

# 贝藻混养生态系统模拟实验研究

郑 辉, 李志伟

(河北农业大学 海洋学院, 河北 秦皇岛 066003)

**摘要:** 2013年4~6月,在室内采用实验生态学的方法进行了海湾扇贝(*Argopecten irradians*)和孔石莼(*Ulva pertusavar*)4种配比模式的混养实验。各实验组扇贝密度均为48只/m<sup>3</sup>,孔石莼密度分别为55、121、255和338g/m<sup>3</sup>。每周采样测定水体中营养盐(NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P)的含量及养殖生物的生长情况。扇贝与孔石莼的混养实验结果表明,在养殖系统中引入孔石莼可以改善养殖环境,扇贝和孔石莼的适宜混合比例为1:1(贝肉湿质量:藻类湿质量)能取得较好的生态效应。

**关键词:** 贝藻混养; 海湾扇贝(*Argopecten irradians*); 孔石莼(*Ulva pertusavar*)

中图分类号: S968.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)10-0052-04  
doi: 10.11759/hyxx20140427001

近年来,随着我国海水养殖规模的不断扩大,养殖区自身的污染问题也日趋严重。一方面海水养殖需要清洁的、未污染的水源来维持其大规模的养殖生产,而另一方面,海水养殖因养殖废水排放成为一个对近岸生态环境产生影响的污染源<sup>[1]</sup>。养殖废水中不仅含有大量的营养物质,还含有一些残留的化学药物,这些废水排放到海区,除污染海区水环境外,还会使水中的病原体产生抗药性,同时会杀死水中有益菌,造成邻近海域生态环境失调<sup>[2]</sup>。因此如何减轻海水养殖造成的自身污染和对生态环境的破坏,已成为海洋环境保护和养殖业自身发展急需解决的问题。国内外专家学者已提出解决这一问题的多种途径。其中一条重要途径是通过优化养殖结构,实施科学养殖,发展综合生态养殖技术<sup>[3]</sup>。这些技术包括使水产养殖废物产出最小化和清洁生物的养殖<sup>[4-5]</sup>。清洁生物主要包括滤食性贝类、浮游植物和大型藻类等,它们可以去除养殖废水中的氮、磷等营养物质,并转化成有价值的产品<sup>[6]</sup>。

海带、石莼、龙须菜等大型海藻作为清洁生物在水产养殖中的应用近年来得到迅速发展。大型海藻在生长的过程中能吸收水产养殖生物释放到水体中多余的营养盐,这些营养物质通过被大型海藻吸收而去除,同时大型海藻还可以作为饲料、有机肥料,是具有较高经济价值的商品。

作者进行了海湾扇贝和孔石莼混养的模拟实验,并根据海湾扇贝和孔石莼的生长情况、营养需要和净化效果等综合指标,初步确定海湾扇贝和孔石莼的最佳养殖配比,为今后应用大型海藻改善养殖区

环境,建立贝藻混养综合生态养殖模式提供了科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

海湾扇贝(*Argopecten irradians*)取自本校海洋学院育苗室,体质量(25.8±1.6)g,体长(5.1±0.5)cm,试验前驯养7d。孔石莼(*Ulva pertusavar*)取自秦皇岛沿海养殖区海边,试验前在同一个养殖箱中暂养14d。试验用水取自海洋学院育苗室蓄水池。

### 1.2 试验设计

试验于2013年4月23日至6月11日,共进行了7周的模拟混养试验。试验共分5组,每组扇贝12只,A组不放孔石莼(对照组),B、C、D、E组分别放孔石莼1、2、4、6串(孔石莼称质量前用滤纸吸干表面水分)。除对照组外,其他试验组均设3个重复。各个养殖系统中养殖生物的投放情况见表1。试验容器为1m×1m×0.55m的塑料养殖箱,体积为0.55m<sup>3</sup>。养殖水体0.5m<sup>3</sup>。海湾扇贝放置在3层养殖笼中悬挂于养殖箱中央,孔石莼以绳挂法夹于箱壁,孔石莼由离水面约15cm处一直垂入箱底。养殖箱采用气泵充气,保持水体中贝类滤食的浮游生物分布均匀。

