

鲢、鳙对三角帆蚌池塘藻类影响的围隔实验

周小玉¹, 张根芳², 刘其根^{1*}, 鄢灵兰¹, 李家乐¹

(1. 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;

2. 浙江金华职业技术学院, 浙江 金华 321007)

摘要:以浙江金华汤溪威旺养殖基地的三角帆蚌养殖水体为研究对象,通过围隔实验比较研究了单养鲢、鳙和三角帆蚌的池塘浮游植物密度、生物量和优势种(属)组成等的差异,以及养蚌池混养鲢鳙对水体浮游植物密度、生物量以及优势种变化的影响。结果表明,养蚌(10#)围隔的浮游植物平均密度和生物量均显著高于高密度鲢(12#)围隔($P < 0.05$),其蓝藻数量及生物量显著高于高密度鲢(12#)和低密度鳙(13#)围隔($P < 0.05$),绿藻数量则显著低于低密度鲢单养(11#)围隔($P < 0.05$)。在鱼蚌混养的情况下,单养蚌(10#)围隔浮游植物平均数量显著高于鲢-蚌混养(15#,16#)和鳙-蚌混养(17#,18#)围隔($P < 0.05$),其蓝藻数量及生物量极显著高于鲢-蚌混养(15#,16#)或鳙-蚌(17#,18#)围隔($P < 0.01$),其绿藻数量显著低于混养高密度鲢(16#)或低密度鳙(17#)的混养围隔($P < 0.05$)。研究结果充分说明,鲢、鳙和三角帆蚌三者对水体藻类组成的影响有别,三角帆蚌养殖池中适当混养鲢或鳙可以有效控制蓝藻(铜绿微囊藻)的生长,促进绿藻(四尾栅藻)的生长,并最终有利于三角帆蚌的养殖,混养鲢密度的增加有利于控制藻类生长,而鳙密度的增加促进了裸藻等中大型藻类的生长。

关键词:浮游植物;三角帆蚌;鲢;鳙;生物量

中图分类号: S 965

文献标识码: A

我国现行的淡水珍珠养殖模式主要是“施肥-培养浮游生物-养殖河蚌-收获珍珠”,该模式不但存在着养殖品种单一,养殖周期长,养殖风险大效益差等弊端,更主要是由于在养殖过程中需要大量施肥,致使水体有机负荷(水体氮、磷含量和COD)高、环境质量差(如氨氮等含量高,溶氧波动大,底层常缺氧等)、水质富营养化严重等,不但影响了珍珠蚌的生长,而且也会对周边环境造成污染,从而影响到珍珠养殖业的可持续发展^[1]。因此,要解决困扰我国淡水珍珠养殖存在的问题,改变现行养殖模式势在必行。

池塘中的藻类,不但是水体初级生产力的主要来源,也是育珠蚌和滤食性鱼类如鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)等的主要饵料。掌握池塘中藻类群落的变动规律,对于提高池塘养殖产量,充分利用水体

鱼产力和发展我国珍珠养殖均具有重要意义。国内外研究表明,水体中藻类的组成和数量,同时受营养盐(上行效应)和食物网结构(下行控制)的双重影响^[2],因此通过改变养蚌池塘的藻食生物结构。来改变蚌池藻类的优势种组成,从而为珍珠蚌提供适口饵料,是一个值得研究的课题。

鲢和鳙是以浮游生物为食的滤食性(filter-feeding)鱼类,生长快、产量高,且被广泛引种到世界各地以增加鱼产量及改善池塘水质^[2]。作为同是滤食性生物的鲢、鳙和三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*),它们经常可能出现在同一个水体生态系统中,了解它们对浮游植物的影响,不但为合理利用这些滤食性生物进行水环境治理,而且还为利用鲢鳙改善三角帆蚌养殖池的水质提供重要的参考。

本实验以金华养殖基地的三角帆蚌养殖水体为研究对象,在三角帆蚌养殖池塘中通过混养鲢、

收稿日期:2010-09-26 修回日期:2011-02-08

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903028);上海市重点学科建设项目(Y1101)

通讯作者:刘其根,E-mail:qgliu@shou.edu.cn

鳊,以及与单养鳊、鳙的池塘浮游植物组成及其变动规律的比较,对滤食性鳊、鳙以及三角帆蚌的养殖对水体中的浮游植物的影响进行了探讨,旨在了解这些滤食性生物对浮游植物群落结构的影响,为合理利用这些生物改善水体环境提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 养殖实验

围隔实验于2007年6月19日-2007年12月25日在金华汤溪威旺养殖基地进行。实验中所采用的放养和管理模式见表1。池塘是用木桩和塑料薄膜围成的长方形围隔,池塘面积为200 m²,深为2.5 m。所用的三角帆蚌为1龄的插片蚌,蚌用网袋吊养在离水面40~50 cm处,间隔为1.5 m左右,每个网袋吊养4~5只。实验用鳊、鳙为1龄,其中鳊平均200 g/尾,鳙300 g/尾。所有实验围隔每星期投施“肥水宝”(TN 8.0%, TP 5.0%,产自黑龙江)一次,每次施肥6.95 g/m²。

