เอกสารวิชาการฉบับที่ ๒/๒๕๕๑ Technical Paper No. 2/2008

# เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล 3 ชนิด (*Caulerpa* spp.) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

# Comparison on Efficiency of Three Seaweeds (*Caulerpa* spp.) on Quality Improvement of Marine Fish Pond Effluent

อรกัญญา เม่งหยู Ornkanya Mengyu
อำไพ ล่องลอย Amphai Longloy

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง Coastal Fisheries Research and Development Bureau
กรมประมง Department of Fisheries
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ Ministry of Agriculture and Cooperatives

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๒/๒๕๕๑ Technical Paper No. 2/2008

# เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล 3 ชนิด (*Caulerpa* spp.) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

# Comparison on Efficiency of Three Seaweeds (*Caulerpa* spp.) on Quality Improvement of Marine Fish Pond Effluent

อรกัญญา เม่งหยู Ornkanya Mengyu
อำไพ ล่องลอย Amphai Longloy

ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ Krabi Coastal Fisheries Research and Development Center
สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง Coastal Fisheries Research and Development Bureau
กรมประมง Department of Fisheries
๒๕๕๑ 2008
รหัสทะเบียนวิจัยเลขที่ 49-0345-46083-016

**สารบาญ**


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | 1 |
| Abstract | 2 |
| คำนำ | 3 |
| วัตถุประสงค์ | 4 |
| วิธีดำเนินการ | 5 |
| 1. การวางแผนการทดลอง | 5 |
| 2. สถานที่ศึกษา | 5 |
| 3. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี | 5 |
| 4. การรวบรวมพันธุ์สาหร่าย และการเตรียมสาหร่าย | 6 |
| 5. วิธีดำเนินการ | 6 |
| 6. วิเคราะห์ข้อมูล | 7 |
| ผลการศึกษา | 8 |
| สรุปและวิจารณ์ผล | 14 |
| คำขอบคุณ | 18 |
| เอกสารอ้างอิง | 18 |
| ภาคผนวก | 21 |

**สารบาญตาราง**


ตารางที่ หน้า

1. ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลก่อน และหลังปรับปรุงคุณภาพ 9
2. ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) ประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp. ในการบำบัด แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต $BOD_5$ และตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล 12
3. ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) อัตราการนำเข้าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides* 13
4. ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) อัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides* 14

ตารางผนวกที่

1. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ 21

**สารบาญภาพ**


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1. | *Caulerpa racemosa* var. *corynephor*a | 4 |
| 2. | *Caulerpa lentillifera* | 4 |
| 3. | *Caulerpa sertularioides* | 4 |
| 4. | วิธีดำเนินการทดลอง | 4 |
| 5. | วิธีดำเนินการทดลอง (2) | 4 |
| 6. | การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่า Temperature (a), Salinity (b), pH (c), Alkalinity (d), DO (e), $BOD_5$ (f) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล | 10 |
| 6. (ต่อ) | การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่า Total ammonia (g), Nitrite (h), Nitrate (i), Orthophosphate (j) และ Total suspended solid (k) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล | 11 |

# เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล 3 ชนิด (*Caulerpa* spp.) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

**อรกัญญา เม่งหยู* และอำไพ ล่องลอย**
ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่

## บทคัดย่อ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp.ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล ระหว่างวันที่ 25 กุมภาพันธ์ - 25 มีนาคม 2549 โดยทดลองในกะละมังพลาสติก ปริมาตร 40 ลิตร จำนวน 3 ชุดทดลอง ชุดละ 3 ซ้ำ ชุดทดลองที่ 1, 2, 3 ใส่สาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ*C. sertularioides* ปริมาณ 40 กรัม ตามลำดับ และชุดควบคุม (ไม่ใส่สาหร่าย) วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มทดลอง และระหว่างทดลองในช่วงเวลาเดียวกันทุกวันตลอดระยะเวลา 6 วัน พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต และตะกอนแขวนลอยได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่การบำบัด $BOD_5$ ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายในชุดทดลองที่ 1 และ 2 มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับชุดทดลองที่ 3 เท่ากับ $4.32 \pm 1.03$, $3.28 \pm 0.31$ และ $1.83 \pm 0.29$ กรัมต่อวัน ตามลำดับ

ดังนั้นสามารถนำสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลได้

**คำสำคัญ:** สาหร่ายทะเล การปรับปรุงคุณภาพน้ำ น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

---

*ผู้รับผิดชอบ: ๑๔๑ ม.๖ ต.ไสไทย อ.เมือง จ.กระบี่ ๘๑๐๐๐ โทร. ๐-๗๕๖๙-๕๑๕๐

E-mail: ornkanya@gmail.com

# Comparison on Efficiency of Three Seaweeds (*Caulerpa* spp.) on Quality Improvement of Marine Fish Pond Effluent

**Ornkanya Mengyu* and Amphai Longloy**

Krabi Coastal Fisheries Research and Development Center

## Abstract

Comparison on efficiency of seaweeds *Caulerpa* spp. on quality improvement of marine fish pond effluent was conducted from 25 February to 25 March 2006. Forty liters of the effluent was put into each plastic basin, for 3 treatments 3 replications and a control group. First, second and third treatment was put 40 g of seaweed, *Caulerpa racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* and *C. sertularioides*, respectively. Water quality of the effluent was observed before starting an experiment and after that, everyday for 6 days. The results showed that the efficiency for reducing ammonia, nitrite, nitrate, orthophosphate and total suspended solid of all three seaweeds were not significantly difference ($P>0.05$). Whereas the efficiency for reducing $BOD_5$ were significantly difference ($P<0.05$). The growth rate (ADG) of seaweeds in the first and second treatment were significantly higher than in the third treatment ($P<0.05$) were $4.32 \pm 1.03$, $3.28 \pm 0.31$ and $1.83 \pm 0.29$ g/day, respectively.

Therefore, all 3 seaweeds could be used for improvement marine fish pond effluent.

