

文章编号:1000-0615(2008)02-0303-06

·研究简报·

不同放养和管理模式下三角帆蚌养殖水体的水化学特征

王小冬¹, 王 岩², 王伟良¹, 朱生博¹, 董向全¹

(1. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090; 2. 浙江大学动物科学学院, 浙江 杭州 310029)

关键词: 三角帆蚌; 养殖模式; 围隔; 水化学

中图分类号: S 966.22⁺¹ 文献标识码: A

我国淡水珍珠产量已超过世界产量的 95%, 但有关淡水珍珠养殖模式的研究迄今鲜见报道^[1]。国内生产中普遍采用施有机肥肥水养殖三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 的方式来培育淡水珍珠^[2], 这往往造成养殖水域的高度富营养化。通过优化养殖模式可提高养殖生物对水体内营养物质的利用效率, 增加经济效益和降低污染^[3]。研究表明鱼蚌混养可促进三角帆蚌的生长^[1], 但不同放养和管理措施对三角帆蚌养殖环境的影响尚未见诸文献。本文初步报道了不同放养和管理模式下三角帆蚌养殖水体的水化学特征, 目的是为优化淡水珍珠养殖模式提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 养殖实验

养殖实验于 2004 年 7 月 28 日 - 10 月 28 日在浙江省淡水珍珠业省级科技创新服务中心枫桥实验基地利用陆基围隔进行。围隔设在 1 个面积为 1.67 hm² 的池塘中, 每个围隔面积为 26 m², 高 2 m。围隔内放养和管理模式见表 1。所用三角帆蚌、银 鲫 (*Carassius auratus gibelio*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 和 鳙 (*Aristichthys nobilis*) 来源及规格、围隔构造以及养殖操作等参考文献^[1]的方法。

表 1 实验中所用的放养和管理模式

Tab.1 The stocking and management models used in the experiment

围隔 enclosure	放养种类和数量 freshwater pearl mussel and fish stocked	管理模式 management
I	1 龄蚌 52 只, 2 龄蚌 13 只, 鲢 6 尾, 鳙 5 尾	施肥结合投喂蚌饲料
II	1 龄蚌 52 只, 2 龄蚌 13 只, 鲢 6 尾, 鳙 5 尾	施肥
III	1 龄蚌 52 只, 2 龄蚌 13 只, 银鲫 39 尾	施肥结合投喂鱼、蚌饲料
IV	1 龄蚌 52 只, 2 龄蚌 13 只, 银鲫 39 尾	施肥结合投喂鱼饲料
V	1 龄蚌 52 只, 2 龄蚌 13 只	施肥结合投喂蚌饲料
VI	1 龄蚌 52 只, 2 龄蚌 13 只	施肥

1.2 采样与水质分析

养殖实验开始后每天早 (6:00 - 9:00)、晚 (17:00 - 18:00) 测定围隔内的水温 (T)、透明度 (Tr)、pH 和溶氧 (DO), 取两次测定的平均值为当

日测定值。定期用 5 L 采水器在围隔内一侧、距围隔壁约 0.8 m 处采水样, 采样水深为水面下 0.3 ~ 0.5 m。水样分析在实验池塘附近的实验室内完成, 分析指标包括硝酸态氮 (NO₃-N)、亚硝

收稿日期: 2007-06-19

资助项目: 浙江省科技厅重大技术难题招标项目 (珍珠蚌养殖模式优化研究及示范)

作者简介: 王小冬 (1981-), 女, 湖南隆回人, 从事水域生态研究

通讯作者: 王 岩, Tel: 0571-86971891, E-mail: ywang@zju.edu.cn

酸态氮($\text{NO}_2 - \text{N}$)、总氮(TAN)、活性磷($\text{PO}_4 - \text{P}$)、总磷(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、碳酸根离子(CO_3^{2-})、重碳酸根离子(HCO_3^-)、氯离子(Cl^-)、硫酸根离子(SO_4^{2-})、钙离子(Ca^{2+})、碱度(Alk)和硬度(HT)。其中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 、TAN、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 、TN、TP和 COD_{Mn} 每周测定1次; CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、Alk和HT每4周测定1次。

