

不同施肥方法对鱼蚌综合养殖池塘 浮游植物群落结构的影响

唐金玉, 王岩*, 戴杨鑫, 周涛

(浙江大学动物科学学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 通过 155 d 围隔实验检验了不同施肥条件下鱼蚌综合养殖水体中的浮游植物群落结构。实验设 3 个处理:施鸭粪、施化肥、兼施鸭粪和化肥。放养种类为三角帆蚌、草鱼、鲫、鲢和鳙,放养量分别为每围隔 20、15、5、5 和 5 个。结果发现,围隔内浮游植物生物量平均值为 $(2.1 \sim 6.0) \times 10^8$ 个/L。不同施肥方法对浮游植物种类组成和优势种、叶绿素 *a* (Chl. *a*)、生物量以及蓝藻在浮游植物生物量中的比例无显著影响。浮游植物群落变化表现出较明显的季节性特点,影响围隔浮游植物群落的理化因子为 TN、NH₃-N 和 DO。研究表明,采用不同施肥方法的围隔内浮游植物群落结构未表现出显著差异,难以从浮游植物角度解释兼施鸭粪和化肥的围隔珍珠产量高于施鸭粪或施化肥的围隔的事实,也难以确定珍珠产量与浮游植物群落结构之间存在必然的联系。

关键词: 浮游植物; 三角帆蚌; 鱼类; 施肥; 综合养殖

中图分类号: S 966.2

文献标志码: A

通过施肥培育天然饵料来增加养殖产量是淡水池塘养殖的一项宝贵经验^[1-6]。肥料类别及其可利用性对池塘养殖产量和浮游生物群落结构具有重要的影响^[7-8]。有机肥(如动物粪便、米糠、菜籽饼等)价格低廉且肥效持久,但其组成不稳定,施肥可显著增加水体的有机负荷^[7];无机肥(俗称化肥)成分明确,易溶解,肥效快^[8-10],但价格较高^[7]。合理施肥不仅有助于提高池塘养殖产量和经济效益,还可降低养殖污染,保持水质稳定。

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)是培育淡水珍珠的主要经济贝类,在中国被广泛养殖^[4,11]。在传统的淡水珍珠池塘养殖中,普遍将三角帆蚌与滤食性鱼类[鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)或鳙(*Aristichthys nobilia*)]搭配养殖且向池塘大量施有机肥^[5,12]。大量施有机肥不仅造成池塘内蓝藻水华爆发^[5],从池塘中排出的养殖废水还会导致周边水域富营养化,这种传统的养殖模式已经不适合池塘养殖可持续发展的需求。研究表明,

在鱼蚌综合养殖系统中增加食饵性鱼类[鲫(*Carassius gibelio*)和草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)]并投喂鱼类配合饲料可提高三角帆蚌的生长速度和珍珠产量^[4]。可以预见,这种增加食饵性鱼类密度并投喂配合饲料的方法在淡水珍珠池塘养殖中将被广泛应用。采用草鱼、鲫、鲢、鳙与三角帆蚌的鱼蚌种类组合且投喂鱼类配合饲料时,不同的施肥方法(施鸭粪、化肥或按 1:1 组合施鸭粪和化肥)可影响珍珠产量、鱼产量和输入氮、磷的利用效率,但对水化学指标未表现出显著的影响^[13]。本实验在已有工作基础^[13]上比较了 3 种施肥方法对鱼蚌综合养殖池塘浮游植物群落结构的影响,旨在分析新的鱼蚌综合养殖模式下浮游植物群落结构对不同施肥方法的反应,为优化三角帆蚌池塘养殖模式提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 三角帆蚌、鱼类和实验围隔

实验于 2010 年 5 月 20 日—10 月 21 日在浙

收稿日期:2014-04-18 修回日期:2014-06-05

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903028);浙江省淡水养殖重点科技创新团队。

通信作者:王岩, E-mail: ywang@zju.edu.cn

江省诸暨市枫桥实验基地(29°47'60"N, 120°23'42"E)进行。所用三角帆蚌为2009年孵化的二龄蚌,购自浙江省金华市兰溪一家养蚌场。实验前10 d对蚌实施无核珠插片手术。所用草鱼、鲫、鲢、鳙于2009年购自浙江省湖州市德清一家淡水鱼种场。实验前,三角帆蚌、草鱼、鲫、鲢和鳙暂养在一个面积为1.33 hm²的土池中。

养殖实验在面积为32 m²的陆基围隔中进行。围隔扎设在面积为1.33 hm²的土池中。围隔材料、结构及建造参照文献[13]的方法。

1.2 实验设计与养殖实验

采用单因素实验设计,设3个处理:施鸭粪(DM)、施化肥(CF)和兼施鸭粪和化肥(DC)。鸭粪使用前经过发酵处理,化肥包括尿素和磷酸二氢钾(KH₂PO₄)。DM和CF中的施肥量根据生产经验和养殖水体的氮、磷含量和透明度确定,DC施肥量则将DM和CF施肥量按重量各自减半后组合使用。每个处理设3个重复,共用9个围隔。每个围隔内的三角帆蚌、草鱼、鲫、鲢和鳙放养量分别为20、15、5、5和5个。实验前将三角帆蚌吊养在围隔中的网笼内。网笼直径为30 cm,每个网笼内放入4个蚌,吊养深度为水面下40 cm。草鱼、鲫放养在围隔中的网箱(1 m×1 m×1.5 m)中,鲢和鳙直接放养在围隔内。养殖实验持续155 d,养殖管理措施及实际施肥量参照文献[13]的方法。

