

# 微型生态系统中鲢、鳙下行影响的实验研究<sup>\*</sup>

## —— 2. 营养物水平<sup>\*\*</sup>

阮景荣 戎克文 王少梅

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

**摘要** 鲢、鳙放养使微型生态系统的水柱氮、磷浓度和磷的分布发生了明显的变化。至实验结束时,各实验组的水柱颗粒磷、总磷和氨氮浓度都比对照组低,而正磷酸盐浓度和沉积物磷的量均低于对照组。这种变化以鳙单养系统为最大,其次是鲢、鳙混养系统,鲢单养系统的变化最小。微型生态系统中正磷酸盐浓度同浮游动物、植物密度和初级生产力显著相关,氨氮浓度同所述变量之间的相关关系则多半与正磷酸盐相反。实验观测期间浮游植物密度与总磷浓度之间存在营养级联假说所预言的下行影响,实验结束时二者之间却有上行影响的趋向。根据实验观测结果认为,微型生态系统营养物(尤其是磷)水平的变动,主要是鲢、鳙的摄食改变了系统的群落结构和代谢强度的结果,同时反映了实验鱼对系统中营养物再生的影响。

**关键词** 微型生态系统 鲢 鳙 营养物动态 正磷酸盐 氨氮 磷分布

鲢、鳙是我国主要的淡水养殖鱼类,探讨其大量放养与水体富营养化之间的关系,既是一项重要的淡水生态学基础理论研究课题,同时对实现我国淡水水域合理的渔业利用和指导富营养水体的生态治理具有重大意义。因此,作者参照我国渔业水体的实际情况,就鲢、鳙高密度放养对微型生态系统营养状态的影响开展了实验研究。所取得的部分结果,即实验条件下微型生态系统的群落结构和代谢水平的变化,已于报道<sup>[1]</sup>。本文总结了微型生态系统中营养物动态的实验观测结果。

## 1 材料与方 法

实验系在室内控温和人工光照条件下进行。采用12个同一大小的水族箱建立微型生态系统,分为3个实验组(Ⅱ~Ⅳ)和1个对照组(Ⅰ),每一组设置3个重复。水族箱的使用容积为60L,水深约31cm。自实验的第4周起,每周于采样后给微型生态系统补充营养物,其平均磷负荷为 $0.0061 \text{ g P}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。实验组的鲢、鳙放养量平均为 $15 \text{ g}/\text{m}^3$ ,Ⅲ、Ⅳ组分别单养鲢、鳙,Ⅱ组为鲢、鳙混养。实验持续27周,后21周为鲢、鳙放养期。有关微型生态系统的建立、实验条件和方法的细节见前报道<sup>[1]</sup>。

\* 国家自然科学基金资助项目(3870344)。

\*\* “微型生态系统中鲢、鳙下行影响的实验研究——1. 浮游生物群落和初级生产力”载《湖泊科学》1995年第3期: 226~234。

收稿日期:1994年6月22日;接受日期:1994年11月3日。

微型生态系统的营养物水平,系以正磷酸盐( $\text{PO}_4\text{-P}$ )、氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )和总磷(TP)浓度作为观测指标,其中前两项每周测定1次,后一项每3周测定1次。实验结束时,除了进行所述指标的观测之外,还测定了微型生态系统中的颗粒磷(PP)、鱼体磷和沉积物磷。正磷酸盐的测定采用钼蓝比色法,氨氮采用纳氏比色法<sup>[2]</sup>,二者所用的水样均预先经孔径为 $0.45\ \mu\text{m}$ 的滤膜过滤。总磷和颗粒磷的测定采用硫酸消解-钼蓝比色法<sup>[2]</sup>,鱼体磷和沉积物磷则采用硫酸-高氯酸消解-钼锑比色法<sup>[3]</sup>。

## 2 结 果

鲢、鳙放养之前,各组微型生态系统的水柱正磷酸盐、氨氮和总磷浓度有一定的差异(图1),但其观测平均值的 *t* 检验<sup>[4]</sup>结果表明,所存在的组间差异不显著。鲢、鳙引入微型生态