Tr用透明度盘测定,T和DO用YSI 57溶氧仪测定,pH用pH-B4 pH计测定, $\text{NO}_3 - \text{N}$ 以铜-镉还原法测定^[4],TN和TP参考文献^[5]的方法测定,其余指标参考文献^[6]的方法。

1.3 数据计算和统计分析

根据下列公式计算 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 和无机氮(DIN):

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- - \text{HT}) \times 25$$

$$\text{DIN}(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = \text{NO}_3 - \text{N} + \text{NO}_2 - \text{N} + \text{TAN}$$

其中, CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和HT的单位为 $\text{mg} \cdot \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$,将 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 从 $\text{mg} \cdot \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$ 换算为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时取 K^+ 和 Na^+ 的原子量平均值(25)。

采用回归分析方法检验围隔内各水化学指标之间,以及各水化学指标与养殖时间的关系,取 $P < 0.05$ 为显著性水平。

2 结果

2.1 围隔内 T、Tr、DO 和 pH

实验期间围隔内表层20 cm处T变动范围为16.7~36.0℃(平均值为25.8℃),8月至10月T逐渐降低。Tr平均值变动为30~39 cm,Tr从高到低顺序为围隔II>围隔III>围隔VI>围隔IV

>围隔I>围隔V。pH平均值为8.69~9.45,pH从高到低顺序为围隔VI>围隔V>围隔II>围隔IV>围隔III>围隔I。各围隔内DO均较高,围隔V和VI内下午表层DO经常超出YSI 57溶氧仪测量的最大值($20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,表2)。

表2 实验围隔内透明度、溶氧和pH

Tab.2 Transparency, dissolve oxygen concentration and pH in the experimental enclosures

mean \pm SD, n = 92			
围隔 enclosure	透明度(cm) transparency	pH	溶氧($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) dissolve oxygen
I	35 \pm 6	8.69 \pm 0.65	9.0 \pm 3.4
II	39 \pm 7	9.18 \pm 0.65	10.8 \pm 3.5
III	39 \pm 10	9.08 \pm 0.62	10.3 \pm 3.6
IV	36 \pm 5	9.14 \pm 0.62	8.9 \pm 3.0
V	30 \pm 5	9.41 \pm 0.52	
VI	38 \pm 8	9.45 \pm 0.46	

注:围隔V和VI内表层溶氧下午经常超出溶氧仪测量范围,无法计算其平均值。

Notes: Value of dissolve oxygen in the enclosure V and VI could not be calculated because dissolve oxygen in the afternoon was usually beyond the maximum measurement of YSI 57 dissolve oxygen meter in these enclosures

2.2 主要离子组成、总碱度和总硬度

各围隔内实验期间HT平均值为80.6~96.6 $\text{mg} \text{ CaCO}_3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,Alk为72.1~89.1 $\text{mg} \text{ CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ 。若将表3内阴、阳离子单位换算为 $\text{mg} \cdot \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$,则阴离子从高到低顺序为 $\text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$;阳离子从高到低顺序为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ + \text{Na}^+$ 。围隔间 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 差别不明显。围隔I、III和VI内 Ca^{2+} 、HT和Alk相对较高,围隔V内 Ca^{2+} 和HT最低(表3)。

