

文章编号: 1004 - 7271(2005)02 - 0156 - 06

## 蚌、鱼混养对几种水污染指标的影响

张根芳<sup>1</sup>, 邓闽中<sup>2</sup>, 方爱萍<sup>3</sup>, 李家乐<sup>4</sup>

(1. 金华职业技术学院动物工程系, 浙江 金华 321007;

2. 杭州市水产科学研究所, 浙江 杭州 310029;

3. 金华市威旺养殖新技术有限公司, 浙江 金华 321017;

4. 上海水产大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 200090)

**摘要:**在野外规模性试验水体吊养珍珠蚌,并搭养少量鱼类,结果表明:珍珠蚌吊养后,在网绳、网袋(夹)、泡沫浮子和蚌壳上迅速附着丝状藻类、原生动物、腔肠动物、多孔动物和苔藓动物等多种附着生物,在水体表层 20~40 cm 间形成新的生物群落。同时水体藻类种类、门类增加,呈现一定的多样性趋势,高 N、P 喜好种减少,低 N、P,高 Fe、Me、Zn、Mg 等种增加。在 5-9 月富营养的发展期,水体营养盐可以得到消耗,能使 N、P、COD 和 BOD<sub>5</sub> 含量分别下降 67.3%、73.2%、38.1% 和 15.5%,富营养化得到了明显控制;同时还能收获珍珠、蚌肉和贝壳等产品,做到“以水养水”、“以水治水”之目的。

**关键词:**珍珠蚌;养殖;水体富营养化;控制

中图分类号:S 968.3; S 912 文献标识码:A

## The effects of co-cultivation of pearl mussels and fishes on controlling water pollution

ZHANG Gen-fang<sup>1</sup>, DENG Min-zhong<sup>2</sup>, FANG Ai-ping<sup>3</sup>, LI Jia-le<sup>4</sup>

(1. Department of Animal Engineering, Jinhua College of Profession and Technology, Jinhua 321007, China;

2. Hangzhou Aquaculture Sciences and Technology Institute, Hangzhou 310029, China;

3. Jinhua Wellwant New Aquaculture Technology Co. Lt., Jinhua 321017, China;

4. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology Certified by the Ministry of Agriculture, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** Field experiments showed that the co-cultivation of pearl mussels and fishes formed a new biocoene composed of filamentous algae, protozoa, porifera, coelenterate and bryozoa on the rope, net, floats and shells. A new biocoene formed in the water 20 - 40 cm under the surface. The investigation showed increases of algae species and groups, which represented an increase of biodiversity. The algae fond of high nitrogen and phosphorus decreased, while those fond of high iron, magnesium, zinc and low nitrogen and phosphorus increased. It effectively reduced nitrogen, phosphorus, chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand in the water by 67.3%, 73.2%, 38.1% and 15.5%, respectively, from May to September when the water eutrophication was developing. This changed the transparency and nutrition levels of the water, and meanwhile the products, such as

收稿日期:2005-01-08

基金项目:上海市科委基础重点项目(03JC14063)和上海市教育基金会曙光计划项目(01SG42)资助

作者简介:张根芳(1962 - ),男,副教授,主要从事淡水珍珠养殖技术和蚌病防治研究。

通讯作者:李家乐(1963 - ),男,浙江乐清人,教授,博士生导师,主要从事水产动物种质资源及生态学研究。Tel: 021 - 65710338,

E-mail: jlli@shfu.edu.cn。

pearl, shellfish meat and shell, etc. could be caught. This is an economical and effective way to control water eutrophication.