**Key words:** Seaweed, Water quality improvement, Marine fish pond effluent

---

*****Corresponding auther: 141 Moo 6, Saithai, Muang, Krabi, Thailand. 81000

Tel. 0-7569-5150 E-mail: ornkanya@gmail.com

## คำนำ

น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นกรมควบคุมมลพิษ (2544) จึงได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพื่อให้ฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้นำหลักเกณฑ์ดังกล่าวไปใช้ในการจัดการระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ส่วนใหญ่การบำบัดน้ำทิ้งจะนิยมศึกษาในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล แต่ปัญหาน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลก็เป็นสาเหตุหนึ่งของความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำเช่นเดียวกัน แม้ว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารอาจน้อยกว่าบ่อเลี้ยงกุ้ง แต่ควรผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือเพื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

การใช้สาหร่ายทะเลบำบัดน้ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจโดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวซึ่งเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนในสภาวะที่มีอาหารเหมาะสม ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้สาหร่ายทะเลในสกุล *Caulerpa* spp. 3 ชนิด คือ *C. racemosa* var. *corynephora* (ภาพที่ 1) *C. lentillifera* (ภาพที่ 2) และ *C. sertularioides* (ภาพที่ 3) เนื่องจากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทะเลในศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่เบื้องต้น พบว่าบ่อเลี้ยงปลาทะเลที่มีสาหร่าย *C. sertularioides* ขึ้นปกคลุมพื้นบ่ออย่างหนาแน่นนั้น คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงดีกว่าบ่อเลี้ยงปลาทะเลที่ไม่มีสาหร่ายชนิดนี้ จึงได้เลือกใช้สาหร่ายดังกล่าวมาศึกษาร่วมกับสาหร่ายอีก 2 ชนิด โดยเฉพาะสาหร่ายพวงองุ่น (*C. lentillifera*) ที่นักวิจัยในประเทศไทยนิยมใช้ดูดซับสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยสันติ และคณะ (2546) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำของสาหร่ายดังกล่าวที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดี ในขณะที่รัชฎา และสรรเสริญ (2548) ได้ศึกษาการเลี้ยงปูทะเล (*Scylla* sp.) ด้วยระบบหมุนเวียนน้ำบำบัดชีวภาพโดยมีบ่อดักตะกอน และบ่อบำบัดชีวภาพโดยใช้สาหร่ายพวงองุ่น พบว่าระบบสามารถบำบัดแอมโมเนีย และไนเตรทได้ 55.41% และ 40.70% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าในจังหวัดกระบี่และจังหวัดใกล้เคียง เช่นชาวบ้านในจังหวัดตรังนิยมรับประทานสาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* กันอย่างกว้างขวางโดยรับประทานเป็นผักสด (สรวิศ, 2543) แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของสาหร่ายชนิดนี้

ดังนั้นการเลือกใช้สาหร่าย 3 ชนิดนี้มาศึกษาประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทะเลจึงนับว่ามีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นสาหร่ายทะเลกลุ่มสีเขียวที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีปัจจัยจำกัดใกล้เคียงกัน และการใช้สาหร่ายทะเลบำบัดน้ำเป็นวิธีการที่ง่ายไม่เปลืองค่าใช้จ่าย และยังนำมาเป็นอาหารของมนุษย์ นอกจากนี้ยังอาจนำไปสู่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ เป็นอาหาร และแหล่งหลบซ่อนตัวของสัตว์น้ำได้อีกด้วย

**ภาพที่ 1** *Caulerpa racemosa* var. *corynephora*

**ภาพที่ 4** วิธีดำเนินการทดลอง

**ภาพที่ 2** *Caulerpa lentillifera*

**ภาพที่ 5** วิธีดำเนินการทดลอง

**ภาพที่ 3** *Caulerpa sertularioides*

## วัตถุประสงค์

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล
2. ศึกษาอัตราการนำเข้าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตของสาหร่ายทะเลในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล
3. เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเลที่ใช้ในการปรับปรุงน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

## วิธีดำเนินการ

### 1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 3 ชุดทดลอง แต่ละชุดทดลองมี 3 ซ้ำ และชุดควบคุม

ชุดทดลองที่ 1 น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลที่ใส่สาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora*

ชุดทดลองที่ 2 น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลที่ใส่สาหร่าย *C. lentillifera*

ชุดทดลองที่ 3 น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลที่ใส่สาหร่าย *C. sertularioides*

ชุดชุดควบคุม น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลที่ไม่ใส่สาหร่าย

### 2. สถานที่ศึกษา

ดำเนินการทดลองในโรงเพาะฟักศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ ที่มีหลังคาโปร่งแสง โดยใช้แสงธรรมชาติที่มีช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง 3,930-20,000 ลักซ์ ทำการทดลองระหว่างวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2549 - 25 มีนาคม 2549 เป็นระยะเวลา 30 วัน

### 3. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1 พันธุ์สาหร่ายทะเล *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides*

3.2 กะละมังพลาสติกปริมาตรน้ำ 40 ลิตร พร้อมอุปกรณ์ให้อากาศและหัวทราย

3.3 เครื่องวัดความเข้มแสง Digital lux-meter รุ่น INSDX-100

3.4 ชุดกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) พร้อมอุปกรณ์ ยี่ห้อ Millipore รุ่น WP 6222050

3.5 เครื่องวัดความเค็ม Refracto salinometer ยี่ห้อATAGO รุ่น S/Mill-E

3.6 เครื่องชั่งความละเอียด 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler toledo

3.7 เครื่อง UV-Visible spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น 1601

3.8 ตู้บ่มบีโอดี (Incubator) ยี่ห้อ Aqua lytic

3.9 เครื่องแก้วชนิดต่างๆ

3.10 แผ่นกรองใยแก้ว GF/C (Whatman)

3.11 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำ Alkalinity, DO, $BOD_5$, Total ammonia, Nitrite, Nitrate และ Orthophosphate

**4. การรวบรวมพันธุ์สาหร่าย และการเตรียมสาหร่าย**

รวบรวมพันธุ์สาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด คือ สาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* จากคลองธรรมชาติ ใน อ.เกาะลันตา จ.กระบี่ ส่วนสาหร่าย *C. lentillifera* เป็นสาหร่ายที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสสำหรับใช้เลี้ยงปลาการ์ตูนภายในศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ และสาหร่าย *C. sertularioides* รวบรวมจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลภายในศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ จากนั้นจึงนำสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด มาพักไว้ในถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 500 ลิตร เป็นระยะเวลา 6 วัน โดยใช้น้ำทะเลที่มีค่าความเค็มเท่ากับความเค็มในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

**5. วิธีดำเนินการ**

5.1 เตรียมกะละมังพลาสติกปริมาตร 40 ลิตร จำนวน 12 ใบ และจัดเตรียมอุปกรณ์ให้อากาศและหัวทราย ดังภาพที่ 4-5

5.2 ตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลที่ต้องการศึกษาก่อนทำการทดลอง

5.3 เตรียมน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล โดยสูบน้ำลงถังพักไว้ 1 คืน จากนั้นกรองน้ำผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 40 ไมโครเมตร ลงกะละมังพลาสติกที่เตรียมไว้ในข้อ 5.1 ใบละ 40 ลิตร

5.4 ชั่งน้ำหนักสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สำหรับ 3 ชุดการทดลอง โดยใช้ซ้ำละ 40 กรัม ใส่ในกะละมังพลาสติกที่ที่เตรียมไว้ในข้อ 5.3 พร้อมให้อากาศตลอดเวลา เป็นระยะเวลา 6 วัน

5.5 ตรวจวัดค่าความเข้มแสง โดยวิธีใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสง digital lux-meter รุ่น INSDX-100

5.6 ตรวจวัดคุณภาพน้ำในพารามิเตอร์ต่างๆ ก่อนเริ่มการทดลอง และระหว่างการทดลองในช่วงเวลา 10.00 น. ทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง ตามวิธีการดังนี้

5.6.1 ความเค็มด้วยเครื่องมือวัดความเค็มแบบหักเหแสง (refracto-salinometer) ยี่ห้อ Atago รุ่น S/Mill-E

5.6.2 pH ด้วยวิธี Electrometric method ด้วยเครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่างแบบตัวเลข ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น model 50 pH/ion/conductivity meter.

5.6.3 Alkalinity ด้วยวิธี Potentiometer titration to pre-selection pH (APHA, AWWA and WPCF, 1980)

5.6.4 DO ด้วยวิธี Azide modification Winkler method (APHA, AWWA and WPCF, 1980)

5.6.5 $BOD_5$ ด้วยวิธี Azide modification ที่ $20^{o}C$/5 วัน โดยใช้ synthetic seawater (Strickland and Parsons, 1972)

5.6.6 Nitrite ด้วยวิธี Diazotization method (Strickland and Parsons, 1972)

5.6.7 Nitrate ด้วยวิธี Cu-Cd Reduction method (Strickland and Parsons, 1972)

5.6.8 Orthophosphate ด้วยวิธี Ascorbic acid method (Strickland and Parsons, 1972)

5.6.9 Total ammonia ด้วยวิธี Modified indophenol blue method (Sasaki and Sawada, 1980)

5.6.10 Total suspended solid โดยวิธี กรองตะกอนแขวนลอยบนแผ่นกรองใยแก้วขนาดตากรอง 0.45 ไมโครเมตร (APHA, AWWA and WPCF, 1980)

**6. การวิเคราะห์ข้อมูล**

6.1 นำค่าคุณภาพน้ำที่ได้มาคำนวณประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิดในการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต $BOD_5$ และตะกอนแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล โดยใช้สูตร

$$E\ (\%) = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

เมื่อ E = ประสิทธิภาพ (Efficiency)

Ci = ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)

Cf = ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (มิลลิกรัม /ลิตร)

6.2 คำนวณค่าอัตราการนำเข้าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต ของสาหร่ายทะเลในน้ำทิ้ง โดยใช้สูตร

$$V = \frac{(Ni - Nf)\ v}{w \times t}$$

เมื่อ V = อัตราการนำเข้า (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด/วัน)

Ni = ความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตในน้ำเมื่อเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)

Nf = ความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตในน้ำเมื่อสิ้นสุด (มิลลิกรัม/ลิตร)

v = ปริมาตรน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ลิตร)

w = น้ำหนักสดสาหร่าย (กรัม)

t = ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)

6.3 เก็บข้อมูลน้ำหนักสาหร่าย ก่อนและหลังการทดลอง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตเฉลี่ย; (ADG) (กรัม/วัน) โดยใช้สูตร

$$ADG = \frac{w_2 - w_1}{t}$$

เมื่อ $w_1$ = น้ำหนักสดเริ่มต้น (กรัม)

$w_2$ = น้ำหนักสดสุดท้าย (กรัม)

$t$ = ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)

6.4 การวิเคราะห์ข้อมูล คำนวณค่าสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) จากนั้นนำค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำในค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ $BOD_5$ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต และตะกอนแขวนลอย ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ ด้วยวิธี Least-Significant Different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Versions 11.5

## ผลการศึกษา

### 1. ประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp. ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

#### 1.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพ

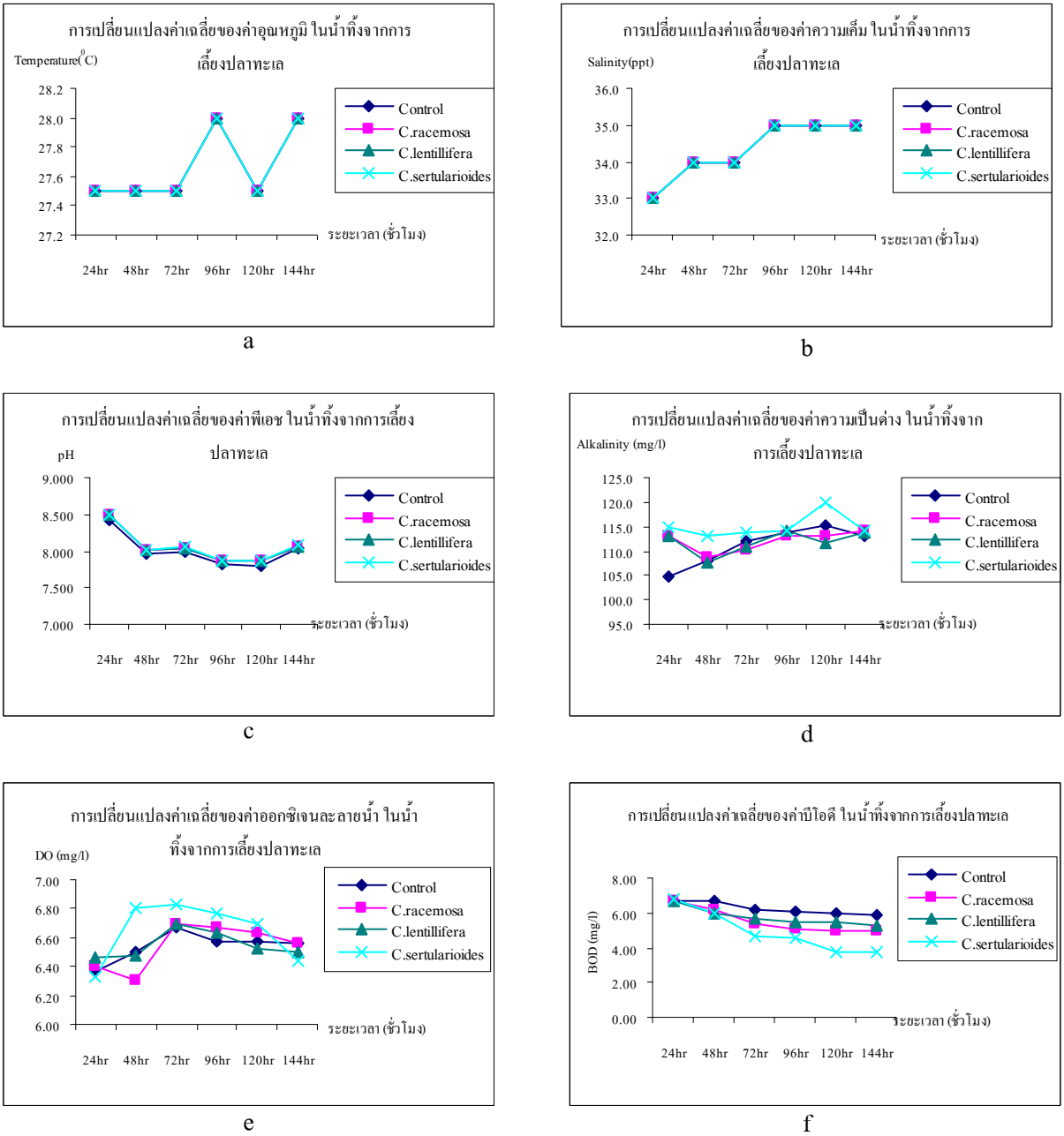
คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลก่อน และหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp. ทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลก่อน และหลังปรับปรุงคุณภาพ

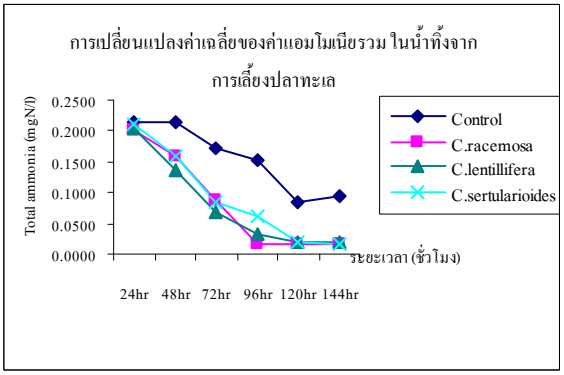
| คุณภาพน้ำ | ก่อนปรับปรุงคุณภาพ | หลังปรับปรุงคุณภาพ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Control | *C. racemosa* var. *corynephora* | *C. lentillifera* | *C. sertularioides* |
| Temperature ($^{o}$C) | 27.5 ± 0.0 | 28.0 ± 0.0 | 28.0 ± 0.0 | 28.0 ± 0.0 | 28.0 ± 0.0 |
| | (27.5 – 27.5) | (28.0 - 28.0) | (28.0 - 28.0) | (28.0 - 28.0) | (28.0 - 28.0) |
| Salinity (‰) | 33.0 ± 0.0 | 35.0 ± 0.0 | 35.0 ± 0.0 | 35.0 ± 0.0 | 35.0 ± 0.0 |
| | (33.0 – 33.0) | (35.0 – 35.0) | (35.0 – 35.0) | (35.0 – 35.0) | (35.0 – 35.0) |
| pH | 8.423 ± 0.011 | 8.037 ± 0.017 | 8.069 ± 0.005 | 8.064 ± 0.002 | 8.074 ± 0.009 |
| | (8.413 – 8.435) | (8.018 – 8.047) | (8.064 – 8.074) | (8.063 – 8.066) | (8.064 – 8.081) |
| Alkalinity (mg/L) | 104.7 ± 1.2 | 113.0 ± 0.1 | 114.0 ± 0.1 | 113.7 ± 1.5 | 114.0 ± 2.1 |
| | (104.0 – 106.0) | (112.0 – 114.0) | (113.0 – 115.0) | (112.0 – 115.0) | (112.0 – 116.0) |
| DO (mg/L) | 6.37 ± 0.15 | 6.57 ± 0.15 | 6.57 ± 0.21 | 6.50 ± 0.10 | 6.43 ± 0.15 |
| | (6.20 – 6.50) | (6.40 – 6.70) | (6.40 – 6.80) | (6.40 – 6.60) | (6.30 – 6.60) |
| $BOD_5$ (mg/L) | 6.70 ± 0.00 | 5.83 ± 0.06 | 4.93 ± 0.06 | 5.23 ± 0.06 | 3.72 ± 0.20 |
| | (6.70 – 6.70) | (5.80 – 5.90) | (4.90 – 5.00) | (5.20 – 5.30) | (3.75 – 3.90) |
| Total ammonia (mg N/L) | 0.2137 ± 0.0090 | 0.0928 ± 0.0019 | 0.0153 ± 0.0041 | 0.0184 ± 0.0012 | 0.0166 ± 0.0006 |
| | (0.2042 – 0.2220) | (0.0910 – 0.0948) | (0.0106 – 0.0181) | (0.0173 – 0.0197) | (0.0159 – 0.0171) |
| Nitrite (mg N/L) | 0.0071 ± 0.0001 | 0.0053 ± 0.0005 | 0.0007 ± 0.0003 | 0.0009 ± 0.0001 | 0.0005 ± 0.0001 |
| | (0.0070 – 0.0072) | (0.0047 – 0.0057) | (0.0004 – 0.0009) | (0.0009 – 0.0010) | (0.0004 – 0.0005) |
| Nitrate (mg N/L) | 0.0046 ± 0.0004 | 0.0037 ± 0.0001 | 0.0002 ± 0.0001 | 0.0006 ± 0.0001 | 0.0003 ± 0.0001 |
| | (0.0042 – 0.0049) | (0.0036 – 0.0038) | (0.0002 – 0.0003) | (0.0005 – 0.0007) | (0.0002 – 0.0003) |
| Orthophosphate (mg P/L) | 0.0933 ± 0.0138 | 0.0525 ± 0.0022 | 0.0304 ± 0.0005 | 0.0256 ± 0.0040 | 0.0277 ± 0.0005 |
| | (0.0809 – 0.1082) | (0.0512 – 0.0551) | (0.0300 – 0.0309) | (0.0219 – 0.0298) | (0.0271 – 0.0281) |
| Total suspended solid (mg/L) | 64.67 ± 3.28 | 63.00 ± 2.60 | 38.58 ± 2.53 | 39.42 ± 5.55 | 44.67 ± 1.89 |
| | (61.00 – 67.33) | (60.00 – 64.50) | (37.00 – 41.50) | (33.25 – 44.00) | (42.50 – 46.00) |

### 1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

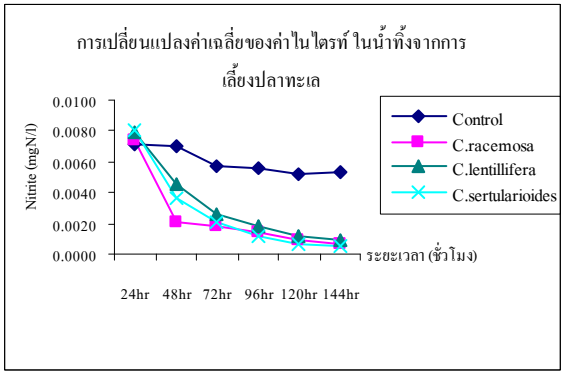
การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล ในระหว่างการบำบัดด้วยสาหร่ายทะเล *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides* ที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร และชุดควบคุม มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของน้ำทิ้งเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 6



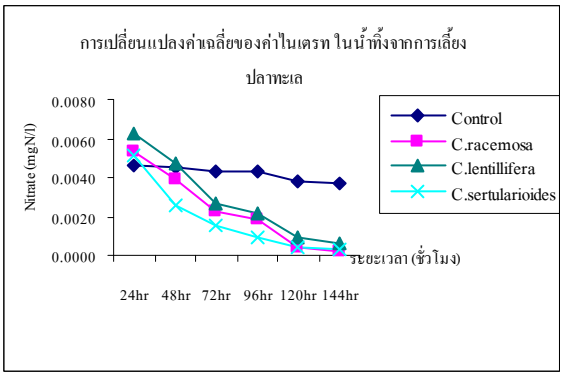

**ภาพที่ 6** การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่า Temperature (a), Salinity (b), pH (c), Alkalinity (d), DO (e), $BOD_5$ (f) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล



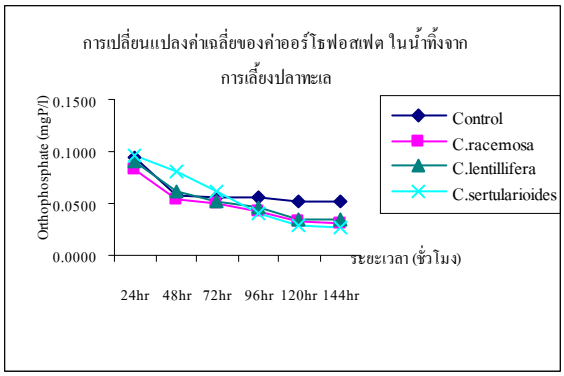

g



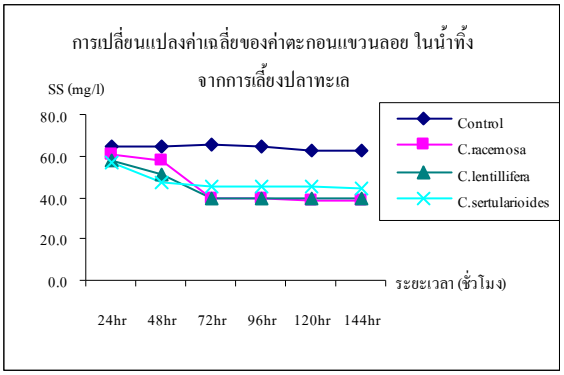

h




i




j




k

**ภาพที่ 6 (ต่อ)** การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่า Total ammonia (g), Nitrite (h), Nitrate (i), Orthophosphate (j) และ Total suspended solid (k) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

### 1.3 ประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp. ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเลในการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต $BOD_5$ และตะกอนแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลด้วยวิธี Least-Significant Different (LSD) ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า

- ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต และ ตะกอนแขวนลอย ในระยะเวลา 6 วัน ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)
- ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด $BOD_5$ ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

**ตารางที่ 2** ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) ประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp. ในการบำบัด แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต $BOD_5$ และตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

| ตัวแปรคุณภาพน้ำ | ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) ของสาหร่ายทะเล (%) | | |
|---|---|---|---|
| | *C. racemosa* var. *corynephora* | *C. lentillifera* | *C. sertularioides* |
| Total ammonia | $35.82^{a} \pm 3.12$ | $34.47^{a} \pm 0.84$ | $35.58^{a} \pm 0.70$ |
| | (33.31 – 39.32) | (33.54 – 35.16) | (35.00 – 36.36) |
| Nitrite | $65.27^{a} \pm 4.50$ | $62.94^{a} \pm 7.94$ | $68.99^{a} \pm 7.67$ |
| | (60.08 – 68.06) | (53.89 – 68.75) | (60.15 – 73.90) |
| Nitrate | $75.91^{a} \pm 7.92$ | $70.03^{a} \pm 5.67$ | $75.04^{a} \pm 7.14$ |
| | (68.38 – 84.17) | (64.28 – 75.60) | (67.70 – 81.97) |
| Orthophosphate | $32.83^{a} \pm 2.91$ | $36.73^{a} \pm 2.82$ | $36.38^{a} \pm 2.58$ |
| | (31.10 – 36.19) | (34.85 – 39.98) | (33.52 – 38.52) |
| $BOD_5$ | $13.41^{b} \pm 1.10$ | $9.34^{a} \pm 1.63$ | $32.15^{c} \pm 1.92$ |
| | (12.30 – 14.51) | (7.46 – 10.45) | (30.71 – 34.33) |
| Total suspended solid | $33.13^{a} \pm 7.56$ | $29.51^{a} \pm 10.19$ | $18.65^{a} \pm 3.15$ |
| | (25.99 – 41.05) | (21.64 – 41.03) | (15.10 – 21.09) |

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษยกกำลังในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

**2. อัตราการนำเข้าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides* ที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร**

การศึกษาอัตราการนำเข้าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต ของสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ในระยะเวลา 6 วัน ค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) อัตราการนำเข้าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides*

| ตัวแปรคุณภาพน้ำ | ค่าเฉลี่ยอัตราการนำเข้า ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) | | |
|---|---|---|---|
| | *C. racemosa* var. *corynephora* | *C. lentillifera* | *C. sertularioides* |
| Total ammonia | 0.0108 ± 0.0026 | 0.0109 ± 0.0019 | 0.0128 ± 0.0004 |
| (มก. $NH_3$-N/กรัม น้ำหนักสด/วัน) | (0.0079 – 0.0131) | (0.0089 – 0.0127) | (0.0124 – 0.0130) |
| Nitrite | 0.0008 ± 0.0000 | 0.0009 ± 0.0001 | 0.0010 ± 0.0001 |
| (มก. $NO_2$-N/กรัม น้ำหนักสด/วัน) | (0.0008 – 0.0008) | (0.0007 – 0.0009) | (0.0008 – 0.0010) |
| Nitrate | 0.0007 ± 0.0001 | 0.0008 ± 0.0001 | 0.0007 ± 0.0001 |
| (มก. $NO_3$-N/กรัม น้ำหนักสด/วัน) | (0.0006 – 0.0007) | (0.0007 – 0.0009) | (0.0006 – 0.0007) |
| Orthophosphate | 0.0059 ± 0.0004 | 0.0061 ± 0.0006 | 0.0068 ± 0.0009 |
| (มก. $PO_4$-P/กรัม น้ำหนักสด/วัน) | (0.0056 – 0.0064) | (0.0057 – 0.0067) | (0.0059 – 0.0077) |

**3. อัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides***

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล เป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของสาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* และสาหร่าย *C. lentillifera* สูงกว่าสาหร่าย *C. sertularioides* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) อัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายทะเล *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides*

| การเจริญเติบโต | ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด) อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย | | |
|---|---|---|---|
| | *C. racemosa* var. *corynephora* | *C. lentillifera* | *C. sertularioides* |
| น้ำหนักเริ่มต้น | 40.02 ± 0.25 | 40.04 ± 0.34 | 40.03 ± 0.10 |
| (กรัม) | (40.00 – 40.05) | (40.02 – 40.08) | (40.02 – 40.04) |
| น้ำหนักสุดท้าย | 65.94 ± 6.25 | 59.73 ± 1.90 | 51.01 ± 1.71 |
| (กรัม) | (59.12 – 71.39) | (57.76 – 61.55) | (49.92 – 52.98) |
| อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย | $4.32^{b}$ ± 1.03 | $3.28^{b}$ ± 0.31 | $1.83^{a}$ ± 0.29 |
| (กรัม/วัน) | (3.19 – 5.22) | (2.96 – 3.59) | (1.65 – 2.16) |

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ยกกำลังในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

## สรุปและวิจารณ์ผล

### 1. ประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp. ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

สาหร่ายทะเลในสกุล *Caulerpa* spp. ทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลให้ดีขึ้นได้ โดยเฉพาะในการบำบัดไนเตรท และไนไตรท์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการบำบัดแอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟต (ตารางที่ 2) โดยผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของสาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* มีค่าสูงสุดเท่ากับ 35.82 ± 3.12 % รองลงมาคือสาหร่าย *C. sertularioides* มีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 35.58 ± 0.70 % และสาหร่าย *C. lentillifera* มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ 34.47 ± 0.84 % เนื่องจากในการทดลองประสิทธิภาพของการลดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำ เช่น แอมโมเนีย และไนเตรทโดยใช้สาหร่ายนั้น พบว่าในระบบทดลองยังคงมีแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำ (สรวิศ, 2543) และส่วนหนึ่งของแบคทีเรียอาจติดมากับสาหร่าย ทำให้ค่าแอมโมเนียในชุดควบคุมลดลงอย่างรวดเร็ว (ตารางที่ 1 และภาพที่ 6g) จากรายงานการศึกษาโดยอลิสา (2543) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง การลดลงของแอมโมเนียจะเกิดจากการที่สาหร่ายนำเข้าไปในเซลล์เพียง 1 ใน 3 เท่านั้น ส่วนอีก 2 ใน 3 เป็นผลจากแบคทีเรียทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (nitrification) ที่เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรท ทำให้ได้ค่าตัวเลขสูงกว่าความเป็นจริงประมาณ 65 % ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าสาหร่ายทะเลในสกุล *Caulerpa* ทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียค่อนข้างต่ำ สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์ของสาหร่าย *C. sertularioides* มีค่าสูงสุดเท่ากับ 68.99 ± 7.67 % รองลงมาคือสาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* มีประสิทธิภาพในการบำบัด

เท่ากับ 65.27 ± 4.50 % และสาหร่าย *C. lentillifera* มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุด เท่ากับ 62.94 ± 7.94 % แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการที่สาหร่ายสามารถลดไนไตรท์ในน้ำทิ้งได้อาจเป็นผลจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่น จากการให้ออกซิเจนในปริมาณสูง (Krom *et al*., 1995) นอกจากนี้สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดสามารถนำเข้าไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ โดยสาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* มีค่าสูงสุดเท่ากับ 75.91 ± 7.92 % รองลงมาคือ *C. sertularioides* เท่ากับ 75.04 ± 7.14 % และสาหร่าย *C. lentillifera* มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ 70.03 ± 5.67 % แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีค่าค่อนข้างต่ำใกล้เคียงกับแอมโมเนีย โดยสาหร่าย *C. lentillifera* มีค่าสูงสุดเท่ากับ 36.73 ± 2.82 % รองลงมาคือสาหร่าย *C. sertularioides* มีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 36.38 ± 2.58 % และสาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุด เท่ากับ 32.83 ± 2.91 % แม้ว่าในรายงานวิจัยส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายทะเลมีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ดี (ศิริวรรณ, 2538; นิสราภรณ์, 2544; พุทธ และสำรอง, 2546; สันติ และคณะ, 2546; ธวัช และคณะ, 2548) แต่ในการใช้สาหร่ายทะเลบำบัดน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นต้องพิจารณาปริมาณความเข้มข้นของตัวแปรคุณภาพน้ำที่เราต้องการบำบัดด้วย เช่น แอมโมเนีย และไนเตรท เป็นต้น (Ellner *et al*., 1996 อ้างตาม พุทธ และสำรอง, 2546) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดสามารถบำบัดไนเตรทได้ดี เนื่องมาจากค่าความเข้มข้นไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลมีความเหมาะสมกับปริมาณความต้องการของสาหร่ายเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อให้นำเข้าธาตุอาหารจากน้ำนั้น แต่ในขณะเดียวกันสาหร่ายก็ยังผลิตออกซิเจนออกมาและจะถูกแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำนำไปใช้ในขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และปล่อยธาตุอาหารให้แก่สาหร่ายตามมาอีก (สมหมาย, 2539)

ประสิทธิภาพในการบำบัด $BOD_5$ ของสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิดค่อนข้างต่ำโดยประสิทธิภาพของสาหร่าย *C. sertularioides* มีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.15 ± 1.92 % รองลงมาคือ *C. racemosa* var. *corynephora* มีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 13.41 ± 1.10 % และสาหร่าย *C. lentillifera* มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ 9.34 ± 1.63 % (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของจามรี และพุทธ (2548) ที่พบว่าสาหร่ายพวงองุ่น (*C. lentillifera*) ไม่สามารถบำบัด $BOD_5$ ให้ต่ำลงได้อย่างชัดเจน ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดตะกอนแขวนลอยของ *C. racemosa* var. *corynephora* มีค่าสูงสุดเท่ากับ 33.13 ± 7.56 % รองลงมาคือ *C. lentillifera* มีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 29.51 ± 10.19 % และ *C. sertularioides* มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดเท่ากับ 18.65 ± 3.15 % (ตารางที่ 2) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ พุทธ และสำรอง (2546) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายผมนาง(*Gracilaria fisheri*) หอยแมลงภู่ และหอยนางรมในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล พบว่าในระบบบำบัดน้ำที่ใช้สาหร่ายเหมาะสมกับการบำบัดสารละลายไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งและจากการขับถ่ายของเสียของหอยสองฝา แต่ระบบไม่สามารถบำบัดสารอินทรีย์ เช่น $BOD_5$ ให้ดีขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการที่ระบบบำบัดน้ำด้วยสาหร่ายหรือ

พืชน้ำชนิดต่างๆ ลดตะกอนแขวนลอยได้ เนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากการที่สาหร่ายไปทำให้การไหลของน้ำลดลง และทำให้เกิดการตกตะกอนในระบบบำบัดซึ่งเป็นกระบวนการทางกายภาพ ดังนั้น Songsangjinda *et al.* (2001, อ้างตามพุทธ และสำรอง, 2546) ได้เสนอแนะว่าสามารถนำระบบบำบัดน้ำแบบโปรยกรอง (trickling filter) มาใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ และลดค่า $BOD_5$ จากการเลี้ยงกุ้งได้ดี

## 2. อัตราการนำเข้า แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต ของสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp. ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเล

ค่าเฉลี่ยอัตราการนำเข้าแอมโมเนียของสาหร่าย *Caulerpa* spp. ทั้ง 3 ชนิดสูงกว่าอัตราการนำเข้าไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในสาหร่ายสีเขียว *Ulva fenestrate* และสาหร่ายสีแดง *Gracilaria pacifica* ที่มีอัตราการนำเข้าแอมโมเนียสู่เซลล์สูงกว่าอัตราการนำเข้าไนเตรท (Naldi and Wheeler, 2002) เนื่องจากสาหร่ายสามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรงเพื่อนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีนเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (Cohen and Fong, 2004) โดยสามารถนำเข้าแอมโมเนียได้ดีในช่วงความเข้มแสงต่ำในขณะที่ไนเตรทถูกนำเข้าได้ดีในช่วงความเข้มแสงที่สูงกว่า เนื่องจากต้องได้รับพลังงานจากการสังเคราะห์แสงที่สูงขึ้นจาก ATP เพื่อเปลี่ยนรูปไนเตรทให้อยู่ในรูปแอมโมเนียก่อน (Corzo and Niell, 1992) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทส (nitrate reductase) ที่เปลี่ยนไนเตรทเป็นไนไตรท์ในเซลล์ของสาหร่ายถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ดีเมื่อความเข้มแสงสูงๆ (Huovinen *et al.,* 2007) นอกจากปัจจัยความเข้มแสงที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการนำเข้าไนเตรทสูงขึ้นแล้ว อัตราการนำเข้าไนเตรทยังขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายด้วย โดยสาหร่าย *C. lentillifera* มีอัตราการนำเข้าไนเตรทสู่เซลล์สูงสุดเท่ากับ 0.0175 มิลลิกรัม $NO_3$/กรัม น้ำหนักสด/ชั่วโมง (อลิสา, 2543) และในการศึกษาของประหยัด (2547) พบว่าสาหร่าย *C. lentillifera* นำเข้าไนเตรทสูงสุดที่ความเข้มข้น 2.50 มก.$NO_3$-N/ลิตร และสาหร่าย *Ulva rigida* เริ่มนำเข้าไนเตรทที่ 1.5-2 ชั่วโมงแรกไปใช้ประโยชน์แต่หลังจากนั้นการนำเข้าไนเตรทสู่เซลล์จะเกิดการสะสมในแวคิวโอล (vacuole) (Corzo and Niell, 1994) ส่วนการนำเข้าไนไตรท์ของสาหร่ายโดยทั่วไปอยู่ในระดับต่ำมากเนื่องจากไนไตรท์ไม่ใช่สารอาหารที่สาหร่ายนำเข้าไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงเหมือนไนเตรท และแอมโมเนีย แม้ว่าจะมีสาหร่ายบางชนิดที่ชอบสภาวะกรด เช่น *Cyanidium caldarium* สามารถนำเข้าไนไตรท์ได้บ้างแต่ก็อยู่ในระดับต่ำมาก (Fuggi, 1993) และสาหร่ายจะปล่อยไนไตรท์ที่สะสมในเซลล์ที่มากเกินไปออกมาให้อยู่ในระดับคงที่เพื่อหลีกเลี่ยงความเป็นพิษ (Fuggi, 1993; Corzo and Niell, 1994) ในส่วนของการนำเข้าฟอสเฟต พบว่าที่ความเข้มแสงต่ำสาหร่ายนำเข้าฟอสเฟตได้ดีกว่านำเข้าไนเตรท และแอมโมเนีย (ประหยัด, 2547) และกระบวนการนำเข้าฟอสเฟตเป็นแบบ active transport ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (Pedersen *et al*., 2004) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดสาหร่ายด้วย โดยสาหร่าย *C. lentillifera* นำเข้าฟอสเฟตสูงสุดที่ความเข้มข้น 10.0 มก.$PO_4$-P/ลิตร (ประหยัด, 2547)

**3. การเจริญเติบโตของสาหร่าย**

อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* สาหร่าย *C. lentillifera* และสาหร่าย *C. sertularioides* ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลเท่ากับ 4.32 ± 1.03 กรัม/วัน, 3.28 ± 0.31 กรัม/วัน และ 1.83 ± 0.29 กรัม/วัน (ตารางที่ 4) แสดงให้เห็นว่าในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลมีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยสอดคล้องกับการศึกษาของนิสราภรณ์ (2544) ที่พบว่าสาหร่าย *C. lentillifera* ที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสโดยใช้น้ำทะเลผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาทะเลเจริญเติบโตดีกว่าที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติ โดยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม และแมกนีเซียมโดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การควบคุมทางชีวเคมี การสืบพันธุ์ และการพัฒนารูปร่างของสาหร่าย (Lobban and Harrison, 1994) โดยไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) (Buggeln, 1974; Yopinka and Robbins, 1976 อ้างโดย O'Neal and Prince, 1988) แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเล แต่ไม่ได้เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเลทุกชนิด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลจากปัจจัยความเข้มแสง อุณหภูมิ สารอาหาร และความเค็มในแต่ละฤดูกาลต่อสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Caulerpa paspaloides* ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว พบว่ามีเพียงความเข้มแสงเท่านั้นที่เป็นปัจจัยจำกัด ในขณะที่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่ได้เป็นปัจจัยจำกัดต่อสาหร่ายดังกล่าว (O'Neal and Prince, 1988) สำหรับในการศึกษาครั้งนี้พบว่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง 3,930-20,000 ลักซ์ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa* ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในสาหร่าย *C. lentillifera* พบว่ามีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ความเข้มแสงเพียงประมาณ 15,000-20,000 ลักซ์ (อลิสา, 2543) แม้ว่าจะได้รับแสงเต็มที่ในตอนกลางวันประมาณ 100,000 ลักซ์ ก็ไม่ได้ส่งผลให้สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกัน การที่ปล่อยสาหร่ายไว้ในบ่อที่ได้รับแสงโดยตรงจะทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนขึ้นจนบางครั้งเกิดการแยกชั้นน้ำของอุณหภูมิ ทำให้สาหร่ายตายได้ (สรวิศ, 2543)

ดังนั้นจากการศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล *Caulerpa* spp. 3 ชนิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทะเลในครั้งนี้ พบว่าสาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora*, *C. lentillifera* และ *C. sertularioides* มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอนินทรีย์ในน้ำทิ้ง คือไนเตรทได้ดีกว่าแอมโมเนียและออร์โธฟอสเฟต เนื่องจากเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Lobban and Harrison, 1994) ในขณะที่การลดลงของไนไตรท์ในระบบบำบัดเป็นผลเนื่องจากไนไตรท์สามารถเปลี่ยนรูปมาเป็นไนเตรทที่เป็นธาตุอาหารของสาหร่ายได้อย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนทำให้ค่าไนไตรท์ในระบบบำบัดมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้สาหร่ายยังสามารถลดค่า $BOD_5$ และตะกอนแขวนลอยได้ บางส่วนทำให้สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อ

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง แต่หากคำนึงถึงผลพลอยได้อื่นๆ เช่นการนำสาหร่ายไปประกอบอาหารบริโภคในครัวเรือนหรือเพื่อจำหน่ายจึงควรเลือกใช้สาหร่าย *C. racemosa* var. *corynephora* และสาหร่าย *C. lentillifera* มากกว่าสาหร่าย *C. sertularioides*

อย่างไรก็ตาม พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งในบ่อเลี้ยงปลาทะเลยังไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) จึงควรนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเล และหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ในระบบการเลี้ยงปลาทะเลหรือเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งอื่นๆ

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณอดุลย์ แมเร๊าะ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสตูล ที่ได้ให้คำแนะนำ เสนอแนะ และตรวจแก้ไขงานวิจัยเล่มนี้จนสำเร็จ และขอบคุณ คุณสุวิมล บุญรักษ์ คุณปิยวรรณ แก้วใหญ่ คุณศิริมา บุญส่ง และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

## เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2544. การจัดการและแก้ไขปัญหาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 14 หน้า.

จามรี รักษ์บางแหลม และพุทธ ส่องแสงจินดา. 2548. ประสิทธิภาพของบ่อบำบัดน้ำหมุนเวียนในฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบสมดุลนิเวศ. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 9/2548, สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง. 14 หน้า.

ธวัช ศรีวีระชัย, สุวรรณา วรสิงห์ และสุริยะ แพงดี. 2548. ประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen ในการบำบัดคุณภาพน้ำทะเลและน้ำทิ้งจากโรงอนุบาลสัตว์น้ำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 18/2548, ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง. 16 หน้า.

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์. 2544. การเจริญเติบโตและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น, *Caulerpa lentillifer* J. Agardh. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 110 หน้า.

ประหยัด มะหมัด. 2547. การใช้สาหร่ายทะเลบำบัดคุณภาพน้ำในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี. 76 หน้า.

พุทธ ส่องแสงจินดา และสำรอง อินเอก. 2546. ประสิทธิภาพของหอยนางรม (*Crassostrea lugubris*) หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้ง

จากบ่อเลี้ยงกุ้ง. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 6/2546, สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง. 15 หน้า.

รัชฎา ขาวหนูนา และสรรเสริญ ช่อเจี้ยง. 2548. การเลี้ยงปูทะเล (*Scylla* sp.) เพศเมียไข่แก่ให้มีไข่แก่ติดหน้าท้องด้วยระบบหมุนเวียนน้ำบำบัดชีวภาพและเปลี่ยนน้ำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 39/2548, ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง. 28 หน้า.

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ. 2538. การใช้สาหร่ายทะเลช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ. 90 หน้า.

สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2539. เอกสารคำสอน วิชา 530-441 การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาวาริชศาสตร์, คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 157 หน้า.

สรวิศ เผ่าทองศุข. 2543. สาหร่าย : ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 355 หน้า.

สันติ ปริยะวาที, พุทธ ส่องแสงจินดา, สถาพร ดิเรกบุษราคัม, ปิติวงษ์ ตันติโชดก และสมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2546. ประสิทธิภาพของสาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifera* J. Agardh ที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สำนักเทคโนโลยีการเกษตร,มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. 16 หน้า.

อลิสา โชควิวัฒนวนิช. 2543. ประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่ายหนาม *Acanthophora spicifera* ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 136 หน้า.

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation ( APHA, AWWA and WPCF). 1980. Standard method for the examination of water and wastewater. 15th ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 1134 pp.

Cohen, R. A. and P. Fong. 2004. Nitrogen uptake and assimilation in *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link (Chlorophyta): using $^{15}N$ to determine preference during simultaneous pulses of nitrate and ammonium. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. 309: 67-77.

Corzo, A. and F. X. Niell. 1992. Inorganic nitrogen metabolism in *Ulva rigida* illuminated with blue light. *Mar. Biol.* 112: 223-228.

Corzo, A. and F. X. Niell. 1994. Nitrate reductase activity and in vivo nitrate-reduction rate in *Ulva rigida* illuminated by blue light. *Mar. Biol.* 120: 17-23.

Fuggi, A. 1993. Uptake and assimilation of nitrite in the acidophilic red alga *Cyanidium caldarium* Geitler. *New Phytol.* 125: 351-360.

Huovinen, P., I. Gomez and Orostegui. 2007. Patterns and UV sentivity of carbon anhydrase and nitrate reductase activities in south Pacific macroalgae. *Mar. Biol.* 151: 1813-1821.

Krom, M. D., S. Ellner, J. van Rijn and A. Neori. 1995. Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype "non-polluting" integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Mar. Ecol. Prog. Ser*. 118: 25-36.

Lobban, C. S. and P. J. Harrison. 1994. Seaweeds Ecology and Physiology. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 366 pp.

Naldi, M. and P. Wheeler. 2002. $^{15}N$ measurements of ammonium and nitrate uptake by *Ulva fenestrat*e (Chlorophyta) and *Gracilaria pacifica* (Rhodophyta): comparison of net nutrient disappearance, release of ammonium and nitrate, and $^{15}N$ accumulation in algal tissue. *J. Phycol*. 38: 135-144.

O'Neal, S. W. and J. S. Prince. 1988. Seasonal effects of light, temperature, nutrient concentration and salinity on the physiology and growth of *Caulerpa paspaloides* (Chlorophyceae). *Mar. Biol*. 97: 17-24.

Pedersen, A., G. Kraemer and C. Yarish. 2004. The effect of temperature and nutrient concentrations on nitrate and phosphate uptake in different species of *Porphyra* from Long Island Sound (USA). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. 312: 235-252.

Sasaki, K. and Y. Sawada. 1980. Determination of ammonia in estuary. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries* 46: 319-321.

Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167 ($2^{nd}$ Ed.), Ottawa. 310 pp.

## ภาคผนวก

**ตารางภาคผนวกที่ 1** ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ

| พารามิเตอร์ | หน่วย | เกณฑ์กำหนดสูงสุด | วิธีวิเคราะห์ |
|---|---|---|---|
| 1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 6.9-9.0 | เครื่อง pH-meter แบบ electrometric |
| 2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) | มก./ล. | 20 | วิธี azide modification ที่ $20^0$C/5 วัน โดยใช้ synthetic seawater |
| 3. สารแขวนลอย (Suspended solids) | มก./ล. | 70 | กรองผ่านแผ่นกรองใยแก้วขนาดตากรอง 1.2 ไมโครเมตร |
| 4. แอมโมเนีย ($NH_3$-N) | มก. ไนโตรเจน/ล. | 1.1 | วิธี modified idophenol blue |
| 5. ฟอสฟอรัสรวม ( Total Phosphorus) | มก. ฟอสฟอรัส/ล. | 0.4 | วิธี ascorbic acid |
| 6. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) | มก./ล. | 0.01 | วิธี methylene blue |
| 7. ไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen) คือ ผลรวมของ | มก. ไนโตรเจน/ล. | 4.0 | |
| ก) ไนโตรเจนละลายน้ำ (Total dissolved nitrogen) | | | ก) วิธี persulfate digestion |
| ข) ไนโตรเจนแขวนลอย (Particulate nitrogen) | | | ข) ตะกอนแขวนลอยบนแผ่นกรองใยแก้วขนาดตากรอง 0.7 ไมโครเมตร และวิเคราะห์ด้วย nitrogen analyzer |

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2544)