收稿日期: 2013-11-11; 修回日期: 2014-05-06

基金项目: 秦皇岛市科技计划项目

作者简介: 郑辉, (1982-), 男, 河北唐山人, 讲师, 硕士, 主要从事水体污染防治技术研究工作, 电话: 13313354244, E-mail: zhenghui619@163.com

试验为封闭式养殖系统。

表 1 养殖生物及放养情况

Tab.1 Experiment design

组别	孔石莼		海湾扇贝	
	数量(串)	生物量(g)	数量(只)	生物量(g)
A	0	0	24	599.55±4.85
B	1	27.59±0.97	24	572.49±8.26
C	2	60.52±0.88	24	555.25±7.39
D	4	127.23±1.55	24	587.69±3.65
E	6	169.26±2.01	24	562.33±8.36

注: 扇贝肉湿质量约为 55g

### 1.3 日常管理

试验期间, 每周投喂饵料一次, 饵料为小球藻 (*Chlorella vulgaris*), 每周投喂  $8 \times 10^8$  个/mL 饵料 0.5L。各个养殖系统的饵料投喂量相同, 并且检查养殖生物的存活情况, 如发现有死亡扇贝, 立即移出养殖系统。试验期间不换水, 仅补充蒸发所失水分。

### 1.4 取样和测定

每天 8:30~9:30 观测水温、盐度、光照、pH、溶解氧。每周测定养殖水体中营养盐(NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P)的含量, 测定方法为《海洋调查规范》和《海洋监测规范》中的国标法。养殖

表 2 海湾扇贝和孔石莼的生长情况

Tab.2 Growth rates of *Argopecten irradians* and *Ulva pertusavar*

组别	扇贝的生长情况				孔石莼的生长情况	
	湿质量增长量(g)	特定生长率(%)	壳厚增加量(cm)	死亡率(%)	湿质量增长量(g)	特定生长率(%)
A	7.85±1.11	0.26±0.05	0.38±0.10	25±3.12	—	—
B	8.95±1.14	0.30±0.04	0.22±0.13	8.33±4.12	33.75±9.77	1.61±0.32
C	11.06±1.17	0.37±0.07	0.42±0.09	8.33±2.77	105.43±12.58	1.72±0.45
D	9.98±1.21	0.35±0.02	0.36±0.08	8.33±2.56	99.87±10.23	1.43±0.41
E	9.04±1.23	0.31±0.09	0.40±0.11	16.67±3.41	89.67±14.12	1.31±0.24

### 2.3 营养盐变化情况

#### 2.3.1 NH<sub>4</sub>-N 的变化

图 1 为各养殖系统 NH<sub>4</sub>-N 的浓度比较。实验前 3 周, 单养箱 A 组养殖系统中的 NH<sub>4</sub>-N 含量随时间而增加, 且上升幅度较大, 当上升到 0.36 mg/L 时, 然后下降。B 组混养系统 NH<sub>4</sub>-N 含量变化情况与单养系统类似, 可能与 B 组混养系统中孔石莼放养密度较低有关。而 C、D 和 E 混养系统水体中的 NH<sub>4</sub>-N 含量前 3 周是一个波动上升的趋势, 但质量浓度始

生物的生长情况在试验开始和结束时测定。养殖生物的生长指标按下式计算:

$$R_{SG}(\%) = 100[\ln(N_t/N_0)]/t^{[3]}$$

式中,  $R_{SG}$  为特定生长率(%);  $N_0$  为初始湿质量(g);  $N_t$  为  $t$  时间后的湿质量(g);  $t$  为时间(d)。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子

试验期间水温为 13.5~22.6℃, 盐度为 30.1~33.2, pH 为 8.1~9.1, 溶解氧为 5.62~7.18 mg/L, 光照强度阴天为  $8.1 \times 10^3 \sim 3.2 \times 10^4$  lx, 晴天为  $1.1 \times 10^4 \sim 4.9 \times 10^4$  lx。