**Key words:** pearl mussel; cultivation; eutrophication; control

水体富营养化是一个全球性的重大问题。20 世纪初开始,世界各国有关水体富营养化的防治研究从未间断,从“控制营养盐”、“直接除藻”,到“生物调控”、“生态工程及生态恢复”等<sup>[1-3]</sup>,富营养化防治经历了艰难历程。期间用于富营养化防治的资金投入,动辄上亿,甚至上百亿元,但是富营养化仍未得到有效控制<sup>[4]</sup>,有的水体富营养化还在不断加剧。

淡水珍珠的人工养殖在中国已近 30 年。三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 和褶纹冠蚌 (*Cristaria plicata*) 是中国特有的两种优质淡水珍珠贝,摄食浮游生物和有机碎屑。石岩等<sup>[5]</sup>报道河蚌、螺能降低 N、P 等指标,有效地降低水体 N、P 等营养盐,对水体起到净化作用。本研究旨在利用育珠蚌滤食水体浮游生物、有机碎屑的超强能力,探索一种既经济又有效的水体富营养化防治新措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点布设

试验水体一闻堰湖位于浙江省萧山市,面积 16 hm<sup>2</sup>。呈 U 字型,口朝西北方向。平均水位 3.20 m。该水体正常时水位基本稳定。

根据水体形状,按《湖泊富营养化调查规范》<sup>[6]</sup>要求,分别在 4 个区域采集水样,每个区域每次分三个点,于当日上午 10:00 - 11:00 采集水面下 30 cm 处的水样(图 1)。

### 1.2 试验材料

1998 年 3 月放入 2 龄三角帆蚌育珠蚌 25 × 10<sup>4</sup> ind 进行吊养,密度为 15 625 ind/hm<sup>2</sup>。每只网夹装 3 ind 珠蚌,腹缘朝上装入网夹,网夹之间吊养间距 30 cm。每排网夹间距 100 cm。网夹中的珠蚌一般离水面 30 cm,单层吊养。

除吊养育珠蚌外,搭养鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys mobilis*)、鲫 (*Carassius auratus auratus*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 等各种鱼类共约 3 000 ind/hm<sup>2</sup>。试验期间正常生产管理。

### 1.3 水体富营养化指标测试方法

主要检测的水体理化指标有:水温(℃)、透明度(cm)、总氮(mg/L)、总磷(mg/L)、化学耗氧(mg/L)、生化耗氧量(mg/L)。

参照《湖泊富营养化调查规范》<sup>[6]</sup>和《水化学》<sup>[7]</sup>,各项指标分别选用如下方法进行测定:用高精度水银温度计(0.1℃)测量水温。用萨氏黑白盘测量透明度。用过硫酸钾硝解法测定总氮(T-N)。用钼蓝比色法测定总磷(T-P)。用重铬酸钾法测定化学耗氧量(COD<sub>Cr</sub>)。用稀释接种法(GB7488-89)测定生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)。

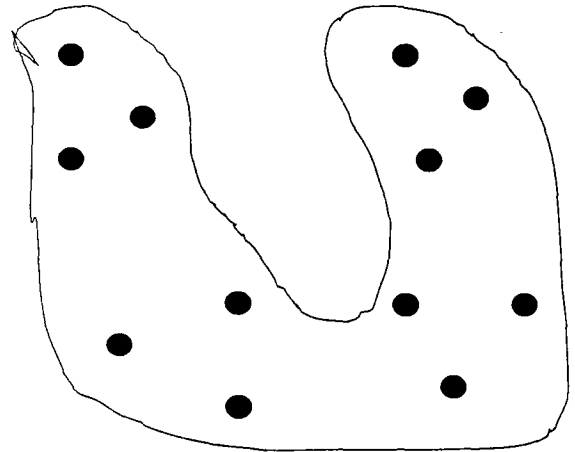


图 1 采样点分布

Fig. 1 Distributed spots of sampling

## 2 结果

测定数据经过统计如表 1 所示。

表 1 在育珠蚌生长旺季水体主要水质指标变化情况

Tab.1 The changes of main quality of water during main growing season of the pearl mussel

