	**9.93 ± 0.90[b]**	-7.57 ± 4.69[a]	-8.97 ± 10.40[a]
	สัปดาห์ที่ 4	-0.15 ± 3.04[b]	-28.30 ± 10.11[a]	**22.40 ± 5.94[c]**	**16.37 ± 4.07[c]**	9.27 ± 9.27[bc]
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	0.02 ± 0.07[a]	**0.16 ± 0.02[b]**	**0.09 ± 0.01[b]**	-0.13 ± 0.12[a]	-0.03 ± 0.03[a]
	สัปดาห์ที่ 4	0.01	0.05	**0.08 ± 0.04**	**0.10 ± 0.04**	0.04 ± 0.04

หมายเหตุ a, b, c และ bc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

1.5 อิทธิพลของอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*

ปริมาณเถ้า ปริมาณเถ้าจากทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 9.03 ± 0.20 ถึง 11.23 ± 0.87 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 6.42 ± 1.50 ถึงร้อยละ 9.10 ± 0.96 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 15 และ ตารางที่ 12)

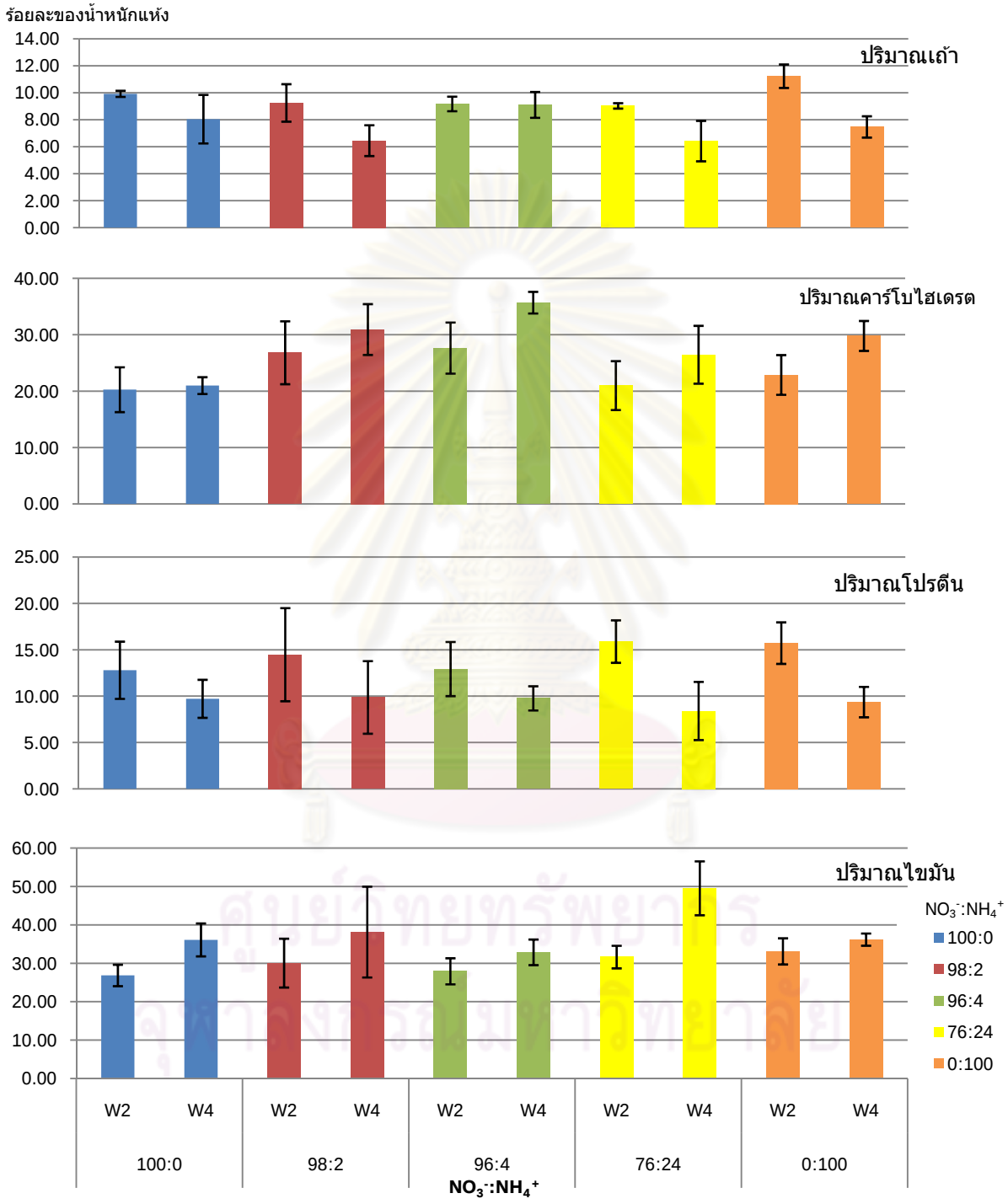
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต สาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันทางสถิติในสัปดาห์ที่ 2 โดยสาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 20.27 ± 3.97 ถึงร้อยละ 27.65 ± 4.53 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 96:4 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 35.70 ± 1.92 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 15 และ ตารางที่ 12)

ปริมาณโปรตีน สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 12.80 ± 3.08 ถึงร้อยละ 15.90 ± 2.29 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 8.41 ± 3.14 ถึงร้อยละ 9.87 ± 3.92 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 15 และ ตารางที่ 12)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน สาหร่ายมีปริมาณไขมันในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 26.85 ± 2.78 ถึงร้อยละ 33.10 ± 3.39 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 32.88 ± 3.32 ถึงร้อยละ 51.23 ± 1.59 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 15 และ ตารางที่ 12)

สาหร่ายที่เติบโตในอาหารที่มีไนโตรเจนในรูปของไนเตรทและแอมโมเนียมในอัตราส่วน 96:4 ซึ่งมีการเติบโตดีสม่ำเสมอตลอด 4 สัปดาห์ มีการสะสมกรดไขมันในรูปของกรดไขมันอิ่มตัว Palmitic acid สูงกว่ากรดไขมันชนิดอื่น ๆ โดยมีปริมาณร้อยละ 42.92 และ 53.33 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด Oleic acid มีปริมาณรองลงมา คือ ร้อยละ 37.71 และ 30.38 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 100:0 และ 0:100 มีปริมาณของ Palmitic acid ร้อยละ 37.82 และ 53.24 ของไขมันทั้งหมด และกรดไขมัน Oleic acid ในปริมาณร้อยละ 20.96 และ

20.25 ของไขมันทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 2 (ตารางที่ 13) ซึ่งแสดงว่าสาหร่ายที่มีอัตราการเติบโตสูงจะมีปริมาณของ Oleic acid สูงกว่าสาหร่ายที่มีอัตราการเติบโตต่ำกว่า



รูปที่ 15 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

ตารางที่ 12 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+)				
		100:0	98:2	96:4	76:24	0:100
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	9.92 ± 0.23	9.25 ± 1.39	9.18 ± 0.54	9.03 ± 0.20	**11.23 ± 0.87**
	สัปดาห์ที่ 4	8.04 ± 1.80	6.45 ± 1.14	**9.10 ± 0.96**	6.42 ± 1.50	**7.47 ± 0.79**
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	20.27 ± 3.97	26.81 ± 5.58	**27.65 ± 4.53**	20.99 ± 4.33	22.88 ± 3.52
	สัปดาห์ที่ 4	20.99 ± 1.49[a]	30.94 ± 4.50[bc]	**35.70 ± 1.92**[c]	26.46 ± 5.14[ab]	29.80 ± 2.65[bc]
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	12.80 ± 3.08	14.48 ± 5.02	12.93 ± 2.92	**15.90 ± 2.29**	**15.90 ± 2.29**
	สัปดาห์ที่ 4	9.72 ± 2.049	**9.87 ± 3.92**	9.77 ± 1.31	8.41 ± 3.14	9.37 ± 1.64
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	26.85 ± 2.78	30.06 ± 6.35	27.92 ± 3.39	31.63 ± 2.94	**33.10 ± 3.39**
	สัปดาห์ที่ 4	36.10 ± 4.26	38.15 ± 11.82	32.88 ± 3.32	49.53 ± 7.01	**51.23 ± 1.59**

หมายเหตุ a, ab และ bc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

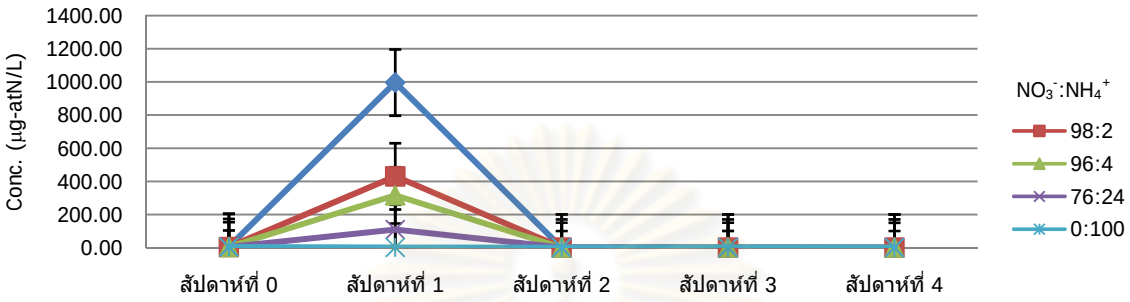
ตารางที่ 13 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	อัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+)			
	100:0	96:4		0:100
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 2
Myristic acid (C14:0)	3.29	2.42	4.09	3.99
Palmitic acid (C16:0)	37.82	42.92	53.33	53.24
Palmitoleic acid (C16:1 n-7)	0.53	1.95	0.66	-
Stearic (C18:0)	3.41	3.09	3.66	3.07
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	20.96	37.71	30.38	20.25
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	1.85	6.71	3.28	3.02
Linolenic acid (C18:3 n-3)	-	0.88	-	0.38
Behenic acid (C22:0)	0.57	0.93	0.66	0.85
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-	-	-
Lignoceric Acid (C24:0)	4.67	3.95	3.94	5.09

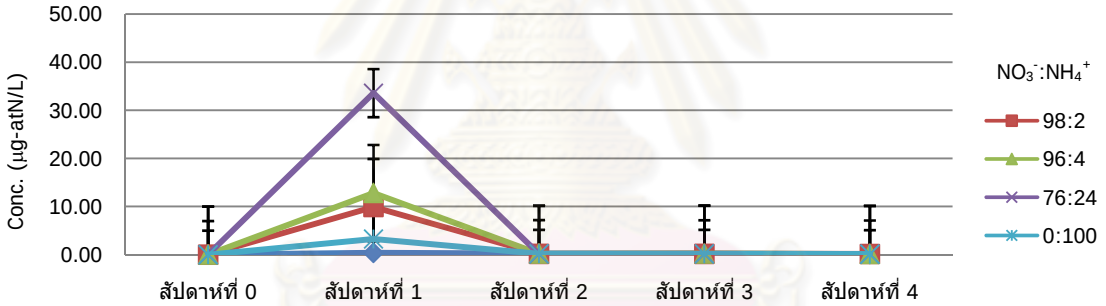
1.6 **ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera***

1.6.1 **ปริมาณสารอาหาร NO_3^-, NH_4^+ และ PO_4^{3-} ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลในการศึกษา**

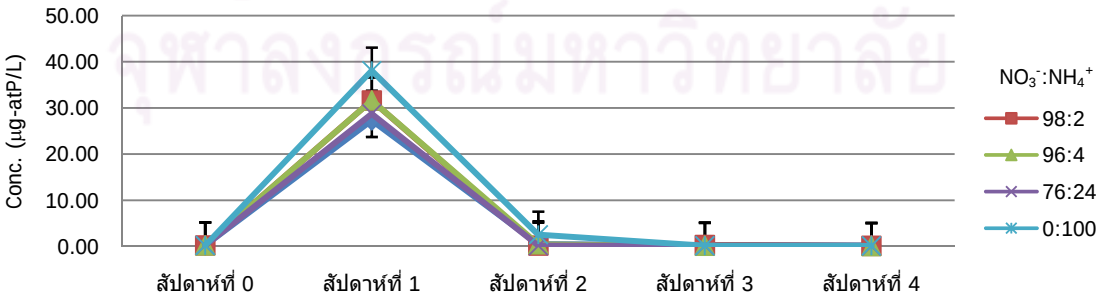
ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายสามารถใช้ NO_3^-, NH_4^+ และ PO_4^{3-} (รูปที่ 16, 17 และ 18) ในทุกชุดการทดลองได้หมด ดังรูป



รูปที่ 16 ปริมาณ NO_3 ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*



รูปที่ 17 ปริมาณ NH_4^+ ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*



รูปที่ 18 ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6.2 ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสงในการศึกษา

ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 31.0 – 34.8 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 8.4 – 9.2 ความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 94.90 – 123.07 $\mu mol/m^2/s$ (ตารางที่ 14)

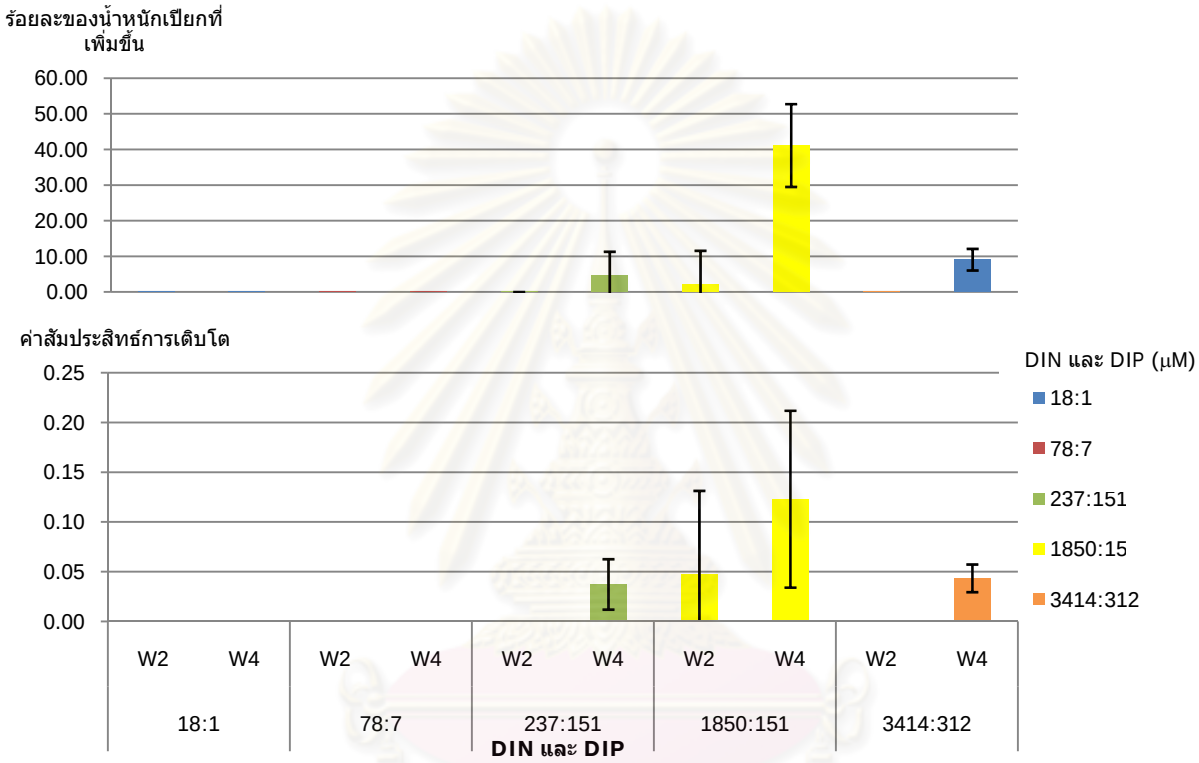
ตารางที่ 14 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	31.0 – 31.8	8.4 – 8.7	112.42
สัปดาห์ที่ 2	30.0	32.0 – 33.4	8.8 – 9.2	123.07
สัปดาห์ที่ 3	30.0	32.5 – 34.8	8.6 – 8.7	116.62
สัปดาห์ที่ 4	30.0	32.0– 33.4	8.7 – 9.0	94.90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.7 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*

สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) เป็น 1850 และ 151 μM ให้ค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ สูงที่สุดทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 คือมีค่าร้อยละ 1.99 ± 9.56 และ 0.05 ± 0.08 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 2 และมีค่าร้อยละ 41.11 ± 11.62 และ 0.12 ± 0.09 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 4 (รูปที่ 19 และ ตารางที่ 15)



รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

ตารางที่ 15 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (mean ± SD)

	เวลา	ความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP)				
		18 : 1	78 : 7	237 : 31	1850 : 151	3414 : 312
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	-18.10 ± 2.73^{a}	-10.23 ± 5.47^{b}	-4.59 ± 4.59^{bc}	1.99 ± 9.56^{c}	-8.13 ± 4.02^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	-42.37 ± 4.48^{a}	-40.41 ± 2.67^{a}	4.77 ± 6.53^{b}	41.11 ± 11.62^{c}	9.08 ± 3.03^{b}
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	-0.21 ± 0.03^{a}	-0.11 ± 0.06^{a}	-0.05 ± 0.05^{a}	0.05 ± 0.08^{a}	-0.09 ± 0.04^{a}
	สัปดาห์ที่ 4	-0.37 ± 0.16^{a}	-0.33 ± 0.15^{a}	0.04 ± 0.03^{b}	0.12 ± 0.09^{c}	0.04 0.01^{b}

หมายเหตุ a, b, c และ bc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

1.8 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera*

ปริมาณเถ้า สาหร่ายมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 18.41±1.3 ถึงร้อยละ 33.91 ± 5.44 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 6.47±0.26 ถึงร้อยละ 16.47±2.38 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 20 และ ตารางที่ 16)

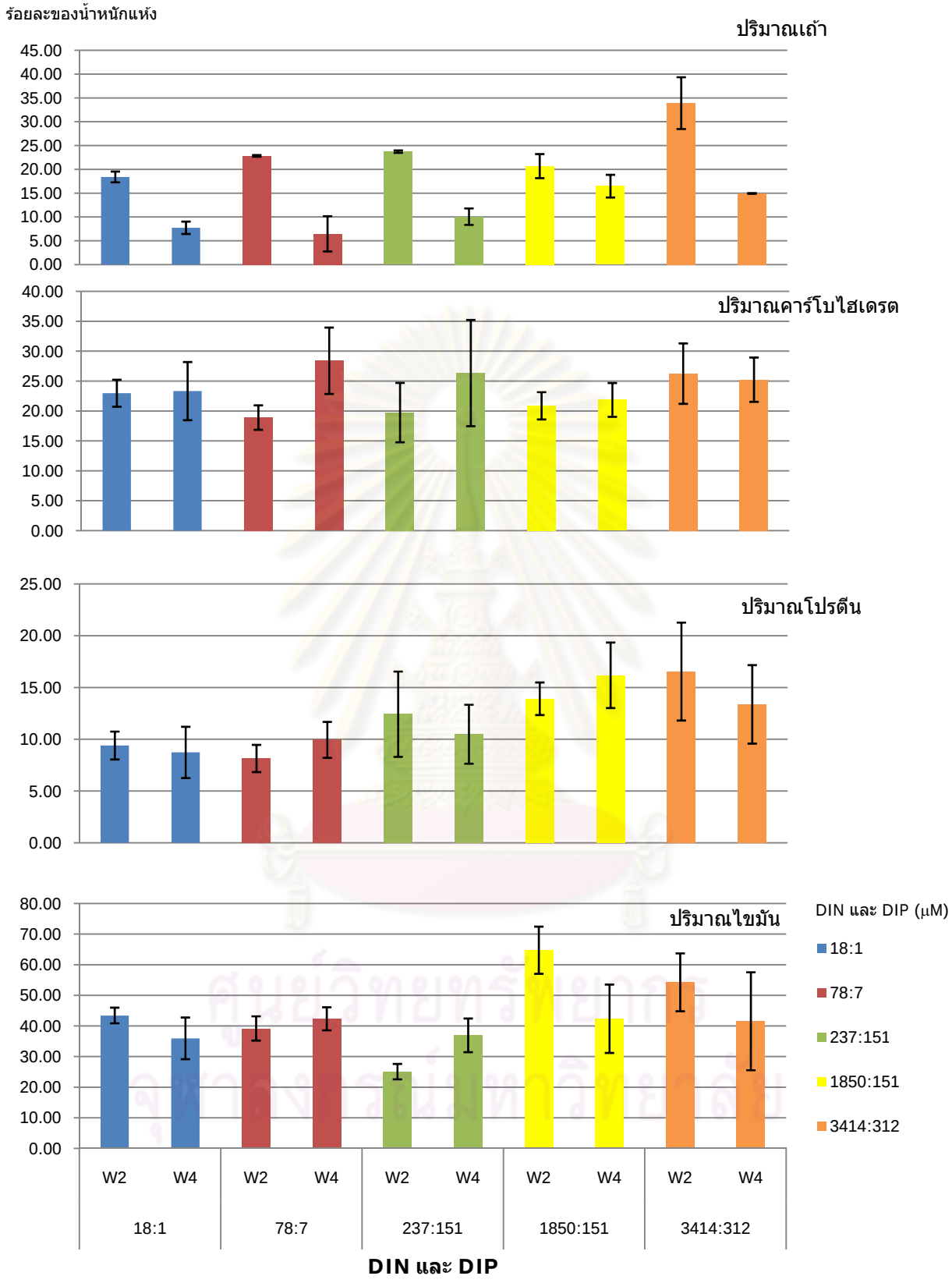
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 3414 และ 312 μM มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 26.25 ± 5.05 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 21.86 ± 2.83 ถึงร้อยละ 28.40 ± 5.55 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 20 และ ตารางที่ 16)

ปริมาณโปรตีน สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 3414 และ 312 μM ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 16.54 ± 4.73 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8.74 ± 2.48 ถึงร้อยละ 16.19 ± 3.17 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 20 และ ตารางที่ 16)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน ปริมาณไขมันที่พบในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 25.05 ± 2.51 ถึงร้อยละ 64.73 ± 7.71 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณไขมันที่อยู่ระหว่างร้อยละ 35.95 ± 6.80 ถึงร้อยละ 42.33 ± 11.19 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 20 และ ตารางที่ 16)

