

鱼蚌混养对池塘水质、藻相结构及三角帆蚌生长的影响

胡梦红, 武震, 周作强, 刘其根*

(上海海洋大学水产与生命学院, 农业部水产种质资源与利用重点开放实验室, 上海 201306)

摘要: 2012 年 4 月 26 日—2012 年 12 月 12 日通过在鲢鳙鱼养殖池塘中放养不同密度的三角帆蚌, 研究不同三角帆蚌放养比例对鲢鳙鱼养殖池塘中水质、藻相结构及三角帆蚌生长的影响。实验中, 鲢鳙放养比例统一为 3:7, 总密度为 1.5 尾/m³。三角帆蚌放养密度则设置 4 个水平, 分别为单养鲢鳙鱼池塘(0 只/m³), 低密度三角帆蚌混养池塘(0.8 只/m³), 中密度三角帆蚌混养池塘(1.0 只/m³) 和高密度三角帆蚌混养池塘(1.2 只/m³)。结果显示, 混养三角帆蚌池塘的水化指标(TP、PO₄-P、NH₃-N、NO₂-N 和 NO₃-N)均显著低于单养鱼池塘。中密度三角帆蚌混养池塘除 NH₃-N 和化学需氧量(COD)与低密度三角帆蚌混养池塘无显著差异外, 其他各项水化指标均显著低于其他 3 个池塘, 并且极显著低于单养鲢鳙鱼池塘。单养鲢鳙鱼池塘藻类平均密度均极显著高于鱼蚌混养池塘, 其中在鱼蚌混养池塘中浮游植物密度与三角帆蚌密度成负相关关系。单养鲢鳙鱼池塘的浮游植物生物量均极显著低于中、高密度鱼蚌混养池塘, 并且显著低于低密度混养池塘。浮游植物生物量与三角帆蚌密度成正相关关系, 鱼蚌池塘中绿藻和裸藻的生物量在养殖过程中上升显著。低、中密度三角帆蚌混养池塘三角帆蚌存活率均显著高于高密度三角帆蚌混养池塘; 低密度混养池塘中蚌湿重、壳长及壳宽相对增长率均为最大, 显著高于中、高密度三角帆蚌混养池塘。研究表明, 养鱼池塘混养三角帆蚌不仅能改善养殖池塘的水质, 还能控制藻类数量, 促使绿藻和裸藻等大型藻类的生长, 提高养殖水体浮游植物的生物量总量, 最终还能有效提高三角帆蚌的存活率及生长率。从改善水质, 藻相结构, 蚌成活率及生长等指标角度考虑, 在鲢鳙鱼养殖池塘中, 三角帆蚌最佳放养密度为 1.0 只/m³。

关键词: 三角帆蚌; 鲢; 鳙; 混养; 水质; 浮游植物; 生长

中图分类号: S 964

文献标志码: A

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)是我国目前最主要的淡水育珠蚌, 但我国现行“施肥—培育浮游生物—养殖河蚌—收获珍珠”的养殖模式所存在的养殖风险大、养殖水体富营养化、三角帆蚌病害频发等弊端, 已严重打击珍珠养殖户的养殖信心, 导致我国淡水珍珠行业近年来持续低迷^[1]。因此, 寻求一种既能有效控制养殖水体生态环境, 又能极大促进蚌及珍珠生长的新型珍珠养殖模式, 已成为解决困扰我国三角帆蚌养殖现存问题的必由之路。

近年来, 已有诸多研究表明, 鱼蚌混养模式对养殖水体水质具有明显的改善作用, 如吴军等^[2]的研究表明, 鱼蚌混养系统可有效地改良水质, 提高鱼类的存活率; 张根芳等^[3]的调查结果也表明, 投饵养鱼并吊养滤食性蚌的水库其底层排放水的水质明显优于施肥型的养殖水库。此外, 崔志辉等^[4]研究鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙(*Aristichthys nobilis*)混养对三角帆蚌生长和养殖水质影响的围隔实验以及 Yan 等^[5]利用正交设计混养鲢鳙优化三角帆蚌的养殖实验均得出鱼

收稿日期: 2013-09-02 修回日期: 2013-12-08

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903028); 国家自然科学基金项目(31202015)

通信作者: 刘其根, E-mail: qgliu@shou.edu.cn

蚌混养模式可有效改善水质并有利于三角帆蚌的生长。

池塘中的藻类不仅作为水体初级生产力的主要来源,还是滤食性蚌类和滤食性鱼类如鲢、鳙等的主要饵料。因此,掌握池塘中藻类群落的变动规律,对于充分了解混养模式下养殖主体蚌的饵料状况以及总体生物量的动态规律具有重要意义^[6]。张绍浩等^[7]研究表明,放养三角帆蚌的围隔中蓝藻比例明显下降,绿藻和隐藻的比例明显上升。张根芳等^[3]研究显示,水层吊养珍珠蚌后,藻类种类、门类增加,呈现一定的多样化趋势。周小玉等^[8]的研究发现,三角帆蚌养殖围隔中适当混养鲢或鳙可以有效控制蓝藻(铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*))的数量,提高绿藻[四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)]的生物量,进而促进三角帆蚌的生长。