1.3 浮游植物采样和分析

实验期间定期采样分析浮游植物种类组成、生物量和叶绿素*a*(Chl. *a*)。其中,浮游植物种类组成和生物量每30天分析一次;Chl. *a*每15天分析一次。采样时间为8:00~10:00。用5 L采水器在围隔一侧(距围隔壁约50 cm,水面下50 cm处)采水样,分别灌入250 mL玻璃瓶(用于分析Chl. *a*)和1 L玻璃广口瓶(用于分析浮游植物种类组成和生物量)。现场用10%鲁哥氏固定液固定浮游植物样品。水样运回实验室后,用Turner 10-005型荧光计测定荧光值(*X*),根据事先建立的回归方程Chl. *a* = 115.8*X* - 4.418计算Chl. *a*浓度(μg/L)。将固定的浮游植物水样在避光条件下静置24 h后浓缩至30~50 mL。将浓缩水样充分混匀后吸取0.1 mL加入到浮游植物计数框中,在10×40视野下观察和计数。每个水样计数两片,两片计数结果差异>15%时计数第三片^[14]。根据文献[15]鉴定浮游植物种类并计算生物量。

1.4 计算与统计分析

根据下列公式计算浮游植物的优势度(*Y*)^[16]、Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)^[17]、Margalef丰富度指数(*D*)^[18]及Pielou均匀度指数(*J*)^[21]:

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$D = (S - 1) / \log_2 N$$

$$J = H/H_{\max}$$

式中,*n_i*为第*i*种浮游植物的生物量,*N*为样品中浮游植物的总生物量,*f_i*为第*i*个物种出现的频率,*S*为样品中的浮游植物种类总数,*P_i*为第*i*个物种的生物量与样品中的总生物量的比值(*P_i* = *n_i*/*N*),*H_{max}* = log₂*S*。将*Y* > 0.1的浮游植物种类判定为主要优势种。

采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验施肥处理对*H'*、*D*、*J*、浮游植物生物量和Chl. *a*的影响,利用Duncan氏检验法进一步分析不同处理间的差异。根据*Y* > 0.005的浮游植物种类及其生物量对每次采样的各个处理围隔内的浮游植物群落进行聚类分析。对*Y* > 0.005的浮游植物种类生物量进行去趋势对应分析(DCA)得其排序轴中梯度最长值 < 3,采用线性模型冗余分析(RDA)方法分析浮游植物群落与环境因子如透明度(SD)、溶氧(DO)、氨态氮(NH₃-N)、活性磷(PO₄-P)、硝酸态氮(NO₃-N)、亚硝酸态氮(NO₂-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、氮磷比(TN/TP)和高锰酸钾指数(COD_{Mn})^[11]的关系。数据分析前进行Lg(*A* + 1)转换。取*P* < 0.05为差异显著性水平。方差分析和聚类分析利用SPSS 19.0(IBM® SPSS® Statistics)软件完成,DCA和RDA分析利用Canoco for Windows 4.5软件进行。

2 结果

2.1 浮游植物种类组成和多样性

实验期间,共检测到浮游植物77种,隶属于7门30科70属。其中,DM检出58种,CF检出56种,DC检出71种(表1)。实验前期,围隔内浮游植物主要优势种为十字藻属(*Crucigenia*)和栅藻属(*Scenedesmus*)的种类,后期为平裂藻属(*Merismopedia*)、微囊藻属(*Microcystis*)和腔球藻属(*Goelosphaerium*)的种类(表2)。相同月份不同处理间浮游植物主要优势种差别较小。