กรดไขมันที่พบทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 จากชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) เป็น 1850 และ 151 μM มีจำนวนทั้งหมด 9 ชนิดดังตารางที่ 17 โดยกรดไขมันที่พบมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 คือ Oleic Acid ปริมาณที่พบคือร้อนละ 43.68 ของปริมาณไขมันทั้งหมด รองลงมาคือ Palmitic acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 36.35 ของปริมารไขมันทั้งหมด และกรดไขมันที่พบมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 คือ Palmitic Acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 43.21 ของปริมาณไขมันทั้งหมด รองลงมาคือ Oleic acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 38.15 ของปริมาณไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 17)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 20 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

ตารางที่ 16 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (mean ± SD)

	เวลา	ความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP)				
		18 : 1	78 : 7	237 : 31	1850 : 151	3414 : 312
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	18.41±1.3	22.82±3.70	23.72±1.73	20.68±5.77	**33.91 ± 5.44**
	สัปดาห์ที่ 4	7.74 ± 0.18	6.47 ± 0.26	10.07 ± 2.53	**16.47 ± 2.38**	14.94 ± 0.08
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	22.98 ± 2.25^{ab}	18.91 ± 2.05^{a}	19.74 ± 4.96^{a}	20.87 ± 2.28^{ab}	**26.25 ± 5.05**^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	23.33 ± 4.86	**28.40 ± 5.55**	26.35 ± 8.88	21.86 ± 2.83	25.24 ± 3.70
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	9.40 ± 1.35^{ab}	8.15 ± 1.32^{a}	12.43 ± 4.12^{abc}	13.92 ± 1.57^{bc}	**16.54 ± 4.73**^{c}
	สัปดาห์ที่ 4	8.74 ± 2.48^{a}	9.95 ± 1.74^{a}	10.5 ± 2.85^{a}	**16.19 ± 3.17**^{b}	13.39 ± 3.79^{ab}
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	43.40 ± 2.55	39.17 ± 3.96	25.05 ± 2.51	**64.73 ± 7.71**	54.23 ± 9.45
	สัปดาห์ที่ 4	35.95 ± 6.80	42.33 ± 3.76	36.92 ± 5.50	**42.33 ± 11.19**	41.52 ± 16.01

หมายเหตุ a, b, c, ab, cb และ abc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

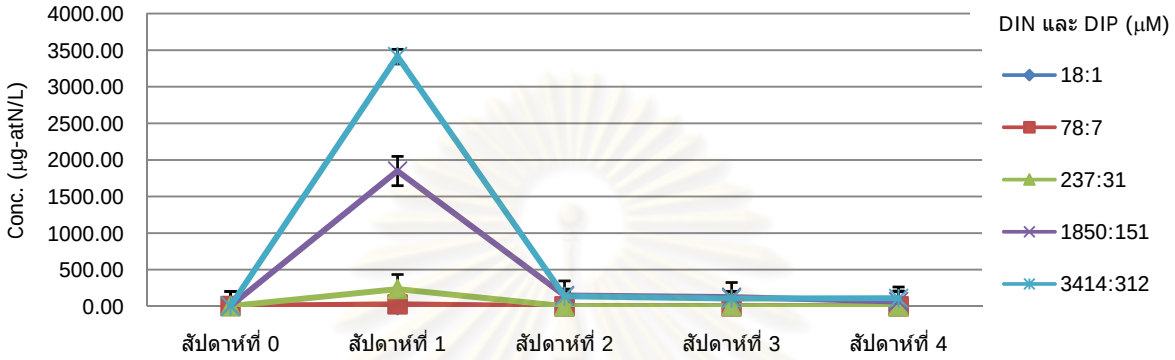
ตารางที่ 17 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	ระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 1850 และ 151 μM	
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4
Myristic acid (C14:0)	1.89	2.04
Palmitic acid (C16:0)	36.35	43.21
Palmitoleic acid (C16:1 n-7)	1.72	1.99
Stearic (C18:0)	4.16	3.81
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	43.68	38.15
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	7.05	6.79
Linolenic acid (C18:3 n-3)	0.67	0.84
Behenic acid (C22:0)	0.91	0.73
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-
Lignoceric Acid (C24:0)	3.56	2.44

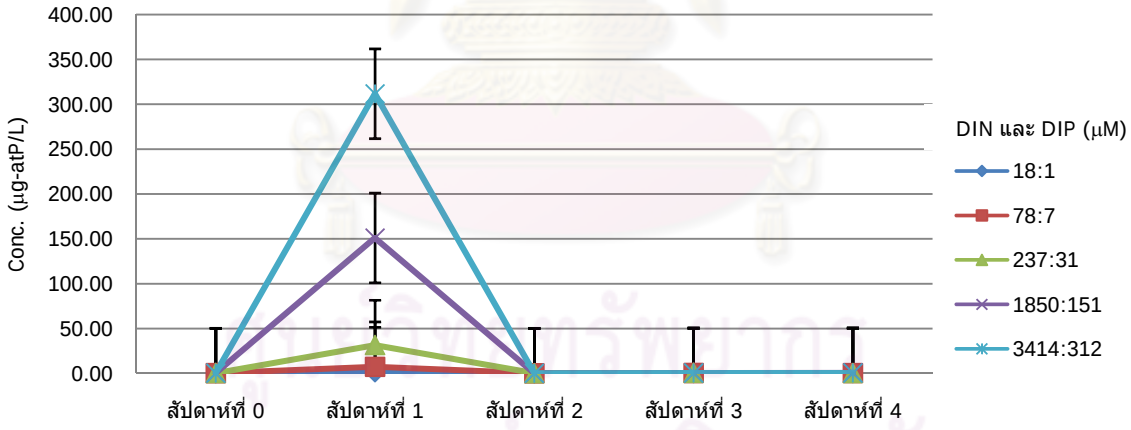
1.9 **ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Caulerpa lentilifera***

1.9.1 **ปริมาณ DIN และ DIP ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเล**

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายสามารถใช้ DIN (รูปที่ 21) และ DIP (รูปที่ 22) ในทุกชุดการทดลองได้หมด ดังรูป



รูปที่ 21 ปริมาณ DIN ในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*



รูปที่ 22 ปริมาณ DIP ในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

1.9.2 ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสงในการศึกษา

ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 29.0 – 33.8 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 8.4 - 9.2 และความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 80.65 – 87.78 $\mu mol/m^2/s$ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *C. lentilifera*

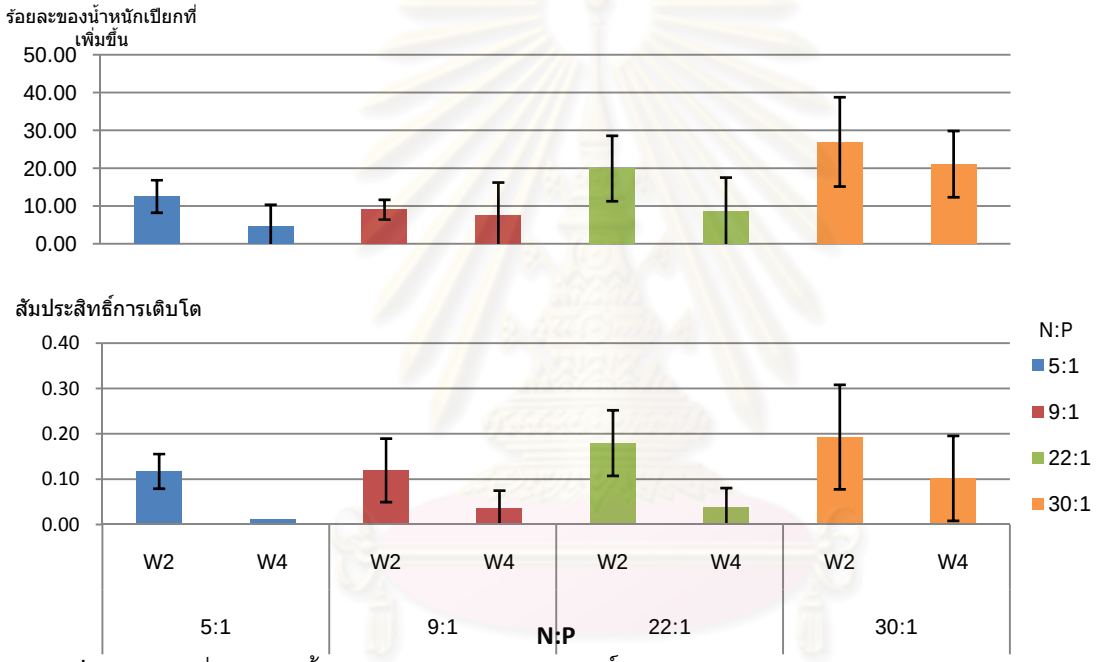
เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	32.8 – 32.9	8.7 – 8.8	80.65
สัปดาห์ที่ 2	30.0	32.6 – 33.8	8.6 – 9.2	86.50
สัปดาห์ที่ 3	30.0	30.6 – 30.9	8.4 – 8.9	87.78
สัปดาห์ที่ 4	30.0	29.0 – 29.3	8.4 – 8.6	81.85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ สูงที่สุด แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 26.97 ± 11.82 และมีค่า μ เป็น 0.19 ± 0.12 ต่อสัปดาห์ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 21.10 ± 8.77 และมีค่า μ เป็น 0.10 ± 0.09 ต่อสัปดาห์ (รูปที่ 23 และ ตารางที่ 19)



รูปที่ 23 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

ตารางที่ 19 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)			
		5:1	9:1	22:1	30:1
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	12.53 ± 4.31^{ab}	9.03 ± 2.61^{ab}	19.93 ± 8.66^{bc}	26.97 ± 11.82^{c}
	สัปดาห์ที่ 4	-4.73 ± 5.61^{ab}	7.67 ± 8.56^{bc}	8.47 ± 9.07^{bc}	21.10 ± 8.77^{c}
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	0.12 ± 0.04^{a}	0.12 ± 0.07^{a}	0.18 ± 0.07^{b}	0.19 ± 0.12^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	0.01^{a}	0.04 ± 0.04^{a}	0.04 ± 0.04^{a}	0.10 ± 0.09^{b}

หมายเหตุ a, b, c, ab และ bc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

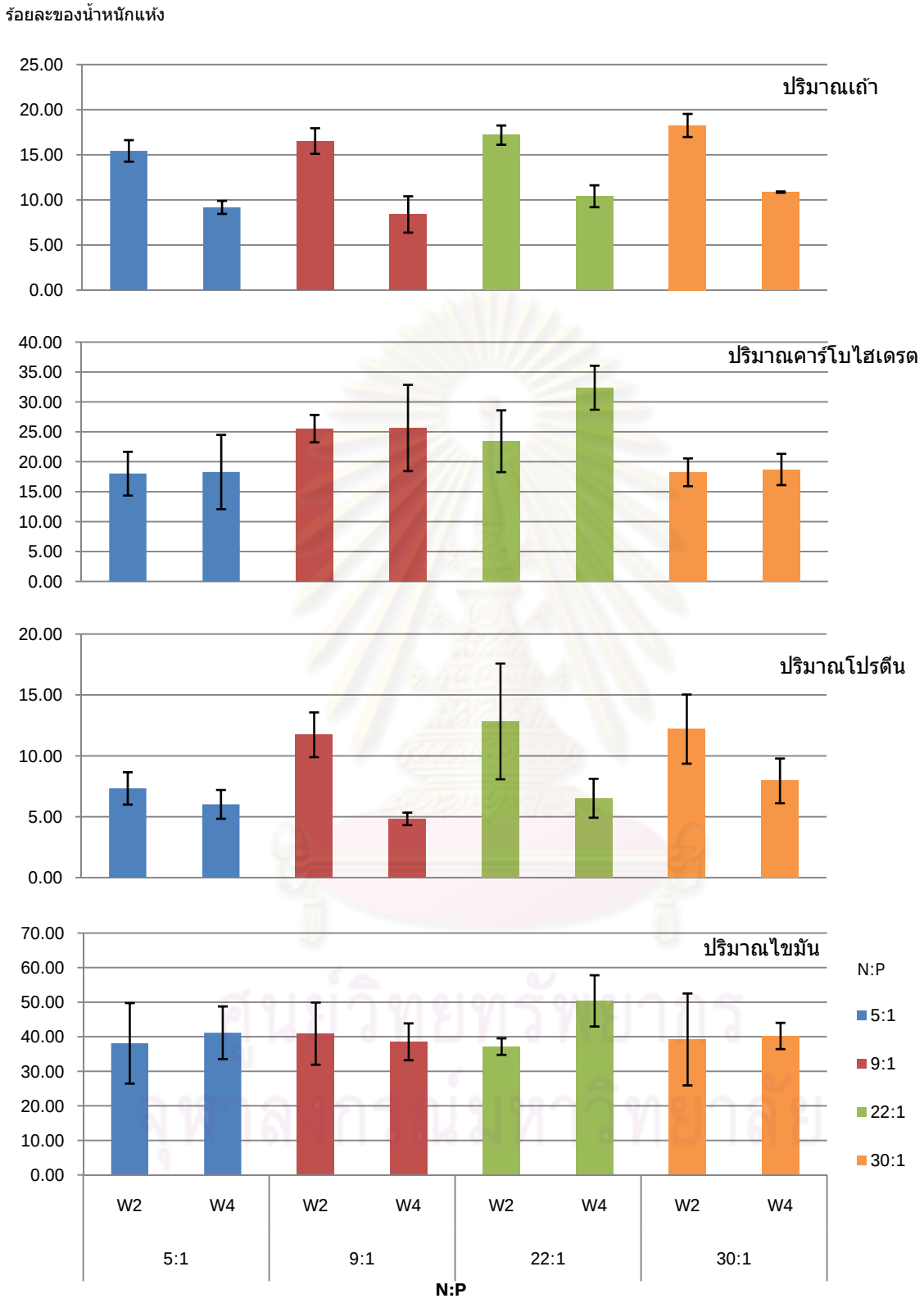
ปริมาณเถ้า สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของ N:P มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 15.43 ± 1.19 ถึงร้อยละ 18.25±1.28 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 8.39 ± 2.01 ถึงร้อยละ 10.87±0.07 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 24 และ ตารางที่ 20)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 9:1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 25.56 ± 2.29 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 22:1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 32.39 ± 3.67 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 24 และ ตารางที่ 20)

ปริมาณโปรตีน สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 22:1 และ 30:1 มีปริมาณโปรตีนสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติคือมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 12.83 ± 4.75 และร้อยละ 12.20 ± 2.84 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 7.95 ± 1.84 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 24 และ ตารางที่ 20)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน ปริมาณไขมันที่พบในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 37.15 ± 2.39 ถึงร้อยละ 40.91 ± 9.0 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 38.54 ± 5.34 ถึงร้อยละ 50.38 ± 7.41 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 24 และ ตารางที่ 20)

จากผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ที่ให้อัตราการเติบโตสูงจะให้ Oleic acid สูง ซึ่งในการศึกษานี้อัตราส่วนโดยโมลของ N:P ที่ให้อัตราการเติบโตสูงที่สุดคืออัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 ซึ่งให้ปริมาณของกรดไขมันชนิด Oleic acid ร้อยละ 48.09 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ในสัปดาห์ที่ 2 และร้อยละ 31.68 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ในสัปดาห์ที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 5:1 และ 22:1 ซึ่งให้ปริมาณของ Oleic acid ร้อยละ 19.09 และ 19.74 ของปริมาณไขมันทั้งหมด แต่สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 5:1 และ 22:1 ให้ Lignoceric acid ในปริมาณที่สูงคือมีค่าร้อยละ 40.52 และ 37.69 ของปริมาณไขมันทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 ซึ่งไม่พบ Lignoceric acid ในขณะที่ Palmitic acid เป็นกรดไขมันที่พบมีปริมาณสูงรองลงในสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ทั้ง 3 อัตราส่วนโดยโมลของ N:P ที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน แต่พบว่า Palmitic acid ที่พบมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 27.36 ถึงร้อยละ 42.51 ของปริมาณไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 21)



รูปที่ 24 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

ตารางที่ 20 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)			
		5:1	9:1	22:1	30:1
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	15.43±1.19	16.52±1.42	17.18±1.07	**18.25±1.28**
	สัปดาห์ที่ 4	9.18±0.72	8.39±2.01	10.41±1.21	**10.87±0.07**
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	18.04 ± 3.65^{a}	**25.56 ± 2.29**^{b}	23.46 ± 5.16^{ab}	18.26 ± 2.32^{a}
	สัปดาห์ที่ 4	18.31 ± 6.20^{a}	25.67 ± 7.21^{ab}	**32.39 ± 3.67**^{b}	18.74 ± 2.61^{a}
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	7.33 ± 1.32^{a}	11.73 ± 1.84^{ab}	**12.83 ± 4.75**^{b}	12.20 ± 2.84^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	6.02 ± 1.18^{ab}	4.83 ± 0.52^{a}	6.52 ± 1.60^{ab}	**7.95 ± 1.84**^{b}
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	38.10 ± 11.65	**40.91 ± 9.0**	37.15 ± 2.39	39.23 ± 13.32
	สัปดาห์ที่ 4	41.15 ± 7.61	38.54 ± 5.34	**50.38 ± 7.41**	40.23 ± 3.79

หมายเหตุ a, b และ ab คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

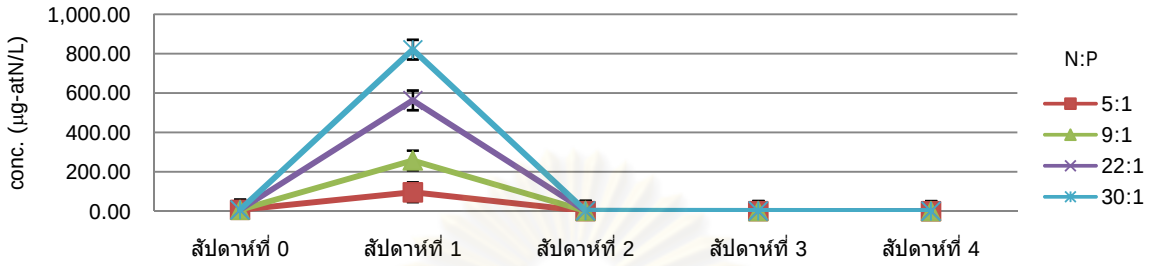
ตารางที่ 21 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)			
	5:1	22:1	30:1	
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4
Myristic acid (C14:0)	0.78	0.81	1.20	1.69
Palmitic acid (C16:0)	29.30	31.27	27.36	42.51
Palmitoleic acid (C16:1 n-7)	-	2.67	4.59	2.73
Stearic (C18:0)	3.81	4.20	3.32	5.70
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	19.09	19.74	48.09	31.68
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	2.59	2.39	6.15	3.25
Linolenic acid (C18:3 n-3)	0.82	0.78	1.61	0.77
Behenic acid (C22:0)	0.25	0.45	7.67	11.68
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-	-	-
Lignoceric acid (C24:0)	40.52	37.69	-	-

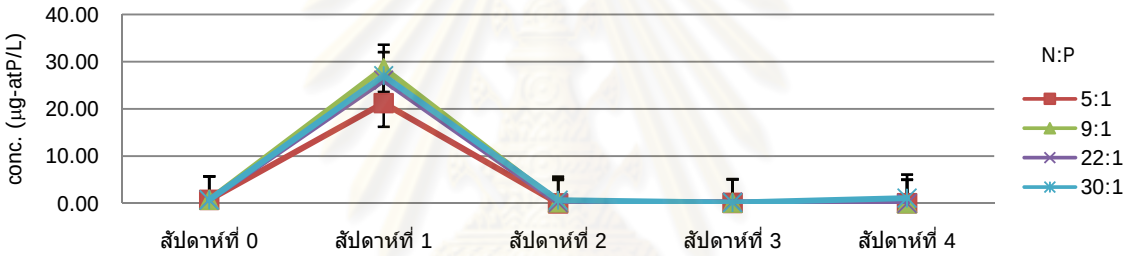
2.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

2.3.1 ปริมาณ DIN และ DIP ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเล

สาหร่ายสามารถใช้ DIN (รูปที่ 25) และ DIP (รูปที่ 26) ในทุกชุดการทดลองหมดภายใน 1 สัปดาห์ ในทุกชุดการทดลอง ดังรูป



รูปที่ 25 ปริมาณ DIN ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*



รูปที่ 26 ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

2.3.2 ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสงในการศึกษา

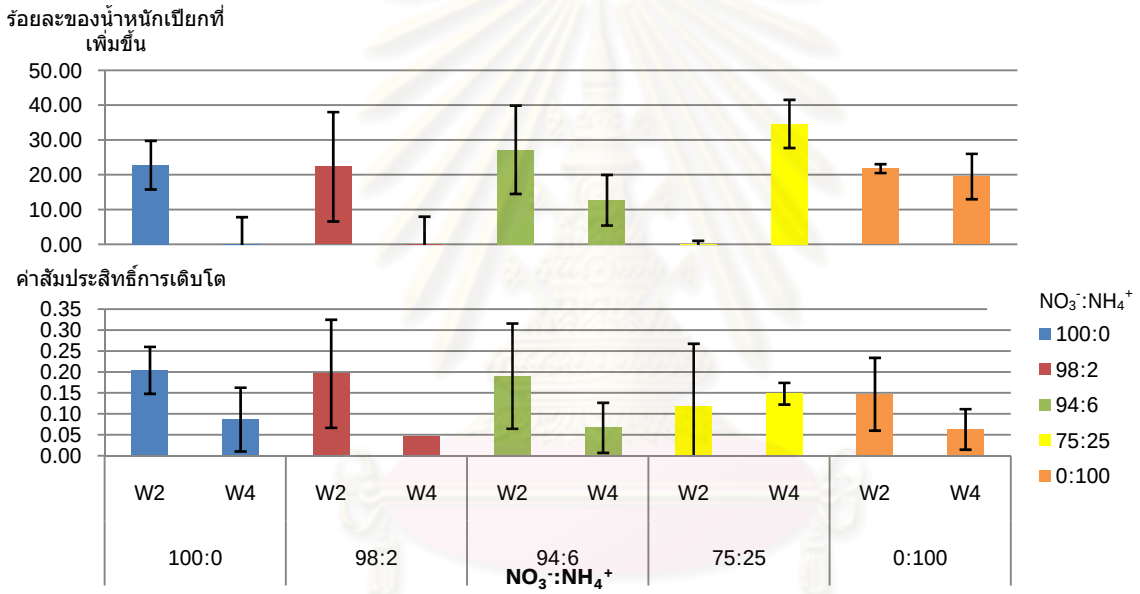
ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 24.5 – 31.6 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 7.4 – 9.5 ความเข้มแสง 105.88 – 179.31 µmol/m^2/s (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	27.0	7.4 – 7.8	105.88
สัปดาห์ที่ 2	30.0	24.5 – 25.3	7.9 – 9.5	179.31
สัปดาห์ที่ 3	30.0	30.5 – 31.6	8.2 – 9.2	154.26
สัปดาห์ที่ 4	30.0	29.4 – 30.0	8.3 – 8.5	153.32

