

太湖环棱螺 (*Bellamyia* sp.) 及其与 沉水植物的相互作用

白秀玲^{1,2}, 谷孝鸿^{1,*}, 何俊^{1,2}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 选用太湖常见的环棱螺及沉水植物, 研究了不同状态下环棱螺营养盐的释放特征, 探讨了环棱螺对水体营养盐、透明度和浮游藻类的影响, 及其与沉水植物的相互作用。结果表明: 在一定温度范围内, 环棱螺营养盐的释放速率随温度升高而增加, 且进食状态下释放速率高于饥饿状态; 环棱螺能在短时间内提高水体透明度, 但其营养盐释放又引起局部水体溶解态氮磷含量的增加; 适宜的条件下, 水体中藻类的再生能力超过环棱螺对其的抑制力; 水体营养盐含量增加, 促进与环棱螺共存的伊乐藻和轮叶黑藻的生长。在太湖的不同湖区, 草型湖区螺类的生物量远高于藻型湖区, 这表明沉水植物可能是影响螺类分布的重要生态因子之一。

关键词: 环棱螺; 沉水植物; 底栖动物; 太湖

文章编号: 1000-0933(2009)02-1032-06 中图分类号: Q143, Q178 文献标识码: A

Bellamyia sp. and its interaction with submerged macrophytes in Lake Taihu

BAI Xiu-Ling^{1,2}, GU Xiao-Hong^{1,*}, HE Jun^{1,2}

1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 1032 ~ 1037.

Abstract: We measured nutrient release by the freshwater snail *Bellamyia* sp. under different environmental conditions. In addition, we examined the effects of *Bellamyia* sp. on water transparency, nutrient concentrations, growth of naturally-occurring phytoplankton, and its interactions with *Hydrilla verticillata* Royle, *Elodea nuttalli* ST John of Lake Taihu, China. Results showed that the rate of nutrient release by snails was affected by water temperature and the food they stored. The release rates increased with temperature increases. Nutrient release rates by snails were higher after they fed than when they were starved at the constant temperature. *Bellamyia* sp. increased the transparency of water column on a short term, while the release of nutrients led to measurable increases in concentrations of nitrogen and phosphorus. The nutrients released by *Bellamyia* sp., combined with adequate temperature and illumination, allowed phytoplankton growth to exceed remove by snail feeding. At the same time, nutrient release by *Bellamyia* sp. promoted the growth of *Hydrilla verticillata* Royle and of *Elodea nuttalli* ST John. A survey of *Bellamyia* sp. in Lake Taihu showed that snail biomass in the submerged macrophyte-dominated areas was higher than that in areas dominated by phytoplankton, and the submerged macrophytes played an important role in the distribution of snails. Collectively, the combination of biomanipulation of snails and restoration of submerged macrophytes shows promise in countering eutrophication, and improvement of water quality.

基金项目: 中国科学院农业创新基地资助项目 (KSCX2-YW-N-47-03); 江苏省自然科学基金资助项目 (BK2007746); 国家“863”重大科技专项资助项目 (2002AA601011-04-02)

收稿日期: 2007-09-11; 修订日期: 2007-11-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xhgu@niglas.ac.cn

Key Words: *Bellamya* sp.; submerged macrophytes; macroinvertebrates; Lake Taihu

利用生物调控技术^[1]开展对受损水体的生态修复是目前湖泊富营养化治理的重要手段之一。成功开展生物调控与生态修复的理论基础和前提是要充分了解生物对水环境的影响及与生物间的相互作用。大型底栖动物与沉水植物是水生态系统的重要组成部分,了解它们之间的相互作用及其对水环境的影响,可为富营养化水体的生物调控与治理提供参考。

在太湖的底栖动物组成中,大型软体动物螺在数量和生物量上均占有较高比例^[2],其摄食方式为刮食,摄食对象以水生植物茎、叶及其附着藻类为主^[3,4],另外,螺对食物也有一定的选择性^[5]。随着摄食对象及季节变化,螺对水生植物的影响也有所不同,如摄食嫩叶会抑制水生植物的光合作用,而摄食老叶上面的附着藻类则会促进水生植物的光合作用和对营养盐的利用^[6,7]。此外,螺类分泌及排泄等新陈代谢活动对水体理化环境也有一定的影响。

