DOI:10.15928/j.1674-3075.2019.05.009

环棱螺与河蚬摄食率、滤水率及对小球藻清除率研究

朱鹏飞,雷留萍,李德亮

(湖南农业大学动物科学技术学院,水产高效健康生产湖南省协同创新中心,
湖南省特色水产资源利用工程技术研究中心,长沙 410128)

摘要:研究环棱螺与河蚬的摄食率、滤水率及对小球藻的清除率,为其在水体水质调控和生态修复方面的应用提供理论基础。环棱螺和河蚬均采集于湖南省益阳市大通湖,小球藻购于武汉水生生物研究所淡水藻种库,试验在18个2L的烧杯内进行,试验期间温度(20.0±1.0)℃,pH 6.5~7.0,试验时间7.5 h。结果显示:环棱螺和河蚬摄食率的峰值分别为10.15、4.40 μg/(kg·min),滤水率峰值分别为744.08、647.57 mL/(kg·min),对小球藻的清除率峰值分别为91.31%、65.38%;除0.5、2.5 h外,环棱螺摄食率、滤水率及对小球藻的清除率均显著高于河蚬($P<0.05$)。环棱螺和河蚬均具有较强的小球藻清除能力,但环棱螺对小球藻的清除能力要高于河蚬,作为贝类控藻方面的生态修复工具种具有较大的潜力。

关键词:环棱螺;河蚬;滤水率;摄食率;小球藻清除率

中图分类号:X52,S917 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2019)05-0063-05

以藻类水华为主要特征的水体富营养化是全世界主要的环境灾害之一,水体富营养化的防治也已成为世界性的难题(金相灿等,1990)。Shapiro等(1975)首次提出"生物操纵"理论以来,研究者们逐渐认识到生态修复是修复水域生态系统的重要途径。国内外大量研究分析了底栖贝类生态修复对复杂水体的水质改善作用(Ling et al,2010;Pinowskal,2002);研究证实底栖贝类对水体中低等藻类、有机碎屑、无机颗粒物具有较好的净化效果(潘建林等,2007;Stybel et al,2009)。底栖滤食性贝类在水域生态修复中扮演着极为重要的角色。

环棱螺(*Bellamya* sp.)和河蚬(*Corbicula fluminea*)均为淡水常见种,分布广泛,均主要以浮游植物为食,并兼食有机碎屑(董波等,2000)。两者均通过滤食获取食物,并通过排粪的形式将水中溶解态的营养盐转移到水体下层和沉积物,降低水体营养盐的浓度,在水域生态系统的物质循环和能量流动过程中起着非常重要的作用,在修复和治理富营养化水体方面具有巨大的潜力(Vaughn et al,2001)。研究表明,铜锈环棱螺对富营养化藻华水体能产生一定的抑制作用,在一定程度上可减缓藻华水体物种趋于单一性的速度,降低藻华水体中蓝藻的丰度比例(刘夏松,2010)。Hwang等(2004)对比分析了河蚬在韩国2个湖泊中的作用,结果发现河蚬除了具有降低氮磷的作用之外,其摄食活动还能有效抑制水体中部分藻类的繁殖并改变水体食物网的结构与功能。

环棱螺和河蚬对藻类的控制均优于三角帆蚌、褶纹冠蚌等其他软体动物(张许峰,2008;徐海军,2010),但关于两者对藻类清除能力差异的研究却鲜有报道。本研究通过分析环棱螺与河蚬的滤水率、摄食率以及对小球藻(chlorella)的清除率,比较了两者对浮游藻类的摄食清除能力,以期为贝类控藻方面的应用提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料与处理

环棱螺和河蚬均采集于湖南省益阳市大通湖。取回后,挑选健康、有活力的个体,用毛刷去除表面附着生物后置于水族箱中暂养。暂养期间每天换水1次,投喂适量小球藻进行驯食。试验开始前1 d停止投喂,进行饥饿处理。环棱螺湿重3.09~3.82 g(3.49±0.31) g,河蚬湿重3.16~3.69 g(2.92±0.12) g。