### 2.2 养殖生物的生长情况

表 2 为试验生物的生长情况, 试验结束时, 各组中扇贝的壳厚和软体部湿质量都较混养前有一定的增加, 但由各组的生长量及特定生长率来看, 混养系统中扇贝的软体部湿质量增长量和特定生长率较单养扇贝系统略高, 且具有较小的死亡率。混养系统中, 孔石莼具有较高的生长速度, 特定生长率的平均值为 1.52%, 其中 C 组混养系统最高, 为 1.72%。实验期间水温、光照等环境条件都有利于孔石莼的生长, 可以大量吸收水体中的营养物质, 藻体颜色由浅转深, 水体环境中氮、磷等营养盐的浓度则降低。

终低于 0.14 mg/L, 随后 NH<sub>4</sub>-N 浓度开始下降。至第 7 周, C 组混养系统中 NH<sub>4</sub>-N 质量浓度最低, 为 0.04 mg/L。

#### 2.3.2 NO<sub>3</sub>-N 的变化

实验开始第 1 周各养殖系统的 NO<sub>3</sub>-N 的质量浓度变化不是很明显(图 2), 从第 2 周开始, 各养殖系统的 NO<sub>3</sub>-N 的质量浓度变化比较明显, 均出现不断攀升的趋势, 其中单养箱 A 组养殖系统的 NO<sub>3</sub>-N 质量浓度上升到第 4 周的最高值 1.69 mg/L 后, 变化较为平缓。而 B、C、D 和 E 混养系统中 NO<sub>3</sub>-N 的质量浓度从第 5 周后变化趋于平缓。至第 7 周, 单养组

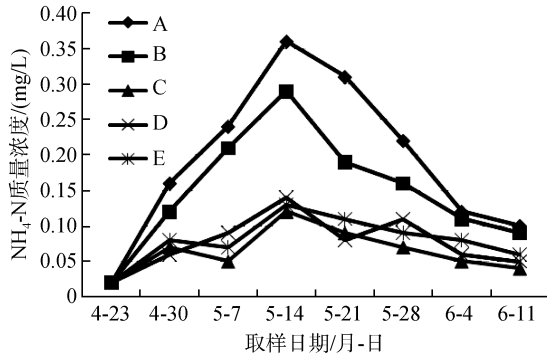


图1 氨氮质量浓度分析结果

Fig.1 Analysis of NH<sub>4</sub>-N concentration

A. 不放孔石莼(对照组); B. 孔石莼 1 串; C. 孔石莼 2 串; D. 孔石莼 4 串; E. 孔石莼 6 串. 图 2~图 6 同

A. no *Ulva pertusavar* (control); B. *Ulva pertusavar* a string; C. *Ulva pertusavar* two string; D. *Ulva pertusavar* four string; E. *Ulva pertusavar* six string (the same as 图 2~图 6)

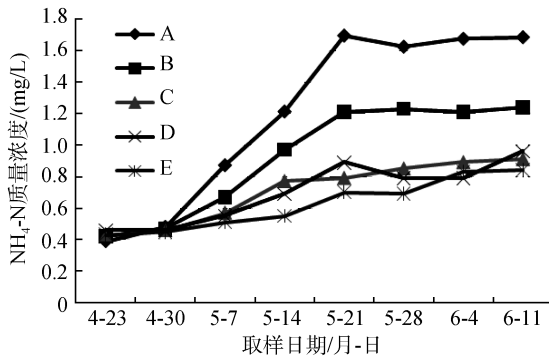


图2 硝态氮质量浓度分析结果

Fig.2 Analysis of NO<sub>3</sub>-N concentration

A 和混养组 B、C、D、E 中 NO<sub>3</sub>-N 的质量浓度分别为 1.68、1.24、0.91、0.96、0.84 mg/L。

### 2.3.3 NO<sub>2</sub>-N 的变化

单养系统和混养系统水体中 NO<sub>2</sub>-N 浓度变化差异比较大(图 3), 其中 A 组养殖系统的 NO<sub>2</sub>-N 质量浓度上升到第 4 周的最高值 0.87 mg/L 后, 变化趋势较为平缓。而 B、C、D 和 E 混合系统的 NO<sub>2</sub>-N 含量与 A 单养系统相比, 变化相对缓慢。试验期间, 混养系统中 NO<sub>2</sub>-N 质量浓度的最小值出现在 C 组, 为 0.25 mg/L。