王俊等^[9]的研究表明,滤食性贝类在不同密度条件下对水体浮游藻类的影响存在一定的差异,贝类密度的增大能促进藻类增长速度,但当贝类密度增大到一定值后,藻类数量趋于平缓。另外,周小玉等^[8]的研究也已证实,鲢和蚌存在一定的食物竞争,那么蚌密度的不同很可能将导致养殖水体中藻类群落结构的差异。然而,鱼蚌混养研究中有关蚌最佳放养密度的研究却鲜见报道。本研究通过野外池塘鱼蚌混养实验,在鲢鳙混养比例固定的前提下(3:7),就三角帆蚌不同混养密度对养殖水体水质、藻相组成结构及蚌的生长影响展开研究,旨在为进一步为三角帆蚌养殖新模式的探索积累资料。

1 材料与方 法

1.1 实验设计

实验于2012年4月26日—2012年12月12日在江西省九江市都昌县矾山湖养殖基地进行,在4口面积均为6667 m²,平均水深为1.63 m的淡水池塘中养殖鲢鳙鱼,鲢鳙比例统一为3:7,总密度为1.5尾/m³。其中3口池塘中混养三角帆蚌,三角帆蚌放养密度分别为低密度池塘0.8只/m³(A),中密度池塘1.0只/m³(B)和高密度池塘1.2只/m³(C);此外,1口不混养三角帆蚌为单养鲢鳙鱼池塘(D)。所用的三角帆蚌为1龄的插片蚌,购自浙江金华汤溪。实验用鲢、鳙为1龄,取自九江市都昌县矾山湖养殖基地。

1.2 样品的采集、处理及分析方法

实验期间,每月中上旬测定受试池塘的水化指标,主要包括:总磷(TP)、活性磷(PO₄-P)、亚硝态氮(NO₂-N)、氨氮(NH₃-N)、硝态氮(NO₃-N)、化学需氧量(COD)以及透明度。其中除透明度需要现场测定外,其余各项水化指标的测定均按照《水和废水监测分析方法》^[10]在实验室内完成,水样用5 L采水器,分别采得0.5 m和1.0 m水深处等量混合水样。

浮游植物样品采集和分析根据《湖泊生态调查观测与分析》^[11],水样用5 L采水器,分别采得0.5 m和1.0 m水深处混合水样1 L,鲁哥试剂固定并经24 h沉降后,浓缩至50 mL进行计数。藻类的种类鉴定参考文献[12-14]。用细胞体积法推算浮游植物的生物量,对优势种随机测量30~50个细胞或个体的体积,求得平均值,设藻类比重为1,换算成藻类生物量鲜重^[11]。

分别于实验始末测量三角帆蚌的湿重(WW)、壳长(SL)、壳宽(SW)。测量时,将蚌壳表面洗净并用海绵吸干水分,用天平测量湿重(精确到1 g),用游标卡尺测量壳长和壳宽(精确到0.1 mm)。实验始末对蚌进行抽样计数,以计算成活率。

采用Excel 2007进行数据处理,并用SPSS 19.0软件对三角帆蚌不同混养密度池塘中蚌存活率、壳长、壳宽、相对生长率、水化学指标和藻类数量等进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 混养三角帆蚌对池塘水质的影响

混养不同密度三角帆蚌的池塘中各项水化指标的变化范围如下:TP为0.014~0.042 mg/L, PO₄-P为0.014~0.033 mg/L, NO₂-N为0.18~0.34 mg/L, NH₃-N为0.24~0.38 mg/L, NO₃-N为0.29~1.01 mg/L, COD为12.96~13.87 mg/L,透明度为38.1~39.1 cm(表1)。混养三角帆蚌池塘的水化学指标,除COD和透明度外,其他指标(TP、PO₄³⁻、NO₂-N、NH₃-N和NO₃-N)均明显低于单养鱼类池塘,其中PO₄-P较单养鱼池塘(D)降低52.17%~79.71%;NO₂-N降低39.29%~67.86%;NH₃-N降低26.92%~53.85%;NO₃-N降低36.88%~81.88%,证明混养三角帆蚌能明显降低养殖水体无机氮磷的含量,使养殖池塘

水质从本质上得以改善。

单因素方差分析表明,混养三角帆蚌池塘(A、B、C)除透明度和COD显著高于单养鱼池塘(D)外($P < 0.05$),其余各项水化指标均显著低于单养鱼池塘(D)($P < 0.05$)。而不同的三角帆蚌混养密度(A、B、C)池塘之间透明度和COD这2个指标差异并不显著($P > 0.05$)。此外,中密度三角帆蚌混养池塘(B)中除COD与高密度三角

