

## 围隔中鲢和茳草控藻效果及其生态学意义

王海珍<sup>1</sup> 刘永定<sup>1</sup> 肖邦定<sup>1</sup> 李敦海<sup>1</sup> 陈德辉<sup>2</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2 上海师范大学, 上海 200234)

**摘要:**在滇池沿岸的池塘中, 构建了面积为 100m<sup>2</sup>, 水深为 85cm, 底质均为淤泥的四个围隔, 其中在三个围隔内分别放养密度为 100g/m<sup>3</sup>、75g/m<sup>3</sup>、50g/m<sup>3</sup> 的鲢。它们均在一定程度上控制浮游植物的生物量并改善水体透明度, 其中初始放养鲢 75g/m<sup>3</sup> 的围隔控制效果最明显。放养三种密度的鲢在有效控制微囊藻水华的同时, 原先水体的优势种类发生质的变化, 水体中浮游植物的多样性也明显增加。放鱼 2 个月后, 在生物操纵的围隔中同时种入茳草, 在 75g/m<sup>3</sup> 的鲢控藻的围隔中, 茳草长势良好, 浮游动物大量出现, 透明度进一步增加。

**关键词:** 围隔; 鲢; 茳草; 浮游植物; 生物操纵

中图分类号: Q178.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2004)02-0141-06

前人有在实验室内对不同鱼控藻效果比较的研究, 表明鲢能有效控制蓝藻的生物量<sup>[1]</sup>, 并有研究表明鲢能有效控制池塘内藻类生物量<sup>[2]</sup>和鲢能控制水库富营养状况并对水库的浮游生物群落结构产生影响的研究<sup>[3,4]</sup>。不同的生境下, 有效控制蓝藻水华的放鱼密度是不同的, 滇池地处云贵高原, 其气候条件有别于其他湖泊而具有一定的特殊性, 为了寻求在滇池这样一个生态环境下有效控制蓝藻水华的鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 密度, 于是在滇池边上的小池塘设置了 4 个不同放鱼密度的围隔, 并在 2 个月后种植茳草 (*Potamogeton crispus* L.), 以期研究茳草在不同鲢密度控藻效果下的生长情况, 及茳草的生长对小水体生态的修复和维护效果。

### 1 实验设置和方法

#### 1.1 实验设置

平均面积为 100m<sup>2</sup>, 水深为 85cm, 底质均为淤泥, 围隔中的水来自滇池水华严重区的表层水体, 灌水后围隔中呈现水华现象。4 个围隔的放鱼密度分别为 100g/m<sup>3</sup>、75g/m<sup>3</sup>、50g/m<sup>3</sup>、0g/m<sup>3</sup>, 分别记为围隔 A、B、C、D(即对照), 其中放养的鲢规格为平均 33 ± 2g/尾, 4 个围隔开始均为无草, 在放鱼 2 个月后, 围隔 A、B、C 分别种入茳草。

围隔实验开始于 2001 年 7 月 13 日。放鱼后 2

个月内分别测定浮游植物的叶绿素含量(每半月一次)、透明度、TN、TP(这三项每星期测一次)。放鱼 2 个月后(即处理围隔种入茳草)测定浮游植物的叶绿素含量、透明度和 pH 值, 鉴别浮游植物种类组成(此四项为每 10d 进行一次); 同时每个月进行一次粒径分级实验(不同粒级的叶绿素含量和生产力比较及变化趋势分析)。

#### 1.2 实验方法

用分光光度计(752 型号)测定叶绿素含量<sup>[5]</sup>, 总磷采用过硫酸钾氧化-钼锑抗分光光度法测定; 总氮采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定<sup>[6]</sup>。用日本 DKK.TOA 公司生产的 pH 计(HM-20P)测定水体中的酸碱度, 溶氧仪(DO-24p)直接测定水体中溶解氧含量及水温。平均每平方米种植 4 株 20 ± 2cm 茳草。用孔径分别为 50μm 的网筛和 5μm 的滤膜对水样依次进行过滤, 取原水样和过滤水样分别进行叶绿素含量和初级生产力(黑白瓶方法)的测定。通过采水器取 0.5m 水 200mL 用鲁哥氏液固定浓缩, 显微镜(XS-18)观察浓缩水样中浮游植物的组成<sup>[7]</sup>。

