水源治理中鱼类的摄食选择性对其生物操纵作用的影响

林 涛, 崔福义, 刘冬梅, 马 放, 张立秋

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090, E-mail: miel8@hit.edu.cn)

摘 要: 针对常规的水处理工艺难以有效地去除水源水中孳生的水蚤类浮游动物的问题,提出利用鱼类的生物操纵作用来抑制水源中水蚤类浮游动物的孳生,实施以水体治理为目的的鱼类放养. 微型生态系统的实验结果表明,鱼类的摄食选择性对其生物操纵作用具有重要的影响. 在 30 g/m^3 水体的放养密度下,滤食性鲢、鳙鱼可以有效地抑制水体中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对水质的恢复也十分有效;草食性草鱼和杂食性鲤鱼在水蚤的生物抑制和促进水质恢复方面没有明显的生物操纵作用.

关键词: 鱼类;摄食选择性;生物操纵;水蚤;水处理

中图分类号: TU991 **文献标识码**: A **文章编号**: 0367 - 6234(2006)01 - 0035 - 03

Effect of food habits of some fishes on the biomanipulation in drinking water source management

LIN Tao, CUI Fu-yi, LIU Dong-mei, MA Fang, ZHANG Li-qiu

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China, E-mail: miel8@hit.edu.cn)

Abstract: Cyclops of zooplankton propagated excessively in a eutrophic body of water and, due to its stronger resistance to oxidation, could not be effectively inactivated using a conventional disinfection process such as chlorination. Adult Cyclops give consumers an unsanitary sense and might become a disease transmission medium as the host of a pathogenic parasite to threaten human health. An ecological project called fish biomanipulation, rather than the conventional fishery culture technique, was put forward for the excess propagation control of Cyclops in order to ensure drinking water security. The control effects on Cyclops of four species of fish were investigated experimentally at a stocking density of 30 g per cubic meter of water. The experimental results showed that the food habits of the fish had significant influence on the biological control of Cyclops. The propagation of Cyclops was controlled effectively and the water quality was also improved simultaneously by stocking the filter-feeding fishes, such as silver carp and bighead carp. When stocking the filter-feeding fishes, the total nitrogen and total phosphorus were decreased to a certain extent and the biomass of phytoplankton, especially blue and green algae, were controlled at a lower level whereas, herbivorous Ctenopharyngodon idellus and omnivorous Cyprinus carpio had no obvious biological effects on controlling the growth of Cyclops and restoring water quality.

Key words: fishes; food habits; biomanipulation; water flea; water treatment

富营养化水体中大量孳生的水蚤类浮游动物因在常规的水处理工艺中难以有效地去除,成为继藻类之后又一困扰水厂安全供水的水处理问题. 从保证饮用水水质安全的角度,有两条途径来解决水蚤类浮游动物的威胁:一是从改进与强化水处理工艺入手,研究行之有效的水处理工艺技术,达到使其有效去除的目的;另一条途径则是从饮用水水源的治理入手,采用生态学手段致力于恢复水体原有的生态平衡,从根源上解除威

收稿日期: 2004 - 03 - 15.
基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目 (2002AA601140);
黑龙江省青年基金资助项目 (QC03C17).
作者简介: 林 涛 (1978 -),男,博士研究生;
崔福义 (1958 -),男,教授,博士生导师.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

胁[1,2].依靠生态技术对水处理中出现的因水源恶化而引起的新问题进行治理,是一条符合可持续发展的途径.

在借鉴国内外一些学者利用“生物操纵”技术治理水体富营养化工作经验的基础上,提出了一套与经典的生物操纵技术不同的生态治理方案,即在饮用水水源中选择性地投放淡水鱼类,利用其生物操纵作用达到控制水蚤孳生并恢复水质的目的.在饮用水水源中选择性地放养鱼类,也与我国传统的渔业养殖技术存在差异.目前在我国水体中普遍实施以提高鱼产量为目标的高密度放养,为使鱼类获得充足的饵料,通常人为地补充水体中的 N、P等营养物质,这容易引发水体的富营养化.而本文提出的在水源中实施以控制水蚤类浮游动物孳生为目的的鱼类放养,是在不投放任何饵料的条件下,通过鱼类对水体中内在营养物质的摄食作用,来达到控制水蚤孳生并促进水体水质恢复的目的.