表 1 实验围隔内检出的浮游植物种类

Tab. 1 Species of phytoplankton observed in the experimental enclosures

门 phyla	属类 genus and species	DM	CF	DC
蓝藻 Cyanophyta	平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.	+	+	+
	色球藻 <i>Chroococcus</i> sp.	+	+	+
	隐球藻 <i>Aphanocapsa</i> sp.	-	+	+
	微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.	+	+	+
	腔球藻 <i>Goelosphaerium</i> sp.	+	+	+
	蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis</i> sp.	-	-	+
	尖头藻 <i>Raphidiopsis</i> sp.	-	-	+
	念珠藻 <i>Nostoc</i> sp.	+	+	+
	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.	+	+	+
	螺旋鞘丝藻 <i>Lyngbya contorta</i>	+	+	+
	水华束丝藻 <i>Aphanizomenon flos aquae</i>	-	+	-
	拟鱼腥藻 <i>Anabaenopsis</i> sp.	-	+	+
	螺旋藻 <i>Spirulina</i> sp.	+	+	+
	绿藻 Chlorophyta	团藻 <i>Volvox</i> sp.	-	+
空球藻 <i>Eudorina</i> sp.		-	-	+
实球藻 <i>Pandorina morum</i>		+	+	+
拟菱形弓形藻 <i>Schroederia nitzschoides</i>		+	+	+
螺旋弓形藻 <i>Schroederia spiralis</i>		+	+	+
硬弓形藻 <i>Schroederia robusta</i>		+	+	+
十字顶棘藻 <i>Chodatella wratislaviensis</i>		-	-	+
微小四角藻 <i>Tetraedron minimum</i>		+	+	+
三叶四角藻 <i>Tetraedron trilobulatum</i>		+	+	+
小球藻 <i>Chlorella</i> sp.		+	+	+
月牙藻 <i>Selenastrum</i> sp.		+	+	+
蹄形藻 <i>Kirchneriella</i> sp.		+	+	+
拟新月藻 <i>Closteriopsis longissima</i>		+	-	+
纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i> sp.		+	+	+
卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp.		+	+	+
肾形藻 <i>Nephrocytium</i> sp.		+	+	+
并联藻 <i>Quadrigula</i> sp.		+	-	+
集星藻 <i>Actinastrum hantzschii</i>		+	+	+
四月藻 <i>Tetrallantos</i> sp.		+	-	+
四球藻 <i>Tetrachlorella</i> sp.		+	+	+
单角盘星藻 <i>Pediastrum simplex</i>		+	+	+
四角盘星藻四齿变种 <i>Pediastrum tetras</i> var. <i>tetraodon</i>		+	+	+
十字藻 <i>Crucigenia apiculata</i>		+	+	+
四足十字藻 <i>Crucigenia tetrapedia</i>		+	+	+
双形藻 <i>Dimorphococcus</i> sp.		-	-	+
四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>		+	+	+
二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>		+	+	+
斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>		+	+	+
四星藻 <i>Tetrastrum</i> sp.		+	+	+
韦斯藻 <i>Westella botryoides</i>		+	+	-
线形拟韦斯藻 <i>Westellopsis linearis</i>		+	+	+
转板藻 <i>Mougeotia</i> sp.		+	+	+
水绵 <i>Spirogyra</i> sp.		+	+	+
梭形鼓藻 <i>Netrium</i> sp.		-	-	+
鼓藻 <i>Cosmarium</i> sp.		+	+	+
角星鼓藻 <i>Staurastrum</i> sp.		-	-	+
四棘鼓藻 <i>Arthrodesmus convergens</i>		+	+	+
角顶鼓藻 <i>Triploceras gracile</i>		-	+	-
新月藻 <i>Closterium</i> sp.		-	-	+
微星鼓藻 <i>Micrasterias</i> sp.		-	-	+
纺锤藻 <i>Elakatothrix gelatinosa</i>		+	-	+
分层绿星球藻 <i>Asterococcus superbas</i>		-	-	+
衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp.	+	+	+	
空星藻 <i>Coelastrum</i> sp.	+	-	+	

续表 1

门 phyla	属类 genus and species	DM	CF	DC	
裸藻 Englenophyta	血红裸藻 <i>Euglena sanguinea</i>	+	+	+	
	囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.	+	+	+	
	编织鳞孔藻 <i>Lepocinclis texta</i>	-	+	+	
	扁裸藻 <i>Phacus</i> sp.	+	+	-	
隐藻 Cryptophyta	嗜蚀隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i>	+	+	+	
黄藻 Xanthophyta	黄丝藻 <i>Heterotrichales</i> sp.	-	-	+	
硅藻 Baellariophyta	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	+	+	+	
	星形冠盘藻 <i>Stephanodiscus astraera</i>	+	-	+	
	湖沼圆筛藻 <i>Coscinodiscus lacustris</i>	+	-	-	
	直链藻 <i>Melosira</i> sp.	+	-	+	
	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	+	+	+	
	尖布纹藻 <i>Gyrosigma acuminatum</i>	+	+	+	
	肘状针杆藻 <i>Synedra ulna</i>	-	+	+	
	卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp.	+	+	+	
	双菱藻 <i>Surirella</i> sp.	+	+	+	
	棒杆藻 <i>Rhopalodia</i> sp.	+	+	-	
	扎卡四棘藻 <i>Attheya zachariasii</i>	+	-	+	
	桥弯藻 <i>Cymbella</i> sp.	+	+	+	
	甲藻 Pyrrophyta	裸甲藻 <i>Gymnodinium aeruginosum</i>	+	+	+
		薄甲藻 <i>Glenodinium pulvisculum</i>	-	-	+

注:DM. 施鸭粪;CF. 施化肥;DC. 兼施鸭粪和化肥,下同。“+”:出现;“-”:未出现

Notes:DM. fermented duck manure;CF. chemical fertilizer;DC. combination of fermented duck manure and chemical fertilizer. Similarly hereinafter. “+” represents appearance;“-” represents no-observed

表 2 实验围隔内浮游植物主要优势种的优势度

Tab. 2 Dominance index of dominant species of phytoplankton ($Y > 0.1$) in the experimental enclosures

采样日期 date	优势种类 dominant species	优势度 dominance index		
		DM	CF	DC
5 月 May	十字藻 <i>Crucigenia</i> sp.	0.167	0.288	0.496
	栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp.	0.700	0.446	0.346
6 月 June	十字藻 <i>Crucigenia</i> sp.	0.207	0.443	0.409
	栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp.	0.561	0.770	0.408
7 月 July	栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp.	0.136	0.133	0.140
	微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.		0.448	0.173
	平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.		0.133	0.635
	念珠藻 <i>Nostoc</i> sp.	0.140	0.130	
	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.	0.511		
8 月 August	微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.	0.543	0.265	0.420
	平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.	0.107		0.206
	腔球藻 <i>Goelosphaerium</i> sp.	0.247		
9 月 September	栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp.	0.127		
	微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.	0.741	0.260	0.584
	腔球藻 <i>Goelosphaerium</i> sp.		0.194	
10 月 October	微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.	0.612	0.440	0.337
	平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.	0.168	0.293	0.528
	腔球藻 <i>Goelosphaerium</i> sp.	0.179	0.142	

实验期间,不同施肥方法对 H' ($F = 4.00$, $P = 0.04$) 和 J ($F = 3.62$, $P = 0.05$) 具有显著影响,但对 D 影响不明显 ($F = 1.22$, $P > 0.05$, 表