小球藻购于武汉水生生物研究所淡水藻种库。

收稿日期:2017-10-24 **修回日期**:2019-08-09

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201303056,201503108)。

作者简介:朱鹏飞,1993年生,江苏南通人,硕士研究生,主要从事渔业资源与环境研究。E-mail:335077100@qq.com

通信作者:李德亮,博士,教授,主要从事渔业资源与环境研究。E-mail:lideliang80@aliyun.com

试验开始之前，小球藻用 BG11 培养基于三角烧瓶中无菌培养。三角烧杯置于光照培养箱中，12 h 光照 12 h 黑暗。培养温度保持(20±0.5)℃。

1.2　试验方法

试验在 18 个 2 L 的烧杯内进行，每个烧杯盛 1.5 L 曝气水。环棱螺组、河蚬组和对照组各重复 6 次。除对照组外，每个烧杯底部分别平铺 6 个环棱螺或河蚬，且个体之间保持均匀的间隙。试验开始时，分别取等量混合均匀后的小球藻藻液倒入各试验烧杯，并于 0、0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、5.5、7.5 h 从各烧杯取水样 30 mL。水样采集前轻轻地搅拌烧杯，使烧杯内水上下混合均匀。采集后的水样用 Whatman GP/C 微孔玻璃纤维滤膜(0.45 μm)抽滤，滤膜低温避光干燥，用 90% 丙酮低温萃取，离心后取上清液测定吸光度。小球藻浓度用叶绿素 a 浓度表示。试验期间温度(20.0±1.0)℃，pH 6.5～7.0。

1.3　数据分析与统计

1.3.1　指标计算　(1)摄食率计算公式(Jørgensen, 1943)：

$$IR=V/(w\times t)\times[C_{e0}-(C_{e0}\times S_{ed})-C_{et}] \quad (1)$$

式中：V 为试验溶液体积 (mL)；w 为试验生物的重量 (kg)；t 为试验时间(min)；C_{e0} 和 C_{et} 分别为 $t=0$ 和 t 时试验组小球藻浓度(μg/mL)；S_{ed} 为对照组饵料变化系数，$S_{ed}=(C_{c0}-C_{ct})/C_{c0}$；其中 C_{c0} 和 C_{ct} 分别为对照组 $t=0$ 和 t 时的小球藻浓度(μg/mL)。

(2)滤水率计算公式 (Fanslow et al, 1995)：

$$FR=(V/w\times t)\times[(LnC_0-LnC_t)-(LnC'_0-LnC'_t)] \quad (2)$$

式中：V 为试验溶液体积 (mL)；w 为试验生物的重量 (kg)；t 为试验时间(min)；C_0 和 C_t 分别为 $t=0$ 和 t 时试验组的小球藻浓度 (μg/L)；C'_0 和 C'_t 分别为 $t=0$ 和 t 时对照组的小球藻浓度(μg/L)。

(3)小球藻清除率计算公式(赵沐子等, 2006)：

$$R=(C_0-C_t)/C_0\times 100\% \quad (3)$$

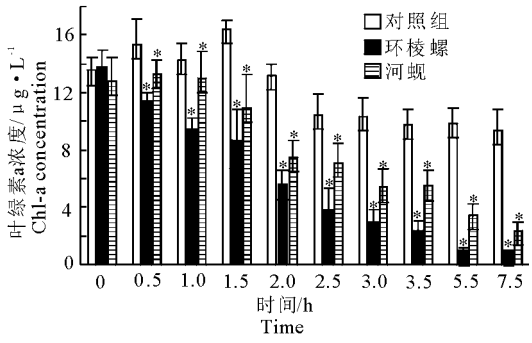
式中：C_0 为时间为 0 时对照组中小球藻的浓度(μg/L)，C_t 为时间为 t 时试验组中小球藻的浓度(μg/L)。