2.4 อิทธิพลของอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 100:0, 98:2, 94:6 และ 0:100 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติคือมีค่าร้อยละ 22.80 ± 6.97, 22.33 ± 15.71, 27.20 ± 12.70 และ 21.80 ± 1.27 ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างจากชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 75:25 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 75:25 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดคือร้อยละ 34.60 ± 6.93 และมีความแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า μ สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 100:0 และ 98:2 มีค่า μ สูงที่สุดใกล้เคียงกันคือมีค่า 0.20 ± 0.06 และ 0.20 ± 0.13 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 75:25 มีค่า μ สูงที่สุดคือมีค่า 0.15 ± 0.03 ต่อสัปดาห์ (รูปที่ 27 และ ตารางที่ 23)



รูปที่ 27 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

ตารางที่ 23 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (mean ± SD)

	เวลา	สัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3^-:NH_4^+)				
		100:0	98:2	94:6	75:25	100:0
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	22.80 ± 6.97^{b}	22.33 ± 15.71^{b}	27.20 ± 12.70^{b}	-10.40 ± 11.41^{a}	21.80 ± 1.27^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	-4.23 ± 12.11^{a}	-2.90 ± 10.91^{ab}	12.75 ± 7.28^{abc}	34.60 ± 6.93^{c}	19.50 ± 6.51^{bc}
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	0.20 ± 0.06^{a}	0.20 ± 0.13^{a}	0.19 ± 0.13^{a}	0.12 ± 0.15^{b}	0.15 ± 0.09^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	0.09 ± 0.08^{b}	0.05^{b}	0.07 ± 0.06^{b}	0.15 ± 0.03^{a}	0.06 ± 0.05^{b}

หมายเหตุ a, b, c, ab, bc และ abc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.5 อิทธิพลของอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

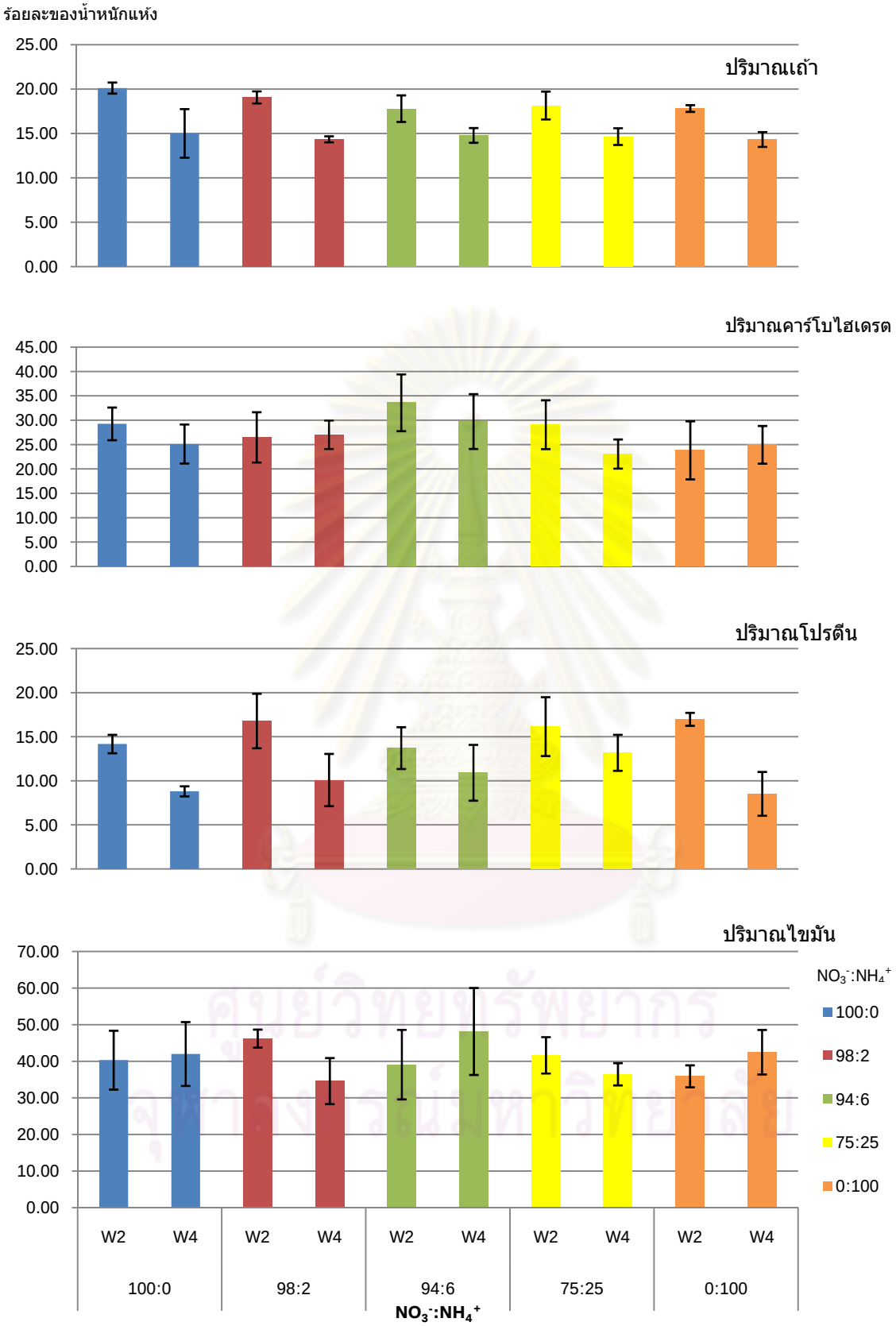
ปริมาณเถ้า สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 17.79 ± 1.50 ถึงร้อยละ 20.11±0.62 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 14.32 ± 0.84 ถึงร้อยละ 15.01±2.74 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 28 และ ตารางที่ 24)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 94:6 ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 33.59 ± 5.83 % มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 23.07 ± 3.0 ถึงร้อยละ 29.74 ± 5.63 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 28 และ ตารางที่ 24)

ปริมาณโปรตีน สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 13.71 ± 2.37 ถึงร้อยละ 16.98 ± 0.73 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 8.52 ± 2.48 ถึงร้อยละ 13.19 ± 2.05 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 28 และ ตารางที่ 24)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ มีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันทางสถิติในสัปดาห์ที่ 2 โดยสาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 35.93 ± 3.02 ถึงร้อยละ 46.20 ± 2.48 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 94:6 ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 48.15 ± 11.89 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 28 และ ตารางที่ 24)

จากผลการศึกษาสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 100:0 ในสัปดาห์ที่ 2 กรดไขมันที่พบมากที่สุดคือ Palmitic Acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 47.92 ของปริมาณไขมันทั้งหมด รองลงมาคือ Oleic Acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 28.35 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 กรดไขมันที่พบมากที่สุดคือ Oleic Acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 55.78 ของปริมาณไขมันทั้งหมด รองลงมาคือ Palmitic acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ18.76 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วน NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 0:100 กรดไขมันที่พบมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 คือ Oleic Acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 33.87 ของปริมาณไขมันทั้งหมด รองลงมาคือ Palmitic acid และ Lignoceric acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 27.86 และร้อยละ 22.36 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่ง Lignoceric acid ไม่พบในสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 100:0 (ตารางที่ 25)



รูปที่ 28 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

ตารางที่ 24 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+)				
		100:0	98:2	94:6	75:25	100:0
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	20.11±0.62	19.06±0.68	17.79±1.50	18.15±1.57	17.81±0.38
	สัปดาห์ที่ 4	15.01±2.74	14.34±0.34	14.78±0.83	14.65±0.94	14.32±0.84
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	29.27 ± 3.35^{ab}	26.50 ± 5.16^{ab}	33.59 ± 5.83^{b}	29.11 ± 5.01^{ab}	23.84 ± 5.95^{a}
	สัปดาห์ที่ 4	25.13 ± 4.00	27.02 ± 2.92	29.74 ± 5.63	23.07 ± 3.0	24.97 ± 3.87
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	14.17 ± 1.04	16.79 ± 3.09	13.71 ± 2.37	16.15 ± 3.34	16.98 ± 0.73
	สัปดาห์ที่ 4	8.81 ± 0.57	10.09 ± 2.97	10.92 ± 3.17	13.19 ± 2.05	8.52 ± 2.48
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	40.32 ± 8.05	46.20 ± 2.48	39.10 ± 9.48	41.65 ± 4.10	35.93 ± 3.02
	สัปดาห์ที่ 4	42.00 ± 8.74^{ab}	34.60 ± 6.30^{a}	48.15 ± 11.89^{b}	36.45 ± 3.05^{ab}	42.50 ± 6.08^{ab}

หมายเหตุ a, b และ ab คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

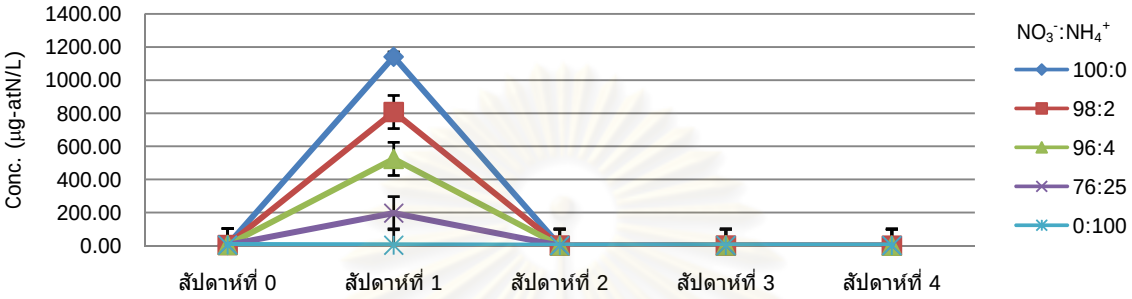
ตารางที่ 25 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	อัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+		
	100:0		0:100
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 2
Myristic acid (C14:0)	1.26	1.06	0.91
Palmitic acid (C16:0)	47.92	18.76	27.86
Palmitoleic acid (C16:1 n-7)	5.43	2.11	5.42
Stearic (C18:0)	5.56	3.38	3.15
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	28.35	55.78	33.87
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	3.62	7.45	4.84
Linolenic acid (C18:3 n-3)	0.89	1.38	1.33
Behenic acid (C22:0)	6.97	10.08	0.24
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-	-
Lignoceric acid (C24:0)	-	-	22.36

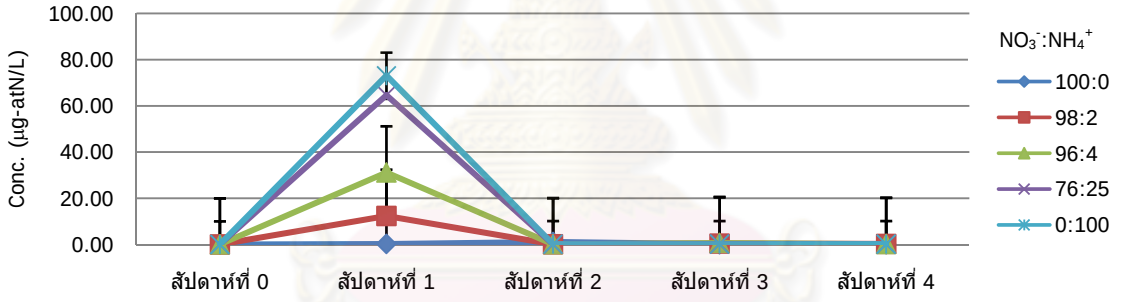
2.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

2.6.1 ปริมาณสารอาหาร NO_3^-, NH_4^+ และ PO_4^{3-} ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเล

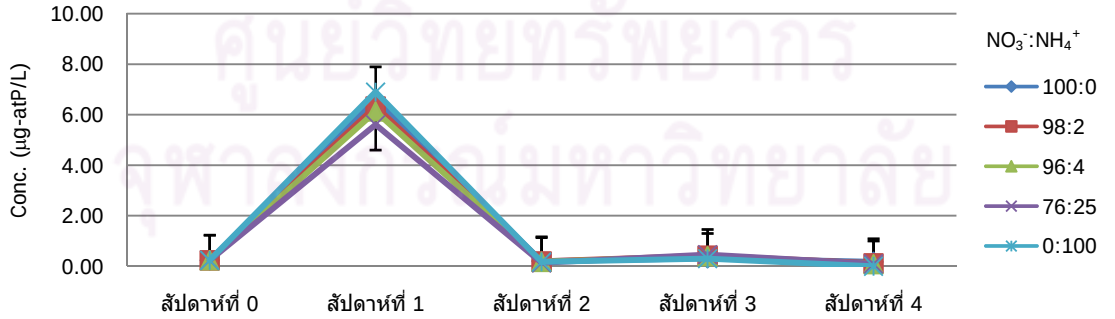
ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายสามารถใช้ NO_3^- (รูปที่ 29), NH_4^+ (รูปที่ 30) และ PO_4^{3-} (รูปที่ 31) ในทุกชุดการทดลองได้หมด ดังรูป



รูปที่ 29 ปริมาณ NO_3^- ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*



รูปที่ 30 ปริมาณ NH_4^+ ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*



รูปที่ 31 ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

2.6.2 ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสงในการศึกษา

ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 31.8 – 34.8 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 8.8 – 9.6 และความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 94.90 – 123.07 $\mu mol/m^2/s$ (ตารางที่ 26)

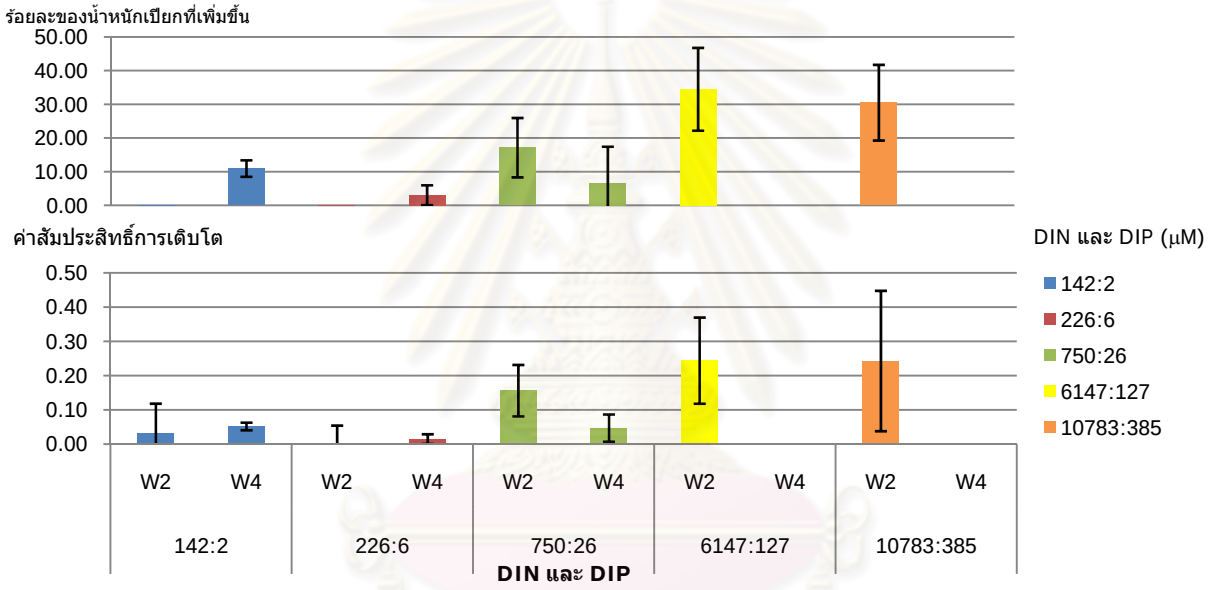
ตารางที่ 26 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	31.8 – 32.0	8.8 – 9.2	112.42
สัปดาห์ที่ 2	30.0	32.0 – 32.4	9.3 – 9.6	123.07
สัปดาห์ที่ 3	30.0	32.0 – 34.8	9.3 – 9.5	116.62
สัปดาห์ที่ 4	30.0	32.3 – 33.3	9.2 – 9.6	94.90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) เป็น 6147 และ 127 μM มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือร้อยละ 34.50 ± 12.30 ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 750 และ 26 μM มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติคือร้อยละ 6.64 ± 10.07 ค่า μ ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) เป็น 6147 และ 127 และระดับ 10738 และ 385 μM มีค่า μ สูงที่สุด คือ 0.24±0.12 และ 0.24±0.20 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 142 และ 2 μM และระดับ 750 และ 26 μM มีค่า μ สูงที่สุดคือ 0.05±0.01 และ 0.05±0.04 ตามลำดับ (รูปที่ 32 และ ตารางที่ 27)



รูปที่ 32 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

ตารางที่ 27 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (mean ± SD)

	เวลา	ความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP)				
		142 : 2	226 : 6	750 : 26	6147 : 127	10783 : 385
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	-3.38 ± 2.88^{a}	-4.54 ± 3.07^{a}	17.16 ± 8.83^{b}	34.50 ± 12.30^{c}	30.52 ± 11.24^{bc}
	สัปดาห์ที่ 4	10.95 ± 2.45	3.03 ± 2.96	6.64 ± 10.07	ตาย	ตาย
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	0.03 ± 0.09^{a}	-0.01 ± 0.07^{a}	0.16 ± 0.08^{b}	0.24 ± 0.13^{c}	0.24 ± 0.20^{c}
	สัปดาห์ที่ 4	0.05 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.05 ± 0.04	ตาย	ตาย

หมายเหตุ a, b, c และ bc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.8 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

ปริมาณเถ้า ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 14.19±1.35 ถึงร้อยละ 16.40 ± 1.16 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 11.20 ± 1.22 ถึงร้อยละ 13.42 ± 1.60 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 33 และ ตารางที่ 28)

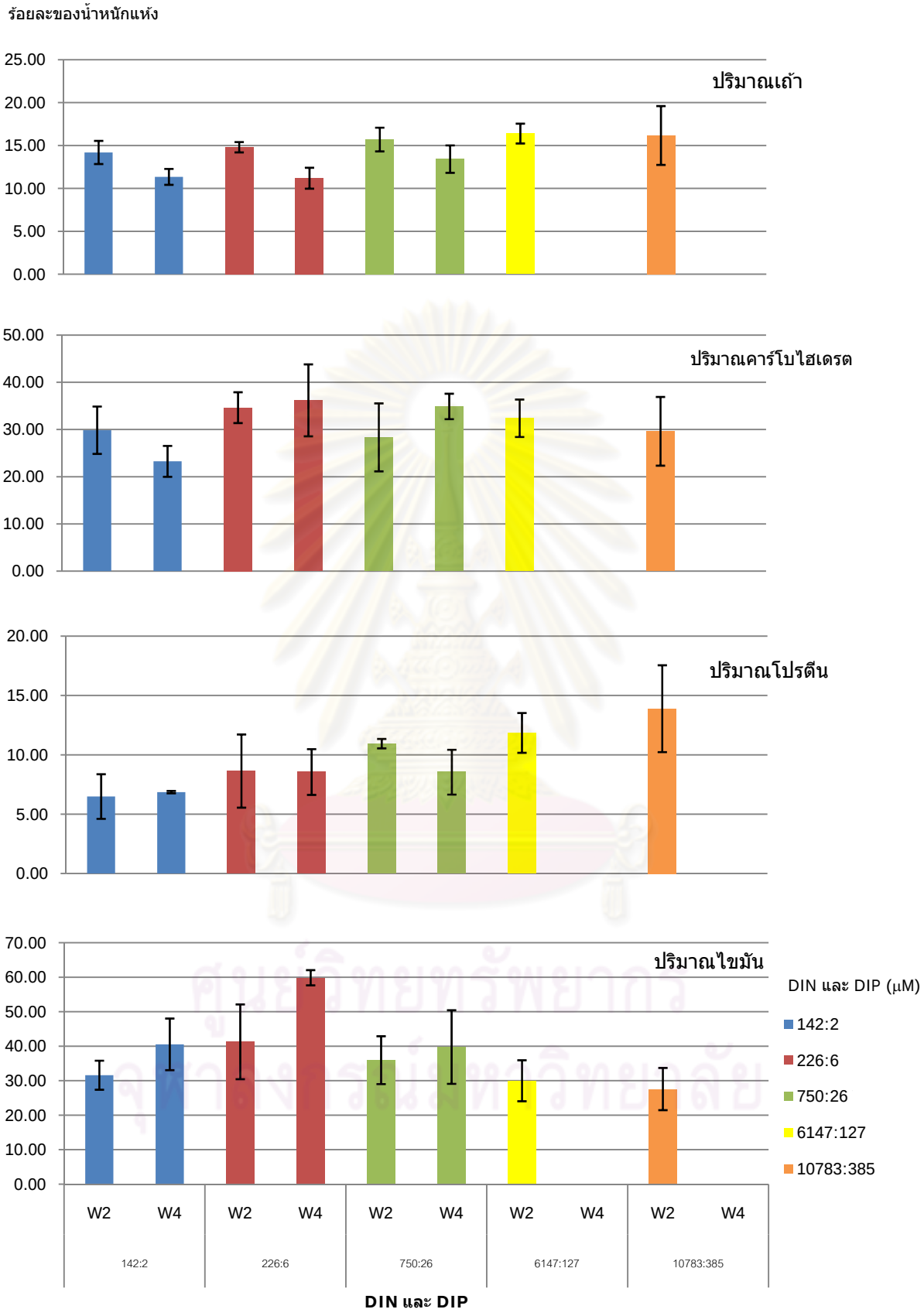
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 28.34 ± 7.21 ถึงร้อยละ 34.64 ± 3.72 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 23.26 ± 3.27 ถึงร้อยละ 36.19 ± 7.62 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 33 และ ตารางที่ 28)