1.2 样品的采集、固定及处理与分析方法

浮游植物的采样和样品处理方法主要参照张觉民等^[3]。围隔内放养蚌、鱼后每周在围隔内采水样。水样用5 L采水器,分别采得0.5 m和1.5 m水深处混合水样1 L,加入鲁戈氏液甲醛(5%)固定液固定,经24 h沉淀,浓缩至50 mL后进行定量计数。计数前摇匀,定量瓶用左右平移的方式摇动100~200次,摇匀后立即用0.1 mL吸管从中吸取0.1 mL浓缩样品于0.1 mL计数框内计数。除某些大型个体采用全片计数外,其余一律采用视野法,在显微镜下10×40倍观察计数,根据每个视野中浮游植物的数量每片数50~100个视野。藻类的种类鉴定参考文献^[4-6]。用细胞体积法推算浮游藻类的生物量,对优势种随机测量30~50个细胞或个体的体积,求得平均值^[7]。

数据采用Excel 2007和SPSS 14.0软件处理并采用单因素方差分析。

表1 围隔实验中所采用的放养和管理模式

Tab.1 Stocking and management models used in the enclosure experiment

围隔 enclosure	鳊放养量/(条) silver carp	鳙放养量/(条) bighead carp	蚌吊养量/(个) pearl mussel	施肥量 fertilization
10#	-	-	305	
11#	15	-	-	
12#	46	-	-	
13#	-	15	-	每星期施肥一次,每次施肥6.95 g/m ² 。
14#	-	46	-	Weekly and 6.95 g/m ² at a time.
15#	15	-	305	
16#	46	-	305	
17#	-	15	305	
18#	-	46	305	

2 结果

2.1 鳊、鳙、三角帆蚌单养时3种池塘(围隔)藻类组成的比较

鳊、鳙、蚌3种单养池塘藻类数量与生物量的比较 图1显示了鳊、鳙、蚌在单养时这3种养殖池塘内浮游植物密度和生物量的情况,对三者进行方差分析的结果表明,实验期间,10#(单养蚌)围隔藻类平均数量和生物量显著高于12#(高密度鳊单养)围隔($P < 0.05$),而11#(低密度鳊

单养)围隔以及鳙单养(13#、14#)围隔藻类的平均数量和生物量均与10#围隔差异不显著($P > 0.05$)。但仍可看出不同密度的鳊鳙之间有不同的变化趋势,即随养殖鳊密度的增大(12#围隔),其藻类平均数量和生物量有下降趋势,而随鳙密度增大(14#围隔)藻类平均数量和生物量则有上升趋势。

从图2可见,各围隔中浮游植物的数量从9月23日开始出现增长,其中10#(单养蚌)围隔增长速度和幅度最大,而12#(高密度鳊单养)和13#

(低密度鳙单养)的围隔增长幅度最小,从中也可见,鲢、鳙密度增加对浮游植物数量的影响正好相反。值得注意的是,低密度鲢围隔(11#)在8月10日和9月9日各出现了一次浮游植物增长高峰,这表明,低密度鲢与蚌一样,可能反而能促进藻类的生长。各围隔的藻类生物量均随时间而表现出一定的振荡格局,但不同围隔间生物量的波动或振荡周期也各不相同。

3种养殖围隔内各大类藻类组成上的差异 10#~14#围隔中各门藻数量组成都以蓝藻和绿藻为主,但养蚌的围隔(10#)蓝藻数量明显高于养鲢(11#、12#)或鳙(13#、14#)围隔,而绿藻的数量则明显低于养鲢或鳙的围隔(图3)。

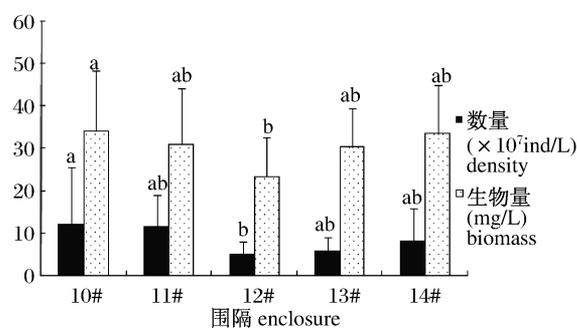


图1 10#~14#围隔中浮游植物平均数量与生物量及其多重比较结果($\alpha=0.05$)

Fig.1 The average density and biomass of phytoplankton in enclosures of 10# - 14# and the results of multi-comparison ($\alpha=0.05$)

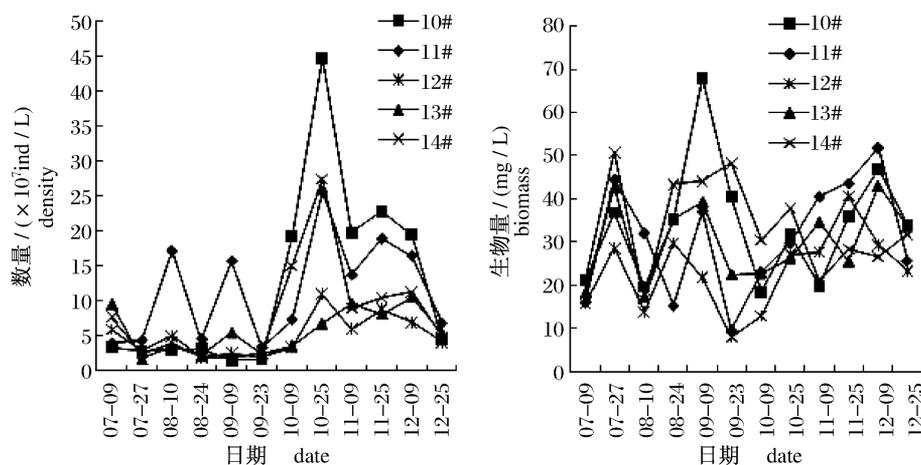


图2 10#~14#围隔中浮游植物数量和生物量随时间变化

Fig.2 Temporal variation of the density and biomass of phytoplankton in enclosures of 10# - 14#