1.3.2　统计分析　所有数据均用平均值表示。同一时间点，各组之间的差异采用一元方差分析进行比较。试验数据采用 Excel 2016 和 SPSS 进行分析，数据作图采用 Origin Pro 8 进行。

2　结果与分析

2.1　叶绿素 a 浓度变化

各组叶绿素 a 浓度(代表小球藻浓度)变化见图 1。0.5 h 后环棱螺组与河蚬组叶绿素 a 浓度均随时间降低，且分别与对照组呈显著性差异($P<0.05$)，环棱螺组和河蚬组也存在显著性差异 ($P<0.05$)。整个试验阶段对照组叶绿素 a 浓度均维持在 12.32 μg/L左右，7.5 h 环棱螺组和河蚬组叶绿素 a 浓度分别下降至 0.86 和 2.36 μg/L。环棱螺组叶绿素 a 浓度下降速度显著大于河蚬组($P<0.05$)。



* 表示差异显著 ($P<0.05$)

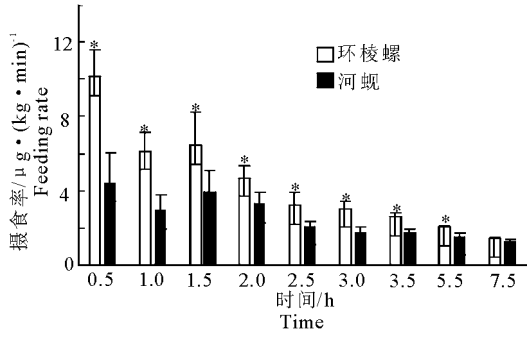
图 1　叶绿素 a 浓度变化

* indicates significant differences($P<0.05$)

Fig.1　Change in chlorophyll-a concentration with time for each treatment

2.2　摄食率的变化

环棱螺和河蚬摄食率变化见图 2。环棱螺摄食率 0.5 h 时最大，10.15 μg/(kg·min)；以后随时间降低；7.5 h 时最小，1.4 μg/(kg·min)。河蚬摄食率变化随时间呈降低趋势，0.5 h 最大，4.40 μg/(kg·min)；7.5 h 最低，1.23 μg/(kg·min)。除 7.5 h外，整个试验阶段环棱螺摄食率均显著高于河



* 表示差异显著($P<0.05$)

图 2　环棱螺和河蚬的摄食率

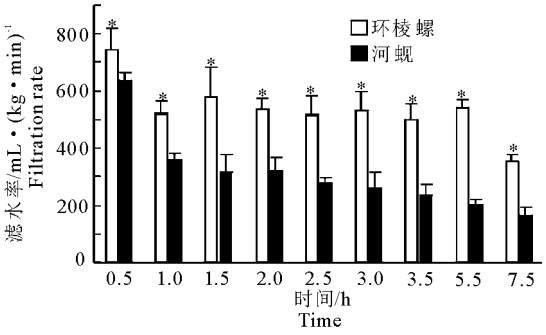
* indicates significant differences($P<0.05$)

Fig.2　Variation of feeding rates over time for *Bellamya* sp. and *C. fluminea*

蚬（$P<0.05$）。

2.3　滤水率的变化

环棱螺和河蚬滤水率变化见图 3。环棱螺滤水率随时间降低，0.5 h 最大，744.08 mL/(kg·min)；1h 降至 523.76 mL/(kg·min)，1～5.5 h 内变化不大；7.5 h 最低，354.22 mL/(kg·min)。河蚬对小球藻滤水率变化趋势与环棱螺相似，0.5 h 最大，647.57 mL/(kg·min)；1 h 降至 371.97 mL/(kg·min)；7.5 h 最低，为 166.35 mL/(kg·min)。试验期间，环棱螺滤水率显著高于河蚬（$P<0.05$）。