目前,国内已有椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*(H. Adams))牧食的选择性及其对沉水植物影响的报道^[8,9],而关于环棱螺的研究多集中在污染条件下其对重金属的富集及体内酶的变化^[10,11],环棱螺对水环境的影响及与沉水植物之间的相互作用研究则相对较少^[12]。本文根据对太湖局部水域螺类和水生植物生态分布的调查,选择太湖常见的环棱螺(*Bellamya* sp.)和伊乐藻(*Elodea nuttalli* ST John)与轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata* Royle)构建微型生态系统,研究了环棱螺对水环境的影响及其与沉水植物之间的相互作用。

1 实验与方法

1.1 实验材料

环棱螺、轮叶黑藻和伊乐藻均取自太湖。环棱螺个体均匀健康,轮叶黑藻和伊乐藻植株健康,叶面无明显伤痕。环棱螺称重之前,用软毛刷将其表层附着生物刷掉,清水洗净后,将其表层水分用吸水纸去除。

1.2 实验设计

1.2.1 环棱螺营养盐释放及对水环境的影响

将环棱螺一部分放于种植沉水植物的整理箱内以备实验,另一部分放于盛有曝气自来水的容器中,选取放置时间48h以上的两种容器中的环棱螺各数个。5个螺(2.85~5.06g)一组放于500ml的三角瓶中,以不放螺的作为参照,每种情况下都设8个平行样,实验在光照培养箱中进行。分别测量15℃、25℃时两种情况下水体中的氨氮和磷酸根的变化。同时选取与沉水植物共存的7个环棱螺,放于呈有太湖水的有机玻璃缸内,且保证每个玻璃缸内螺的总重量接近,此为实验组。对照组不放螺。两组分别设有12个平行样,实验时间从8月11日至8月29日。测定指标有水体总氮、总磷、氨氮和磷酸根,藻类Chl. a,及24h内实验组和对照组水体悬浮物质(SS)的变化。

1.2.2 环棱螺对沉水植物生长的影响

根据太湖螺和水生植物分布情况^[2],每种沉水植物均有3种处理方式,即分别与5个(L)和10个(H)环棱螺放置一起,还有一个不放置环棱螺(C),实验具体设置如表1。实验在自然光照射下进行。实验期间温度范围在28.5~31℃之间。培养时间为1周。测量实验前后沉水植物的生物量。为更好地反映沉水植物的变化情况,实验前在每个容器里任意选择两株植物并做标记,测量标记植株的长度和分蘖数。

表1 不同处理下环棱螺与沉水植物的初始值

Table 1 The submerged macrophytes and *Bellamya* sp at the beginning of the experiment

处理类型 Experimental style	沉水植物 Submerged macrophytes		环棱螺 <i>Bellamya</i> sp.	
	伊乐藻 <i>H. verticillata</i> (g)	轮叶黑藻 <i>E. nuttalli</i> (g)	个数 Number(个)	生物量 Biomass(g)
L(4*)	7.72 ± 0.49	8.01 ± 0.28	5	15.99 ± 0.73
H(4*)	7.72 ± 0.50	8.01 ± 0.29	10	33.90 ± 0.59
C(2*)	7.72 ± 0.51	8.01 ± 0.30	0	0

* 表示平行样个数 Represents the number of replicate sample

1.2.3 沉水植物对底栖动物分布的影响

在典型草型湖区东太湖和藻型湖区梅梁湾分别布设 6 个点,调查沉水植物和底栖动物的分布情况。东太湖调查时间是 2004 年 8 月~2005 年 8 月,每个季度 1 次。梅梁湾湖区调查时间 2004 年 6 月~2005 年 11 月,每月定量采样。水生植物用面积为 0.12m^2 的自制采草器,底栖动物用 $1/16\text{m}^2$ 改良彼德采泥器。