表3 实验围隔内主要离子、碱度和硬度

Tab.3 Concentration of the negative and positive ions, alkalinity and hardness in the experimental enclosures

mean \pm SD, n = 4, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$									
围隔 enclosure	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	碱度 (CaCO_3) alkalinity	硬度 (CaCO_3) hardness
I	95.8 \pm 3.7	3.0 \pm 3.6	16.3 \pm 1.9	9.6 \pm 2.1	21.6 \pm 2.4	9.3 \pm 1.5	10.8 \pm 2.8	84.1 \pm 6.0	92.6 \pm 2.5
II	96.4 \pm 21.4	2.4 \pm 5.4	14.4 \pm 2.9	8.9 \pm 1.1	19.2 \pm 2.4	9.8 \pm 1.0	12.0 \pm 2.0	84.1 \pm 9.0	88.1 \pm 6.0
III	100.0 \pm 20.1	4.2 \pm 5.4	13.4 \pm 1.9	9.2 \pm 1.1	22.8 \pm 3.2	9.5 \pm 2.2	10.3 \pm 3.5	89.1 \pm 7.5	96.6 \pm 13.0
IV	84.2 \pm 12.2	1.8 \pm 3.6	16.3 \pm 1.9	9.2 \pm 1.1	20.8 \pm 6.0	5.9 \pm 0.7	9.8 \pm 3.5	72.1 \pm 5.5	83.6 \pm 12.5
V	83.6 \pm 14.6	4.8 \pm 5.4	13.4 \pm 3.8	9.6 \pm 1.1	15.6 \pm 4.4	10.0 \pm 3.7	12.0 \pm 1.5	76.6 \pm 3.0	80.6 \pm 4.0
VI	94.6 \pm 22.6	6.6 \pm 4.2	13.4 \pm 3.8	8.9 \pm 1.8	23.2 \pm 4.0	9.0 \pm 1.7	12.3 \pm 5.8	88.6 \pm 12.0	90.6 \pm 7.5

2.3 氮和磷

各围隔内实验期间 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 平均值变动为 $0.115 \sim 0.202 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{NO}_2 - \text{N}$ 为 $0.002 \sim 0.005 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TAN 为 $0.088 \sim 0.163 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{PO}_4 - \text{P}$ 为 $0.018 \sim 0.055 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, DIN 为 $0.205 \sim 0.342 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TN 为 $1.906 \sim 2.989 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP 为 $0.327 \sim 0.539 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (表 4)。 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 和 TAN 在 DIN 中的比例分别为 47% ~ 59%、1% ~ 2% 和 40% ~ 52%; DIN 在 TN 中的比例为 10% ~ 14%。 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 在 TP 中的比例为 4% ~ 11%。围隔 III 和 VI 内 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 相对较高,围隔 V 内 TN 和 TP 较高。实验期间围隔内 DIN 和 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 始终处于较大幅度波动中。TN 随实验时间(t ; d)延

长呈升高趋势,回归方程为: $\text{TN} = 1.952 + 0.010t$ ($r = 0.43, P < 0.001, n = 112$); TP 随时间延长而下降,回归方程为: $\text{TP} = 0.754 - 0.007t$ ($r = -0.78, P < 0.001, n = 112$)。

从图 1 可见,各围隔内 $\text{DIN}/\text{PO}_4 - \text{P}$ 和 TN/TP 随时间延长呈升高趋势,回归方程分别为: $\text{DIN}/\text{PO}_4 - \text{P} = 2.142 + 0.257t$ ($r = 0.57, P < 0.001, n = 112$), $\text{TN}/\text{TP} = 1.172 + 0.134t$ ($r = 0.91, P < 0.001, n = 112$)。各围隔内实验期间 $\text{DIN}/\text{PO}_4 - \text{P}$ 平均值变动为 9 ~ 18, TN/TP 为 6 ~ 8,在进行的 14 次采样中,围隔 I、II、III、IV、V 和 VI 内 $\text{DIN}/\text{PO}_4 - \text{P} > 7$ 的次数分别为 12、12、7、13、13 和 8 次; $\text{TN}/\text{TP} > 7$ 的次数均为 7 次(表 4)。

表 4 实验围隔内的氮和磷

Tab.4 Concentration of nitrogen and phosphorus in the experimental enclosures mean \pm SD, $n = 14, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