ปริมาณโปรตีน ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 10783 และ 385 μM มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 13.89 ± 3.66 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 ปริมาณในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ไม่มีความแตกต่างกัน โดยสาหร่ายมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 6.86 ± 0.10 ถึงร้อยละ 8.55 ± 1.93 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 33 และ ตารางที่ 28)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 27.58 ± 6.09 ถึงร้อยละ 41.25 ± 10.82 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 39.75 ± 10.68 ถึงร้อยละ 59.85 ± 2.21 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 33 และ ตารางที่ 28)

กรดไขมันที่พบทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ในชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 750 และ 26 μM มีจำนวนทั้งหมด 8 ชนิด กรดไขมันที่พบมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 คือ Palmitic acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 47.92 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 คือ พบ Oleic Acid มากที่สุดคือร้อยละ 55.78 ของปริมาณไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 29)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 33 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

ตารางที่ 28 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (mean ± SD)

	เวลา	ความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP)				
		142 : 2	226 : 6	750 : 26	6147 : 127	10783 : 385
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	14.19 ± 1.35	14.80 ± 0.60	15.70 ± 1.38	**16.40 ± 1.16**	16.17 ± 3.43
	สัปดาห์ที่ 4	11.35 ± 0.93	11.20 ± 1.22	**13.42 ± 1.60**	ตาย	ตาย
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	29.86 ± 5.02	**34.64 ± 3.72**	28.34 ± 7.21	32.39 ± 3.97	29.63 ± 7.67
	สัปดาห์ที่ 4	23.26 ± 3.27	**36.19 ± 7.62**	34.90 ± 2.70	ตาย	ตาย
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	6.49 ± 1.88^{a}	8.64 ± 3.08^{ab}	10.94 ± 0.39^{bc}	11.85±1.67^{bc}	**13.89 ± 3.66**^{c}
	สัปดาห์ที่ 4	6.86 ± 0.10	**8.55 ± 1.93**	8.54 ± 1.89	ตาย	ตาย
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	31.63 ± 4.22	**41.25 ± 10.82**	35.95 ± 6.93	29.98 ± 5.94	27.58 ± 6.09
	สัปดาห์ที่ 4	40.53 ± 7.48	**59.85 ± 2.21**	39.75 ± 10.68	ตาย	ตาย

หมายเหตุ a, c, ab และ bc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

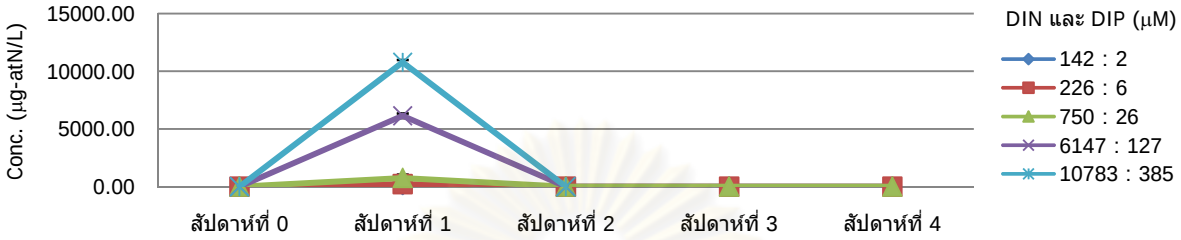
ตารางที่ 29 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	ระดับความเข้มข้นของสารอาหาร DIN และ DIP เท่ากับ 750 และ 26 (μM)	
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4
Myristic acid (C14:0)	1.26	1.06
Palmitic acid (C16:0)	47.92	18.76
Palmitoleic acid (C16:1 n-7)	5.43	2.11
Stearic (C18:0)	5.56	3.38
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	28.35	55.78
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	3.62	7.45
Linolenic acid (C18:3 n-3)	0.89	1.38
Behenic acid (C22:0)	6.97	10.08
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-

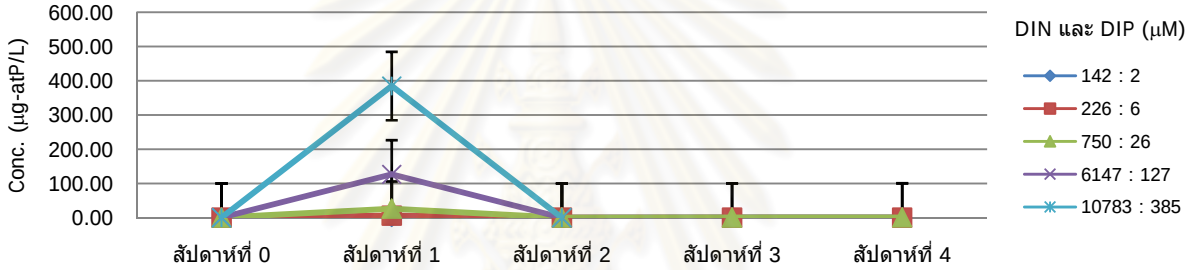
2.9 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva rigida*

2.9.1 ปริมาณ DIN และ DIP ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลใน

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายสามารถใช้ DIN (รูปที่ 34) และ DIP (รูปที่ 35) ในทุกชุดการทดลองได้หมด ดังรูป



รูปที่ 34 ปริมาณ DINในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*



รูปที่ 35 ปริมาณ DIP ในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

2.9.2 ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสงในการศึกษา

ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 29.1 – 34.0 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 8.0 – 9.5 และความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 80.65 – 87.78 µmol/m^2/s (ตารางที่ 30)

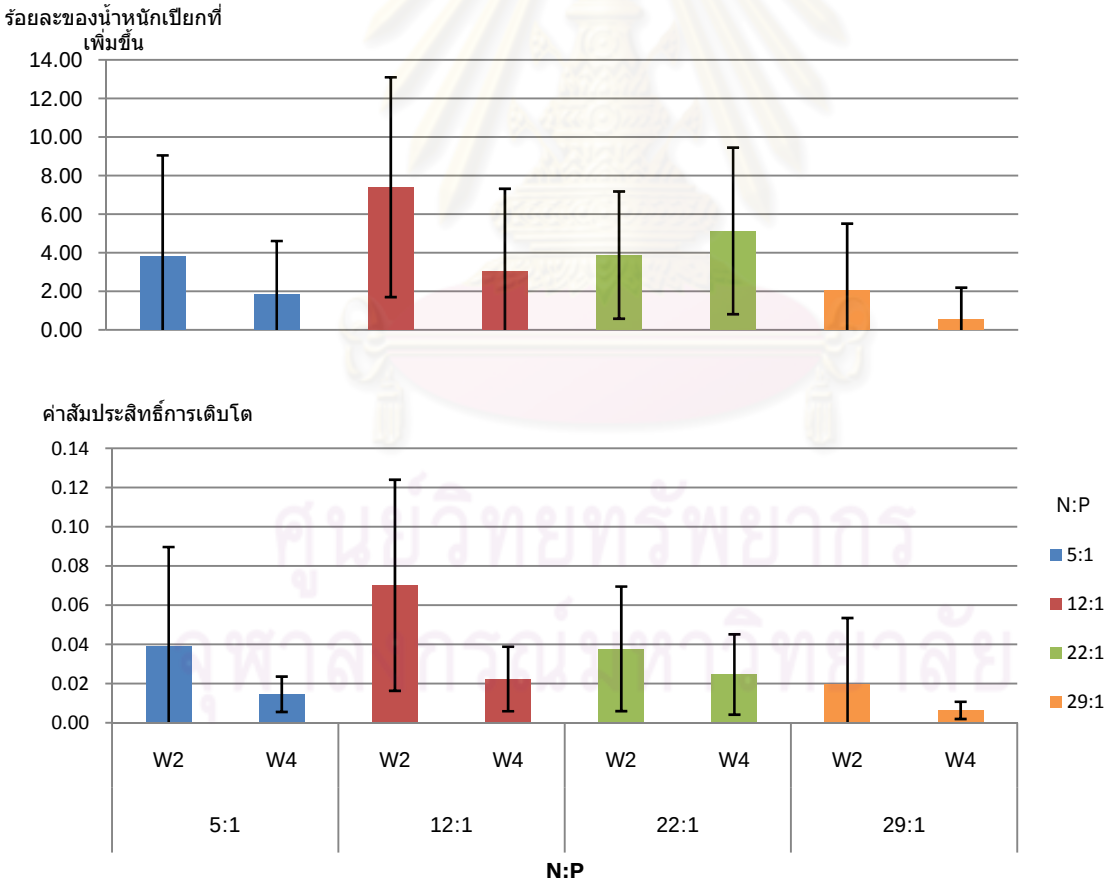
ตารางที่ 30 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *U. rigida*

เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	32.6 – 33.5	8.1 – 9.3	80.65
สัปดาห์ที่ 2	30.0	33.5 – 34.0	8.0 – 9.5	86.50
สัปดาห์ที่ 3	30.0	30.6 – 30.9	8.8 – 9.0	87.78
สัปดาห์ที่ 4	30.0	29.1 – 29.3	8.6	81.85

3 อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

3.1 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

สาหร่ายที่เลี้ยงในสารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่างกัน มีการเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีน้ำหนักเปียกเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.03 ± 3.48 ถึงร้อยละ 7.40 ± 5.70 และสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เป็น 12:1 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด คือ ร้อยละ 7.40 ± 5.70 ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีน้ำหนักเปียกเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.53 ± 1.66 ถึงร้อยละ 5.13 ± 4.32 และสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 22:1 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดคือมีค่าร้อยละ 5.13 ± 4.32 สัมประสิทธิ์การเติบโต (μ) ของสาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีค่า μ อยู่ระหว่าง 0.02 ± 0.03 ถึง 0.07 ± 0.05 ต่อสัปดาห์ และสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 12:1 มีค่า μ สูงที่สุด คือมีค่า 0.07 ± 0.05 ต่อสัปดาห์ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีค่า μ อยู่ระหว่าง 0.01 ± 0.01 ถึง 0.02 ± 0.02 ต่อสัปดาห์ และสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 12:1 และ 22:1 มีค่า μ สูงที่สุดคือ 0.02 ± 0.02 ต่อสัปดาห์ และ 0.02±0.03 ต่อสัปดาห์ (รูปที่ 36 และ ตารางที่ 31)



รูปที่ 36 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

ตารางที่ 31 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)			
		5:1	12:1	22:1	29:1
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	3.80 ± 5.25	**7.40 ± 5.70**	3.88 ± 3.30	2.03 ± 3.48
	สัปดาห์ที่ 4	1.85 ± 2.76	3.03 ± 4.29	**5.13 ± 4.32**	0.53 ± 1.66
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	0.04 ± 0.05	**0.07 ± 0.05**	0.04 ± 0.03	0.02 ± 0.03
	สัปดาห์ที่ 4	0.01 ± 0.01	**0.02 ± 0.02**	0.02 ± 0.03	0.01± 0.01

3.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

ปริมาณเถ้า ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของ N:P มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 29.89 ± 0.48 ถึงร้อยละ 31.43 ± 1.48 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 28.63 ± 1.12 ถึงร้อยละ 30.18 ± 0.47 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 37 และ ตารางที่ 32)

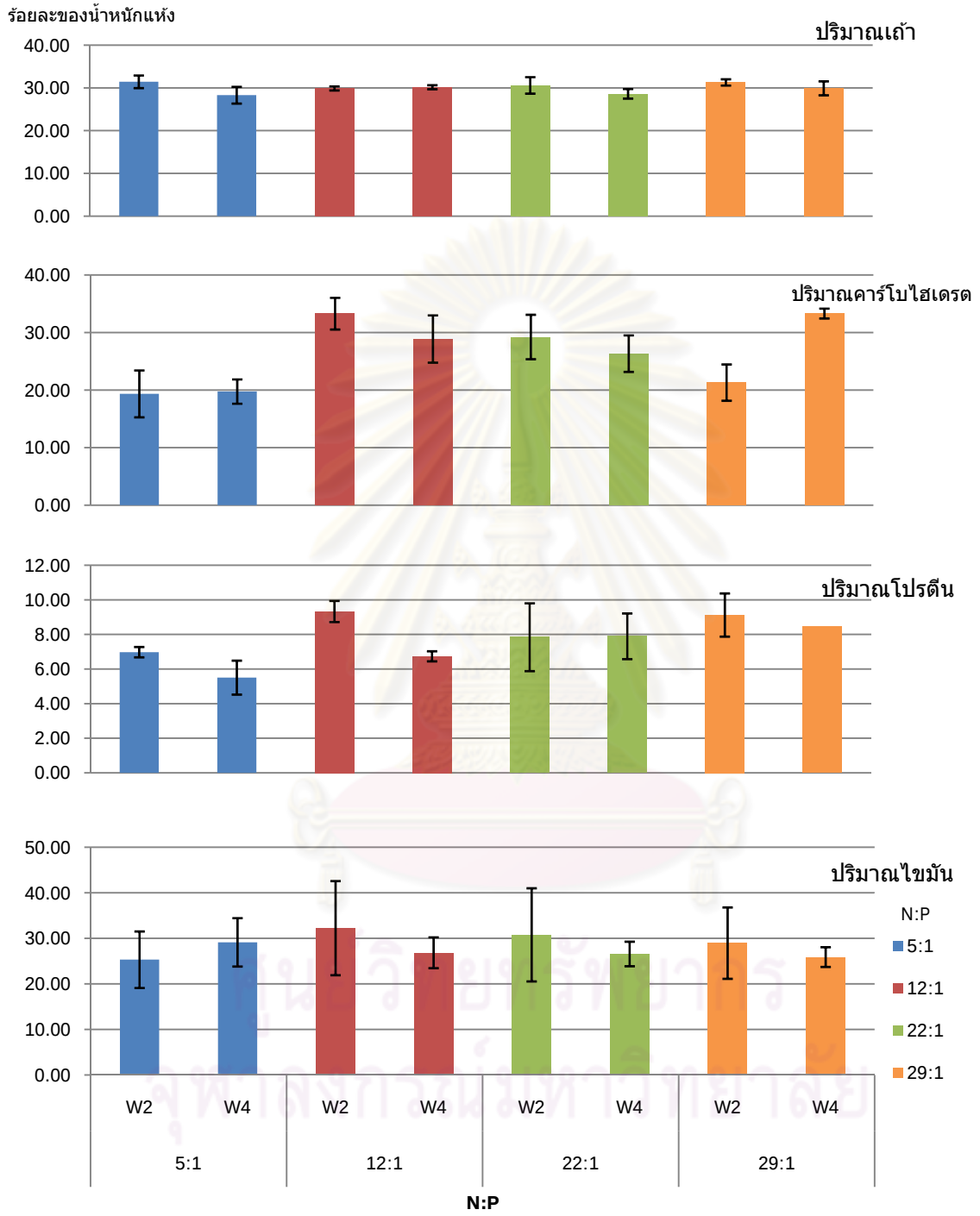
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 12:1 และ 22:1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 33.28 ± 2.75 และ 29.22 ± 3.85 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 29:1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 33.30 ± 0.86 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 37 และ ตารางที่ 32)

ปริมาณโปรตีน ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 12:1 และ 29:1 มีปริมาณโปรตีนสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.33 ± 0.61 และร้อยละ 9.12 ± 0.25 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 22:1 และ 29:1 มีปริมาณโปรตีนสูงใกล้เคียงกัน คือมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.47 ± 2.33 และร้อยละ 7.90 ± 1.32 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (รูปที่ 37 และ ตารางที่ 32)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของ N:P มีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 25.30 ± 6.20 ถึงร้อยละ 32.23 ± 10.32 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 25.90 ± 2.17 ถึงร้อยละ 29.13 ± 5.33 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 37 และ ตารางที่ 32)

สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 5:1, 12:1 และ 29:1 ให้กรดไขมันชนิด Oleic acid สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณที่พบในสาหร่ายที่เลี้ยงทั้ง 3 อัตราส่วนโดยโมลของ N:P คือร้อยละ 38.91, 44.47 และ 32.98 ของปริมาณไขมันทั้งหมด โดยกรดไขมันที่พบมากรองลงมาในสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ทั้ง 3 อัตราส่วนคือ Lignoceric acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 27.77, 22.64 และ 30.69 ของปริมาณไขมันทั้งหมด และสาหร่าย

ที่เลี้ยงในอัตราส่วน 12:1 ซึ่งมีอัตราการเติบโตสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยโมลของ N:P อื่นๆมีปริมาณของ Oleic acid สูงกว่าอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 5:1 และ 29:1 ด้วย (ตารางที่ 33)



รูปที่ 37 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

ตารางที่ 32 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)			
		5:1	12:1	22:1	29:1
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	**31.43 ± 1.48**	29.89 ± 0.48	30.60 ± 1.93	31.29 ± 0.74
	สัปดาห์ที่ 4	28.30 ± 1.95	**30.18 ± 0.47**	28.63 ± 1.12	29.91 ± 1.63
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	19.34 ± 4.07^{a}	**33.28 ± 2.75**^{b}	29.22 ± 3.85^{b}	21.30 ± 3.15^{a}
	สัปดาห์ที่ 4	19.75 ± 2.11^{a}	28.87 ± 4.11^{bc}	26.33 ± 3.17^{b}	**33.30 ± 0.86**^{c}
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	6.98 ± 0.30^{a}	**9.33 ± 0.61**^{b}	7.84 ± 1.96a^{b}	9.12 ± 1.25^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	5.50 ± 0.98^{a}	6.74 ± 0.29^{b}	7.90 ± 1.32^{b}	**8.47 ± 2.33**^{b}
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	25.30 ± 6.20	**32.23 ± 10.32**	30.77 ± 10.22	28.96 ± 7.84
	สัปดาห์ที่ 4	**29.13 ± 5.33**	26.85 ± 3.39	26.60 ± 2.69	25.90 ± 2.17

หมายเหตุ a, b, c และ bc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

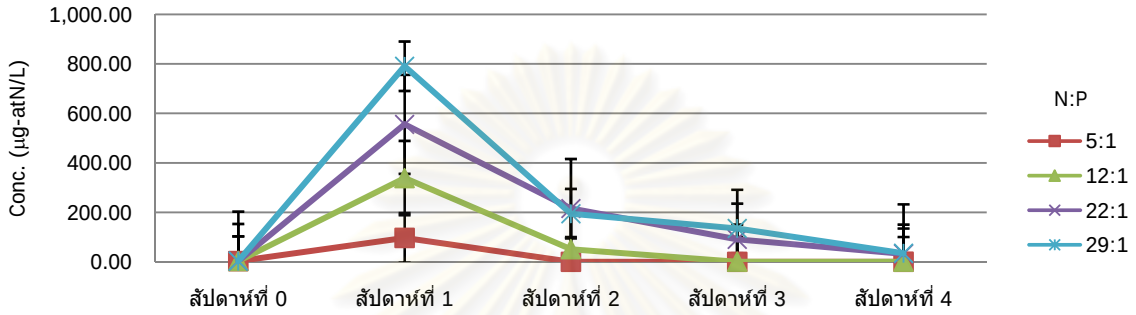
ตารางที่ 33 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	อัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P)			
	5:1	12:1		29:1
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 2
Myristic acid (C14:0)	0.74	1.12	1.17	0.86
Palmitic acid (C16:0)	19.34	23.55	23.01	23.79
Palmitoleic acid (C16:1n-7)	0.15	-	-	0.13
Stearic acid (C18:0)	2.61	3.78	3.52	2.79
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	38.91	44.47	52.81	32.98
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	4.75	3.93	5.67	3.83
Eicosatrienoic acid (C20:3 n-6)	5.40	-	-	0.26
Arachidonic acid (C20:4 n-6)	-	0.51	2.15	4.70
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-	-	-
Lignoceric Acid (C24:0)	27.77	22.64	11.67	30.69

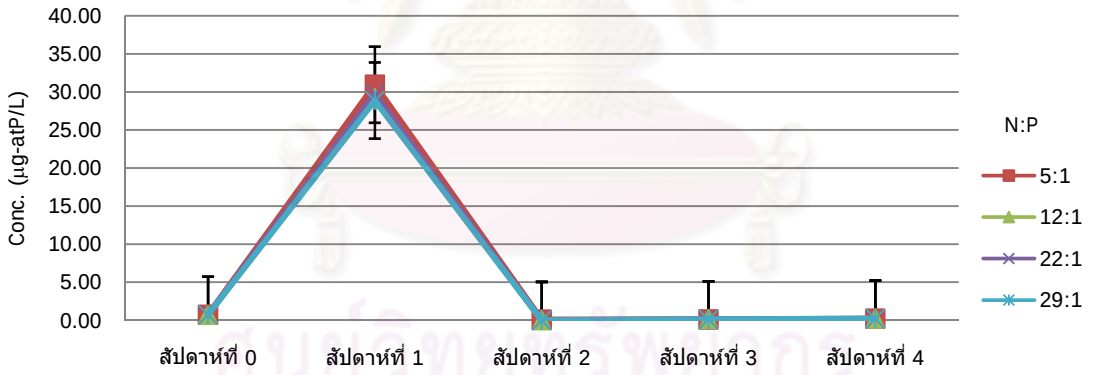
3.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสารอาหารไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