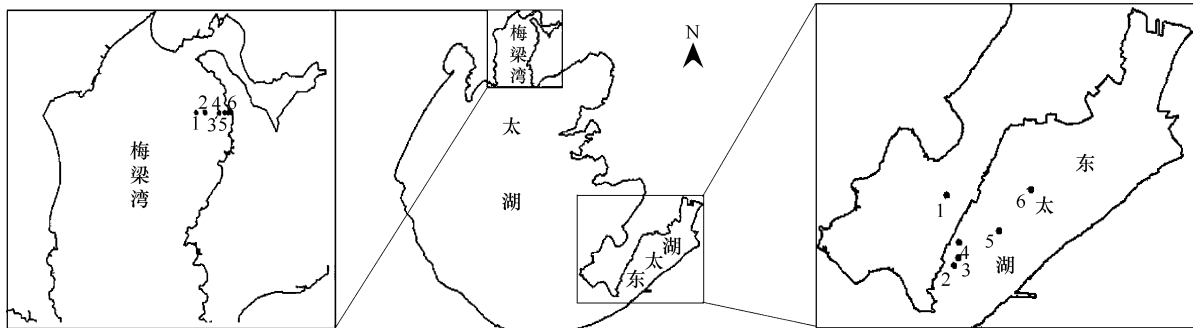


图 1 采样点分布图

Fig. 1 The location of sampling sites in Lake Taihu

1.3 参数测定与方法

选用 $0.45\mu\text{m}$ 醋酸纤维微孔滤膜过滤水样测定溶解性总氮 (TDN)、溶解性总磷 (TDP)、氨氮 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 和磷酸根 ($\text{PO}_4\text{-P}$),未过滤的水样测定总氮 (TN)、总磷 (TP)。叶绿素 (Chl. a) 采用 90% 的丙酮提取研磨后,用荧光光度计测定。悬移质 (SS) 用 Waterman GF/C 滤膜过滤后烘干,用十万分之一的电子天平称量。沉水植物实验前后的总鲜重、长度及标记植株的长度及分蘖数。测定方法均按湖泊富营养调查规范^[13]进行。

2 实验结果

2.1 不同状态下环棱螺释放氨氮与磷酸根的速率比较

15°C 时,环棱螺进食状态下氨氮和磷酸根的平均释放速率 ($63.2\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$ 和 $2.316\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$) 均明显高于饥饿状态下的平均释放速率 ($48.0\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$ 和 $1.836\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$) (图 2A 和 2B)。同时, 15°C 时环棱螺氨氮平均释放 ($(55.60 \pm 4.95)\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$) 速率也明显高于磷酸根的平均释放速率 ($(2.073 \pm 0.120)\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$)。

25°C 时,进食状态下环棱螺释放磷酸根的速率较为均匀,平均在 $2.964\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$ 。饥饿状态下,释放磷酸根的速率略低于进食状态,平均值为 $2.664\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$ (图 2C),经计算,该温度下环棱螺释放磷酸根的平均速率为 ($(2.819 \pm 0.075)\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$)。

表 2 实验前后水体营养盐的变化 (mg/L ; Chl. a: $\mu\text{g/L}$)

Table 2 Variation of water column nutrient during the experiment

项目 Item	TN	DTN	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TP	DTP	$\text{PO}_4\text{-P}$	Chl. a
初始值 Beginning	2.76	2.08	0.36	0.231	0.049	0.021	6.70
实验组 Treatment	6.23 ± 0.26	4.00 ± 0.30	2.69 ± 0.28	0.415 ± 0.051	0.114 ± 0.031	0.038 ± 0.002	118.92 ± 23.33
对照组 Control	1.60 ± 0.55	0.96 ± 0.08	0.25 ± 0.04	0.084 ± 0.044	0.019 ± 0.003	0.009 ± 0.001	1.96 ± 0.98