围隔 enclosure	$\text{NO}_3 - \text{N}$	$\text{NO}_2 - \text{N}$	TAN	$\text{PO}_4 - \text{P}$	DIN	TN	TP
I	0.149 ± 0.181	0.005 ± 0.007	0.150 ± 0.091	0.018 ± 0.006	0.305 ± 0.188	2.297 ± 0.378	0.375 ± 0.196
II	0.185 ± 0.338	0.005 ± 0.007	0.130 ± 0.047	0.022 ± 0.008	0.319 ± 0.372	2.368 ± 0.536	0.390 ± 0.159
III	0.202 ± 0.295	0.004 ± 0.005	0.137 ± 0.048	0.055 ± 0.048	0.342 ± 0.20	2.500 ± 0.663	0.518 ± 0.279
IV	0.115 ± 0.080	0.002 ± 0.002	0.088 ± 0.039	0.019 ± 0.004	0.205 ± 0.075	1.906 ± 0.473	0.327 ± 0.149
V	0.147 ± 0.138	0.002 ± 0.002	0.163 ± 0.144	0.022 ± 0.010	0.312 ± 0.196	2.989 ± 0.487	0.539 ± 0.323
VI	0.141 ± 0.112	0.003 ± 0.002	0.156 ± 0.106	0.053 ± 0.048	0.300 ± 0.202	2.423 ± 0.774	0.496 ± 0.230

Notes: $\text{DIN} = \text{NO}_3 - \text{N} + \text{NO}_2 - \text{N} + \text{TAN}$

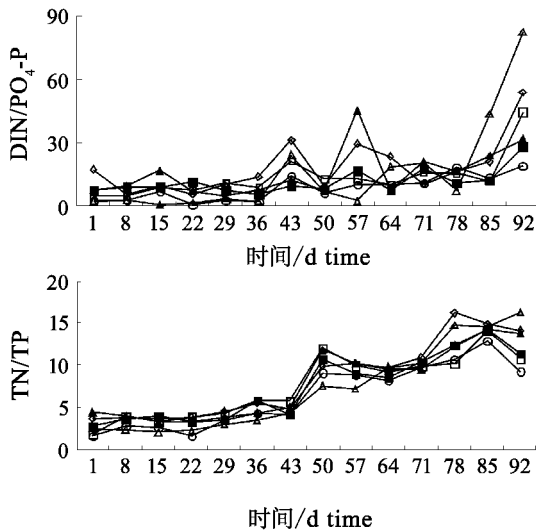


图 1 实验围隔内的氮磷比

Fig.1 Ratio of nitrogen to phosphorus in the experimental enclosures

◇围隔 I, □围隔 II, △围隔 III, ■围隔 IV, ▲围隔 V, ○围隔 VI
◇ enclosure I, □ enclosure II, △ enclosure III, ■ enclosure IV, ▲ enclosure V, ○ enclosure VI

2.4 化学耗氧量

围隔 I、II、III 和 IV 内实验期间 COD_{Mn} 平均值为 $11.21 \sim 13.91 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 围隔 V 和 VI 内 COD_{Mn} 为 $17.29 \sim 17.33 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图 2)。

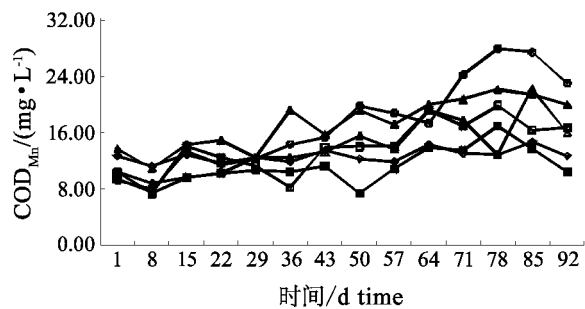


图 2 实验围隔内的化学耗氧量

Fig.2 Chemical oxygen demand in the experimental enclosures

◇围隔 I, □围隔 II, △围隔 III, ■围隔 IV, ▲围隔 V, ○围隔 VI
◇ enclosure I, □ enclosure II, △ enclosure III, ■ enclosure IV, ▲ enclosure V, ○ enclosure VI