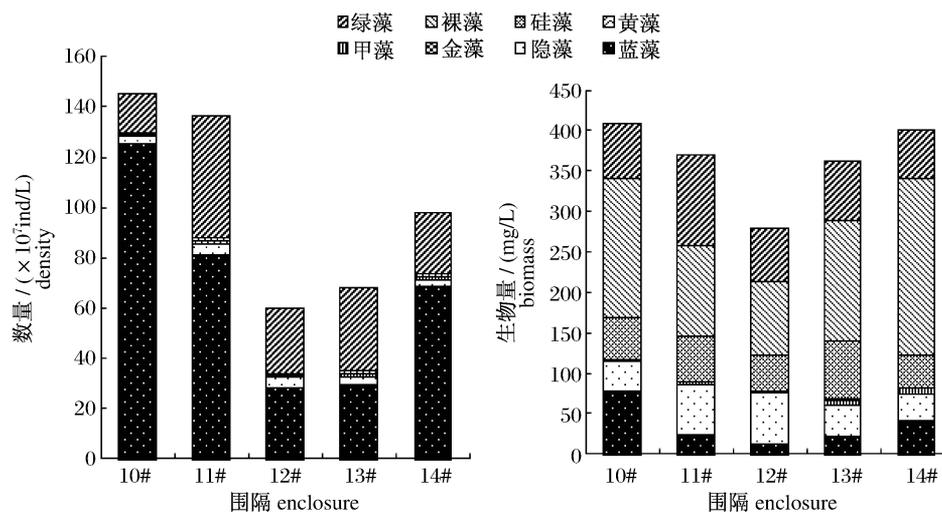


图3 10#~14#围隔中各门藻数量和生物量组成

Fig.3 Density composition and biomass composition of different phytoplankton in enclosures of 10# - 14#

方差分析结果表明,单养蚌(10#)围隔蓝藻数量显著高于高密度鲢(12#)围隔和低密度鳙(13#)围隔($P < 0.05$),低密度鲢(11#)围隔绿藻数量极显著高于单养蚌(10#)围隔、高密度鲢围隔(12#)和高密度鳙(14#)围隔($P < 0.01$)。说明单养高密度鲢(12#)或低密度鳙(13#)可以显著降低蓝藻数量,而低密度鲢(11#)围隔促进了绿藻的大量繁殖。

实验期间各围隔中浮游植物生物量组成主要有裸藻(14#围隔最高)、绿藻(11#围隔最高)、硅藻(13#和10#围隔最高)、蓝藻(10#围隔最高)、隐藻(12#和11#围隔最高)。与单养蚌(10#)围隔相比,单养高密度鲢(12#)围隔生物量明显下降,其中裸藻、蓝藻和硅藻生物量下降,隐藻生物量上升。随鳙鱼(13#、14#)密度的增加,生物量略有上升,其中裸藻和蓝藻生物量上升,绿藻、硅藻及隐藻生物量下降。方差分析结果表明,蚌单养(10#)围隔蓝藻生物量显著高于鲢(11#、12#)单养围隔和低密度鳙(13#)单养围隔($P < 0.05$)。说明与单养蚌围隔相比,单养鲢(11#、12#)围隔和低密度鳙(13#)围隔蓝藻生物量显著下降(图3)。

主要优势种的变化 从数量来看,各围隔主要优势类群为蓝藻和绿藻,铜绿微囊藻主导了单养蚌围隔中蓝藻数量的增加,养鱼围隔中11#和14#围隔蓝藻数量最多,而它们的变化则分别由微小平裂藻和小形色球藻所主导,而各围隔中绿藻的优势种则为四尾栅藻。从生物量看,各围隔中裸藻占优势地位,裸藻的主要优势种为绿色裸藻、血红裸藻、尖尾裸藻。

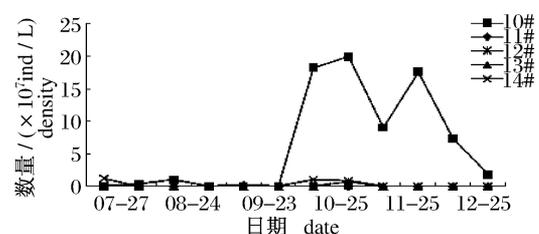
从图4-a可见,单养蚌(10#)围隔铜绿微囊藻的数量随着时间的变化增加的最多,单养鱼(11#、12#、13#、14#)围隔铜绿微囊藻数量增长均处于一个较低水平,特别是从11月9日开始,单养鱼围隔铜绿微囊藻就消失了。