2.2 环棱螺对水环境的影响

在微型生态系统中,环棱螺对水体透明度及营养盐影响较为明显。从图 2D 可看出,水体悬浮物质 (SS) 浓度初始值为 28.20mg/L ,24h 后,对照组悬浮物浓度有所下降,平均值为 19.82mg/L ,而实验组中悬浮物浓度仅为 4.98mg/L 。同样由表 2 知,实验组水体氮磷营养盐含量及浮游藻类的叶绿素均较初始值有不同程度增加,而对照组水体营养盐含量与初始值相比,则有不同程度的下降。

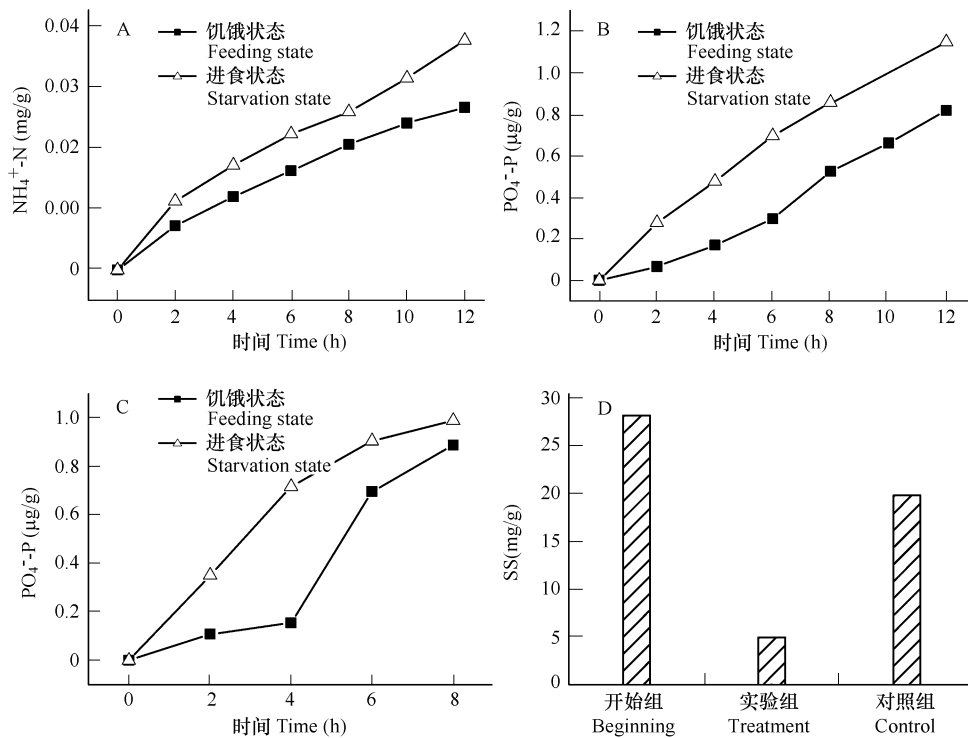


图2 不同状态下环棱螺营养盐的释放及其对悬浮物质的影响

Fig. 2 The nutrient release of *Bellamya* sp. with the different states and the influence on suspended substance

A: 15°C下氨氮的释放情况 B: 15°C下磷酸根的释放情况 C: 25°C下磷酸根的释放情况 D: 环棱螺对悬浮物的影响 A: 15°C, the release of NH_4^+-N ; B: 15°C the release of $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$; C: 25°C, the release of $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$; D: the influence on suspended substance of *Bellamya* spp.

2.3 环棱螺对沉水植物生长的影响

环棱螺的个数和生物量均不相同,与其共存的伊乐藻和轮叶黑藻的变化也不相同。表3实验结果显示,在环棱螺作用下的伊乐藻和轮叶黑藻,不论其单位质量增加量,还是长度和分蘖数增加量,增加最多的均为放有10个环棱螺的H组,其次是放有5个环棱螺的L组,变化最小的是未放环棱螺的C组。

表3 实验前后伊乐藻和轮叶黑藻生物量,长度和分蘖数的变化

Table 3 Variation of *Elodea nuttalli* ST John and *Hydrilla verticillata* Royle after experiment