我国淡水鱼类根据其食性一般可以分为滤食性鲢、鳙鱼、草食性草鱼和杂食性鲤鱼 3类[3],鱼类的摄食选择性会直接影响其对水蚤的摄食作用.因此,对摄食性进行研究,选出对水蚤生长具有明显生态抑制的鱼类是至关重要的.在适量的放养量条件下,研究了我国北方淡水中常见的鲢、鳙、草、鲤鱼对水蚤类浮游动物的生物抑制作用和促进水质恢复的能力.

1 实 验

实验采用了 5个容积为 1.2 m^3 的玻璃水箱(2 m ×0.5 m ×1.2 m),试验水深 1.1 m.由组合荧光灯提供 5 600 lx左右的液面光照强度,光照时间约为 10 h/d.在水箱中配制经过曝气除氯后的自来水并加入一定数量的生活污水和氮、磷无机盐等构成实验底质,加入适量河道底泥构成水体中的沉积物质,水体营养物质处于富营养化的水平.在水质稳定 1周后,向实验水体中放入以蓝藻、绿藻和硅藻为主的浮游藻类(水藻接种自学院生物学实验室),其中蓝藻以微囊藻、念珠藻为主,绿藻多为栅藻,硅藻主要是鼓藻.3周后将浮游动物中具有代表性的剑水蚤接种入实验水箱(剑水蚤取自哈尔滨二龙山水库中),以此来形成人工型生态系统.

剑水蚤接种 2周后开始实验,共进行 8周,其中第 1周为实验空白周.从第 2周起以 1个水箱作为空白对照组,在另外的 4个水箱中开始放养鲢、鳙、草、鲤鱼,放养的生物量为 30 g/m^3水体(正常水体中鱼类的生物量一般为 20～40 g/m^3水体).实验期间水箱中平均水温为 (25 ±2) ℃,并定期补充因自然挥发及取样而散失的水分(补充水的水质条件基本与水箱中的保持一致).

每周采用虹吸法从水箱中随机地采集 1 L混合水样进行测定,水样采集时要避免搅动沉积的底物而引起水质波动.浮游藻类经鲁哥氏液固定后采用视野法镜检计数,剑水蚤使用 25号浮游生物滤网过滤截留后全量计数,其余水质参数的测定均参照标准方法.

2 结果与讨论

2.1 浮游生物群落的变化

鱼类引入微型生态系统后,由图 1、2可以看出,在有鱼的系统中由于 4种鱼的摄食选择性不同,浮游生物群落呈不同的变化趋势:在放养鲢鱼的生态系统中,浮游藻类和浮游动物剑水蚤的生长在实验期间都得到了很好地抑制;在有鳙鱼的系统中,浮游藻类的数量在实验中呈上升趋势,而剑水蚤在实验结束时其数量被控制在很低的水平;在放养草鱼和鲤鱼的系统中,浮游藻类的数量变化与空白对照实验一样呈缓慢地上升趋势,而就剑水蚤的生物控制作用而言,放养草鱼对剑水蚤的生长起不到任何的抑制作用,鲤鱼虽有一定

