

罗非鱼对浮游植物群落的影响

杨 凯¹, 张修峰¹, 刘正文^{1,2}

(1. 暨南大学水生生物研究中心, 广东 广州 510632; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要:杂食性鱼类可以通过牧食和营养盐排泄影响浮游植物群落, 罗非鱼是我国南方水体常见的外来杂食性鱼类, 为了解其对浮游植物的影响, 于2007年6~11月在广东珠海市大镜山水库进行了原位围隔实验, 通过设置有鱼实验组与无鱼对照组, 对比研究了尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 对浮游植物群落结构的影响。结果表明, 实验结束时, 有鱼实验组中浮游植物的密度和生物量分别为 1.2×10^8 个/L 和 8.16 mg/L, 是无鱼对照组 (0.9×10^8 个/L, 1.22 mg/L) 的 11.0 倍和 8.4 倍。有鱼组中甲藻的生长明显受到限制, 而蓝藻的密度和生物量增加; 实验结束时, 从生物量上看, 无鱼组中甲藻占优势, 有鱼组则是蓝藻占优势。本研究说明罗非鱼对浮游植物的生长和群落结构有重要的影响, 其营养盐排泄产生的上行效应大于由于摄食产生的下行效应, 从而促进了浮游植物的生长。

关键词:围隔实验; 尼罗罗非鱼; 浮游植物; 群落结构

中图分类号: X171 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2010)03-0012-06

在淡水生态系统中, 营养盐可以影响浮游植物, 进而影响到浮游动物, 最后到食浮游动物鱼类、肉食性鱼类等更高营养级, 即所谓的上行效应; 另一方面, 肉食性鱼类可以通过捕食, 控制浮游动物, 并传递到浮游植物和营养盐, 即所谓的下行效应 (Northcote, 1998)。近年来, 国内外利用这一原理, 发展了应用于湖泊富营养化控制的生物操纵技术, 即通过以改变鱼类群落结构, 降低其对浮游动物牧食压力, 从而增加浮游动物, 尤其是大型浮游动物密度, 进而提高其对浮游植物的牧食作用, 以达到控制浮游植物的目的 (刘建康, 1999)。在浅水湖泊中去除杂食性鱼类, 可以降低浮游植物的生物量, 提高水体的透明度 (Tatrai, 2005; Sondergaard, 2007)。Brett & Goldman (1996) 对 54 个围隔实验的结果表明, 下行控制普遍存在于淡水生态系统, 但在大部分情况下 (60% 以上), 浮游植物对食浮游动物鱼类的去除响应很弱, 水体透明度的增加也十分有限。无疑, 鱼类对水体生态系统的影响与鱼类行为特征密切相关; 另一方面, 浮游植物的爆发性增长与氮、磷营养物质的浓度、比值及其在水体中的赋存形态也有重要的关系 (陈琼, 2006)。

罗非鱼是杂食性鱼类, 食物包括浮游生物、水生植物的叶子、底栖生物、水生无脊椎动物、仔鱼、有机碎屑等 (王明学, 1995)。罗非鱼有着独特的摄食方式, 能通过腮分泌粘液包裹浮游生物细胞, 然后将食物团摄取, 所以它能取食小型个体藻类, 如四角藻 ($4 \sim 6 \mu\text{m}$), 对微囊藻也有较高的摄食与消化速率 (申德林等, 2002; 陆开宏等, 2005; Fryer, 1972; Hakan, 2003); 而罗非鱼对水体中氮、磷营养物质的浓度和赋存形态也有重要影响, 其排泄也可能通过上行效应促进浮游植物的增长 (阮景荣, 2005; Mallet et al., 1998)。

为进一步了解罗非鱼对浮游植物群落结构的影响, 本研究在广东珠海大镜山水库 (总库容 $12.10 \times 10^6 \text{ m}^3$, 集雨面积为 5.95 km^2) 设立了原位围隔, 分析了尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 对浮游植物群落结构的影响, 旨在为水库水质管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验设计

2007年6月, 在大镜山水库的大坝处设置4个围隔。围隔以不透水的聚丙烯织布为材料, 每个围隔尺寸为 $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 深), 为全封闭式, 除水面外, 其它5面不透水。实验分2个处理: (1) 无鱼组: 不放养罗非鱼, 作为对照; (2) 有鱼组: 放养罗非鱼, 重量约为 100 g/尾, 放养密度为 130 g/m^3 。每个处理设2个重复。整个实验过程中不投饵, 不添加营养盐。