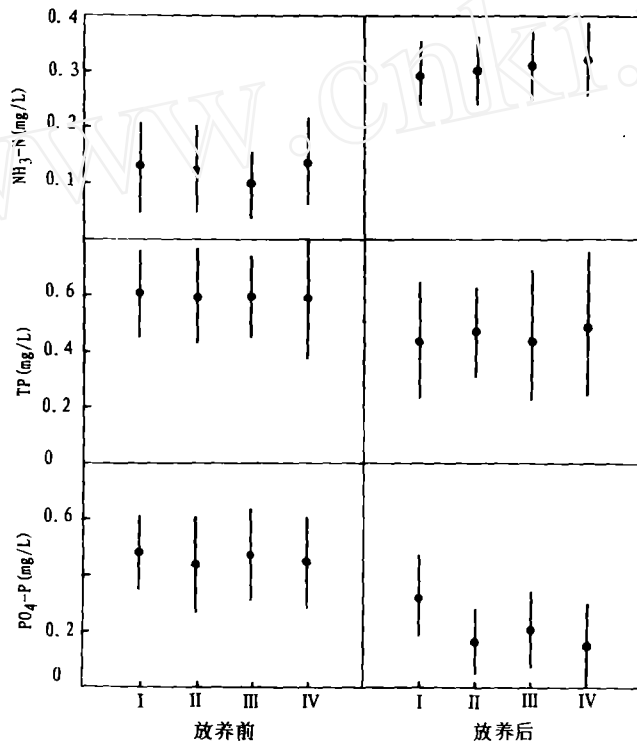


图1 鲢、鳙放养前后微型生态系统的水柱营养物浓度(均值±标准差)

Fig. 1 Nutrient concentrations (mean±SD) in water column before and after stocking silver carp and bighead carp in the microcosms

系统后,各实验组的正磷酸盐浓度都有较大幅度的下降,以致其观测平均值皆显著地小于对照组( $P < 0.001$ )。就不同实验组进行比较,IV组的正磷酸盐浓度显著地低于III组( $P < 0.02$ ),而III组与III、IV组之间无显著的差异。各实验组的总磷和氨氮浓度虽然都高于对照组,且不同实验组之间亦存在某种程度的差异,但除了IV组与对照组的氨氮浓度相差显

著( $P < 0.05$ )之外,其余各两组之间的差异都不显著。同鲢、鳙放养前比较,Ⅰ~Ⅳ组的正磷酸盐和总磷浓度分别降低了 55.3~66.9%和 17.5~24.1%,而氨氮浓度增长了 1.4~2.1 倍。与此同时,对照组的正磷酸盐和总磷浓度分别降低了 31.5%和 26.6%,氨氮浓度则增长了 1.3 倍。

实验结束时,各实验组的正磷酸盐浓度皆低于对照组,而总磷浓度均比对照组高(表 1)。但是,由于部分组的平行观测值的离散度较大,正磷酸盐和总磷浓度都不存在显著的组间差异。各实验组的颗粒磷浓度均高于对照组,其中Ⅰ、Ⅳ组的观测平均值分别为对照组的 4.9 和 10.4 倍,同时也都显著地高于Ⅲ组( $P < 0.05$ ),Ⅰ、Ⅳ组或Ⅰ、Ⅲ组之间的差异则不显著。至于沉积物磷和鱼体磷增量,同沉积物量和鱼类生物量的测定结果一致<sup>[1]</sup>,不存在显著的组间差异。

表 1 实验结束时微型生态系统中磷的分布(均值±标准差)

Tab. 1 The distribution of phosphorus in the microcosms at the end of the experiment. (mean±SD)

组 别	水 柱 磷(mg/L)			沉积物磷 (mg)	鱼体磷增量* (mg)
	PO <sub>4</sub> -P	TP	TP		
I	0.210±0.233	0.010±0.006	0.291±0.287	104.043±19.665	—
Ⅱ	0.140±0.140	0.049±0.021	0.310±0.107	81.537±10.910	11.346±4.341
Ⅲ	0.180±0.149	0.011±0.008	0.304±0.248	91.280±16.531	7.560±3.403
Ⅳ	0.091±0.043	0.104±0.054	0.342±0.162	76.572±19.247	10.707±6.146

\* 鱼体磷增量系指鱼生物量的增量与鱼的单位体重含磷量之积

按照表 1 中的数字计算,对照组的水柱磷(TP)和沉积物磷分别占其总磷量的 14.4%和 85.6%,Ⅰ~Ⅳ组的总磷量中水柱磷占 16.7%、15.6%和 19.0%,沉积物磷占 73.1%、78.0%和 71.0%,鱼体磷增量占 10.2%、6.5%和 9.9%。就水柱磷各组分的含量来看,对照组的正磷酸盐和颗粒磷分别占总磷的 72.2%和 3.4%,Ⅰ~Ⅳ组的总磷中正磷酸盐占 45.2%、59.2%和 26.6%,颗粒磷占 15.8%、3.6%和 30.4%。由此可见,放养鳙的微型生态系统中(Ⅰ、Ⅳ组)中磷的分布及水柱磷的组成都发生了较大的变化。

