

水蚤类浮游动物孳生的生物控制试验研究

林涛^{1,2}, 崔福义², 刘冬梅²

(1.河海大学环境科学与工程学院,江苏南京 210098;2.哈尔滨工业大学市政环境工程学院,黑龙江哈尔滨 150090)

摘要 对利用滤食性鲢鱼、鳙鱼的生物操纵作用抑制水源水中孳生的剑水蚤类浮游动物进行了探讨.在不投加任何饵料的条件下,进行微型生态系统的试验研究.结果表明,鱼类的放养生物量对其生物操纵作用具有重要的影响,适宜生物量的鲢鱼、鳙鱼的放养,可以有效地抑制剑水蚤类浮游动物的孳生,并通过影响水体中营养物质水平和生物群落结构,帮助水体水质的恢复,放养生物量过低难以有效地控制剑水蚤的生长,过高的放养生物量会导致鱼类捕食活动过于剧烈,加速营养物质自下而上的补充,甚至有可能会破坏水中正常的食物链关系.

关键词 滤食性鱼类;剑水蚤;浮游动物;生物操纵;水处理

中图分类号 :TU991 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2006)05-0481-04

近年来,剑水蚤类浮游动物在许多城市水源中大量孳生繁殖,常规的水处理消毒工艺很难将其杀灭.剑水蚤具有游动性,容易穿透滤池进入管网^[1].管网水中出现剑水蚤,不仅带来了不良的感官影响,而且大多数剑水蚤目是诸如绦虫、线虫等水中致病生物的中间宿主,给用水安全带来了潜在的威胁^[2].

目前,从水处理的角度解决剑水蚤对饮用水安全影响的问题还没有专门的报道.崔福义等^[1]认为,可在不投放任何饵料的条件下,利用鱼类的生物操纵作用来控制水蚤的孳生.研究表明^[3],滤食性的鲢鱼、鳙鱼对剑水蚤的生物控制作用要优于草食性草鱼和杂食性鲤鱼,但鲢鱼、鳙鱼的单养在一定程度上限制了其生物操纵作用的发挥.为此,本文提出了鲢鱼、鳙鱼混养的试验方案,在不同的放养生物量下,就其对剑水蚤的生物控制和理化环境的“下行影响”进行研究.

1 试验装置及方法

试验采用4个容积为1.2 m³的玻璃水箱(长×宽×高为2 m×0.5 m×1.2 m),试验水深1.1 m.由荧光灯提供5 600 lx左右的液面光照强度,光照时间为10 h/d.在水箱中配制经过曝气除氯的自来水,加入一定数量的生活污水和氮、磷等构成试验底质,再加入适量的河道底泥构成沉积物质.1周后,放入以蓝藻、绿藻和硅藻为主的浮游藻类,其中蓝藻以微囊藻、念珠藻为主,绿藻多为栅藻,硅藻主要是直链藻.3周后,将剑水蚤(大尾真剑水蚤)成体及原生动物(自由钟形虫)、轮虫接种入水箱(约500个/水箱),以此形成人工型生态系统.

水蚤接种2周后开始试验,共进行8周,其中第1周为试验空白周.从第2周起,以1个水箱作为空白对照组,另外3个水箱中开始放养鲢鱼、鳙鱼,放养生物量分别为10、30、120 g/m³,鲢鱼、鳙鱼的放养比例为7:3,即3尾鲢鱼和1尾鳙鱼,鲢鱼、鳙鱼的生物量为3~5 g/尾.试验期间水箱中平均水温为(25±2)℃,并定期补充因取样而散失的水分.浮游藻类经鲁哥氏液固定后采用视野法镜检计数,其余水质参数的测定均参照标准方法.