日期(月-日)	05-06	06-10	07-10	08-15	09-14
水温(°C)	22.8 ± 1.63	27.95 ± 0.81	32.3 ± 0.84	34.6 ± 0.21	31.8 ± 0.21
透明度(cm)	23 ± 1.95	21 ± 0.71	24 ± 0.71	29 ± 0.71	36.5 ± 1.06
T-N (mg/L)	9.535 ± 0.06	8.465 ± 0.47	6.045 ± 0.11	4.95 ± 0.49	3.125 ± 0.74
T-P (mg/L)	0.765 ± 0.07	0.61 ± 0.10	0.445 ± 0.08	0.295 ± 0.19	0.205 ± 0.01
COD (mg/L)	52.85 ± 2.23	53.95 ± 2.93	42.27 ± 1.21	33.49 ± 2.91	32.73 ± 1.51
BOD (mg/L)	14.255 ± 0.75	16.205 ± 1.48	12.71 ± 1.00	12.12 ± 1.24	12.045 ± 0.11

### 2.1 水体中 N、P 含量变化明显

水体中 N、P 变化情况如图 2 所示。

本试验结果可见,从 5-9 月,氮磷含量分别从 9.535 mg/L 和 0.765 mg/L 下降到 3.125 mg/L 和 0.205 mg/L,分别下降 67.3% 和 73.2%,变化十分明显。

### 2.2 水体中 COD、BOD<sub>5</sub> 含量下降

水体中 COD、BOD<sub>5</sub> 变化情况如图 3 所示。

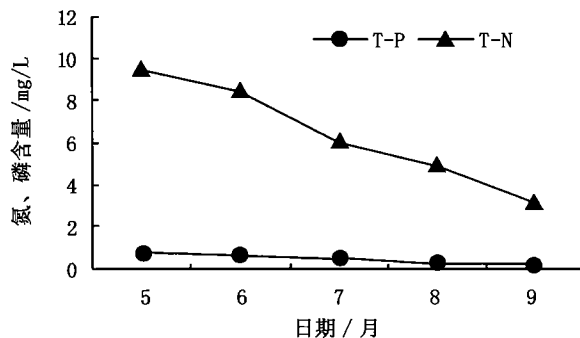


图 2 水体 T-P、T-N 变化

Fig.2 Changes of T-P and T-N

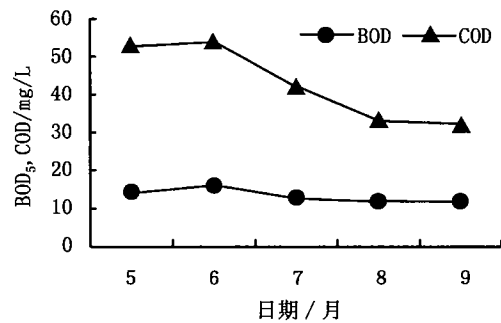


图 3 水体 BOD<sub>5</sub>、COD 变化

Fig.3 Changes of BOD<sub>5</sub> and COD

从图 3 可知,COD、BOD<sub>5</sub> 下降较为平缓,从 52.85 mg/L 和 14.255 mg/L 下降到 32.73 mg/L 和 12.045 mg/L (分别下降 38.1% 和 15.5%),其中 5-6 月甚至还有一定升高。原因可能是进入梅雨季节后外源水流入较多、悬浮物增加。

### 2.3 水体透明度和水温的变化情况

水体透明度和水温的变化情况见图 4。江南水体在 5-9 月水温逐步上升,进入富营养化的发展期,也是水产动物的生长期,从本试验经过可以看出,透明度有随时间推移而逐步上升的趋势。