围隔内 COD_{Mn} 均随时间 ($t:d$) 延长表现出升高的趋势, 回归方程为: $COD_{Mn} = 9.744 + 0.1t$ ($r = 0.64, P < 0.001, n = 112$)。 COD_{Mn} 与 TN 和 TP 显著相关, 回归方程分别为: $TN = 1.049 + 0.015COD_{Mn}$ ($r = 0.64, P < 0.001, n = 112$); $TP = 0.726 - 0.02COD_{Mn}$ ($r = -0.36, P < 0.001, n = 112$)。

3 讨论

3.1 不同模式下围隔内 Tr、DO 和 pH

实验围隔内 Tr 平均值为 30 ~ 39 cm, 处于杭州和绍兴地区三角帆蚌养殖水体 Tr 的范围 (28 ~ 85 cm) 内^①。围隔内 DO 平均值超过 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 表明浮游植物光合作用较强。采用不同放养和管理模式的围隔间 Tr 无明显差别, 但单养蚌的围隔内 DO 和 pH 高于混养围隔, 这主要是由于单养围隔内浮游植物光合作用相对较强或水呼吸相对较弱所致, 表明混养可降低浮游植物光合作用或增加水呼吸强度。相对稳定的 pH 有利于水产养殖的高产和稳产。单养围隔与混养围隔间 DO 与 pH 的差异在一定程度上揭示改变放养结构和管理措施可通过影响浮游植物光合作用或水呼吸进而影响水体的 DO 和 pH。

3.2 不同模式下围隔内主要离子组成、Alk 和 HT

根据阿列金分类法^[7], 本实验围隔内水均属碳酸盐类钙组 II 型。围隔内 HT 和 Alk 分别处于杭州和绍兴地区三角帆蚌养殖水体的硬度 ($41 \sim 114 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$) 和碱度 ($24 \sim 97 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$) 范围内^①, 但围隔内 Alk 低于淡水高产鱼池^[8-9], 与处于富营养化状态下的武汉东湖^[10] 接近。实验期间围隔内水型未发生改变, 表明在本实验规模下改变放养和管理模式未导致水体主要离子的比例发生显著变化。施肥和投饵单养三角帆蚌的围隔内 Ca^{2+} 和 HT 最低, 但围隔间 Alk 差别较小, 这初步说明不同放养和管理措施对三角帆蚌养殖水体中 Ca^{2+} 和 HT 的影响程度比对 Alk 的影响大。贝类贝壳的生物矿化需要从环境中吸收 Ca^{2+} ^[11], 适宜的 Ca^{2+} 浓度有利于三角帆蚌对 Ca^{2+} 的吸收^[12]。施肥和投饵单养三角帆蚌的围隔内蚌生长最慢^[1], 而该围隔内 Ca^{2+} 浓度和 HT 较低, 表明该围隔内 Ca^{2+} 浓度低的原因并非是由

于蚌快速生长吸收水中的 Ca^{2+} 而导致 Ca^{2+} 浓度和 HT 显著下降。本实验中所获得的数据尚不能完全解释有关放养和施肥、投饵措施对三角帆蚌养殖水体 Ca^{2+} 和 HT 的影响, 这些方面内容有待进一步研究。

3.3 不同模式下水体的氮和磷

养殖水体中的氮磷组成和含量主要取决于施肥、投饵等管理措施^[13-14]。鱼类摄食、排粪、排泄以及活动等也可影响水体的氮磷循环^[15]。本实验中, 围隔内 DIN 低于淡水高产鱼池^[9], 与东湖接近^[10]; 围隔内 TN 和 TP 处于杭州和绍兴地区三角帆蚌养殖水体的 TN ($24 \sim 97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 和 TP ($41 \sim 114 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 范围内^①, 高于东湖的 TN 和 TP^[10]。围隔内 $NO_3 - N$ 和 $NO_2 - N$ 在 DIN 中的比例略低于东湖, 但 TAN 在 DIN 中的比例略高于东湖^[10]。围隔内 DIN/TN 以及 $PO_4 - P / TP$ 均较低 ($< 15\%$), 表明有机氮和有机磷是围隔内氮、磷存在的主要形式; 围隔间 $NO_3 - N$ 、 $NO_2 - N$ 、TAN 无明显差别, 这意味着在本实验规模下改变放养和管理模式未对水体中上述无机氮产生明显的影响。