项目 Item	伊乐藻 <i>E. nuttalli</i>			轮叶黑藻 <i>H. verticillata</i>		
	生物量 Biomass(g/g)	长度 Length(cm)	分蘖数 Node(个)	生物量 Biomass(g/g)	长度 Length(cm)	分蘖数 Node(个)
L	0.11 ± 0.04	1.17 ± 0.80	0.00	0.66 ± 0.03	5.00 ± 1.28	1.00
H	0.48 ± 0.02	3.00 ± 0.96	0.00	0.70 ± 0.04	7.63 ± 2.01	1.29
C	0.02 ± 0.01	1.00 ± 0.52	0.00	0.48 ± 0.03	4.75 ± 1.38	0.75

2.4 不同生态湖区螺和沉水植物分布的情况

东太湖是典型的草型湖区,采集到的底栖动物主要是环棱螺、方格短沟蜷(*Semisulcospira cancellata*)、透明萝卜螺(*Radix* sp.)、长角涵螺(*Alocinma longicornis*)及河蚬(*Corbicula fluminea*)、三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)等大型软体动物,其密度和生物量的平均值分别达到243.09 ind/m²和254.97 g/m²,其中螺类的密度和生物量分别占总量的86.3%和60.1%。沉水植物的种类主要包括苦草(*Vallisneria spiralis*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、轮叶黑藻、微齿眼子菜(*Potamogeton maackianus*)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)、菹草(*Potamogeton crispus*)、伊乐藻,还有少量的马来眼子菜(*Potamogeton malarianus*),不同区域

沉水植物生物量鲜重最小值为 $535.36\text{g}/\text{m}^2$, 最大值为 $2526.81\text{g}/\text{m}^2$, 其平均值是 $1523.19\text{g}/\text{m}^2$ 。而藻型湖区梅梁湾鲜有沉水植物生长, 其底栖动物也主要以寡毛类和摇蚊类为主, 密度平均值分别为 $102.46\text{ind}/\text{m}^2$ 和 $891.66\text{ind}/\text{m}^2$, 而螺类等软体动物的密度仅占到 $1.54\text{ind}/\text{m}^2$ 。

3 讨论

呼吸和排泄是生物体最基本而又重要的新陈代谢活动。营养盐释放率的变化可直接反映其代谢活动的强弱^[14]。研究发现, 螺的新陈代谢强弱受多种因素制约, 如软体动物个体大小和营养盐的释放速率呈反比^[15]; 螺在取食不同食物时, 其营养盐的释放速率亦不同^[15]。本文实验结果表明温度和进食状态影响环棱螺营养盐释放速率, 在一定温度范围内, 环棱螺营养盐的释放速率随温度升高而增加; 当在同一温度时, 进食状态下环棱螺营养盐的释放速率要高于饥饿状态。

实验中, 环棱螺对水环境的影响主要表现在水体营养盐和悬浮物浓度的变化。环棱螺的分泌物可使水体中颗粒悬浮物迅速絮凝为团状, 加快水体悬浮物质的沉降^[12], 减少水体悬浮物含量, 在短时间内提高水体透明度。但环棱螺新陈代谢会促进局部水体溶解态氮磷含量增加^[16], 同时实验设计的微型生态系统为静水环境, 有螺的实验组水体营养盐不能得到稀释和有效利用, 这些均促使实验组水体的营养盐含量大幅度增加。在没有其它初级生产者与藻类竞争营养盐和光照等资源的情况下, 适度的水体透明度和局部营养盐含量的增加将导致藻类的再生能力超过环棱螺刮食对其生长的抑制作用, 从而引起藻类叶绿素 a 的含量逐渐增加。由此可推测, 仅靠放养环棱螺难以抑制浮游藻类的增殖。底栖动物对水体浮游藻类的影响亦有实验发现: 背角无齿蚌高密度滤食可促进悬浮物絮凝沉降、有效减少浮游藻类等悬浮物质、提高水体透明度等作用, 但对降低水体营养状况和富营养化水平没有明显作用^[17]。