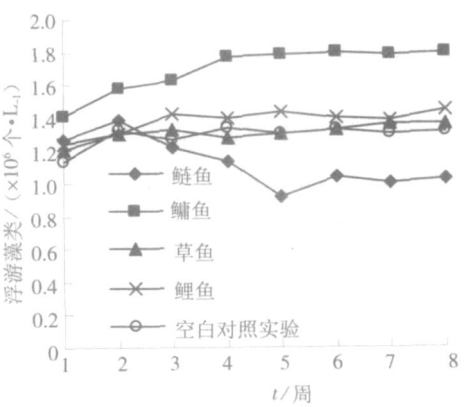

图 1 浮游藻类数量变化图

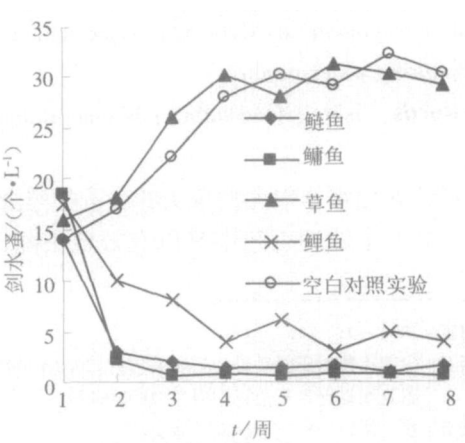

图 2 剑水蚤数量变化图

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的抑制作用但效果不如鲢、鳙鱼明显.

在浮游藻类数量变化的同时,实验结束时藻类的组成亦发生了一定的变化:在放养鲢鱼的系统中蓝藻数量在所有藻类中所占的比重显著下降,而硅藻的比重有了大幅度的增长;在放养鳙鱼的系统中这种变化不明显;放养鲤鱼的系统中硅藻所占的比重降低到极低地的水平;放养草鱼与空白实验系统中的藻类组成与实验开始时相差不大.

微型生态系统中浮游生物群落结构变化出现差异的原因主要可能是因为几种鱼类摄食选择性差异造成的.就其食性来说,尽管鲢、鳙属于生态位十分接近的滤食性中上层鱼类,但鲢鱼主要以滤食 15～50 μm的浮游植物为主同时也可以滤食一些浮游动物,国内外有许多放养鲢鱼后浮游动物减少的事例[4];而鳙鱼主要以 40～110 μm的浮游动物为食.草鱼属于草食性的中下层鱼类,主要以大型水草和沿岸的高挺水生植物为食,对浮游生物极少摄取.鲤鱼是杂食性的底层鱼类,通过对大头鲤鱼自然饵料的研究发现,饵料中浮游动物占 85%以上,浮游植物中的硅藻占 10%以上[5].摄食选择性方面的差异使得 4种鱼类对浮游生物表现出不同的生物抑制作用:鲢鱼对浮游藻类尤其是蓝藻以及剑水蚤类浮游动物都有比较好的抑制作用,这一点与国内外利用滤食性鱼类控制蓝藻水华的实验结果相一致[6,7].鳙鱼尽管也属于滤食性鱼类,但由于在摄食选择性方面喜食浮游动物,剑水蚤被最终控制在较低的水平,浮游动物剑水蚤数量的降低使得藻类在捕食压力和生存空间上得到了极大的缓解,而鳙鱼对浮游藻类的摄食选择性较差,使得该系统中藻类的数量呈上升的变化趋势.草鱼由于摄食选择性的影响使得对系统中浮游生物群落的变化影响较小,浮游动物剑水蚤得到了迅猛增长,由于剑水蚤对藻类的捕食作用,使得该系统中藻类的生长受到了一定程度的抑制.杂食性的鲤鱼对剑水蚤和浮游藻类的生物抑制作用没有鲢、鳙鱼明显,可能是因为鲤鱼为底栖鱼类,其摄食活动空间主要集中在水体下层(试验中发现它主要集中在水箱的底层靠近沉积底物附近活动),对水体中浮游生物生命活动强烈的上层影响较小,从而限制了生物操纵作用的发挥.

2.2　总磷、总氮的变化

由图 3、4可以看出,鱼类投放后水体中营养物质的变化存在差异:放养鲢、鳙鱼的微型生态系统较其他实验和对照组对氮、磷具有更好的去除作用,其中以总磷的降低最为显著.