### 2 结果

#### 2.1 围隔水的理化指标

放鱼 2 个月内, 围隔 C 和对照围隔的透明度有下降趋势, 分别从 25cm 下降到 15cm 和 10cm; 围隔 A

收稿日期: 2003-11-17; 修订日期: 2003-12-10

基金项目: 滇池蓝藻水华污染控制技术(K99-05-35-01); 国家 973 项目(2002CB412300); 中国科学院方向性创新课题(220316)资助

作者简介: 王海珍(1976—), 女, 浙江省台州市人, 博士, 从事藻类生理生态方面的研究

通讯作者: 刘永定, liuyd@ihb.ac.cn.

透明度变化不是很大, 维持在 25cm 左右; 围隔 B 透明度有所上升, 10d 后达到 30cm 并维持到种草前。围隔 B 在种植水草之后, 透明度改善非常明显, 由 9 月的 30cm 左右上升到 11 月 85cm 以上(图 1), 已可见底; 而其他围隔则变化不是很大。

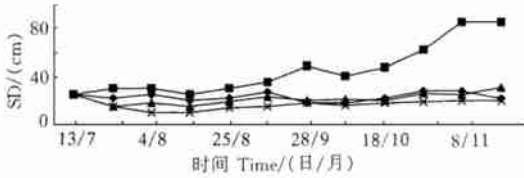


图 1 围隔中透明度的变化

Fig. 1 Changes of transparency in the enclosures

—◆—围隔 A —■—围隔 B —▲—围隔 C —×—围隔 D  
(图 1—5 图例同图 1)

围隔 B 种植水草后, pH 值有上升趋势(图 2), 从 8.4 上升到 9.2 左右; 围隔 A、围隔 C 和对照围隔的 pH 值变化趋势基本持平, 围隔 A 的 pH 值在 8 左右, 围隔 C 的 pH 值在 8.5 左右, 对照围隔在 9.5 上下浮动。

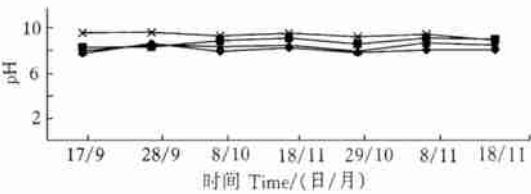


图 2 围隔中 pH 值的变化

Fig. 2 Changes of pH value in the enclosures

放鱼一个月后围隔 B 的总氮下降最快(图 3), 从 7 月 13 日的 4.92mg/L 下降到 8 月 12 日的 2.26mg/L; 对照围隔和围隔 C 总氮则有先上升后下降的趋势; 围隔 A 的总氮有下降趋势。放鱼 2 个月

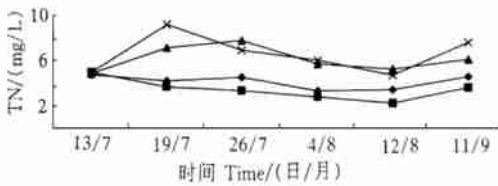


图 3 围隔中水体的总氮含量

Fig. 3 TN of the water in enclosures

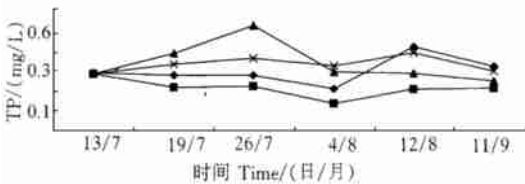


图 4 围隔中水体的总磷含量

Fig. 4 TP of the water in enclosures

后, 总氮均有回升趋势。围隔 B 的总磷下降最明显, 从 0.29mg/L 下降到 0.21mg/L; 对照围隔则变化比较平缓; 围隔 A 有上升趋势、围隔 C 则先升后降。2 个月后, 4 个围隔的总磷有一定趋同倾向(图 4)。