3.3.1 ปริมาณ DIN และ DIP ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเล

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายไม่สามารถใช้ DIN (รูปที่ 38) ในน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายในชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 12:1, 22:1 และ 29:1 ได้หมด แต่สาหร่ายสามารถดูด DIN ไปสะสมไว้ในเซลล์ในระหว่างการเติบโตได้เรื่อยๆจนหมดในสัปดาห์ที่ 4 ส่วน DIP (รูปที่ 39) สามารถสามารถดูดไปใช้ได้หมดในสัปดาห์ที่ 2 ดังรูป



รูปที่ 38 ปริมาณ DINในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*



รูปที่ 39 ปริมาณ DIPในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

3.3.2 ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสงในการศึกษา

ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 26.0 – 30.5 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 8.1 – 9.1และความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 83.54 – 123.95 μmol/m^2/s (ตารางที่ 34)

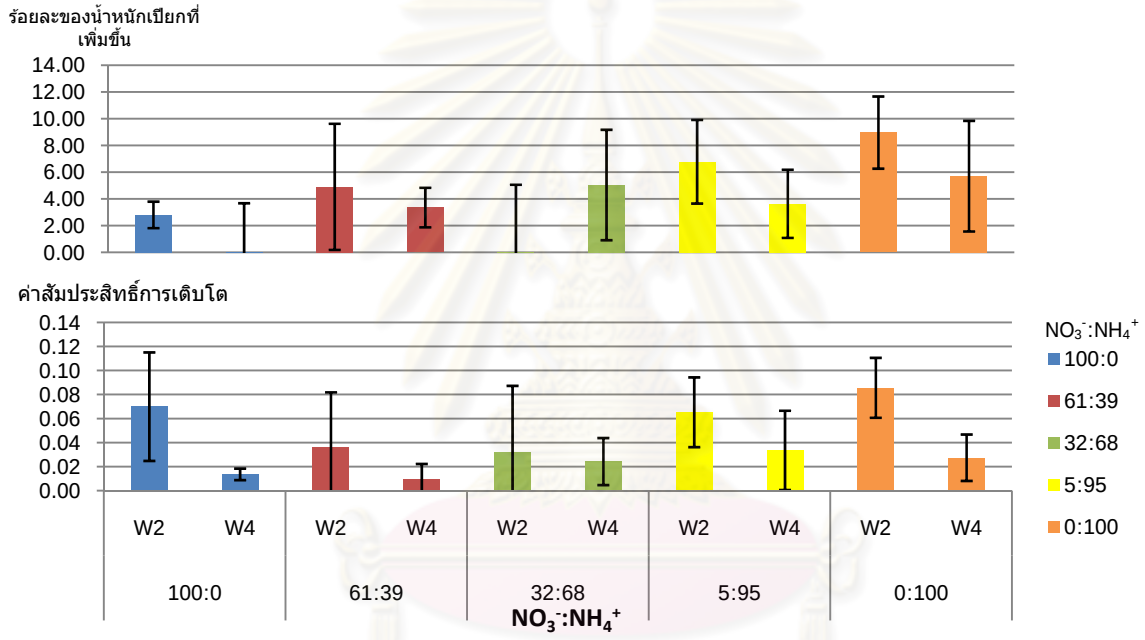
ตารางที่ 34 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง (μmol/m^2/s)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	27.0	8.1 – 8.3	83.54
สัปดาห์ที่ 2	30.0	26.0	8.4 – 9.1	123.95
สัปดาห์ที่ 3	30.0	30.4 – 30.5	8.5 – 8.8	123.43
สัปดาห์ที่ 4	30.0	29.8 – 30.5	8.3 – 8.6	88.63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 อิทธิพลของสัดส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 0:100 และ 5:95 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติคือมีค่าร้อยละ 8.95 ± 2.70 และ 6.78 ± 3.13 ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างจากชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสาหร่ายมีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มอยู่ระหว่างร้อยละ -0.68 ± 4.35 ถึง 5.70 ± 4.14 ค่า μ ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 0:100 มีค่า μ สูงที่สุดคือ 0.09±0.02 ต่อสัปดาห์ ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 5:95 มีค่า μ สูงที่สุดคือ 0.03±0.02 ต่อสัปดาห์ (รูปที่ 40 และ ตารางที่ 35)



รูปที่ 40 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

ตารางที่ 35 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนีย (NO_3^-:NH_4^+)				
		100:0	61:39	32:68	5:95	0:100
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	2.80 ± 0.99^{b}	4.90 ± 4.72^{ab}	-2.45 ± 7.50^{a}	6.78 ± 3.13^{b}	8.95 ± 2.70^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	-0.68 ± 4.35	3.35 ± 1.48	5.05 ± 4.13	3.63 ± 2.55	5.70 ± 4.14
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	0.07 ± 0.05^{b}	0.04 ± 0.05^{a}	0.03 ± 0.06^{a}	0.07 ± 0.03^{b}	0.09 ± 0.02^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.02 0.02	0.03 ± 0.03	0.01 ± 0.02

หมายเหตุ a, b และ ab คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3.5 อิทธิพลของอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+) ต่อปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

ปริมาณเถ้า ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกัน โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 26.39 ± 1.92 ถึงร้อยละ 28.99 ± 2.85 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 26.49 ± 1.16 ถึงร้อยละ 28.63 ± 1.30 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 41 และ ตารางที่ 36)

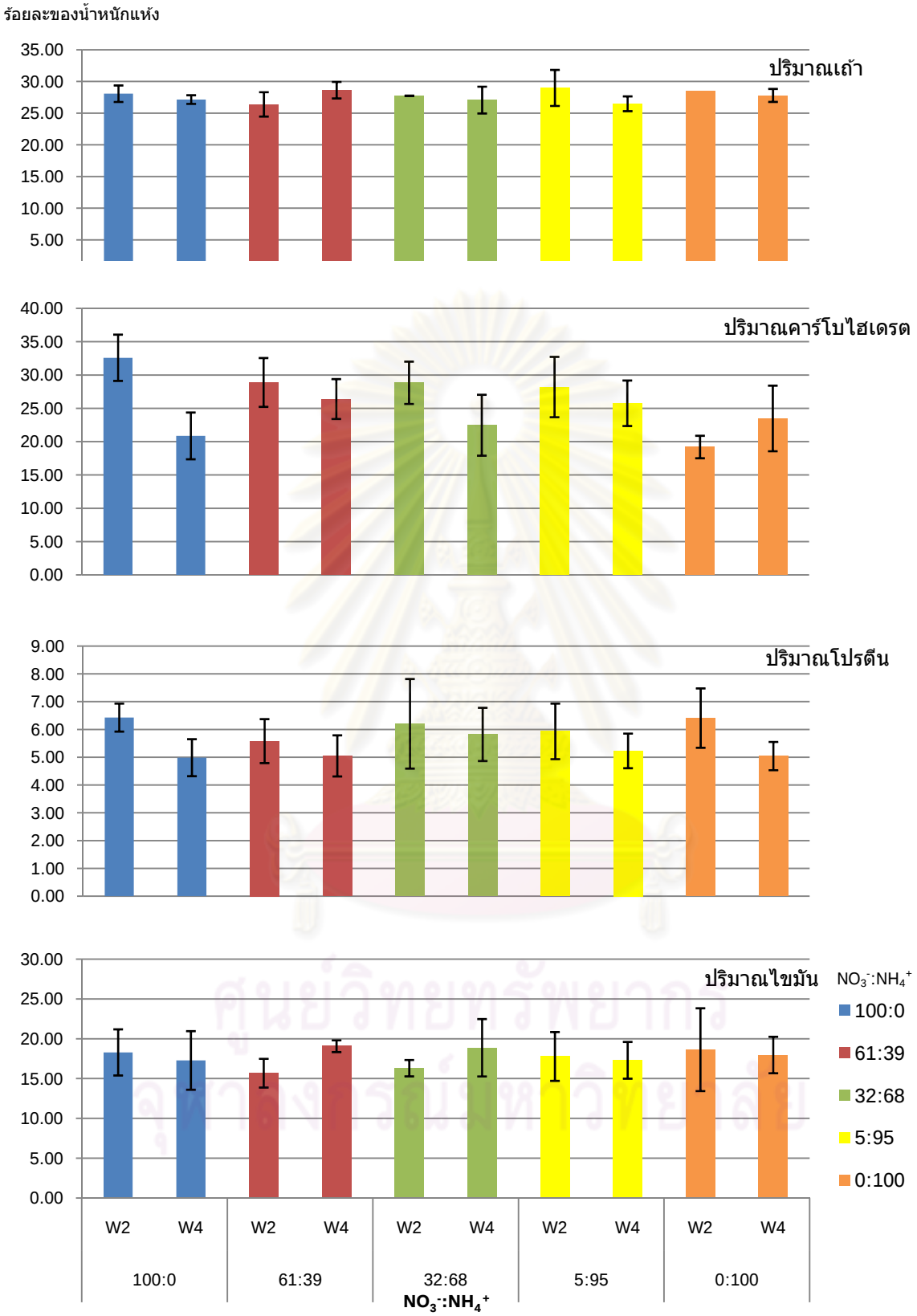
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 100:0, 61:39, 32:68 และ 5:95 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 27.65 ± 3.18 ถึงร้อยละ 32.58 ± 3.47 % มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 20.87 ± 3.51 ถึงร้อยละ 26.39 ± 3.0 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 41 และ ตารางที่ 36)

ปริมาณโปรตีน ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ปริมาณโปรตีนที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 5.58 ± 0.80 ถึงร้อยละ 6.43 ± 0.50 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 4.99 ± 0.66 ถึงร้อยละ 5.82 ± 0.96 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 41 และ ตารางที่ 36)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ มีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 15.68 ± 1.83 ถึงร้อยละ 18.65 ± 5.22 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 17.30 ± 2.29 ถึงร้อยละ 19.08 ± 0.75 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 41 และ ตารางที่ 36)

สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 100:0 ให้กรดไขมันชนิด Oleic acid สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณที่พบคือร้อยละ 40.83 ของปริมาณไขมันทั้งหมด รองลงมาคือ Lignoceric acid และ Palmitic acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 40.38 และ 10.29 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 0:100 กรดไขมันที่พบมากที่สุดทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 คือ Oleic Acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 61.18 และ 58.59 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของ Oleic acid ที่พบในสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ นี้ มีสูงกว่า Oleic acid ที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 100:0 (ตารางที่ 37)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 41 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

ตารางที่ 36 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่าทะเลชนิด *G. fisheri* (mean ± SD)

	เวลา	อัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+)				
		100:0	61:39	32:68	5:95	0:100
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	28.07 ± 1.30	26.39 ± 1.92	27.74 ± 0.04	**28.99 ± 2.85**	28.51
	สัปดาห์ที่ 4	27.15 ± 0.69	**28.63 ± 1.30**	27.06 ± 2.12	26.49 ± 1.16	27.80 ± 1.02
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	**32.58 ± 3.47**[b]	28.89 ± 3.67[b]	27.65 ± 3.18[b]	27.88 ± 4.53[b]	17.96 ± 1.69[a]
	สัปดาห์ที่ 4	20.87 ± 3.51	**26.39 ± 3.0**	22.47 ± 4.57	25.76 ± 3.41	23.48 ± 4.93
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	**6.43 ± 0.50**	5.58 ± 0.80	6.20 ±1.61	5.93 ± 1.0	6.41 ± 1.07
	สัปดาห์ที่ 4	4.99 ± 0.66	5.05 ± 0.74	**5.82 ± 0.96**	5.23 ± 0.62	5.04 ± 0.51
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	18.28 ± 2.90	15.68 ± 1.83	16.30 ± 1.03	17.75 ± 3.09	**18.65 ± 5.22**
	สัปดาห์ที่ 4	17.30 ± 3.69	**19.08 ± 0.75**	18.90 ± 3.59	17.30 ± 2.29	17.95 2.28

หมายเหตุ a และ b คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

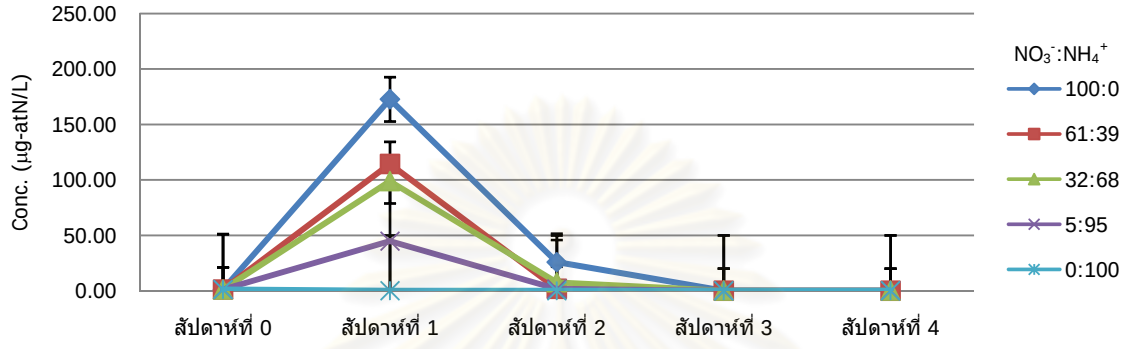
ตารางที่ 37 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	อัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3^-:NH_4^+)		
	100:0	0:100	
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4
Myristic acid (C14:0)	0.56	1.08	0.96
Palmitic acid (C16:0)	10.29	16.46	15.88
Stearic acid (C18:0)	2.08	3.78	3.75
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	40.83	61.18	58.59
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	4.73	5.75	5.33
Arachidonic acid (C20:4 n-6)	1.13	0.32	0.38
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-	-
Lignoceric Acid (C24:0)	40.38	11.43	15.12

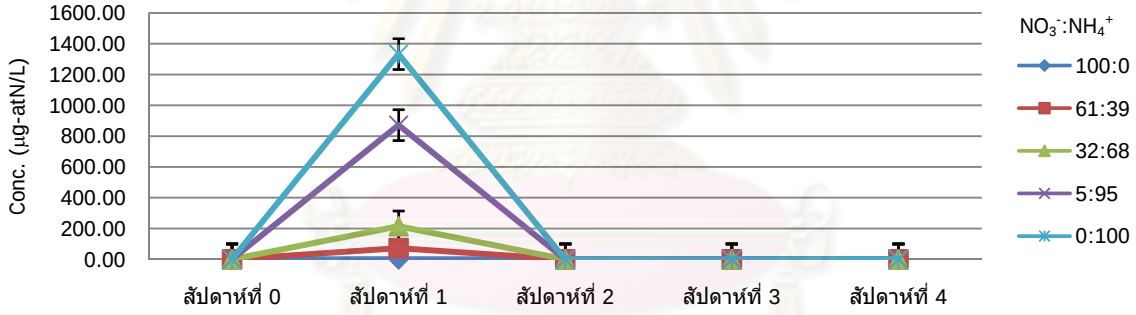
3.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของไนเตรทและแอมโมเนียม (NO_3:NH_4^+) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

3.6.1 ปริมาณสารอาหาร NO_3, NH_4^+ และ PO_4ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเล

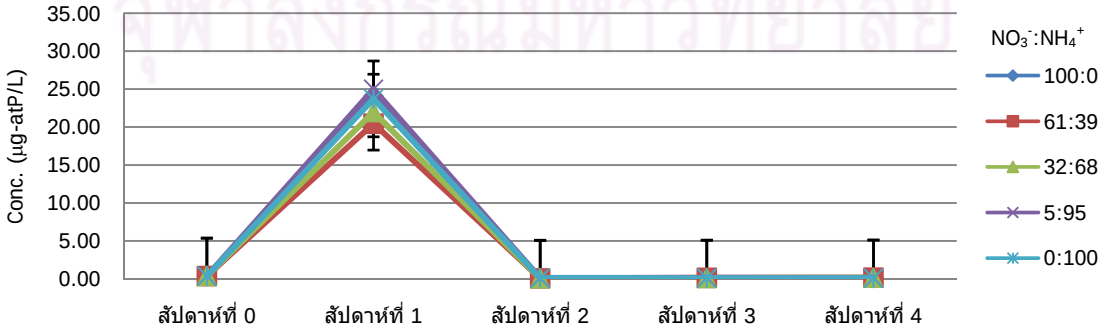
ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายสามารถใช้ NO_3^- (รูปที่ 42) NH_4^+ (รูปที่ 43) และ PO_4^{3-} (รูปที่ 44) หมดในทุกชุดการทดลองยกเว้นชุดการทดลองที่มีสัดส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ เป็น 100:0 ได้หมด ดังรูป



รูปที่ 42 ปริมาณ NO_3 ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*



รูปที่ 43 ปริมาณ NH_4^+ ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*



รูปที่ 44 ปริมาณ DIP ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

3.6.2 ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสงในการศึกษา

ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 30.0 – 33.0 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 7.8 – 8.9 และความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 82.20 – 139.82 $\mu mol/m^2/s$ (ตารางที่ 38)

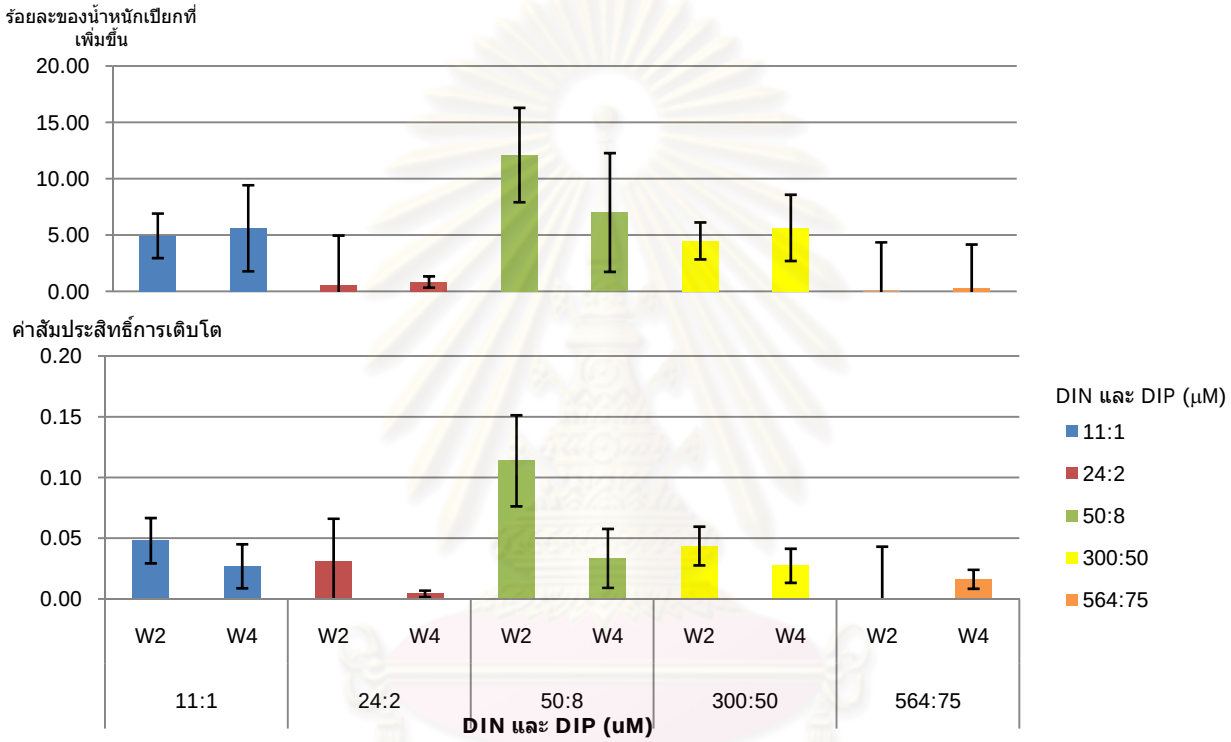
ตารางที่ 38 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของ NO_3^-:NH_4^+ ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	30.2 - 30.4	8.1 – 8.3	82.20
สัปดาห์ที่ 2	30.0	30.0 – 32.0	7.8 – 8.8	108.29
สัปดาห์ที่ 3	30.0	30.0 – 31.0	8.5 – 8.8	138.52
สัปดาห์ที่ 4	30.0	30.0 – 33.0	8.6 – 8.9	139.82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 50 และ 8 μM ให้ค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 12.10 ± 4.19 ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 50 และ 8 μM ก็มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)เช่นกันคือมีค่าร้อยละ 7.00 ± 5.27 ค่าμ ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 50 และ 8 μM มีค่า μ สูงที่สุดคือ 0.11±0.04 และ 0.03±0.02 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ (รูปที่ 45 และ ตารางที่ 39)



รูปที่ 45 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

ตารางที่ 39 ร้อยละของน้ำหนักเปียกและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri* (mean ± SD)

	เวลา	ความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP)				
		11 : 1	24 : 2	50 : 8	300 : 5	564 : 75
ร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้น	สัปดาห์ที่ 2	4.93 ± 1.98^{a}	0.58 ± 4.37^{a}	**12.10 ± 4.19^{b}**	4.48 ± 1.64^{a}	0.03 ± 4.32^{a}
	สัปดาห์ที่ 4	5.60 ± 3.82^{ab}	0.83 ± 0.50^{ab}	**7.00 ± 5.27^{b}**	5.65 ± 2.94^{ab}	0.03 ± 3.89^{a}
ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต	สัปดาห์ที่ 2	0.05 ± 0.02^{a}	0.03 ± 0.04^{a}	**0.11 ± 0.04^{b}**	0.04 ± 0.02^{a}	0.00 ± 0.04^{a}
	สัปดาห์ที่ 4	0.03 ± 0.02	0.00 ± 0.00	**0.03 ± 0.02**	0.03 ± 0.01	0.02 ± 0.01

หมายเหตุ a, b และ ab คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3.8 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

ปริมาณเถ้า ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 20.83 ± 4.30 ถึงร้อยละ 28.92 ± 0.82 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 26.66 ± 0.81 ถึงร้อยละ 31.86 ± 1.70 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 46 และ ตารางที่ 40)