浮游植物对氮和磷的利用比例大致为 7:1^[16]。当水体中氮和磷不能满足浮游植物最小程度的利用时, 低于上述比例的营养元素将产生限制。淡水鱼池中磷常常为限制性营养盐^[17]。本实验中, 围隔内 TN 随时间延长呈升高趋势, 而 TP 呈下降趋势, $DIN/PO_4 - P$ 和 TN/TP 均随时间延长而升高, 多数围隔内 $DIN/PO_4 - P$ 和 TN/TP 大于 7, 这表明随养殖时间延长围隔内出现磷限制的可能性较大。围隔间 TN/TP 和 $DIN/PO_4 - P$ 无明显差别, 意味着采用不同放养和管理模式未明显改变水体的氮磷比。

3.4 不同模式下水体的化学耗氧量

本实验中, 围隔内 COD_{Mn} 为 $11 \sim 17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 处于杭州和绍兴地区三角帆蚌养殖水体的 COD_{Mn} ($9 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 范围内^①。围隔内 COD_{Mn} 与 TN 和 TP 显著相关, 表明围隔内有机质含量与氮、磷间存在密切关系。本实验中, 围隔内

① 林青霞, 王岩, 高吉华, 等. 不同地区三角帆蚌养殖水体的水质

COD_{Mn}均随时间延长而增加,表明三角帆蚌养殖过程中水体的有机负荷会逐渐增加,这一结果与对海水养殖实验围隔^[13]和淡水养鱼池^[14]的研究结论一致,但张根芳等报道在养蚌水体中 COD_{Cr}随养殖时间延长而下降^[18]。混养围隔内 COD_{Mn}相对低于单养围隔,初步表明鱼蚌混养在一定程度上有助于降低水层内有机质的含量。

实验得到浙江省阮仕珍珠集团公司的多方面支持与帮助,特此致谢。

参考文献:

- [1] 王小冬,王伟良,董向全,等. 不同放养和管理模式对三角帆蚌生长的影响[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(3):1-6.
- [2] 张元培. 淡水珍珠养殖技术[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1981.
- [3] 王 岩. 海水池塘养殖模式优化:概念、原理和方法[J]. 水产学报, 2004, 28(5):568-572.
- [4] 王 薇,郁纬军,陈德昌(译). 海水分析化学和生物学方法手册[M]. 北京: 海洋出版社, 1989.
- [5] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第二版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [6] 魏复盛. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [7] 张卓元(译). 水文化学原理[M]. 北京:地质出版社, 1960: 18-123.
- [8] 雷衍之,徐 捷,于淑敏. 无锡市和埭口高产鱼池水质研究-水化学和初级生产力[J]. 水产学报, 1983, 7(3):185-199.
- [9] 姚宏禄,仇 丽,唐庆宁. 施肥主养鲢、鳙、罗非鱼高产池塘的水化学[J]. 水产学报, 1996, 20(1):81-84.
- [10] 李植生,梁小民,陈旭东,等. 东湖水化学现状. 东湖生态学研究[M]. 北京: 科学出版社, 1995:360-75.
- [11] Rhoads D C, Lutz R A. Skeletal growth of aquatic organisms [M]. New York: Plenum Press, 1980.
- [12] 唐 敏,石安静. 环境钙浓度对淡水育珠蚌外套膜及珍珠囊钙代谢的影响[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2000, 37(5):741-744.
- [13] 王 岩,齐振雄,张鸿雁. 不同单养及混养海水实验围隔水化学的研究[J]. 水产学报, 1999, 23(4):350-356.
- [14] Green B W, Boyd C E. Chemical budgets for organically fertilized fish ponds in the dry tropics[J]. J World Aquac Soc, 1995, 26(3):284-296.
- [15] Vanni M J, Layne C D. Nutrient recycling and herbivory as mechanisms in the "top-down" effect of fish on algae in lakes[J]. Ecology, 1997, 78:21-40.
- [16] Rhee G H, Gotham I J. Optimum N:P ratios and coexistence of planktonic algae[J]. J Phycol, 1980, 16:486-489.
- [17] Boyd C E. Practical aspects of chemistry in aquaculture pond[J]. The Progressive Fish Culturist, 1997, 59(2):85-93.
- [18] 张根芳,邓闵中,方爱萍. 蚌、鱼养殖模式对水体富营养化控制作用的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2005, 35(3):491-495.

