

三角帆蚌对北京富营养化河湖水体的滤水效率和放养方式研究

廖日红 胡秀琳* 吴晓辉 赵立新 许志兰 李 垒

(北京市水利科学研究所;流域水环境与生态技术北京市重点实验室,北京 100048)

摘 要 2009年9月,在北京市水利科学研究所实验基地采用室内实验方式,研究了三角帆蚌在北京富营养化水体中的滤水效率,对比水体上层和底层2种放养方式对水体净化效果差异。结果表明:三角帆蚌平均滤水率为 (31.63 ± 6.67) mL/(min·kg);上层放养方式对水体透明度改善效果显著,叶绿素a在48 h即显著降低,且维持在较低水平。三角帆蚌有利于富营养化水体净化,实际应用中应采用水体上层放养方式。

关键词 三角帆蚌 富营养化水体 滤水率 放养方式

中图分类号 X52 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2012)05-1425-05

Study on *Hyriopsis cumingii*'s filtration rates and stocking mode in eutrophic water of Beijing

Liao Rihong Hu Xiulin Wu Xiaohui Zhao Lixin Xu Zhilan Li Lei

(Beijing Hydraulic Research Institute; Beijing Key Laboratory of Water Environmental and Ecological Technology for River Basins, Beijing 100048, China)

Abstract *Hyriopsis cumingii*'s filtration rates in eutrophic water were studied, and the difference of purifying effect was compared between upper and bottom stocking by laboratory experiments in Beijing Hydraulic Research Institute Experimental Center in September 2009. The results show that: *Hyriopsis cumingii*'s average filtration rates are (31.63 ± 6.67) mL/(min·kg). The upper stocking has a great effect on the transparency of water column, and the content of chlorophyll-a reduced markedly after 48h, and then maintains at a lower level. The study suggests that *Hyriopsis cumingii* is beneficial to purify eutrophic water, and the upper stocking mode is recommended.

Key words *Hyriopsis cumingii*; eutrophic water; filtration rates; stocking mode

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)属淡水双壳类软体动物,壳大而扁平,后背缘向上伸出一帆状后翼,使蚌形呈三角状,栖息于大中型湖泊及河流,喜清新水质,硬底质或泥沙底,在水流较慢、底质为污泥的水域中也可生存^[1]。近些年来,蚌类较强的滤水作用逐渐受到关注,有许多学者对其滤水所产生的对水中藻类的富集和吸收作用进行了研究,并逐渐用于水体富营养化治理^[2-5]。

已有研究表明,蚌类通过过滤大量水体摄取浮游植物,在一定程度上能有效控制浮游植物过量生长,达到控制水华、改善水质的目的^[6-8]。本实验对三角帆蚌对北京河湖水体的滤水效率进行研究,并对其对富营养化水体的净化效果进行研究,以期对北京富营养化河湖水体水质改善提供一种生物措施。

1 材料与方法

1.1 材 料

实验用蚌:实验用三角帆蚌运自湖北武汉,平均体重114 g,实验前用实验河水驯养。

实验用水:富营养化河水,主要藻类为蓝藻、绿藻、硅藻,密度在 10^5 个/mL左右。

实验水槽:采用6个1 m长、1 m宽、1.5 m高透

基金项目:国家“水体污染控制与治理”科技重大专项(2009ZX07314-009);北京市科技计划项目(D07050601490000);北京市科技新星计划项目(2009B31)

收稿日期:2010-11-04; **修订日期:**2010-12-20

作者简介:廖日红(1974~),男,硕士,高级工程师,主要从事水环境治理科学与技术研究工作。E-mail: lrh@bwsti.com

* 通讯联系人, E-mail: huxiulinsy@126.com

明有机玻璃水槽,槽内水深 1.4 m。

仪器:萨氏盘,WTW 便携式速测仪,CR3200 分光光度计,751 紫外分光光度计。

1.2 方法

1.2.1 三角帆蚌滤水速率测定

参考吴庆龙等^[9]的研究,对三角帆蚌滤水率进行测定。使用 3 只容积 20 L 的塑料桶,每只桶中放入 5 L 河道水。0 号桶作为空白,1 号和 2 号桶作为平行,各放入 500 g 实验蚌。放蚌前从每只桶水面以下 5 cm 处取一次水样,测定吸光度值;放入蚌后,每隔 10 ~ 20 min 取样一次,使用 CR3200 分光光度计测定样品在 665 nm 的吸光度。