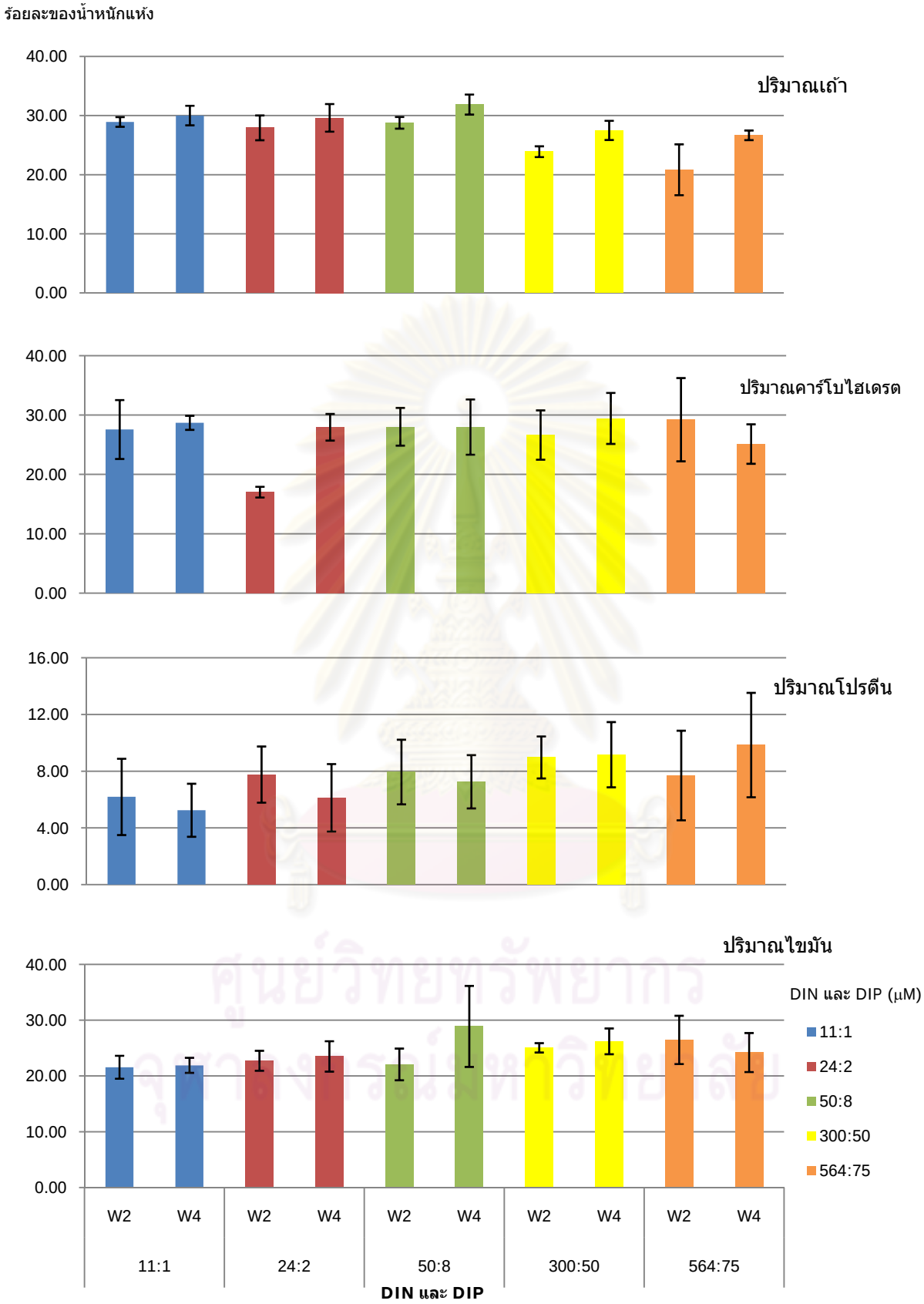
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 11 และ 1, 50 และ 8, 300 และ 5 และ 564 และ 75 μM มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันและมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 17.01 ± 0.90 ถึงร้อยละ 29.22 ± 7.01 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง และในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ไม่มีความแตกต่างกัน โดยสาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 25.12 ± 3.32 ถึงร้อยละ 29.43 ± 4.30 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 46 และ ตารางที่ 40)

ปริมาณโปรตีน ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสาหร่ายมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 6.19 ± 2.69 ถึงร้อยละ 8.98 ± 4.18 % มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 564 และ 75 μM มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือร้อยละ 9.85 ± 3.68 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 46 และ ตารางที่ 40)

ปริมาณไขมันและกรดไขมัน ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 564 และ 75 μM มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าร้อยละ 26.05 ± 4.33 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง และสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสาหร่ายมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 21.90 ± 1.35 ถึงร้อยละ 28.88 ± 7.26 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 46 และ ตารางที่ 40)

กรดไขมันที่พบทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 จากชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) เป็น 50 และ 8 μM มีจำนวนทั้งหมด 7 ชนิด โดยกรดไขมันที่พบมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 คือ Oleic Acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 51.09 ของปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมันที่พบมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 คือ Lignoceric Acid ปริมาณที่พบคือร้อยละ 86.69 ของปริมาณไขมันทั้งหมด โดย Oleic acid นั้นพบมีค่าสูงในสัปดาห์ที่ 2 และลดลงต่ำเหลือเพียงร้อยละ 2.56 ของปริมาณไขมันทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 4 ส่วน Lignoceric acid นั้นพบเพียงร้อยละ 19.79 ของปริมาณไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 41)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 46 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

ตารางที่ 40 ปริมาณสารชีวเคมีในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่าทะเลชนิด *G. fisheri* (mean ± SD)

	เวลา	ความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (DIN:DIP)				
		11 : 1	24 : 2	50 : 8	300 : 5	564 : 75
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	**28.92 ± 0.82**	27.93 ± 2.09	28.78 ± 0.98	23.89 ± 0.91	20.83 ± 4.30
	สัปดาห์ที่ 4	30.01 ± 1.65	29.62 ± 2.34	**31.86 ± 1.70**	27.50 ± 1.62	26.66 ± 0.81
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	27.57 ± 4.96^{b}	17.01 ± 0.90^{a}	28.02 ± 3.19^{b}	26.63 ± 4.16^{b}	**29.22 ± 7.01**^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	28.67 ± 1.19	27.94 ± 2.25	27.97 ± 4.66	**29.43 ± 4.30**	25.12 ± 3.32
โปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	**6.19 ± 2.69**	7.77 ± 1.98	7.95 ± 2.28	8.98 ± 1.48	7.70 ± 3.16
	สัปดาห์ที่ 4	5.72 ± 1.87^{a}	6.13 ± 2.38^{a}	7.26 ± 1.88^{ab}	9.17 ± 2.30^{bc}	**9.85 ± 3.68**^{c}
ไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	สัปดาห์ที่ 2	21.56 ± 2.06^{a}	22.72 ± 1.80^{a}	22.07 ± 2.84^{a}	25.05 ± 0.84^{ab}	**26.05 ± 4.33**^{b}
	สัปดาห์ที่ 4	21.90 ± 1.35	23.50 ± 2.72	**28.88 ± 7.26**	26.21 ± 2.31	24.20 ± 3.50

หมายเหตุ a, b, c, ab และ bc คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

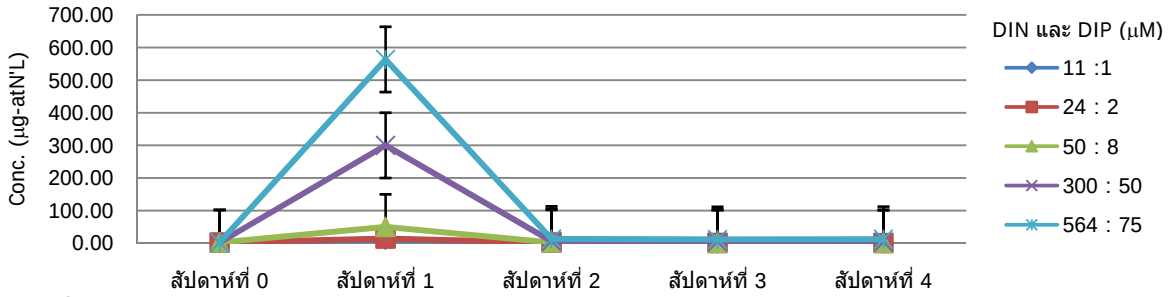
ตารางที่ 41 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri* (ร้อยละของปริมาณไขมันทั้งหมด)

ชนิดกรดไขมัน	ระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 50 และ 8 (μM)	
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4
Myristic acid (C14:0)	0.93	0.82
Palmitic acid (C16:0)	16.46	4.22
Stearic acid (C18:0)	3.53	1.86
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)	51.09	2.56
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)	5.89	0.93
Arachidonic acid (C20:4 n-6)	2.30	2.92
Docosapentaenoic acid (C22:5)	-	-
Lignoceric Acid (C24:0)	19.79	86.69

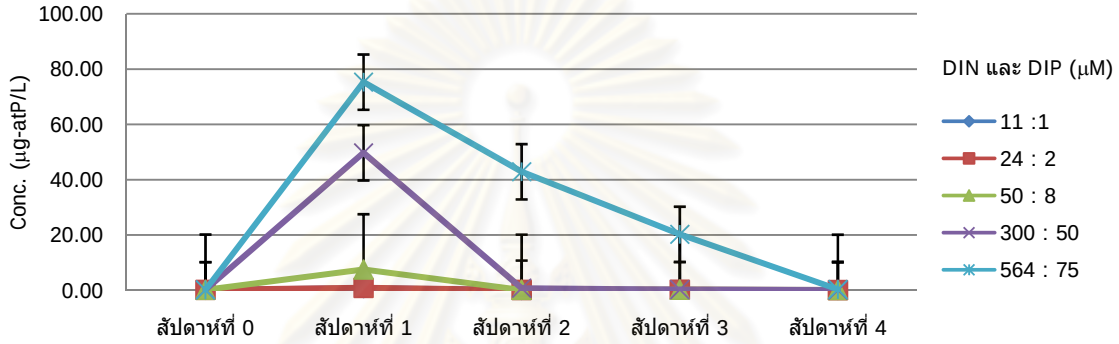
3.9 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria fisheri*

3.9.1 ปริมาณ DIN และ DIP ในน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเล

ในสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายสามารถใช้ DIN (รูปที่ 47) และ DIP (รูปที่ 48) ในทุกชุดการทดลองได้หมดยกเว้น DIP ในชุดการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เป็น 564 และ 75 μM แต่สามารถดูดไปใช้ได้หมดในสัปดาห์ที่ 4 ดังรูป



รูปที่ 47 ปริมาณ DINในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*



รูปที่ 48 ปริมาณ DIP ในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

3.9.2 **ปัจจัยสิ่งแวดล้อม (ความเค็ม, ความเป็นกรด-เบส, อุณหภูมิ และความเข้มแสง) ในการศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีในสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri***

ในระหว่างการทดลองความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทะเลมีค่า 30 psu อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 29.0 – 34.0 องศาเซลเซียส pH มีค่าอยู่ระหว่าง 8.0 – 9.3 และความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 66.02 – 112.32 µmol/m^2/s (ตารางที่ 42)

ตารางที่ 42 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการศึกษาระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ต่อการเติบโตและปริมาณสารชีวเคมีของสาหร่ายทะเลชนิด *G. fisheri*

เวลา	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ความเค็ม (psu)	อุณหภูมิ (ºC)	pH	ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)
สัปดาห์ที่ 1	30.0	30.5 – 30.8	8.0 – 8.3	112.32
สัปดาห์ที่ 2	30.0	33.0 – 34.0	8.1 – 9.3	94.32
สัปดาห์ที่ 3	30.0	30.5 – 31.2	8.4 – 9.0	66.02
สัปดาห์ที่ 4	30.0	29.0 – 30.0	8.5 – 9.2	107.74

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการศึกษา

1. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจน-ฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายสีเขียวชนิด *Caulerpa lentilifera*

การเติบโต อัตราส่วนโดยโมลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) ในอาหารมีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย *C. lentilifera* โดยจากผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 10:1 สาหร่ายมีอัตราการเติบโตหลังจากเติมสารอาหาร 1 สัปดาห์สูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 4:1, 23:1 และ 33:1 ซึ่งสาหร่ายมีร้อยละของน้ำหนักเปียกเพิ่มขึ้นร้อยละ 28.00 ± 2.00 ของน้ำหนักเริ่มต้นและมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (μ) สูงที่สุด คือ 0.25 ± 0.02 ต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 2 (หลังจากการเติมอาหาร 1 สัปดาห์) ซึ่งอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ สันติ ปริยะวาที (2546) และ ศุลีมาศ สุทธิเนียม (2551) ที่รายงานว่าสาหร่ายพวงองุ่น *C. lentilifer*a และสาหร่ายขนนก *C. sertulariodes* เติบโตดีที่สุดในสารอาหารที่มีอัตราส่วน N:P เท่ากับ 8:1 ซึ่งความหนาแน่นในการเลี้ยงสาหร่ายที่แตกต่างกัน อาจทำให้การเติบโตและการใช้ N และ P แตกต่างกัน โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลี้ยงสาหร่ายในความหนาแน่น 16 กรัมต่อลิตร ในขณะที่การศึกษาของสันติ ปริยะวาที (2546) เลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในความหนาแน่นเพียง 1 กรัม/ลิตร

รูปแบบของไนโตรเจนก็มีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ ผลการศึกษาแสดงว่า *C. lentilifera* ต้องการไนโตรเจนในรูปของ NO_3^- ในปริมาณที่สูงกว่า NH_4^+ โดยอัตราส่วน NO_3^- ต่อ NH_4^+ เท่ากับ 96:4 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้มากที่สุด เนื่องจากให้มวลชีวภาพและอัตราการเติบโตที่คงที่มากกว่าในระยะเวลาในการเลี้ยง 4 สัปดาห์ อลิสา โชควิวัฒนวานิช (2543) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการนำแอมโนเนียมและไนเตรทเข้าสู่เซลล์ของสาหร่าย *C. lentilifera* และสรุปได้ว่าสาหร่ายจะเลือกใช้สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโนเนียมก่อนไนเตรทเสมอ แต่การศึกษาในสาหร่ายสีเขียวชนิด *Ulva reticulate* โดย Buapet *et al* (2008) พบว่าสาหร่ายชนิดนี้มีอัตราการนำสารอาหารไนโตรเจนไปใช้สูงสุดเมื่อเติม NH_4^+ ในอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย แต่อัตราการเติบโตสูงที่สุดมีค่า 15.1% ต่อวัน และพบในชุดการทดลองที่เติม NO_3^- ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถดึง NH_4^+ ไปใช้ได้ดีกว่า NO_3^- แต่สามารถสะสม NO_3^- ได้ดีกว่า NH_4^+ ดังนั้นการที่สาหร่ายสีเขียวชนิด *C. lentilifera* เติบโตได้ดีในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^-: NH_4^+ เท่ากับ 96:4 จึงอาจเนื่องมาจากสาหร่ายชนิดนี้มีความสามารถในการเก็บ NO_3^- ได้ดีกว่า NH_4^+ หรือมีขีดจำกัดในการเก็บ NH_4^+ นั่นเอง

ระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ก็มีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายชนิด *C. lentilifer* ซึ่งระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 1850 และ 151 μM ให้ค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่า μ สูงที่สุดทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 คือมีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกเป็นร้อยละ 1.99 ± 9.56 ในสัปดาห์ที่ 2 และร้อยละ 41.11 ± 11.62 ในสัปดาห์ที่ 4 และค่า μ เท่ากับ 0.05 ± 0.08 ต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 2 และมีค่า 0.12 ± 0.09 ต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 4 แสดงว่าสาหร่ายสีเขียวชนิดนี้เติบโตได้ดีเมื่อสารอาหารสูง ศอดคล้องกับที่ Lapointe and Bedford (2010) กล่าวว่าสาหร่ายในสกุล *Caulerpa* นี้เป็นตัวบ่งชี้ (indicator) ของสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณสารอาหารมากหรือแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนได้ เนื่องจากมักไม่พบสาหร่ายในสกุลนี้ในบริเวณที่มีปริมาณสารอาหารน้อย ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ก็พบว่าสาหร่ายสามารถเติบโตได้ดีในระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูงถึง 1850 และ

151 μM และสามารถใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้หมดภายใน 1 สัปดาห์ ดังนั้นจึงสามารถใช้สาหร่ายชนิดนี้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้สาหร่ายชนิดนี้บำบัดน้ำที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงได้อีกด้วย นอกจากนี้การศึกษาของ

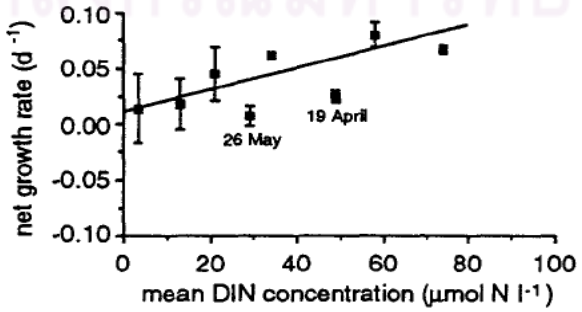
ปริมาณของสารชีวเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของสารอาหาร DIN และ DIP ในอาหารเลี้ยงของสาหร่าย *C. lentilifera* ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าและปริมาณไขมันของสาหร่ายชนิดนี้ แต่มีแนวโน้มว่าเมื่อเลี้ยงสาหร่ายในสารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของสารอาหาร DIN และ DIP ที่สูง สาหร่ายชนิดนี้จะมีปริมาณเถ้าและปริมาณไขมันที่สูงด้วย ในทางตรงกันข้ามปริมาณโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเซลล์ของสาหร่ายมีการผันแปรตามอัตราส่วนของ N:P และระดับความเข้มข้นของสารอาหาร DIN และ DIP ในอาหารเลี้ยงสาหร่าย โดยจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 33:1 และระดับความเข้มข้นของสารอาหาร DIN และ DIP เท่ากับ 3414 และ 312 μM จะมีปริมาณโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของสารอาหาร DIN และ DIP ที่ต่ำกว่าแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งการที่ปริมาณของสารชีวเคมีในสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่สูงมีแนวโน้มมีค่าสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่ต่ำกว่า เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนในสิ่งแวดล้อมสามารถกระตุ้นให้สาหร่ายนำไนโตรเจนที่มีในสิ่งแวดล้อมไปใช้ได้มากขึ้น (Lourenço *et al*., 2006) และเมื่อสาหร่ายสามารถนำไนโตรเจนที่มีในสิ่งแวดล้อมไปใช้ได้มากขึ้นปริมาณไนโตรเจนที่มีในเนื้อเยื่อจึงมากขึ้นด้วย เป็นสาเหตุให้ปริมาณสารชีวเคมีที่พบในสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่สูงมีแนวโน้มมีค่าสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่ต่ำกว่า ดังการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารในสิ่งแวดล้อมกับอัตราส่วน N:P ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลของ Lourenço *et al* (2006) ที่ศึกษาอัตราส่วน N:P ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายสีเขียวชนิด *Chaetomorpha antennina*, *Cladophora rupestris*, *Codium decorticartum*, *Enteromorpha flexuosa*, *Ulva fasciata* และ *Ulva lactusa* และพบว่าในช่วงที่สิ่งแวดล้อมมีอัตราส่วนของ N:P อยู่ในช่วง 8 – 10 อัตราส่วนของ N:P ที่พบในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลที่ศึกษาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 18 – 22 แต่อัตราส่วนของ N:P ในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นเป็น 15 – 20 อัตราส่วนของ N:P ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายทะเลก็เพิ่มขึ้นเป็น 30 – 45

ส่วนรูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณไขมันในสาหร่าย แต่มีแนวโน้มว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NH_4^+ สูง จะมีปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณไขมันสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- สูง อลิสา โชควิวัฒนวานิช (2543) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการนำแอมโนเนียและไนเตรทเข้าสู่เซลล์ของสาหร่าย *C. lentilifera* และสรุปได้ว่าสาหร่ายจะเลือกใช้สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโนเนียมก่อนไนเตรทเสมอ และเมื่อภายในเซลล์มีปริมาณไนโตรเจนสูงปริมาณองค์ประกอบของสารชีวเคมีในเนื้อเยื่อของสาหร่ายจึงมีแนวโน้มสูงตามไปด้วยดังการศึกษาของ Lourenço *et al* (2006) ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

2. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจน-ฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายสีเขียวชนิด *Ulva rigida*

การเติบโต อัตราส่วนโดยโมลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ในอาหารมีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายชนิด *U. rigida* โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 มีอัตราการเติบโตสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 5:1, 9:1 และ 22:1 โดยสาหร่ายมีน้ำหนักเปียกเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.94 ± 11.82 ของน้ำหนักเริ่มต้นและมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต(μ) สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 (หลังจากการเติมอาหาร 1 สัปดาห์) โดยมีค่า 0.20 ± 0.06 ต่อสัปดาห์ และสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้น DIN และ DIP เท่ากับ 750 และ 26 μM ตามลำดับให้อัตราการเติบโตของสาหร่ายดีที่สุด โดยสาหร่าย *U. rigida* จะมีร้อยละของน้ำหนักเปียกเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.16 ± 8.83 ของน้ำหนักเปียกเริ่มต้นในสัปดาห์ที่ 2 และร้อยละ 6.64 ± 10.07 ของน้ำหนักเปียกเริ่มต้นในสัปดาห์ที่ 4 และมีค่า μ เท่ากับ 0.16± 0.07 ต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 2 และ 0.05 ± 0.04 ต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 4