帆蚌混养池塘(C)无显著差异外($P > 0.05$),其他指标均显著低于高密度混养池塘(C)($P < 0.05$)。另外,中密度三角帆蚌混养池塘(B)的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与低密度混养池塘(A)差异不显著($P > 0.05$)。低密度三角帆蚌混养池塘(A)与高密度三角帆蚌混养池塘(C)之间各项水化指标差异均不显著($P > 0.05$)。

表1 实验期间内水化学指标(平均值±标准差)及其多重比较结果($\alpha = 0.05$)

Tab.1 The average value of water quality parameters during the experiment(mean±SD) and the results of multi-comparison($\alpha = 0.05$)

参数 parameters	池塘编号 pond no.			
	A	B	C	D
TP/(mg/L)	0.031 ± 0.025 ^b	0.014 ± 0.008 ^c	0.042 ± 0.018 ^b	0.077 ± 0.028 ^a
PO_4^{3-} /(mg/L)	0.028 ± 0.015 ^b	0.014 ± 0.020 ^c	0.033 ± 0.019 ^b	0.069 ± 0.017 ^a
$\text{NO}_2\text{-N}$ /(mg/L)	0.29 ± 0.14 ^b	0.18 ± 0.09 ^c	0.34 ± 0.10 ^b	0.56 ± 0.15 ^a
$\text{NH}_3\text{-N}$ /(mg/L)	0.28 ± 0.11 ^{bc}	0.24 ± 0.09 ^c	0.38 ± 0.17 ^b	0.52 ± 0.23 ^a
$\text{NO}_3\text{-N}$ /(mg/L)	0.98 ± 0.22 ^b	0.29 ± 0.16 ^c	1.01 ± 0.58 ^b	1.60 ± 0.51 ^a
COD/(mg/L)	13.16 ± 3.51 ^a	13.87 ± 3.49 ^a	12.96 ± 3.08 ^a	8.62 ± 2.07 ^b
透明度/cm sechii depth	38.1 ± 2.3 ^a	39.1 ± 1.2 ^a	38.8 ± 1.7 ^a	22.5 ± 2.7 ^b

注:同一行数据中含相同字母者表示无显著性差异,不同字母表示有显著性差异。下同

Notes: The same letters in each line mean no significant difference($P > 0.05$), the different letters mean significant difference($P < 0.05$). The same as below

2.2 混养三角帆蚌对浮游植物的影响

对藻类数量及生物量的影响 单养鱼池塘(D)浮游植物密度显著高于混养三角帆蚌池塘(A、B、C)($P < 0.05$),然而D池塘中,浮游植物生物量却显著低于混养三角帆蚌池塘(A、B、C)。此外,在混养三角帆蚌的3口池塘中(A、B、C),浮游植物密度与三角帆蚌混养密度负相关,然而随混养三角帆蚌密度的增加,浮游植物生物量却呈明显的上升趋势(图1)。浮游植物生物量由浮

游植物数量和单重决定,因此,由以上实验结果不难推测,混养三角帆蚌在控制一些小型浮游植物[如微小平裂藻(*Merismopedia tenuissima*)和四尾栅藻等]密度的同时促进了某些中大型浮游藻类[如十字藻(*Crucigenia quadrata* Morr)和裸藻剑尾陀螺藻(*Strombomonas ensifera*)等]的生长,而且随混养三角帆蚌密度的增加,这种藻类大型化的转变更为明显。

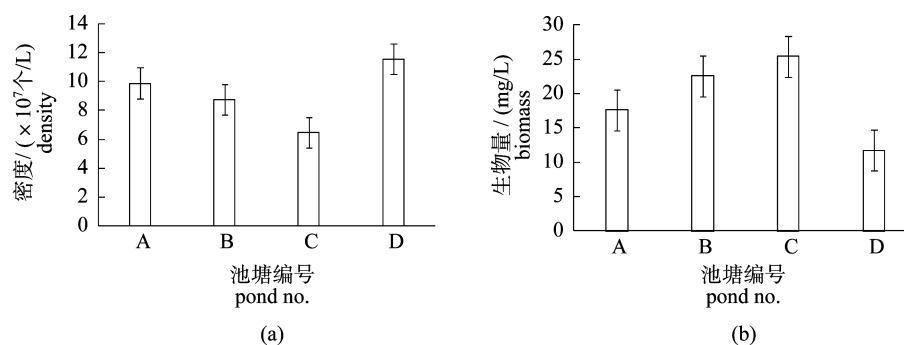


图1 不同池塘浮游植物密度(a)与生物量(b)(平均值±标准差)和多重比较结果($\alpha = 0.05$)

Fig.1 Density (a) and biomass (b) of phytoplankton of different ponds(mean±SD) and the results of multi-comparison($\alpha = 0.05$)