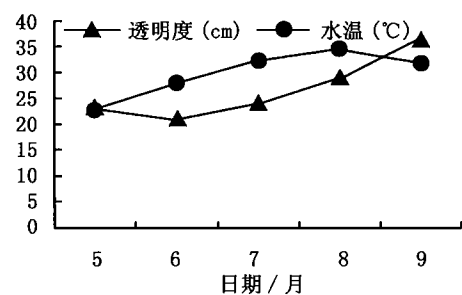


图 4 水体透明度、水温变化

Fig.4 Changes of water transparency and temperature

## 2.4 水体中藻类的变化情况

水体中藻类的变化情况见表2。调查结果显示:藻类种类、门类增加,呈现一定的多样性趋势,高 N、P 喜好种减少,低 N、P,高 Fe、Me、Zn、Mg 等种增加,并出现了隐藻、黄藻、甲藻。水层吊养了珍珠蚌后,网绳、网袋(夹),泡沫浮子和蚌壳上还很快会附着丝状藻类、原生动物、腔肠动物、多孔动物和苔藓动物等多种附着生物。

表 2 5-9月水体藻相的变化(种数 463 个)  
Tab.2 Changes of algae in water body (463 kinds) from May to September

月份	5	6	7	8	9
绿藻门	21	20	38	45	61
蓝藻门	4	8	12	19	32
裸藻门	13	10	15	16	19
金藻门	10	11	12	18	25
甲藻门			3		10
黄藻门			2	8	5
隐藻门			3	12	11
合计	48	52	82	118	163

## 3 讨论

### 3.1 育珠蚌的滤水能力和氮、磷除去率

方建光等<sup>[8]</sup>研究表明:规格 200 mm 的泥蚶幼虫滤水率为 3.42 ~ 3.70 mL/min;孙慧玲等<sup>[9]</sup>在模拟自然水环境中测定了栉孔扇贝的滤水率,表明个体大小不同其滤水率有较大差异,一般在 2.0 ~ 6.3 L/h。同样,一只 2 龄以上的育珠贝,一昼夜的过滤水量为 100 ~ 200 L<sup>[10]</sup>。如果放养 25 000 ind/hm<sup>2</sup> 育珠蚌,结果能使 1 m 左右的上层水在 2 ~ 3 d 内过滤一遍,可见其效率是相当高的。

石岩等<sup>[5]</sup>在研究了蚌、螺、浮游动物和鱼类对湖泊富营养化的控制作用(25 d)后发现:河蚌(底栖)对下述指标的除去率分别为:色度 88%、悬浮物 58.71%、总氮 55.81%、总磷 66.91%、COD 81.29%、BOD 44.44%。本试验在野外大面积生产性条件下进行,是相对于实验室试验的中间试验,试验时间也较长。其结果同样支持了贝类具有滤水功能和间接降低 N、P 等指标作用的结论。

氮、磷等营养盐除去效果是衡量水体富营养化控制措施的重要指标<sup>[11]</sup>。本试验在野外天然水体进行,在有外源营养物输入的情况下,蚌鱼混养对水体氮、磷的除去率仍然比水网藻要高<sup>[12]</sup>。从水质指标下降的百分比看,本试验的氮、磷指标除去率比石岩等<sup>[5]</sup>报导的分别高出 11% 和 6%(图 2)。而 COD 和 BOD 指标除去率则比报导的分别低了 43% 和 29%(图 3)。这可能是底养河蚌与吊养河蚌之间的差异,也可能是河蚌不同种之间的差异。今后需要对不同的河蚌,不同的吊养方式或不同的搭配模式做进一步比较研究,以选择更为有效的方法。

### 3.2 养蚌育珠对水层生物群落、浮游生物多样性的影响

珍珠蚌的养殖一般为 15 000 ~ 30 000 ind/hm<sup>2</sup>。目前养殖生产中普遍采用网袋(1 ~ 2 只)、网夹(3 ~ 4 只)的笼养方式。网绳、网袋(夹),泡沫浮子和蚌壳上的丝状藻类能直接吸收水体营养盐,原生动物中的固着纤毛虫、低等多细胞动物(腔肠动物、多孔动物)和苔藓动物均可以滤食浮游植物和有机碎屑。在水体表层 20 ~ 40 cm 形成的这一生物新群落,参与了吸收水体营养盐、滤食藻类的生物净化作用,使水体透明度、营养盐结构发生了变化,水体藻相也出现了有益的变化。