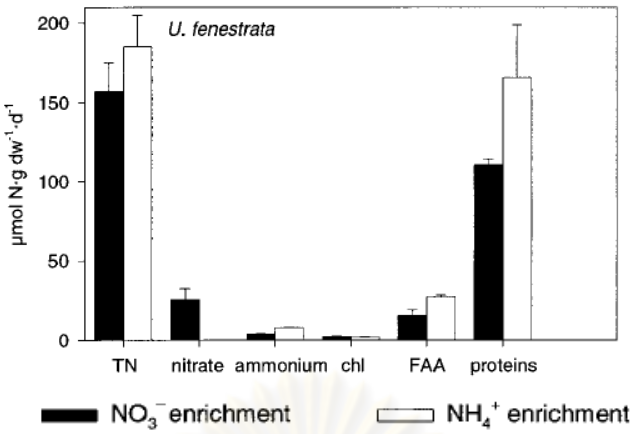
ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Viaroli *et al* (1996) ที่ศึกษาผลของสารอาหารไนโตรเจนในสิ่งแวดล้อมต่อการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของสาหร่าย *U. rigida* และพบว่ารูปแบบการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้สัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อ ซึ่งระดับของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อก็สัมพันธ์กับปริมาณของสารอาหารในสิ่งแวดล้อม โดยพบว่าในช่วงแรกของการเติบโตปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในเนื้อเยื่อของสาหร่ายมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.59 ± 0.14 ถึง ร้อยละ 3.04 ± 0.13 ของน้ำหนักแห้ง และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในเนื้อเยื่อของสาหร่ายมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.12 ± 0.02 ถึง ร้อยละ 0.31 ± 0.01 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของ N:P จะมีค่าประมาณ 30:1 หลังจากนั้นก็เกิดการเปลี่ยนปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดในเนื้อเยื่อสาหร่าย โดยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเนื้อเยื่อยังคงค่อนข้างคงที่คือมีค่าร้อยละ 0.2 ถึงร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักแห้ง แต่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงเหลือเพียงร้อยละ 1.79 ± 0.39 ของน้ำหนักแห้ง ทำให้อัตราส่วนของ N:P เปลี่ยนแปลงคือมีค่าน้อยกว่า 30:1 ซึ่งอัตราส่วนนี้อาจเป็นสภาวะที่ไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ อัตราการเติบของสาหร่ายที่ศึกษาจึงลดลง และจากการรายงานของ Viaroli *et al* (1996) แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 เป็นอัตราส่วนที่เป็น N-P sufficiency ของสาหร่ายชนิดนี้ ส่วนอัตราส่วนโดยโมลอื่นๆ เป็นอัตราส่วนที่เป็น N – limitation ทำให้อัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 ให้อัตราการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ดีที่สุด และในปัจจัยเรื่องอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของ DIN ในและ DIP ต่อการเติบโตของสาหร่ายชนิด *U. rigida* นั้น Viaroli *et al* (1996) อธิบายว่าการเติบโตของสาหร่ายเกิดจากการที่สาหร่ายดึงสารอาหารจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปเก็บไว้ในรูปของมวลชีวภาพ ทำให้มวลชีวภาพของสาหร่ายมีความสัมพันธ์กับปริมาณของสารอาหารในสิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 49



รูปที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของสาหร่ายชนิด *U. rigida* กับปริมาณ DIN ในสิ่งแวดล้อม (Viaroli *et al*., 1996)

รูปแบบของไนโตรเจนก็มีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ จากผลการศึกษาพบว่าในสัปดาห์ที่ 2 *U. rigida* ในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- : NH_4^+ เท่ากับ 94:6 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียก 27.20 ± 12.70 ของน้ำหนักเปียกเริ่มต้น และค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต 0.19 ± 0.12 ต่อสัปดาห์ สูงกว่าเมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- : NH_4^+ เท่ากับ 0:100 (ร้อยละ 21.80 ± 1.27 ของน้ำหนักเปียกเริ่มต้น และ 0.15 ± 0.08 ต่อสัปดาห์) แต่เมื่อเลี้ยงต่อจนถึงสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^- : NH_4^+ เท่ากับ 94:6 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.19 ± 0.13 ของน้ำหนักเปียกเริ่มต้น และ 0.07 ± 0.05 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ในขณะที่สาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^- : NH_4^+ เท่ากับ 0:100 มีค่าร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นและค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตร้อยละ 0.15 ± 0.09 ของน้ำหนักเปียกเริ่มต้น 0.06 ± 0.05 ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ดังนั้นจึงถือว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NO_3^- : NH_4^+ เท่ากับ 0:100 เป็นอัตราส่วนที่ให้การเติบโตดีกว่าเนื่องจากมีความสม่ำเสมอของผลผลิตมากกว่า แต่การที่สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- : NH_4^+ เท่ากับ 94:6 มีการเติบโต สูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- : NH_4^+ เท่ากับ 0:100 อาจเนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้สามารถดึง NH_4^+ ไปใช้ได้ดีกว่า NO_3^- แต่สามารถสะสม NO_3^- ได้ดีกว่า NH_4^+ (Buapet *et al*., 2008) ซึ่งทำให้สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- : NH_4^+ เท่ากับ 0:100 มีผลผลิตที่คงที่มากกว่าด้วย

ปริมาณของสารชีวเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ N:P ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าและปริมาณไขมันแต่มีแนวโน้มว่าชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P สูง จะมีปริมาณปริมาณเถ้าและปริมาณไขมันสูงด้วย แต่อัตราส่วนโดยโมลของ N:P มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณโปรตีน โดยชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณโปรตีนสูงกว่าชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่รูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมัน แต่มีแนวโน้มว่าปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณไขมันในชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- มากกว่า NH_4^+ จะมีปริมาณปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณไขมันสูงกว่าชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของ NH_4^+ มากกว่า NO_3^- แต่ในทางกลับกันชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของ NH_4^+ มากกว่า NO_3^- จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของสารอาหาร NO_3^- มากกว่า NH_4^+ ส่วนระดับความเข้มข้นของสารอาหาร DIN และ DIP ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณไขมัน แต่มีผลต่อปริมาณโปรตีนของสาหร่ายชนิดนี้ คือสาหร่ายที่เลี้ยงในสารอาหารที่มีความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 750 และ 26 μM ตามลำดับ จะมีปริมาณโปรตีนสูงแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Naldi and Wheele (1999) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเนื้อเยื่อของสาหร่ายชนิด *Ulva fenestrata* เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติมไนเตรทเปรียบเทียบกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่เติมแอมโมเนียม และพบว่าโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเนื้อเยื่อของสาหร่าย โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่เติมไนเตรทมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.8 จากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มต้น (เพิ่มจากร้อยละ 2.14 ของน้ำหนักแห้ง เป็นร้อยละ 4.19 ของน้ำหนักแห้ง) และเป็นส่วนของโปรตีนร้อยละ 54 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่เติมแอมโมเนียมมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.3 จากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มต้น (เพิ่มจากร้อยละ 2.14 ของน้ำหนักแห้ง เป็นร้อยละ 4.71 ของน้ำหนักแห้ง) และเป็นส่วนของโปรตีนร้อยละ 66 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่ง Naldi และ Wheele ได้สรุปว่าปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเยื่อของสาหร่ายเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ไม่ได้เติมทั้งไนโตรทและแอมโมเนียม และสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่เติมแอมโมเนียมจะมีค่าของไนโตรเจนทั้งหมดในเนื้อเยื่อที่สูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่เติมไนเตรท ดังรูปที่ 50



รูปที่ 50 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆในเนื้อเยื่อของสาหร่ายชนิด *Ulva fenestrata* เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติมไนเตรทและแอมโมเนียม (Naldi and Wheele, 1999)

3. อิทธิพลของสารอาหารไนโตรเจน-ฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและปริมาณสารประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายสีแดงชนิด *Gracilaria fisheri*

การเติบโต อัตราส่วนโดยโมลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) และรูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนและระดับความเข้มข้นของสารอาหาร DIN และ DIP ในอาหารมีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย *G. fisheri* โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในสารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 12:1 มีอัตราการเติบโตสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 5:1, 22:1 และ 29:1 โดยสาหร่ายมีน้ำหนักเปียกเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.40 ± 5.70 ของน้ำหนักเริ่มต้น และมีค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (μ) เป็น 0.05 ± 0.08 ต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Navarro-Angulo and Robledo (1999) ที่พบว่าอัตราส่วนของ N:P เท่ากับ 10:1 ทำให้สาหร่ายชนิด *G. cornea* มีค่าสัมประสิทธิการเติบโตร้อยละ 8.53 ต่อวัน โดยความหนาแน่นของสาหร่ายที่ใช้คือ 1 กรัมน้ำหนักเปียกสาหร่ายต่อน้ำ 1 ลิตร ในขณะที่ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สาหร่าย 12 กรัมน้ำหนักเปียกสาหร่ายต่อน้ำ 1 ลิตร ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตของสาหร่ายมีค่าต่างกันค่อนข้างมากเนื่องจากความหนาแน่นของสาหร่ายในอาหารที่ใช้เลี้ยง

รูปแบบของไนโตรเจนก็มีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ ผลการศึกษาแสดงว่า *G. fisheri* ต้องการไนโตรเจนในรูปของ NH_4^+ ในปริมาณที่สูงกว่า NO_3^- โดยอัตราส่วนของ NO_3^-: NH_4^+ ที่ให้อัตราการเติบโตดีที่สุดคืออัตราส่วนของ NO_3^-: NH_4^+ เท่ากับ 100:0 ซึ่งทำให้สาหร่ายมีร้อยละของน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.95 ± 2.70 หลังจากเติมสารอาหาร 1 สัปดาห์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.09 ± 0.02 ต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chow *et al* (2001) ที่ทำการเลี้ยงสาหร่าย *Gracialria chilensis* ในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและพบว่าสาหร่ายมีอัตราการเติบโตดีที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเป็น 0.010 ต่อวัน เมื่อเลี้ยงในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาเนื่องจากมีปริมาณแอมโมเนียมสูงกว่าน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ ซึ่งปริมาณแอมโมเนียมที่มีในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลามีค่าอยู่ระหว่าง 4-11 μM

ระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ก็มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย *G. fisheri* โดยสาหร่ายมีอัตราการเติบโตสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 50 และ 8 μM โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP นี้มีน้ำหนักเปียกเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.10 ± 4.19 ในสัปดาห์ที่ 2 และร้อยละ 7.00 ± 5.27 ในสัปดาห์ที่ 4 และมีค่า μ เป็น 0.11 ± 0.04 ต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 2 และ 0.03 ± 0.02 ต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเลี้ยง ผลการศึกษาที่ได้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Yu and Yang (2008) ที่ได้

ศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยา เช่น ปริมาณโปรตีน ของสาหร่ายชนิด *Gracilaria lemaneiformis* และได้สรุปว่าระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนแลฟอสฟอรัสมีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย โดยระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมกับสาหร่ายชนิดนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 50-400 μM และ 3.13 – 25 μM ตามลำดับ

ปริมาณของสารชีวเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ N:P ในอาหารเลี้ยงของสาหร่าย *G. fisheri* ไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าและปริมาณไขมันของสาหร่ายชนิดนี้ แต่มีแนวโน้มว่าเมื่อเลี้ยงสาหร่ายในสารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P สูง สาหร่ายชนิดนี้จะมีปริมาณเถ้าและปริมาณไขมันที่สูงด้วย ในทางตรงกันข้ามปริมาณโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเซลล์ของสาหร่ายมีการผันแปรตามอัตราส่วนโดยโมลของ N:P โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในมีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 12:1 มีปริมาณโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

รูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนมีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายชนิดนี้ โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- สูงจะมีปริมาณสูงกว่าในสาหร่ายที่เลี้ยงในอัตราส่วนของ NH_4^+ สูง ในทางตรงกันข้ามรูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนกลับไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณไขมันในสาหร่ายชนิดนี้ แต่มีแนวโน้มว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในสารอาหารที่มีอัตราส่วนของ NH_4^+ สูง จะมีปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้าและปริมาณไขมันสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีอัตราส่วนของ NO_3^- สูง โดยปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณไขมันที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 5.58 ± 0.80 ถึงร้อยละ 6.43 ± 0.50, ร้อยละ 26.39 ± 1.92 ถึงร้อยละ 28.99 ± 2.85 และร้อยละ 15.68 ± 1.83 ถึงร้อยละ 18.65 ± 5.22 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Navarro-Angulo และ Robledo (1999) ที่พบว่ารูปแบบของไนโตรเจนมีผลต่อปริมาณโปรตีนในสาหร่ายทะเลชนิด *Gracilaria cornea* โดยพบว่าปริมาณโปรตีนจะมีค่าสูงที่สุดในชุดการทดลองที่เติมสารอาหาร NH_4Cl และ NH_4NO_3 คือมีค่าร้อยละ 16.01 ± 1.86 และร้อยละ 15.58 ± 1.50 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ส่วนระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจน (DIN) และฟอสฟอรัส (DIP) ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายชนิดนี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP มีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Yu and Yang (2008) ที่พบว่าสาหร่าย *Gracilaria lemaneiformis* ที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 600 และ 37.5 μM ให้ปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่ากับ 400 และ และ 25 μM, 200 และ 12.5 μM, 100 และ 6.25 μM และ 50 และ 3.13 μM โดยโปรตีนที่ได้มีค่าร้อยละ 3.433 ของน้ำหนักแห้งในวันที่ 3 และร้อยละ 3.955 ของน้ำหนักแห้งในวันที่ 7

4. ปริมาณไขมันและกรดไขมัน

Palmitic acid, Oleic acid และ Lignoceric acid เป็นกรดไขมันที่พบปริมาณมากในสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด โดยกรดไขมันทั้ง 3 ชนิด มีประโยชน์ในหลายด้านทั้งทางด้านสุขภาพและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมพลังงาน เช่น การผลิตไบโอดีเซล

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าในสาหร่ายสีเขียวชนิด *C. lentilifer* ที่เลี้ยงทั้งในสภาพที่เป็น N-defficiency คือมี N:P เป็น 5:1, P-deficiency คือมี N:P เป็น 33:1 และในสภาพที่เป็น N และ P-suficiency มีปริมาณ Palmitic acid สูงที่สุด รองลงมาเป็น Oleic acid สาหร่ายที่เลี้ยงโดยให้สารอาหารไนโตรเจนทั้งในรูปของ NO_3^- และ NH_4^+ มีปริมาณ Palmitic acid สูงที่สุด รองลงมาเป็น Oleic acid สอดคล้องกับการศึกษาของ Ratana-arporn และ Chirapart (2006) ที่พบว่า Palmitic Acid (C16:0) เป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุดในสาหร่ายชนิดนี้และปริมาณที่พบคือร้อยละ 67.83 ของปริมาณไขมันทั้งหมด โดยการศึกษาครั้งนี้ปริมาณของกรดไขมันชนิด Palmitic acid ที่พบมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 36.35 - 51.16 ของปริมาณไขมันทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาปริมาณกรดไขมันในสาหร่ายสีเขียวชนิด *U. rigida* พบว่าในสภาพที่เป็น N-defficiency คือมี N:P เป็น 5:1 และ 22:1 สาหร่ายจะมี Lignoceric acid มากกว่า Palmitic acid และ Oleic acid แต่ในสภาพที่เป็น N และ P-suficiency สาหร่ายจะมี Palmitic acid มากกว่า Lignoceric acid และ Oleic acid โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มี NO_3^- มากกว่า NH_4^+ จะให้ Oleic acid มากที่สุด รองลงมาเป็น Palmitic acid และ Lignoceric acid แต่สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มี NH_4^+ มากกว่า NO_3^- สาหร่ายจะมี Palmitic acid มากที่สุด รองลงมาเป็น Oleic acid สอดคล้องกับการศึกษาของ Shanmugam และ Palpandi (2008) ที่ได้ศึกษาชนิดและปริมาณกรดไขมันในสาหร่ายทะเลชนิด *U. reticulate* พบว่า ชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดในสาหร่ายชนิดนี้คือ Palmitic Acid โดยพบ 50.76% จากปริมาณไขมันทั้งหมด Ratana-arporn และ Chirapart (2006) รายงานว่า Palmitic Acid เป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุดในสาหร่ายชนิด *U. reticulate* ปริมาณที่พบคือ 41.53 % และปริมาณของกรดไขมันชนิด Palmitic Acid ที่พบจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 18.76 - 47.92 ของปริมาณไขมันทั้งหมด

ส่วนการศึกษาในสาหร่ายสีแดงชนิด *G. fisheri* พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงทั้งในสภาพที่เป็น N-defficiency คือมี N:P เป็น 5:1, P-deficiency คือมี N:P เป็น 29:1 และในสภาพที่เป็น N และ P-suficiency คือมี N:P เป็น 12:1 สาหร่ายจะให้ Oleic acid สูงที่สุด รองลงมาคือ Lignoceric acid และ Palmitic acid ตามลำดับ และทั้งสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มี NO_3^- มากกว่า NH_4^+ และสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มี NH_4^+ มากกว่า NO_3^- ให้ Oleic acid สูงที่สุดเหมือนกัน โดยทั้ง Lignoceric acid และ Palmitic acid เป็นกรดไขมันที่พบมีปริมาณสูงรองลงมาในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มี NO_3^- มากกว่า NH_4^+ และอาหารที่มี NH_4^+ มากกว่า NO_3^-

สาหร่ายสีเขียวทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณ Palmitic acid สูง ซึ่ง Palmitic acid เป็นกรดไขมันที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล โดยไบโอดีเซลที่มีปริมาณ Palmitic acid สูง จะมีความสามารถในการติดไฟสูง ดังการศึกษาของ Ramos *et al* (2009) ที่ศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของกรดไขมันของวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล และพบว่าไบโอดีเซลที่ได้จากปาล์ม, โอลีฟ และอัลมอล ซึ่งมีปริมาณ Palmitic acid สูง คือมีค่าร้อยละ 61, 57 และ 57 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ตามลำดับ มีเลข cetane ซึ่งเป็นตัวเลขที่บอกถึงความสามารถของน้ำมันในการติดไฟ โดยยิ่งมีค่า cetane สูง ความสามารถในการติดไฟก็จะสูงด้วย นอกจากนี้ Palmitic acid ยังมีคุณค่าในการส่งเสริมคุณภาพ เนื่องจาก Palmitic acid จะช่วยเพิ่มปริมาณ HDL- cholesterol ซึ่งเป็น cholesterol ที่มีคุณค่าต่อร่างกาย (Grundy, 2011) ส่วนสาหร่ายสีแดงชนิด *G. fisheri* มี Oleic acid สูงที่สุด ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้มีความสามารถในการเพิ่มปริมาณ HDL- cholesterol และช่วยป้องกันมะเร็งเต้านม (Win, 2005)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

1. อัตราส่วนโดยโมล รูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนและระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะต่อการเลี้ยงสาหร่ายทะเล

สาหร่ายทะเลทั้งสามชนิดเติบโตได้ดีในน้ำทะเลที่มีอัตราส่วนโดยโมลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพิสัย 10:1 ถึง 30:1 และไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมในน้ำทะเลช่วยส่งเสริมให้การเติบโตของสาหร่ายทั้งสามชนิดเพิ่มสูงขึ้นกว่าการที่น้ำทะเลที่เลี้ยงมีไนโตรเจนในรูปของไนเตรทเพียงรูปเดียว ส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ทำให้สาหร่ายเติบโตดีที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพแวดล้อมที่สาหร่ายเติบโต โดยสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri* มีความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณต่ำกว่าสาหร่ายสีเขียวทั้งสองชนิด และสาหร่าย *Caulerpa lentilifera* มีความต้องการธาตุอาหารทั้งสองอย่างในปริมาณสูงกว่าสาหร่ายอีกสองชนิด

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวชนิด *C. lentilifera* เพื่อเพิ่มผลผลิตควรเลี้ยงโดยให้สารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ประมาณ 10:1 ให้ไนโตรเจนทั้งในรูปของไนเตรทและแอมโมเนียมในอัตราส่วน NO_3^-:NH_4^+ เท่ากับ 96:4 และระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์รวม (DIN) และฟอสฟอรัสอนินทรีย์ (DIP) เท่ากับ 1850 และ 151 μM ความถี่ของการเติมสารอาหารคือ 3 สัปดาห์ต่อครั้ง เนื่องจากผลการศึกษาแสดงว่าสาหร่ายชนิดนี้ยังสามารถเติบโตได้ดีหลังจากการเติมอาหาร 3 สัปดาห์ ซึ่งอัตราส่วนโดยโมล รูปแบบของไนโตรเจน และระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสดังกล่าวให้อัตราการเติบโตดีที่สุดทำให้ได้ผลผลิตของสาหร่ายในอัตราสูง ถึงแม้ว่าการให้สารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ที่มากกว่า 10:1 และรูปแบบของไนโตรเจนในการเลี้ยงสาหร่ายในชุดการทดลองที่เติมแอมโมเนียมมากกว่าไนเตรทและระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่สูงกว่า 1850 และ 151 μM จะให้ปริมาณสารชีวเคมีโดยเฉลี่ยที่สูงกว่า แต่ผลผลิตของสาหร่ายที่ได้น้อยกว่าและไม่สม่ำเสมอ จึงไม่สามารถนำผลผลิตไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง

สาหร่ายสีเขียวชนิด *U. rigida* เติบโตได้ดีในสารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P เท่ากับ 30:1 โดยเติมสารอาหารไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมมากกว่าในรูปของไนเตรท และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่เติมคือ 750 และ 26 μM ตามลำดับ ซึ่งถึงแม้ว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่สูงกว่า 750 และ 26 μM จะให้ปริมาณสารชีวเคมีโดยเฉลี่ยมากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 750 และ 26 μM ในสัปดาห์ที่ 2 แต่ระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่สูงกว่า 750 และ 26 μM จะทำให้สาหร่ายตายในสัปดาห์ที่ 3 ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 750 และ 26 μM สาหร่ายสามารถเติบโตต่อไปได้จนถึงสัปดาห์ที่ 4 และให้อัตราการเติบโตที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