环棱螺促使实验水体局部营养盐含量增加, 可促进沉水植物对营养盐的吸收和利用。在与环棱螺共存的伊乐藻和轮叶黑藻组(L组和H组)中, 无论是单位质量生物量还是分蘖数与长度, 其变化量均明显高于对照组(C组), 3种情况下水体的物理环境因子相同, 其差异表现在水体营养盐含量及底栖动物环境的存在, 可见, 在实验水体生态系统中, 伊乐藻和轮叶黑藻的生长以及生物量的变化主要受制于环棱螺的影响以及由此导致的水体中营养盐的变化。资料表明: 不同种类的螺对水生植物的影响方式亦存在差异^[9,18], 如个体较轻的纹沼螺和长角涵螺, 通常附于沉水植物表面, 并刮食其表层的附着藻类, 间接影响着水生植物的生长。同样, 相同种类的螺对不同种类的水生植物影响亦有差异。椭圆萝卜螺对刺苦草的生长有着明显的负面效应, 而对金鱼藻却有着显著的促进作用^[9]。而 *Lymnaea (Galba) turricula* 对金鱼藻的生长及其生物量的变化都有明显的促进作用, 但对眼子菜科水生植物的生长却有着明显的负面效应^[18]。本实验中环棱螺在对伊乐藻和轮叶黑藻的生长上均有明显的促进作用。比较不同条件下单位质量生物量的变化情况来看, 环棱螺对轮叶黑藻的促进作用要明显大于伊乐藻。实验期间水温在 $28.5 \sim 31^\circ\text{C}$, 而伊乐藻在夏季高温期生长趋于停滞, 而轮叶黑藻正是喜温耐热的水生植物^[19], 两种沉水植物生理习性的差别一定程度上影响到不同处理下的生长差别。

环棱螺等底栖动物的分布受水深、底质条件, 及与水生植物的分布密切相关。太湖不同湖区底栖动物的分布差异较大, 实验调查采样分析结果表明, 草型湖区东太湖螺类密度和数量都高于藻型湖区梅梁湾, 显示出沉水植物是影响螺类等底栖动物分布的重要生态因子。

在富营养化水体中, 通过引进螺类等大型软体动物可在一定程度上提高水体的透明度, 其代谢产物离子态的氮磷营养盐亦有利于水生植物的吸收, 从而促进水生植物的恢复。沉水植物对藻类的生长和暴发具有较好的抑制作用, 水生植物光合作用产生的氧气, 可满足大型软体动物生存之所需, 提高其成活率。因此, 对沉水植物和螺类等软体动物进行空间合理配置和调控, 在一定程度上可促进水生生态系统的快速恢复。

Reference:

- [1] Shen Y C, Xiong B X, Ye F L, et al. Prawn-fish-shellfish-alga optimal ecoculture and its bio-manipulation technique of water quality. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(6): 613-618.
- [2] Sun S C, Huang Y P. Lake Taihu. Beijing: Ocean Press, 1993. 174-180.