收稿日期: 2010-01-21

基金项目: 国家 863 项目 (2006AA06Z337) 和珠海市政府项目联合资助。

通讯作者: 刘正文, 博士, 研究员。E-mail: zliu@niglas.ac.cn

作者简介: 杨凯, 1985 年生, 男, 湖北黄石人, 在读硕士研究生, 专业方向为水污染生态学。E-mail: swkxyk@163.com

1.2 样品采集及分析方法

从2007年6月25日至11月19日,每20d采样1次,共8次。2007年6月27日投放罗非鱼。每次采样均对浮游植物样品进行定性和定量分析。定量样品用采水器在水面以下0.5 m处采水样1 L,并在现场加入水样体积1%的鲁哥试剂进行固定保存;定性样品用25号浮游生物网在不同方向和深度拖取,并用5%福尔马林固定。

定性样品直接取样,用OLYNPUS显微镜在10×40倍高倍镜下进行种类鉴定;定量样品静置48 h后浓缩至30 mL后,将水样摇匀,用移液枪吸取0.1 mL于计数框中,加上盖玻片,在10×40倍高倍镜下记数,每片观察100个视野,每个样品观察3片,结果取平均值。种类鉴定和计数方法参照《湖泊富营养化调查规范》和《中国淡水藻类》。

1 L水中浮游植物的密度(N)用下式计算:
$$N = (A \times Vw \times n) / (Ac \times V)$$

式中: N —每1L水中浮游植物的数量(即浮游植物密度); A —计数框面积(mm^2); Ac —计数面积(mm^2),即视野面积×视野数; Vw —1L水样经沉淀浓缩后的样品体积(mL); V —计数框的体积(mL); N —计数所得浮游植物的细胞数。

生物量(mg/L) = 浮游植物丰度(个/L) × 浮游植物体积(μm^3)/ $1.0 \times 10^{-6} \text{ mg}/\mu\text{m}^3$

在OLYNPUS显微镜下,依照浮游植物的体型,按照最相似的几何形状测量其长度、宽度、直径等,然后按公式求得体积(Hillebrand et al,1999)。假定浮游植物的密度为 $1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ ($1.0 \times 10^{-6} \text{ mg}/\mu\text{m}^3$)。

1.3 生物多样性指数

浮游植物多样性用Shannon - Wiener多样性指数 H 描述:

$$H = - \sum_{i=1}^s (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

式中: S 为种类数, n_i 为第 i 种的个体数, N 为同一样品中的个体总数。

1.4 数据处理

实验数据采用SPSS13.0软件进行单因素方差分析。

2 结果

2.1 浮游植物种类组成和多样性指数

实验过程中,无鱼组共检测到浮游植物6门、45种;其中,蓝藻门9种,绿藻门24种,隐藻门3种,硅

藻门7种,甲藻门1种,裸藻门1种。有鱼组共检测到浮游植物6门、36种;其中,蓝藻门12种,绿藻门13种,隐藻门3种,硅藻门6种,甲藻门1种,裸藻门1种。2组处理中,蓝藻门均以湖丝藻(*Limnothrix* sp.)为优势种,绿藻门均以小球藻(*Chlorella vulgaris*)为优势种;甲藻门全为多甲藻(*Peridinium* sp.)。

浮游植物多样性指数的计算结果,有鱼实验组的 H 值是0.79,无鱼对照组的 H 值为2.73。

2.2 浮游植物总密度和总生物量的变化

浮游植物平均密度和生物量变化见图1和2。在放养罗非鱼之前,从6月25日采样的数据来看,各围隔中的浮游植物密度、生物量相差不大。在6月27日放养罗非鱼后,有鱼组浮游植物的密度除了第1次采样外,其余6次采样均大于无鱼组,而有鱼组浮游植物的生物量7次采样均大于无鱼组。有鱼组和无鱼组的浮游植物密度和生物量有显著性差异($P < 0.05$)。

实验结束时,有鱼组和无鱼组浮游植物的密度分别为 1.2×10^8 个/L、 0.9×10^8 个/L,生物量分别为 8.16 mg/L 、 1.22 mg/L 。从浮游植物数量变化来看,实验组的变化幅度大,而对照组变化较平缓。

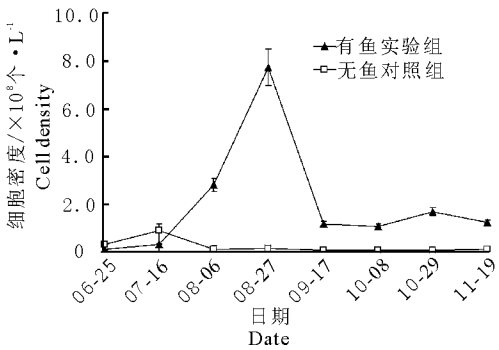


图1 有鱼实验组和无鱼对照组浮游植物密度的变化
Fig.1 Density variation of phytoplankton of fish group and non - fish group

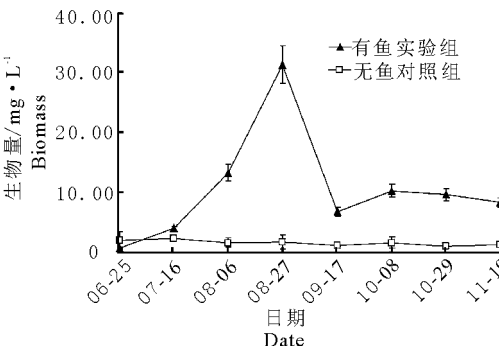


图2 有鱼实验组和无鱼对照组浮游植物生物量的变化
Fig.2 Biomass variation of phytoplankton of fish group and non - fish group

2.3 浮游植物各门密度组成的变化

浮游植物密度组成百分比见图3和图4。可以看出,放鱼前,各围隔中都是蓝藻(主要是湖丝藻 *Limnithrix* sp.)和绿藻(主要是小球藻 *Chlorella vulgaris*)占优势。有鱼组是绿藻偏多,蓝藻和绿藻的密度比是0.54:1;而无鱼组是蓝藻偏多,蓝藻和绿藻的密度比是1.88:1。实验过程中,无鱼组一直是蓝藻占优势,在8月6日以后甲藻(全为多甲藻)增多。实验结束时,蓝藻和绿藻的密度比是2.15:1。而对于有鱼组,蓝藻和绿藻呈现交替变化,从8月27日开始,蓝藻呈持续上升趋势,到实验结束时,蓝藻比绿藻多,蓝藻和绿藻的密度比是2.83:1。而且在整个实验过程中,甲藻都很少。

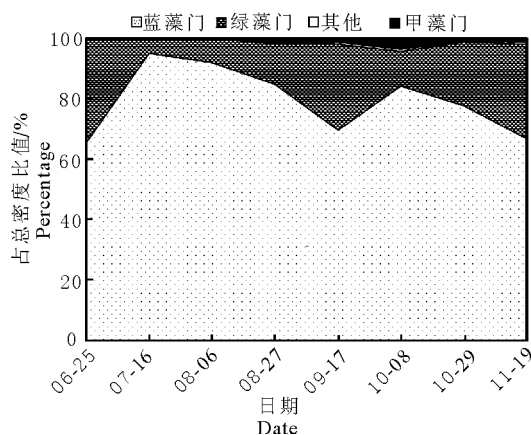


图3 无鱼对照组浮游植物密度百分比组成

Fig. 3 The percentage composition of phytoplankton by density the non - fish group

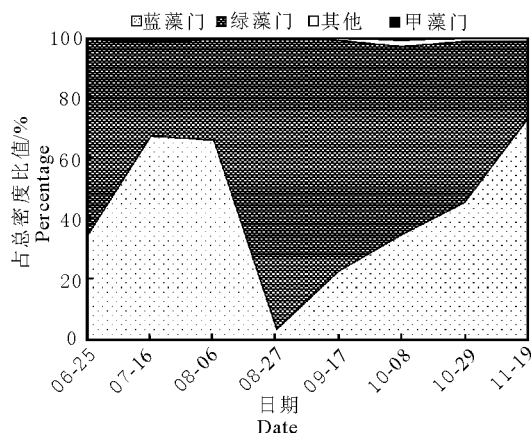


图4 有鱼实验组浮游植物密度百分比组成

Fig. 4 The percentage composition of phytoplankton by density in the fish group

2.4 浮游植物各门生物量组成变化

浮游植物生物量组成百分比见图5和图6。可以看出,无鱼组在8月6日(第3次采样)前,一直是蓝藻占优势,从8月6日以后变为甲藻(全部是多甲藻)

藻)占优势;整个实验过程中,绿藻的生物量都不大,平均占10.25%。实验结束时,甲藻和蓝藻占优势,分别为43.53%和35.99%。实验组从放鱼后甲藻增多,绿藻减少,但随后甲藻和蓝藻迅速减少,绿藻迅速增多并逐渐占优势;8月27日,绿藻达到最大值,约占93.76%,而甲藻消失;之后绿藻逐渐减少,蓝藻逐渐增加并占优势;实验结束时,蓝藻占优势,达到67.49%,绿藻、硅藻、隐藻分别占16.43%、3.92%、8.80%,甲藻仅占很少一部分,约为1%;与无鱼对照组有明显区别。

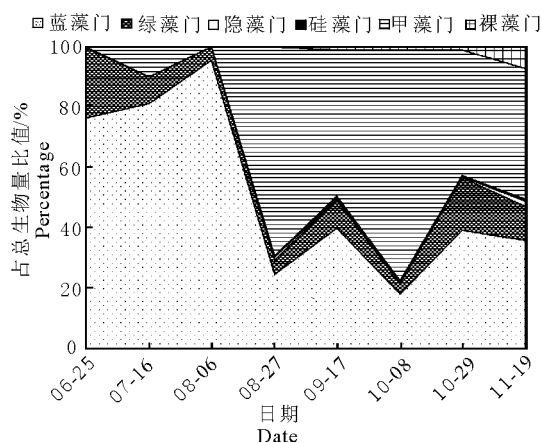


图5 无鱼对照组浮游植物生物量百分比组成

Fig. 5 The percentage composition of phytoplankton by biomass in the non - fish group

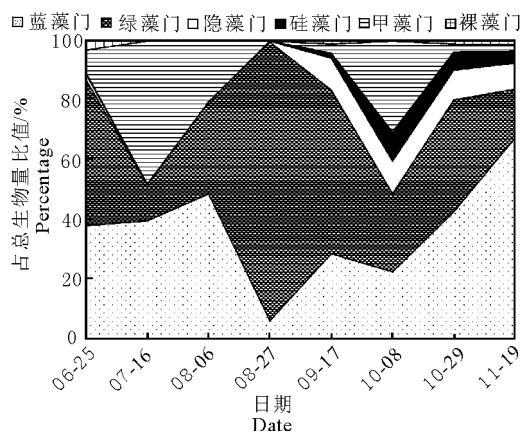


图6 有鱼实验组浮游植物生物量百分比组成

Fig. 6 The percentage composition of phytoplankton by biomass in the fish group

3 讨论

3.1 相关研究进展

国内外关于罗非鱼对浮游植物影响的相关报道很多。阮景荣等(1993)在用水族箱建立的微型生态系统中放养罗非鱼,发现罗非鱼引起浮游植物密度、初级生产力的增长;赵文等(2007)在施肥处理

下的盐碱池塘围隔生态系统中放养罗非鱼,也得到相似的结果;Figueredo & Giani (2005)在巴西 Furnas 水库中的原位实验也表明,罗非鱼可以增加水中的氮、磷及叶绿素 a 的含量,本研究的结果与其一致。在实验结束时,有鱼组中浮游植物的密度和生物量都明显升高,分别是无鱼组的 11.0 倍和 8.4 倍,表明罗非鱼促进了浮游植物的生长,罗非鱼对浮游植物的影响进而改变水质,其促进了浮游植物的增长,但显著降低了浮游植物的多样性,有鱼组的 Shannon - Wiener 多样性指数 H 值小于 1,水质为重污染型,无鱼对照组的多样性指数 H 值在 1~3,水质为中污染型(况琪军等,2005)。

3.2 鱼类营养盐的排泄与浮游植物的生长

鱼类促进浮游植物生长的主要机制是其营养盐的排泄。罗非鱼有很高的排泄率,排泄的营养盐包括可以直接被浮游植物利用的活性磷和氨氮(阮景荣等,1993;Susana,2004)。但本次试验中,无鱼组与有鱼组活性磷和氨氮差异并不显著,平均活性磷浓度分别为 0.032 mg/L 和 0.037 mg/L,无显著差异($P > 0.05$);平均氨氮分别为 0.154 mg/L 和 0.355 mg/L,也无显著差异($P > 0.05$);这很可能是罗非鱼向水中排泄的正磷酸盐和氨氮已经被浮游植物直接利用,下一步应该对罗非鱼不同营养盐的释放速率进行研究,从而估算其释放通量(刘辉等,2008)。在本次研究中,有鱼组中总氮、总磷(1.597 mg/L,0.154 mg/L)都显著高于无鱼组(0.608 mg/L,0.065 mg/L),罗非鱼排泄导致的营养盐上升可能是浮游植物增长的主要原因(Yoram & Malka, 1999)。

然而,已有的研究也表明,罗非鱼可以控制浮游植物的生长,降低浮游植物生物量。陆开宏等(2005)对浙江宁波月湖的研究发现,放养罗非鱼后,浮游植物密度大幅下降。作者认为,出现不同结果的原因与背景值的高低有关。在水体富营养化程度较高的水体中放养罗非鱼,降低浮游植物生物量的可能性较大;在富营养化程度较低的水体中,罗非鱼则可能提高浮游植物的密度。宁波月湖在放养罗非鱼前的 2000 年,浮游植物的密度是本实验起始值的 10 倍左右,也远远高于 Furnas 水库(Figueredo & Giani,2005)。当然,罗非鱼对浮游植物的影响可能还依赖于其他因子,如浮游动物的影响等。

3.3 浮游植物中优势种的变化

无鱼组和有鱼组的浮游植物群落结构也存在显著差异。从浮游植物生物量上看,无鱼组中甲藻逐

步占优势。甲藻常常成为浮游植物群落的优势种类,其机理包括较强的磷利用能力,并可以垂直迁移以获得水体下层的营养盐等,个体较大不易被浮游动物牧食;一些种类还产生毒素,从而抑制其他浮游植物的生长(胡韧等,2008;Gophen,1984;Rengefors & Legrand,2001)。

有鱼组则是蓝藻最后变成优势类群,其优势种类为湖丝藻(*Limnothrix* sp.)。甲藻由于个体较大,往往是鱼类摄食的主要对象,罗非鱼的摄食可能是导致有鱼组甲藻优势降低的原因之一(Gophen, 1984)。另外,成为优势种的湖丝藻个体大,也容易被鱼类滤食,但该藻类被认为是 R 对策藻类,在高营养盐、低光照的水环境中具有竞争优势(Romo & Villena,2005)。罗非鱼的排泄显著增加了营养盐,同时由于总悬浮物增加,透明度也显著降低,这可能是促进湖丝藻优势种形成的主要原因(刘辉等,2008)。对湖丝藻来说,罗非鱼营养盐排泄产生的上行效应大于摄食产生的下行效应。

参考文献:

- 陈琼. 2006. 氮、磷对水华发生的影响[J]. 生物学通报, 41(5):12-13.
- 胡韧, 雷腊梅, 韩博平. 2008. 南亚热带大型贫营养水库浮游植物群落结构与季节变化[J]. 生态学报, 28(10): 4 652-4 664.
- 况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 2005. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报, 5(2): 89-91.
- 刘辉, 谢贻发, 张修峰, 等. 2008. 罗非鱼对水质的影响[J]. 生态科学, 27(6):494-498.
- 刘建康. 1999. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社:117-118.
- 陆开宏, 金春华, 王扬才. 2005. 罗非鱼对蓝藻的摄食消化及对富营养化水体水华的控制[J]. 水产学报, 29(6): 811-818.
- 阮景荣, 戎克文, 王少梅, 等. 1993. 罗非鱼对微型生态系统浮游生物群落和初级生产力的影响[J]. 应用生态学报, 4(1): 65-73.
- 阮景荣. 2005. 三种鱼的磷排泄及其在微型生态系统磷再循环中的作用[J]. 水生生物学报, 29(1):55-59.
- 申德林, 奚业文, 孙德祥, 等. 2002. 巢湖设置网箱利用微囊藻类养殖罗非鱼、鲢、鳙试验[J]. 淡水渔业, 32(1):92-93.
- 王明学. 1995. 罗非鱼养殖[M]. 北京:科学技术文献出版社:5-13.
- 赵文, 董双林, 张兆琪, 等. 2007. 罗非鱼放养量对盐碱水微型生态系统浮游生物群落的影响[J]. 青岛海洋大学学报

- 报,30(3):435-440.
- Brett M T, Goldman C R. 1996. A meta - analysis of the freshwater trophic cascade[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States, 93: 7 723 - 7 726.
- Figueredo C C, Giani A. 2005. Ecological interactions between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and the phytoplanktonic community of the Furnas Reservoir (Brazil) [J]. Freshwater Biology, 50: 1 391 - 1 403.
- Fryer G. 1972. The cichlid fishes of the great lakes of Africa: their biology and evolution[M]. Edinburgh: Oliver and Boyd;641.
- Gophen M. 1984. The impact of zooplankton status on the management of Lake Kinneret (Israel) [J]. Hydrobiologia, 113 (1):249-258.
- Hakan T. 2003. Comparative Nile tilapia and silver carp filtration rates of partitioned aquaculture system phytoplankton[J]. Aquaculture, 220:449-457.
- Hillebrand H, Dürselen C D, Kirschtel D, et al. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae [J]. Journal of Phycology, 35: 403-424.
- Mallet C, Charpin M F, Devaux J. 1998. Nitrate reductase activity of plankton populations in eutrophic Lake Aydat and meso-oligotrophic Lake Pavin: a comparison [J]. Hydrobiologia, 74: 373-386.
- Northcote T G. 1998. Fish in the structure and function of freshwater ecosystem: a “top-down” view[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 45: 361-367.
- Rengefors K, Legrand C. 2001. Toxicity in *Peridinium aciculiferum*-An Adaptive Strategy to Outcompete Other Winter Phytoplankton? [J]. Limnology and Oceanography, 46(8): 1 990-1 997.
- Romo S, Villena M J. 2005. Phytoplankton strategies and diversity under different nutrient levels and planktivorous fish densities in a shallow Mediterranean lake[J]. Journal of Plankton Research, 27(12): 1 273-1 286.
- Sondergaard M. 2007. Lake restoration: successes, failures and long-term effects [J]. Journal of Applied Ecology, 44: 1 095-1 105.
- Susana R. 2004. Mesocosm experiments on nutrient and fish effects on shallow lake food webs in a Mediterranean climate[J]. Freshwater Biology, 49:1 593-1 607.
- Tatrai I. 2005. Response of nutrients, plankton communities and macrophytes to fish manipulation in a small eutrophic wetland lake[J]. International Review Hydrobiology, 90(5-6): 511-522.
- Yoram A, Malka K. 1999. Sedimentation and resuspension in earthen fish ponds[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 30(4):401-407.

(责任编辑 万月华)

Effect of Tilapia on Phytoplankton Community

YANG Kai¹, ZHANG Xiu-feng¹, LIU Zheng-wen^{1,2}

(1. Institute of Hydrobiology of Jinan University, Guangzhou 510632, China;

2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Omnivorous fish may control phytoplankton via grazing or nutrient excretion. Tilapia is common exotic omnivorous fish in southern China. The effect of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* on phytoplankton community was studied by using enclosure experiments in Dajingshan Reservoir from June to November in 2007. There were two treatments, one with fish (fish group) and another without fish (non-fish group). Results showed that the density and biomass of phytoplankton in fish group were 1.2×10^8 ind./L and 8.16 mg/L, respectively, and 11.0 times and 8.4 times as much as that in the non-fish group. Dinoflagellate's growth in the fish group was significantly restrained. The density and biomass of blue-green algae increased in the fish group. At the end of the experiment, dinoflagellate was dominated in the non-fish group, while blue-green algae was dominated in the fish group. In conclusion, tilapia impose a significant impact on the growth and community structure of phytoplankton, bottom-up effects via its nutrient excretion are more important than top-down effects via its grazing and hence high fish density promotes the growth of phytoplankton.

Key words: Enclosure experiment; Nile tilapia; Phytoplankton; Community structure