## 2.2 围隔中浮游植物的叶绿素 a 含量变化

对照围隔的叶绿素 a 含量在放鱼 2 个月内比其他围隔的要大, 10 月份有低于围隔 A 的现象, 总体有先上升后下降的趋势, 在后期呈梯度性下降。围隔 A 在种草后也有此趋势, 而在种草前, 亦即放 100g/m<sup>3</sup> 密度的鱼时, 水体中叶绿素 a 变化平缓。围隔 B 在放鱼后, 叶绿素 a 含量一直是 4 个围隔中最低的, 在种草后水体中叶绿素 a 下降更快(图 5)。围隔 C 水体中叶绿素 a 的总体变化趋势是下降的。

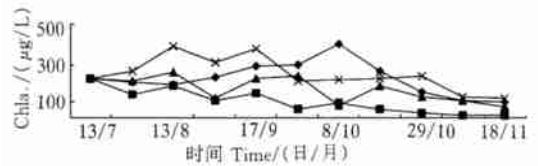


图 5 围隔中水体的叶绿素 a 含量变化(2001.7.13-11.18.)

Fig. 5 Changes of Chla. contained in water in enclosures(2001.7.13-11.18.)

## 2.3 4 个围隔浮游植物物种及优势种类的比较

通过对 4 个围隔刚灌水时的本底和放鱼 2 个月(即种草期间) 8 次取样观察, 共鉴定出浮游植物 161 种, 分别隶属于 55 属 7 个门; 其中种类最多的是绿藻门, 有 27 属 81 种, 占总种类数的 50.31%; 其次是裸藻门, 有 5 属 48 种, 占总种类数的 29.81%; 蓝藻门有 12 属 20 种, 占总种类数的 12.42%; 硅藻门有 6 属 7 种, 占总种类数的 4.35%(表 1)。

种植水草期间, 各围隔中的藻类种类数有明显的差异, 围隔 A 中最多, 有 119 种; 围隔 D 中最少, 为 27 种; 围隔 B 中种类数也较少, 为 51 种。具体见表 1。

为了说明放鱼和种植水草对浮游植物种类组成的影响, 分别对 3 个具代表性的水样进行了浮游植物的种类组成分析。通过与本底(7 月 13 日)比较(表 2), 处理围隔放鱼两月后(9 月 8 日)和种草两个月后(11 月 8 日)的优势种(属)均发生不同的变化: 围隔 A 由微囊藻属、栅藻属的优势转变为尖头藻属、平裂藻属、针杆藻属, 而后转变为蓝隐藻属、栅藻属等; 围隔 B 浮游植物的优势则先转变为蓝隐藻属后转变为蓝隐藻属和四角藻属; 围隔 C 则先转变为颤藻属的优势, 而后是颤藻属和蓝隐藻属的优势。而对照围隔的优势属基本保持不变, 微囊藻属始终占优势。

表 1 围隔中浮游植物的情况  
Tab.1 Phytoplankton in enclosures

围隔(Enclosure)	A		B		C		D		合计 total	
类别( Item)	属	种	属	种	属	种	属	种	属	种
门类(Phylum)	genus	species	genus	species	genus	species	genus	species	genus	species
蓝藻门	8	10	5	6	9	12	5	10	12	20
Cyanophyta										
隐藻门	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Cryptophyta										
甲藻门	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
Pyrrophyta										
金藻门	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
Chrysophyta										
硅藻门	6	7	3	3	4	4	3	3	6	7
Bacillariophyta										
绿藻门	21	62	15	33	21	49	6	8	27	81
Chlorophyta										
裸藻门	5	37	4	6	4	19	2	3	5	48
Euglenophyta										
合计	43	119	30	51	43	89	19	27	55	161
total										