鱼类引入微型生态系统后,其摄食活动丰富了水体中的食物链关系,提高了生物种群间的摄食能力和新陈代谢作用,从而加速了水体中氮、磷营养物质的循环,并最终以鱼产品的形式脱离水体导致其浓度的降低.由于摄食选择性的影响,使得鱼类的生物操纵作用在微型生态系统中所发挥的程度有所不同,在对水体中营养物的利用方面存在差异,试验结束时鲢、鳙、草和鲤鱼的生物量分别增加 23、22、7、13 g

鲢、鳙属中上层滤食性鱼类,对微型生态系统中的浮游生物具有很好的摄食选择性,通过食物链作用可以将所滤取的食物一部分转变成鱼蛋白和鱼体磷(表现为生物量的增加),其余则以粪便的形式排出体外,经微生物分解后重新进入循环被利用.这样就造成了营养元素的"短路"现象,加快了它们的转化速率[8,9],最终达到去除的目的.放养鳙鱼的系统中总氮的去除效果不如放养鲢鱼的系统明显,这可能是与鳙鱼对藻类尤其是蓝藻没有很好的生物抑制作用有关,使得蓝藻(如念珠藻)的生物固氮作用得以发挥,补充了部分大气中外源性的氮.

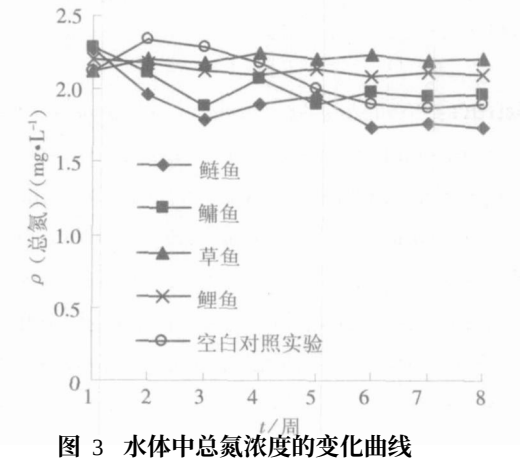

图 3　水体中总氮浓度的变化曲线

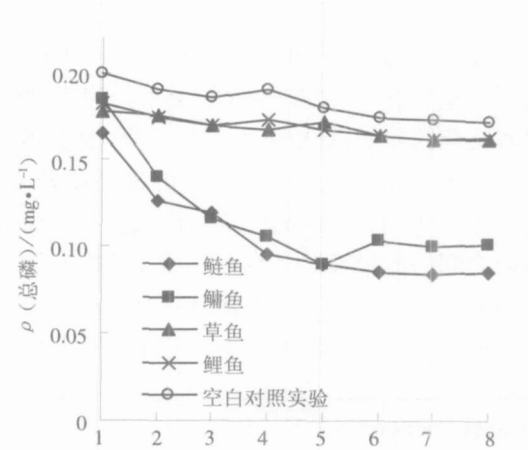

图 4　水体中总磷浓度的变化曲线

(下转第 148页)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

程夭折为止.

2) 为了进一步提高计算速度,可以在“数据分解”和“数据合成”阶段也采用并行处理,使多个进程分担那些无因果关系的分解、合成过程. 由于数据分解结果是静态的,所以可参与统计的进程数目最多为数据划分的分组数 ([算法 1]中的 N),再增加进程数目也不会提高效率.

参考文献:

[1]田志宏. 大流量网络平台下并行数据库的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2003; 39(25): 187 - 189.

[2]萨师煊,王 珊. 数据库系统概论[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.

[3]邵佩英. 分布式数据库系统及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2003.

[4]吴兴兴. 网络数据库应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社, 2001.

[5]杨正华. 微机小型网络并行计算系统的搭建与讨论[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(4): 45 - 50.

(编辑 杨 波)

(上接第 37页)

放养草鱼的系统中,由于草鱼对浮游生物的摄食选择性较差,在系统中没有大型水草存在的条件下,无法通过摄食活动来发挥对水体中营养物质的生物操纵作用,使系统中氮、磷物质的去除率较低. 另外研究证明,放养草鱼可导致湖泊中大型水生植物群落的严重破坏. 而大型水草是浮游藻类在湖泊中主要的生存竞争者,可以有效地吸收水中的营养物质,因此,大型水草的破坏无疑降低了水体的缓冲能力,它所固定的氮、磷等营养元素重新释放回水体,加重了水体的富营养化程度.

鲤鱼属于杂食性鱼类,在放养此鱼的系统中营养物质的去除效果也不理想. 这可能主要是由于鲤鱼属于底栖鱼类,试验中发现它的摄食活动空间主要集中在水箱底部,其摄食活动会搅动沉积物,使底质 - 水界面活跃,底泥中的营养物质回复悬浮状态,重新进入水层,促进了营养盐自下而上地补充,直接增加了水体中的氮、磷含量. 研究发现,试验结束时在放养鲤鱼的系统中,底层水体中氮、磷的含量分别是表层水体的 1.5倍和 4倍,呈现出明显的梯度变化,其中总磷在底质 - 水界面上的含量达到了 0.33 mg/L (水体平均值为 0.172 mg/L). 而其他系统中上、下水体氮、磷的含量差别在 20%左右. Hoppila也指出,放养底层鱼类促进了水层中营养物质的增加和浮游植物的生长,在无鱼的系统中总磷的浓度仅为放养底层鱼类拟鲤系统的 30%[5].

由上述分析可以看出,在摄食选择性影响下4种鱼对剑水蚤类浮游动物和浮游藻类表现出不同的生物操纵作用,就水体的综合生态治理效果而言,以鲢鱼为最佳,鳙鱼次之,而草鱼和鲤鱼显然不适宜作为水源生态治理所依靠的对象.

4 结 论

1)鲢鱼不但可以有效地控制剑水蚤的孳生还对浮游藻类具有一定的生物抑制作用;鳙鱼对水蚤类浮游动物具有明显的生物抑制效果,但难以控制浮游藻类的生长;草鱼的放养对浮游藻类和蚤类均无效果;鲤鱼对剑水蚤和藻类表现出一定的生物抑制作用,但效果不如鲢、鳙明显.

2)鲢、鳙的放养不但可以控制剑水蚤的孳生而且对水质的恢复也有一定的促进作用,草鱼和鲤鱼则对此难以发挥有效的生物操纵作用.

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]LIU D M, CUI F Y, LIN T. Preliminary study on biological control of cyclops of zooplankton in drinking water source[J]. J of Harbin Institute of Technology, 2004, 11(2): 184 - 190.

[3]孙 刚, 盛连喜, 冯 江, 等. 中国湖泊渔业与富营养化的关系[J]. 东北师大学报自然科学版, 1999(1): 74 - 78.

[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]李荫玺, 王开宏, 刘 俊. 大头鲤生态环境及食性分析研究[J]. 云南环境科学, 1995, (14): 134 - 40.

[6]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.

[7]STARLING F L R M. Control of eutrophication by silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) in the tropical Paranoa Reservoir (Brasilia, Brazil): a mesocosm experiment[J]. Hydrobiologia, 1993, 257: 143 - 152.

[8]BOERS P, BALLEGOOIJEN L, UNK J. Changes in phosphorus cycling in a shallow lake due to food web manipulation[J]. Freshwat Biol, 1991, 25: 9 - 20.

[9]陈少莲, 刘肖芳, 华 俐. 鲢、鳙在东湖生态系统的氮、磷循环中的作用[J]. 水生生物学报, 1991, 15(1): 8 - 26.

(编辑 刘 彤)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net