Water chemistry for culturing freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii* under different stocking and management models

WANG Xiao-dong¹, WANG Yan², WANG Wei-liang¹, ZHU Sheng-bo¹, DONG Xiang-quan¹

(1. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: A 3-month enclosure experiment was carried out to examine the effects of different stocking (monoculture of freshwater pearl mussel *Hyriopsis cumingii*, polyculture of the pearl mussel and gibel carp *Carassius auratus gibelio*, and polyculture of the pearl mussel, silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Aristichthys nobilis*) and management (fertilizing, combination of fertilizing and feeding) models on chemical water quality. During the experiment, mean value of dissolve oxygen (DO) in the enclosures was over $8.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and pH ranged from 6.99 to 10.69. The enclosures with monoculture of the pearl mussel had high DO and pH. Mean value of Ca^{2+} , hardness and alkalinity in the enclosures ranged within $15.6 - 23.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $80.6 - 96.6 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ and $72.1 - 89.1 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. Mean value of nitrate ($\text{NO}_3 - \text{N}$), nitrite ($\text{NO}_2 - \text{N}$), ammonia (TAN), reactive phosphate ($\text{PO}_4 - \text{P}$), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) ranged within $0.115 - 0.202 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.002 - 0.005 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.088 - 0.163 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.018 - 0.055 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $1.906 - 2.989 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.327 - 0.539 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. There were no significant differences in $\text{NO}_3 - \text{N}$, $\text{NO}_2 - \text{N}$ and TAN among the enclosures. High $\text{PO}_4 - \text{P}$ occurred in the enclosures in which the pearl mussel and gibel carp were polycultured with fertilizing and feeding or the pearl mussel was monocultured with fertilizing. TN and TP were high in the enclosure in which the pearl mussel was monocultured with fertilizing and feeding. Mean value of $(\text{NO}_3 - \text{N} + \text{NO}_2 - \text{N} + \text{TAN}) / \text{PO}_4 - \text{P}$ in each enclosure ranged from 9 to 18, and TN/TP from 6 to 8, respectively. No significant difference was found in $(\text{NO}_3 - \text{N} + \text{NO}_2 - \text{N} + \text{TAN}) / \text{PO}_4 - \text{P}$ and TN/TP among the enclosures. Mean value of chemical oxygen demand (COD_{Mn}) ranged from 17.29 to 17.33 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in the enclosures of monoculture, and from 11.21 to 13.91 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in the enclosures of polyculture. TN and COD_{Mn} increased, while TP decreased, with advance of the experiment. Results of the present experiment indicate using different stocking and management models could not significantly affect concentration of main negative and positive ions, nitrogen and phosphorus, and ratio of nitrogen to phosphorus in waters for culturing freshwater pearl mussel. Polyculture of the pearl mussel and fishes could reduce organic matter content in water column.

Key words: *Hyriopsis cumingii*; aquaculture model; enclosure; water chemistry