表 2 围隔中浮游植物优势种(属)的变化  
Tab.2 The dominant algae in four enclosures

种(属) Species ( Genus)	试验前	( 9 月 8 日—11 月 8 日)							
	Before experiment	A		B		C		D	
	7. 13.								
微囊藻属 <i>Microcystis</i> sp.	++					++	++		
中华尖头藻 <i>Raphidiopsis</i> sp.		++							
银灰平裂藻 <i>Merismopalía glauca</i> ( Ehr. ) Näg.		+							
针状蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis acicularis</i> Lemm.		+							
颤藻属 <i>Oscillatoria</i> sp.						+	+	+	
尖尾蓝隐藻 <i>Cryptomonas acuta</i> Utem.		+	+	+			+		
卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i> Ehr.						+			
针杆藻属 <i>Synedra</i> sp.		+							

		续表			
种(属) Species (Genus)	试验前 Before experiment	A	B	C	D
		(9月8日—11月8日)			
栅藻属 <i>Scenedesmus</i> sp.	7. 13.	+			
微小四角藻 <i>Tetradron minimum</i> A. (Br.) Hansg.			+		

同时,处理围隔放鱼两月后和种草2个月后的门、属数目发生了明显的变化:生物处理围隔在放鱼两月内,门类数均从2增加到6,而围隔A中出现的属最多,有27属;处理围隔在继续种草后围隔B的门类数下降为3,可能与浮游动物的大量出现有关;对照围隔在此期间门类数和种类数有所增加,但远不如处理围隔增加得快。

另外,通过种草期间4个围隔各门种类数的比较可知,生物处理的围隔,其绿藻门的总种类数均占50%以上的优势,而蓝藻门的种类数优势占第三位,次于裸藻门;而对照围隔则是蓝藻门的种类数占优势,其次才是绿藻门。

2.4 代表围隔不同粒径级别的叶绿素a含量和生产力的比较

从图6可知,9月11日即放鱼两月后,对照围隔D的粒径< 5μm的浮游植物的叶绿素a含量所占的比例少于围隔B;围隔B中粒径在5—50μm的浮游植物叶绿素a含量的比例最高,在70%左右,而围隔D百分比含量很低;围隔D中粒径> 50μm的浮游植物叶绿素a含量所占的比例最大,达90%以上,而围隔B中含量低于20%。再从2个围隔的不同级别的百分比变化趋势来看,种草后围隔B的粒径< 5μm的浮游植物叶绿素a含量的比例有上升趋势;对照围隔D粒径> 50μm的浮游植物叶绿素a含

量的百分比有下降趋势,而粒径在5—50μm的浮游植物叶绿素a含量有上升趋势。

比较两图可知,放鱼两个月后,围隔B的浮游植物初级生产力主要是由粒径在5—50μm的藻类组成,占80%以上;其次为粒径< 5μm的浮游植物,其生产力所占的比例为18%左右;粒径> 50μm的浮游植物的生产力非常低。对照围隔则是粒径> 50μm的浮游植物的生产力占了90%以上的比例,其他级别的生产力相对较低。同时,两图还可看出种植水草后,围隔B中粒径< 5μm的浮游植物的生产力的比例有明显上升趋势,这与该围隔中叶绿素a含量的变化趋势是一致的;对照围隔中粒径> 50μm的浮游植物的生产力比例有下降趋势,而另外两个级别的生产力比例有一定的上升。

2.5 鱼和菹草的生长情况

投放的鲢在放养4个月后的体重有所增加,但幅度不大:围隔A中鲢体重平均增加0.5g左右,围隔B中鲢体重平均增加0.8g左右,而围隔C中鲢体重平均增加0.5g左右。菹草种植2个月后的在不同的围隔生长状况是不同的,在围隔A中,菹草长势缓慢,密度和植株高度均无明显增加;围隔B中,菹草长势良好,在植株体长成倍加长时,植株密度也显著增加,两个月后已布满整个围隔;围隔C中,菹草体长有所增加,但植株密度无明显增加。