### 3.3 多层吊养育珠蚌对水体净化功能的影响

Hildreth<sup>[13]</sup>对贻贝进行了流速对滤水率影响的试验,结果表明,流量在 2 ~ 42 L/h 时,流速对滤水率

没有影响。在滤水率保持不变的情况下,不断更新蚌周围的水体将对净化效果产生积极作用。本试验是在相对较静止的水体中进行的,如果在外荡、湖叉或库湾的进水区,水体具有一定流动性的条件下,吊养育珠蚌可使该水域形成一个巨大的生物过滤系统。育珠蚌和由此形成的生物群落就如一层层生物滤膜,使通过的水体得到过滤、净化。因此,如果在大型湖泊、外荡和水库,一方面利用湿地生态工程等截流法控制外源营养盐流入<sup>[14]</sup>,另一方面在进水区域开展人工养蚌育珠,则可以使大湖区、大库区的水体富营养化得到有效预防。

一般珍珠蚌为单层放养。为进一步提高富营养化控制的效果,可在水体的20~70 cm水层进行多层吊养育珠蚌。这样对水体截面生物新群落的形成和净化效果会更为有利。

### 3.4 养蚌育珠与水体富营养化控制有效结合的探索

用于人工育珠的河蚌一般在江河、湖泊的沿岸浅水区营底栖生活,由于育珠蚌人工吊养生产的特殊性,要求养蚌水域风浪不能太大。因此,在大湖、大库应选择有营养源输入的湖叉、库湾以及沿岸带进行育珠蚌养殖。在外荡可选择无工业污染的适宜区段。同时,选择场地、吊养设施都应考虑船只交通、稳固性和便于管理。养蚌育珠经济效益和富营养化控制的长远利益、社会效益应合理兼顾。

水体富营养化程度、浮游生物量等决定了育珠蚌的放养密度。由于育珠蚌被动地吊养于水体中上层,一般放养适量杂食性、滤食性鱼类会有利于水体运动和水生生物的动态平衡。

三角帆蚌和褶纹冠蚌对水质指标的耐受性有一定差别。经过长期人工养殖和多代选育,生产中可以明显看出三角帆蚌耐肥水能力有了较大的提高。在投饵型养殖生产水体,如能结合珍珠蚌养殖,也能从生态学角度实现自我净化的良性循环,减少养殖业自身污染。在海水池塘混养贝类对氮磷的利用率方面已有相关的实验研究<sup>[15]</sup>。在相关试验的基础上,就如何利用育珠蚌控制水体富营养化,笔者提出如下基本模式(见表3)。

表3 利用育珠蚌控制水体富营养化的基本养殖模式

Tab.3 Basic model to utilize the pearl mussel to control eutrophication

水体富营养化类型	COD (mg/L)	DO (mg/L)	透明度 (cm)	蚌的品种	蚌放养量 (ind/hm <sup>2</sup> )	鲢 (ind/hm <sup>2</sup> )	鳙 (ind/hm <sup>2</sup> )	鲫 (ind/hm <sup>2</sup> )
轻度	10~20	5	40~50	三角帆蚌	12 000~15 000	700	600	200
一般	20~30	4~5	35~40	三角帆蚌	15 000~18 000	900	700	800
中等	30~35	3~5	30~35	三角帆蚌	18 000~22 500	1 000	800	900
较高	35~40	3~5	25~30	三角帆蚌	22 500~30 000	1 200	1 000	1 000
高度	40~45	2.5~5	20~25	褶纹冠蚌	30 000	1 500	1 200	1 200
养殖生产型	20~40	3~5	20~35	三角帆蚌	7 500~12 000	700	700	700