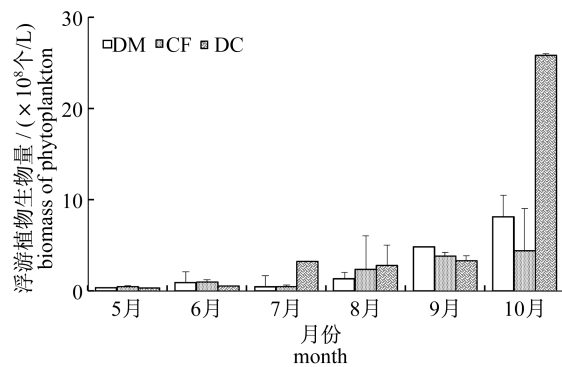
3)。 H' 和 J 按从高到低的次序排列为 $DM > CF > DC$; D 按从高到低的次序排列为 $DC > CF > DM$ 。

表 3 实验围隔内浮游植物多样性
Tab.3 Diversity of phytoplankton in the experimental enclosures

处理 treatment	多样性指数(H') Shannon-Wiener's index (bit)	丰富度指数(D) Margalef's index	均匀度指数(J) Pielou's index
DM	2.32 ± 0.20 ^a	0.73 ± 0.20	0.53 ± 0.05 ^a
CF	1.98 ± 0.32 ^b	0.77 ± 0.07	0.45 ± 0.10 ^{ab}
DC	1.97 ± 0.20 ^b	0.91 ± 0.29	0.42 ± 0.04 ^b

注:数据表示为平均值 ± 标准差 ($n=3$)。同一列标注不同上标字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: Data are expressed as mean ± SD ($n=3$). The superscripts present results of Duncan's test, and different superscript letters indicated significant difference at 0.05



2.2 浮游植物生物量和 Chl. a

实验期间,DM、CF 和 DC 围隔内的浮游植物生物量分别为 2.6×10^8 、 2.1×10^8 和 6.0×10^8 个/L。随养殖时间延长,围隔内浮游植物生物量增加,蓝藻在浮游植物生物量中所占比例也逐渐增加。实验后期,蓝藻在浮游植物生物量中的比例分别为 96.0%、89.5% 和 91.8%。不同处理间浮游植物生物量以及蓝藻在浮游植物生物量中的比例无显著差异 ($P > 0.05$, 图 1)。随养殖时间延长,围隔内 Chl. a 呈上升的趋势(图 2)。不同施肥措施对围隔内 Chl. a 无显著影响 ($P > 0.05$)。

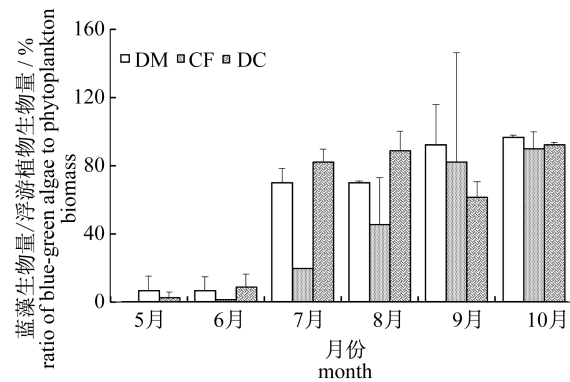


图 1 实验围隔内浮游植物生物量和蓝藻在浮游植物生物量中的比例

Fig. 1 Biomass of phytoplankton and ratios of blue-green algae to phytoplankton in biomass in experimental enclosures

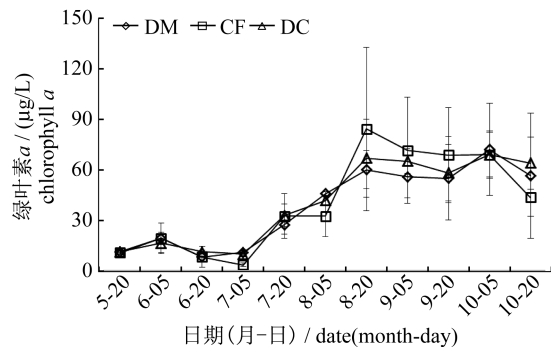


图 2 实验围隔内的叶绿素 a 含量

Fig. 2 Concentration of chlorophyll a in the experimental enclosures

2.3 浮游植物群落结构的变化及其影响因素

浮游植物群落可分为 3 类,5、6 月份浮游植物群落属 I 类,主要优势种为十字藻和栅藻;7、8、9、10 月份(处理 DC 除外)浮游植物群落属 II 类,主要优势种为栅藻、微囊藻、平裂藻和腔球藻;10 月份 DC 浮游植物群落为 III 类,主要优势种为微囊藻和平裂藻(图 4)。

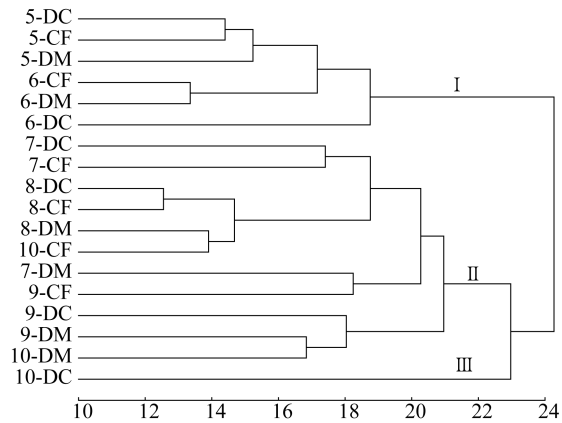


图 3 实验期间浮游植物群落结构聚类分析图(采样时间—处理)