* 表示差异显著（$P<0.05$）

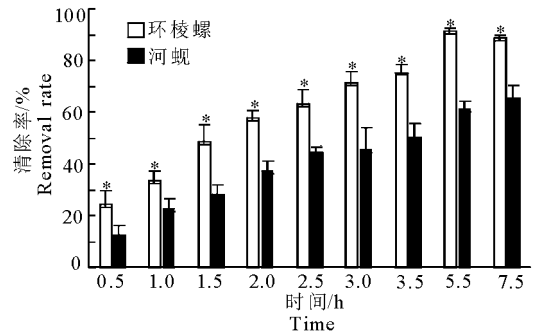
图 3　环棱螺和河蚬的滤水率

* indicates significant differences($P<0.05$)

Fig.3　Variation of filtration rates with time for *Bellamya* sp. and *C. fluminea*

2.4　小球藻清除率的变化

环棱螺和河蚬对小球藻的清除率见图 4。环棱螺对小球藻的清除率 0.5 h 最低，为 24.45%；以后随时间上升，至 5.5 h 最高，为 91.31%；7.5 h 降到 88.67%。河蚬对小球藻清除率随时间上升，0.5 h 最低，为 12.61%；7.5 h 最高，为 65.38%。试验期间，环棱螺对小球藻清除率均显著大于河蚬（$P<0.05$）。



* 表示差异显著（$P<0.05$）

图　4 环棱螺和河蚬对小球藻的清除率

* indicates significant differences($P<0.05$)

Fig.4　Variation of chlorella removal rates with time for *Bellamya* sp. and *C. fluminea*

3　讨论

小球藻是一种营养丰富的单胞藻，具有生长快、细胞活性高等特点（梁燕茹等，2005），是环棱螺和河蚬均喜欢的饵料藻（曹旭静，2005），因此选择小球藻作为饵料更有利于比较分析两者对藻类的清除能力。目前国内外有关环棱螺的研究主要还是集中在对氮磷降解（魏阳春等，1999）和重金属富集（马陶武等，2009）等方面，关于其摄食率和滤水率的报道相对较少。本研究中环棱螺的摄食率与滤水率均于 0.5 h 达到最高，且在后续的试验阶段中保持较高的摄食强度。环棱螺对小球藻有着强烈的消除作用，与赵峰研究结果相似（赵峰等，2014）。

贝类摄食率和滤水率与饵料浓度之间存在冥函数关系，随着饵料浓度的降低而下降（刘英杰等，2005）。本研究结果河蚬摄食率和滤水率均随叶绿素 a 浓度的降低而下降。河蚬摄食率与徐钢春（2007）通过 POM 法测得的结果相差较大，滤水率虽然与吕昊泽等（2014）的结果相似，但与徐海军等（2010）通过 POM 法测定的滤水率相差近 10 倍。孙慧玲（1995）指出 POM 法和小球藻测定法差异可能是由于测试手段不同造成的。匡世焕（1996）认为，利用藻类浓度作为指标计算的滤水率比利用 POM 更稳定。作为一种滤食性动物，河蚬摄食的并不仅仅是藻类，还有其他非藻类，POM 法所测得结果并不能真正反应河蚬对藻类的摄食状况，应以采用叶绿素法为最佳。河蚬对小球藻的清除率随着时间而上升，表明其滤食能有效降低水体小球藻含量，与徐海军等（2010）试验中的高浓度组结果相似而与低浓度组差异显著，说明河蚬的密度是影响河蚬对小球藻清除率的关键因素之一。

研究结果显示，环棱螺摄食率、滤水率和对小球藻的清除率均显著高于河蚬，可能与两者的运动能力有关：环棱螺的运动能力较强，可在烧杯上、中、下各层进行滤食和刮食；而河蚬运动能力较弱，仅仅可滤食水中藻类并通过斧足掘食少量沉积在烧杯底部的藻类（周露红等，2012）。此外，多项研究表明环棱螺还有更广的水体 pH 适应范围、更强的耐旱性和耐污能力（曹正光等，1998）。综上所述，环棱螺和河蚬均具有较强的藻类清除能力，但环棱螺对藻类的清除能力要高于河蚬，作为生态修复工具种具有较大的潜力。尽管如此，本研究仅仅局限于室内，且食物来源也仅限于单一的小球藻，更进一步的研究需要在环境更复杂和自然的水体中开展。

参考文献

曹正光，蒋忻坡，1998. 几种环境因子对梨形棱螺的影响[J]. 上海海洋大学学报，(3)：200－205.

曹旭静，2005. 藻食性生物对富营养化水体藻类控制及其机理的研究[D]. 南京：南京理工大学.

董波，薛钦昭，李军，2000. 滤食性贝类摄食生理的研究进展[J]. 海洋科学 ，24(7)：31－34.

金相灿，屠清瑛，1990.湖泊富营养化调查规范[M].2版.北京：中国环境科学出版社.

匡世焕，方建光，孙慧玲，等，1996. 桑沟湾栉孔扇贝不同季节滤水率和同化率的比较[J]. 海洋与湖沼，27(2)：194－199.

梁燕茹，李文权，2005. 小球藻饵料的研究进展[J]. 福建农业学报，20(S)：70－74.

刘夏松，2010. 铜锈环棱螺对富营养化水体的综合生态效应[D].宁波：宁波大学.

刘英杰，2005.青蛤摄食生理和代谢生理以及能量收支的基础研究[D].青岛：中国海洋大学.

吕昊泽，2014. 缢蛏、光滑河蓝蛤和河蚬对盐度的适应性及碳、氮收支研究[D]. 上海：上海海洋大学.

马陶武，周科，朱程，等，2009. 铜锈环棱螺对镉污染沉积物慢性胁迫的生物标志物响应[J]. 环境科学学报，29(8)：1750－1756.

潘建林，徐在宽，唐建清，等，2007. 湖泊大型贝类控藻与净化水质的研究[J]. 海洋湖沼通报，(2)：69－79.

孙慧玲，方建光，匡世焕，等，1995. 栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)在模拟自然水环境中滤水率的测定[J]. 中国水产科学，(4)：16－21.

魏阳春，濮培民，1999. 太湖铜锈环棱螺对氮磷的降解作用[J]. 长江流域资源与环境，(1)：88－93.

徐钢春，顾若波，闻海波，等，2007. 温度、体重和饵料密度对河蚬滤食率与同化率的影响[J]. 上海海洋大学学报，16(2)：151－156.

徐海军，凌去非，杨彩根，等，2010. 3种淡水贝类对藻类消除作用的初步研究[J]. 水生态学杂志，3(1)：74－77.

徐海军，2010. 淡水贝类作为水域环境的生态修复工具种的可行性研究[D].苏州：苏州大学.

张许峰，吴小平，欧阳珊，等，2008. 四种淡水贝的摄食率和耗氧率的试验研究[J]. 海洋湖沼通报，(3)：144－154.

张许峰，2007. 四种淡水贝摄食率和耗氧率的试验研究[D]. 南昌：南昌大学.

赵峰，谢从新，张念，等，2014. 不同密度梨形环棱螺对养殖池塘水质及沉积物氮、磷释放的影响[J]. 水生态学杂志，35(2)：32－38.

赵沐子，费志良，郝忱，等，2006. 不同贝类对水质净化效果的比较[J].水产科学，12(3)：25－27.

周露红，谷孝鸿，曾庆飞，等，2012. 利用环棱螺调控池塘水质的试验生态学研究[J].生态学杂志，31(11)：2966－2975.

Fanslow D L，Nalepa T F，Lang G A，1995. Filtration Rates of the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) on Natural Seston from Saginaw Bay，Lake Huron[J]. Journal of Great Lakes Research，21(4)：489－500.

Hwang S J，Kim H S，Shin J K，et al，2004. Grazing effects of a freshwater bivalve (*Corbicula leana*) and large zooplankton on phytoplankton communities in two Korean lakes[J]. Hydrobiologia，515(1)：161－179.

Jørgensen C B，1943. On the water transport through the gills of bivalves [J]. Acta Physiol Scand，5：297－304.

Klinge M，Grimm M P，Hosper S H，1995. Eutrophication and ecological rehabitation of dutch lakes：presentation of a new conceptual framework[J]. Water Science and Technology，31 (8)：207－218.

KoelmanS A A，1987. Integrated modelling of eutrophication and organic contaminant fate effects in aquatic ecosystems.A review[J]. Water Research，21：483－490.

Ling F，Pakki W，Li L，et al，2010. Impact of invasive apple snails in Hong Kong on wetland macrophytes，nutrients，phytoplankton and filamentous algae[J]. Freshwater Biology，55(6)：1191 － 1204.

Pinowska A，2002. Effects of snail grazing and nutrient release on growth of the macrophytes *Ceratophyllum demersum*，and *Elodea canadensis*，and the filamentous green alga *Cladophora* sp.[J]. Hydrobiologia，479(1)：83－94.

Sagehashi M，Sakoda A，Suzuki M，2000. A Predictive model of long-term stability after bio-manipulation of shallow lakes[J].Water Research，34(16)：4014－4028.

Shapiro J，Lamarra V，Lynch M，1975. Biomanipulation：an ecosystem approach to lake restoration[C].A Symposium on Water Quality Management Through Biological Control.

Stybel N，Fenske C，Schernewski G，2009. Mussel Cultivation to Improve Water Quality in the Szczecin Lagoon [J]. Journal of Coastal Research，56(56)：1459－1463.

Vaughn C C，Hakenkamp C C，2001. The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems[J]. Freshwater Biology，46(11)：1431－1446.

（责任编辑　张俊友）

Rates of Feeding, Filtration and Chlorella Removal for *Bellamya* sp. and *Corbicula fluminea*

ZHU Peng-fei, LEI Liu-ping, LI De-liang

(Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Hunan Engineering Technology Research Center of Featured Aquatic Resources Utilization, College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, P.R.China)

Abstract: Bioremediation is an important means of restoring aquatic ecosystems and benthic filter feeders can play an important role in remediation by removing phytoplankton and organic detritus. *Bellamya* sp. and *Corbicula fluminea* are common fresh water species, and both have great potential for controlling eutrophication of water bodies. In this study, we analyzed and compared the rates of feeding, filtration and chlorella removal for the two species, aiming to provide a theoretical basis for their use in improving water quality and ecological restoration. *Bellamya* sp. and *C. fluminea* were collected from Datong Lake in Yiyang City, Hunan Province with respective average wet masses of (3.49±0.31) g and (2.92±0.12) g and acclimated in an aquarium before testing. The chlorella removal experiment was conducted in beakers containing each species and a control, at pH 6.5－7.0 and water temperature (20.0±1.0)℃. Each trial was run in six replicates and 30 mL water was sampled at specified times (0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 5.5 and 7.5 h) for determination of chlorophyll-a concentration. Peak rates of feeding and filtration were 10.15 μg/kg·min and 744.08 mL/kg·min for *Bellamya* sp., and 4.40 μg/kg·min and 647.57 mL/kg·min for *C. fluminea*. The extent of chlorella removal increased with time, peaking at 91.31% for *Bellamya* sp. (5.5 h) and 65.38% for *C. fluminea* (7.5 h). The rates of feeding, filtration and chlorella removal for *Bellamya* sp. were significantly higher than the rates for *C. fluminea*, except for at 0.5 h and 2.5 h. Our results indicate that both *Bellamya* sp and *C. fluminea* have a strong ability to clear chlorella, but *Bellamya* sp. may be more suitable for ecological restoration.

Key words: *Bellamya* sp.; *Corbicula fluminea*; feeding rate; filtration rate; chlorella removal rate