### 3 讨 论

在鲢、鳙的影响下,微型生态系统的营养物水平与其群落结构和代谢一样发生了明显的变化,其中鳙单养系统的变化最大,鲢、鳙混养系统次之,而鲢单养系统的变化最小。就实验中重点考查的磷而言,所观测到的变化主要是水柱正磷酸盐浓度下降,颗粒磷浓度增高,以及沉积物磷减少。同罗非鱼实验结果比较<sup>[5]</sup>,所述指标变动的幅度虽有一定的差异,但其变动趋向完全一致。看来,浮游生物食性的鲢、鳙和杂食性的罗非鱼,对水体营养物循环的影响及其机制基本上相同。这些鱼类通过其代谢过程加速了系统中营养物的再生,因此使较多的营养物回归至水柱,而减少了营养物的沉积量。有鱼系统的水柱正磷酸盐浓度较低而初级生产力较高,是系统中磷处于高速度循环的反映<sup>[6,7]</sup>,颗粒磷浓度的增长则是系统富营养化的一个重要特征。

淡水生态系统的水柱营养物浓度,虽然受营养物输入与输出的影响,但主要决定于系统

内部的营养物循环,即从植物对无机营养物的摄取到可供植物重新利用的无机营养物的再生这一复杂的过程。为了阐明微型生态系统中营养物浓度的变化,利用各组系统每周的观测数据( $n=24$ ),就正磷酸盐和氨氮浓度与浮游动、植物密度和初级生产力之间的相关关系进行了统计分析。所得结果(表2)表明,无论是同一系统的不同营养物指标或不同系统的同一营养物指标,同给定的相关变量之间的关系都存在明显的差别。然而,有鱼系统中正磷酸盐浓度与所述变量之间的相关关系大都具有高度的显著性,这同罗非鱼实验中的相关分析结果大体上一致<sup>[5]</sup>。由此看来,微型生态系统中正磷酸盐浓度的显著下降,主要是鱼类的摄食改变了系统的群落结构和代谢强度的结果。氨氮浓度同所述相关变量之间的关系多半与正磷酸盐相反,是因为实验过程中氨氮浓度不但没有下降,反而有较大幅度的增长。这表明微型生态系统中初级生产者所利用的无机氮不全是氨氮,同时反映了实验鱼对系统中营养物再生的影响。

表2 微型生态系统中正磷酸盐( $PO_4-P$ )和氨氮( $NH_3-N$ )浓度与其它某些变量之间的相关系数( $r$ )

(AD:浮游植物密度; ZD:浮游动物密度; GPP:初级生产力)

Tab. 2 The correlation coefficients ( $r$ ) between orthophosphate ( $PO_4-P$ ) or ammonia ( $NH_3-N$ ) concentration and some other variables in the microcosms

组别	$PO_4-P-AD$	$PO_4-P-ZD$	$PO_4-P-GPP$	$NH_3-N-AD$	$NH_3-N-ZD$	$NH_3-N-GPP$
I	-0.20 ( $P>0.30$ )	-0.09 ( $P>0.60$ )	0.26 ( $P>0.20$ )	0.42 ( $P<0.05$ )	0.35 ( $P>0.05$ )	-0.37 ( $P>0.05$ )
II	-0.73 ( $P<0.001$ )	0.88 ( $P<0.001$ )	-0.43 ( $P<0.05$ )	0.33 ( $P>0.10$ )	-0.63 ( $P<0.01$ )	-0.04 ( $P>0.80$ )
III	-0.43 ( $P<0.05$ )	-0.01 ( $P>0.90$ )	-0.63 ( $P<0.01$ )	0.61 ( $P<0.01$ )	-0.26 ( $P>0.20$ )	0.16 ( $P>0.40$ )
IV	-0.77 ( $P<0.001$ )	0.70 ( $P<0.001$ )	-0.66 ( $P<0.001$ )	0.59 ( $P<0.01$ )	-0.76 ( $P<0.001$ )	0.14 ( $P>0.50$ )