Fig. 3 Dendrogram of cluster analysis of phytoplankton community during the experimental period (date-treatment)

优势度 $Y > 0.005$ 的浮游植物共有 31 种(编码见表 4)。RDA 分析发现所监测的理化环境因子可解释浮游植物群落变化的 69.4%,其中前两个排序轴分别解释了 32.3% 和 9.3%。Monte

Carlo 置换检验结果显示: TN ($F = 6.08, P = 0.0020$)、 $\text{NH}_3\text{-N}$ ($F = 2.22, P = 0.0060$) 和 DO ($F = 1.64, P = 0.0200$) 分别解释了浮游植物群

落变化的 28.0%、15.0% 和 7.0%。SD、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、TP、TN/TP 和 COD_{Mn} 对浮游植物群落影响不显著 ($P > 0.05$)。

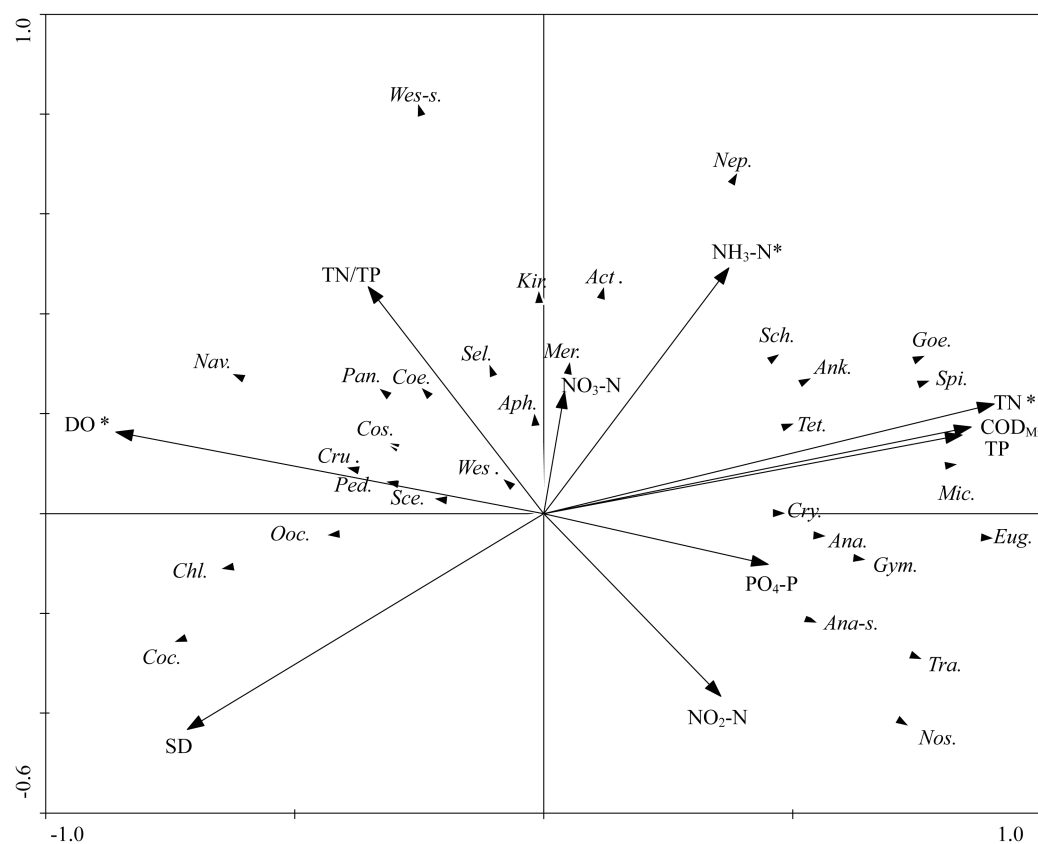


图 4 浮游植物群落与理化环境因子的关系

SD: 透明度; DO: 溶氧; $\text{NH}_3\text{-N}$: 氨态氮; $\text{PO}_4\text{-P}$: 活性磷; $\text{NO}_3\text{-N}$: 硝酸态氮; $\text{NO}_2\text{-N}$: 亚硝酸态氮; TN: 总氮; TP: 总磷; TN/TP: 氮磷比; COD_{Mn} : 高锰酸钾指数。*: $P < 0.05$

Fig. 4 Relationship between phytoplankton community and environmental variables during the experimental period
SD: Secchi depth; DO: dissolved oxygen; $\text{NH}_3\text{-N}$: ammonia; $\text{PO}_4\text{-P}$: reactive phosphate; $\text{NO}_3\text{-N}$: nitrate; $\text{NO}_2\text{-N}$: nitrite; TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; TN/TP: ratio between total nitrogen and phosphorus; COD_{Mn} : chemical oxygen demand. * represents significant effect

表 4 优势度 $Y > 0.005$ 的浮游植物种类及其代码
Tab. 4 Code of phytoplankton species with dominance index > 0.005

代码 code	种类 species	代码 code	种类 species
Mer.	平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.	Sc.	栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp.
Aph.	隐球藻 <i>Aphanocapsa</i> sp.	Nep.	肾形藻 <i>Nephrocytium</i> sp.
Mic.	微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.	Act.	集星藻 <i>Actinastram hantzschii</i>
Goe.	腔球藻 <i>Goelospaerium</i> sp.	Ped.	盘星藻 <i>Pediastrum</i> sp.
Nos.	念珠藻 <i>Nostoc</i> sp.	Cru.	十字藻 <i>Crucigenia</i> sp.
Ana.	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.	Wes.	韦斯藻 <i>Westella botryoides</i>
Ana-s.	拟鱼腥藻 <i>Anabaenopsis</i> sp.	Wes-s.	线形拟韦斯藻 <i>Westellopsis linearis</i>
Spi.	螺旋藻 <i>Spirulina</i> sp.	Cos.	鼓藻 <i>Cosmarium</i> sp.
Pan.	实球藻 <i>Pandorina morum</i>	Coe.	空星藻 <i>Coelastrum</i> sp.
Sch.	弓形藻 <i>Schroederia</i> sp.	Eug.	血红裸藻 <i>Euglena sanguinea</i>
Tet.	四角藻 <i>Tetraedron</i> sp.	Tra.	囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.
Chl.	小球藻 <i>Chlorella</i> sp.	Cry.	隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp.
Sel.	月牙藻 <i>Selenastrum</i> sp.	Coc.	卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp.
Kir.	蹄形藻 <i>Kirchneriella</i> sp.	Nav.	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.
Ank.	纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i> sp.	Gym.	裸甲藻 <i>Gymnodinium aeruginosum</i>
Ooc.	卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp.		

3 讨论

3.1 不同施肥方法对浮游植物种类组成和多样性的影响

施肥往往引起养殖池塘中浮游植物群落结构发生改变^[2]。本实验中,前期围隔内浮游植物主要优势种为十字藻属和栅藻属种类,后期转为平裂藻属、微囊藻属和腔球藻属种类;同一月份多数围隔的浮游植物群落结构接近,采用不同施肥处理的围隔间浮游植物种类组成和优势种无明显差别。这表明围隔内浮游植物群落结构主要随时间变化而变化,受施肥方法的影响较小。金芳芳等^[6]认为季节变化决定了浮游植物优势种的演变方向,施肥仅增加优势种的丰度。Terziyski 等^[9]报道施有机肥与不施肥的养鱼池塘间浮游植物种类差异不显著,但其变化规律一致。Mischke^[20]报道冬季施无机肥未影响养鱼池塘浮游植物种类组成,但增加了其生物量。本实验中,围隔内浮游植物优势种与唐金玉等^[21]所报道的同期鱼蚌综合养殖实验围隔中的浮游植物优势种不同。鉴于本实验水温(20.8~33.3℃,平均28.0℃)^[13]与唐金玉等^[21]的水温(23.4~33.5℃,平均28.5℃)接近,但本实验中N、P浓度^[13]低于后者的结果^[21],初步认为两个实验中浮游植物优势种的差别可能与N、P浓度的差异有关。这表明在季节相同的情况下,营养盐差异对浮游植物群落结构也会产生重要的影响。3种施肥方法未导致养殖水体中的N、P含量产生显著差异^[13],这可能是本实验中不同处理间浮游植物群落结构差异不明显的原因之一。

水体中的N/P可影响浮游植物的多样性^[22]。本研究中,DM、CF和DC围隔内H'和J按从高到低排列的次序(DM>CF>DC)与水体中TN/TP按从高到低排列的排序一致^[13],表明浮游植物多样性与水体中N/P存在一定的关系。DC围隔内浮游植物种类数最多,但H'和J最小,表明兼施鸭粪和化肥时不同浮游植物种类间丰度差别较大,个别优势种在浮游植物生物量中所占的比例较大。

唐金玉等^[21]和朱生博等^[23]报道在鱼蚌综合养殖水体中易发生蓝藻水华。RDA分析表明,本研究中浮游植物群落变化与TN、NH₃-N和DO显著相关(图4)。第一轴与TN正相关,与DO负相

关,沿第一轴Y>0.005的浮游植物种类由硅藻和绿藻逐渐过渡到蓝藻和裸藻,说明随着TN浓度增加发生蓝藻和裸藻的可能性增加。实验后期围隔内浮游植物生物量中90%为蓝藻,证实了上述分析结果。可见,鱼、蚌综合养殖后期水体中发生蓝藻水华是普遍现象,改变施肥方法难以避免蓝藻水华发生。

3.2 不同施肥方法对浮游植物生物量的影响

早期报道鱼蚌综合养殖水体中浮游植物生物量为(3.5~12.6)×10⁸个/L^[21,23]。本研究期间,围隔内浮游植物生物量平均值为(2.1~6.0)×10⁸个/L。综合已有的研究结果不难发现,不同类型、不同季节鱼蚌综合养殖水体中浮游植物生物量的最高值与最低值相差仅6倍,说明鱼蚌综合养殖水体中的浮游植物生物量变化幅度不大。本研究中,围隔内浮游植物生物量和Chl. a随养殖时间延长逐渐增加,这符合养殖水体中浮游植物生物量变化的一般规律。

通常情况下,施有机肥^[3,6]或无机肥^[10,20]均可增加养殖水体中浮游植物生物量或Chl. a含量,但部分研究结果表明施肥对浮游植物生长无显著影响^[2,9]。此外,不同肥料类别对浮游植物生物量的影响存在差异。Mischke等^[2]报道同时施无机肥和有机肥的养鱼池塘中绿藻生物量、硅藻生物量和Chl. a显著高于施有机肥的池塘。Ludwig等^[24]报道施米糠和NPK或施米糠、NPK和碳酸氢钠的鲈池塘中Chl. a显著高于施米糠的池塘。Hossain等^[25]报道在等磷条件下施家禽粪时浮游植物生物量最高,施化肥(尿素和过磷酸钙)时次之,施牛粪时最低。本研究中,按浮游植物生物量从高到低的次序排列:DC>DM>CF,表明兼施鸭粪和化肥与单独施鸭粪或化肥相比更有利于提高浮游植物生物量,这一结果与已有的研究结论^[2,24]一致。不同处理间浮游植物生物量和Chl. a浓度均未表现出显著差异,这一方面与采用相同施肥处理的围隔间浮游植物生物量变化较大有关,另一方面与本研究中施肥量较低(施肥输入的N、P量相对于围隔N、P总输入量所占比例较小),浮游植物生物量受其它来源的营养输入(如配合饲料)的影响较大有关。

3.3 鱼蚌综合养殖中珍珠产量与水化学和浮游植物的关系

研究表明,兼施鸭粪和化肥时三角帆蚌珍珠

产量高于单独施鸭粪或化肥的围隔^①,但采用不同施肥处理的围隔内 N、P 含量和 COD_{Mn} 无显著差异^[13]。本研究结果亦表明不同施肥方法未显著改变浮游植物种类组成、生物量和优势种。这意味着浮游植物和水化学数据不能兼施鸭粪和化肥可提高三角帆蚌珍珠产量的结论^①。该现象颇为费解,或许说明所观测的浮游植物和水化学指标变化对淡水珍珠产量的影响有限,或许说明所获取的数据不能准确反映鱼蚌综合养殖生态系统状态,具体原因尚需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Zhang Y Z, Tan Y J, Ouyang H, *et al.* Pond pisciculture in China [M]. 1st. Beijing: Science Press, 1989. [张扬宗, 谭玉钧, 欧阳海, 等. 中国池塘养鱼学. 1 版. 北京: 科学出版社, 1989.]
- [2] Mischke C C, Zimba P V. Plankton community responses in earthen channel catfish nursery ponds under various fertilization regimes [J]. *Aquaculture*, 2004, 233 (1 - 4): 219 - 235.
- [3] Dhawan A, Kaur S. Pig dung as pond manure: Effect on water quality, pond productivity and growth of carps in polyculture system [J]. *Naga, the ICLARM Quarterly*, 2002, 25 (1): 11 - 14.
- [4] Wang Y, Wang W L, Qin J G, *et al.* Effects of integrated combination and quicklime supplementation on growth and pearl yield of freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii* (Lea, 1852) [J]. *Aquaculture Research*, 2009, 40 (14): 1634 - 1641.
- [5] 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 (1 - 2): 60 - 66.
- [6] Jin F F, Sheng J Q, Hong Y J, *et al.* Difference between the composition and abundance of phytoplankton among four seasons with spreading different kind of manure in *Hyriopsis schlegeli* breeding ponds [J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 2013, 37 (1): 88 - 92. [金芳芳, 盛军庆, 洪一江, 等. 不同施肥条件下池碟蚌养殖池塘季节性浮游植物群落间的差异. 南昌大学学报: 理科版, 2013, 37 (1): 88 - 92.]
- [7] Kangóombe J, Brown J A, Halfyard L C. Effect of using different types of organic animal manure on plankton abundance, and on growth and survival of *Tilapia rendalli* (Boulenger) in ponds [J]. *Aquaculture Research*, 2006, 37 (13): 1360 - 1371.
- [8] Kolo R J, Mani I A, Musa H A. Effects of different types of fertilizers on plankton productivity in earthen ponds [J]. *Journal of Aquatic Sciences*, 2001, 16 (2): 127 - 131.
- [9] Terziyski D, Grozev G, Kalchev R, *et al.* Effect of organic fertilizer on plankton primary productivity in fish ponds [J]. *Aquaculture International*, 2007, 15 (3 - 4): 181 - 190.
- [10] Davies O A, Alfred-Ockiya J F, Asele A. Induced growth of phytoplankton using two fertilizers (NPK and agrolyser) under laboratory conditions [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2006, 5 (4): 373 - 377.
- [11] Wang X D, Wang Y, Wang W L, *et al.* Water chemistry for culturing freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii* under different stocking and management models [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32 (2): 303 - 308. [王小冬, 王岩, 王伟良, 等. 不同放养和管理方式下三角帆蚌养殖水体的水化学特征. 水产学报, 2008, 32 (2): 303 - 308.]
- [12] Dai Y X, Wang Y, Tang J Y, *et al.* Effects of co-cultured fish and feed supplement on water chemistry characteristics of freshwater pearl mussel farming [J]. *Journal of Fishery Science of China*, 2013, 20 (2): 351 - 360. [戴杨鑫, 王岩, 唐金玉, 等. 不同混养鱼类和投喂方式对鱼蚌综合养殖水体化学特征的影响. 中国水产科学, 2013, 20 (2): 351 - 360.]
- [13] Dai Y X, Tang J Y, Wang Y, *et al.* Effect of three fertilization programs on the chemical water quality for integrated culture of freshwater pearl mussel and fish [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37 (3): 407 - 416. [戴杨鑫, 唐金玉, 王岩, 等. 不同施肥方法对鱼蚌综合养殖水体水化学的影响. 水产学报, 2013, 37 (3): 407 - 416.]
- [14] Havens K E. Fish-induced sediment resuspension-effects on phytoplankton biomass and community structure in a shallow hypereutrophic lake [J]. *Journal of Plankton Research*, 1991, 13 (6): 1163 - 1176.