- [3] Pieczynska E, Kolodziejczyk A, Rybak J I. The responses of littoral invertebrates to eutrophication-linked changes in plant communities. *Hydrobiologia*, 1998, 391: 9—21.
- [4] Pip E, Stewart J M. The dynamics of two aquatic plant-snail associations. *Canadian Journal of Zoology*, 1976, 54: 1192—1205.
- [5] Sheldon S P. The effects of herbivorous snails on submerged macrophyte communities in Minnesota lakes. *Ecology*, 1987, 68: 1920—1931.
- [6] Bronmark C. Interactions between macrophytes, epiphytes and herbivores: an experimental approach. *Oikos*, 1985, 45: 26—30.
- [7] Underwood G J C. Growth enhancement of the macrophyte *Cratophyllum demersum* in the presence of the snail *planorbis*: the effect of grazing and chemical conditioning. *Freshwater Biology*, 1991, 26: 325—334.
- [8] Li K Y, Liu Z W, Hu Y H *et al.* Snail *Radix swinhoi* (H. Adams) herbivory on three submerged plants. *Acta Cology Sinica*, 2006, 26(10): 3221—3224.
- [9] Xu X W, Yu D, Liu C H, *et al.* The influence of *Radix swinhoi* on the growth of two species of submerged plant. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 719—721.
- [10] Yuan W J, Yu Y H, Gu Y, *et al.* Accumulation of Cu, Zn, Cr, Cd and Pb in the snail *Bellamya* sp. *Journal of Shanghai Normal University (Natural Science)*, 2000, 29(3): 73—79.
- [11] Xiong Y Q, You W H. Preliminary study on effects of SOD and catalase of *Bellamya aeruginosa* raised in Suzhou Creek. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2002, 4: 96—101.
- [12] Wei Y C, Pu P M. Abatement of the nitrogen and phosphorus concentration in water by the snail *Bellamya aeruginosa* in Lake Taihu. *Resource and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 8(1): 88—93.
- [13] Jin X C, Tu Q Y. The survey criterion of Lake Eutrophication of China. Beijing: China Environmental Science Press, 1990. 185—194.
- [14] Liu Q G, Shen H D, Zhou H Q, *et al.* Oxygen consumption and ammonia excretory rate of the freshwater clam, *Corbicula Fluminea*. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1999, 8(4): 298—303.
- [15] Pinowska A. Effects of snail grazing and nutrient release on growth of the macrophytes *Ceratophyllum demersum* and *Elodea Canadensis* and the filamentous green alga *Cladophora* sp. *Hydrobiologia*, 2002, 479: 83—94.
- [16] Steinman A. Effects of grazes on freshwater benthic algae. In: Stevenson, R. J., M. L. Bothwell & R. L. Lowe, eds. *Algal Ecology*. Academic Press, San Diego, 1996. 341—373.
- [17] Wu Q L, Chen Y W, Liu Z W. Filtering capacity of *Anodonta woodiana* and its feeding selectivity on phytoplankton. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 2423—2472.
- [18] Xu Q Q, Wang H Z, Zhang S P. The impact of overstocking of mitten crab, *Eriocheir Sinensis* on lacustrine zoobenthic community. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(1): 41—46.
- [19] Lian G H, Zhang S Z. The rapid nutrition propagation and cultivation method of the aquatic plant *E. nuttalli*. *Journal of Lake Sciences*, 1996, 8 (suppl.): 11—16.

参考文献:

- [1] 申玉春,熊邦喜,叶富良,等. 虾-鱼-贝-藻生态优化养殖及其水质生物调控技术研究. *生态学杂志*, 2005, 24(6): 613—618.
- [2] 孙顺才,黄漪平. 太湖. 北京:海洋出版社,1993. 174—180.
- [8] 李宽意,刘正文,胡耀辉,等. 椭圆萝卜螺 *Radix swinhoi* (H. Adams) 对三种沉水植物的牧食选择. *生态学报*, 2006, 26(10): 3221—3224.
- [9] 徐新伟,于丹,刘春花,等. 椭圆萝卜螺对两种沉水植物的影响. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 719—721.
- [10] 袁维佳,俞膺浩,谷媛,等. 螺蚌对重金属元素的富集作用. *上海师范大学学报(自然科学版)*, 2000, 29(3): 73—79.
- [11] 熊昫青,由文辉. 苏州河底泥对铜锈环棱螺 (*Bellamya aeruginosa*) SOD 和 Cat 的影响. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2002, 4: 96—101.
- [12] 魏阳春,濮培民. 太湖铜锈环棱螺对氮磷的降解作用. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(1): 88—93.
- [13] 金相灿. 中国湖泊富营养化. 北京:环境科学出版社,1990. 185—194.
- [14] 刘其根,沈和定,周洪琪,等. 河蚬的耗氧率和排氨率. *上海水产大学学报*, 1999, 8(4): 298—303.
- [17] 吴庆龙,陈宇伟,刘正文. 背角无齿蚌对浮游藻类的滤食选择性与滤水率研究. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 2423—2427.
- [18] 许巧情,王红铸,张世萍. 河蟹过度放养对湖泊底栖动物群落的影响. *水生生物学报*, 2003, 27(1): 41—46.
- [19] 连光华,张圣照. 伊乐藻等水生高等植物的快速营养繁殖技术和栽培方法. *湖泊科学*, 1996, 8(增刊): 11—16.