2 试验结果与讨论

2.1 对剑水蚤的生物控制作用

鲢鱼、鳙鱼引入微型生态系统后,与空白试验相比,由于滤食性鲢鱼、鳙鱼的摄食作用,剑水蚤的生长得

到不同程度的抑制,结果见图1.在 10 g/m^3 的放养生物量下,由于鱼类生物量较小,剑水蚤孳生没有得到很好的控制,试验结束时其密度依然处于较高水平,而浮游藻类的生长也呈不断上升趋势;在 30 g/m^3 的生态系统中,剑水蚤数量的减少直至试验结束都维持在较低的水平,同样由于鱼类的捕食,浮游藻类数量也有所降低;在 120 g/m^3 的放养生物量下,第2周就检测不到剑水蚤的存在,同时浮游藻类的数量有较大的下降,但在试验3周后,由于水体溶解氧降低导致鱼类死亡,藻类又开始迅速增长.

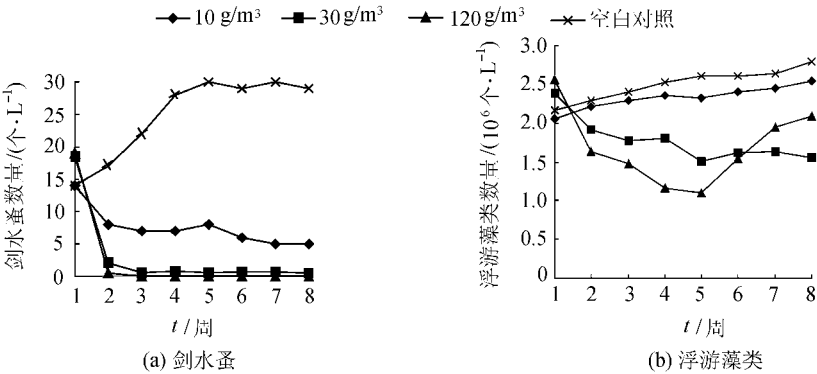


图1 剑水蚤和浮游藻类数量变化

Fig.1 Variation of density of *Cyclops* and *pelagic algae*

就其食性来说,鲢鱼主要以滤食浮游植物为主,同时也滤食一些浮游动物.国内外有许多放养鲢鱼后浮游动物减少的事例.而鳙鱼主要以浮游动物为食,兼食浮游藻类^[4-5].鲢鱼、鳙鱼混养不但可以控制剑水蚤的孳生,而且避免了因剑水蚤减少导致藻类大量繁殖的现象.

由试验结果可以看出,鲢鱼、鳙鱼混养其放养生物量的选择有着重要的意义:放养量过低难以有效控制剑水蚤的生长,而过高的放养量会使鱼类的捕食活动过于剧烈,出现试验中剑水蚤绝迹的现象.利用鱼类对剑水蚤的孳生进行生物控制,其目的是将剑水蚤的数量控制在正常水体的水平.如果鱼类放养生物量过高,则破坏了水体正常的食物链关系,就不可能达到利用鲢鱼、鳙鱼控制剑水蚤生长的目的.

2.2 浮游生物群落的变化

在浮游生物数量变化的同时,试验结束时浮游生物的组成亦发生了一定的改变,结果见表1.具体来说,在放养生物量为 30 g/m^3 的生态系统中,试验结束时蓝藻在所有藻类中所占比例下降(其中微囊藻降低70%),而硅藻的比例有了大幅度的增长.在 10 g/m^3 的系统中这种变化趋势较小.在 120 g/m^3 的放养生物量下,系统中浮游藻类的组成呈平均化的趋势.就浮游动物而言,随着鱼类放养生物量的提高,剑水蚤数量减少.在 10 g/m^3 和 30 g/m^3 的系统中,由于剑水蚤被鱼类捕食,水中其他浮游动物如原生动物和轮虫类的数量迅速增加;在 120 g/m^3 的系统中,由于水中剑水蚤数量水平极低,此时原生动物和轮虫也成为鱼类的捕食对象,其数量低于其他2个系统(10 g/m^3 和 30 g/m^3).