① Dai Y X, Wang Y, Tang J Y, *et al.* Effects of fertilization regime on pearl yield and fish yield in integrated culture of freshwater pearl mussel *Hyriopsis cumingii* (Lea, 1852) and fishes

- [15] Hu H J, Wei Y X. Algal of China, systematics, taxonomy and Ecology [M]. Beijing: Taxonomy and Ecology 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.]
- [16] Lin F Z, Wu Y L, Yu H C, *et al.* Phytoplankton community structure in the Changjiang estuary and its adjacent waters in 2004 [J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2008, 39(4): 401 - 410. [林峰竹, 吴玉霖, 于海成, 等. 2004 年长江口浮游植物群落结构特征分析. 海洋与湖沼, 2008, 39(4): 401 - 410.]
- [17] Shannon C E, Wiener W. The mathematical theory of communication [M]. Urbabana: University of Illinois Press, 1963.
- [18] Margalef D R. Perspective in ecological theory [M]. Chicago: Chicago University Press, 1963.
- [19] Pielou D P, Pielou E C. Association among species of infrequent occurrence; Insect and spider fauna of *Polyporus betulinus* (Bulliard) fries [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1968, 21(2): 202 - 216.
- [20] Mischke C C. Winter pond fertilization can increase phytoplankton density in aquaculture ponds [J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2014, 76(1): 67 - 71.
- [21] Tang J Y, Wang Y, Dai Y X. Effects of co-culturing freshwater pearl mussel *Hyriopsis cumingii* in a fish polycultural system on fish yield and water quality [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(2): 208 - 217. [唐金玉, 王岩, 戴杨鑫. 在淡水鱼类混养系统中吊养三角帆蚌对养殖产量和水质的影响. 水产学报, 2014, 38(2): 208 - 217.]
- [22] Sun L, Jin X C, Zhong Y, *et al.* Changes of algal communities in water body with different proportions of nitrogen and phosphorus [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(7): 1218 - 1223. [孙凌, 金相灿, 钟远, 等. 不同氮磷比条件下浮游藻类群落变化. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1218 - 1223.]
- [23] Zhu S B, Wang Y, Wang X D, *et al.* Plankton community and primary productivity in waters for culturing freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) under different stockings and management models [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(3): 401 - 407. [朱生博, 王岩, 王小冬, 等. 不同放养和管理模式下三角帆蚌养殖水体中的浮游生物和初级生产力. 生态学杂志, 2008, 27(3): 401 - 407.]
- [24] Ludwig G M, Hobbs M, Perschbacher P. Ammonia, pH, and plankton in sunshine bass nursery ponds: The effect of inorganic fertilizer or sodium bicarbonate [J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2007, 69(1): 80 - 89.
- [25] Hossain M Y, Begum M, Ahmed Z F, *et al.* A study on the effects of iso-phosphorus fertilizers on plankton production in fish ponds [J]. *South Pacific Studies*, 2006, 26(2): 101 - 110.

**Effects of three fertilization methods on phytoplankton community in
integrated culture of freshwater pearl mussel
(*Hyriopsis cumingii*) and fishes**

TANG Jinyu, WANG Yan* , DAI Yangxin, ZHOU Tao
(College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii*, is commercially important for freshwater pearl production in China and contributes more than 95% of the annual pearl production in the world. In traditional farming ponds, *H. cumingii* is co-cultured with some planktivorous fishes (silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Aristichthys nobilis*), and huge amounts of organic manure are used to provide natural food (phytoplankton and detritus) for the mussel and fishes. Excessive fertilization with organic manure results in serious environmental problems. Previous studies found that adding some omnivorous or herbivorous fish species (grass carp *Ctenopharyngodon idellus* and gibel carp *Carassius auratus auratus*) in the traditional mussel-fish integrated system and feeding the fishes with formulated feed can enhance pearl yield and growth of mussel. Moreover, pearl yield of mussel is also affected by different fertilization methods (fertilized with fermented duck manure, or chemical fertilizer or both fermented duck manure and chemical fertilizer) when the novel mussel-fish integrated culture is used. In the present study, a 155-day experiment was conducted in land-based enclosures to evaluate the effect of different fertilization method on phytoplankton community in a novel mussel-fish integrated system. Three kinds of fertilizer, including DM (fermented duck manure), CF (chemical fertilizer) and DC (combination of fermented duck manure and chemical fertilizer), were experimented. Each treatment was three replicated, therefore, total 9 enclosures were used. Each enclosure was stocked with 20 mussel, 15 grass carp, 5 gibel carp, 5 silver carp and 5 bighead carp. During the experiment, water samples were collected regularly from the enclosure, and species and biomass of phytoplankton and chlorophyll *a* (Chl. *a*) were determined. Results showed that the biomass of phytoplankton ranged from 2.1×10^8 to 6.0×10^8 cell/L in the enclosures. No significant differences were found in the species composition and dominant species of phytoplankton, Chl. *a*, biomass of phytoplankton and ratio of blue-green algae to phytoplankton in biomass among treatments DM, CF and DC. However, fertilization method significantly affected Shannon-Wiener's index and Pielou's index of phytoplankton. Phytoplankton community in the enclosures exhibited an apparent seasonal trend, and concentration of total nitrogen, ammonia and dissolved oxygen were responsible for the alteration of phytoplankton community. The results of the present study could not provide an explanation to the conclusion that pearl yield is higher in treatment DC than in treatments DM and CF. Further studies are needed to explore the linkage between pearl yield and phytoplankton community in integrated culture of *H. cumingii* and fishes.

Key words: phytoplankton; *Hyriopsis cumingii*; fish; fertilization; integrated culture

Corresponding author: WANG Yan. E-mail: ywang@zju.edu.cn