3 讨论

3.1 不同鲢密度对围隔中水质的控制效果及生态效应的比较

从单独放鱼期间与对照围隔的比较来看,放养鲢的围隔其透明度均有所增加,特别是在初始放养鲢密度为75g/m<sup>3</sup>的围隔中,透明度改善最明显;同样,叶绿素a含量的变化也说明了放养鲢(3个设置密度下)可控制藻的生物量,且75g/m<sup>3</sup>的鲢密度效果最好。另外,浮游植物能吸收利用水体中的氮和

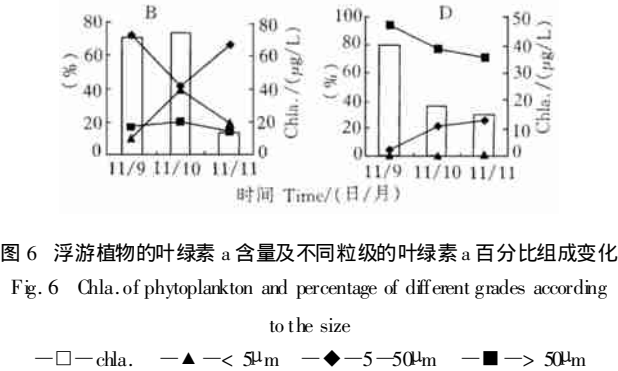


图6 浮游植物的叶绿素a含量及不同粒级的叶绿素a百分比组成变化  
Fig. 6 Chla. of phytoplankton and percentage of different grades according

磷等元素, 浮游植物在未被鲢食用时, 其水体的总氮总磷含量不变, 水体中总氮磷含量的测定包括水体中浮游植物等悬浮颗粒, 不包括鱼, 而浮游植物被鱼食用后浮游植物体内的氮、磷等转化为鱼本身的物质和能量, 从而使水体中的氮磷含量下降。75g/m<sup>3</sup>的放鱼密度能有效降低水体中的氮、磷含量, 而100g/m<sup>3</sup>的放鱼密度对水体中总氮的含量亦有明显的降低作用, 而对水体中总磷含量的降低在开始的一段时间起了作用(与藻生物量下降有直接关系), 而后面一段时间总磷呈增加趋势, 可能与鱼的活动有关<sup>[8]</sup>, 鱼的活动可使沉淀物再悬浮等, 从而使总磷含量有上升趋势; 50g/m<sup>3</sup>的放鱼密度对水体的总氮总磷含量控制效果亦不理想。

通过放养鲢, 围隔中的小生态均发生了质的变化。3种鲢密度均能控制微囊藻水华, 并且使原先水体的优势种类发生了变化, 水体中浮游植物的多样性明显改善, 而围隔B中则体现在水生生物多样性的提高, 浮游动物的大量出现, 水草的长势良好等。

### 3.2 茳草的种植对放鱼生态效应的维护及稳态转换的实现

放鱼2个月后, 围隔A、C由于浮游植物的叶绿素a含量仍有较高水平, 导致的透明度上升不大, 而对茳草的生长不利, 因而没有明显起到促进改善水质的作用。围隔B, 即放养鲢密度75g/m<sup>3</sup>的围隔, 通过鲢滤食作用有效减少水体中的浮游植物(主要为较大型藻类, 鲢对小于10μm的藻滤食效率相对较低<sup>[9]</sup>), 改善的水体透明度可使茳草不受遮光限制而生长良好, 茳草反过来又控制了浮游植物的生长(营养竞争和他感作用<sup>[10]</sup>), 同时为浮游动物提供了栖息环境, 浮游动物又反过来控制小型的藻类等, 使