从图4-b可见,单养低密度鲢(11#)围隔微小平裂藻数量均高于其他围隔(除7月9日外),但随着时间的波动幅度较大,而单养蚌(10#)围隔微小平裂藻数量一直处于较低水平。

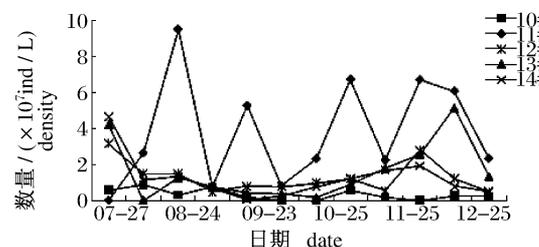
从图4-c可见,单养低密度鲢(11#)围隔四尾栅藻的数量增长最大,单养蚌(10#)围隔四尾栅藻数量变化最小且相对处于低水平。随鲢或鳙密度的增加,四尾栅藻数量增长均下降。说明养鱼

围隔尤其是单养低密度鲢(11#)围隔促进了四尾栅藻的生长。

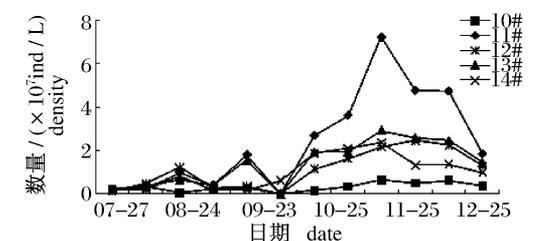
从图4-d可见,各围隔绿色裸藻的生物量在7月9日到9月23日之间增长较大,鳙单养(13#、14#)围隔增长大于蚌单养(10#)围隔及鲢单养(11#、12#)围隔,其中高密度鲢单养(12#)围隔绿色裸藻生物量增长最小。说明鳙促进了绿色裸藻的生长,而高密度鲢可以控制其生长。



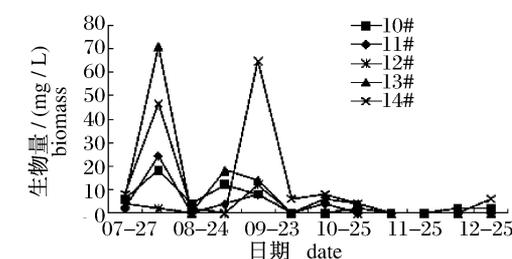
a 铜绿微囊藻的数量随时间变化
a Changes in the quantities of *Microcystis aeruginosa*



b 微小平裂藻数量随时间变化
b Changes in the quantities of *Merismopedia tenuissima*



c 四尾栅藻的数量随时间的变化
c Changes in the quantities of *Scenedesmus quadricauda*



d 绿色裸藻的生物量随时间的变化
d Changes in the biomass of *Euglena viridis*

图4 10#~14#围隔中主要优势种数量和生物量随时间变化

Fig.4 Changes in the quantities and biomass of dominant species in enclosures of 10# - 14#

2.2 单养蚌与混养鲢或鳙后的养蚌围隔藻类组成的比较

单养蚌与混养围隔中藻类数量与生物量的比较 图 5 分别显示了养蚌池在单养(10#)时以及在混养鲢(15#、16#)或鳙(17#、18#)后其浮游植物密度和生物量组成的差异情况。方差分析结果表明,单养蚌(10#)围隔藻类数量显著高于混养鲢(15#、16#)和混养鳙(17#、18#)的养蚌围隔($P < 0.05$),混养高密度鳙(18#)的养蚌围隔藻类生物量显著高于混养高密度鲢(16#)的养蚌围隔($P < 0.05$)。说明与单养蚌的围隔相比,混养鲢或鳙可以显著降低养蚌围隔内的藻类数量,而混养高密度鲢(16#)对藻类生物量的影响更显著。

单养蚌(10#)围隔藻类数量增长最大,其次是混养鲢(15#、16#)的养蚌围隔,混养高密度鳙(18#)的养蚌围隔藻类数量增长最小。从

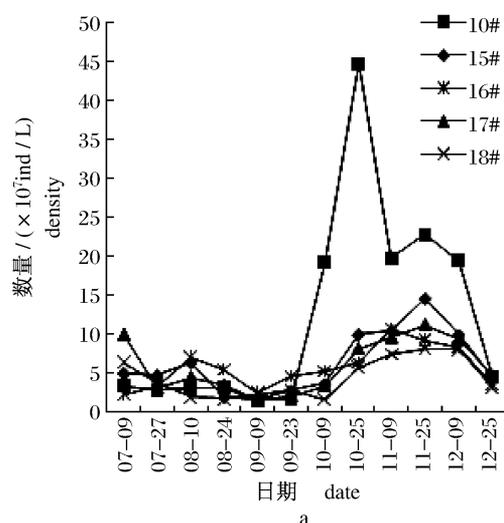


图 6-b 可见,7 月 27 日各围隔生物量均达到一个峰值,8 月 24 日到 10 月 9 日之间各围隔生物量增长较大。

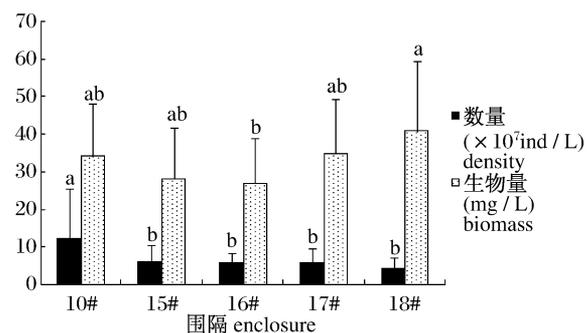


图 5 10#,15#~18#围隔中浮游植物数量与生物量及其多重比较结果($\alpha = 0.05$)

Fig. 5 Density and biomass of phytoplankton in enclosures of 10#,15#-18# and the results of multi-comparison ($\alpha = 0.05$)

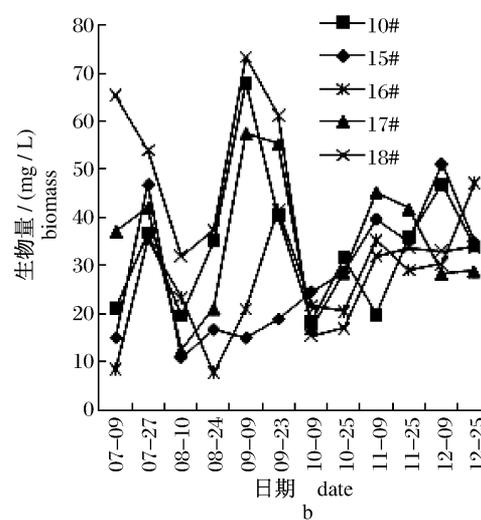


图 6 10#,15#~18#围隔中浮游植物数量和生物量随时间变化

Fig. 6 Temporal variation of the density and biomass of phytoplankton in enclosures of 10#,15#-18#

单养蚌与混养围隔中各大类藻类组成上的差异 从各门藻的数量来看,各个围隔的优势类群都是蓝藻和绿藻(图 7),蓝藻平均占 48%,其中蓝藻的主要优势种为微小平裂藻以及铜绿微囊藻,绿藻平均占 40%,绿藻中主要优势种为四尾栅藻。与单养蚌(10#)围隔相比,混养鲢(15#、16#)围隔和混养鳙(17#、18#)围隔藻类数量均明显下降,其中蓝藻数量下降,绿藻和隐藻数量上升。随鲢密度增加,蓝藻数量下降,绿藻数量上升,随鳙鱼密度的增加,蓝藻和绿藻数量均下降。方差分析结果表明,单养蚌(10#)围隔蓝藻数量极显

著高于混养鲢(15#、16#)或鳙(17#、18#)围隔($P < 0.01$),混养高密度鲢(16#)或低密度鳙(17#)围隔绿藻数量显著高于单养蚌(10#)围隔($P < 0.05$)。说明混养鲢鳙可以显著降低蓝藻数量,混养高密度鲢鱼或低密度鳙显著促进绿藻的生长。

从图 7 还可见,与单养蚌(10#)围隔相比,混养鲢(15#、16#)的养蚌围隔藻类生物量下降,其中蓝藻及裸藻生物量下降,绿藻、硅藻和隐藻生物量上升,混养鳙(17#、18#)的养蚌围隔生物量上升,其中蓝藻生物量下降,绿藻、裸藻、硅藻及隐藻

生物量上升。方差分析表明,单养蚌(10#)围隔蓝藻生物量极显著高于混养鲢(15#、16#)或鳙(17#、18#)的养蚌围隔($P < 0.01$)。说明混养鲢

或鳙均可控制养蚌围隔内的蓝藻生物量,混养鳙能导致裸藻生物量的上升,混养低密度鲢还可控制裸藻生物量。

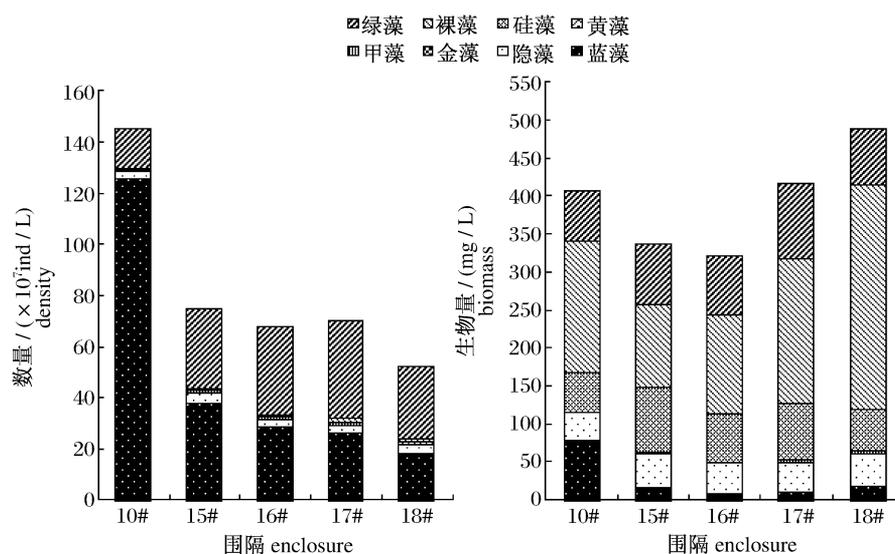


图7 10#,15#~18#围隔中各门藻数量和生物量组成

Fig. 7 Density composition and biomass composition of different phytoplankton in enclosures of 10#, 15#-18#

主要优势种的变化 从数量来看,15#~18#围隔中蓝藻数量主要由微小平裂藻和点状平裂藻组成,绿藻的优势种为四尾栅藻。从生物量看,各围隔中裸藻占优势地位,裸藻的主要优势种为绿色裸藻、血红裸藻、尖尾裸藻。

从图 8-a 可见,混养鲢(15#、16#)围隔微小平裂藻数量增长较大,其中混养低密度鲢(15#)围隔增长最大,在 11 月 25 日时达到一个高峰,其次是混养鳙(17#、18#)围隔,单养蚌(10#)围隔中微小平裂藻的数量增长变化最小。说明混养鲢促进了小型藻类的繁殖。

从图 8-b 可见,单养蚌(10#)围隔铜绿微囊藻增长最大,在 8 月 10 日有一个小高峰,从 9 月 23 日到 12 月 25 日大幅度增加,除混养低密度鲢(15#)和混养高密度鳙(18#)围隔在 10 月 25 日略有增长,混养鱼的围隔微囊藻几乎没有增长,说明混养鲢鳙围隔,有效的控制了铜绿微囊藻的数量。

从图 8-c 可见,混养低密度鳙(17#)围隔四尾栅藻增长最大,其次是混养鲢(15#、16#)围隔,单养蚌(10#)围隔的四尾栅藻增长最小。

从图 8-d 可见,各围隔绿色裸藻从 7 月 9 日到 10 月 9 日变化较大。混养高密度鳙(18#)围隔绿色裸藻生物量增长最大,其次是单养蚌(10#)围隔和混养低密度鳙(17#)围隔,增长最小的是

混养鲢(15#、16#)围隔。

3 讨论

3.1 鲢、鳙、三角帆蚌 3 种滤食生物单养时其池塘(围隔)内浮游植物组成的差异比较

鲢、鳙和三角帆蚌均属滤食性动物,它们都是通过大量过滤水体中的颗粒物来获取食物,所以这三者常被认为是处于同一生态位,特别是鲢和蚌。因此,在养殖三角帆蚌时一般都不主张将鲢、鳙混养在养蚌池中;此外,除了鲢鳙外,近十年来,利用蚌等贝类来控制富营养化水体或养殖池塘中的藻类过度增长问题也受到了广泛的重视^[8-9]。然而,本研究发现,单养蚌(10#)围隔中蓝藻(铜绿微囊藻)数量占优势,并从实验中期(9.23)开始出现大幅度增长,而单养鲢或鳙的围隔(11#~14#)中铜绿微囊藻数量一直处于较低水平,并于实验中后期(11.9)消失。另外,10#(单养蚌)围隔生物量上裸藻占优势,其绿藻数量显著低于低密度鲢单养(11#)围隔,说明单养蚌围隔中浮游植物趋于大型化。而与单养蚌围隔相比,单养高密度鲢(12#)或低密度鳙(13#)的围隔对蓝藻(微囊藻)有显著控制作用,同时绿藻比例有所上升,藻类有小型化趋势。这些结果有力地说明了,鲢、鳙和蚌虽然同属滤食性动物,但它们的滤食颗粒

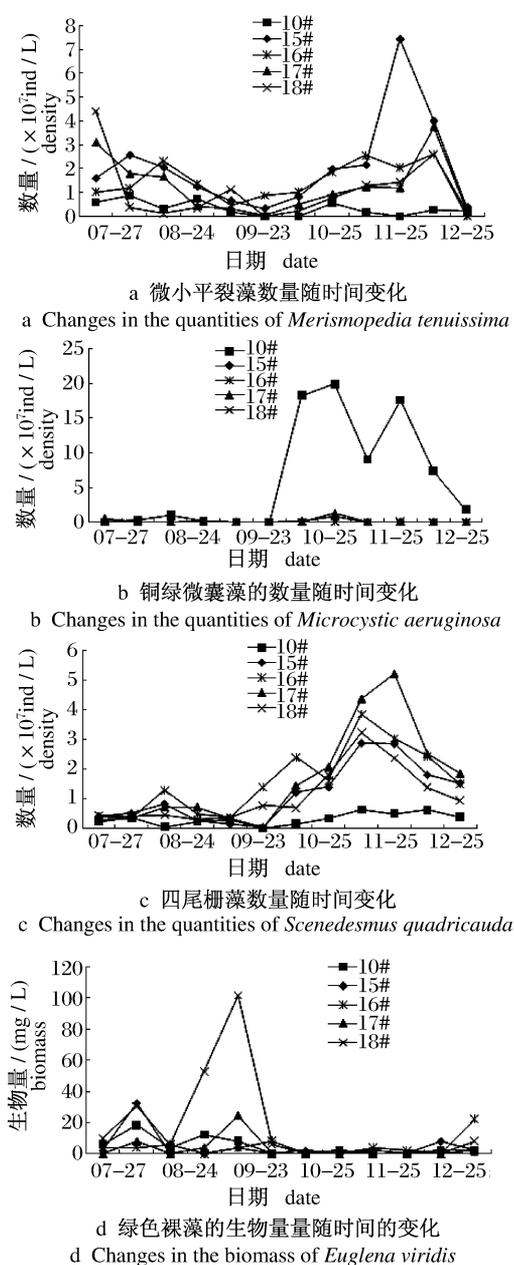


图8 10#,15~18#围隔中主要优势种数量和生物量随时间变化

Fig. 8 Changes in the quantities and biomass of dominant species in enclosures of 10#, 15# - 18#

大小可能有别,因此其对水体中藻类组成的影响也表现出了差异。这一研究结果也与 MUELLER 等^[10]的研究结果一致:他们研究了美国斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)池塘中混养鲢或当地一种淡水蚌对池塘藻类的影响,结果表明,混养鲢,微囊藻水华彻底消失,相反,混养蚌导致微囊藻水华加剧。这些结果进一步表明,单纯利用淡水贝类来控制富营养化水体中的蓝藻水华可能达不到的

预期的目标,原因就在于蚌类通常滤食较小的食物颗粒从而有利于大型藻类的增长。

这还可从其他一些研究中得到佐证。多位学者研究表明,鲢鱼能够有效地滤食 $> 10 \mu\text{m}$ 的颗粒食物,其通过控制藻类的竞争者和牧食者(浮游动物)从而促进了小型藻类($< 10 \mu\text{m}$)的生长和存活^[11-13]。CREMER 等^[14]研究鳙鱼胃含物发现其滤食食物颗粒范围为 $17 \sim 3\,000 \mu\text{m}$,其中大部分藻类的大小为 $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 。费志良等^[15]研究结果表明三角帆蚌在滤食时对藻类的选择性与藻类的体型大小有关,三角帆蚌滤食的颗粒较小。三角帆蚌所摄食的浮游植物大小($2.5 \sim 60 \mu\text{m}$)^[16]与鲢摄食的食物大小接近,远小于鳙可摄食的食物,表明蚌、鲢之间可能存在一定的食物竞争,而与鳙竞争较小。

本研究中,低密度鲢围隔中藻类平均数量和生物量接近于蚌单养围隔。而高密度鲢围隔大型藻类(蓝藻和裸藻)数量和生物量均低于养蚌围隔,同样,养鳙围隔,蓝藻生物量下降。此外,由于养蚌或鳙有利于藻类小型化,而蚌更喜食小型藻类,因此可以推测,在养蚌池混养鲢或鳙,不但没有食物竞争,而且还可能有利于蚌的生长,但高密度的鲢可能会引起藻类总生物量的下降,因此养蚌池如果混养高密度的鲢,可能也会产生一些负面影响。

3.2 鲢、鳙对三角帆蚌养殖池塘(围隔)浮游植物的影响

鲢和鳙引入蚌围隔后,鲢-蚌混养(15#、16#)以及鳙-蚌混养(17#、18#)围隔中蓝藻数量和生物量均极显著低于蚌单养(10#)围隔($P < 0.01$),而混养高密度鲢(16#)或低密度鳙(17#)围隔绿藻数量显著高于单养蚌(10#)围隔($P < 0.05$),这些结果也都很好地证明了鲢、鳙与蚌之间的食性差异,也证明了养蚌池中混养适量的鲢或鳙是可行的。研究表明,蚌围隔中混养鲢或鳙均能有效控制蓝藻(铜绿微囊藻)生长,促使绿藻(四尾栅藻)、硅藻和隐藻的比例上升。刘娅琴^[17]的研究也表明,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。由此可见鱼蚌混养系统中的藻类群落结构得到了优化,微囊藻得到了控制,有利于蚌消化的绿藻、硅藻得到了生长,促进了蚌的生长。

从不同密度的鲢鳙混养来看,鲢密度的增加

(16#围隔)藻类数量和生物量均有下降趋势,尤其是蓝藻数量下降更为显著;而鳙密度的增加(18#)则使围隔藻类生物量有上升趋势,并且促进了裸藻的生长。JANUSZKO^[18]年研究鲢和鳙分别与鲤混养对浮游植物群落的影响,结果表明,与对照组相比,混养低密度鲢导致浮游植物生物量上升,增加鲢密度生物量下降,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,鲢导致硅藻比例上升,鳙导致蓝藻(水华鱼腥藻、阿氏颤藻)比例大幅上升。SPATARU等^[19]研究放有鲤、草鱼和罗非鱼池塘中分别混养鲢和鳙的影响,结果表明鲢可以明显降低池塘混养系统浮游植物生物量,而鳙的效应恰好相反。这些研究结果也均与本研究的結果一致,说明鲢鳙的摄食作用对池塘藻类有明显的影响。

而对于三角帆蚌的生长,YAN等^[20]利用正交设计混养鲢鳙优化三角帆蚌的养殖实验得出对蚌生长及水质的最佳因素水平组合为鲢鳙混养比例3/7,本实验中混养低密度鲢鱼(16#)围隔和高密度鳙(18#)围隔浮游植物生物量相对较高,它们在控制微囊藻的基础上为蚌提供了丰富的饵料,所以也进一步验证了上述结果的可靠性。

感谢浙江省威旺养殖公司的员工为本研究的野外围隔建造、采样等提供的有力帮助。

参考文献:

- [1] 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[J].科学养鱼,2008(5):1-2.
- [2] 谢平.鲢、鳙与藻类水华控制[M].北京:科学出版社,2003:10.
- [3] 张觉民,何志辉.内陆水域渔业资源调查手册[M].北京:农业出版社,1991:22-30.
- [4] 胡鸿钧,魏印心.中国淡水藻类—系统、分类及生态[M].北京:科学出版社,2006:1-644.
- [5] 周凤霞,陈剑虹.淡水微生物图谱[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [6] 梁象秋,方纪祖,杨和荃.水生生物学(形态和分类)[M].北京:中国农业出版社,1996:4-109.
- [7] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物的研究方法[M].北京:科学出版社,1991:333-344.
- [8] 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[J].南京师范大学学报:自然科学版,2005,28(3):92-96.
- [9] 丁涛,李林,彭亮,等.背角无齿蚌摄食率及对水中叶绿素a清除率的研究[J].水生生物学报,2010,34(4):779-786.
- [10] MUELLER C R,EVERSOLE A G. Effect of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and freshwater mussel *Elliptio complanata* filtration on the phytoplankton community of partitioned aquaculture system units [J]. Journal of the World Aquaculture Society,2004,35:372-382.
- [11] KAJAK Z,SPODNIEWSKA I,WISNIEWSKI R J. Studies on food selectivity of silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Val.) [J]. Ekol Pol,1977,25:227-239.
- [12] SMITH D W. The feeding selectivity of silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Val.) [J]. J Fish Biol,1989,34:819-828.
- [13] VÖRÖS L,OLDAL I,PRESING M, et al. Size-selective filtration and taxon-specific digestion of plankton algae by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Hydrobiologia,1997,342/343:223-228.
- [14] CREMER M C,SMITHERMAN R O. Food habits and growth of silver and bighead carp in cages and ponds [J]. Aquaculture,1980,20:57-64.
- [15] 费志良,吴军.三角帆蚌对藻类滤食及消化的研究[J].淡水渔业,2006,36(5):24-27.
- [16] 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[J].水生生物学报,2006,30(2):244-246.
- [17] 刘娅琴.太湖微囊藻水华及其产毒的生态学研究[D].武汉:水生生物研究所,2007:41-50.
- [18] JANUSZKO M. The effect of three species of phytophagous fish on algae development [J]. Pol Arch Hydrobiol,1974,21:431-454.
- [19] SPATARU P,WOHLFARTH G W,HULATA G. Studies on the natural food of different fish species in intensively manured polyculture ponds [J]. Aquaculture,1983,35:283-298.
- [20] YAN L L,ZHANG G F,LIU Q G, et al. Optimization of culturing the freshwater pearl mussels, *Hyriopsis cumingii* with filter feeding Chinese carps (bighead carp and silver carp) by orthogonal array design [J]. Aquaculture,2009,292:60-66.

Effects of *Hyriopsis cumingii* and *Aristichthys nobilis* on the enclosures phytoplankton community of *Hypophthalmichthys molitrix* pond

ZHOU Xiao-yu¹, ZHANG Gen-fang², LIU Qi-gen^{1*}, YAN Ling-lan¹, LI Jia-le¹

(1. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Utilization, Ministry of Agriculture, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Jinhua Vocational Technological College, Jinhua 321007, China)

Abstract: Through the investigation on the enclosure phytoplankton community in pearl mussel ponds, we comparatively studied the different effects of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), bighead carp (*Aristichthys nobilis*) and the pearl mussel *Hyriopsis cumingii* on quantity, biomass and dominant species of phytoplankton, and the effects of the two carps on the phytoplankton in mussel ponds. The results showed that the density and biomass of phytoplankton in mussel monocultured pond (10#) are significantly higher than those in high density of silver carp monocultured pond (12#) ($P < 0.05$), the density and biomass of cyanobacteria in mussel pond is significantly higher than those in high density silver carp pond (12#) and low density bighead carp pond (13#) ($P < 0.05$), the density of chlorophyta in mussel pond is significantly lower than that in low density silver carp pond (11#) ($P < 0.05$). The density of phytoplankton in mussel culturing pond (10#) is significantly higher than that in low density of silver carp coculturing pond (15#, 16#) and bighead carp pond (17#, 18#) ($P < 0.05$), the density and biomass of cyanobacteria in mussel pond is significantly higher than that in silver carp pond (15#, 16#) and bighead carp pond (17#, 18#) ($P < 0.01$), the density of chlorophyta in mussel pond is significantly lower than that in high density silver carp pond (16#) and low density bighead carp pond (17#). The impact on phytoplankton among mussel, silver carp and bighead carp is different from each other. The introduction of bighead carp or silver carp to enclosures of *H. cumingii* could effectually control algae especially Cyanobacteria (*Microcystis aeruginosa*) and promote the growth of Chlorophyta (*Scenedesmus quadricauda*) and finally help pearl mussel culture. The density and biomass of phytoplankton all decreased along with the increased density of silver carp while the increased density of bighead carp promoted the growth of *Euglenophyta* (*Euglena viridis*).

Key words: Phytoplankton; *Hyriopsis cumingii* (pearl mussel); *Hypophthalmichthys molitrix* (silver carp); *Aristichthys nobilis* (bighead carp); biomass

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