微型生态系统中总磷浓度的变动有与正磷酸盐相同的趋向。经分组和综合分析测定,实验期间总磷浓度对浮游植物密度的回归系数为负值,定性地看二者间存在营养级联假说所预见的下行影响( $P>0.05\sim 0.40$ ,图2)<sup>[8]</sup>。但是,实验结束时总磷浓度对浮游植物密度的回归系数为正值,即二者间存在不显著的上行影响( $P>0.30$ ),接近于罗非鱼实验结束时的观测结果<sup>[5]</sup>。鉴于微型生态系统中正磷酸盐浓度显著地受制于浮游植物密度,总磷浓度与浮游植物密度之间回归关系的变动,可能指示了总磷中正磷酸盐含量的变化。根据统计结果实验期间各组系统的总磷中正磷酸盐所占的比率平均为53.8%,而实验结束时降至49.9%。同时,实验结束时正磷酸盐浓度受制于浮游植物密度的程度( $P>0.10$ )明显下降,颗粒磷浓度与浮游植物密度之间的回归关系则具有高度的显著性( $P<0.01$ )。显而易见,微型生态系统中总磷浓度与浮游植物密度之间的回归关系在很大程度上受其正磷酸盐含量的影响,实验结束时二者之间的回归关系同颗粒磷浓度对浮游植物密度的从属性趋于一致。结合本文及有关的研究结果<sup>[5,9,10]</sup>看来,淡水生态系统中浮游植物密度(或生物量)与总磷浓度之间的关系是复杂的,由于水柱磷各组分含量的差别,它们之间可能存在不同程度的下行或上行影响。

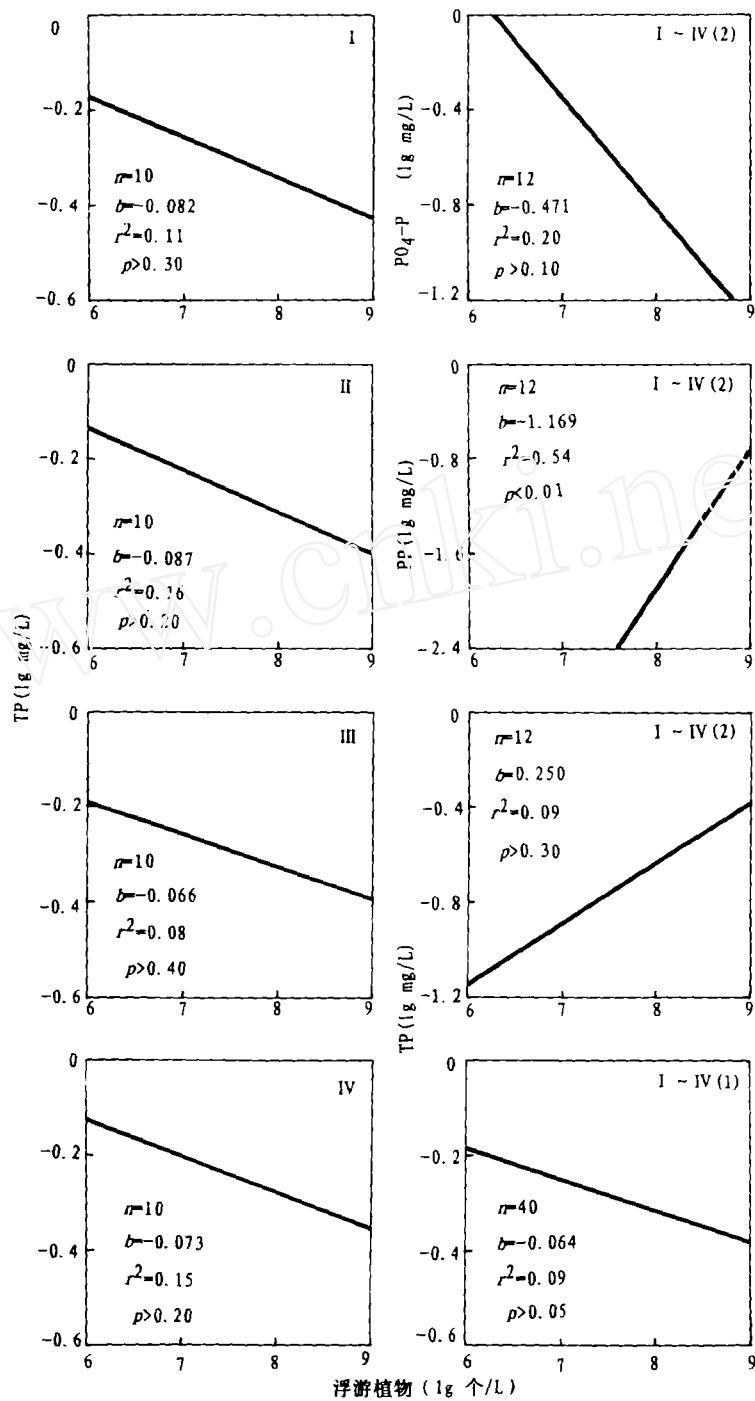


图2 微型生态系统的水柱磷浓度与浮游植物密度之间的回归关系  
(左列 I ~ IV 和右列 I ~ IV (1) 的回归线系由实验期间的观测数据求得,  
I ~ IV (2) 则依据于实验结束时的观测数据)

Fig. 2 Regression relationship between water-column phosphorus concentrations and phytoplankton density in the microcosms

## 参 考 文 献

- 1 阮景荣,戎克文,王少梅. 微型生态系统中鲢、鳙下行影响的实验研究——1. 浮游生物群落和初级生产力. 湖泊科学, 1995, 7(3): 226~234
- 2 中国医学科学院卫生研究所编. 水质分析法. 北京:人民卫生出版社, 1974. 112~115, 135~139
- 3 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析法. 北京:科学出版社, 1983. 95~97
- 4 斯奈迪格 G W 等著(杨纪珂,汪安琦译). 应用于农学和生物学实验的数理统计方法. 北京:科学出版社, 1964. 95~112
- 5 阮景荣,刘衢霞,王少梅,戎克文. 罗非鱼对微型生态系统营养物水平的影响. 应用生态学报, 1993, 4(4): 404~409
- 6 Lynch M and J Shapiro. Predation, enrichment and phytoplankton community structure. *Limnol Oceanogr*, 1981, 26: 86~102
- 7 Tatrai I and V Istvanovics. The role of fish in the regulation of nutrient cycling in Lake Balaton, Hungary. *Freshwat Biol*, 1986, 16: 417~424
- 8 Carpenter S R, Kitchell J F and J R Hodgson. Cascading trophic interactions and lake productivity. *BioScience*, 1985, 35: 634~639
- 9 Diana J S, Dettweiler D J and C K Liu. Effect of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the ecosystem of aquaculture ponds, and its significance to the trophic cascade hypothesis. *Can J Fish Aquat Sci*, 1991, 48: 183~190
- 10 McQueen D J, Post J R and E L Mills. Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Can J Fish Aquat Sci*, 1986, 43: 1571~1581

## EXPERIMENTAL STUDIES ON THE TOP - DOWN EFFECTS OF SILVER CARP AND BIGHEAD CARP IN FRESHWATER MICROCOSMS( II ); NUTRIENT LEVELS

Ruan Jingrong Rong Kewen Wang Shaomei

(Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

### Abstract

Stocking silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*) at the density of 15 g/m<sup>3</sup> induced obvious changes in nitrogen and phosphorus concentrations and phosphorus distribution in freshwater microcosms under relatively high nutrient loading (average P loading = 0.0061 g P/(m<sup>2</sup> · day)). As compared with the controls, the microcosms with fishes were characterized by higher concentrations of particulate phosphorus (PP), total phosphorus (TP) and ammonia (NH<sub>3</sub>-N), lower orthophosphate (PO<sub>4</sub>-P) concentration and smaller quantity of sediment phosphorus at the end of the experiment. Such changes were the greatest and the smallest in the microcosms containing solely bighead carp and solely silver carp (monoculture) respectively, and medium in the microcosms with both species of fish (mixed culture). It has been found that PO<sub>4</sub>-P concentration was significantly correlated with zooplankton and phytoplankton densities and primary production in the microcosms, and correlations between NH<sub>3</sub>-N concentration and the related variables were mostly in the opposite direction to those for PO<sub>4</sub>-P concentration. There was the top-down effect predicted by the trophic cascade hypothesis between phytoplankton density and TP concentration during the experiment, but the bottom-up effect occurred between them at the end of the experiment. It was considered that the changes in the nutrient levels (especially for phosphorus) of microcosms resulted primarily from the alterations in their community structure and metabolism intensity caused by silver carp and bighead carp, and it also reflected the effects of fish on nutrient regenerations in the microcosms.

**Key Words** Microcosm, silver carp, bighead carp, nutrient dynamics, orthophosphate, ammonia, phosphorus distribution