สาหร่ายสีแดงชนิด *G. fisheri* เติบโตได้ดีในสารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P ประมาณ 12:1 รูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนที่สาหร่ายชนิดนี้ต้องการคือรูปของแอมโมเนียมมากกว่าไนเตรท ดังนั้นจึงควรเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ในน้ำทะเลที่มีปริมาณแอมโมเนียมสูงกว่าไนเตรท และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่เท่ากับ 50 และ 8 μM จะทำให้สาหร่ายสีแดงชนิดนี้มีอัตราการเติบโตสูงสุดและให้ผลผลิตสาหร่ายที่สม่ำเสมอตลอด 4 สัปดาห์ เช่นเดียวกับสาหร่ายสีเขียวทั้ง 2 ชนิด และเช่นกันถึงแม้อัตราส่วนโดยโมลของ N:P ประมาณ 12:1 และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 50 และ 8 μM จะไม่ได้เป็นอัตราส่วนและระดับความเข้มข้นของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่

ให้ปริมาณสารชีวเคมีที่สูงที่สุด แต่ระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP เท่ากับ 50 และ 8 μM ให้อัตราการเติบโตที่สูงที่สุดและมีผลผลิตของสาหร่ายที่ค่อนข้างคงที่ และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายเรื่องสารอาหารลงด้วย เนื่องจากไม่ต้องเติมสารอาหารทุกสัปดาห์แต่สามารถเติม 3 สัปดาห์ต่อครั้งได้

2. การใช้ประโยชน์สาหร่ายในการบำบัดน้ำเสีย

สาหร่ายสีเขียวชนิด *C. lentilifera* มีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในปริมาณสูง ซึ่งเห็นได้จากสาหร่ายสามารถเติบโตได้ในระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่สูงถึง 1850 และ 151 μM ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถใช้สาหร่ายชนิดเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณสารอาหารสูงได้อีกด้วย ส่วนสาหร่ายสีเขียวชนิด *U. rigida* เหมาะสมกับการใช้บำบัดน้ำเสียที่มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมสูงจึงเหมาะกับการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีปริมาณแอมโมเนียมซึ่งเกิดจากของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาสูง ส่วนสาหร่ายสีแดงชนิด *G. fisheri* อาจใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ไม่ดีเท่าสาหร่ายสีเขียวเนื่องจากความต้องการสารอาหารที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ N:P และระดับความเข้มข้นของ DIN และ DIP ที่สาหร่ายสามารถเติบโตได้ดีนั้นไม่สูงเท่าสาหร่ายสีเขียวทั้ง 2 ชนิดที่ศึกษา แต่สาหร่ายชนิดนี้ก็มีความสามารถในการใช้แอมโมเนียมได้ดี เนื่องจากสาหร่ายจะมีอัตราการเติบโตที่สูงในอาหารที่เติมแอมโมเนียมสูงกว่าไนเตรท ดังนั้นหากจะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ในบ่อบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งมีปริมาณแอมโมเนียมและฟอสฟอรัสไม่สูงมากก็สามารถทำได้

3. การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายในการเป็นอาหาร

สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่ศึกษาหากเลี้ยงในระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ให้อัตราการเติบโตดีข้างต้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะมีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นอาหารหรือใช้ประโยชน์ทางด้านสุขภาพ โดยสาหร่ายชนิด *U. rigida* จะเป็นแหล่งของโปรตีนที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายอีก 2 ชนิดที่นำมาศึกษา โดยปริมาณโปรตีนที่พบในสาหร่ายชนิดนี้สูงกว่าปริมาณที่พบในไข่แต่ต่ำกว่าปริมาณที่พบในถั่วเหลือง (ตารางที่ 43) และเมื่อพิจารณาถึงชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่พบมีปริมาณสูงและมีคุณค่าทางอาหาร พบว่าสาหร่ายสีแดงชนิด *G. fisheri* มีศักยภาพในการพัฒนาไปใช้ประโยชน์ในแง่อาหารมากกว่าสาหร่ายสีเขียวทั้ง 2 ชนิด ถึงแม้ว่าปริมาณไขมันทั้งหมดที่พบในสาหรายสีแดงชนิดนี้จะต่ำกว่าปริมาณในสาหร่ายสีเขียวทั้งสองชนิด แต่สาหร่ายสีแดงมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพในปริมาณที่สูงกว่าที่พบในสาหร่ายสีเขียว ได้แก่ กรดไขมันชนิด Oleic acid และกรดไขมันชนิด Lignoceric acid ซึ่งกรดไขมันชนิด Oleic acid มีความสามารถในการเพิ่มปริมาณ HDL- cholesterol และช่วยป้องกันมะเร็งเต้านม (Win, 2005)

ตารางที่ 43 ปริมาณสารชีวเคมีที่พบในสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ให้อัตราการเติบโตดีที่สุด เปรียบเทียบกับอาหารอื่น ๆ

ปริมาณสารชีวเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	*C. lentilifera*	*U. rigida*	*G. fisheri*	ถั่วเหลือง [1]	ไข่ [2]
คาร์โบไฮเดรต	20.30 - 35.70	10.87 - 34.90	17.96 - 33.28	-	0.14
โปรตีน	9.77 - 16.19	16.98 - 18.74	6.41 - 9.33	33.8	12.29
ไขมัน	27.92 - 64.73	35.93 - 42.50	17.95 - 32.23	0.2	11.69

[1] Norziah and Ching (2000)

[2] http://www.dld.go.th/pvlo_sat/egg.htm

4. การใช้ประโยชน์สาหร่ายในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงาน

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันพบว่าสาหร่ายสีเขียวทั้ง 2 ชนิดที่นำมาศึกษา คือ *C. lentilifera* และ *U. rigida* เป็นสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมากกว่าสาหร่ายสีแดงชนิด *G. fisheri* เนื่องจากหากเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะสม สาหร่ายจะสะสมกรดไขมันอิ่มตัวชนิด Palmitic acid ในปริมาณสูง ซึ่ง Palmitic acid เป็นกรดไขมันชนิดเดียวกันกับที่พบในน้ำมันปาล์ม ซึ่งการที่พบ Palmitic acid สูง ทำให้น้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายมีค่า Cetane สูง แสดงว่าน้ำมันที่ได้มีคุณสมบัติในการติดไฟสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีคุณสมบัติหนึ่งของไบโอดีเซล (ตารางที่ 44)

ตารางที่ 44 ปริมาณกรดไขมันที่พบในสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ให้อัตราการเติบโตดีที่สุด

ชนิดของกรดไขมัน	*C. lentilifera*	*U. rigida*	*G. fisheri*
Palmitic acid	36.35 - 51.16	18.76 - 47.92	4.22 - 16.46
Oleic acid	31.79 - 43.68	28.35 - 55.78	2.56 - 61.18
Linoleic acid	3.28 - 7.05	3.25 - 7.45	3.93 - 5.76
Lignoceric acid	2.44 - 4.07		11.43 - 86.69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, อัญชนา ประเทพ และธิดารัตน์ น้อยรักษา. 2551. คู่มือการเก็บตัวอย่าง การเก็บรักษา และการจำแนกสาหร่ายทะเล. การประชุมเชิงปฏิบัติการสาหร่ายทะเล ณ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา,

ประมุข เพ็ญสุต. 2525. การศึกษาวุ้นและองค์ประกอบอย่างอื่นในสาหร่ายทะเลสกุลกราซิลาเรีย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์. 2544. การเจริญเติบโตและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentilifera* J. Agardh. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง) สาขาวิทยาศาสตร์การประมง โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สันติ ปริยะวาที, พุทธ ส่งแสงจินดา, สถาพร ดิเรกบุษราคม, ปิติวงษ์ ตันติโชดก และ สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2546. สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น. วารสารการประมง 56(5): 443 – 446.

สุรภีร์ วีรวานิช. 2547. การวิเคราะห์คุณค่าอาหารของสาหร่ายผมนาง (กราซิลาเรีย ฟิซเซอไร) บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก. สงขลา: โปรแกรมชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสงขลา,

สุวรรณา วรสิงห์, ธวัช ศรีวีระชัย, อรุณ ศรีอนันต์ และ ภาคภูมิ วงศ์แข็ง. 2552. สัณฐานวิทยา การเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* C. Agardh, 1823. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 1/2552. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: 28 หน้า.

ศุลีมาศ สุทธิเนียม. 2551. การใช้สาหร่ายขนนก (*Caulerpa sertularioides*) บำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) แบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ และประพฤติ พรหมสมบูรณ์. 2540. การใช้สาหร่ายทะเลสกุลกราซิลาเรียช่วยลดปริมาณออโธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
กระทรวงศึกษาธิการ

อาภรณ์ เทพพานิช. (มปป.) การเลี้ยงสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria* spp.) ในบ่อดิน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสุราษฎร์ธานี

อลิสา โชควิวัฒนวนิช. 2543. ประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่ายหนาม *Acanthophora spicifera* ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

AOAC. 1995. Official methods of analysis (16th ed.). Washington, DC, USA; Association of Official Analytical Chemists.

Buapet, P., Hiranpan, R., Ritchie, R. J. and Prathep, A. 2008. Effect of nutrient inputs on growth, chlorophyll, and tissue nutrient concentration of *Ulva reticulata* from a tropical habitat. Science Asia 34: 245 – 252.

Baruah, K., Norouzitallab, P. and Sorheloos, P. 2006. Seaweed: and ideal component for wastewater treatment for use in aquaculture. Aquaculture Europe Feature article.

Björnsäter, B. R. and Wheeler, P. A. 1990. Effect of nitrogen and phosphorus supply on growth and tissue composition of *Ulva fenestrata* and *Enterornorpha intestinalis* (Ulvales, Chlorophyta). J. Phycol 26: 603-611.

Colombo, M. L., Rise, P., Giavarini, F., Angelis, L. D., Galli, C. and Bolis, C. L. 2006. Marine macroalgae as sources of polyunsaturated fatty acids. Plants Foods for Human Nutrition 61: 67 – 72.

Dawczynski, C., Schubert, R. and Jahreis, G. 2007. Amino acids, fatty acids, and dietary fiber in edible seaweed products. Food Chemistry 103: 891-899.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smit, F. 1956. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. Analytical Chemistry (28)3.

Esteves, B.S., Taouil, A. and Suzuki, M. S. 2005. Nutrient composition of macroalgae and macrophytes of the Açu lagoon, Rio de Janeiro State, Brazil. Acta Limnol. Bras 17(3): 233-244.

Fleurencel, J., Coeur, C. L., Mabeau, S., Maurice, M. and Landrein, A. 1995. Comparison of different extractive procedures for proteins from the edibleseaweeds *Ulva rigida* and *Ulva rotundata*. Journal of Applied Phycolog 7: 577-582.

Fleurence, J., Chenard, E. and Luçon, M. 1999. Determination of the nutrition value of proteins obtained from *Ulva armoricana*. Journal of Applied Phycology 11: 231-239.

Gordillo, F. J. L., Aguilera, J. and Jiménez, C. 2006. The response of nutrient assimilation and biochemical composition of Arctic seaweeds to a nutrient input in summer. Journal of Experimental Botany 57(11): 2661–2671.

Guillard, R.R.L. 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In: Smith, W.L. and Chanley, M.H (Eds.) Culture of Marine Invertebrate Animals. Plenum Press, New York, USA. pp 26-60.

Guillard, R. R. L. and Ryther, J. H. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve. Can. J. Microbiol, 8: 229-239.

Grundy, S. M. 1994. Influence of stearic acid on cholesterol metabolism relative to other long-chaon fatty acids. The American Journal of Clinical Nutrition 60(suppl):986s-990s.

Haroon, A. M., Szaniawska, A., Norman, M. and Janas, U. 2000. The biochemical composition of *Enteromorpha* sp. from the Gulf of Gdansk coast on the Southern Baltic Sea. Oceanologia 41, 19-28.

Khotimchenko, S. V. 2005. Lipids from the marine alga *Gracilaria verrucosa*. Chemistry of Natural Compounds 41(3): 285-288.

Lepage, G. and Roy, C. C. 1986. Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction. Journal of Lipid Research 27: 114-120.

Lobban, C. S., Chapman, D. J. and Kremer, B. P. 1988. Experimental Phycology: A Laboratory Manual. Phycological Society of America. Cambridge University Press. 295 p.

Lobban, C. S. and. Harrison, P. J.1997. Seaweed Ecology and Physiology. Cambridge University Press, 366 p.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Lourenço, S.O., Barbarino, E., Nascimento, A., Freitas, J. N. P. and Diniz, G. S. 2006. Tissue nitrogen and phosphorus in seaweed in a tropical eutrophic environment: What a long-term study tells us. Journal of Applied Phycology 18: 389 – 398.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., and Randall, R. J. 1951. Protein measurement with the Folin – Phenol reagents. J.Biol.Chem 193: 265-275.

Lüning, K. 1990. Seaweeds: Their environment, biogeography, and ecophysiology. Wiley, New York. 589 p.

Manivannan, K., Thirumaran, G, Karthikai Devi, G., Hemalatha, A. and Anantharaman, P. 2008. Biochemical composition of seaweeds from Mandapam coastal regions along southest coastal of India. American-Eurasian Journal of Botany 1(2): 32-37.

Manivannan, K., Thirumaran, G, Karthikai Devi, G., Anantharaman, P. and Balasubramanian, T. 2009. Proximate composition of different group of seaweeds from Vedalai coastal waters (Gulf of Mannar): southest coast of India. Middle-East Journal of Scientific Research 4(2): 72-77.

McHugh, D. J. 2003. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper No. 441. 105p.

Meñez, E. G. and Calumpong, H. P. 1982. The Genus *Caulerpa* from Central Visayas, Philippines. Smithsonian contributuins to the Marine Sciences Number 17. Smithsonian Institute Press

Naldi, M. and Wheele, P. A. 1999. Changes in nitrogen pools in *Ulva fenestrate* (Chlorophyta) and *Gracilaria pacifica* (Rhodophyta) under nitrate and ammonium enrichment. J. Phycol 35, 70–77.

Navarro-Angula, L. and Robledo, D. 1999. Effects of nitrogen source, N:P ratio and N-pulse concentration and frequency on the growth of *Gracilaria cornea* (Gracilariales, Rhodophyta) in culture. Hydrobiologia 398/399: 315-320.

Norziah, M. H. and Ching, C. Y. 2000. Nutritional composition of edible seaweed *Gracilaria changgi*. Food Chemistry 68: 69 – 79.

Nirmal Kumar, J. I., Kumar, R. N., Patel, K., Viyal, S. and Bhoi, R. 2009. Nutrients composition and calorific value of some seaweeds from Bet Dwarka, West coast of Gujarat, India. Our Nature 7: 18-25.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Parson, T. R., Maita, Y., and Lalli, C. M. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. First edition. Pergamon Press.

Phang, S. M., Lewmanomont, K. and Lim, P. E. 2008. Taxonomy of Southeast Asian Seaweeds. Institute of Ocean and Earth Sciences University of Malaya. Malasia.

Ramos, M. J. and Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L. and Pérez. 2009. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. Bioresource Technology 100: 261 – 268.

Ratana-arporn P. and Chirapart A. 2006. Nutritional evaluation of tropical green seaweeds *Caulerpa lentilifera* and *Ulva reticulata*. Kasetsart J. (Nat. Sci) 40 (Suppl.): 75-83.

Renaud, S. M. and Luong-Van, J. T. 2006. Seasonal variation in the chemical composition of tropical Australian marine macroalgae. Journal of Applied Phycology 18: 318-387.

Richardson, B., Orcutt, D. M., Schwertner, H. A. and Martinez, C. L. 1969. Effects of nitrogen limitation on the growth and composition of unicellular algae in continuous culture. Applied Microbiology 18(2): 245 – 250.

Rohani-Ghadikolaei, K., Abdulalian, E. and Ng, W. K. 2010. Evaluation of the proximate, fatty acid and mineral composition of representative green, brown and red seaweeds from the Persian Gulf of Iran as potential food and feed resources. J Food Sci Technol Original Article.

Ruangchuay, R., Lueangthuwapranit, C., and Pianthumdee, N. 2007. Apparent characteristics and taxonomic study of macroalgae in Pattani Bay. Songklanakarin J. Sci. Technol 29(4): 893-905.

Saito, H., Xue, C., Yamashiro, R., Moromizato, S., and Itabashi, Y. 2010. High polyunsaturated fatty acid levels in two subtropical Macroalgae, *Cladosiphon okamuranus* and *Caulerpa lentilifera*. J. Phycol. 46: 665-673.

Shanmugam, A. and Palpandi, C. 2008. Biochemical composition and fatty acid profile of the green alga *Ulva reticulata*. Asian Journal of Biochemistry 3(1): 26-31

Topinka, J.A. and Robbins, J.V. 1976. Effects of nitrate and ammonium enrichment on growth and nitrogen physiology in *Fucus spiralis*. Limnol. Oceanogr 21:659–664.

Trainor, F.A. 1978. Introductory Phycology. John Wiley. New york. 525 p.

Viaroli, P., Naldi, M., Bondavalli, C. and Bencivelli, S. 1996. Growth of the seaweed *Ulva rigida* C. Agardh in relation to biomass densities, internal nutrient pools and external nutrient supply in the Sacca di Goro lagoon (Northern Italy) Hydrobiologia 329 : 93-103,

Weldy, C. S. and Huesemann, M. 2007. Lipid production by *Dunaliella salina* in batch culture: effects of nitrogen limitation and light intensity. Journal of Undergraduate Research U. S. Department of Energy 7: 115 – 122.

Wen, X., Peng, C., Zhou, H., Lin, Z., Lin, G., Chen, S. and Li, P. 2006. Nutritional composition and assessment of *Gracilaria lemaneiformis* Bory. Journal of Integrative Plant Biology 48(9): 1047-1053.

Win, D. T. 2005. Oleic acid – The anti-breast cancer component in olive oil. AU Journal of Technology 9(2):75 – 78.

Yazici, Z., Aysel, V., Öksüz, E., Köse, A. and Cumali, S. 2007. Fatty acid composition of marine macroalgae from the Black Sea and Dardanelles. Toxicological and Environmental Chemistry 89(2): 371 – 379.

Yu, J, and Yang, Y. F. 2008. Physiological and biochemical response of seaweed *Gracilaria lemaneiformis* to concentration changes of N and P. Journal of Experimental Marine Botany and Ecology 367:142 – 148.

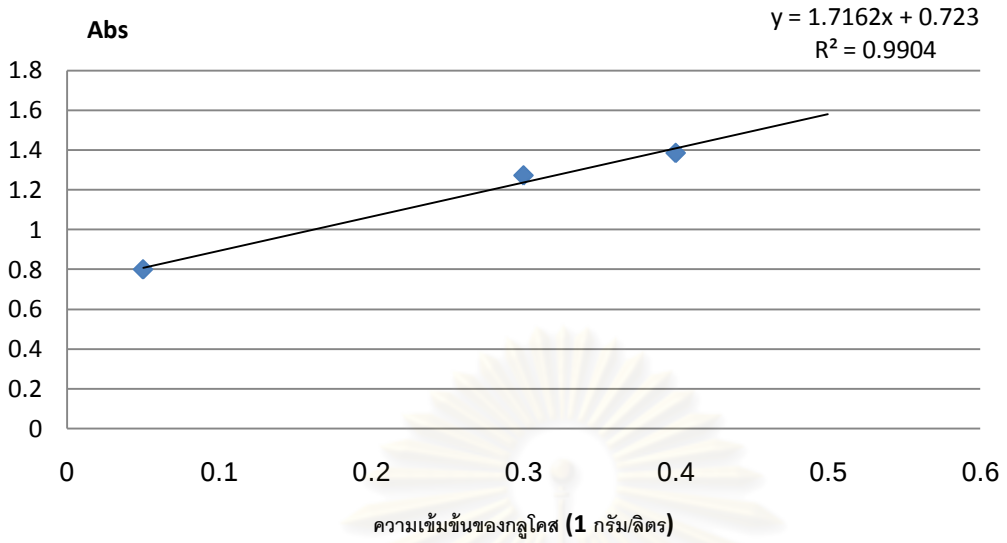
http://www.dld.go.th/pvlo_sat/egg.htm เข้าถึงได้เมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2554.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

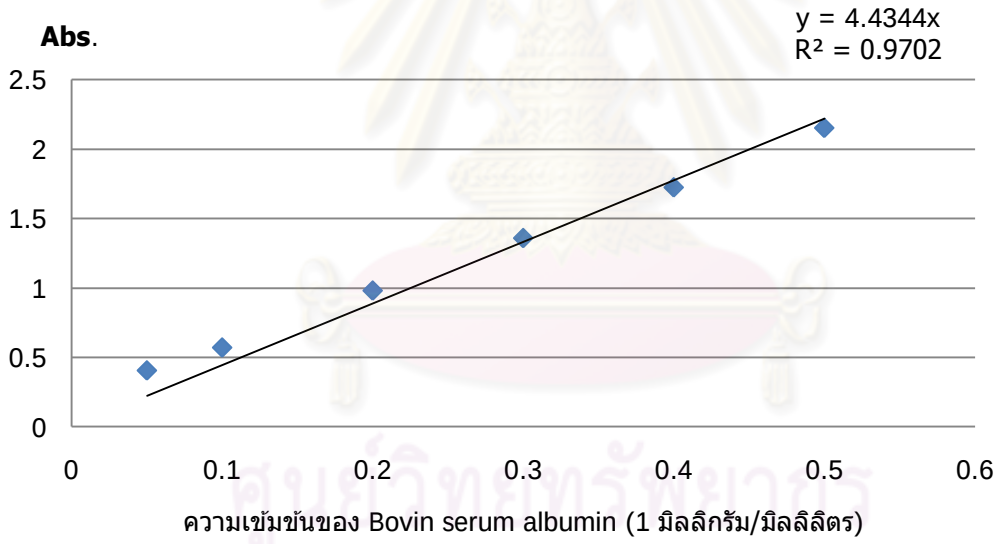
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก 1 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต



ภาคผนวก 2 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเอกธิดา ทองเด็จ เกิดวันที่ 23 สิงหาคม 2626 ณ จังหวัดระนอง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วาริชศาสตร์) จากภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2552 และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์จากโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (BRT)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย