

# 龙须菜在滩涂贝藻混养系统中的生态作用模拟研究

孙伟<sup>1,2</sup>, 张涛<sup>1</sup>, 杨红生<sup>1</sup>, 刘保忠<sup>1</sup>, 周毅<sup>1</sup>, 刘鹰<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 2005年5~7月, 在室内采用实验生态学方法对壳长为48.35 mm ± 4.27 mm 文蛤 (*Meretrix meretrix* Linnaeus) 成贝和龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis* Weber van Bosse) 的4种配比(生物量配比为0: 1, 1: 1, 2: 1, 4: 1)进行了混养实验, 每周测定养殖水体中营养盐变化情况以及文蛤、龙须菜的存活和生长情况等。实验表明, 加入了大型藻类的文蛤养殖系统, 相对于空白对照组, 其氨氮、亚硝氮和磷酸盐浓度显著降低,  $\text{NH}_4\text{-N}$  从5.52  $\mu\text{mol/L}$  降至1.30  $\mu\text{mol/L}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$  从0.31  $\mu\text{mol/L}$  降至0.06  $\mu\text{mol/L}$ , 而  $\text{PO}_4\text{-P}$  从0.48  $\mu\text{mol/L}$  降至0.006  $\mu\text{mol/L}$ 。实验结束后, 文蛤及龙须菜生长情况良好, 文蛤特定生长率最高达到了0.84%, 龙须菜最高则达到了1.79%。本实验条件下, 在文蛤成贝养殖系统中加入大型藻类, 对养殖水体中的  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  有明显的吸收效果, 吸收率分别为86%、98%和99%, 起到了良好的生态作用。

**关键词:** 文蛤 (*Meretrix meretrix* Linnaeus); 龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis* Weber van Bosse); 混养; 生态作用

中图分类号: S968.3, S968.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2006)12-0072-05

我国有广阔的滩涂, 适合发展滩涂贝类养殖<sup>[1]</sup>, 2003年滩涂贝类产量达509万t<sup>[2]</sup>。滩涂贝类具有转移营养盐和抑制水体中的浮游生物的作用, 同时其具有的生物扰动作用可以净化沉积物, 对海湾起到良好的生态调节作用<sup>[3]</sup>。但当养殖密度增加到超过其最大限度时, 贝类的摄食、排泄和排粪作用, 导致养殖环境的恶化, 病原滋生, 甚至影响滩涂的生态环境。目前, 采用混养大型藻类吸收利用营养物质是较好的生态方法, 国内外已有相关报道介绍了利用大型海藻吸收水中营养物质来降低水体富营养化的实验<sup>[4,5]</sup>。但滩涂贝类养殖系统中混养大型藻类的生态效应研究报道较少<sup>[6]</sup>, 龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 是温带性大型藻类, 在我国产于北方沿海, 以山东沿海分布较多。它的生长适宜水温是11~22℃, 而人工选育的龙须菜生长适宜水温为14~26℃, 在5~30℃的范围内均可生长, 具有良好的生态习性。作者采用龙须菜以降低文蛤 (*Meretrix meretrix*) 养殖水体中的营养物质, 起到了良好的清洁生产的效果, 为今后建立滩涂贝类与大型藻类生态养殖模式提供了科学依据。

## 1 材料与 方法

### 1.1 养殖系统

由12个直径1.45 m、深1.5 m的玻璃钢养殖系统组成, 水深为1.2 m, 体积约为1.98 m<sup>3</sup>。

### 1.2 养殖生物

实验采用的龙须菜是从福建莆田移到山东荣成养成, 而后在青岛胶南市保苗的苗种。实验用文蛤来自山东东营海区, 随机选取的文蛤平均壳长为48.35 mm ± 4.27 mm, 实验前驯养7 d, 龙须菜实验前在同一个实验池中暂养14 d, 实验海水取自中国科学院海洋研究所水族楼, 实验生物的放养情况见表1。其中设为3个梯度, 每个梯度3个平行, 同时设定3个养殖同等密度文蛤的对照组。4组文蛤湿质量和软体部湿质量经过SPSS统计分析, 以 $P < 0.05$ 为差异显著, 结果为各组之间差异不显著。其中软体部湿质量平均为80.61 g/m<sup>3</sup> ± 28.21 g/m<sup>3</sup>。

收稿日期: 2005-12-26; 修回日期: 2006-04-12

基金项目: 国家“863”计划资助项目(D26032411a)

作者简介: 孙伟(1981-), 男, 安徽巢湖人, 硕士研究生, 研究方向: 养殖生态学; 杨红生, 通讯作者, 研究员, E-mail: hshyang@ms.qdio.ac.cn

表 1 实验设计

Tab. 1 Experimental design

组别	龙须菜		文蛤	
	数量(串)	生物量(g/m <sup>3</sup> )	数量(只)	生物量(g/m <sup>3</sup> )
00	0	0	47	816.47±55.92 <sup>a</sup>
01	2	106.50±3.37	47	869.04±4.66 <sup>a</sup>
02	4	215.12±5.97	47	868.62±52.24 <sup>a</sup>
03	6	323.10±5.87	47	879.28±10.54 <sup>a</sup>

注: a 表示差异显著

### 1.3 取样和测定

日常观测项目主要有水温、光照、盐度和 pH 值。观测时间为每天上午 9:00~9:30。每周取水样检测营养盐(NH<sub>4</sub><sup>-</sup> N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> N、PO<sub>4</sub><sup>-</sup> P)。养殖生物的生长情况分别在实验初期和结束时测定。养殖生物的生长指标采用下列公式计算:

$$R_{SC}(\%) = 100[\ln(N_t/N_0)]/t^{[7]}$$

式中, R<sub>SC</sub> 为特定生长率(%); N<sub>0</sub> 为初始干质量(g); N<sub>t</sub> 为 t 时间后的干质量(g); t 为时间(d)。

### 1.4 实验管理

实验时间为 2005 年 5 月 17 日至 7 月 18 日, 每天上午 9 时投喂饵料。饵料为小球藻, 每天投喂 9×10<sup>6</sup> 个/mL 饵料 5 L。各养殖系统投喂量相同, 同时检查文蛤的活动情况。实验期间各养殖系统均采用充气泵 24 h 不间断充气, 不换水。

## 2 结果

实验期间水温变化范围为 17.8~26.6℃, 盐度为 30.7~32.0, 光照强度阴天为 9.0×10<sup>3</sup>~35.2×10<sup>3</sup> lx, 晴天为 2.0×10<sup>4</sup>~5.2×10<sup>4</sup> lx。

### 2.1 养殖生物的生长情况

#### 2.1.1 文蛤生长

实验结束时文蛤的壳长、软体部湿质量和干质

量都较混养前有一定的增加(表 2)。总体来看, 各养殖系统的生长速度差别较大。其中加入龙须菜混养的 01、02 和 03 组养殖系统中, 文蛤的软体部干质量增长量较空白对照组 00 组高, 分别达到了 0.46、0.24 和 0.60 g, 同时具有较高的成活率。其中 01 组增加幅度较其他 3 组增加多。将 01、02 和 03 组的文蛤成活率进行比较, 分别达到了 95%、93% 和 99.29%, 比空白对照组提高了 23%~28%。

#### 2.1.2 龙须菜生长

在 01、02 和 03 组的养殖系统中, 初始每串龙须菜的湿质量平均为 107.45 g±5.45 g, 采用 10 串龙须菜测定其干质量并推算整个养殖水体中所有的龙须菜每串的平均干质量为 18.55 g±6.52 g, 含水率约为 84%; 实验结束时, 每串龙须菜平均湿质量为 228.14 g±42.22 g, 平均干质量为 32.53 g±9.11 g, 含水率约为 86%。

在这 3 种养殖系统中, 龙须菜具有较高的生长速度, 特定生长率均值为 1.57%, 其中 02 组, 即加入 4 串藻的养殖系统最高, 达到 1.79%。实验期间正处于春末夏初, 水温、光照等环境条件都有利于龙须菜的生长, 可以大量吸收营养盐, 藻体颜色由浅转深, 环境营养盐的浓度则降低。

表 2 文蛤和龙须菜生长情况

Tab. 2 Growth rates of *M. meretrix* and *G. lemaneiformis*

组别	文蛤			龙须菜	
	增长量(g)	特定生长率(%)	存活率(%)	增长量(g)	特定生长率(%)
00	0.39	0.59	77	—	—
01	0.46	0.68	95	127.04	1.60
02	0.24	0.38	93	151.43	1.79
03	0.60	0.84	99	98.08	1.32

## 2.2 营养盐变化

### 2.2.1 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的变动

实验前 2 周所有养殖系统的  $\text{NH}_4\text{-N}$  浓度随时间推移而下降(图 1), 当下降到  $2.67 \mu\text{mol/L}$  后开始上升, 至  $3.57 \mu\text{mol/L}$  时, 然后下降。从第 3 周开始, 00 组的  $\text{NH}_4\text{-N}$  浓度开始上升直至第 7 周达到最高值  $9.16 \mu\text{mol/L}$ , 而 01、02 和 03 组的养殖系统水体中的  $\text{NH}_4\text{-N}$  浓度则开始下降, 降至第 6 周的最低值  $1.30 \mu\text{mol/L}$  后开始上升。从图中可以看出空白对照组和加藻组的  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量变化趋势并不一致。相对于空白对照组, 养殖系统中加入了龙须菜  $\text{NH}_4\text{-N}$  最高吸收可达 86%。

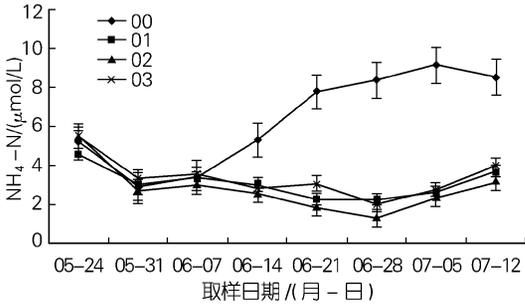


图 1 养殖系统氨氮浓度比较

Fig. 1 Comparison of  $\text{NH}_4\text{-N}$  concentration in polyculture system

### 2.2.2 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的变动

各养殖系统的  $\text{NO}_2\text{-N}$  浓度变化差异较大(图 2),  $\text{NO}_2\text{-N}$  浓度从实验开始的第一周即开始上升, 其中 00 组的  $\text{NO}_2\text{-N}$  浓度上升到第三周的最高值  $1.54 \mu\text{mol/L}$  后, 变化较为平缓。而 01、02 和 03 组的养殖系统水体中  $\text{NO}_2\text{-N}$  浓度均呈下降趋势, 直至下降至第五周的最小值  $0.03 \mu\text{mol/L}$  后, 变化处于平缓的趋势。加入龙须菜  $\text{NO}_2\text{-N}$  最高吸收可达 98%。

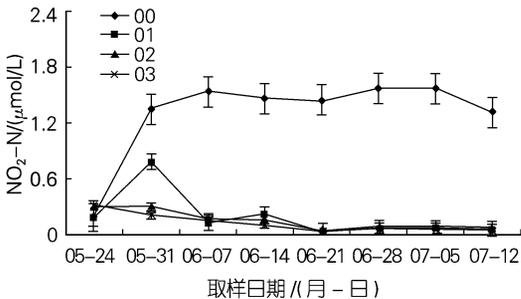


图 2 养殖系统亚硝氮浓度比较

Fig. 2 Comparison of  $\text{NO}_2\text{-N}$  concentration in polyculture system

### 2.2.3 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的变动

养殖水体中  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度的变化趋势和  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$  浓度的变化趋势类似(图 3), 但与之不同的是 00 组养殖水体中  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度是呈下降趋势的, 当下降到浓度为  $0.22 \mu\text{mol/L}$  后呈缓慢上升趋势; 尽管 00 组养殖水体中  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度呈下降趋势, 但浓度仍然显著高于 01、02 和 03 组养殖系统水体中的  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度。01、02 和 03 组养殖系统的  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度同期也呈下降趋势, 其养殖系统中  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度从第一周的  $0.48 \mu\text{mol/L}$  开始下降, 到第二周的最小值  $0.17 \mu\text{mol/L}$  后再次上升之后缓慢下降。加入龙须菜  $\text{PO}_4\text{-P}$  最高吸收可达到 99%, 说明两周后藻类生物修复的作用出现, 开始吸收贝类排泄的营养盐。

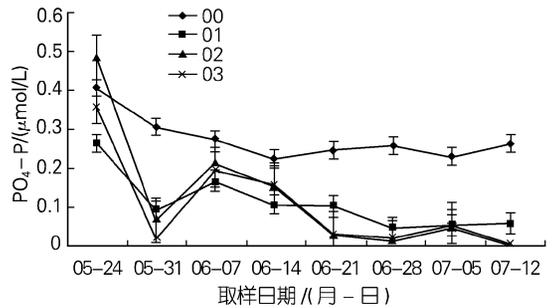


图 3 养殖系统磷酸盐浓度的比较

Fig. 3 Comparison of  $\text{PO}_4\text{-P}$  concentration in polyculture system

## 3 讨论

### 3.1 龙须菜对水体中氨氮和无机磷的去除作用

实验表明, 龙须菜能显著降低养殖水体营养盐含量, 从而改善养殖生物的栖息环境。由于贝类养殖产生的排泄废物加速水体富营养化, 而大型藻类是自养型生物, 可以吸收水体中无机营养盐, 转化为有机体, 两者在生态功能上可以构成复合式养殖系统。龙须菜进行光合作用产生氧气, 吸收水体中的无机营养盐、提高水体 pH 值, 使得文蛤养殖系统因贝体代谢造成的营养负荷, 可以通过龙须菜的吸收得到缓解<sup>[8]</sup>, 使生态系统中的物流和能流更趋合理。因此, 尽管本实验期间没有换水, 加入大型藻类的养殖系统仍能保持良好的水质, 龙须菜对氨氮和亚硝氮的吸收高达 86%~98%, 对无机磷的吸收可达 99%, 养殖生物的生长情况良好。而空白对照组后期的养殖水体氨氮和亚硝氮含量迅速上升, 养殖生物成活率低。岳维忠等人<sup>[9]</sup>的结果显示, 在鱼藻混养实验中由于鱼类的

排泄及部分残饵的分解, 水体中  $\text{NH}_4\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$  的浓度不断上升, 分别达到 4.5 mg/L 和 2.0 mg/L 左右, 而加入大型藻类 2d 后  $\text{NH}_4\text{-N}$  浓度下降到 1.7 mg/L,  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度下降到 0.7 mg/L, 和加藻前相比分别下降了 62.2% 和 65%。Neori 等<sup>[10]</sup> 的研究也证明在不同的营养盐浓度下, 大型藻类石莼作为生物过滤器处理精养鱼塘排出废水, 石莼对氨氮的去除率为 40%~90%。

### 3.2 养殖生物之间的合理配置

对于特定的养殖生态系, 其养殖容量是一定的, 选择合适的养殖种类和合理的养殖密度很重要。胡海燕等<sup>[7]</sup> 认为在鱼藻混养系统中, 当养殖密度比过低时, 叶绿素 a、颗粒有机碳、颗粒氮以及氨氮和磷酸盐的含量较高, 而养殖密度比过高时, 藻类吸收过多的营养盐, 不利于鱼类的生长。因此认为在其实验条件下, 鱼藻混养密度为 1:1 时效果较为合理。

本实验水质分析结果表明, 不同养殖密度之间水质差异不显著, 01、02 和 03 组养殖系统的氨氮和亚硝氮含量均较低。但从文蛤和龙须菜的生长情况来看, 01 组养殖系统的文蛤软体部干质量增长及成活率较 02 和 03 组高, 而龙须菜的增长量尽管低于 02 组养殖系统, 但是浮游植物高于其他养殖系统, 这可能与养殖后期龙须菜的生长缓慢和藻体组织含氮量增加有关, 外界营养盐浓度低, 不适合大型藻类的生长。综合评价, 01 组养殖系统的放养密度较为合适, 即当养殖密度按照 1:1 (龙须菜湿质量: 软体部湿质量) 放养比较合理, 与胡海燕等人结论一致。

### 3.3 无机磷浓度较低的原因及其对大型藻类的限制作用

研究表明, 一般养殖水环境中无机氮变化范围为 0.35~8.16  $\mu\text{mol/L}$ , 无机磷变化范围是 0.40~1.71  $\mu\text{mol/L}$ <sup>[11]</sup>。单位体积营养盐丰富的水体, 藻类通常具有较高的吸收率, 相反可能有较低的吸收率<sup>[12]</sup>。空白对照组中无机氮呈富营养水平, 而无机磷始终处于贫营养水平, 可能是其中初级生产力的限制性因素。尤其在空白对照组系统中, N/P 比高达 23~41, 远远超出浮游植物所需的 N、P 平衡比例, 成为初级生产力的限制性因子。养殖系统中缺 P 的原因可能是: 养殖过程中只投饵, 没有添加营养盐; 养殖系统中的海水本体中含有丰富的 N, 而 P 不足; 无机磷 (IP) 和无机氮 (IN) 的移出速率和停留时间不同, 在水体中 P 周转速度快, 停留时间比 N 短; P 沉积严重, 据估计, 大约有 60% 以上的 P 沉积于底质中而损失。缺少 P 会限制浮游植物初级生产力, 造成

细胞老化和死亡、有害物质增多、水质恶化、溶氧不足和大量 N 积累, 威胁养殖生物的生存。如果添加 P, 则 N、P 平衡恢复, 在促进藻类生长的同时也可以解决水质污染问题<sup>[13]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 王如才, 王昭萍, 张建中. 海水贝类养殖学[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1993. 322-324.
- [2] 王玉堂. 我国水产养殖业的发展前景研究[J]. 中国水产, 2004, 9(专刊): 13-22.
- [3] 杜永芬, 张志南. 菲律宾蛤仔的生物扰动对沉积物颗粒垂直分布的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(6): 988-992.
- [4] Ryther J H, Goldman J C, Gifford C F, et al. Physical models of integrated waste recycling-marine polyculture systems[J]. *Aquaculture*, 1975, 5: 163-177.
- [5] Troell M, Halling C, Nillsen A. Integrated open sea cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariaceae, Rhodophyta) and salmonids for reduced environmental impact and increased economic output[J]. *Aquaculture*, 1997, 156: 45-61.
- [6] Yang H S, Zhou Y, Mao Y Z, et al. Growth character and photosynthetic capacity of *Gracilaria lemaneiformis* as a biofilter in a shellfish farming area in Sanggou Bay, China[J]. *J Applied Phycology*, 2005, 17(3): 199-206.
- [7] 胡海燕, 卢继武, 周毅, 等. 龙须菜在鱼藻混养系统中的生态功能[A]. 中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊[C]. 第 45 卷. 2003. 169-175.
- [8] 毛玉泽, 杨红生, 王如才. 大型藻类在综合水产养殖系统中的生物修复作用[J]. 中国水产科学, 2005, 12(2): 225-231.
- [9] 岳维忠, 黄小平, 黄良民, 等. 大型藻类净化水体的初步研究[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(1): 13-15.
- [10] Neori A, Cohen I, Gordin H. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. II. Growth rate, yield and C:N ratio[J]. *Bio Mar*, 1991, 34: 483-489.
- [11] 孙耀, 宋云利. 虾塘养殖水环境中氮磷营养盐的存在特征与行为[J]. 水产学报, 1998, 22(2): 117-123.
- [12] Buschmann A H, Mora M. *Gracilaria chilensis* outdoor tank cultivation in Chile: use of land-based salmon culture effluents[J]. *Aqua Eng*, 1994, 13: 283-300.
- [13] 靳翠丽, 王吉桥, 庞璞敏, 等. 井盐池塘中国对虾与尼罗罗非鱼混养的研究[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(4): 280-286.

# Ecological function of *Gracilaria lemaneiformis* in polyculture system with *Meretrix meretrix*

SUN Wei<sup>1,2</sup>, ZHANG Tao<sup>1</sup>, YANG Hong-sheng<sup>1</sup>, LIU Bao-zhong<sup>1</sup>, ZHOU Yi<sup>1</sup>, LIU Ying<sup>1</sup>  
(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Dec. , 26, 2005

Key words: *Meretrix meretrix* Linnaeus; *Gracilaria lemaneiformis* Weber van Bosse; Ecological function; polyculture

**Abstract:** To evaluate the mutually beneficial mechanism of macroalgae and filter-feeding bivalve, the simulated polyculture study was conducted during May to July in 2005. Polyculture systems of *Gracilaria lemaneiformis* and *Meretrix meretrix* were divided into 4 groups, and culture ratios were 0: 1, 1: 1, 2: 1, and 4: 1 respectively. The environmental parameters, variations of nutrients, survival rate and growth rate of clam and seaweed were detected every 7 days. The results showed that the nutrition of experimental groups decreased significantly compared with the control group. The concentration of the  $\text{NH}_4\text{-N}$  decreased from 5.52  $\mu\text{mol/L}$  to 1.30  $\mu\text{mol/L}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$  from 0.31  $\mu\text{mol/L}$  to 0.06  $\mu\text{mol/L}$ , and the  $\text{PO}_4\text{-P}$  from 0.48  $\mu\text{mol/L}$  to 0.006  $\mu\text{mol/L}$ . The length and weight of the clam and seaweed were measured at begin and the end of experiment. The special growth rate (SGR) of *M. meretrix* was 0.84%, and the SGR of *G. lemaneiformis* was 1.79%, it showed that the living conditions of the clam and seaweed were better than ever before. The results, suggested that *G. lemaneiformis* could absorb the excremental nutrients ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ) from the co-culture group obviously, the ratios were 86%, 98% and 99% respectively. Thereby, the polyculture pattern is reasonable and has a good ecological function.

( 本文编辑: 张培新)