表1 鱼类放养前后微型生态系统中浮游生物组成的变化

Table 1 Variation of plankton composition in micro-ecological system before and after fish stocking

试验阶段	放养生物量/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	浮游植物组成/%				浮游动物组成/(个·L ⁻¹)		
		蓝藻	绿藻	硅藻	其他	剑水蚤	原生动物	轮虫
开始	10	65	21	10	4	15	10	11
	30	62	17	13	8	18	11	14
	120	60	17	17	6	18	13	9
	0	60	13	14	13	15	11	12
结束	10	52	17	23	8	7	3700	430
	30	13	25	53	9	<1	1930	321
	120	33	25	37	5		110	32
	0	75	17	5	3	30	6300	1178

注:120 g/m³ 试验结束指鱼类死亡时,浮游生物组成均按数量百分比计算,放养生物量为0即为空白对照试验组.

根据 Brooks 的大小效率假说^[6],大型的蓝藻丝状体和剑水蚤成为滤食性鱼类优先摄食的对象,这与国内外利用滤食性鱼类控制蓝藻水华的试验结果一致^[7].对鲢鱼、鳙鱼前肠含物的分析(表2)表明,在饵料充足

的 10、30 g/m³ 的放养生物量下,鲢鱼优先摄食大型的蓝藻丝状体,而鳙鱼则更倾向于以剑水蚤类浮游动物为食^[8]。在 120 g/m³ 的放养生物量下,鲢鱼、鳙鱼肠道食物的充塞指数明显低于其他 2 个系统(亦低于自然条件下鲢鱼、鳙鱼肠道的充塞指数)。食物需求的不足使得鲢鱼、鳙鱼加大了对其他浮游生物如硅藻、原生动物和轮虫等的摄食,此时肠道含物中浮游植物的组成没有明显的差别。

表 2 试验结束时不同系统中鲢鱼、鳙鱼前肠含物组成的比较

Table 2 Composition of matters in fore-gut of silver carp and bighead carp in different systems at the end of experiment										
鱼类	放养生物量/ (g·m ⁻³)	浮游植物数量/ 浮游动物数量	浮游植物组成/%				浮游动物组成/%			充满指数/%
			蓝藻	绿藻	硅藻	其他藻类	剑水蚤	原生动物	轮虫	
鲢鱼	10	1.49	51	34	11	4	77	12	11	1.3
	30	1.31	47	29	14	10	49	33	18	1.5
	120	3.62	33	28	34	5		64	36	0.6
鳙鱼	10	0.23	31	35	27	7	83	7	10	1.6
	30	0.18	34	29	28	9	58	21	11	1.4
	120	0.72	30	33	30	7		68	32	0.4

2.3 总磷、总氮的变化

投放鲢鱼、鳙鱼后,其生物操纵作用对水体中营养物质的结构和代谢水平影响显著:放养生物量为 10、30 g/m³ 的微型生态系统比空白试验对照组对氮、磷有更好的去除作用,其中以总磷的降低最为显著。而在 120 g/m³ 的系统中出现了营养物质浓度增加的情况(图 2)。

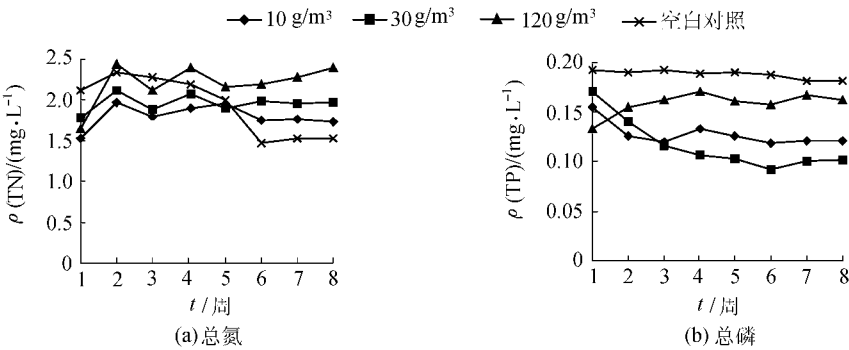


图 2 水体中总氮、总磷质量浓度的变化
Fig.2 Variation of mass concentration of total nitrogen and total phosphorus in water body