### 3.5 养蚌育珠法控制水体富营养化的效果

在众多富营养化人工控制措施中,有些方法被证明对环境有较大负面作用,或形成二次污染。有些方法短期有效,但不稳定。有些方法只是在实验室有效,到野外复杂的环境中就不切实际。这是我国富营养化控制耗资巨大、却久不见效的问题关键。近些年以浮游动物、鱼类和水生高等植物为主的生物调控法(生物操纵措施)正得到重视。在生产实践中广大群众早已认识到:“河蚌育珠能使水体迅速变清!”这一普通事实。同时本试验直接来自野外,具有代表性的江南小湖荡的研究数据也充分说明:利用鱼蚌混养模式控制水体富营养化至少在长江中下游地区确实可行。

以河蚌育珠搭配适量鱼类来控制水体富营养化,可做到“以水养水”、“以水治水”的目的,并有望获得可观收益。一般2龄蚌经育珠手术后,可连续吊养五年或更长时间。

## 4 结论

在众多控制富营养化的措施中,除了限制点、面源营养盐的输入外,已进入水体的营养物质无论采取什么除去措施,都会遇到新生成物质的再利用问题(如产生的沉淀物、水葫芦等等)。把原先在水底“生态位”中也能起到水体自净作用的动物——珍珠蚌,人工吊养在水层中,使其更好地发挥滤食水体浮游植物和有机碎屑的作用。同时吊养珍珠蚌的网袋、网绳、浮子等附设器具和贝壳上会很快形成一个新的生物群落。初步研究表明,养蚌育珠并搭养适量鱼类可以消耗水体营养盐,能起到很好的控制水体富营养化效果,并有一定的经济效益。

### 参考文献:

- [1] Derwent S E, Whyatt R G, Dyke H J D. Nitrogen deposition and strategies for the control of acidification and eutrophication across Great Britain Metcalfe[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1998, 107(1-4):121-145.
- [2] 王国祥,成小英,濮培民.若干人工调控措施对富营养化湖泊藻类种群的影响[J].*环境科学*,1999,20(2):71-74.
- [3] Koelmans A, Van der Heijde, Knijff L M, et al. Integrated modelling of eutrophication and organic contaminant fate & effects in aquatic ecosystems[J]. *Water Research*, 2001,35(15):3517-3536.
- [4] Forsberg C. Which policies can stop large scale eutrophication? [J]. *Water Science and Technology*, 1998,37(3):193-200.
- [5] 石 岩,张喜勤,伏春艳,等.浮游动物对净化湖泊富营养化的初步探讨[J].*东北水利水电*,1998,164(3):31-33.
- [6] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990.39-47.
- [7] 陈佳荣.水化学(实验指导)[M].北京:中国农业出版社,1996.19-30.
- [8] 方建光,孙慧玲,匡世焕,等.泥蚶幼虫滤水率和摄食率的研究[J].*海洋与湖沼*,1999,(3):167-171.
- [9] 孙慧玲,方建光,匡世焕,等.栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)在模拟自然水环境中滤水率的测定[J].*中国水产科学*,1995,2(4):16-21.
- [10] 蔡英亚.贝类学概论[M].上海:上海科学技术出版社,1982.121-130.
- [11] 邵林广,游映玖,陶惠芳,等.控磷除磷在水体富营养化控制中的作用[J].*环境与开发*,1999,14(2):19-20.
- [12] 王朝晖,江天久,杞 桑,等.水网藻(*Hydrodictyon reticulatum*)对水体富营养化水样中氮磷除去能力的研究[J].*环境科学学报*,1999,(4):448-452.
- [13] Hildreth D J. The influence of outer flow rate on pumping activity in *Mytilus edulis* using a refined direct measurement apparatus[J]. *Mar Biol Assoc U K*, 1976,(56):311-319.
- [14] 刘文祥.人工湿地在农业面源污染控制中的应用研究[J].*环境科学研究*,1997,10(4):15-19.
- [15] 杨红生,李德尚,董双林,等.海水池塘施肥混养滤食性鱼贝的初步研究[J].*青岛海洋大学学报*,1998,28(2):217-222.