水体从藻型稳态向草型稳态转变。

### 参考文献:

- [1] Hakan T, Arnold G E, David E B. Comparative Nile tilapia and silver carp filtration rates of partitioned aquaculture system phytoplankton [J]. *Aquaculture*, 2003, **220**: 449—457
- [2] Laws E A, Weisburd R S J. Use of silver carp to control algal biomass in aquaculture ponds [J]. *The progressive Fish Culturist*, 1990, 52: 1—8
- [3] Starling F, Rocha A J A. Experimental study of the impacts of planktivorous fishes on plankton community and eutrophication of a tropical Brazilian reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 1990, **200/201**: 581—591
- [4] Starling F. Control of eutrophication by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the tropical Paran reservoir (Brasilia, Brazil): a mesocosm experiment [J]. *Hydrobiologia*, 1993, **257**: 43—152
- [5] Zhang Z S, Huang X F. Research methods of freshwater phytoplankton [M]. Beijing: Science Press, 1991, 345—347 [章宗涉, 黄详飞. 淡水浮游生物研究方法, 北京: 科学出版社, 1991, 345—347]
- [6] Wei F S. Monitory and analysis methods of water and wasted water (third edition) [M]. Beijing: *Chinese Environment Science Press*, 1998, 278—285: 359—361 [魏复盛. 水和废水监测分析方法(第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1998, 278—285: 359—361]
- [7] Hu H J, Li R Y, Wei Y X *et al.* Freshwater Algae in China [M]. Shanghai: *Shanghai Science and technology Press*, 1980, 93—101 [胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 1980, 93—101]
- [8] Marten S. Alternative Attractors of Shallow Lakes [J]. *The Scientific World*, 2001, **1**: 254—263
- [9] Sndor H, Istn T, Jnos O *et al.* Feeding experiments with silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) fry [J]. *Aquaculture*, 1989, **83** (3): 331—344
- [10] Satoshi N, Yutaka I, Masaaki H, *et al.* Growth inhibition of blue green algae by allelopathic effects of macrophytes [J]. *Water Science and Technology*, 1999, **39** (8): 47—53

## ECOLOGICAL MEANING AND BLOOM CONTROLLING OF DIFFERENT DENSITY OF SILVER CARP FOLLOWED WITH *POTAMOGETON CRISPUS* IN ENCLOSURES

WANG Hai-Zhen<sup>1</sup>, LIU Yong-Ding<sup>1</sup>, XIAO Bang-Ding<sup>1</sup>, LI Dun-Hai<sup>1</sup> and CHEN De-Hui<sup>2</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Science, Wuhan 430072; 2. Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

**Abstract:** As we know, Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) could decrease the biomass of the blue-green algae and have effect on species composition of phytoplankton, but different environment needs different density of Silver carp to control the cyanobacterial bloom. Dianchi lake is situated at Yungui Plateau, and the environment of it is different from other lakes. So the experiment was carried out. In this study, four enclosures in the same size, with an area of 100m<sup>2</sup> and a depth of 85cm, and sediment inside, were constructed near Dianchi Lake. And the water inside the enclosures came from the surface of Dianchi lake. Three enclosures were cultured with 100g/m<sup>3</sup>, 75g/m<sup>3</sup> and 50g/m<sup>3</sup> of biomass of Silver carp respectively, and the left one was as control. During two months, the Chla. of phytoplankton were decreasing and the SD of the water were improving in enclosures cultured with Silver carp. The enclosure with 75g/m<sup>3</sup> of Silver carp improved the ecology well. Through putting the fish into the enclosures, the outbreaking of the cyanobacterial bloom was controlled, the dominant species of algae changed, and the biodiversity of phytoplankton increased. In order to study the effects of the *Potamogeton crispus* L. followed with Silver carp on the ecology of the enclosures. Continual experiment was done. After culturing the fish for two months, the enclosures which had been cultured with Silver carp were planted with *Potamogeton crispus* L., and the aquatic plants in enclosure with 75g/m<sup>3</sup> of Silver carp grew better than in others, the zooplankton appeared with large amounts, and the SD of the water increased more.

**Key words:** Enclosure; Silver carp; *Potamogeton crispus* L.; Phytoplankton; Bio-manipulation