生态系统中营养物质的变化,主要取决于系统内部营养物质的循环,即对无机营养物的摄取到植物可重新利用的无机营养物再生这一复杂过程^[9]。在 10、30 g/m³ 较低的放养生物量下,水体食物链中的下级营养者充足,鲢鱼、鳙鱼通过摄食而转化营养物质的速率要高于其向水体中排放的速率,因而引起氮、磷质量浓度的降低^[10]。在 120 g/m³ 较高的放养生物量下,营养物质成为限制鱼类生长的主要因素。试验结束时鱼体鳞的减少说明鱼类此时处于异化作用状态。另外鲢鱼、鳙鱼的牧食压力过大,加速了底泥中沉积营养盐向水体的补充速率,沉积磷的含量减少。底层水体中氮、磷的质量浓度分别是表层水体的 1.5 倍和 4 倍,其中总磷在底质-水界面上的质量浓度达 0.33 mg/L,而其他系统中上、下水体氮、磷质量浓度的差别在 20% 左右。鱼类在缺乏溶解氧(降低至 1.5 mg/L 以下)死亡后,这种过高的营养负荷势导致藻类的大量生长。

3 结 论

- a. 滤食性的鲢鱼、鳙鱼放养可以有效地控制剑水蚤类浮游动物的孳生,为解决水蚤类浮游动物威胁饮用水安全的问题提供了有效的途径。
- b. 在适宜放养生物量下,鲢鱼、鳙鱼的放养不但可以抑制剑水蚤的孳生,而且利用内源性营养物质,可以促进水体水质的恢复。

参考文献:

- [1] 崔福义, 林涛, 马放, 等. 水源中水蚤类浮游动物的孳生与生态控制研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(3): 399-403.
- [2] OLAJIDE I, SRIDHAR M K. Guineaworm control in an endemic area in Western Nigeria[J]. Aqua AQUAAA, 1987, 6: 333-339.
- [3] LIU Dong-mei, CUI Fu-yi, LIN Tao. Preliminary study on biological control of *cyclops* of zooplankton in drinking water source[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2004, 11(2): 121-125.
- [4] 李琪. 鲢鱼对浮游生物群落结构的影响[J]. 生态学报, 1993, 13: 30-37.
- [5] SMITH D W. Biological control of excessive phytoplankton growth and the enhancement of aquacultural production[J]. Can J Fish Aqua Sci, 1985, 42: 1940-1945.
- [6] BROOKS J L, DODSON S I. Predation body-size and composition of plankton[J]. Science, 1965, 150: 28-35.
- [7] XIE P. Experimental studies on the role of planktivorous fishes in the elimination of *Microcystis* bloom from Donghu Lake using enclosure method[J]. Chin J Oceanol Limnol, 1996, 14(3): 193-204.
- [8] 林涛, 崔福义, 刘冬梅, 等. 水源治理中鱼类的摄食选择性对其生物操纵作用的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(1): 35-38.
- [9] KITCHEN J F. Consumer regulation of nutrient cycling[J]. Bioscience, 1979, 29: 28-34.
- [10] 崔福义, 林涛, 刘冬梅, 等. 利用鲢鳙生物操纵作用对水体进行生态治理的实验研究[J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2004, 28(6): 668-672.

Experimental study on biological control of excessive propagation of *Cyclops*

LIN Tao^{1, 2}, CUI Fu-yi², LIU Dong-mei²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract An ecological project called fish biomanipulation is put forward for control of excessive propagation of *Cyclops* by stocking the filter-feeding fish, such as silver carp and bighead carp, under the condition of no extraneous nutrient feeding. The result of experiments with different stocking biomasses showed that the propagation of *Cyclops* could be controlled effectively, and the water quality could be improved simultaneously by impacting the nutrient level and plankton community structure at proper stocking density. The growth of *Cyclops* may not be effectually controlled at low biomass of fish, while the natural food chain relation may be destroyed at high stocking density. In addition, the high predator pressure at high stocking density may accelerate the supplemental rate of nutrients from bottom sediment to water body and finally increase the content of total nitrogen and total phosphorus in water.

Key words filter-feeding fish; *Cyclops*; zooplankton; biomanipulation; water treatment