实验从 2009 年 9 月 26 日上午 10:10 开始,至下午 15:50 结束,共取样 26 次。

依据式(1)计算滤水率 FR(filtration rate):

$$FR = (V/W \times t) \times [(\ln C_0 - \ln C_t) - (\ln C'_0 - \ln C'_t)] \quad (1)$$

式中:FR 为滤水率($\text{mL}/(\text{min} \cdot \text{kg})$); V 为实验用水样体积(mL); W 为实验用蚌的重量(kg); t 为实验时间长度(min); C_0 和 C_t 为 $t=0$ 和 t 时实验组的 665 nm 消光值; C'_0 和 C'_t 为 $t=0$ 和 t 时空白组的 665 nm 消光值。

1.2.2 不同放养方式的水质改善效果研究

自然条件下,贝类生活于水体底层底泥上,但富营养化水体中的藻类一般富集在水体表面 50 cm 左右深度,珍珠和水产养殖中也常将河蚌悬挂吊养在水体上层,所以探讨三角帆蚌表层和底层放养方式对水体中藻类滤食效果的差异,有助于选择有效的蚌类放养方式,使其发挥最佳水质净化效果。本实验对比分析三角帆蚌在水体上层悬挂放养方式和在水体底层自然生长方式净化效果的差异,以确定实际应用时的最佳放养方式。

实验槽分为 3 组,每组 2 个平行。第 1 组实验槽为空白;选择 2 g/L 的放养密度,将蚌放置在尼龙网袋上,至于水面以下 30 ~ 40 cm 处,上层悬挂放养,作为第 2 组;将蚌放置在水槽底部,模拟自然生长状况,作为第 3 组。

实验自 2009 年 9 月 17 日开始,9 月 29 日结束。实验期间水温在 21 ~ 24.5 $^{\circ}\text{C}$ 。实验过程中,放蚌前(0 h)、放蚌后 12 h、24 h、2 d、3 d、4 d、6 d、8 d、10 d 和 12 d 测定水体透明度,同时分别测定 3 个水槽中上层、下层水体的水温、pH、DO 和叶绿素 a;上层水样从水面以下 20 cm 处取样,下层水样从槽底以上 5 cm 处取样。数据分析时将各组两个平行水槽实

验结果平均,作为该组结果。

2 结果与讨论

2.1 三角帆蚌的滤水速率

根据式(1)计算滤水率 FR,0 号桶为空白,1 号和 2 号结果平均值作为实验组结果。根据统计计算,本实验中三角帆蚌平均滤水率为(31.63 ± 6.67) $\text{mL}/(\text{min} \cdot \text{kg})$,即 1.90 ± 0.40 $\text{L}/(\text{h} \cdot \text{kg})$ ($P=90\%$)。滤水率随时间变化曲线如图 1 所示。

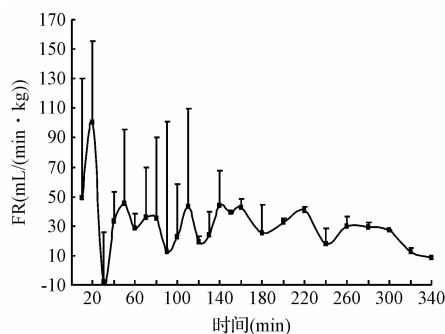


图1 三角帆蚌滤水速率随时间变化曲线

Fig.1 Variation of *Hyriopsis cumingii*'s filtration rates with time

由图 1 可知,实验初期,三角帆蚌滤水率不稳定,在第 20 分钟出现 100 $\text{mL}/(\text{min} \cdot \text{kg})$ 高值,紧接着在第 30 分钟出现负值,出现这种情况的原因,除测量过程中误差外,还可能与三角帆蚌适应实验环境的过程有关,实验初始时三角帆蚌还处于适应阶段,其对实验水体的吸入与排出等生理活动还不稳定。除实验初始阶段外,大部分时间滤水率在 20 ~ 40 $\text{mL}/(\text{min} \cdot \text{kg})$ 之间;自 260 ~ 300 min,滤水率趋于平稳,在 30 $\text{mL}/(\text{min} \cdot \text{kg})$ 左右,300 min 后降低,至 340 min 实验结束时,为 10 $\text{mL}/(\text{min} \cdot \text{kg})$ 左右。

吴庆龙等^[9]对背角无齿蚌的滤水率研究结果表明,50 ~ 100 g 体重的三角帆蚌对不同水体的滤水率为 2.5 ~ 9.0 $\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$;彭建华等^[10]对水温、pH 对背角无齿蚌和三角帆蚌的影响研究表明,不同 pH 和水温条件下,测得不同规格背角无齿蚌和三角帆蚌的滤水率分别为 1.56 ~ 65.30 $\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 和 0.24 ~ 77.26 $\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$;由此可以看出,不同种类、不同规格的蚌,在不同实验条件下测得滤水率差别很大,这与贝类种类、个体大小、实验水体不同及水温、pH 值等实验条件不同均有很大关系。

除上述原因,测定方法不同也是影响滤水率最终测定结果的因素。国内常见贝类滤水率测定方法有半现场法、封闭式容器测定法。半现场法简单实用,但实验条件较难控制;封闭容器测定法实验条件容易控制,适用范围较广。此外还有同位素示踪法,可在较为接近自然条件的环境下进行,结果更准确。国外研究者通常采用饵料计数器、探针技术和颗粒计数仪或叶绿素 2A 测定法测定贝类滤水率^[10]。

2.2 三角帆蚌不同放养方式对水质指标的影响分析

2.2.1 上下层水质指标差异分析

对实验期间 3 个实验组的上、下层水体水质监测结果进行统计分析,并对其显著性进行 t 检验。根据 t 值表, $t_{0.01(8)} = 3.36$, $t_{0.1(8)} = 1.86$, 若计算所得 $t > 3.36$, 说明相关十分显著, $3.36 > t > 1.86$, 说明相关显著, $t < 1.86$, 说明相关不显著。检验结果如表 1 所示。

表 1 3 个实验组上、下层水体监测值的显著性检验结果
Table 1 Significance testing results of the upper and bottom water's monitoring values in three experimental groups

组 别	分 类	水 温	pH	DO	叶绿素 a
1 组	t 值	30.13	6.54	7.54	4.23
	检验结果	相关十分显著	相关十分显著	相关十分显著	相关十分显著
2 组	t 值	34.08	6.34	12.13	1.21
	检验结果	相关十分显著	相关十分显著	相关十分显著	相关不显著
3 组	t 值	23.75	10.93	6.47	3.83
	检验结果	相关十分显著	相关十分显著	相关十分显著	相关十分显著

由表 1 可知,监测的 4 项指标中,3 个实验组上下层水体的水温、pH 和 DO 均相关十分显著,说明三角帆蚌的不同放养方式对这 3 个指标的影响不大,不存在差别。

2.2.2 对叶绿素 a 的影响分析

由表 1 可知,与上述 3 个指标不同,叶绿素 a 的相关性分析呈现不同结果,即 1 组和 3 组上下层水体叶绿素之间相关十分显著,而 2 组上下层水体叶绿素之间相关不显著,这说明 3 组的底层放养方式对试验水体上下层叶绿素的影响没有差别,而 2 组的上层放养方式则存在差别。

对 1 组上下层水体叶绿素均值和 3 组上下层水体叶绿素均值进行统计分析, t 检验表明两组均值相关显著,说明与对照 1 组相比,3 组的底层放养方式对水体的叶绿素 a 没有影响;而 1 组均值和 2 组上层、2 组下层之间的 t 检验表明相关均不显著,说明 2 组的上层放养方式对水体的上层和下层叶绿素均产生一定影响。

将 1 组、3 组上下层水体叶绿素均值和 2 组上层、下层水体叶绿素值做随时间变化曲线,如图 2 所示。

由图 2 可知,实验开始后至 1 d 时间内,各组叶绿素 a 均有一个明显升高,峰值相差不多;1 组在 1

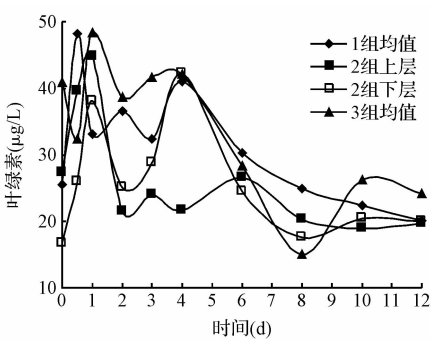


图 2 不同放养方式研究叶绿素随时间变化曲线
Fig.2 Variation of chlorophyll-a with time in different stocking modes

d 后下降,在第 4 天又出现高值,之后逐渐降低;2 组上层在 1 d 后出现大幅降低,并一直维持在较低水平;2 组下层 0 d 时值较低,但 1 d 和 4 d 时也出现了与其余组类似的高值,4 d 后明显降低;3 组 1 d 后出现小幅降低,4 d 后大幅下降,但 8 d 后又出现明显上升,后期明显高于对照 1 组。总体来看,整个实验过程中,2 组上层和下层含量较低,尤其是 2 组上层,1 d 降低后即维持在较低水平,说明三角帆蚌的上层放养起到了降低藻类含量、维持水质的作用,而 1 组和 3 组则含量相对较高,且 3 组后期出现明显

升高,说明三角帆蚌的底层放养方式对于减少藻类含量、维持水质效果较差。

对实验结果进行统计分析,1组均值、2组上层、2组下层和3组均值的叶绿素a均值分别为: $(31.448 \pm 4.81) \mu\text{g/L}$ 、 $(26.41 \pm 4.85) \mu\text{g/L}$ 、 $(25.92 \pm 4.64) \mu\text{g/L}$ 和 $(33.80 \pm 5.63) \mu\text{g/L}$;由此也可看出,2组上下层均值明显低于对照组和底层放养组,比对照组降低16%~18%,说明三角帆蚌上层放养方式对水体叶绿素a去除效果显著。

费志良等^[11]进行三角帆蚌清除富营养化水体中叶绿素a的研究,结果表明,三角帆蚌能有效清除水体中叶绿素a,且蚌密度在 $18.75 \text{ 只}/\text{m}^3$ (蚌规格为 $120 \pm 5 \text{ g}$,依此计算蚌重量密度为 2.25 g/L) 时清除效果最佳,此结果与本研究基本吻合(本实验蚌密度为 2 g/L)。费志良等^[11]的研究中还发现,三角帆蚌24 h时叶绿素a含量和初始时已有极显著差异,96 h时已达最佳效果,叶绿素a含量已降到极低;本研究中2组上层叶绿素a含量48 h时出现明显降低,最佳效果约在8 d出现,与上述研究相比,两个时间均有错后。分析产生这一差异的原因,可能与试验水体不同有关,包括藻类密度、水温和pH值等条件,如前所述,上述因素有可能导致贝类滤水率出现差异,从而使其对叶绿素a的去除效果出现不同。

2.2.3 透明度变化

实验水体的透明度随时间变化曲线如图3所示。

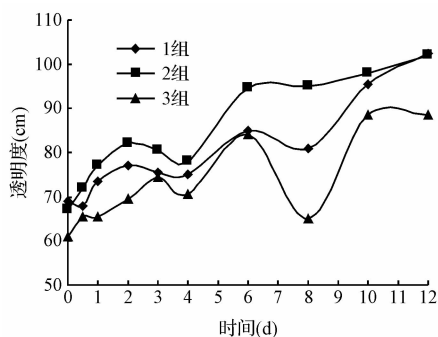


图3 不同放养方式研究透明度随时间变化曲线

Fig.3 Variation of transparency with time in different stocking modes

由图3可知,3个实验组在实验初始阶段的透明度差别不大,在60~70 cm左右;随着实验进行,各组透明度均有升高,1组和2组升高明显,且2组

透明度明显高于1组,5组透明度虽然也有升高,但一直低于1组。由此可见,与对照组相比,2组上层放养方式对水体透明度改善效果显著,而3组底层放养方式对水体透明度没有改善。

对实验结果进行统计分析,1组、2组和3组透明度均值分别为 $(80 \pm 6) \text{ cm}$ 、 $(85 \pm 5) \text{ cm}$ 和 $(73 \pm 6) \text{ cm}$;由此也可看出,2组透明度明显高于对照组和底层放养组,说明三角帆蚌上层放养方式有助于水体透明度改善。

3 结论

(1)本研究条件下,三角帆蚌平均滤水率为 $(31.63 \pm 6.67) \text{ mL}/(\text{min} \cdot \text{kg})$,即 $(1.90 \pm 0.40) \text{ L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ($P=90\%$);但未对不同温度下滤水率进行测定,后续应加强此项研究。

(2)三角帆蚌上层放养方式对北京河湖水体透明度改善效果显著,底层放养方式对水体透明度没有改善。

(3)实验过程中,上层放养方式使上层水体叶绿素a在实验48 h后即明显降低,且上下层水体叶绿素a大部分时间处于较低水平;底层放养方式叶绿素a大部分时间含量较高,后期甚至高于空白对照组。

(4)放养三角帆蚌对于改善北京富营养化河湖水体透明度、减少水体中藻类含量具有一定作用,实际应用中应采用水体上层悬挂放养方式。

参考文献

- [1] 彭建华,陈文祥,刘家寿,等.三角帆蚌对水库水污染的水质调控模型及作用.环境科学与技术,2009,32(2):46-48
Peng J. H., Chen W. X., Liu J. S., et al. Water quality model of *Hyriopsis cumingii* and effect in reservoir pollution control. Environmental Science & Technology, 2009, 32(2):46-48 (in Chinese)
- [2] 张根芳,邓闽中,方爱萍,等.蚌、鱼混养对几种水污染指标的影响.上海水产大学学报,2005,14(2):156-161
Zhang G. f., Deng M. Z., Fang A. P., et al. The effects of co-cultivation of pearl mussels and fishes on controlling water pollution. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(2):156-161 (in Chinese)
- [3] 赵沐子,费志良,郝忱,等.不同贝类对水质净化效果的比较.水产科学,2006,25(3):133-135
Zhao. M. Z., Fei. Z. L., Hao. C., et al. Short-term

- purification of water by different mollusks. Fisheries Science, **2005**,14(2):156-161(in Chinese)
- [4] 潘建林,徐在宽,唐建清,等. 湖泊大型贝类控藻与净化水质的研究. 海洋湖沼通报, **2007**,11(2):70-79
Pan J. L. , Tang J. Q. , Xu Z. K. , et al. Study on the effects of large mollusks on algae control and water quality at Meiliang Gulf in Taihu Lake. Transactions of Oceanology and Limnology, **2007**,11(2):70-79(in Chinese)
- [5] 费志良,廖馨,赵沐子,等. 三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii* lea)对富营养化水体悬浮物消除的时效模型. 南京大学学报(自然科学), **2005**,41(6):635-638
Fei. Z. L. , Liao. X. , Zhao. M. Z. , et al. Time-effect model for *Hyriopsis cumingii* lea's elimination of suspended matter in eutrophic water. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), **2005**,41(6):635-638(in Chinese)
- [6] 张绍浩,邬红娟,崔博,等. 利用三角帆蚌控制水华的初步研究. 水生生物学报, **2007**,31(5):760-762
Zhang S. H. , Wu H. J. , Cui B. , et al. Preliminary study on control of algae blooms by *Hyriopsis cumingii* lea. Acta Hydrobiologica Sinica, **2007**,31(5):760-762(in Chinese)
- [7] 陈家长,何尧平,孟顺龙,等. 蚌、鱼混养在池塘养殖循环经济模式中的净化效能. 生态与农村环境学报, **2007**,23(2):41-46
Chen J. C. , He Y. P. , Meng S. L. , et al. Purification effect of polyculture of fish-mussel in pond, a mode of circular economy. Journal of Ecology and Rural Environment, **2007**,23(2):41-46(in Chinese)
- [8] 张根芳,邓闽中,方爱萍. 蚌、鱼养殖模式对水体富营养化控制作用的研究. 中国海洋大学学报, **2005**,35(3):491-495
Zhan G. F. , Den M. Z. , Fang A. P. , et al. The role of co-cultivation of pearl mussels and fishes in the control of eutrophication. Periodical of Ocean University of China, **2005**,35(3):491-495(in Chinese)
- [9] 吴庆龙,陈宇炜,刘正文,等. 背角无齿蚌对浮游藻类的滤食选择性 with 滤水率研究. 应用生态学报, **2005**,16(12):2423-2427
Wu Q. L. , Chen Q. L. , Liu Z. W. Filtering capacity of *Anodonta woodiana* and its feeding selectivity on phytoplankton. Chinese Journal of Applied Ecology, **2005**,16(12):2423-2427(in Chinese)
- [10] 彭建华,陈文祥,栾建国,等. 温度、pH 对二种淡水贝类滤水率的影响. 动物学杂志, **2004**,39(6):2-6
Peng J. H. , Chen W. X. , Luan J. G. , et al. The effects of temperature and pH on the filtration rates of two species of freshwater mollusks. Chinese Journal of Zoology, **2004**,39(6):2-6(in Chinese)
- [11] 费志良,严维辉,赵沐子,等. 三角帆蚌清除富营养化水体中叶绿素 a 的研究. 南京师范大学学报(自然科学版), **2006**,29(3):99-102
Fei Z. L. , Yan W. L. , Zhao M. Z. , et al. Studies on purification of chlorophyll-a in eutrophic water by *Hyriopsis cumingii* lea. Journal of Nanjing Normal University (Natural Science), **2006**,29(3):99-102(in Chinese)