### 2.3.4 PO<sub>4</sub>-P 的变化

各养殖系统当中 PO<sub>4</sub>-P 的浓度变化趋势和 NO<sub>2</sub>-N 的质量浓度变化趋势类似(图 4)。前期增幅明显, 2 周后单养箱 A 组养殖系统 PO<sub>4</sub>-P 的质量浓度继续上升, 但增幅逐渐减缓, 自第 0 周的 0.17 mg/L 上升至第 7 周的 0.52 mg/L。而其他混养系统中的 PO<sub>4</sub>-P 的质量浓度 2 周后迅速下降, 但下降的趋势逐渐放

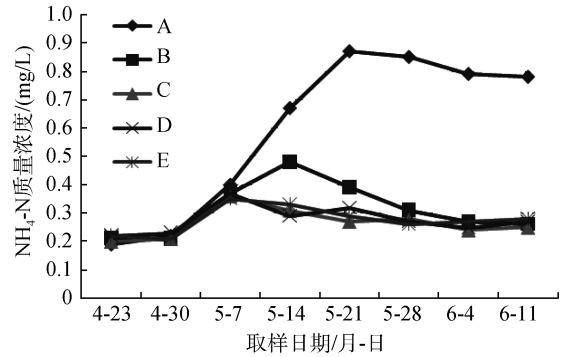


图3 亚硝态氮质量浓度分析结果

Fig.3 Analysis of NO<sub>2</sub>-N concentration

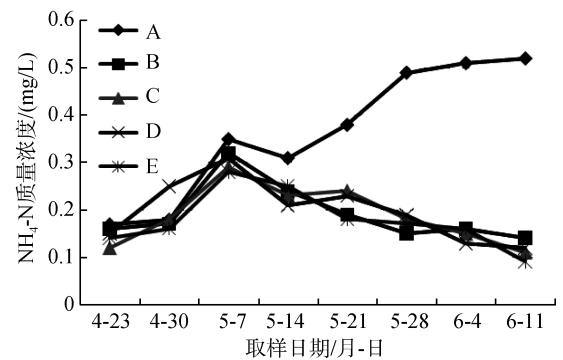


图4 磷酸盐质量浓度分析结果

Fig.4 Analysis of PO<sub>4</sub>-P concentration

缓。说明 2 周后大型藻类的修复作用出现, 开始吸收贝类排泄的营养盐。至第 7 周试验结束时, B、C、D 和 E 混养组中 PO<sub>4</sub>-P 质量浓度分别为 0.14、0.11、0.12 和 0.09 mg/L。

## 3 讨论

### 3.1 扇贝和孔石莼混养互利机制

在贝藻混养生态系统中, 滤食性贝类以浮游植物和有机碎屑为食, 同时通过排泄作用提供浮游植物和混养藻类所需的部分氮源(以 NH<sub>4</sub>-N 为主, NO<sub>3</sub>-N 次之, NO<sub>2</sub>-N 最少)及光合作用所需的 CO<sub>2</sub>。混养藻类是滤食性贝类呼吸所需 O<sub>2</sub> 的提供者和对环境中的 NH<sub>4</sub>-N 的主要吸收者, 能为其创造更适宜的环境条件。扇贝是一种海水双壳贝类, 主要摄食微藻和有机碎屑, 排放养殖废物, 而海水双壳贝类是排氮动物, 氮的代谢终产物主要是 NH<sub>4</sub><sup>+</sup><sup>[7]</sup>, 这也正是前 3 周各养殖系统中氨氮上升较快的主要原因。在各养殖系统中氨氮均呈先上升后下降的趋势, 可能是由于氨氮不太稳定, 易转化为 NH<sub>3</sub>, 释放到空气中, 也有可能转化为其他形式的氮化合物。尽管本实验期间没有换水, B、C、D 和 E 组混养系统仍能保持良好的