高密度三角帆蚌混养池塘(C)浮游植物密度最早出现明显下降,混养三角帆蚌池塘(A、B)并没有发现明显变化,另外,单养鱼池塘(D)浮游植物密度早期出现较明显的上升趋势。但到了9月中旬(气温下降),4个池塘浮游植物密度均呈下降趋势(图2-a)。进一步说明混养三角帆蚌能控制藻类的数量,而且三角帆蚌密度越大,浮游植物

密度下降越明显。此外,水温作为一个非生物因素也起到了控制藻类数量的作用。

在整个养殖期间混养三角帆蚌池塘(A、B、C)中藻类生物量均呈明显的上升趋势,其中以高密度三角帆蚌混养池塘(C)藻类生物量上升幅度最大(图2-b)。然而值得注意的是,在单养鱼池塘(D)中藻类生物量却呈现出明显下降的趋势。

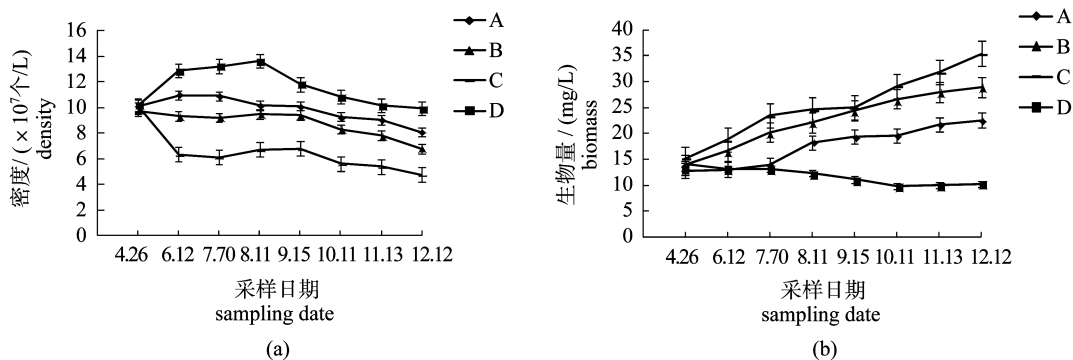


图2 浮游植物密度随时间变化(a)和浮游植物生物量随时间变化(b)

Fig. 2 Temporal variation of the density of phytoplankton (a) and temporal variation of the biomass of phytoplankton (b)

对各门藻的影响 单养鱼池塘(D)中蓝藻、绿藻和硅藻密度要高于混养三角帆蚌池塘(A、B、C),而裸藻的密度则显著低于混养三角帆蚌池塘(A、B、C) ($P < 0.05$)。而且不同混养密度的三角帆蚌对蓝藻、绿藻、硅藻和裸藻密度的影响也存在显著差异 ($P < 0.05$),这种影响还呈现出某种可循的规律,即蓝藻、绿藻和硅藻的密度均随三角帆蚌密度的升高而减少,而裸藻的密度却随三角帆蚌密度的升高而增加(图3-a)。说明三角帆蚌主要摄食蓝藻、绿藻和硅藻等小型藻类,因此,随着三角帆蚌密度的增加,其对小型藻类的摄食压力也相应的提高,最终导致小型藻类密度的进一步减少,而不受捕食压力影响的大型藻类裸藻等则慢慢的占据了优势地位。

混养三角帆蚌(A、B、C)池塘与单养鱼池塘(D)相比绿藻和裸藻的生物量上升显著 ($P < 0.05$),中高密度三角帆蚌混养池塘(B、C)中蓝藻的生物量也有明显上升(图3-b)。不同混养密度的三角帆蚌对蓝藻、绿藻的影响也存在一定差异,其中蓝藻和绿藻的生物量随着三角帆蚌密度的增加而上升,而裸藻的生物量基本保持一致,显示混养三角帆蚌确实能提高大型藻类的生物量。

单养鱼池塘(D)度蓝藻密度最大,但是蓝藻

的生物量却比蓝藻密度最小的高密度三角帆蚌混养池塘(C)的还低(图3)。原因在于单养鱼池塘(D)中蓝藻以微小平裂藻占优,而高密度三角帆蚌混养池塘(C)的蓝藻中水华微囊藻(*Microcystis flosaquae*)所占比例为最多,虽然水华微囊藻单个细胞较小,但自然界中微囊藻多以结团形式存在,因此在计数过程中均以团作为计数单位(约500个/团)。此外单养鱼池塘(D)绿藻的主要优势种为体积较小的栅藻,而高密度三角帆蚌混养池塘(C)的绿藻则以体积较大的十字藻为优势种。因此,单养鱼池塘(D)绿藻密度虽然远大于高密度三角帆蚌混养池塘(C),但绿藻的生物量却明显小于高密度混养池塘(C)。

2.3 混养三角帆蚌对蚌成活率及生长的影响

高密度混养池塘(C)中蚌成活率最低仅为75.23%,显著低于其他2个混养密度池塘(A、B) ($P < 0.05$),而中低密度三角帆蚌混养池塘(B、A)蚌成活率之间不存在显著差异 ($P > 0.05$),分别为84.43%和89.06%。低密度三角帆蚌混养池塘(A)蚌壳长、壳宽和湿重相对增长率均显著高于中高密度混养池塘(B、C) ($P < 0.05$),其值分别为 $(0.071\% \pm 0.015\%)/d$, $(0.121\% \pm 0.046\%)/d$ 和 $(0.309\% \pm 0.081\%)/d$,此外,中

密度三角帆蚌混养池塘(B)蚌湿重、壳长和壳宽相对增长率也要显著高于高密度混养池塘(C) ($P < 0.05$) (表2)。即蚌湿重、壳长和壳宽相对增长率随混养三角帆蚌密度的升高而显著降低,

说明较低的三角帆蚌混养密度更有利于它的存活和生长,混养密度过高会导致蚌之间出现种内竞争,而且这种竞争的强度会随蚌密度的升高而加剧,甚至导致蚌的死亡。

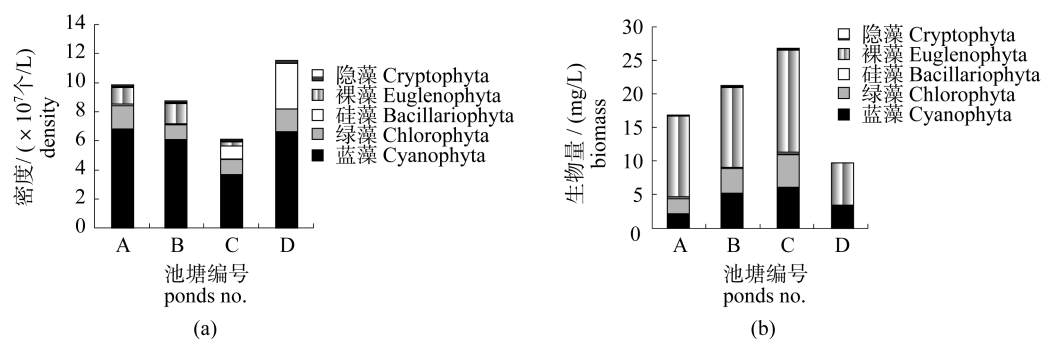


图3 不同池塘中的各门藻密度组成(a)和各门藻生物量组成(b)

Fig.3 Density composition of different phytoplankton (a) and biomass composition of different phytoplankton (b) among different ponds

表2 实验期间池塘内蚌成活率、湿重、壳长及壳宽相对增长率(平均值 \$\pm\$ 标准差)及其多重比较结果
Tab.2 The relative growth rate of survival rate wet weight, shell length and shell width of mussels in ponds during the experiment (mean \$\pm\$ SD) and the results of multi-comparison ($\alpha = 0.05$)

参数 parameters	池塘编号 pond no.		
	A	B	C
蚌存活率/% RGS	89.06 ^a	84.43 ^a	75.23 ^b
蚌湿重相对增长率/(%/d) RGWW	0.309 \$\pm\$ 0.081 ^a	0.263 \$\pm\$ 0.052 ^b	0.226 \$\pm\$ 0.027 ^c
蚌壳长相对增长率/(%/d) RGSL	0.071 \$\pm\$ 0.015 ^a	0.054 \$\pm\$ 0.026 ^b	0.033 \$\pm\$ 0.010 ^c
蚌壳宽相对增长率/(%/d) RGSW	0.121 \$\pm\$ 0.046 ^a	0.095 \$\pm\$ 0.059 ^b	0.073 \$\pm\$ 0.018 ^c

3 讨论

3.1 不同三角帆蚌混养密度对鱼蚌混养池塘水质的影响

大量研究表明,鱼蚌混养能够明显降低养殖水体N、P和COD值^[15-17]。如张根芳等^[15]在野外规模性鱼蚌混养实验中,与单养鱼池塘相比,混养三角帆蚌池塘的N、P和COD含量分别下降67.3%、73.2%、38.1%。本实验中,与单养鱼池塘相比,混养三角帆蚌池塘TP降低了45.45%~81.82%,NO₂-N降低了39.29%~67.86%,NH₃-N降低了26.92%~53.85%,这与张根芳等^[15]的实验结果基本相符,然而,本实验中混养三角帆蚌池塘的COD不但没有降低,反而比单养鱼池塘升高了50.35%~60.90%。与崔志辉等^[4]的围隔实验相比,本实验中混养三角帆蚌池塘无机盐氮NO₂-N(0.18~0.34 mg/L)和NH₃-N(0.24~0.38 mg/L)偏低,而NO₃-N(0.29~1.01 mg/L)偏高,说明本实验养殖

水体氨化和硝化作用都较强,可能与大水面包围隔实验水体有更高的溶解氧水平有关。

对于不同三角帆蚌混养密度,本实验发现,中密度三角帆蚌混养池塘中除COD与高密度三角帆蚌混养池塘无显著差异外,其他指标均显著低于高密度三角帆蚌混养池塘。另外中密度三角帆蚌混养池塘的NH₃-N与低密度三角帆蚌混养池塘差异不显著。低密度三角帆蚌混养池塘与高密度三角帆蚌混养池塘之间各项水化指标均不存在显著差异。因此,本研究证明混养三角帆蚌可以明显改善养殖池塘的水质,而且其改善的状况以中密度三角帆蚌混养池塘为最佳,高密度三角帆蚌和低密度三角帆蚌混养池塘次之。

3.2 鲢、鳙对三角帆蚌养殖池塘(围隔)浮游植物的影响

三角帆蚌偏好滤食颗粒较小(25~60 \$\mu\$m)的食物,如蓝藻、绿藻和硅藻等小型的藻类^[18-19],因此普遍认为混养三角帆蚌能降低小型藻类蓝藻、

绿藻和硅藻等的生物量。然而,在本实验中,中、高密度三角帆蚌混养池塘中蓝藻和绿藻的生物量非但没有降低反而还显著高于单养鱼池塘,值得注意的是中、高密度三角帆蚌混养池塘蓝藻和绿藻中体积较小的一些种类如微小平裂藻和栅藻等的生物量明显降低了,但是其中体积较大的一些种类如水华微囊藻(结团)和十字藻等的生物量却出现显著上升趋势,这在刘娅琴^[20]得出的关于三角帆蚌对微囊藻有明显的拒食作用,对栅藻具有很强的偏好的研究结果相一致。由此可见,三角帆蚌的摄食选择性主要与食物颗粒的大小有关,而与藻所属的门类没有直接关系。

此外,本实验中,高密度三角帆蚌混养池塘浮游植物密度在4口池塘中是最低的,但其浮游植物的生物量却为最高,因此,不难推测其浮游植物在向大型化转变,而且以高密度三角帆蚌混养池塘最为显著,其转变的强度随混养三角帆蚌密度的降低而减弱,而单养鱼池塘浮游植物并未表现出大型化的趋势,这与周小玉等^[8]的研究结果相一致。值得注意的是从9月中旬开始,池塘浮游植物密度均呈下降趋势,而混养三角帆蚌池塘浮游植物生物量非但没有下降反而进一步上升,只有单养鱼池塘浮游植物生物量呈下降趋势,说明池塘水温下降可能导致部分小型藻类[如平裂藻(*Merismopedia sinica*)等]数量的下降,这一现象一方面进一步促进混养三角帆蚌池塘浮游植物向大型化转变,促使其浮游植物生物量进一步增加;另一方面直接降低了以蓝绿藻为优势种的单养鱼池塘的浮游植物生物量。

本实验在比较混养和单养池塘中浮游植物密度与生物量,各门藻的变化后得出,浮游植物密度与三角帆蚌密度成负相关关系,即随着三角帆蚌密度的增加,对藻类密度的控制越明显。而浮游植物的生物量正好相反,随三角帆蚌密度的增加,浮游植物生物量也进一步上升。说明混养三角帆蚌可以控制小型藻类密度,促使水体中的大型藻类的生长。在单养鱼池塘中蓝藻、绿藻和硅藻密度要高于混养三角帆蚌池塘,而裸藻的密度则明显低于混养三角帆蚌池塘。并且不同的三角帆蚌密度对蓝藻、绿藻、裸藻和硅藻密度的影响也不同。蓝藻、绿藻和硅藻密度随三角帆蚌密度的增加而下降,而裸藻密度随三角帆蚌密度的增加而上升。这说明养殖三角帆蚌可以很好的控制水体

中的小型藻类。

相关研究表明,混养鲢导致浮游植物生物量下降,而混养鳙导致生物量大幅度上升,并且藻类群落结构也发生显著变化,鲢导致硅藻、裸藻等较大藻类比例上升,鳙导致蓝藻[水华微囊藻、阿氏颤藻(*Planktothrix agardhii*)]、绿藻等小型藻类比例大幅上升^[8,21-22]。本实验中,与单养鱼池塘相比,混养三角帆蚌池塘浮游植物生物量上升显著,其中以裸藻为优势种,但也含有一定量的蓝藻和绿藻,因此在保持蚌密度不变的情况下,应增加鲢鳙鱼的放养比例以及鲢鳙鱼的总密度,以控制混养三角帆蚌池塘持续增长的浮游植物生物量,在控制水华微囊藻的同时,可提高水体中浮游植物生物量向高营养级的转化率。

3.3 不同的三角帆蚌混养密度对三角帆蚌成活率和生长的影响

从蚌平均壳长、壳宽以及蚌湿重增长率等数据得出,低密度三角帆蚌混养池塘中的三角帆蚌生长情况最好,这可能与低密度养殖三角帆蚌降低了蚌之间以及蚌与鲢之间的食物竞争,为蚌的生长提供更为丰富的饵料,但三角帆蚌养殖密度过低将直接导致养殖水域资源的浪费。本研究结合水质改善状况,藻类结构优化情况和蚌存活率及生长等数据进行综合分析,认为在鲢鳙鱼养殖池塘中,以中等密度混养三角帆蚌(1.0只/m³)对养殖最有利。但如果考虑到在该三角帆蚌混养密度下进一步控制大型浮游藻类生物量以及水华微囊藻的生物量,实际养殖中,可以适当增加鲢鳙鱼的放养比例以及放养总量,或者放养少量草鱼或者鲫,以便控制水体中水华微囊藻的生物量,更充分地利用养殖水体中浮游植物等生物资源。

参考文献:

- [1] Zhang G F, Fang A P, Ye Q H. The main problem of China's freshwater cultured pearl industry and countermeasures [J]. Scientific Fish Farming, 2008 (5): 1-2. [张根芳,方爱萍,叶秋红.我国淡水珍珠养殖业的主要问题及对策.科学养鱼,2008(5): 1-2.]
- [2] Wu J, Ma N, Shi L L, et al. Freshwater mussel, *Hyriopsis cumingii* Lea as a biocontrol tool to regulate eutrophical farming water [J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2005, 28

- (3):92-96. [吴军,马楠,施丽丽,等.三角帆蚌对精养鱼塘水体主要水质因子的调控.南京师范大学学报:自然科学版,2005,28(3):92-96.]
- [3] Zhang G F, Xu S J, Liu Q G, *et al.* The discharge water quality in small reservoirs under different polyculture models of fish-freshwater mussel [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2010, 25(3): 253-259. [张根芳,许式见,刘其根,等.小型水库不同蚌、鱼混养模式排放水的水质分析.大连水产学院学报,2010,25(3):253-259.]
- [4] Cui Z H, Zhou X Y, Zhang G F, *et al.* Effect of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*) on growth and culturing water quality for pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2):278-283. [崔志辉,周小玉,张根芳,等.鲢鳙混养对三角帆蚌生长和养殖水质影响的围隔实验.水产学报,2012,36(2):278-283.]
- [5] Yan L L, Zhang G F, Liu Q G, *et al.* Optimization of culturing the fresh water pearl mussels, *Hyriopsis cumingii* with filter feeding Chinese carps (bighead carp and silver carp) by orthogonal array design [J]. Aquaculture, 2009, 292(1-2):60-66.
- [6] Bayne B L, Newell R C. Physiological energetics of marine molluscs [M] // Saleuddin A S M, Wilbur K M. The Mollusca, Vol. 4, Physiology. Part 1, New York: Academic Press, 1983:407-515.
- [7] Zhang S H, Wu H J, Cui B, *et al.* Preliminary study on control of algaeblooms by *Hyriopsis cumingii* Lea [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(5):1-762. [张绍浩,邬红娟,崔博,等.利用三角帆蚌控制水华的初步研究.水生生物学报,2007,31(5):760-762.]
- [8] Zhou X Y, Zhang G F, Liu Q G, *et al.* Effects of *Hyriopsis cumingii* and *Aristichthys nobilis* on the enclosures phytoplankton community of *Hypophthalmichthys molitrix* pond [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(5):729-737. [周小玉,张根芳,刘其根,等.鲢、鳙对三角帆蚌池塘藻类影响的围隔实验.水产学报,2011,35(5):729-737.]
- [9] Wang J, Jiang Z H, Dong S L. Role of filter-feeding bivalves in proliferation of phytoplankton community [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(5):765-768. [王俊,姜祖辉,董双林.滤食性贝类对浮游植物群落增殖作用的研究.应用生态学报,2001,12(5):765-768.]
- [10] Chinese State Environmental Protection Administration. Monitoring and analysis method of water and waste water (Edition). 4th. Beijing: China Environmental Science Press, 2006. [中国国家环境保护总局.水和废水监测分析方法(增补版).4版.北京:中国环境科学出版社,2006.]
- [11] Hu H J, Wei Y X. The freshwater algae of China—systematics, taxonomy and ecology [M]. Beijing: Science Press, 2006. [胡鸿钧,魏印心.中国淡水藻类—系统、分类及生态.北京:科学出版社,2006.]
- [12] Zhou F X, Chen J H. Freshwater micro biological map [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. [周凤霞,陈剑虹.淡水微生物图谱.北京:化学工业出版社,2005.]
- [13] Liang X Q, Fang J Z, Yang H Q. Aquatic biology: morphology and taxonomy [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996. [梁象秋,方纪祖,杨和荃.水生生物学:形态和分类.北京:中国农业出版社,1996.]
- [14] Zhang J M, He Z H. Inland water fishery natural resource survey handbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991. [张觉民,何志辉.内陆水域渔业自然资源调查手册.北京:农业出版社,1991.]
- [15] Zhang G F, Deng M Z, Fang A P. The role of co-cultivation of pearl mussels and fishes in the control of eutrophication [J]. Periodical of Ocean University of China, 2005, 35(3):491-495. [张根芳,邓闽中,方爱萍.蚌、鱼养殖模式对水体富营养化控制作用的研究.中国海洋大学学报:自然科学版,2005,35(3):491-495.]
- [16] Chen J Z, He Y P, Meng S L, *et al.* Purification effect of polyculture of fish-mussel in pond, a mode of circular economy [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007, 23(2):41-46. [陈家长,何尧平,孟顺龙,等.蚌、鱼混养在池塘养殖循环经济模式中的净化效能.生态与农村环境学报,2007,23(2):41-46.]
- [17] Li Y S, Li J L, Liu R J, *et al.* The effects of culturing *Hyriopsis cumingii* on the main water quality parameters in the open pond [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(2):173-177. [李应森,李家乐,刘仁杰,等.外荡养殖三角帆蚌对水体主要水质因子的影响.上海水产大学学报,2006,15(2):173-177.]
- [18] Fei Z L, Wu, Zhao Q, *et al.* Effect of Filtration and Digestion of *Hyriopsis cumingii* to Algae [J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(5):24-27. [费志良,吴军,赵钦,等.三角帆蚌对藻类滤食及消化的

- 研究. 淡水渔业, 2006, 36(5): 24 - 27.]
- [19] Zhu A M, Chen WX, Luan J G, *et al.* A study on feeding habits and ingestion rate of *Hyriopsis cumingii* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(2): 244 - 246. [朱爱民, 陈文祥, 栾建国, 等. 三角帆蚌食性及摄食率的初步研究. 水生生物学报, 2006, 30(2): 244 - 246.]
- [20] Liu Y Q. Ecological studies of microcystis blooms and microcystins in Lake Taihu [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, 2007. [刘娅琴. 太湖微囊藻水华及其产毒的生态学研究. 武汉: 水生生物研究所, 2007.]
- [21] Januszko M. The effect of three species of phytophagous fish on algae development [J]. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 1974, 21 (3 - 4): 431 - 454.
- [22] Spataru P, Wohlfarth G W, Hulata G. Studies on the natural food of different fish species in intensively manured polyculture ponds [J]. *Aquaculture*, 1983, 35(1 - 2): 283 - 298.

The impact of polyculture of freshwater mussel on water quality, plankton community and mussel growth performance in ponds of silver carp and bighead carp

HU Menghong, WU Zhen, ZHOU Zuoqiang, LIU Qigen*

(Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Utilization, Ministry of Agriculture, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: A pond-based experiment was conducted from 26 April to 12 December 2012, in order to evaluate the effects of polyculture of freshwater mussel *Hyriopsis cumingii* in the ponds of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Aristichthys nobilis*, on water quality, plankton community and mussel growth performance. During the experiment period, four mussel densities were set up: fish monoculture pond ($0/m^3$), low density mussel polyculture pond ($0.8/m^3$), medium density mussel polyculture pond ($1.0/m^3$) and high-density mussel polyculture pond ($1.2/m^3$). The results revealed that water quality parameters (TP, PO_4 -P, NH_3 -N, NO_2 -N and NO_3 -N) of the ponds with mussels were significantly lower than the fish monoculture ponds. All water quality parameters of medium density mussel polyculture ponds were significantly lower than those of the other three ponds, except that its chemical oxygen demand (COD) and NH_3 -N showed no significant difference with that of low density mussel polyculture ponds. The plankton densities in fish monoculture ponds were significantly higher than those of mussel polyculture pond. In mussel polyculture ponds, negative correlation was found between phytoplankton density and mussel culture density. Phytoplankton biomass of fish monoculture pond was significantly lower than that of mussel polyculture pond, while significantly lower than that of the low density mussel polyculture pond. Phytoplankton biomass positively correlated with mussel density. The biomass of green algae and bare algae significantly increased in the polyculture mussel pond. The mussel survival rates were significantly higher in low density and medium density mussel polyculture ponds than that of high-density polyculture pond, but the values of mussel wet weight, shell length and shell width were the highest in the low density mussel polyculture pond. This study indicated that polyculture with freshwater mussel can effectively improve the water quality, control excess growth of harmful algae, accelerate the growth of chlorella and euglenophyta, increase the biomass of plankton, and improve survival and growth performance of the mussels. Finally, this study demonstrated that the optimal culture density of freshwater mussel in the ponds of silver and bighead carps was $1.0/m^3$.

Key words: *Hyriopsis cumingii*; *Hypophthalmichthys molitrix*; *Aristichthys nobilis*; polyculture; water quality; phytoplankton; growth

Corresponding author: LIU Qigen. E-mail: qgliu@shou.edu.cn