水质, 扇贝的生长率、壳厚的增加量及孔石莼的生长率总体上高于 A 组养殖系统。而 A 组养殖系统后期水体当中的  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$  的含量远远大于各混养系统, 养殖生物特定生长率低、死亡率高。

### 3.2 养殖生物之间的合理配比

对于特定的养殖生态系统, 养殖容量是有限的, 合理的养殖密度及养殖品种是使经济效益, 生态环境效益二者和谐可持续发展的关键因素。胡海燕等<sup>[8]</sup>认为鱼藻混养比例为 1 : 1 时, 较为合理。藻类养殖密度过低, 水体氮、磷等营养盐含量较高; 而养殖密度过高时, 藻类吸收了过多的营养盐, 鱼类生长不够好。

本次试验共设计了 4 个混养密度组, 水质分析结果表明, 除 B 组混养系统  $\text{NH}_4\text{-N}$  和  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量偏高外, 其他混养系统水质指标差异不明显。相比较而言, C 组养殖系统对  $\text{NH}_4\text{-N}$  的去除率最高, 而 E 组养殖系统对  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$  的净化效果最佳。但从扇贝和孔石莼生长的情况来看, C 组混养系统扇贝的湿质量增长量、生长率和壳厚增加量高于其他混养系统, 死亡率较低, 并且孔石莼的产量较高。综合分析, 这一结果表明本实验条件下, C 组混养系统的放养密度比较合适, 即扇贝和孔石莼按 1 : 1(贝肉湿质量 : 藻类湿质量)的放养密度较合理。

参考文献:

- [1] 高健, 楼永. 养殖技术对山东省海水养殖渔业可持续发展的作用[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 127-131.
- [2] 肖国华, 刘丽杰. 海水育苗及养殖废水的排放对近岸水域的影响及防范措施[J]. 河北渔业, 2005, 141 (3): 1-2.
- [3] 杨圣云, 许振祖. 优化养殖水域生态系统结构的若干途径[J]. 海洋科学, 1997, 3: 42-43.
- [4] 杨红生. 清洁生产: 海水养殖业持续发展的新模式[J]. 世界科技研究与发展, 2000, 23(1): 62-65.
- [5] Buschmann A, Troell M, Kautsky N. Integrated algal farming: a review[J]. *Cah Biol Mar*, 2001, 42: 83-90.
- [6] McVey J P, Stickney R R, Yarish C, et al. Aquatic polyculture and balanced ecosystem management: new paradigms in seafood production[C]//Stickney R R, McVey J P. *Responsible Marine Aquaculture*. Oxon: CABI Publishing, 2002: 91-104.
- [7] Coekeroft A C. Nitrogen excretion by the surf zone bivalves *Donax serra* and *D. sordulus*[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 60: 57-65.
- [8] 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[C]//中国科学院海洋研究所. *海洋科学集刊*, 46 卷. 北京: 科学出版社, 2003: 169-174.

## Simulation of the polyculture ecosystem of scallop(*Argopecten irradians*) and kelp (*Ulva pertusavar*)

ZHENG Hui, LI Zhi-wei

(Ocean College of Hebei Agricultural University, Qinhuangdao 066003, China)

Received: Nov., 11, 2013

Key words: polyculture; *Argopecten irradians*; *Ulva pertusavar*

**Abstract:** The polyculture of scallop and kelp was performed in laboratory by the means of experimental ecology during April to June in 2013. Polyculture systems of scallop (*Argopecten irradians*) and kelp (*Ulva pertusavar*) were divided into 4 groups. The scallop was reared at a density of 48 individuals/ $\text{m}^3$ , and the kelp were cultivated at a density of 55 g/ $\text{m}^3$ , 121 g/ $\text{m}^3$ , 255 g/ $\text{m}^3$  or 338 g/ $\text{m}^3$ . During the experiment, the variations of nutrients, survival and growth of the scallop and kelp were detected every 7 days. In conclusion, the polyculture of the *A. irradians* with the seaweed can produce reasonable ecological effects when their density is 1 : 1.

(本文编辑: 梁德海)